付録１　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
付録２　横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
付録３　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
付録４　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
付録５　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
付録６　管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針
付録７　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針
付録８　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針
付録９　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針
付録 10　管の基本板厚計算書作成の基本方針
付録 11　弁の強度計算書作成の基本方針
付録 12　容器の強度計算書作成の基本方針
付録 13　ポンプの強度計算書作成の基本方針
付録 14　重大事故等クラス３機器の強度計算書作成の基本方針
付録 15　計算機プログラム（解析コード）の概要　・NASTRAN
付録 16　計算機プログラム（解析コード）の概要　・DYNA2E
付録 17　計算機プログラム（解析コード）の概要　・SAP-Ⅳ
付録 18　計算機プログラム（解析コード）の概要　・HISAP 及び NSAFE
付録 19　計算機プログラム（解析コード）の概要　・ABAQUS
付録 20　計算機プログラム（解析コード）の概要　・QAD-CGGP2R
付録 21　計算機プログラム（解析コード）の概要　・ORIGEN2
付録 22　計算機プログラム（解析コード）の概要　・SCALE
付録 23　計算機プログラム（解析コード）の概要　・TONBOS
付録 24　計算機プログラム（解析コード）の概要　・FLIP
付録 25　計算機プログラム（解析コード）の概要　・ANISN
付録 26　計算機プログラム（解析コード）の概要　・G33-GP2R
付録 27　計算機プログラム（解析コード）の概要　・MAAP
付録 28　計算機プログラム（解析コード）の概要　・GOTHIC
付録 29　計算機プログラム（解析コード）の概要　・GRIMP2
付録 30　計算機プログラム（解析コード）の概要　・NVK463
付録 31　計算機プログラム（解析コード）の概要　・KSHAKE
付録 32　計算機プログラム（解析コード）の概要　・DAC3N
付録 33　計算機プログラム（解析コード）の概要　・SPRINT
付録 34　計算機プログラム（解析コード）の概要　・microSHAKE/3D
付録 35　計算機プログラム（解析コード）の概要　・NORA2D
付録 36　計算機プログラム（解析コード）の概要　・SHAKE
付録 37　計算機プログラム（解析コード）の概要　・TLPILESP
付録 38　計算機プログラム（解析コード）の概要　・NUPP4

付録 39　計算機プログラム（解析コード）の概要　・k-SHAKE

付録１　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 ····· 1
1.1　適用基準 ····· 1
1.2　計算条件 ····· 1
1.3　記号の説明 ····· 2
1.4　計算精度と数値の丸め方 ····· 5
2.　計算方法 ····· 6
2.1　固有周期の計算方法 ····· 6
2.2　応力の計算方法 ····· 10
3.　評価方法 ····· 19
3.1　固有周期の評価 ····· 19
3.2　応力の評価 ····· 19

1.　一般事項

本基本方針は，スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス又は，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

なお，耐震クラスがノンクラスで，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うものの許容応力は，基準地震動Ｓ$_s$に係る規定を適用する。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和 62 年）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)容器はスカートで支持され，スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)胴とスカートをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

(5)スカート部材において，マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は，欠損の影響を考慮する。

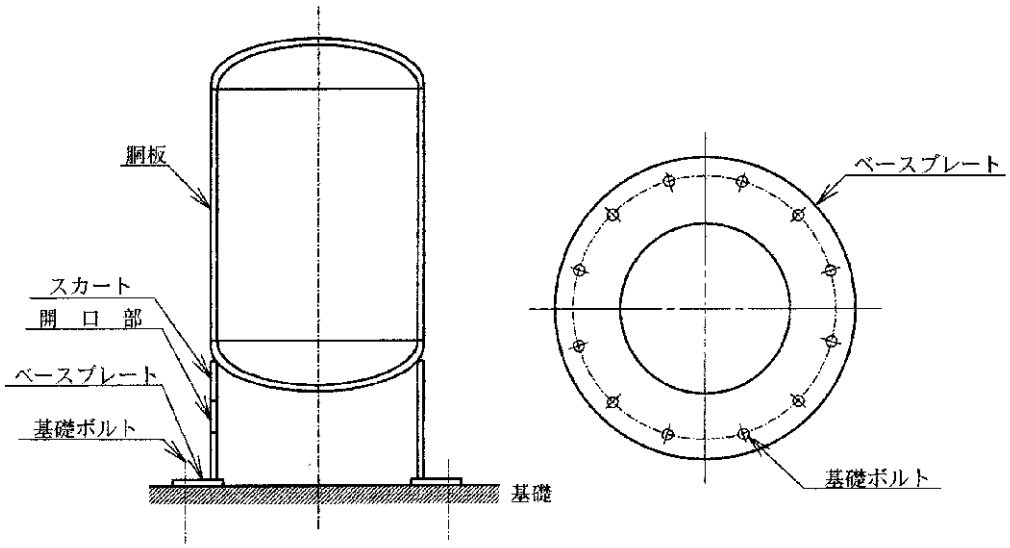


図 1-1　概　要　図

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_s	スカートの軸断面積	mm^2
A_{se}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径（$j=1, 2, 3\cdots j_i$）	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_i	スカートに設けられた開口部の穴の個数	－
K_H	水平方向ばね定数	N/m

記号	記号の説明	単位
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図 2-5 に示す距離）	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q’	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ’	荷重Q’による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重Q，Q’による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－

記号	記号の説明	単位
ρ ’	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_{o}	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和(圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和(引張側)	MPa
σ_{b}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{c}	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s}	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ^{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_{b}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{s} τ_{s}	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
ϕ_{1}(x)	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_{2}(x)	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注記：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりとする。

表 1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	－	－	小数点以下第 2 位
温度		℃	－	－	整数位
比重		－	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	－	－	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	－	－	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
	スカートの厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

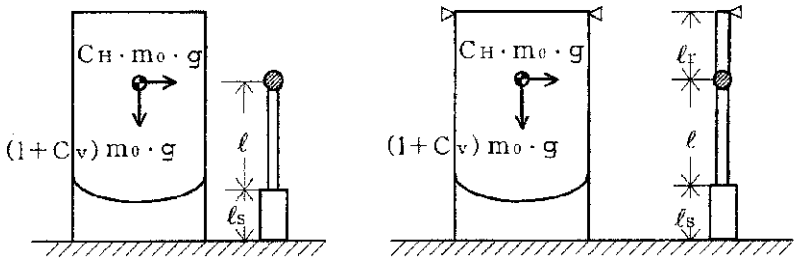
＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2. 計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2 項より図 2-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の 1 質点系振動モデルとして考える。



下端固定の場合　　下端固定上端支持の場合

図 2-1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

a.　下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H = 1000 \Big/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \left(3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s{}^2 + \ell_s{}^3 \right) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，スカートの開口部（図 2-2 参照）による影響を考慮し，胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは，

（図 2-2 及び図 2-3 参照）

$$Y=\sum_{j=1}^{j\,1}(D_s+t_s)\cdot\sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_s+t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

$$A_{se}=\frac{2}{3}\cdot\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期は次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

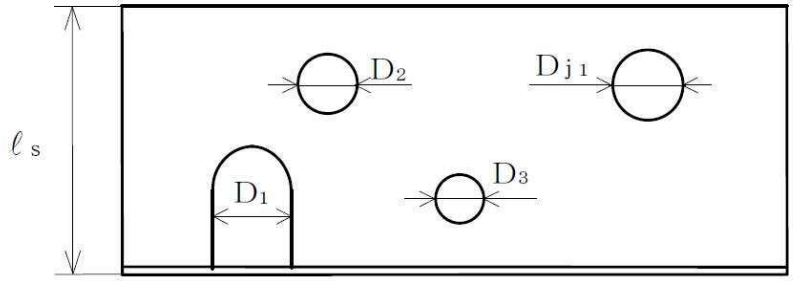


図 2-2　スカート開口部の形状

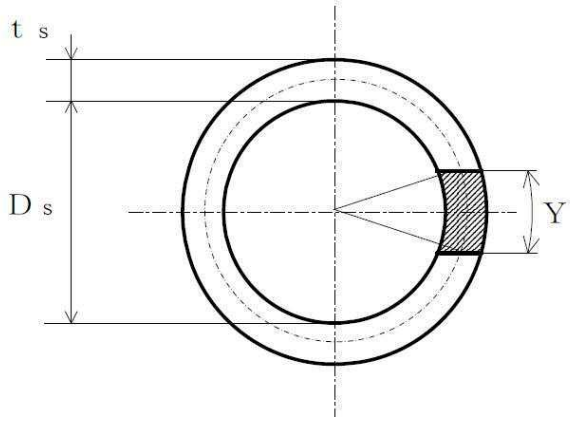
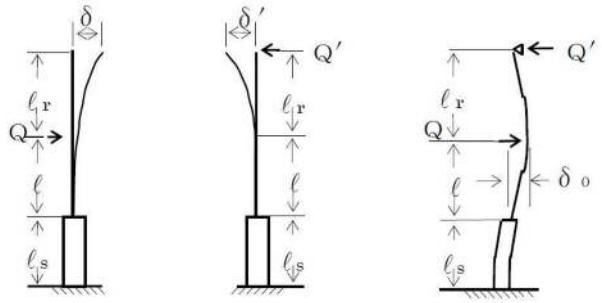


図 2-3　スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b.　下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Q が作用したときに上端の支持部に生じる反力Q′は，図 2-4 に示すように荷重Q 及び反力Q′による上端の変位量δとδ′が等しいとして求める。



(1)　　(2)　　(3)

図 2-4　下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 2-4 の(1)の場合

$$\delta=\frac{Q\cdot\ell^2}{6\cdot E\cdot I}\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_r)+\frac{Q}{6\cdot E_s\cdot I_s}\cdot\left\{2\cdot\ell_s{}^3+3\cdot\ell_s{}^2\cdot\ell_r+6\cdot\ell_s\cdot\ell(\ell_s+\ell+\ell_r)\right\}$$

$$+\frac{Q\cdot\ell}{G\cdot A_e}+\frac{Q\cdot\ell_S}{G_S\cdot A_{S\,e}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.8)$$

図 2-4 の(2)の場合

$$\delta'=\frac{Q'\cdot(\ell+\ell_r)^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{Q'}{3\cdot E_S\cdot I_S}\cdot\left\{3\cdot(\ell+\ell_r)^2\cdot\ell_S+3\cdot(\ell+\ell_r)\cdot\ell_s{}^2+\ell_s{}^3\right\}$$

$$+\frac{Q\cdot(\ell+\ell_r)}{G\cdot A_e}+\frac{Q'\cdot\ell_s}{G_s\cdot A_{s\,e}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより，

$$Q'=Q\cdot\left\{\frac{\ell^2\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_r)}{6\cdot E\cdot I}+\frac{2\cdot\ell_s{}^3+3\cdot\ell_s{}^2\cdot\ell_r+6\cdot\ell_s\cdot\ell\cdot(\ell_s+\ell+\ell_r)}{6\cdot E_s\cdot I_s}\right.$$

$$\left.+\frac{\ell}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{s\,e}}\right\}\Bigg/\left\{\frac{(\ell+\ell_r)^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot(\ell+\ell_r)^2\cdot\ell_s+3\cdot(\ell+\ell_r)\cdot\ell_s{}^2+\ell_s{}^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}\right.$$

$$\left.+\frac{\ell+\ell_r}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{s\,e}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.10)$$

したがって，図 2-4 の(3)に示す重心位置での変位量δ_oは図 2-4 の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合わせから求めることができ，ばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{Q}{\delta_O}=1000\Bigg/\left\{\frac{\ell^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\ell^2\cdot\ell_S+3\cdot\ell\cdot\ell_s{}^2+\ell_s{}^3}{3\cdot E_S\cdot I_S}+\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)\right.$$

$$\cdot\left(\frac{\ell}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{se}}\right)-\frac{Q'}{Q}\cdot\left(\frac{2\cdot\ell^3+3\cdot\ell^2\cdot\ell_r}{6\cdot E\cdot I}\right.$$

$$\left.+\frac{3\cdot\ell_S{}^2\cdot\ell+\ell_S{}^3+3\ell_S\cdot\ell^2+3\cdot\ell_S\cdot\ell\cdot\ell_r+\frac{3}{2}\cdot\ell_S{}^2\cdot\ell_r}{3\cdot E_S\cdot I_S}\right)\Bigg\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.11)$$

固有周期は（2.1.7）式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは，次式で求める。

$$K_V=1000\Big/\left(\frac{\ell}{E\cdot A}+\frac{\ell_s}{E_s\cdot A_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.12)$$

$$A=\pi\cdot(D_i+t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.13)$$

$$A_s=\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.14)$$

したがって，固有周期T_Vは次式で求める。

$$T_V=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_V}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.15)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法も用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.6)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として，上部には胴自身の質量による圧縮応力が，下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x2}=\frac{(m_0-m_e)\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5}=\frac{(m_0-m_e)\cdot g\cdot C_V}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6}=\frac{m_e\cdot g\cdot C_V}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.12)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell+\ell_r)\right|}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.13)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.14)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{ot}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x4}{}^2+\sigma_{x5}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

(b)　組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi}=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x3}+\sqrt{\sigma_{x4}{}^2+\sigma_{x6}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

$$\sigma_{o}=\mathrm{Max}\ \{\text{組合せ引張応力}\ (\sigma_{ot}),\ \text{組合せ圧縮応力}\ (\sigma_{oc})\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b.　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.24)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.25)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.26)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x4}{}^2 + \sigma_{x5}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.27)$$

(b)　組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.29)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.30)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x4}{}^2 + \sigma_{x6}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.31)$$

したがって，胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_2＝Ｍａｘ{組合せ引張応力（σ_{2t}），組合せ圧縮応力（σ_{2c}）}

$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ (2.2.1.32)

とする。

2.2.2　スカートの応力

(1)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot M_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

b.　下端固定上端支持の場合

軸方向応力は（2.2.2.3）式で表されるが，曲げモーメントM_sは次のM_{s1}又はM_{s2}のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

$$M_{s2}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

(3)　組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

基礎に作用する転倒モーメントM_sは下端固定の場合，（2.2.2.5）式を，下端固定上端支持の場合は（2.2.2.6）式又は，（2.2.2.7）式のいずれか大きい方を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。（図 2-5 参照）

以下にその手順を示す。

a.　σ_b及びσ_cを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数kを求める。

$$k=\frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.1)$$

b.　基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha=\cos^{-1}(1-2\cdot k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.2)$$

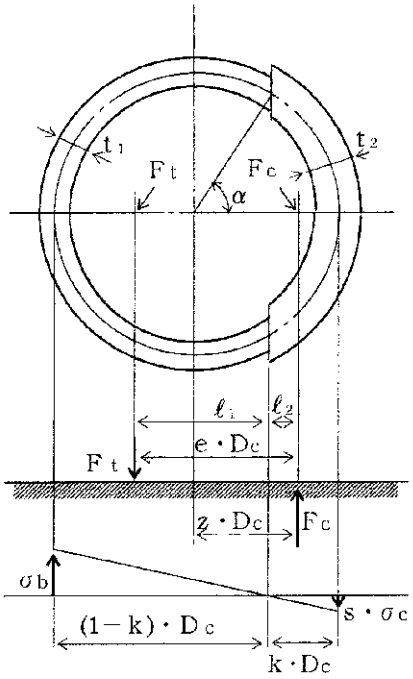


図 2-5　基礎の荷重説明図

c. 各定数e，z，C_t及びC_cを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.3.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.3.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots (2.2.3.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_V)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.3.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.3.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s{}^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.3.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s{}^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.3.3）式及び（2.2.3.4）式においてαをπに近づけた場合の値e＝0.75及びz＝0.25を（2.2.3.7）式，又は（2.2.3.9）式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.3.14)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.16)$$

3. 評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から「Ⅴ－2－1　耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。ただし，S_aは下表による。

応力の種類	許容応力S_a	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	設計引張強さS_uの0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点S_yの2倍以下であれば，疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2　スカートの応力評価

(1)　2.2.2 項で求めたスカートの組合せの応力が許容引張応力f_t以下であること。ただし，f_tは下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1 \quad \cdots\cdots (3.2.2.1)$$

ここで，f_c は次による。

$\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\dfrac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots (3.2.2.2)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F}<\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\dfrac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F\cdot\left[1-\frac{1}{6800\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_1\left(\frac{8000\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.2.3)$$

$\dfrac{8000\cdot g}{F}\leqq\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800$ のとき

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.2.4)$$

ただし，$\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.2.2.5)$$

また，f_b は次による。

$\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\dfrac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b = F \quad \cdots\cdots (3.2.2.6)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F}<\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\dfrac{9600\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b = F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.2.7)$$

$\frac{9600 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leqq 800$　のとき

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.8)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.9)$$

η は安全率で次による。

$\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s} \leqq \dfrac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$\eta=1$ ・・・ (3.2.2.10)

$\dfrac{1200\cdot g}{F} < \dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s} < \dfrac{8000\cdot g}{F}$　のとき

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)$$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (3.2.2.11)

$\dfrac{8000\cdot g}{F} \leqq \dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}$　のとき

$\eta=1.5$ ・・・ (3.2.2.12)

3.2.3　基礎ボルトの応力評価

2.2.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (3.2.3.1)

かつ，

$f_{ts} \leqq f_{to}$ ・・・ (3.2.3.2)

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F}{2}\cdot 1.5$	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

別添１　スカート支持たて置円筒型容器の耐震性についての計算書フォーマット

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据え付け場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			

2. 機器要目

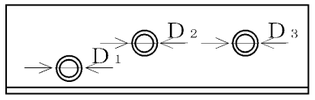
m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

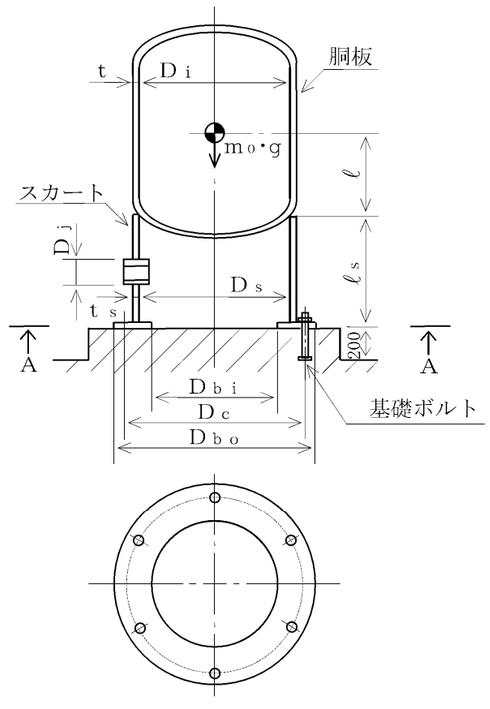
D_{bi} (mm)	A_b (mm^2)	Y (mm)	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（スカート） (MPa)	S_u（スカート） (MPa)	F（スカート） (MPa)	F*（スカート） (MPa)

S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)



スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

3.　計算数値

3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力

（単位：MPa）

		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震			基準地震動Ｓ$_s$		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力							
運転時質量による引張応力							
鉛直方向地震による引張応力							
空質量による圧縮応力							
鉛直方向地震による圧縮応力							
水平方向地震による応力							
応力の和	引張側						
	圧縮側						
組合せ応力	引張り						
	圧縮						

(2)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

（単位：MPa）

		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震			基準地震動Ｓ$_s$		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力							
鉛直方向地震による圧縮応力							
水平方向地震による応力							
応力の和	引張側						
	圧縮側						
組合せ応力（変動値）	引張り						
	圧縮						

3.2　スカートに生じる応力

（単位：MPa）

		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震		基準地震動Ｓ$_s$	
		応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力					
鉛直方向地震による応力					
水平方向地震による応力	曲げ				
	せん断				

3.3　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震動	基準地震動Ｓ$_s$
引張応力		
せん断応力		

4.　結論

4.1　固有周期

（単位：s）

方向	固有周期
水平方向	T_H＝
鉛直方向	T_V＝

4.2　応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的地震		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜				
		一次＋二次				
スカート		組合せ				
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）				
基礎ボルト		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

1. 設計条件

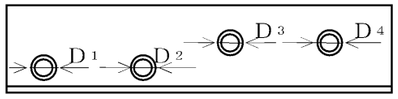
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据え付け場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
									静水頭			

2. 機器要目

m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	ℓ (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

D_{bi} (mm)	A_b (mm2)	Y (mm)	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)

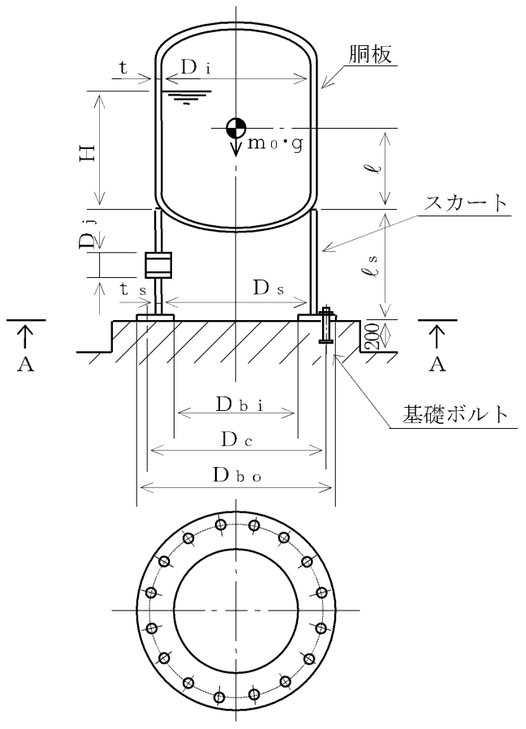


スカート開口部の形状を示す。

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（スカート） (MPa)	S_u（スカート） (MPa)	F（スカート） (MPa)	F*（スカート） (MPa)

S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)

本記載例は，最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。



A～A矢視図

付録２　横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 1
1.1　適用基準 1
1.2　計算条件 1
1.3　記号の説明 2
1.4　計算精度と数値の丸め方 8
2.　計算方法 9
2.1　固有周期の計算方法 9
2.2　応力の計算方法 11
3.　評価方法 24
3.1　固有周期の評価 24
3.2　応力の評価 25
4.　引用文献 26

1.　一般事項

本基本方針は，横置一胴円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス又はＳ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和 62 年）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。

(2)地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで，水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。

(3)容器の胴は 2 個の脚で支持され，脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定する。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)胴は剛とし，脚をはりと考え，変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。

(5)脚が長手方向に変形する場合，脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが，脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。

その他の場合は固定とする。

(6)第 2 脚は長手方向にスライドできるものとし，その方向の力はすべて第 1 脚で受けるものとする。

(7)第 1 脚と第 2 脚は同形状であり，受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

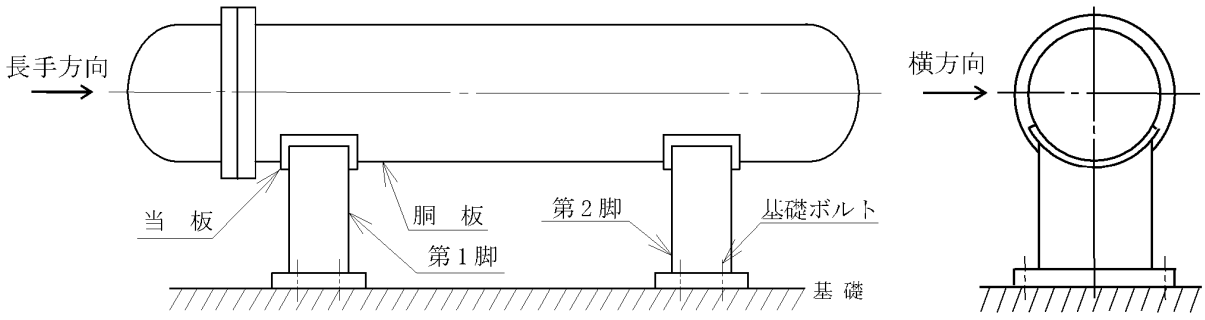


図 1-1　概要図

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
C_H	水平方向設計震度	－
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j=1：周方向応力，j=2：軸方向応力）	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	第1脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB－3121.1 又は SSB－3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB－3121.3 又は SSB－3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm

記号	記号の説明	単位
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	－
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	－
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	－
K_{1j}，K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントハラメータの補正係数（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_V	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
K_{cj}，$K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（i＝1，2，3…j_1）	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付かない部分の長手方向長さ	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N･mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N･mm
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N･mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N･mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N･mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N･mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N･mm/mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（i＝1，2，3…j_1）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	－
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	－
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	－
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N

記号	記号の説明	単位
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	―
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm^3
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
β，β_1，β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	―
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	―
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	―
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{1}	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{2}	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s}	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x41}，σ_{x42}	長手方向地震により胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
σ_{x411}，σ_{x421}	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x412}，σ_{x422}	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x51}，σ_{x52}	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x71}，σ_{x72}	鉛直方向地震により胴の第 1 脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	内圧により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	鉛直方向地震により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}$，$\sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の第 1 脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}$，$\sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}$，$\sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第 1 脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}$，$\sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi71}$，$\sigma_{\phi72}$	鉛直方向地震により胴の第 1 脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007年）をいう。

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1－1 に示すとおりとする。

表 1－1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	－	－	小数点以下第 2 位
温度		℃	－	－	整数位
質量		kg	－	－	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	－	－	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

a. 本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 2-1～図 2-4 に示す。

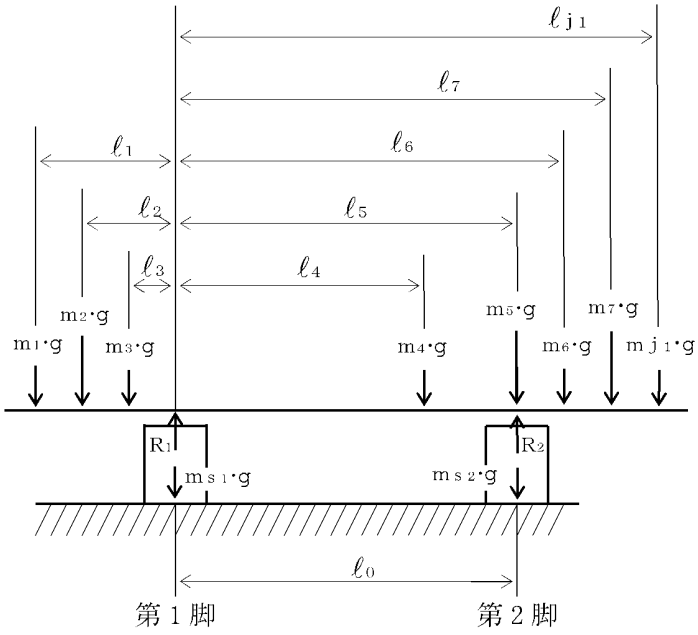


図 2-1 荷重状態

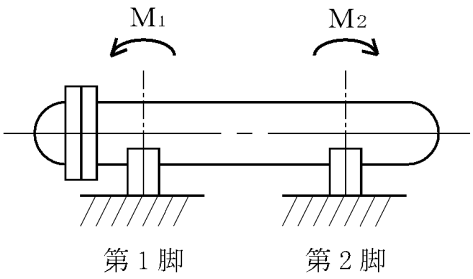


図 2-2 脚の位置での曲げモーメント

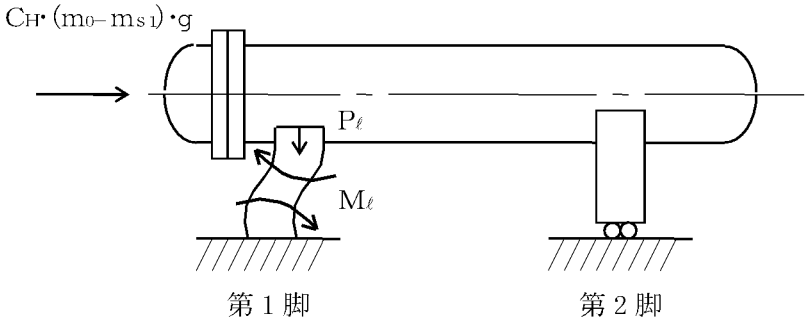


図 2-3 長手方向荷重による胴の第 1 脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

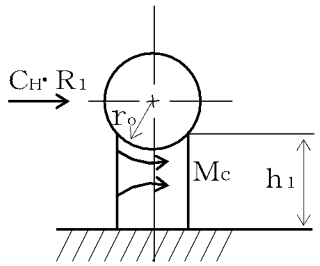


図 2-4 横方向荷重による胴の第 1 脚付け根部のモーメント

b.　本容器は，1.2 項より図 2-5，図 2-6 及び図 2-7 のような 1 質点系振動モデルとして考える。

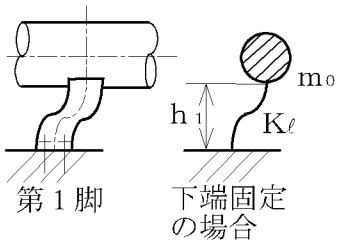


図 2-5　長手方向の固有周期計算モデル

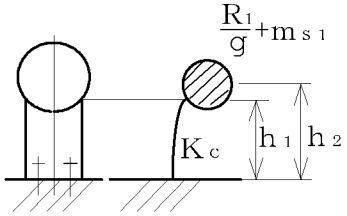


図 2-6　横方向の固有周期計算モデル

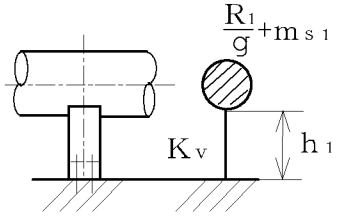


図 2-7　鉛直方向の固有周期計算モデル

(2)　脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図 2-1 において第 1 脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i - R_2 \cdot \ell_0 = 0 \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

したがって，脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i / \ell_0 \quad \cdots\cdots (2.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g - R_2 \quad \cdots\cdots (2.1.3)$$

(3)　長手方向の固有周期

図 2-5 におけるばね定数は

$$K_\ell = \frac{1000}{\dfrac{h_1^{\,3}}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \dfrac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

固有周期は

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_\ell}} \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

(4)　横方向の固有周期

図 2-6 におけるばね定数は

$$K_c = \frac{1000}{\dfrac{h_1^{\,2} \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \dfrac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1/2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \dfrac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \quad \cdots\cdots (2.1.6)$$

固有周期は

$$T_2=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{\frac{R_1}{g}+m_{s1}}{K_c}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

ただし，脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図 2-7 におけるばね定数は

$$K_V=\frac{1000}{\frac{h_1}{A_s\cdot E_s}} \quad \cdots\cdots (2.1.8)$$

固有周期は

$$T_3=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{\frac{R_1}{g}+m_{s1}}{K_V}} \quad \cdots\cdots (2.1.9)$$

ただし，脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

2.2 応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合はＳＲＳＳ法も用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 曲げモーメント

図 2-1 に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図 2-2 において脚付け根部における曲げモーメントM_1及びM_2は次式で求める。

$$M_1=\sum_{i=1}^{j_2} m_i\cdot g\cdot|\ell_i| \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$M_2=\sum_{i=j_1-j_3+1}^{j_1} m_i\cdot g\cdot|\ell_i-\ell_0| \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

(2) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{10^{-6}\cdot g\cdot\rho\cdot H\cdot D_i}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{10^{-6}\cdot g\cdot\rho\cdot H\cdot D_i\cdot C_V}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{10^{-6}\cdot g\cdot\rho\cdot H\cdot D_i}{4\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{4\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第 1 脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば，この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく，脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ，胴の局部変形を生じさせようとする。

いま，長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上$\frac{\theta_0}{6}$の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 2-8 に 2・θ で示される円殻である。

したがって，運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2}=\frac{M_1}{Z} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

また，鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6}=\frac{M_1}{Z}\cdot C_V \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

ここで,

$$r_m=\frac{D_1+t_e}{2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

$$Z=r_m{}^2\cdot t_e\cdot\left\{\frac{\theta+\sin\theta\cdot\cos\theta-2\cdot\sin^2\theta/\theta}{(\sin\theta/\theta)-\cos\theta}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.12)$$

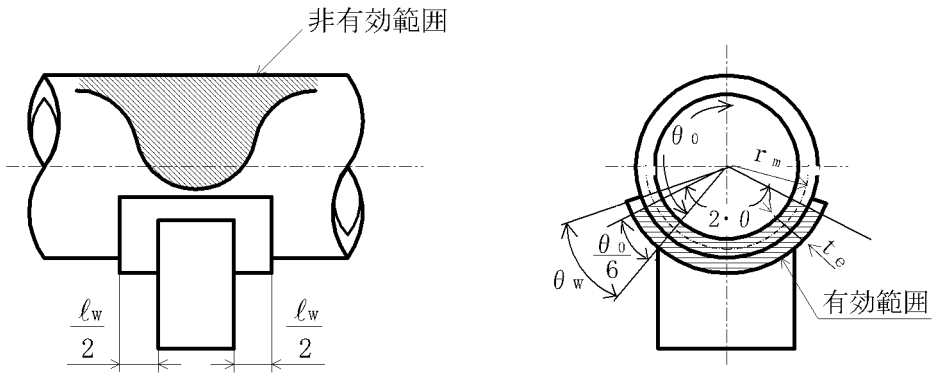


図 2-8 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

周方向範囲　　$\theta_w \geqq \frac{\theta_0}{6}$ *1　　(2.2.1.13)

長手方向範囲　　$\ell_w \geqq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t}$ *2　　(2.2.1.14)

である場合，脚付け根部における胴の有効板厚ｔｅは胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また，当板が上記の範囲を満たさない場合，ｔｅは胴板の厚さとする。

注記　＊1：引用文献(1)より引用

＊2：引用文献(3)より引用

(4)　運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が$R_2 > R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は，

$P = R_1$　　(2.2.1.15)

鉛直方向地震による反力は，

$P_e = C_V \cdot R_1$　　(2.2.1.16)

この反力Ｐ及びP_eにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図2-9に示す。

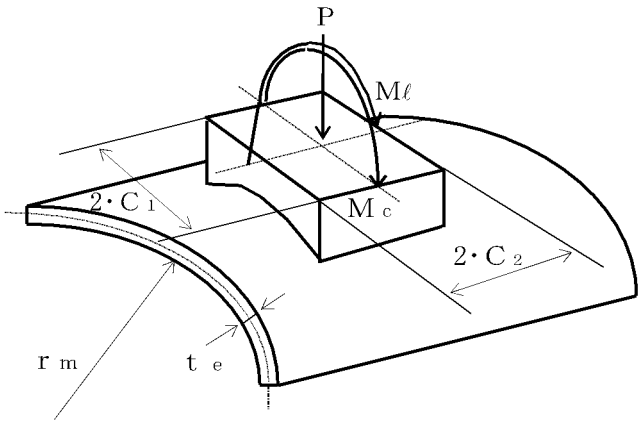


図2-9　脚が胴に及ぼす力の関係

ここで，シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβは以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \cdots\cdots (2.2.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \cdots\cdots (2.2.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \cdots\cdots (2.2.1.19)$$

$4 \geqq \beta_1 / \beta_2 \geqq 1$ のとき

$$\beta = \left\{1 - \frac{1}{3}\cdot(\beta_1/\beta_2 - 1)\cdot(1 - K_{1j})\right\}\cdot\sqrt{\beta_1\cdot\beta_2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.20)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$

$\frac{1}{4} \leqq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{1 - \frac{4}{3}\cdot(1 - \beta_1/\beta_2)\cdot(1 - K_{2j})\right\}\cdot\sqrt{\beta_1\cdot\beta_2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.21)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$

シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβによって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

反力Pによる応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_\phi}{P/r_m}\right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P/r_m}\right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.23)$$

反力P_eによる応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 7 1} = \left(\frac{N_\phi}{P_e/r_m}\right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.24)$$

$$\sigma_{x 7 1} = \left(\frac{N_x}{P_e/r_m}\right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 7 2} = \left(\frac{M_\phi}{P_e}\right)^* \cdot \left(\frac{6\cdot P_e}{t_e^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.26)$$

$$\sigma_{x 7 2} = \left(\frac{M_x}{P_e}\right)^* \cdot \left(\frac{6\cdot P_e}{t_e^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.27)$$

(5)　長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図2-3のように変形し，脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell}=\frac{1}{2}\cdot C_{H}\cdot(m_{0}-m_{s1})\cdot g\cdot h_{1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.28)$$

$$P_{\ell}=C_{H}\cdot(m_{0}-m_{s1})\cdot g\cdot\frac{h_{2}-\frac{1}{2}\cdot h_{1}}{\ell_{0}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.29)$$

曲げモーメントM_{ℓ}と鉛直荷重P_{ℓ}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβによって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（2.2.1.31）式～（2.2.1.38）式で求める。

ここで，シェルパラメータγ及びP_{ℓ}の場合のアタッチメントパラメータβは(4)と同じであるが，M_{ℓ}の場合のアタッチメントパラメータβは次式による。

ただし，二次応力を求める場合は更に$K_{\ell j}$を乗じた値とする。

$$\beta=\sqrt[3]{\beta_{1}\cdot\beta_{2}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.30)$$

ただし，$\beta\leqq 0.5$

曲げモーメントM_{ℓ}により生じる応力は

一次応力

$$\sigma_{\phi 411}=\left\{\frac{N_{\phi}}{M_{\ell}/(r_{m}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_{\ell}}{r_{m}^{2}\cdot\beta\cdot t_{e}}\right)\cdot C_{\ell 1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.31)$$

$$\sigma_{x411}=\left\{\frac{N_{x}}{M_{\ell}/(r_{m}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_{\ell}}{r_{m}^{2}\cdot\beta\cdot t_{e}}\right)\cdot C_{\ell 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{\ell}/(r_{m}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_{\ell}}{r_{m}\cdot\beta\cdot t_{e}^{2}}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.33)$$

$$\sigma_{x421}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{\ell}/(r_{m}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_{\ell}}{r_{m}\cdot\beta\cdot t_{e}^{2}}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.34)$$

鉛直荷重P_{ℓ}により生じる応力は

一次応力

$$\sigma_{\phi 412}=\left(\frac{N_{\phi}}{P_{\ell}/r_{m}}\right)^{*}\cdot\left(\frac{P_{\ell}}{r_{m}\cdot t_{e}}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.35)$$

$$\sigma_{x412}=\left(\frac{N_x}{P_\ell/r_m}\right)^{*}\cdot\left(\frac{P_\ell}{r_m\cdot t_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi422}=\left(\frac{M_\phi}{P_\ell}\right)^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_\ell}{t_e{}^2}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.37)$$

$$\sigma_{x422}=\left(\frac{M_x}{P_\ell}\right)^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_\ell}{t_e{}^2}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.38)$$

また，水平方向荷重により胴には，次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x413}=\frac{C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.39)$$

したがって，曲げモーメントM_ℓ，鉛直荷重P_ℓ及び水平方向荷重により生じる胴の応力は

一次応力

$$\sigma_{\phi41}=\sigma_{\phi411}+\sigma_{\phi412} \quad \cdots\cdots (2.2.1.40)$$

$$\sigma_{x41}=\sigma_{x411}+\sigma_{x412}+\sigma_{x413} \quad \cdots\cdots (2.2.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi42}=\sigma_{\phi421}+\sigma_{\phi422} \quad \cdots\cdots (2.2.1.42)$$

$$\sigma_{x42}=\sigma_{x421}+\sigma_{x422} \quad \cdots\cdots (2.2.1.43)$$

また，長手方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell=\frac{C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.44)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

横方向地震が作用した場合，第 1 脚の付け根部に生じる曲げモーメントM_cは次式で求める。

$$Mc=C_H\cdot R_1\cdot r_0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.45)$$

$$r_0=\frac{D_i}{2}+t_e \quad \cdots\cdots (2.2.1.46)$$

この曲げモーメントM_cにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβによって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（2.2.1.48）式～（2.2.1.51）式で求める。

ここで，シェルパラメータγは(4)と同じであるが，アタッチメントパラメータβは次式による。ただし，二次応力を求める場合は更にK_{cj}を乗じた値とする。

$$\beta=\sqrt[3]{\beta_1^{\,2}\cdot\beta_2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.47)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$

したがって，応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51}=\left\{\frac{N_\phi}{M_c/\left(r_m^{\,2}\cdot\beta\right)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_c}{r_m^{\,2}\cdot\beta\cdot t_e}\right)\cdot C_{c1} \quad \cdots\cdots (2.2.1.48)$$

$$\sigma_{x51}=\left\{\frac{N_x}{M_c/\left(r_m^{\,2}\cdot\beta\right)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_c}{r_m^{\,2}\cdot\beta\cdot t_e}\right)\cdot C_{c2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52}=\left\{\frac{M_\phi}{M_c/\left(r_m\cdot\beta\right)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_c}{r_m\cdot\beta\cdot t_e^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.50)$$

$$\sigma_{x52}=\left\{\frac{M_x}{M_c/\left(r_m\cdot\beta\right)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_c}{r_m\cdot\beta\cdot t_e^{\,2}}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.1.51)$$

また，横方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c=\frac{C_H\cdot R_1}{4\cdot C_1\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.52)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$\sigma_{0\ell}$＝Ｍａｘ{周方向応力($\sigma_{0\ell\phi}$)，軸方向応力($\sigma_{0\ell x}$)} ……(2.2.1.53)

ここで，

$$\sigma_{0\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.54)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x6}+\sigma_{x413} \quad \cdots\cdots (2.2.1.55)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{0\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}^{\,2}+\sigma_{x413}^{\,2}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

σ_{0c}＝Ｍａｘ{周方向応力($\sigma_{0c\phi}$)，軸方向応力(σ_{0cx})} ……(2.2.1.57)

ここで,

$$\sigma_{0c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.58)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x6} \quad \cdots\cdots (2.2.1.59)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{0cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x6} \quad \cdots\cdots (2.2.1.60)$$

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法，それぞれに対して，

σ_0＝Ｍａｘ{長手方向地震時応力($\sigma_{0\ell}$)，横要綱地震時応力(σ_{0c})}

$$\cdots\cdots (2.2.1.61)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1\ell\phi}+\sigma_{1\ell x})+\sqrt{(\sigma_{1\ell\phi}-\sigma_{1\ell x})^2+4\cdot\tau_{\ell}^{\,2}}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.62)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 71} \quad \cdots\cdots (2.2.1.63)$$

$$\sigma_{1\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x41}+\sigma_{x6}+\sigma_{x71} \quad \cdots\cdots (2.2.1.64)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{1\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 41}^{\,2}+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.65)$$

$$\sigma_{1\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{\sigma_{x41}^{\,2}+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.66)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1c\phi}+\sigma_{1cx})+\sqrt{(\sigma_{1c\phi}-\sigma_{1cx})^2+4\cdot\tau_{c}^{\,2}}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 71} \quad \cdots\cdots (2.2.1.68)$$

$$\sigma_{1cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x51}+\sigma_{x6}+\sigma_{x71} \quad \cdots\cdots (2.2.1.69)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{1c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 51}{}^{2}+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.70)$$

$$\sigma_{1cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{\sigma_{x51}{}^{2}+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.71)$$

したがって，胴に生じる一次応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法，それぞれに対して，

σ_1＝Ｍａｘ{長手方向地震時応力($\sigma_{1\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{1c})}

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.72)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell}=(\sigma_{2\ell\phi}+\sigma_{2\ell x})+\sqrt{(\sigma_{2\ell\phi}-\sigma_{2\ell x})^{2}+4\cdot\tau_{\ell}{}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.73)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2\ell\phi}=\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 42}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.74)$$

$$\sigma_{2\ell x}=\sigma_{x41}+\sigma_{x42}+\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.75)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2\ell\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^{2}+(\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 42})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.76)$$

$$\sigma_{2\ell x}=\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x42})^{2}+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.77)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c}=(\sigma_{2c\phi}+\sigma_{2cx})+\sqrt{(\sigma_{2c\phi}-\sigma_{2cx})^{2}+4\cdot\tau_{c}{}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.78)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2c\phi}=\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 52}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.79)$$

$$\sigma_{2cx}=\sigma_{x51}+\sigma_{x52}+\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.80)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2c\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^{2}+(\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 52})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.81)$$

$$\sigma_{2cx}=\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x52})^{2}+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.82)$$

したがって，胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法，それぞれに対して，

$$\sigma_2 = \mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.83)$$

とする。

2.2.2 脚の応力

脚の受ける荷重が$R_2 > R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

(1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \quad \cdots\cdots (2.2.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_V \quad \cdots\cdots (2.2.2.2)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_\ell}{A_s} \quad \cdots\cdots (2.2.2.3)$$

ここで,

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \quad \cdots\cdots (2.2.2.4)$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \quad \cdots\cdots (2.2.2.5)$$

(4) 横方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \quad \cdots\cdots (2.2.2.6)$$

せん断応力は

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \quad \cdots\cdots (2.2.2.7)$$

(5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.2.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sc}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4})^2+3\cdot\tau_{s3}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.2.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{sc}=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s3}^2+\sigma_{s4}^2}\right)^2+3\cdot\tau_{s3}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.2.11)$$

したがって，脚に生じる最大応力は，絶対値和，ＳＲＳＳ法，それぞれに対して，

σ_s＝Ｍａｘ{長手方向地震時応力($\sigma_{s\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{sc})}

$\cdots\cdots (2.2.2.12)$

とする。

2.2.3　基礎ボルトの応力

(1)　鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a.　引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M=M_{\ell 1} \quad \cdots\cdots (2.2.3.1)$$

鉛直荷重は

【絶対値和】

$$P_s=(1-C_V)\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g)-P_\ell \quad \cdots\cdots (2.2.3.2)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$P_s=R_1+m_{s1}\cdot g-\sqrt{\{C_V\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g)\}^2+P_\ell^2} \quad \cdots\cdots (2.2.3.3)$$

である。ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e=M/P_s \quad \cdots\cdots (2.2.3.4)$$

とする。

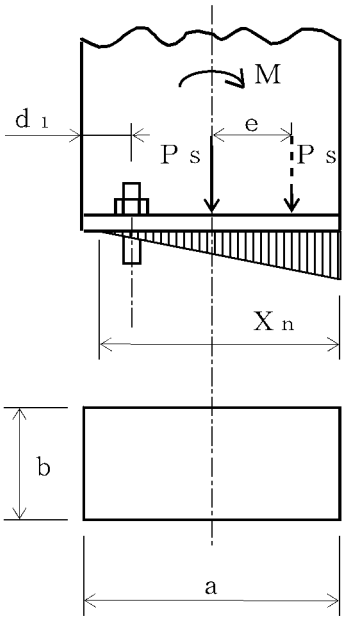


図 2-10　基礎部に作用する外荷重より
生じる荷重の関係（その 1）

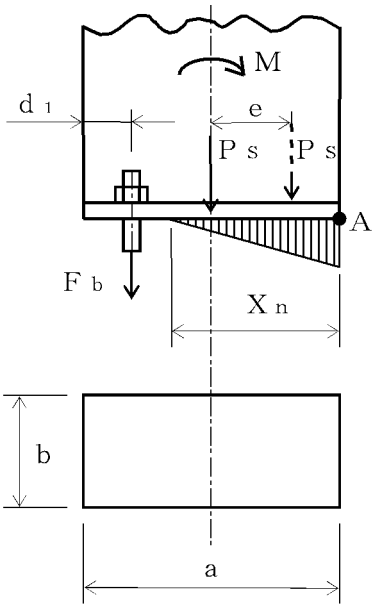


図 2-11　基礎部に作用する外荷重より
生じる荷重の関係（その 2）

図 2-10 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図 2-11 のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \cdots\cdots (2.2.3.5)$$

のとき，基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 2-11 において，鉛直荷重の釣合い，A点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X_nは

$$X_n^3 + 3\cdot\left(e - \frac{a}{2}\right)\cdot X_n^2 - \frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_1}{b}\cdot\left(e + \frac{a}{2} - d_1\right)\cdot\left(a - d_1 - X_n\right) = 0$$

$$\cdots\cdots (2.2.3.6)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s\cdot\left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \cdots\cdots (2.2.3.7)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1}=\frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が$R_2 > R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

a. 引張応力

(a) 長手方向から見て図 2-12 のように応力を 2 列の基礎ボルトで受ける場合

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1}=C_H \cdot (R_1+m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \cdots\cdots (2.2.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1}=(1-C_V) \cdot (R_1+m_{s1} \cdot g) \quad \cdots\cdots (2.2.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして中立軸の位置X_nを

$$X_n^3+3 \cdot \left(e-\frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2-\frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left\{\left(e+\frac{b}{2}-d_2\right) \cdot (b-X_n-d_2) + \left(e+\frac{b}{2}-d_3\right) \cdot (b-X_n-d_3)\right\}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.3.12)$$

ただし

$$e=M_{c1} / P_{s1} \quad \cdots\cdots (2.2.3.13)$$

より求めると，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_{s1} \cdot \left(e-\frac{b}{2}+\frac{X_n}{3}\right) \cdot (b-X_n-d_2)}{\left(b-d_2-\frac{X_n}{3}\right) \cdot (b-X_n-d_2)+\left(b-d_3-\frac{X_n}{3}\right) \cdot (b-X_n-d_3)} \quad \cdots\cdots (2.2.3.14)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2}=\frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.15)$$

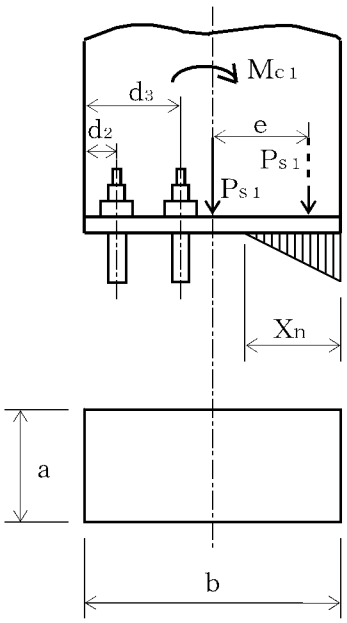


図 2-12　基礎部に作用する外荷重より
生じる荷重の関係（その 3）

(b)　長手方向から見て応力を 1 列の基礎ボルトで受ける場合

(1)と同様にして引張応力は求められるが，MをM_{c1}，P_sをP_{s1}，d_1をd_2，aをb，bをa及びn_1をn_2に置き換え，得られた基礎ボルトの応力をσ_{b2}とする。

b.　せん断応力

$$\tau_{b2}=\frac{C_H\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g)}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.16)$$

(3)　基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a.　基礎ボルトの最大引張応力

σ_b＝Ｍａｘ{長手方向地震時応力(σ_{b1})，横方向地震時応力(σ_{b2})}

$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ (2.2.3.17)

b.　基礎ボルトの最大せん断応力

τ_b＝Ｍａｘ{長手方向地震時応力(τ_{b1})，横方向地震時応力(τ_{b2})}

$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ (2.2.3.18)

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から「Ⅴ-2-1　耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	許容応力S_a	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの 1.2 倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	設計引張強さS_uの 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点S_yの 2 倍以下であれば，疲れ解析は不要とする。	

3.2.2　脚の応力評価

2.2.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力f_t以下であること。

ただし，f_tは下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$f_t=\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$f_t=\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

3.2.3　基礎ボルトの応力評価

2.2.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (3.2.3.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (3.2.3.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

(2) Wichman, K. R. et al. :Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 ／ August 1965.

(3) 日本工業規格ＪＩＳ　Ｂ　８２７８（2003）「サドル支持の横置圧力容器」

別添１　横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書フォーマット

1.　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据え付け場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			

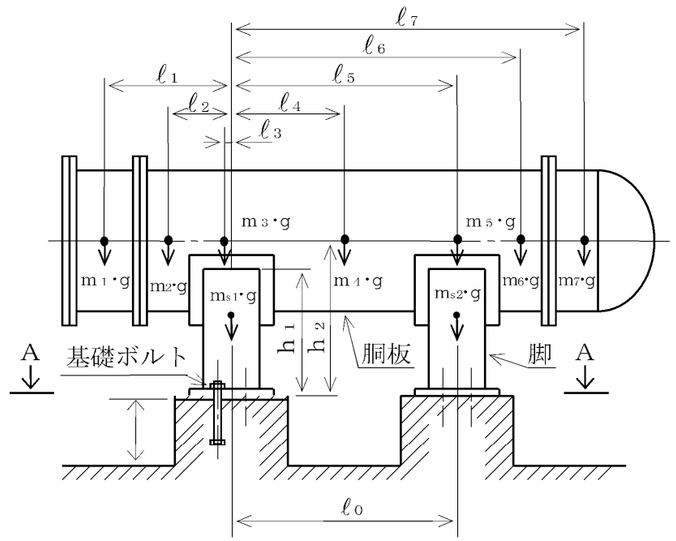
2.　機器要目

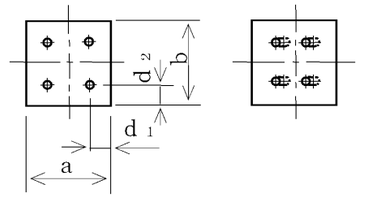
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N･mm)	M_2 (N･mm)	R_1 (N)	R_2 (N)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)

3.　計算数値

3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力

（単位：MPa）

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震				基準地震動Ｓ$_s$			
地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力								
内圧による応力 （鉛直方向地震時）								
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力								
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力								
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力								
組合せ応力								

(2)　一次応力

（単位：MPa）

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震				基準地震動Ｓ$_s$			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力									
内圧による応力 （鉛直方向地震時）									
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力									
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力									
運転時質量による脚反力 により生じる応力									
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力									
水平方向地震 による応力	引張り								
	せん断								
組合せ応力									

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　（単位：MPa）

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的地震				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力（鉛直方向地震時）									
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力									
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力									
水平方向地震による応力	引張り								
	せん断								
組合せ応力									

3.2　脚に生じる応力　　（単位：MPa）

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的地震		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮				
鉛直方向地震による応力	圧縮				
水平方向地震による応力	曲げ				
	せん断				
組合せ応力					

3.3　基礎ボルトに生じる応力　　（単位：MPa）

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的地震		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力				
水平方向地震による応力				

4.　結論

4.1　固有周期　　（単位：s）

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的地震		基準地震動Ｓ$_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜				
		一次				
		一次＋二次				
脚		組合せ				
基礎ボルト		引張り				
		せん断				

全て許容応力以下である。

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据え付け場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
									静水頭			

2. 機器要目

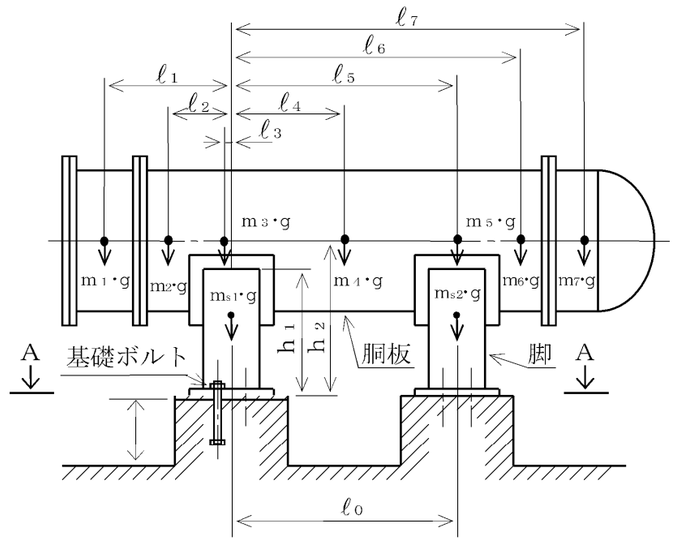
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

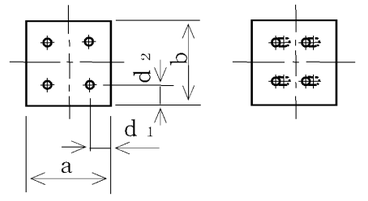
ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)

本記載例は，最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。





A～A矢視図

付録３　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 ····· 1
1.1　適用基準 ····· 1
1.2　計算条件 ····· 1
1.3　記号の説明 ····· 2
1.4　計算精度と数値の丸め方 ····· 5
2.　計算方法 ····· 5
2.1　固有周期の計算方法 ····· 5
2.2　応力の計算方法 ····· 6
3.　評価方法 ····· 11
3.1　固有周期の評価 ····· 11
3.2　応力の評価 ····· 11

1.　一般事項

本基本方針は，平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス又は，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会　昭和 62 年）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は，容器に対し水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　容器は，胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については，剛となるように設計する。

(4)　胴を，はりと考え変形モードは，曲げ及びせん断変形を考慮する。

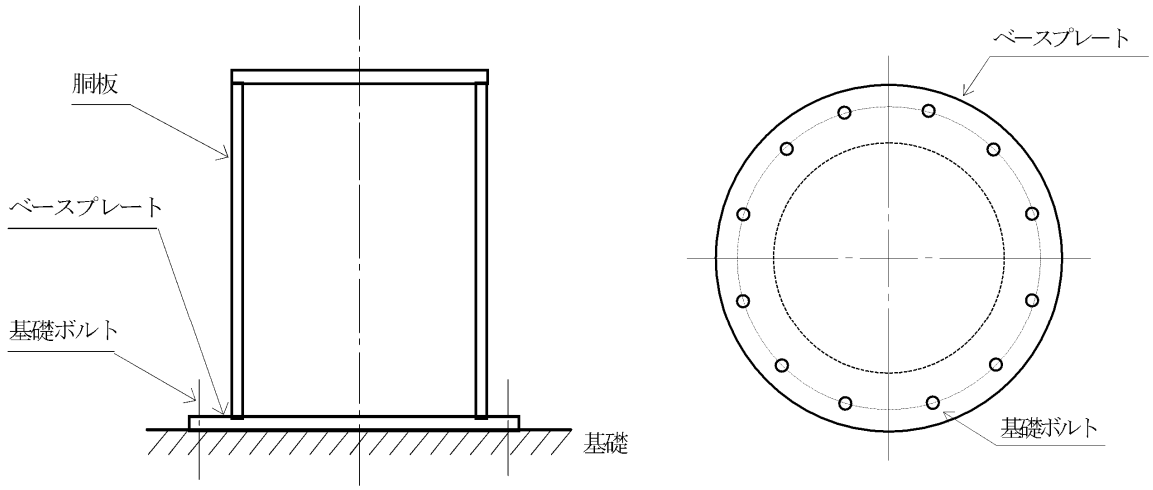


図 1-1　概要図

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F*	設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図 2-2 に示す距離）	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	基礎に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	Kg
m_e	容器の空質量	Kg
n	基礎ボルトの本数	－

記号	記号の説明	単位
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{ot}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）をいう。

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は，6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表1-1に示すとおりとする。

表1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	－	－	整数位
比重		－	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	－	－	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	－	－	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	－	－	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

＊2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

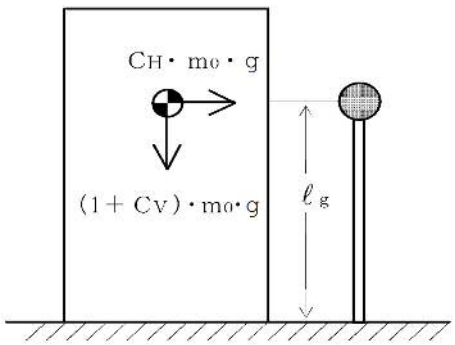


図2-1　固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=1000\Big/\left(\frac{\ell_g{}^2}{3\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_g}{G\cdot A_e}\right) \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t)^3\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは，次式で求める。

$$K_V=1000\Big/\left(\frac{\ell_g}{A\cdot E}\right) \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_Vは次式で求める。

$$T_V=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_e}{K_V}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法も用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho'\cdot g\cdot H\cdot D_i}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho'\cdot g\cdot H\cdot D_i\cdot C_V}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e\cdot g\cdot C_V}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell_g}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi1}+\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^2+\sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b)　組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi1}-\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.12)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Ｍａｘ{組合せ引張応力(σ_{ot})，組合せ引張応力(σ_{oc})} ･･･ (2.2.1.16)

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみにによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.24)$$

したがって，胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_2＝Ｍａｘ{組合せ引張応力(σ_{2t})，組合せ圧縮応力(σ_{2c})} ･･･ (2.2.1.25)

とする。

2.2.2　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。（図 2-2 参照）

以下にその手順を示す。

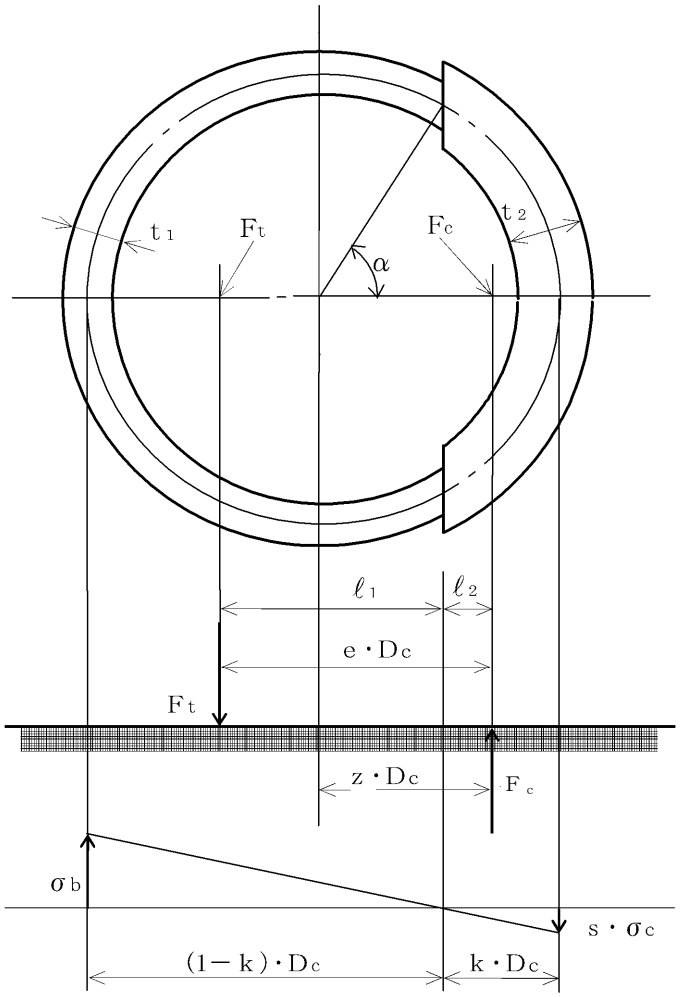


図 2-2　基礎の荷重説明図

a.　σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

b.　基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2\cdot k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

c. 各定数ｅ，ｚ，C_t及びC_cを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha\cdot\sin\alpha}\right.$$

$$\left.+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha\cdot+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_V)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_V)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

ここで,

$$M_s=C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell_g \quad (2.2.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.2.3）式及び（2.2.2.4）式においてαをπに近づけた場合の値ｅ＝0.75及びｚ＝0.25を（2.2.2.7）式又は（2.2.2.9）式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b=\frac{2\cdot F_t}{t_1\cdot D_c\cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_c=\frac{2\cdot F_c}{(t_2+ s\cdot t_1)\cdot D_c\cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.13)$$

ここで,

$$t_1=\frac{n\cdot A_b}{\pi\cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.14)$$

$$t_2=\frac{1}{2}\cdot(D_{bo}-D_{bi})-t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.2.15)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2)　せん断応力

$$\tau_b=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.2.16)$$

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1項で求めた固有周期から「V-2-1　耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

(1)　2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	許容応力S_a	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	設計引張強さS_uの0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点S_yの2倍以下であれば，疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1 \quad \cdots\cdots (3.2.1.1)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\leqq\dfrac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c=F \quad \cdots\cdots (3.2.1.2)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F}<\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}<\dfrac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c=F\cdot\left[1-\frac{1}{6800\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_1\left(\frac{8000\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.3)$$

$\dfrac{8000\cdot g}{F}\leqq\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t_s}\leqq 800$ のとき

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.4)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.5)$$

また，f_bは次による。

$\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\leqq\dfrac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b=F \quad \cdots\cdots (3.2.1.6)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F}<\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}<\dfrac{9600\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2+t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.7)$$

$\dfrac{9600\cdot g}{F}\leqq\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\leqq 800$ のとき

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.8)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.9)$$

η は安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$\eta = 1 \quad \cdots\cdots (3.2.1.10)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$\eta = 1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.11)$$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$ のとき

$$\eta = 1.5 \quad \cdots\cdots (3.2.1.12)$$

3.2.2　基礎ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4\cdot f_{to} - 1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (3.2.2.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (3.2.2.2)$$

ただし， f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

別添１　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書フォーマット

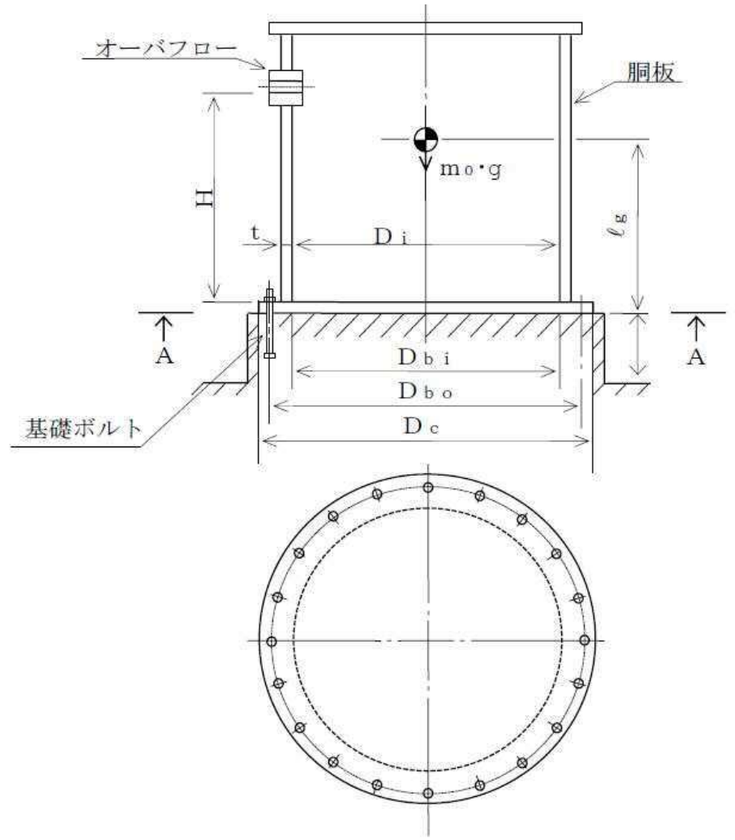
1.　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据え付け場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				

2.　機器要目

m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ_g (mm)	H (mm)	s	n

D_c (mm)	D_{bo} (mm)	D_{bi} (mm)	A_b (mm^2)	S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)



A～A矢視図

3.　計算数値

3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力　　（単位：MPa）

応力の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的地震			基準地震動Ｓｓ		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力							
鉛直方向地震による引張応力							
空質量による圧縮応力							
鉛直方向地震による軸方向応力							
水平方向地震による応力							
応力の和	引張側						
	圧縮側						
組合せ応力	引張り						
	圧縮						

(2)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　(単位：MPa)

応力の種類		弾性設計用地震動Ｓd又は静的地震			基準地震動Ｓs		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力							
水平方向地震による応力							
応力の和	引張側						
	圧縮側						
組合せ応力（変動値）	引張り						
	圧縮						

3.2　基礎ボルトに生じる応力　　(単位：MPa)

	弾性設計用地震動Ｓd又は静的地震動	基準地震動Ｓs
引張応力		
せん断応力		

4.　結論

4.1　固有周期　　(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

4.2　応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓd又は静的地震		基準地震動Ｓs	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一時一般膜				
		一次＋二次				
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$		$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$	
基礎ボルト		引張り				
		せん断				

付録４　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 ……1
1.1 適用基準 ……1
1.2 計算条件 ……1
1.3 記号の説明 ……2
1.4 計算精度と数値の丸め方 ……3
2. 計算方法 ……4
2.1 固有周期の計算方法 ……4
2.2 応力の計算方法 ……4
3. 評価方法 ……11
3.1 応力の評価 ……11
3.2 機能維持評価 ……11

1. 一般事項

本基本方針は，横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス又はＳ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

なお，本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する。（その場合は，ポンプをブロワ又はファンと読み替える。）

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，横軸ポンプにおける応力評価は，指針「6.6.2(4)c.ポンプ」に準じて，基礎ボルト及び取付ボルトの評価を行う。

1.2 計算条件

(1) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4) 転倒方向は図 1-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

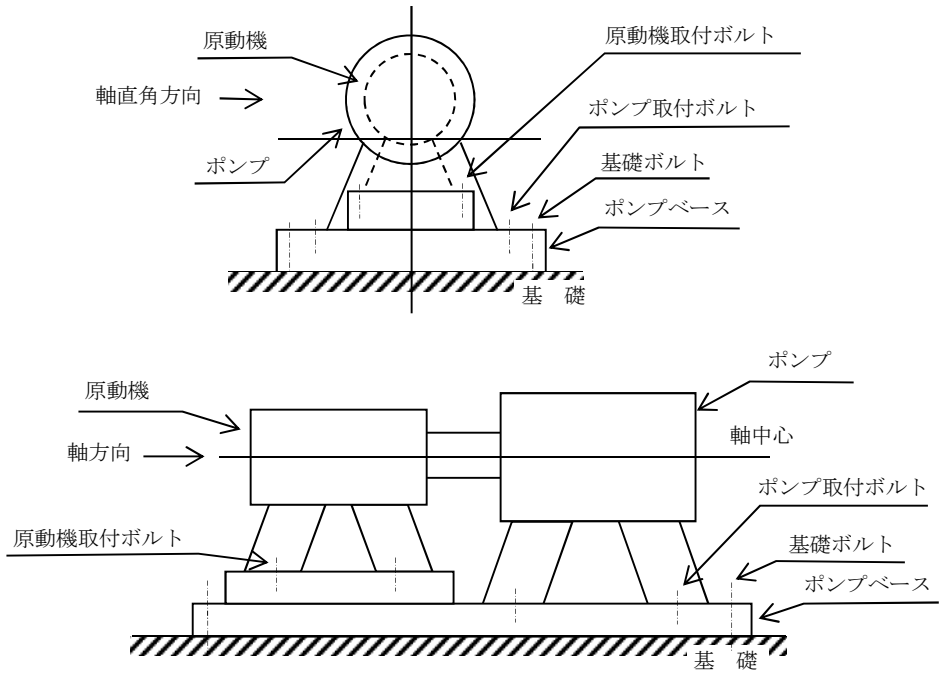


図 1-1 概 要 図

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_p	ポンプ振動による震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める材料の 40 ℃における値	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注 1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）

注 2：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字$_i$の意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：ポンプ取付ボルト

ｉ＝3：原動機取付ボルト

なお，ポンプと原動機間に減速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝4：減速機取付ボルト

注3：h_i及びm_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：ポンプ取付面

ｉ＝3：原動機取付面

なお，ポンプと原動機間に減速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝4：減速機取付面

注4：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりとする。

表1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって，全体的に一つの剛体と見なせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

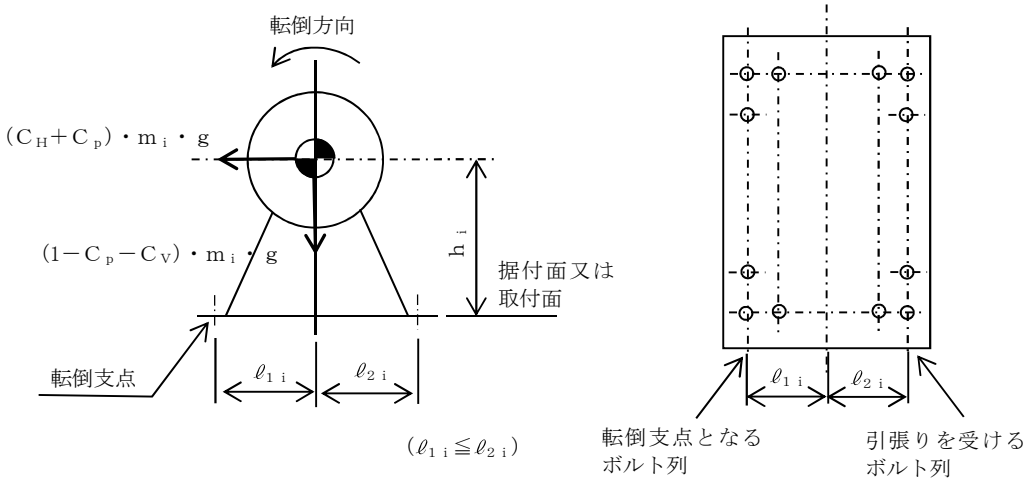


図 2-1(1)　計算モデル

（軸直角方向転倒-1　（1－C_p－C_V）≧0 の場合）

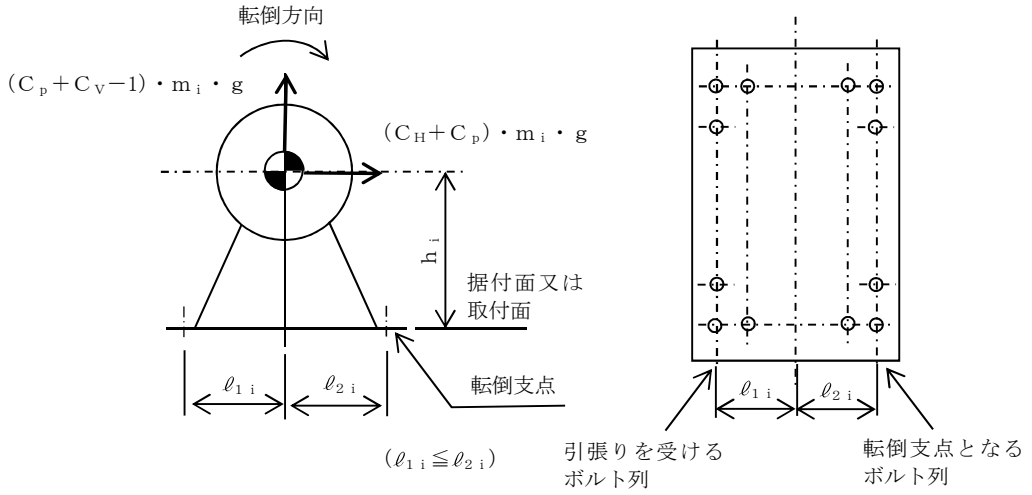


図 2-1(2)　計算モデル

（軸直角方向転倒-2　（1－C_p－C_V）＜0 の場合）

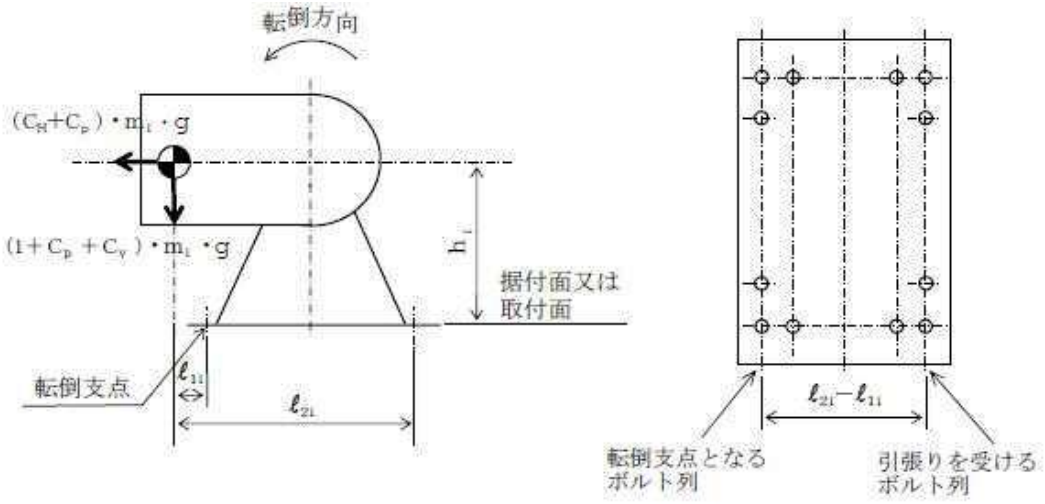


図 2-1(3)　計算モデル

（軸直角方向転倒-3　軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間にない場合で
（$\ell_{2\,i}+\ell_{1\,i}$）/（$\ell_{2\,i}-\ell_{1\,i}$）≧（C_V+C_p）の場合）

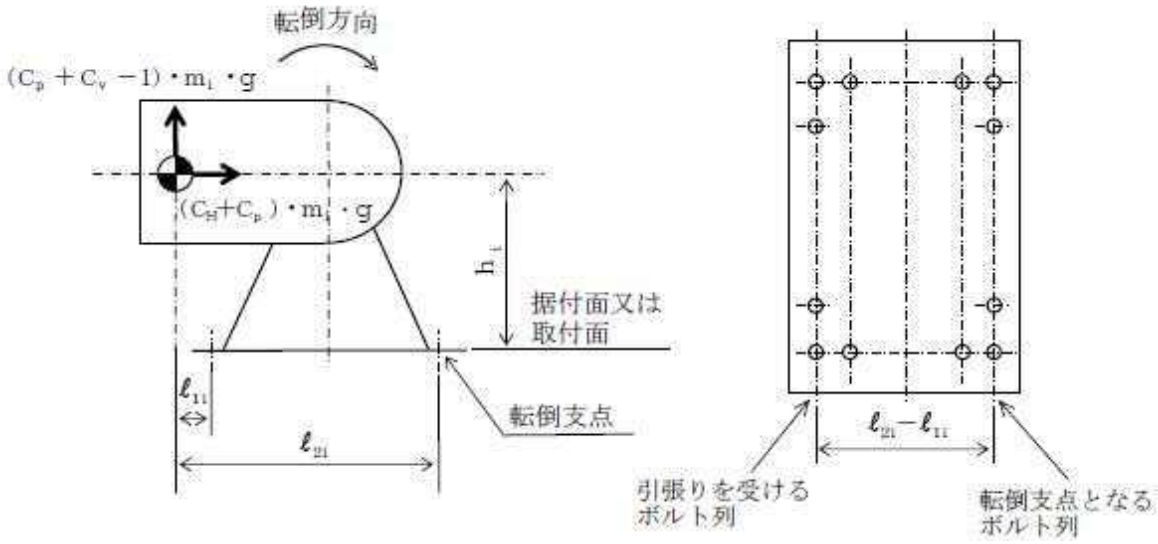


図 2-1(4)　計算モデル

（軸直角方向転倒-4　軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間にない場合で
（$\ell_{2\,i}+\ell_{1\,i}$）/（$\ell_{2\,i}-\ell_{1\,i}$）＜（C_V+C_p）の場合）

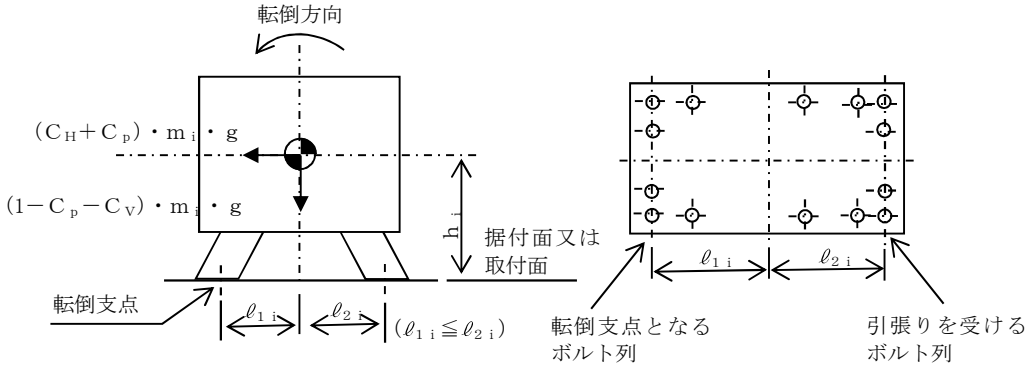


図 2-2(1)　計算モデル

（軸方向転倒-1　（1－C_p－C_V）≧0 の場合）

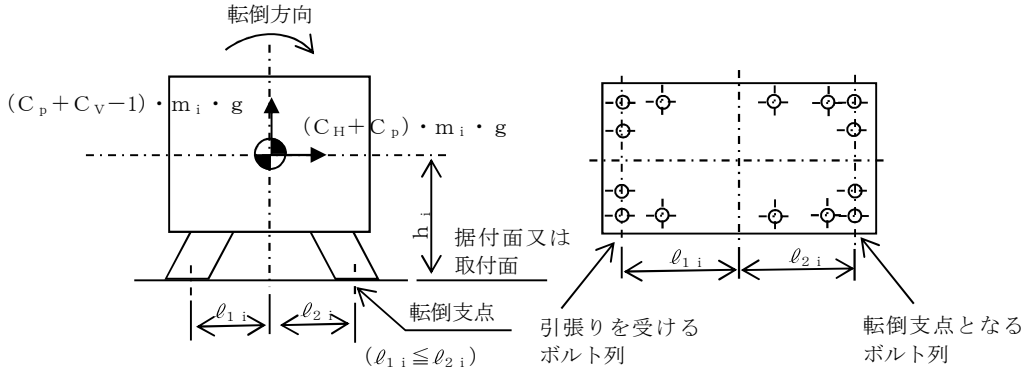


図 2-2(2)　計算モデル

（軸方向転倒-2　（1－C_p－C_V）＜0 の場合）

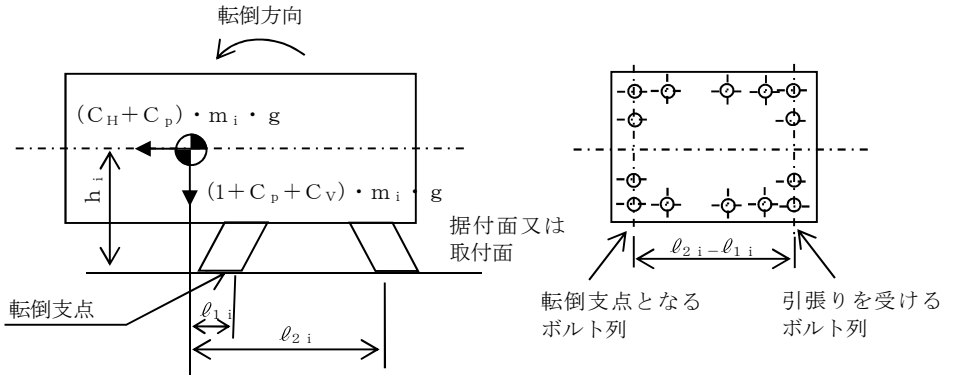


図 2-2(3)　計算モデル

（軸方向転倒-3　軸方向の重心位置が，両端のボルトの間にない場合で
$(\ell_{2i}+\ell_{1i})\ /\ (\ell_{2i}-\ell_{1i}) \geqq (C_V+C_p)$ の場合）

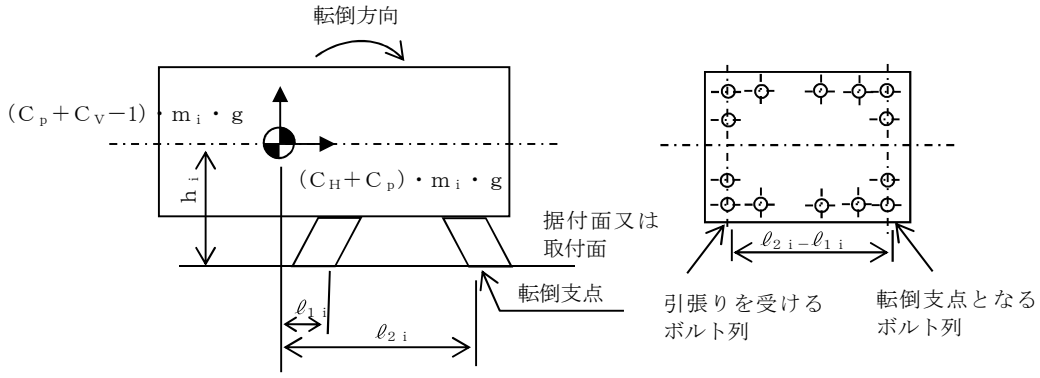


図 2-2(4)　計算モデル

（軸方向転倒-4　軸方向の重心位置が，両端のボルトの間にない場合で
$(\ell_{2i}+\ell_{1i})\ /\ (\ell_{2i}-\ell_{1i}) < (C_V+C_p)$ の場合）

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 2-1 及び図 2-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお，ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト（ｉ＝1）及び計算モデル図 2-2 の場合のボルト（ｉ＝1～4）については，ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

計算モデル図 2-1(1)及び 2-2(1)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H+C_p)\cdot h_i+M_p-m_i\cdot g\cdot (1-C_p-C_v)\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})}$$

$$=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H\cdot h_i+C_V\cdot \ell_{1i})+m_i\cdot C_p\cdot g\cdot (h_i+\ell_{1i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots (2.2.1)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_{bi}=$$

$$\frac{m_i\cdot g\cdot\sqrt{(C_H\cdot h_i)^2+(C_V\cdot \ell_{1i})^2}+m_i\cdot g\cdot C_p\cdot (h_i+\ell_{1i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots (2.2.2)$$

計算モデル図 2-1(2)及び 2-2(2)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H+C_p)\cdot h_i+M_p-m_i\cdot g\cdot (1-C_p-C_v)\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})}$$

$$=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H\cdot h_i+C_V\cdot \ell_{2i})+m_i\cdot C_p\cdot g\cdot (h_i+\ell_{2i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots (2.2.3)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_{bi}=$$

$$\frac{m_i\cdot g\cdot\sqrt{(C_H\cdot h_i)^2+(C_V\cdot \ell_{2i})^2}+m_i\cdot g\cdot C_p\cdot (h_i+\ell_{2i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

計算モデル図 2-1(3)及び図 2-2(3)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H+C_p)\cdot h_i+M_p+m_i\cdot g\cdot (l+C_p+C_v)\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})}$$

$$=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H\cdot h_i+C_V\cdot \ell_{1i})+m_i\cdot C_p\cdot g\cdot (h_i+\ell_{1i})+M_p+m_i\cdot g\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})} \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot\sqrt{(C_H\cdot h_i)^2+(C_V\cdot \ell_{1i})^2}+m_i\cdot g\cdot C_p\cdot (h_i+\ell_{1i})+M_p+m_i\cdot g\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})} \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

計算モデル図 2-1(4)及び図 2-2(4)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H+C_p)\cdot h_i+M_p+m_i\cdot g\cdot (C_p+C_v-l)\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})}$$

$$=\frac{m_i\cdot g\cdot (C_H\cdot h_i+C_V\cdot \ell_{2i})+m_i\cdot C_p\cdot g\cdot (h_i+\ell_{2i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})} \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot g\cdot\sqrt{(C_H\cdot h_i)^2+(C_V\cdot \ell_{2i})^2}+m_i\cdot g\cdot C_p\cdot (h_i+\ell_{2i})+M_p-m_i\cdot g\cdot \ell_{2i}}{n_{fi}\cdot (\ell_{2i}-\ell_{1i})} \quad \cdots\cdots (2.2.8)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_pは次式で求める。

$$M_P=\left(\frac{60}{2\cdot \pi\cdot N}\right)\cdot 10^6\cdot P \quad \cdots\cdots (2.2.9)$$

（1 kW＝10^6 N・mm/s）

ただし，ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合，ポンプ及び減速機取付ボルト（ｉ＝2 及び 4）における（2.2.9）式中のＮはポンプ回転速度とする。

また，C_pはポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で，次式で求める。

$$C_P=\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{H_p}{1000}\cdot\left(2\cdot \pi\cdot\frac{N}{60}\right)^2}{g\cdot 1000} \quad \cdots\cdots (2.2.10)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.11)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{2} \quad \cdots\cdots (2.2.12)$$

ただし，F_{bi}が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi}=(C_H+C_p)\cdot m_i\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.13)$$

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.14)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。せん断応力τ_{bi}はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sbi}以下であること。

$$f_{tsi}=1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi} \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ,

$$f_{tsi}\leqq f_{toi} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{toi}及びf_{sbi}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.2 機能維持評価

3.2.1 動的機能維持評価

「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた応答加速度と動的機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

「V-2-1-9 機能維持の基本方針」の表 4-1 に示す適用形式を外れる場合は，計算又は実験による機能維持の評価を実施することとし，個別計算書にその旨を記載する。

なお，動的機能確認済加速度を超える場合には，詳細検討により機能維持を満足することを確認する。

別添１　横軸ポンプの耐震性についての計算書フォーマット

1. 設計条件

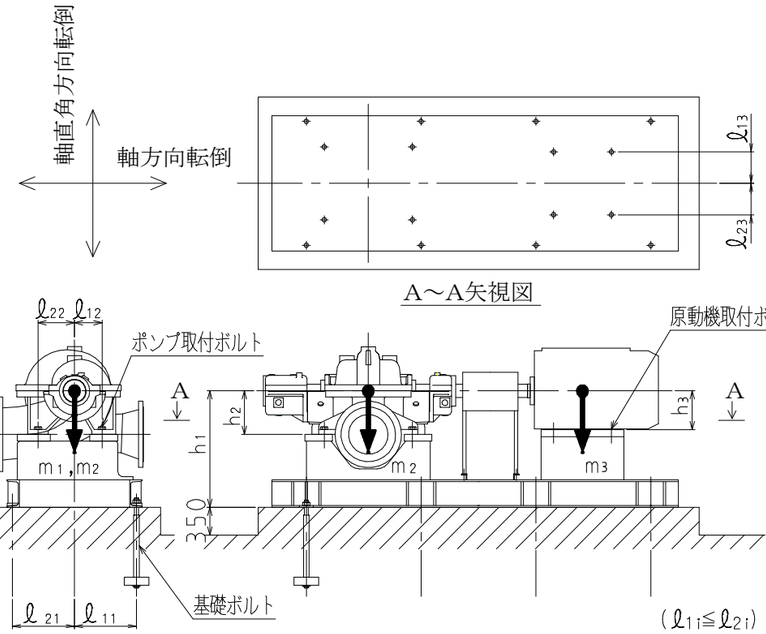
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動Sd又は静的震度		基準地震動Ss		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			

2. 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss
基礎ボルト (i=1)								
ポンプ取付ボルト (i=2)								
原動機取付ボルト (i=3)								

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)		転倒方向		M_p (N・mm)	
			弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss	弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss	弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss
基礎ボルト (i=1)								
ポンプ取付ボルト (i=2)								
原動機取付ボルト (i=3)								

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})



3.　計算数値

3.1　ボルトに作用する力　　（単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）				
ポンプ取付ボルト（i＝2）				
原動機取付ボルト（i＝3）				

4.　結論

4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト		引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

4.2　動的機能の評価結果　　（単位：×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

付録５　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 ……1
1.1 適用基準 ……1
1.2 計算条件 ……1
1.3 記号の説明 ……2
1.4 計算精度と数値の丸め方 ……4
2. 計算方法 ……5
2.1 固有周期の計算方法 ……5
2.2 応力の計算方法 ……5
3. 評価方法 ……8
3.1 固有周期の評価 ……8
3.2 応力の評価 ……8
3.3 機能維持評価 ……9

1.　一般事項

本基本方針は，たて軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス又はＳs機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987 及びＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年及び平成 3 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，たて軸ポンプにおける応力評価は，指針「6.6.2(4)c.ポンプ」に準じて，コラム（バレルケーシング及びコラムパイプ），支持部（取付ボルト）及び基礎ボルトの評価を行う。

1.2　計算条件

(1)　ポンプは多質点モデルで解析し，ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。

(2)　地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　ポンプは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし，水平方向の地震力を受けるものとする。

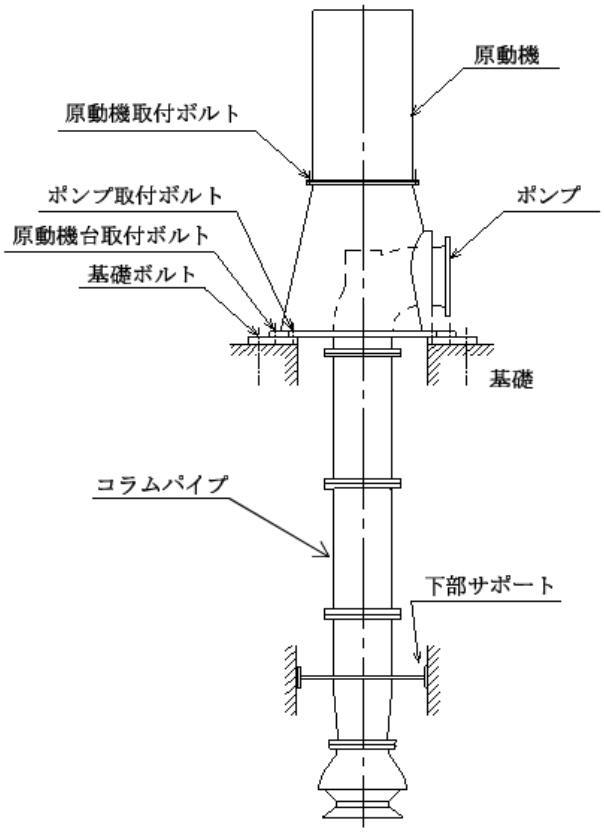


図 1-1　概　要　図

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
A_c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_p	ポンプ振動による震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D_c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D_i	ボルトのピッチ円直径	mm
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_p	予想最大両振幅	μm
M	図 2-1 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M_i	図 2-1 計算モデルの㋑，㋺，㋩及び㋥を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては，ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては，コラムパイプ総質量	kg
m_i	運転時質量	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
P	原動機出力	kw
P_c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q_{bi}	図 2-1 計算モデルの㋑，㋺，㋩及び㋥における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に定める値	MPa
S_a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S_u，S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値	MPa
S_y，S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
T_{Hi}	水平方向固有周期	s
T_{Vi}	鉛直方向固有周期	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm^3
π	円周率	―
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{cH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{cV}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{Zp}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta p}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪSME　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

注2：A_{bi}，D_i，d_i，F_i，F_i*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：ポンプ取付ボルト

ｉ＝3：原動機台取付ボルト

ｉ＝4：原動機取付ボルト

なお，ポンプ取付ボルト（上），（下）がある場合は，ｉ＝2：ポンプ取付ボルト（下），ｉ＝3：ポンプ取付ボルト（上）とし，ｉ＝3 をｉ＝4，ｉ＝4 をｉ＝5 とする。

注3：M_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：㋑

ｉ＝2：㋺

ｉ＝3：㋩

ｉ＝4：㋥

注4：m_iの添字iの意味は，以下のとおりとする。

i＝1：据付面

i＝2：ポンプ取付面

i＝3：原動機台取付面

i＝4：原動機取付面

なお，ポンプ取付面(上),(下)がある場合は，i＝2：ポンプ取付面(下)，i＝3：ポンプ取付面(上)とし，i＝3 をi＝4，i＝4 をi＝5 とする。

注5：T_{Hi}，T_{Vi}の添字iの意味は，固有周期の次数を示す。

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-1に示すとおりとする。

表1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

ポンプは図 2-1 計算モデルのように，軸とケーシングとに分けて，軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとして考え，計算機コード「ＮＡＳＴＲＡＮ」により固有周期を求める。

2.2 応力の計算方法

2.2.1 ボルトの応力

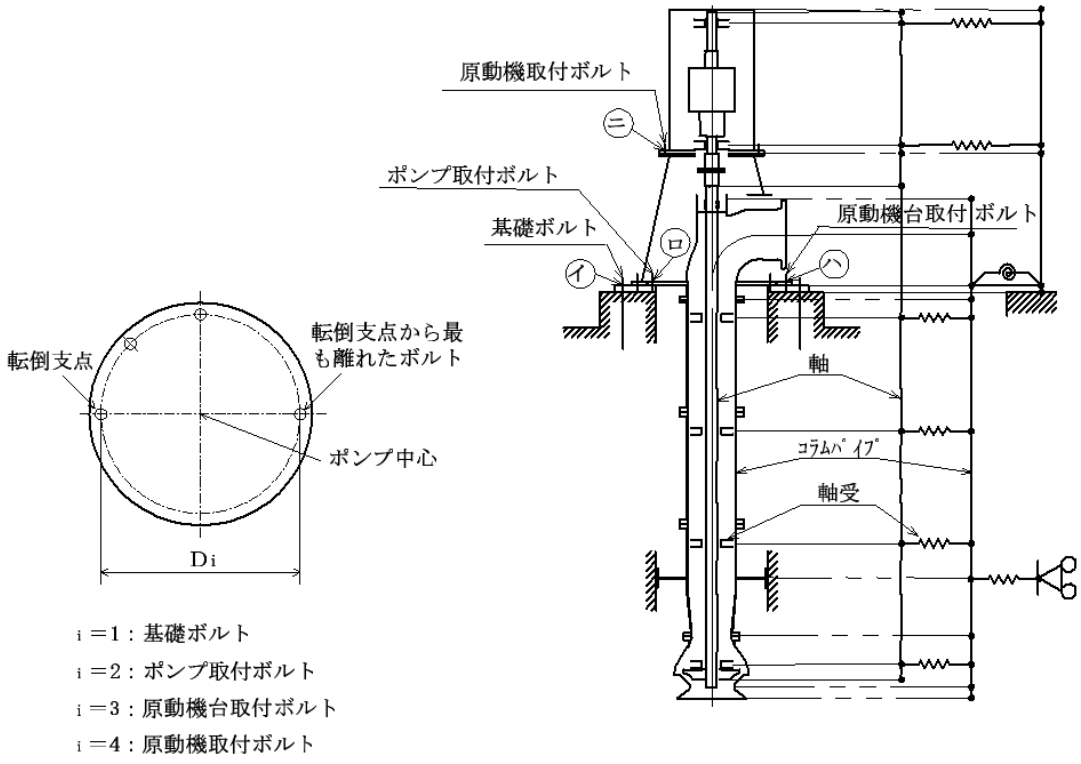


図 2-1 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお，転倒モーメント並びにせん断力は，計算機コード「ＮＡＳＴＲＡＮ」により算出するが，その際，水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し，鉛直方向には，設計震度と自重を考慮する。

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし，最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{bi}=\frac{M_i-(1-C_p-C_V)\cdot m_i\cdot g\cdot\frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8}\cdot n_{fi}\cdot D_i} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

ここで，M_iは計算機コード「ＮＡＳＴＲＡＮ」により求める。

また，C_pはポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で，次式で求める。

$$C_p=\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{H_p}{1000}\cdot\left(2\cdot\pi\cdot\frac{N}{60}\right)^2}{g\cdot 1000} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^2 \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

ただし，F_{bi}が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2)　せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。なお，基礎ボルト(ｉ＝1)については，ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は計算機コード「ＮＡＳＴＲＡＮ」により求めるQ_{bi}及びポンプ回転により作用するモーメントM_pを考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}+2\cdot\frac{M_p}{D_i}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_pは次式で求める。

$$M_p=\left(\frac{60}{2\cdot\pi\cdot N}\right)\cdot 10^6\cdot P \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

(1kW＝10^6N･mm/s)

2.2.2　バレルケーシング及びコラムパイプの応力

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1)　水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた各部に働くモーメントにより，曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{cH}=\frac{M}{Z} \quad \cdots\cdots (2.2.2.1)$$

(2)　鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV}=\frac{(1+C_V+C_p)\ \cdot m \cdot g}{A_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.2)$$

(3)　内圧による応力

$$\sigma_{\theta p}=\frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.3)$$

$$\sigma_{zp}=\frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma=Max\left(\sigma_{cH}+\sigma_{cV}+\sigma_{zp},\ \sigma_{\theta p}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から「V-2-1 耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2 応力の評価

3.2.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。

せん断応力τ_{bi}はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sbi}以下であること。

$$f_{tsi}=1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi} \quad \cdots\cdots (3.2.1)$$

かつ，

$$f_{tsi}\leqq f_{toi} \quad \cdots\cdots (3.2.2)$$

ただし，f_{toi}及びf_{sbi}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.2.2　バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

2.2.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	許容応力S_a	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの 1.2 倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	設計引張強さS_uの 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.3　機能維持評価

3.3.1　動的機能維持評価

「V-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた応答加速度と動的機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

「V-2-1-9　機能維持の基本方針」の表 4-1 に示す適用形式を外れる場合は，計算又は実験による機能維持の評価を実施することとし，個別計算書にその旨を記載する。

なお，動的機能確認済加速度を超える場合には，詳細検討により機能維持を満足することを確認する。

別添１　たて軸ポンプの耐震性についての計算書フォーマット

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動Sd又は静的震度		基準地震動Ss		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側

2. 機器要目

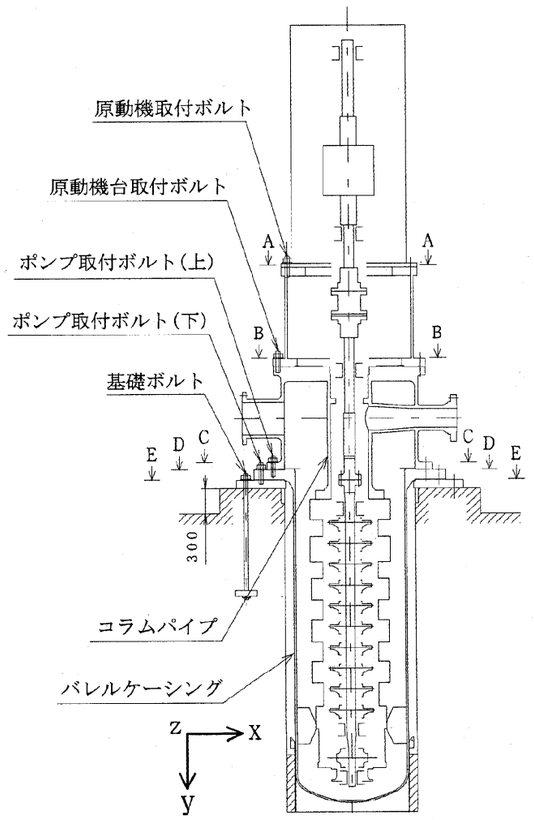
(1)ボルト

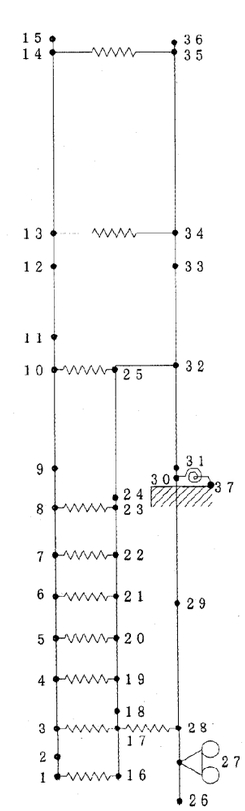
部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_f	n_{fi}	M_p (N・mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	
									弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss
基礎ボルト (i=1)										
ポンプ取付ボルト（下） (i=2)										
ポンプ取付ボルト（上） (i=3)										
原動機台取付ボルト (i=4)										
原動機取付ボルト (i=5)										

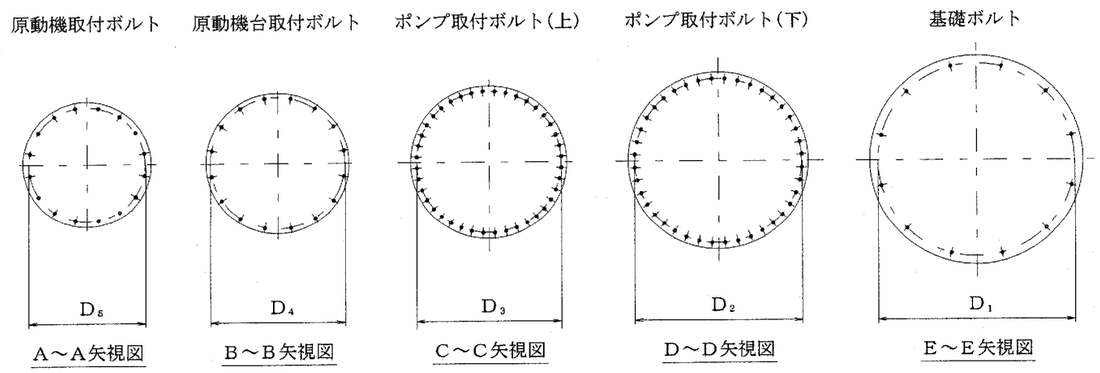
予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})

(2)バレルケーシング，コラムパイプ

部材	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング		
コラムパイプ		







3.　計算数値

(1)ボルトに作用する力

部材	M_i (N･mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（ｉ＝1）						
ポンプ取付ボルト（下）（ｉ＝2）						
ポンプ取付ボルト（上）（ｉ＝3）						
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）						
原動機取付ボルト（ｉ＝5）						

(2)バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部材	M (N･mm)	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

4.　結論

4.1　固有周期　　(単位：s)

モード	固有周期
水平１次	
鉛直１次	

4.2 ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SNB7	引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト（下）	SNB7	引張り				
		せん断				
ポンプ取付ボルト（上）	SNB7	引張り				
		せん断				
原動機台取付ボルト	SNB7	引張り				
		せん断				
原動機取付ボルト	SNB7	引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

4.3　バレルケーシング，コラムパイプの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		
		基準地震動S_s		
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		
		基準地震動S_s		

4.4　動的機能の評価結果　　(単位：×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

5.　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次モーメント (mm^4)	断面二次極 モーメント (mm^4)

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばねの方向	ばね定数

(4)　節点の付加質量

節点番号	付加質量 (kg)

(5)　材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (－)	材質

付録６　管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 1
1.1　概要 1
1.2　適用規格 1
2.　計算の基本方針 1
2.1　計算方針 1
2.2　計算方法 3
3.　計算書の構成 19
3.1　管の応力計算書 19
3.2　管の耐震性についての計算書 22

1.　一般事項

1.1　概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうち，管の応力計算書及び耐震性についての計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格

適用規格を以下に示す。

(1)実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）

(2)実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（以下「技術基準規則解釈」という。）

(3)発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）

(4)原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１・補－1984，ＪＥＡＧ４６０１－1987 及びＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版）（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和 59 年，昭和 62 年及び平成 3 年）（以下「指針」という。）

2.　計算の基本方針

2.1　計算方針

2.1.1　応力計算

管の応力計算における評価フローを図 2-1 に示す。設計基準対象施設（以下「ＤＢ施設」という。）及び重大事故等対処設備（以下「ＳＡ設備」という。）はそれぞれの施設の評価条件での設計・建設規格による評価を実施する。ただし，ＤＢ施設において，既工認評価結果が有り，かつ，評価条件変更がない場合*は既工認における評価結果の確認による評価とする。

次ページ以降に各管クラスにおける適用規格及び評価方法の考え方を示す。

注記　＊：評価条件変更がない場合とは，最高使用圧力又は最高使用温度に変更がない場合をいう。

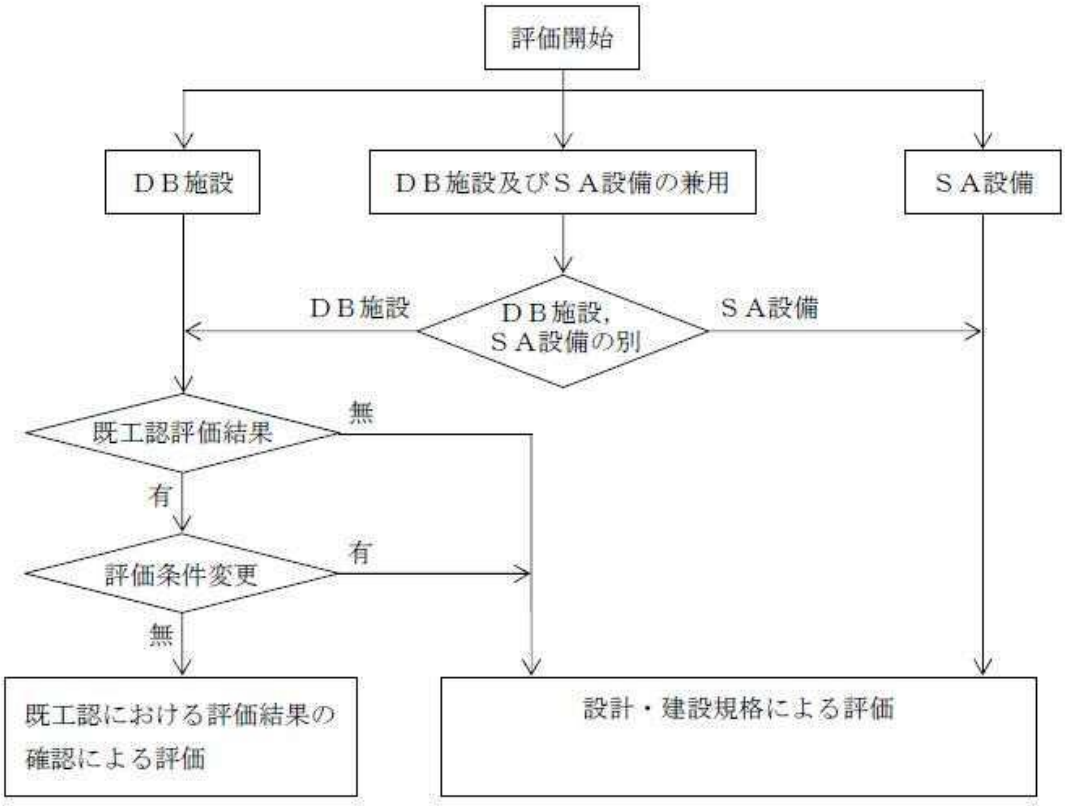


図 2-1　管の応力計算における評価フロー

(1)　クラス１管及びクラス２管

技術基準規則解釈において，技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造とは，設計・建設規格によることから，クラス１管及びクラス２管はそれぞれ，設計・建設規格　PPB-3500 及び PPC-3500 による評価を実施する。

(2)　重大事故等クラス２管

重大事故等クラス２管は技術基準規則第 55 条において，「設計上定める条件において，全体的な変形を弾性域に抑えること」，「設計上定める条件において，疲労破壊が生じないこと」及び「設計上定める条件において座屈が生じないこと」が要求されている。

全体的な変形を弾性域に抑えること及び座屈が生じないことに対しては，設計・建設規格 PPC-3520 による設計条件における一次応力評価を実施する。疲労破壊が生じないことに対しては，重大事故時が運転状態Ⅳを超える事象であり，発生回数が少なく，疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力が発生しないことから，疲労評価を省略する。

(3)　重大事故等クラス２管であってクラス１管

重大事故等クラス２管としては(2)と同様の評価を実施する。また，クラス１管としては，(1)と同様の評価を実施する。

既工認における評価結果が有り，かつ，評価条件変更がない場合は重大事故等クラス２管としての評価のみを実施する。加えて，ＳＡ設備としての評価条件がＤＢ施設としての評価条件に包絡される場合は，包絡した条件で評価を実施する*。

注記　＊：重大事故等クラス２管はクラス２管の規定への適合が要求されるが，クラス２管はその規定に関わらず，クラス１管の規定に準じてもよいと規定されている。また，当該管の材料及び構造は施設時に適用された規格の要求に適合している。したがって，既工認における評価結果が有り，かつ，評価条件変更がない場合は重大事故等クラス２管の評価として，既工認における第１種管（クラス１管）評価結果の確認による評価を実施する。

(4)　重大事故等クラス２管であってクラス２管

重大事故等クラス２管としては(2)と同様の評価を実施する。また，クラス２管としては，(1)と同様の評価を実施する。

既工認における評価結果が有り，かつ，評価条件変更がない場合は重大事故等クラス２管としての評価のみを実施する。加えて，ＳＡ設備としての評価条件がＤＢ施設としての評価条件に包絡される場合は包絡した条件で評価を実施する。

(5)　重大事故等クラス２管であってクラス３管以下の管

重大事故等クラス２管の評価として(2)と同様の評価を実施する。

2.1.2　耐震性についての計算

指針によるＤＢ施設，ＳＡ設備及びＤＢ施設とＳＡ設備の兼用範囲の耐震Ｓクラス又はＳ$_s$機能維持の評価を実施する。

管については，一次応力評価，一次＋二次応力評価及び疲労評価を実施する。

支持構造物については，「Ⅴ-2-1-11　機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき，一次応力評価及び一次＋二次応力評価を実施する。

弁については，動的機能維持要求弁に対する動的機能維持評価を実施し，計算により求めた弁応答加速度が機能維持確認済加速度以下であることを確認する。なお，弁応答加速度が機能維持確認済加速度を超過する場合は構造強度評価を実施し，許容値以下であることを確認する。

2.2　計算方法

2.2.1　解析による計算

応力計算及び耐震性についての計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては，スペクトルモーダル解析法を用いる。なお，解析は計算機コード「ＳＡＰ－Ⅴ」を使用する。

2.2.1.1　解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては，以下を考慮する。

(1)配管系は三次元多質点系モデルとし，曲げ，せん断，ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。

(2)弁等の偏心質量がある場合には，その影響を評価できるモデル化を行う。また，弁の剛性を考慮したモデル化を行う。

(3)同一モデルに含める範囲は，原則としてアンカ点からアンカ点までとする。

(4)分岐管がある場合には，その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし，母管に対して分岐管の径が十分に小さく，分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。

(5)質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに，代表的な振動モードを十分に表現できるように，適切な間隔で設ける。

(6)配管の支持構造物は，以下の境界条件として扱うことを基本とする。

a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。

b. スナッバ：拘束方向の剛性を考慮する。

c. アンカ：6 方向を固定と扱う。

d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。

(7)配管系の質量は，配管自体の質量（フランジ部含む。）の他に弁等の集中質量，保温材及び管内流体の質量を考慮するものとする。

2.2.1.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

(1) 荷重条件

a. 内圧

b. 機械的荷重（自重及びその他の長期的荷重）

c. 機械的荷重（逃し弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）

d. 地震荷重（基準地震動S_s，弾性設計用地震動S_d及び静的震度による慣性力及び相対変位）

(2) 設計用地震力

設計用地震力は，「Ⅴ-2-1-6 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した床応答スペクトルを用いる。また，減衰定数は「Ⅴ-2-1-5 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

なお，床応答スペクトルは配管系の重心レベルを求め，その重心レベルの上階の床応答スペクトルを使用する。

2.2.2　計算式

2.2.2.1　記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B_1，B_2，B_{2b}，B_{2r}	－	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）
C_1，C_2，C_{2b} C_{2r}，C_3，C_3'	－	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）
C_4	－	フェライト系材料に対し 1.1，オーステナイト系材料に対し 1.3
D_0	mm	管の外径
E	MPa	設計・建設規格　付録材料図表 Part6　表 1 に規定する縦弾性係数
E_{ab}	MPa	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格　付録材料図表 Part6　表 1 に規定する縦弾性係数の平均値
f	－	設計・建設規格　PPC-3530 に規定する許容応力低減係数
i_1	－	設計・建設規格　PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
i_2	－	設計・建設規格　PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値
K_1，K_2，K_{2b}，K_{2r}，K_3	－	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）
M_a	N･mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_{ab}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_{ar}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生ずるモーメント
M_b	N･mm	・応力計算：管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生ずるモーメント
M_b*	N･mm	地震動S_d又はS_sの慣性力により生ずるモーメントの全振幅

記号	単位	定義
M_{bb}	N･mm	・応力計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生ずるモーメント
M_{bp}	N･mm	・応力計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生ずるモーメント
M_{br}	N･mm	・応力計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る。）により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生ずるモーメント
M_{bs}	N･mm	・応力計算（S_n, S_p）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_n’）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の支持点の変位（熱によるものを除く。）及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_e）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震動の慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_c	N･mm	・応力計算：管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：地震動S_d又はS_sによる相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_{ip}	N･mm	・応力計算：管の機械的荷重により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生ずるモーメント

記号	単位	定義
M_{is}	N･mm	・応力計算（S_n，S_p）：管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_n’）：管の支持点の変位（熱によるものを除く。）及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_e）：管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管の地震動の慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
M_{rp}	N･mm	・応力計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生ずるモーメント
M_{rs}	N･mm	・応力計算（S_n，S_p）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_n’）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の支持点の変位（熱によるものを除く。）及び機械的荷重（自重を除く。）により生ずるモーメント ・応力計算（S_e）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生ずるモーメント ・耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震動の慣性力と相対変位により生ずるモーメントの全振幅
n_i	－	繰返し荷重ｉの実際の繰返し回数
N_i	－	繰返し荷重ｉの許容繰返し回数
P	MPa	・応力計算：最高使用圧力 ・耐震性についての計算：地震と組み合わせるべき運転状態における圧力
P_0	MPa	供用状態Ａ及びＢにおいて生ずる圧力
P_0’	MPa	供用状態における最大圧力
P_m	MPa	内面に受ける最高の圧力
S_a	MPa	設計・建設規格　PPC-3530 に規定する許容応力

記号	単位	定義
S_c	MPa	室温における設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_e	MPa	熱膨張応力
S_h	MPa	使用温度における設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_ℓ	MPa	使用温度における設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_m	MPa	設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 1 に規定する材料の設計応力強さ
S_n	MPa	一次＋二次応力
S_n'	MPa	一次＋二次応力（熱によるものを除く。）
S_p	MPa	ピーク応力
S_{prm}	MPa	一次応力
S_u	MPa	設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 9 に規定する材料の設計引張強さ
S_y	MPa	設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 8 に規定する材料の設計降伏点
t	mm	管の厚さ
T_a，T_b	℃	構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 a，b 内の平均温度 $\ell_a = \sqrt{(d_a t_a)}$，$\ell_b = \sqrt{(d_b t_b)}$ d_a及びd_b：構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径(mm) t_a及びt_b：a 及び b の範囲内における管の平均厚さ(mm)
ΔT	℃	温度差の変動範囲
ΔT_1	℃	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面温度差
ΔT_2	℃	管の内面又は外面において生ずる温度とそれに対応する線形化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度（負の場合は 0 とする）
Z，Z_i	mm^3	管の断面係数
Z_b	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
α	mm/mm℃	室温における設計・建設規格　付録材料図表 Part6　表 2 に規定する熱膨張係数

記号	単位	定義
α_a，α_b	mm/mm℃	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格　付録材料図表 Part6　表 2 に規定する熱膨張係数
ε_e	－	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_e = \sigma^* / E$ σ^*：弾性解析によるミーゼス相当応力
ε_{ep}	－	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力－ひずみ関係として，降伏応力をS_mの 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_{ep} = \sigma / E + \varepsilon^p$ σ：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 ε^p：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ

2.2.2.2　応力計算

(1)　設計・建設規格　PPB-3500 による評価

a.　一次応力（設計・建設規格　PPB-3520，3552，3562）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_{2b}\cdot M_{bp}/Z_b+B_{2r}\cdot M_{rp}/Z_r\leqq 1.5\cdot S_m$$

(b)　(a)以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_{ip}/Z_i\leqq 1.5\cdot S_m$$

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_{ip}/Z_i\leqq 1.5\cdot S_m$$

b.　一次＋二次応力（設計・建設規格　PPB-3531）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n=C_1\cdot P_0\cdot D_0/(2\cdot t)+C_{2b}\cdot M_{bs}/Z_b+C_{2r}\cdot M_{rs}/Z_r+C_3\cdot E_{ab}\cdot|\alpha_a\cdot T_a-\alpha_b\cdot T_b|\leqq 3\cdot S_m$$

(b)　(a)以外の管

$$S_n=C_1\cdot P_0\cdot D_0/(2\cdot t)+C_2\cdot M_{is}/Z_i+C_3\cdot E_{ab}\cdot|\alpha_a\cdot T_a-\alpha_b\cdot T_b|\leqq 3\cdot S_m$$

c.　ピーク応力（設計・建設規格　PPB-3532）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_p=K_1\cdot C_1\cdot P_0\cdot D_0/(2\cdot t)+K_{2b}\cdot C_{2b}\cdot M_{bs}/Z_b+K_{2r}\cdot C_{2r}\cdot M_{rs}/Z_r+K_3\cdot E\cdot\alpha\cdot|\Delta T_1|/1.4+K_3\cdot C_3\cdot E_{ab}\cdot|\alpha_a\cdot T_a-\alpha_b\cdot T_b|+E\cdot\alpha\cdot|\Delta T_2|/0.7$$

(b)　(a)以外の管

$$S_p=K_1\cdot C_1\cdot P_0\cdot D_0/(2\cdot t)+K_2\cdot C_2\cdot M_{is}/Z_i+K_3\cdot E\cdot\alpha\cdot|\Delta T_1|/1.4+K_3\cdot C_3\cdot E_{ab}\cdot|\alpha_a\cdot T_a-\alpha_b\cdot T_b|+E\cdot\alpha\cdot|\Delta T_2|/0.7$$

d.　繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格　PPB-3533）

$$S_\ell=S_p/2$$

e.　許容繰返し回数（設計・建設規格　PPB-3534）

設計・建設規格　添付 4-2　3.1 及び 3.2 を用いて，設計・建設規格　PPB-3533 に従って算出された繰返しピーク応力強に対応する許容繰返し回数N_iを算出する。

f.　疲労累積係数（設計・建設規格　PPB-3535）

$$\Sigma(n_i/N_i)\leqq 1.0$$

g.　簡易弾塑性解析（設計・建設規格　PPB-3536）

(a)　設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 1 に定める当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さとの比が 0.8 以下であること。

(b)　供用状態Ａ及びＢにおいて生ずる当該部分の温度は，次の値を超えないこと。

イ．　低合金鋼，マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼　　370℃

ロ．　オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金　　430℃

(c)　一次＋二次応力(熱によるものを除く。)

イ.　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + C_3' \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leqq 3 \cdot S_m$$

ロ.　イ.以外の管

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + C_3' \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leqq 3 \cdot S_m$$

(d)　供用状態Ａ及びＢにおける設計・建設規格　PPB-3533 の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとした値は，設計・建設規格　添付 4-2，3.1 及び 3.2 における 10 回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えないこと。

(e)　供用状態Ａ及びＢにおける次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとし，設計・建設規格　添付 4-2，3.1 及び 3.2 において，これに対応する許容繰返し回数が実際の繰返し回数以上であること。この場合において，実際の繰返し回数が 2 種類以上ある場合は，疲労累積係数が 1 以下でなければならない。

$S_\ell = K_e \cdot S_p / 2$

K_e：次の計算式により計算した値

イ.　$S_n < 3 \cdot S_m$の場合

$K_e = 1$

ロ.　$S_n \geqq 3 \cdot S_m$場合

（イ）　$K < B_0$の場合

ⅰ.　$S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$K_e = K_e{}^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$

ⅱ.　$S_n / (3 \cdot S_m) \geqq [(q + A_0 / K - 1) - \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合

$K_e = K_e' = 1 + (q - 1)(1 - 3 \cdot S_m / S_n)$

（ロ） K≧B_0の場合

ⅰ． $S_n/(3\cdot S_m)<[(q-1)-\sqrt{\{A_0\cdot(1-1/K)\cdot(q-1)\}}]/a$ の場合

$K_e=K_e{}^{**}=a\cdot S_n/(3\cdot S_m)+A_0\cdot(1-1/K)+1-a$

ⅱ． $S_n/(3\cdot S_m)\geqq[(q-1)-\sqrt{\{A_0\cdot(1-1/K)\cdot(q-1)\}}]/a$ の場合

$K_e=K_e{}'=1+(q-1)\cdot(1-3\cdot S_m/S_n)$

ここで,

$K=S_p/S_n$,

$a=A_0\cdot(1-1/K)+(q-1)-2\cdot\sqrt{\{A_0\cdot(1-1/K)\cdot(q-1)\}}$

q，A_0，B_0：下表に掲げる材料の種類に応じ，それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A_0	B_0
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n\geqq3\cdot S_m$の場合，2.2.2.2(1)g.(e)ロ.に関わらず，次の計算式により計算した値を用いても良い。

$K_e=\varepsilon_{ep}/\varepsilon_e$

(f) 熱膨張応力

イ． 管台及び突合せ溶接式ティー

$S_e=C_{2b}\cdot M_{bs}/Z_b+C_{2r}\cdot M_{rs}/Z_r\leqq3\cdot S_m$

ロ． (イ)以外の管

$S_e=C_2\cdot M_{is}/Z_i\leqq3\cdot S_m$

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

$\Delta T\leqq1.4\cdot y\cdot S_y/(E\cdot\alpha)\cdot C_4$

y ：xの値に応じ下表に示す値

x	0.3	0.5	0.7	0.8
y	3.33	2.00	1.20	0.80

（備考）表中の値の中間の値は，比例法によって計算する。

x ：次式により計算した値

$x=P_0{}'\cdot D_0/(2\cdot t)\cdot1/S_y$

(2)　設計・建設規格　PPC-3500 による評価

a.　一次応力（設計・建設規格　PPC-3520）

(a)　最高使用圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）による一次応力

イ.　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_{2b}\cdot M_{ab}/Z_b+B_{2r}\cdot M_{ar}/Z_r\leqq 1.5\cdot S_h$$

ロ.　イ.以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_a/Z\leqq 1.5\cdot S_h$$

(b)　内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重）による一次応力

イ　.管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm}=B_1\cdot P_m\cdot D_0/(2\cdot t)+B_{2b}\cdot(M_{ab}+M_{bb})/Z_b+B_{2r}\cdot(M_{ar}+M_{br})/Z_r\leqq 1.8\cdot S_h$$

ロ.　イ.以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P_m\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot(M_a+M_b)/Z\leqq 1.8\cdot S_h$$

b.　一次＋二次応力（設計・建設規格　PPC-3530）

(a)　最高使用圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）による一次＋二次応力

$$S_n=P\cdot D_0/(4\cdot t)+(0.75\cdot i_1\cdot M_a+i_2\cdot M_c)/Z$$

(b)　内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重（自重その他の長期的荷重及び逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重）による一次＋二次応力

$$S_n=P\cdot D_0/(4\cdot t)+\{0.75\cdot i_1\cdot(M_a+M_b)+i_2\cdot M_c\}/Z$$

(c)　(a)に対する許容応力

$$S_a=1.25\cdot f\cdot S_c+(1+0.25\cdot f)\cdot S_h$$

(d)　(b)に対する許容応力

$$S_a=1.25\cdot f\cdot S_c+(1.2+0.25\cdot f)\cdot S_h$$

2.2.2.3　耐震性についての計算

(1)　クラス１管及び重大事故等クラス２管であってクラス１管

計算式は以下に示すa.～e.による。また，荷重の組合せ及び許容応力をそれぞれ，表2-1及び表2-2に示す。

a.　一次応力（指針）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_{2b}\cdot M_{bp}/Z_b+B_{2r}\cdot M_{rp}/Z_r$$

(b)　(a)以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_{ip}/Z_i$$

b.　一次＋二次応力（指針）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_n=C_{2b}\cdot M_{bs}/Z_b+C_{2r}\cdot M_{rs}/Z_r$$

(b)　(a)以外の管

$$S_n=C_2\cdot M_{is}/Z_i$$

c.　ピーク応力（指針）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_p=K_{2b}\cdot C_{2b}\cdot M_{bs}/Z_b+K_{2r}\cdot C_{2r}\cdot M_{rs}/Z_r$$

(b)　(a)以外の管

$$S_p=K_2\cdot C_2\cdot M_{is}/Z_i$$

d.　一次＋二次応力（指針）

繰返しピーク応力強さ

$$S_\ell=K_e\cdot S_p/2$$

e.　疲労累積係数（指針）

$$\Sigma(n_i/N_i)\leqq 1.0$$

(2)　(1)を除く管

計算式は以下に示すa.～b.による。また，荷重の組合せ及び許容応力をそれぞれ，表2-3及び表2-4に示す。

a.　一次応力

$$S_{prm}=P\cdot D_0/(4\cdot t)+0.75\cdot i_1\cdot(M_a+M_b)/Z$$

b.　一次＋二次応力

$$S_n=(0.75\cdot i_1\cdot M_b*+i_2\cdot M_c)/Z$$

2.2.3　荷重の組合せ及び許容応力

耐震性についての計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2-1　荷重の組合せ（ＤＢ施設）

管クラス	設備	荷重の組合せ*1	許容応力状態
クラス２管	原子炉格納容器バウンダリ	I_L+S_d	III_AS
		II_L+S_d	
		IV_L（Ｌ）＋S_d（ＥＣＣＳ等*2のみ）	
		I_L+S_s	IV_AS
		II_L+S_s	
		V_L（Ｌ）＋S_d	V_AS
		V_L（Ｌ）＋S_s	
クラス１管 クラス２以下の管	上記を除く設備	I_L+S_d	III_AS
		II_L+S_d	
		IV_L（Ｌ）＋S_d（ＥＣＣＳ等*2のみ）	
		I_L+S_s	IV_AS
		II_L+S_s	
		IV_L（Ｌ）＋S_d*3（ＥＣＣＳ等*2のみ）	

注記　＊1：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態を示す。

＊2：ＥＣＣＳ等とは，非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統を示す。

＊3：クラス１管においてのみ考慮する。

表 2-2　荷重の組合せ（ＳＡ設備）

管クラス	設備	荷重の組合せ*1	許容応力状態
重大事故等クラス２管	原子炉格納容器バウンダリ	V_L（Ｌ）＋S_d*2	V_AS
		V_L（Ｌ）＋S_s	
	上記を除く設備	V_L+S_s	V_AS

注記　＊1：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態を示す。

＊2：荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（Ｌ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

表 2-3　荷重の組合せ（ＤＢ施設とＳＡ設備の兼用）

管クラス	設備	荷重の組合せ*1	許容応力状態
重大事故等クラス２管であってクラス１管	原子炉冷却材圧力バウンダリ	I_L+S_d	III_AS
		II_L+S_d	
		IV_L（L）$+S_d$（ＥＣＣＳ等*2のみ）	
		I_L+S_s	IV_AS
		II_L+S_s	
		IV_L（L）$+S_d$（ＥＣＣＳ等*2以外）	
重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管	原子炉格納容器バウンダリ	I_L+S_d	III_AS
		II_L+S_d	
		IV_L（L）$+S_d$（ＥＣＣＳ等*2のみ）	
		I_L+S_s	IV_AS
		II_L+S_s	
		V_L（L）$+S_d$	V_AS
		V_L（L）$+S_s$	
	上記を除く設備	I_L+S_d	III_AS
		II_L+S_d	
		IV_L（L）$+S_d$（ＥＣＣＳ等*2のみ）	
		I_L+S_s	IV_AS
		II_L+S_s	
		V_L+S_s	V_AS

注記　＊1：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態を示す。

＊2：ＥＣＣＳ等とは，非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統を示す。

表 2-4　許容応力（クラス１管及び重大事故等クラス２管であってクラス１管）

許容応力状態	一次一般 膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む。）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
$\mathrm{III_AS}$	$1.5 \cdot S_m$	Min（$2.25 \cdot S_m$，$1.8 \cdot S_y$）*2 ただし，ねじりによる応力が$0.55 \cdot S_m$を超える場合は，曲げとねじりによる応力について$1.8 \cdot S_m$とする。	$3 \cdot S_m$ S_d又はS_s地震動のみによる応力振幅について評価する。	S_d又はS_s地震動のみによる疲労累積係数と運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲労累積係数の和が1.0以下であること。
$\mathrm{IV_AS}$ $\mathrm{V_AS}$*1	$2 \cdot S_m$	Min（$3 \cdot S_m$，$2 \cdot S_y$）*2 ただし，ねじりによる応力が$0.73 \cdot S_m$を超える場合は，曲げとねじりによる応力について$2.4 \cdot S_m$とする。		

注記　＊1：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$は許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を使用し，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$として評価を実施する。

＊2：許容応力状態$\mathrm{III_AS}$，$\mathrm{IV_AS}$と供用状態C，Dを考慮し，指針と設計・建設規格に定める値の内，いずれか小さい方の値とする。

表 2-5　許容応力（クラス１管及び重大事故等クラス２管であってクラス１管を除く。）

許容応力状態	一次一般 膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む。）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
$\mathrm{III_AS}$ $\mathrm{B_AS}$	Min（S_y,$0.6S_u$） ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については$1.2 \cdot S_h$としてもよい。	S_y ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については$1.2 \cdot S_h$としてもよい。	S_d又はS_s地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が$2 \cdot S_y$以下であれば，疲れ解析は不要である。	
$\mathrm{IV_AS}$ $\mathrm{V_AS}$*	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$		

注記　＊：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$は許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を使用し，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$として評価を実施する。

2.2.4　計算精度と桁処理方法

計算精度は6桁以上を確保する。表示する数値の桁処理方法は表2-6に示すとおりである。

表2-6　数値の桁処理方法

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力*1		MPa	－	－	小数点以下第2位*2
温度		℃	－	－	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	－	－	小数点以下第1位
	鳥瞰図記載	mm	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
刺激係数		－	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
応力	算出応力	MPa*3	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：必要に応じてkPaを使用し，MPa表示を（　　）内に併記する。また，静水頭は「静水頭」と表示する。

＊2：必要に応じて小数点以下第3位又は第4位を用いる。

＊3：指針では「kg/mm^2」（ＳＩ単位：N/mm^2）を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

＊4：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 計算書の構成

3.1 管の応力計算書

(1) 概要

本基本方針に基づき，管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

a. 概略系統図

本項目記載内容は管の耐震性についての計算書に含まれているため，当該計算書番号を記載の上，添付を省略する。ただし，工事計画記載範囲のすべてについて既工認における評価結果の確認による評価を実施した系統については，既工認の計算書番号等を記載のうえ，添付を省略する。

b. 鳥瞰図

工事計画記載範囲の管を含む解析モデルの解析モデル図を添付する。ただし，以下に該当する場合は，その旨を記載のうえ，添付を省略する。

(a) 本項目記載内容が管の耐震性についての計算書に含まれる範囲

当該計算書番号を記載のうえ，添付を省略する。

(b) 既工認における評価結果の確認による評価を実施した範囲

既工認の計算書番号等を記載の上，添付を省略する。

(3) 計算条件

本項目記載内容及び添付フォーマットを以下に示す。ただし，鳥瞰図の添付を省略した範囲については，同様の理由で添付を省略する。

a. 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス

b.　材料及び許容応力

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力（MPa）＊			
		S_m	S_y	S_u	S_h

注記　＊：評価に使用しない許容応力については欄を設けない。

(4)　評価結果

工事計画記載範囲の管の各応力区分における最大発生応力の評価点の評価結果を示した表を解析モデル単位に添付する。添付フォーマットを以下に示す。

ただし，既工認における評価結果の確認による評価を実施した範囲については，既工認の計算書番号等を記載のうえ，添付を省略する。また，ＳＡ設備としての最高使用温度がＤＢ施設としての最高使用温度に包絡されない場合で，許容応力値に変更がないことを理由に既工認における評価結果の確認による評価を実施した範囲については，その旨を計算書に記載する。

a.　設計・建設規格　PPB-3500 による評価結果

鳥瞰図番号

供用状態	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次＋二次応力評価 (MPa)				熱応力評価 (℃)		疲労評価
				一次応力	許容応力	一次＋二次応力	熱膨張応力	熱を除いた一次＋二次応力	許容応力	温度差の変動範囲	許容温度差	疲労累積係数
				S_{prm}	$1.5・S_m$	S_n	S_e	S_n'	$3・S_m$	ΔT		U
(A，B)			S_{prm}	Max	$1.5・S_m$							
(A，B)			S_n			Max			$3・S_m$			
(A，B)			S_e				Max		$3・S_m$			
(A，B)			S_n'					Max	$3・S_m$			
(A，B)			U									Max

b.　設計・建設規格　PPC-3500 による評価結果

鳥瞰図	供用状態	最大応力評価点	最大応力区分*1	一次応力評価 (MPa)		一次＋二次応力評価 (MPa)	
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力*2
				S_{prm}（1）	1.5・S_h	S_n（a）	S_a（c）
				S_{prm}（2）	1.8・S_h	S_n（b）	S_a（d）
鳥瞰図番号	（A，B）		S_{prm}（1）	Max	1.5・S_h		
	（A，B）		S_n（a）			Max	S_a（c）
	（A，B）		S_{prm}（2）	Max	1.8・S_h		
	（A，B）		S_n（b）			Max	S_a（d）

注記　＊1：S_{prm}（1），S_{prm}（2）はそれぞれ，設計・建設規格　PPC-3520(1)，(2)に基づき計算した一次応力，S_n（a），S_n（b）はそれぞれ，設計・建設規格　PPC-3530(1)a，b に基づき計算した一次＋二次応力を示す。

＊2：S_a（c），S_a（d）はそれぞれ，設計・建設規格　PPC-3530(1)c，d に基づき計算した許容応力を示す。

c.　設計・建設規格　PPC-3520 による評価結果

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分*	一次応力評価（MPa）	
			計算応力	許容応力
			S_{prm}（1）	1.5・S_h
			S_{prm}（2）	1.8・S_h
鳥瞰図番号		S_{prm}（1）	Max	1.5・S_h
		S_{prm}（2）	Max	1.8・S_h

注記　＊：S_{prm}（1），S_{prm}（2）はそれぞれ，設計・建設規格　PPC-3520(1)，(2)に基づき計算した一次応力を示す。

3.2　管の耐震性についての計算書

(1)　概要

本基本方針に基づき，管の耐震性についての計算を実施した結果を示す旨を記載する。

a.　管

各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。なお，既工認における評価結果が有る範囲については，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下，裕度という。）が最小となる解析モデルを代表として記載する。

b.　支持構造物

各系統に含まれる支持点の内，支持点荷重が最大となる支持点を代表として記載する。

c.　弁

機能維持確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

(2)　概略系統図及び鳥瞰図

a.　概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b.　鳥瞰図

工事計画記載範囲の管を含む解析モデルの解析モデル図を添付する。

(3)　計算条件

a.　設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号示す。

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震クラス

b.　材料及び許容応力

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力（MPa）*			
		S_m	S_y	S_u	S_h

注記　＊：評価に使用しない許容応力については“―”と記載する。

(4) 解析結果及び評価

本項目記載内容及び添付フォーマットを以下に示す。

a. 固有周期及び設計震度

下表は耐震Ｓクラスの場合を示す。なお，Ｓ$_s$機能維持評価の場合は，「Ｓ$_d$及び静的震度」欄及び「静的震度」欄を削除したものを使用する。

鳥瞰図番号

耐震クラス		S					
適用する地震動等		Ｓ$_d$及び静的震度			Ｓ$_s$		
設計用床応答スペクトル	水平方向						
	鉛直方向						
モード	固有周期(s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向	Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向
1次							
2次							
…							
8次							
n次							
n＋1次*4		－	－	－	－	－	－
動的震度*2							
静的震度*3					－	－	－

注記 ＊1：各モードの固有周期に対し，床応答スペクトルより得られる震度を示す。

＊2：Ｓ$_d$又はＳ$_s$地震動に基づく最大床応答加速度より定めた震度を示す。

＊3：3.6・Ｃ$_I$及び1.2・Ｃ$_V$より定めた震度を示す。

＊4：固有周期が0.050s以下であることを示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Y方向
1次				
2次				
…				
8次				
n次				

代表的振動モード図

３次モードまでを代表として，各質点の変位の相対量・方向を示した振動モード図を添付する。

b. 評価結果

(a) 管の応力評価結果

工事計画記載範囲の管の応力評価結果を示した表を解析モデル単位に添付する。

イ. クラス１管及び重大事故等クラス２管であってクラス１管

（イ） ねじり＋曲げ応力評価を除く評価結果

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力	許容応力	ねじり応力	許容応力	一次＋二次応力	許容応力	疲労累積係数
					S_{prm}（S_d）	Min（2.25・S_m，1.8・S_y）	S_t（S_d）	0.55・S_m	S_n（S_d）	3・S_m	U＋US$_d$
					S_{prm}（S_s）	Min（3・S_m，2・S_y）	S_t（S_s）	0.73・S_m	S_n（S_s）	3・S_m	U＋US$_s$
鳥瞰図番号	Ⅲ$_A$S			S_{prm}（S_d）	Max	Min（2.25・S_m，1.8・S_y）					
	Ⅲ$_A$S			S_t（S_d）			Max	0.55・S_m			
	Ⅲ$_A$S			S_n（S_d）					Max	3・S_m	
	Ⅲ$_A$S			U＋US$_d$							Max
	Ⅳ$_A$S			S_{prm}（S_s）	Max	Min（3・S_m，2・S_y）					
	Ⅳ$_A$S			S_t（S_s）			Max	0.73・S_m			
	Ⅳ$_A$S			S_n（S_s）					Max	3・S_m	
	Ⅳ$_A$S			U＋US$_s$							Max

（ロ） ねじり＋曲げ応力評価結果

評価点	一次応力評価（MPa）			
	ねじり応力	許容応力	曲げとねじり応力	許容応力
	S_t（S_d）	0.55・S_m	S_t＋S_b（S_d）	1.8・S_m
	S_t（S_s）	0.73・S_m	S_t＋S_b（S_s）	2.4・S_m
	Max	0.55・S_m	Max	1.8・S_m
	Max	0.73・S_m	Max	2.4・S_m

ロ． イ.を除く管

下表は耐震Ｓクラスの場合を示す。S_s機能維持評価の場合は「許容応力状態$\mathrm{III_AS}$」欄を削除したものを使用する。

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				S_{prm}（S_d）	S_y*	S_s（S_d）	2・S_y	US_d
				S_{prm}（S_s）	0.9・S_u	S_s（S_s）	2・S_y	US_s
鳥瞰図番号	$\mathrm{III_AS}$		S_{prm}（S_d）	Max	S_y*			－
	$\mathrm{III_AS}$		S_s（S_d）			Max	2・S_y	
	$\mathrm{IV_AS}$		S_{prm}（S_s）	Max	0.9・S_u			
	$\mathrm{IV_AS}$		S_s（S_s）			Max	2・S_y	

注記 ＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと1.2・S_hのうち大きい方とする。

付録７　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 1
1.1 適用基準 1
1.2 計算条件 1
1.3 記号の説明 4
1.4 計算精度と数値の丸め方 6
2. 計算方法 7
2.1 固有周期の計算方法 7
2.2 応力の計算方法 7
3. 評価方法 17
3.1 応力の評価 17
3.2 機能維持評価 17

1.　一般事項

本基本方針は，盤（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984 及びＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年及び昭和 62 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，盤における応力評価は，指針「6.6.2(5)d.電気計装制御装置(b)盤」に準じて，支持構造物（取付ボルト）の評価を行う。

1.2　計算条件

(1)　盤の質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は盤に対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　ベンチ形及び垂直自立形の盤は取付ボルトで基礎（埋込金物に溶接固定又は，コンクリート床面に基礎ボルトにて固定されたチャンネルベース）に固定された固定端とする。また，壁掛形の盤は取付ボルトで壁面（埋込金物に溶接固定又は，後打ちプレートに溶接固定又は，壁面に基礎ボルトにて固定されたチャンネルベース）に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　ベンチ形及び垂直自立形の盤の転倒方向は，図 1-1 概要図（ベンチ形）及び図 1-2 概要図（垂直自立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

壁掛形の盤の転倒方向は，図 1-3 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(5)　盤の重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

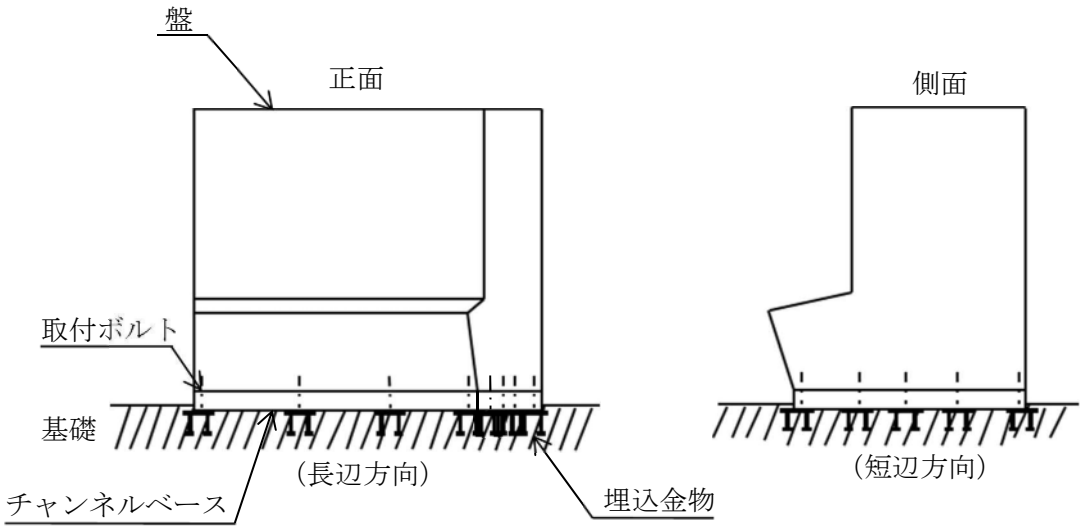


図 1-1　概要図（ベンチ形，埋込金物）

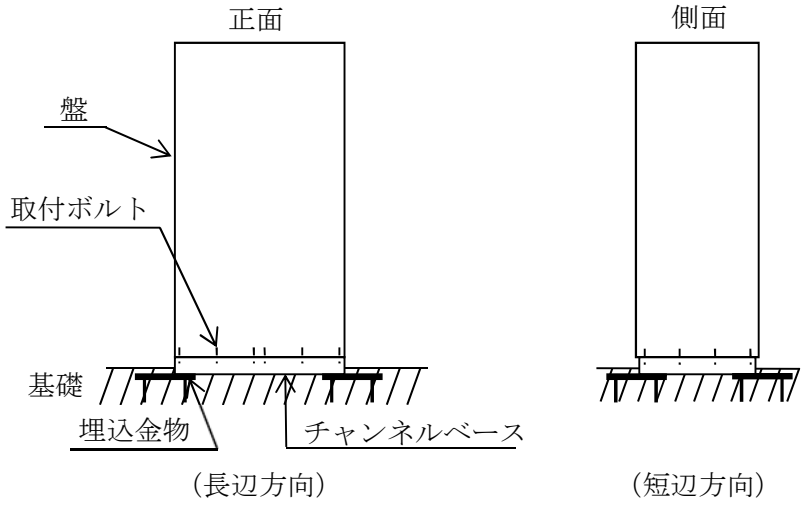


図 1-2(1)　概要図（垂直自立形，埋込金物）

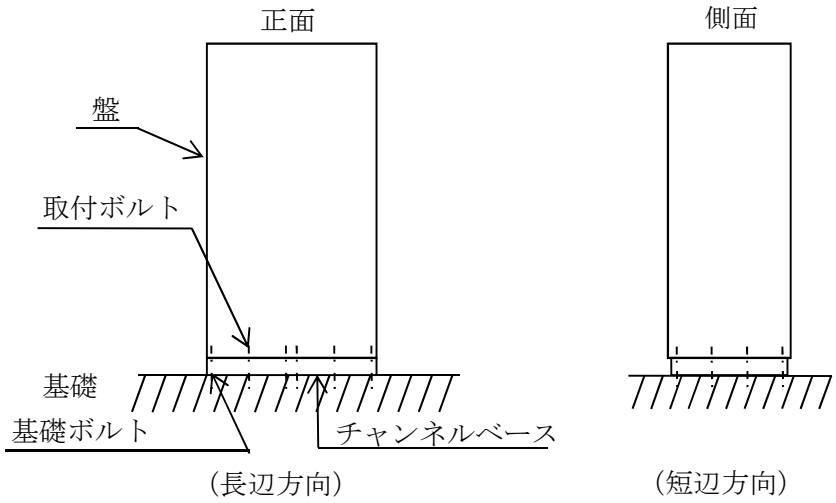


図 1-2(2)　概要図（垂直自立形，基礎ボルト）

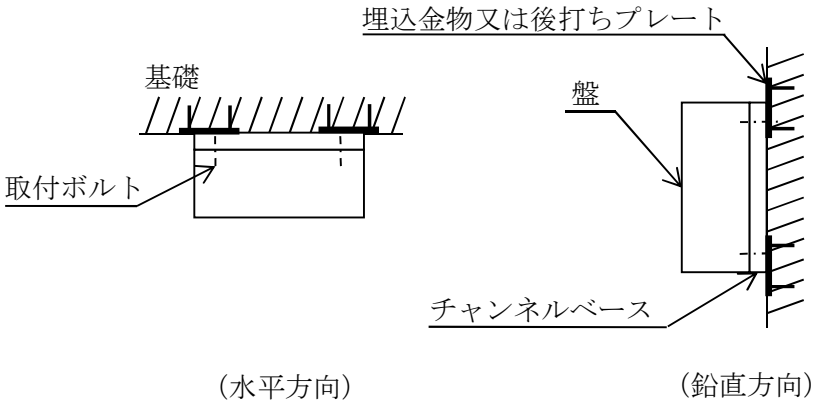


図 1-3(1)　概要図（壁掛形，埋込金物又は後打ちプレート）

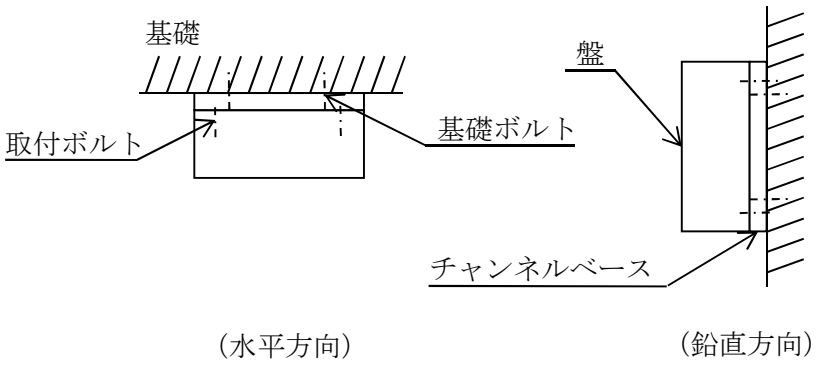


図 1-3(2)　概要図（壁掛形，基礎ボルト）

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格[*1]SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格[*1]SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離[*2]	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離[*2]	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側取付ボルトと右側取付ボルト間の水平方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側取付ボルトと下側取付ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	－

記号	記号の説明	単位
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格*1　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格*1　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
π	円周率	―
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会2007年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

＊2：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりとする。

表 1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における降伏点及び引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

盤の固有周期は，既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は，地震による震度で作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

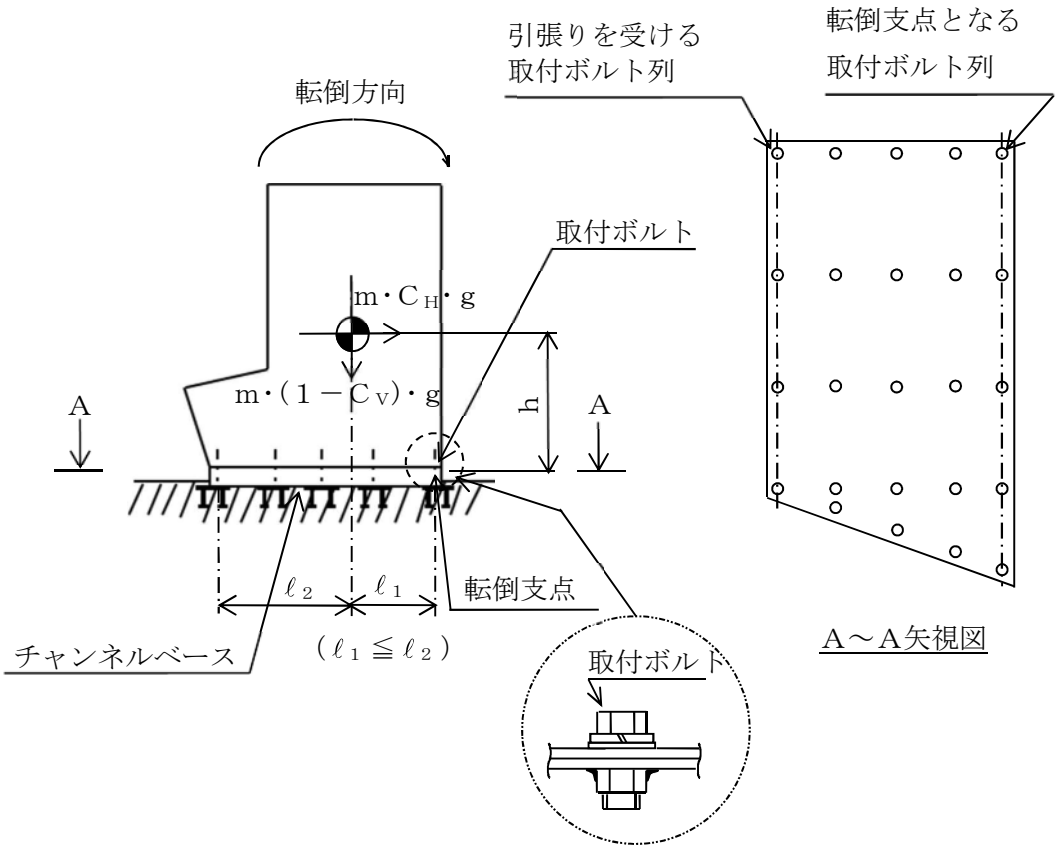


図 2-1(1)　計算モデル

(ベンチ形　短辺方向転倒（1－C V）≧0 の場合)

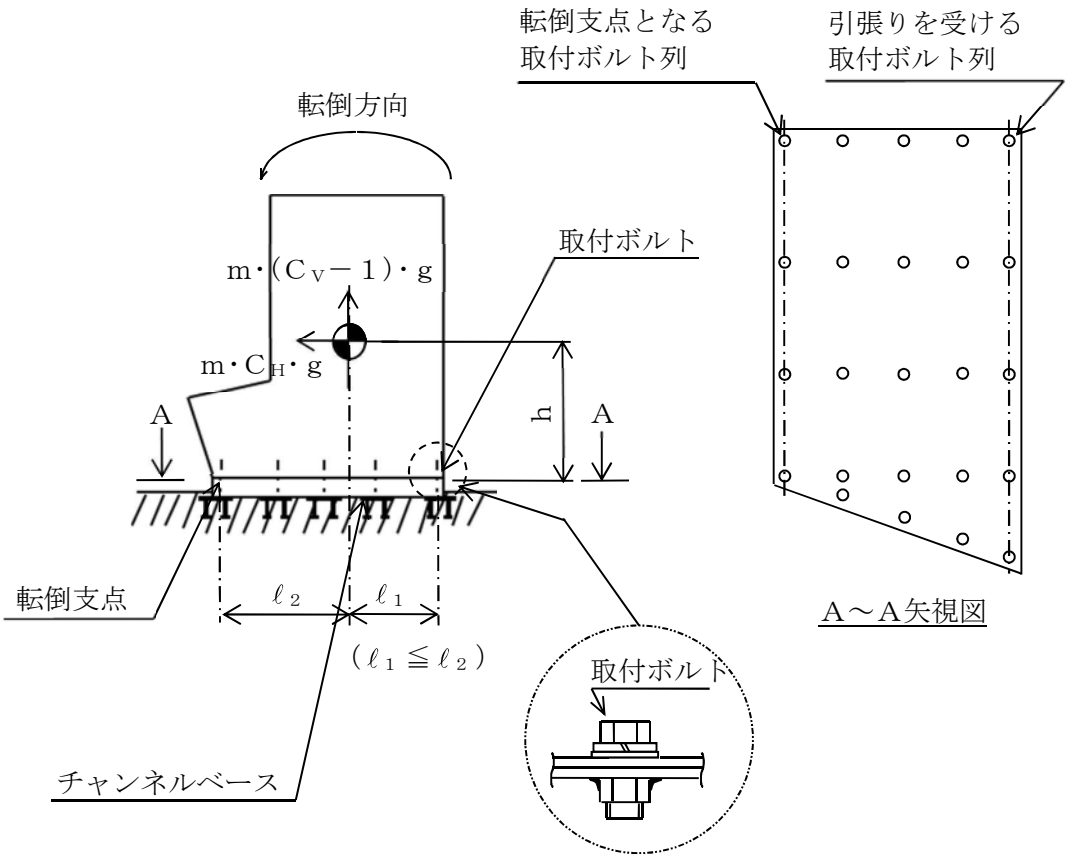
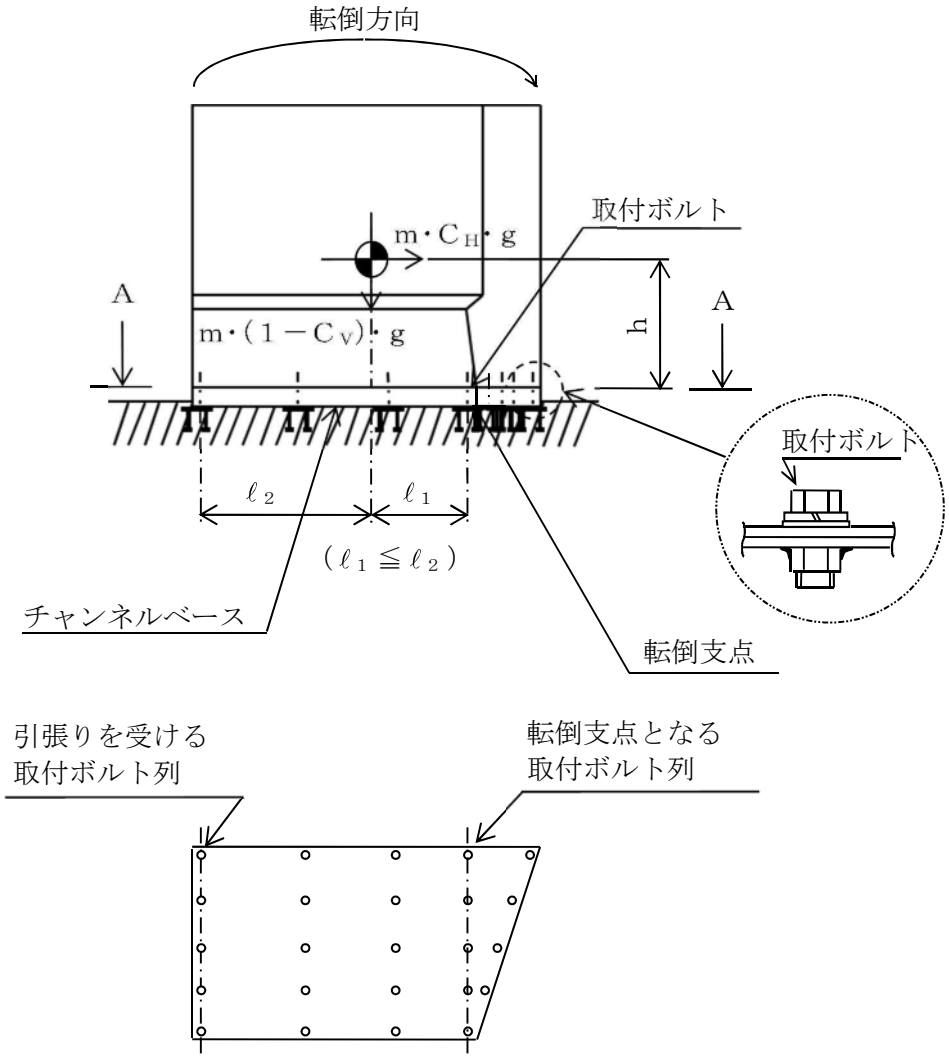


図 2-1(2)　計算モデル

（ベンチ形　短辺方向転倒（1－C V）＜0 の場合）



A～A矢視図

図 2-1(3)　計算モデル
（ベンチ形　長辺方向転倒（1－Cv）≧0 の場合）

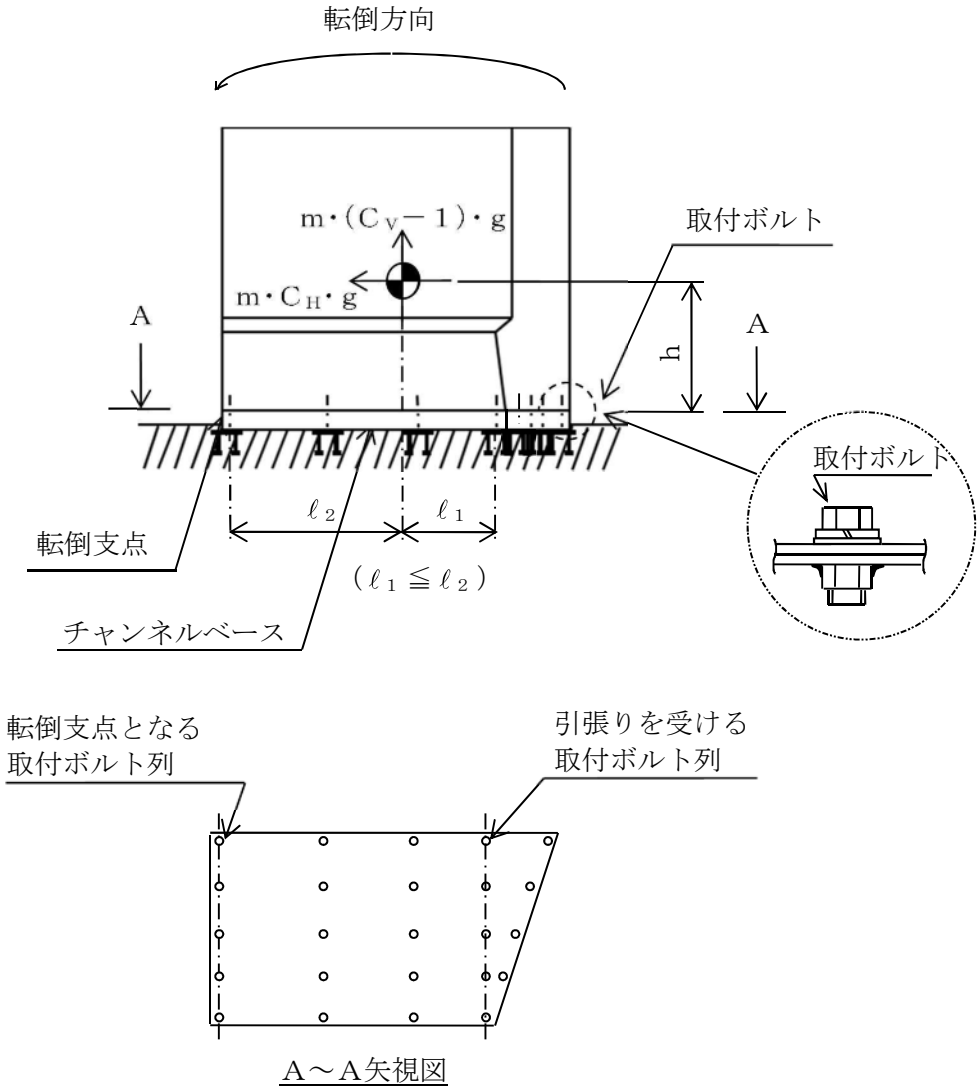


図 2-1(4)　計算モデル

（ベンチ形　長辺方向転倒（1－Cv）＜0 の場合）

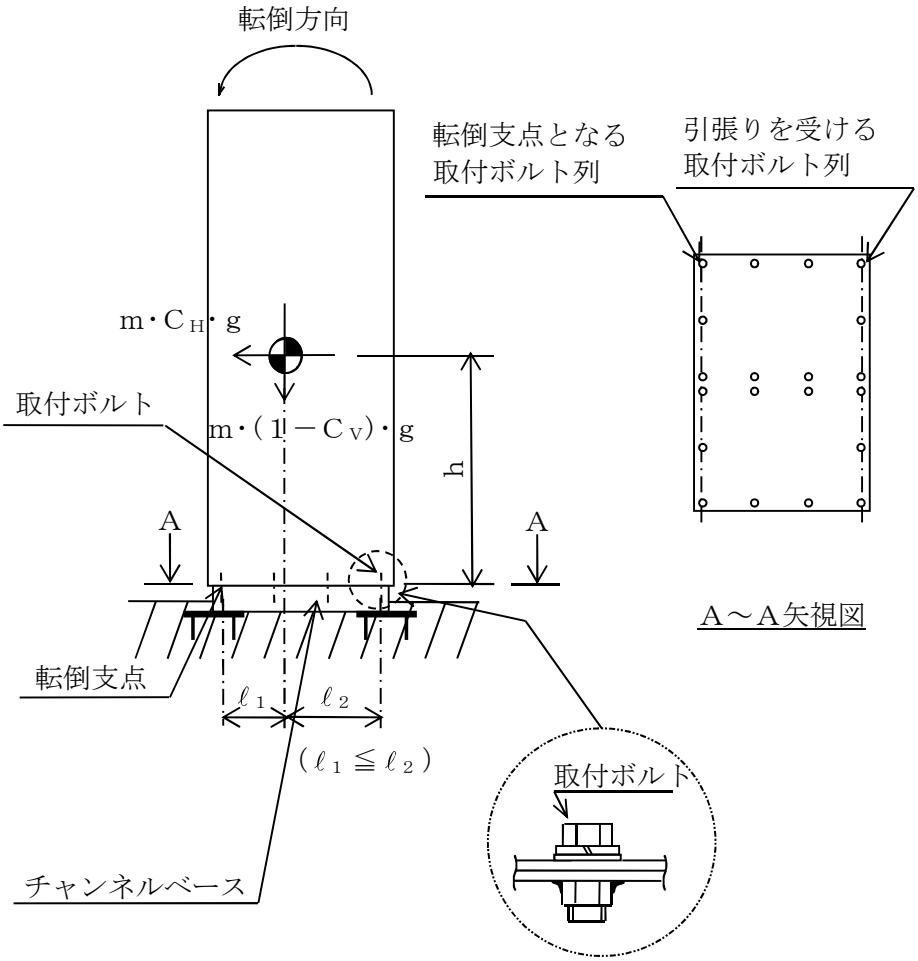


図 2-2(1)　計算モデル

（垂直自立形　短辺方向転倒（1－C V）≧0 の場合）

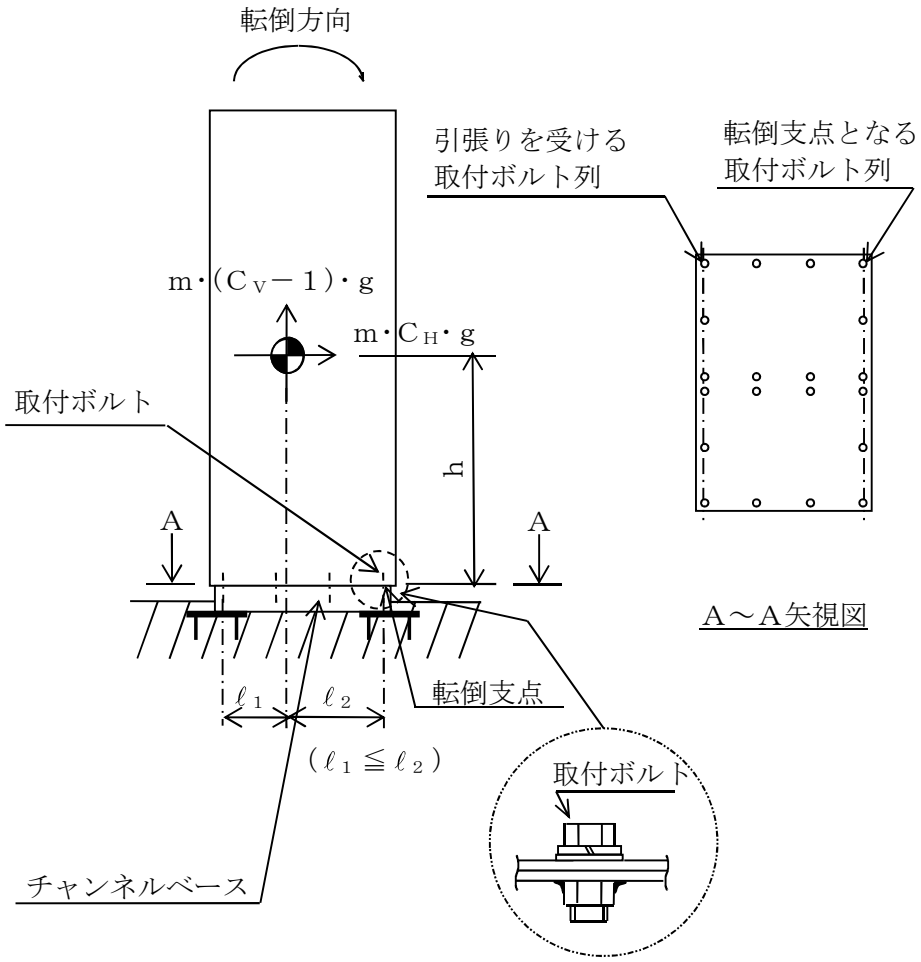
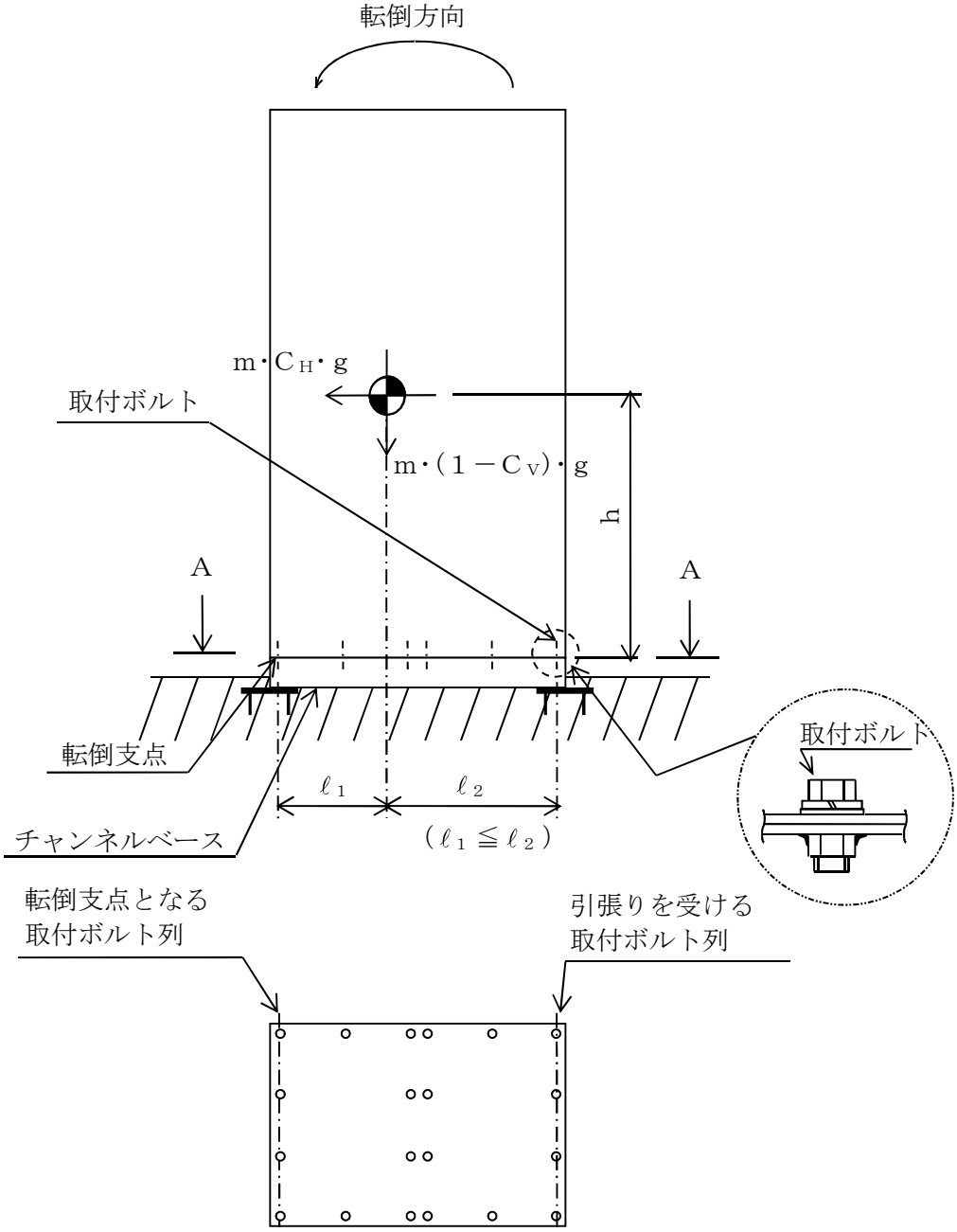


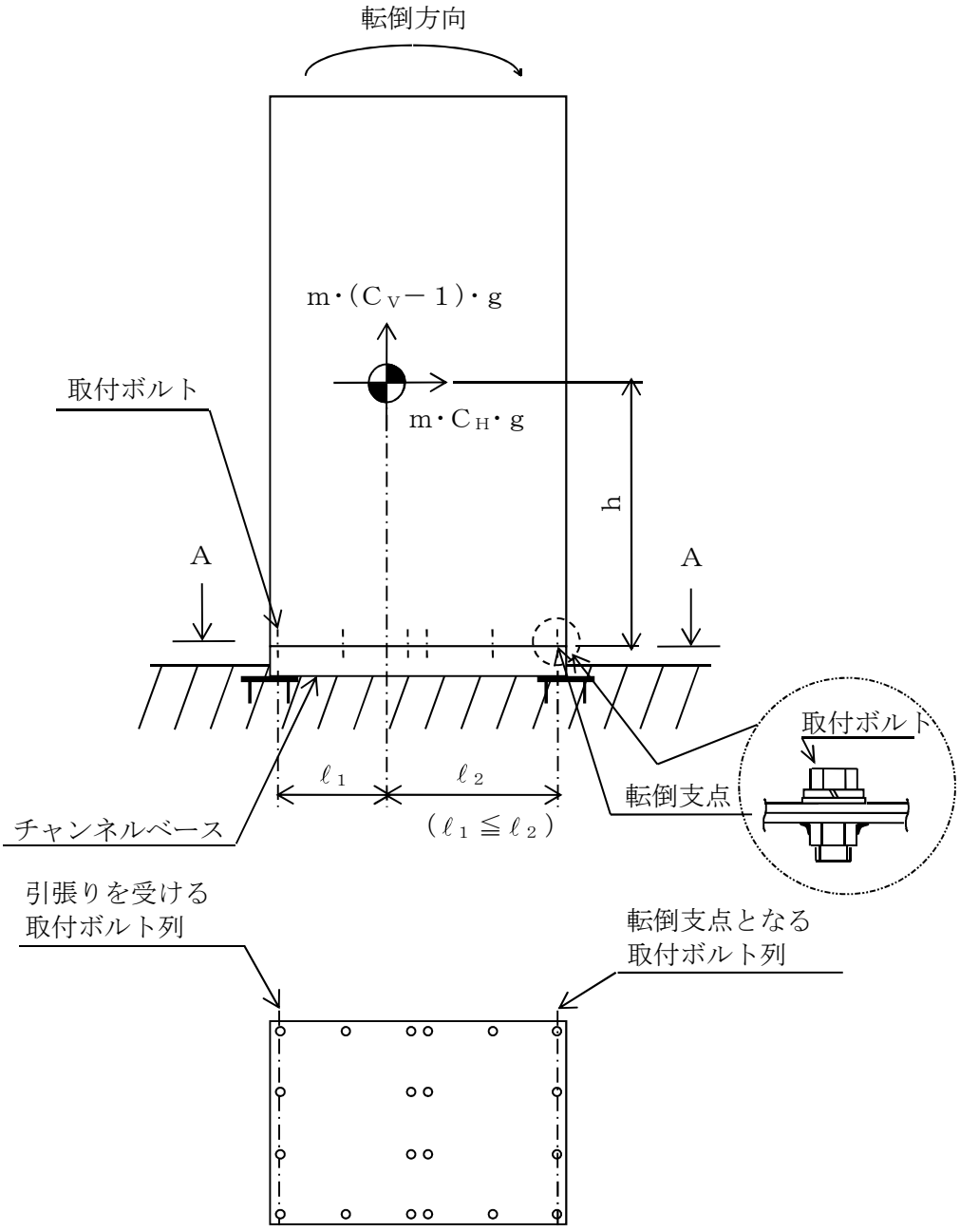
図 2-2(2)　計算モデル

（垂直自立形　短辺方向転倒（1－C V）＜0 の場合）



A～A矢視図

図 2-2(3)　計算モデル
（垂直自立形　長辺方向転倒（1－Cv）≧0 の場合）



A～A矢視図

図 2-2(4)　計算モデル

(垂直自立形　長辺方向転倒 (1－Cv)＜0 の場合)

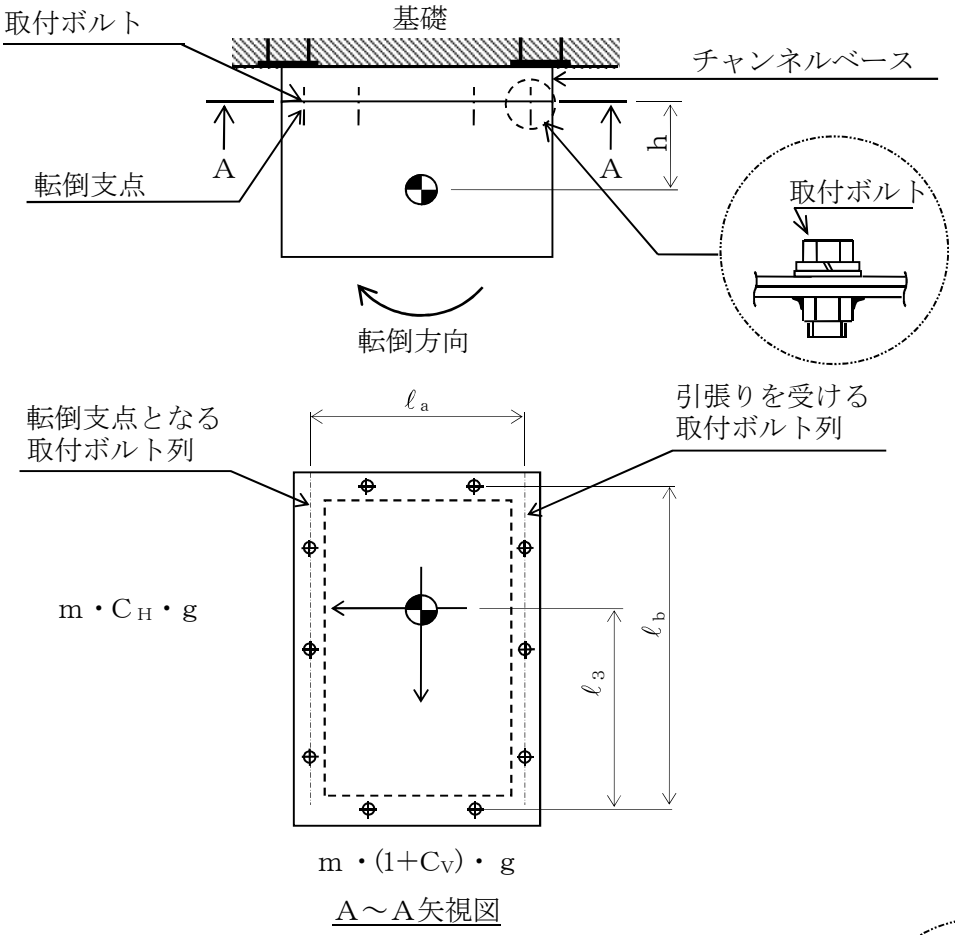


図 2-3(1)　計算モデル（壁掛形　水平方向転倒の場合）

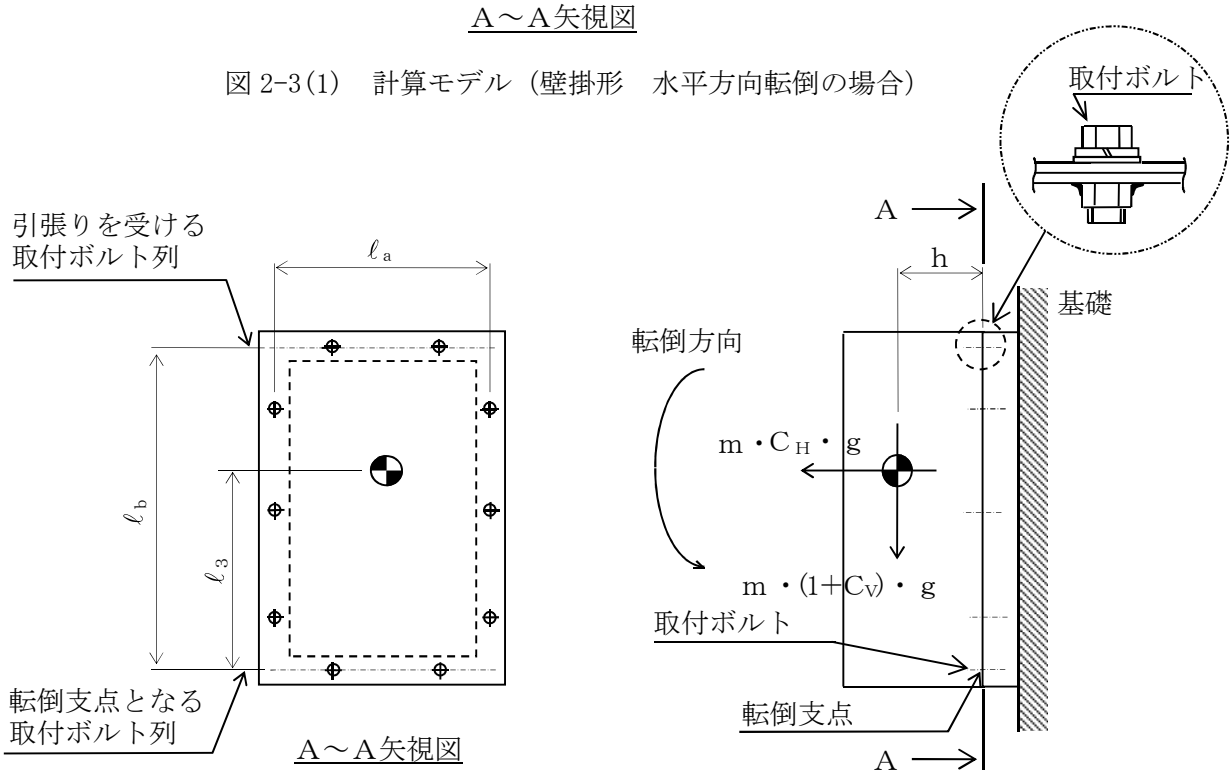


図 2-3(2)　計算モデル（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 2-1，図 2-2 及び図 2-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 2-1(1)，2-1(3)，2-2(1)及び 2-2(3)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.1)$$

計算モデル図 2-1(2)，2-1(4)，2-2(2)及び 2-2(4)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.2)$$

計算モデル図 2-3(1)，2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} \quad \cdots\cdots (2.2.3)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

$$F_b = \mathrm{Max}\,(F_{b1},\ F_{b2}) \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. ベンチ形，垂直自立形の場合

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.9)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.10)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots (2.2.11)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.12)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1項で求めたボルトの引張応力σ_bは，次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.2 機能維持評価

3.2.1 電気的機能維持評価

「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動による応答加速度と電気的機能確認済加速度との比較，あるいは解析による応力評価により，地震時又は地震後の電気的機能維持を評価する。

別添１　盤の耐震性についての計算書フォーマット

ベンチ形，垂直自立形の場合

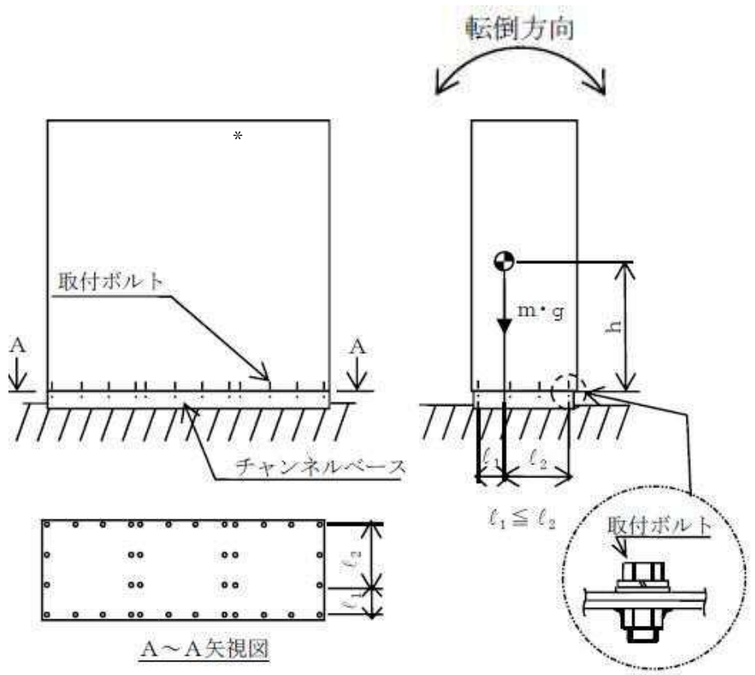
1　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	

2　機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm)		ℓ_2 (mm)		A_b (mm^2)	n	n_f	
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト										

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	弾性設計用地震動S_s
取付ボルト						



3　計算数値

ボルトに作用する力　　（単位：N）

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト				

4　結論

4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。

4.2　電気的機能維持の評価結果　　（単位：×9.8 m/s^2）

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

付録7 R0
NT2 補①

壁掛形の場合

1　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	

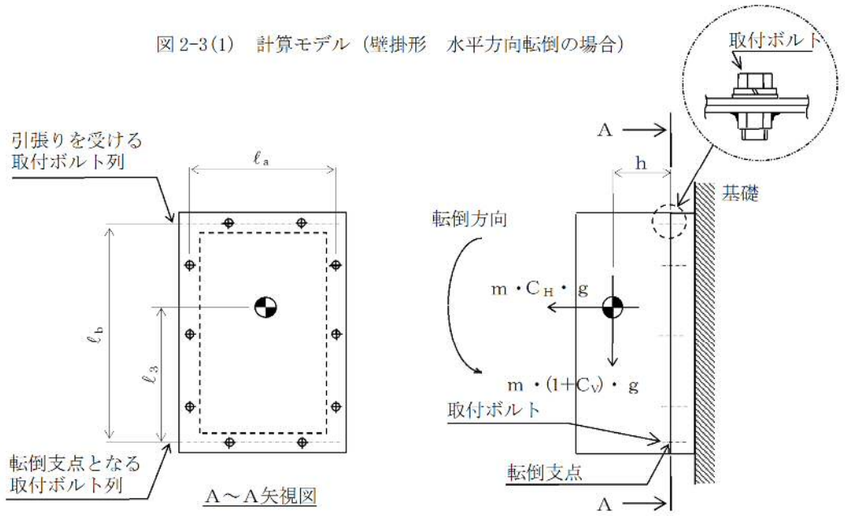
2　機器要目

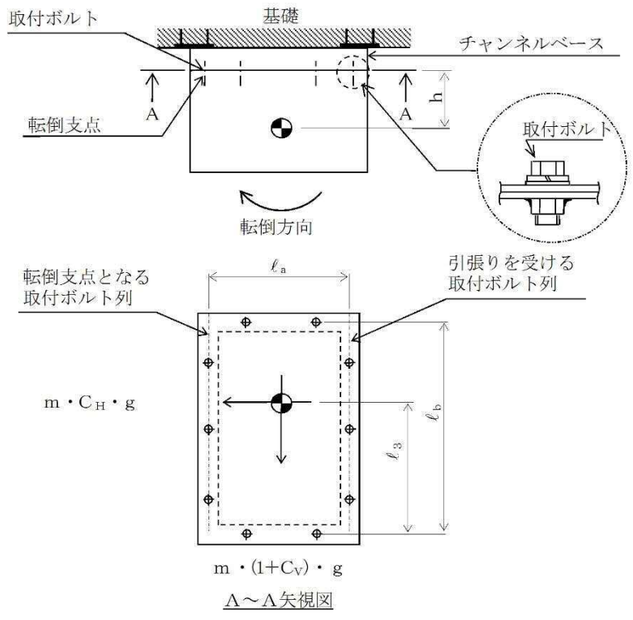
部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
取付ボルト									

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	弾性設計用地震動S_s
取付ボルト						

*

図 2-3(1)　計算モデル（壁掛形　水平方向転倒の場合）





3　計算数値

ボルトに作用する力　　（単位：N）

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト				

4　結論

4.1　ボルトの応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：（○.○.○式より算出）

4.2　電気的機能維持の評価結果　　（単位：×9.8 m/s^2）

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

付録８　計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 ……1
1.1 適用基準 ……1
1.2 計算条件 ……1
1.3 記号の説明 ……3
2. 計算方法 ……6
2.1 固有周期の計算方法 ……6
2.2 応力の計算方法 ……6
3. 評価方法 ……12
3.1 応力の評価 ……12
3.2 機能維持評価 ……12

1.　一般事項

本基本方針は，計装ラック（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984 及びＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会　昭和 59 年及び昭和 62 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，計装ラックにおける応力評価は，指針「6.6.2(5)d.電気計装制御装置(b)盤」に準じて，支持構造物（取付ボルト）の評価を行う。

1.2　計算条件

(1)計装ラックの質量は重心に集中しているものとする。

(2)地震力は計装ラックに対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)垂直自立形の計装ラックは取付ボルトで基礎（埋込金物に溶接固定したチャンネルベース）に固定された固定端とする。また，壁掛形の計装ラックは取付ボルトで壁面（埋込金物に溶接固定したチャンネルベース）に固定された固定端とする。ここで，基礎については，剛となるように設計する。

(4)垂直自立形の計装ラックの転倒方向は，図 1-1 概要図（垂直自立形，埋込金物）における長辺方向及び短辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(5)壁掛形の計装ラックの転倒方向は，図 1-2 概要図（壁掛形，埋込金物）における水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(6)計装ラックの重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

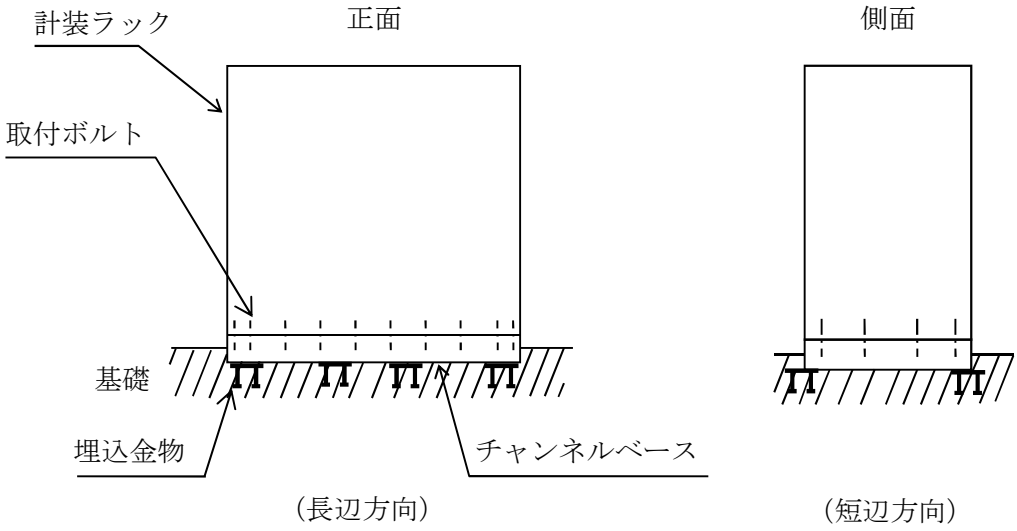


図 1-1　概要図（垂直自立形，埋込金物）

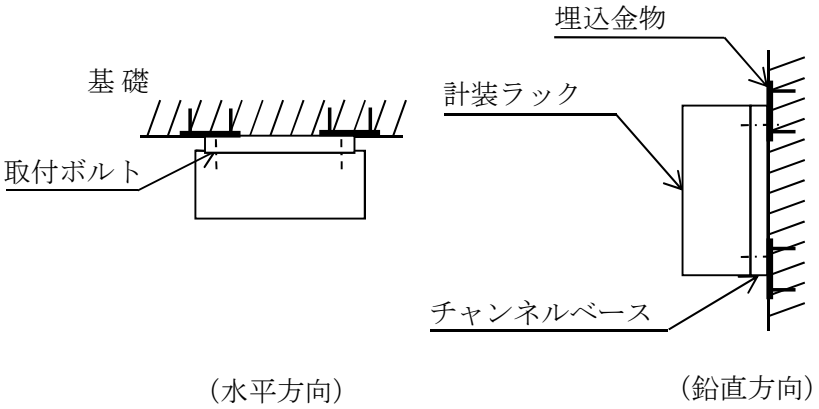


図 1-2　概要図（壁掛形，埋込金物）

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格*1 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格*1 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ_3	重心と下側取付ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側取付ボルトと右側取付ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側取付ボルトと下側取付ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	計装ラックの質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数(水平方向)(壁掛形)	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数(鉛直方向)(壁掛形)	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震により取付ボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震により取付ボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格*1 付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格*1 付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)）　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007)（日本機械学会 2007 年）(以下「設計・建設規格」という。）をいう。

＊2：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりである。

表 1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

＊2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における降伏点及び引張強さは,比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て,整数位までの値とする。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

計装ラックの固有周期は，既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

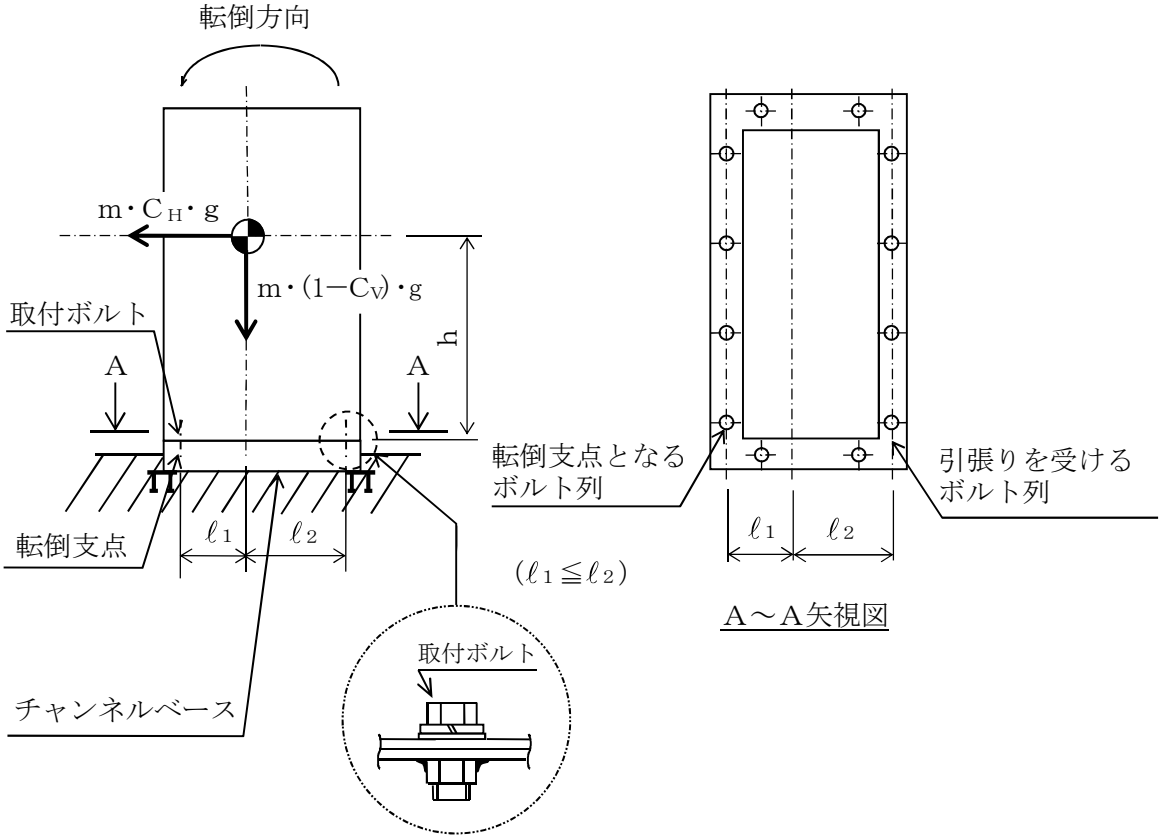


図2-1(1)　計算モデル

（垂直自立形　短辺方向転倒(1-C_V)≧0の場合）

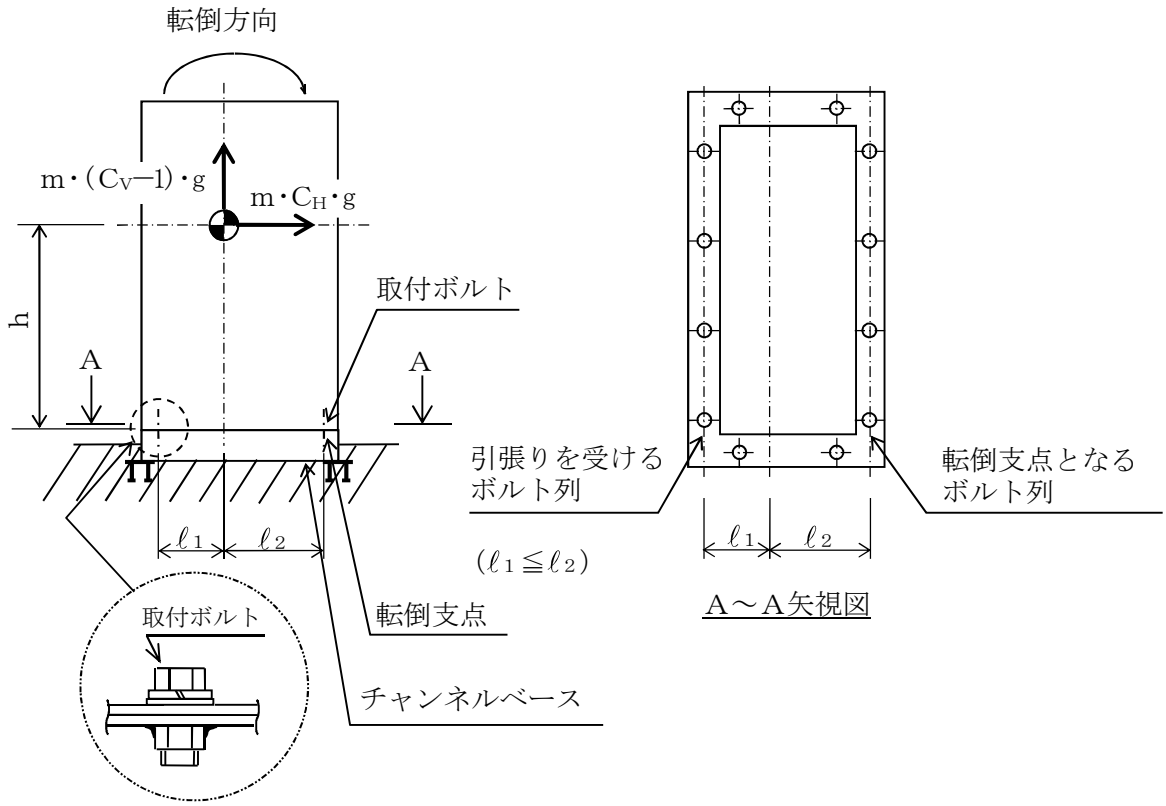


図2-1(2)　計算モデル

(垂直自立形　短辺方向転倒(1-Ｃｖ)＜0の場合)

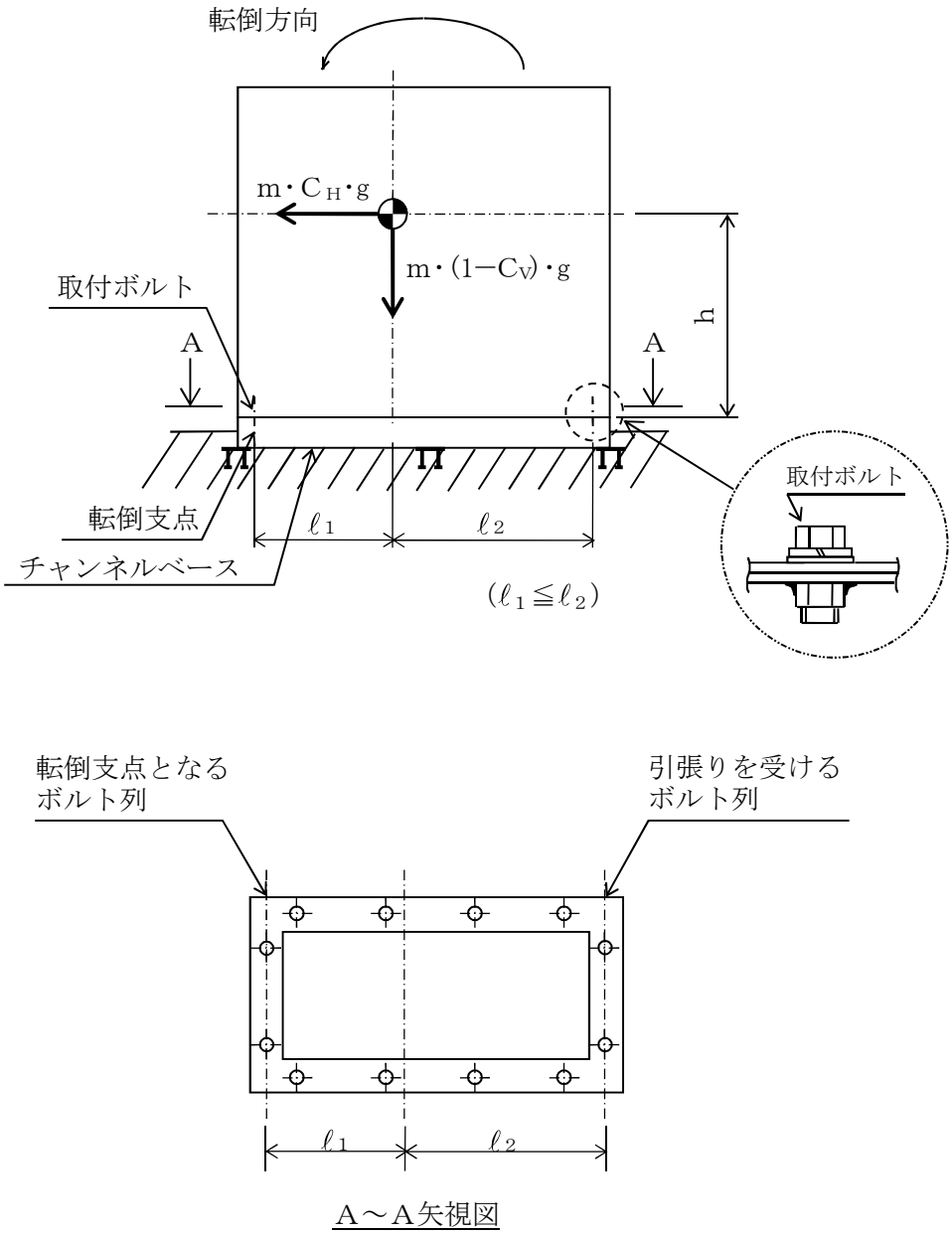
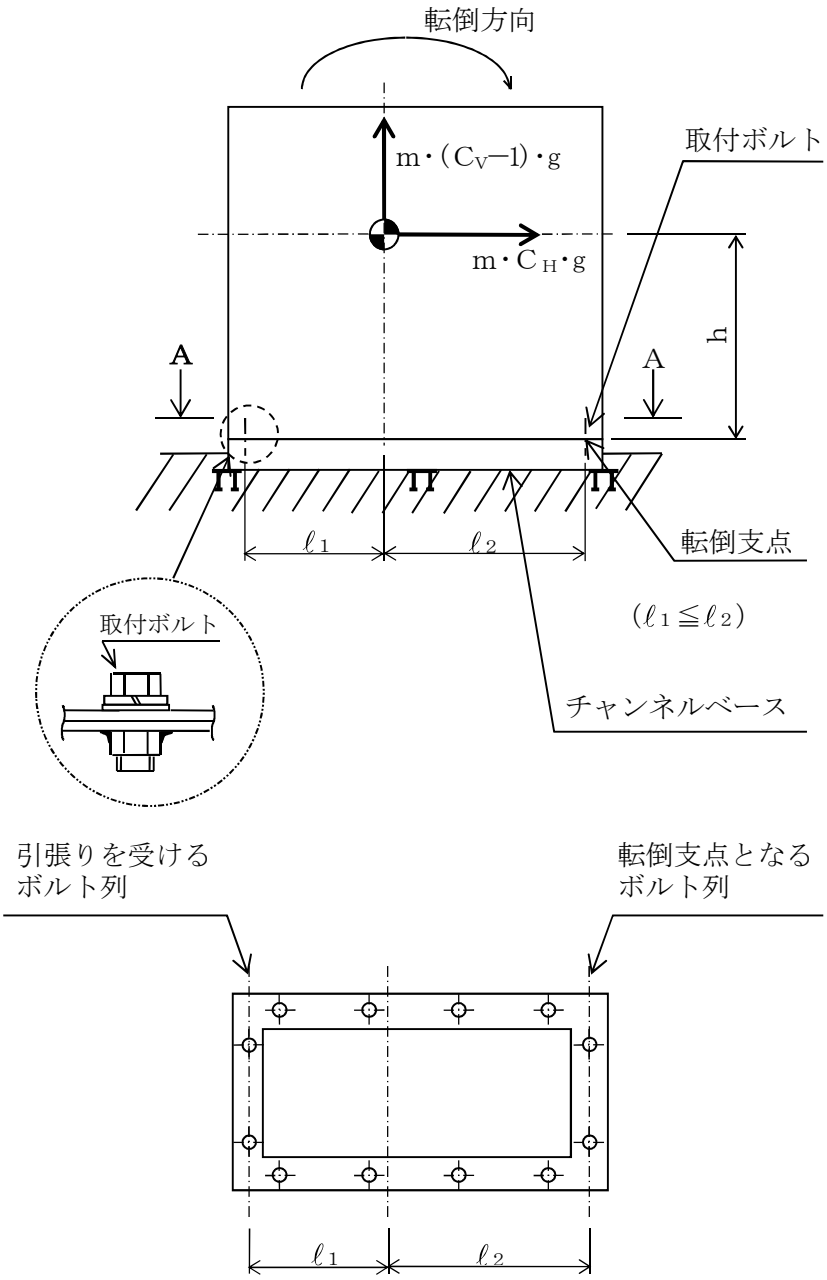


図2-1(3)　計算モデル
(垂直自立形　長辺方向転倒(1-C v)≧0の場合)



A～A矢視図

図2-1(4)　計算モデル
(垂直自立形　長辺方向転倒(1-C_V)≦0の場合)

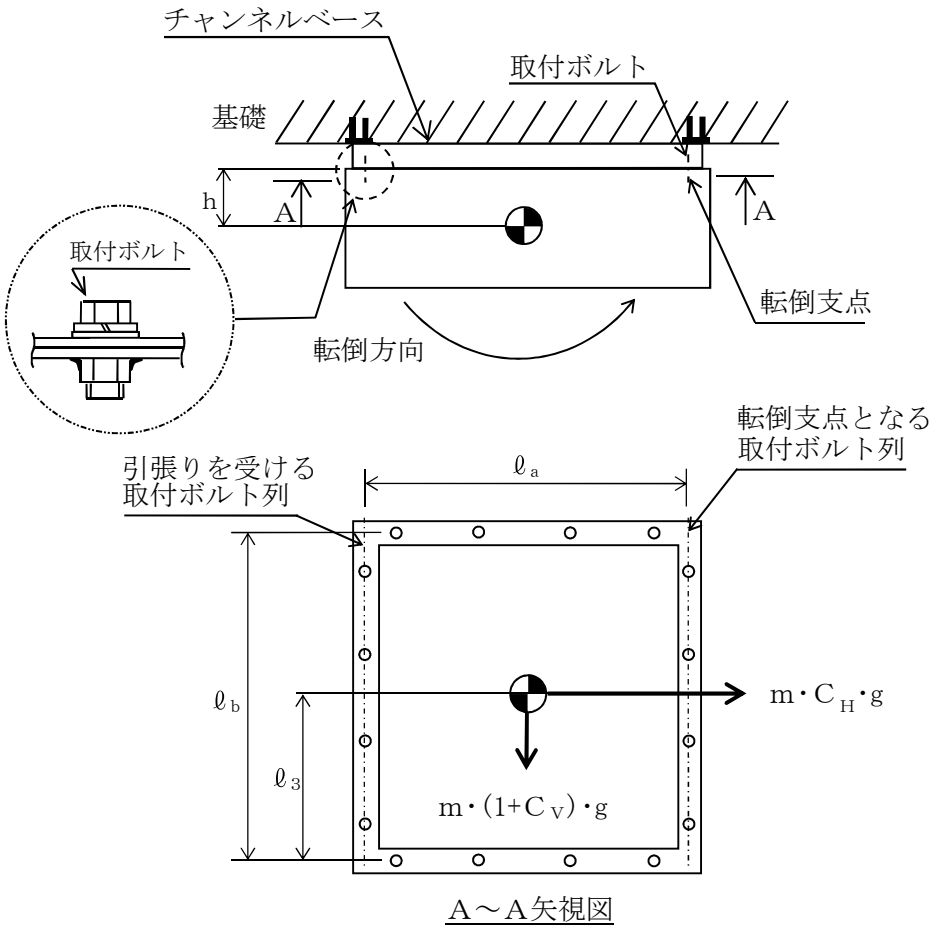


図 2－2(1)計算モデル（壁掛形　水平方向転倒の場合）

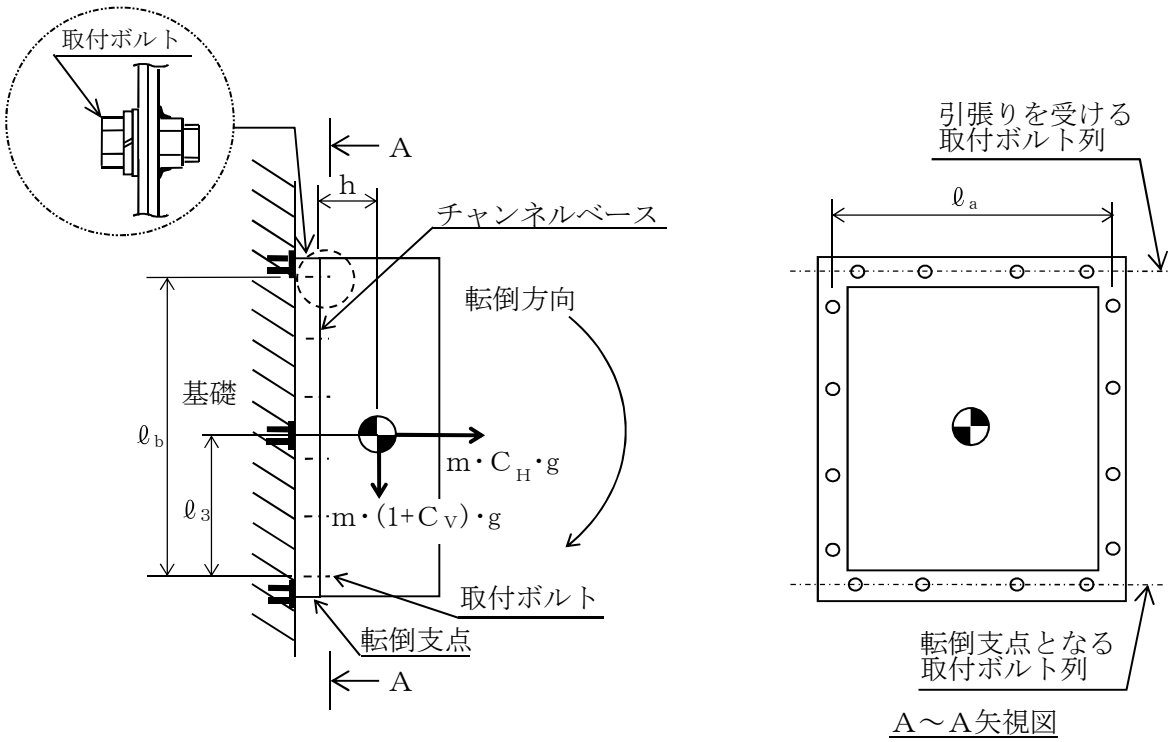


図 2-2(2)計算モデル（壁掛形　鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-1(1)(2)で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-1(1)(3)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g-m\cdot(1-C_V)\cdot \ell_1\cdot g}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.1)$$

計算モデル図2-1(2)(4)の場合の引張力

$$F_b=\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g-m\cdot(1-C_V)\cdot \ell_2\cdot g}{n_f\cdot(\ell_1+\ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.2)$$

計算モデル図2-2(1)及び図2-2(2)の場合の引張力

$$F_{b1}=\frac{m\cdot(1+C_V)\cdot h\cdot g}{n_{fV}\cdot \ell_b}+\frac{m\cdot C_H\cdot h\cdot g}{n_{fH}\cdot \ell_a} \quad \cdots\cdots (2.2.3)$$

$$F_{b2}=\frac{m\cdot(1+C_V)\cdot h\cdot g+m\cdot C_H\cdot \ell_3\cdot g}{n_{fV}\cdot \ell_b} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

$$F_b=Max\left(F_{b1},\ F_{b2}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

a. 垂直自立形の場合

$$Q_b=m\cdot C_H\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1}=m\cdot C_H\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.9)$$

$$Q_{b2}=m\cdot(1+C_V)\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.10)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots (2.2.11)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.12)$$

3.　評価方法

3.1　応力の評価

3.1.1　ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.2　機能維持評価

3.2.1　電気的機能維持評価

「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動による応答加速度と電気的機能確認済加速度との比較，あるいは解析による応力評価により，地震時又は地震後の電気的機能維持を評価する。

別添１　計装ラックの耐震性についての計算書フォーマット

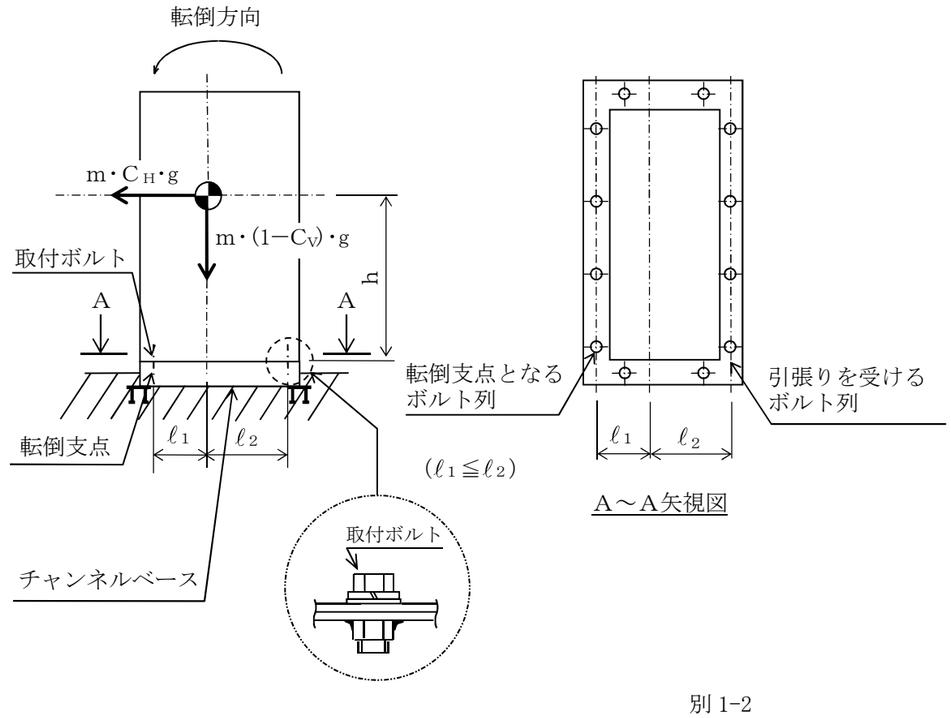
1　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	

2　機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm)		ℓ_2 (mm)		A_b (mm^2)	n	n_f	
			弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ			弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト										

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	弾性設計用地震動Ｓｓ
取付ボルト						



3　計算数値

ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト				

4　結論

4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：（○.○.○式より算出）

4.2　電気的機能維持の評価結果　　(単位：×9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

付録９　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 1
1.1 適用基準 1
1.2 計算条件 1
1.3 記号の説明 2
1.4 計算精度と数値の丸め方 5
2. 計算方法 6
2.1 固有周期の計算方法 6
2.2 応力の計算方法 6
3. 評価方法 12
3.1 応力の評価 12
3.2 機能維持評価 12

1.　一般事項

本基本方針は，計器スタンション（耐震設計上の重要度分類Ｓクラス，Ｓ$_s$機能維持の計算を行うもの）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984 及びＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会　昭和 59 年及び昭和 62 年）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，計器スタンションにおける応力評価は，指針「6.6.2(5)d.電気計装制御装置(b)盤」に準じて，支持構造物（基礎ボルト）の評価を行う。

1.2　計算条件

(1)　計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は計器スタンションに対して，水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。

(3)　垂直自立形及び壁掛形の計器スタンションは基礎ボルトで床面及び壁面に固定された固定端とする。ここで，基礎については，剛となるように設計する。

(4)　垂直自立形の計器スタンションの転倒方向は，図 1-1 概要図（垂直自立形）における正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

壁掛形の計器スタンションの転倒方向は，図 1-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(5)　計器スタンションの重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

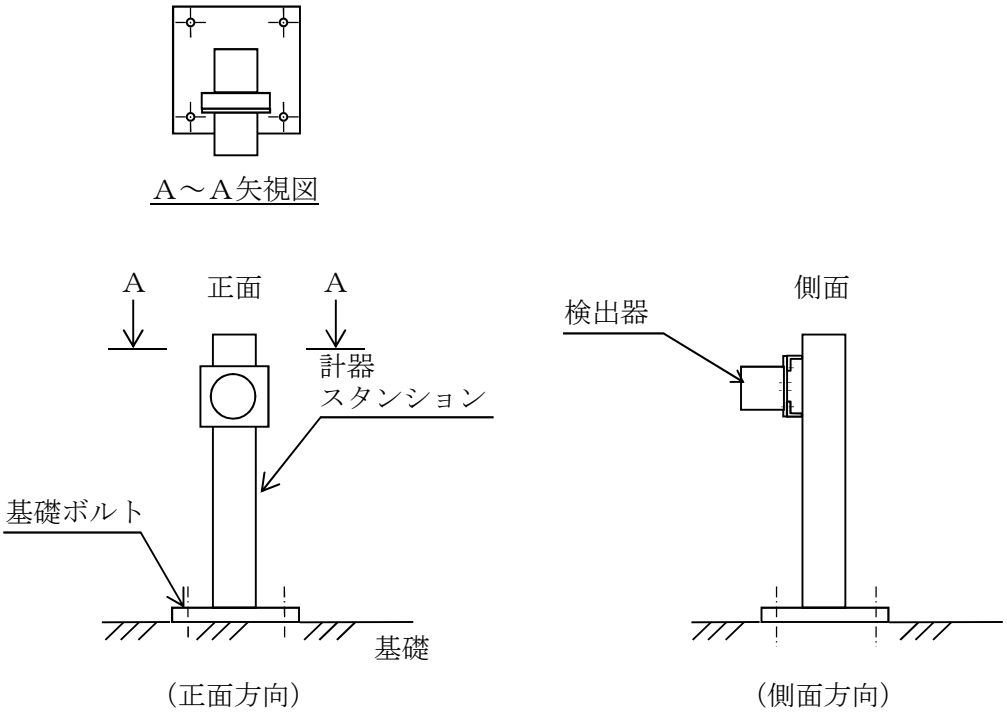


図 1-1　概要図(垂直自立形)

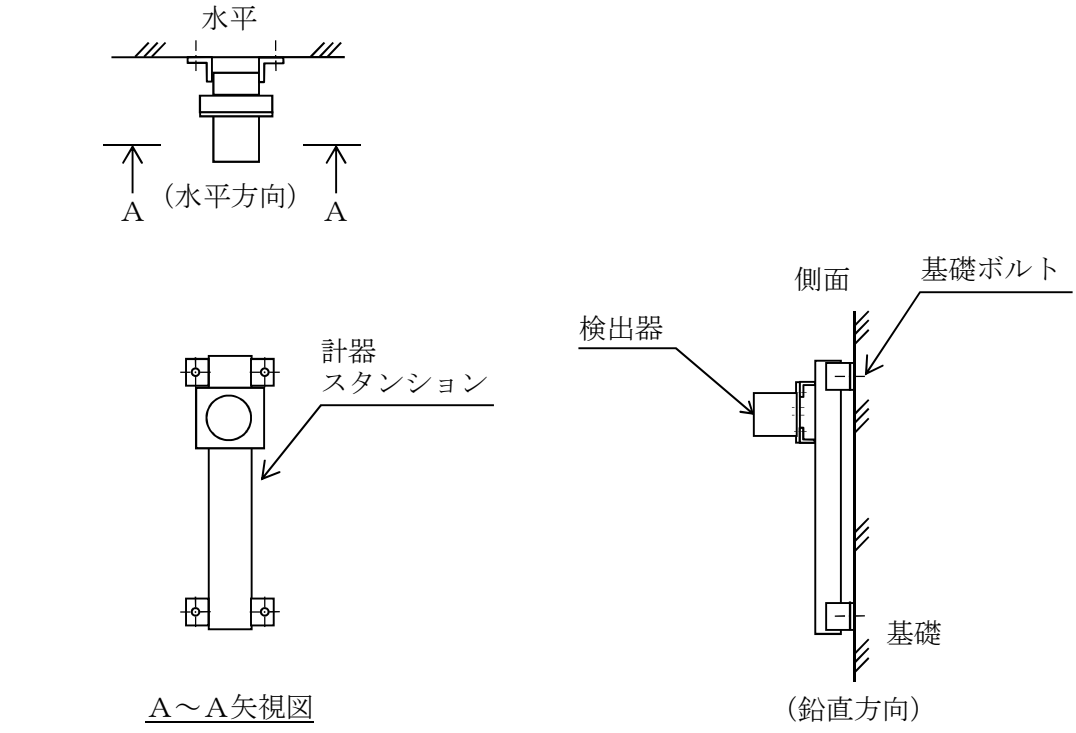


図 1-2　概要図(壁掛形)

1.3　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格*1 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格*1 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離（壁掛形）	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ_3	重心と下側基礎ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_a	左側基礎ボルトと右側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
ℓ_b	上側基礎ボルトと下側基礎ボルト間の距離（壁掛形）	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）	－
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）	－
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	N
S_u	設計・建設規格*1 付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格*1 付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
π	円周率	－
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記　＊1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)）　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

＊2：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.4　計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 1-1 に示すとおりである。

表 1-1　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	－	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

＊2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における降伏点及び引張強さは,比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て,整数位までの値とする。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

計器スタンションの固有周期は，既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

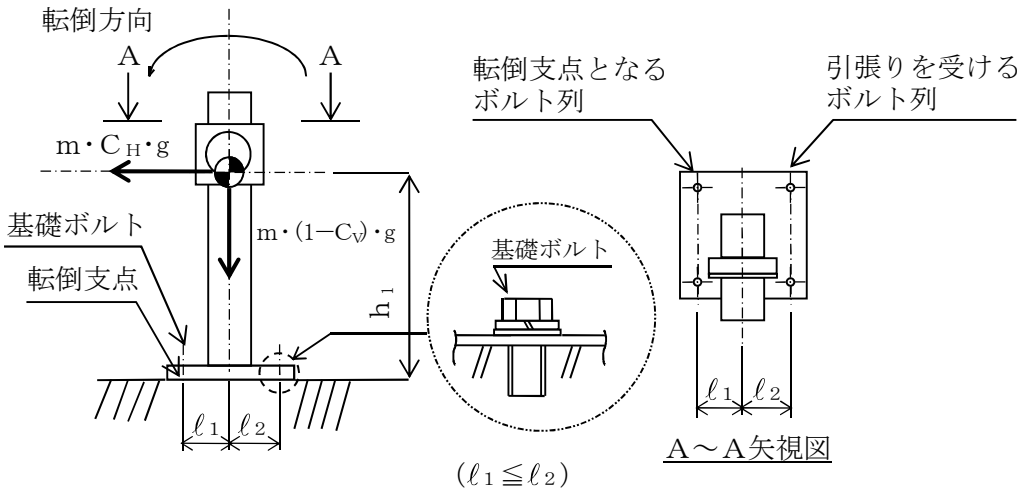


図2-1(1)　計算モデル
（垂直自立形　正面方向転倒-1（1-C V）≧0の場合）

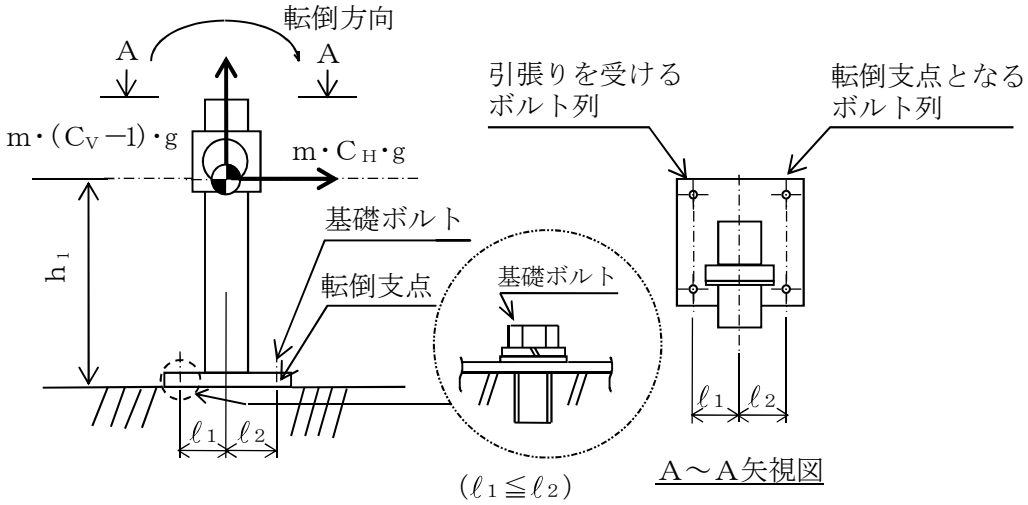
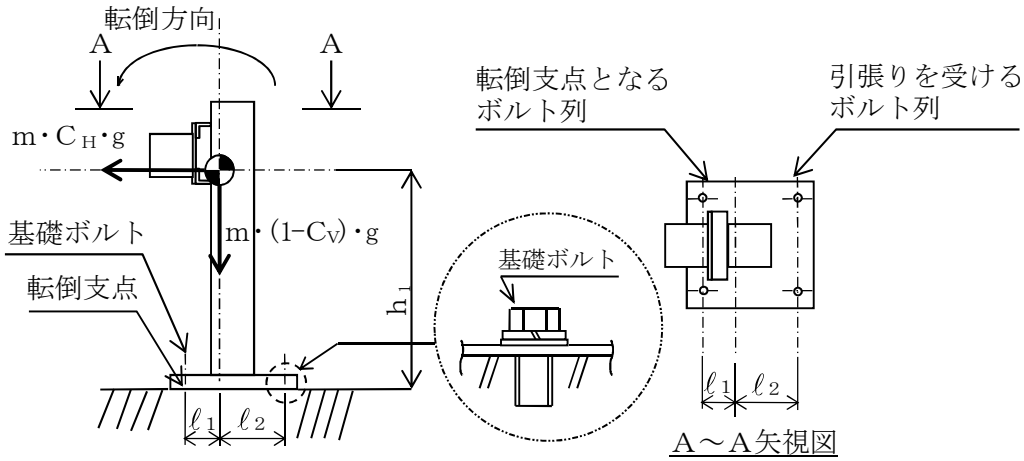
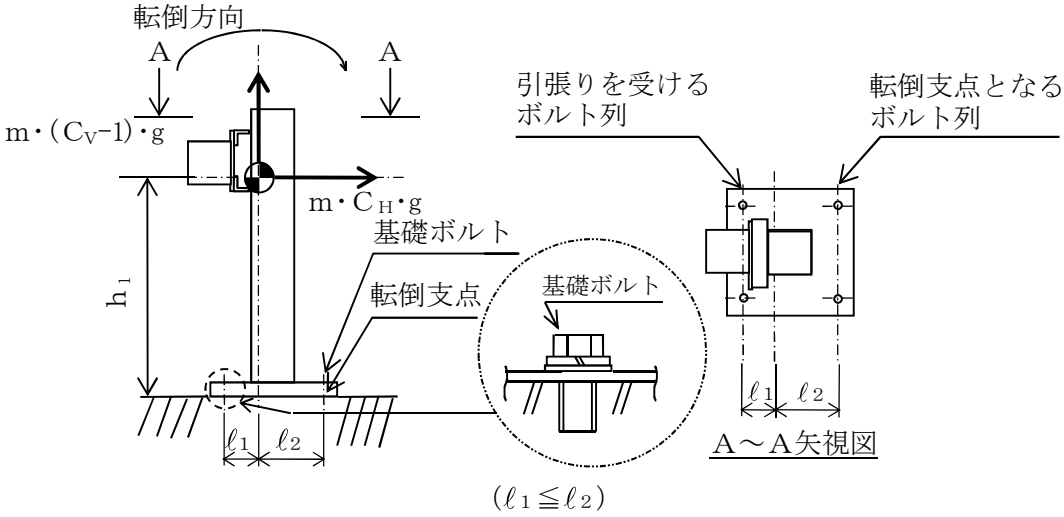


図2-1(2)　計算モデル
（垂直自立形　正面方向転倒-2（1-C V）＜0の場合）



（ℓ 1≦ℓ 2）

図2-2(1)　計算モデル
（垂直自立形　側面方向転倒-1（1−C V）≧0の場合）



（ℓ 1≦ℓ 2）

図2-2(2)　計算モデル
（垂直自立形　側面方向転倒-2（1−C V）＜0の場合）

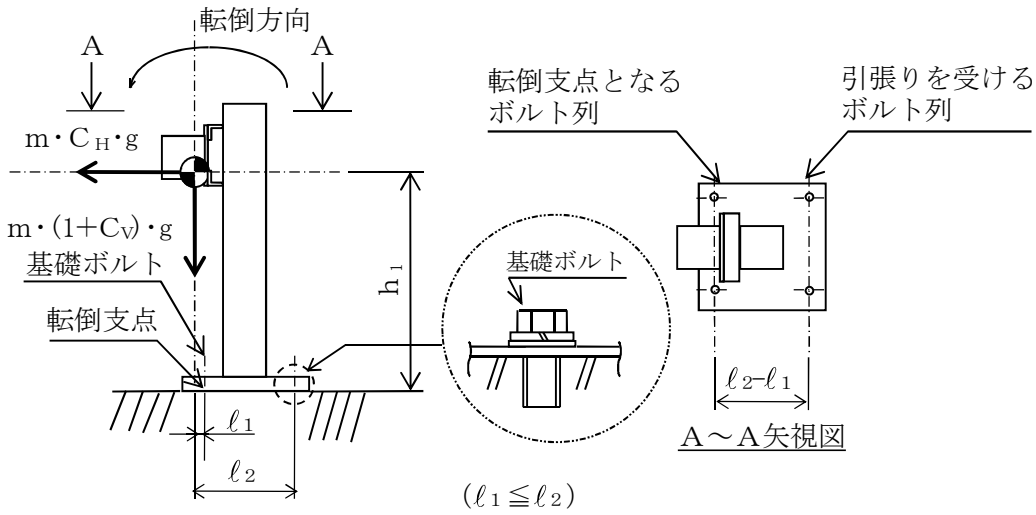


図2-2(3)　計算モデル

（垂直自立形　側面方向転倒-3 重心位置が両端のボルトの間にない場合で

$(\ell_2+\ell_1)/(\ell_2-\ell_1) \geqq C_V$の場合）

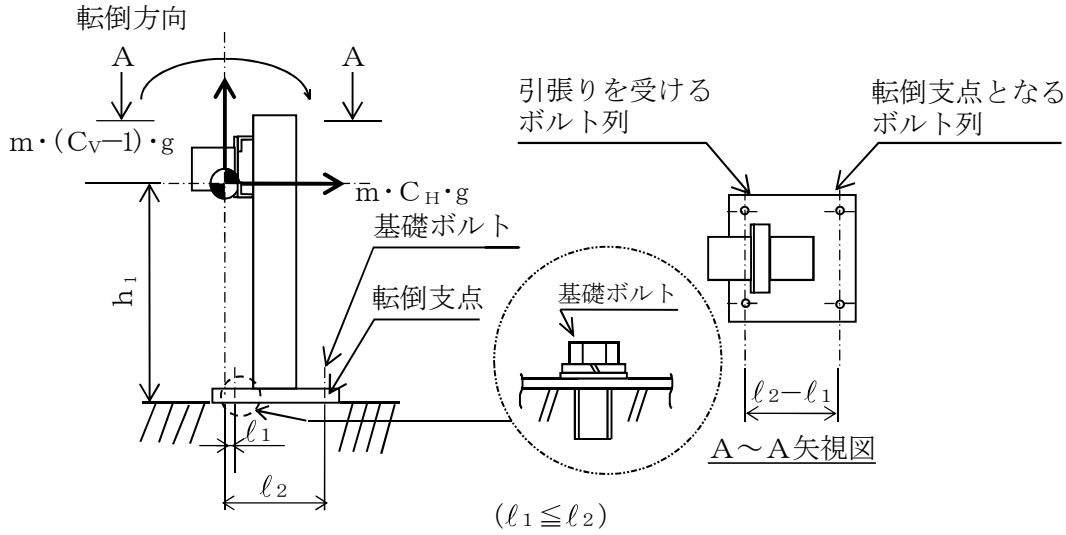


図2-2(4)　計算モデル

（垂直自立形　側面方向転倒-4 重心位置が両端のボルトの間にない場合で

$(\ell_2+\ell_1)/(\ell_2-\ell_1) < C_V$の場合）

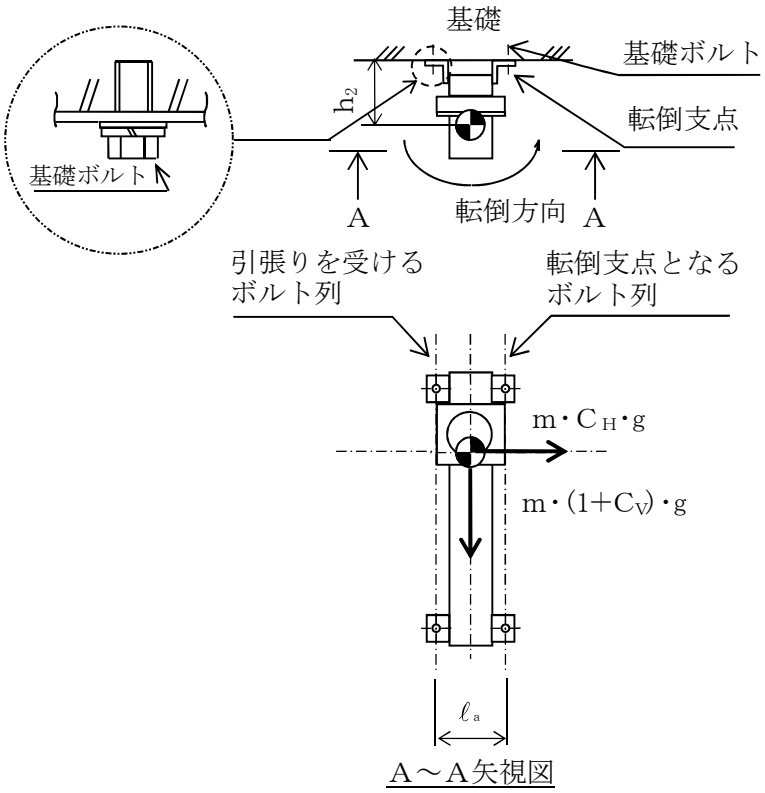


図2-3(1)　計算モデル
(壁掛形　水平方向転倒の場合)

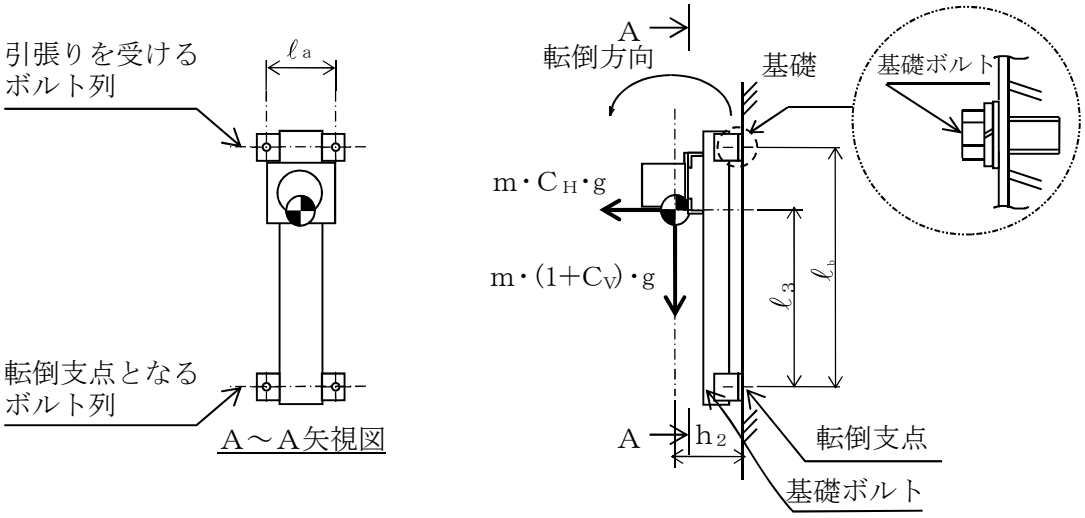


図2-3(2)　計算モデル
(壁掛形　鉛直方向転倒の場合)

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図2-1で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

計算モデル図2-1(1)及び2-2(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.1)$$

計算モデル図2-1(2)及び2-2(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (2.2.2)$$

計算モデル図2-2(3)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot \ell_1 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \quad \cdots\cdots (2.2.3)$$

計算モデル図2-2(4)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

計算モデル図2-3(1)及び図2-3(2)の場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_3 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_b} \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

$$F_b = Max\left(F_{b1},\ F_{b2}\right) \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.8)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (2.2.9)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

a. 垂直自立形の場合

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.10)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.11)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.12)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \cdots\cdots (2.2.13)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.14)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

3.2 機能維持評価

3.2.1 電気的機能維持評価

「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき，設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処設備の施設区分に応じた地震動による応答加速度と電気的機能確認済加速度との比較，あるいは解析による応力評価により，地震時又は地震後の電気的機能維持を評価する。

別添１　計装スタンションの耐震性についての計算書フォーマット

1　設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	

2　機器要目

部材	m (kg)	h_1 (mm)	ℓ_1 (mm)		ℓ_2 (mm)		A_b (mm^2)	n	n_f	
			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s			弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
取付ボルト										

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	弾性設計用地震動S_s
取付ボルト						

3　計算数値

ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
取付ボルト				

4　結論

4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張り				
		せん断				

すべて許容応力以下である。　　注記　＊：（○.○.○式より算出）

4.2　電気的機能維持の評価結果　　(単位：×9.8 m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

付録10　管の基本板厚計算書作成の基本方針

まえがき

本基本方針は，工事計画認可申請書に添付する管の基本板厚計算書について説明するものである。

本書は，以下により構成される。

第一部　クラス１管の基本板厚計算書作成の基本方針

第二部　クラス２管の基本板厚計算書作成の基本方針

第三部　クラス３管の基本板厚計算書作成の基本方針

第一部　クラス１管の基本板厚計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 ····· 1-1
1.1　概要 ····· 1-1
1.2　適用規格及び基準との適合性 ····· 1-1
1.3　強度計算書の構成とその見方 ····· 1-4
1.4　計算精度と数値の丸め方 ····· 1-5
1.5　材料の表示方法 ····· 1-6
1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 ····· 1-6
2.　強度計算書の計算式と記号 ····· 1-7
2.1　共通記号 ····· 1-7
2.2　管の強度計算 ····· 1-8
2.3　平板の強度計算 ····· 1-12
2.4　鏡板の強度計算 ····· 1-18
2.5　レジューサの強度計算 ····· 1-22
2.6　管の穴と補強計算 ····· 1-26
2.7　フランジの強度計算 ····· 1-54

1.　一般事項

1.1　概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス１管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年度（2007年度追補版含む。））ＪSME　S　ＮC１－2005/2007）（日本機械学会　2007年）（以下「設計・建設規格」という。）及び昭和45年通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第５０１号」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応は，表 1－1に示すとおりである。

(2)　設計・建設規格及び告示第５０１号に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1－2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外の管継手は，以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格　別表4に掲げるものとし，接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格　PPB-3415）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１２（2001）「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１３（2001）「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」

c.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１６（1997）「配管用鋼製差込み溶接式管継手」

(4)　強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については，以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格　別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PPB-3414）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３９（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」

(5)　管の接続

管と管を接続する場合は，設計・建設規格　PPB-3430(1)により溶接継手又はフランジ継手とする。

溶接継手とする場合は，設計・建設規格　PPB-3430(2)により主管に穴を設けて管台又は分岐管を取り付ける場合を除き，管の軸に垂直な断面で溶接することとする。

表 1-1　設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
	2.2	
第 50 条	2.2.1	管の強度計算（告示第５０１号）
第 1 項		
第 2 項		
第 3 項		
PPB-3411（直管）	2.2.2	管の強度計算（設計・建設規格）
PPB-3411(1)	2.4	鏡板の強度計算（フランジ部）
PPB-3411(2)	2.5	レジューサの強度計算（フランジ部）
PPB-3411(3)		
PPB-3412（曲げ管） PPB-3411（直管）を準用する。		
PPB-3413（平板）	2.3	平板の強度計算
PPB-3414（フランジ）	2.7	フランジの強度計算 （1.2(4)フランジ継手）
PPB-3414(1)		
PPB-3414(2)		
PPB-3414(3)		
PPB-3415（管継手）		1.2(3)管継手
PPB-3415(1)		
PPB-3415.1（レジューサ）	2.5	レジューサの強度計算
PPB-3415.1(1)		
PPB-3415.1(2)		
PPB-3415.1(3)		
準用 PVC-3124.2(外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)		レジューサの強度計算（円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの））

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PPB-3415.2（鏡板） PPB-3415.2(1) PPB-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
第52条 準用 第31条 第2項第2号イ，ハ 第5項第1号 第2号イ，ロ 第6項第1号イ，ロ，ハ 第2号イ，ロ，ハ 第3号 第4号 第5号 第6号イ，ロ 第7号イ	2.6 2.6.1	管の穴と補強計算（告示第５０１号）
PPB-3420（穴と補強） PPB-3421 PPB-3422 PPB-3423 PPB-3424	2.6.2	管の穴と補強計算（設計・建設規格）
PPB-3422(3)	2.3	平板の強度計算
PPB-3551（許容圧力）	2.2.2	管の強度計算（設計・建設規格） (管の許容圧力)
PPB-3561（許容圧力）	2.2.2	管の強度計算（設計・建設規格） （管の許容圧力）

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	2 3 4 5	2.7	フランジの強度計算*

注記　＊1：設計・建設規格　PPB-3414(2)によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本基本方針と各配管の強度計算書から成る。

(2)　各配管の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

(3)　各配管の強度計算書において，ＮＯ．の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-3に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単　位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	最高使用圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
	外面に受ける最高の圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位*2
温度		℃	－	－	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
	ガスケット厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
角度		°	小数点以下第 2 位 (小数点以下第 1 位)*4	四捨五入	小数点以下第 1 位 (整数位)*4

注記　＊1：設計・建設規格　付録材料図表及び告示第５０１号　別表に記載された温度の中間における設計応力強さ，許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。（告示第５０１号は非 SI 単位をＳＩ単位に換算する。）

＊2：必要に応じて小数点以下第 3 位を用いる。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊4：管の穴と補強計算の分岐管の中心線と主管の中心線との交角に用いる。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

（例1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例2）　SCMV3-1 相当（ASME SA387 Gr.11Cl.1）

(2)　管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので，材料表示としては，製造方法の区別を特に表示しない。

（継目無管：S，溶接管：W）

(3)　強度区分により設計応力強さ又は許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記する。

（例）

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の上段）	SCMV3-1
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の下段）	SCMV3-2

(4)　使用する厚さ又は径等によって設計応力強さ又は許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）SS400（16mm＜径≦40mm）

(5)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1)　管継手の表示方法

概略系統図において，計算対象となる管と管継手の区別をするために，管継手のみの管番号に“＊”を付け，概略系統図中に“注記＊：管継手”と表示する。

(2)　管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中，管の途中において仕様変更が生じた場合は“—●—”のように表示する。

2. 強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス１管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格又は告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	ＮＯ.	管，平板，鏡板，レジューサ，管の穴及びフランジの番号 数字のみ：管 Ｂ：平板 Ｃ：鏡板 Ｒ：レジューサ Ｔ：管の穴 Ｆ：フランジ	－
Ｐ	Ｐ	最高使用圧力（内圧）	MPa
P_e*	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Ｑ	厚さの負の許容差	%，mm
η	η	継手の効率	－
		鏡板は設計・建設規格　PVE-3240による。 レジューサは，設計・建設規格　PVC-3130及び設計・建設規格　PVC-3140による。 告示第５０１号により計算を実施する場合，告示第５０１号第31条第3項第1号による。	

注記　＊：告示第５０１号で使用されていない記号

2.2　管の強度計算

管の強度計算は，告示第５０１号第50条又は設計・建設規格　PPB-3411，設計・建設規格 PPB-3551及び設計・建設規格　PPB-3561を適用する。

2.2.1　管の強度計算（告示第５０１号）*

(1)　記号の説明

告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_0	D_o	管の外径	mm
	P_C	供用状態Ｃの最高圧力	MPa
	P_D	供用状態Ｄの最高圧力	MPa
	P_{aC}	供用状態Ｃの許容圧力	MPa
	P_{aD}	供用状態Ｄの許容圧力	MPa
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第 4 及び別表第 5 による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ	mm
	算式	ｔｒとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

注記　＊：供用状態Ｃ，Ｄについては設計・建設規格を適用する

(2) 算式

a. 管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

(a) 内面に圧力を受ける管

告示第５０１号第50条第1項により求めた値：ｔ

$$t=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

(b) 外面に圧力を受ける管

告示第５０１号第50条第2項により求めた値：t_{op} …… (B)

(c) 炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ：t_t

告示第５０１号第50条第3項により求めた値 …… (C)

b. 供用状態Ｃ

供用状態Ｃにおいて管の内面に受ける圧力は，次の値を超えてはならない。

（設計・建設規格　PPB-3551）

$P_{aC}=1.5\cdot P$

c. 供用状態Ｄ

供用状態Ｄにおいて管の内面に受ける圧力は，次の値を超えてはならない。

（設計・建設規格　PPB-3561）

$P_{aD}=2\cdot P$

(3) 評価

ｔ，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）であり，かつ，供用状態Ｃの許容圧力（P_{aC}）≧供用状態Ｃの最高圧力（P_C）及び供用状態Ｄの許容圧力（P_{aD}）≧供用状態Ｄの最高圧力（P_D）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項(a)，(b)及び(c)の文字Ａ，Ｂ及びＣに対応する。

b. 曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.2.2　管の強度計算（設計・建設規格）

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{op}となる。）	－
D_0	D_o	管の外径	mm
ℓ	ℓ	管の座屈の長さ	mm
	P_C	供用状態Cの最高圧力	MPa
	P_D	供用状態Dの最高圧力	MPa
	P_{aC}	供用状態Cの許容圧力	MPa
	P_{aD}	供用状態Dの許容圧力	MPa
S_m	S_m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表1による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算式	t_rとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2)　算式

a.　管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

(a)　内面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPB-3411(1)の式PPB-1.1より求めた値：ｔ

$$t=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S_m+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

(b)　外面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPB-3411(2)の式PPB-1.2より求めた値：t_{op}

$$t_{op}=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (B)$$

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格　PPB-3411(3)の表PPB-3411-1より求めた値　…… (C)

b.　供用状態Ｃ

供用状態Ｃにおいて管の内面に受ける圧力は，次の値を超えてはならない。

(設計・建設規格　PPB-3551)

$P_{aC}=1.5\cdot P$

c.　供用状態Ｄ

供用状態Ｄにおいて管の内面に受ける圧力は，次の値を超えてはならない。

(設計・建設規格　PPB-3561)

$P_{aD}=2\cdot P$

(3)　評価

ｔ，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）であり，かつ，供用状態Ｃの許容圧力（P_{aC}）≧供用状態Ｃの最高圧力（P_C）及び供用状態Ｄの許容圧力（P_{aD}）≧供用状態Ｄの最高圧力（P_D）ならば強度は十分である。

(4)　補足

a.　計算書中，算式の項の文字は(2)a項(a)，(b)及び(c)の文字Ａ，Ｂ及びＣに対応する。

b.　曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.3　平板の強度計算

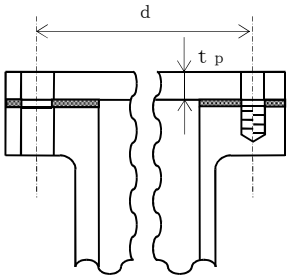
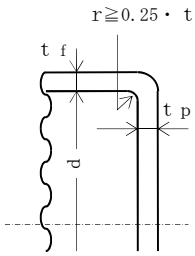
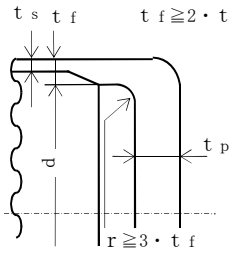
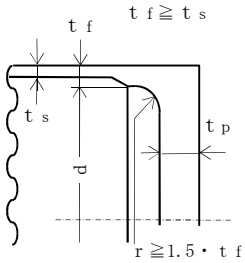
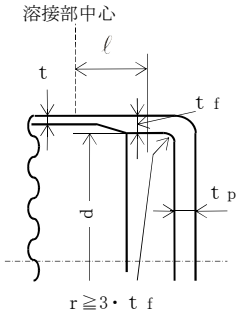
平板の強度計算は，設計・建設規格　PPB-3413及び設計・建設規格　PPB-3422(3)を適用する。

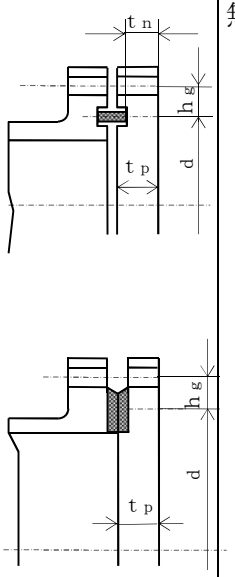
(1)　記号の説明

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書３　表３による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表 PPB-3413-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径とｄとの差の２分の１	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	－
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	ｔｒ／ｔｓ	－
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表２による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書３　表３による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
r	r	すみの丸みの内半径	mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_f, t	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	管の最小厚さ	mm
t_r	t_r	継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3　表 2 による。）	N/mm^2
π	π	円周率	－
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－
	ガスケット座面の形状	ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。	－
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPB-3413 の表 PPB-3413-1 による。	
(a)～(g)	1A～1G	取付け方法の表示区分	－

(2)　形状の制限

取付け方法		形状の制限
（a）		無し
（b）		d ≦600mm, d／20≦ t p＜ d／4 かつ, r ≧0.25・ t f であること。
（c）		t f ≧2・ t s かつ, r ≧3・ t f であること。
（d）		t f ≧ t s かつ, r ≧1.5・ t f であること。
（e）		r ≧3・ t f であること。

取付け方法		形状の制限
（ｆ）		無し
（ｇ）	その他の場合	無し

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
（a）	0.17
（b）	0.13
（c）	0.17
（d）	Max（0.33・m，0.2）　　$m = t_r / t_s$
（e）	0.17*1，0.10
（f）	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし，t_nの厚さの場合は　$\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ *2
（g）	0.50

注記　＊1：取付け方法（e）の場合

Ｋ＝0.17 とする。ただし，t_fからt_sへ移行するテーパが 1 対 4 又はそれより緩やかであり，かつ，以下の(a)又は(b)いずれかの場合，Ｋ＝0.10 とできる。

(a)　$\ell \geqq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b)　管が$2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$以上の長さにわたって

$t_s \geqq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

＊2：取付け方法（f）の場合のＦ，h_g，Ｗ及びｄは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（b）及びガスケット反力円の直径（G）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1}=H+H_P$$

$$H=\frac{\pi}{4}\cdot G^2\cdot P$$

$$W=H$$

$$H_P=2\cdot\pi\cdot b\cdot G\cdot m_g\cdot P$$

ただし，Ｐは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2}=\pi\cdot b\cdot G\cdot y$$

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1}=\frac{W_{m1}}{S_b}\quad\text{（使用状態）}$$

$$A_{m2}=\frac{W_{m2}}{S_a}\quad\text{（ガスケット締付時）}$$

$$A_m=\mathrm{Max}\left(A_{m1},\ A_{m2}\right)$$

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d_b^{\,2}\cdot n$$

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o=W_{m1}\quad\text{（使用状態）}$$

$$W_g=\left(\frac{A_m+A_b}{2}\right)\cdot S_a\quad\text{（ガスケット締付時）}$$

$$F=\mathrm{Max}\left(W_o,\ W_g\right)$$

(e)　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g=\frac{C-G}{2}$$

b.　平板に穴を設ける場合は，設計・建設規格　PPB-3422(3)により，平板の計算上必要な厚さを次の式より計算した値とする。

(a)　穴の径（ｄh）が平板の径又は最小内のり（ｄ）の値の2分の1以下の場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，Ｋの値は（ｆ）の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。

(b)　穴の径（ｄh）が平板の径又は最小内のり（ｄ）の値の2分の1を超える場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2.25\cdot K\cdot P}{S}}$$

(4)　評価

平板の最小厚さ（ｔp）≧平板の計算上必要な厚さ（ｔ）ならば強度は十分である。

(5)　補足

取付け方法は，設計・建設規格　PPB-3413の表PPB-3413-1の条件を満足するものとする。

2.4　鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は，設計・建設規格　PPB-3415.2 及び設計・建設規格　PPB-3411 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔとなる。）	－
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D_0	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	D_{oc}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	－
K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPB-3415.2(2)f.の表PPB-3415.2-1による。	－
R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R_D	さら形鏡板の中央部の外半径又は全半球形鏡板の外半径 R_D＝R＋（最小厚さ）	mm
R	R_R	半だ円形鏡板の外面の長径 R_R＝D＋2・（最小厚さ）	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 5 による。	MPa
	S_m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 1 による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	－
	形式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	－
	算式	t として用いる値の算式	－

(2)　算式

鏡板の計算上必要な厚さは，次に掲げる値とする。

a.　さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPB-3415.2(1)a.により以下とする。

$D_{oc} \geqq R$

$r \geqq 3 \cdot t_{co}$

$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$

$r \geqq 50\text{mm}$

設計・建設規格　PPB-3415.2(2)a.の式PPB-1.10又は設計・建設規格　PPB-3415.2(2)b.の式PPB-1.12より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

ただし，

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (A')$$

b.　全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格　PPB-3415.2(2)c.の式PPB-1.13又は設計・建設規格　PPB-3415.2(2)d.の式PPB-1.14より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (B)$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (B')$$

c.　半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPB-3415.2(1)c.により以下とする。

$$2 \geqq \frac{D}{2 \cdot h}$$

設計・建設規格　PPB-3415.2(2)e.の式PPB-1.15又は設計・建設規格　PPB-3415.2(2)f.より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (C)$$

ただし，

$$K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \quad \cdots\cdots (C')$$

d.　鏡板のフランジ部

設計・建設規格　PPB-3411 により求めた値

(a)　内面に圧力を受ける管　……(D)

(b)　外面に圧力を受ける管　……(D')

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ　……(D'')

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡部（上段）及びフランジ部（下段）の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，A'，B，B'，C，C'，D，D'及びD''に対応する。

2.5　レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は，設計・建設規格　PPB-3415.1（設計・建設規格　PVC-3124.2 準用）及び設計・建設規格　PPB-3411 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値 （B を求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_3 となる。）	－
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_0	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格　PPB-3415.1(3) の図　PPB-3415.1-1 より求めた係数	－
r，r_o，r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 （円すいの丸みの外半径）	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 に定める値の 2 倍，又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値の 0.9 倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
	S_m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 による。	MPa

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単位
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	$t_{s\ell}$	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	－
θ	θ	円すいの頂角の２分の１	°
	算式	ｔとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	－
	端部記号	大径端，小径端及びフランジ部を示す名称	－

(2)　算式

レジューサの計算上必要な厚さは，次に掲げる値とし，大径端側及び小径端側のそれぞれについて計算を行う。

a.　円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PPB-3415.1(1)a.の式PPB-1.6より求めた値

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.6\cdot P)} \quad \cdots\cdots (A)$$

b.　すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格　PPB-3415.1(1)b.の式PPB-1.7より求めた値

$$t_2=\frac{P\cdot D_i\cdot W}{4\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.1\cdot P)} \quad \cdots\cdots$$

ただし，

$$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{D_i}{2\cdot r\cdot\cos\theta}}\right)$$

小径端側

設計・建設規格　PPB-3415.1(3)の式PPB-1.9より求めた値

$$t_2=\frac{K}{\eta}\cdot\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots$$

ただし，Ｋは設計・建設規格　PPB-3415.1(3)の図PPB-3415.1-1より求めた値

（B）

c.　レジューサのフランジ部

設計・建設規格　PPB-3411 により求めた値

(a)　内面に圧力を受ける管　……(C)

(b)　外面に圧力を受ける管　……(C’)

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ　……(C’’)

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d.　円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PVC-3124.2により求める。

(a)　円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の 0.1 倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots(D)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の 0.1 倍を超える場合

次の 2 つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{D_o\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{D_o}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(D’)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

(b)　円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の 0.1 倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot(D_o-2\cdot t_s)}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots(D’’)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の 0.1 倍を超える場合

次の 2 つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(D’’’)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

(3) 評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて，レジューサの最小厚さ（t_s）≧レジューサの計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，ＮＯ．（レジューサの番号）に＊印の付いているものは，偏心レジューサを示す。

b. 偏心レジューサの場合のθは，円すいの頂角をそのまま使用する。

c. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｃ’，Ｃ’’，Ｄ，Ｄ’，Ｄ’’及びＤ’’’に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

2.6.1 管の穴と補強計算（告示第５０１号）

管の穴と補強計算は，告示第５０１号第52条（第31条第2項，第5項及び第6項準用）を適用する。

告示第５０１号に関して記載の内容は，全て直管又は曲げ管の場合のみに限る。

(1) 記号の説明

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 告示第５０１号　別図第1～第8より求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	－
	D，D_o	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\dfrac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	－
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4又は別表第5による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t，t_{sr}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
	η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合 告示第５０１号第52条（第31条第3項第1号準用）に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2 つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2 つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2 つの穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{oi}	2 つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
	d	d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
		d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第５０１号第 52 条（第 31 条第 6 項第 1 号ロ(イ)準用）により求められる係数	－
		F_1	すみ肉溶接のせん断応力係数	－
		F_2	突合せ溶接の引張応力係数	－
		F_3	突合せ溶接のせん断応力係数	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		L	2つの穴の径の平均値の3分の4倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長	mm
	P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4又は別表第5による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4又は別表第5による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	－
		形式	管台の取付け形式	－

(2)　計算手順及び算式

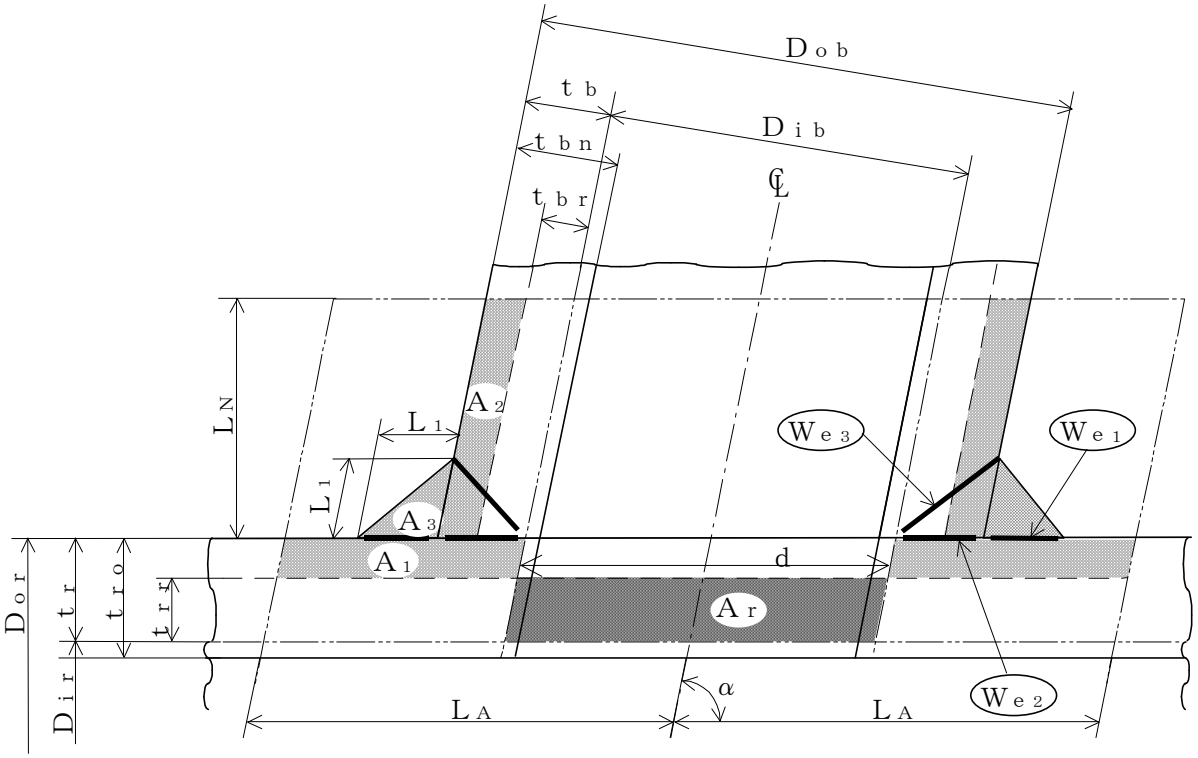
a.　穴の形状

管に設ける穴は，告示第５０１号第52条（第31条第5項第1号準用）により円形又はだ円形であること。

b.　管台の取付け形式

図2-1～図2-3に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。



補強に有効な面積

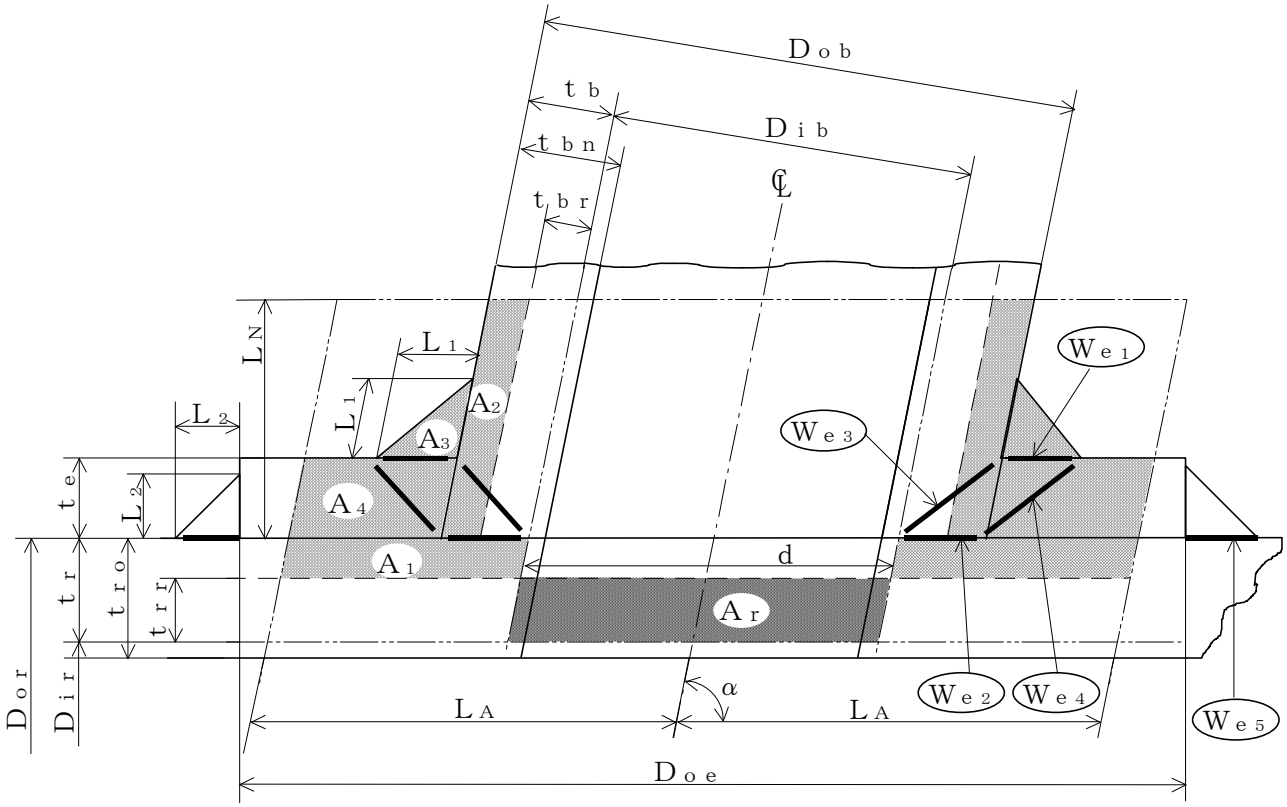
補強に必要な面積

予想される破断形式

・(We3) を通る破断

・(We1) (We2) を通る破断

図 2-1　A 形（強め材のない場合）



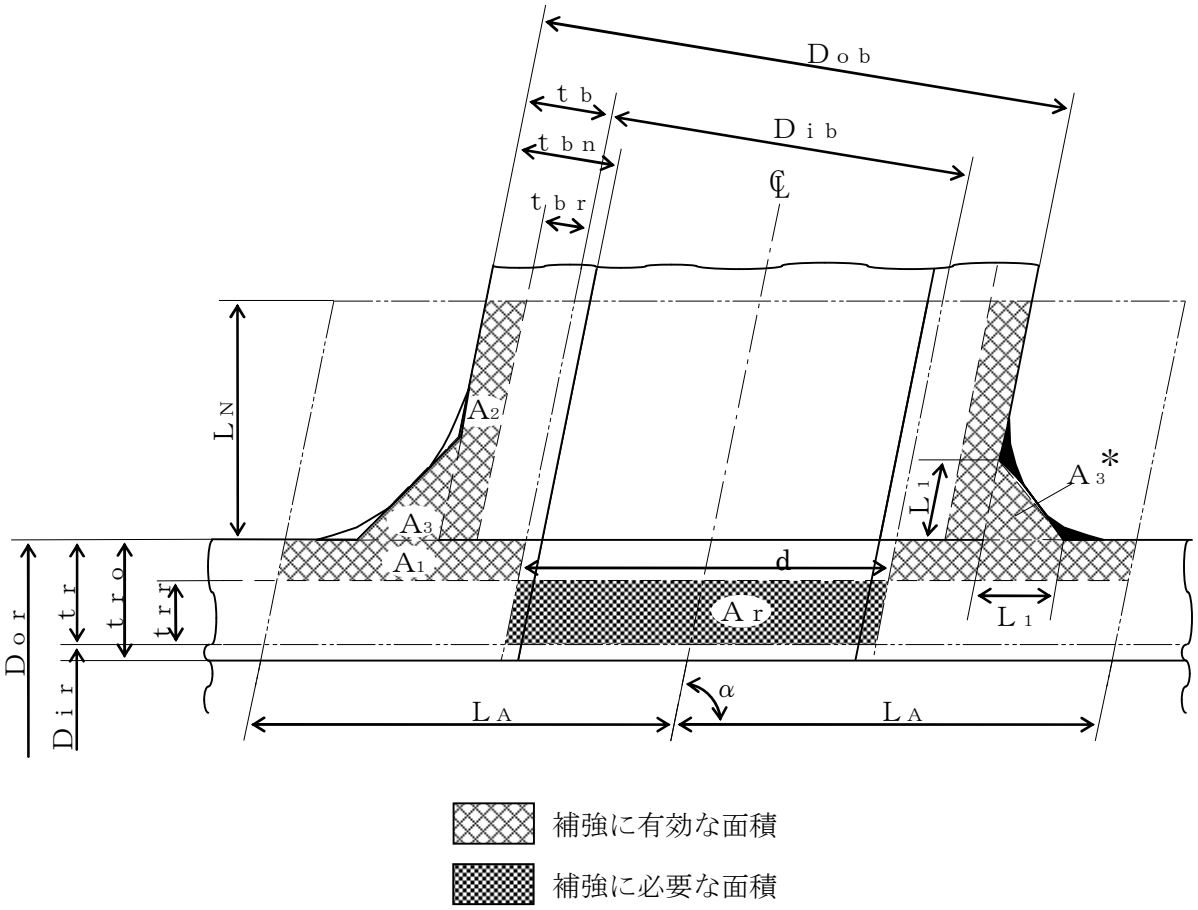
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We1) (We3) を通る破断
- (We2) (We4) を通る破断
- (We2) (We5) を通る破断

図 2-2　B 形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_3はA形及びB形と同様に$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-3　C 形（一体形で強め材のない場合）

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は，告示第５０１号第52条（第31条第5項第2号イ，ロ準用）を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は，次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（d_{fr}）とする。

イ. 管に設ける穴であって，穴の径が61㎜以下で，かつ，管の内径の4分の1以下の穴（d_{r1}）

ロ. 管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が200㎜以下で，かつ，告示第５０１号第52条（第31条第5項第2号ロ準用）により求めた値以下の穴（d_{r2}）

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{or}\cdot t_r\cdot(1-K)}$$

ただし，Kの値は次の算式による。

$$K=\frac{P\cdot D_{or}}{1.82\cdot S_r\cdot \eta\cdot t_r}$$

ただし，$K>0.99$ の場合は$K=0.99$ とする。

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径（d_{fr}）≧断面に現われる穴の径（d）ならば，穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は，d項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$L_A = d \quad 又は \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_N）は，次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad 又は \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}）は，告示第５０１号第52条（第31条第2項第2号イ並びにハ準用）を適用する。

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{ir}}{2 \cdot S_r \cdot \eta - 1.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots \text{（内圧）}$$

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{B} \quad \cdots\cdots \text{（外圧）}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第1号ロ(ロ)準用）を適用する。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_b - 1.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots \text{（内圧）}$$

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ob}}{B} \quad \cdots\cdots \text{（外圧）}$$

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は，告示第５０１号第52条（第31条第6項準用）を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

補強に必要な面積は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第1号ハ準用）を適用する。

$$A_r = d \cdot t_{rr} \cdot F$$

ロ．　補強に有効な面積

補強に有効な面積は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第1号ロ，第4号及び第5号準用）を適用する。

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \mathrm{cosec}\alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(b)　評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h.　大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ．　D_{ir}が1500 mm以下の場合

$$d_{frD} = D_{ir} / 2$$

ただし，500 mmを超える場合500 mmとする。

ロ．　D_{ir}が1500 mmを超える場合

$$d_{frD} = D_{ir} / 3$$

ただし，1000 mmを超える場合1000 mmとする。

(b)　評価

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）≧断面に現われる穴の径（d）ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，ｉ項以降による。

i.　大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　大穴の補強における管台の取付け形式

図2-4～図2-6に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

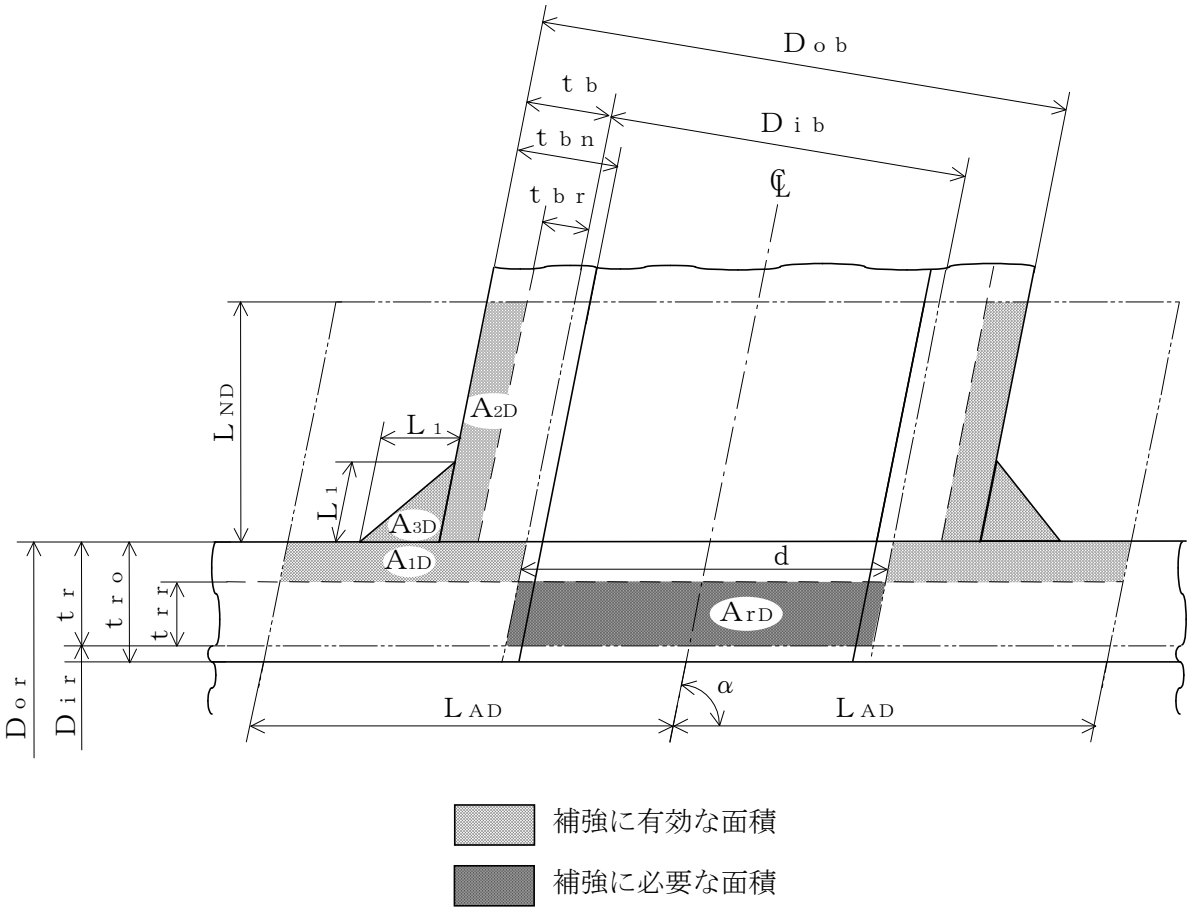


図 2-4　A 形（強め材のない場合）

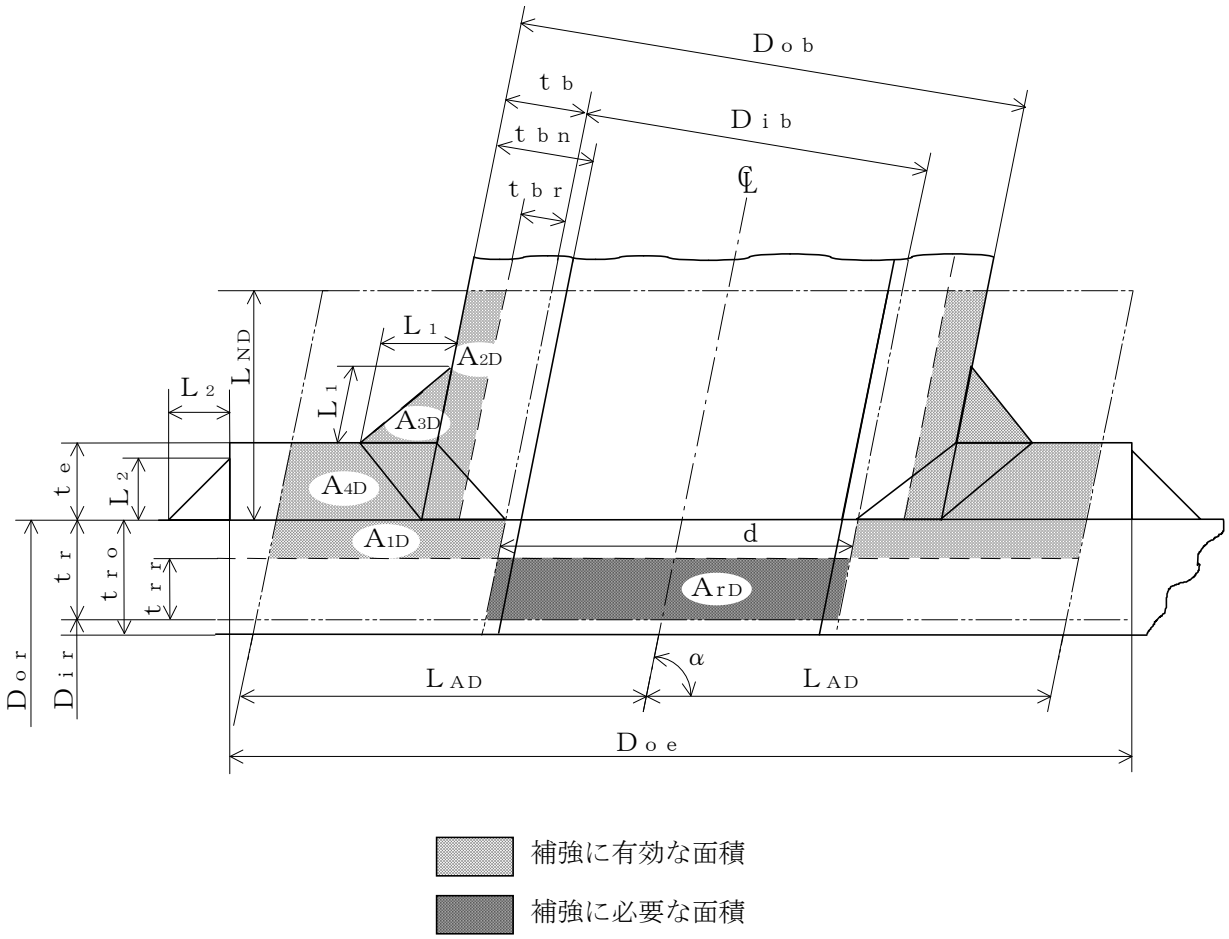
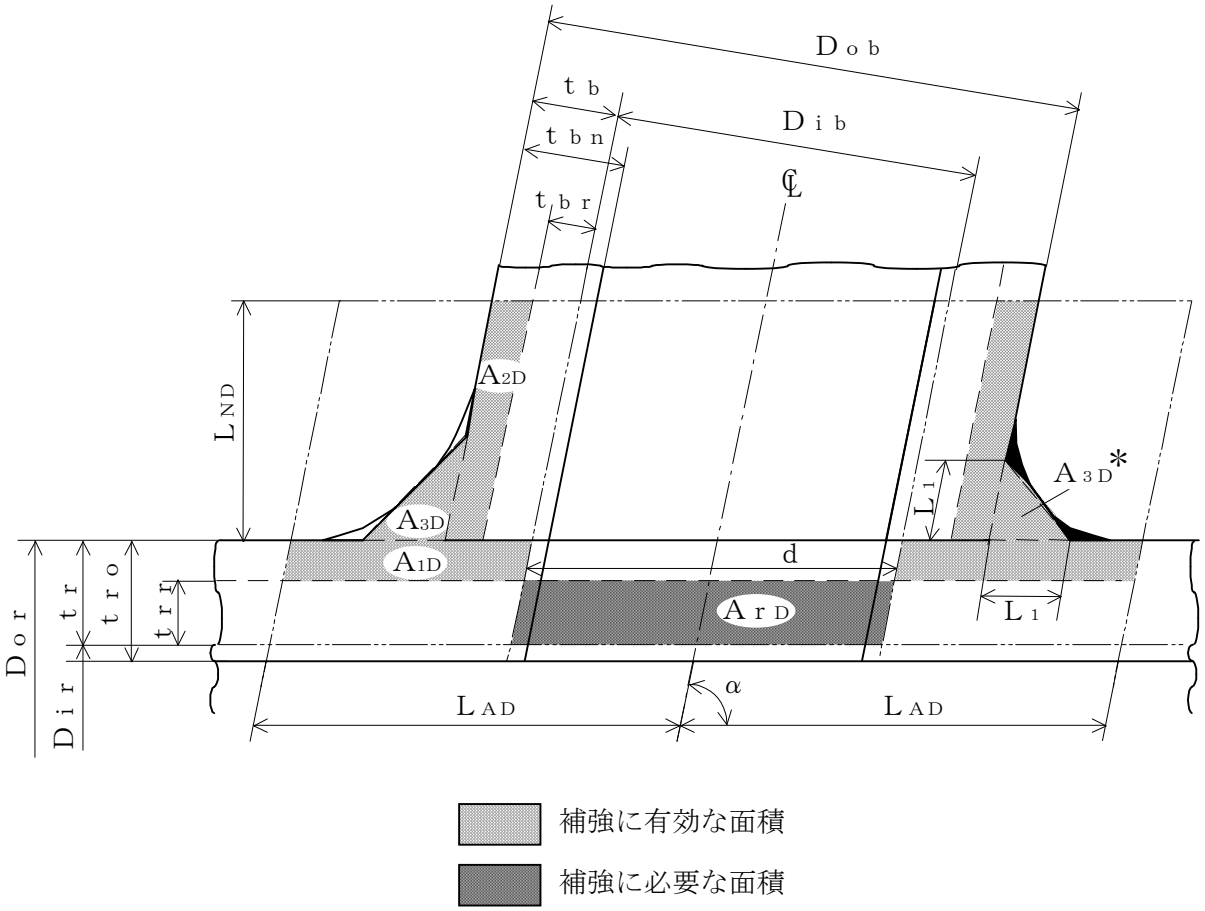


図 2-5　B 形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_{3D}はA形及びB形と同様に$A_{3D}=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-6　C 形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD}=\frac{d}{2}+\frac{d}{4}$$

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

イ．　大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD}=\frac{2}{3}\cdot A_{r}$$

ロ．　大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_{r}-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_{AD}-d)$$

$$A_{2D}=A_{2}$$

（管台の外径が有効範囲ＬＡＤ内にある場合）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲ＬＡＤの外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲ＬＡＤ内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲ＬＡＤの外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲ＬＡＤ内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲ＬＡＤの外まである場合）

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

k.　2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第2号準用）を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a)　算式

イ．　2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr}=0.7\cdot L_s\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ．　2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot t_r$$

(b)　算式

2つの穴の径の平均値の3分の4倍の値

$$L=\frac{4}{3}\cdot\left(\frac{d+d_D}{2}\right)$$

(c)　算式

イ．　2つの穴の補強に必要な面積

$$A_{ri}=A_r+A_{rs}$$

A_r及びA_{rs}は１つの穴の計算に準じる。

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot(t_r-t_{rr})+A_2+A_{2s}+A_3+A_{3s}+A_4+A_{4s}$$

A_2，A_{2s}，A_3，A_{3s}，A_4及びA_{4s}は，１つの穴の計算に準じる。

(d)　評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ．　2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

ハ．　2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の3分の4倍（L）

ニ．　それぞれの穴に共通な強め材の断面積（A_4）≧2つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，告示第５０１号第52条（第31条第6項第6号，第7号準用）を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

$$W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

ロ. 溶接部の許容応力

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

ニ.　予想される破断箇所の強さ

（イ）　A形の管台形式の場合

W_{ebp1}＝(W_{e3})　　を通る強さ＝W_{e3}

W_{ebp2}＝(W_{e1})＋(W_{e2})　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

（ロ）　B形の管台形式の場合

W_{ebp1}＝(W_{e1})＋(W_{e3})　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e3}

W_{ebp2}＝(W_{e2})＋(W_{e4})　　を通る強さ＝W_{e2}＋W_{e4}

W_{ebp3}＝(W_{e2})＋(W_{e5})　　を通る強さ＝W_{e2}＋W_{e5}

(b)　評価

イ.　溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ.　溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3)　補足

a.　穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b.　断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは，1として計算する。

2.6.2　管の穴と補強計算（設計・建設規格）

管の穴と補強計算は，設計・建設規格　PPB-3420を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A	図 2-8 に示す。	mm
	A_0	有効範囲L_A内にある穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
	A_{0D}	有効範囲L_{AD}内にある穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
	A_1	管台の厚さのうち管台の必要厚さt_{br}を除いた部分で有効範囲L_A及びL_N内にある面積	mm^2
	A_{1D}	図 2-9 に示す。	mm^2
	A_3	主管の厚さのうち主管の必要厚さt_{rr}を除いた部分で有効範囲L_A内にある面積	mm^2
	A_{D1}	管台の厚さのうち管台の必要厚さt_{br}を除いた部分で有効範囲L_{AD}及びL_N内にある面積	mm^2
	A_{D3}	主管の厚さのうち主管の必要厚さt_{rr}を除いた部分で有効範囲L_{AD}内にある面積	mm^2
	A_{R2}	図 2-9 に示す。	mm^2
A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
	A_{r23}	穴の補強に必要な面積の 3 分の 2	mm^2
	B	図 2－8 に示す。	mm
	B_{XX}	設計応力強さによる補正係数	－
	D_{ir}	主管の内径	mm
d_o	D_{ob}	分岐管の外径	mm
	D_{or}	主管の外径	mm
d	d	断面に現われる穴の径 平板の径又は最小内のり	mm
d_1，d_2	d_1，d_2	隣接する２つの穴の各々の直径	mm
	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	－
	L_1	主管表面より垂直に測った管台肩口までの距離	mm
	L_2	主管表面より垂直に測った分岐管から管台移行部までの距離	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
p	L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
p	L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
	Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	Q_{bD}	分岐管の厚さの負の許容差	%，mm
	Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
R	R	主管の平均半径（$=\frac{Dor-tr}{2}$）	mm
r	r	穴の半径（$=\frac{d}{2}$）	mm
r_1	r_1	管台の内側のすみの丸みの半径	mm
r_2	r_2	管台と主管との移行部の半径	mm
r_3	r_3	管台と分岐管との移行部の半径	mm
r_i	r_{ib}	管台の内半径	mm
r_m	r_m	管台の平均半径（$=r_{ib}+\frac{t_b}{2}$）	mm
	r_p	管台の外半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
	S_{mb}	管台の材料の最高使用温度における設計応力強さ 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 による。	MPa
	S_{mr}	主管の材料の最高使用温度における設計応力強さ 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 による。	MPa
t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
t	t_b	管台の最小厚さ	mm
T_s	t_r	主管の最小厚さ	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
t_p	t_{bD}	分岐管の最小厚さ	mm
	t_{bDo}	分岐管の公称厚さ	mm
t_n	t_{bn}	$t_{bD}+0.667\cdot y$（図2－5），t_b（図2－6）＊	mm
	t_{bo}	管台の公称厚さ	mm
	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
x	y	傾斜面の食違い	mm
θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角 ただし，$60^\circ \leqq \alpha \leqq 90^\circ$	°
θ	θ	傾斜面の傾き角	°
	θ_1	傾斜面の分岐管との傾き角	°
	θ_2	傾斜面の主管との傾き角	°
	π	円周率	－
	形式	管台の形状 設計・建設規格　PPB-3424(1)a.の図 PPB-3424-1(1)～(6)に対応する番号を示す。	－

注記　＊：図 2-5 及び図 2-6 中に記載のない記号については，図 2-7 及び図 2-8 を参照

(2)　計算手順及び算式

a.　穴の形状

管に設ける穴は，設計・建設規格　PPB-3421により円形又はだ円形であること。

b.　管台の形状

管台の形状は，設計・建設規格　PPB-3424(1)a.に示す図2-1～図2-6のいずれかとする。

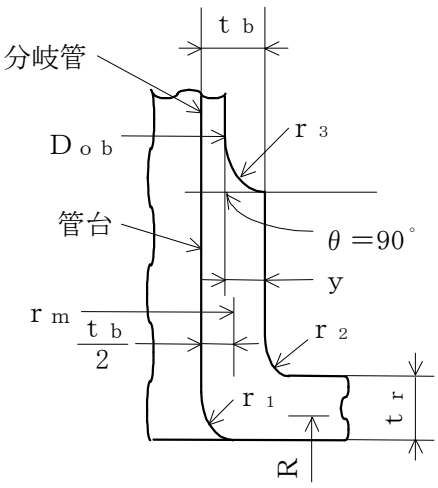


図 2-1

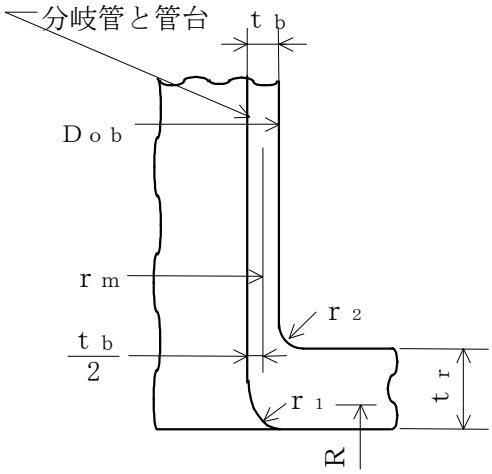


図 2-2

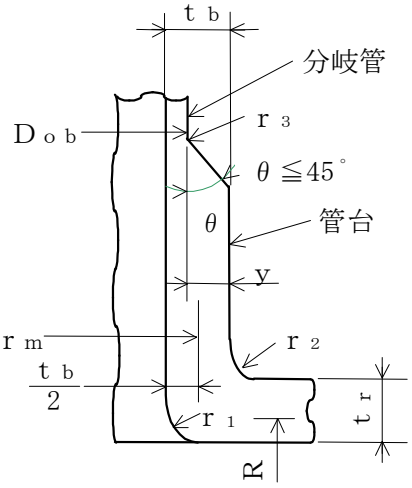


図 2-3

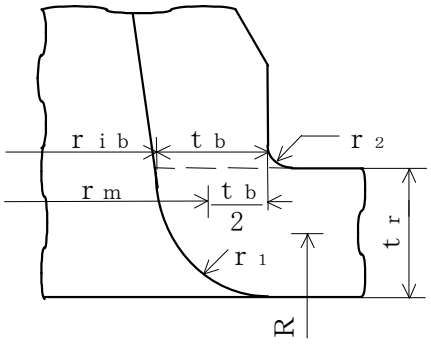


図 2-4

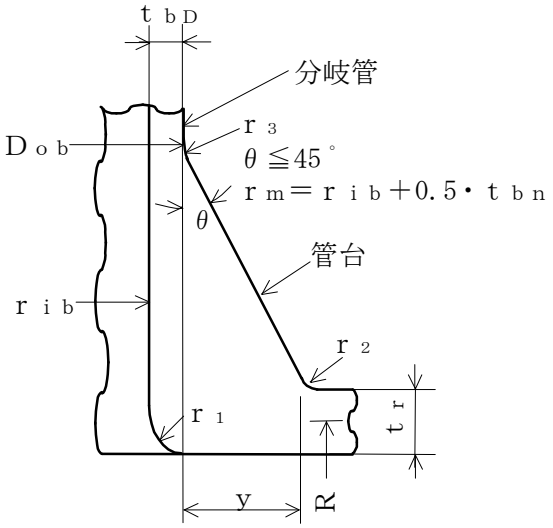

t bD
分岐管
r 3
θ ≦45°
r m＝r ib＋0.5・t bn
θ
管台
D ob
r ib
r 2
r 1
t r
y
R

図 2-5

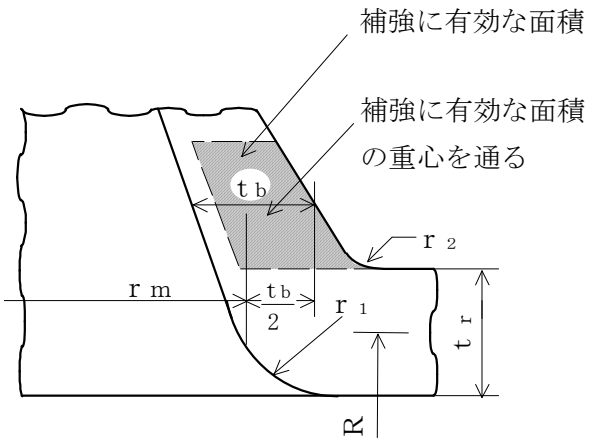

補強に有効な面積
補強に有効な面積
の重心を通る
t b
r 2
r m
t b
2
r 1
t r
R

図 2-6

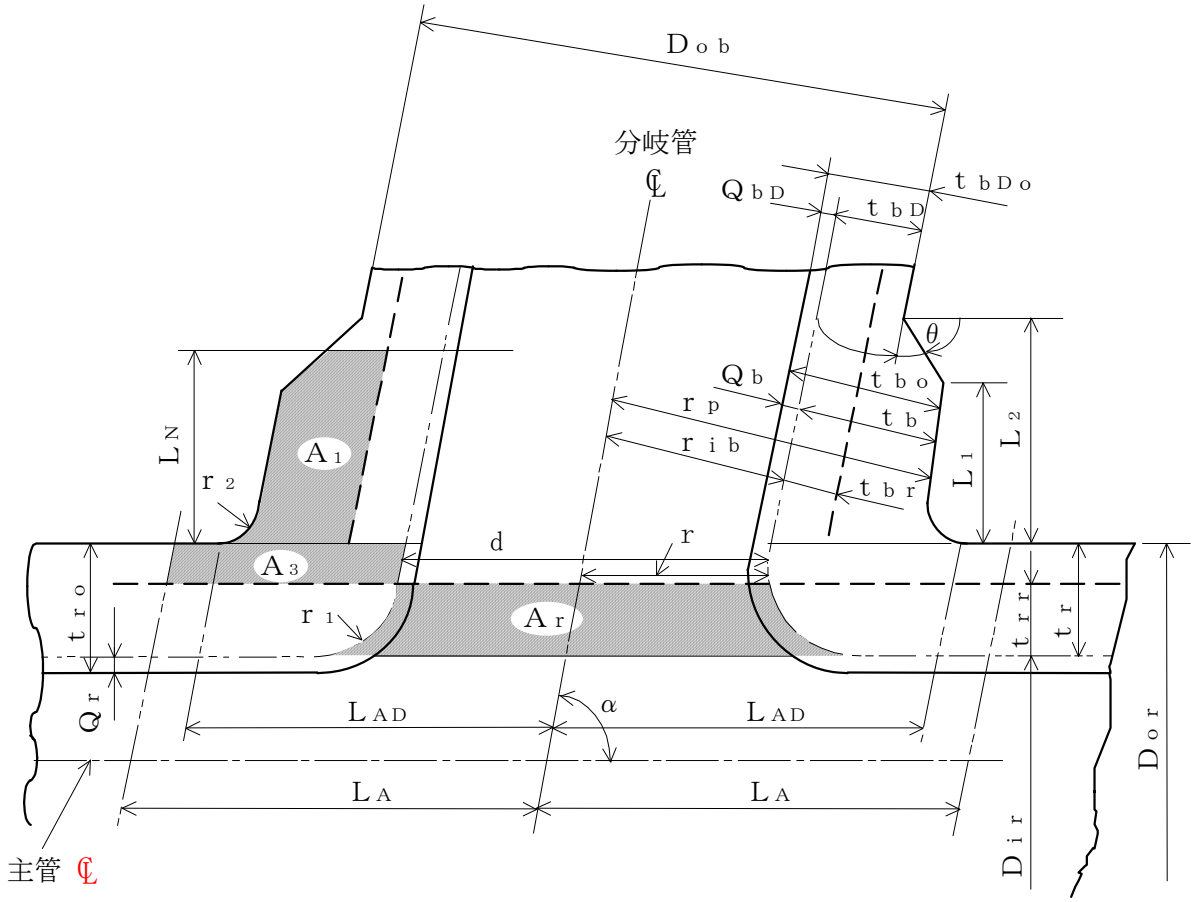
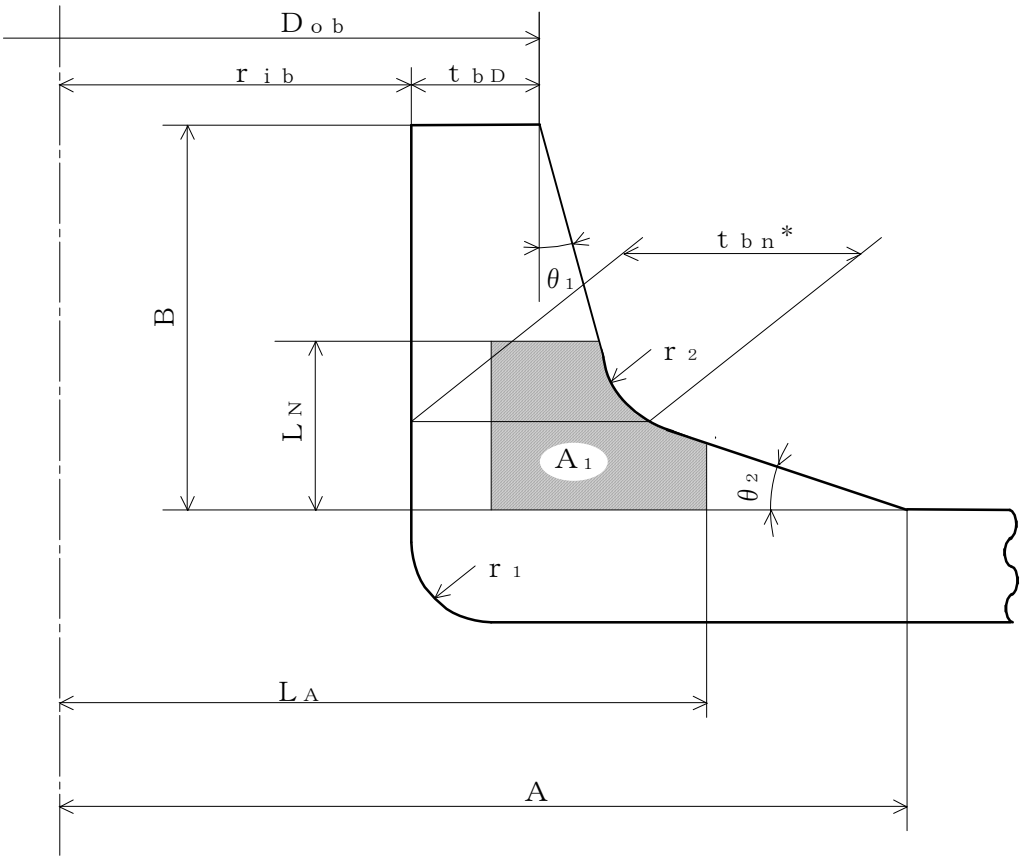

Dob
分岐管
℄
QbD
tbDo
tbD
θ
Qb
tbo
rp
tb
rib
tbr
L1
L2
LN
r2
A1
A3
d
r
tro
r1
Ar
trr
tr
Qr
LAD
α
LAD
LA
LA
Dir
Dor
主管 ℄

図 2-7



注記＊：t_{bn}は補強面積A_1の重心点を通る管台肉厚

図 2-8

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は，設計・建設規格　PPB-3422を適用する。

(a) 算式

イ. 平板以外の管に設ける円形の穴であって，次に適合する場合は，穴の補強は不要である。

（イ） 穴の直径が$0.2\cdot\sqrt{R\cdot t_r}$以下であること。

（ロ） 直径が$2.5\cdot\sqrt{R\cdot t_r}$の管内面に沿った円の中に2つ以上の穴がある場合において，それらの穴の直径の総和が$0.25\cdot\sqrt{R\cdot t_r}$以下であること。

この場合において，それぞれの穴の中心間の管内面に沿った弧の長さは，$1.5\cdot(d_1+d_2)$以上であること。

（ハ） 隣接する2つの穴の中心間の主管内面に沿った弧の長さが，$1.5\cdot(d_1+d_2)$又は$2.5\cdot\sqrt{R\cdot t_r}+0.5\cdot(d_1+d_2)$のいずれか大きい方の値以上であること。ただし，(ロ)の規定に適合する場合は，この限りではない。

（ニ） 穴の端と当該穴が存在する部分以外の局部応力発生箇所との距離は，$2.5\cdot\sqrt{R\cdot t_r}$以上離れていること。

ロ. 平板に穴を設ける場合であって，平板の厚さが次の式により計算した値以上である場合は，穴の補強は不要である。

（イ） 穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1以下の場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，Kの値は設計・建設規格　PPB-3413 の表 PPB-3413-1 中(f)の場合を除き，0.375 以上とすることを要しない。

（ロ） 穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1を超える場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2.25\cdot K\cdot P}{S}}$$

(b) 評価

不要な場合は，穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，d項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格　PPB-3424(1)a.及び設計・建設規格　PPB-3424(4)を適用する。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$L_A = d$$

$$L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_{AD}）は，次の値（補強に必要な面積の3分の2に対応する補強に有効な範囲）

$L_{AD} = r + 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$　　（$t_b \leqq 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$　の場合）

$L_{AD} = r + t_b / \sin\alpha + t_r$　　（$t_b > 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$　の場合）

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲L_Nは，次の表の左欄に掲げる区分に応じ，それぞれ同表の右欄に掲げる計算式より計算した値

管台の形状	計　算　式
図 2-1，図 2-2，図 2-3 及び図 2-4	$L_N = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_b} + 0.5 \cdot r_2$
図 2-5 及び図 2-6	$L_N = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_{bn}}$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}）は，設計・建設規格　PPB-3411(1)を適用する。

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_{mr} + 0.8 \cdot P}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，設計・建設規格　PPB-3411(1)を適用する。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ob}}{2 \cdot S_{mb} + 0.8 \cdot P}$$

g. 穴の補強計算

(a) 補強に必要な面積

イ. 穴の補強に必要な面積（A_r）は，設計・建設規格　PPB-3424(1)c.(c)を適用する。

$$A_r = d \cdot t_{rr} \cdot (2 - \sin\alpha) + 2 \cdot \left(r_1^2 - \frac{\pi \cdot r_1^2}{4} \right)$$

ロ. 穴の補強に必要な面積の 3 分の 2（A_{r23}）は，設計・建設規格　PPB-3424(4)を適用する。

$$A_{r23} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(b) 補強に有効な面積

穴の補強に有効な面積は，設計・建設規格　PPB-3424(1)b.，設計・建設規格 PPB-3424(4)，設計・建設規格　PPB-3424(6)及び設計・建設規格　PPB-3424(7)を適用する。

イ．　A_3及びA_{D3}

$A_3=2\cdot(L_A-r)\cdot(t_r-t_{rr})$

$A_{D3}=2\cdot(L_{AD}-r)\cdot(t_r-t_{rr})$

ロ．　A_1及びA_{D1}

$A_1=2\cdot\{A_{R2}+(A_{1D}-A_4-A_5)\}$

$A_{D1}=2\cdot\{A_{R2}+(A_{1D}-A_4-A_5)\}$

ただし，A_{R2}，A_{1D}，A_4及びA_5は以下による。

$L_N \leqq L_1$の場合

$A_{R2}{}^{*}=r_2{}^2\cdot\left(1-\frac{\pi}{4}\right)$

$A_{1D}=(t_b-t_{br})\cdot\mathrm{cosec}\,\alpha\cdot L_N$

$A_4=0$

$A_5=0$

$L_1<L_N\leqq L_2$の場合

$A_{R2}{}^{*}=r_2{}^2\cdot\left(1-\frac{\pi}{4}\right)$

$A_{1D}=(t_b-t_{br})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot L_N$

$A_4=(t_b-t_{bD})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot\frac{L_N-L_1}{L_2-L_1}\cdot\frac{L_N-L_1}{2}$

$A_5=0$

$L_N>L_2$の場合

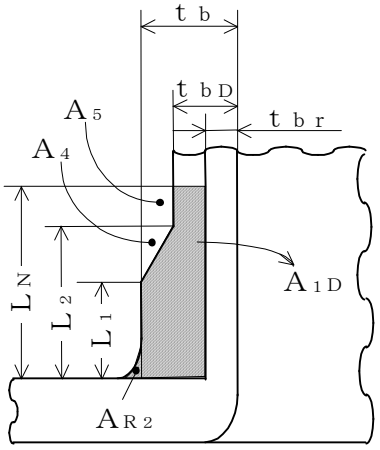
$A_{R2}{}^{*}=r_2{}^2\cdot\left(1-\frac{\pi}{4}\right)$

$A_{1D}=(t_b-t_{br})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot L_N$

$A_4=(t_b-t_{bD})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot\frac{L_2-L_1}{2}$

$A_5=(t_b-t_{bD})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot(L_N-L_2)$

注記　＊：補強に有効な範囲にない部分が生じる場合は，$A_{R2}=0$ とする。



注：図中の斜線部がA_1

図 2-9

ハ. A_0及びA_{0D}

$A_0 = A_3 + A_1 \cdot B_{xx}$

$A_{0D} = A_{D3} + A_1 \cdot B_{xx}$ *

注記＊：$A_1 \neq A_{D1}$のときは，

$A_{0D} = A_{D3} + A_{D1} \cdot B_{xx}$

ただし，B_{xx}は設計応力強さによる補正係数で，

$B_{xx} = \dfrac{S_{mb}}{S_{mr}}$ （$S_{mr} > S_{mb}$のとき）

$B_{xx} = 1$ （$S_{mr} \leqq S_{mb}$のとき）

とする。

(c) 評価

a. 穴の補強に有効な面積の総和（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）

b. 穴の補強に有効な面積の総和（A_{0D}）≧穴の補強に必要な面積の3分の2（A_{r23}）

以上の条件が満足されるならば穴の補強は十分である。

(3) 補足

a. 補強に有効とみなす部分のうち，A_1で示される部分（図2-7参照）の熱膨張係数は，主管のそれの0.85倍以上1.15倍以下であること。

b. 補強に有効な部分は，2つ以上の穴に重複して有効としてはならない。

c. 図2-8に示す管台については，図2-6に従い計算を行う。

d. 隣接する2つの穴の中心間の距離は，これらの穴の径の平均値の1.5倍以上であり，かつ，これらの穴の間にある補強に有効な面積は，これらの穴の補強に必要な面積の50%以上であること。

e. 補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は，穴の中心線の両側にあること。

f. 本書は，αが90°の場合での計算例を示す。

2.7　フランジの強度計算

フランジの強度計算は，設計・建設規格　PPB-3414を適用する。

計算は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（$f \geqq 1$のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（一体形フランジでｆの最小採用値は１であるが，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図４より求まるｆが１未満となる場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2(\text{一体形フランジの場合})\right)$	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(=\frac{F}{h_o}(\text{一体形フランジの場合})\right)$	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図５又は表４による。）	－
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図４又は表４による。）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_D	H_D	内圧によってフランジの内径面に加わる荷重	N
HG，H_G	H_G	ガスケット荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	－
L	L	係数（$= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$）	－
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_0	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
M	M_e	フランジ部に作用するモーメント	N･mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
P_{FD}	P	設計圧力 応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力にP_{eq}を加えたものである。	MPa
P_{eq}	P_{eq}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{eq}=\frac{16\cdot M_e}{\pi\cdot G^3}$	MPa
	P_o	最高使用圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
V	V	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	－
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
π	π	円周率	－

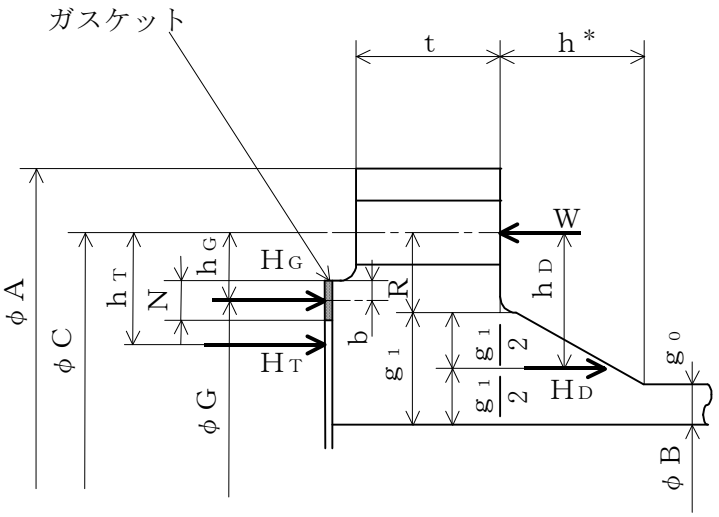
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形式	フランジの形式	－
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

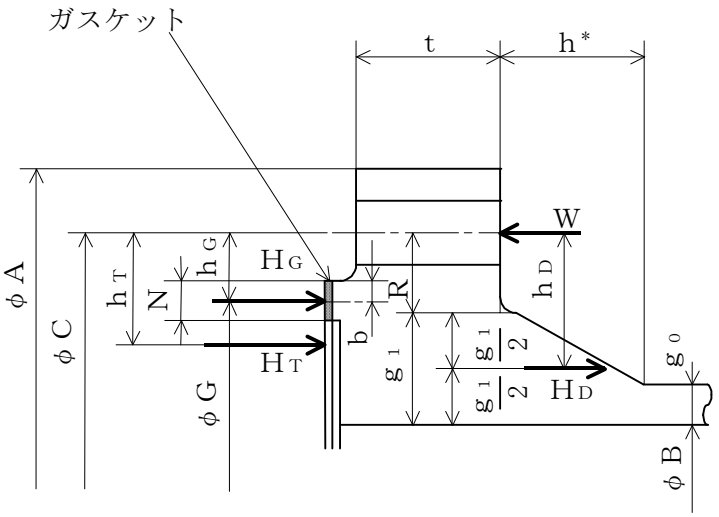
(2)　フランジの形式

フランジの形式及び各部の記号は，図 2-10 及び図 2-11 による。

ただし，Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。



ＴＹＰＥ－1　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)



ＴＹＰＥ－2　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)

注記　＊：フランジに近いハブのこう配が 1／3 以下の場合は，ｈは下図に従う。

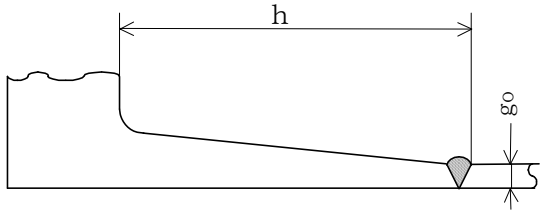
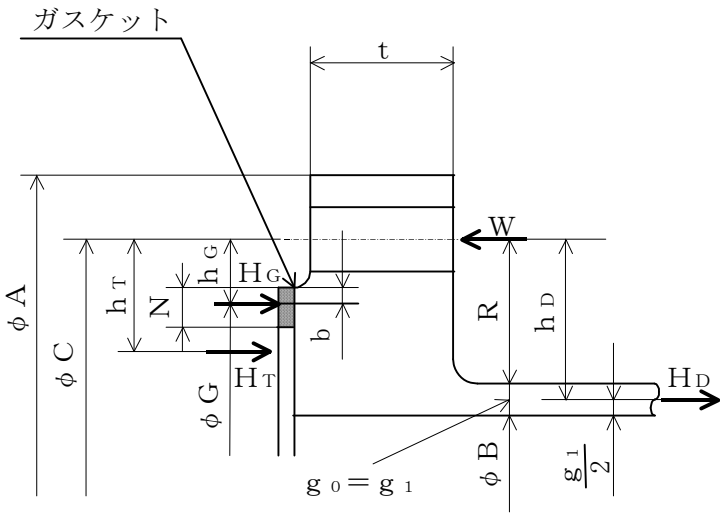


図 2-10　一体形フランジ



ＴＹＰＥ－3　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b) 6)

図 2-11　一体形フランジ

(3)　内圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35$mmの場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b}$$　（使用状態）

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$$　（ガスケット締付時）

$$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$$

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1}$$　（使用状態）

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a$$　（ガスケット締付時）

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$

ただし，

$$R = \left(\frac{C-B}{2}\right) - g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_O = M_D + M_G + M_T$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C-G}{2}\right)$$

i. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg}=\frac{f\cdot M_g}{L\cdot g_1^2\cdot B}$$

$$\sigma_{Rg}=\frac{(1.33\cdot t\cdot e+1)\cdot M_g}{L\cdot t^2\cdot B}$$

$$\sigma_{Tg}=\frac{Y\cdot M_g}{t^2\cdot B}-Z\cdot\sigma_{Rg}$$

ただし,

$$L=\frac{t\cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}$$

$$h_o=\sqrt{B\cdot g_0}$$

$$d=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2 \qquad \text{(一体形フランジ)}$$

$$e=\frac{F}{h_o} \qquad \text{(一体形フランジ)}$$

また，Bが$20\cdot g_1$より小さい場合は，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のBの代わりにB_1を用いる。

(3) 評価

内圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積　$A_m<A_b$

b. ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ho}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Hg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

c. フランジの径方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ro}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Rg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

d. フランジの周方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{To}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Tg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

第二部　クラス２管の基本板厚計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 …… 2-1
1.1　概要 …… 2-1
1.2　適用規格及び基準との適合性 …… 2-1
1.3　強度計算書の構成とその見方 …… 2-4
1.4　計算精度と数値の丸め方 …… 2-5
1.5　材料の表示方法 …… 2-6
1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 …… 2-6
2.　強度計算書の計算式と記号 …… 2-7
2.1　共通記号 …… 2-7
2.2　管の強度計算 …… 2-8
2.3　平板の強度計算 …… 2-12
2.4　鏡板の強度計算 …… 2-23
2.5　レジューサの強度計算 …… 2-26
2.6　管の穴と補強計算 …… 2-29
2.7　フランジの強度計算 …… 2-70
2.8　伸縮継手の強度計算 …… 2-87
3.　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価 …… 2-89

1.　一般事項

1.1　概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス２管（重大事故等クラス２管を含む。）の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪSME　S　NC１－2005/2007）（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）及び昭和45年通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第５０１号」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応は，表1-1に示すとおりである。

(2)　設計・建設規格及び告示第５０１号に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1-2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外の管継手は，以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格　別表4に掲げるものとし，接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格　PPC-3415）

a.　ＪＩＳ Ｂ ２３１２（2001）「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」

b.　ＪＩＳ Ｂ ２３１３（2001）「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」

c.　ＪＩＳ Ｂ ２３１６（1997）「配管用鋼製差込み溶接式管継手」

(4)　強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については，以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格　別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PPC-3414）

a.　ＪＩＳ Ｂ ２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

b.　ＪＩＳ Ｂ ２２３９（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」

c.　ＪＩＳ Ｂ ８２１０（1994）「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

(5)　管の接続

管と管を接続する場合は，設計・建設規格　PPC-3430により溶接継手又はフランジ継手とする。

表 1-1　設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
第 58 条 第 1 項第 1 号 第 2 号 第 3 号	2.2 2.2.1	管の強度計算（告示第５０１号）
PPC-3411（直管） PPC-3411(1) PPC-3411(2) PPC-3411(3) PPC-3412（曲げ管） PPC-3411（直管）を準用する。	2.2.2 2.4 2.5	管の強度計算（設計・建設規格） 鏡板の強度計算（フランジ部） レジューサの強度計算（フランジ部）
PPC-3413（平板）	2.3	平板の強度計算
PPC-3414（フランジ） PPC-3414(1) PPC-3414(2) PPC-3414(3)	2.7	フランジの強度計算 （1.2(4) フランジ継手）
PPC-3415（管継手） PPC-3415(1)		1.2(3)管継手
PPC-3415.1（レジューサ） PPC-3415.1(1) PPC-3415.1(2) PPC-3415.1(3) 準用 PVC-3124.2(外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算（円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの））

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
PPC-3415.2（鏡板） PPC-3415.2(1) PPC-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPC-3416（伸縮継手）	2.8	伸縮継手の強度計算
第60条 準用 第31条 第2項第2号イ，ハ 第5項第1号 第2号イ，ロ 第6項第1号イ，ロ，ハ 第2号イ，ロ，ハ 第3号 第4号 第5号 第6号イ，ロ 第7号イ	2.6 2.6.1	管の穴と補強計算（告示第５０１号）
PPC-3420（穴と補強） PPC-3421 PPC-3422 PPC-3423 PPC-3424	2.6.2	管の穴と補強計算（設計・建設規格）
PPC-3422(3)	2.3	平板の強度計算

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式	備考
No.	項	(章節番号)	
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）	2	2.7	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造－一般事項」附	3		
属書 3（規定）「圧力容器のボルト	4		
締めフランジ」	5		

注記　＊：設計・建設規格　PPC-3414(2)によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本基本方針と各配管の強度計算書からなる。

(2)　各配管の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

(3)　各配管の強度計算書において，ＮＯ．の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-3に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	最高使用圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
	外面に受ける最高の圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位*2
温度		℃	－	－	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
	ガスケット厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
角度		°	小数点以下第 2 位 (小数点以下第 1 位)*4	四捨五入	小数点以下第 1 位 (整数位)*4

注記　＊1：設計・建設規格　付録材料図表及び告示第５０１号　別表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。（告示第５０１号は非ＳＩ単位をＳＩ単位に換算する。）

＊2：必要に応じて小数点以下第 3 位を用いる。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊4：管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

（例1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例2）　SCMV3-1 相当（ASME SA387 Gr.11Cl.1）

(2)　管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので，材料表示としては，製造方法の区別を特に表示しない。

（継目無管：S，溶接管：W）

(3)　強度区分により許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記する。

（例）

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の上段）	SCMV3-1
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の下段）	SCMV3-2

(4)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）SS400（16mm＜径≦40mm）

(5)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1)　管継手の表示方法

概略系統図において，計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“＊”を付け，概略系統図中に“注記＊：管継手”と表示する。

(2)　管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中，管の途中において仕様変更が生じた場合は“ ―●― ”のように表示する。

2. 強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス２管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。
なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格又は告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	ＮＯ.	管，平板，鏡板，レジューサ，管の穴，フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ：管 Ｂ：平板 Ｃ：鏡板 Ｒ：レジューサ Ｔ：管の穴 Ｆ：フランジ Ｅ：伸縮継手 ＳＰ：穴あき管	－
Ｐ	Ｐ	最高使用圧力（内圧）	MPa
P_e*	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Ｑ	厚さの負の許容差	%，mm
η	η	継手の効率	－
		管及び鏡板は設計・建設規格　PVC-3130 による。レジューサは設計・建設規格　PVC-3130 及び PVC-3140 による。 告示第５０１号より計算を実施する場合，告示第５０１号第 31 条第 3 項第 1 号による。	

注記＊：告示第５０１号で使用されていない記号

2.2　管の強度計算

管の強度計算は，告示第５０１号第 58 条第 1 項又は設計・建設規格　PPC-3411 を適用する。

2.2.1　管の強度計算（告示第５０１号）

(1)　記号の説明

告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_0	D_o	管の外径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第 4 及び別表第 5 による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ	mm
	算式	t_rとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

告示第５０１号第58条第1項第1号により求めた値：ｔ

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

告示第５０１号第58条第1項第2号により求めた値：t_{op}

$\cdots\cdots$ (B)

c. 炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ：t_t

告示第５０１号第58条第1項第3号により求めた値 $\cdots\cdots$ (C)

(3) 評価

ｔ，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項及びc項の文字Ａ，Ｂ及びＣに対応する。

b. 曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.2.2　管の強度計算（設計・建設規格）

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔｏｐとなる。）	－
D_0	D_o	管の外径	mm
ℓ	ℓ	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算式	ｔｒとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPC-3411(1)の式より求めた値：t

$$t=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPC-3411(2)の図PPC-3411-1より求めた値。ただし，図から求められない場合は次の式より求めた値：t_{op}

$$t_{op}=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (B)$$

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格　PPC-3411(3)の表PPC-3411-1より求めた値　…… (C)

(3) 評価

t，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項及びc項の文字Ａ，Ｂ及びＣに対応する。

b. 曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.3　平板の強度計算

平板の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3413及び設計・建設規格　PPC-3422(3)を適用する。

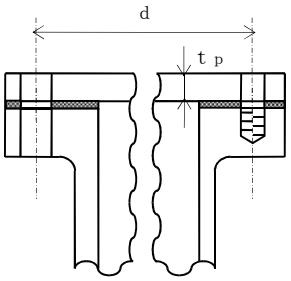
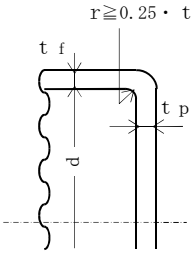
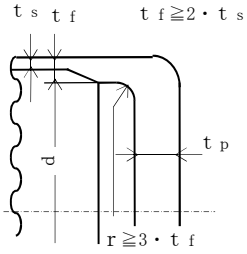
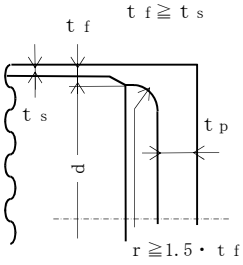
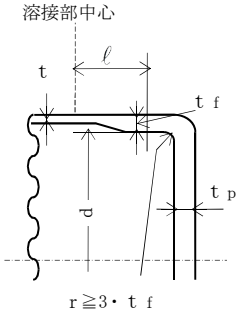
(1)　記号の説明

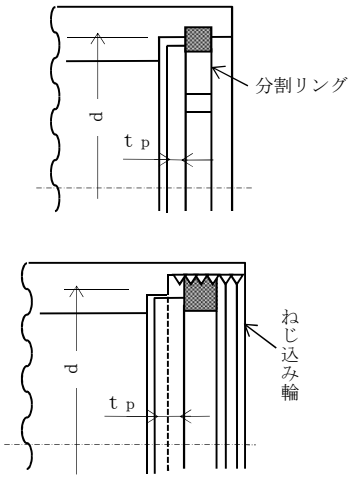
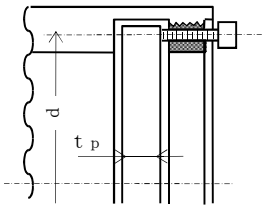
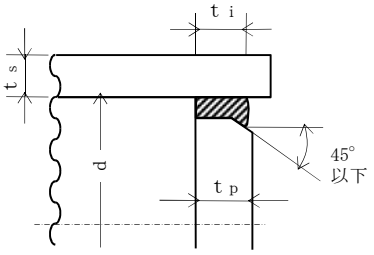
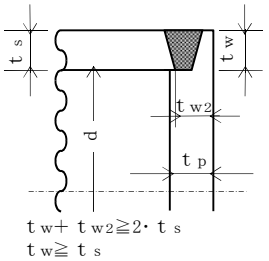
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表 PPC-3413-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径とｄとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	－
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t_r / t_s	－
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
r	r	すみの丸みの内半径	mm

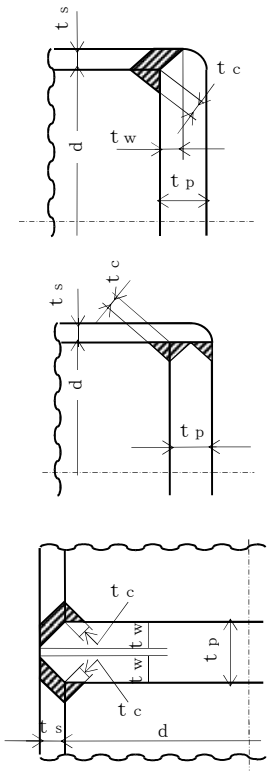
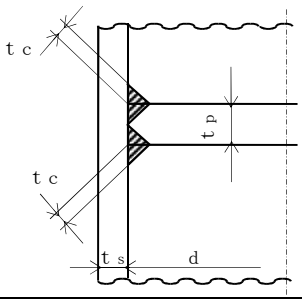
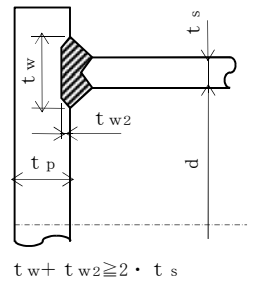
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力（S_a又はS_bのいずれか小さい方の値）	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪，分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f，t	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_w	t_i	平板ののど厚	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	管の最小厚さ	mm
t_r	t_r	継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
t_w，t_{w1}	t_w	平板の溶接部の深さ	mm
t_{w2}	t_{w2}	平板の溶接部の長さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ Ｂ ８２６５　附属書 3　表 2 による。）	N/mm^2

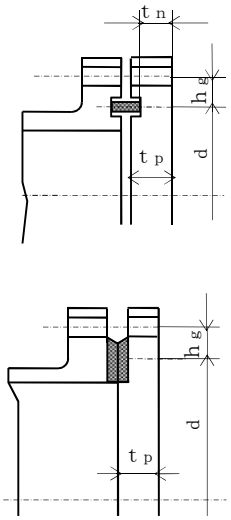
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
π	π	円周率	－
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－
	ガスケット座面の形状	ＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3 表2による。	－
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413 の表 PPC-3413-1 による。	－
(a)～(n)	2A～2N	取付け方法の表示区分	

(2)　形状の制限

取付け方法		形状の制限
（a）		無し
（b）		d≦600mm，d／20≦t p＜d／4 かつ， r≧0.25・t f であること。
（c）		t f≧2・t s かつ，r≧3・t f であること。
（d）		t f≧t s かつ，r≧1.5・t f であること。
（e）		r≧3・t f であること。

取付け方法		形状の制限
（f）		0.8・$S_1 \geqq \sigma_p$であること。
（g）		0.8・$S_x \geqq \sigma_p$であること。
（h）		$t_i \geqq 2 \cdot t_r$かつ，$t_i \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。
（i）		$t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$，$t_w \geqq t_s$かつ， $t_s \geqq 1.25 \cdot t_r$であること。

取付け方法		形状の制限
(j)		(1) 平板が鍛造品で，かつ，平板の面からの開先角度が 45° 未満の場合 $t_w \geqq \mathrm{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p)$ かつ， $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。 (2) (1)以外の場合 $t_w \geqq \mathrm{Min}(t_s, 0.5 \cdot t_p)$ かつ， $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。
(k)		$t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。
(ℓ)	 $t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$	$t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ であること。

取付け方法		形状の制限
（m）	 	無し
（n）	その他の場合	無し

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33・m, 0.2)　　$m = t_r / t_s$
(e)	0.17*1 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20*2
(h)	Max (0.33・m, 0.2)　　$m = t_r / t_s$
(i)	0.33
(j)	Max (0.33・m, 0.2)　　$m = t_r / t_s$
(k)	
(ℓ)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし，t_nの厚さの場合は $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$*3
(n)	0.50

注記　*1：取付け方法（e）の場合

t_fからt_sへ移行するテーパが 1 対 4 又はそれより緩やかであり，かつ，以下の(a)又は(b)いずれかの場合，K＝0.10 とできる。

(a)　$\ell \geqq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b)　管が$2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$以上の長さにわたって

$t_s \geqq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記　＊2：取付け方法（ｇ）の場合のσ_pは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$ mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

$H = \dfrac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$W = H$

$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$

ただし，Ｐは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = \dfrac{W_{m1}}{S_b}$　　（使用状態）

$A_{m2} = \dfrac{W_{m2}}{S_a}$　　（ガスケット締付時）

$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$

$A_b = \dfrac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　　（使用状態）

$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a$　　（ガスケット締付時）

$F = \mathrm{Max}(W_o, W_g)$

(e)　平板に作用する力によって生じるボルトの応力

$\sigma_p = \frac{F}{A_b}$

注記　＊3：取付け方法（m）の場合のF，h_g，W及びdは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（b）及びガスケット反力円の直径（G）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$ mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$W = H$

$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$

ただし，Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1}=\frac{W_{m1}}{S_b}$$　（使用状態）

$$A_{m2}=\frac{W_{m2}}{S_a}$$　（ガスケット締付時）

$$A_m=\mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$$

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d_b^{\,2}\cdot n$$

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o=W_{m1}$$　（使用状態）

$$W_g=\left(\frac{A_m+A_b}{2}\right)\cdot S_a$$　（ガスケット締付時）

$$F=\mathrm{Max}(W_o,\ W_g)$$

(e)　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g=\frac{C-G}{2}$$

b.　平板に穴を設ける場合は，設計・建設規格　PPC-3422(3)により平板の計算上必要な厚さを，次の式より計算した値とする。

(a)　穴の径（d_h）が平板の径又は最小内のり（d）の値の2分の1以下の場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，Kの値は（m）の取付け方法を除き 0.375 以上とすることを要しない。

(b)　穴の径（d_h）が平板の径又は最小内のり（d）の値の2分の1を超える場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2.25\cdot K\cdot P}{S}}$$

(4)　評価

平板の最小厚さ（t_p）≧平板の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(5)　補足

a.　取付け方法は，設計・建設規格　PPC-3413の表PPC-3413-1の条件を満足するものとする。

b.　スペクタクルフランジの取付け方法は（g）タイプとする。

2.4　鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3415.2及び設計・建設規格　PPC-3411を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔとなる。）	－
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D_0	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	D_{oc}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の 2 分の 1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	－
K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.の表 PPC-3415.2-1 による。	－
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R_D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 R_D＝R＋（最小厚さ）	mm
R	R_R	半だ円形鏡板の外面の長径 R_R＝D＋2・（最小厚さ）	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	－
	形式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	－
	算式	ｔとして用いる値の算式	－

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは，次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPC-3415.2(1)a.により以下とする。

$D_{oc} \geqq R$

$r \geqq 3 \cdot t_{co}$

$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$

$r \geqq 50mm$

設計・建設規格　PPC-3415.2(2)a.の式PPC-1.12又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)b.の式PPC-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

ただし，

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (A')$$

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格　PPC-3415.2(2)c.の式PPC-1.15又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)d.の式PPC-1.16より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (B)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (B')$$

c.　半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPC-3415.2(1)c.により以下とする。

$$2 \geqq \frac{D}{2 \cdot h}$$

設計・建設規格　PPC-3415.2(2)e.の式PPC-1.17又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (C)$$

ただし,

$$K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \quad \cdots\cdots (C')$$

d.　鏡板のフランジ部

設計・建設規格　PPC-3411により求めた値

(a)　内面に圧力を受ける管　…… (D)

(b)　外面に圧力を受ける管　…… (D')

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ　…… (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡部（上段）及びフランジ部（下段）の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，A'，B，B'，C，C'，D，D'及びD''に対応する。

2.5　レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は，設計・建設規格　PPC-3415.1（設計・建設規格　PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格　PPC-3411を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_3となる。）	－
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_0	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格　PPC-3415.1(3)の図 PPC-3415.1-1 より求めた係数	－
r，r_0，r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 （円すいの丸みの外半径）	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 に定める値の 2 倍，又は設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表 8 に定める値の 0.9 倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	$t_{s\ell}$	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	－
θ	θ	円すいの頂角の 2 分の 1	°

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	算式	ｔとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	－
	端部記号	大径端，小径端及びフランジ部を示す名称	－

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは，次に掲げる値とし，大径端側及び小径端側のそれぞれについて計算を行う。

a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PPC-3415.1(1)a.の式PPC-1.8より求めた値

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.6\cdot P)} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格　PPC-3415.1(1)b.の式PPC-1.9より求めた値

$$t_2=\frac{P\cdot D_i\cdot W}{4\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.1\cdot P)} \quad \cdots\cdots$$

ただし，

$$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{D_i}{2\cdot r\cdot\cos\theta}}\right)$$

小径端側

設計・建設規格　PPC-3415.1(3)の式PPC-1.11より求めた値

$$t_2=\frac{K}{\eta}\cdot\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots$$

ただし，Kは設計・建設規格　PPC-3415.1(3)の図PPC-3415.1-1より求めた値

} (B)

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格　PPC-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 …… (C)

(b) 外面に圧力を受ける管 …… (C')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …… (C'')

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d.　円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PVC-3124.2により求める。

(a)　円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (D)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{D_o\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{D_o}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (D')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

(b)　円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot(D_o-2\cdot t_s)}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (D'')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (D''')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

(3)　評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて，レジューサの最小厚さ（t_s）≧レジューサの計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

a.　計算書中，ＮＯ.(レジューサの番号)に＊印の付いているものは，偏心レジューサを示す。

b.　偏心レジューサの場合のθは，円すいの頂角をそのまま使用する。

c.　計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，B，C，C'，C''，D，D'，D''及びD'''に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

2.6.1 管の穴と補強計算（告示第５０１号）

管の穴と補強計算は，告示第５０１号第 60 条（第 31 条第 2 項，第 5 項及び第 6 項準用）を適用する。告示第５０１号に関する記載は，全て直管又は曲げ管の場合のみに限る。

(1) 記号の説明

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 告示第５０１号　別図第 1～第 8 により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	－
	D，Do	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\dfrac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	－
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第 4 又は別表第 5 による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ 主管の公称厚さ	mm
		t_{ro}	主管の計算上必要な厚さ	mm
	t，t_{sr}	t_{rr}	継手の効率	mm
	η	η	穴が管の長手継手を通る場合 告示第５０１号第 60 条（第 31 条第 3 項第 1 号準用）に規定する効率 その他の場合は 1.00 とする。	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2 つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2 つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2 つの穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{oi}	2 つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
	d	d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
		d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第５０１号第 60 条（第 31 条第 6 項第 1 号ロ(イ)準用）により求められる係数	－
		F_1	すみ肉溶接のせん断応力係数	－
		F_2	突合せ溶接の引張応力係数	－
		F_3	突合せ溶接のせん断応力係数	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		L	2 つの穴の径の平均値の 3 分の 4 倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2 つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A 形，B 形）又は管台補強部の短辺長さ（C 形）	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長	mm
	P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第 4 及び別表第 5 による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第 4 及び別表第 5 による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	－
		形式	管台の取付け形式	－

(2)　計算手順及び算式

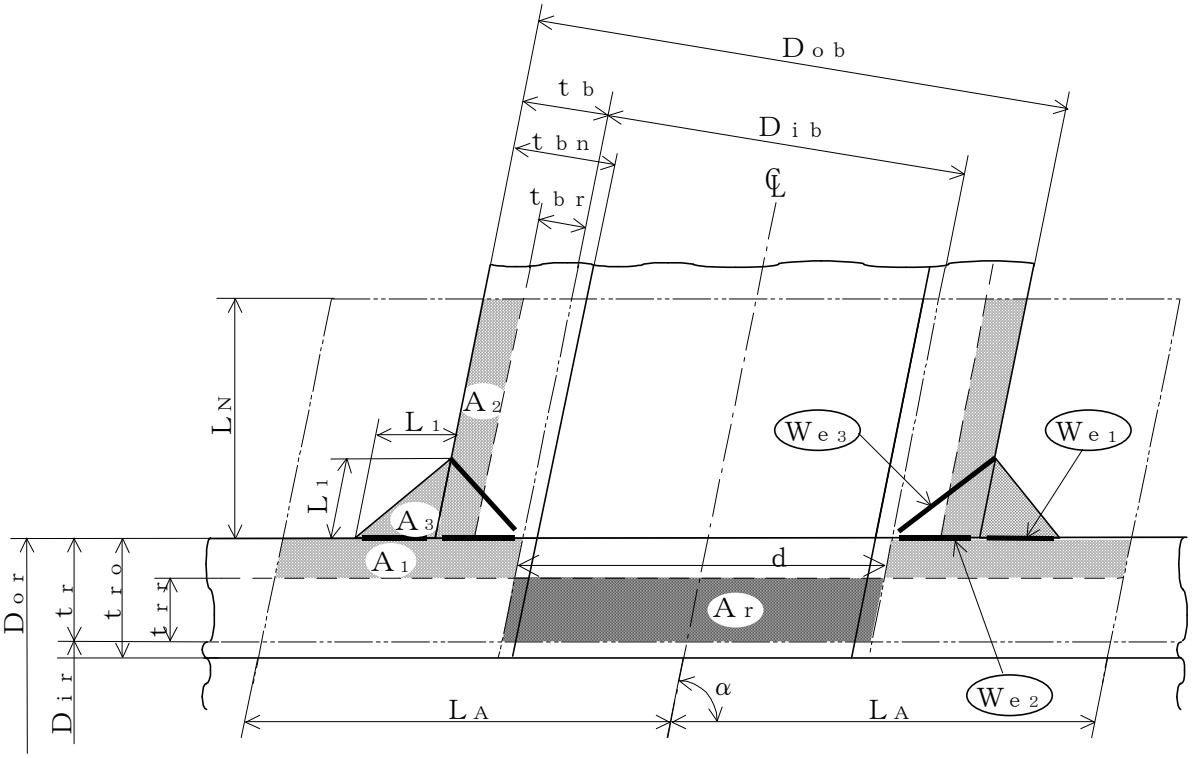
a.　穴の形状

管に設ける穴は，告示第５０１号第60条（第31条第5項第1号準用）により円形又はだ円形であること。

b.　管台の取付け形式

図2-1～図2-3に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。



補強に有効な面積

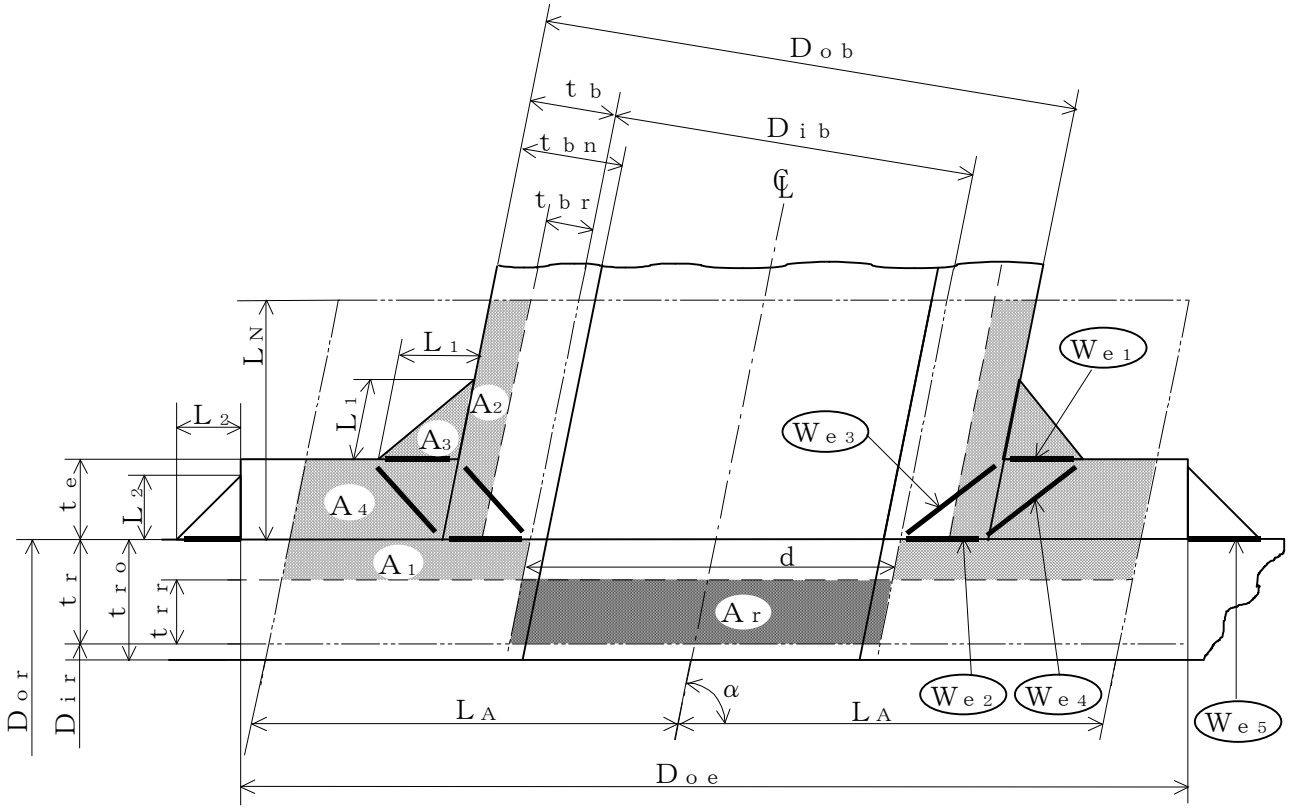
補強に必要な面積

予想される破断形式

・(We3) を通る破断

・(We1) (We2) を通る破断

図 2-1　A 形（強め材のない場合）



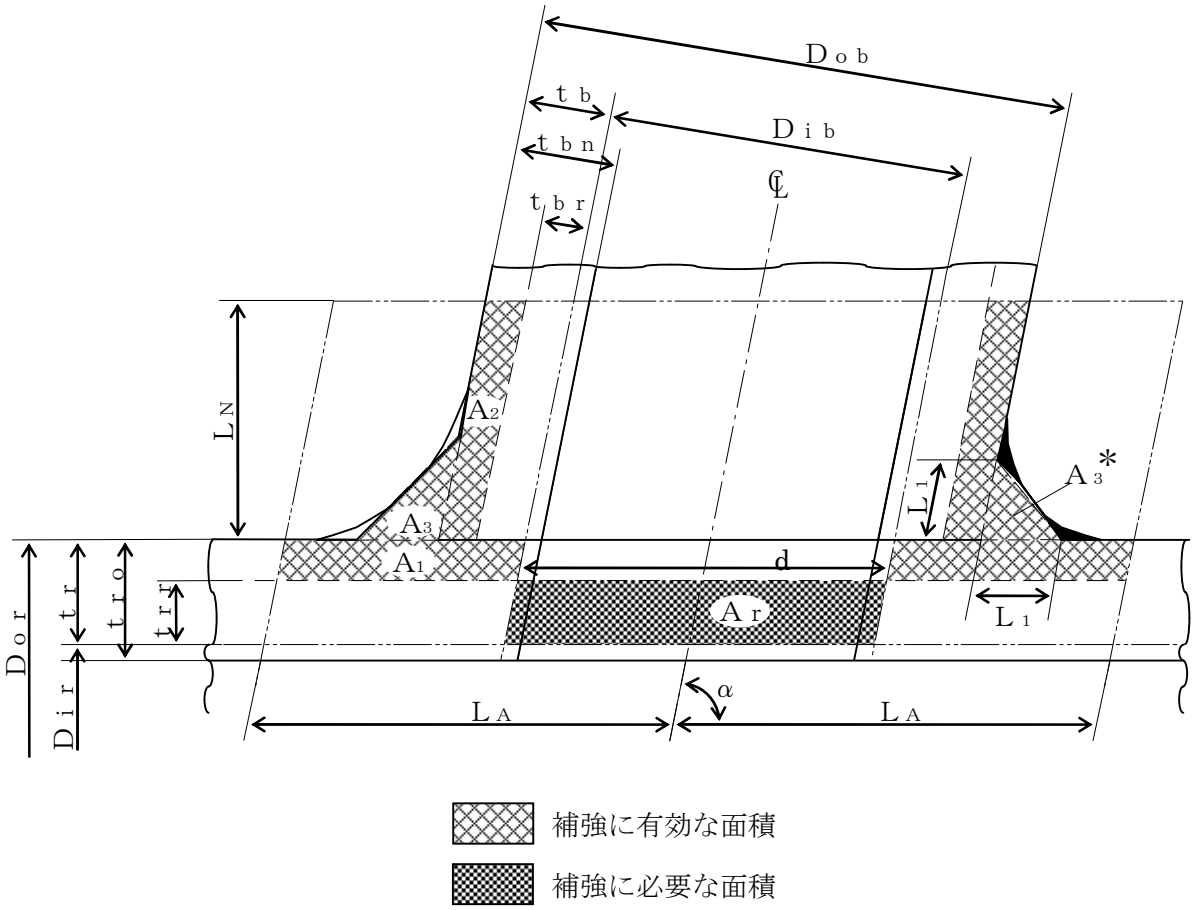
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We1) (We3) を通る破断
- (We2) (We4) を通る破断
- (We2) (We5) を通る破断

図 2-2　B 形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_3はA形及びB形と同様に$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-3　C 形（一体形で強め材のない場合）

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は，告示第５０１号第60条（第31条第5項第2号イ，ロ準用）を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は，次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（d_{fr}）とする。

イ. 管に設ける穴であって，穴の径が61㎜以下で，かつ，管の内径の4分の1以下の穴（d_{r1}）

ロ. 管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が200㎜以下で，かつ，告示第５０１号第60条（第31条第5項第2号ロ準用）により求めた値以下の穴（d_{r2}）

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{or}\cdot t_r\cdot(1-K)}$$

ただし，Kの値は次の算式による。

$$K=\frac{P\cdot D_{or}}{1.82\cdot S_r\cdot\eta\cdot t_r}$$

ただし，$K>0.99$ の場合は$K=0.99$ とする。

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径（d_{fr}）≧断面に現われる穴の径（d）ならば，穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は，d項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$L_A=d \quad 又は \quad L_A=\frac{d}{2}+t_r+t_b$$

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_N）は，次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

$$L_N=2.5\cdot t_r \quad 又は \quad L_N=2.5\cdot t_b+t_e$$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}）は，告示第５０１号第60条（第31条第2項第2号イ並びにハ準用）を適用する。

$$t_{rr}=\frac{P\cdot D_{ir}}{2\cdot S_r\cdot\eta-1.2\cdot P} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (内圧)$$

$$t_{rr}=\frac{P\cdot D_{or}}{B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (外圧)$$

f.　管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ロ(ロ)準用）を適用する。

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ib}}{2\cdot S_b-1.2\cdot P}$$ ……（内圧）

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ob}}{B}$$ ……（外圧）

g.　穴の補強計算

穴の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項準用）を適用する。

(a)　算式

イ.　補強に必要な面積

補強に必要な面積は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ハ準用）を適用する。

$$A_r=d\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ.　補強に有効な面積

補強に有効な面積は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ロ，第4号及び第5号準用）を適用する。

$$A_1=(\eta\cdot t_r-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_A-d)$$

$$A_2=2\cdot(t_b-t_{br})\cdot \mathrm{cosec}\alpha\cdot L_N\cdot\frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3=(L_1)^2\cdot \sin\alpha\cdot\frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4=(D_{oe}-D_{ob}\cdot \mathrm{cosec}\alpha)\cdot t_e\cdot\frac{S_e}{S_r}+(L_2)^2\cdot\frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

$$A_4=(2\cdot L_A-D_{ob}\cdot \mathrm{cosec}\alpha)\cdot t_e\cdot\frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

$$A_0=A_1+A_2+A_3+A_4$$

(b)　評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h.　大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ．　D_{ir}が1500㎜以下の場合

$$d_{frD}=D_{ir}/2$$

ただし，500㎜を超える場合500㎜とする。

ロ．　D_{ir}が1500㎜を超える場合

$$d_{frD}=D_{ir}/3$$

ただし，1000㎜を超える場合1000㎜とする。

(b)　評価

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）≧断面に現われる穴の径（ｄ）ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，ｉ項以降による。

i.　大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　大穴の補強における管台の取付け形式

図2-4～図2-6に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

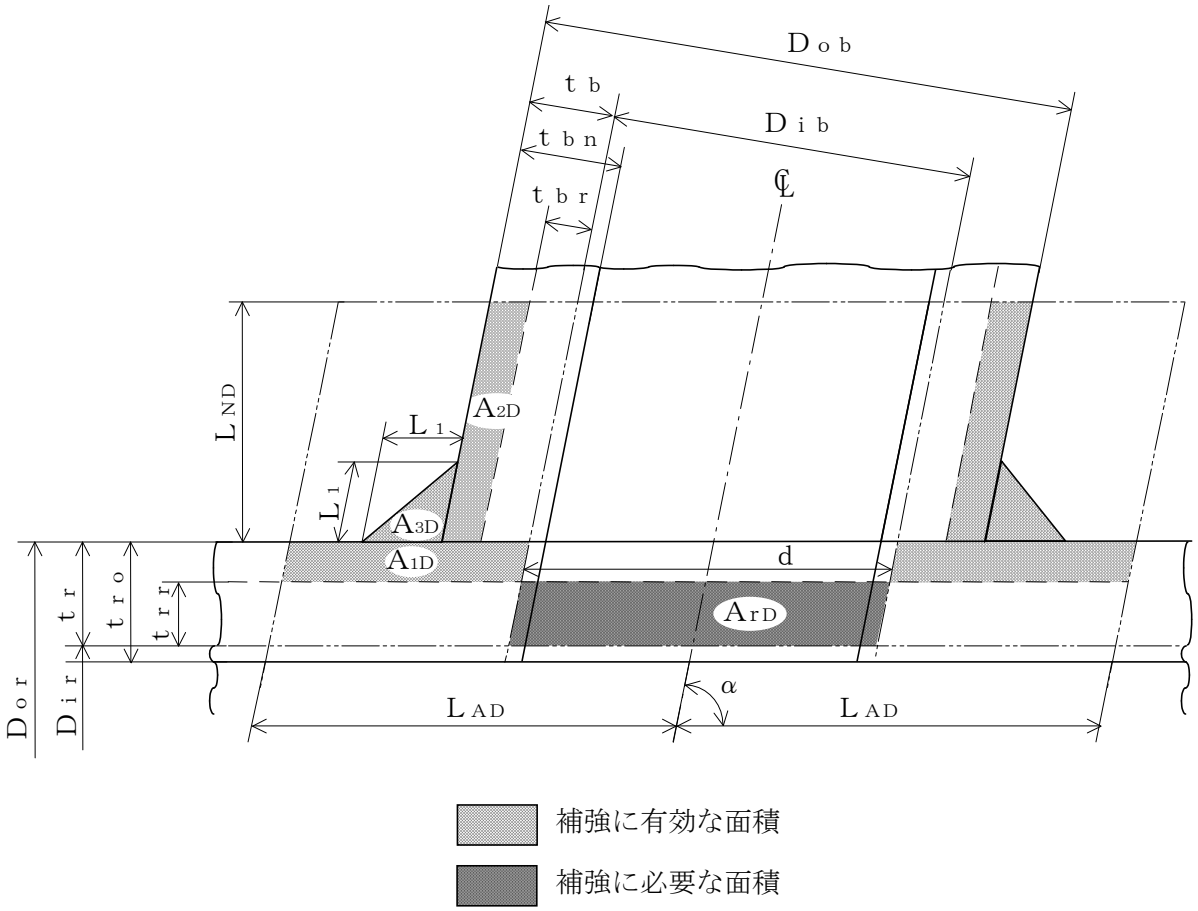


図 2-4　A 形（強め材のない場合）

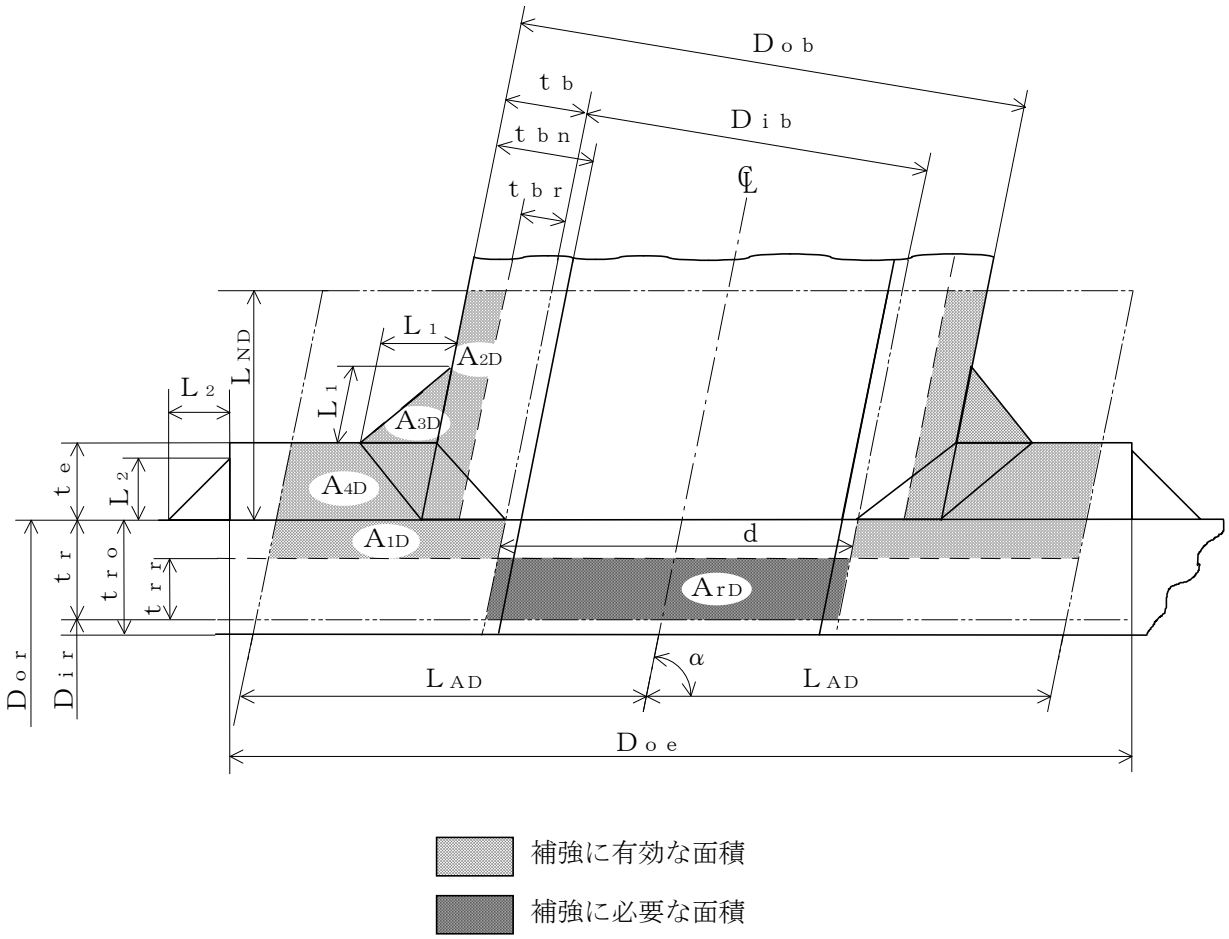
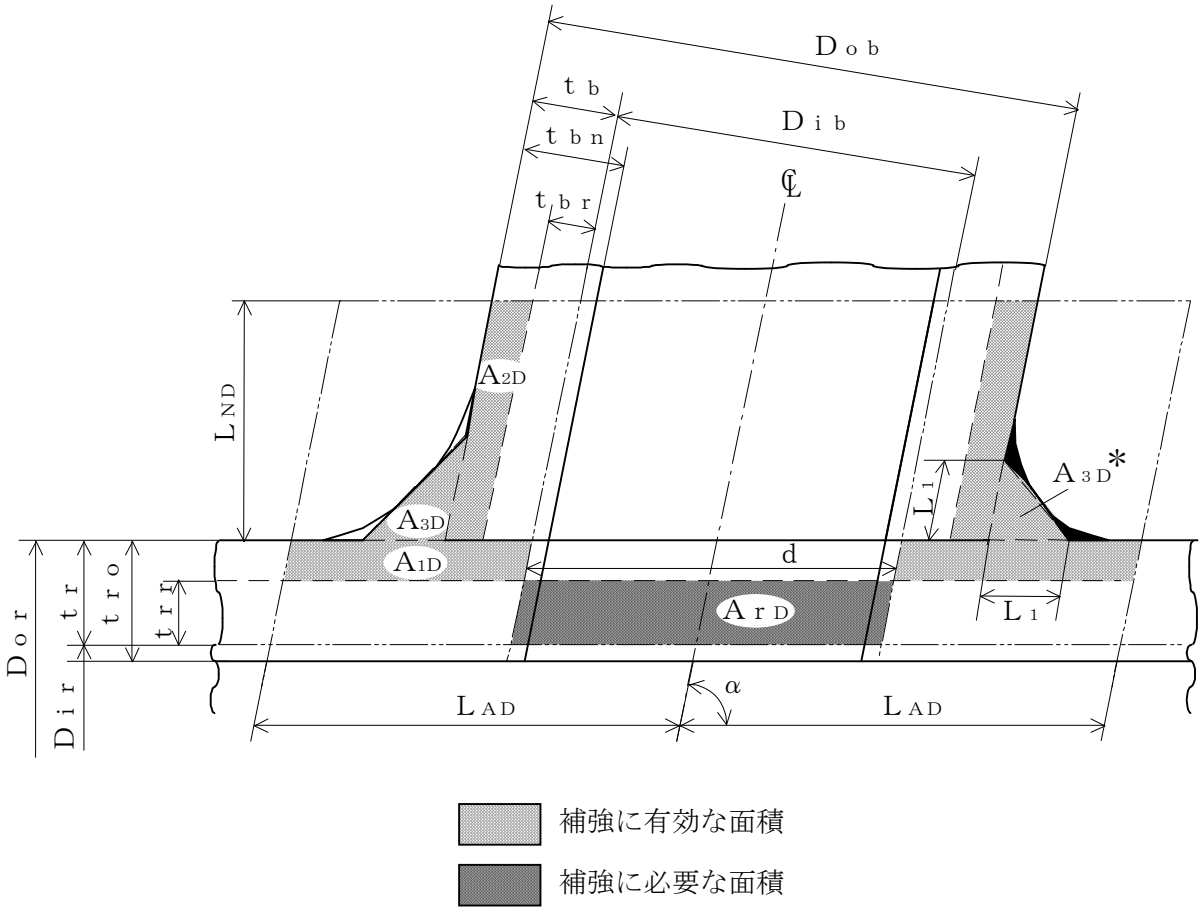


図 2-5　B 形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_{3D}はA形及びB形と同様に$A_{3D}=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-6　C 形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD}=\frac{d}{2}+\frac{d}{4}$$

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

イ．　大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD}=\frac{2}{3}\cdot A_{r}$$

ロ．　大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_{r}-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_{AD}-d)$$

$$A_{2D}=A_{2}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

k. 2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第2号準用）を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr}=0.7\cdot L_s\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot t_r$$

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の3分の4倍の値

$$L=\frac{4}{3}\cdot\left(\frac{d+d_D}{2}\right)$$

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積

$$A_{ri}=A_r+A_{rs}$$

A_r及びA_{rs}は１つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot(t_r-t_{rr})+A_2+A_{2s}+A_3+A_{3s}+A_4+A_{4s}\,A_2,$$

A_{2s}，A_3，A_{3s}，A_4及びA_{4s}は，１つの穴の計算に準じる。

(d) 評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ. 2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

ハ. 2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の3分の4倍（L）

ニ. それぞれの穴に共通な強め材の断面積（A_4）≧2 つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

l. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第6号，第7号準用）を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

$$W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

ロ. 溶接部の許容応力

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$
$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$
$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$
$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$
$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$
$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$
$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

（イ） A形の管台形式の場合

$W_{ebp1} = W_{e3}$ を通る強さ＝W_{e3}

$W_{ebp2} = W_{e1} + W_{e2}$ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e2}$

（ロ） B形の管台形式の場合

$W_{ebp1} = W_{e1} + W_{e3}$ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e3}$

$W_{ebp2} = W_{e2} + W_{e4}$ を通る強さ＝$W_{e2} + W_{e4}$

$W_{ebp3} = W_{e2} + W_{e5}$ を通る強さ＝$W_{e2} + W_{e5}$

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは，1として計算する。

2.6.2　管の穴と補強計算（設計・建設規格）

管の穴と補強計算は，設計・建設規格　PPC-3420 を適用する。

(1)　記号の説明

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	－
	D	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	－
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	%，mm MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t_{sr}，t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
	η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合 穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る場合 穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合 設計・建設規格　PVC-3130 に規定する効率 その他の場合は 1.00 とする。	mm －

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図 1～図 20 により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{cr}となる。）	－
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	－
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3424(1)の表 PPC-3424-1 及び表 PPC-3424-2 による。	－
	K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.の表 PPC-3415.2-1 による。	－
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
	t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
		t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r1}	t_{cr}	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	W	W	さら形鏡板の形状による係数	－

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
平板の記号	d	d	平板の径又は最小内のり	mm
	d	d_H	断面に現われる穴の径	mm
	K	K	平板の取付け方法による係数	－
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	t_c	平板の最小厚さ	mm
		t_{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r2}	t_{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPC-3413 の表 PPC-3413-1 による。	－
	(a)～(n)	2A～2N	取付け方法の表示区分	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号(管の穴と補強計算)	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2 つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2 つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2 つの穴の補強に必要な面積の 2 分の 1 の面積	mm^2
		A_{oi}	2 つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
		d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格　PPC-3424(1)b.により求められる係数	－
		F_1	すみ肉溶接のせん断応力係数	－
		F_2	突合せ溶接の引張応力係数	－
		F_3	突合せ溶接のせん断応力係数	－

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号（管の穴と補強計算）		L	2 つの穴の径の平均値の 1.5 倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2 つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A 形，B 形）又は管台補強部の短辺長さ（C 形）*	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長 *	mm
	P，P_e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t_{nr}	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

注記　＊：設計・建設規格の図 PPC-4010-4 による。

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号（管の穴と補強計算）		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	－
		形式	管台の取付け形式	－

(2) 計算手順及び算式

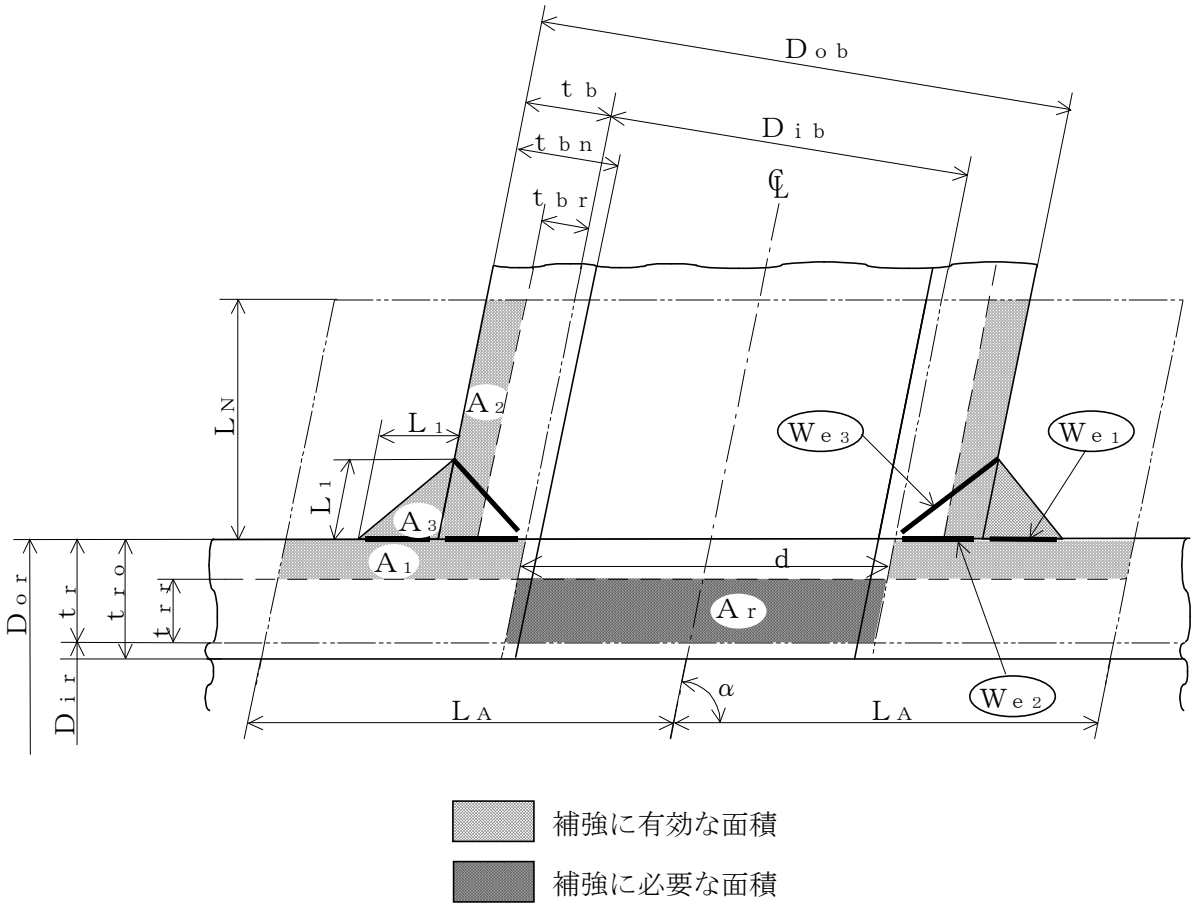
a. 穴の形状

管に設ける穴は，設計・建設規格　PPC-3421(2)により円形又はだ円形であること。

b. 管台の取付け形式

図 2-1～図 2-5 に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。



補強に有効な面積

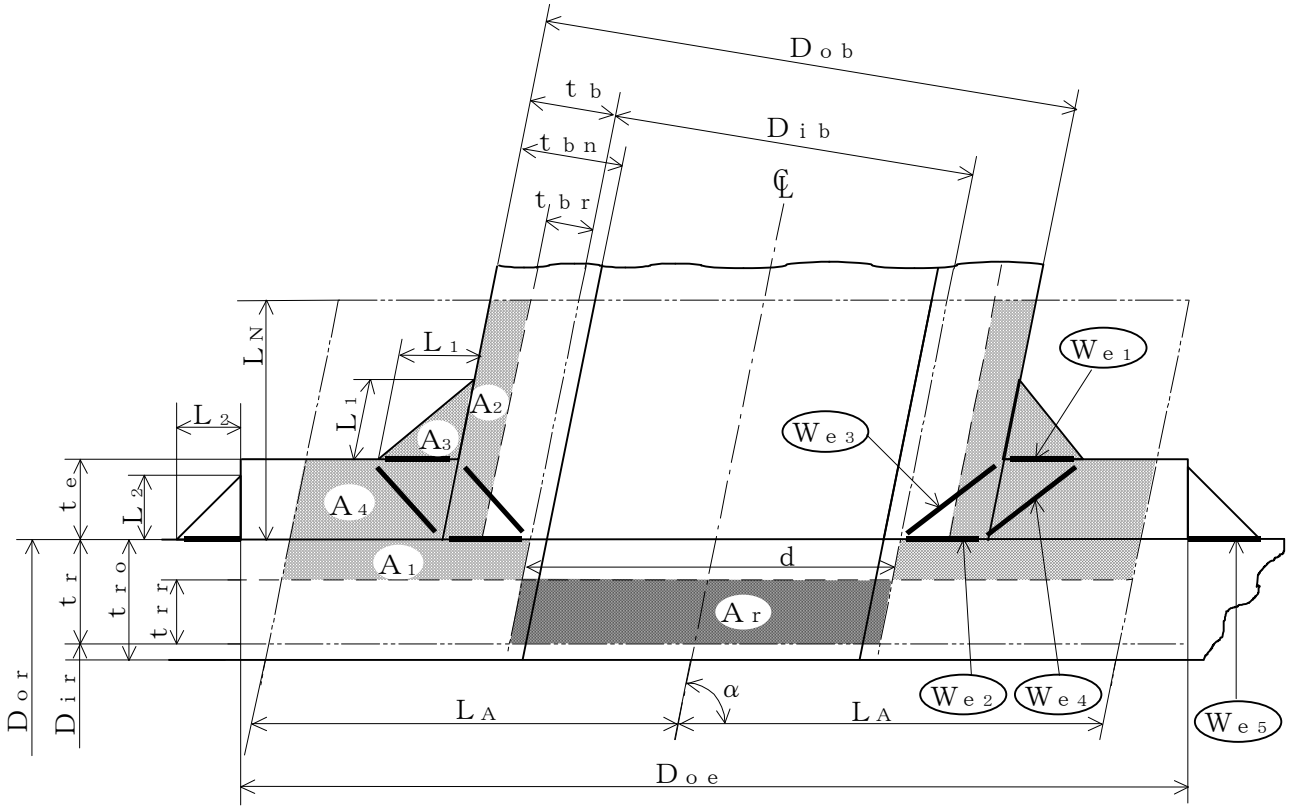
補強に必要な面積

予想される破断形式

・(We3) を通る破断

・(We1) (We2) を通る破断

図 2-1　A 形（強め材のない場合）



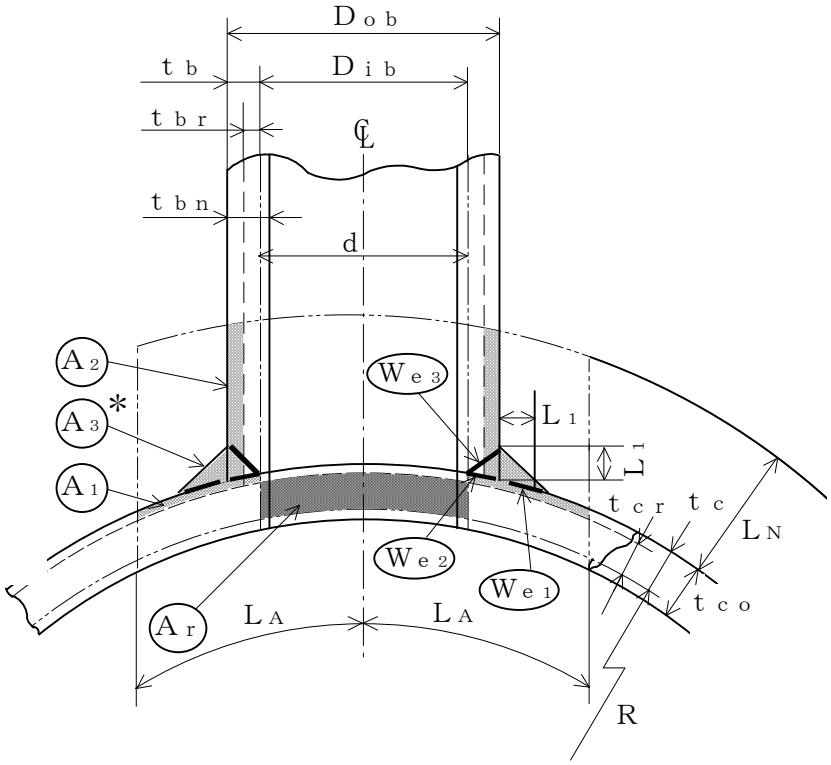
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We1) (We3) を通る破断
- (We2) (We4) を通る破断
- (We2) (We5) を通る破断

図 2-2　B 形（強め材のある場合）



補強に有効な面積

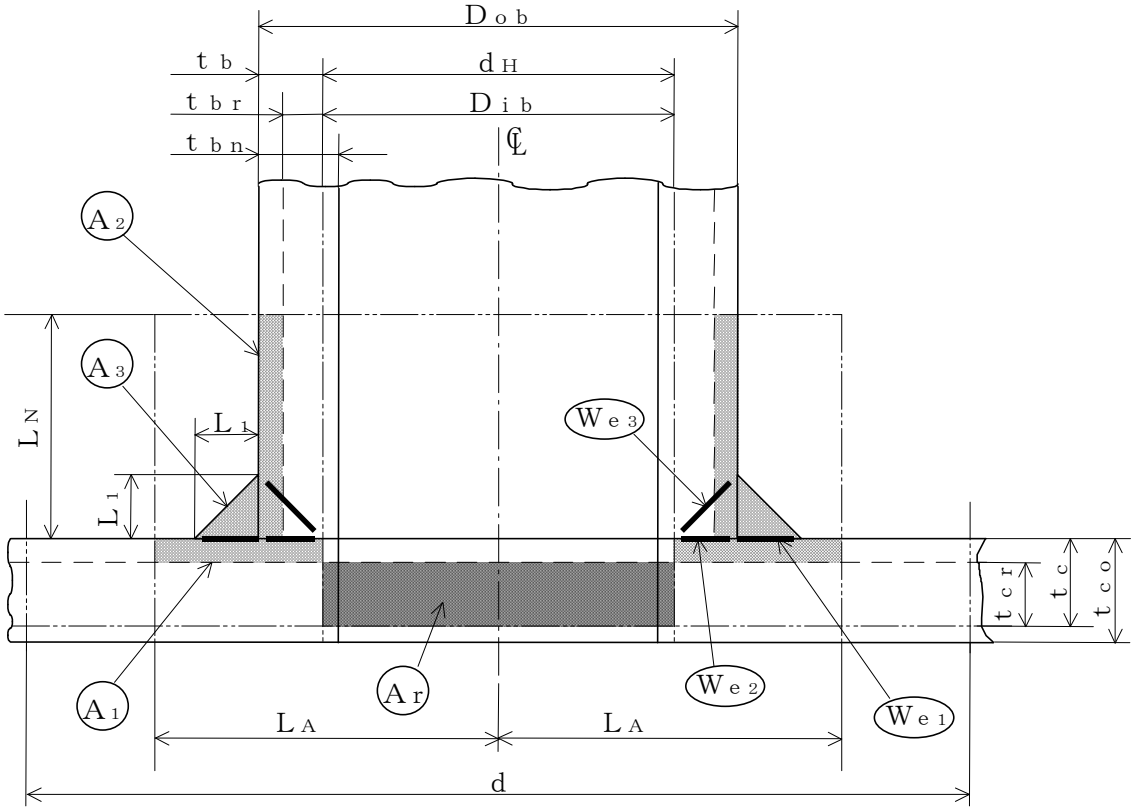
補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We3) を通る破断
- (We1) (We2) を通る破断

注記＊：A3の面積で(L1)2以外の部分は，
補強面積評価上は考慮しない。

図 2-3　A 形（鏡板で強め材のない場合）



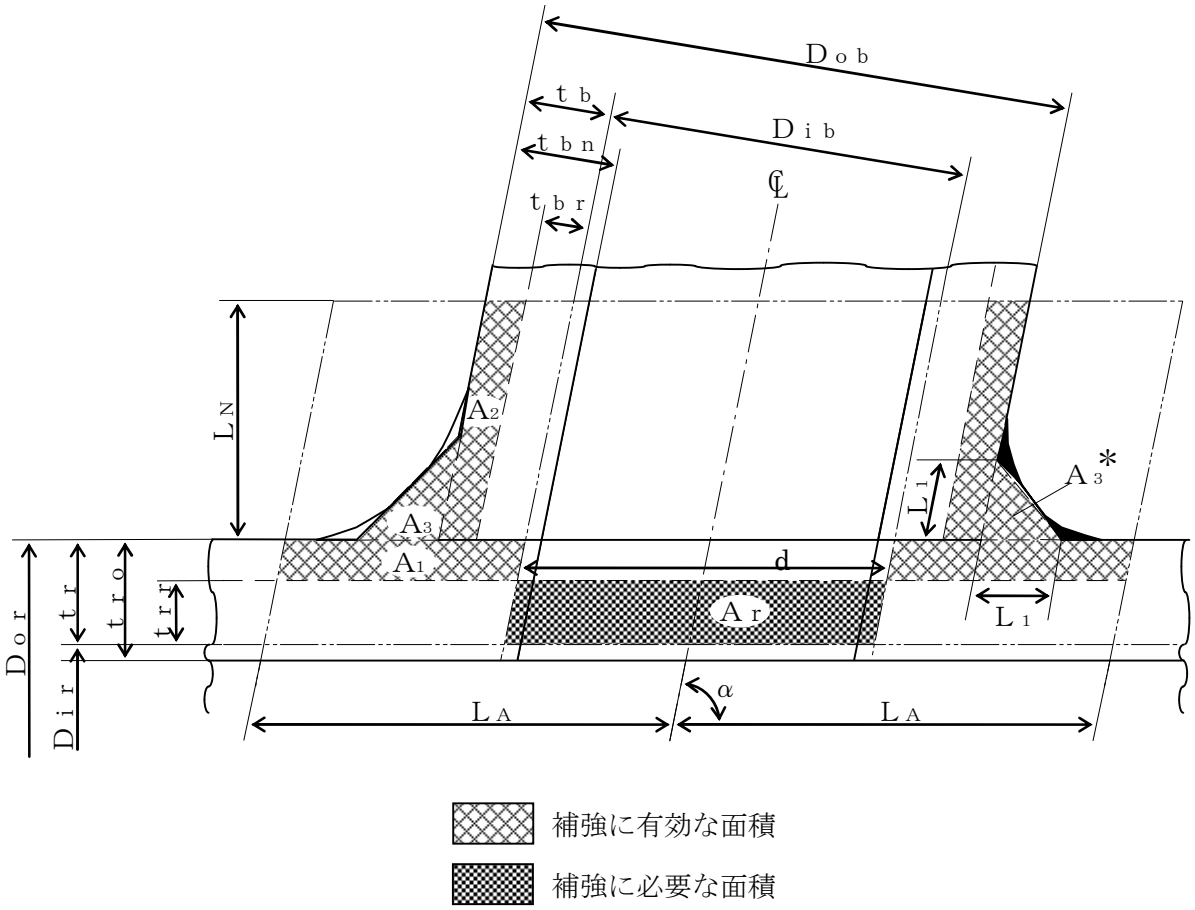
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

図 2-4　A 形（平板で強め材のない場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_3はA形及びB形と同様に$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-5　C 形（一体形で強め材のない場合）

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は，設計・建設規格　PPC-3422 を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は，次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（d_{fr}）とする。

イ. 平板以外の管に設ける穴であって，穴の径が 61mm 以下で，かつ，管の内径の 4 分の 1 以下の穴（d_{r1}）

ロ. 平板以外の管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，設計・建設規格の図 PPC-3422-1 及び図 PPC-3422-2 により求めた値以下の穴（d_{r2}）

直管又は曲げ管の場合

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{or}\cdot t_r\cdot(1-K)}$$

鏡板の場合

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{o}\cdot t_c\cdot(1-K)}$$

ただし，Kの値は次の算式による。

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$K=\frac{P\cdot D_{or}}{1.82\cdot S_r\cdot \eta\cdot t_r}$$

(ロ) さら形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

$$K=\frac{P\cdot D_{o}}{1.82\cdot S\cdot \eta\cdot t_c}$$

(ハ) 全半球形鏡板の場合

$$K=\frac{P\cdot D_{o}}{3.64\cdot S\cdot \eta\cdot t_c}$$

ただし，$K>0.99$ の場合は$K=0.99$ とする。

ハ. 平板に穴を設ける場合であって，平板の最小厚さ（t_c）が次の式により計算した値以上のもの

(イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の 2 分の 1 以下の場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，Kの値は設計・建設規格　PPC-3413 の表 PPC-3413-1 中で(m)の取

付け方法を除き，0.375 以上とすることを要しない。

（ロ） 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の 2 分の 1 を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径（d_{fr}）≧断面に現われる穴の径（d）又は平板の最小厚さ（t_c）≧補強を要しない平板の計算上必要な厚さ（t）ならば，穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は，d 項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格　PPC-3424(1)a. を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の 2 つの式より計算したいずれか大きい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

$L_A = d$　又は　$L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$

ロ. 鏡板の場合

$L_A = d$　又は　$L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$

ハ. 平板の場合

$L_A = d_H$　又は　$L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_N）は，次の 2 つの式より計算したいずれか小さい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

$L_N = 2.5 \cdot t_r$　又は　$L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$

ロ. 鏡板の場合

$L_N = 2.5 \cdot t_c$　又は　$L_N = 2.5 \cdot t_b$

ハ. 平板の場合

$L_N = 2.5 \cdot t_c$　又は　$L_N = 2.5 \cdot t_b$

e.　主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}又はt_{cr}）は，設計・建設規格　PPC-3424(1)b.(a)を適用する。

(a)　直管又は曲げ管の場合

$$t_{rr}=\frac{P\cdot D_{or}}{2\cdot S_r\cdot\eta+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(内圧)}$$

ただし，$\eta=1.00$

$$t_{rr}=\frac{3\cdot P\cdot D_{or}}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots \text{(外圧)}$$

(b)　鏡板の場合

イ．　さら形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot R\cdot W}{2\cdot S\cdot\eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

ただし，$W=1.00$及び$\eta=1.00$

$$t_{cr}=\frac{P\cdot(R+t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

ロ．　半だ円形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot K_1\cdot D}{2\cdot S\cdot\eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr}=\frac{P\cdot K_K\cdot(D+2\cdot t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

ハ．　全半球形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot R}{2\cdot S\cdot\eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr}=\frac{P\cdot(R+t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

(c)　平板の場合

$$t_{cr}=d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

f.　管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，設計・建設規格　PPC-3424(1)b.(b)を適用する。

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ib}}{2\cdot S_b-1.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(内圧)}$$

$$t_{br}=\frac{3\cdot P\cdot D_{ob}}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots \text{(外圧)}$$

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は，設計・建設規格　PPC-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$A_r = 1.07 \cdot d \cdot t_{rr} \cdot (2 - \sin\alpha)$$

（ロ） 鏡板の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr}$$

（ハ） 平板の場合

$$A_r = 0.5 \cdot d_H \cdot t_{cr}$$

ロ. 補強に有効な面積

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \mathrm{cosec}\alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

（ロ） 鏡板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

（ハ） 平板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b) 評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，設計・建設規格　PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ．　D_{ir}が 1500mm 以下の場合

$$d_{frD} = D_{ir} / 2$$

ただし，500mm を超える場合 500mm とする。

ロ．　D_{ir}が 1500mm を超える場合

$$d_{frD} = D_{ir} / 3$$

ただし，1000mm を超える場合 1000mm とする。

(b) 評価

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）≧断面に現われる穴の径（d）ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，ｉ項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格　PPC-3424(4)を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

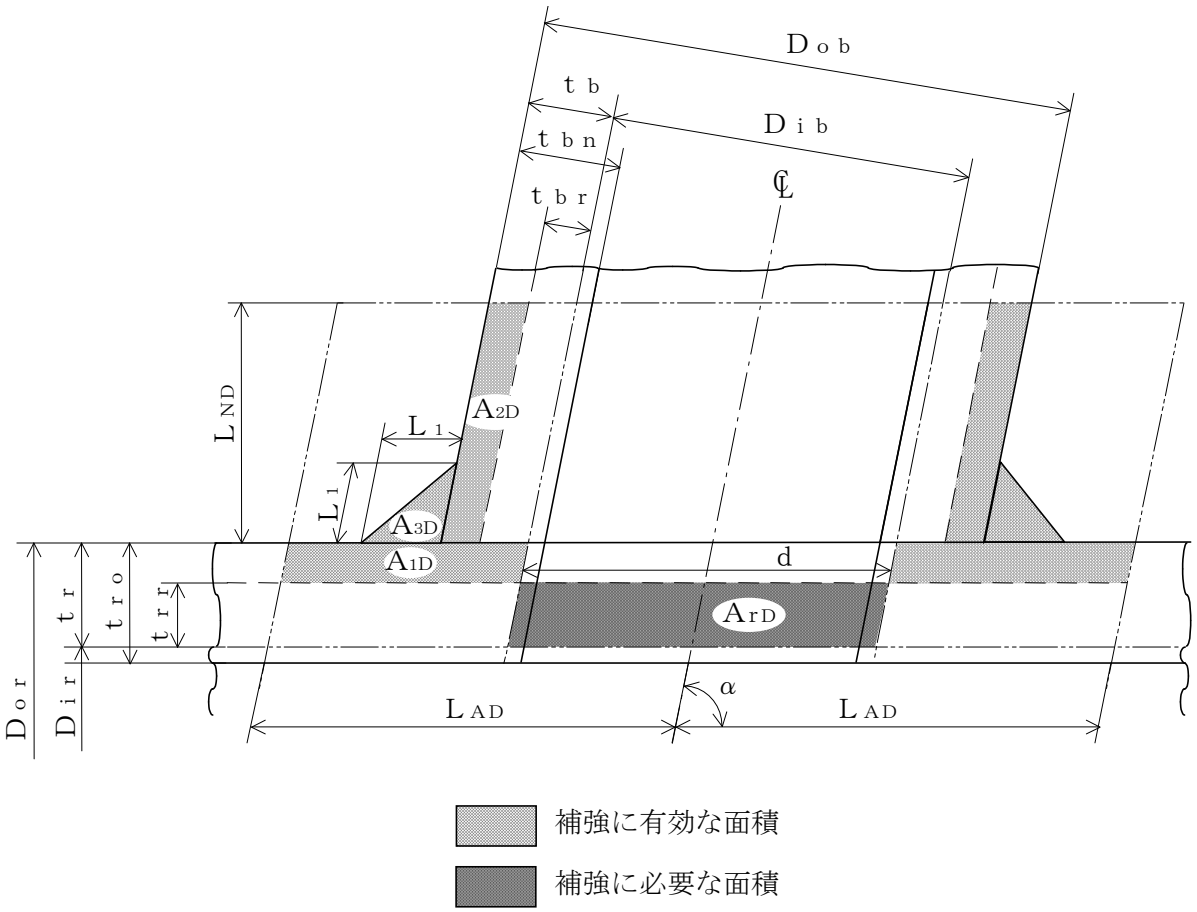


図 2-6　A 形（強め材のない場合）

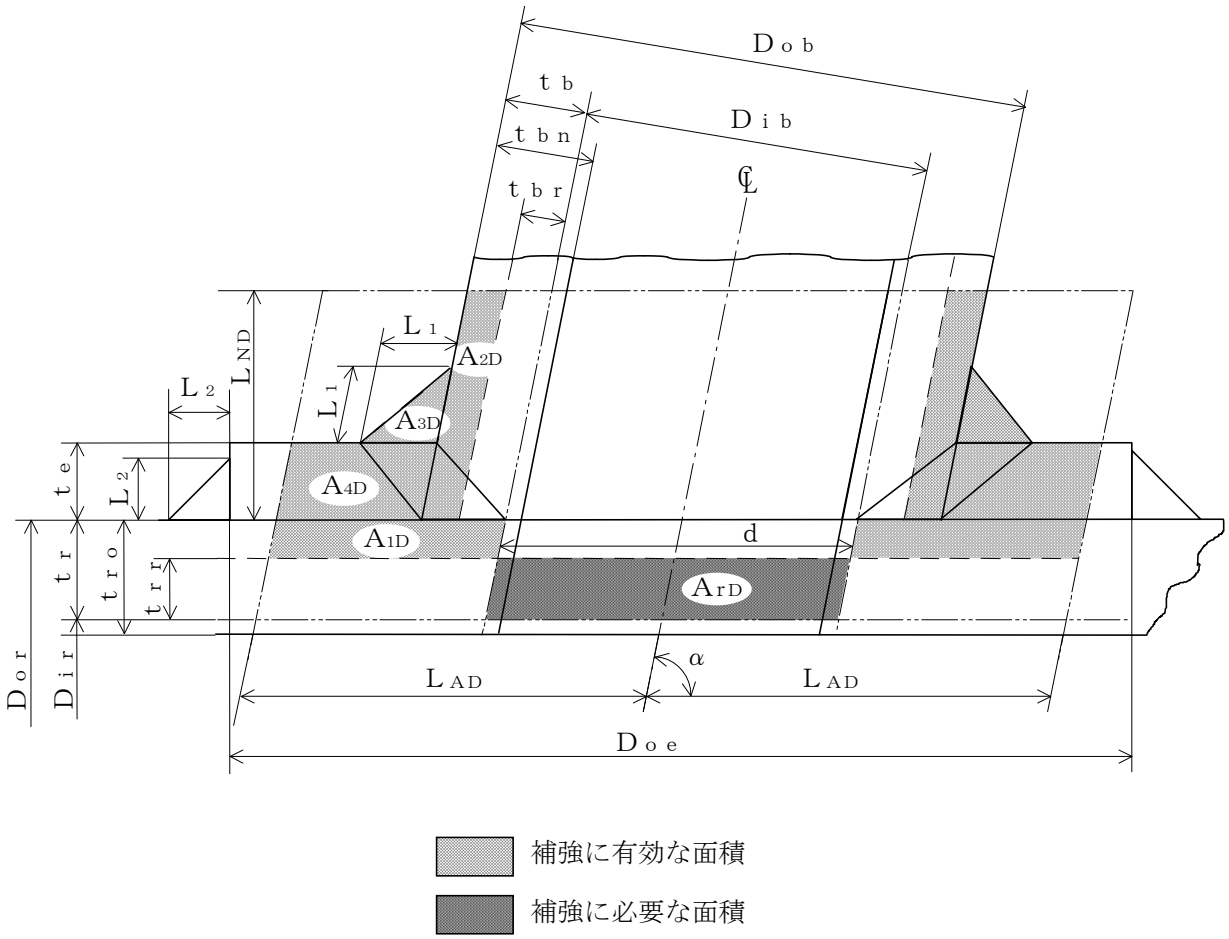
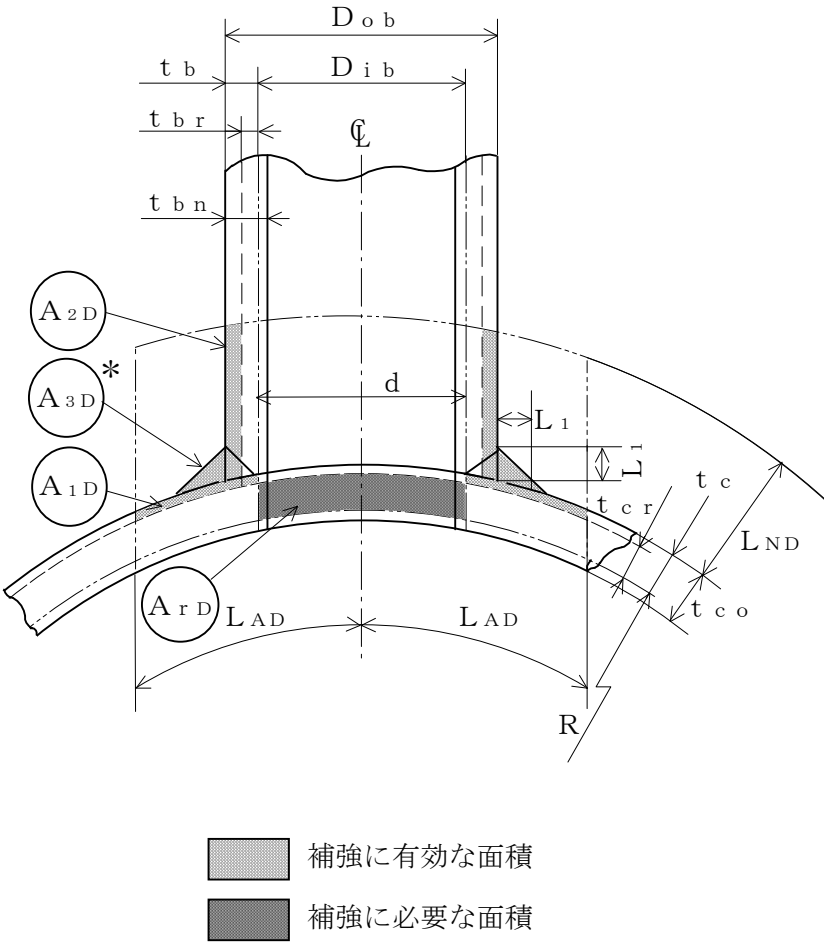


図 2-7　B 形（強め材のある場合）



注記＊：A_{3D}の面積で$(L_1)^2$以外の部分は，
補強面積評価上は考慮しない。

図 2-8　A 形（鏡板で強め材のない場合）

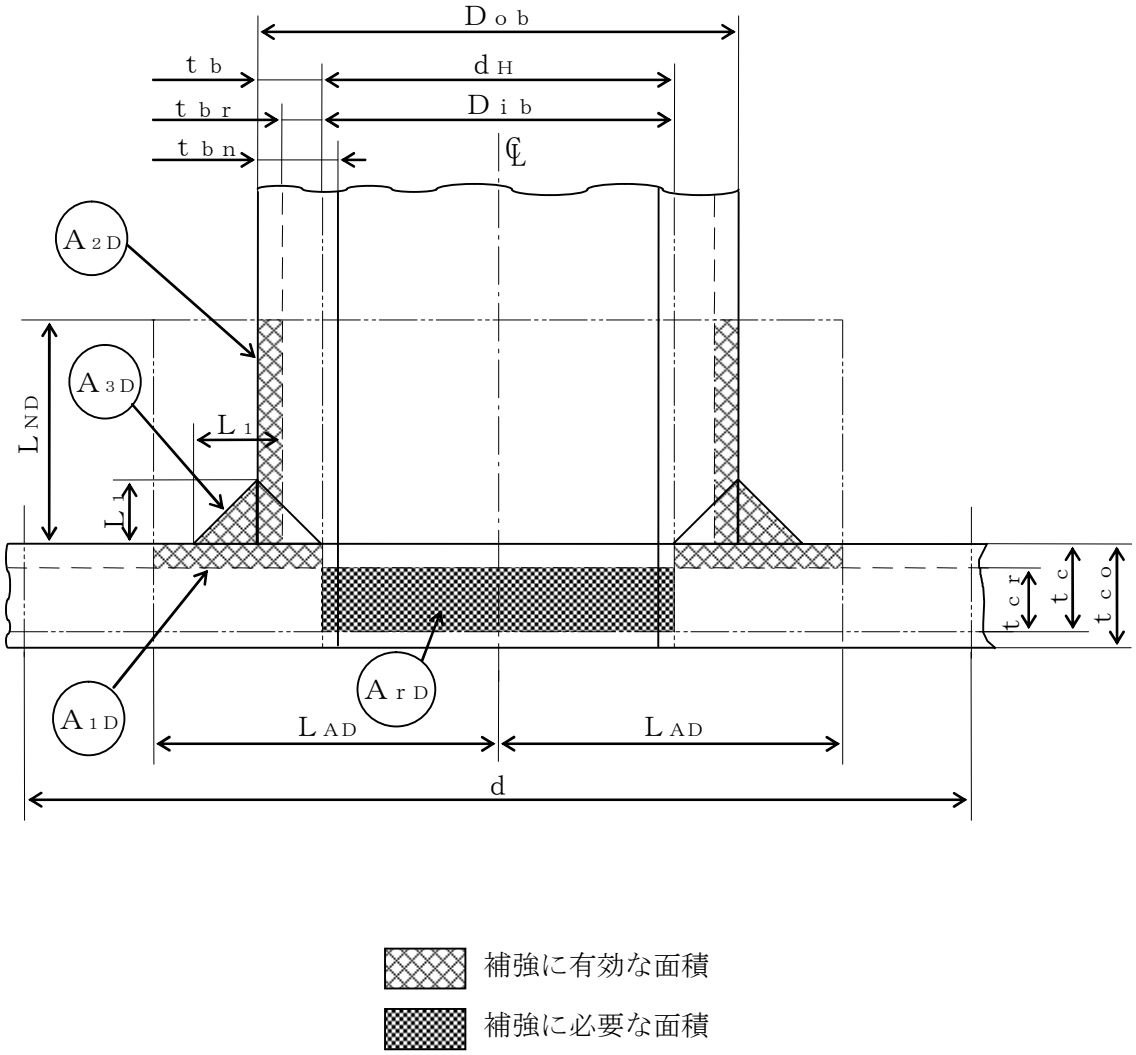
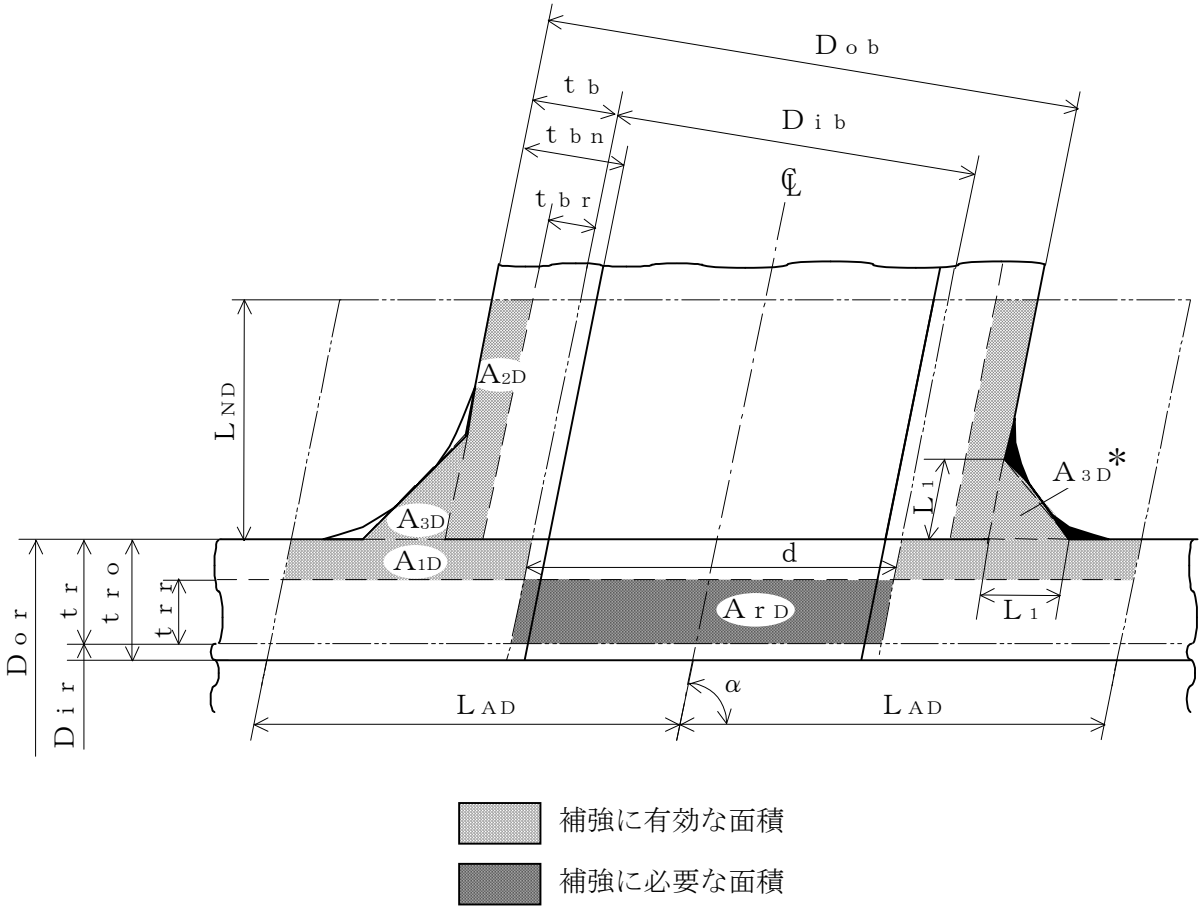


図 2-9　A 形（平板で強め材のない場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_{3D}はA形及びB形と同様に$A_{3D}=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図 2-10　C 形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD}=\frac{d}{2}+\frac{d}{4}$$

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，設計・建設規格　PPC-3424(4)を適用する。

(a)　算式

イ.　大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD}=\frac{2}{3}\cdot A_{r}$$

ロ.　大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_{r}-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_{AD}-d)$$

$$A_{2D}=A_{2}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\operatorname{cosec}\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

k.　2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，設計・建設規格PPC-3424(2)a.，b.及びc.を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a)　算式

イ.　2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr}=0.7\cdot L_s\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ.　2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot t_r$$

(b)　算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L=1.5\cdot\left(\frac{d+d_D}{2}\right)$$

(c)　算式

イ.　2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{ri}=\frac{A_r+A_{rs}}{2}$$

A_r及びA_{rs}は１つの穴の計算に準じる。

ロ.　2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot(t_r-t_{rr})+\frac{A_2+A_{2s}}{2}+\frac{A_3+A_{3s}}{2}+\frac{A_4+A_{4s}}{2}$$

A_2，A_{2s}，A_3，A_{3s}，A_4及びA_{4s}は，１つの穴の計算に準じる。

(d)　評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ.　2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ.　2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積の2分の1（A_{ri}）

ハ.　2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の1.5倍（L）

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3424(8)及び(9)を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

（ロ） 鏡板の場合

$$W = d \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S$$

（ハ） 平板の場合

$$W = d_H \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H) \cdot S$$

ロ. 溶接部の許容応力

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$
$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$
$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

（ロ） 鏡板又は平板の場合

$$S_{W1} = S \cdot F_1$$
$$S_{W2} = S \cdot F_2$$
$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$
$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$
$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$
$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$
$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

（ロ） 鏡板の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$
$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$
$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

（ハ） 平板の場合

$$W_{e1}=\pi\cdot\left(\frac{d_H}{2}+t_b\right)\cdot L_1\cdot S_{W1}$$

$$W_{e2}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

$$W_{e3}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

（イ） A形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=W_{e3}$ を通る強さ＝W_{e3}

$W_{ebp2}=W_{e1}+W_{e2}$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

（ロ） B形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=W_{e1}+W_{e3}$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e3}$

$W_{ebp2}=W_{e2}+W_{e4}$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e4}$

$W_{ebp3}=W_{e2}+W_{e5}$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e5}$

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは，1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は，本基本方針では取付け角度が90°で1つ穴のものについての計算方法を示す。

2.7　フランジの強度計算

フランジの強度計算は，設計・建設規格　PPC-3414を適用する。

計算は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	Ｂ＋g_0（ｆ≧1 のときの一体形フランジの場合） Ｂ＋g_1（ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)及び一体形フランジでｆの最小採用値は 1 であるが，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3 図 4 より求まるｆが 1 未満となる場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3　表 3 による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
d	d	係数 $\left(=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^2\text{(ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の場合)}\right)$	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(=\frac{F}{h_o}\quad\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{F_L}{h_o}\text{(ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の場合)}\right)$	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図５又は表４による。）	－
ＦＬ	ＦＬ	ルーズ形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図６又は表４による。）	－
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　図４又は表４による。）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
H	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H_D	H_D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
HG，H_G	H_G	ガスケット荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H_T	H_T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	－
L	L	係数（$=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}$）	－

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_0	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
M	M_e	フランジ部に作用するモーメント	N･mm
P_{FD}	P	設計圧力 応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力にP_{eq}を加えたものである。	MPa
P_{eq}	P_{eq}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{eq}=\frac{16\cdot M_e}{\pi\cdot G^3}$	MPa
	P_o	最高使用圧力（内圧）	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
V	V	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	－
V_L	V_L	ルーズ形フランジの係数(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図9又は表4による。）	－
W，W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　図7による。）	－
π	π	円周率	－
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力　設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7による。	MPa

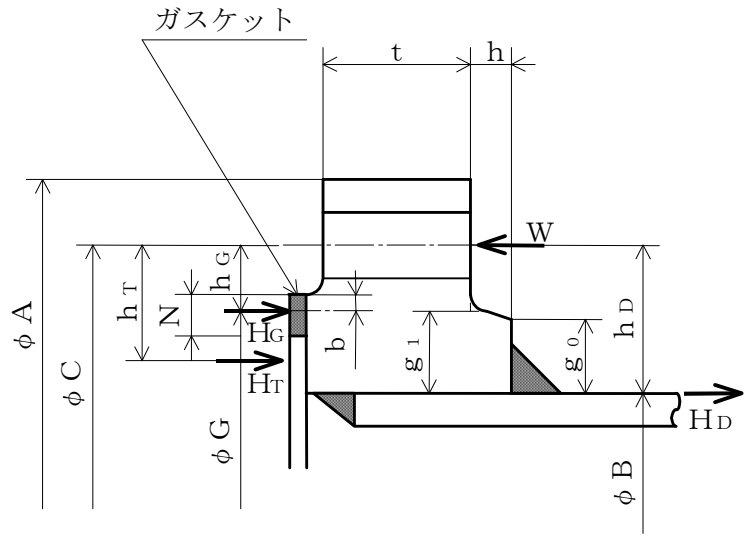
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 7 による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形式	フランジの形式	－
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　フランジの形式

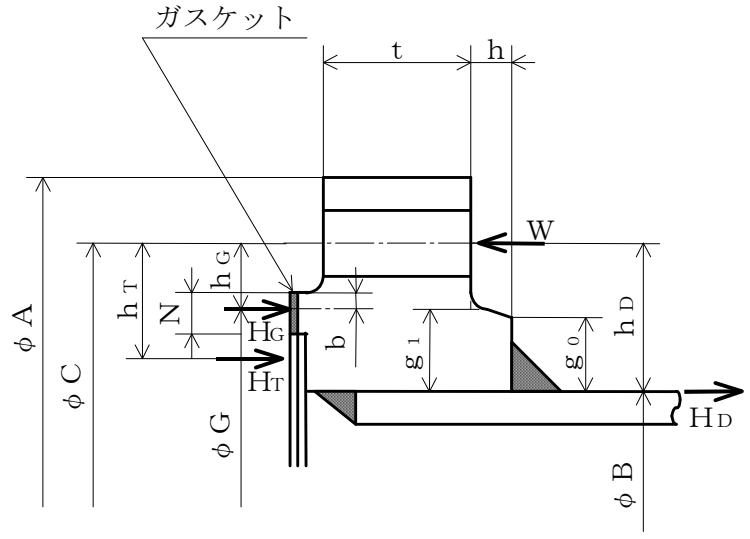
フランジの形式及び各部の記号は，図2-11～図2-15による。

ただし，Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。



注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

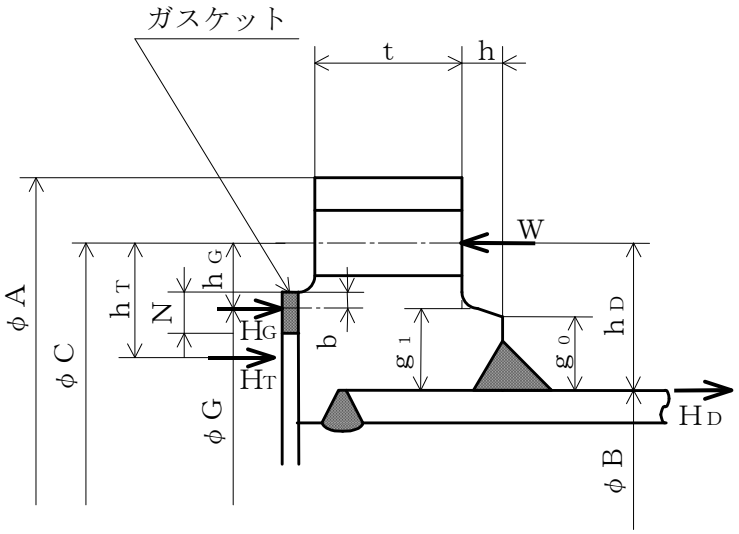
ＴＹＰＥ－1　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）4)



注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

ＴＹＰＥ－2　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）4)

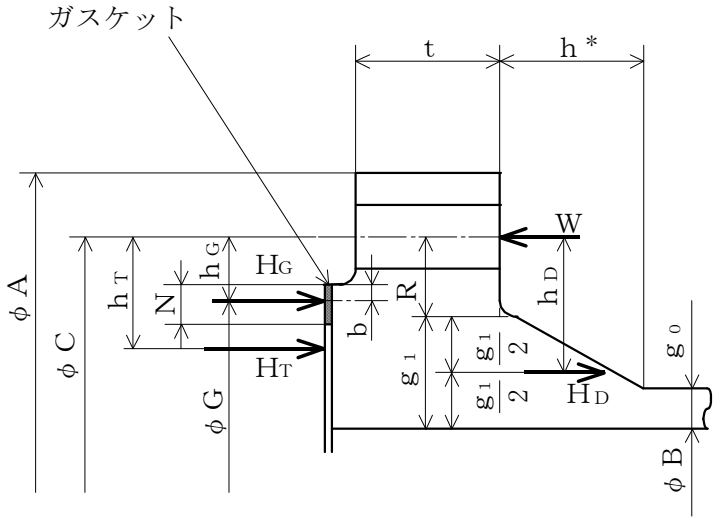
図 2-11　ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



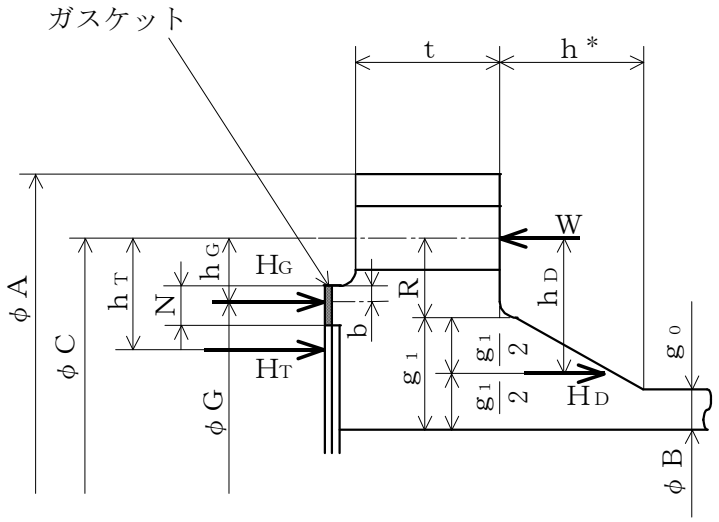
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

ＴＹＰＥ－3　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）5）

図 2-12　ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



ＴＹＰＥ－4　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b) 8)



ＴＹＰＥ－5　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b) 8)

注記＊：フランジに近いハブのこう配が 1／3 以下の場合は，h は下図に従う。

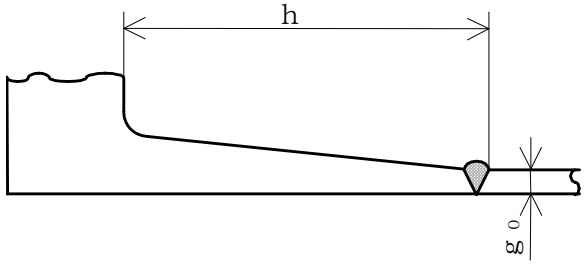
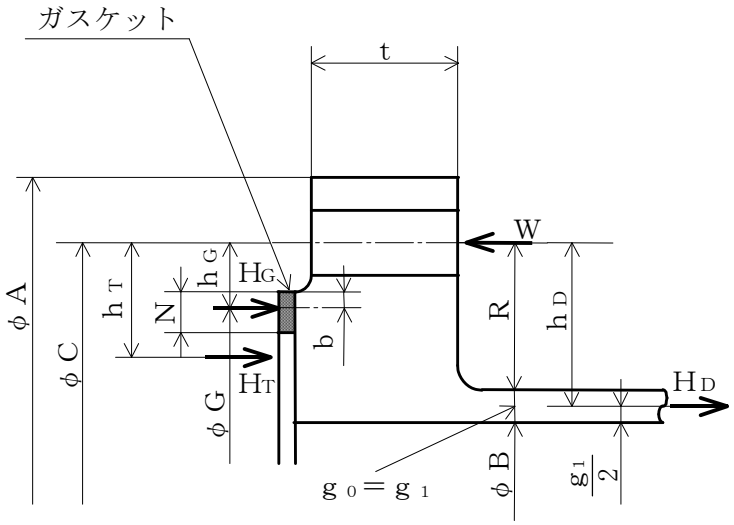
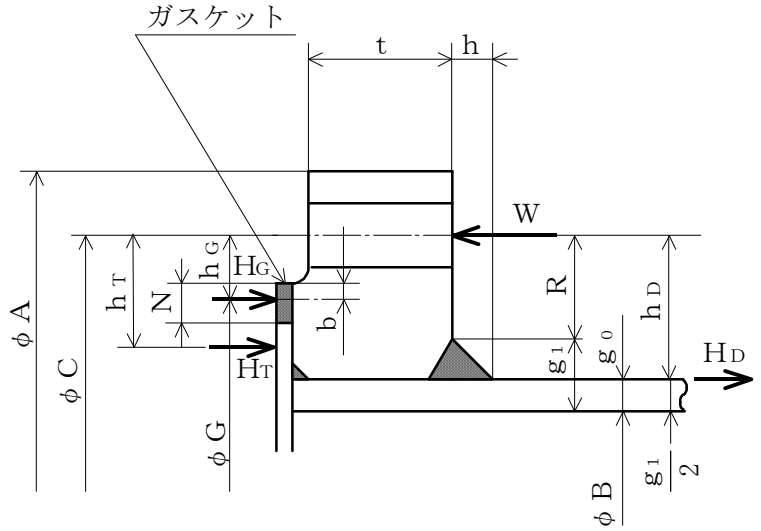


図 2-13　一体形フランジ



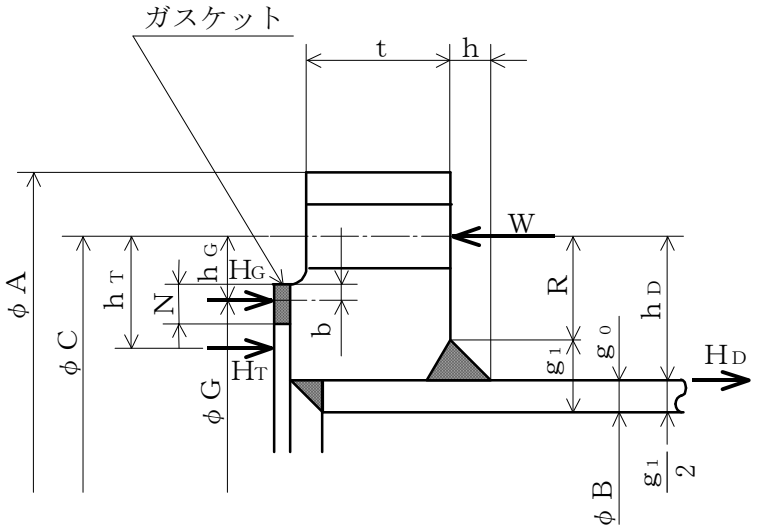
ＴＹＰＥ－6　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b) 6)

図 2-14　一体形フランジ



ＴＹＰＥ－7　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 c）12）

（一体形フランジとして計算）



ＴＹＰＥ－8　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 c）11）

（一体形フランジとして計算）

図 2-15　任意形フランジ

(3)　内圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

$H = \dfrac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = \dfrac{W_{m1}}{\sigma_b}$　　（使用状態）

$A_{m2} = \dfrac{W_{m2}}{\sigma_a}$　　（ガスケット締付時）

$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1}, A_{m2})$

$A_b = \dfrac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　　（使用状態）

$W_g = \left(\dfrac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a$　　（ガスケット締付時）

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D+h_G}{2}$

ただし,

$$R = \left(\frac{C-B}{2}\right) - g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C-G}{2}\right)$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg}=\frac{f\cdot M_g}{L\cdot g_1^{2}\cdot B}$$

$$\sigma_{Rg}=\frac{(1.33\cdot t\cdot e+1)\cdot M_g}{L\cdot t^{2}\cdot B}$$

$$\sigma_{Tg}=\frac{Y\cdot M_g}{t^{2}\cdot B}-Z\cdot\sigma_{Rg}$$

ただし，

$$L=\frac{t\cdot e+1}{T}+\frac{t^{3}}{d}$$

$$h_o=\sqrt{B\cdot g_0}$$

$$d=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^{2}$$ （一体形フランジ）

$$d=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^{2}$$ （ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

$$e=\frac{F}{h_o}$$ （一体形フランジ）

$$e=\frac{F_L}{h_o}$$ （ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

また，Bが$20\cdot g_1$より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のBの代わりにB_1を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a) ボルトの総有効断面積 $A_m<A_b$

(b) ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ho}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(c) フランジの径方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ro}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(d) フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{To}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(4)　外圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35$mm の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^{\,2} - d_i^{\,2}) \cdot n$$

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_g = \left(\frac{A_{m2} + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a$$

e.　使用状態でフランジに加わる荷重

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R+0.5\cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$
ルーズ形フランジ （差込み形フランジ）	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D+h_G}{2}$

ただし，

$$R=\left(\frac{C-B}{2}\right)-g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_o=H_D\cdot(h_D-h_G)+H_T\cdot(h_T-h_G)$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g=W_g\cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho}=\frac{f\cdot M_o}{L\cdot g_1^2\cdot B}+\frac{P_e\cdot B}{4\cdot g_0}$$

$$\sigma_{Ro}=\frac{(1.33\cdot t\cdot e+1)\cdot M_o}{L\cdot t^2\cdot B}$$

$$\sigma_{To}=\frac{Y\cdot M_o}{t^2\cdot B}-Z\cdot\sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg}=\frac{f\cdot M_g}{L\cdot g_1^2\cdot B}$$

$$\sigma_{Rg}=\frac{(1.33\cdot t\cdot e+1)\cdot M_g}{L\cdot t^2\cdot B}$$

$$\sigma_{Tg}=\frac{Y\cdot M_g}{t^2\cdot B}-Z\cdot\sigma_{Rg}$$

ただし，

$$L=\frac{t\cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}$$

$$h_o=\sqrt{B\cdot g_0}$$

$$d=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2 \qquad \text{（一体形フランジ）}$$

$$d=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^2 \qquad \text{（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））}$$

$$e=\frac{F}{h_o} \qquad \text{（一体形フランジ）}$$

$$e = \frac{F_L}{h_o}$$ （ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

また，Bが20・g_1より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のBの代わりにB_1を用いる。

j. 評価

外圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a) ボルトの総有効断面積 $A_{m2} < A_b$

(b) ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(c) フランジの径方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(d) フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.8　伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3416を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
b	b	継手部の波のピッチの 2 分の 1	mm
c	c	継手部の層数	－
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表 1 による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	－
	N_r	実際の繰返し回数	－
n	n	継手部の波数の 2 倍の値	－
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(N_r)／許容繰返し回数(N)	－
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算式		－
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2)　継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

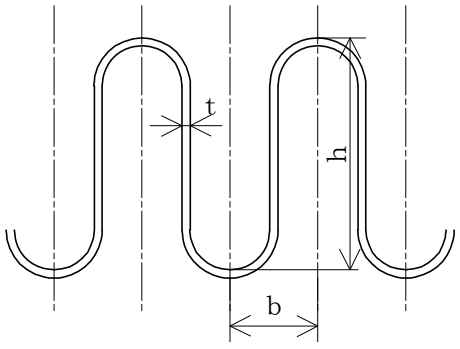


図 2-16　継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N=\left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

ただし，材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

$$\sigma=\frac{1.5\cdot E\cdot t\cdot \delta}{n\cdot\sqrt{b\cdot h^3}}+\frac{P\cdot h^2}{2\cdot t^2\cdot c} \quad \cdots\cdots(A)$$

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

$$\sigma=\frac{1.5\cdot E\cdot t\cdot \delta}{n\cdot\sqrt{b\cdot h^3}}+\frac{P\cdot h}{t\cdot c} \quad \cdots\cdots(B)$$

(4) 評価

実際の繰返し回数（N_r）と許容繰返し回数（N）の比（$U=N_r/N$）が$U\leqq 1$であれば，伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は，実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値（$U=\sum_i (N_{ri}/N_i)$）が$U\leqq 1$であれば，伸縮継手の強度は十分である。

3.　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス２管及び重大事故等クラス２支持構造物の材料について，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）施行前に工事着手又は完成したものであって設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価については，以下の方針にしたがって，重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1)　機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格においてクラス２管及びクラス２支持構造物に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は，機械的強度及び化学的成分について，使用材料とクラス２管に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a.　機械的強度

(a)　評価項目の選定

機械的強度については，使用材料と比較対象となるクラス２管に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に規定されている機械的性質のうち，機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。表 3-1「機械的強度における評価項目の選定結果」に選定結果を示す。

表 3-1　機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ 降伏点 又は耐力	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２管の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス２管は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２管については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２管は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工性など成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２管は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料の靭性の評価に用いられる値であるが，靭性については「(2)　破壊靭性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐磨耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記　＊：ＪＩＳ等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b)　機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２管に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b.　化学的成分

(a)　評価項目の選定

化学的成分の評価項目は，使用材料と比較対象となるクラス２管に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に記載されている化学的成分とする。

(b)　化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２管に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い，化学的成分規定値に差異があった場合は，化学的成分ごとの影響を確認し，使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは，求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお，各化学的成分の影響については，表 3-2「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 3-2　化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	－	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，材料の機械的性質である引張強さ，降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	－	－	－	－	－	－	－	向上	－	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，高温域（設計・建設規格　PVB-3312）で使用されないことを確認する。
溶接性		低下	－	－	－	－	－	－	－	－	－	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，溶接規格*にて定められた数値 0.35%以下であることを確認する。
靭性		低下	－	向上	低下	低下	－	向上	－	－	－	靭性については，「(2)　破壊靭性」において確認する。なお，靭性に影響を及ぼす不純物である P，S の化学的成分に差異がある場合は，成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	－	－	－	－	－	向上	向上	－	－	耐食性のうち，応力腐食割れに影響を与える化学的成分には，C，Ni，Cr があるが，Ni，Cr については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから，悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える化学的成分に差異がある場合は，悪影響を与える差異が無いことを確認する。なお，耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	－	－	－	－	－	向上	向上	向上	向上	向上	

注：表中は化学的成分を添加した場合の影響を示す。

注記　＊：「溶接規格」とは，発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＢ１－2007）（日本機械学会　2007 年 11 月）をいう。

(2) 破壊靭性

a. 破壊靭性試験不要となる材料の規定

破壊靭性については，設計・建設規格に規定されている破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊靭性試験不要となる材料の規定*

・厚さが 16 mm 未満の材料
・断面積が 625 mm^2 未満の棒の材料
・呼び径が 25 mm 未満のボルト等の材料
・外径が 169 mm 未満の管の材料
・厚さが 16 mm または外径が 169 mm 未満の管に接続されるフランジの材料および管継手の材料
・オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金

注記 ＊：クラス２配管の除外規定（設計・建設規格 PPC-2310）を記載している。

b. 破壊靭性の確認

破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当しない配管の破壊靭性については，施設時の要求を考慮し，以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊靭性が要求されていた配管

該当配管は，施設時の規格の要求に基づき十分な破壊靭性を有していることを確認している。また，材料の破壊靭性値は，一般的に温度が低くなるにつれて低下することから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊靭性が要求されていなかった配管

対象配管は，技術基準規則で規定している機器クラスのうち，クラス３管（工学的安全施設を除く。），クラス４管及び Non クラス*に該当する配管（支持構造物を含む。）であり，施設時における破壊靭性に対する要求がないことから，材料の靭性は確認されていないが，設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで，使用条件下での脆性破壊に対する靭性は同じであるとみなせることから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 ＊：技術基準規則第2条第2項第32号，第33号，第34号及び第35号に規定する。「クラス１管」，「クラス２管」及びこれらを支持する構造物，「クラス３管」及び「クラス４管」並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の管又は支持構造物

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される配管においては気象観測記録における最低温度である-12.7 ℃，屋内に設置される配管においては建屋の最低温度である 4.4 ℃，海水又は海水により冷却される原子炉補機冷却水と接する配管は海水の最低温度である 7.0 ℃，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管については，21 ℃がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される配管の最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値と変わらない。屋内に施設される配管のうち，重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を下回ることはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管については，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることはない。また，屋内に施設される配管のうち，重大事故等時において通水される内部流体が海水の場合は，最低海水温度が 7.0 ℃であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を有意に下回ることはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていた配管において，材料の破壊靭性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない配管については，施設時に確認した破壊靭性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊靭性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る配管については，使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていなかった配管において，設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し，使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス２配管に属する鋳造品については，非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に，非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで，材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

第三部　クラス３管の基本板厚計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 ····· 3-1
1.1　概　　要 ····· 3-1
1.2　適用規格及び基準との適合性 ····· 3-1
1.3　強度計算書の構成とその見方 ····· 3-5
1.4　計算精度と数値の丸め方 ····· 3-6
1.5　材料の表示方法 ····· 3-7
1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 ····· 3-8
2.　強度計算書の計算式と記号 ····· 3-9
2.1　共通記号 ····· 3-9
2.2　管の強度計算 ····· 3-10
2.3　平板の強度計算 ····· 3-14
2.4　鏡板の強度計算 ····· 3-25
2.5　レジューサの強度計算 ····· 3-28
2.6　管の穴と補強計算 ····· 3-31
2.7　フランジの強度計算 ····· 3-72
2.8　伸縮継手の強度計算 ····· 3-87

1.　一般事項

1.1　概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス３管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪSME　S　NC１－2005/2007）（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）及び昭和45年通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第５０１号」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応は，表1-1に示すとおりである。

(2)　設計・建設規格及び告示第５０１号に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1-2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外の管継手は，以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格　別表4に掲げるものとし，接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格　PPD-3415）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２３０１（2001）「ねじ込み式可鍛鋳鉄製管継手」
b.　ＪＩＳ　Ｂ　２３０２（1998）「ねじ込み式鋼管製管継手」
c.　ＪＩＳ　Ｂ　２３０３（1995）「ねじ込み式排水管継手」
d.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１１（2001）「一般配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
e.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１２（2001）「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
f.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１３（2001）「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
g.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１６（1997）「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
h.　ＪＩＳ　Ｇ　３４５１（1987）「水輸送用塗覆装鋼管の異形管」
i.　ＪＩＳ　Ｇ　５５２７（1998）「ダクタイル鋳鉄異形管」

(4)　強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については，以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格　別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PPD-3414）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」
b.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３９（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」
c.　ＪＩＳ　Ｂ　８２１０（1994）「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

(5)　管の接続

管と管を接続する場合は，設計・建設規格　PPD-3430により溶接継手，フランジ継手，ねじ込み継手又は機械的継手（メカニカルジョイント，ビクトリックジョイント等であって当該継手が十分な強度を有する機械的な締付けにより行われ，かつ，漏えいを防止する方法によるものに限る。）とする。ただし，継手部に著しい配管反力が生じる場合は，ねじ込み継手又は機械的継手としない。

表1-1　設計・建設規格各規格番号及び告示第５０１号各条項と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
	2.2	
第58条	2.2.1	管の強度計算（告示第５０１号）
第1項第1号		
第2号		
第3号		
PPD-3411（直管）	2.2.2	管の強度計算（設計・建設規格）
PPD-3411(1)	2.4	鏡板の強度計算（フランジ部）
PPD-3411(2)	2.5	レジューサの強度計算（フランジ部）
PPD-3411(3)		
PPD-3412（曲げ管） PPD-3411（直管）を準用する。		
PPD-3414（フランジ）	2.7	フランジの強度計算
PPD-3414(1)		（1.2(4) フランジ継手）
PPD-3414(2)		
PPD-3414(3)		
PPD-3415（管継手）		1.2(3)管継手
PPD-3415(1)		
PPD-3415.1（レジューサ）	2.5	レジューサの強度計算
PPD-3415.1(1)		
PPD-3415.1(2)		
PPD-3415.1(3)		
準用 PVC-3124.2(外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)		レジューサの強度計算（円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの））

設計・建設規格　規格番号 告示第５０１号　条項	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
PPD-3415.2（鏡板） PPD-3415.2(1) PPD-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPD-3416（伸縮継手）	2.8	伸縮継手の強度計算
第60条 準用 第31条 第２項第２号イ，ハ 第５項第１号 第２号イ，ロ 第６項第１号イ，ロ，ハ 第２号イ，ロ，ハ 第３号 第４号 第５号 第６号イ，ロ 第７号イ	2.6 2.6.1	管の穴と補強計算（告示第５０１号）
PPD-3420（穴と補強） PPD-3421 PPD-3422 PPD-3423 PPD-3424	2.6.2	管の穴と補強計算（設計・建設規格）
PPD-3422(3)	2.3	平板の強度計算

表1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003） 「圧力容器の構造－一般事項」 附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	2 3 4 5	2.7	フランジの強度計算*

注記　＊：設計・建設規格　PPC-3414(2)によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本基本方針と各配管の強度計算書から成る。

(2)　各配管の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

(3)　各配管の強度計算書において，ＮＯ．の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-3に示すとおりとする。

表1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	最高使用圧力	MPa	―	―	小数点以下第2位
	外面に受ける最高の圧力	MPa	―	―	小数点以下第2位*2
温度		℃	―	―	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
	ボルト谷径	mm	―	―	小数点以下第3位
	ガスケット厚さ	mm	―	―	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		°	小数点以下第2位 (小数点以下第1位)*4	四捨五入	小数点以下第1位 (整数位)*4

注記　＊1：設計・建設規格　付録材料図表及び告示第５０１号　別表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第１位を切り捨て，整数位までの値とする。（告示第５０１号は非SI単位をSI単位に換算する。）

＊2：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1)　SM400A　相当 (SMA400AP)

(例2)　SCMV3-1 相当 (ASME　SA387 Gr.11Cl.1)

(2)　管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので，材料表示としては，製造方法の区別を特に表示しない。

(継目無管：S，溶接管：W)

(3)　強度区分により許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記する。

(例)

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3 (付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の上段)	SCMV3-1
SCMV3 (付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の下段)	SCMV3-2

(4)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SS400 (16mm＜径≦40mm)

(5)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1)　管継手の表示方法

概略系統図において，計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“＊”を付け，概略系統図中に“注記＊：管継手”と表示する。

(2)　管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中，管の途中において仕様変更が生じた場合は“　―●―”のように表示する。

2.　強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス３管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1　共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格又は告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	ＮＯ.	管，平板，鏡板，レジューサ，管の穴，フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ：管 Ｂ：平板 Ｃ：鏡板 Ｒ：レジューサ Ｔ：管の穴 Ｆ：フランジ Ｅ：伸縮継手 ＳＰ：穴あき管	－
Ｐ	Ｐ	最高使用圧力（内圧）	MPa
Ｐｅ*	Ｐｅ	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Ｑ	厚さの負の許容差	%，mm
η	η	継手の効率	－
		管及び鏡板は設計・建設規格　PVD-3110による。レジューサは設計・建設規格　PVC-3130による。 告示第５０１号より計算を実施する場合，告示第５０１号第31条第3項第1号による。	

注記　＊：告示第５０１号で使用されていない記号

2.2　管の強度計算

管の強度計算は，告示第５０１号第58条第1項又は設計・建設規格　PPD-3411を適用する。

2.2.1　管の強度計算（告示第５０１号）

(1)　記号の説明

告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_o	D_o	管の外径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4及び別表第5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ	mm
	算式	ｔｒとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

告示第５０１号第58条第1項第1号により求めた値：ｔ

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

告示第５０１号第58条第1項第2号により求めた値：t_{op}

$\cdots\cdots$ (B)

c. 炭素鋼鋼管の告示第５０１号上必要な最小厚さ：t_t

告示第５０１号第58条第1項第3号により求めた値 $\cdots\cdots$ (C)

(3) 評価

ｔ，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項及びc項の文字A，B及びCに対応する。

b. 曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.2.2　管の強度計算（設計・建設規格）

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔｏｐとなる。）	－
D_0	D_o	管の外径	mm
ℓ	ℓ	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算式	ｔｒとして用いる値の算式	－
	製法		－
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPD-3411(1)の式より求めた値：t

$$t=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格　PPD-3411(2)の図PPD-3411-1より求めた値。ただし，図から求められない場合は次の式より求めた値：t_{op}

$$t_{op}=\frac{3\cdot Pe\cdot Do}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (B)$$

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格　PPD-3411(3)の表PPC-3411-1より求めた値　…… (C)

(3) 評価

t，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項及びc項の文字A，B及びCに対応する。

b. 曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.3　平板の強度計算

平板の強度計算は，設計・建設規格　PPD-3413及び設計・建設規格　PPD-3422(3)を適用する。

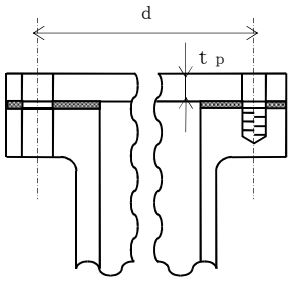
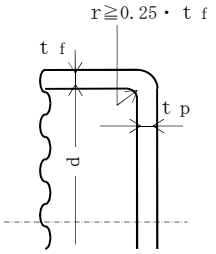
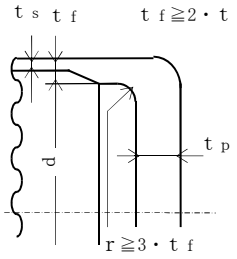
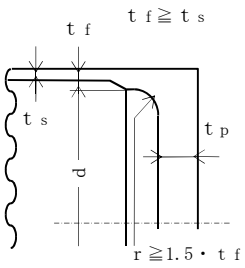
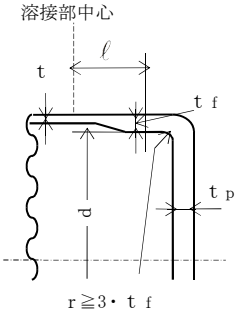
(1)　記号の説明

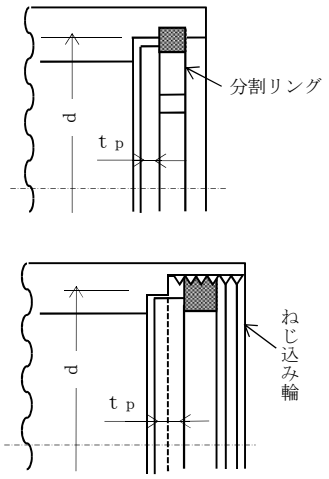
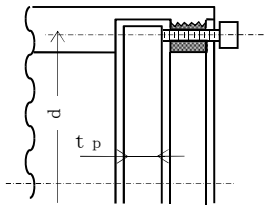
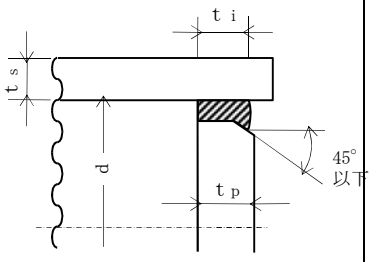
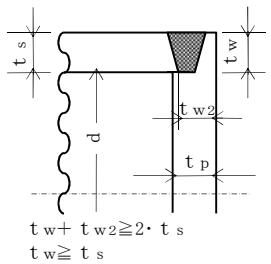
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPD-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径とｄとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	－
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t_r / t_s	－
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
r	r	すみの丸みの内半径	mm

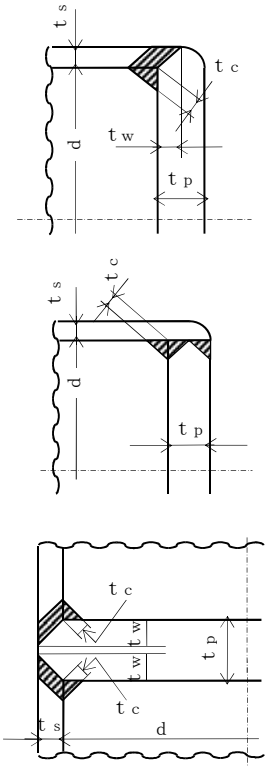
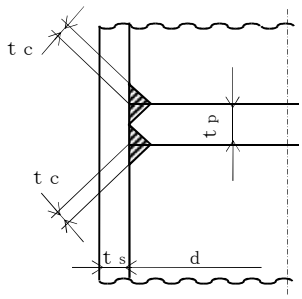
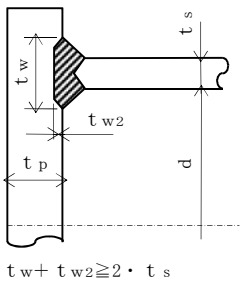
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力（S_a又はS_bのいずれか小さい方の値）	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪，分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f，t	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_w	t_i	平板ののど厚	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	管の最小厚さ	mm
t_r	t_r	継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
t_w，t_{w1}	t_w	平板の溶接部の深さ	mm
t_{w2}	t_{w2}	平板の溶接部の長さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N

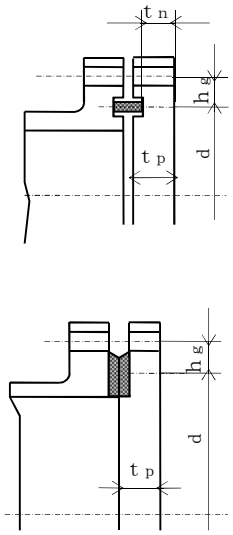
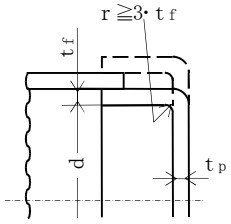
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
π	π	円周率	－
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－
	ガスケット座面の形状	ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。	－
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPD-3413の表PPD-3413-1による。	－
(a)～(o)	3A～30	取付け方法の表示区分	

(2)　形状の制限

取付け方法		形状の制限
（a）		無し
（b）		d≦600mm，d／20≦t p＜d／4かつ， r≧0.25・t fであること。
（c）		t f≧2・t sかつ，r≧3・t fであること。
（d）		t f≧t sかつ，r≧1.5・t fであること。
（e）		r≧3・t fであること。

取付け方法		形状の制限
(f)		$0.8 \cdot S_1 \geqq \sigma_p$であること。
(g)		$0.8 \cdot S_x \geqq \sigma_p$であること。
(h)		$t_i \geqq 2 \cdot t_r$かつ, $t_i \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。
(i)		$t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$, $t_w \geqq t_s$かつ, $t_s \geqq 1.25 \cdot t_r$であること。

取付け方法		形状の制限
(j)		(1) 平板が鍛造品で，かつ，平板の面からの開先角度が45° 未満の場合 $t_w \geqq \mathrm{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p)$ かつ， $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。 (2) (1)以外の場合 $t_w \geqq \mathrm{Min}(t_s, 0.5 \cdot t_p)$ かつ， $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。
(k)		$t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\mathrm{mm})$ であること。
(ℓ)	 $t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$	$t_w + t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ であること。

取付け方法		形状の制限
(m)		無し
(n)		0.8・$S_x \geqq \sigma_p$, $r \geqq 3 \cdot t_f$であること。
(o)	その他の場合	無し

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33・m，0.2)　　$m = t_r / t_s$
(e)	0.17*1 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20*2
(h)	Max (0.33・m，0.2)　　$m = t_r / t_s$
(i)	0.33
(j)	Max (0.33・m，0.2)　　$m = t_r / t_s$
(k)	
(ℓ)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし，t_nの厚さの場合は $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$*3
(n)	0.20
(o)	0.50

注記　*1：取付け方法（e）の場合

t_fからt_sへ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり，かつ，以下の(a)又は(b)いずれかの場合，K＝0.10とできる。

(a)　$\ell \geqq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b)　管が$2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$以上の長さにわたって

$t_s \geqq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記　＊2：取付け方法（ｇ）の場合のσ_pは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし，Ｐは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b}$$　（使用状態）

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a}$$　（ガスケット締付時）

$$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　（使用状態）

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a$$　（ガスケット締付時）

$F = \mathrm{Max}(W_o, W_g)$

(e)　平板に作用する力によって生じるボルトの応力

$$\sigma_p = \frac{F}{A_b}$$

注記　＊3：取付け方法（m）の場合のF，h_g，W及びdは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（b）及びガスケット反力円の直径（G）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし，Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b}$$　（使用状態）

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a}$$　（ガスケット締付時）

$$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1}$$　（使用状態）

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2}\right) \cdot S_a$$　（ガスケット締付時）

$$F = \mathrm{Max}(W_o,\ W_g)$$

(e)　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g = \frac{C - G}{2}$$

b.　平板に穴を設ける場合は，設計・建設規格　PPD-3422(3)により平板の計算上必要な厚さを，次の式より計算した値とする。

(a)　穴の径（d_h）が平板の径又は最小内のり（d）の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし，Kの値は（m）の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。

(b)　穴の径（d_h）が平板の径又は最小内のり（d）の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4)　評価

平板の最小厚さ（t_p）≧平板の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(5)　補足

a.　取付け方法は，設計・建設規格　PPD-3413の表PPD-3413-1の条件を満足するものとする。

b.　スペクタクルフランジの取付け方法は（g）タイプとする。

2.4　鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は，設計・建設規格　PPD-3415.2及び設計・建設規格　PPD-3411を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔとなる。）	－
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D_0	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	D_{oc}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	－
K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPD-3415.2(2)f.の表PPD-3415.2-1による。	－
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R_D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 R_D＝R＋（最小厚さ）	mm
R	R_R	半だ円形鏡板の外面の長径 R_R＝D＋2・（最小厚さ）	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	－
	形式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	－
	算式	ｔとして用いる値の算式	－

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは，次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPD-3415.2(1)a.により以下とする。

$D_{oc} \geqq R$

$r \geqq 3 \cdot t_{co}$

$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$

$r \geqq 50mm$

設計・建設規格　PPD-3415.2(2)a.の式PPD-1.12又は設計・建設規格　PPD-3415.2(2)b.の式PPD-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (A)$$

ただし，

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (A')$$

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格　PPD-3415.2(2)c.の式PPD-1.15又は設計・建設規格　PPD-3415.2(2)d.の式PPD-1.16より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (B)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \quad \cdots\cdots (B')$$

c.　半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPD-3415.2(1)c.により以下とする。

$$2 \geqq \frac{D}{2 \cdot h}$$

設計・建設規格　PPD-3415.2(2)e.の式PPD-1.17又は設計・建設規格　PPD-3415.2(2)f.より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \cdots\cdots (C)$$

ただし,

$$K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \quad \cdots\cdots (C')$$

d.　鏡板のフランジ部

設計・建設規格　PPD-3411により求めた値

(a)　内面に圧力を受ける管　…… (D)

(b)　外面に圧力を受ける管　…… (D')

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ　…… (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡部（上段）及びフランジ部（下段）の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，A'，B，B'，C，C'，D，D'及びD''に対応する。

2.5　レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は，設計・建設規格　PPD-3415.1（設計・建設規格　PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格　PPD-3411を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_3となる。）	－
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_0	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格　PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1より求めた係数	－
r，r_0，r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 （円すいの丸みの外半径）	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6に定める値の2倍，又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	$t_{s\ell}$	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	－
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算式	tとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	－
	端部記号	大径端，小径端及びフランジ部を示す名称	－

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは，次に掲げる値とし，大径端側及び小径端側のそれぞれについて計算を行う。

a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PPD-3415.1(1)a.の式PPD-1.8より求めた値

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.6\cdot P)} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格　PPD-3415.1(1)b.の式PPD-1.9より求めた値

$$t_2=\frac{P\cdot D_i\cdot W}{4\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.1\cdot P)} \quad \cdots\cdots$$

ただし，

$$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{D_i}{2\cdot r\cdot\cos\theta}}\right)$$

小径端側

設計・建設規格　PPD-3415.1(3)の式PPD-1.11より求めた値

$$t_2=\frac{K}{\eta}\cdot\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S+0.8\cdot P} \quad \cdots\cdots$$

ただし，Kは設計・建設規格　PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1より求めた値

} (B)

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 …… (C)

(b) 外面に圧力を受ける管 …… (C')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …… (C'')

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d.　円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PVC-3124.2により求める。

(a)　円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの

イ.　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (D)$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

ロ.　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{D_o\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{D_o}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (D')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

(b)　円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの

イ.　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot(D_o-2\cdot t_s)}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots (D'')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

ロ.　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left.\begin{aligned} t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)\cdot(P_e/B+0.0833)}{2.167}\\ t_3&=\frac{(D_o-2\cdot t_s)}{2}\cdot\left(1-\sqrt{1-\frac{2\cdot P_e}{S_1}}\right)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (D''')$$

ただし，$D_o=D_{o\ell}$，$t_s=t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell}-2\cdot t_{s\ell}$）とする。

(3)　評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて，レジューサの最小厚さ（t_s）≧レジューサの計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

a.　計算書中，ＮＯ.(レジューサの番号)に＊印の付いているものは，偏心レジューサを示す。

b.　偏心レジューサの場合のθは，円すいの頂角をそのまま使用する。

c.　計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，B，C，C'，C''，D，D'，D''及びD'''に対応する。

2.6　管の穴と補強計算

2.6.1　管の穴と補強計算（告示第５０１号）

管の穴と補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第2項，第5項及び第6項準用）を適用する。

告示第５０１号に関して記載の内容は，全て直管又は曲げ管の場合のみに限る。

(1)　記号の説明

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 告示第５０１号　別図第1～第8により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	－
	D，Do	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	－
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4又は別表第5による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t，t_{sr}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
	η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合 告示第５０１号第60条（第31条第3項第1号準用）に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2つの穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{oi}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
	d	d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
		d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ロ(イ)準用）により求められる係数	－
		F_1	すみ肉溶接のせん断応力係数	－
		F_2	突合せ溶接の引張応力係数	－
		F_3	突合せ溶接のせん断応力係数	－

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		L	2つの穴の径の平均値の3分の４倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）*	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長*	mm
	P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4及び別表第5による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4及び別表第5による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

	告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	－
		形式	管台の取付け形式	－

(2)　計算手順及び算式

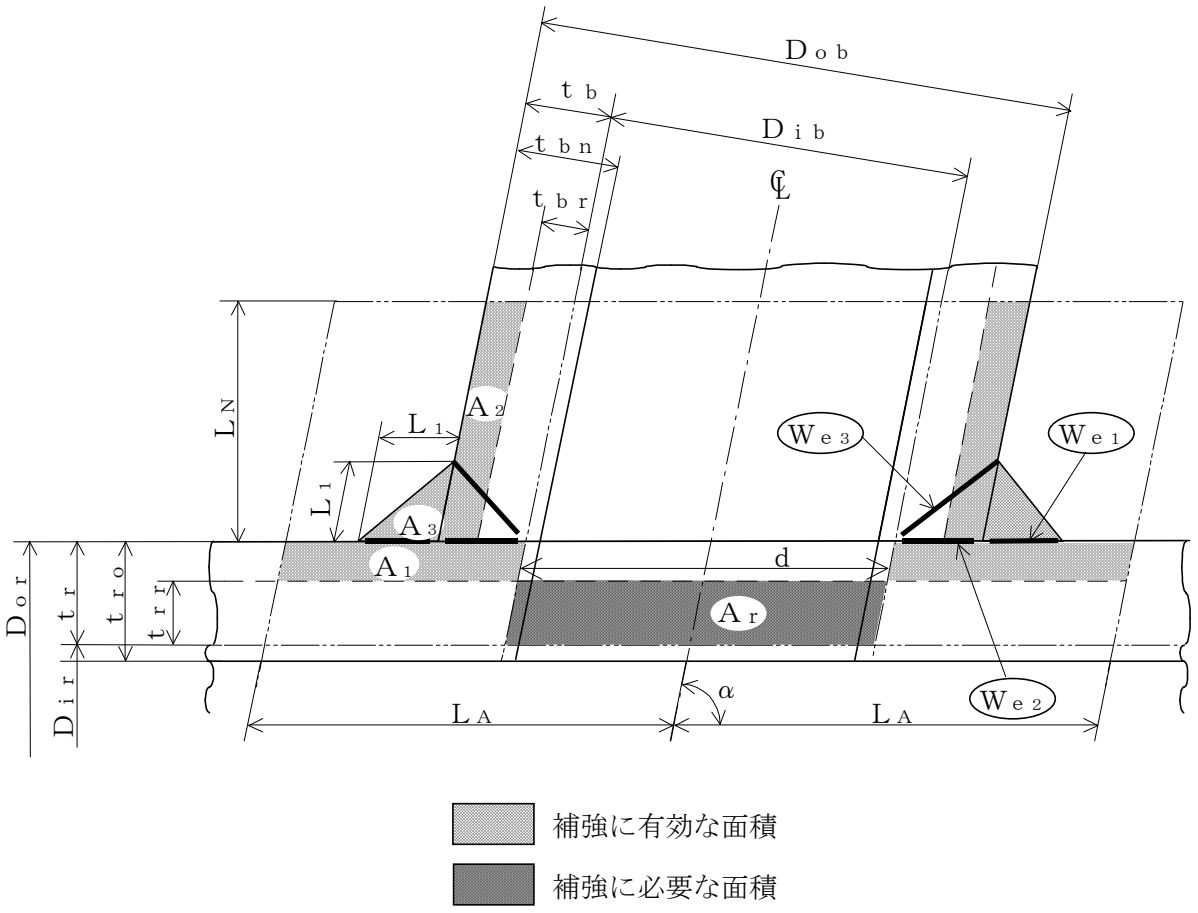
a.　穴の形状

管に設ける穴は，告示第５０１号第60条（第31条第5項第1号準用）により円形又はだ円形であること。

b.　管台の取付け形式

図2-1～図2-3に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

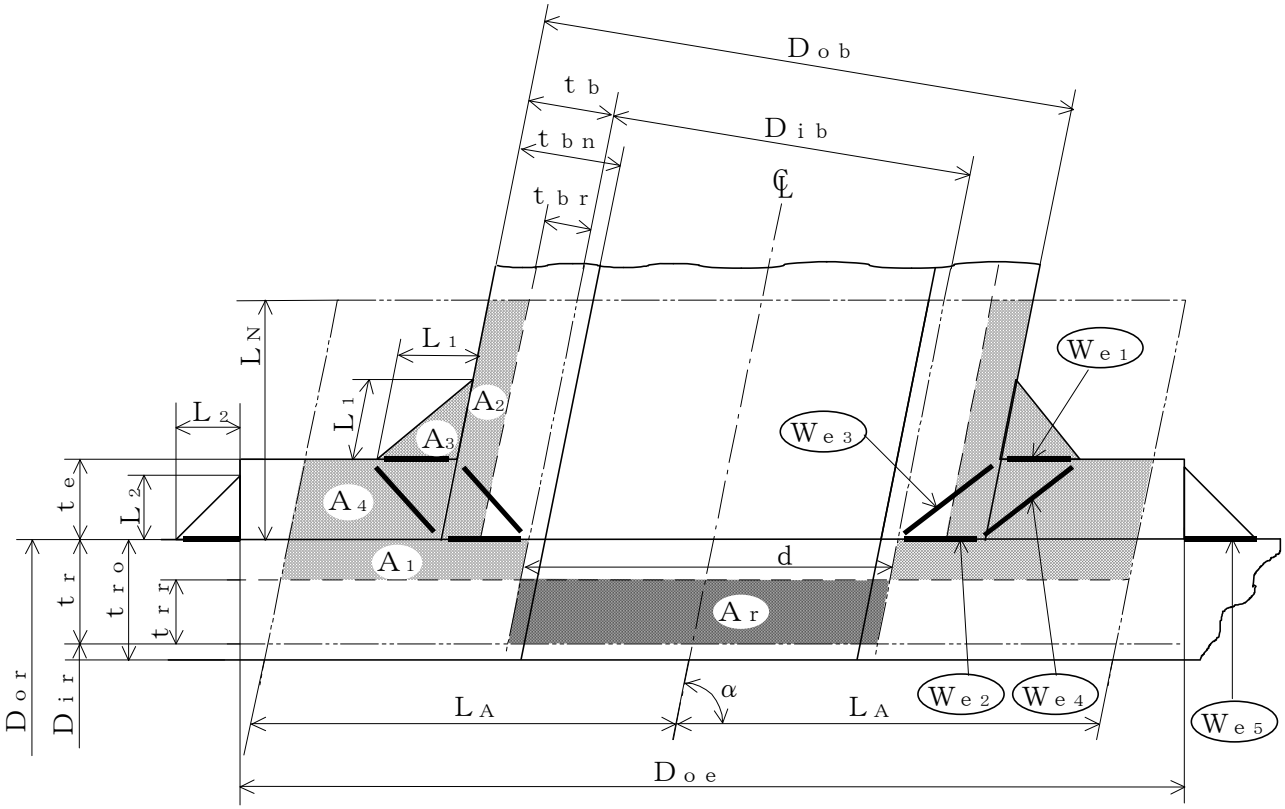


予想される破断形式

・(We3) を通る破断

・(We1) (We2) を通る破断

図2-1　A形（強め材のない場合）



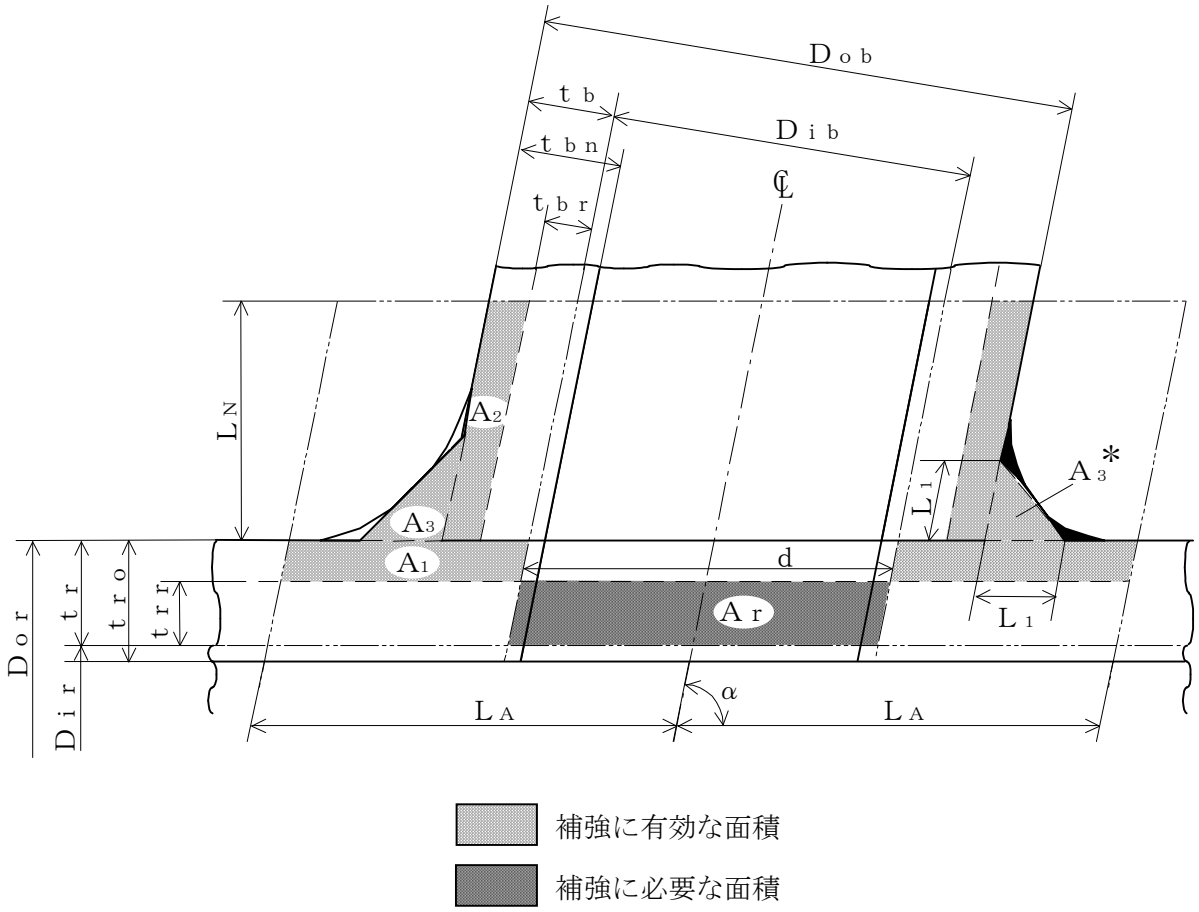
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We1) (We3) を通る破断
- (We2) (We4) を通る破断
- (We2) (We5) を通る破断

図2-2　B形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_3はA形及びB形と同様に$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図2-3　C形（一体形で強め材のない場合）

c.　穴の補強の要否

穴の補強の要否は，告示第５０１号第60条（第31条第5項第2号イ，ロ準用）を適用する。

(a)　算式

補強を要しない穴の最大径は，次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（d_{fr}）とする。

イ．　管に設ける穴であって，穴の径が61㎜以下で，かつ，管の内径の4分の1以下の穴（d_{r1}）

ロ．　管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が200㎜以下で，かつ，告示第５０１号第60条（第31条第5項第2号ロ準用）により求めた値以下の穴（d_{r2}）

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{or}\cdot t_r\cdot(1-K)}$$

ただし，Kの値は次の算式による。

$$K=\frac{P\cdot D_{or}}{1.82\cdot S_r\cdot\eta\cdot t_r}$$

ただし，K＞0.99の場合はK＝0.99とする。

(b)　評価

補強を要しない穴の最大径（d_{fr}）≧断面に現われる穴の径（d）ならば，穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は，d項以降による。

d.　穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$L_A=d\quad 又は\quad L_A=\frac{d}{2}+t_r+t_b$$

(b)　主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_N）は，次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

$$L_N=2.5\cdot t_r\quad 又は\quad L_N=2.5\cdot t_b+t_e$$

e.　主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}）は，告示第５０１号第60条（第31条第2項第2号イ並びにハ準用）を適用する。

$$t_{rr}=\frac{P\cdot D_{ir}}{2\cdot S_r\cdot\eta-1.2\cdot P}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(内圧)$$

$$t_{rr}=\frac{P\cdot D_{or}}{B} \quad \cdots\cdots \text{（外圧）}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ロ(ロ)準用）を適用する。

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ib}}{2\cdot S_b-1.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{（内圧）}$$

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ob}}{B} \quad \cdots\cdots \text{（外圧）}$$

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項準用）を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

補強に必要な面積は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ハ準用）を適用する。

$$A_r=d\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ. 補強に有効な面積

補強に有効な面積は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号ロ，第4号及び第5号準用）を適用する。

$$A_1=(\eta\cdot t_r-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_A-d)$$

$$A_2=2\cdot(t_b-t_{br})\cdot\mathrm{cosec}\alpha\cdot L_N\cdot\frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot\frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4=(D_{oe}-D_{ob}\cdot\mathrm{cosec}\alpha)\cdot t_e\cdot\frac{S_e}{S_r}+(L_2)^2\cdot\frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

$$A_4=(2\cdot L_A-D_{ob}\cdot\mathrm{cosec}\alpha)\cdot t_e\cdot\frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

$$A_0=A_1+A_2+A_3+A_4$$

(b) 評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h.　大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ．　D_{ir}が1500㎜以下の場合

$$d_{frD}=D_{ir}/2$$

ただし，500㎜を超える場合500㎜とする。

ロ．　D_{ir}が1500㎜を超える場合

$$d_{frD}=D_{ir}/3$$

ただし，1000㎜を超える場合1000㎜とする。

(b)　評価

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）≧断面に現われる穴の径（ｄ）ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，ｉ項以降による。

i.　大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第1号イ準用）を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　大穴の補強における管台の取付け形式

図2-4～図2-6に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

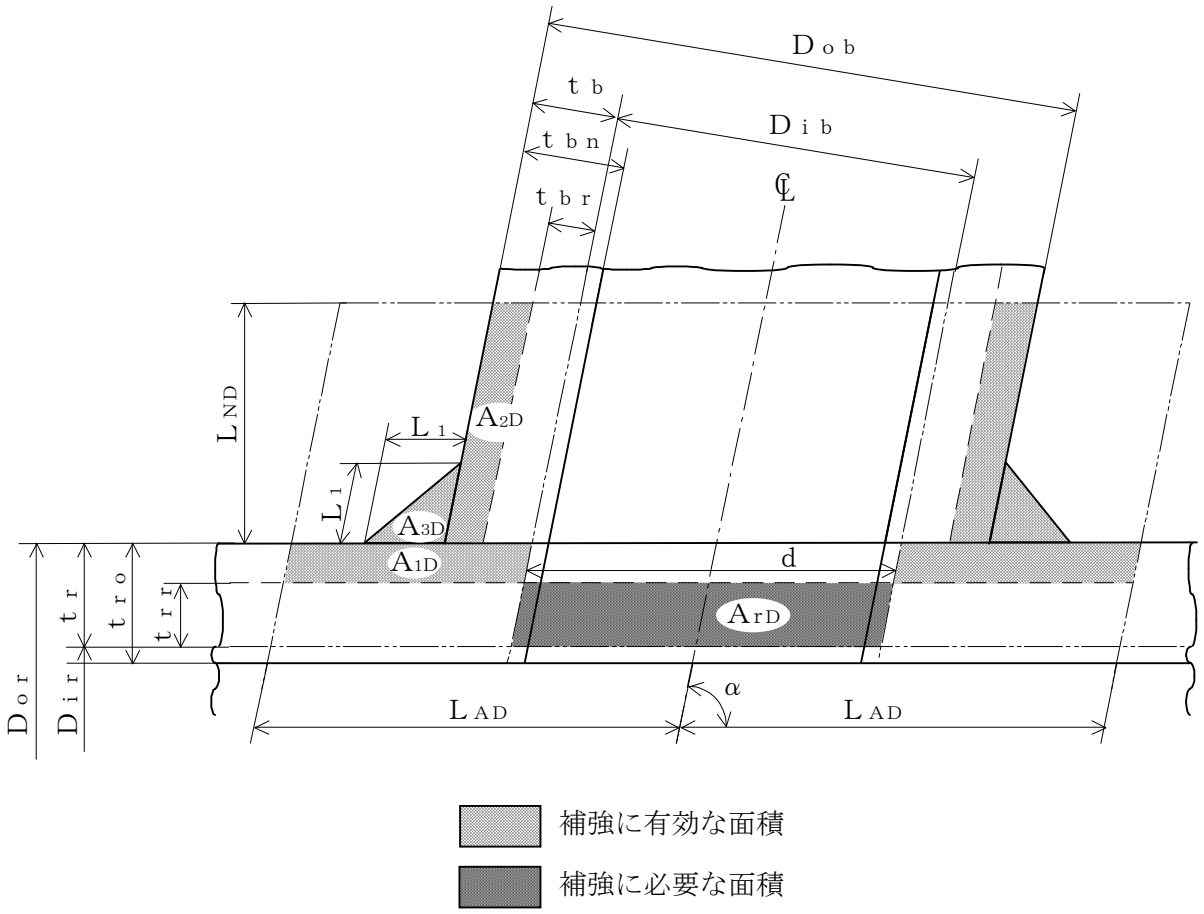


図2-4　A形（強め材のない場合）

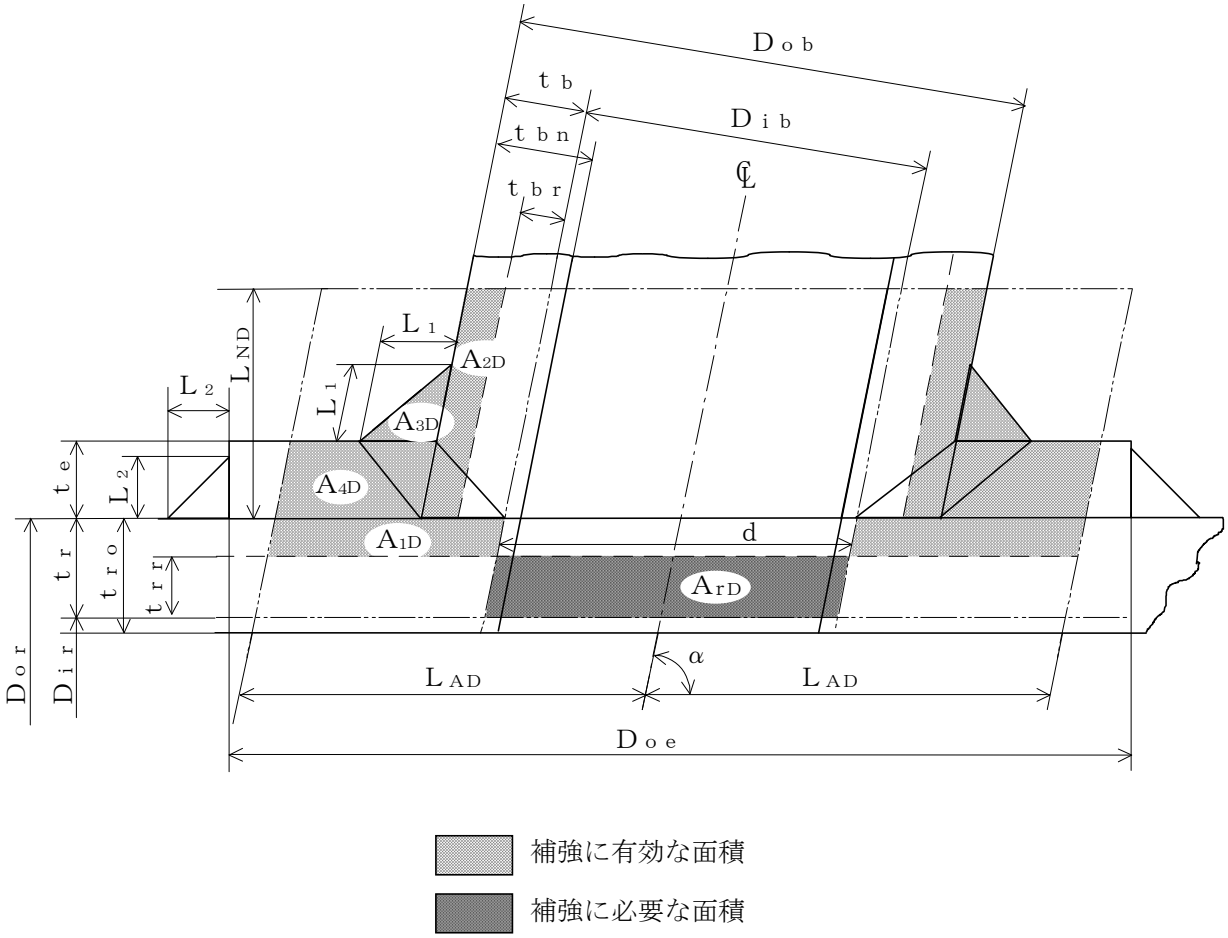
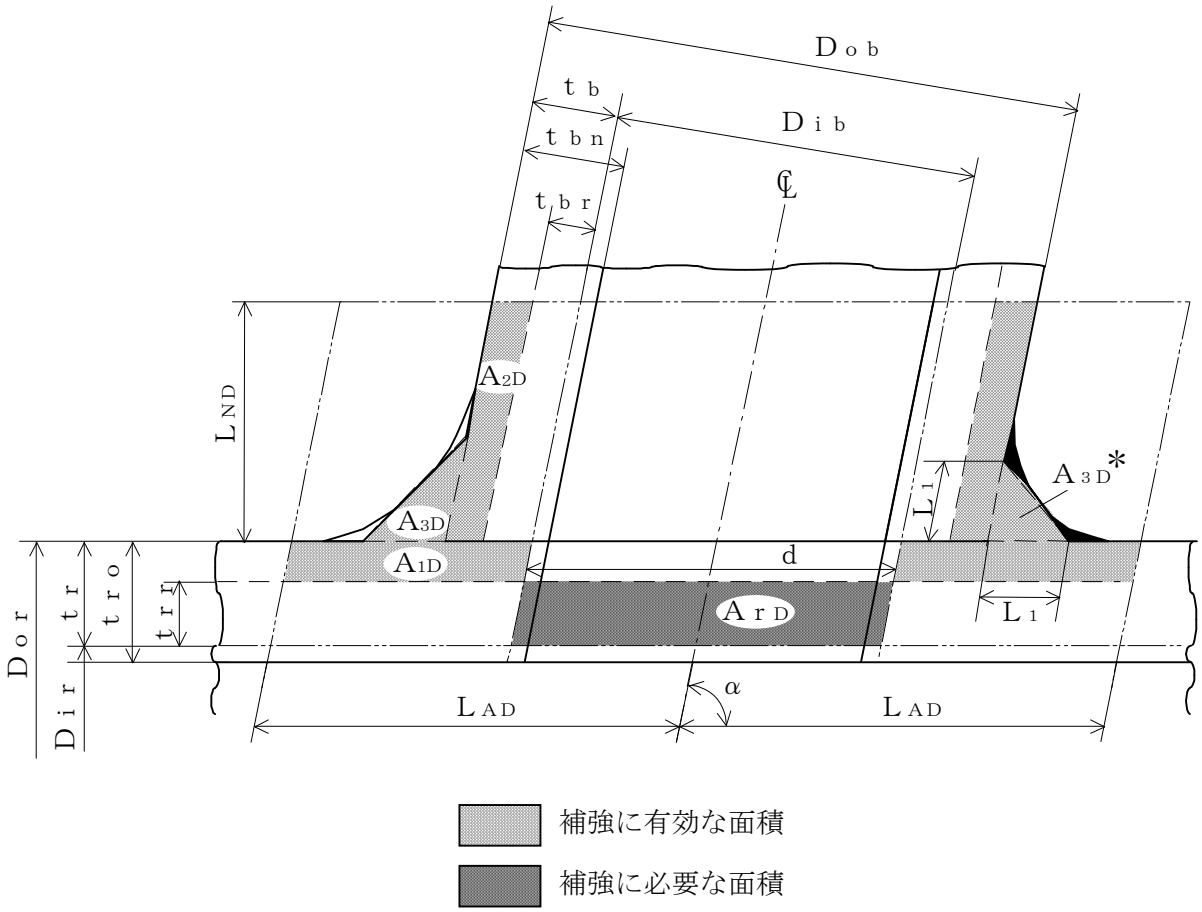


図2-5　B形（強め材のある場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_{3D}はA形及びB形と同様に$A_{3D}=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記 部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記 部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図2-6　C形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD}=\frac{d}{2}+\frac{d}{4}$$

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第3号準用）を適用する。

(a)　算式

イ．　大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD}=\frac{2}{3}\cdot A_{r}$$

ロ．　大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_{r}-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_{AD}-d)$$

$$A_{2D}=A_{2}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\mathrm{cosec}\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\mathrm{cosec}\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

k.　2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第2号準用）を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a)　算式

イ．　2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr}=0.7\cdot L_s\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ．　2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot t_r$$

(b)　算式

2つの穴の径の平均値の3分の4倍の値

$$L=\frac{4}{3}\cdot\left(\frac{d+d_D}{2}\right)$$

(c)　算式

イ．　2つの穴の補強に必要な面積

$$A_{ri}=A_r+A_{rs}$$

A_r及びA_{rs}は1つの穴の計算に準じる。

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot(t_r-t_{rr})+A_2+A_{2s}+A_3+A_{3s}+A_4+A_{4s}$$

A_2，A_{2s}，A_3，A_{3s}，A_4及びA_{4s}は，1つの穴の計算に準じる。

(d)　評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ．　2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

ハ．　2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の3分の4倍（L）

ニ．　それぞれの穴に共通な強め材の断面積（A_4）≧2つの穴の補強に必要な面積（A_{ri}）

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，告示第５０１号第60条（第31条第6項第6号，第7号準用）を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

$$W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

ロ. 溶接部の許容応力

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

（イ） A形の管台形式の場合

$W_{ebp1} = (W_{e3})$ を通る強さ＝W_{e3}

$W_{ebp2} = (W_{e1}) + (W_{e2})$ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e2}$

（ロ） B形の管台形式の場合

$W_{ebp1} = (W_{e1}) + (W_{e3})$ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e3}$

$W_{ebp2} = (W_{e2}) + (W_{e4})$ を通る強さ＝$W_{e2} + W_{e4}$

$W_{ebp3} = (W_{e2}) + (W_{e5})$ を通る強さ＝$W_{e2} + W_{e5}$

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは，1として計算する。

2.6.2　管の穴と補強計算（設計・建設規格）

管の穴と補強計算は，設計・建設規格　PPD-3420を適用する。

(1)　記号の説明

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	－
	D	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\dfrac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	－
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t_{sr}，t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
	η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合 穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る場合 穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合 設計・建設規格　PVD-3110に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	－

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔｂｒ及びｔｃｒとなる。）	－
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ）	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	－
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPD-3424(1)の表PPD-3424-1及び表PPD-3424-2による。	－
	K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPD-3415.2(2)f.の表PPD-3415.2-1による。	－
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	t_s	t_c		mm
		t_{co}	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r1}	t_{cr}	鏡板の公称厚さ	mm
	W	W	鏡板の計算上必要な厚さ さら形鏡板の形状による係数	－

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
平板の記号	d	d	平板の径又は最小内のり	mm
	d	d_H	断面に現われる穴の径	mm
	K	K	平板の取付け方法による係数	－
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	t_c	平板の最小厚さ	mm
		t_{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r2}	t_{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPD-3413の表PPD-3413-1による。	－
	(a)～(o)	3A～30	取付け方法の表示区分	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号（管の穴と補強計算）	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm^2
		A_{oi}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
		d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格　PPD-3424(1)b.により求められる係数	－
		F_1	すみ肉溶接のせん断応力係数	－
		F_2	突合せ溶接の引張応力係数	－
		F_3	突合せ溶接のせん断応力係数	－

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号（管の穴と補強計算）		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）*	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長*	mm
	P，P_e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t_{nr}	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

注記　＊：設計・建設規格の図PPD-4000-4による。

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号（管の穴と補強計算）		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	－
		形式	管台の取付け形式	－

(2) 計算手順及び算式

a. 穴の形状

管に設ける穴は，設計・建設規格　PPD-3421(2)により円形又はだ円形であること。

b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

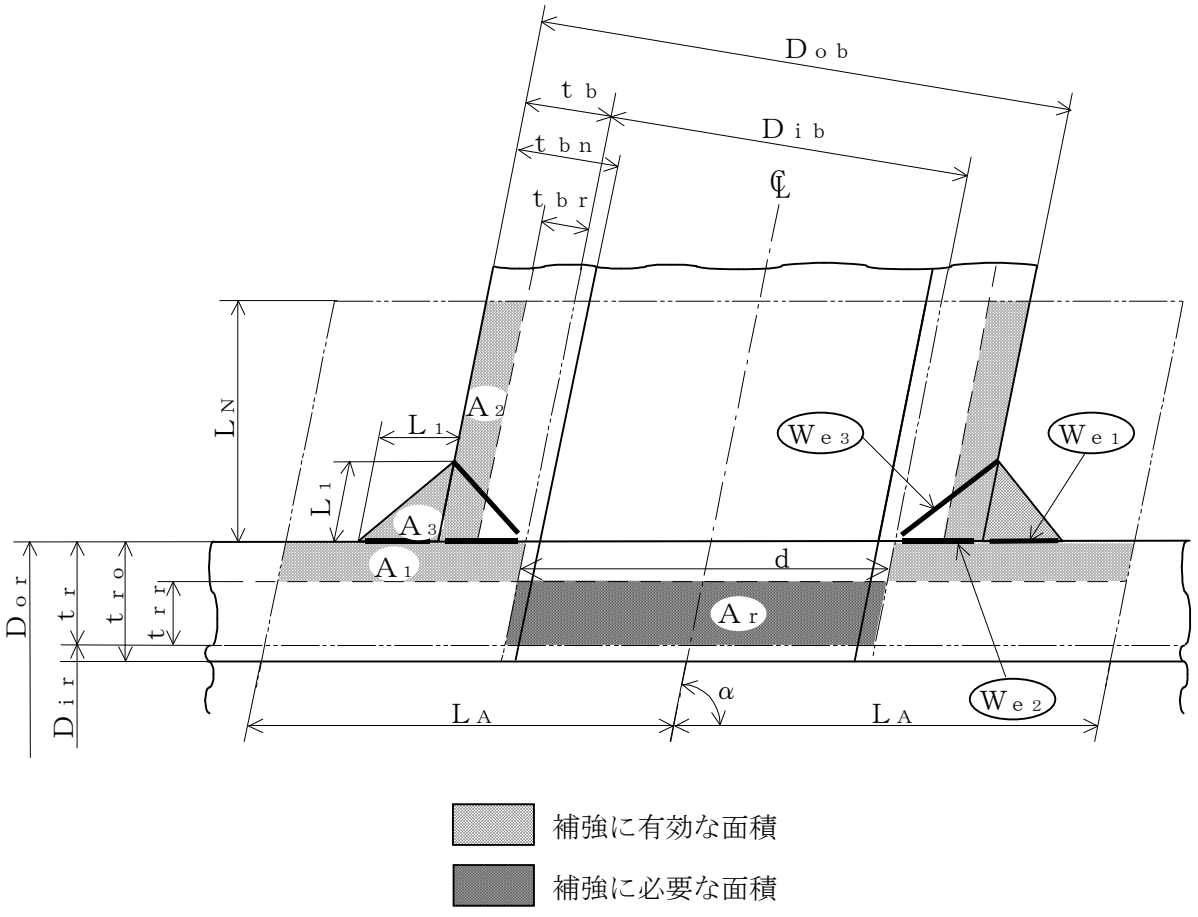
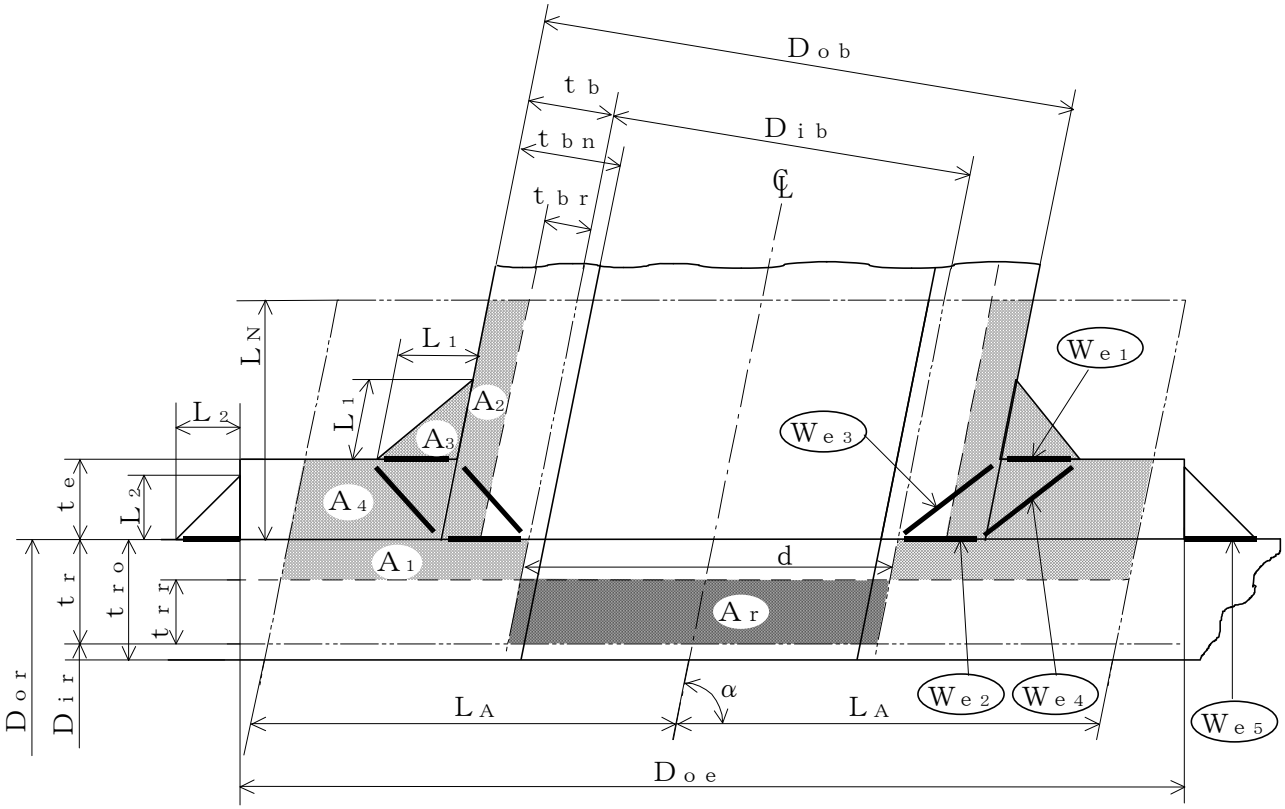


図2-1　A形（強め材のない場合）



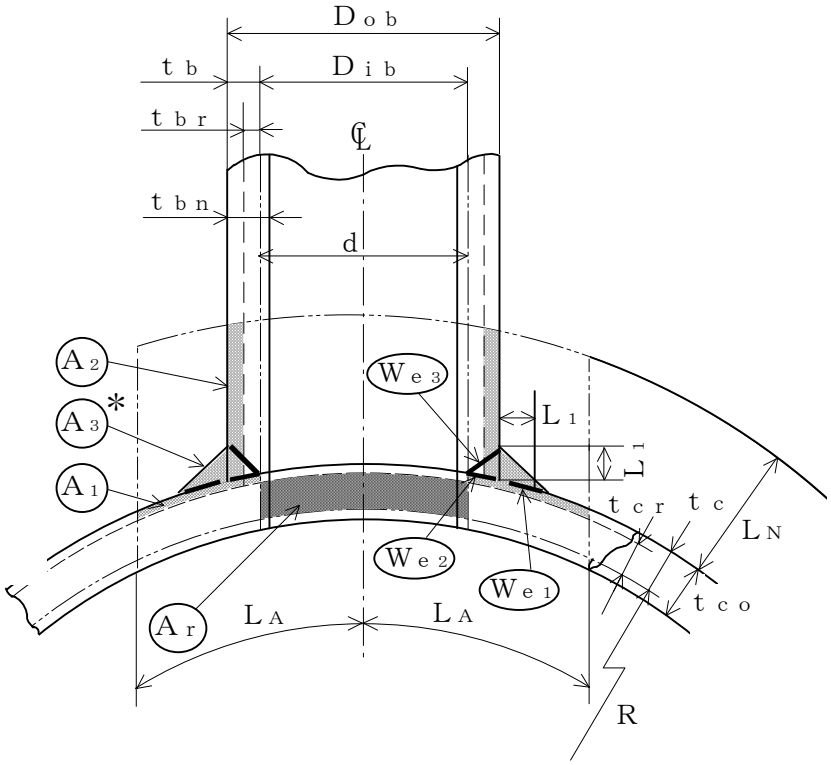
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We1) (We3) を通る破断
- (We2) (We4) を通る破断
- (We2) (We5) を通る破断

図2-2　B形（強め材のある場合）



補強に有効な面積

補強に必要な面積

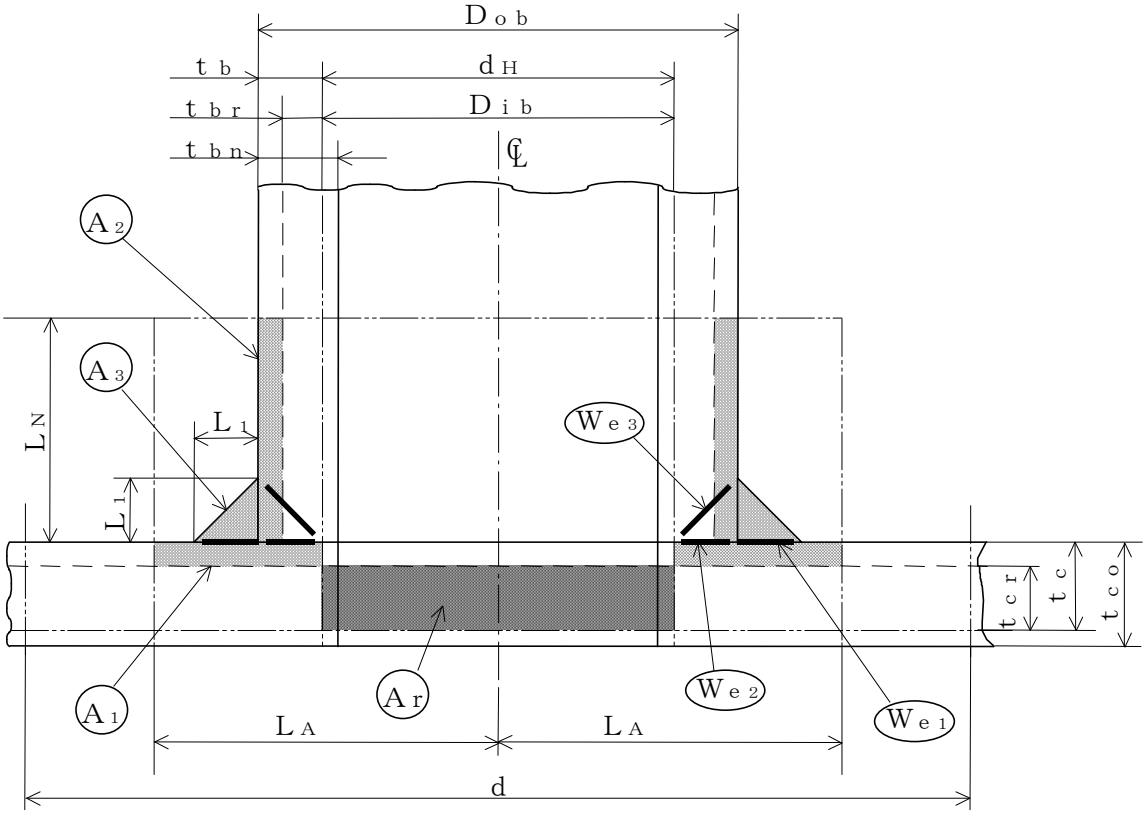
予想される破断形式

・ (We3) を通る破断

・ (We1) (We2) を通る破断

注記＊：A3の面積で(L1)2以外の部分は，
補強面積計算上は考慮しない。

図2-3　A形（鏡板で強め材のない場合）



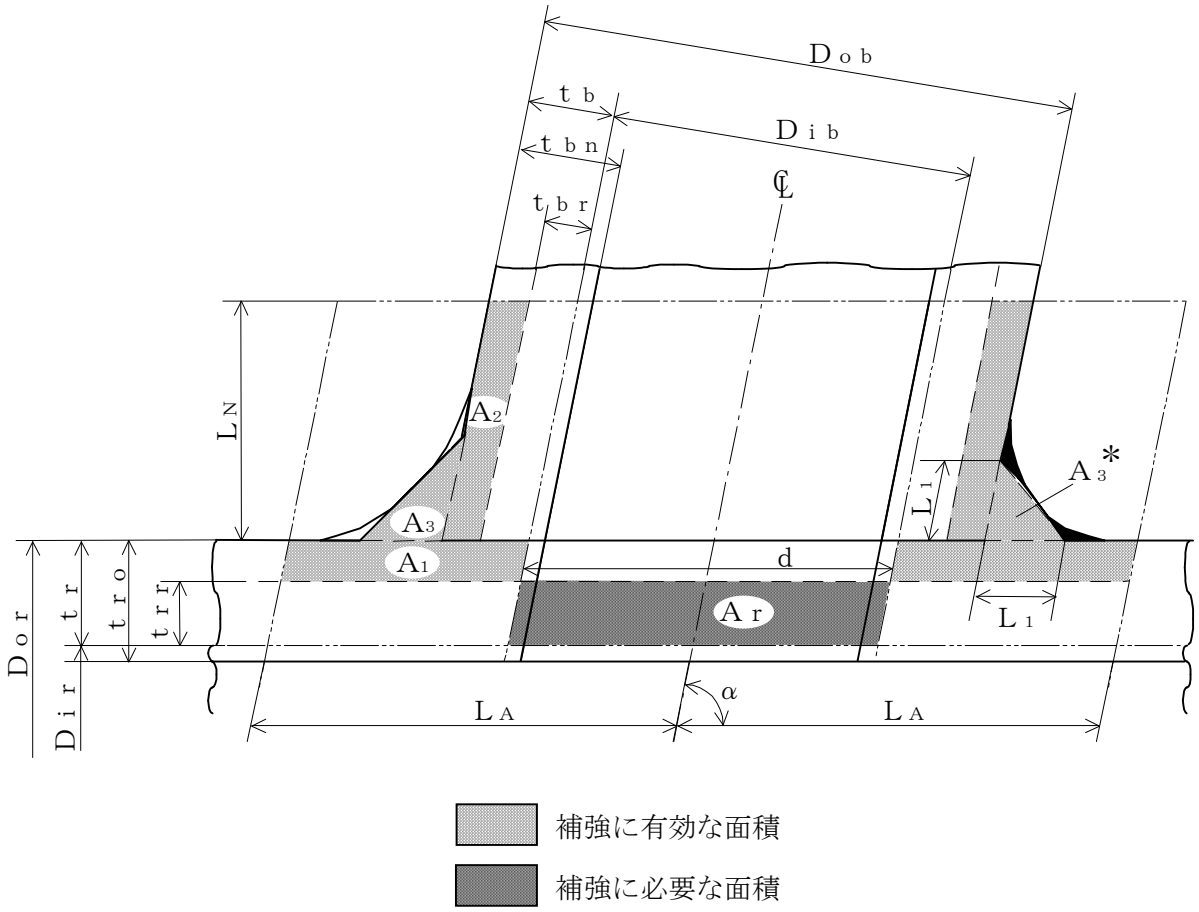
補強に有効な面積

補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

図2-4　A形（平板で強め材のない場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_3はA形及びB形と同様に$A_3=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記▨部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記■部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図2-5　C形（一体形で強め材のない場合）

c.　穴の補強の要否

穴の補強の要否は，設計・建設規格　PPD-3422を適用する。

(a)　算式

補強を要しない穴の最大径は，次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（d_{fr}）とする。

イ.　平板以外の管に設ける穴であって，穴の径が61mm以下で，かつ，管の内径の4分の1以下の穴（d_{r1}）

ロ.　平板以外の管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が200mm以下で，かつ，設計・建設規格の図PPD-3422-1及び図PPD-3422-2により求めた値以下の穴（d_{r2}）

直管又は曲げ管の場合

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_{or}\cdot t_r\cdot(1-K)}$$

鏡板の場合

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D_o\cdot t_c\cdot(1-K)}$$

ただし，Kの値は次の算式による。

（イ）　直管又は曲げ管の場合

$$K=\frac{P\cdot D_{or}}{1.82\cdot S_r\cdot\eta\cdot t_r}$$

（ロ）　さら形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

$$K=\frac{P\cdot D_o}{1.82\cdot S\cdot\eta\cdot t_c}$$

（ハ）　全半球形鏡板の場合

$$K=\frac{P\cdot D_o}{3.64\cdot S\cdot\eta\cdot t_c}$$

ただし，$K>0.99$の場合は$K=0.99$とする。

ハ.　平板に穴を設ける場合であって，平板の最小厚さ（t_c）が次の式により計算した値以上のもの

（イ）　穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1以下の場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，Kの値は設計・建設規格　PPD-3413の表PPD-3413-1中で(m)の取付け方法を除き，0.375以上とすることを要しない。

（ロ）　穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1を超える場合

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2.25\cdot K\cdot P}{S}}$$

(b)　評価

補強を要しない穴の最大径（d_{fr}）≧断面に現われる穴の径（d）又は平板の最小厚さ（t_c）≧補強を要しない平板の計算上必要な厚さ（t）ならば，穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は，d項以降による。

d.　穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格　PPD-3424(1)a.を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_A）は，次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

イ.　直管又は曲げ管の場合

$$L_A = d \quad 又は \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

ロ.　鏡板の場合

$$L_A = d \quad 又は \quad L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$$

ハ.　平板の場合

$$L_A = d_H \quad 又は \quad L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$$

(b)　主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲（L_N）は，次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

イ.　直管又は曲げ管の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad 又は \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

ロ.　鏡板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad 又は \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

ハ.　平板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad 又は \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

e.　主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ（t_{rr}又はt_{cr}）は，設計・建設規格　PPD-3424(1)b.(a)を適用する。

(a)　直管又は曲げ管の場合

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_r \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (内圧)$$

ただし，$\eta = 1.00$

$$t_{rr} = \frac{3 \cdot P \cdot D_{or}}{4 \cdot B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (外圧)$$

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot R\cdot W}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

ただし，W＝1.00及びη＝1.00

$$t_{cr}=\frac{P\cdot (R+t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

ロ. 半だ円形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot K_1\cdot D}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr}=\frac{P\cdot K_K\cdot (D+2\cdot t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

ハ. 全半球形鏡板

$$t_{cr}=\frac{P\cdot R}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr}=\frac{P\cdot (R+t_c)}{B} \quad \cdots\cdots \text{(中高面)}$$

(c) 平板の場合

$$t_{cr}=d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ（t_{br}）は，設計・建設規格　PPD-3424(1)b.(b)を適用する。

$$t_{br}=\frac{P\cdot D_{ib}}{2\cdot S_b-1.2\cdot P} \quad \cdots\cdots \text{(内圧)}$$

$$t_{br}=\frac{3\cdot P\cdot D_{ob}}{4\cdot B} \quad \cdots\cdots \text{(外圧)}$$

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は，設計・建設規格　PPD-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$A_r=1.07\cdot d\cdot t_{rr}\cdot(2-\sin\alpha)$$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_r=d\cdot t_{cr}$$

(ハ) 平板の場合

$$A_r=0.5\cdot d_H\cdot t_{cr}$$

ロ．　補強に有効な面積

（イ）　直管又は曲げ管の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \mathrm{cosec}\alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \mathrm{cosec}\alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

（ロ）　鏡板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

（ハ）　平板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b)　評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，設計・建設規格　PPD-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ． D_{ir}が1500㎜以下の場合

$d_{frD}＝D_{ir}／2$

ただし，500㎜を超える場合500㎜とする。

ロ． D_{ir}が1500㎜を超える場合

$d_{frD}＝D_{ir}／3$

ただし，1000㎜を超える場合1000㎜とする。

(b) 評価

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）≧断面に現われる穴の径（ｄ）ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は，ｉ項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格　PPD-3424(4)を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

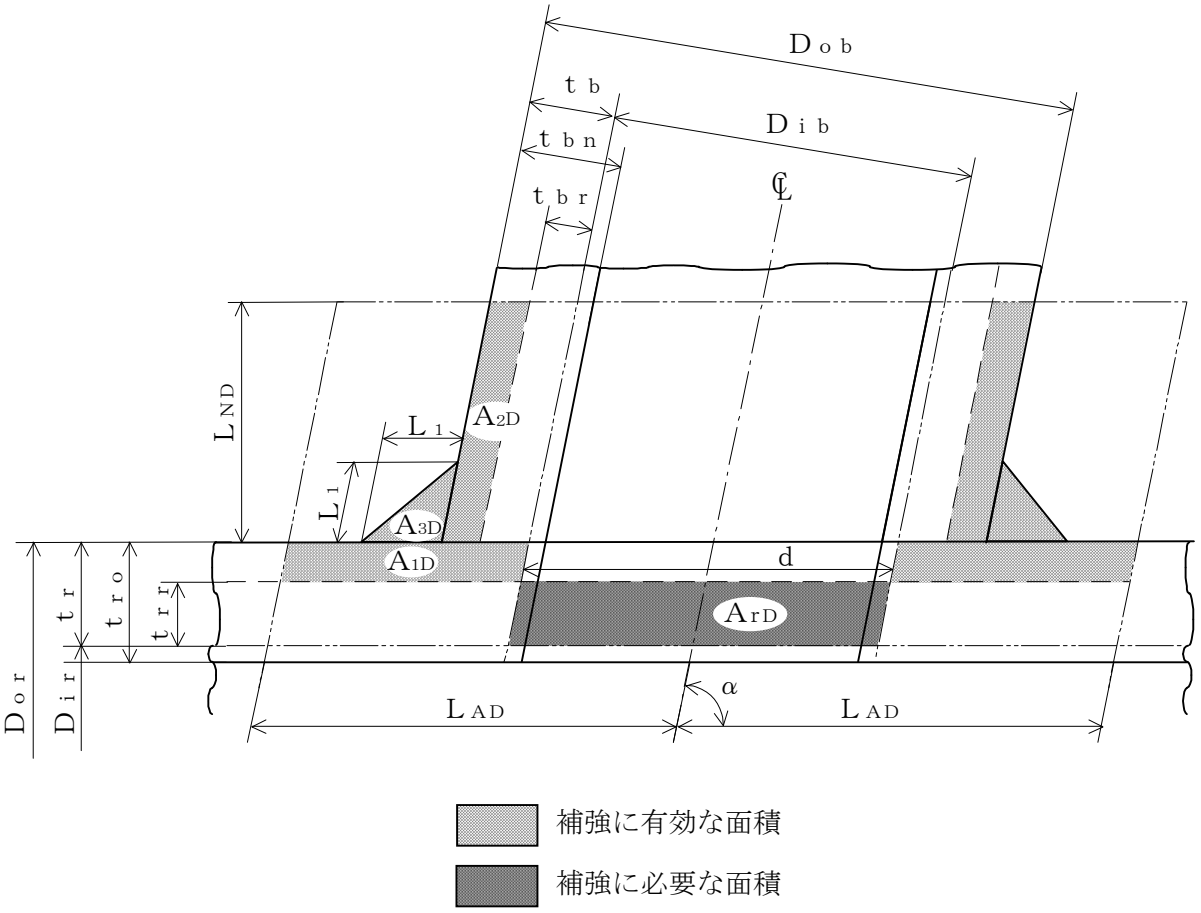


図2-6　A形（強め材のない場合）

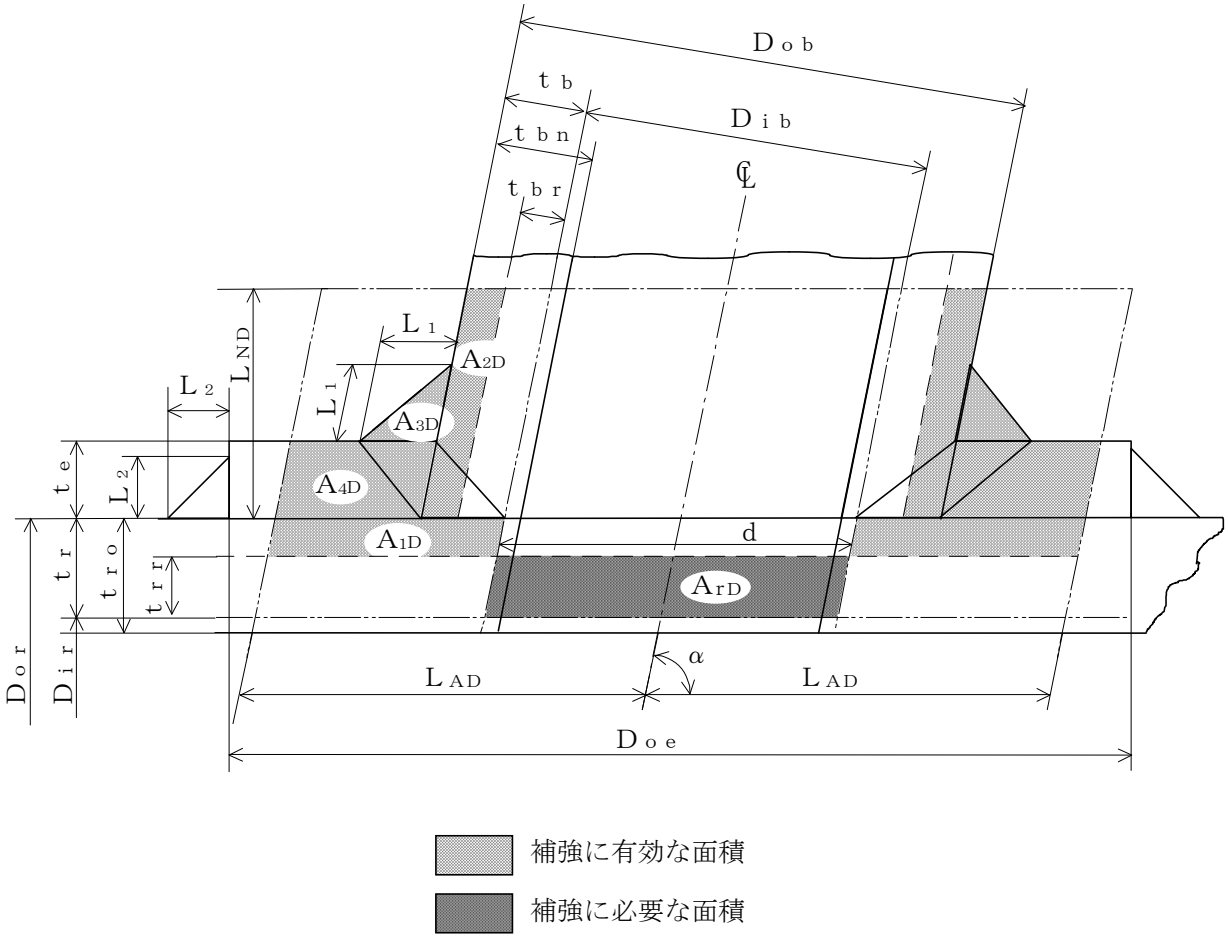
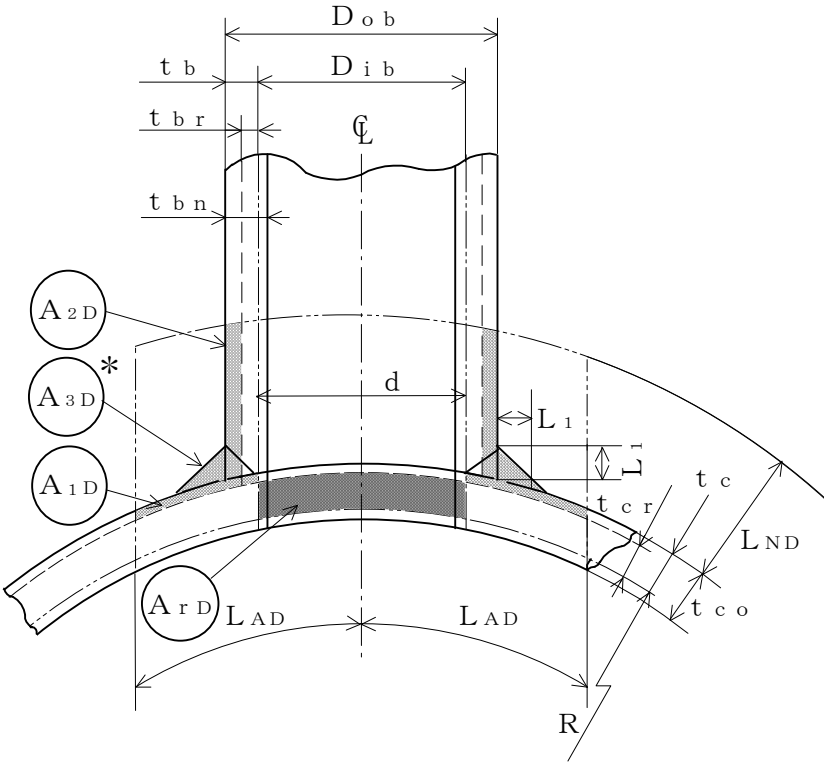


図2-7　B形（強め材のある場合）



補強に有効な面積

補強に必要な面積

注記＊：A_{3D}の面積で$(L_1)^2$以外の部分は，
補強面積評価上は考慮しない。

図2-8　A形（鏡板で強め材のない場合）

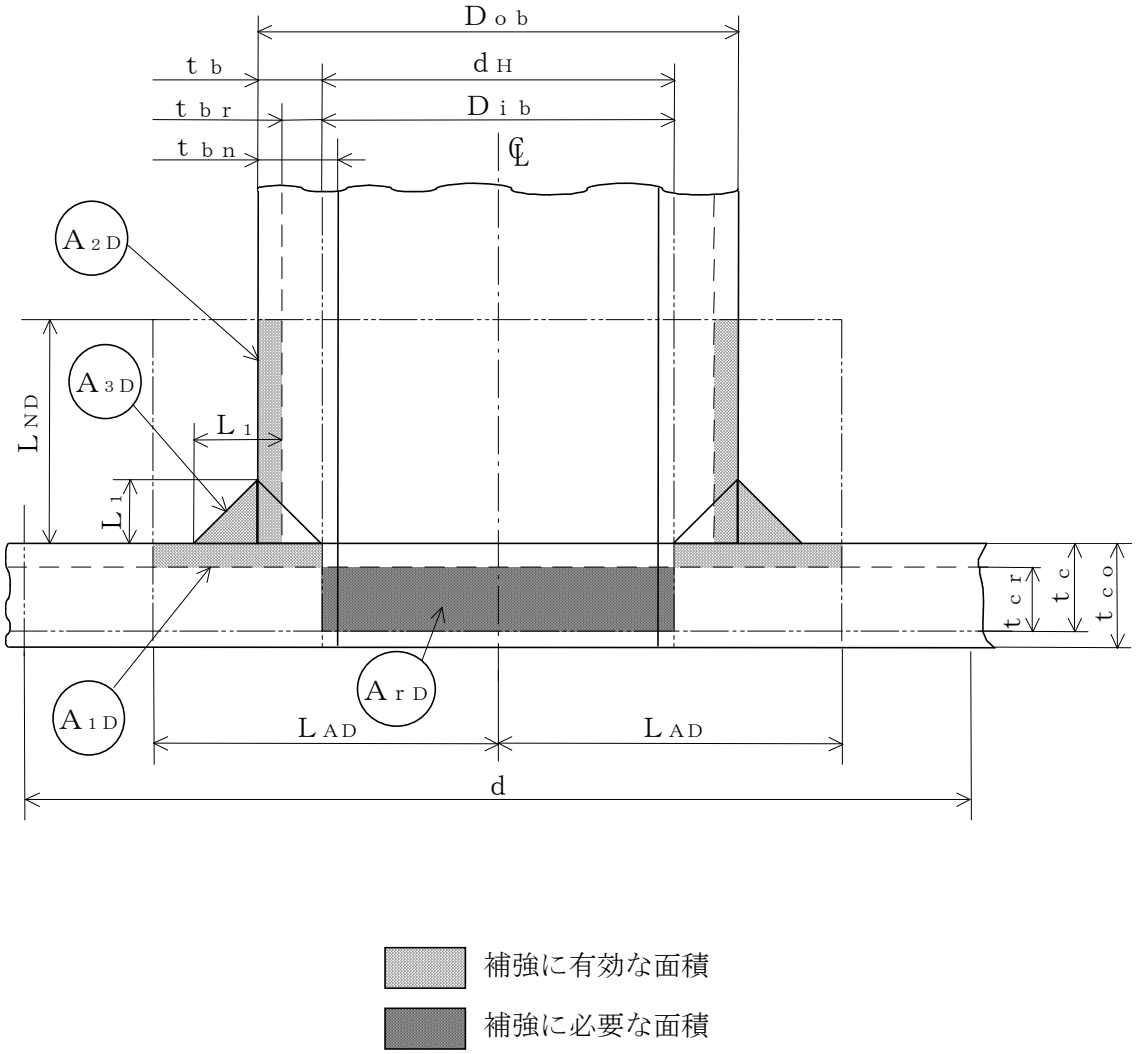
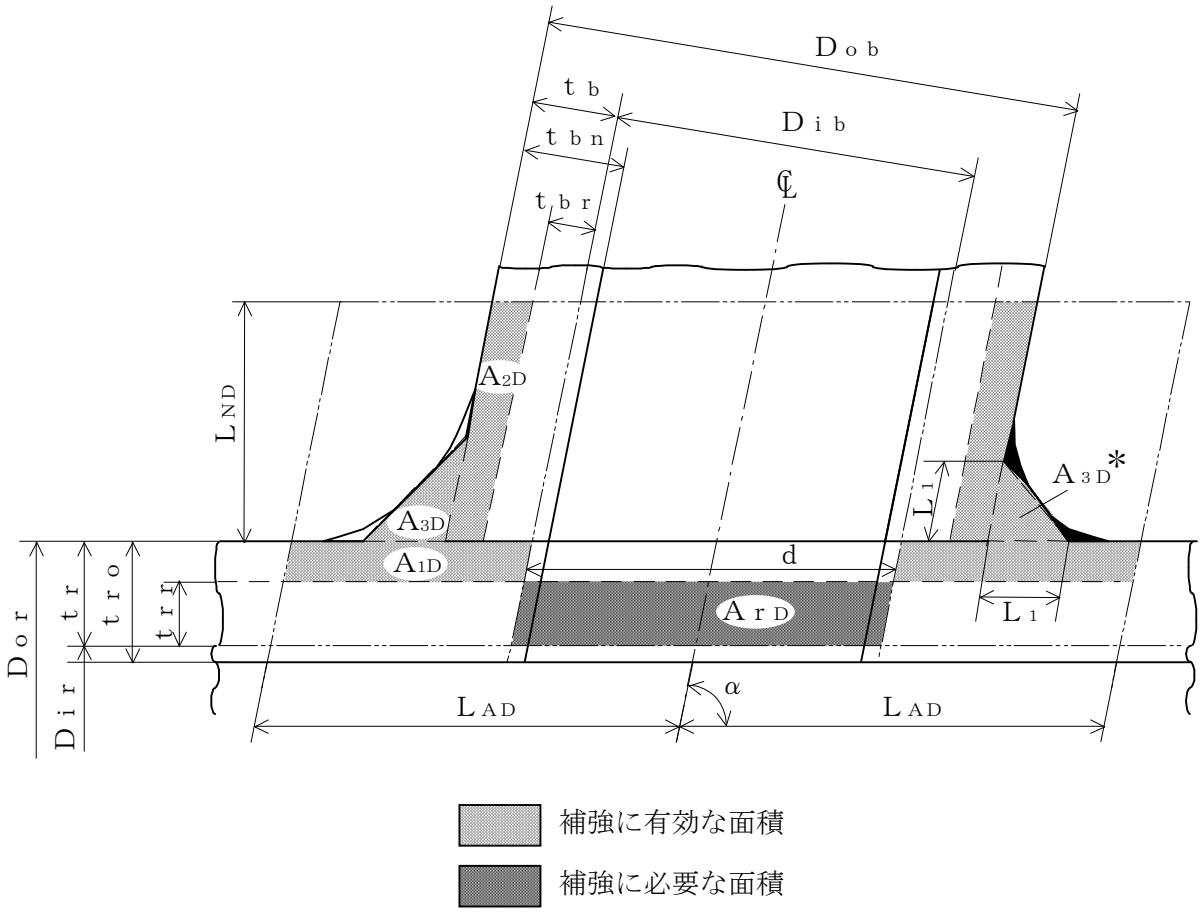


図2-9　A形（平板で強め材のない場合）



注記＊：本形式における補強に有効な面積A_{3D}はA形及びB形と同様に$A_{3D}=(L_1)^2\cdot\sin\alpha\cdot S_b/S_r$（上記 部）として算出するものとし，同補強部外側の余肉部（上記 部）は，補強面積評価上は考慮しない。

図2-10　C形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD}=\frac{d}{2}+\frac{d}{4}$$

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，設計・建設規格　PPD-3424(4)を適用する。

(a)　算式

イ．　大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD}=\frac{2}{3}\cdot A_{r}$$

ロ．　大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_{r}-F\cdot t_{rr})\cdot(2\cdot L_{AD}-d)$$

$$A_{2D}=A_{2}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\mathrm{cosec}\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\mathrm{cosec}\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

k.　2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，設計・建設規格PPD-3424(2)a.，b.及びc.を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a)　算式

イ．　2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr}=0.7\cdot L_s\cdot t_{rr}\cdot F$$

ロ．　2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot t_r$$

(b)　算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L=1.5\cdot\left(\frac{d+d_D}{2}\right)$$

(c)　算式

イ．　2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{ri}=\frac{A_r+A_{rs}}{2}$$

A_r及びA_{rs}は1つの穴の計算に準じる。

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi}=\left(L_s-\frac{d+d_D}{2}\right)\cdot(t_r-t_{rr})+\frac{A_2+A_{2s}}{2}+\frac{A_3+A_{3s}}{2}+\frac{A_4+A_{4s}}{2}$$

A_2，A_{2s}，A_3，A_{3s}，A_4及びA_{4s}は，1つの穴の計算に準じる。

(d)　評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ．　2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積の2分の1（A_{ri}）

ハ．　2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の1.5倍（L）

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，設計・建設規格　PPD-3424(8)及び(9)を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

（ロ） 鏡板の場合

$$W = d \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S$$

（ハ） 平板の場合

$$W = d_H \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H) \cdot S$$

ロ. 溶接部の許容応力

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

（ロ） 鏡板又は平板の場合

$$S_{W1} = S \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

（イ） 直管又は曲げ管の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \mathrm{cosec}\alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \mathrm{cosec}\alpha\right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

（ロ） 鏡板の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

（ハ） 平板の場合

$$W_{e1}=\pi\cdot\left(\frac{d_H}{2}+t_b\right)\cdot L_1\cdot S_{W1}$$

$$W_{e2}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

$$W_{e3}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

ニ． 予想される破断箇所の強さ

（イ） A形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=(W_{e3})$ を通る強さ＝W_{e3}

$W_{ebp2}=(W_{e1})+(W_{e2})$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

（ロ） B形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=(W_{e1})+(W_{e3})$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e3}$

$W_{ebp2}=(W_{e2})+(W_{e4})$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e4}$

$W_{ebp3}=(W_{e2})+(W_{e5})$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e5}$

(b) 評価

イ． 溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ． 溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは，1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は，本基本方針では取付け角度が90° で1つ穴のものについての計算方法を示す。

2.7　フランジの強度計算

フランジの強度計算は，設計・建設規格　PPD-3414を適用する。

計算は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（$f \geqq 1$のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)及び一体形フランジで f の最小採用値は1であるが，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4より求まる f が1未満となる場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot {g_0}^2\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot {g_0}^2\text{(ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の場合)}\right)$	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(=\frac{F}{h_o}\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{F_L}{h_o}\text{(ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の場合}\right)$	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は表4による。）	－

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
F_L	F_L	ルーズ形フランジの係数(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図6又は表4による。)	－
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は表4による。）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H_D	H_D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
HG，H_G	H_G	ガスケット荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H_T	H_T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	－
L	L	係数$\left(=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	－
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_0	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
N	N	ガスケットの接触面の幅(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
M	M_e	フランジに作用するモーメント	N･mm
P_{FD}	P	設計圧力 応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力にP_{eq}を加えたものである。	MPa
P_{eq}	P_{eq}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジに作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{eq}=\frac{16\cdot M_e}{\pi\cdot G^3}$	MPa
	P_o	最高使用圧力（内圧）	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
V	V	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	－
V_L	V_L	ルーズ形フランジの係数(ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図9又は表4による。）	－
W，W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－

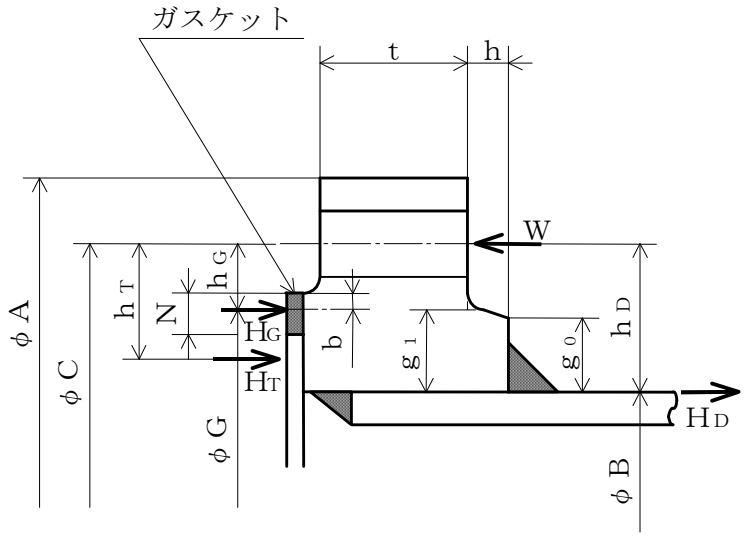
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
π	π	円周率	－
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形式	フランジの形式	－
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	－

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　フランジの形式

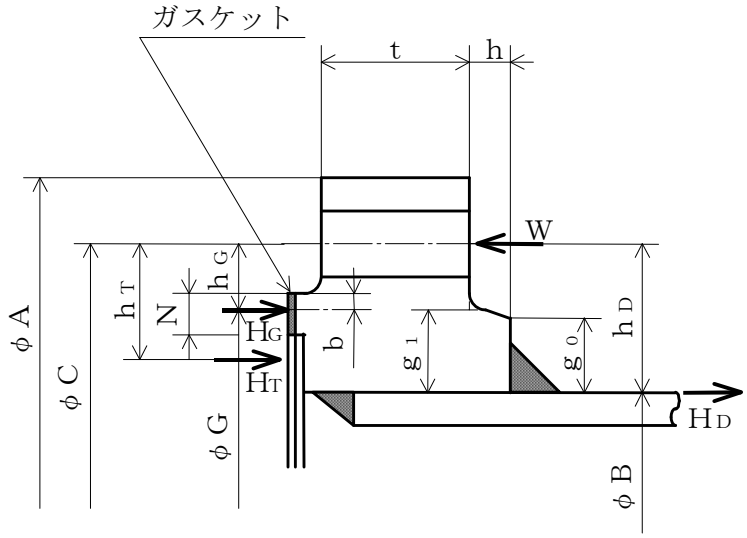
フランジの形式及び各部の記号は，図2-11～図2-15による。

ただし，Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。



注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

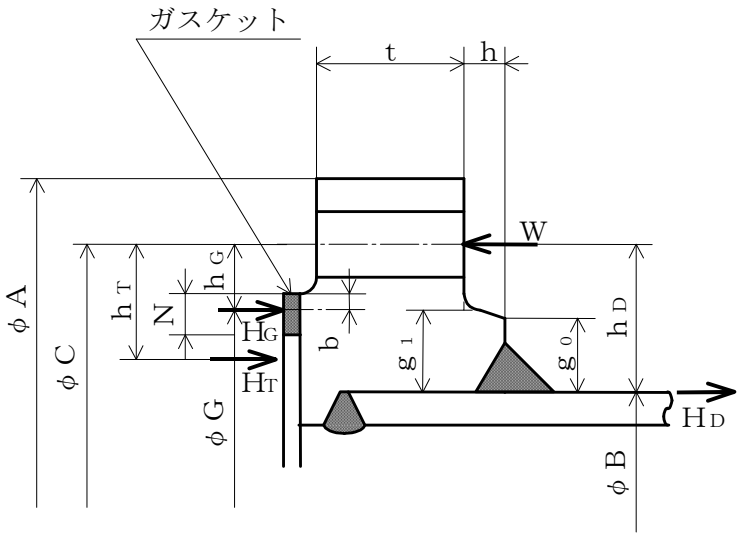
ＴＹＰＥ－1　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）4）



注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

ＴＹＰＥ－2　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）4）

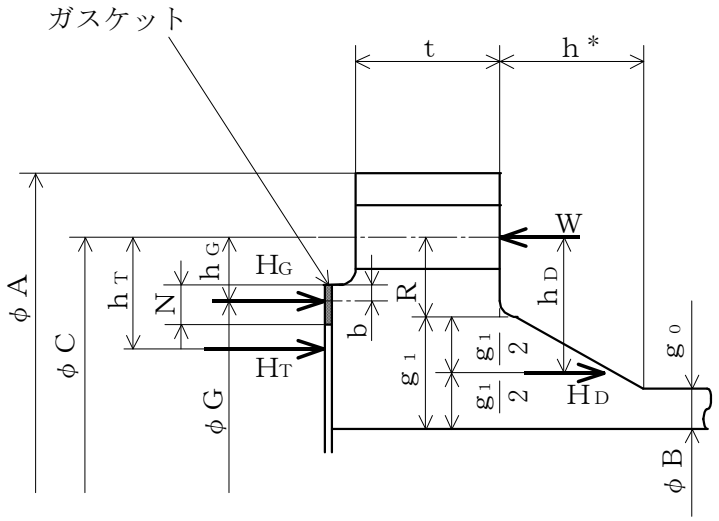
図2-11　ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



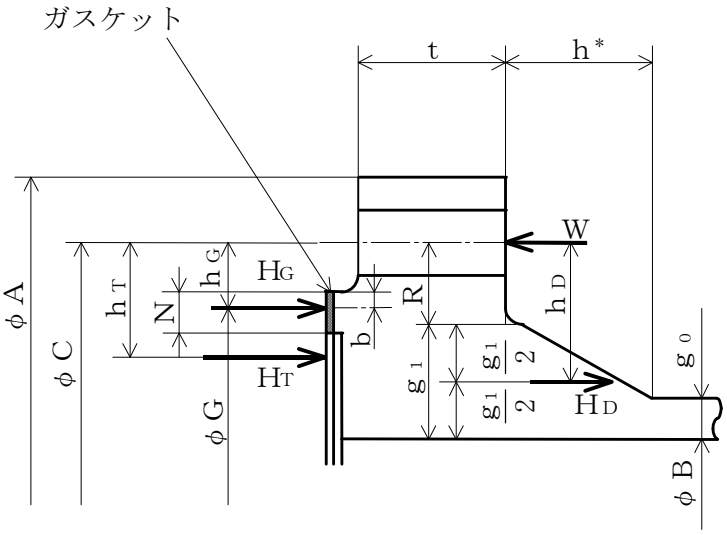
注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

ＴＹＰＥ－3　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）5）

図2-12　ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



ＴＹＰＥ－4　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)



ＴＹＰＥ－5　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)

注記　＊：フランジに近いハブのこう配が1／3以下の場合はｈは下図に従う。

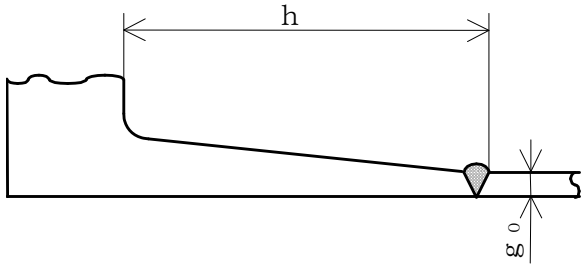
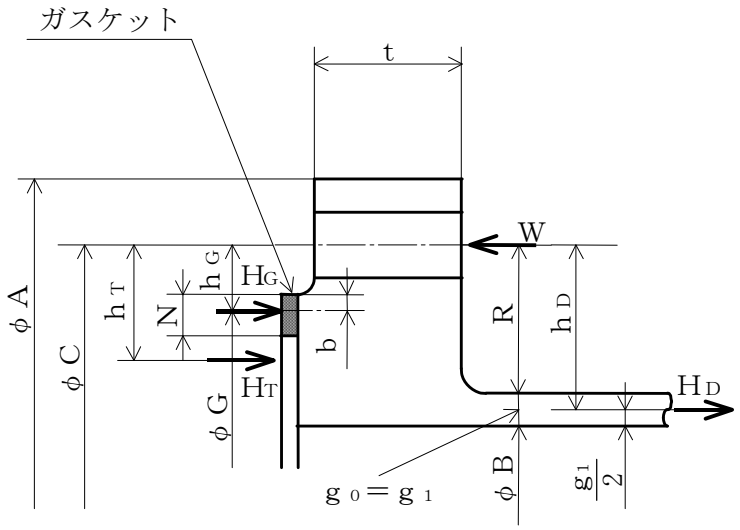
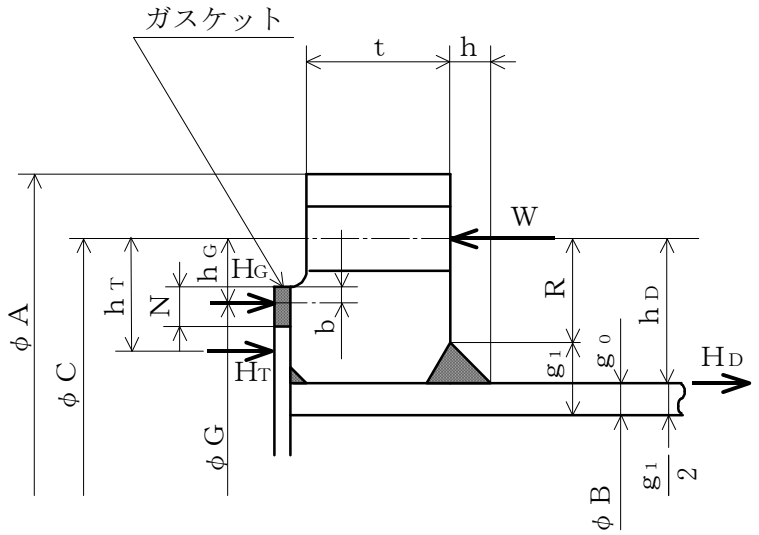


図2-13　一体形フランジ

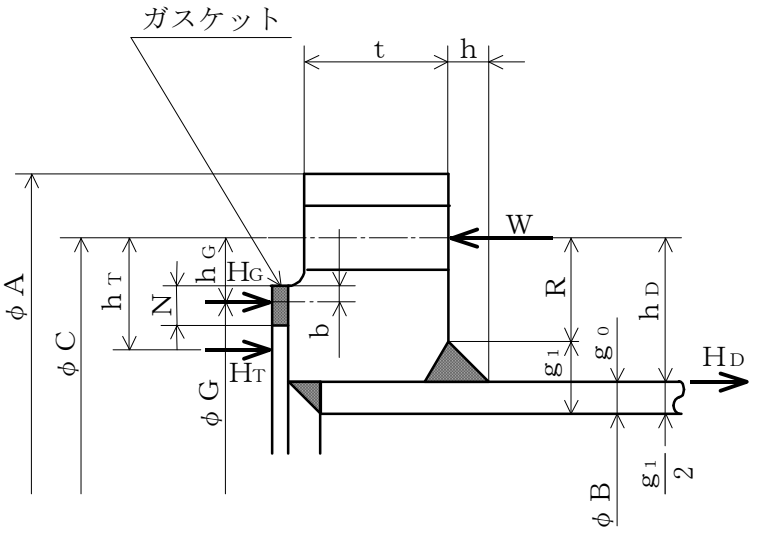


ＴＹＰＥ－6　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）6)

図2-14　一体形フランジ



TYPE－7　JIS　B　8265　附属書3　図2 c）12）
（一体形フランジとして計算）



TYPE－8　JIS　B　8265　附属書3　図2 c）11）
（一体形フランジとして計算）

図2-15　任意形フランジ

(3)　内圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（ｂ）及びガスケット反力円の直径（Ｇ）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$ mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$ mmの場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b}$　　（使用状態）

$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$　　（ガスケット締付時）

$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1}, A_{m2})$

$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　　（使用状態）

$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2}\right) \cdot \sigma_a$　（ガスケット締付時）

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D+h_G}{2}$

ただし,

$$R = \left(\frac{C-B}{2}\right) - g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C-G}{2}\right)$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg}=\frac{f\cdot M_g}{L\cdot g_1^{2}\cdot B}$$

$$\sigma_{Rg}=\frac{(1.33\cdot t\cdot e+1)\cdot M_g}{L\cdot t^{2}\cdot B}$$

$$\sigma_{Tg}=\frac{Y\cdot M_g}{t^{2}\cdot B}-Z\cdot\sigma_{Rg}$$

ただし,

$$L=\frac{t\cdot e+1}{T}+\frac{t^{3}}{d}$$

$$h_o=\sqrt{B\cdot g_0}$$

$$d=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^{2}$$ （一体形フランジ）

$$d=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^{2}$$ （ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

$$e=\frac{F}{h_o}$$ （一体形フランジ）

$$e=\frac{F_L}{h_o}$$ （ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

また，Bが20・g_1より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のBの代わりにB_1を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a) ボルトの総有効断面積 $A_m<A_b$

(b) ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ho}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(c) フランジの径方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ro}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(d) フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{To}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(4) 外圧計算手順及び算式

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅（b）及びガスケット反力円の直径（G）は，ガスケット座の基本幅（b_o）に従い以下のように求める。

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b. 計算上必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_g = \left(\frac{A_{m2} + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a$$

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$
ルーズ形フランジ （差込み形フランジ）	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D+h_G}{2}$

ただし，

$$R = \left(\frac{C-B}{2} \right) - g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_o = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_e \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

ただし，

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 \quad \text{（一体形フランジ）}$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_0^2 \quad \text{（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））}$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad \text{（一体形フランジ）}$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad \text{（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））}$$

また，Bが20・g_1より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のBの代わりにB_1を用いる。

j. 評価

外圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a) ボルトの総有効断面積　　$A_{m2} < A_b$

(b) ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(c) フランジの径方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(d) フランジの周方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.8　伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は，設計・建設規格　PPD-3416を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
c	c	継手部の層数	－
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	－
	N_r	実際の繰返し回数	－
n	n	継手部の波数の2倍の値	－
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(N_r)／許容繰返し回数(N)	－
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算式		－
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2)　継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

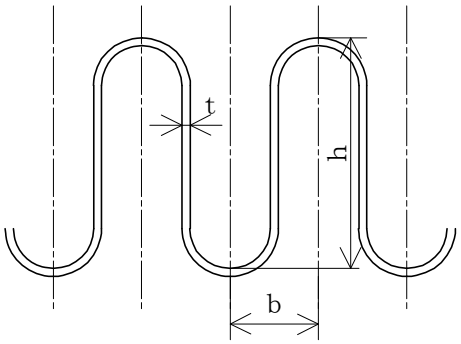


図2-16　継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N=\left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

ただし，材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

$$\sigma=\frac{1.5\cdot E\cdot t\cdot \delta}{n\cdot\sqrt{b\cdot h^3}}+\frac{P\cdot h^2}{2\cdot t^2\cdot c} \quad \cdots\cdots (A)$$

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

$$\sigma=\frac{1.5\cdot E\cdot t\cdot \delta}{n\cdot\sqrt{b\cdot h^3}}+\frac{P\cdot h}{t\cdot c} \quad \cdots\cdots (B)$$

(4) 評価

実際の繰返し回数（N_r）と許容繰返し回数（N）の比（$U=N_r/N$）が$U\leqq 1$であれば伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は，実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値（$U=\sum_i (N_{ri}/N_i)$）が$U\leqq 1$であれば伸縮継手の強度は十分である。

別添１　基本板厚計算書の概略系統図記載要領

目次

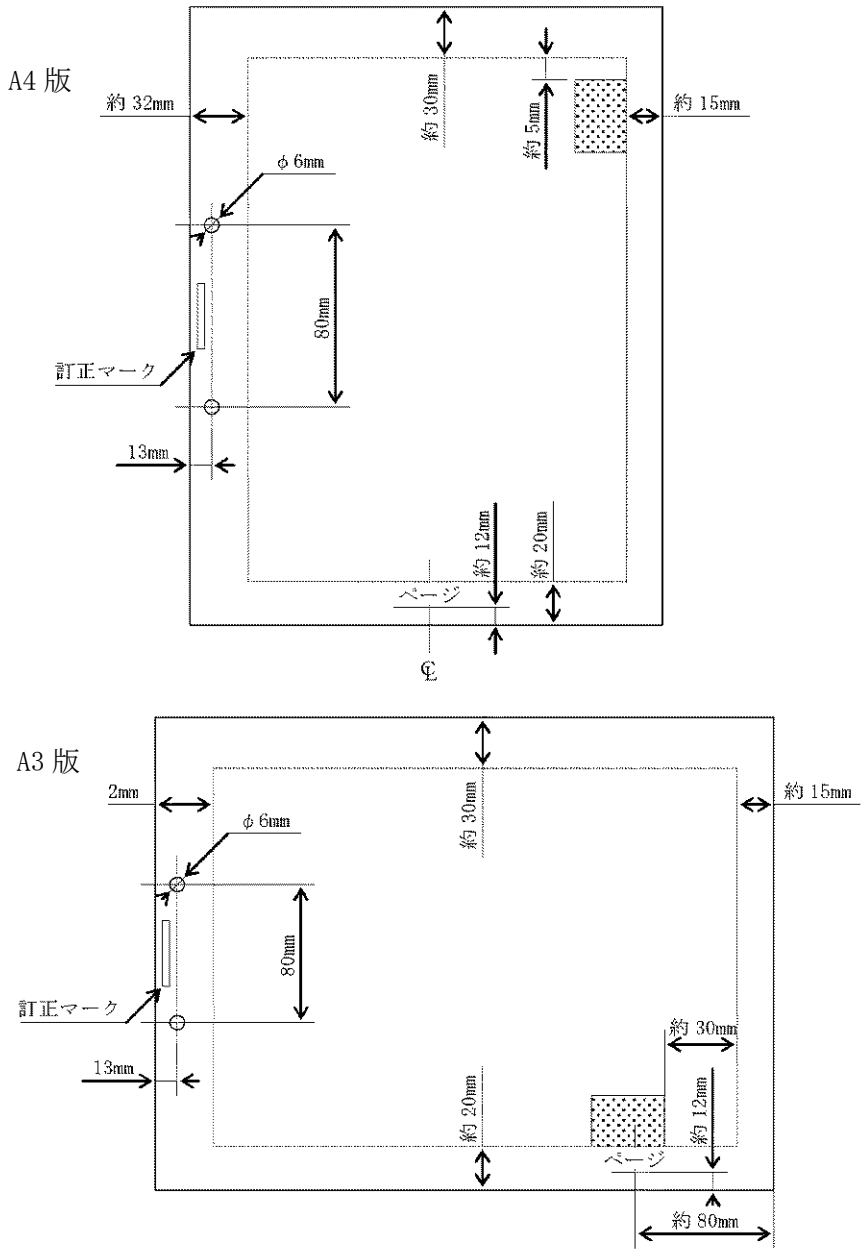
1. 適用範囲 ..... 別 1-1
2. 書式 ..... 別 1-1
3. 記載内容 ..... 別 1-3
4. 記載要領 ..... 別 1-4
4.1 配管 ..... 別 1-4
4.2 弁 ..... 別 1-13
4.3 スペシャリティ及び計装品 ..... 別 1-14
4.4 フランジ ..... 別 1-16
4.5 機器 ..... 別 1-16
4.6 その他 ..... 別 1-17
5. 管番号及び継手番号 ..... 別 1-19
5.1 付番の原則 ..... 別 1-19
5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載 ..... 別 1-21
5.3 管番号表示の際に注意すべき事項 ..... 別 1-27

1. 適用範囲

本要領書は，管の基本板厚計算書中の概略系統図の作成方法に適用する。

2. 書式

(1) 用紙は A4（又は A3）サイズとし，用紙の記載範囲については，下記を原則とする。



注 1：破線内は記載範囲である。

注 2：網掛け部に系統名を記載する。

（例） 主蒸気系概略系統図

注 3：上記寸法は目安値である。

注 4：訂正マークの記載は任意とする。

NT2 補① 付録 10 R0

(2)　概略系統図に用いる線については，下記に従うものとする

区分	線の種類	線の太さ
・工事計画記載範囲のＳＡ範囲の配管	太い実践（━━━）	0.8～1.0mm
・当該申請回の機器*1，弁，スペシャリティ，レジューサ，キャップ，フランジ，平板，伸縮継手 ・建屋区分 ・既認可図書を呼び出す配管	細い実線（━━━）	0.3～0.5mm
・申請ラインのうち，別シートに記載されているか，若しくは別工認の概略系統図中に記載されているが，系統の接続を示すため記載するライン，機器，弁，スペシャリティ，レジューサ，キャップ，フランジ，平板，伸縮継手 ・工事計画書に記載される管継手で分岐部が申請対象外の場合にその管継手を表すために記載するライン ・申請範囲ではないが，系統の接続を示すために必要なライン*2 ・ＳＡ範囲外の主配管	細い破線（- - - -）	0.3～0.5mm

注記　＊1：原子炉格納容器貫通部は，破線で記載する。

＊2：φ61mm 以下の穴で，穴の補強が不要なものについては表示不要とする。

3.　記載内容

	項目	記載内容
1	申請範囲	・工事計画書記載範囲
2	分岐合流	・配管計装線図（以下「Ｐ＆ＩＤ」という。）及び工認系統図に合わせる。
3	機器名称及び番号	・機器名称は，正式名称*で記載する。 ・機器番号は記載しない。 （例）　○○ポンプ（C001A）　→　○○ポンプ（A）
4	主要弁	・弁番号及び駆動方式（MO，AO）は，工事計画書記載の弁について記載する。
5	フランジ	・フランジについては，下記のものについて記載する。 （イ）　機器と配管の取合い部となるフランジ （ロ）　仕様変更（圧力，材料等）又は系統区分点となるフランジ （ハ）　強度計算対象となるフランジ（設計・建設規格対象外フランジ）

注１：概略系統図のレイアウトは，制約がない限り極力，工認系統図に合わせる。

注２：配管口径，配管番号，系統略称及び管種区分は記載しない。また，スペシャリティ番号も記載しない。

注３：ドレン，ベント及びファンネルについては記載しない。

ただし，工事計画書に記載されている管継手により分岐されている場合は，分岐部の位置を表す表示（破線表示）を行う。

注４：原子炉格納容器貫通部番号，原子炉圧力容器ノズル番号は記載し，その他の機器ノズル番号は記載しない。

注５：系統の流れ表示は系統の接続を示す部分のみ記載する。

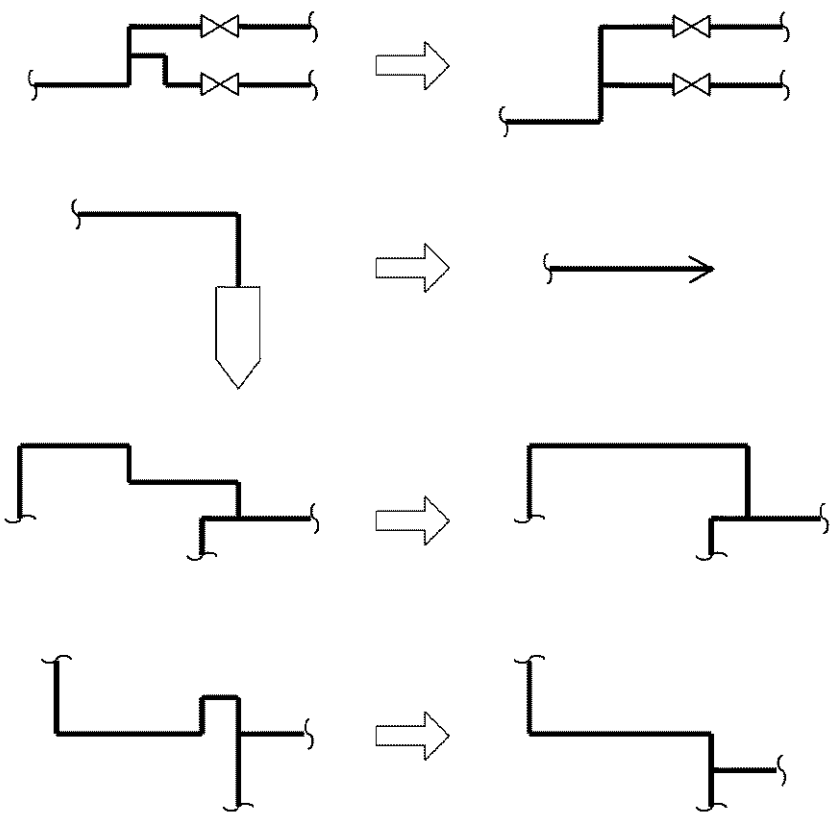
注６：ポンプの流れ方向表示は行わない。

注記　＊：東海第二発電所で定められた名称とする。

4.　記載要領

4.1　配管

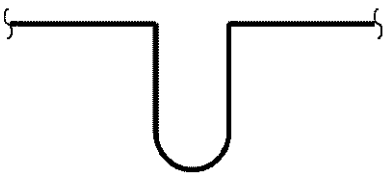
(1)　Ｐ＆ＩＤより概略系統図を作成する場合の表記（原則として）



また，概略系統図のシートNo.（その1，その2等）は，原則として流れの上流側から付番する。ただし，流れの方向が一定していないものは，工認系統図の順番に従い付番する。また，パッケージ分については，シートの最後にもってきてもよいものとする。

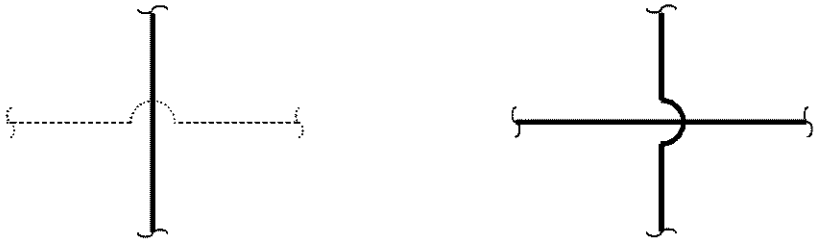
(2)　Ｕシール部の表記

Ｕシール部は，Ｕシール部とわかるように概略系統図へ記入する。



(3)　線の交差の表示

線が交差する場合は下記に従うものとする。ただし，線の優先順位は，太い実線，細い破線の順とし，同一線が交差する場合は横線を優先して記載する。

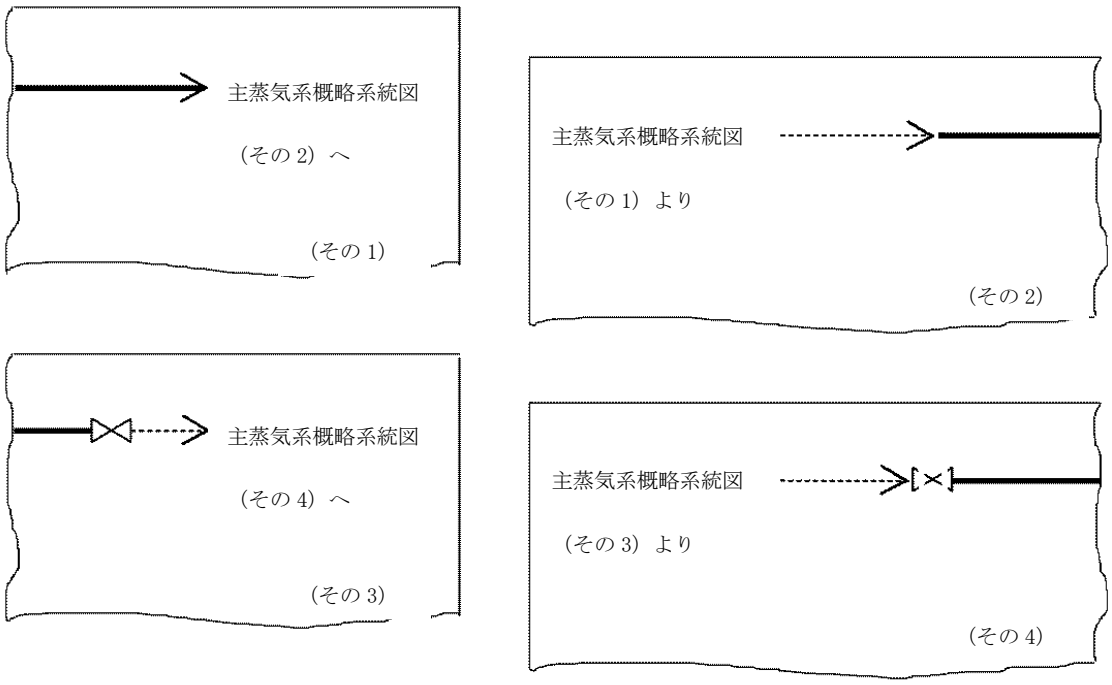


(4)　配管の接続先表示

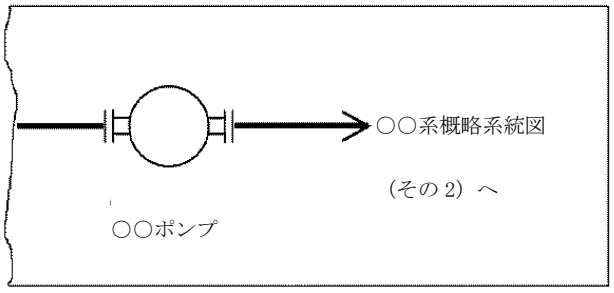
a.　表記上概略系統図では，原則として工認系統図に合わせ「…へ」及び「…より」で統一する。

b.　同一系統の同一シート内での機器の接続は，実線で結ぶことを原則とする。

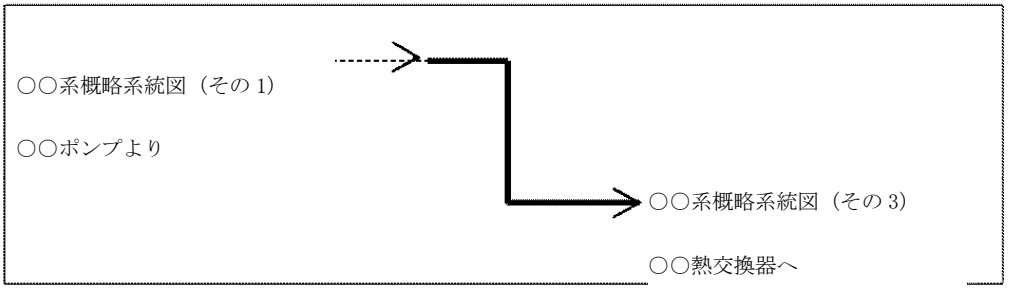
c.　同一系統であって，別シートへの接続を表示する場合は，接続される概略系統図名を記載する。また，読込んだシート内に接続する機器がある場合は機器名称も記載する。



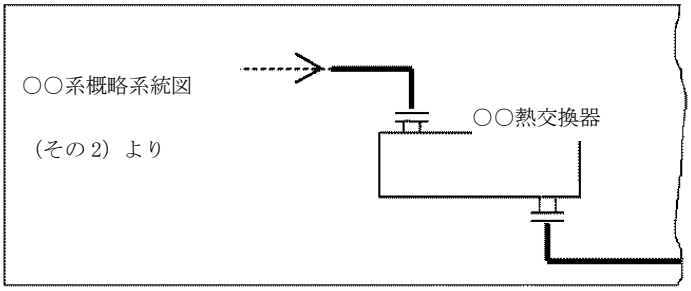
概略系統図の構成が3枚となる場合の表記例



○○系概略系統図（その 1）



○○系概略系統図（その 2）



○○系概略系統図（その 3）

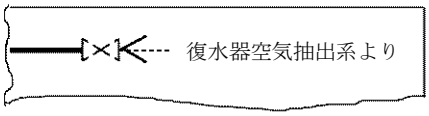
d. 他系統と取り合う場合は以下による。

(a) 系統名は正式系統名称を記載するものとし，略称は使用しないものとする。

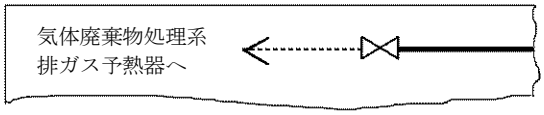
(b) 当該申請回及び既申請回で申請されている系統と取り合う場合は，相手側の系統名称及び接続する機器名称を記載する。*ただし，機器名称の中にその機器の属する系統名称が表示されている場合は系統名称は記載しない。また，他系統の機器へ接続するまでに機器が属する系統以外の他系統を経由する場合は，最初に接続する系統の名称のみ記載する。

注記 ＊：ユーティリティ系と接続する場合は系統名称のみとする。
ただし，系統機能上重要なものは機器名称も記載する。
なお，同一申請回において廃棄設備と取り合う場合は，概略系統図名と機器名称を記載する。
また，将来申請の系統と取り合う場合は，相手側の系統名のみ記載する。

気体廃棄物処理系と復水器空気抽出系の取合いがあり，気体廃棄物処理系が先の申請回で申請される場合

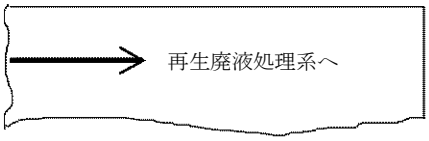


気体廃棄物処理系概略系統図
（復水器空気抽出系は将来申請）

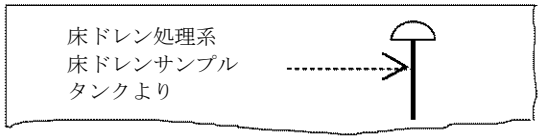


復水器空気抽出系概略系統図
（気体廃棄物処理系は将来申請）

床ドレン処理系と再生廃液処理系との取合いがあり，床ドレン処理系が先の申請回で申請される場合



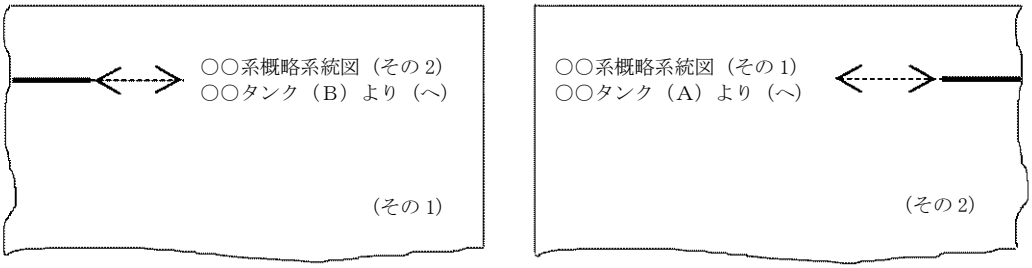
床ドレン処理系概略系統図
（再生廃液処理系は将来申請）



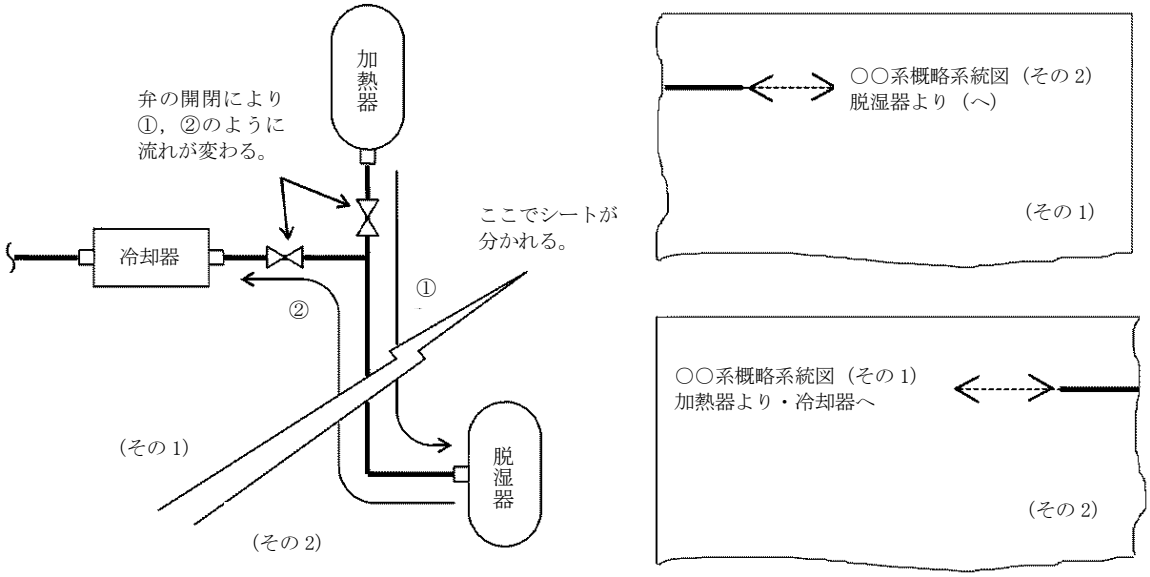
再生廃液処理系概略系統図
（床ドレン処理系は申請済）

(c) 弁取合いの場合の表記は，両系統に弁を記載し，弁が属する系統が申請される場合には実線で，他系統の申請時記載する場合には破線で記載し，上記(a)項又は(b)項に従った接続先表示をする。

e.　流体が行き来するライン（タイライン等）にあっては，お互い「○○より（へ）」と呼び合うものとし，記載する事項はｂ項，ｃ項又はｄ項と同様とする。

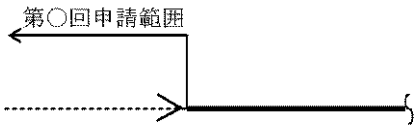


注：流体がモード等により行き先が変わる場合，下記の例に従う。

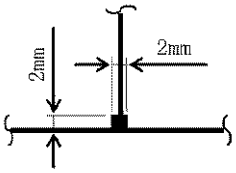


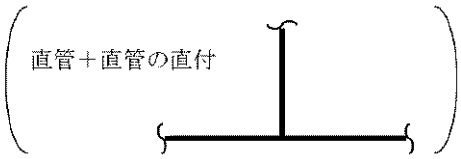
f.　接続先の配管が工認対象外である場合は，表記する必要はない。ただし，工事計画書に記載する管継ぎ手にかかわる場合及び系統の接続を示すために必要なラインは，11 ページ「(9)　分岐部の申請範囲の表記」に示す表記をする。

g.　既申請回（同一系統又は他系統）で申請されている系統と取り合う場合は，取合配管の申請回を表記する。



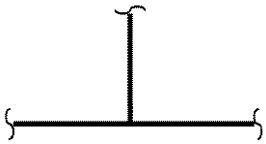
(5)　管台の表記は下記に従うものとする（寸法は目安値）



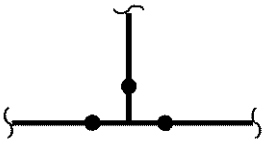


(6)　継手類の表記は下記に従うものとする。

a.　ティー



ただし，材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は下記に示す仕様変更表示をする。



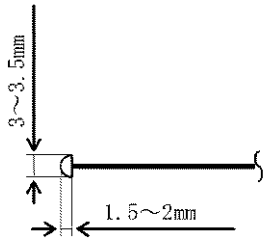
b.　レジューサ

(a)　偏心又は同心の区別は行わない。また，径違いソケットについてはレジューサ表記とする。

(b)　表記寸法（目安値）

c.　鏡板，キャップ

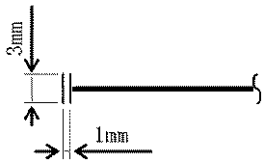
表記寸法（目安値）



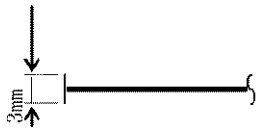
d.　平板

表記寸法（目安値）

(a)　フランジにボルトで締め付けられるタイプ



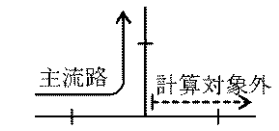
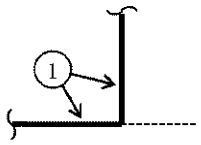
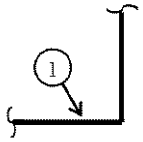
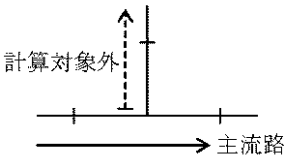
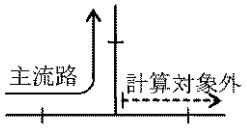
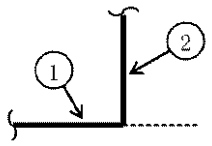
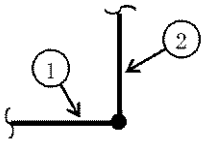
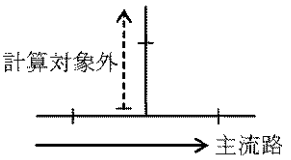
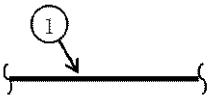
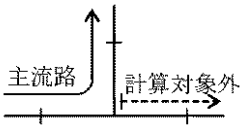
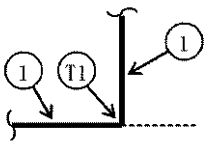
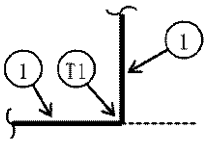
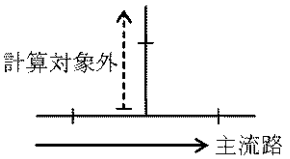
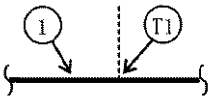
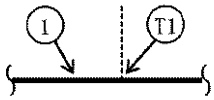
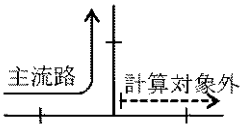
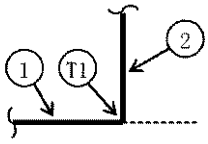
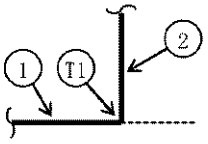
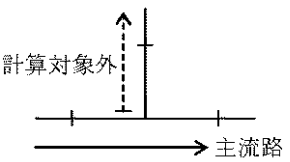
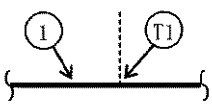
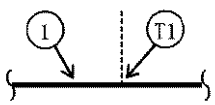
(b)　(a)以外のタイプ

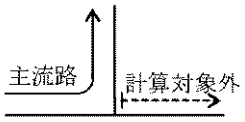
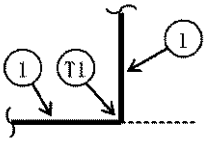
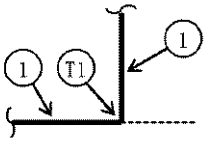
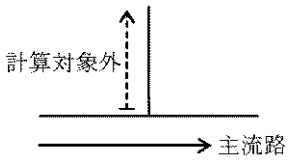
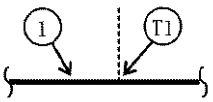
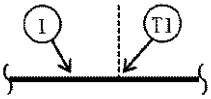
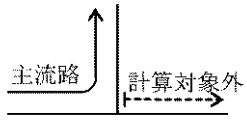
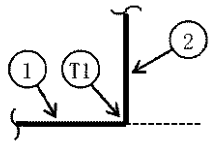
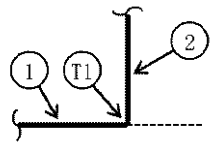
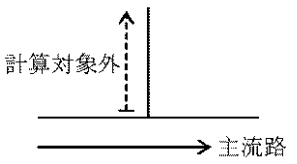
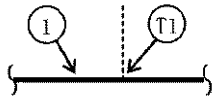
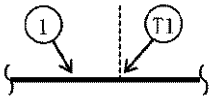
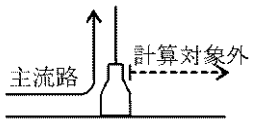
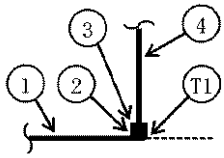
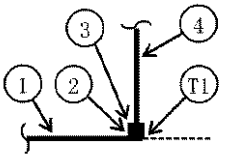
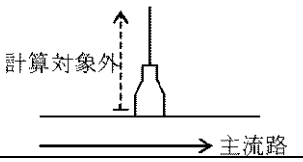
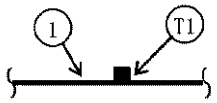
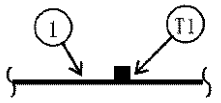


(7)　セーフエンド等の表記は下記に従うものとする。

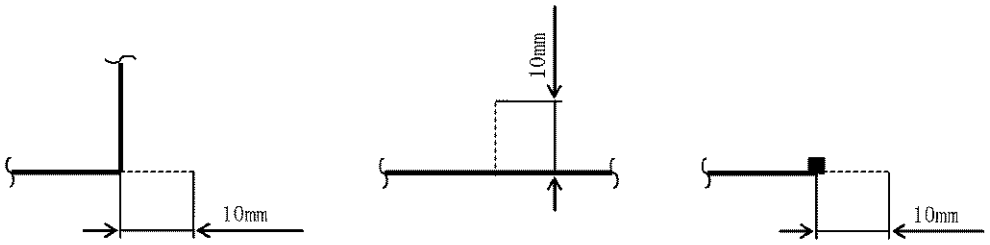
(8)　配管上で材料又は肉厚等が変更となる場合は下記の表示とする。

(9)　分岐部の申請範囲の表記

分岐部の種類	申請形態	クラス１管及び クラス２管の表記	左記以外の表記
同径ティー （設計・建設規格 規定のＪＩＳ規 格品）			
			
異径ティー 及び管台 （設計・建設規格 規定のＪＩＳ規 格品）			
			
同径ティー （設計・建設規格 規定のＪＩＳ規 格品以外）			
			
異径ティー （設計・建設規格 規定のＪＩＳ規 格品以外）			
			

分岐部の種類	申請形態	クラス１管及び クラス２管の表記	左記以外の表記
直管直付 （同径）			
			
直管直付 （異径）			
			
管台 （設計・建設規格 規定のＪＩＳ規 格品以外）			
			

注１：分岐部破線及び管台の表記寸法（目安値）



注2：クラス１管及びクラス２管以外であっても，工認系統図上の分岐，合流を明確にする必要がある場合にはクラス１管及びクラス２管の表記とする。
ただし，主流路を形成する分岐部を除き，φ61 ㎜以下の穴で，穴の補強が不要なものについては分岐部破線表示又は管台表示は不要とする。

4.2　弁

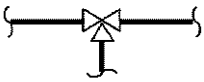
(1)　弁の形式は下記記号にて表示する。

a.　逆止弁

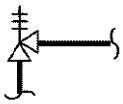
注：流れ方向の指示は表示しない。
　　ただし，弁の向きは工認系統図に合わせる。

b.　バタフライ弁

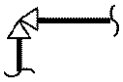
c.　三方弁



d.　安全弁，逃がし弁



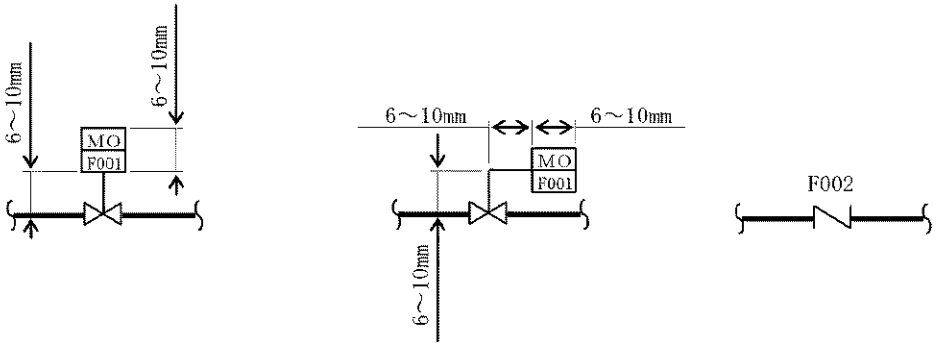
e.　アングル弁



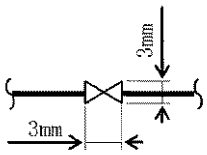
f.　上記以外の弁はすべてゲート弁表示とする。

(2)　弁の開閉は表示しないものとし，すべて白抜きとする。

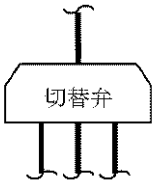
(3)　主要弁の表記は下記に示すように駆動方式及び弁番号を記載する。（寸法は目安値）



(4)　弁の記載寸法は下記を原則とする。(目安値)



(5)　前記(1)に係わらず，切替弁は下記表示とする。

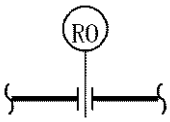


4.3　スペシャリティ及び計装品

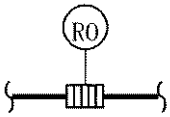
スペシャリティ及び計装品の表示は下記に従うものとする。

(1)　オリフィス

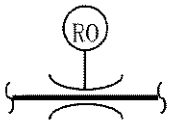
a.　単段減圧オリフィス



b.　多段減圧オリフィス

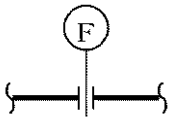


c.　ベンチュリ形流量制限器

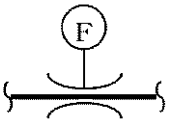


(2)　流量計

a.　オリフィスプレート式

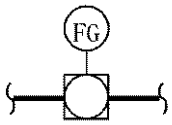


b.　ベンチュリ式及びフローノズル式



c.　その他

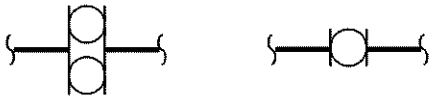
(3)　フローグラス



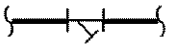
(4)　伸縮継手

(5)　ストレーナ

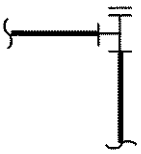
a.　バスケットストレーナ



b.　Y型ストレーナ



c.　T型ストレーナ

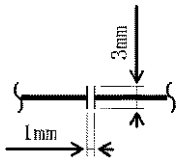


d.　コーンストレーナ（仮設のものは除く。）

(6)　スペクタクルフランジ

4.4　フランジ

フランジは下記表示とする。(寸法は目安値)



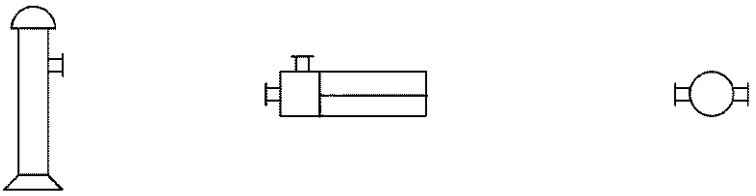
4.5　機器

(1)　ポンプ

ポンプの形式の表示は下記に従うものとする。

(図はフランジ取り合いを示している。)

a.　サンプポンプ　　b.　ほう酸水注入ポンプ　　c.　その他すべてのポンプ



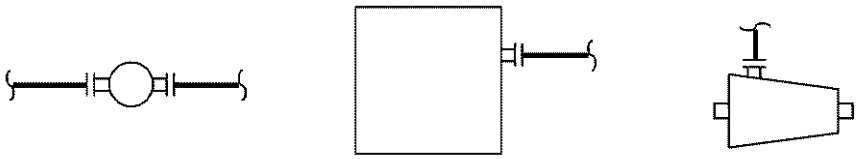
(2)　その他の機器

当該配管が直接接続している機器の概略形状を記載する。

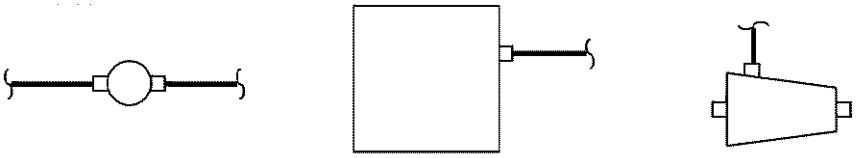
(形状は原則として工認系統図に合わせる。)

(3)　機器取合点表示

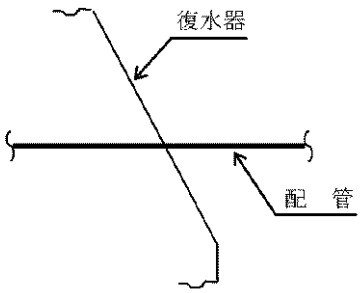
a.　フランジ取合点



b.　ノズル取合点

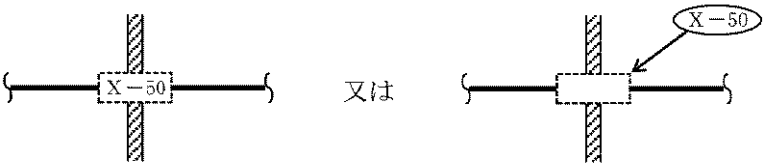


(4)　復水器貫通部表示

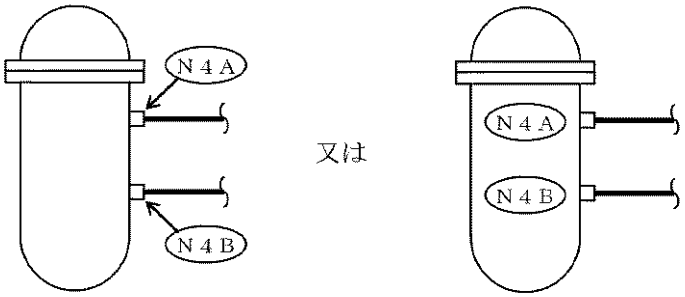


4.6　その他

(1)　原子炉格納容器及び原子炉格納容器貫通部は下記表示とする。

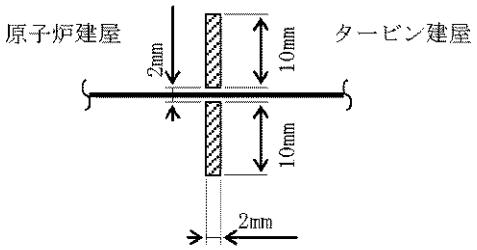


(2)　原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器ノズルは下記表示とする。



注：「N－4A」と”－”は表記しない

(3)　複数の建屋に配管がまたがる場合の建屋の区分は下記表示とする。（寸法は目安値）

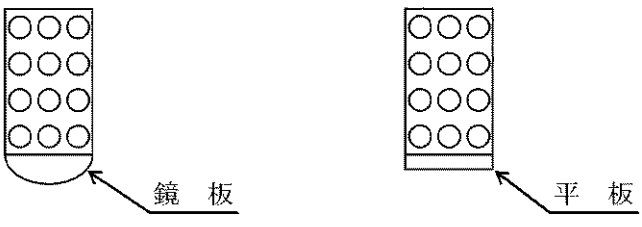


注１：Ｒ／Ｂ，Ｔ／Ｂ等の略称は使用しない。

注２：埋込部の表示は行わない。

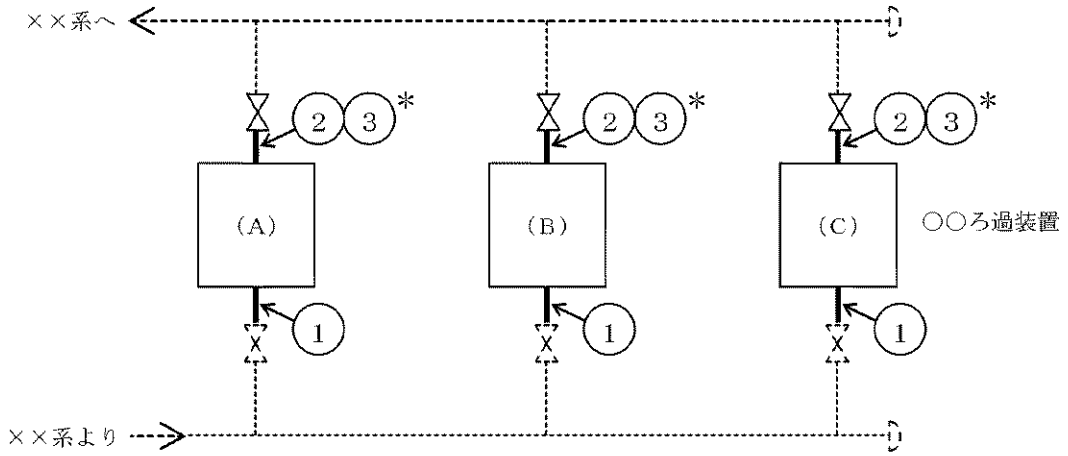
注３：建屋外のダクトは「屋外」と，2m ギャップは「連絡トレンチ」と呼称する。

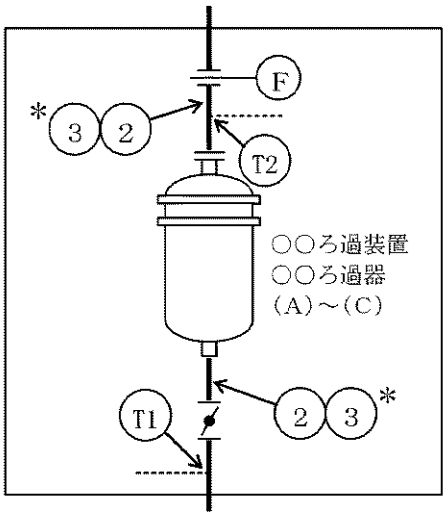
(4)　スパージャ，ディフーザ及びクエンチャは下記表示とする。



(5)　水面は表示しない。

(6)　ユニットとして同一のものが多系列にわたっている場合の記載方法は，下記のように代表箇所のみ，配管構成及び計算箇所を表示する。





○○ろ過装置（A）～（C）付番

5.　管番号及び継手番号

5.1　付番の原則

(1)　板厚計算を行うすべての管及び継手に対し番号を付番するものとし，同一仕様のものは同一番号とする。また，付番は原則として系統の上流側より主流路に沿って系統の終わりまで行う。

ただし，同一系統内に異なる管種がある場合は，上位管種を優先して付番する。

(2)　管番号及び継手番号は下記条件の切換点で変更するものとする。

・最高使用圧力
・最高使用温度
・外径
・肉厚
・材料
・製法
・管種

(3)　管番号及び継手番号

・管（セーフエンド及び規格外エルボを含む。）　①　②　③

・管継手　①*　②*　③*

注記＊：管継手

・ティー，管台，枝管等の穴　T1　T2　T3　（規格外継手に適用）

・レジューサ　R1　R2　R3　（　同　上　）

・鏡板，キャップ　C1　C2　C3　（　同　上　）

・平板，閉止フランジ　B1　B2　B3　（　同　上　）

・フランジ　F1　F2　F3　（　同　上　）

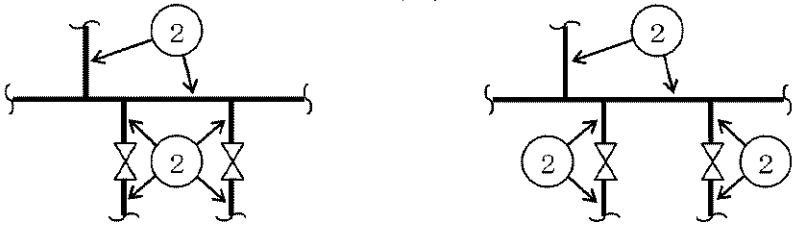
・伸縮継手　E1　E2　E3　（　同　上　）

・穴あき管　SP1　SP2　SP3　（　同　上　）

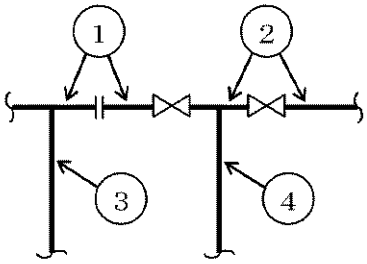
(4)　管番号の記入

a.　番号の矢印は2箇所以内とする。

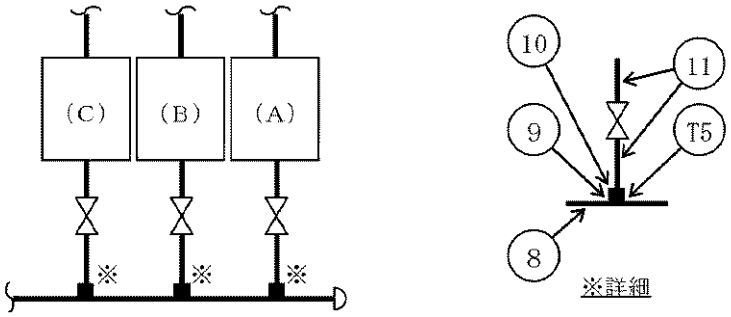
（誤）　　（正）



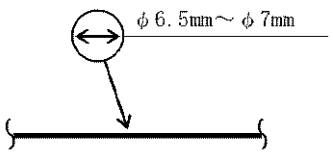
b.　同一仕様であっても，弁及びフランジ等により仕様変更か否か誤解を招くと思われる場合は必ず番号を取る。



c.　管番号を記入することによって，概略系統図が煩雑になる場合は下記のように表示する。



d.　寸法（目安値）



5.2　管継手部の管番号及び管継手マークの記載

(1)　一般原則

管の基本板厚計算書概略系統図における管番号の付番は，5.1 項を原則とし，各管番号にて示された範囲が，管継手のみにて構成される場合は，管と管継手を区別するため管番号に管継手マーク”＊”を付ける。

(2)　管継手部の記載要領

管の基本板厚計算書概略系統図における管継手マークの記載は(1)項に従うが，管継手部における具体的な記載要領を下記に示す。

a.　エルボ

エルボの両端にエルボと仕様の異なる管又は管以外の要素が接続される場合，エルボに管番号を付番し，管継手マーク”＊”を付ける。

ただし，同一ライン上にある他に付番された管番号により当該エルボの仕様がわかる場合は，管番号を省略する。

注：接続される管の仕様と比べ，肉厚のみ厚くしたＪＩＳ規格のエルボについては，クラス１管及びクラス２管を除き，接続される管と同一仕様と見なす。

b.　ティー

(a)　ティーの主管側Ⓐと接続される管ⓐが同一仕様である場合は，ⓐに管番号を付番する。ただし，表記スペースの関係上Ⓐ（ⓐ側半分）に管番号を付番する場合もある。

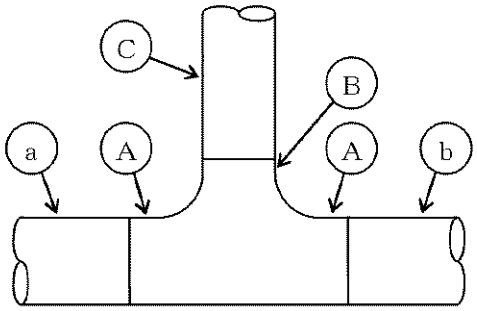
(b)　ティーの主管側Ⓐと接続される管ⓑが同一仕様である場合は，ⓑに管番号を付番する。ただし，表記スペースの関係上Ⓐ（ⓑ側半分）に管番号を付番する場合もある。

(c)　ティーの主管側Ⓐの両端に仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は，Ⓐに管番号を付番し，管継手マーク”＊”を付ける。ただし，管以外の要素がⒶと同一仕様の管継手であれば，管以外の要素側に付番する場合もある。

(d)　ティーの分岐管側Ⓑと接続される管Ⓒが同一仕様である場合は，Ⓒに管番号を付番する。たたし,表記スペースの関係上Ⓑに管番号を付番する場合もある。

(e) ティーの分岐管側Ⓑに仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は，Ⓑに管番号を付番し，管継手マーク”＊”を付ける。ただし，管以外の要素がⒷと同一仕様の管継手であれば，管以外の要素側に付番する場合もある。

注：主管側又は分岐管側において接続される管の仕様と比べ，肉厚のみ厚くしたＪＩＳ規格のティーについては，クラス１管及びクラス２管を除き，接続される管と同一仕様と見なす。



c. レジューサ

レジューサに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合，又は管若しくは管継手以外の要素が接続される場合，レジューサ端部に管番号を付番し，管継手マーク”＊”を付ける。

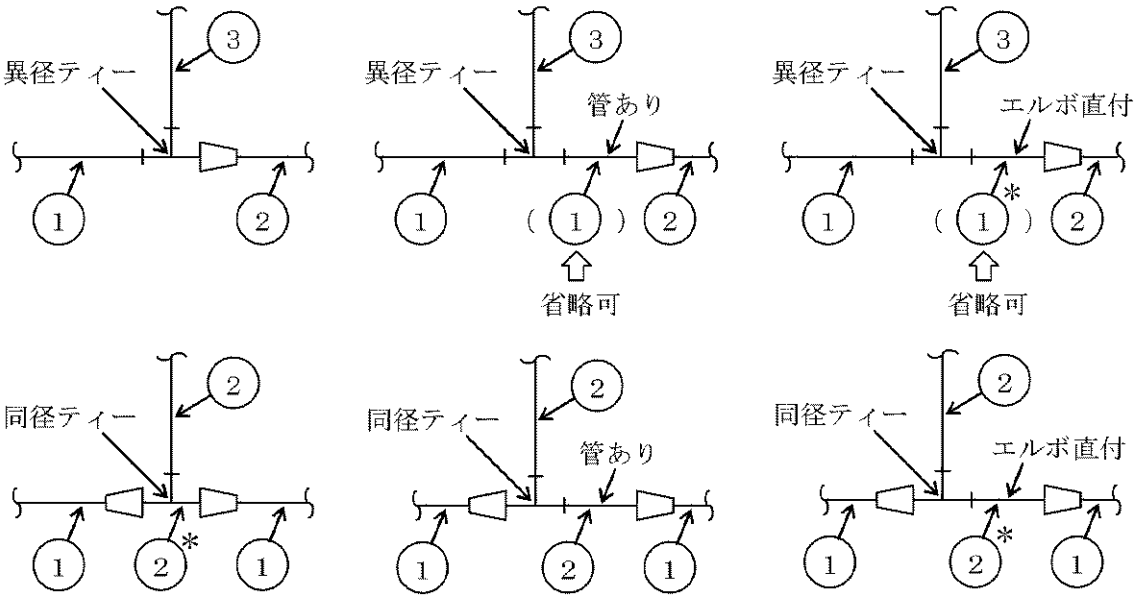
注：接続される管の仕様と比べ，肉厚のみ厚くしたＪＩＳ規格のレジューサについては，クラス１管及びクラス２管並びに汽力設備を除き，接続される管と同一仕様と見なす。

d. キャップ

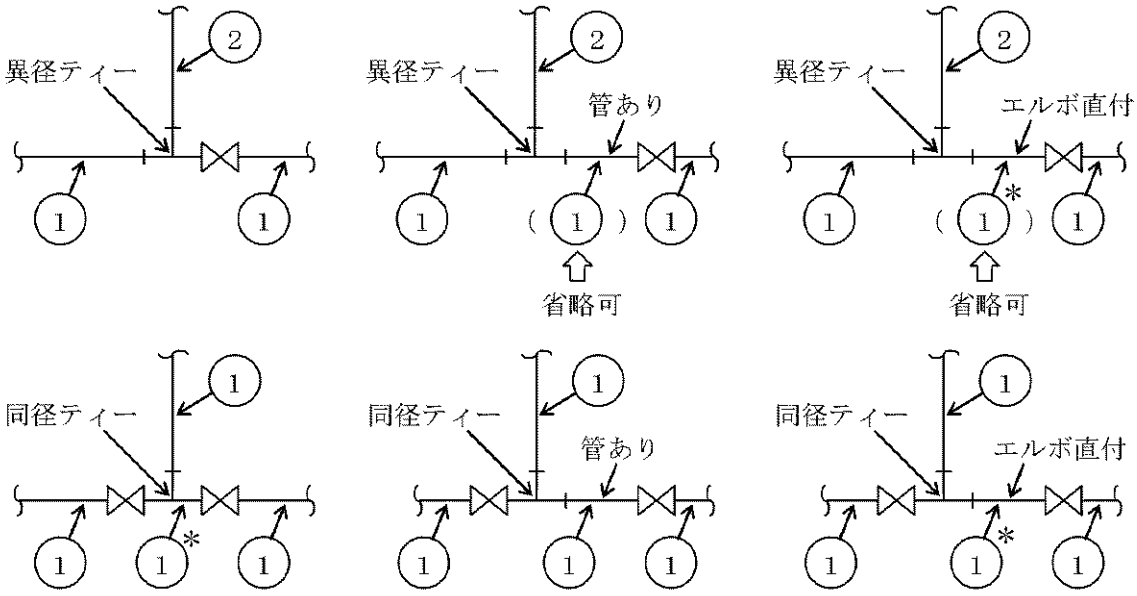
キャップに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合は，キャップ端部に管番号を付番し，管継手マーク”＊”を付ける。

注：接続される管の仕様と比べ，肉厚のみ厚くしたＪＩＳ規格のキャップについては，クラス１管及びクラス２管を除き，接続される管と同一仕様と見なす。

（ティー主配管側＋レジューサ）

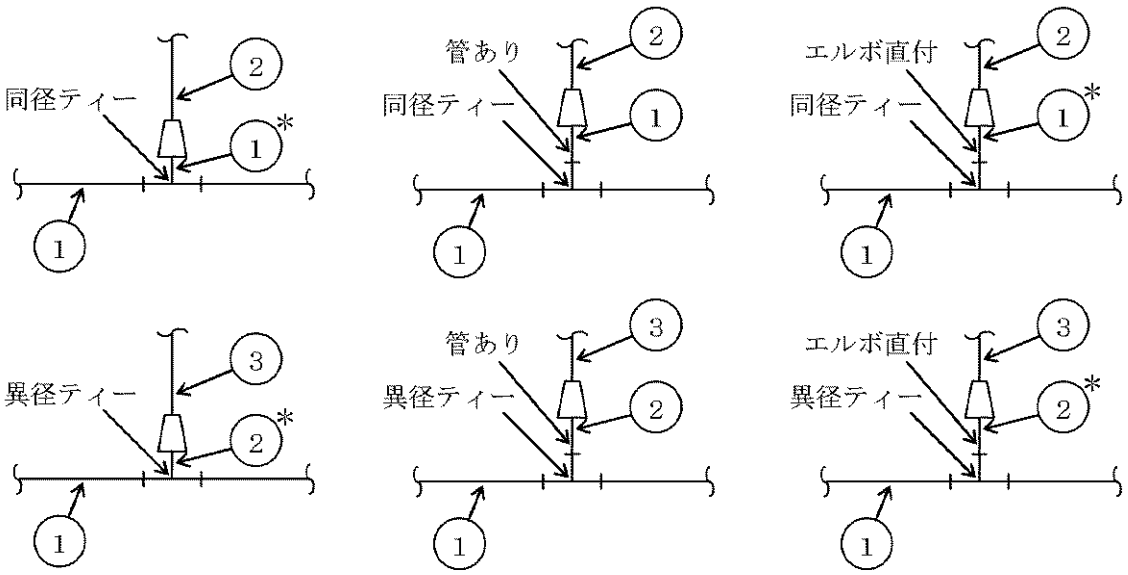


（ティー主管側＋弁）

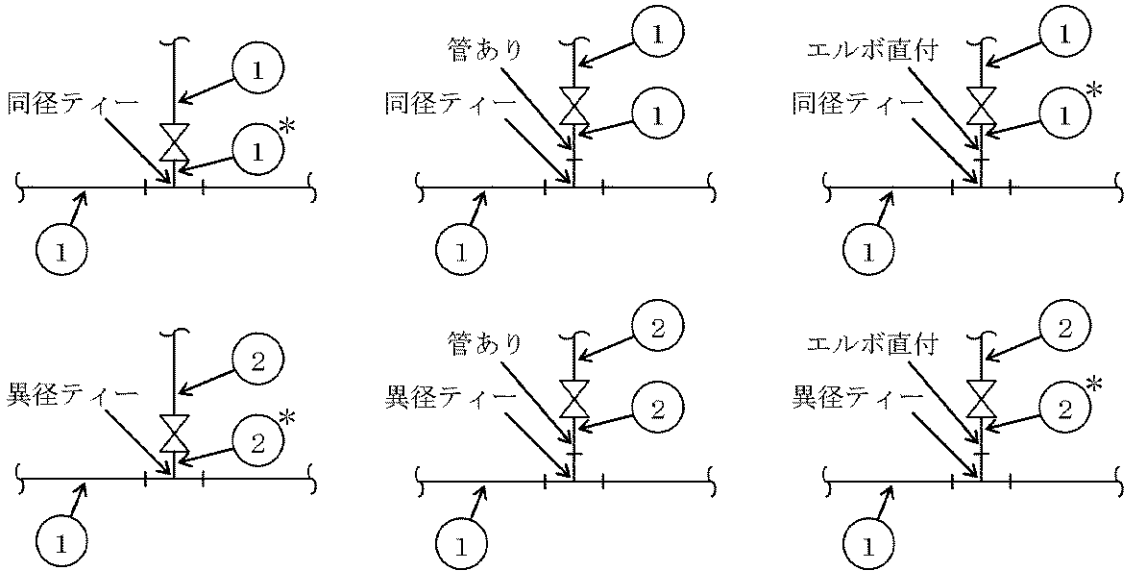


管番号及び管継手マーク記載原則の実例（その 1）

（ティー分岐管側＋レジューサ）



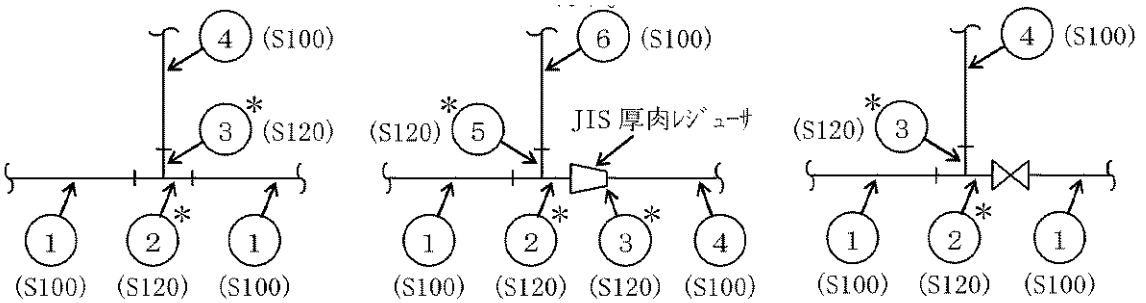
（ティー分岐管側＋弁）



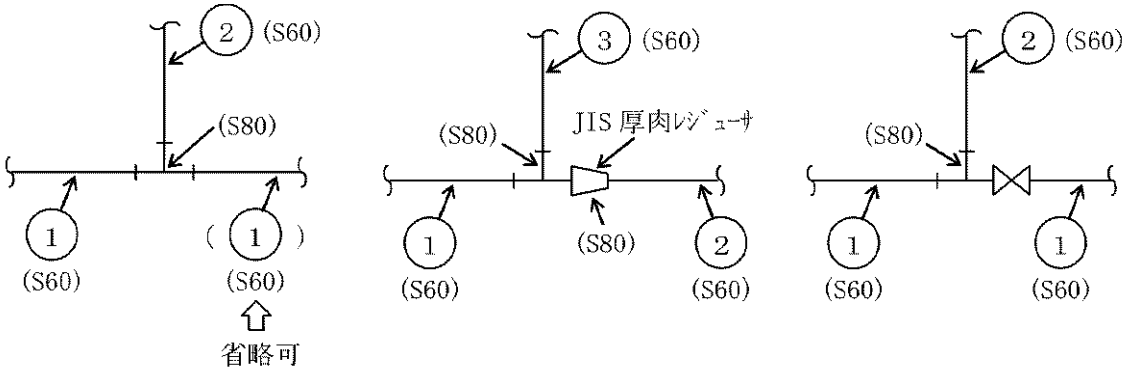
管番号及び管継手マーク記載原則の実例（その 2）

（ＪＩＳ厚肉ティー）

（ア）　クラス１管及びクラス２管…同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。

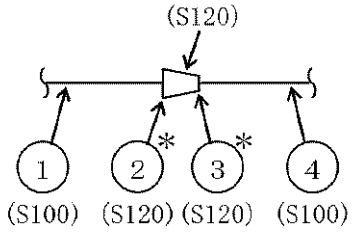


（イ）　上記以外…同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。

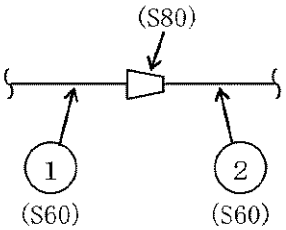


（ＪＩＳ厚肉レジューサ）

（ア）　クラス１管及びクラス２管並びに汽力設備…同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



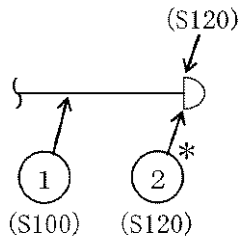
（イ）　上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



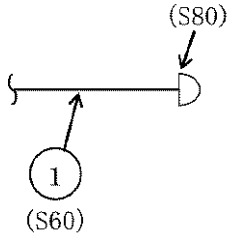
管番号及び管継手マーク記載原則の実例（その 3）

（ＪＩＳ厚肉キャップ）

（ア）　クラス１管及びクラス２管……同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



（イ）　上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



管番号及び管継手マーク記載原則の実例（その 4）

5.3　管番号表示の際に注意すべき事項

(1)　管

曲げ管は直管と同等に考えるものとし，表示は行わないものとする。

(2)　管継手（ティー，エルボ，レジューサ，キャップ）

a.　設計・建設規格規定のＪＩＳ規格の継手であって，接続配管と同等以上の強度を有する場合は，板厚計算は不要である。したがって，管番号はとらないで管の基本板厚計算書中に以下の事項を明示する。ただし，接続配管と材料又は厚さが異なる管継手については，ＪＩＳ規格の管継手であっても直管相当として板厚計算を記載する。

規格外継手（設計・建設規格規定のＪＩＳ規格以外の継手）には，管番号又は継手番号を付番するものとする。

注1：接続される管の仕様と比べ，肉厚のみ厚くしたＪＩＳ規格の管継手については，クラス１管及びクラス２管を除き，接続される管と同一仕様と見なす。

注2：接続配管のスケジュール番号と同等以上，かつ，接続配管の材料と同等以上の強度を有するＪＩＳ規格の差込み溶接式管継手については，クラス１管及びクラス２管を除き，接続される管と同一仕様と見なす。

b.　a項にかかわらず下記に示す場合は管板厚計算を行うので管番号を付番する。

(a)　レジューサの多段直列接続の場合

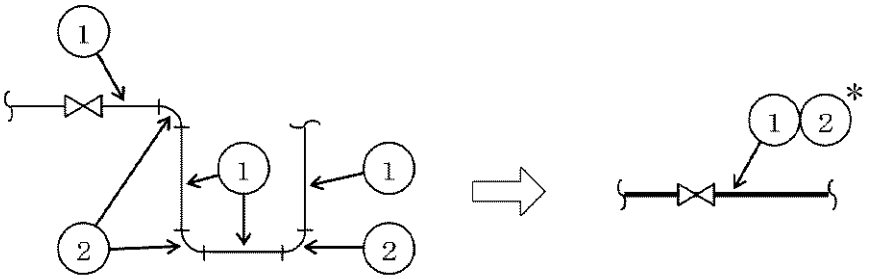
(b)　異径ティーで分岐部がレジューサ等に接続する場合，機器直結のレジューサのように溶接部における口径が表れない場合又は機器，エルボ，レジューサ直結で直管がない場合

(c)　接続配管と同等以上の強度を有さない場合

c.　分岐部分が強度計算対象外の配管に接続している場合は付番しない。

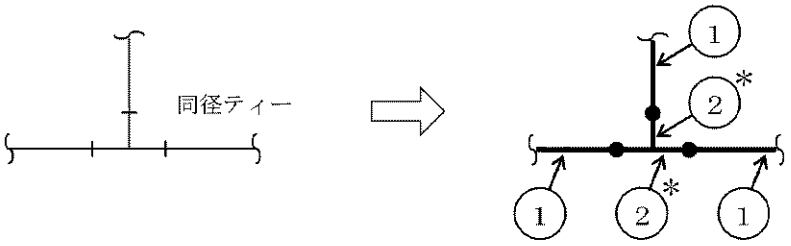
(3)　番号表示例

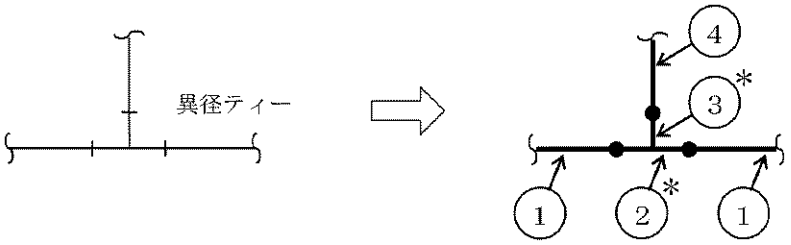
a.　エルボの強度計算を行う場合

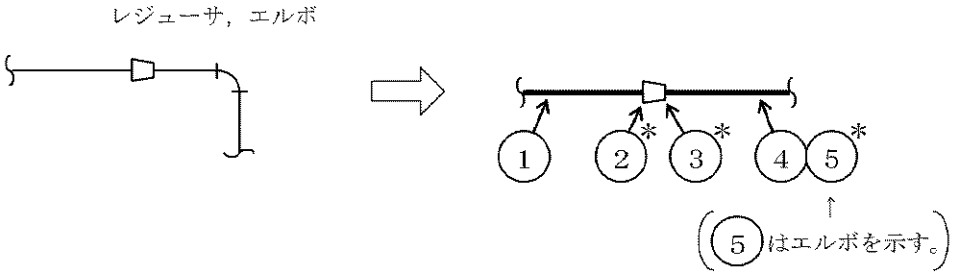


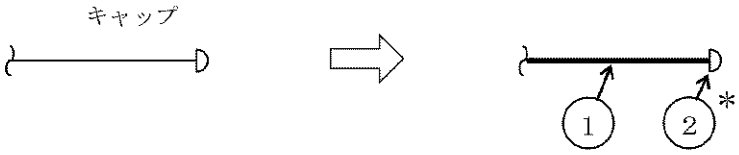
b.　設計･建設規格規定のＪＩＳ規格品管継手を使用する場合

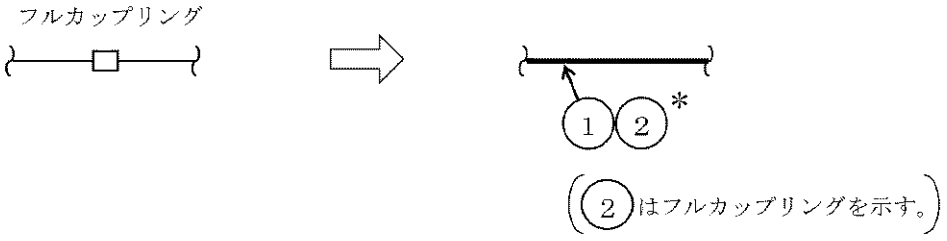
(a)　管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は，すべて管番号を付番し，直管相当の計算を記載する。（クラス１管及びクラス２管（レジューサについては，汽力設備も含む。）の場合）





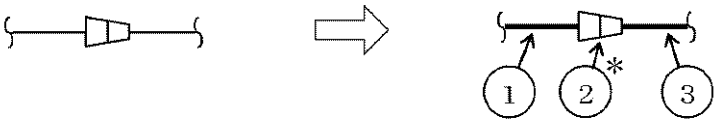




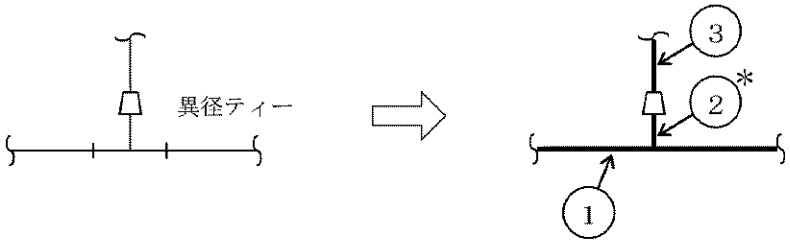


(b)　レジューサの2段直列接続

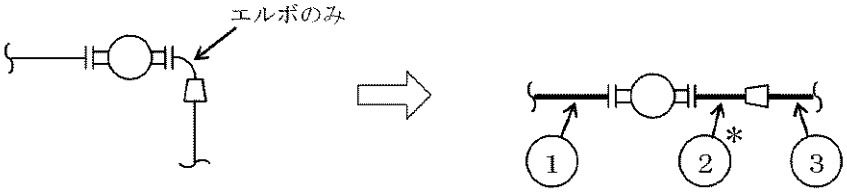
注：接続配管と同材，同肉厚の場合を示す。



(c)　ティーとレジューサの直付等のように接続部における口径が表示できない場合

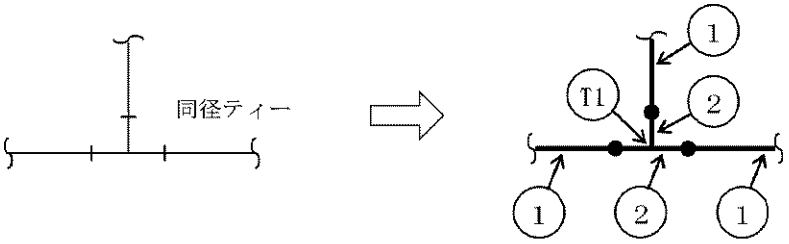


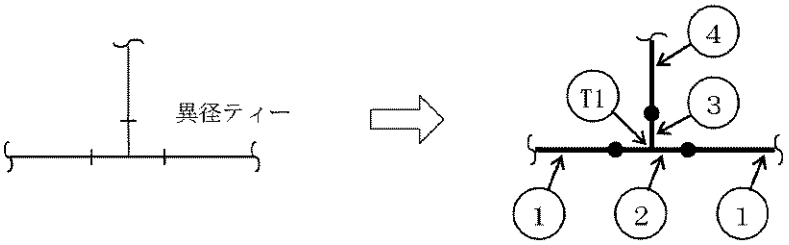
(d)　エルボとレジューサが直付でエルボに接続配管がない場合

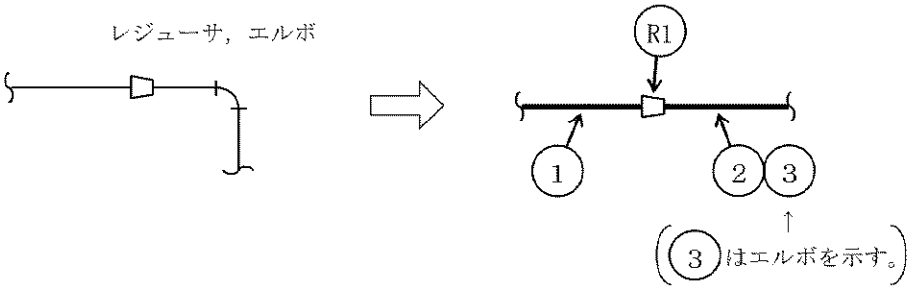


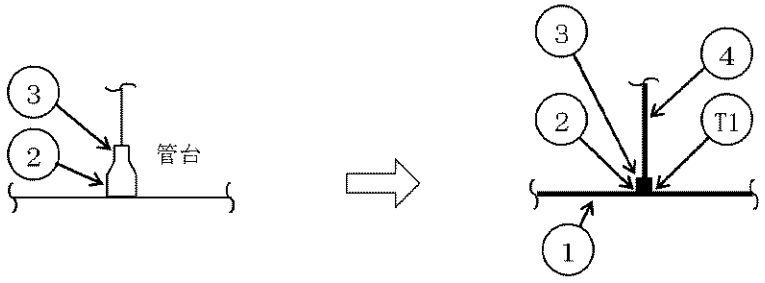
c.　設計・建設規格規定のＪＩＳ既設品以外の管継手を使用する場合

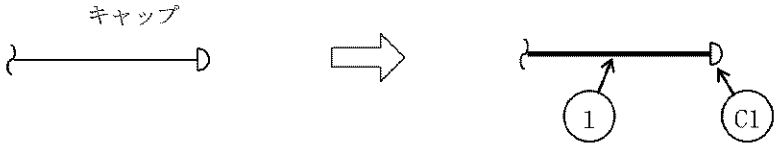
(a)　管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合

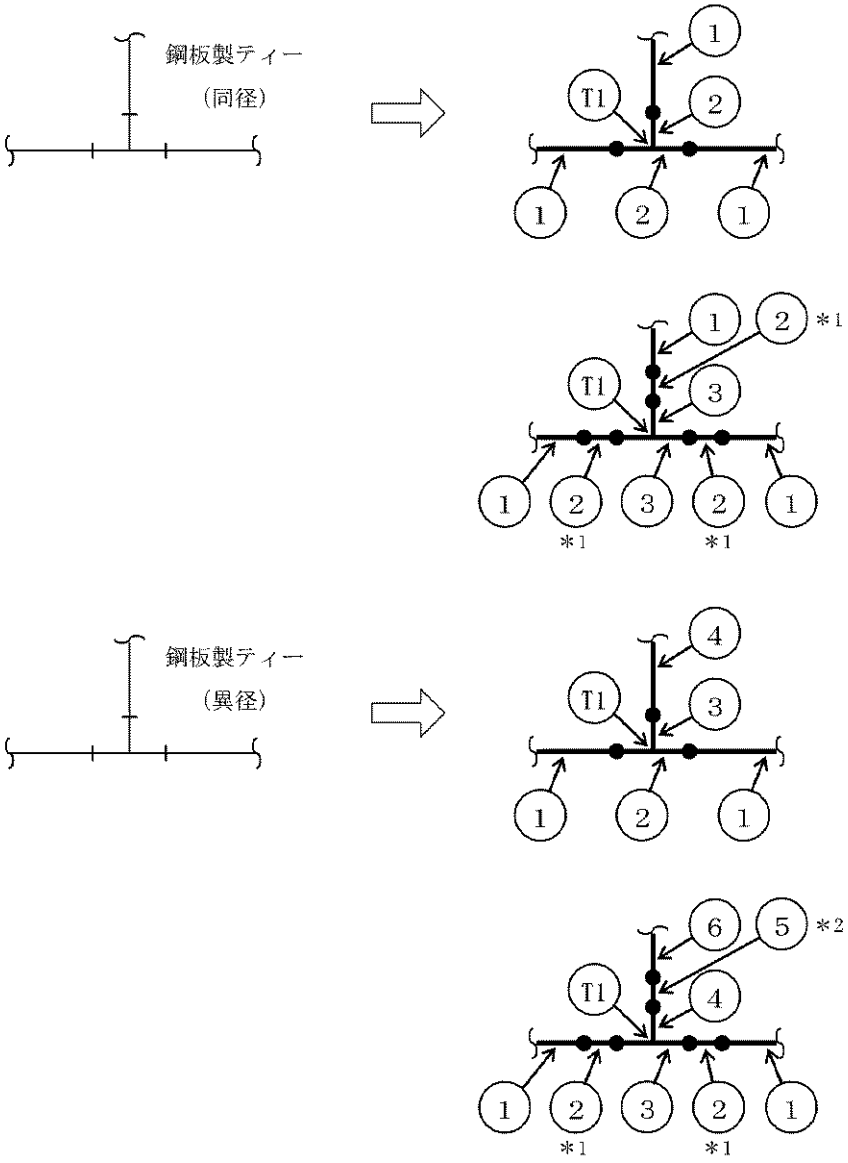






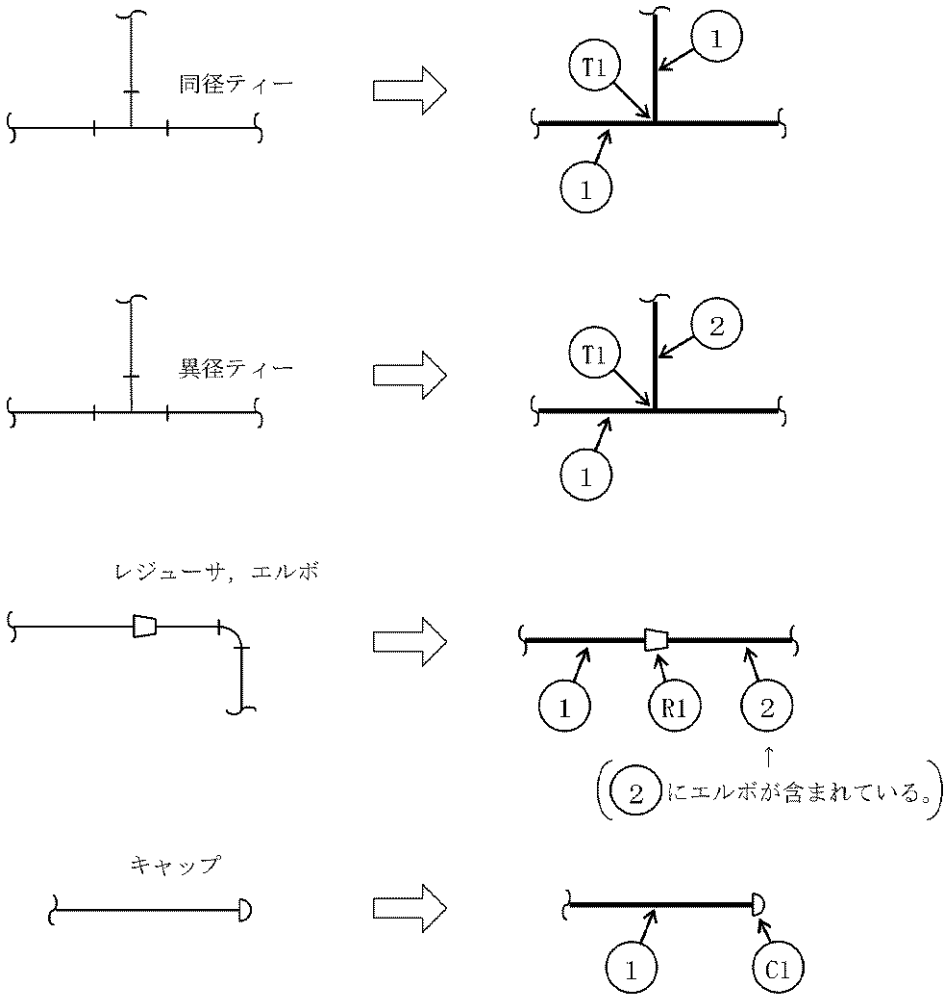




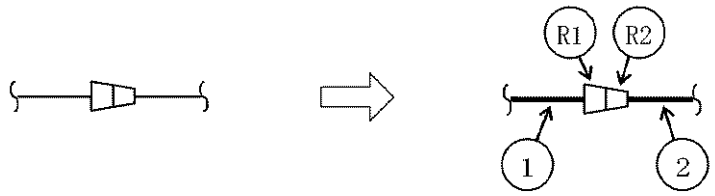


注記　＊1：仕様が①と異なる場合を示す。
　　＊2：仕様が②と異なる場合を示す。

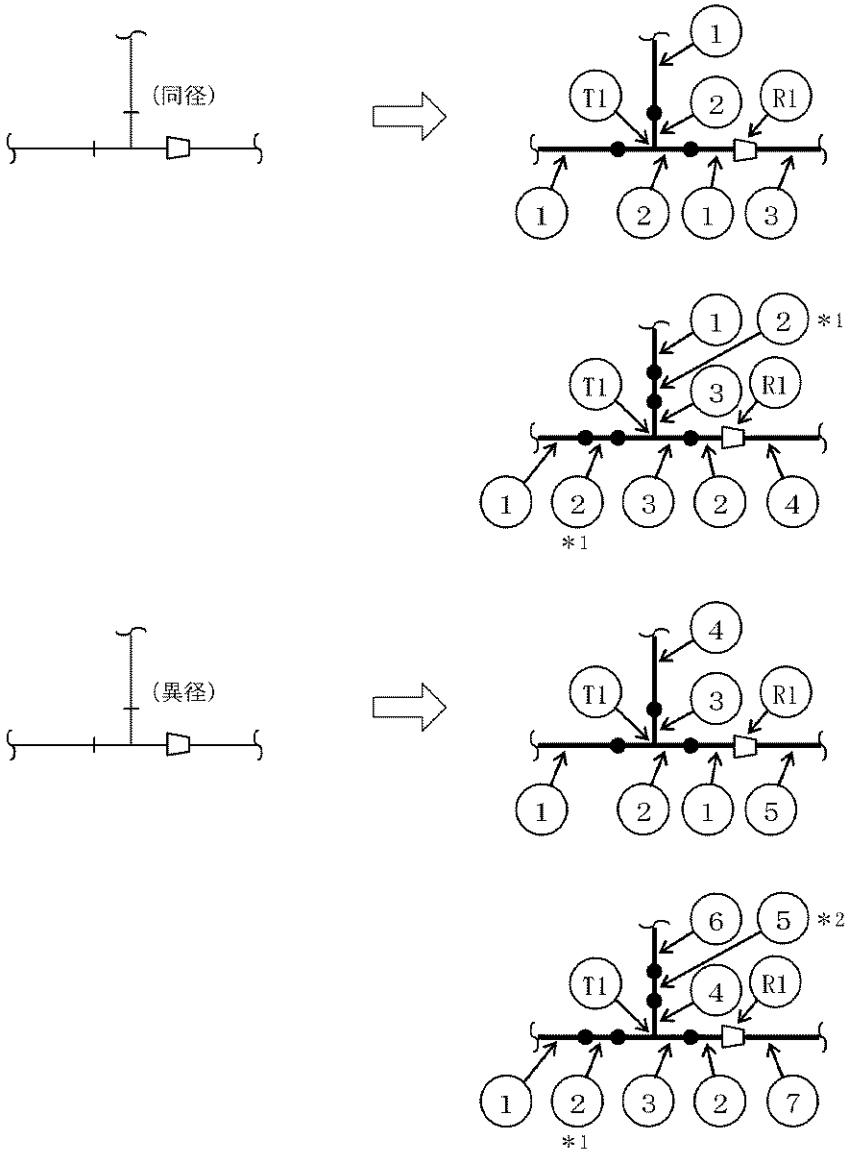
(b)　管継手の材料及び肉厚が接続配管と同じ場合



(c)　レジューサが2段直列接続となる場合



(d)　鋼板製ティーとレジューサが直付の場合



注記　＊1：仕様が①と異なる場合を示す。
　　＊2：仕様が⑥と異なる場合を示す。

(4)　フランジ

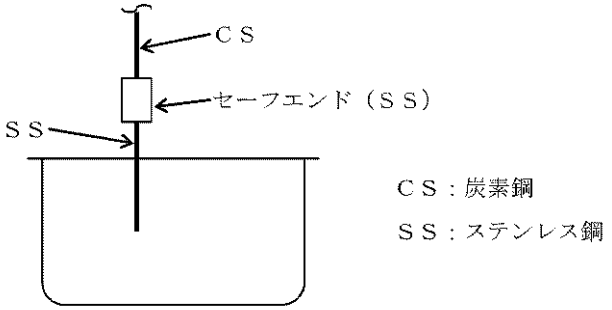
ＪＩＳ　Ｓ　２２３８，２２３９又は２２４０の規格に適合し，設計・建設規格　付録材料図表　Part1に規定される材料を使用する場合，若しくは設計・建設規格　別表2に規定されるフランジを使用する場合以外は，継手番号を付番する。

ただし，ＪＩＳ等の規格フランジに圧力検出用の穴をあけた場合，規格フランジとして扱う。

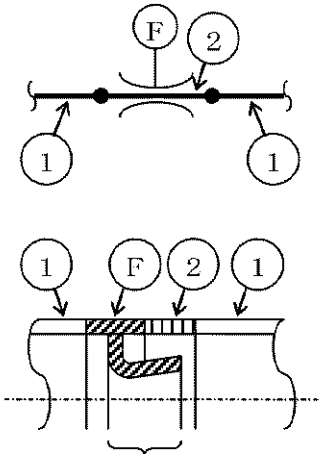
(5)　その他

a.　弁メーカの工場で溶接される弁の付属品としてのセーフエンドには，管番号を付番しないものとする。また，バタリング（異材肉盛溶接）についても管番号は付番しないものとする。

b.　下記に示すセーフエンドは管として扱うものとする。



c.　ベンチュリ形流量制限器，ベンチュリ式流量計及びフローノズル式流量計について計算する場合は，下記のごとく管番号を付記する。



ベンチュリと一体の部分は計測器扱いとし，管番号は付番しない。

別添２　管の基本板厚計算書のフォーマット

1. 管の基本板厚計算書の書式例
書式例を次紙以降に示す。

Ⅴ－3－0－0－0－0－0　管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は，「付録10　管の基本板厚計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき計算した結果を表にまとめて示すものである。

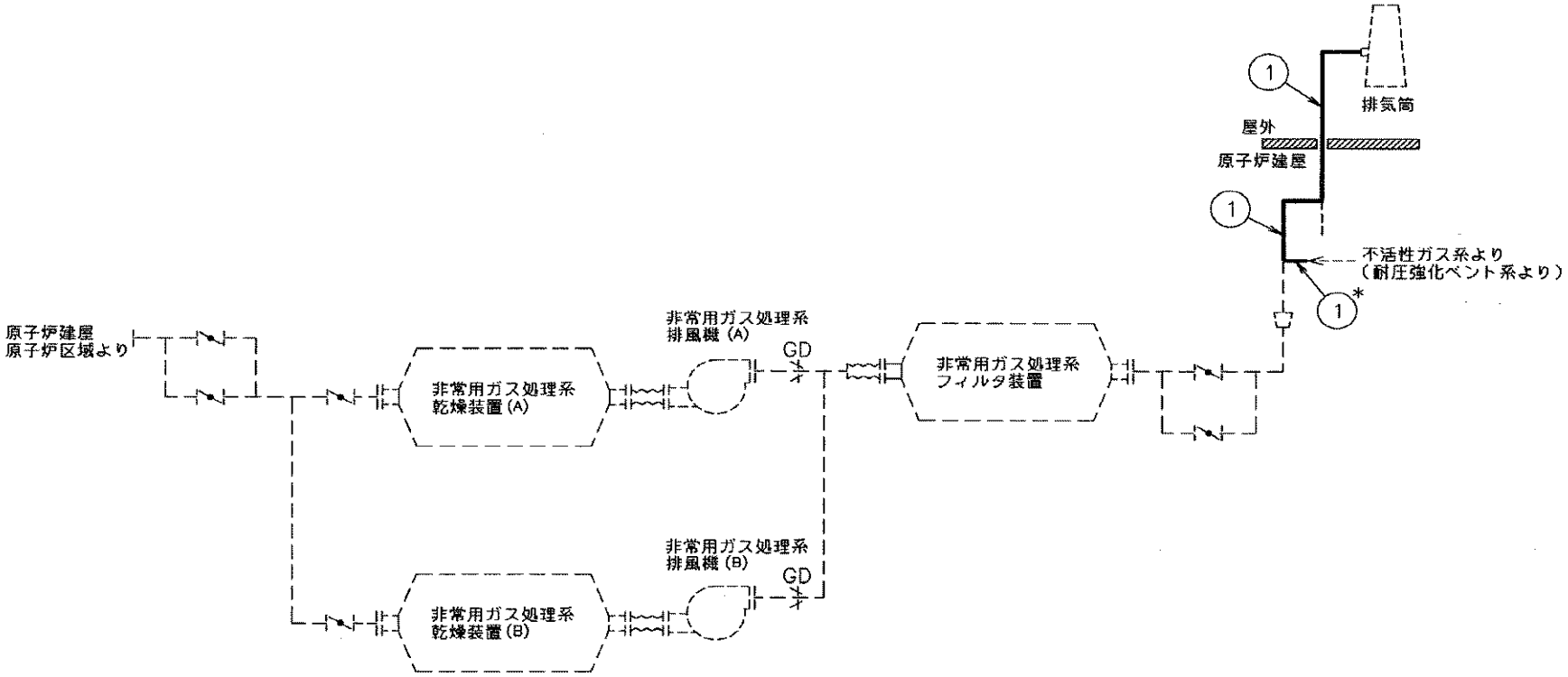
なお，本計算書においては，基本方針で定義された記号を使用する。

本計算書では，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007）（日本機械学会　2007年））を「設計・建設規格」と称す。

目次

1. 概略系統図.....
2. 管の強度計算書（重大事故等クラス２管）.....

1. 概略系統図



注記 ＊：管継手

2.　管の強度計算書（重大事故等クラス２管）

設計・建設規格PPC-3411準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高 使用温度 (℃)	外径 D_o (mm)	公称厚さ (mm)	材料	製法	管種	S (MPa)	η	Q	t_s (mm)	t (mm)	算式	t_r (mm)
1	0.03	150	318.50	10.30	STPT410	S	2	103	1.00	12.5%	9.01	0.05	C	3.80

評価：$t_s \geqq t_r$，よって十分である。

既工認図書を呼び出す例（1／2）

Ｖ－3－＊－＊－＊　管の基本板厚計算書

既工認図書を呼び出す例（2／2）

1. 概要

本計算書については，重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが，設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから，評価結果については平成**年**月**日付け**資庁第****号にて認可された工事計画の添付書類「Ⅳ－*－*－*　管の基本板厚計算書」による。

付録 11　弁の強度計算書作成の基本方針

まえがき

本基本方針は，工事計画認可申請書に添付する弁の強度計算書について説明するものである。

本書は，以下により構成される。

第一部　クラス１弁の強度計算書作成の基本方針

第二部　クラス２弁の強度計算書作成の基本方針

第一部　クラス１弁の強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 1-1
1.1 概要 1-1
1.2 適用規格及び基準との適合性 1-1
1.3 強度計算書の構成とその見方 1-3
1.4 計算精度と数値の丸め方 1-4
1.5 材料の表示方法 1-5
2. 強度計算書の計算式と記号 1-6
2.1 弁箱に係るものの応力評価 1-6
2.2 弁体の一次応力 1-14
2.3 フランジの強度計算 1-20
2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 1-28
2.5 弁箱の形状規定 1-30
2.6 管台の最小厚さの計算 1-31
3. 添付図 1-32

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス１弁の強度計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

(1) 強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

設計・建設規格　規格番号と強度計算書との対応は，表 1-1 に示すとおりである。

(2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表 1-2 に示すとおりである。

表 1-1　設計・建設規格　規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
VVB-3300　弁の応力評価	2.1	弁箱に係るものの応力評価
VVB-3320*1	2.1.1	一次応力
VVB-3330*1	2.1.2	配管反力による応力
VVB-3340*1	2.1.3	一次＋二次応力
VVB-3350*1, *2	2.1.4	一次局部応力
VVB-3360*1	2.1.5	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ
VVB-3370*1	2.1.6	繰返しピーク応力強さ
VVB-3380*1	2.2	弁体の一次応力
VVB-3390	2.3	フランジの強度計算
VVB-3390(1)*1 a	2.3	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVB-3390(1)*1 b	2.3	フランジボルトの応力解析
VVB-3200　耐圧部の設計		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
VVB-3210	2.4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVB-3220	2.6	管台の最小厚さの計算
VVB-3400　弁の形状	2.5	弁箱の形状規定
VVB-3410*1	2.5	弁箱のネック部内径と弁入口流路内径の比
VVB-3411(1)*1	2.5	弁箱のネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径
VVB-3411(2)*1	2.5	弁箱の弁座挿入部のすみの丸みの半径

注記　＊1：設計・建設規格　VVB-3320，3330，3340，3350，3360，3370，3380，3390(1)a，3390(1)b，3410，3411(1)，3411(2)による計算は，接続管の外径が 115 mm を超える弁について適用する。

＊2：設計・建設規格　VVB-3350 に対する確認については，弁の最高使用圧力を決定する時点でその 1.1 倍を超えないよう安全弁等を設置するため，供用状態Ｃにおいても最高使用圧力の 1.2 倍を超えることはない。

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003） 「圧力容器の構造－一般事項」		2.3	フランジの強度計算*
附属書 3（規定）	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		

注記　＊：設計・建設規格　VVB-3390 によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算は，本基本方針と各弁の強度計算書からなる。

(2)　各弁の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	最高使用圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
	設計・建設規格 別表 1-1 に規定する 許容圧力	MPa	－*1 （小数点以下第 3 位）	－*1 （四捨五入）	小数点以下第 2 位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	－	－	整数位
応力	許容応力*2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
	実際の長さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
面積	総断面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
	実際の断面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	弁操作力による反力	N	－	－	整数位
	上記以外の力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
角度		°	－	－	小数点以下第 1 位

注記　＊1：設計・建設規格　別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は，（　　）内を適用する。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

ＪＩＳの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新のＪＩＳによる材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号　相当（当該材記号）

（例 1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例 2）　SCS14A　相当（ASME　SA351　Gr.CF8M）

(2)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）　SNB7（径≦63 mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）　NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表2　備考3よりガスケットメーカ推奨値を適用する。

2. 強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス１弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 弁箱に係るものの応力評価

設計・建設規格 VVB-3320，3330，3340，3350，3360，3370 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_0	A_0	設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	－
A_1	A_1	接続管の断面積の 2 分の 1	mm^2
A_2	A_2	図 3-2 に示すＡ～Ａ断面における金属部の断面積	mm^2
A_f (A_{f1}，A_{f2})	A_f (A_{f1}，A_{f2})	図 3-1 に示す流体部面積	mm^2
A_m (A_{m1}，A_{m2})	A_m (A_{m1}，A_{m2})	図 3-1 に示す金属部面積	mm^2
B_0	B_0	設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	－
C_2	C_2	応力係数で設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-1 より求めた値	－
C_3	C_3	応力係数で設計・建設規格 VVB-3360 の表 VVB-3360-1 より求めた値	－
C_4	C_4	応力係数で設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-2 より求めた値	－
C_5	C_5	応力係数で設計・建設規格 VVB-3370 の表 VVB-3370-1 より求めた値	－
C_b	C_b	応力係数で設計・建設規格 VVB-3330 式(VVB-9)より求めた値	－
d	d	図 3-1 に示す寸法	mm
E	E	260℃の温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表１に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	E_m	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料 Part6 表１に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	I_t	疲れ累積係数	－
K	K	ネック部の角度による係数	－
K_e	K_e	設計・建設規格 PVB-3315(2)(3)より求まる係数	－
L_A	L_A	図 3-1 に示すA_f及びA_mの範囲	mm
L_N	L_N	図 3-1 に示すA_f及びA_mの範囲	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	N（1）	$S\ell$（1）に対応する許容繰返し回数	－
	N（2）	$S\ell$（2）に対応する許容繰返し回数	－
	N_i	実際の繰返し回数	－
	N_{ri}	許容繰返し回数	－
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より低く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より高く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_b	P_b	配管反力による弁箱の応力（設計・建設規格　VVB-3330 による。）	MPa
P_d	P_d	配管反力による弁箱の応力（設計・建設規格　VVB-3330 による。）	MPa
P_e	P_e	P_d，P_b及びP_tの中の最大応力	MPa
P_{r1}	P_{r1}	260℃の温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より低く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_{r2}	P_{r2}	260℃の温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より高く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_s	P_s	260℃における許容圧力	MPa
P_t	P_t	配管反力による弁箱の応力（設計・建設規格　VVB-3330 による。）	MPa
ΔP_{fm}	ΔP_{fm}	供用状態Ａ及び供用状態Ｂ（供用状態Ｃにおいて開閉操作を必要とする弁については，供用状態Ａ，供用状態Ｂ及び供用状態Ｃ）において生じる圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	MPa
Q_T	Q_T	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力で設計・建設規格　VVB-3360 の表 VVB-3360-2 より求めた値	MPa
q	q	設計・建設規格　PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	－
r	r	図 3-2 に示すＡ～Ａ断面における平均半径 $r = r_i + t_e/2$	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
r_1	r_1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_i	r_i	図 3-2 に示すA～A断面における内半径	mm
S	S	弁箱の一次応力又は一次局部応力	MPa
S_ℓ	S_ℓ	繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格　VVB-3370 による。）	MPa
S_ℓ	S_ℓ (1)	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格　VVB-3360 式(VVB-14.1)による。）	MPa
S_ℓ	S_ℓ (2)	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格　VVB-3360 式(VVB-14.2)による。）	MPa
S_m	S_m	弁箱材料の 260℃の温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 に定める値	MPa
S_n	S_n	設計・建設規格　VVB-3370 式(VVB-15)の計算式により求めた応力	MPa
S_n	S_n (1)	弁箱の一次＋二次応力（設計・建設規格　VVB-3340 式(VVB-10.1)による。）	MPa
S_n	S_n (2)	弁箱の一次＋二次応力（設計・建設規格　VVB-3340 式(VVB-10.2)による。）	MPa
S_p	S_p	設計・建設規格　VVB-3370 式(VVB-17)の計算式により求めた応力	MPa
S_y	S_y	接続管の 260℃の温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
T_b	T_b	図 3-1 に示す弁箱の厚さ	mm
t_e	t_e	図 3-2 に示すA～A断面における金属部の厚さ	mm
T_{e1}	T_{e1}	図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法	mm
T_{e2}	T_{e2}	図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法	mm
	T_m	最高使用温度	℃
T_r	T_r	図 3-1 に示す弁箱の厚さ	mm
Z_1	Z_1	接続管の断面係数	mm^3
Z_2	Z_2	図 3-2 に示すA～A断面における断面係数	mm^3
Z_p	Z_p	図 3-2 に示すA～A断面における極断面係数	mm^3
α	α	260℃の温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表 2 に規定する材料の熱膨張係数	mm/mm℃
ε_e	ε_e	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみ	－

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
ε_{ep}	ε_{ep}	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力―ひずみ関係として，降伏応力をS_mの1.5倍とした弾完全塑性体とした弾塑性解析より計算したときのひずみ	―
$\bar{\varepsilon}^p$	$\bar{\varepsilon}^p$	弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	―
θ	θ	ネック部の中心線と流路中心線との交角	°
$\bar{\sigma}$		弾塑性解析によるミーゼス相当応力	MPa
$\bar{\sigma}^*$		弾性解析によるミーゼス相当応力	MPa
ΔT	ΔT	設計・建設規格　VVB-3340 式(VVB-12)より求めた値	℃
ΔT_f	ΔT_f	流体温度変動の振幅（運転条件図により求める。17℃以上のものに限る。）	℃
ΔT_{fm}	ΔT_{fm}	供用状態A及び供用状態B（供用状態Aにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては，供用状態A，供用状態B及び供用状態C）において生じる流体温度の段階的な温度変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	℃

2.1.1　一次応力

設計・建設規格　VVB-3320 を適用する。

(1)　算式

弁箱の一次応力は次の式による。

$$S = P_s \cdot \left(\frac{A_f^*}{A_m} + 0.5 \right)$$

注記　＊：$\frac{A_f}{A_m}$ は図 3-1 の(4)の場合，$\frac{A_{f1}}{A_{m1}}$ と $\frac{A_{f2}}{A_{m2}}$ のいずれか大きい値を用いる。

ここで,

$$P_s = P_{r1} + \left(\frac{P - P_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot (P_{r2} - P_{r1})$$

A_m及びA_fを求める時に用いるL_A及びL_Nは次の式で求める。

$L_A = 0.5 \cdot d - T_b$，$L_A = T_r$のいずれか大きい値を用いる。

$$L_N = 0.5 \cdot r_1 + 0.354 \cdot \sqrt{T_b \cdot (d + T_b)}$$

(2)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$S \leqq S_m$

2.1.2　配管反力による応力

設計・建設規格　VVB-3330 を適用する。

(1)　算式

配管反力による弁箱の応力は次の式による。

$$P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$$

$$P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$$

$$P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$$

(2)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$P_d \leqq 1.5 \cdot S_m$

$P_b \leqq 1.5 \cdot S_m$

$P_t \leqq 1.5 \cdot S_m$

2.1.3　一次＋二次応力

設計・建設規格　VVB-3340 を適用する。

(1)　算式

供用状態Ａ及び供用状態Ｂ（供用状態Ｃにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては，供用状態Ａ，供用状態Ｂ及び供用状態Ｃ）における弁箱の一次＋二次応力は次の式による。

$$S_n(1) = 3 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5\right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot \Delta T$$

$$S_n(2) = 3 \cdot K \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{fm}$$

ここで，

$$K = 0.2 + \frac{0.8}{\sin\theta}$$

(2)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$S_n(1) \leqq 3 \cdot S_m$

$S_n(2) \leqq 3 \cdot S_m$

2.1.4　一次局部応力

設計・建設規格　VVB-3350 を適用する。

(1)　算式

供用状態Ｃにおいて開閉操作を必要とする弁以外の弁については，弁箱の一次局部応力は次の式による。

$$S = 1.5 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + 1.2 \cdot P_e$$

(2)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$S \leqq 2.25 \cdot S_m$

2.1.5　起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ

設計・建設規格　VVB-3360 を適用する。

(1)　算式

弁箱の起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S\ell\ (1) = 2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \frac{P_e}{2} + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T + 1.3 \cdot Q_T$$

$$S\ell\ (2) = 1.2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T$$

(2)　評価

設計・建設規格　付録材料図表　Part8　図 1 又は図 2 において，$S\ell$ (1) 及び $S\ell$ (2) に対応する許容繰返し回数Ｎ (1) 及びＮ (2) がそれぞれ 2000 回以上であること。

2.1.6　繰返しピーク応力強さ

設計・建設規格　VVB-3370 を適用する。

(1)　算式

供用状態Ａ及び供用状態Ｂ（供用状態Ｃにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては，供用状態Ａ，供用状態Ｂ及び供用状態Ｃ）における弁箱の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S_n = 3 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{fm} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6.1)$$

a.　(2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260℃における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 に定める値（S_m）の 3 倍未満の場合（$S_n < 3 \cdot S_m$）

$$S\ell = \frac{S_p}{2}$$

ここで，

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

b.　(2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260℃における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 に定める値（S_m）の 3 倍以上の場合（$S_n \geqq 3 \cdot S_m$）

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

(a)　$K < B_0$（K_e式（以下，A_0式と呼ぶ）とK_e’式が交わる場合）

イ.　$$\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e{}^* = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K} \right)$$

ロ.　$$\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geqq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

$$K_e = K_e{}' = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right)$$

(b)　$K \geqq B_0$（A_0式とK_e’式が交わらない場合）

イ.　$$\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_e{}^{**} = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + 1 - a$$

ロ.　$$\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geqq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

$$K_e = K_e{}' = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n} \right)$$

$$K = \frac{S_p}{S_n}$$

$$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}$$

c.　(2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260℃における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値（S_m）を乗じた値の 3 倍以上の場合（$S_n \geqq 3 \cdot S_m$）b. 項に係らず，次の計算式により計算した値を用いてもよい。

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

$$K_e = \frac{\varepsilon_{ep}}{\varepsilon_e}$$

$$\varepsilon_{ep} = \frac{\bar{\sigma}}{E} + \bar{\varepsilon}^p$$

$$\varepsilon_e = \frac{\bar{\sigma}^*}{E}$$

K_eはS_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して安全側となるようにサイクルを設定してよい。

(2)　評価

設計・建設規格　付録材料図表　Part8　図 1 又は図 2 において，S_ℓに対応する許容繰返し回数（N_{ri}）が実際の繰返し回数（N_i）以上であること。この場合において，実際の繰返し回数が 2 種類以上あるときは，疲れ累積係数（I_t）が 1 以下であること。

すなわち，

$$I_t = \sum \frac{N_i}{N_{ri}} \leqq 1$$

であること。

2.2　弁体の一次応力

設計・建設規格　VVB-3380 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A A’ B B’	機械工学便覧新盤A4 編表 26（以下「便覧」という。）より求めた値 （添字の数字は，便覧の荷重状態のＮｏ．を示す。）	－
	a	円板の外周半径	mm
	a_1	円板の外周半径（形式G2 の場合）	mm
	b	円板の内周半径	mm
	h	弁体の厚さ	mm
	（h_1，h_2）	（h_1及びh_2は形式G2 の場合）	
	P	最高使用圧力	MPa
	P_c	機械的荷重を含む集中荷重	N
	（P_1，P_2）		
	S_m	弁体材料の最高使用温度における設計・建設規格付録材料図表　Part5　表 1 に定める値	MPa
	ν	ポアソン比（0.3）	－
	π	円周率	－
	σ_D σ_{D1} σ_{D2} σ_{D3}	弁体に発生する一次応力 （σ_{D1}，σ_{D2}及びσ_{D3}は形式G2 の場合）	MPa*
	σ，σ’	便覧より求めた応力 （添字の数字は，便覧の荷重状態のＮｏ．を示す。）	MPa*

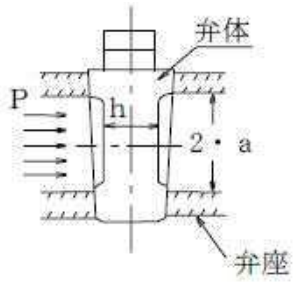
注記　＊：便覧は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式

弁体にかかる最高使用圧力及び機械的荷重により生じる荷重状態をモデル化し，円板の理論式により各弁体に応じて一次応力を計算する。

a. 形式W1

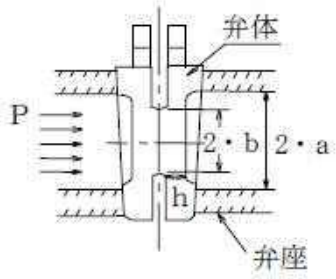
右図のような弁体形状のもの



$$\sigma_D = \frac{3\cdot(3+\nu)\cdot P\cdot a^2}{8\cdot h^2}$$ *1

b. 形式W2

右図のような弁体形状のもの



$$\sigma_D = |\sigma_{11}| + |\sigma_{15}|$$

$$\sigma_{11} = \frac{3\cdot\pi\cdot b^2\cdot P}{4\cdot\pi\cdot h^2}\cdot\left\{2\cdot(1+\nu)\cdot(A_{11}+\ell_n\frac{a}{b}) - (1-\nu)\cdot(1-B_{11}\cdot\frac{a^2}{b^2})\right\}$$

$$A_{11} = \frac{1}{2}\cdot\frac{(1-\nu)\cdot a^2}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot b^2}\cdot\left\{1-(1+2\cdot\ell_n\frac{a}{b})\cdot\frac{b^2}{a^2}\right\}$$

$$B_{11} = \frac{2\cdot b^2}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot b^2}\cdot\left\{(1+\nu)\cdot\ell_n\frac{a}{b}+1\right\}$$

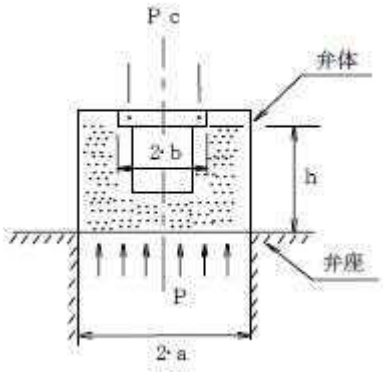
$$\sigma_{15} = \frac{3\cdot P\cdot a^2}{8\cdot h^2}\cdot \left\{(3+\nu)\cdot\frac{b^2}{a^2}+4\cdot(1+\nu)\cdot(A_{15}+\ell_n\frac{a}{b})\cdot\frac{b^2}{a^2}-(1-\nu)\cdot(\frac{2\cdot b^2}{a^2}+B_{15}\cdot\frac{a^2}{b^2})\right\}$$

$$A_{15} = -\frac{1}{4}\cdot\frac{a^2}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot b^2}\cdot\left[(3+\nu)\cdot\frac{a^2}{b^2}+(1-\nu)\right]\cdot\left\{(4\cdot\ell_n\frac{a}{b}+3)\cdot\frac{b^2}{a^2}-2\right\}$$

$$B_{15} = \frac{b^2}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot b^2}\cdot\left[(3+\nu)-\left\{(5+\nu)+4\cdot(1+\nu)\cdot\ell_n\frac{a}{b}\right\}\cdot\frac{b^2}{a^2}\right]$$

c. 形式G1

右図のような弁体形状のもの



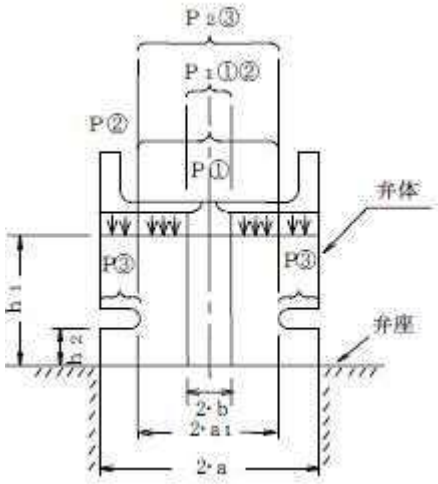
$$\sigma_D = |\sigma_5| + |\sigma_7|$$

$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot P_c}{8 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 4 - (1-\nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}^{*4}$$

$$\sigma_7 = \frac{3 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ (1-\nu) \cdot \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) + 2 \cdot (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right\}^{*5}$$

d. 形式G2

右図のような弁体形状のもの



σ_Dはσ_{D1}，σ_{D2}及びσ_{D3}の最大のもの

(a) 図の①の荷重状態の場合

$\sigma_{D1} = |\sigma_{13}| + |\sigma_9|$ （P及びP_1は図の①）

$$\sigma_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1+3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1+\nu) \cdot (A_{13} + \ell_n \frac{a}{b}) \right.$$

$$\left. \cdot \frac{b^2}{a^2} + (1-\nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{13} \cdot \frac{a^2}{b^2}\right) \right\}^{*6}$$

$$A_{13} = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1+\nu)} \cdot \left\{ (1+3 \cdot \nu) + (3+\nu) \cdot \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B_{13} = \frac{1}{1-\nu} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+\nu) \cdot \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - (3+\nu) \right\} \cdot \frac{b^2}{a^2}$$

$$\sigma_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1+\nu) \cdot (A_9 + \ell_n \frac{a}{b}) + (1-\nu) \cdot (1 - B_9 \cdot \frac{a^2}{b^2}) \right\}^{*7}$$

$$A_9 = \frac{1-\nu}{2 \cdot (1+\nu)} + \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b}$$

$$B_9 = -\frac{2\cdot(1+\nu)}{1-\nu}\cdot\frac{b^2}{a^2-b^2}\cdot\ell_n\frac{a}{b}$$

(b)　図の②の荷重状態の場合

$$\sigma_{D2} = |\sigma'_{13}| + |\sigma'_9| \quad （P及びP_1は図の②）$$

$$\sigma'_{13} = \frac{3\cdot P\cdot a_1^{\,2}}{8\cdot h_1^{\,2}}\cdot\left\{(1+3\cdot\nu)\cdot\frac{b^2}{a_1^{\,2}} + 4\cdot(1+\nu)\cdot(A'_{13}+\ell_n\frac{a_1}{b})\right.$$

$$\left.\cdot\frac{b^2}{a_1^{\,2}} + (1-\nu)\cdot(\frac{2\cdot b^2}{a_1^{\,2}} + B'_{13}\cdot\frac{a_1^{\,2}}{b^2})\right\}^{*6}$$

$$\sigma'_9 = \frac{3\cdot P_1}{4\cdot\pi\cdot h_1^{\,2}}$$

$$\cdot\left\{2\cdot(1+\nu)\cdot(A'_9+\ell_n\frac{a_1}{b}) + (1-\nu)\cdot(1-B'_9\cdot\frac{a_1^{\,2}}{b^2})\right\}^{*7}$$

$$A'_9 = \frac{1-\nu}{2\cdot(1+\nu)} + \frac{b^2}{a_1^{\,2}-b^2}\cdot\ell_n\frac{a_1}{b}$$

$$B'_9 = -\frac{2\cdot(1+\nu)}{1-\nu}\cdot\frac{b^2}{a_1^{\,2}-b^2}\cdot\ell_n\frac{a_1}{b}$$

(c)　図の③の荷重状態の場合

$$\sigma_{D3} = |\sigma_{15}| + |\sigma_{11}| \quad （P及びP_1は図の③）$$

$$\sigma_{15} = \frac{3\cdot P\cdot a^2}{8\cdot h_2^{\,2}}\cdot\left\{(3+\nu)\cdot\frac{a_1^{\,2}}{a^2} + 4\cdot(1+\nu)\cdot(A_{15}+\ell_n\frac{a}{a_1})\cdot\frac{a_1^{\,2}}{a^2}\right.$$

$$\left.-(1-\nu)\cdot(\frac{2\cdot a_1^{\,2}}{a^2} + B_{15}\cdot\frac{a^2}{a_1^{\,2}})\right\}^{*8}$$

$$A_{15} = -\frac{1}{4}\cdot\frac{a^2}{(1+\nu)\cdot a^2 + (1-\nu)\cdot a_1^{\,2}}$$

$$\cdot\left[(3+\nu)\cdot\frac{a^2}{a_1^{\,2}} + (1-\nu)\cdot\left\{(4\cdot\ell_n\frac{a}{a_1}+3)\cdot\frac{a_1^{\,2}}{a^2} - 2\right\}\right]$$

$$B_{15}=\frac{a_1^{\,2}}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot a_1^{\,2}}$$

$$\cdot\left[(3+\nu)-\left\{(5+\nu)+4\cdot(1+\nu)\cdot\ell_n\frac{a}{a_1}\right\}\cdot\frac{a_1^{\,2}}{a^2}\right]$$

$$\sigma_{11}=\frac{3\cdot P_2}{4\cdot\pi\cdot h_2^{\,2}}$$

$$\cdot\left\{2\cdot(1+\nu)\cdot\left(A_{11}+\ell_n\frac{a}{a_1}\right)-(1-\nu)\cdot\left(1-B_{11}\cdot\frac{a^2}{a_1^{\,2}}\right)\right\}^{*9}$$

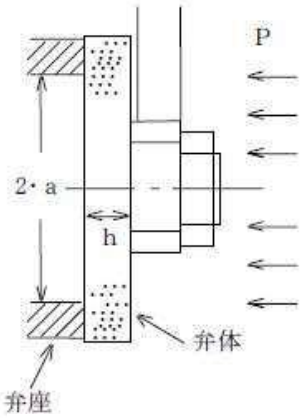
$$A_{11}=\frac{1}{2}\cdot\frac{(1-\nu)\cdot a^2}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot a_1^{\,2}}\cdot\left\{1-(1+2\cdot\ell_n\frac{a}{a_1})\cdot\frac{a_1^{\,2}}{a^2}\right\}$$

$$B_{11}=\frac{2\cdot a_1^{\,2}}{(1+\nu)\cdot a^2+(1-\nu)\cdot a_1^{\,2}}\cdot\left\{(1+\nu)\cdot\ell_n\frac{a}{a_1}+1\right\}$$

e. 形式C1

右図のような弁体形状のもの

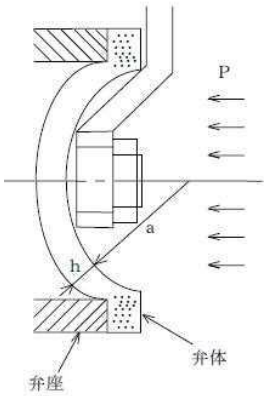
$$\sigma_D=\frac{3\cdot(3+\nu)\cdot P\cdot a^2}{8\cdot h^2}\quad{}^{*10}$$



f. 形式C2

右図のような弁体形状のもの

$$\sigma_D=\frac{P\cdot a}{1.2\cdot h}\quad{}^{*11}$$



(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$\sigma_D \leqq 1.5\cdot S_m$

注記　＊1：便覧 No.1 による。

＊2：便覧 No.11 による。

ただし，$P_c = \pi \cdot b^2 \cdot P$ とする。

＊3：便覧 No.15 による。

＊4：便覧 No.5 による。

ただし，$P = \dfrac{P_c}{\pi \cdot b^2}$ とする。

＊5：便覧 No.7 による。

ただし、$P_c = \pi \cdot a^2 \cdot P$ とする。

＊6：便覧 No.13 による。

ただし，$h = h_1$ とする。

＊7：便覧 No.9 による。

ただし，$P_c = P_1$ 及び $h = h_1$ とする。

＊8：便覧 No.15 による。

ただし，$h = h_2$ とする。

＊9：便覧 No.11 による。

ただし，$P_c = P_2$ 及び $h = h_2$ とする。

＊10：便覧 No.1 による。

＊11：設計・建設規格　PMC-3410(2)b.より応力値を求める式に変換した。

2.3　フランジの強度計算

設計・建設規格　VVB-3390 を適用する。

(1)　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（$f \geqq 1$ のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（$f < 1$ のときの一体形フランジの場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数（$=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_o^2$（一体形フランジの場合））	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数（$=\frac{F}{h_o}\cdot h_o\cdot g_o^2$（一体形フランジの場合））	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は表4による。）	－
	F_e	フランジに作用する機械的鉛直荷重（弁操作力による反力）	N
f	f	ハブ応力修正係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は表4による。）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm

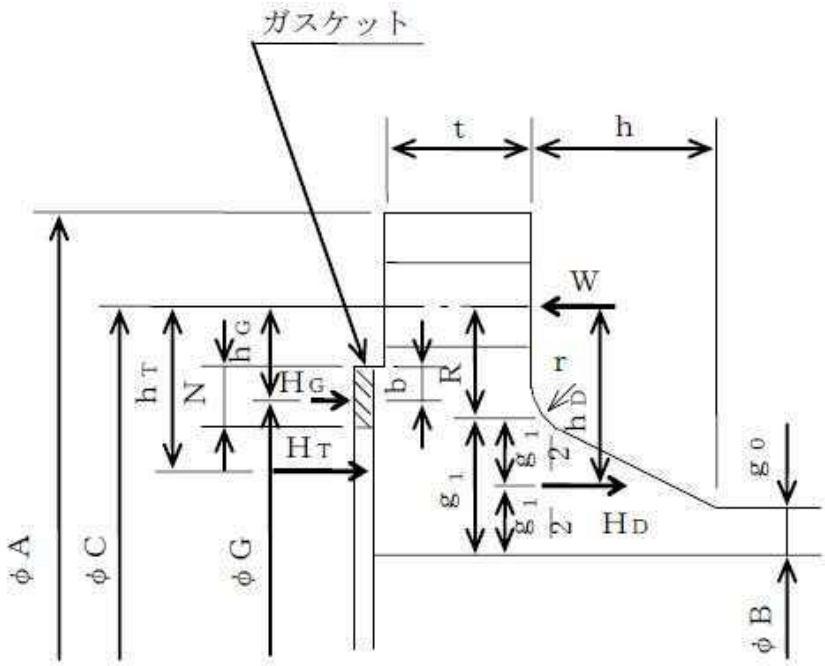
ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために，ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	－
L	L	係数$\left(=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	－
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N･mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント （駆動部の偏心荷重によるモーメント）	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	－
	P	最高使用圧力	MPa
	P_{eq}	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
V	V	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	－
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
π	π	円周率	－

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表2に定める設計応力強さ	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表2に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表1に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表1に定める設計応力強さ	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	―
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	―

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　算式



（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2　b)　7)）

注１：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注２：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図 2-1　一体形フランジ

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a)　$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b)　$b_o > 6.35$mm の場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで,

$$b_o = N / 2$$

b.　フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1}=H+H_P$

$H=\frac{\pi}{4}\cdot G^2\cdot P_{FD}$

$H_P=2\cdot\pi\cdot b\cdot G\cdot m\cdot P_{FD}$

(b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2}=\pi\cdot b\cdot G\cdot y$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1}=\frac{W_{m1}}{\sigma_b}$ （使用状態）

$A_{m2}=\frac{W_{m2}}{\sigma_a}$ （ガスケット締付時）

$A_m=\mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$

$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d_b{}^2\cdot n$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o=W_{m1}$ （使用状態）

$W_g=\frac{A_m+A_b}{2}\cdot\sigma_a$ （ガスケット締付時）

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$H_D=\frac{\pi}{4}\cdot B^2\cdot P_{FD}$

$H_G=W_o-H$

$H_T=H-H_D$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R+0.5\cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$

ただし，$R=\frac{C-B}{2}-g_1$

注記 ＊：クラス１弁には，一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$M_D = H_D \cdot h_D$

$M_G = H_G \cdot h_G$

$M_T = H_T \cdot h_T$

$M_o = M_D + M_G + M_T$

i. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_0} \quad {}^{*1,\ *2}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B} \quad {}^{*2}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^{\,2}$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

注記 ＊１：設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。ＪＩＳ Ｂ ８２６５の計算式に一次膜応力を加えたものである。

＊２：$B < 20 \cdot g_1$のときは，σ_{Ho}及びσ_{Hg}の計算式のＢの代わりにB_1を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積

$A_b > A_m$

b. ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

c. フランジの半径方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

d. フランジの周方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.4　弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

設計・建設規格　VVB-3210 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図 3-5 に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図 3-5 に示すネック部の内径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より低く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より高く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
	T_m	最高使用温度	℃
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	設計・建設規格　別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格　別表 1-1 においてP_1に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち，当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	設計・建設規格　別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格　別表 1-1 においてP_2に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち，当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
t_m	t_m	ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ma}	ネック部の計算上必要な厚さ	mm

(2) 算式

a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

b. ネック部の計算上必要な厚さ

(a) $\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$ の場合

$$t_m = t$$

(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_m = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$t_{ab} \geqq t$

$t_{af} \geqq t$

b. ネック部の最小厚さ

$t_{ma} \geqq t_m$

2.5　弁箱の形状規定

設計・建設規格　VVB-3410，3411 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図 3-5 に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図 3-5 に示すネック部の内径	mm
h	h	図 3-6 に示す弁座挿入部の高さ	mm
r_1	r_1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_2	r_2	図 3-6 に示す弁座挿入部のすみの丸みの半径	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ（設計・建設規格　VVB-3210 による。）	mm

(2)　評価

弁箱の形状は以下の条件を満足するものとする。

a.　ネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径

$r_1 \geqq 0.3 \cdot t$

b.　弁座挿入部のすみの丸みの半径

$r_2 \geqq \mathrm{Max}(0.05 \cdot t,\ 0.1 \cdot h)$

c.　ネック部の内径と弁入口流路内径の比

$$\frac{d_n}{d_m} < 2$$

2.6　管台の最小厚さの計算

設計・建設規格　VVB-3220 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	Ｎｏ.	管台の番号	－
D_o	D_o	管台の外径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{br}	管台の最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
	t_{no}	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率（設計・建設規格　PVC-3130 の表 PVC-3130-1 より求めた値）	－

(2)　算式

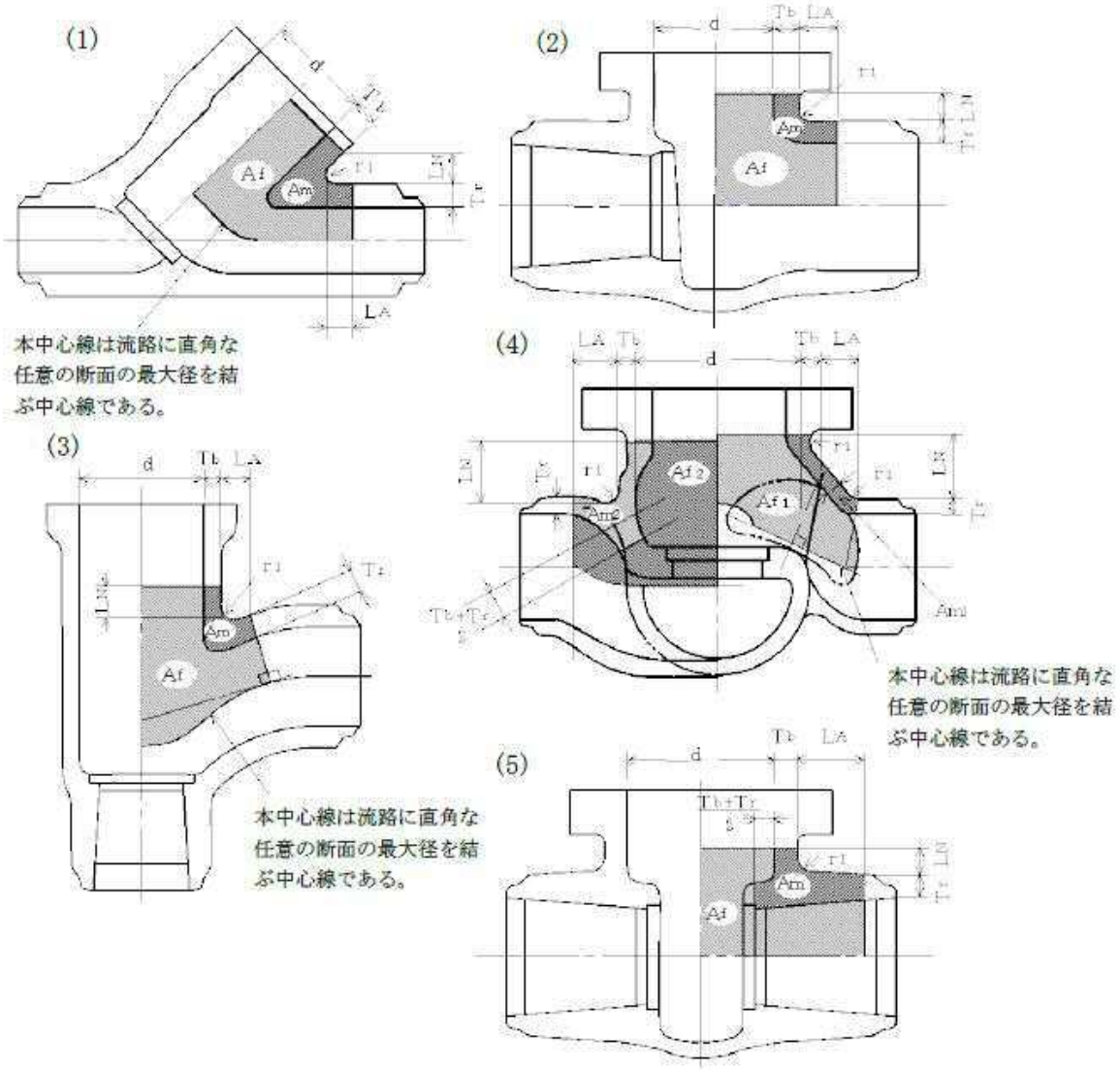
$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$t_{br} \geqq t$

3. 添付図

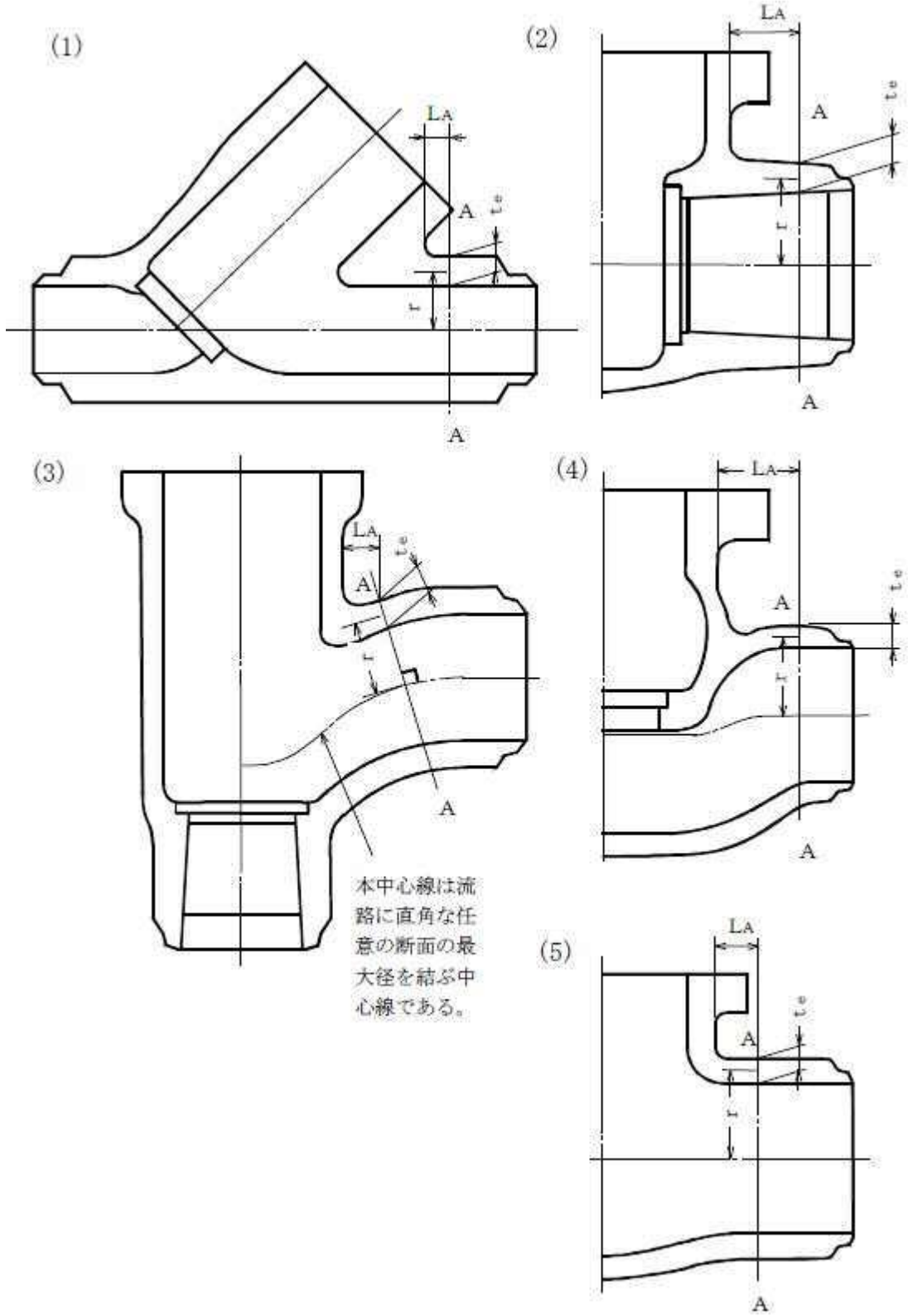


注1：本図は設計・建設規格　VVB-3320 の図　VVB-3320-1 と同じ。

注2：(4)の場合，A_f及びA_mの値は，図のA_{f1}及びA_{f2}並びにA_{m1}及びA_{m2}のうち

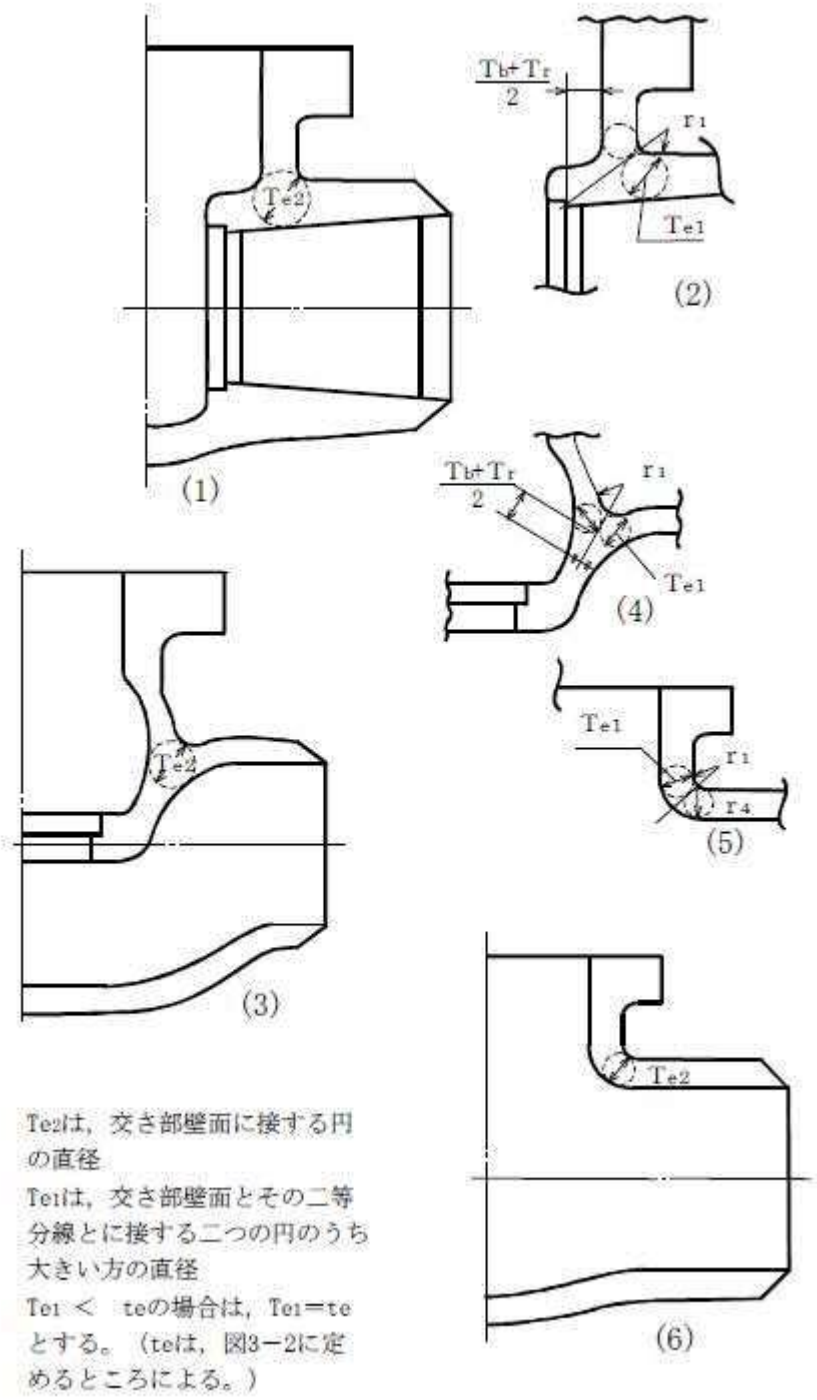
$\frac{A_{f1}}{A_{m1}}$と$\frac{A_{f2}}{A_{m2}}$の値が大きい方の組合せを用いる。

図 3-1　A_f及びA_mの範囲を明示した図



注：本図は設計・建設規格　VVB-3330 の図　VVB-3330-1 と同じ。

図 3-2　ｔｅ及びｒを明示した図



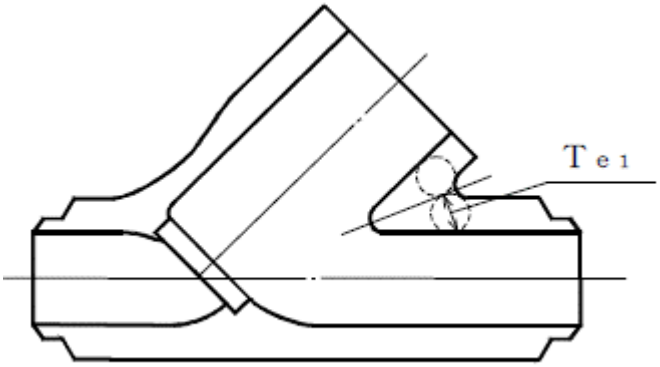
注：本図は設計・建設規格　VVB-3340 の図　VVB-3340-1 と同じ。

図 3-3　T_{e1}及びT_{e2}を明示した図

T_{e1}は，交差部壁面とその二等分線とに接する二つの円のうち大きい方の直径

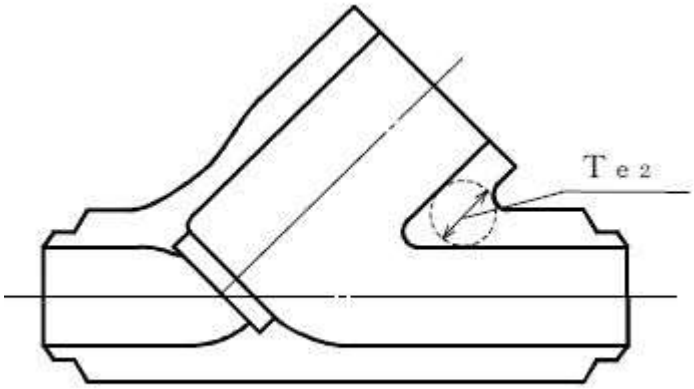
T_{e1}＜ｔｅの場合は，T_{e1}＝t_eとする。

（t_eは，図 3-2 に定めるところによる。）



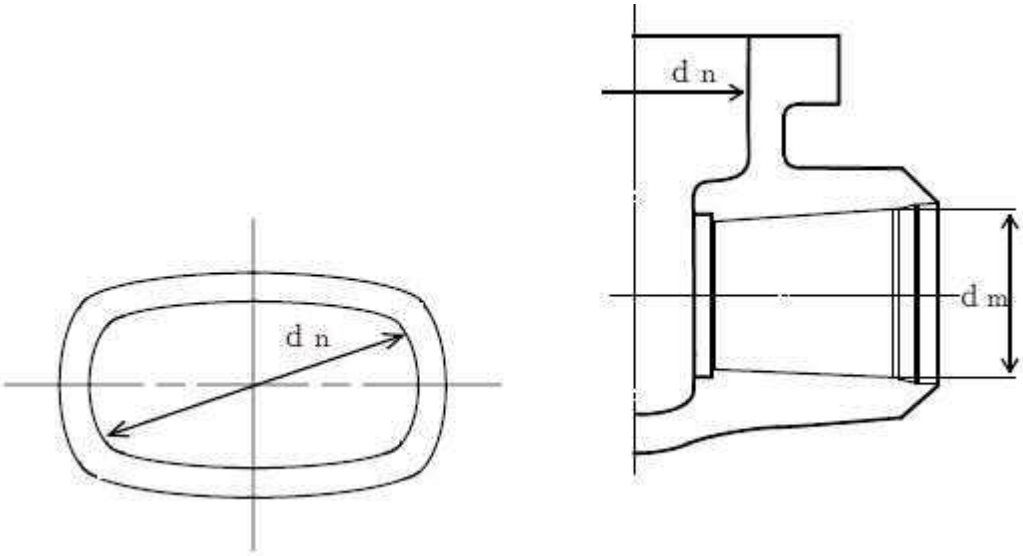
注：本図は図 3-3 の(4)の内容を図 3-2(1)の構造に適用したもの

T_{e2}は，交差部壁面に接する円の直径



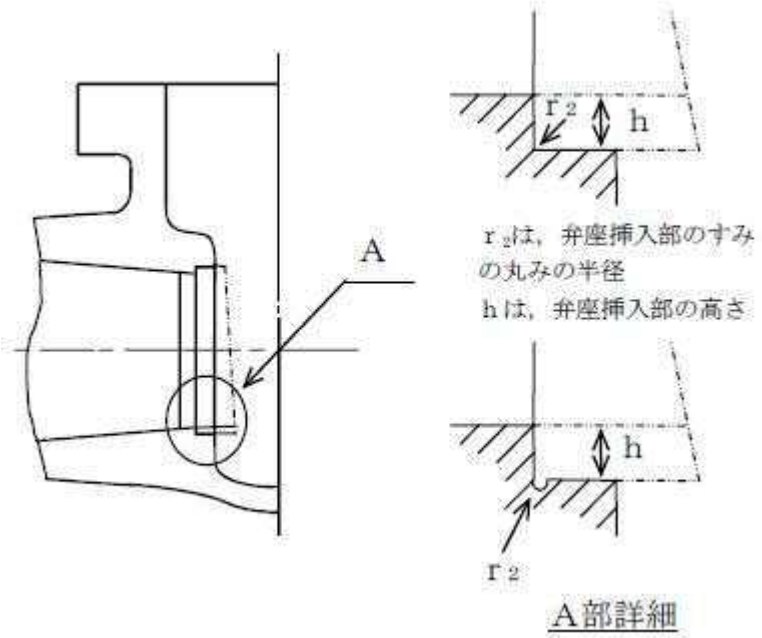
注：本図は図 3-3 の(3)の内容を図 3-2(1)の構造に適用したもの

図 3-4　T_{e1}及びT_{e2}を明示した図



注：本図は設計・建設規格　VVB-3210 解説図　VVB-3210-3 と同じ。

図 3-5　d_m及びd_nを明示した図



注：本図は設計・建設規格　VVB-3411 の図　VVB-3411-2 と同じ。

図 3-6　h 及びr_2を明示した図

第二部　クラス２弁の強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 2-1
1.1 概要 2-1
1.2 適用規格及び基準との適合性 2-1
1.3 強度計算書の構成とその見方 2-2
1.4 計算精度と数値の丸め方 2-3
1.5 材料の表示方法 2-4
2. 強度計算書の計算式と記号 2-5
2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 2-5
2.2 2.1 項の規定に適合しない場合の計算 2-8
2.3 管台の最小厚さの計算 2-10
2.4 フランジの強度計算 2-11
3. 添付図 2-23
4. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価 2-24

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス２弁（重大事故等クラス２弁含む。）の強度計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

(1) 強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪSME　S　NC１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

設計・建設規格　規格番号と強度計算書との対応は，表 1-1 に示すとおりである。

(2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表 1-2 に示すとおりである。

(3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　VVC-3410）

a. ＪＩＳ　Ｂ　２２２０（2004）　「鋼製管フランジ」

表 1-1　設計・建設規格　規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式（章節番号）	備考
VVC-3200　耐圧部の設計		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3220	2.2	2.1 項の規定に適合しない場合の計算
VVC-3230	2.3	管台の最小厚さの計算
VVC-3300　弁の応力評価		フランジの強度計算
VVC-3310　(a) *	2.4	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVC-3310　(b) *	2.4	フランジボルトの応力解析

注記　＊：設計・建設規格　VVC-3310 による計算は，接続管の外径が 115㎜ を超える弁について適用する。

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003） 「圧力容器の構造－一般事項」		2.4	フランジの強度計算*
附属書 3（規定）	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
附属書 4（規定）	3		
「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」	4		

注記　＊：設計・建設規格　VVC-3310 によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」及び附属書 4（規定）「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算は，本基本方針と各弁の強度計算書からなる。

(2)　各弁の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	最高使用圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
	設計・建設規格 別表 1－1 に規定する 許容圧力	MPa	＊1 － （小数点以下第 3 位）	＊1 － （四捨五入）	小数点以下第 2 位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	－	－	整数位
応力	許容応力＊2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
	実際の長さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
面積	総断面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁＊3
	実際の断面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁＊3
力	弁操作力による反力	N	－	－	整数位
	上記以外の力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁＊3
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁＊3
角度		°	－	－	小数点以下第 1 位

注記　＊1：設計・建設規格　別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は，（　　）内を適用する。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

ＪＩＳの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新のＪＩＳによる材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号　相当（当該材記号）

（例 1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例 2）　SCS14A　相当（ASME　SA351　Gr.CF8M）

(2)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）　SNB7（径≦63mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）　NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表2　備考3よりガスケットメーカ推奨値を適用する。

2.　強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス２弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1　弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

設計・建設規格　VVC-3210 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図 3-1 に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図 3-1 に示すネック部の内径	mm
ℓ	ℓ	$\frac{d_n}{d_m}$ ≦1.5 の場合，図 3-2 に示すネック部の厚さが t 以上必要な部分の範囲	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より低く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における設計・建設規格　別表 1-1 に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より高く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	設計・建設規格　別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格　別表 1-1 においてP_1に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち，当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	設計・建設規格　別表 3 の呼び圧力（設計・建設規格　別表 1-1 においてP_2に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち，当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
t_m	t_{m1}	ℓの範囲内のネック部の計算上必要な厚さ	mm
t_m	t_{m2}	ℓの範囲外及び$\frac{d_n}{d_m}$ >1.5 の場合ネック部の計算上必要な厚さ	mm

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	t_{ma1}	t_{m1}に対応するネック部の最小厚さ	mm
	t_{ma2}	t_{m2}に対応するネック部の最小厚さ	mm

(2) 算式

a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)^*}{(P_2 - P_1)}$$

注記 ＊：最高使用圧力が最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合は，弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ t は，設計・建設規格 別表 3 の呼び圧力（1.03MPa）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。

b. ネック部の計算上必要な厚さ

(a) $\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$ の場合

イ. 弁箱流路方向の外径から，ネック方向に沿って次の式で計算したℓの範囲の必要厚さ

$$t_{m1} = t$$

$$\ell = 1.1 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

ロ. イ．以外のネック部の必要厚さ

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。ただし，弁箱（ネック部を含む。）で2.2項に掲げる規定（設計・建設規格　VVC-3220）を満足する場合については，この限りではない。

a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$t_{ab} \geqq t$

$t_{af} \geqq t$

b. ネック部の最小厚さ

(a) $\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$ の場合

$t_{ma1} \geqq t_{m1}$

$t_{ma2} \geqq t_{m2}$

(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$t_{ma2} \geqq t_{m2}$

2.2　2.1 項の規定に適合しない場合の計算

設計・建設規格　VVC-3220 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の直径の許容範囲	mm
	D’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の実際の直径	mm
d_1，d_2	d_1，d_2	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が 2 箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円の直径	mm
d_m	d_m	図 3-1 に示す弁入口流路内径	mm
ℓ	ℓ	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が 2 箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間距離の許容範囲	mm
	ℓ’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が 2 箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間距離の実際の距離	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ（設計・建設規格　VVC-3210(1)による。）	mm
	t’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分の最小厚さ	mm
t_m	t_{m1}，t_{m2}	ネック部の計算上必要な厚さ（設計・建設規格　VVC-3210(2)による。）	mm

(2) 評価

2.1項の規定（設計・建設規格　VVC-3210）に適合しない部分がある弁箱であっても，当該部分が以下の条件を満足すれば十分である。

a. t又はt_{m1}若しくはt_{m2}を満足しない部分を囲んだ円の直径

$D' \leqq D$

$D = 0.35 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$

b. t又はt_{m1}若しくはt_{m2}を満足しない部分の厚さ

$t' \geqq \frac{3}{4} \cdot t$

c. t又はt_{m1}若しくはt_{m2}を満足しない部分が2箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の距離

$\ell' \geqq \ell$

$\ell = 1.75 \cdot \sqrt{d_m \cdot t} + 0.5 \cdot (d_1 + d_2)$

2.3　管台の最小厚さの計算

設計・建設規格　VVC-3230 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	Ｎｏ.	管台の番号	－
D_o	D_o	管台の外径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{br}	管台の最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
	t_{no}	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率（設計・建設規格　PVC-3130 の表 PVC-3130-1 より求めた値）	－

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$t_{br} \geqq t$

2.4　フランジの強度計算

2.4.1　ボルト締めフランジ

設計・建設規格　VVC-3310 を適用する。

(1)　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（$f \geqq 1$ のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（$f < 1$ のときの一体形フランジの場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数（$=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_o^2$（一体形フランジの場合））	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数（$=\frac{F}{h_o}$（一体形フランジの場合））	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は表4による。）	－
	F_e	フランジに作用する機械的鉛直荷重（弁操作力による反力）	N
f	f	ハブ応力修正係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は表4による。）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm

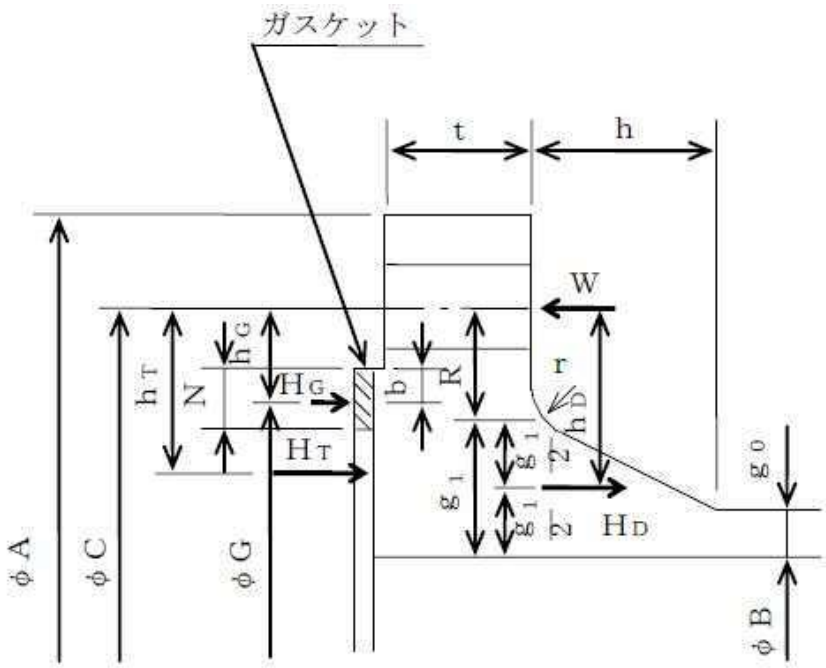
ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために，ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	－
L	L	係数$\left(=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	－
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N･mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント （駆動部の偏心荷重によるモーメント）	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	－
	P	最高使用圧力	MPa
	P_{eq}	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
V	V	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	－
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	－
π	π	円周率	－

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表７に定める許容引張応力	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表７に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表５に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表５に定める許容引張応力	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	－
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	－

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　算式



（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2　b)　7)）

注１：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注２：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図 2-1　一体形フランジ

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a)　$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b)　$b_o > 6.35$mm の場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで,

$$b_o = N / 2$$

b.　フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1}=H+H_P$

$H=\frac{\pi}{4}\cdot G^2\cdot P_{FD}$

$H_P=2\cdot\pi\cdot b\cdot G\cdot m\cdot P_{FD}$

(b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2}=\pi\cdot b\cdot G\cdot y$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1}=\frac{W_{m1}}{\sigma_b}$ （使用状態）

$A_{m2}=\frac{W_{m2}}{\sigma_a}$ （ガスケット締付時）

$A_m=\mathrm{Max}(A_{m1},\ A_{m2})$

$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d_b{}^2\cdot n$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o=W_{m1}$ （使用状態）

$W_g=\frac{A_m+A_b}{2}\cdot\sigma_a$ （ガスケット締付時）

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$H_D=\frac{\pi}{4}\cdot B^2\cdot P_{FD}$

$H_G=W_o-H$

$H_T=H-H_D$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R+0.5\cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$

ただし，$R=\frac{C-B}{2}-g_1$

注記 ＊：クラス２弁には，一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$M_D = H_D \cdot h_D$

$M_G = H_G \cdot h_G$

$M_T = H_T \cdot h_T$

$M_o = M_D + M_G + M_T$

i. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_0} \quad {}^{*1,\ *2}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B} \quad {}^{*2}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^{\,2}$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

注記 ＊１：設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。ＪＩＳ Ｂ ８２６５の計算式に一次膜応力を加えたものである。

＊２：$B < 20 \cdot g_1$のときは，σ_{Ho}及びσ_{Hg}の計算式のＢの代わりにB_1を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積

$A_b > A_m$

b. ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

c. フランジの半径方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

d. フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.4.2　全面座フランジ

設計・建設規格 VVC-3310 を適用する。

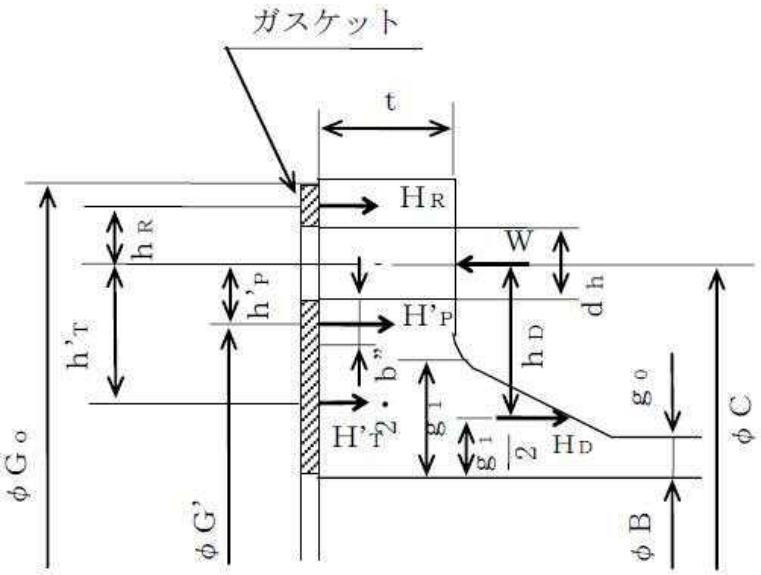
(1)　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
b'_o	b'_o	G_o-C，ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
b'	b'	$4\cdot\sqrt{b'_o}$，ガスケット締付時におけるガスケット座の有効幅	mm
$2b''$	$2\cdot b''$	使用状態におけるガスケット座の有効幅 $2\cdot b''=5mm$	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d_h	d_h	ボルト穴の直径	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
G'	G'	$C-(d_h+2\cdot b'')$，ガスケット圧縮力H'_Pの位置の直径	mm
G_0	G_o	ガスケット外径とフランジ外径の小さい方の値	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H'	H'	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H'_P	H'_P	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	N
H'_T	H'_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
H_R	H_R	平衡反力	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h'_P	h'_P	ボルト穴の中心円からH'_P作用点までの半径方向の距離	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
h'_T	h'_T	ボルトの中心円からH'_T作用点までの半径方向の距離	mm
h_R	h_R	ボルトの中心円からH_R作用点までの半径方向の距離	mm
m	m	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
M_o	M_o	H_R・h_R，使用状態でフランジに作用する全モーメント	N･mm
n	n	ボルトの本数	－
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
t	$t_{f\ell}$	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
π	π	円周率	－
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める許容引張応力	MPa*

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　算式



（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書４　図1）

注１：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注２：Wは，W_{m1}及びW_{m2}のボルト荷重を表す。

図 2-2　全面座フランジ

a.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1}=H'+H'_P+H_R$$

$$H'=\frac{\pi}{4}\cdot(C-d_h)^2\cdot P_{FD}$$

$$H'_P=2\cdot\pi\cdot b''\cdot G'\cdot m\cdot P_{FD}$$

$$H_R=\frac{H_D\cdot h_D+H'_T\cdot h'_T+H'_P\cdot h'_P}{h_R}$$

$$H_D=\frac{\pi}{4}\cdot B^2\cdot P_{FD}$$

$$h_D=\frac{(C-B)}{2}-0.5\cdot g_1$$

$$H'_T=H'-H_D$$

$$h'_T=\frac{(C+d_h+2\cdot b'')-B}{4}$$

$$h'_P=\frac{d_h+2\cdot b''}{2}$$

$$h_R=\frac{G_0-(C+d_h)}{4}+\frac{d_h}{2}$$

(b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$

b. ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad \text{（使用状態）}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad \text{（ガスケット締付時）}$$

$A_m = \mathrm{Max}(A_{m1}, A_{m2})$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^{\,2} \cdot n$$

c. フランジの計算厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_o}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot d_h)}}$$

(3) 評価

全面座フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

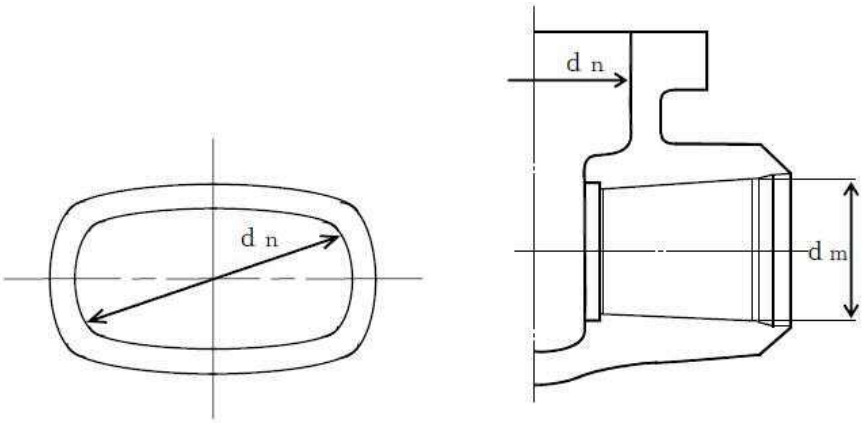
a. ボルトの総有効断面積

$A_b > A_m$

b. フランジの厚さ

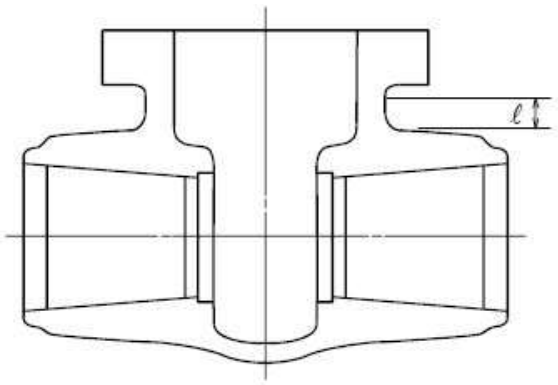
$t_{f\ell} \geqq t$

3.　添付図



注：本図は設計・建設規格　VVB-3210 の解説図 VVB-3210-3 と同じ。

図 3-1　d_m及びd_nを明示した図



ℓの範囲は，ネック部と流路部の交わる部分を基点として
ネック部方向にとるものとする。

注：本図は設計・建設規格　VVC-3210 の図 VVC-3210-1 と同じ。

図 3-2　ネック部のℓの範囲

4. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス２弁の材料について，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）施行前に工事着手又は完成したものであって設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価については，以下の方針にしたがって，重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格においてクラス２弁に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は，機械的強度及び化学的成分について，使用材料とクラス２弁に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については，使用材料と比較対象となるクラス２弁に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に規定されている機械的性質のうち，機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。表 4-1「機械的強度における評価項目の選定結果」に選定結果を示す。

表 4-1　機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ 降伏点 又は耐力	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２弁の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の差異の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス２弁は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２弁については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２弁は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工性など成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２弁は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料の靭性の評価に用いられる値であるが，靭性については「(2)　破壊靭性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐摩耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記　＊：ＪＩＳ等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b)　機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２弁に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b.　化学的成分

(a)　評価項目の選定

化学的成分の評価項目は，使用材料と比較対象となるクラス２弁に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に記載されている化学的成分とする。

(b)　化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２弁に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い，化学的成分規定値に差異があった場合は，化学的成分ごとの影響を確認し，使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは，求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお，各化学的成分の影響については，表 4-2「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 4-2　化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	－	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，材料の機械的性質である引張強さ，降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	－	－	－	－	－	－	－	向上	－	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，高温域（設計・建設規格　PVB-3312）で使用されないことを確認する。
溶接性		低下	－	－	－	－	－	－	－	－	－	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，溶接規格*にて定められた数値 0.35%以下であることを確認する。
靭性		低下	－	向上	低下	低下	－	向上	－	－	－	靭性については，「(2) 破壊靭性」において確認する。なお，靭性に影響を及ぼす不純物である P，S の化学的成分に差異がある場合は,成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	－	－	－	－	－	向上	向上	－	－	耐食性のうち，応力腐食割れに影響を与える化学的成分には，C，Ni，Cr があるが，Ni，Cr については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから，悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える化学的成分に差異がある場合は，悪影響を与える差異が無いことを確認する。なお，耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	－	－	－	－	－	向上	向上	向上	向上	向上	

注：表中は化学的成分を添加した場合の影響を示す。

注記　＊：「溶接規格」とは，発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＢ１－2007）（日本機械学会　2007 年）をいう。

(2)　破壊靭性

a.　破壊靭性試験不要となる材料の規定

破壊靭性については，設計・建設規格に規定されている破壊靭性試験不要となる材料 の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊靭性試験不要となる材料の規定*

・厚さが 16mm 未満の材料
・断面積が 625mm^2 未満の棒の材料
・呼び径が 25mm 未満のボルト等の材料
・外径が 169mm 未満の管の材料
・厚さが 16mm または外径が 169mm 未満の管に接続する弁の材料
・オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金

注記　＊：クラス２弁の除外規定（設計・建設規格　VVC-2310）を記載している。

b.　破壊靭性の確認

破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当しない弁の破壊靭性については，施設時の要求を考慮し，以下のとおりとする。

(a)　施設時に破壊靭性が要求されていた弁

該当弁は，施設時の規格の要求に基づき十分な破壊靭性を有していることを確認している。また，材料の破壊靭性値は，一般的に温度が低くなるにつれて低下することから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b)　施設時に破壊靭性が要求されていなかった弁

対象弁は，技術基準規則で規定している機器クラスのうち，クラス３弁（工学的安全施設を除く。）及び Non クラス*に該当する弁であり，施設時における破壊靭性に対する要求がないことから，材料の靭性は確認されていないが，設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで，使用条件下での脆性破壊に対する靭性は同じであるとみなせることから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記　＊：技術基準規則第 2 条第 2 項第 32 号，第 33 号に規定する「クラス１弁」及び「クラス２弁」並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の弁

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される弁においては気象観測記録における最低温度である-12.7 ℃，屋内に設置される弁においては建屋の最低温度である 4.4 ℃，海水又は海水により冷却される原子炉補機冷却水と接する弁は海水の最低温度である 7.0 ℃，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁については，21 ℃がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される弁の最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値と変わらない。屋内に施設される弁のうち，重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を下回ることはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する弁については，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることはない。また，屋内に施設される弁のうち，重大事故等時において通水される内部流体が海水の場合は，最低海水温度が 7.0 ℃であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を有意に下回ることはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていた弁において，材料の破壊靭性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない弁については，施設時に確認した破壊靭性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊靭性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る弁については，使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていなかった弁において，設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し，使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス２弁に属する鋳造品については，非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に，非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで，材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

別添１　弁の強度計算のフォーマット

○○○○　弁の強度計算書

まえがき

本計算書は，「付録11　弁の強度計算書の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき計算した結果を表にまとめて示すものである。

なお，本計算書においては，基本方針で定義された記号を使用する。

クラス１弁

目次

1. 設計仕様.....
2. 強度計算書.....

1. 設計仕様

系統： ＲＨＲ

機器の区分		クラス１弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト
F005B, C	止め弁	250	SCPL1	SCPL1	SCPL1	SNB7
F006B, C	逆止め弁	250	SCPL1	GLF2	GLF2	SNB7
F010A, B, C	止め弁	350	SCPL1	SCPL1	SCPL1	SNB7
F011A, B, C	止め弁	350	SCPL1	SCPL1	SCPL1	SNB7

2. 強度計算書

系統： ＲＨＲ

弁番号	F005B, C	シート	1

設計条件			一次＋二次応力	
最高使用圧力Ｐ (MPa)		8.62	t_e (mm)	
最高使用温度T_m (℃)		302	T_{e1} (mm)	
接続管材料		SFVC2B	r_i (mm)	
接続管外径 (mm)			θ (°)	
接続管内径 (mm)			K	
添付図番号	図3－1	(5)	P_e (MPa)	
	図3－2	(2)	$\alpha \times 10^6$ (mm/mm℃)	
	図3－3	(1), (2)	E (MPa)	
一次応力			C_2	
			ΔＴ (℃)	
P_1 (MPa)			C_4	
P_2 (MPa)			ΔP_{fm} (MPa)	
P_{r1} (MPa)			ΔT_{fm} (℃)	
P_s (MPa)			S_n (1) (MPa)	
d (mm)			S_n (2) (MPa)	
T_b (mm)			3・S_m (MPa)	
T_r (mm)			評価： S_n (1) ≦3・S_m S_n (2) ≦3・S_m よって十分である。	
L_A (mm)				
L_N (mm)				
A_f (mm²)		×10⁴		
A_m (mm²)		×10⁴	一次局部応力	
r_1 (mm)				
S (MPa)			S (MPa)	
S_m (MPa)			2.25・S_m (MPa)	
評価： S≦S_m よって十分である。			評価： S≦2.25・S_m よって十分である。	
配管反力による応力			起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ	
Ａ－Ａ断面の弁外径 (mm)			C_3	
A_1 (mm²)		×10³	Q_T (MPa)	
A_2 (mm²)		×10⁴	S_ℓ (1) (MPa)	
C_b			S_ℓ (2) (MPa)	
Z_1 (mm³)		×10⁵	E_m (MPa)	
Z_2 (mm³)		×10⁶	N (1)	
Z_p (mm³)		×10⁶	N (2)	
S_y (MPa)			評価： N (1) ≧2000 N (2) ≧2000 よって十分である。	
P_d (MPa)				
P_b (MPa)				
P_t (MPa)				
1.5・S_m (MPa)				
評価： P_d≦1.5・S_m P_b≦1.5・S_m P_t≦1.5・S_m よって十分である。				

系統：　RHR

弁番号	F005B, C	シート	2

繰返しピーク応力強さ（疲れ累積係数）

q	A_o	B_o	C_5	S_n (MPa)	$3・S_m$ (MPa)	

ΔT_f (℃)	S_p (MPa)	K_e	S_ℓ (MPa)	N_i	N_{ri}	$N_i／N_{ri}$

評価：疲れ累積係数　$I_t = \sum \frac{N_i}{N_{ri}} =$　0.0908≦1

よって十分である。

形状規定			弁体の一次応力		
r_1	(mm)		材料		SCPL1
r_2	(mm)		形式		
0.3・t	(mm)		P	(MPa)	8.62
0.05・t	(mm)		P_c（P_1, P_2）	(N)	$\times 10^5$
0.1・h	(mm)		h	(mm)	
$d_n／d_m$			a	(mm)	
			b	(mm)	
			σ_D	(MPa)	
			1.5・S_m	(MPa)	

評価：$r_1 \geqq 0.3・t$

$r_2 \geqq$ Max（0.05・t, 0.1・h）

$\frac{d_n}{d_m} < 2$

よって十分である。

評価：$\sigma_D \leqq 1.5・S_m$

よって十分である。

NT2 補① 付録 11 R0

系統：　ＲＨＲ

弁番号	F005B, C	シート	3

弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ		
d_m	(mm)	
t_1	(mm)	
t_2	(mm)	
t	(mm)	
d_n	(mm)	
d_n / d_m		
t_m	(mm)	
t_{ab}	(mm)	
t_{af}	(mm)	
t_{ma}	(mm)	

評価：$t_{ab} \geqq t$

$t_{af} \geqq t$

$t_{ma} \geqq t_m$

よって十分である。

系統：　ＲＨＲ

弁番号	F005B, C	シート	4

フランジ及びフランジボルトの応力解析

設計条件			モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)			H_D (N)	$\times 10^5$
P_{eq} (MPa)			h_D (mm)	
T_m (℃)	302		M_D (N･mm)	$\times 10^7$
M_e (N･mm)	$\times 10^6$		H_G (N)	$\times 10^5$
F_e (N)			h_G (mm)	
フランジの形式	ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　b）7）		M_G (N･mm)	$\times 10^7$
フランジ			H_T (N)	$\times 10^5$
材料	SCPL1		h_T (mm)	
σ_{fa} (MPa) 常温（ガスケット締付時）（20℃）			M_T (N･mm)	$\times 10^7$
			M_o (N･mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度（使用状態）			M_g (N･mm)	$\times 10^8$
			フランジの厚さと係数	
A (mm)			t (mm)	
B (mm)			K	
C (mm)			h_o (mm)	
g_0 (mm)			f	
g_1 (mm)			F	
h (mm)			V	
ボルト			e (mm^{-1})	
材料	SMB7　（径≦63 mm）		d (mm^3)	
σ_a (MPa) 常温（ガスケット締付時）（20℃）			L	
			T	
σ_b (MPa) 最高使用温度（使用状態）			U	
			Y	
n			Z	
d_b (mm)			応力の計算	
ガスケット			σ_{Ho} (MPa)	
材料	SUS-NON-ASBESTOS		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)			σ_{To} (MPa)	
G (mm)			σ_{Hg} (MPa)	
m			σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm^2)			σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)				
b (mm)			応力の評価：$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
N (mm)			$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
G_s (mm)			$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
ボルトの計算				
H (N)	$\times 10^6$		$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
H_p (N)	$\times 10^5$		$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
W_{m1} (N)	$\times 10^6$		$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
W_{m2} (N)	$\times 10^5$			
A_{m1} (mm^2)	$\times 10^3$		よって十分である。	
A_{m2} (mm^2)	$\times 10^3$			
A_m (mm^2)	$\times 10^3$			
A_b (mm^2)	$\times 10^4$			
W_o (N)	$\times 10^6$			
W_s (N)	$\times 10^6$			
評価：$A_m < A_b$ よって十分である。				

系統：　ＲＨＲ

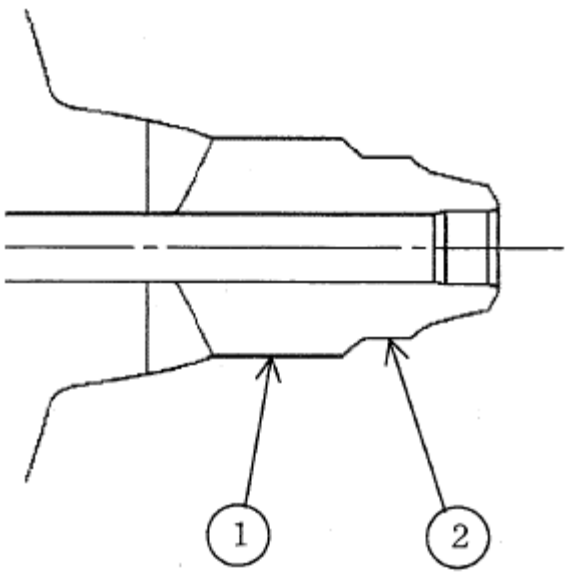
弁番号	F005B, C	シート	5

管台の厚さ

Ｎｏ.	最高使用圧力 Ｐ (MPa)	最高使用温度 T_m (℃)	外径 D_o (mm)	公称厚さ t_{no} (mm)	材料	Ｓ (MPa)	η	ｔ (mm)	t_{br} (mm)
1	8.62	302			GLF2				
2	8.62	302			GLF2				

評価：$t_{br} \geqq t$

よって十分である。



管台の形状

クラス１弁

外径 115㎜ 以下の管に接続される弁は，以下の計算を省略する。

・弁箱の応力解析

・弁体の応力解析

・フランジの応力計算

目次

1. 設計仕様.....
2. 強度計算書.....

1. 設計仕様

系統： ＳＬＣ

機器の区分		クラス１弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト
F007	逆止め弁	40	SCS16A	SUSF316L	SUSF316L	SNB7
F008	逆止め弁	40	SCS16A	SUSF316L	SUSF316L	SNB7

2. 強度計算書

系統： ＳＬＣ

弁番号	F007, 8	シート	1

設計条件		
最高使用圧力Ｐ	(MPa)	8.62
最高使用温度T_m	(℃)	302
弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ		
P_1	(MPa)	8.43
P_2	(MPa)	14.06
d_m	(mm)	38.0
t_1	(mm)	7.3
t_2	(mm)	10.1
t	(mm)	7.4
d_n	(mm)	80.0
d_n / d_m		2.11
t_m	(mm)	8.9
t_{ab}	(mm)	15.0
t_{af}	(mm)	45.0
t_{ma}	(mm)	15.0

評価：$t_{ab} \geqq t$

$t_{af} \geqq t$

$t_{ma} \geqq t_m$

よって十分である。

NT2 補① 付録 11 R0

重大事故等クラス２弁

目次

1. 設計仕様.....
2. 強度計算書.....

1. 設計仕様

系統：ABCD

機器の区分		重大事故等クラス２弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
F001	止め弁	80	SCS13A	SCS13A	SNB7

2. 強度計算書

系統：ABCD

弁番号	F001	シート	1

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力P (MPa)	0.93	d_n (mm)	106.0
最高使用温度T_m (℃)	200	d_n / d_m	1.42
弁箱又は弁ふたの厚さ		ℓ (mm)	22.6
P_1 (MPa)	—	t_{m1} (mm)	5.6
P_2 (MPa)	—	t_{m2} (mm)	5.3
d_m (mm)	75.0	t_{ma1} (mm)	11.5
t_1 (mm)	—	t_{ma2} (mm)	11.5
t_2 (mm)	—	評価：$t_{ma1} \geqq t_{m1}$ $t_{ma2} \geqq t_{m2}$ よって十分である。	
t (mm)	5.6		
t_{ab} (mm)	10.0		
t_{af} (mm)	10.0		
評価：$t_{ab} \geqq t$ $t_{af} \geqq t$ よって十分である。			

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価結果例

3. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

弁番号Ｆ001（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

（材料記号を記載）

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	370 N/mm²以上	215 N/mm²以上	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	370 N/mm²以上	215 N/mm²以上	

(2) 化学的成分

	化学成分（%）									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.25 以下	0.35 以下	0.30 ～ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	－	－	－	－	－
比較材料	0.25 以下	0.10 ～ 0.35	0.30 ～ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	－	－	－	－	－
比較結果	Si，P，Sの成分規定に差異があるが，以下により，本設備の環境下での使用は問題ないと考える。 Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが，(1)の評価結果からも機械強度は同等以上であること。 P ：冷間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は，薄肉（16 mm未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。 S ：熱間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は，薄肉（16 mm未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。									

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により，機械的強度，化学成分，いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため，本設備において，△△△△を重大事故等クラス２材料として使用することに問題ないと考える。

（材料記号を記載）

付録 12　容器の強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 1
1.1 概要 1
1.2 適用規格及び基準との適合性 1
1.3 強度計算書の構成とその見方 6
1.4 計算精度と数値の丸め方 7
1.5 材料の表示方法 9
2. 強度計算書の計算式と記号 10
2.1 共通記号 10
2.2 円筒形の胴の計算 12
2.3 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算 13
2.4 さら形鏡板の計算 15
2.5 全半球形鏡板の計算 17
2.6 半だ円形鏡板の計算 19
2.7 容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算 21
2.8 円形平板の計算 23
2.9 容器の管板の計算 37
2.10 容器の管台の計算 39
2.11 開放タンクの胴の計算 41
2.12 開放タンクの底板の計算 43
2.13 開放タンクの管台の計算 45
2.14 熱交換器の伝熱管の計算 46
3. 穴の補強計算 47
3.1 記号の説明 47
3.2 容器の穴の補強計算 52
3.3 開放タンクの胴の穴の補強計算 76
3.4 開放タンクの鏡板の穴の補強計算 76
3.5 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算 77
4. フランジの強度計算 116
4.1 記号の説明 116
4.2 フランジの計算 120
5. 支持構造物の強度計算 128
6. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価 128

1.　一般事項

1.1　概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうち重大事故等クラス２容器及びクラス３容器の強度計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，昭和 45 年通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第５０１号」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007）　（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

告示第５０１号各条項及び設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は，表 1-1 に示すとおりである。

(2)　設計・建設規格に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は表 1-2 に示す通りである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格　別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PVC-3700,PVD-3010）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３９（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」

c.　ＡＳＭＥ　Ｂ１６．５（1996）「PIPE FLANGES AND FLANGED FITTINGS」

表 1-1　設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格　規格番号 告示５０１号　条項	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
（重大事故等クラス２容器）		
PVC-3100（容器の胴の規定）		
PVC-3121	2.2	円筒形の胴の計算
PVC-3122(1)		
PVC-3150(2)	2.3	容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3160	3.2	容器の穴の補強計算
PVC-3162	3.5	2 つ以上の穴が接近しているときの補強計算
PVC-3200（容器の鏡板についての規定）		
PVC-3210(1)	2.4	さら形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3221		
PVC-3210(2)	2.5	全半球形鏡板の計算
PVC-3223(1)		
PVC-3210(3)	2.6	半だ円形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3225		
PVC-3230(2)	2.7	容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3240	3.2	容器の穴の補強計算
第 33 条（容器の平板についての規定）		
第 1 項		円形平板の計算
PVC-3300（容器の平板についての規定）		
PVC-3310	2.8	円形平板の計算
PVC-3320		
PVC-3320(2)	3.2	容器の穴の補強計算

設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
PVC-3500（容器の管板についての規定） PVC-3510	2.9	容器の管板の計算
PVC-3600（管台についての規定） PVC-3610 PVC-3610(1) PVC-3610(2)	2.10 2.14	容器の管台の計算 熱交換器の伝熱管の計算
PVC-3900（開放タンクについての規定） PVC-3920 PVC-3940 PVC-3950 PVC-3960 PVC-3970 PVC-3980	2.11 3.3 2.12 2.13	開放タンクの胴の計算 開放タンクの胴の穴の補強計算 開放タンクの底板の計算 開放タンクの管台の計算
（クラス３容器） PVD-3010 （クラス２容器の規定を準用する項の規定） PVD-3100（容器の胴の規定） 準用 PVC-3121 PVC-3122(1) PVD-3122 準用 PVC-3160 PVC-3162	 2.2 2.3 3.2 3.5	 円筒形の胴の計算 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算 容器の穴の補強計算 ２つ以上の穴が接近しているときの補強計算

設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
PVD-3200（容器の鏡板についての規定） 準用 PVC-3210(1) PVC-3220 PVC-3221	2.4	さら形鏡板の計算
PVC-3210(2) PVC-3223(1)	2.5	全半球形鏡板の計算
PVC-3210(3) PVC-3220 PVC-3225	2.6	半だ円形板の計算
PVD-3212	2.7	容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算
PVD-3220	3.2	容器の穴の補強計算
PVD-3300（容器の平板についての規定） PVD-3310 PVD-3320	2.8	円形平板の計算
PVD-3322	3.2	容器の穴の補強計算
（容器の管板についての規定） 準用 PVC-3510	2.9	容器の管板の計算
（管台についての規定） 準用 PVC-3610 PVC-3610(1) PVC-3610(2)	2.10 2.14	容器の管台の計算 熱交換器の伝熱管の計算

設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
PVD-3500（開放タンクについての規定）		
準用		
PVC-3920	2.11	開放タンクの胴の計算
PVD-3510	3.3	開放タンクの胴の穴の補強計算
準用		
PVC-3950	2.12	開放タンクの底板の計算
PVC-3960		
PVC-3970	2.13	開放タンクの管台の計算
PVC-3980		
使用		
PVD-3220	3.4	開放タンクの鏡板の穴の補強計算
PVD-3512		

表 1-2　ＪＩＳと補強計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」附属書 3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	3 4 5	4	フランジ強度計算*1
ＪＩＳ　Ｂ　８２０１（2005）「陸用鋼製ボイラー構造」	6.6.8	5	だ円形マンホール平板の計算*2
ＪＩＳ　Ｂ　８２８６（2005）「圧力容器用のぞき窓」	5	6	のぞき窓用のガラスの計算*3
		7	のぞき窓用の合成樹脂の計算*3

注記　＊１：　設計・建設規格 PVC-3710によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

＊２：　ＪＩＳ　Ｂ　８２０１（2005）「陸用鋼製ボイラー構造」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２０１」という。）を用いて計算を行う。

＊３：　ＪＩＳ　Ｂ　８２８６（2005）「圧力容器用のぞき窓」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２８６」という。）を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は本基本方針と各容器の強度計算書から成る。

(2)　各容器の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	最高使用圧力 （開放タンクを除く）	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
	最高使用圧力 （開放タンク）	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	外面に受ける 最高の圧力	MPa	－	－	小数点以下第 2 位
温度		℃	－	－	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
降伏点*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm m*2	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
	開放タンクの水頭及び 管台の内径	m	小数点以下第 5 位	四捨五入	小数点以下第 4 位
	ガスケット厚さ	mm	－	－	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
角度		°	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
比重		－	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
慣性モーメント		mm^4	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁

注記　＊１：設計・建設規格　付録材料図表及び告示第５０１号　別表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。（告示第５０１号は非SI単位をSI単位に換算する。）ただし，許容引張応力及び設計降伏点が設計・建設規格　付録材料図表及び告示第５０１号　別表に定められた値のａ倍である場合は，次のようにして定める。

(1)　比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て，小数点以下第1位までの値をａ倍する。

(2)　(1)で得られた値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊２：開放タンクの胴内径

＊３：絶対値が1,000以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は次のように表示する。

相当材記号　　相当　（当該材記号）

（例 1）　SM400A　　相当　（SMA400AP）

（例 2）　SCMV3-1　　相当　（ASME　SA387　Gr.11C1.1）

(2)　管材の許容引張応力の値は継目無管，電気抵抗溶接管及び鍛接管等，製造方法により異なる場合があるため材料記号の後に“－”を入れ，その製法による記号を付記して表示する。

（例）STPT410-S（継目無管の場合）

(3)　強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記して表示する。

（例）

設計・建設規格の表示		計算書の表示
SCMV3	付録材料図表 Part5　表 5 の許容引張応力の上段	SCMV3-1
SCMV3	付録材料図表 Part5　表 5 の許容引張応力の下段	SCMV3-2

(4)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）S45C（直径 40mm 以下）

(5)　熱処理によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳに定める熱処理記号を付記して表示する。

（例）SUS630　H1075（固溶化熱処理後 570～590℃空冷の場合）

(6)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

（例）非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガスケット（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガスケット係数m及びガスケットの最小設計締付圧力ｙは，ＪＩＳＢ　８２６５　附属書3　表2　備考3より，ガスケットメーカ推奨値を適用する。

2.　強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうち重大事故等クラス２容器及びクラス３容器の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1　共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格又は告示第５０１号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
Ｓｙ	Ｓｙ	材料の設計降伏点 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８による。	MPa
η	η	継手の効率 クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3130，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3110 に規定している継手の種類に応じた効率を使用する。設計・建設規格 PVC-3140 に規定している連続した穴がある場合における当該部分の効率については該当するものがないので強度計算書には記載しない。	－
	継手の種類		
	継手無し	同左	－
	突合せ両側溶接	同左	－
	裏当金（取り除く。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る。）並びにこれと同等以上の効果が得られる方法による溶接	－
	裏当金（取り除かず。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接(溶接後裏当金を取り除いたものを除く。）	－

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	裏当金を使用しない突合せ片側溶接	同左	－
	両側全厚すみ肉重ね溶接	同左	－
	プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	－
	プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	－
	放射線検査の有無		
	有り	発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥＳ　ＮＢ１－2001）（日本機械学会　2001年）N-3140及びN-4140（N-1100(1)a準用）の規定に準じて放射線透過試験を行い，同規格の規定に適合するもの	－
	無し	その他のもの	－

2.2　円筒形の胴の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3121，PVC-3122(1)，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3121，PVC-3122(1)準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
t	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm

(2)　算式

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては 3mm，その他の材料で作られたものにあっては 1.5mm とする。

b.　内面に圧力を受ける胴：t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

(3)　評価

胴の最小厚さ（t_s）≧胴に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.3　容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3150(2)，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3122 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D	穴の中心における胴の外径	mm
	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数　ただしK≦0.99	－
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
η	η	穴が長手継手を通る場合はその継手の効率，その他の場合は 1.00	－

(2)　算式

胴の補強を要しない穴の最大径は，次の a 項及び b 項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

a.　穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_s}{4}$$

b.　穴の径が 200mm 以下で，かつ，クラス２容器は設計・建設規格　図 PVC-3150-1 及び PVC-3150-2 に，クラス３容器は設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_s\cdot(1-K)}$$

Kは，次の式により計算した値で，K＞0.99 のときは，K＝0.99 とする。

(a)　円筒形の場合

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82\cdot S\cdot\eta\cdot t_s}$$

(3) 評価

穴の径＞補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は，穴の補強計算を行わない。

2.4　さら形鏡板の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3210(1)，PVC-3220 及び，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3210(1)，PVC-3220 及び PVC-3221 準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
	D_{oc}	鏡板の外径	mm
R	R	鏡板の中央部における内面の半径	mm
r	r	鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_C	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{CO}	鏡板の呼び厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	－

(2)　形状の制限

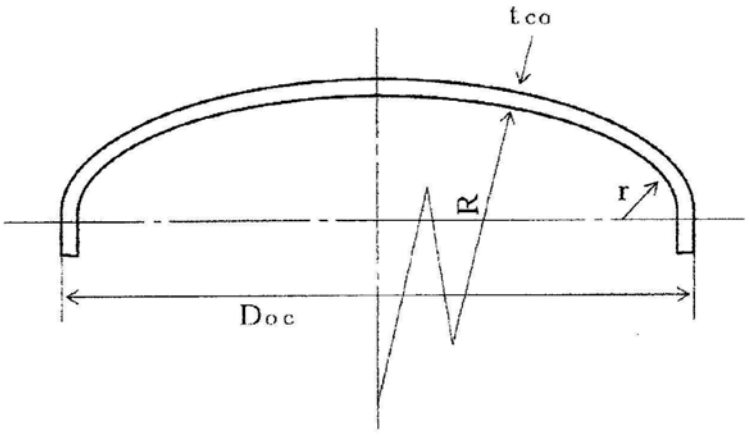


図 2-1　さら形鏡板の形状

$D_{OC} \geqq R$，$r \geqq 3 \cdot t_{CO}$，$r \geqq 0.06 \cdot D_{OC}$，$r \geqq 50mm$　であること。

(3) 算式

さら形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

(a) フランジ部：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta -1.2\cdot P}$$

(b) 鏡板：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot R\cdot W}{2\cdot S\cdot \eta -0.2\cdot P}$$

ただし，$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{R}{r}}\right)$

(4) 評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.5　全半球形鏡板の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3210(2)，PVC-3220 及び PVC-3223(1)，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格 PVC-3210(2)，PVC-3220 及び PVC-3223(1)準用）を適用する。

(1)　フランジ部を有する場合

a.　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
R	R	鏡板の内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

b.　形状

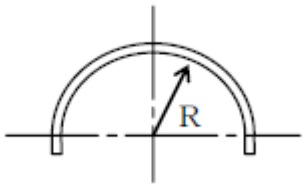


図 2-2　全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c.　算式

全半球形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a)　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

イ．　フランジ部：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

ロ.　鏡板：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot R}{2\cdot S\cdot\eta-0.2\cdot P}$$

d.　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

(2)　フランジ部を有しない場合

a.　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
R	R	鏡板の内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

b.　形状

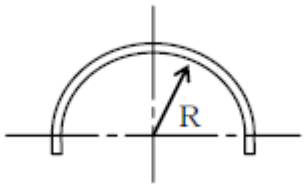


図 2-3　全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c.　算式

全半球形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a)　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot R}{2\cdot S\cdot\eta-0.2\cdot P}$$

d.　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.6　半だ円形鏡板の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3210(3)，PVC-3220及びPVC-3225，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格PVC-3210(3)，PVC-3220及びPVC-3225準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
D	D_{iL}	鏡板の内面における長径	mm
h	h	鏡板の内面における短径の２分の１	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	－
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表５又は表６による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

(2)　形状の制限

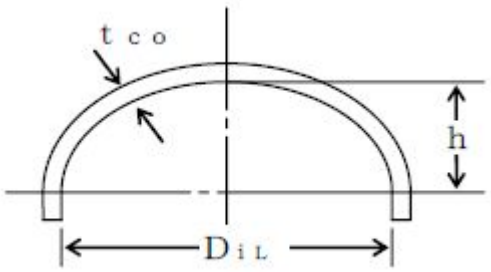


図 2-4　半だ円形鏡板の形状

$\frac{D_{iL}}{2 \cdot h} \leqq 2$ であること。

(3) 算式

半だ円形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

(a) フランジ部：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta -1.2\cdot P}$$

(b) 鏡板：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_{iL}\cdot K}{2\cdot S\cdot \eta -0.2\cdot P}$$

ただし，$K=\frac{1}{6}\cdot\left\{2+\left(\frac{D_{iL}}{2\cdot h}\right)^2\right\}$

(4) 評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.7　容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3230(2)，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3212 を適用する。

注：鏡板にフランジを折り込んだ穴を設ける場合は該当する容器がないので記載しない。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D	鏡板のフランジ部の外径。だたし円すい形鏡板にあっては，円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の外径	mm
	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数　ただしK≦0.99	－
	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
η	η	穴が継手を通る場合はその継手の効率。その他の場合は1.00	－

(2)　算式

鏡板の補強を要しない穴の最大径は，次のａ項及びｂ項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

a.　穴の径が61mm以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_c}{4}$$

b.　穴の径が200mm以下で，かつ，クラス２容器は，設計・建設規格　図PVC-3150-1及び図PVC-3150-2に，クラス３容器は，設計・建設規格　図PVD-3122-1及び図PVD-3122-2により求めた値以下の穴

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_c\cdot(1-K)}$$

Ｋは，次の式により計算した値で，Ｋ＞0.99のときは，Ｋ＝0.99とする。

(a)　さら形鏡板及び半だ円形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

(b)　全半球形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{3.64 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

(3)　評価

穴の径＞補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は，穴の補強計算を行わない。

2.8　円形平板の計算

重大事故等クラス２容器については告示第５０１号　第 33 条　第 1 項又は設計・建設規格 PVC-3310 及び PVC-3320，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3310 及び PVD-3320 を適用する。

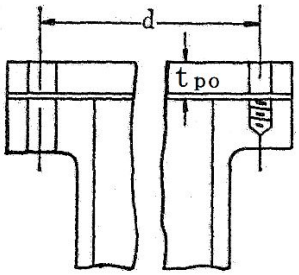
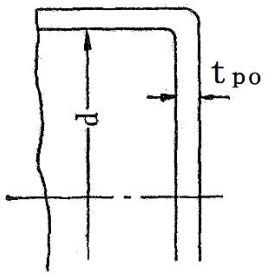
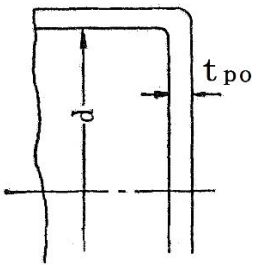
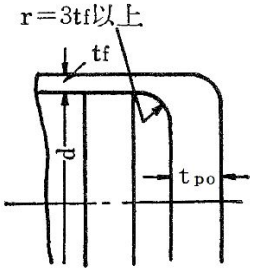
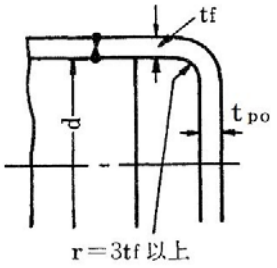
(1)　記号の説明

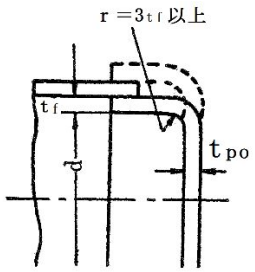
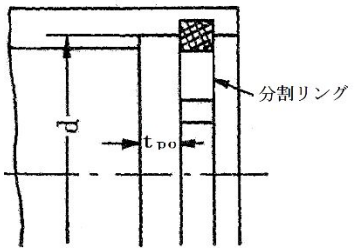
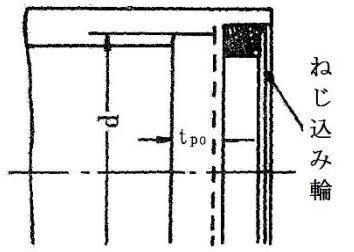
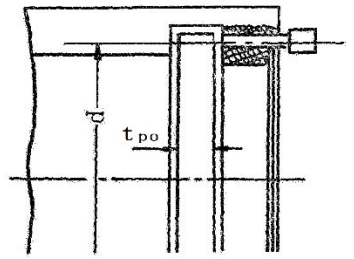
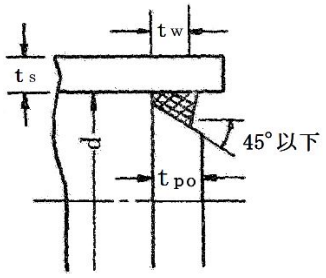
告示第５０１号又は設計・建設規格，ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_O	b_O	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3　表 3 による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d，G	d	クラス２容器は告示第５０１号　第 33 条第 1 項に記載される表，設計・建設規格　表 PVC-3310-1，クラス３容器は設計・建設規格　表 PVD-3310-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり（ガスケットの場合ｄ＝Ｇ）	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	d_h	平板の断面に現れる穴の径（だ円穴の場合は長径）	mm
D_g	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_g	h_g	モーメントアームでボルトのピッチ円の直径とｄとの差の２分の１	mm
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	－
ℓ	ℓ	フランジ部の長さ	mm
m	m	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3　表 2 による。）	－

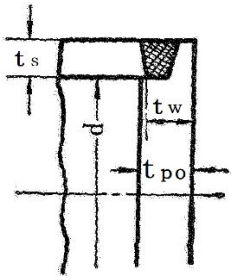
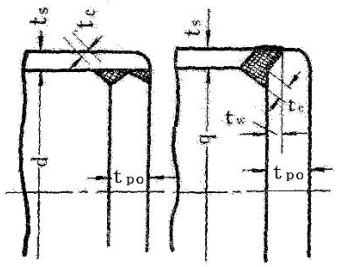
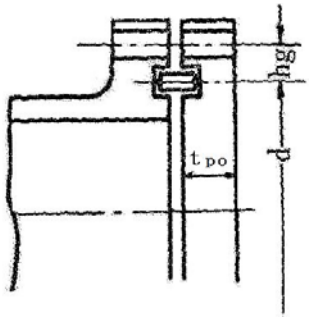
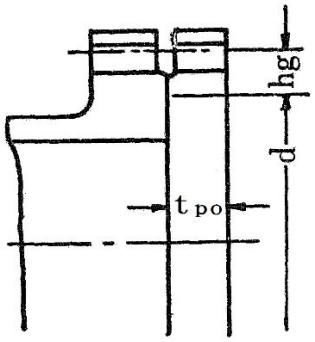
告示第５０１号又は設計・建設規格，ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第4又は別表第5，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第1又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 告示第５０１号　別表第1又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	胴又は管の最小厚さ	mm
t_r	t_{sr}	胴又は管の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_w	t_w	設計・建設規格　表PVC-3310-1及び表PVD-3310-1による。	mm
t_{w1}	t_{w1}	設計・建設規格　表PVC-3310-1及び表PVD-3310-1による。	mm
t_{w2}	t_{w2}	設計・建設規格　表PVC-3310-1及び表PVD-3310-1による。	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N

告示第５０１号又は設計・建設規格，ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_O	W_O	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力　（ＪＩＳ　Ｂ８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
π	π	円周率	－
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	ガスケット座面の形状	ガスケット座面の形状（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	－

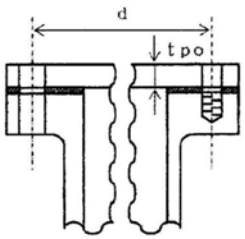
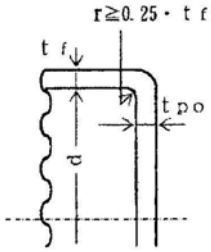
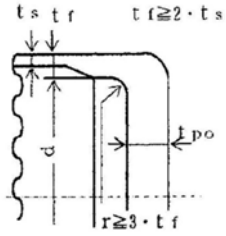
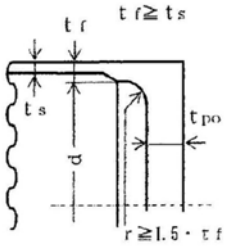
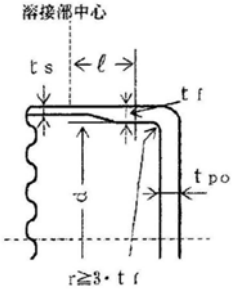
(2)-1　形状の制限（告示第５０１号）

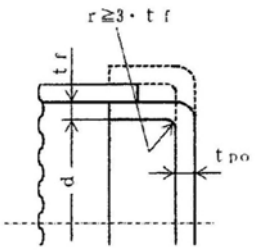
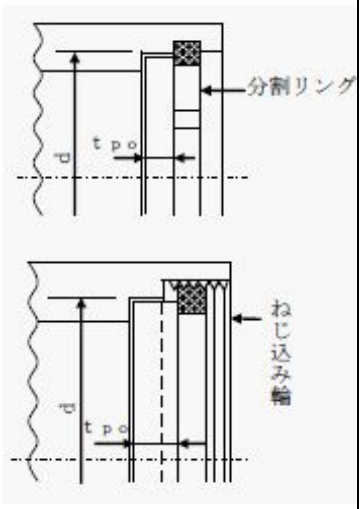
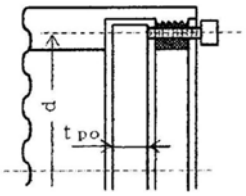
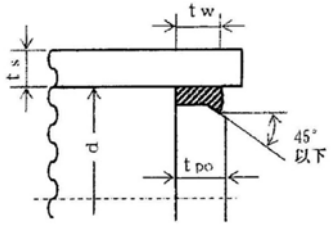
取付け方法 第33条第1項		形状の制限
（ａ）		無し
（ｂ）		d ≦600 mm, t_{po} ≧ d／20 であること。
（ｃ）		d ≦600 mm, t_{po} ≧ d／20 であること。
（ｄ）		r ≧3・t_f であること。
（ｅ）		d ≦600 mm, t_{po} ≧ d／20, r ≧3・t_f であること。

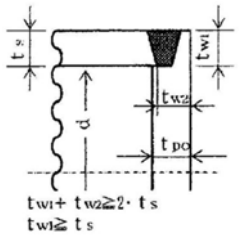
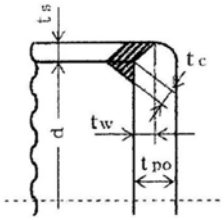
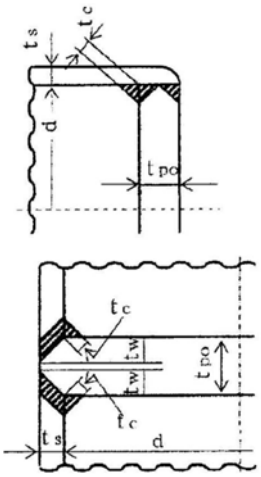
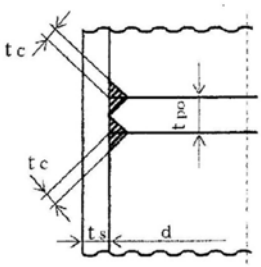
取付け方法 第33条第1項		形状の制限
（ｆ）		0.8・Ｓ≧σｐかつ， ｒ≧3・ｔｆあること。
（ｇ）	 	0.8・Ｓ≧σｐであること。
（ｈ）		0.8・Ｓｂ≧σｐであること。
（ｉ）		ｔｗ≧2・ｔｓｒかつ， ｔｗ≧1.25・ｔｓであること。

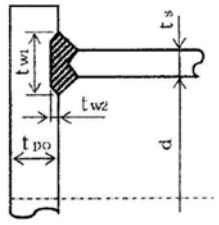
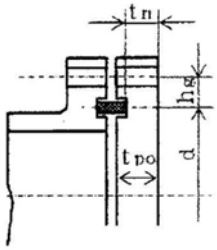
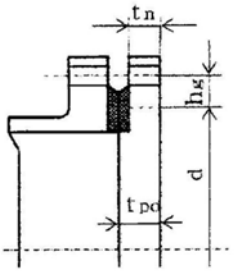
取付け方法 第33条第1項		形状の制限
(j)		$t_w \geqq 2 \cdot t_{sr}$かつ, $t_w \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。
(k)		$t_w \geqq 2 \cdot t_{sr}$かつ, $t_w \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。 かつ, $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\ \mathrm{mm})$であること。
(ℓ)	 	無し
(o)	その他の場合	無し

(2)-2　形状の制限（設計・建設規格）

取付け方法			形状の制限
クラス2	クラス3		
（a）	（a）		無し
（b）	（b）		d≦600 ㎜, d／4＞ t_{po} ≧ d／20 かつ, r ≧ t_f／4 であること。
（c）	（c）		t_f ≧2・ t_s かつ, r ≧3・ t_f であること。
（d）	（d）		t_f ≧ t_s かつ, r ≧1.5・ t_f であること。
（e）	（e）		r ≧3・ t_f であること。

取付け方法			形状の制限
クラス2	クラス3		
－	（ｆ）		0.8・Ｓ≧σｐかつ， ｒ≧3・ｔｆであること。
（ｆ）	（ｇ）		0.8・Ｓ≧σｐであること。
（ｇ）	（ｈ）		0.8・Ｓｂ≧σｐであること。
（ｈ）	（ｉ）		ｔｗ≧2・ｔｓｒかつ， ｔｗ≧1.25・ｔｓであること。

取付け方法			形状の制限
クラス2	クラス3		
(i)	(j)		$t_{w1}+t_{w2}\geqq 2\cdot t_s$, $t_{w1}\geqq t_s$かつ, $t_s\geqq 1.25\cdot t_{sr}$であること。
(j)(1)	(k)(1)		$t_w\geqq \mathrm{Min}(0.5\cdot t_s,\ 0.25\cdot t_{po})$かつ, $t_c\geqq \mathrm{Min}(0.7\cdot t_s,\ 6\ \mathrm{mm})$であること。
(j)(2)	(k)(2)		$t_w\geqq \mathrm{Min}(1.0\cdot t_s,\ 0.5\cdot t_{po})$ かつ, $t_c\geqq \mathrm{Min}(0.7\cdot t_s,\ 6\ \mathrm{mm})$であること。
(k)	(ℓ)		$t_c\geqq \mathrm{Min}(0.7\cdot t_s,\ 6\ \mathrm{mm})$であること。

取付け方法			形状の制限
クラス2	クラス3		
(ℓ)	(m)	 tw1+ tw2=2・ ts以上 （tw2=0を含む。）	$t_{w1}+t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ （$t_{w2}=0$ を含む。）
(m)	(n)	 	無し
(o)	(o)	その他の場合	無し

(3)-1　算式（告示第５０１号）

平板の計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

a.　平板に穴がない場合

$$t = d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法 第33条第1項	Kの値
（a）	0.20
（b）	
（c）	
（d）	0.25
（e）	
（f）	0.30
（g）	
（h）	
（i）	0.50
（j）	
（k）	
（ℓ）	$0.30+\frac{1.4\cdot F\cdot h_g^{*1}}{W\cdot d}$
（o）	0.75

注記　＊1：4項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。

ＦはW$_O$とW$_g$のいずれか大きい方，ｈ$_g$はｈ$_G$，WはH，ｄはG（セルフシールガスケットを用いる場合はD$_g$）とする。

b.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄ$_h$）がｄの２分の１以下で容器の胴の穴の補強に準じて補強するものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

この場合において，平板の補強に用いる必要厚さ（ｔ$_{pr}$）はｔとし，かつ，補強に有効な面積は，補強に必要な面積の２分の１以上とする。

c.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄ$_h$）がｄの２分の１以下でｂ項以外のものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

ただし，平板の取付け方法が，クラス２容器にあっては（m）クラス３容器にあっては（n）の場合を除き，Kの値が 0.375 を超えるときはその値を 0.375 とする。

d.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（d_h）がｄの２分の１を超えるものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d\cdot\sqrt{\frac{2.25\cdot K\cdot P}{S}}$$

(4)　評価

平板の最小厚さ（t_p）≧平板の計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

(3)-2　算式（設計・建設規格）

平板の計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

a.　平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法		Kの値
クラス2	クラス3	
（a）	（a）	0.17
（b）	（b）	0.13
（c）	（c）	0.17
（d）	（d）	$Max\left(0.2, 0.33 \cdot m\right)$　$m = \frac{t_{sr}}{t_s}$
（e）	（e）	0.17 0.10＊1
－	（f）	0.20
（f）	（g）	
（g）	（h）	
（h）	（i）	$Max\left(0.2, 0.33 \cdot m\right)$　$m = \frac{t_{sr}}{t_s}$
（i）	（j）	0.33
（j）(1)	（k）(1)	$Max\left(0.2, 0.33 \cdot m\right)$　$m = \frac{t_{sr}}{t_s}$
（j）(2)	（k）(2)	
（k）	（ℓ）	
（ℓ）	（m）	
（m）	（n）	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、t_nの厚さにあっては$\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$＊2
（o）	（o）	0.50

注記　＊1：取付け方法（e）においてt_fからt_sへ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり，かつ，以下の(a)又は(b)いずれかの場合，K＝0.10とする。

(a)　$\ell \geqq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b)　t_sが$2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$以上の長さにわたって

以上の長さにわたって$t_s \geqq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

＊２　：4項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。
ＦはW$_O$とW$_g$のいずれか大きい方，ｈ$_g$はｈ$_G$，WはH，ｄはG（セルフシールガスケットを用いる場合はD$_g$）とする。

b.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄ$_h$）がｄの2分の1以下で容器の胴の穴の補強に準じて補強するものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

この場合において，平板の補強に用いる必要厚さ（ｔ$_{pr}$）はｔとし，かつ，補強に有効な面積は，補強に必要な面積の2分の1以上とする。

c.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄ$_h$）がｄの2分の1以下でｂ項以外のものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし，平板の取付け方法が，クラス２容器にあっては（m）クラス３容器にあっては（ｎ）の場合を除き，Ｋの値が 0.375 を超えるときはその値を 0.375 とする。

d.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄ$_h$）がｄの2分の1を超えるものの計算上必要な厚さは，次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4)　評価

平板の最小厚さ（ｔ$_p$）≧平板の計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

2.9　容器の管板の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3510，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVD-3510 準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	管板に取り付けられる任意の管の中心が囲む面積	mm^2
D	D	パッキンの中心円の径（胴と一体となった管板にあっては，胴の内径）	mm
	d_t	管の外径	mm
F	F	管及び管板の支え方による係数	－
L	L	面積Aの周のうち穴の径以外の部分の長さ	mm
P	P	計算上必要な厚さが大きい値の方の最高使用圧力	MPa
	P_t	管穴の中心間の距離	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	管板に必要な厚さ	mm
t	t_1	管板の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	管板の計算上必要な厚さ	mm
	t_b	管板の最小厚さ	mm
	t_{bo}	管板の呼び厚さ	mm
	t_s	胴と管板が一体となっている場合の胴の最小厚さ	mm
	z	管穴の中心間に必要な距離	mm
	伝熱管の形式		
	直管	同左	－
	U字管	同左	－
	管板の支え方		
	管側胴と一体でない。	同左	－
	管側胴と一体である。	同左	－
	胴側胴と一体でない。	同左	－
	胴側胴と一体である。	同左	－

(2)　形状の制限

$P_t \geqq z$，$z = d_t + 0.25 \cdot d_t$ であること。

(3)　算式

管板の計算上必要な厚さは，次の式により計算したいずれか大きい方の値（10㎜未満の場合は10㎜）とする。

$$t_1 = \frac{F \cdot D}{2}\sqrt{\frac{P}{S}}$$

$$t_2 = \frac{P}{0.85 \cdot S} \cdot \left(\frac{A}{L}\right)_{Max}$$

ここで$\left(\frac{A}{L}\right)_{Max}$は$\left(\frac{A}{L}\right)$の最大値であり，通常一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形が最大値となる。

以下にＡ及びＬの取り方の例を示す。

Ａは，一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の面積（図2-5参照）

Ｌは，一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の外周の長さから外周上の管穴の直径の合計を差し引いた長さ

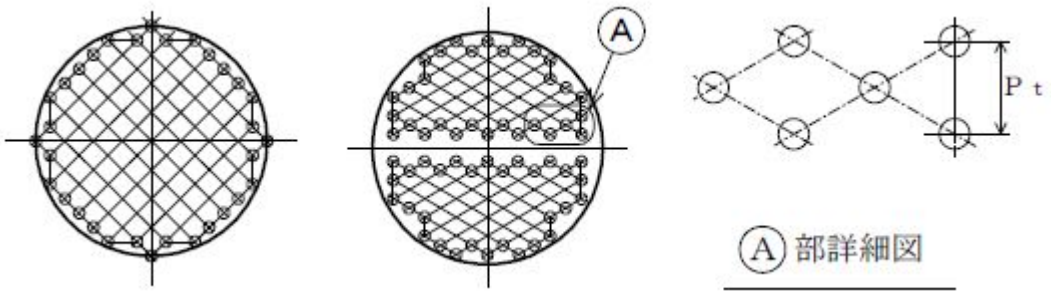


図2-5　管板の計算に用いる多角形

なお，計算は管側と胴側各々の条件に対して行い，計算上必要な厚さが大きい側の結果を強度計算書に記載する。

(4)　評価

管板の最小厚さ（t_b）≧管板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

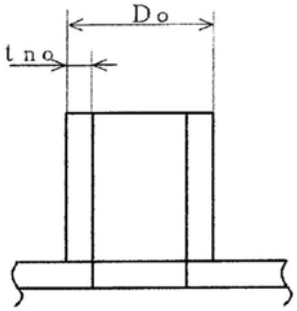
2.10　容器の管台の計算

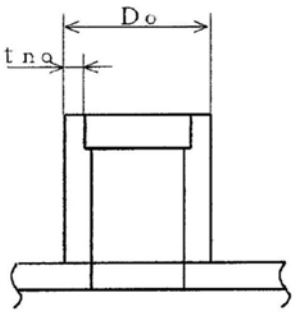
重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3610，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3610 準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_o	D_o	管台の外径*	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	管台に必要な厚さ	mm
t	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm

注記　＊：管台の外径及び呼び厚さは，下図参照。





注：本図は，管台の外径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり，管台の取付け形式を示すものではない。

(2) 算式

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

b. 規格上必要な最小厚さ：t_3

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(3) 評価

管台の最小厚さ（t_n）≧管台に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.11　開放タンクの胴の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3920，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3920 準用）を適用する。

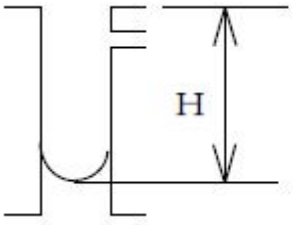
(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭*	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし，1.00 未満の場合は 1.00 とする。	－

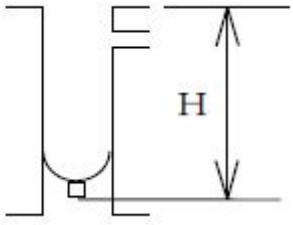
注記　＊：開放タンクの水頭の取り方は，強度評価上は次のいずれかとする。

a.　タンク上部フランジ上端又はタンク胴板上端より底板内側まで

b.　底板に管台が取り付く場合は，第１溶接継手まで



a 項の場合



b 項の場合

なお，この水頭の取り方は，底板及び管台の計算で用いる水頭も同じである。

(2)　算式

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

c.　胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が 5m を超えるものについては，胴の内径の区分に応じ設計・建設規格表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(3)　評価

胴の最小厚さ（t_s）≧胴に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.12　開放タンクの底板の計算

重大事故等クラス２容器（クラス２容器）については設計・建設規格　PVC-3960 及び PVC-3970，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVC-3960 及び PVC-3970 準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
H	H	水頭	m
P	P	最高使用圧力	MPa
	t	底板の規格上必要な厚さ	mm
	t_b	底板の最小厚さ	mm
	t_{bo}	底板の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし，1.00 未満の場合は 1.00 とする。	－

下記(3)b 項の場合の記号の説明で上記以外の記号については，鏡板又は平板の項を参照のこと。ただし，鏡板の計算にあっては，t_bをt_c，t_{bo}をt_{co}に読み替える。

(2)　形状の制限

次のいずれかであること。

a.　平板

b.　設計・建設規格 PVC-3210に規定されている鏡板であること。

(3)　算式

開放タンクの底板に必要な厚さは次によるものとする。

a.　地面，基礎等に直接接触するものの厚さ：t

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3970(1)により6mm以上とする。

クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010 により 3mm 以上とする。

b.　上記以外のものの底板に必要な厚さ：t

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3970(2)，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVC-3970(2)準用）を適用する。

ここで，最高使用圧力Ｐは次の式による値とする。

$$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$$

(a) 鏡板

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3970(2)より，設計・建設規格 PVC-3220準用，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3970(2)準用）より，設計・建設規格 PVC-3220を準用する。

さら形鏡板にあっては，2.4項「さら形鏡板の計算」による厚さとする。

全半球形鏡板にあっては，2.5項「全半球形鏡板の計算」による厚さとする。

半だ円形鏡板にあっては，2.6項「半だ円形鏡板の計算」による厚さとする。

(b) 平板

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3970(2)より，設計・建設規格 PVC-3310準用，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3970(2)準用）より，設計・建設規格 PVC-3310を準用する。

2.8項「円形平板の計算」による厚さとする。

(4) 評価

底板の最小厚さ（t_b）≧底板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

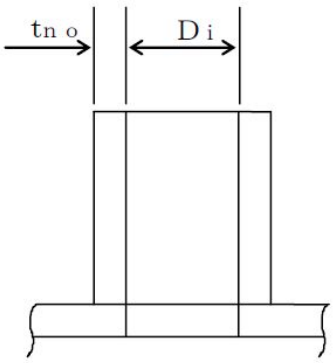
2.13　開放タンクの管台の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3980，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3980 準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	管台の内径*	m
H	H	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図書　Part5　表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	管台に必要な厚さ	mm
t	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし，1.00 未満の場合は 1.00 とする。	－

注記　＊：管台の内径及び呼び厚さは，下図参照。



注：本図は，管台の内径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり，管台の取付け形式を示すものではない。

(2)　算式

開放タンクの管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

b.　規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(3)　評価

管台の最小厚さ（t_n）≧管台に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.14　熱交換器の伝熱管の計算

重大事故等クラス２容器の熱交換器の伝熱管については設計・建設規格 PVC-3610(1)及びPVC-3610(2)，クラス３容器の熱交換器の伝熱管については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格 PVC-3610(1)及びPVC-3610(2)準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	設計・建設規格　付属材料図表　Part7　図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_2となる。）	－
D_o	D_o	伝熱管の外径	mm
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	伝熱管に必要な厚さ	mm
t	t_1	内圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	外圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
	t_t	伝熱管の最小厚さ	mm
	t_{to}	伝熱管の呼び厚さ	mm

(2)　算式

伝熱管に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　内面に圧力を受ける伝熱管：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P}$$

b.　外面に圧力を受ける伝熱管：t_2

設計・建設規格　図PVC-3610-1よりP_e及びSに対応して求めた厚さ。ただし，図より求められない場合は，次の式により計算した値とする。

$$t_2=\frac{3\cdot P_e\cdot D_o}{4\cdot B}$$

(3)　評価

伝熱管の最小厚さ（t_t）≧伝熱管に必要な厚さ（t）ならば十分である。

3. 穴の補強計算

3.1 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A_0	補強に有効な総面積	mm^2
A	A_1	胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_2	管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_3	すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_4	強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{0D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての補強に有効な総面積	mm^2
	A_{1D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{2D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{3D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についてのすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{4D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j0}	大きい穴の補強に有効な総面積	mm^2
	A_{j1}	大きい穴の胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j2}	大きい穴の管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j3}	大きい穴のすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j4}	大きい穴の強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{jr}	大きい穴の補強に有効な面積	mm^2
A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
	A_{rD}	片側断面についての穴の補強に必要な面積	mm^2
B	B	設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{nr}となる。）	－
	B_e	強め板の外径	mm
d	d	胴又は鏡板の断面に現われる穴の径 平板の場合は設計・建設規格の表中に規定する方法によって測った平板の径又は，最小内のり断面に現われる穴の径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	d_h	平板の断面に現われる穴の径	mm
	d_j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
	d_w	管台の取り付く穴の径（完全溶込み溶接により溶接された管台については，$d_w = D_{on} + \alpha$（αはルート間隔の2倍），それ以外の管台については，$d_w = D_{on}$）	mm
D_i	D_i	円筒胴にあっては胴の内径。さら形鏡板及び半だ円形鏡板にあっては鏡板のフランジ部の内径。全半球形鏡板にあっては鏡板の内径	mm
D	D_{iL}	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
	D_{is}	半だ円形鏡板の内面における短径	mm
	D_{on}	管台の外径	mm
F	F	係数	－
	F_1	すみ肉溶接の許容せん断応力の係数	－
	F_2	突合せ溶接の許容せん断応力の係数	－
	F_3	突合せ溶接の許容引張応力の係数	－
	F_4	管台壁の許容せん断応力の係数	－
K_1	K_1	半だ円形鏡板の長径と短径との比による係数	－
	L_1	溶接の脚長*1	mm
	L_2	溶接の脚長*1	mm
	L_3	溶接の脚長*1	mm
	L_4	溶接の脚長*1	mm
	L_5	溶接の脚長*1	mm
	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
	ＰＬＡＴＥ－	管台のない平板形式（図3-20参照）	－
	R	さら形鏡板にあっては鏡板の中央部における内面の半径。半だ円形鏡板にあっては$D_{1L} \cdot K_1$全半球形鏡板にあっては鏡板の内半径	mm
	S_c	鏡板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_e	強め板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S_n	管台材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_p	平板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
S	S_s	胴板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_{w1}	すみ肉溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w2}	突合せ溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w3}	突合せ溶接部の許容引張応力	MPa
	S_{w4}	管台壁の許容せん断応力	MPa
t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	穴の補強計算に用いる鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_e	強め板の最小厚さ	mm
t_n	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ	mm
t_{nr}	t_{nr}	管台の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_p	平板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W_1*2	$W_1=(A_2+A_3+A_4)\cdot S_s$	N
	W_2*2	$W_2=(d\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$又は $W_2=(d_w\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$	N
	W_{e1}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の外側）	N
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の内側）	N
	W_{e3}	すみ肉溶接部のせん断力（強め板取付部）	N
	W_{e4}	突合せ溶接部のせん断力（胴，鏡板又は平板と強め板との突合せ部）	N

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	W_{e5}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e5D}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e6}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径D_{on}において）	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径d_wにおいて）	N
	W_{e8}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径D_{on}において）	N
	W_{e9}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径d_wにおいて）	N
	W_{e10}	管台のせん断力	N
	W_{e11}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部の胴，鏡板又は平板の部分径d_wより外側）	N
	W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp4}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp5}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp6}	予想される破断箇所の強さ	N
	WELD－	管台溶接形式（図 3-1～図 3-19 を参照）	－
	X	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板の面に沿った方向）	mm
	X_1	補強の有効範囲	mm
	X_2	補強の有効範囲	mm
	X_j	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j1}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j2}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	Y_1	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板より外側）	mm
	Y_2	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板より内側）	mm
η	η	穴が長手継手又は胴と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合はその継手の効率。その他の場合は 1.00	－
	π	円周率	－

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	応力除去の有無		
	有　り	同左	－
	無　し	同左	－

注記　＊１：重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　図 PVC-4212-3，クラス３容器についは設計・建設規格　図 PVD-4112-3 による。

＊２：本記号の表示内容は胴の場合を示す。

なお，鏡板の場合はS_sをS_c，t_{sr}をt_{cr}に読み替える。平板の場合は，S_sをS_p，dをd_h，t_{sr}をt_{pr}に読み替える。

3.2　容器の穴の補強計算

容器に穴を設ける場合は，以下の手順により補強計算を行う。

なお，穴の補強計算上必要のない強め板を取り付けるものもあるが，その場合は強め板があるものとして計算する。

(1)　胴の場合

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3160，クラス３容器については設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3160 準用）を適用する。

a.　管台の形式

図 3-1～図 3-19 に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

b.　穴の補強

(a)　補強に必要な面積

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3161.3，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVC-3161.3 準用）を適用する。

イ．　円筒形の胴の場合

（イ）　管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F$$

（ロ）　管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F + 2 \cdot (1 - S_n/S_s) \cdot t_{sr} \cdot F \cdot t_n$$

（$S_n/S_s > 1$ の場合は$S_n/S_s = 1$ とする。以下，胴の場合において同じ）

(b)　補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3161.1，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \mathrm{Max}\ (d,\ d/2 + t_s + t_n)$$

$$Y_1 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_s,\ 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_s,\ 2.5 \cdot t_n)$$

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

また，強め板がない場合には $t_e = 0$ とする。

(c) 補強に有効な面積

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3161.2，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3161.2 準用）を適用する。

イ．胴の部分の補強に有効な面積

（イ）管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_1=(\eta\cdot t_s-F\cdot t_{sr})\cdot(X-d)$$

（ロ）管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_1=(\eta\cdot t_s-F\cdot t_{sr})\cdot(X-d)-(1-S_n/S_s)\cdot(\eta\cdot t_s-F\cdot t_{sr})\cdot 2\cdot t_n$$

ロ．管台の部分の補強に有効な面積

（イ）管台が胴の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_2=2\cdot(t_n-t_{nr})\cdot Y_1\cdot S_n/S_s$$

（ロ）管台が胴の内側に突出している場合

$$A_2=2\cdot\{(t_n-t_{nr})\cdot Y_1+t_n\cdot Y_2\}\cdot S_n/S_s$$

ただし，

$$t_{nr}=\frac{P\cdot(D_{on}-2\cdot t_n)}{2\cdot S_n-1.2\cdot P}$$

ハ．すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3=L_1\cdot L_1+L_2\cdot L_2+L_3\cdot L_3$$

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4=\{Min(B_e,X)-D_{on}\}\cdot t_e\cdot S_e/S_s$$

（$S_e/S_s>1$ の場合は $S_e/S_s=1$ とする。以下胴の場合において同じ）

ホ．補強に有効な総面積

$$A_0=A_1+A_2+A_3+A_4$$

(d)　補強に有効な範囲$X_1 \neq X_2$の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3165，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3165 準用）を適用する。

補強に必要な面積の 2 分の 1 以上の補強に有効な面積は穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲$X_1 = X_2$の場合は上記条件を満足することが明らかであり，以下の計算は行わない。

イ．　補強に必要な面積の 2 分の 1

$$A_{rD} = A_r / 2$$

ロ．　X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ）　胴の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{Min(X_1, X_2) - d/2\}$$

管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{Min(X_1, X_2) - d/2\} - (1 - S_n/S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot t_n$$

（ロ）　管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D} = A_2 / 2$$

（ハ）　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D} = A_3 / 2$$

（ニ）　強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D} = A_4 / 2$$

（ホ）　補強に有効な総面積

$$A_{0D} = A_{1D} + A_{2D} + A_{3D} + A_{4D}$$

c. 大きい穴の補強

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3164，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格　PVC-3164 準用）を適用する。

(a) 大きい穴の補強を要する限界径

イ. D_i が 1500㎜ 以下の場合

$$d_j = D_i / 2$$

ただし，500㎜ を超える場合は 500㎜ とする。

ロ. D_i が 1500㎜ を超える場合

$$d_j = D_i / 3$$

ただし，1000㎜ を超える場合は 1000㎜ とする。

ここで，$d \leqq d_j$ の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方，$d > d_j$ の場合は補強に必要な面積の 3 分の 2 以上が穴の周囲から穴の径の 4 分の 1 の範囲内にある必要がある。

(b) 大きい穴の補強における管台の形式

図 3-21～図 3-39 に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c) 大きい穴の補強に必要な面積

$$A_{jr} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(d) 大きい穴の補強に有効な範囲

$$X_j = X_{j1} + X_{j2}$$

$$X_{j1} = X_{j2} = d/2 + d/4$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(e) 大きい穴の補強に有効な面積

イ. 胴の部分の補強に有効な面積

（イ） 管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X_j - d)$$

（ロ） 管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

ロ. 管台の部分の補強に有効な面積

（イ） 管台が胴の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{Min(X_j, D_{on}) - d\}/2 - t_{nr}] \cdot Y_1 \cdot S_n / S_s$$

（ロ） 管台が胴の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{(Min(X_j, D_{on}) - d)/2 - t_{nr}\} \cdot Y_1 + (Min(X_j, D_{on}) - d)/2 \cdot Y_2] \cdot S_n / S_s$$

ハ. すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{j3} = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし，大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{j4}=\{Min\ (B_e,\ X_j)-D_{on}\}\cdot t_e\cdot S_e/S_s$$

ホ．　大きい穴の補強に有効な総面積

$$A_{j0}=A_{j1}+A_{j2}+A_{j3}+A_{j4}$$

d．　溶接部の強度

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3168 及び PVC-3169，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3010（設計・建設規格　PVC-3168 及び PVC-3169 準用）を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

$$W_1=(A_2+A_3+A_4)\cdot S_s$$

管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$W_2=(d\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$$

管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$W_2=(d_w\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$$

よって，$W=Min\ (W_1,\ W_2)$

ここで，$W<0$ の場合は，溶接部の強度計算は必要ない。

一方、$W\geqq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1}=S_s\cdot F_1$$

$$S_{w2}=S_s\cdot F_2$$

$$S_{w3}=S_s\cdot F_3$$

$$S_{w4}=Min\ (S_s,\ S_n)\cdot F_4$$

(c)　継手部の強さ

$$W_{e1}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_1\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e2}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_3\cdot S_{w1}/2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (ＷＥＬＤ－17\ 以外の場合)$$

$$W_{e2}=\pi\cdot(d-2\cdot L_2)\cdot L_2\cdot S_{w1}/2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (ＷＥＬＤ－17\ の場合)$$

$$W_{e3}=\pi\cdot B_e\cdot L_2\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e4}=\pi\cdot D_{on}\cdot\left(\frac{d_w-D_{on}}{2}\right)\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e5}=\pi\cdot\left(\frac{D_{on}+d}{2}\right)\cdot t_n\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_s\cdot S_{w3}/2$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (ＷＥＬＤ－5，6，14，35，36，44\ 以外の場合)$$

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_4\cdot S_{w3}/2$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (ＷＥＬＤ－5，6，14，35，36，44\ の場合)$$

$$W_{e7}=\pi\cdot d_w\cdot t_s\cdot S_{w3}/2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (ＷＥＬＤ－6，36\ 以外の場合)$$

$W_{e7}=\pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3}/2$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－6，36 の場合）

$W_{e8}=\pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3}/2$ ・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－14，44 以外の場合）

$W_{e8}=\pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3}/2$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－14，44 の場合）

$W_{e9}=\pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3}/2$

$$W_{e10}=\pi \cdot \left(\frac{D_{on}+d}{2}\right) \cdot t_n \cdot S_{w4}/2$$

$$W_{e11}=\pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on}-d_w}{2}+L_1\right) \cdot S_{w1}/2$$

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　ＷＥＬＤ－１，31 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e5}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e5D}) ・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－2，32 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ハ．　ＷＥＬＤ－3，33 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e7}

ニ．　ＷＥＬＤ－4，34 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e11}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e11}+W_{e7}$

ただし，$D_{on}=d_w$の場合は$W_{ebp1}=W_{ebp3}$となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ．　ＷＥＬＤ－5，35 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

へ. ＷＥＬＤ－6，36 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e1}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e7}$

ト. ＷＥＬＤ－8，38 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

チ. ＷＥＬＤ－9，39 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝W_{e7}

リ. ＷＥＬＤ－11，41 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e2}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ヌ. ＷＥＬＤ－12，42 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥ を通る強さ

＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ル. ＷＥＬＤ－13，43 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e5D}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e5}$

ヲ．　ＷＥＬＤ－14，44 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e3}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e10}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ワ．　ＷＥＬＤ－15，16，22，45，46 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ・・・ を通る強さ
＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

カ．　ＷＥＬＤ－17 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

ヨ．　ＷＥＬＤ－18，48 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ・・・ を通る強さ
＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

タ．　ＷＥＬＤ－19，19´，49 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) (W_{e2})

・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e7}

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

e. 評価

胴の穴の補強は，下記の条件を満足すれば十分である。

$A_0 > A_r$

$A_{0D} \geqq A_{rD}$ （ただし，$X_1 \neq X_2$ の場合のみ）

$A_{j0} \geqq A_{jr}$ （ただし，大きい穴の補強を要する場合のみ）

すべての破断箇所の強さ≧W（ただし，Wが正の場合のみ）

(2) 鏡板の場合

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3240，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3220 を適用する。

a. 管台の形式

図 3-1～図 3-19 に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

b. 穴の補強

(a) 補強に必要な面積

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格　PVC-3161.3 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3221（設計・建設規格　PVC-3161.3 準用）を適用する。

イ． 半だ円形鏡，さら形鏡板及び全半球鏡板の場合

（イ） 管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38 の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr} \cdot F$$

（ロ） 管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_r = d \cdot t_{cr} \cdot F + 2 \cdot (1 - S_n / S_c) \cdot t_{cr} \cdot F \cdot t_n$$

ただし，t_{cr}は次による。

さら形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$ （W＝1.00，η＝1.00 とする。）

半だ円形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

全半球形鏡板にあって（厚さが内半径の 0.356 倍以下のもの），中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

(b) 補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格　PVC-3161.1 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　　PVD-3221（設計・建設規格　PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \mathrm{Max}\ (d, d/2 + t_c + t_n)$$

$$Y_1 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

また，強め板がない場合には $t_e=0$ とする。

(c) 補強に有効な面積

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3161.2 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3221（設計・建設規格　PVC-3161.2 準用）を適用する。

イ．鏡板の部分の補強に有効な面積

（イ）管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_1=(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot(X-d)$$

（ロ）管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_1=(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot(X-d)-(1-S_n/S_c)\cdot(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot 2\cdot t_n$$

ロ．管台の部分の補強に有効な面積

（イ）管台が鏡板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_2=2\cdot(t_n-t_{nr})\cdot Y_1\cdot S_n/S_c$$

（ロ）管台が鏡板の内側に突出している場合

$$A_2=2\cdot\{(t_n-t_{nr})\cdot Y_1+t_n\cdot Y_2\}\cdot S_n/S_c$$

ただし，

$$t_{nr}=\frac{P\cdot(D_{on}-2\cdot t_n)}{2\cdot S_n-1.2\cdot P}$$

ハ．すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3=L_1\cdot L_1+L_2\cdot L_2+L_3\cdot L_3$$

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4=\{Min\ (B_e,\ X)-D_{on}\}\cdot t_e\cdot S_e/S_c$$

（$S_e/S_c>1$ の場合は$S_e/S_c=1$ とする。以下鏡板の場合において同じ）

ホ．補強に有効な総面積

$$A_0=A_1+A_2+A_3+A_4$$

(d) 補強に有効な範囲$X_1\neq X_2$の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3165 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3221（設計・建設規格　PVC-3165 準用）を適用する。

補強に必要な面積の 2 分の 1 以上の補強に有効な面積は，穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲$X_1=X_2$の場合は上記条件を満足することが明らかであり，以下の計算は行わない。

イ．補強に必要な面積の 2 分の 1

$$A_{rD}=A_r/2$$

ロ．X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ）鏡板の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot\{Min(X_1,\ X_2)-d/2\}$$

管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_{1D}=(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot\{Min(X_1,\ X_2)-d/2\}$$
$$-(1-S_n/S_c)\cdot(\eta\cdot t_c-F\cdot t_{cr})\cdot t_n$$

（ロ） 管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D}=A_2/2$$

（ハ） すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D}=A_3/2$$

（ニ） 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D}=A_4/2$$

（ホ） 補強に有効な総面積

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

ｃ． 大きい穴の補強

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3164 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-　3221（設計・建設規格　PVC-3164 準用）を適用する。

(a) 大きい穴の補強を要する限界径

イ． D_i が 1500㎜ 以下の場合

$$d_j=D_i/2$$

ただし，500㎜ を超える場合は 500㎜ とする。

ロ． D_i が 1500㎜ を超える場合

$$d_j=D_i/3$$

ただし，1000㎜ を超える場合は 1000㎜ とする。

ここで，$d \leqq d_j$ の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方、$d > d_j$ の場合は，補強に必要な面積の 3 分の 2 以上が穴の周囲から穴の径の 4 分の 1 の範囲内にある必要がある。

(b) 大きい穴の補強における管台の形式

図 3-21～図 3-39 に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c) 大きい穴の補強に必要な面積

$$A_{jr}=\frac{2}{3}\cdot A_r$$

(d)　大きい穴の補強に有効な範囲

$$X_j = X_{j1} + X_{j2}$$

$$X_{j1} = X_{j2} = d/2 + d/4$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(e)　大きい穴の補強に有効な面積

イ．　鏡板の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d)$$

（ロ）　管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n/S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n/S_c)$$

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が鏡板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{Min(X_j, D_{on}) - d\}/2 - t_{nr}] \cdot Y_1 \cdot S_n/S_c$$

（ロ）　管台が鏡板の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{(Min(X_j, D_{on}) - d)/2 - t_{nr}\} \cdot Y_1 + (Min(X_j, D_{on}) - d)/2 \cdot Y_2] \cdot S_n/S_c$$

ハ．　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{j3} = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし，大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{j4} = \{Min(B_e, X_j) - D_{on}\} \cdot t_e \cdot S_e/S_s$$

ホ．　大きい穴の補強に有効な総面積

$$A_{j0} = A_{j1} + A_{j2} + A_{j3} + A_{j4}$$

d． 溶接部の強度

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3168 及び PVC-3169 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3221（設計・建設規格　PVC-3168 及び PVC-3169 準用）を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

$$W_1=(A_2+A_3+A_4)\cdot S_c$$

管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22，38 の場合

$$W_2=(d\cdot t_{cr}-A_1)\cdot S_c$$

管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$W_2=(d_w\cdot t_{cr}-A_1)\cdot S_c$$

よって，$W=Min\ (W_1, W_2)$

ここで，W＜0 の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方，W≧0 の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1}=S_c\cdot F_1$$

$$S_{w2}=S_c\cdot F_2$$

$$S_{w3}=S_c\cdot F_3$$

$$S_{w4}=Min\ (S_c, S_n)\cdot F_4$$

(c)　継手部の強さ

$$W_{e1}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_1\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e1}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_3\cdot S_{w1}/2$$ （ＷＥＬＤ－17 以外の場合）

$$W_{e2}=\pi\cdot(d-2\cdot L_2)\cdot L_2\cdot S_{w1}/2$$ （ＷＥＬＤ－17 の場合）

$$W_{e3}=\pi\cdot B_e\cdot L_2\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e4}=\pi\cdot D_{on}\left(\frac{d_w-D_{on}}{2}\right)\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e5}=\pi\cdot\left(\frac{D_{on}+d}{2}\right)\cdot t_n\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_c\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－5, 6, 14, 35, 36, 44 以外の場合）

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_4\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－5, 6, 14, 35, 36, 44 の場合）

$$W_{e7}=\pi\cdot d_w\cdot t_c\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－6, 36, 以外の場合）

$$W_{e7}=\pi\cdot d_w\cdot L_4\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－6, 36, の場合）

$$W_{e8}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_e\cdot S_{w3}/2$$

$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ （ＷＥＬＤ－14, 44 以外の場合）

$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2$

$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ （ＷＥＬＤ－14, 44 の場合）

$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　ＷＥＬＤ－1，31 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e5}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e5}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e5D}) ・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－2，32 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e10}$

ハ．　ＷＥＬＤ－3，33 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e7}

ニ．　ＷＥＬＤ－4，34 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e11}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e11} + W_{e7}$

ただし，$D_{on} = d_w$の場合は$W_{ebp1} = W_{ebp3}$となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ．　ＷＥＬＤ－5，35 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1} + W_{e10}$

ヘ．　ＷＥＬＤ－6，36 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e1} W_{e6} W_{e2} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ W_{e1} W_{e7} ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e7}$

ト．　ＷＥＬＤ－8，38 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e1} W_{e2} ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

チ．　ＷＥＬＤ－9，39 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e1} W_{e6} W_{e2} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ W_{e7} ‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝W_{e7}

リ．　ＷＥＬＤ－11，41 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e3} W_{e4} W_{e2} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ W_{e1} W_{e8} W_{e2} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e2}$

W_{ebp3} ＝ W_{e9} W_{e4} W_{e2} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ W_{e3} W_{e4} W_{e10} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ヌ．　ＷＥＬＤ－12，42 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e1} W_{e6} ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ W_{e3} W_{e7} ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ W_{e3} W_{e4} W_{e6} ‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ W_{e3} W_{e4} W_{e10} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ル．　ＷＥＬＤ－13，43 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e1} W_{e5D} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

W_{ebp2} ＝ W_{e3} W_{e4} W_{e5} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e5}$

ヲ．　ＷＥＬＤ－14，44 の場合

W_{ebp1} ＝ W_{e3} W_{e6} ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ W_{e1} W_{e8} W_{e6} ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp3} ＝ W_{e3} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e10}$

W_{ebp4} ＝ W_{e1} W_{e10} ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ワ．　ＷＥＬＤ－15，16，22，45，46 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

カ．　ＷＥＬＤ－17 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

ヨ．　ＷＥＬＤ－18，48 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

タ．　ＷＥＬＤ－19，19′，49 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

e.　評価

鏡板の穴の補強は，下記の条件を満足すれば十分である。

$A_{0D} \geqq A_r$

$A_{0D} \geqq A_{rD}$ （ただし，$X_1 \neq X_2$の場合のみ）

$A_{j0} \geqq A_{jr}$ （ただし，大きい穴の補強を要する場合のみ）

すべての破断箇所の強さ≧Ｗ（ただし，Ｗが正の場合のみ）

(3)　平板の場合

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3320(2)，クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3322 を適用する。

ａ．　管台の形式

図 3-1～図 3-10 及び図 3-20 に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。

ｂ．　穴の補強

(a)　補強に必要な面積

重大事等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.3 準用），クラス３容器については，設計・建設規格 PVD-3322（設計・建設規格　PVC-3161.3 準用）を適用する。

イ．　管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$A_r = d_h \cdot t_{pr}$$

ロ．　管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_r = d_h \cdot t_{pr} + 2 \cdot (1 - S_n/S_p) \cdot t_{pr} \cdot t_n$$

（$S_n/S_p > 1$ の場合は$S_n/S_p = 1$ とする。以下平板の場合において同じ）

(b)　補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.1 準用）,クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3322（設計・建設規格　PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \mathrm{Max}\ (d_h, d_h/2 + t_p + t_n)$$

$$Y_1 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_1 = \mathrm{Min}\ (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。また，強め板がない場合は$t_e = 0$ とする。

(c)　補強に有効な面積

重大事項等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.2 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3322（設計・建設規格　PVC-3161.2 準用）を適用する。

イ．　平板の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$A_1 = (t_p - t_{pr}) \cdot (X - d_h)$$

（ロ）　管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_1 = (t_p - t_{pr}) \cdot (X - d_h) - (1 - S_n/S_p) \cdot (t_p - t_{pr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が平板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 \cdot S_n / S_p$$

（ロ）　管台が平板の内側に突出している場合

$$A_2 = 2 \cdot \{(t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 + t_n \cdot Y_2\} \cdot S_n / S_p$$

ただし，

$$t_{nr} = \frac{P \cdot (D_{on} - 2 \cdot t_n)}{2 \cdot S_n - 1.2 \cdot P}$$

ハ．　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3 = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4 = \{Min\ (B_e,\ X) - D_{on}\} \cdot t_e \cdot S_e / S_p$$

（$S_e/S_p > 1$ の場合は $S_e/S_p = 1$ とする。以下，平板の場合において同じ）

ホ．　補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(d)　補強に有効な範囲 $X_1 \neq X_2$ の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3165 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3322（設計・建設規格　PVC-3165 準用）を適用する。

補強に必要な面積の 2 分の 1 以上の補強に有効な面積は，穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲 $X_1 = X_2$ の場合は上記条件を満足することが明らかであり以下の計算は行わない。

イ．　補強に必要な面積の２分の１

$$A_{rD}=A_r/2$$

ロ．　X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ）　平板の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$A_{1D}=(t_p-t_{pr})\cdot\{Min\ (X_1,\ X_2)-d_h/2\}$$

管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_{1D}=(t_p-t_{pr})\cdot\{Min\ (X_1,\ X_2)-d_h/2\}-(1-S_n/S_p)\cdot(t_p-t_{pr})\cdot t_n$$

（ロ）　管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D}=A_2/2$$

（ハ）　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D}=A_3/2$$

（ニ）　強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D}=A_4/2$$

（ホ）　補強に有効な総面積

$$A_{0D}=A_{1D}+A_{2D}+A_{3D}+A_{4D}$$

c．　溶接部の強度

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3168 及び PVC-3169 準用），クラス３容器については，設計・建設規格　PVD-3322（設計・建設規格　PVC-3168 及び PVC-3169 準用）を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

$$W_1=(A_2+A_3+A_4)\cdot S_p$$

管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22 の場合

$$W_2=(d_h\cdot t_{pr}-A_1)\cdot S_p$$

管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$W_2=(d_w\cdot t_{pr}-A_1)\cdot S_p$$

よって，$W=Min\ (W_1,\ W_2)$

ここで，$W<0$ の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方，$W\geqq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1}=S_p\cdot F_1$$

$$S_{w2}=S_p\cdot F_2$$

$$S_{w3}=S_p\cdot F_3$$

$$S_{w4}=Min\ (S_p,\ S_n)\cdot F_4$$

(c) 継手部の強さ

$$W_{e1}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_1\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e2}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_3\cdot S_{w1}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－17 以外の場合）

$$W_{e2}=\pi\cdot(d_h-2\cdot L_2)\cdot L_2\cdot S_{w1}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－17 の場合）

$$W_{e3}=\pi\cdot B_e\cdot L_2\cdot S_{w1}/2$$

$$W_{e4}=\pi\cdot D_{on}\cdot\left(\frac{d_w-D_{on}}{2}\right)\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e5}=\pi\cdot\left(\frac{D_{on}+d_h}{2}\right)\cdot t_n\cdot S_{w2}/2$$

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_p\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－5，6，14 以外の場合）

$$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_4\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－5，6，14 の場合）

$$W_{e7}=\pi\cdot d_w\cdot t_p\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－6 以外の場合）

$$W_{e7}=\pi\cdot d_w\cdot L_4\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－6 の場合）

$$W_{e8}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_e\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－14 以外の場合）

$$W_{e8}=\pi\cdot D_{on}\cdot L_5\cdot S_{w3}/2$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・ （ＷＥＬＤ－14 の場合）

$$W_{e9}=\pi\cdot d_w\cdot t_e\cdot S_{w3}/2$$

$$W_{e10}=\pi\cdot\left(\frac{D_{on}+d_h}{2}\right)\cdot t_n\cdot S_{w4}/2$$

$$W_{e11}=\pi\cdot d_w\cdot\left(\frac{D_{on}-d_w}{2}+L_1\right)\cdot S_{w1}/2$$

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　ＷＥＬＤ－1 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e5}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e5D}) ・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－2 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ハ．　ＷＥＬＤ－3 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e7}

ニ．　ＷＥＬＤ－4 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e11}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e11}+W_{e7}$

ただし，$D_{on}=d_w$の場合は$W_{ebp1}=W_{ebp3}$となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ．　ＷＥＬＤ－5 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ヘ．　ＷＥＬＤ－6 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e1}) (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e7}$

ト．　ＷＥＬＤ－8 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

チ．　ＷＥＬＤ－9 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ・・・・・・・・・ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e7}) ・・・・・・・・・・・・・・・ を通る強さ＝W_{e7}

リ．　ＷＥＬＤ－11 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e2}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e4}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ヌ．　ＷＥＬＤ－12 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})
‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ル．　ＷＥＬＤ－13 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e5D}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5D}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e5}$

ヲ．　ＷＥＬＤ－14 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e3}) (W_{e6}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e10}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ワ．　ＷＥＬＤ－15，16，22 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥ を通る強さ
＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

カ．　ＷＥＬＤ－17 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e2}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

ヨ．　ＷＥＬＤ－18 の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) ‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) ‥ を通る強さ

＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

タ．　ＷＥＬＤ－19，19´の場合

W_{ebp1} ＝ (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2} ＝ (W_{e3}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4} ＝ (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})

‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5} ＝ (W_{e9}) (W_{e7}) ‥‥‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6} ＝ (W_{e1}) (W_{e10}) ‥‥‥‥ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

d．　評価

平板の穴の補強は，下記の条件を満足すれば十分である。

$A_{0D} \geqq A_r/2$

$A_{0D} \geqq A_{rD}$ （ただし，$X_1 \neq X_2$の場合のみ）

すべての破断箇所の強さ≧Ｗ （ただし，Ｗが正の場合のみ）

3.3　開放タンクの胴の穴の補強計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3940及びPVC-3950，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010，PVD-3110及びPVD-3510（設計・建設規格　PVC-3950準用）を適用する。

ただし，穴の径が85㎜以下の場合は計算を行わない。

ここで，最高使用圧力Ｐは，次の式による値とする。

$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$

開放タンクの胴に穴を設ける場合は，3.2 項「容器の穴の補強計算」を適用する。

3.4　開放タンクの鏡板の穴の補強計算

クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3220及びPVD-3512を使用して評価する。

ただし，穴の径が85㎜以下の場合は計算を行わない。

ここで，最高使用圧力Ｐは，次の式による値とする。

$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$

開放タンクの鏡板に穴を設ける場合は，3.2 項「容器の穴の補強計算」を適用する。

3.5　2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

重大事故等クラス２容器については，設計・建設規格 PVC-3162，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3162準用）を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A_1	2つの穴の間及び強め板の断面積の和	mm^2
	A_2	2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	mm^2
	A_d	A_1とA_2の和	mm^2
	A_r	A_{r1}とA_{r2}の和の1/2	mm^2
	A_{r1}，A_{r2}	2つの穴のそれぞれの補強に必要な断面積	mm^2
	A_{rs}	2つの穴の間の強め材の断面積	mm^2
A_s	A_s	2つの穴の間に必要な胴の断面積（胴板内に溶着された管壁を含む。）	mm^2
	d	2つの穴の中心間に必要な距離	mm
	d_1，d_2	2つの穴のそれぞれの直径	mm
F	F	係数	－
ℓ	ℓ	2つの穴の中心間の距離	mm
	L_{1i}，L_{2i}	2つの穴のそれぞれの内側溶け込み深さ	mm
	L_{1O}，L_{2O}	2つの穴のそれぞれの外側溶け込み深さ	mm
	t_1，t_2	2つの穴のそれぞれの管壁の厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	鏡板の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm

(2)　算式

2以上の穴が接近しているためそれぞれの補強に有効な範囲が重なり合うときは次による。

$$d = 1.5 \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$$

$$A_r = 0.5 \cdot (A_{r1} + A_{r2})$$

$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{sr} \cdot F$　（胴の補強計算の場合）

$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{cr} \cdot F$　（鏡板の補強計算の場合）

$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{pr} \cdot F$　（平板の補強計算の場合）

$A_d = A_1 + A_2$

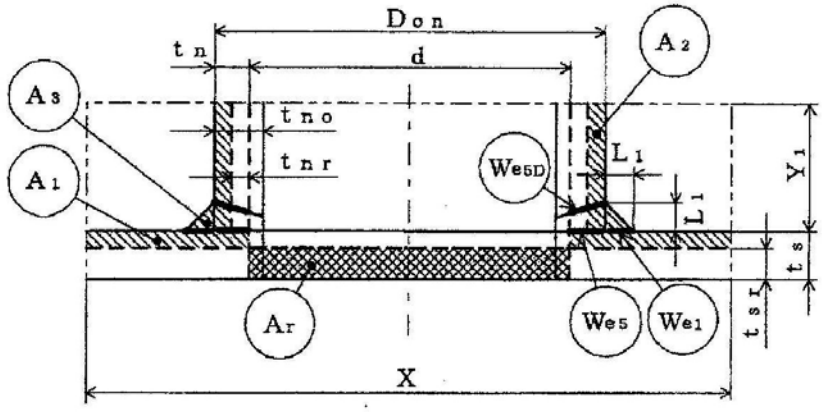
(3) 評価

下記の条件を満足すれば十分である。

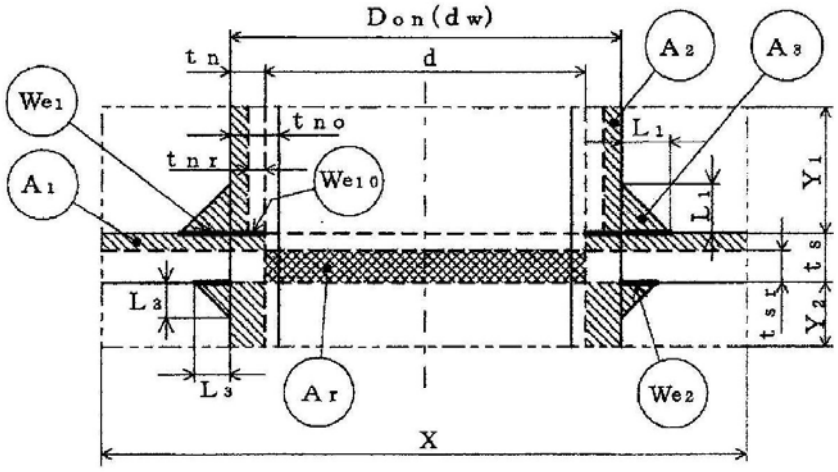
$\ell \geqq d$，$A_{rs} \geqq A_r$，$A_d \geqq A_s$

注：各形式図（図3-1～図3-39）において，胴，鏡板又は平板の最小厚さ及び穴の補強計算に用いる計算上必要な厚さは，それぞれ胴の場合はt_s，t_{sr}，鏡板の場合はt_c，t_{cr}，平板の場合はt_p，t_{pr}と読替えを行う。

また，各形式図中のdは，平板の場合はd_hと読替えを行う。



WELD−1

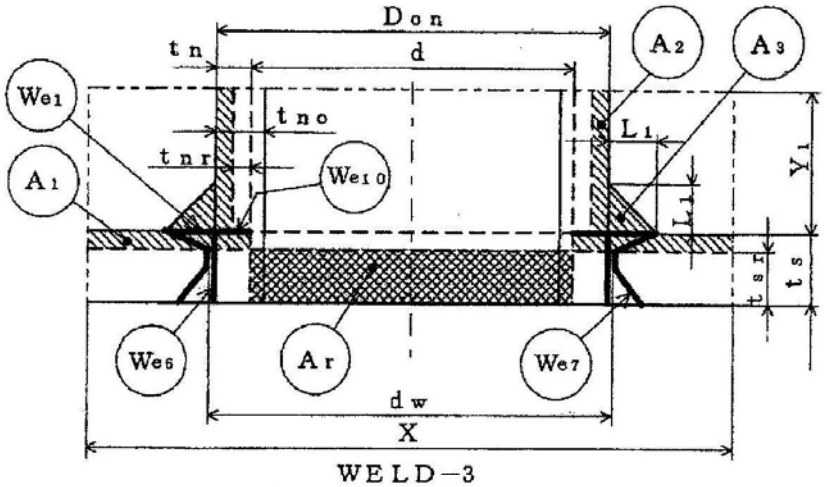


WELD−2

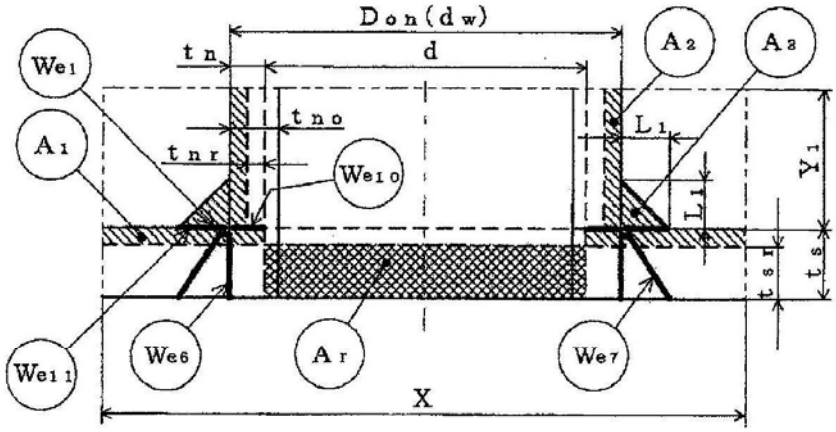
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−1



WELD−3

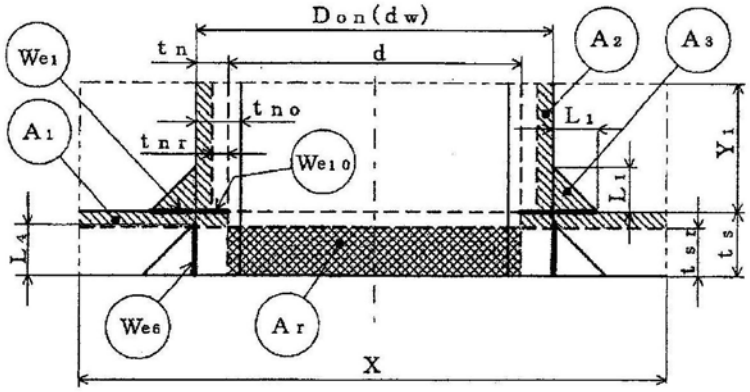


WELD−4

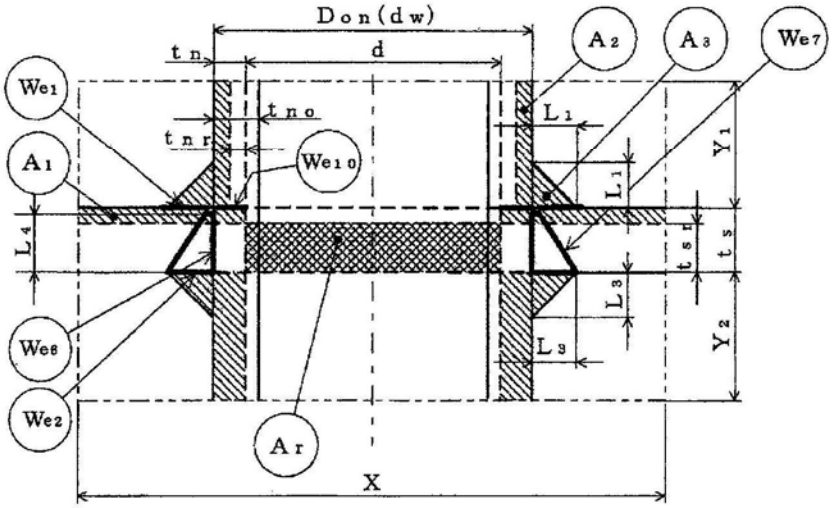
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−2



WELD−5

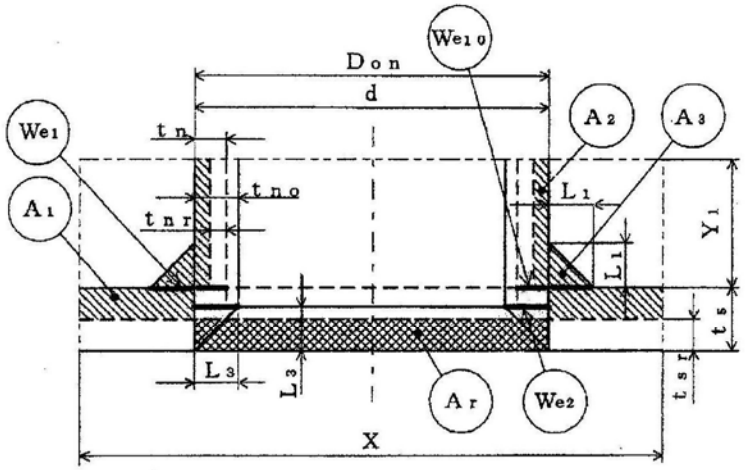


WELD−6

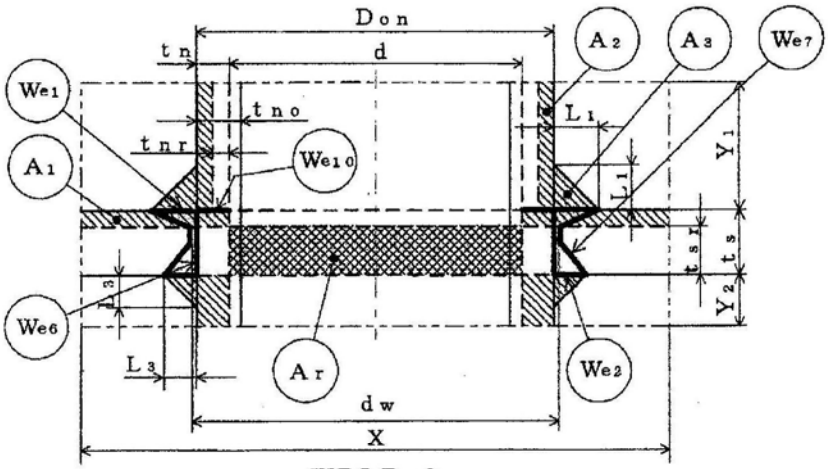
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−3



WELD−8

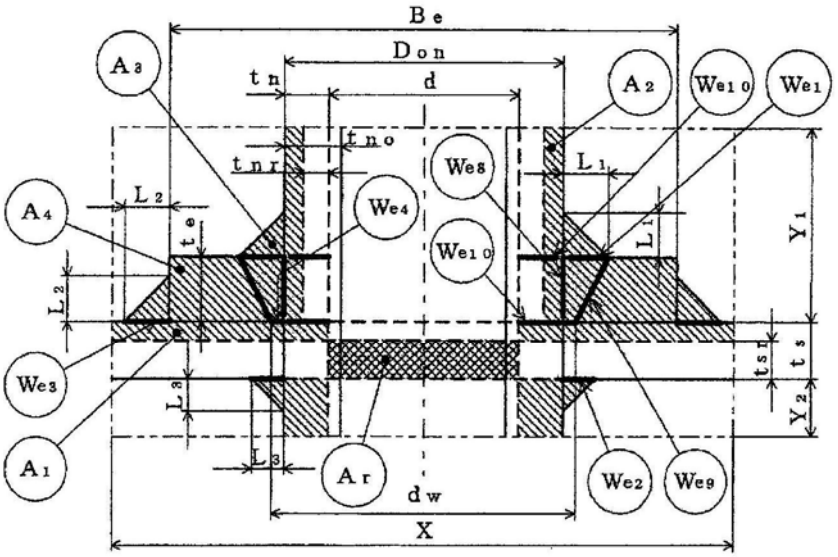


WELD−9

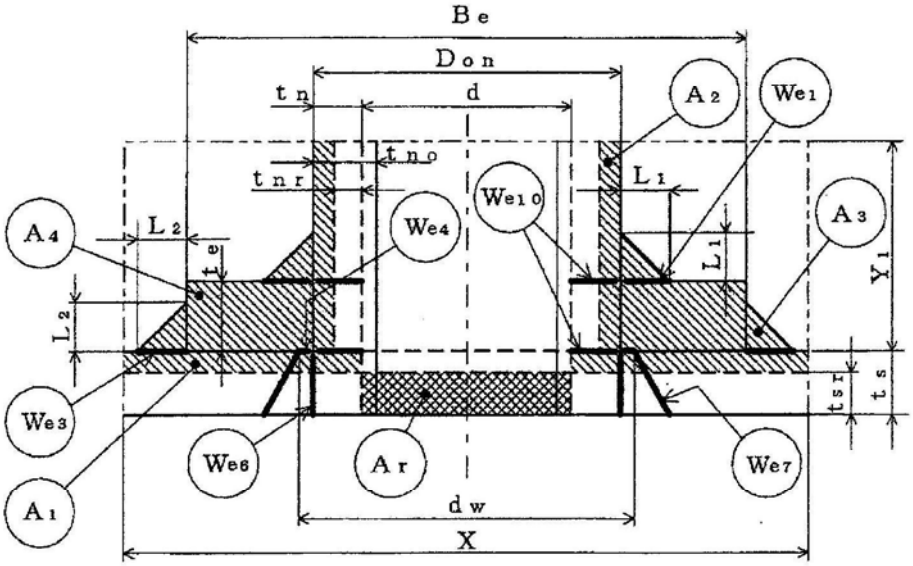
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−4



WELD−11

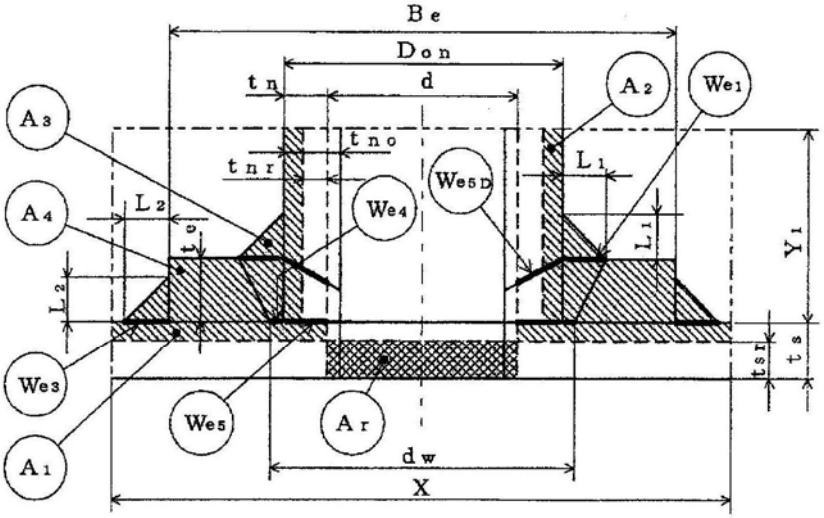


WELD−12

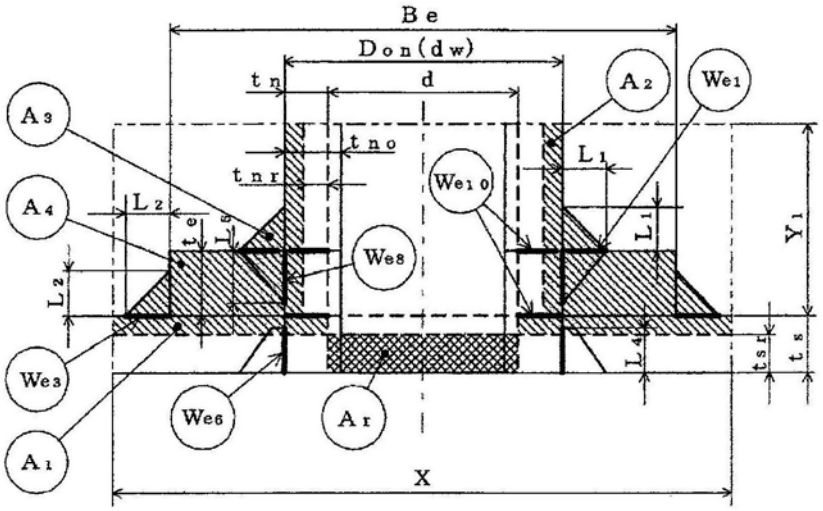
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−5



WELD−13

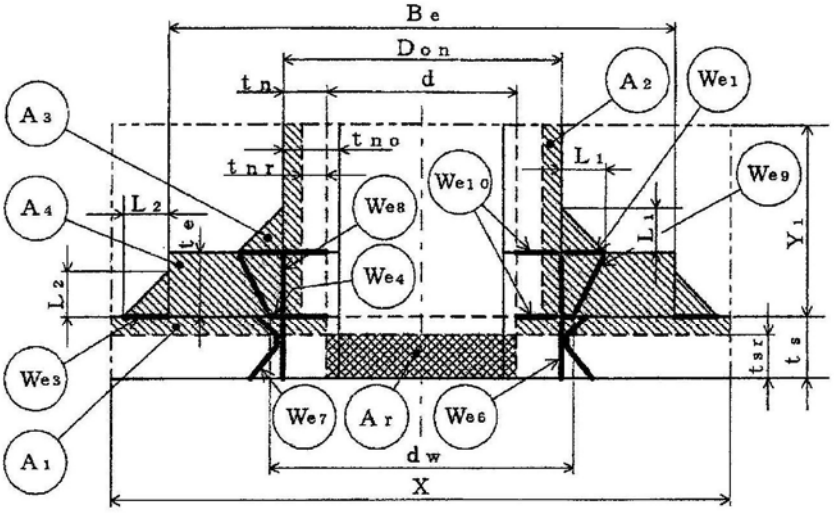


WELD−14

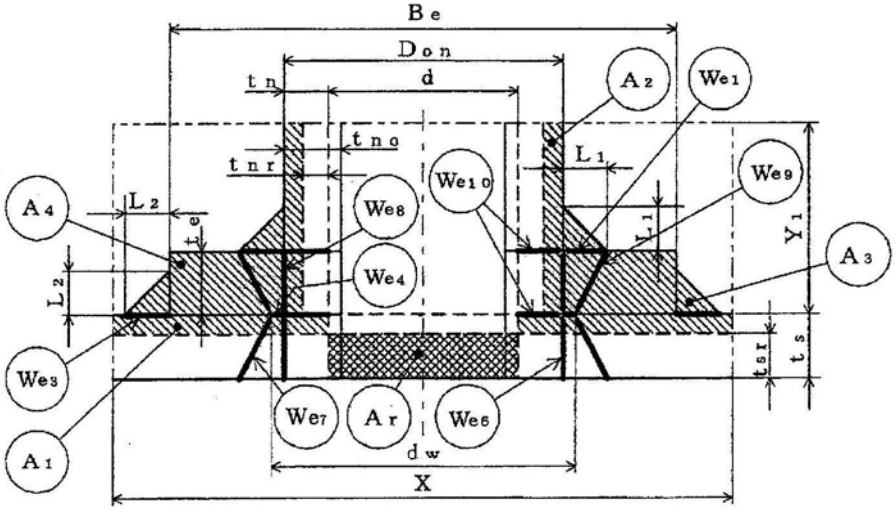
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−6



WELD−15

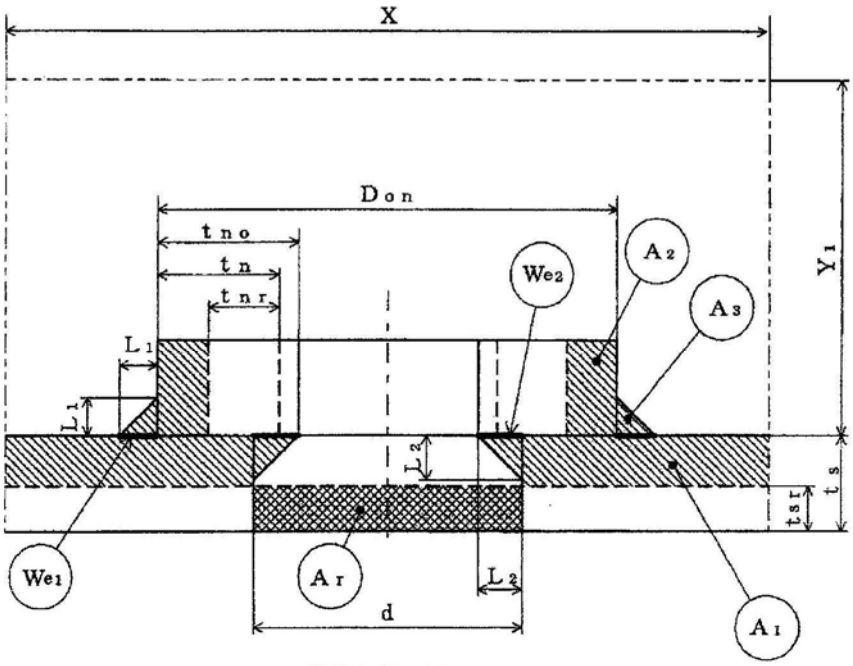


WELD−16

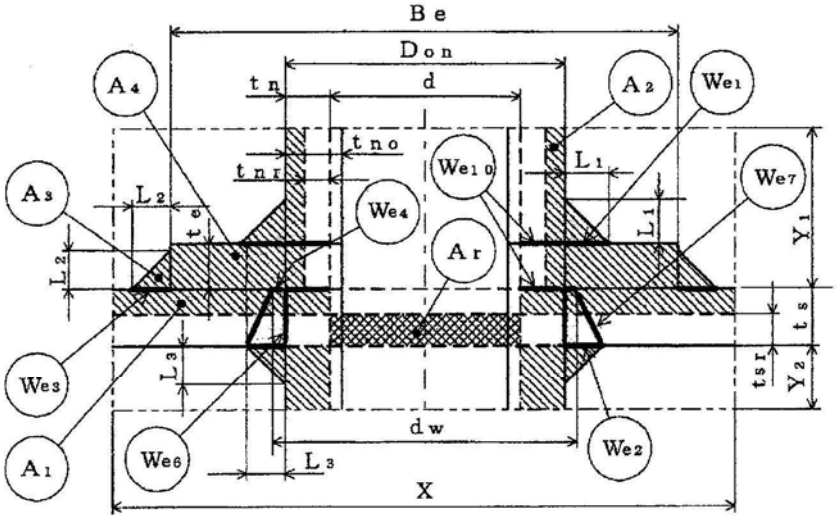
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−7



WELD−17

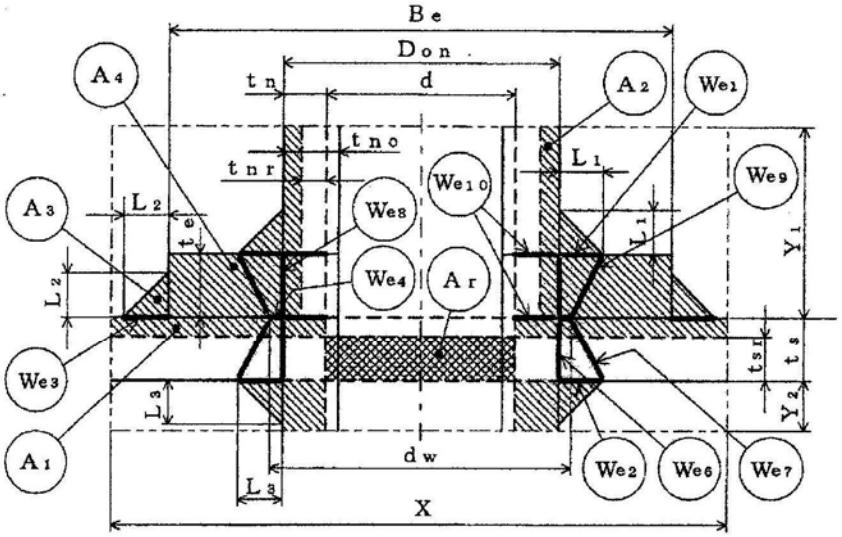


WELD−18

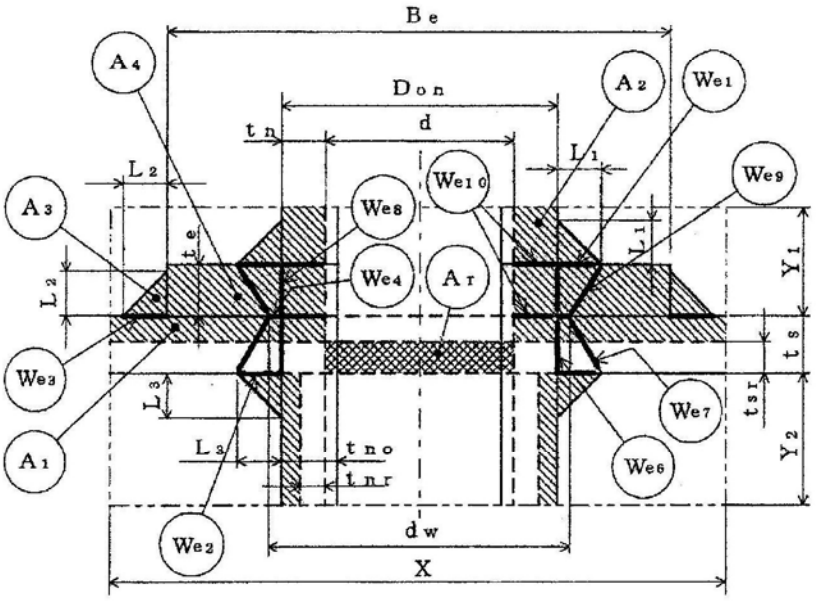
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−8



WELD−19

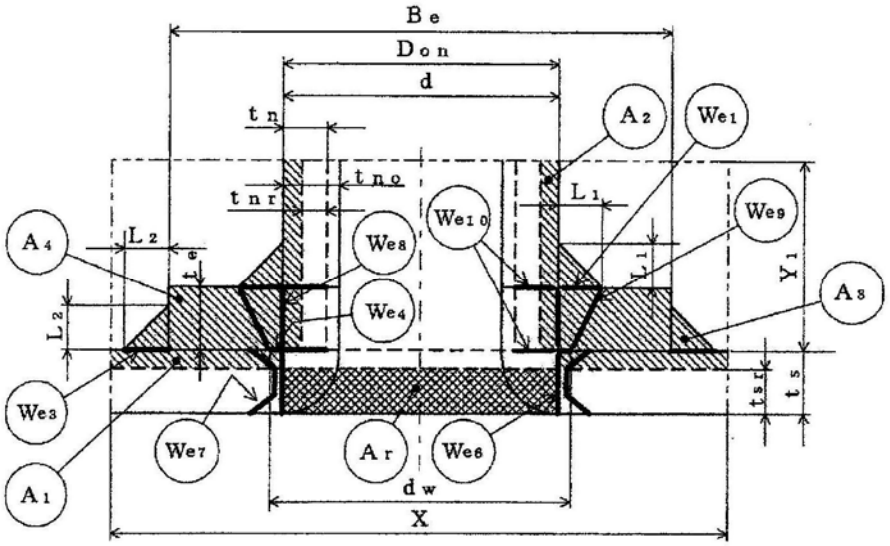


WELD−19′

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−9

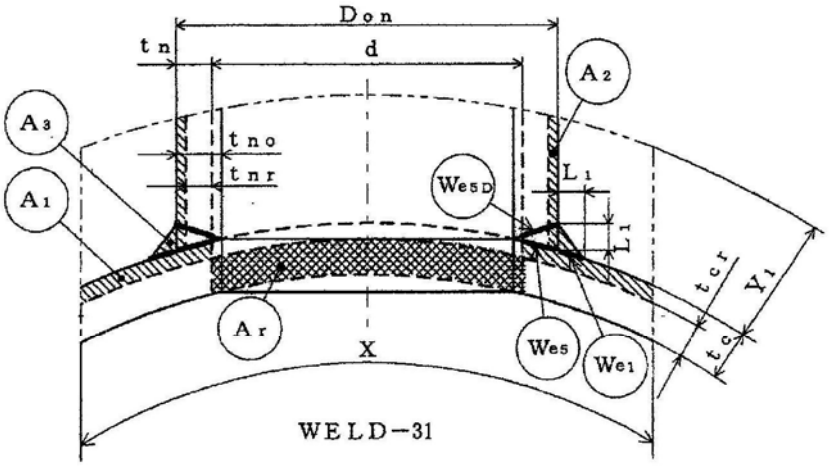


WELD−22

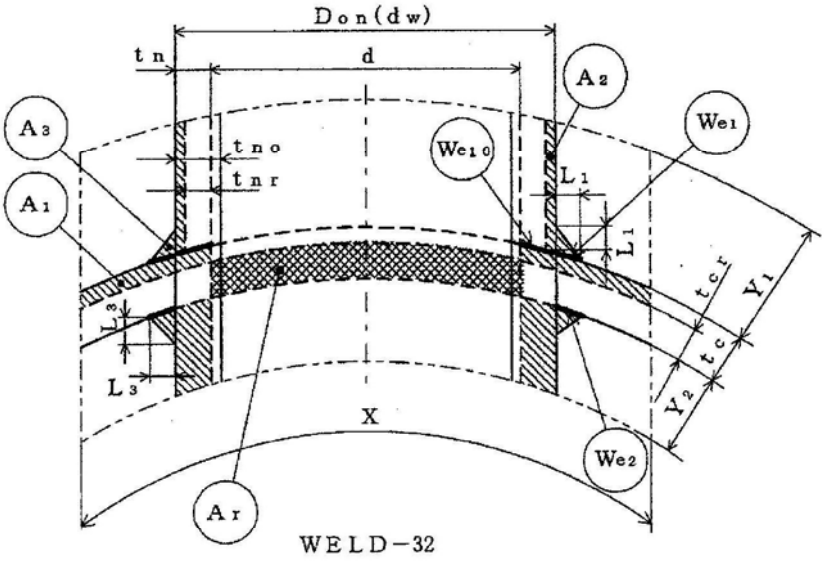
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−10



WELD−31

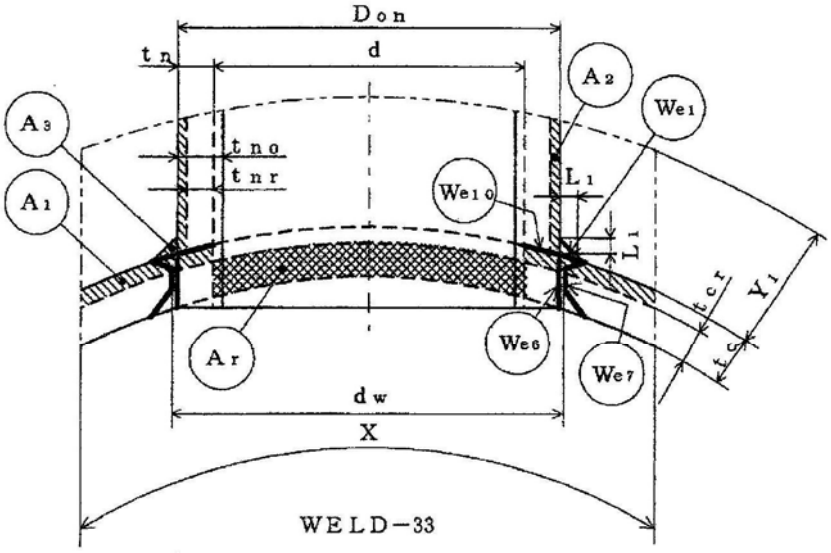


WELD−32

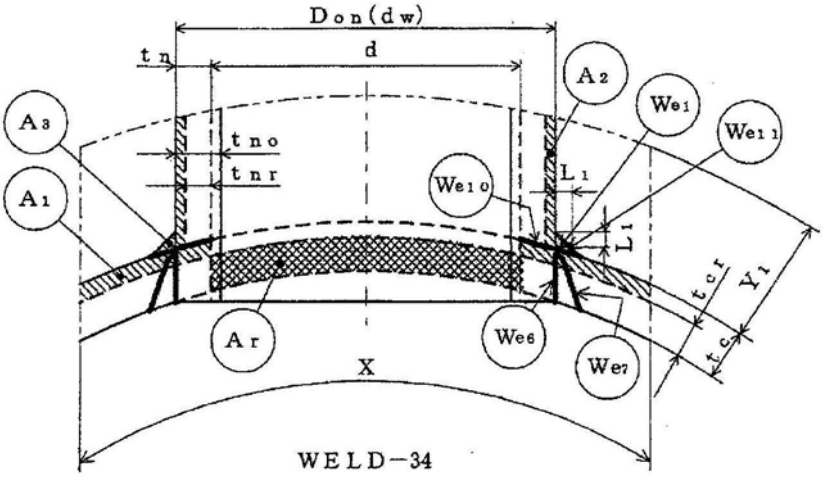
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−11



WELD−33



WELD−34

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−12

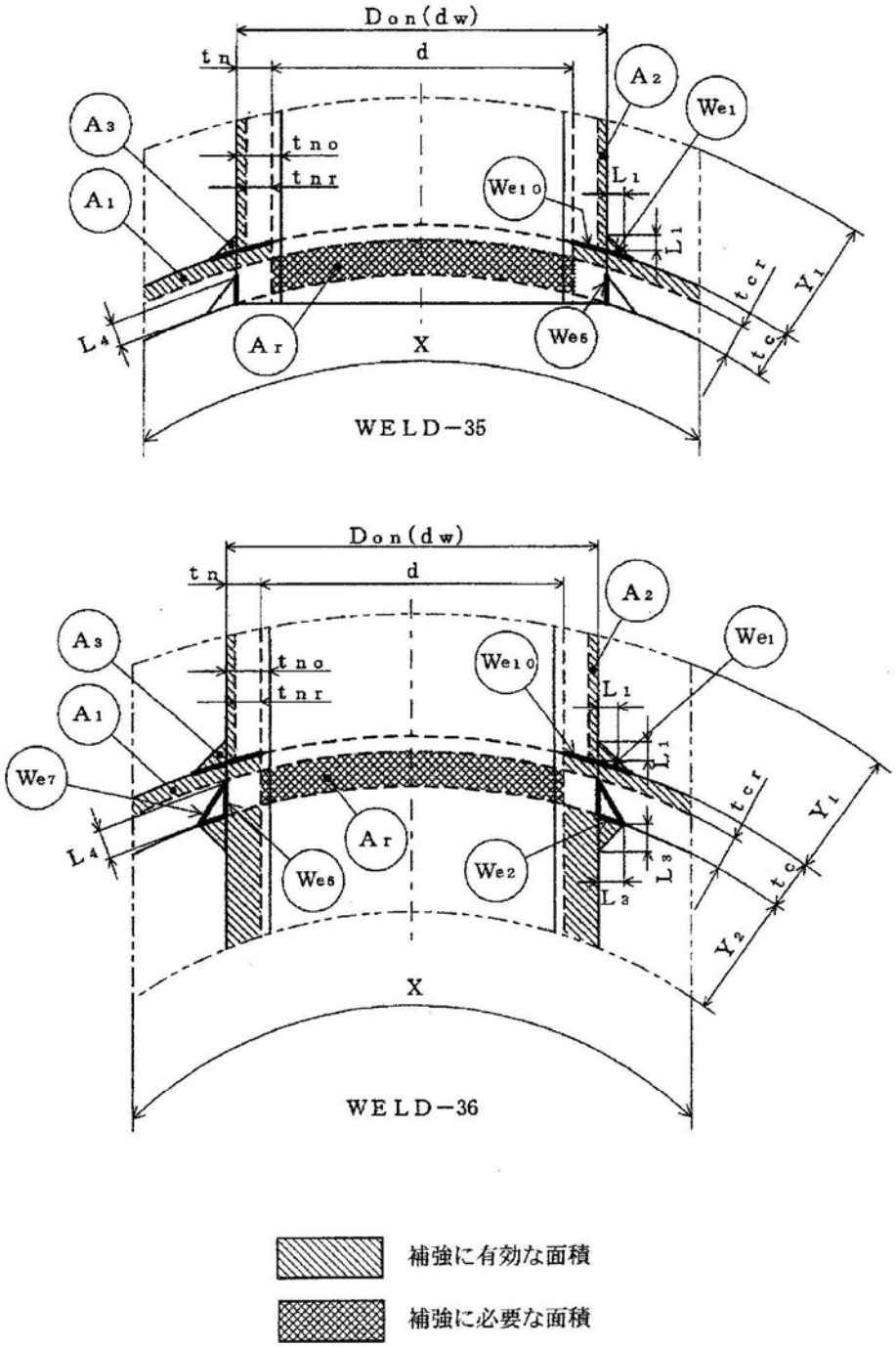
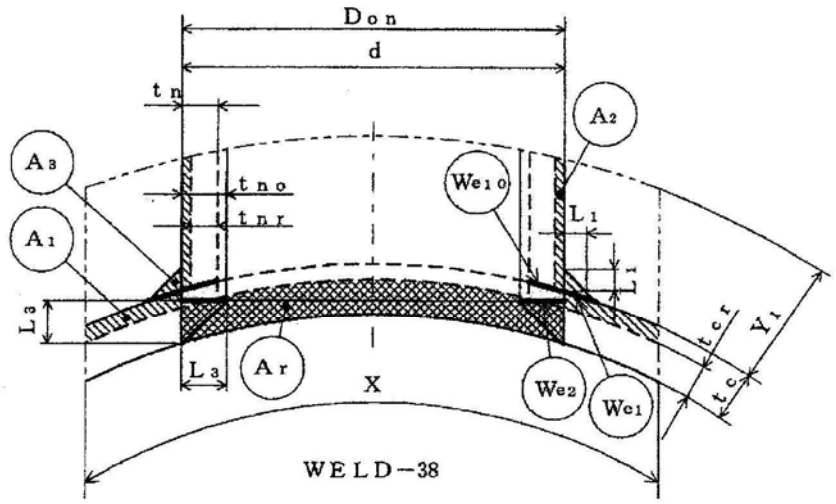
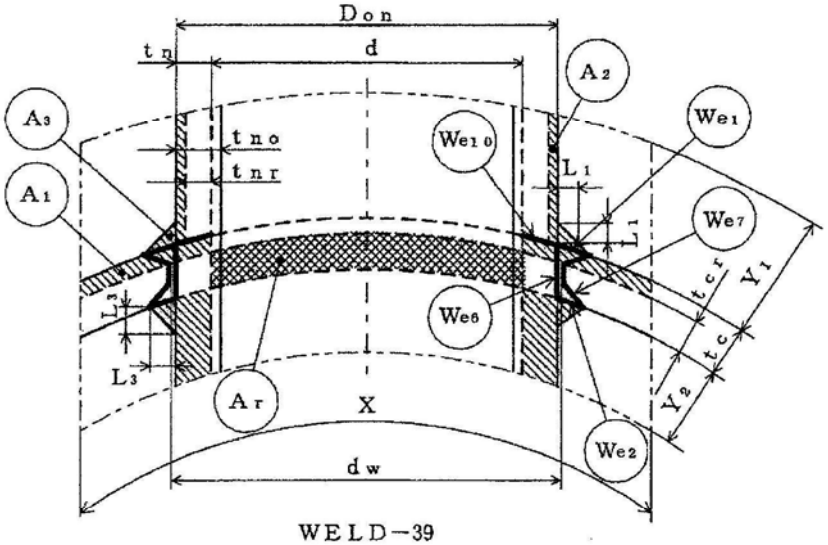

Don(dw)
tn
d
A2
We1
A3
tno
tnr
A1
We10
L1
L1
tcr
Y1
L4
Ar
X
We6
tc
WELD−35
Don(dw)
tn
d
A2
We1
A3
tno
tnr
We10
L1
A1
L1
We7
tcr
Y1
Ar
L4
We6
We2
L3
L3
tc
Y2
X
WELD−36
補強に有効な面積
補強に必要な面積

図 3−13



WELD−38

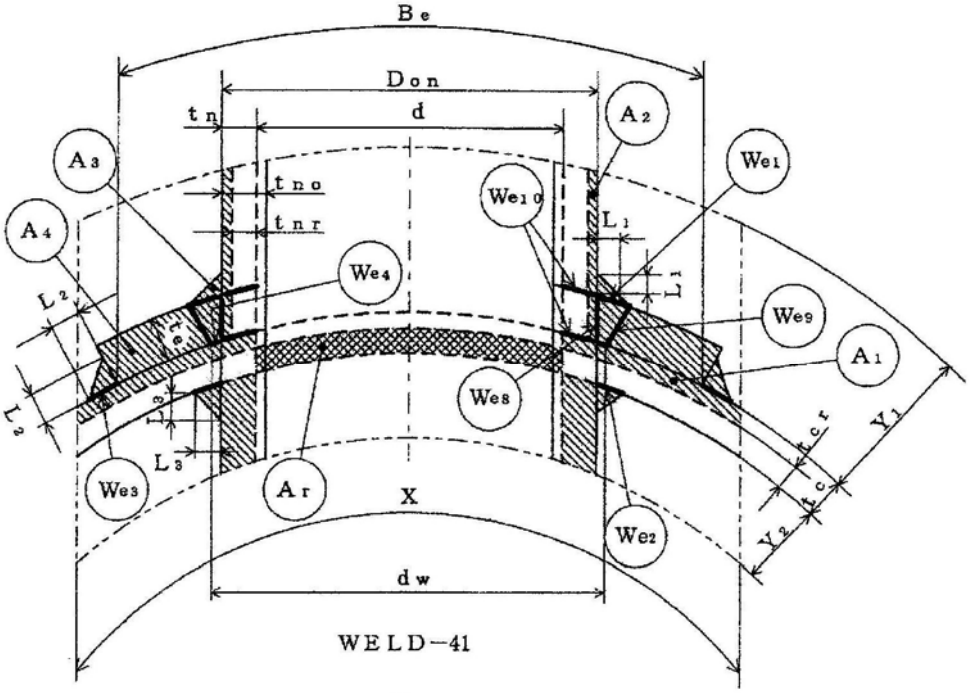


WELD−39

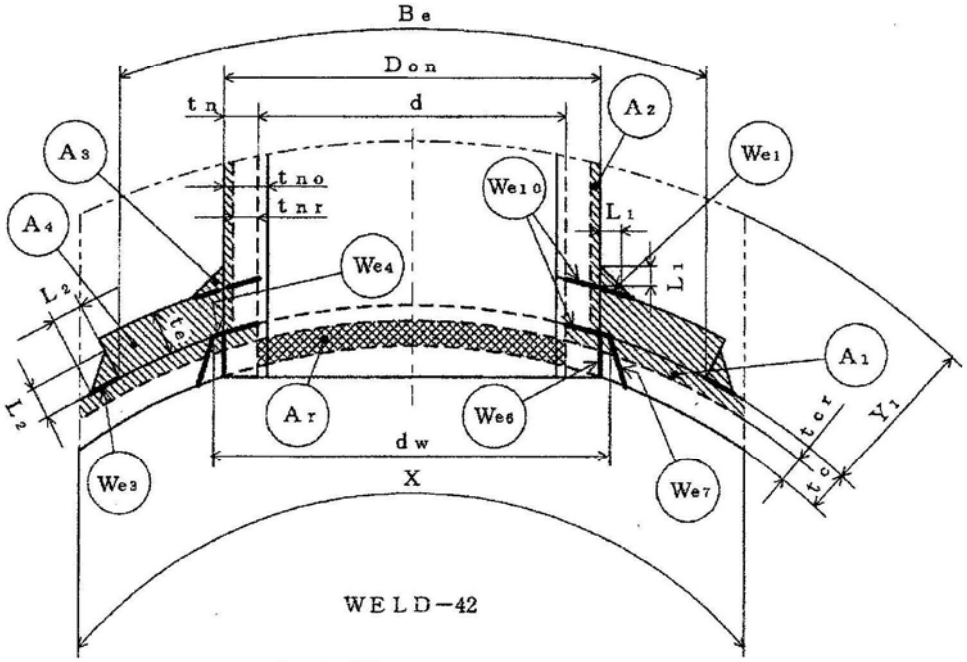
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−14



WELD−41

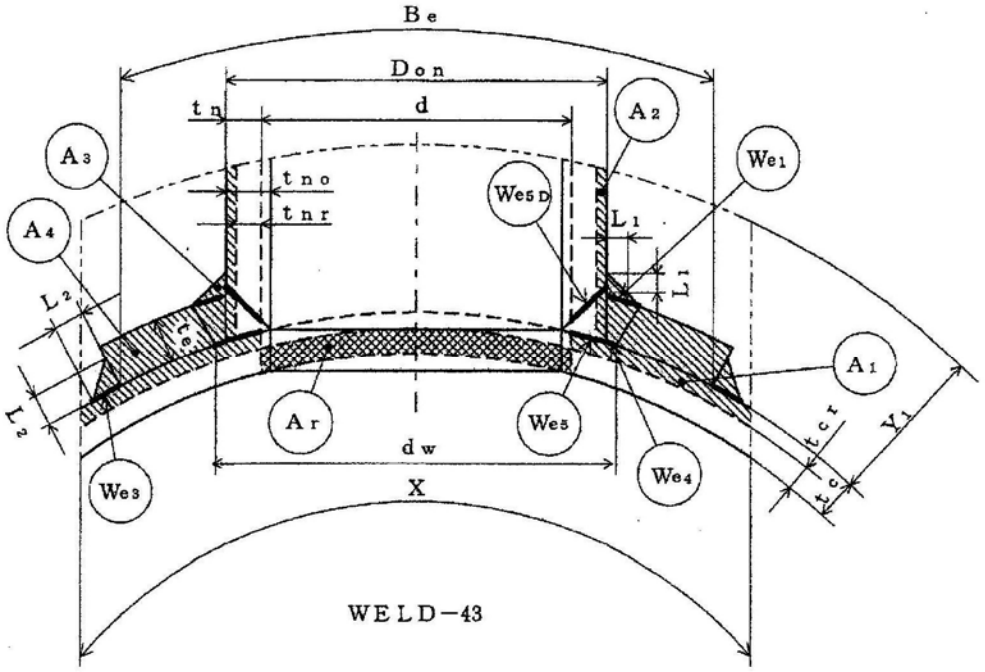


WELD−42

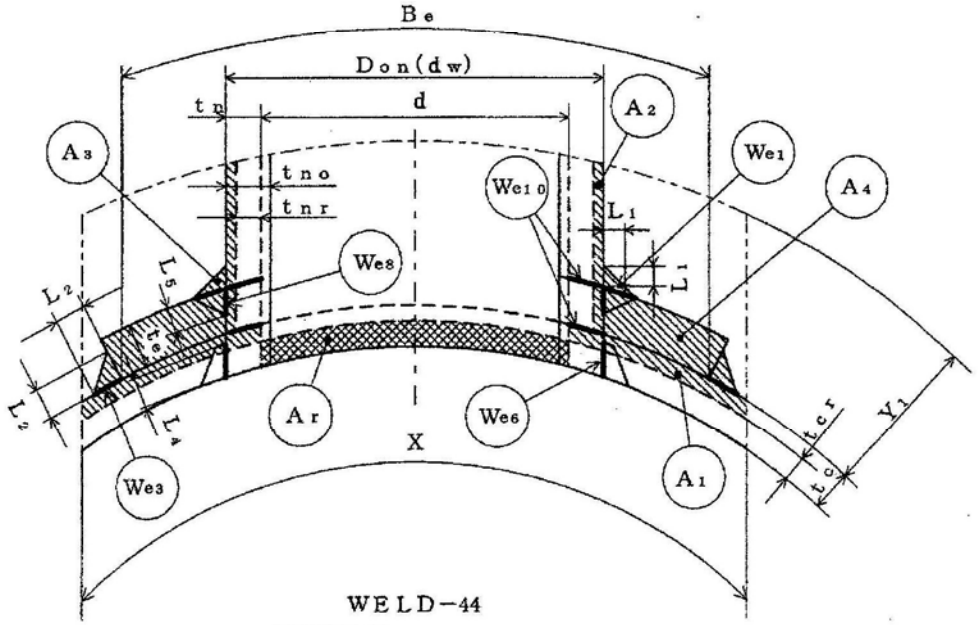
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−15



WELD−43

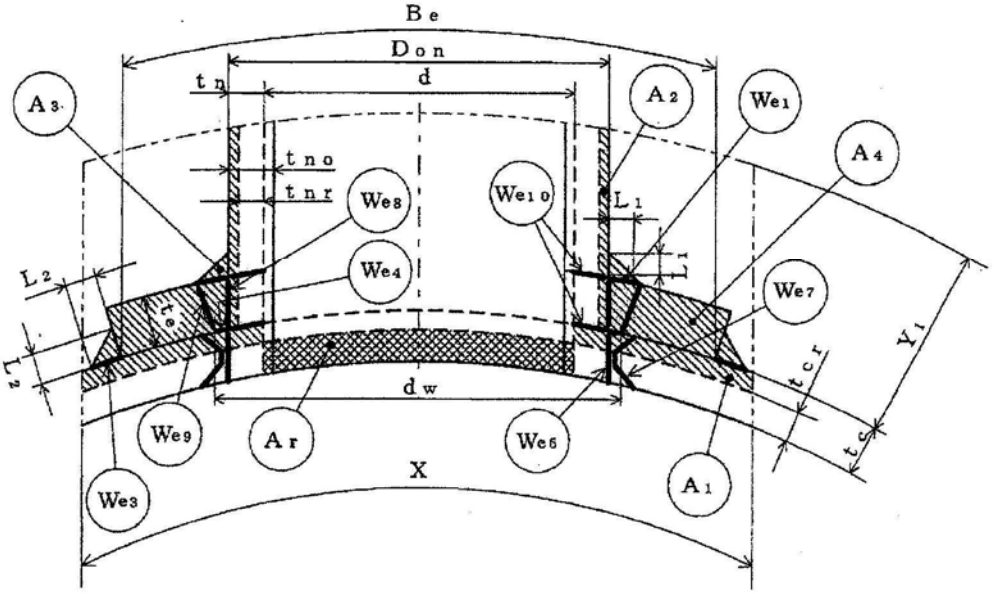


WELD−44

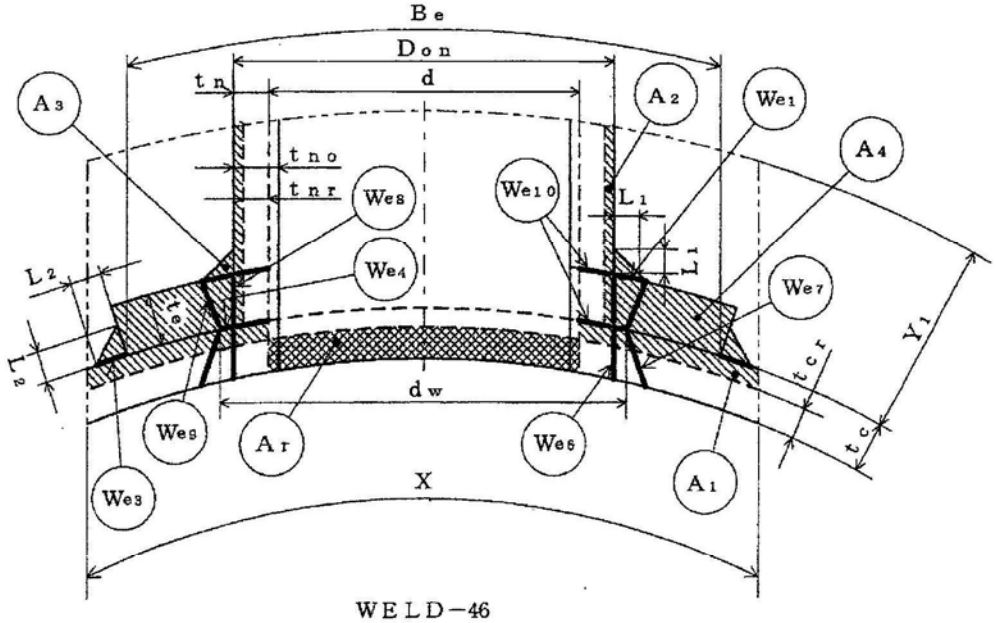
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−16



WELD−45

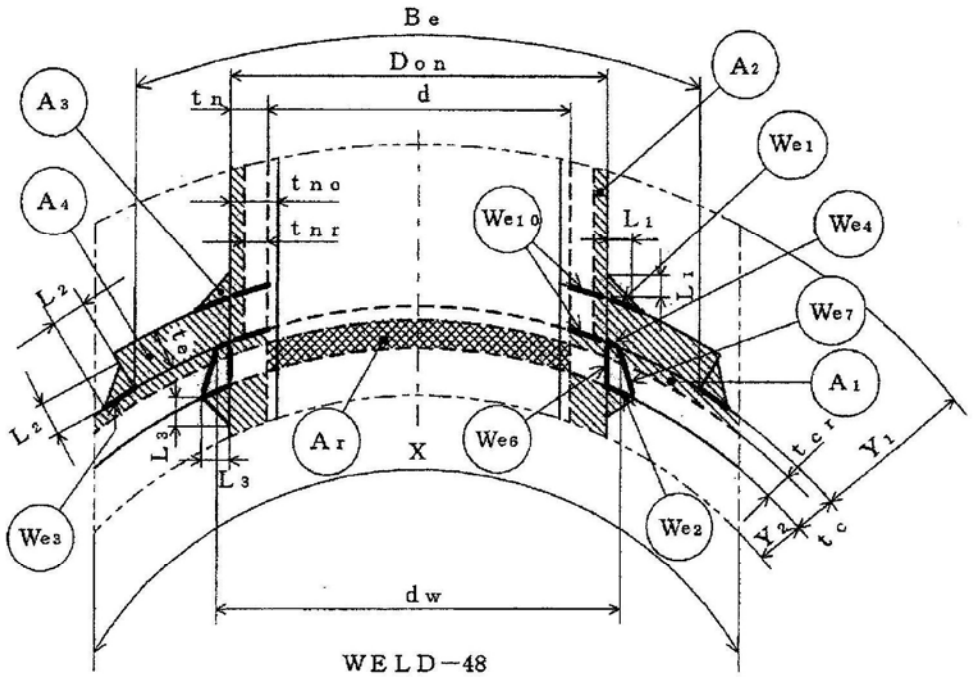


WELD−46

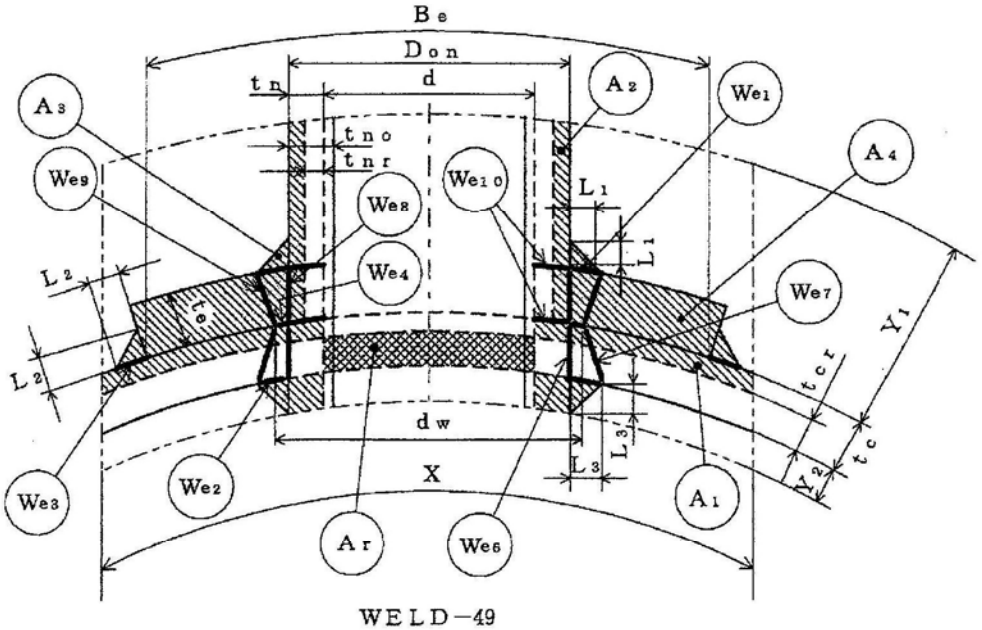
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−17



WELD−48



WELD−49

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図 3−18

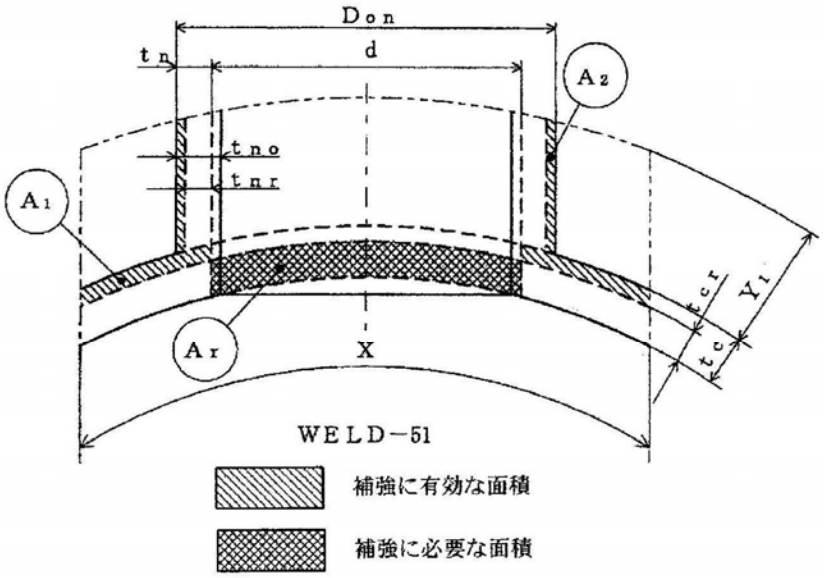

Don
d
tn
A2
tno
tnr
A1
tcr
Y1
tc
Ar
X
WELD−51
補強に有効な面積
補強に必要な面積

図 3−19

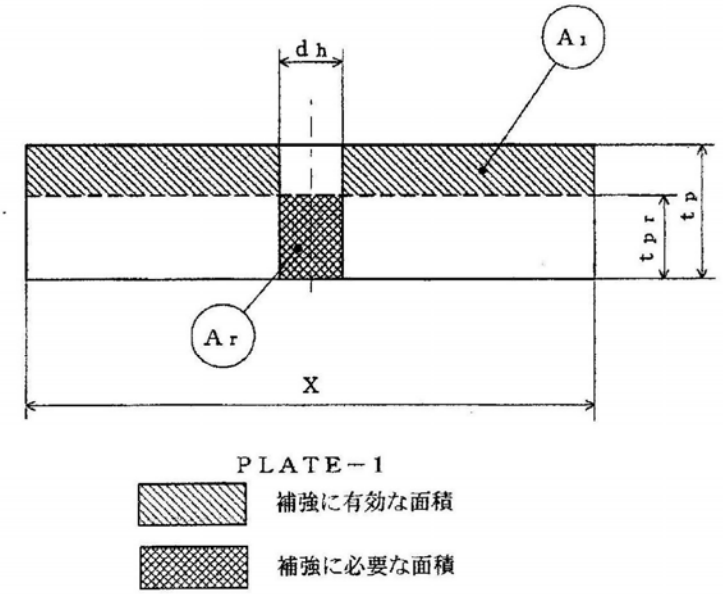
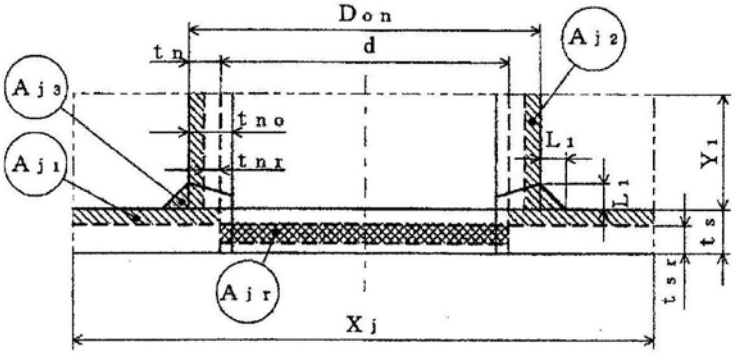
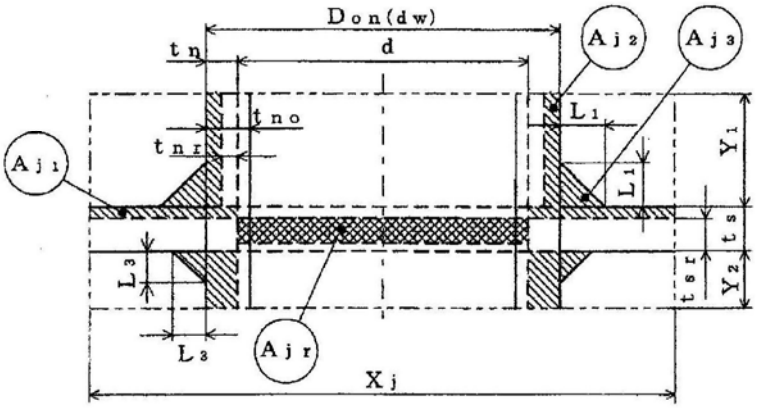

dh
A1
tpr
tp
Ar
X
PLATE−1
補強に有効な面積
補強に必要な面積

図 3−20



WELD－1

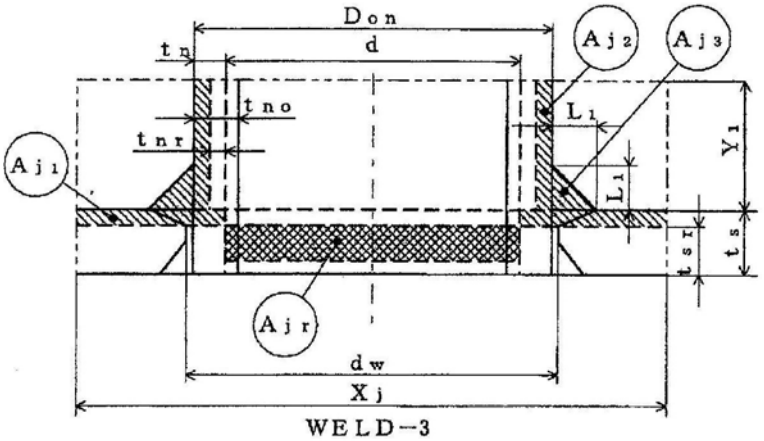


WELD－2

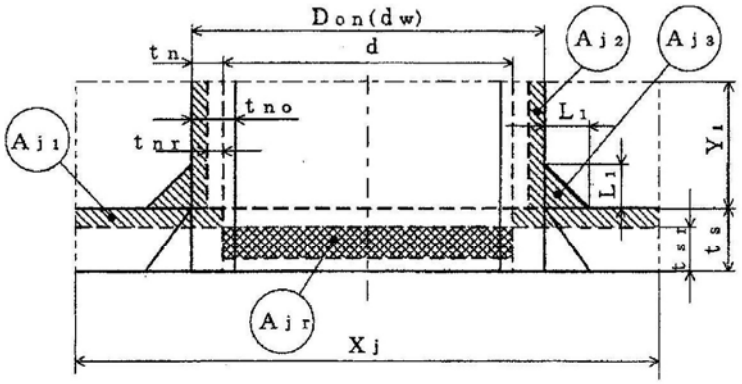
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3－21



WELD−3

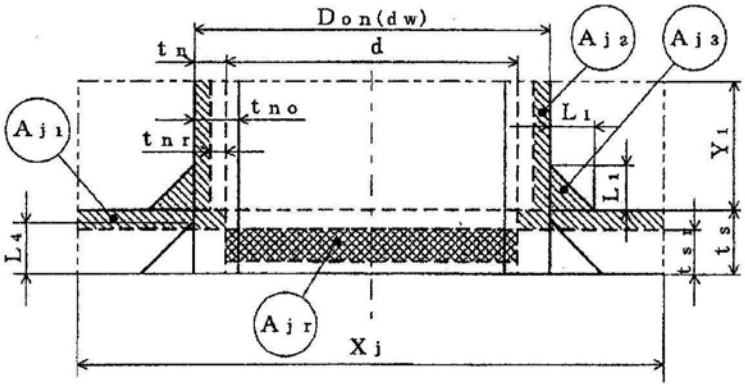


WELD−4

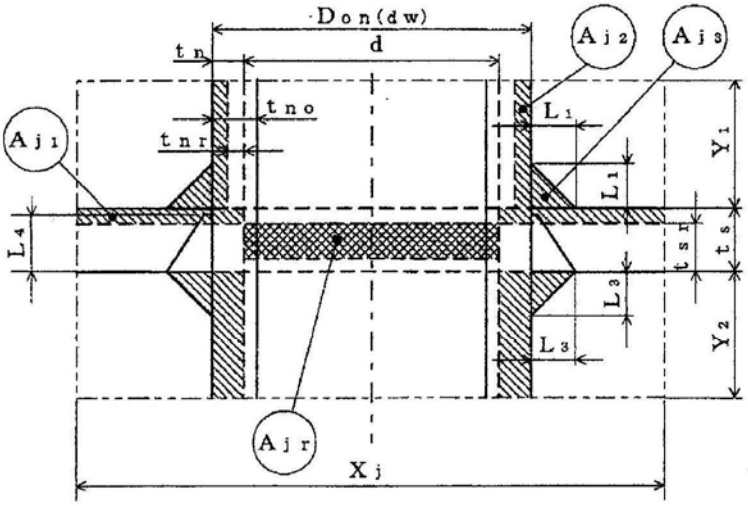
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−22

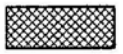


WELD−5



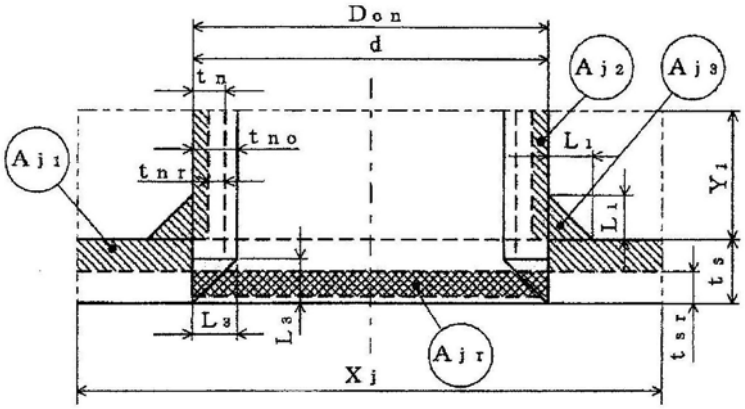
WELD−6

大きい穴の補強に有効な面積

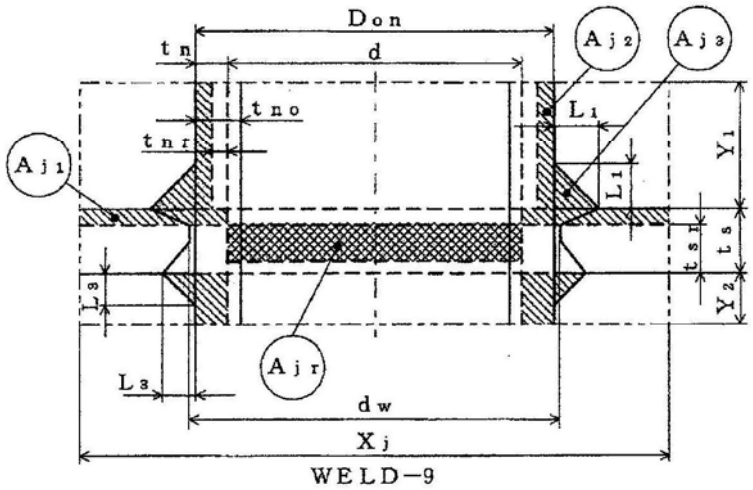


大きい穴の補強に必要な面積

図 3−23



WELD−8

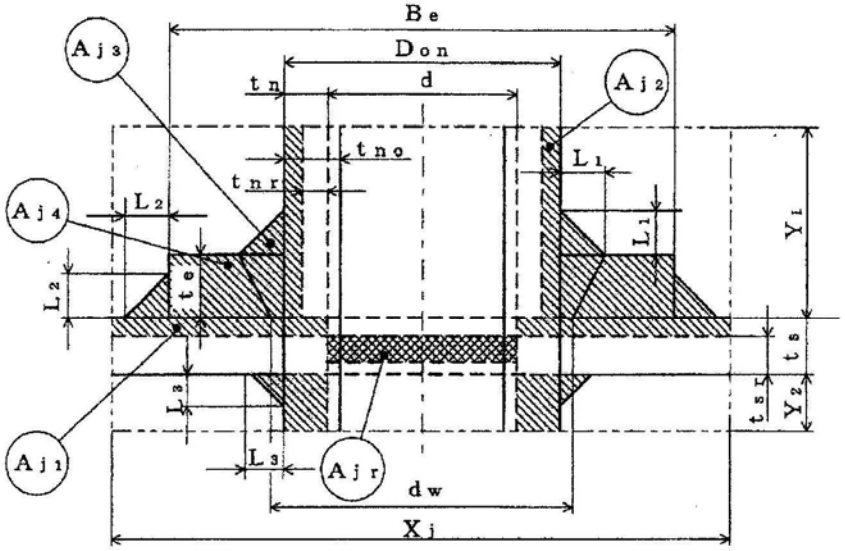


WELD−9

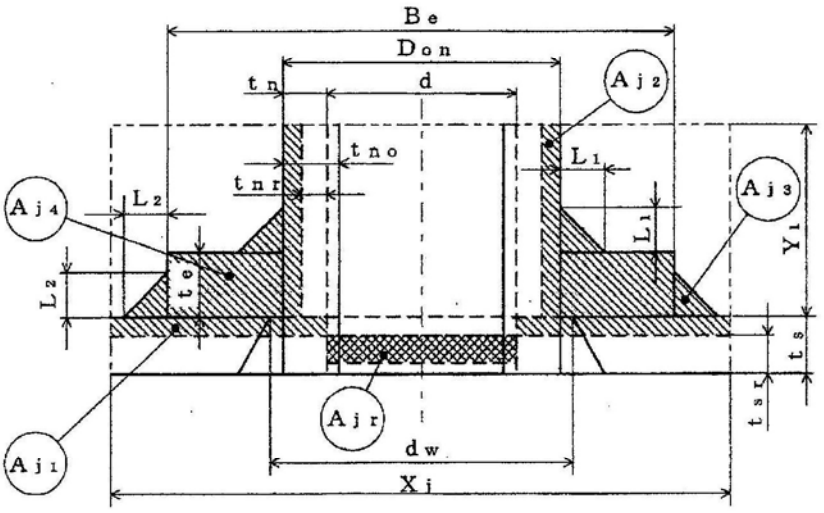
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−24



WELD−11

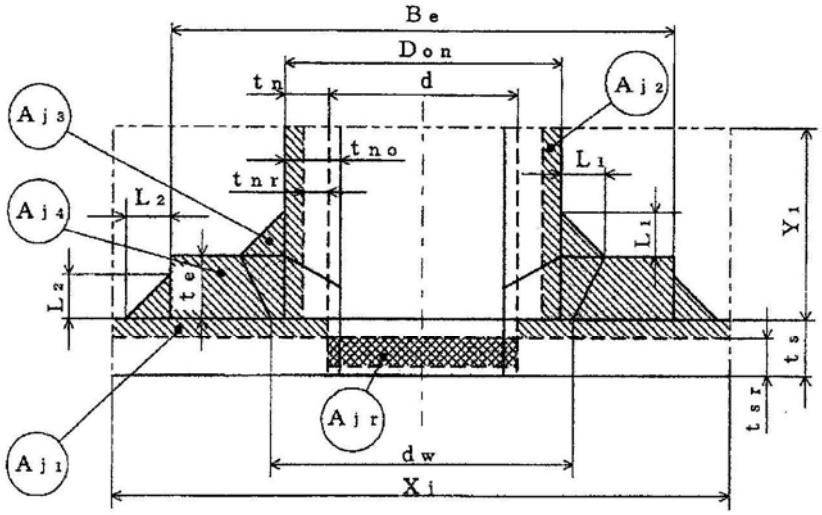


WELD−12

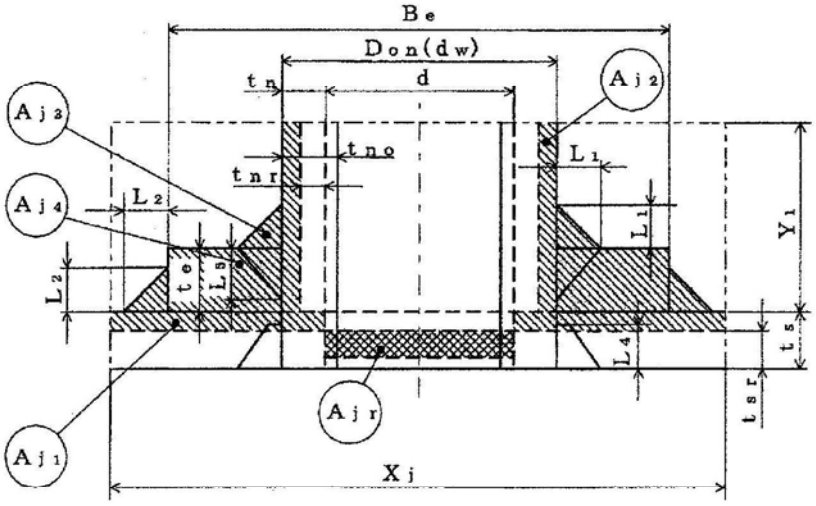
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−25



WELD−13

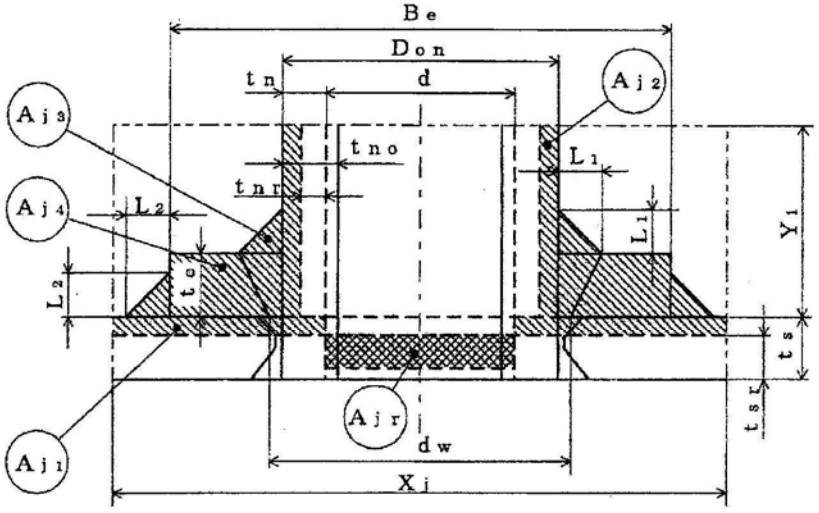


WELD−14

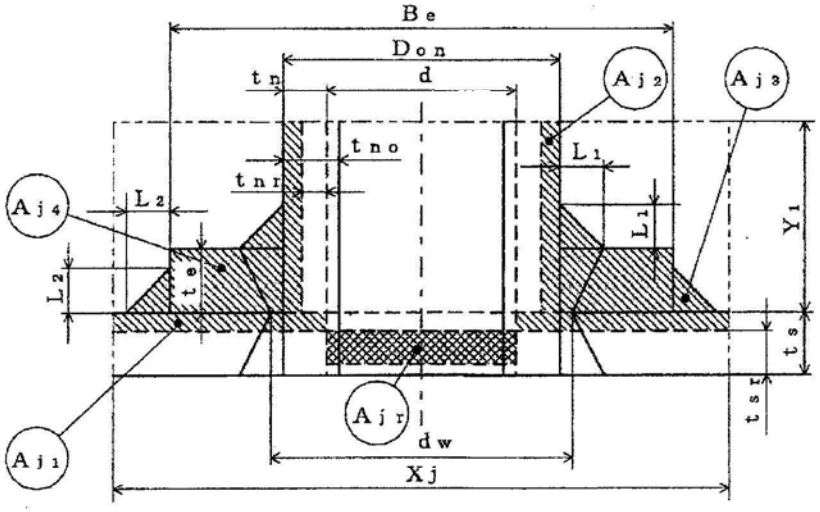
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−26



WELD−15

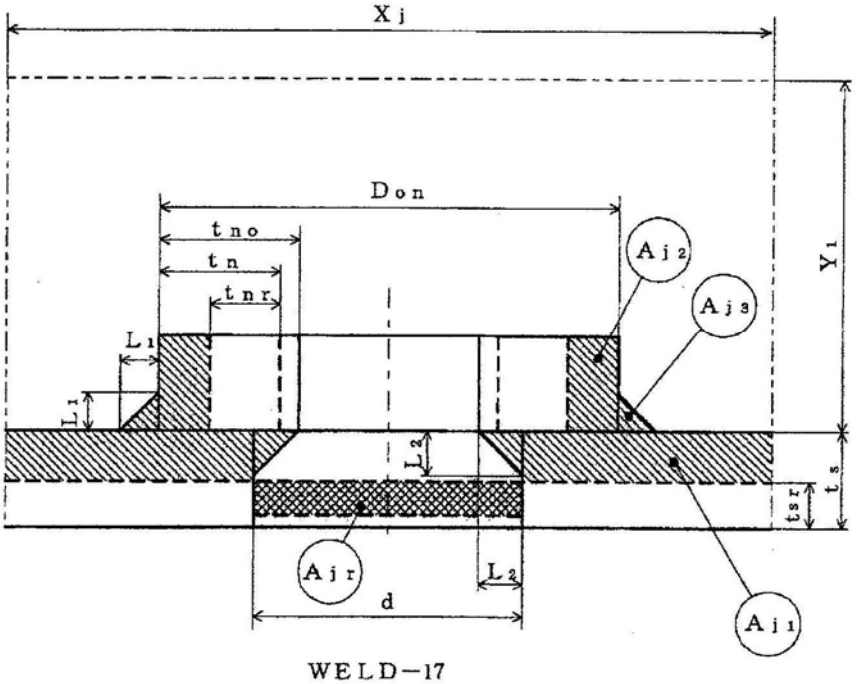


WELD−16

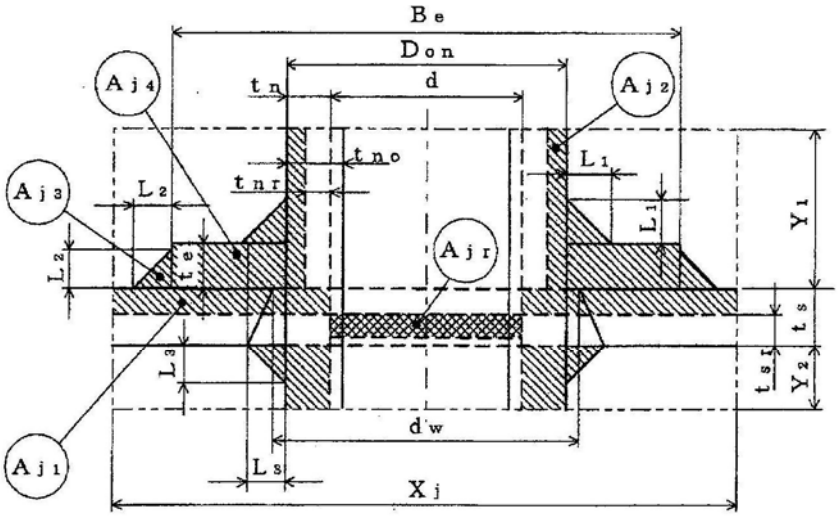
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−27



WELD−17

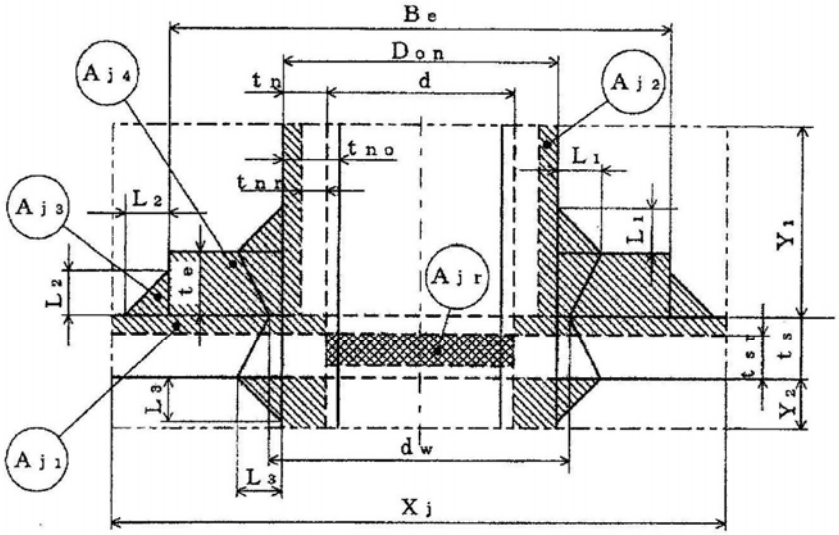


WELD−18

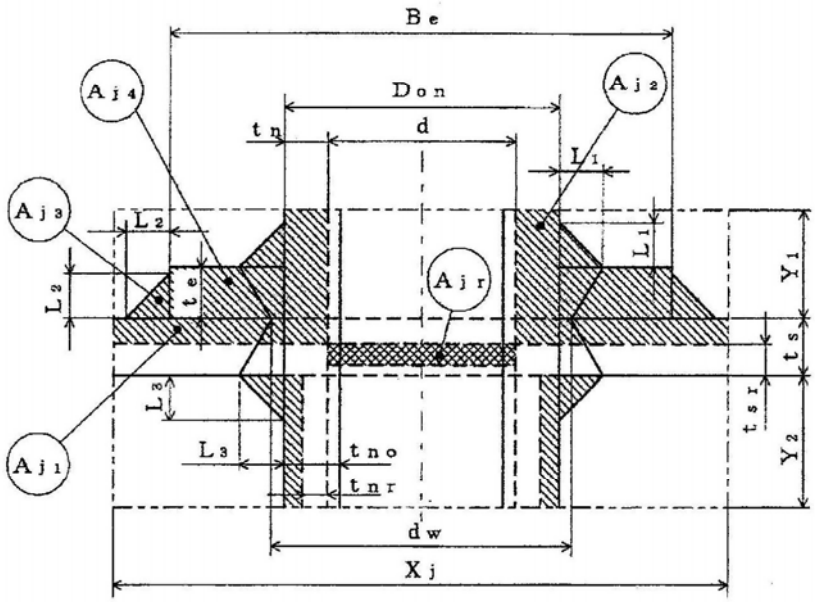
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−28



WELD−19

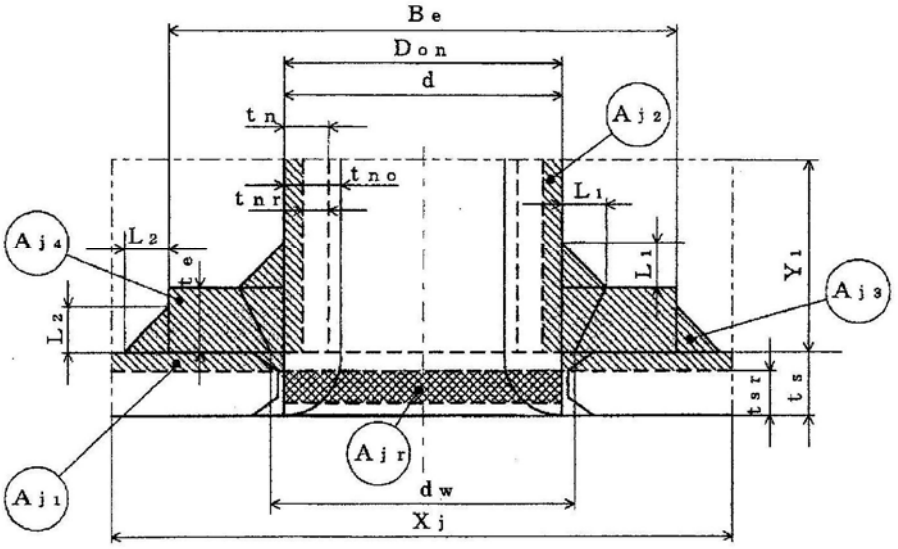


WELD−19′

大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−29

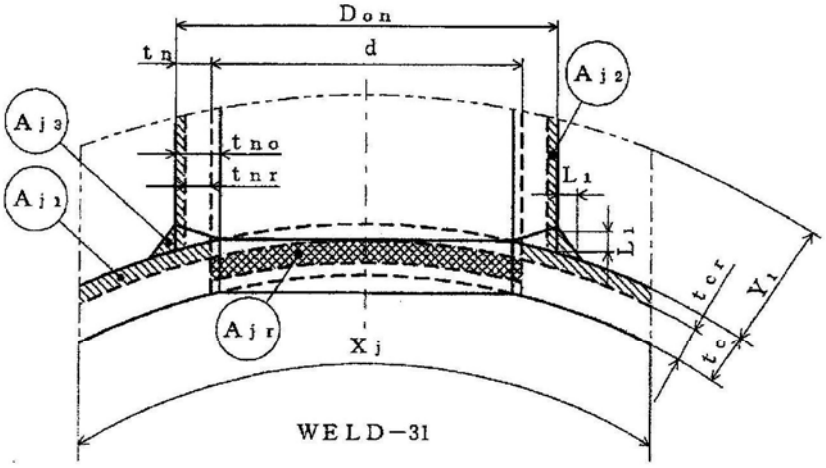


WELD−22

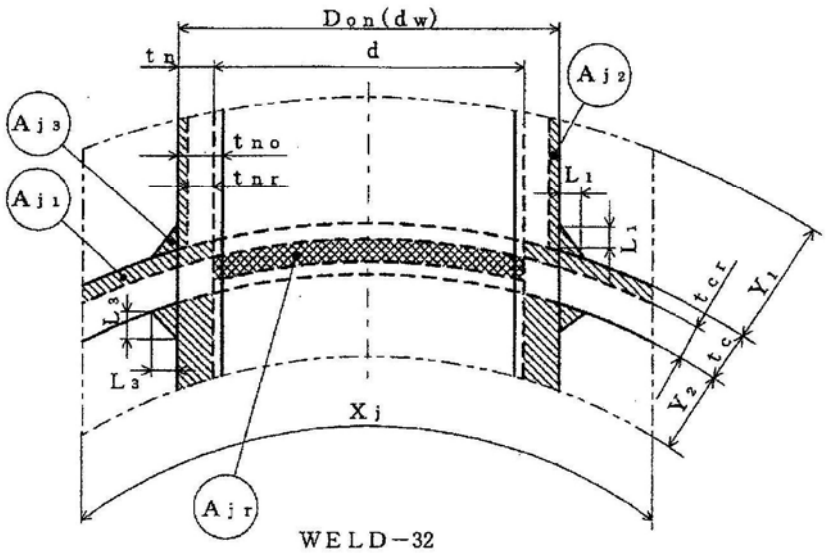
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−30



WELD−31



WELD−32

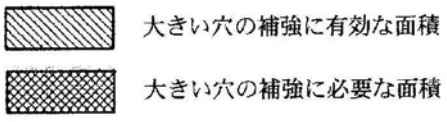
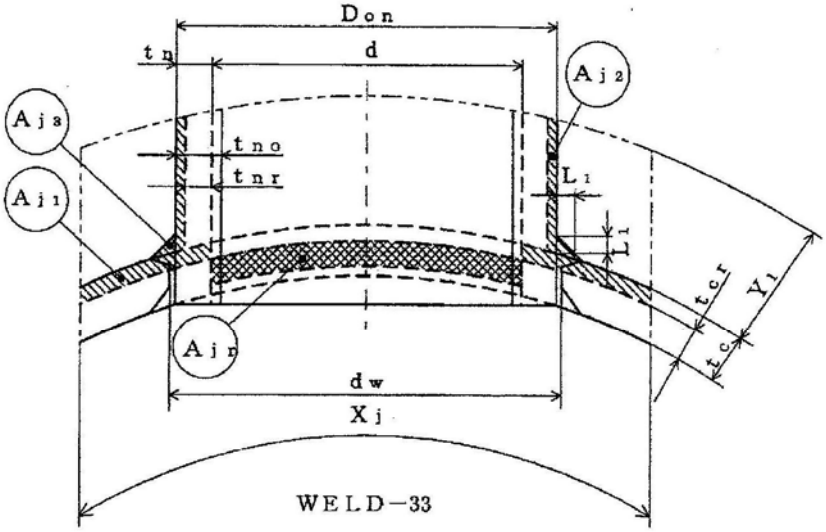
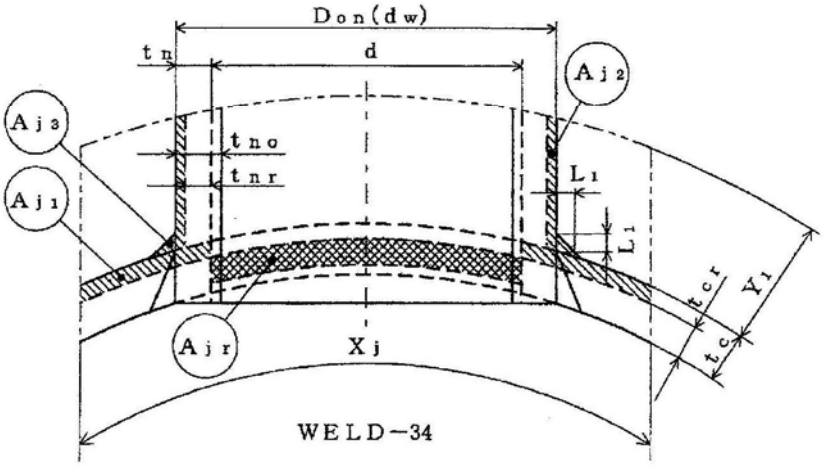


図 3−31



WELD−33



WELD−34

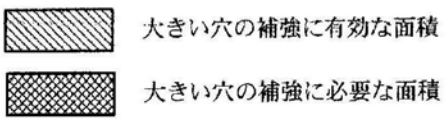
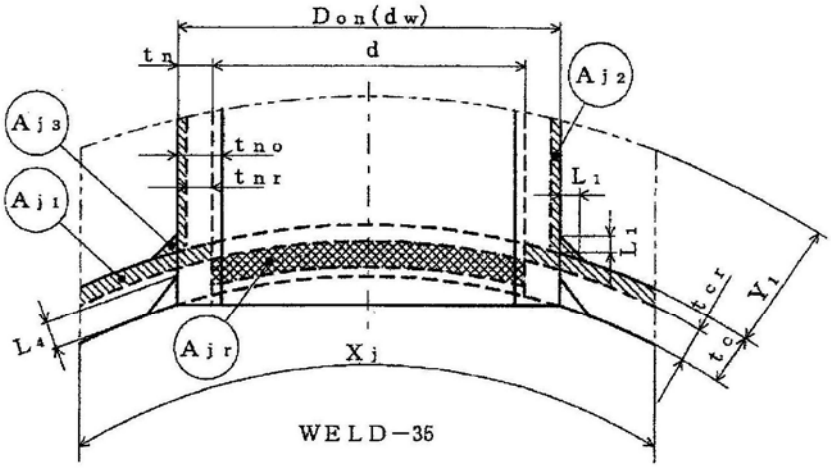
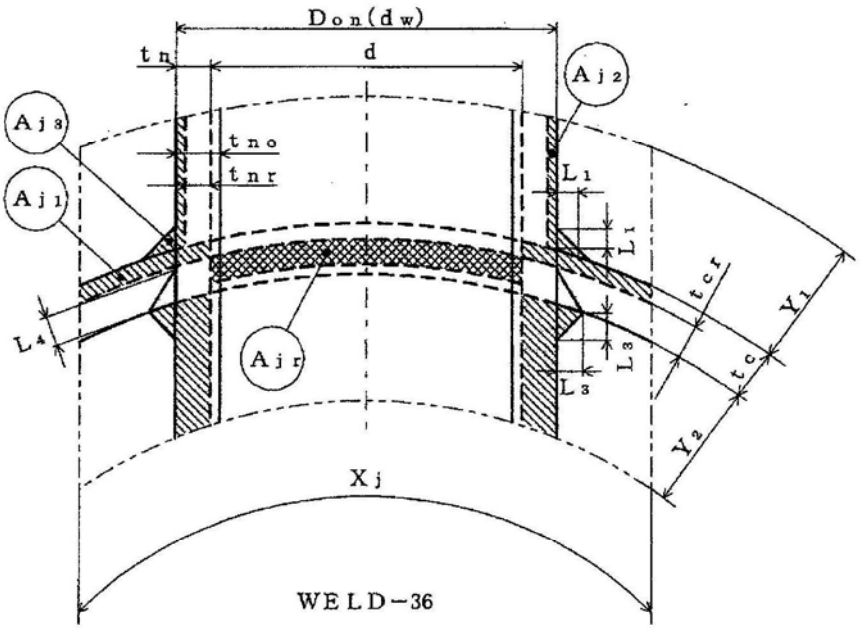


図 3−32



WELD−35

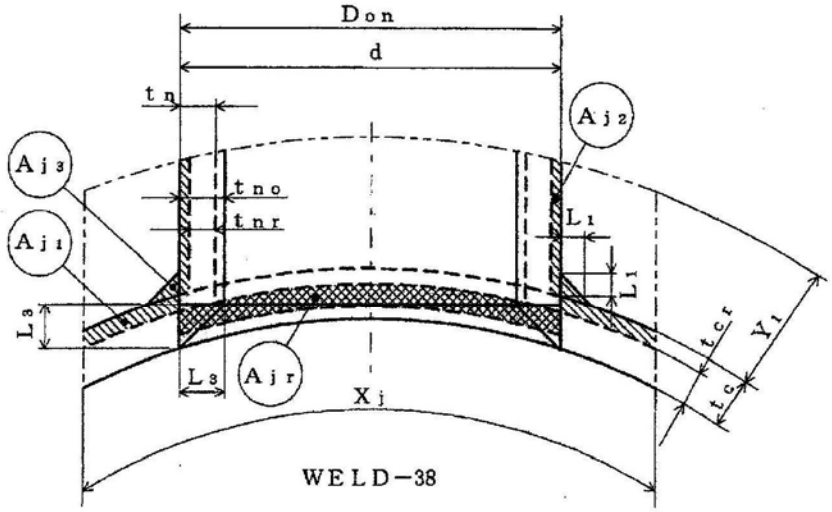


WELD−36

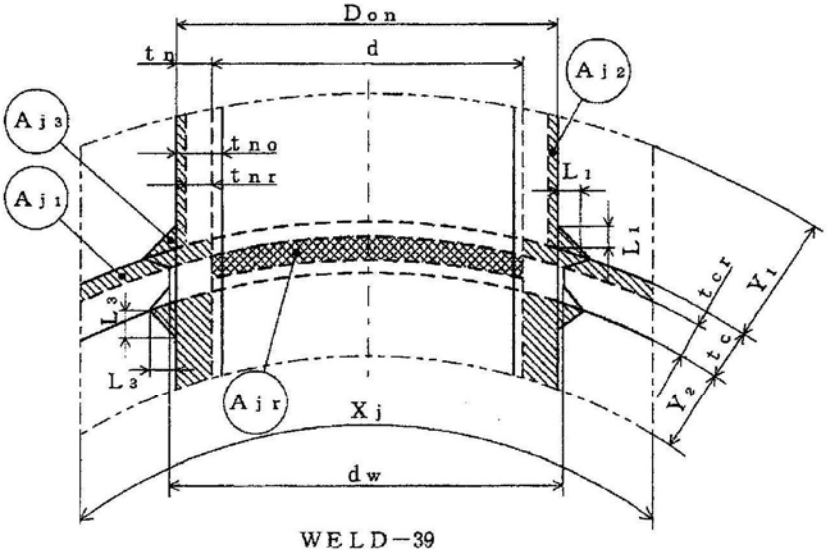
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−33



WELD−38

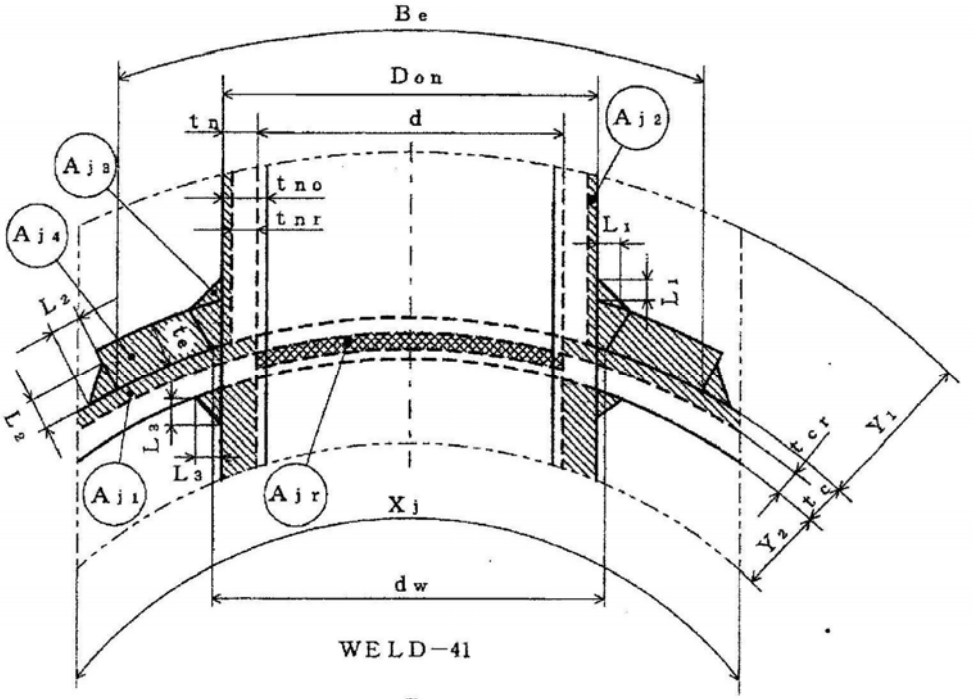


WELD−39

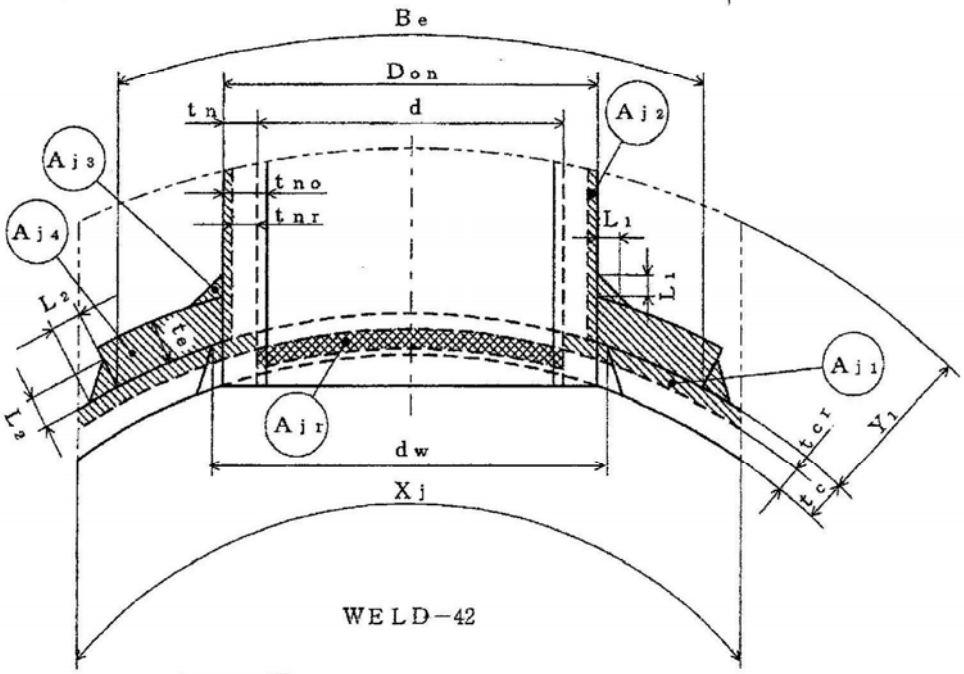
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−34



WELD−41

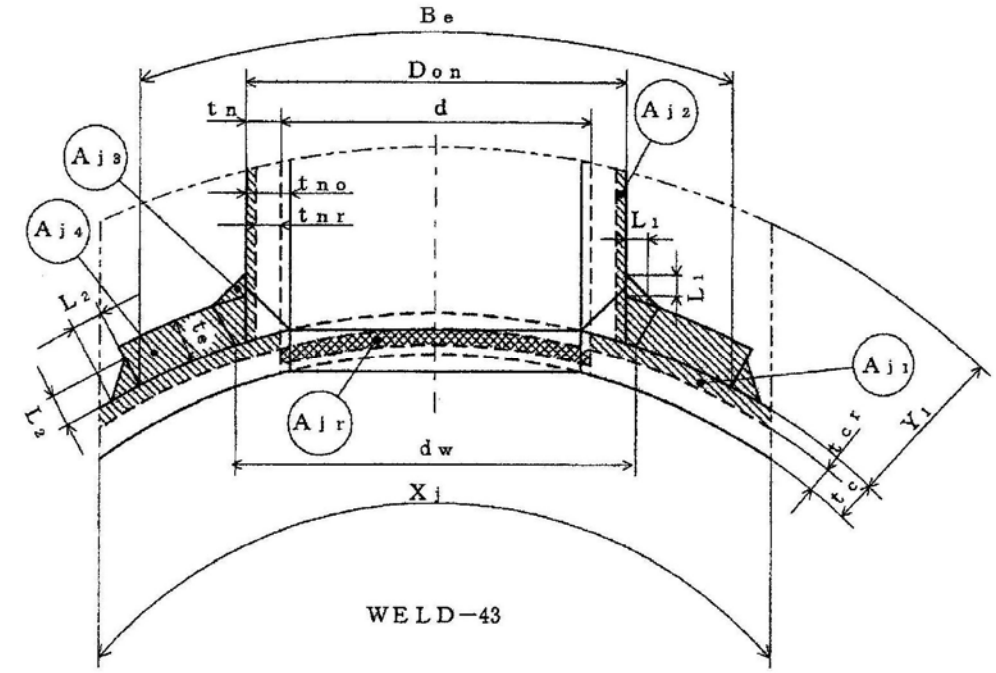


WELD−42

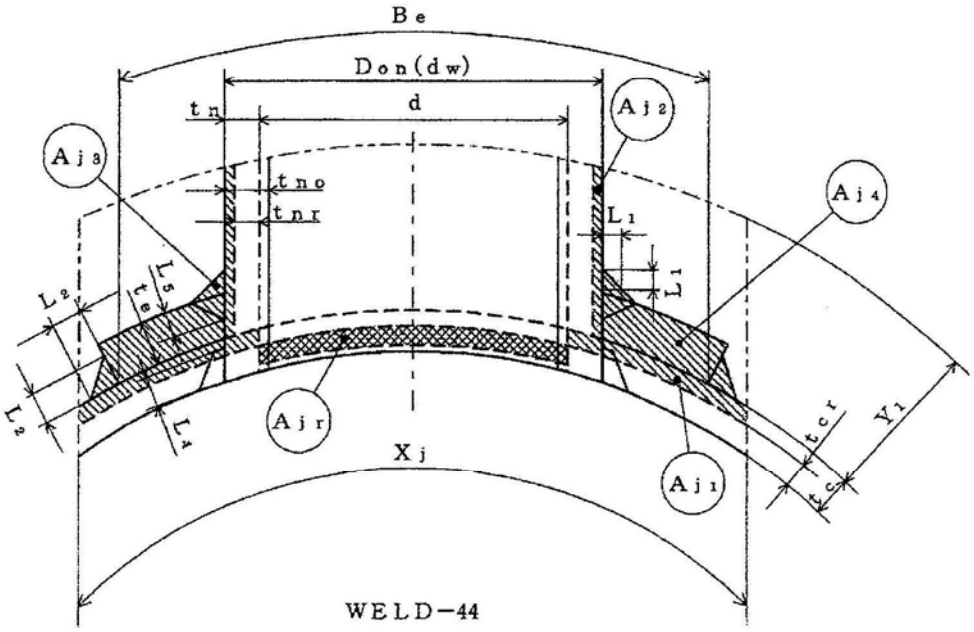
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図 3−35



WELD−43

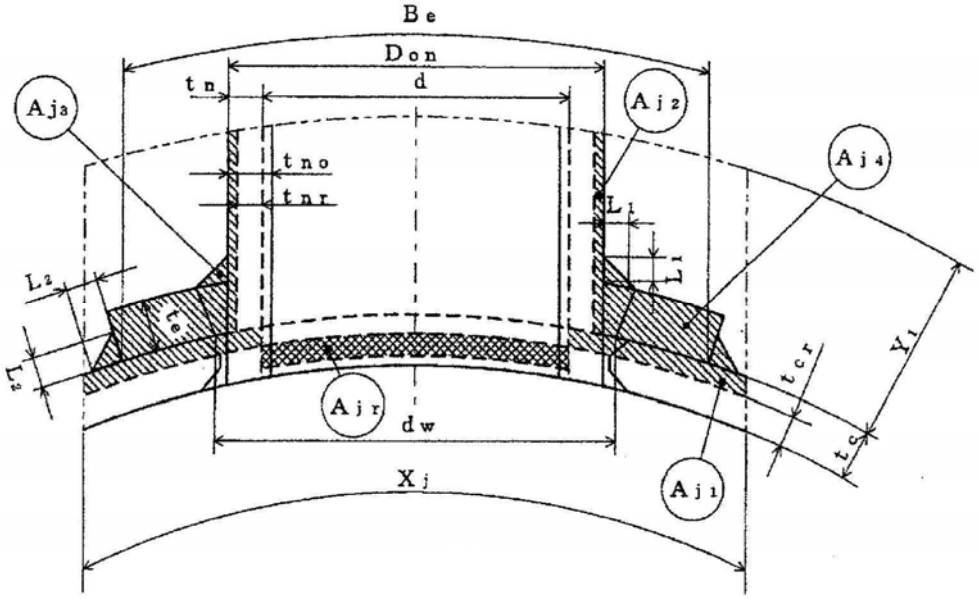


WELD−44

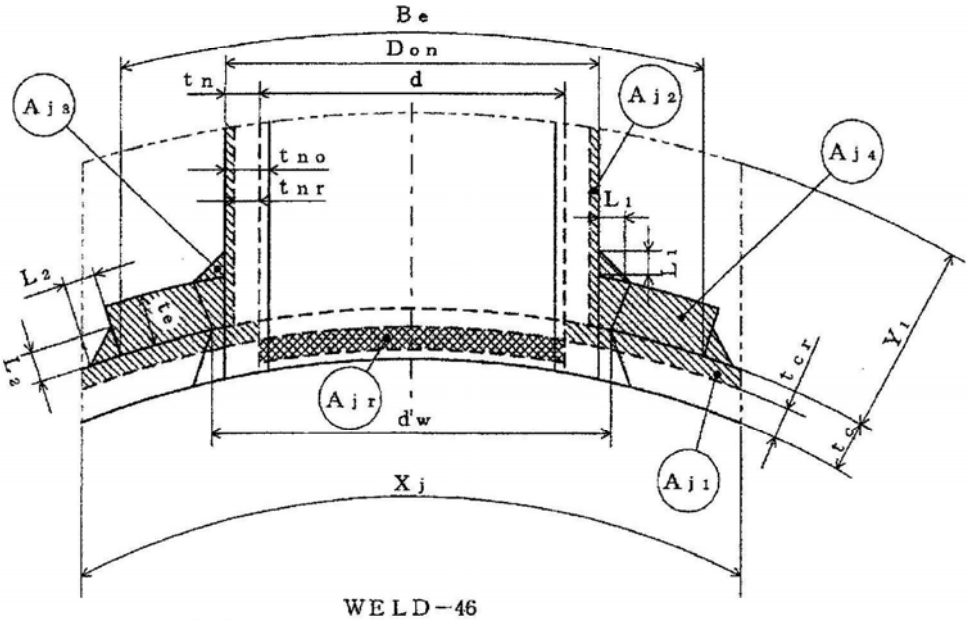
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−36



WELD−45

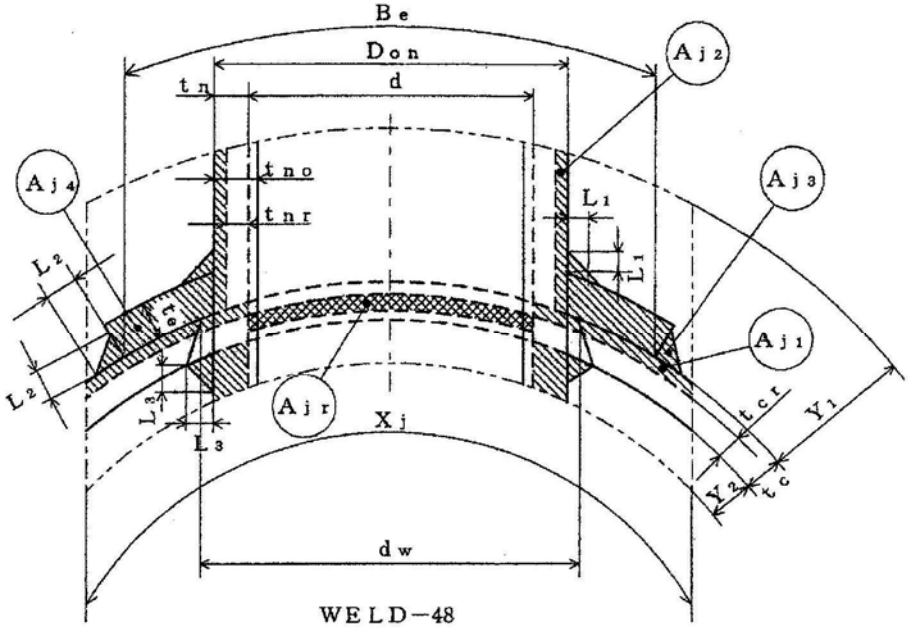


WELD−46

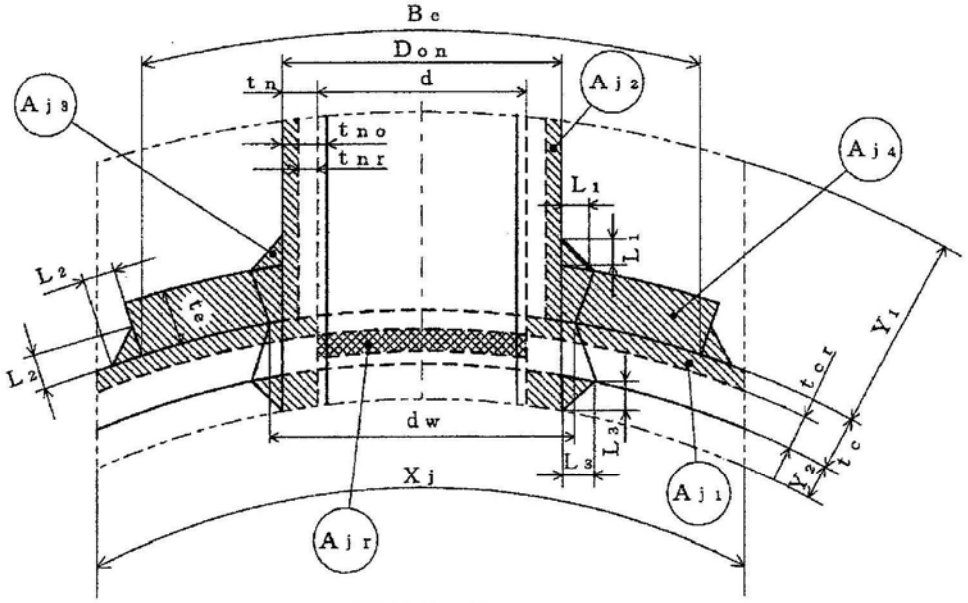
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−37



WELD−48

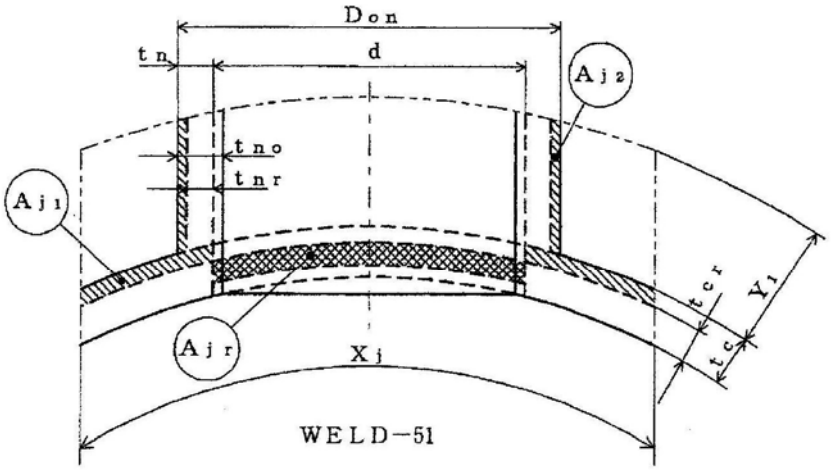


WELD−49

大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−38



大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−39

4. フランジの強度計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3710，クラス３容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3710準用）を適用する。

計算は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５を適用する。

フランジ形式及び各部の記号は図4-1～図4-3による。

なお，設計圧力及び使用温度は設計・建設規格における最高使用圧力及び最高使用温度とする。

4.1　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_O	b_O	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\begin{cases} \left(\frac{U}{V}\cdot h_0\cdot g_0^{\,2}\right. \\ \text{（一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合））} \\ \left(\frac{U}{V_L}\cdot h_0\cdot g_0^{\,2}\right. \\ \text{（ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合））} \end{cases}$	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
D_g	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
e	e	係数 $\begin{cases} =\left(\dfrac{F}{h_0}\right) \\ \text{(一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合)} \\ =\dfrac{F_L}{h_0} \\ \text{(ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合)} \end{cases}$	mm^{-1}
F	F	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は附属書3　表4による。）	－
F_L	F_L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図6又は附属書3　表4による。）	－
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は附属書3　表4による。）	－
	FLANGE−	フランジの形式（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５による。図4-1～図4-3参照）	－
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_o	g_o	ハブ先端の厚さ	mm
g_i	g_i	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_O	h_O	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために，ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
H_T	H_T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比，$\frac{A}{B}$	－
L	L	係数 $\left(=\frac{t\cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	－
m	m	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	－
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N・mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_0	M_0	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	－
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	－
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	－
V	V	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は附属書3　表4による。）	－
V_L	V_L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意系フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図9又は附属書3　表4による。）	－

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	－
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	－
π	π	円周率	－
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。）	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。）	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_f	σ_f	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_n	σ_{na}	管台又は胴の材料の常温における許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_n	σ_n	管台又は胴の材料の最高使用温度における許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_H	σ_H	ハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_R	フランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_T	フランジの周方向応力	MPa*

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
	ガスケット座面の形状	ガスケット座面の形状（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	－

注記　＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

4.2　フランジの計算

(1)　フランジの内圧計算

任意形フランジは，一体形フランジとして計算する。

ただし，下記条件をすべて満足する場合には，ハブなしルーズ形フランジとして計算する。

$g_0 \leqq 16\text{mm}$　　，　$B / g_0 \leqq 300$

$P \leqq 2\text{MPa}$　　，　最高使用温度≦370℃

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅ｂ及びガスケット反力円の直径Ｇは，ガスケット座の基本幅b_0に従い以下のように求める。

$b_0 \leqq 6.35\text{mm}$の場合

$b = b_0$

$G = G_s - N$

$b_0 > 6.35\text{mm}$の場合

$b = 2.52 \cdot b_0$

$G = G_s - 2 \cdot b$

b_0はＪＩＳ　Ｂ　８２６５ 附属書3 表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

熱交換器の管板を挟む一対のフランジのように，フランジ又はガスケットが同一でない場合は，W_{m1}及びW_{m2}の値は，それぞれのフランジ又はガスケットについて計算した値のうちの大きい方とし，その値を両方のフランジの計算に用いる。

また，セルフシールガスケットを用いる場合は，

$$W_{m1}(=H) = \frac{\pi}{4} \cdot D_g{}^2 \cdot P$$

$W_{m2} = 0$

とする。

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1}=W_{m1}/\sigma_b$ （使用状態）

$A_{m2}=W_{m2}/\sigma_a$ （ガスケット締付時）

$A_m=Max\left(A_{m1},\ A_{m2}\right)$

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d_b^{\,2}\cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o=W_{m1}$ （使用状態）

$W_g=(A_m+A_b)\cdot\sigma_a/2$ （ガスケット締付時）

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D=\frac{\pi}{4}\cdot B^2\cdot P$$

$H_G=W_0-H$

$H_T=H-H_D$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_r
一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジ	$R+0.5\cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_1+h_G}{2}$
差込み形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D+h_G}{2}$
ラップジョイント形フランジ	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{C-G}{2}$

ただし，

$$R=\left(\frac{C-B}{2}\right)-g_1$$

また，セルフシールガスケットを用いる場合は，GはD$_g$と読み替える。

（h項においても同じ。）

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$M_D=H_D\cdot h_D$

$M_G=H_G\cdot h_G$

$M_T=H_T\cdot h_T$

$M_0=M_D\cdot M_G\cdot M_T$

h.　ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

i.　一体形フランジ，一体形フランジとして計算する任意形フランジ及びルーズ形フランジでハブを考慮して計算するものの応力

(a)　使用状態でのフランジ応力

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B}$$

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_0}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^{\,2} \cdot B}$$

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0}$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^{\,2}$$

（一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形のフランジの場合）

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^{\,2}$$

（ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

$$e = \frac{F}{h_0}$$

（一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意フランジの場合）

$$e = \frac{F_L}{h_0}$$

（ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

j. ルーズ形フランジでハブがないもの，ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$\sigma_H = 0$

$\sigma_R = 0$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$\sigma_H = 0$

$\sigma_R = 0$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B}$$

k. 評価

内圧を受けるフランジは，下記の条件を満足すれば十分である。

(a) 一体形フランジ，一体形フランジとして計算する任意形フランジ及びルーズ形フランジでハブを考慮するもの

イ. ボルトの総有効断面積　　$A_b > A_m$

ロ. ハブの軸方向応力

一体形フランジとして計算するものの場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq Min\left(1.5 \cdot \sigma_f, 1.5 \cdot \sigma_n\right)$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq Min\left(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 1.5 \cdot \sigma_{na}\right)$

図 4-1　ＦＬＡＮＧＥ－2 に示すハブ付き一体形フランジの場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq Min\left(1.5 \cdot \sigma_f, 2.5 \cdot \sigma_n\right)$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq Min\left(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 2.5 \cdot \sigma_{na}\right)$

上記以外で鋳鉄以外の材料の場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq 1.5 \cdot \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

ハ. フランジの径方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_R \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_R \leqq \sigma_{fa}$

二. フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_T \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$

ホ. 軸方向と径方向応力の平均

使用状態にあっては $\dfrac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては $\dfrac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leqq \sigma_{fa}$

ヘ. 軸方向と周方向応力の平均

使用状態にあっては $\dfrac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては $\dfrac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leqq \sigma_{fa}$

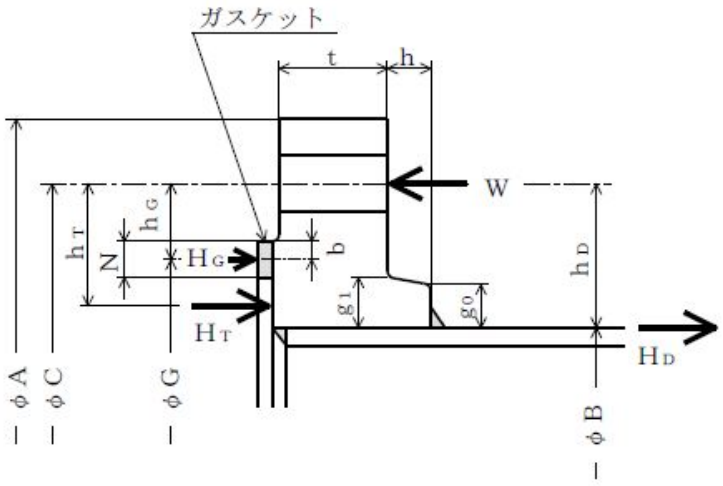
(b) ルーズ形フランジでハブがないもの，ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ

イ. ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

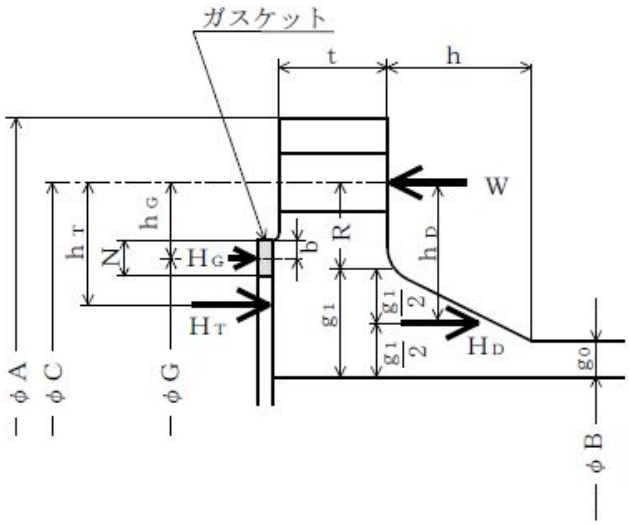
ロ. フランジの周方向応力

使用状態にあっては $\sigma_T \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては $\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$



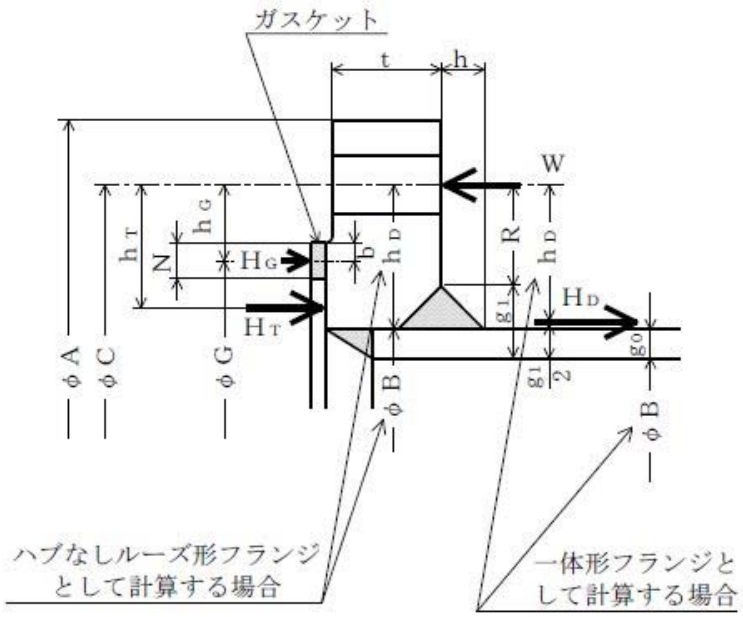
FLANGE－1（JIS B 8265 附属書3 図2 3)，4)，5))
〔ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）〕



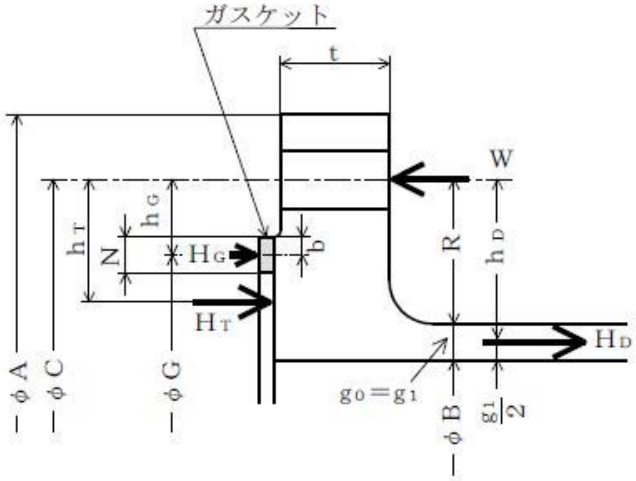
FLANGE－2（JIS B 8265 附属書3 図2 7)，8)，9))
〔一体形フランジ〕

注１：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。
注２：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図4－1



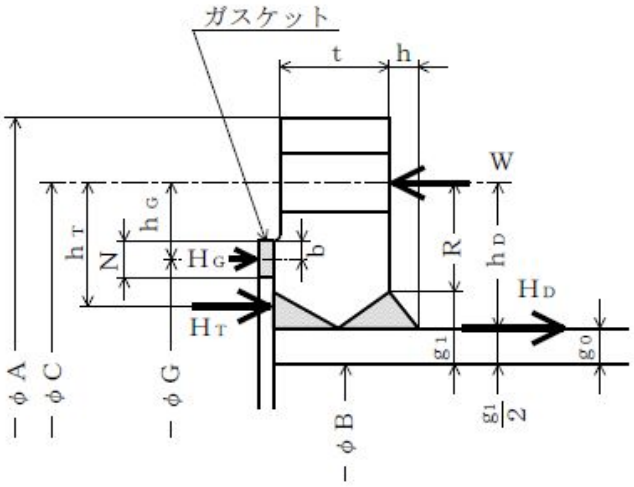
FLANGE－3（JIS B 8265 附属書3 図2 11)，12)，13)，14)，15))
〔任意形フランジ〕



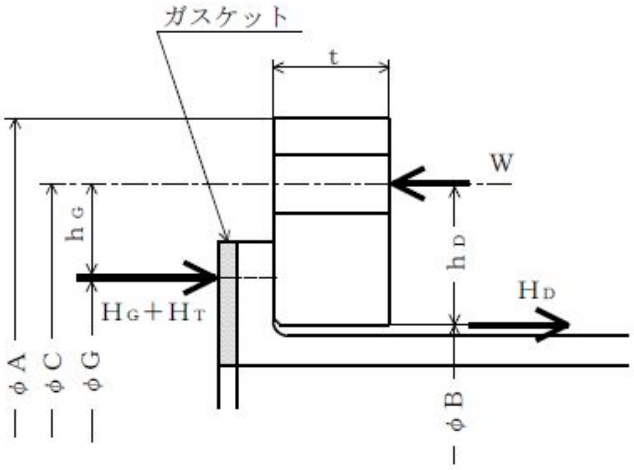
FLANGE－4（JIS B 8265 附属書3 図2 6))
〔一体形フランジ〕

注１：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。
注２：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図4－2



FLANGE－5（JIS B 8265 附属書3 図2 10））
〔一体形フランジ〕



FLANGE－6（JIS B 8265 附属書3 図2 1））
〔ルーズ形フランジ（ラップジョイント形フランジ）〕

注１：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。
注２：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図4－3

5. 支持構造物の強度計算

重大事故等クラス２支持構造物については，耐震計算において自重に加え地震荷重も評価に含めており，強度計算は耐震計算に含めて実施するものとする。

6. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス２容器及び重大事故等クラス２支持構造物の材料について，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）施行前に工事着手又は完成したものであって設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価については，以下の方針にしたがって，重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重，その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格においてクラス２容器及びクラス２支持構造物に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は，機械的強度及び化学的成分について，使用材料とクラス２容器に使用可能な材料として規定されている材料との比較，又は求められる機能を考慮し，使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重，その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については，使用材料と比較対象となるクラス２容器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に規定されている機械的性質のうち，機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。表6-1「機械的強度における評価項目の選定結果」に選定結果を示す。

表 6-1　機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ 降伏点 又は耐力	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２容器の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス２容器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２容器については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２容器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工性など成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２容器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料の靭性の評価に用いられる値であるが，靭性については「(2) 破壊靭性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐磨耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記　＊：ＪＩＳ等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２容器に使用可能な材料として規定された材料との比較，又は求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は，使用材料と比較対象となるクラス２容器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２容器に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い，化学的成分規定値に差異があった場合は，化学的成分ごとの影響を確認し，使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは，求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお，各化学的成分の影響については，表6-2「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 6-2　化学的成分が材料に及ぼす影響整理票

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	－	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，材料の機械的性質である引張強さ，降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	－	－	－	－	－	－	－	向上	－	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，高温域（設計・建設規格 PVB-3312）で使用されないことを確認する。
溶接性		低下	－	－	－	－	－	－	－	－	－	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，溶接規格*にて定められた数値0.35%以下であることを確認する。
靭性		低下	－	向上	低下	低下	－	向上	－	－	－	靭性については，「(2) 破壊靭性」において確認する。なお，靭性に影響を及ぼす不純物であるP，Sの化学的成分に差異がある場合は，成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	－	－	－	－	－	向上	向上	－	－	耐食性のうち，応力腐食割れに影響を与える化学的成分には，C，Ni，Crがあるが，Ni，Crについては応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから，悪影響を与えるCの含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える化学的成分に差異がある場合は，悪影響を与える差異が無いことを確認する。なお，耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	－	－	－	－	－	向上	向上	向上	向上	向上	

注：表中は化学的成分を添加した場合の影響を示す。

注記　＊：「溶接規格」とは，発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＢ１－2007）（日本機械学会　2007 年）をいう。

(2) 破壊靭性

a. 破壊靭性試験不要となる材料の規定

破壊靭性については，設計・建設規格に規定されている破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊靭性試験不要となる材料の規定*

・厚さが 16mm 未満の材料
・断面積が 625mm^2 未満の棒の材料
・呼び径が 25mm 未満のボルト等の材料
・外径が 169mm 未満の管の材料
・厚さが 16mm，または外径が 169mm 未満の管に接続されるフランジの材料および管継手の材料
・オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金
・非鉄金属

注記 ＊：クラス２容器の除外規定（設計・建設規格 PVC-2310）を記載している。

b. 破壊靭性の確認

破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当しない容器の破壊靭性については，施設時の要求を考慮し，以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊靭性が要求されていた容器

該当容器は，施設時の規格の要求に基づき十分な破壊靭性を有していることを確認している。また，材料の破壊靭性値は，一般的に温度が低くなるにつれて低下することから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊靭性が要求されていなかった容器

対象容器は，技術基準規則で規定している機器クラスのうち，クラス３容器（工学的安全施設を除く。）及びＮｏｎクラス*に該当する容器（支持構造物を含む。）であり，施設時における破壊靭性に対する要求がないことから材料の靭性は確認されていないが，設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで，使用条件下での脆性破壊に対する靭性は同じであるとみなせることから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 ＊：技術基準規則第2条第2項第32号，第33号及び第34条に規定する「クラス１容器」，「クラス２容器」，「クラス３容器」及びこれらを支持する構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準

用するもの以外の容器又は支持構造物

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される容器においては気象観測記録における最低温度である-12.7 ℃，屋内に設置される容器においては建屋の最低温度である4.4 ℃，海水又は海水により冷却される原子炉補機冷却水と接する容器は海水の最低温度7.0 ℃，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する容器については21 ℃がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設される容器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値と変わらない。屋内に施設される容器のうち，重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度4.4 ℃を下回ることはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する容器については，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることはない。また，屋内に施設される容器のうち，重大事故等時において通水される内部流体が海水の場合は，海水の最低温度が7.0 ℃であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度4.4 ℃を有意に下回ることはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていた容器において，材料の破壊靭性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない容器については，施設時に確認した破壊靭性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊靭性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る容器については，使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていなかった容器において，設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し，使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス２容器に属する鋳造品については，非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 強度計算に用いる許容値に，非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで，材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

別添1　容器の強度計算書のフォーマット

V－－－－　　○○○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は，「付録12　容器の強度計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づいて計算を行う。

目次

1. 設計条件
2. 適用規格
3. 強度計算
3.1 容器の胴の厚さの計算
3.2 容器の鏡板の厚さの計算
3.3 容器の平板の厚さの計算
3.4 容器の管台の厚さの計算
3.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算
3.6 容器の穴の補強計算
3.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

1. 設計条件

(1) 最高使用圧力 (MPa) ＊.＊＊＊
(2) 最高使用温度 (℃) ＊＊＊

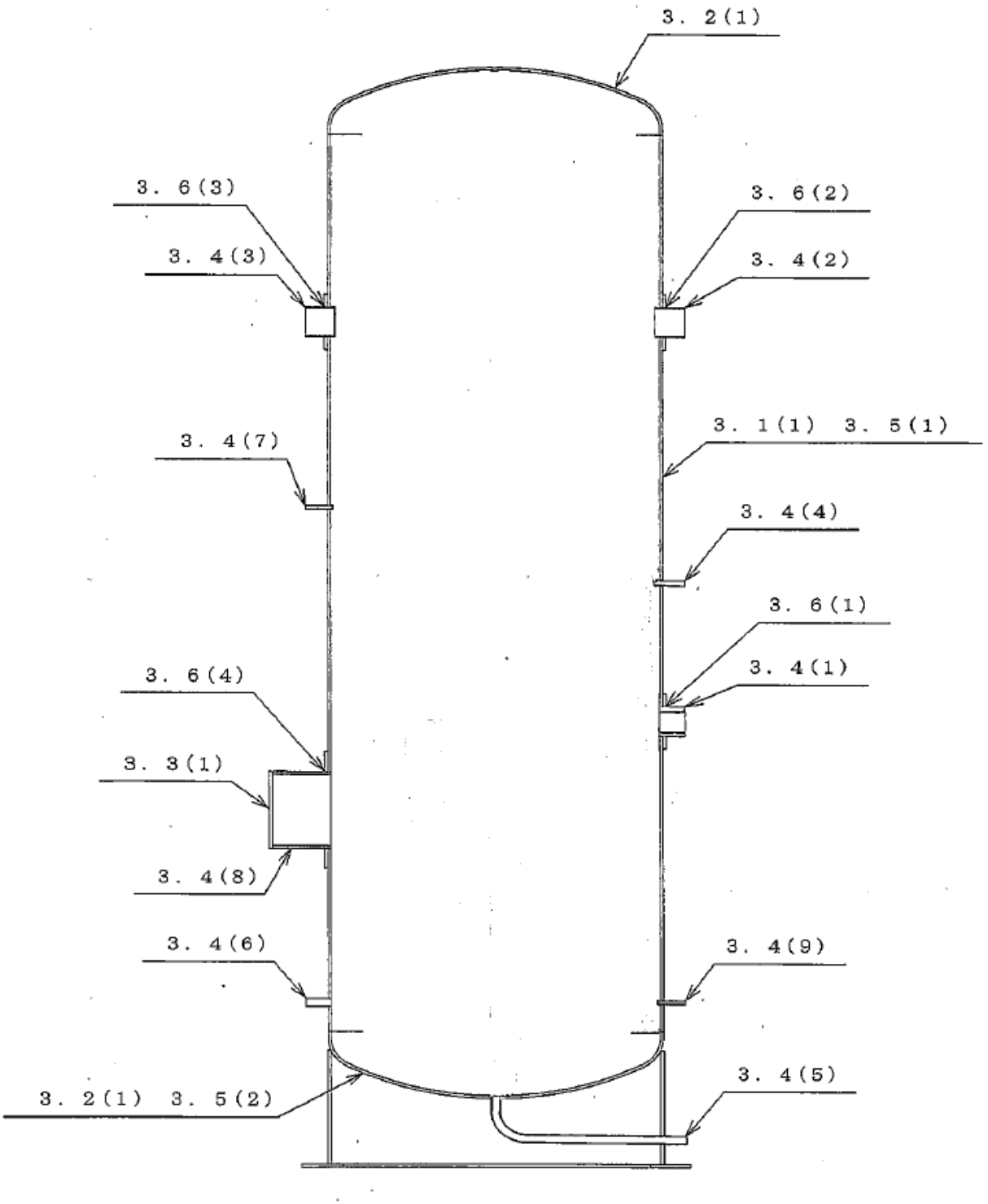
2. 適用規格

(1) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版　(2007年追補版含む。)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007年9月）（以下，「設計・建設規格」という。）により行う。

容器の区分：重大事故等クラス２

3. 強度計算

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の計算項目番号を示す。

図3－1 概要図

3.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3120

胴板名称			(1)　胴板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
胴の内径		(mm)	D_i
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			有り
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_2	(mm)	
t_1, t_2の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	
最小厚さ	t_s	(mm)	
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

3.2　容器の鏡板の厚さの計算

（イ）　設計・建設規格　PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称			(1)　鏡板
鏡板の外径	D_{oc}	(mm)	2240.00
鏡板の中央部における内面の半径	R	(mm)	2200.00
鏡板のすみの丸みの内半径	r	(mm)	220.00
$3・t_{co}$		(mm)	60.00
$0.06・D_{oc}$		(mm)	134.40
評価：$D_{oc} \geqq R$，$r \geqq 3・t_{co}$，$r \geqq 0.06・D_{oc}$，r ≧50mm，よってさら形鏡板である。			

（ロ）　設計・建設規格　PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称			(1)　鏡板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
胴の内径	D_i	(mm)	
さら形鏡板の形状による係数	W		
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			－
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_2	(mm)	
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{co}	(mm)	
最小厚さ	t_c	(mm)	
評価：$t_c \geqq t$，よって十分である。			

3.3　容器の平板の厚さの計算

（イ）　設計・建設規格　PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称			(1)　マンホール平板
平板の取付け方法			（ｉ）
平板の穴の有無			無し
溶接部の寸法	t_{w1}	(mm)	
溶接部の寸法	t_{w2}	(mm)	
胴又は管の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	
胴又は管の最小厚さ	t_s	(mm)	
$t_{w1}+t_{w2}$		(mm)	
$2\cdot t_s$		(mm)	
$1.25\cdot t_{sr}$		(mm)	
評価：$t_{w1}+t_{w2}\geqq 2\cdot t_s$，$t_{w1}\geqq t_s$，$t_s\geqq 1.25\cdot t_{sr}$ よって十分である。			

（ロ）　設計・建設規格　PVC-3310

平板の厚さ

平板名称			(1)　マンホール平板
材料			SUSF316L（厚さ130㎜未満）
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
取付け方法による係数	K		
平板の径	d	(mm)	
必要厚さ	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{po}	(mm)	
最小厚さ	t_p	(mm)	
評価：$t_P\geqq t$，よって十分である。			

3.4　容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3610

管台名称			(1)　○○○入口
材料			SUS316LTP-S
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
管台の外径	D_o	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			－
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_3	(mm)	
t_1，t_3の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	
最小厚さ	t_n	(mm)	
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

3.5　容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格　PVC-3150(2)

胴板名称			(1)　胴板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
胴の外径	D	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			－
$d_{r1}=(D-2\cdot t_s)/4$		(mm)	
61，d_{r1}の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D\cdot t_s$		(mm^2)	
200，d_{r2}の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称			○○○入口(3.6(1)) ○○○出口(3.6(2)) ○○○出口(3.6(3)) マンホール(3.6(4))

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格　PVC-3230(2)

鏡板名称			(2)　鏡板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	t_C	(mm)	
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			－
$d_{r1}=(D-2\cdot t_c)/4$		(mm)	
61，d_{r1}の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D\cdot t_c$		(mm^2)	
200，d_{r2}の小さい値		(mm)	
補強を要しない穴の最大径		(mm)	
評価：補強の計算を要する穴の名称			無し

3.6　容器の穴の補強計算

設計・建設規格　PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１１

部材名称			(1)　○○○入口
胴板材料			SUS316L
管台材料			SUS316LTP-S
強め板材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	107
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	107
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	
補強の有効範囲	X_1	(mm)	
補強の有効範囲	X_2	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	
補強の有効範囲	Y_2	(mm)	
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	
強め板の外径	B_e	(mm)	
管台の外径	D_{on}	(mm)	
溶接寸法	L_1	(mm)	
溶接寸法	L_2	(mm)	
溶接寸法	L_3	(mm)	
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	

強め板の有効補強面積　　A_4　　(mm^2)		
補強に有効な総面積積　　A_0　　(mm^2)		
補強：$A_0 > A_r$，よって十分である。		

部材名称	(1)　○○○入口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径　d_j　(mm)	
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重　W_1　(N)	
溶接部にかかる荷重　W_2　(N)	
溶接部の負うべき荷重　W　(N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力　S_{w1}　(MPa)	
突合せ溶接の許容せん断応力　S_{w2}　(MPa)	
突合せ溶接の許容引張応力　S_{w3}　(MPa)	
管台壁の許容せん断応力　S_{w4}　(MPa)	
応力除去の有無	
すみ肉溶接の許容せん断応力係数　F_1	
突合せ溶接の許容せん断応力係数　F_2	
突合せ溶接の許容引張応力係数　F_3	
管台壁の許容せん断応力係数　F_4	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e1}　(N)	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e2}　(N)	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e3}　(N)	
突合せ溶接部のせん断力　W_{e4}　(N)	
突合せ溶接部の引張力　W_{e8}　(N)	
突合せ溶接部の引張力　W_{e9}　(N)	
管台のせん断力　W_{e10}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp1}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp2}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp3}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp4}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp5}　(N)	
評価：$W_{ebp1} \geqq W$，$W_{ebp2} \geqq W$，$W_{ebp3} \geqq W$，$W_{ebp4} \geqq W$，$W_{ebp5} \geqq W$ 以上より十分である。	

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

3.7　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

胴側胴板（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

(材料記号を記載)

(1)　機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	370N/mm^{2}以上	215N/mm^{2}以上	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	370N/mm^{2}以上	215N/mm^{2}以上	

(2)　化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.25 以下	0.35 以下	0.30 ～ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	－	－	－	－	－
比較材料	0.25 以下	0.10 ～ 0.35	0.30 ～ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	－	－	－	－	－
比較結果	Si，P，S の成分規定に差異があるが，以下により，本設備の環境下での使用は問題ないと考える。 Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが，(1)の評価結果からも機械強度は同等以上であること。 P：冷間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は，薄肉(16mm 未満)であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。 S：熱間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は，薄肉(16mm 未満)であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。									

(3)　評価結果

(1)(2)の評価により，機械的強度，化学成分，いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため，本設備において，△△△△を重大事故等クラス２材料として使用することに問題ないと考える。

(材料記号を記載)

付録 13　ポンプの強度計算書作成の基本方針

まえがき

本基本方針は，工事計画認可申請書に添付するポンプの強度計算書について説明するものである。

本書は，以下により構成される。

第一部　重大事故等クラス２ポンプの強度計算書作成の基本方針

第二部　クラス３ポンプの強度計算書作成の基本方針

第一部　重大事故等クラス２ポンプの強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項 1-1
1.1 概要 1-1
1.2 適用規格及び基準との適合性 1-1
1.3 強度計算書の構成とその見方 1-3
1.4 計算精度と数値の丸め方 1-3
1.5 材料の表示方法 1-4
2. 計算条件 1-5
2.1 ポンプの形式判別 1-5
2.2 計算部位 1-5
2.3 設計条件 1-5
3. 強度計算書の計算式と記号 1-6
3.1 共通記号 1-6
3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ 1-7
3.3 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ 1-8
3.4 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定 1-9
3.5 往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ 1-11
3.6 うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ 1-12
3.7 ボルトの平均引張応力 1-14
3.8 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ 1-16
3.9 吸込及び吐出フランジ 1-16
4. 支持構造物の強度計算 1-16
5. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価 1-17

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうち重大事故等クラス２ポンプの強度計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

(1) 強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。なお，設計基準対象施設のクラス３ポンプで重大事故等対処設備兼用となるポンプのうち，設計・建設規格のクラス２ポンプに規定がないものについては，クラス３ポンプの規定を準用する。

（例）軸垂直割りケーシングを持った１段あるいは多段の立型ポンプ

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は，表 1-1 に示すとおりである。

(2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表 1-2 に示すとおりである。

(3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格　別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PMC-3710）

a. ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

表 1-1　建設・建設規格　各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
（重大事故等クラス２ポンプ）		
PMC-3110	2.1	ポンプの形式判別
PMC-3320	3.2	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ
PMC-3330	3.3	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ
PMC-3340	3.4	横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定
PMC-3350	3.5	往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ
PMC-3410	3.6	うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ
PMC-3510	3.7	ボルトの平均引張応力
PMC-3610	3.8	耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ
PMC-3710	3.9	吸込及び吐出フランジ

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式	備考
No.	項	(章節番号)	
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）*	3	3.7	ボルトの平均引張応力
「圧力容器の構造－一般事項」附属書 3	4	3.9	吸込及び吐出フランジ*
(規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」			

注記　＊：設計・建設規格　PMC-3710 によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003)「圧力容器の構造－一般事項」(以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本基本方針とポンプの強度計算書からなる。

(2)　各ポンプの強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力		MPa	－	－	小数点以下第 2 位
最高使用温度		℃	－	－	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2

注記　＊1：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て，整数位までの値とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号　相当（当該材記号）

（例 1）　SM400A　　相当（SMA400AP）

（例 2）　SCS14　　相当（ASME SA351 Gr.CF8M）

(2)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）　SNB7（径≦63mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

（例）非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガスケット（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガスケット係数ｍ及びガスケットの最小設計締付圧力ｙは，ＪＩＳＢ　８２６５　附属書３　表２　備考３より，ガスケットメーカ推奨値を適用する。

2. 計算条件

2.1 ポンプの形式判別

ポンプの形式が，設計・建設規格 PMC-3110 に掲げるもののうち，いずれかの形式に該当するかを判別する。

(1) うず巻ポンプであって，ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの

(2) ターボポンプであって，ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるもの又は軸平行割りであるもの

(3) 往復ポンプ

上記(1)及び(2)に掲げるポンプについては，設計・建設規格 PMC-3320 から PMC-3340 及び PMC-3400 から PMC-3700，(3)に掲げるポンプについては設計・建設規格 PMC-3350 から PMC-3700 の規定に従って計算を行う。

2.2 計算部位

設計・建設規格 PMC-3000 において強度計算の対象となる部位を略図を用いて明らかにする。

2.3 設計条件

ポンプの強度計算は，最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）の厚さを求める計算において，使用する最高使用圧力は，以下の(1)又は(2)による。

(1) 最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で同一の場合は，その最高使用圧力を使用する。

(2) 最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で相違している場合は，以下の条件のうちいずれかにする。

a. ケーシングの耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）を吸込側，吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。

（分けない場合は，吐出側のみの最高使用圧力を使用する。）

b. ピットバレル形（軸垂直割り軸対称ケーシング）ポンプの場合は，吸込側の最高使用圧力のみを使用する。（ただし，一部管台の計算においては，吐出側の最高使用圧力を使用する。）

3.　強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうち重大事故等クラス２ポンプの強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

3.1　共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表５に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	ケーシングの計算上必要な厚さ	mm
	t_s	最小厚さ	mm
	t_{so}	呼び厚さ	mm
η	η	長手継手の効率で，設計・建設規格　PVC-3130 を適用する。	－

3.2　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ

設計・建設規格　PMC-3320 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
A	A	図 3-1～2（設計・建設規格　図 PMC-3320-1，5）に示す寸法	mm

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$$

ただし，片吸込み 1 重うず巻ポンプについては，

$$t = \frac{P \cdot A}{S}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

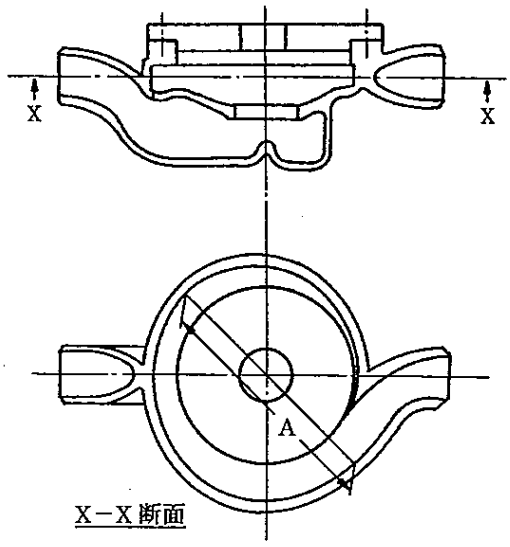


図 3-1　1 重うず巻ポンプの例
（設計・建設規格
図 PMC-3320-1）

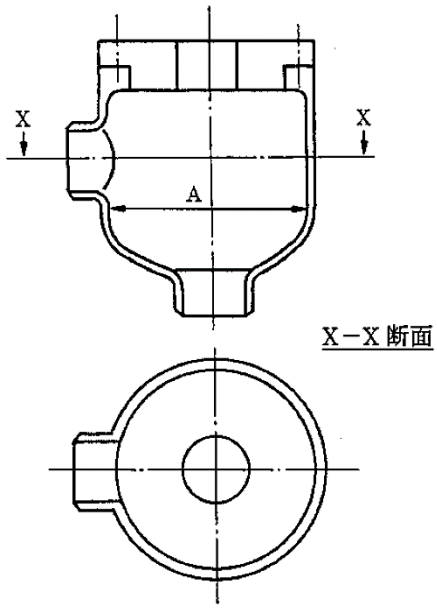


図 3-2　ターボポンプの例
（設計・建設規格
図 PMC-3320-5）

3.3　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格　PMC-3330 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
ℓ	ℓ	図 3-3（設計・建設規格　図 PMC-3330-1）に示す範囲	mm
r_i	r_i	吸込口部分又は吐出口部分の内半径	mm
r_m	r_m	次式により計算した値 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$	mm
	t_ℓ	ℓの範囲の最小厚さ	mm
	$t_{\ell o}$	ℓの範囲の呼び厚さ	mm

(2)　算式

$$\ell = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t}$$

ただし，$r_m = r_i + 0.5 \cdot t$

(3)　評価

ℓの範囲の最小厚さ（t_ℓ）≧計算上必要な厚さ（t）*ならば十分である。

注記　＊：ピットバレル形ポンプの吐出口部分については，吐出口の内径と吐出側の最高使用圧力を用いて求めた必要厚さと，ケーシング内径と吸込側の最高使用圧力を用いて求めた必要厚さの大きい値とする。

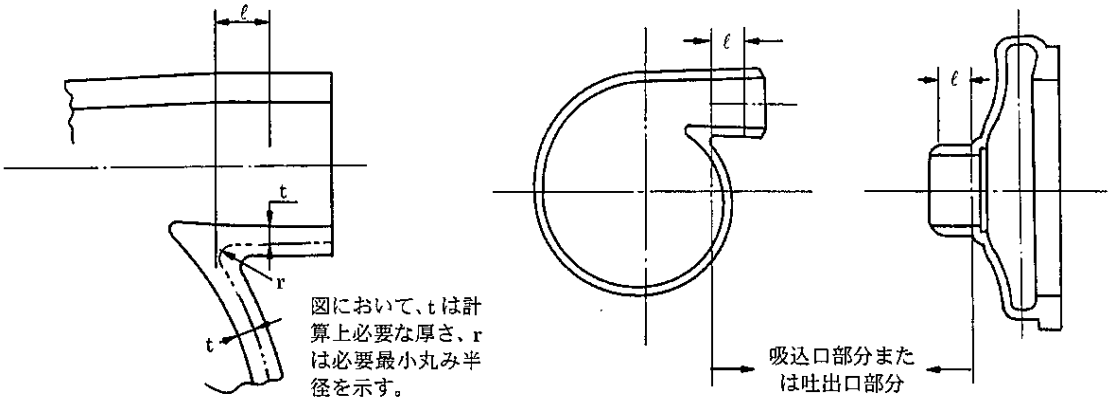


図 3-3　吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例

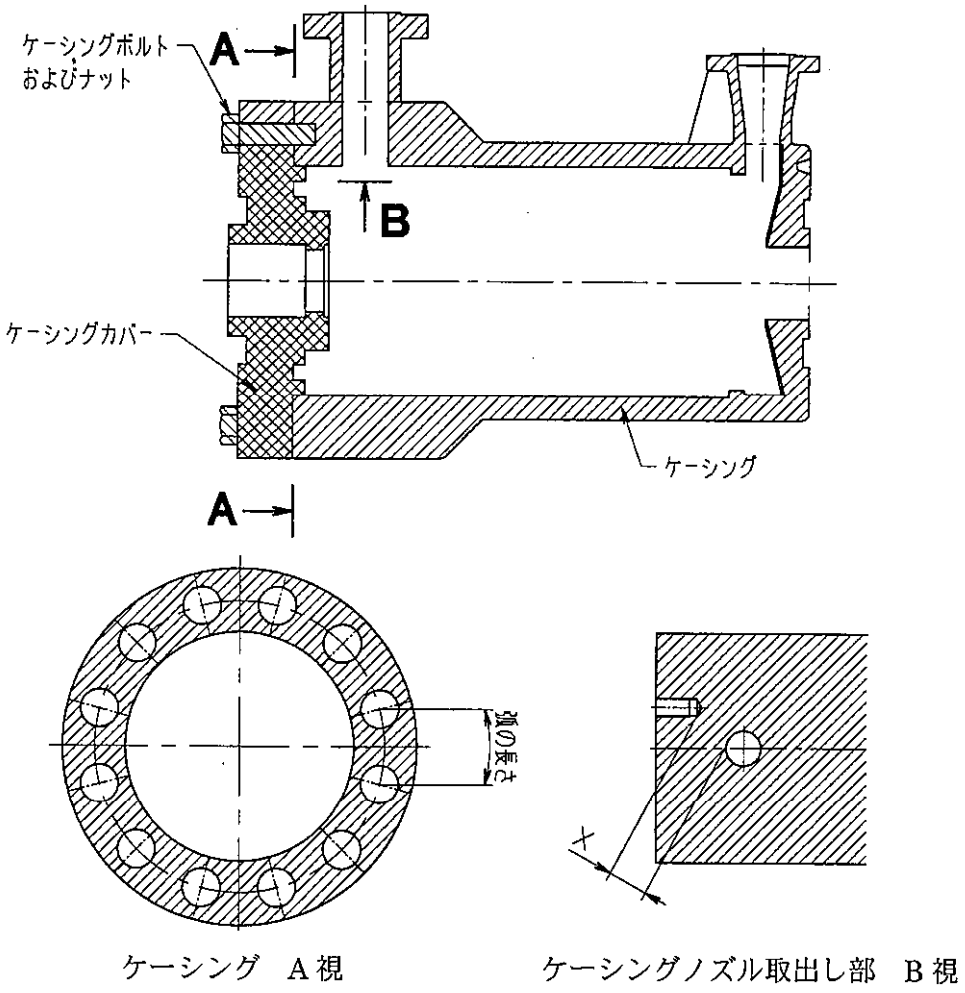
（設計・建設規格　図 PMC-3330-1）

3.4　横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定

2.1 項の(2)に掲げるポンプのうち，横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段ポンプのケーシングのボルト穴は，設計・建設規格　PMC-3340(8)，(9)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
	a	図 3-4(a)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(a)）に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト穴の中心間の弧の計算上必要な長さ	mm
	a_s	図 3-4(a)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(a)）に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト穴の中心間の弧の最小長さ	mm
	a_{so}	図 3-4(a)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(a)）に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト穴の中心間の弧の呼び長さ	mm
X	X	図 3-4(b)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(b)）に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間の計算上必要な距離	mm
	X_s	図 3-4(b)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(b)）に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間の最小距離	mm
	X_{so}	図 3-4(b)（設計・建設規格　図 PMC-3340-3(b)）に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間の呼び距離	mm
d	d_{bm}	ケーシングボルトの呼び径	mm



(a)　　(b)

図 3-4　横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段の
ターボポンプのケーシングのボルト穴回りの形状
（設計・建設規格　図 PMC-3340-3）

(2)　算式

a.　$a = 2 \cdot d_{bm}$

b.　X＝ｔ又は$0.5 \cdot d_{bm}$のうちいずれか大きい値

(3)　評価

a.　最小長さ（a_s）≧計算上必要な長さ（ａ）ならば十分である。

b.　最小距離（X_s）≧計算上必要な距離（Ｘ）ならば十分である。

3.5　往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ

設計・建設規格　PMC-3350 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内径	mm
R_i	R_i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内半径	mm
Z	Z	次式により計算された値 $Z=\frac{S\cdot\eta+P}{S\cdot\eta-P}$	－
	継手の種類		
	継手有り	同左	－
	継手無し	同左	－

(2)　算式

厚さが内半径の 2 分の 1 以下のもの

$$t=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot\eta-1.2\cdot P}$$

厚さが内半径の 2 分の 1 を超えるもの

$$t=R\cdot\left(\sqrt{Z}-1\right)$$

ただし，$Z=\frac{S\cdot\eta+P}{S\cdot\eta-P}$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.6　うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ

3.6.1　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバー（軸封部を除く。）の厚さ

設計・建設規格　PMC-3410(1)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
d	d	設計・建設規格　表 PMC-3410-1 に示すケーシングカバーの取付け方法に応じたケーシングカバーの径又は最小内のり	mm
K	K	設計・建設規格　表 PMC-3410-1 に規定するケーシングカバーの取付け方法による係数	－

(2)　算式

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.6.2　往復ポンプのケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー及びマニホールドカバー）の厚さ

設計・建設規格　PMC-3410(1)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
d	d	設計・建設規格　表 PMC-3410-1 に示すケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の取付け方法に応じたケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の径又は最小内のり	mm
F	F	全体のボルトに作用する力（セルフシールガスケットを用いる場合，Ｆはボルト等に加わる平均引張応力の計算におけるWと等しい。）	N
h_g	h_g	ボルト中心円直径とｄとの差の 2 分の 1	mm
K	K	設計・建設規格　表 PMC-3410-1 に規定するケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の取付け方法による係数で，本プラントにおいては，取付け方法が（m）の場合のみであるので，以下に（m）の場合の取付け方法による係数の求め方を示す。 $K = 0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$	－
W	W	パッキンの外径又はケーシングカバーの接触面の外径内の面積に作用する全圧力	MPa

(2)　算式

平板形の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

ただし，$K = 0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

3.7　ボルトの平均引張応力

設計・建設規格　PMC-3510 を適用し，ボルトの平均引張応力は，以下の方法により求める。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	ボルト１本当たりの最小軸断面積 $A_b=(\pi/4)\cdot d_b^2$	mm^2
	b	ガスケット座の有効幅	mm
	b_o	ガスケット座の基本幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。）	mm
	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
	H_p	気密を十分に保つために，ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表２による。）	－
	N	ガスケットの接触面の幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。）	mm
	n	ボルトの本数	－
	S_b	最高使用温度における　設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表７に規定する材料の許容引張応力	MPa
W	W	ボルトに作用する引張荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表２による。）	N/mm^2
	π	円周率	－
S_b	σ	耐圧部分等のうちボルト等に係るものの最高使用圧力又はガスケット締付時のボルト荷重と釣り合う場合に生じる平均引張応力	MPa

(2) 算式

円形フランジをボルト等により締め付ける場合

設計・建設規格　PVB-3121 の解説及びＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3 の方法により計算する。

$$\sigma = \frac{W}{n \cdot A_b}$$

ただし，Wは次式で計算されるW_{m1}，W_{m2}のいずれか大きい値とする。

$W_{m1} = H + H_p$

ここで，$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

なお，セルフシールガスケットを使用する場合は，次式を用いる。

$W_{m1} = H = \frac{\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot P$

$W_{m2} = 0$

(3) 評価

ボルトの平均引張応力（σ）≦許容引張応力（S_b）ならば十分である。

3.8　耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ

設計・建設規格　PMC-3610 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
D_o	D_o	管台の外径	mm
	継手の種類		
	継手有り	同左	－
	継手無し	同左	－

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.9　吸込及び吐出フランジ

設計・建設規格　PMC-3710 に規定されるフランジ（ＪＩＳ規格（材料に係る部分を除く。）又は，設計・建設規格　別表 2 のいずれか）を用いる。

これ以外のフランジを用いる場合は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3 により応力計算を行い，必要な強度を有することを確認する。

4.　支持構造物の強度計算

支持構造物については，耐震計算において自重に加え地震荷重も評価に含めており，強度計算は耐震計算に含めて実施するものとする。

5.　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス２ポンプ及び重大事故等クラス２支持構造物の材料について，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日　原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）施行前に工事着手又は完成したものであって設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価については，以下の方針にしたがって，重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1)　機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格においてクラス２ポンプ及びクラス２支持構造物に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は，機械的強度及び化学的成分について，使用材料とクラス２ポンプに使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a.　機械的強度

(a)　評価項目の選定

機械的強度については，使用材料と比較対象となるクラス２ポンプに使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に規定されている機械的性質のうち，機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。表5-1「機械的強度における評価項目の選定結果」に選定結果を示す。

表 5-1　機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ 降伏点又は耐力	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２ポンプの強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス２ポンプは既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス２ポンプについては，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２ポンプは既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工性など成型性が良くなるものの，対象となる重大事故等クラス２ポンプは既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料の靭性の評価に用いられる値であるが，靭性については「(2)　破壊靭性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐摩耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記　＊：ＪＩＳ等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２ポンプに使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は，使用材料と比較対象となるクラス２ポンプに使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるＪＩＳ等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について，使用材料と設計・建設規格においてクラス２ポンプに使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い，化学的成分規定値に差異があった場合は，化学的成分ごとの影響を確認し，使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは，求められる機能を考慮し，使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお，各化学的成分の影響については，表 5-2「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 5-2　化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	－	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，材料の機械的性質である引張強さ，降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	－	－	－	－	－	－	－	向上	－	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，高温域（設計・建設規格　PVB-3312）で使用されないことを確認する。
溶接性		低下	－	－	－	－	－	－	－	－	－	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は，溶接規格*にて定められた数値 0.35%以下であることを確認する。
靭性		低下	－	向上	低下	低下	－	向上	－	－	－	靭性については，「(2)　破壊靭性」において確認する。なお，靭性に影響を及ぼす不純物である P，S の化学的成分に差異がある場合は，成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	－	－	－	－	－	向上	向上	－	－	耐食性のうち，応力腐食割れに影響を与える化学的成分には，C，Ni，Cr があるが，Ni，Cr については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから，悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える化学的成分に差異がある場合は，悪影響を与える差異が無いことを確認する。なお，耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	－	－	－	－	－	向上	向上	向上	向上	向上	

注：表中は化学的成分を添加した場合の影響を示す。

注記　＊：「溶接規格」とは，発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＢ１－2007）（日本機械学会　2007 年）をいう。

(2) 破壊靭性

a. 破壊靭性試験不要となる材料の規定

破壊靭性については，設計・建設規格に規定されている破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊靭性試験不要となる材料の規定*

・厚さが 16mm 未満の材料
・断面積が 625mm^2 未満の棒の材料
・呼び径が 25mm 未満のボルト等の材料
・外径が 169mm 未満の管の材料
・厚さが 16mm または外径が 169mm 未満の管に接続されるポンプの材料
・オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金

注記 ＊：クラス２ポンプの除外規定（設計・建設規格 PMC-2310）を記載している。

b. 破壊靭性の確認

破壊靭性試験不要となる材料の規定に該当しないポンプの破壊靭性については，施設時の要求を考慮し，以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊靭性が要求されていたポンプ

該当ポンプは，施設時の規格の要求に基づき十分な破壊靭性を有していることを確認している。また，材料の破壊靭性値は，一般的に温度が低くなるにつれて低下することから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊靭性が要求されていなかったポンプ

対象ポンプは，技術基準規則で規定していない Non クラス*に該当するポンプ（支持構造物を含む。）であり，施設時における破壊靭性に対する要求がないことから，材料の靭性は確認されていないが，設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで，使用条件下での脆性破壊に対する靭性は同じであるとみなせることから，脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について，重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 ＊：技術基準規則第 2 条第 2 項第 32 号，第 33 号に規定する「クラス１ポンプ」，「クラス２ポンプ」及びこれらを支持する構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外のポンプ又は支持構造物

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設されるポンプにおいては気象観測記録における最低温度である-12.7 ℃，屋内に設置されるポンプにおいては建屋の最低温度である 4.4 ℃，海水又は海水により冷却される原子炉補機冷却水と接するポンプは海水の最低温度である 7.0 ℃，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成するポンプについては 21 ℃がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器，格納容器バウンダリ及び屋外に施設されるポンプの最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値と変わらない。屋内に施設されるポンプのうち，重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を下回ることはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成するポンプについては，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることはない。また，屋内に施設されるポンプのうち，重大事故等時において通水される内部流体が海水の場合は，最低海水温度が 7.0 ℃であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4 ℃を有意に下回ることはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていたポンプにおいて，材料の破壊靭性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らないポンプについては，施設時に確認した破壊靭性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊靭性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回るポンプについては，使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊靭性が要求されていなかったポンプにおいて，設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し，使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス２ポンプに属する鋳造品については，非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に，非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで，材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

第二部　クラス３ポンプの強度計算書作成の基本方針

目次

1.　一般事項 2-1
1.1　概要 2-1
1.2　適用規格及び基準との適合性 2-1
1.3　強度計算書の構成とその見方 2-3
1.4　計算精度と数値の丸め方 2-3
1.5　材料の表示方法 2-4
2.　計算条件 2-5
2.1　ポンプの形式判別 2-5
2.2　計算部位 2-5
2.3　設計条件 2-5
3.　強度計算書の計算式と記号 2-6
3.1　共通記号 2-6
3.2　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ 2-7
3.3　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ 2-9
3.4　うず巻ポンプのケーシング各部形状 2-10
3.5　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ 2-13
3.6　ボルトの平均引張応力 2-14
3.7　耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ 2-16
3.8　吸込及び吐出フランジ 2-16

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は，発電用原子力設備のうちクラス３ポンプの強度計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

(1) 強度計算は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は，表 1-1 に示すとおりである。

(2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表 1-2 に示すとおりである。

(3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格　別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PMD-3710）

a. ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

表 1-1　建設・建設規格　各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備考
（クラス３ポンプ）		
PMD-3110	2.1	ポンプの形式判別
PMD-3310	3.2	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ
PMD-3320	3.3	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ
PMD-3330	3.4	うず巻ポンプのケーシング各部形状
PMD-3410	3.5	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ
PMD-3510	3.6	ボルトの平均引張応力
PMD-3610	3.7	耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ
PMD-3710	3.8	吸込及び吐出フランジ

表 1-2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式	備考
No.	項	(章節番号)	
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）*	3	3.6	ボルトの平均引張応力
「圧力容器の構造－一般事項」附属書 3	4	3.8	吸込及び吐出フランジ*
(規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」			

注記　＊：設計・建設規格　PMD-3710 によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003)「圧力容器の構造－一般事項」(以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書 3（規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本基本方針とポンプの強度計算書からなる。

(2)　各ポンプの強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本基本方針によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力		MPa	－	－	小数点以下第 2 位
最高使用温度		℃	－	－	整数位
許容応力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 位
	ボルト谷径	mm	－	－	小数点以下第 3 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2

注記　＊1：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て，整数位までの値とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は，次のように表示する。

相当材記号　相当（当該材記号）

（例 1）　SM400A　　相当（SMA400AP）

（例 2）　SCS14　　相当（ASME SA351 Gr.CF8M）

(2)　使用する厚さ又は径等によって許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

（例）　SNB7（径≦63mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

（例）非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガスケット（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガスケット係数ｍ及びガスケットの最小設計締付圧力ｙは，ＪＩＳＢ　８２６５　附属書３　表２　備考３より，ガスケットメーカ推奨値を適用する。

2. 計算条件

2.1 ポンプの形式判別

ポンプの形式が，設計・建設規格 PMD-3110 に掲げるもののうち，いずれかの形式に該当するかを判別する。

(1) うず巻ポンプであって，ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの

(2) ターボポンプ（うず巻ポンプを除く。以下同じ）であって，次に掲げるもの

a. ケーシングが軸垂直割りであるもの

b. ケーシングが軸平行割りであるもの

c. キャンドモータ又は固定子浸水形モータで駆動される密封式ポンプであって，モータケーシングが軸垂直割りで軸対称であるもの

(3) 往復ポンプ

上記(1)及び(2)に掲げるポンプについては，設計・建設規格 PMD-3310 から PMD-3330 及び PMD-3400 から PMD-3700 の規定に従って計算を行う。

なお，本項に掲げるポンプについては該当するポンプがない。

2.2 計算部位

設計・建設規格 PMD-3000 において強度計算の対象となる部位を略図を用いて明らかにする。

2.3 設計条件

ポンプの強度計算は，最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）の厚さを求める計算において，使用する最高使用圧力は，以下の(1)又は(2)による。

(1) 最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で同一の場合は，その最高使用圧力を使用する。

(2) 最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で相違している場合は，ケーシングの耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）を吸込側，吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。(分けない場合は，吐出側のみの最高使用圧力を使用する。)

3.　強度計算書の計算式と記号

発電用原子力設備のうちクラス３ポンプの強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

3.1　共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表５に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	ケーシングの計算上必要な厚さ	mm
	t_s	最小厚さ	mm
	t_{so}	呼び厚さ	mm
η	η	長手継手の効率で，設計・建設規格　PVD-3110 を適用する。	－

3.2　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ

設計・建設規格　PMD-3310 を適用する。

3.2.1　2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった 1 段あるいは多段の立形ポンプを除くポンプケーシングの厚さ

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
A	A	図 3-1～3（設計・建設規格　図 PMD-3310-1，2，5）に示す寸法	mm

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$$

ただし，片吸込み 1 重うず巻ポンプについては，

$$t = \frac{P \cdot A}{S}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

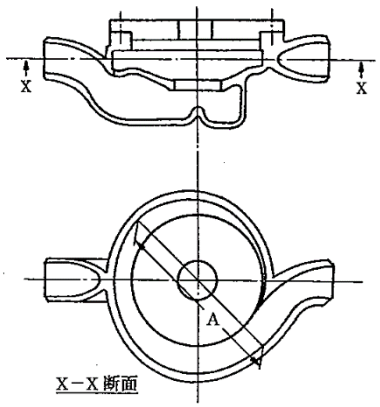


図 3-1　1 重うず巻ポンプの例（設計・建設規格 図 PMD-3310-1）

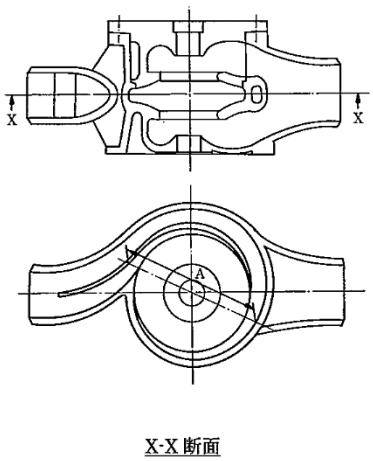


図 3-2　2 重うず巻ポンプの例（設計・建設規格 図 PMD-3310-2）

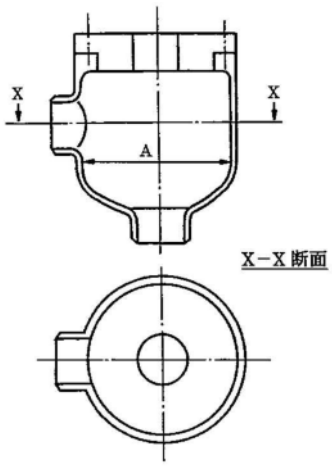


図 3-3　ターボポンプの例（設計・建設規格 図 PMD-3310-5）

3.2.2　2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった 1 段あるいは多段の立形ポンプの吐出エルボ，揚水管及びボウルの厚み

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
D_o	D_o	図 3-4（設計・建設規格　図 PMD-3310-7）に示す吐出エルボの外径寸法，揚水管の外径寸法又は個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法	mm
d	d	吐出エルボ，揚水管又はボウルの内径寸法	mm
y	y	0.4（D_o／t ≧6.0 の場合） d／（d＋D_o）（D_o／t ＜6.0 の場合）	－

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (S \cdot \eta + P \cdot y)}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

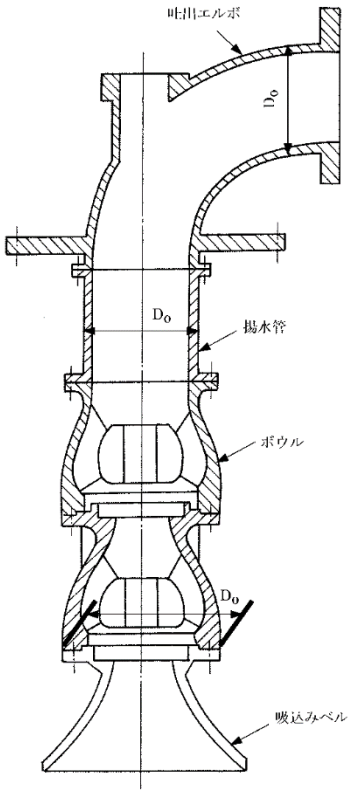


図 3-4　軸垂直割りケーシングをもった多段の立形ポンプの例
（設計・建設規格　図 PMD-3310-7）

3.3　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった 1 段あるいは多段の立形ポンプを除くポンプのケーシングについては，設計・建設規格　PMD-3320 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
ℓ	ℓ	図 3-5（設計・建設規格　図 PMD-3320-1）に示す範囲	mm
r_i	r_i	吸込口部分又は吐出口部分の内半径	mm
r_m	r_m	次式により計算した値 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$	mm
	t_ℓ	ℓの範囲の最小厚さ	mm
	$t_{\ell o}$	ℓの範囲の呼び厚さ	mm

(2)　算式

$$\ell = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t}$$

ただし，$r_m = r_i + 0.5 \cdot t$

(3)　評価

ℓの範囲の最小厚さ（t_ℓ）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

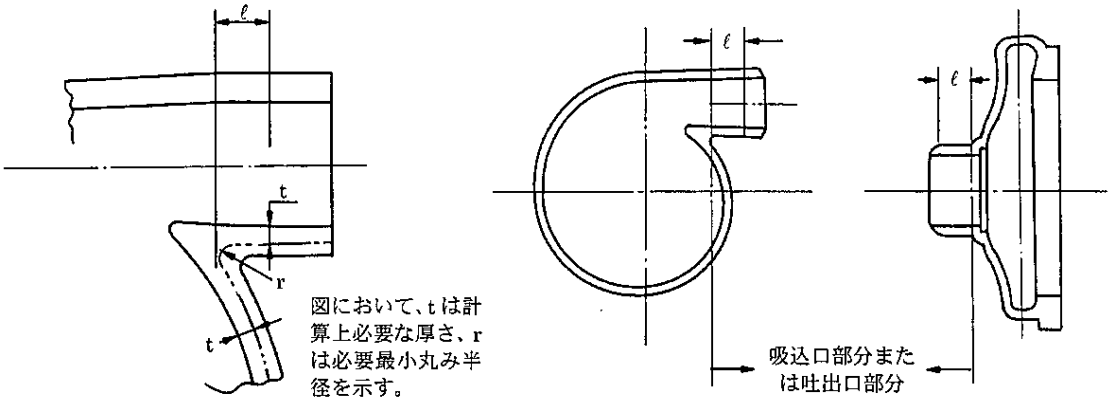


図 3-5　吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例
（設計・建設規格　図 PMD-3320-1）

3.4　うず巻ポンプのケーシング各部形状

2.1 項の(1)に掲げるポンプの形状は，設計・建設規格　PMD-3330 によるものとする。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
	r_1	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の両端の丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{1s}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の両端の丸みの最小半径	mm
	r_{1so}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の両端の丸みの呼び半径	mm
	r_2	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{2s}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの最小半径	mm
	r_{2so}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの呼び半径	mm
	r_3	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{3s}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めの丸みの最小半径	mm
	r_{3so}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めの丸みの呼び半径	mm
	r_4	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すクロッチの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{4s}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すクロッチの丸みの最小半径	mm
	r_{4so}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すクロッチの丸みの呼び半径	mm

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
	r_5	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{5s}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの最小半径	mm
	r_{5so}	図 3-6（b）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（b））に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの呼び半径	mm
	t_1	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の点Ｂから点Ｃまでの範囲の計算上必要な厚さ	mm
	t_{1s}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の点Ｂから点Ｃまでの範囲の最小厚さ	mm
	t_{1so}	図 3-6（a）（設計・建設規格　図 PMD-3330-1（a））に示す分流壁の点Ｂから点Ｃまでの範囲の呼び厚さ	mm

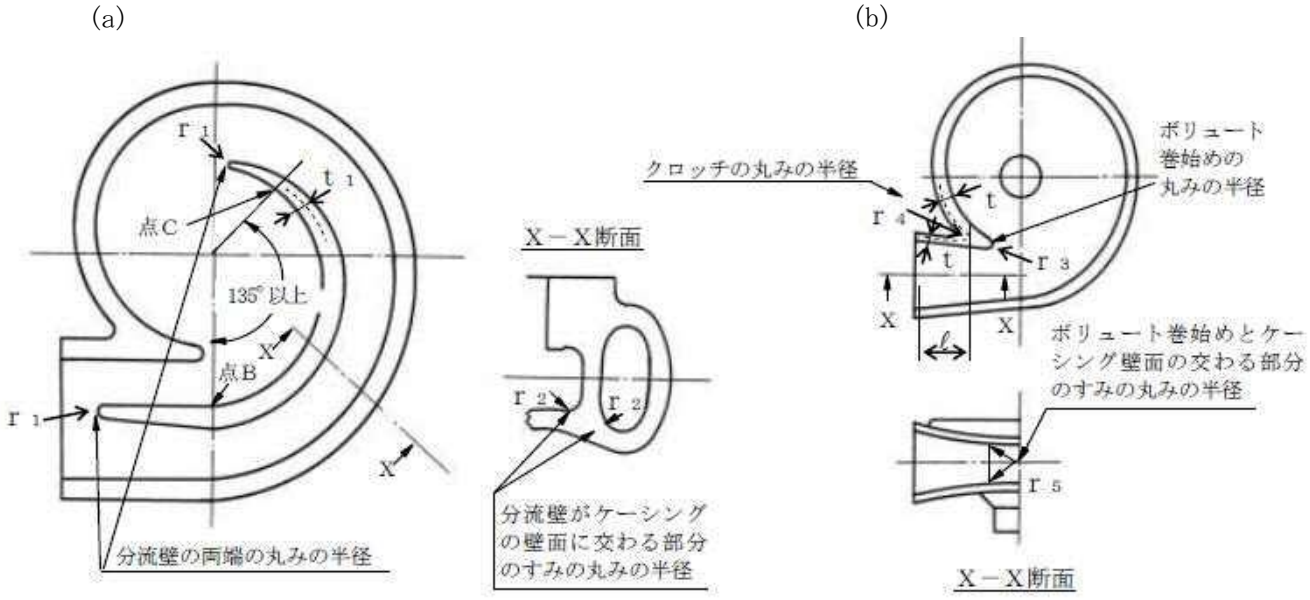


図 3-6　うず巻ポンプのケーシング各部形状
（設計・建設規格　図 PMD-3330-1）

(2) 算式

a. $t_1 = 0.7 \cdot t$

b. $r_1 = 0.05 \cdot t$

c. $r_2 = 0.1 \cdot t$ 又は 6mm のうちいずれか大きい値

d. $r_3 = 0.05 \cdot t$

e. $r_4 = 0.3 \cdot t$

f. $r_5 = 0.1 \cdot t$ 又は 6mm のうちいずれか大きい値

(3) 評価

a. 最小厚さ（t_{1s}）≧計算上必要な厚さ（t_1）ならば十分である。

b. 最小半径（r_{1s}）≧計算上必要な半径（r_1）ならば十分である。

c. 最小半径（r_{2s}）≧計算上必要な半径（r_2）ならば十分である。

d. 最小半径（r_{3s}）≧計算上必要な半径（r_3）ならば十分である。

e. 最小半径（r_{4s}）≧計算上必要な半径（r_4）ならば十分である。

f. 最小半径（r_{5s}）≧計算上必要な半径（r_5）ならば十分である。

3.5　うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ

うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバー（軸封部を除く。）の厚さについては，設計・建設規格　PMD-3410(1)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
d	d	設計・建設規格　表 PMD-3410-1 に示すケーシングカバーの取付け方法に応じたケーシングカバーの径又は最小内のり	mm
K	K	設計・建設規格　表 PMD-3410-1 に規定するケーシングカバーの取付け方法による係数	－

(2)　算式

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.6　ボルトの平均引張応力

設計・建設規格　PMD-3510 を適用し，ボルトの平均引張応力は，以下の方法により求める。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	ボルト１本当たりの最小軸断面積 $A_b = (\pi / 4) \cdot d_b^2$	mm^2
	A_V	軸平行割りケーシングで，ポンプ中心線の片側において内圧が加わる面積でセルフシールガスケット外周の線とポンプ中心線とで囲まれた部分の面積	mm^2
	b	ガスケット座の有効幅	mm
	b_o	ガスケット座の基本幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。）	mm
	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
	H_p	気密を十分に保つために，ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表２による。）	－
	N	ガスケットの接触面の幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表３による。）	mm
	n	ボルトの本数	－
n	n_i	ポンプ中心線の片側にあるボルトの本数	－
	S_b	最高使用温度における　設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表７に規定する材料の許容引張応力	MPa
W	W	ボルトに作用する引張荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書３　表２による。）	N/mm^2

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
S_b	π σ	円周率 耐圧部分等のうちボルト等に係るものの最高使用圧力又はガスケット締付時のボルト荷重と釣り合う場合に生じる平均引張応力	－ MPa

(2) 算式

a. 円形フランジをボルト等により締め付ける場合

設計・建設規格 PVB-3121 の解説及びＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書 3 の方法により計算する。

$$\sigma = \frac{W}{n \cdot A_b}$$

ただし，Wは次式で計算されるW_{m1}，W_{m2}のいずれか大きい値とする。

$W_{m1} = H + H_p$

ここで，$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$

$G = G_s - 2 \cdot b$

なお，セルフシールガスケットを使用する場合は，次式を用いる。

$W_{m1} = H = \frac{\pi}{4} \cdot D_g{}^2 \cdot P$

b. 軸平行割りケーシングの場合，上下ケーシングの締付けボルトの平均引張応力は，次の方法により計算する。

合わせ面に，平面座でセルフシールガスケットを使用する場合

$$\sigma = \frac{W}{n_i \cdot A_b}$$

ただし，Wは次式により求める。

$W = A_V \cdot P$

(3) 評価

ボルトの平均引張応力（σ）≦許容引張応力（S_b）ならば十分である。

3.7　耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ

設計・建設規格　PMD-3610 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表示内容	単位
D_o	D_o	管台の外径	mm
	継手の種類		
	継手有り	同左	－
	継手無し	同左	－

(2)　算式

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.8　吸込及び吐出フランジ

設計・建設規格　PMD-3710 に規定されるフランジ（ＪＩＳ規格（材料に係る部分を除く。）又は，設計・建設規格　別表 2 のいずれか）を用いる。

これ以外のフランジを用いる場合は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3 により応力計算を行い，必要な強度を有することを確認する。

別添１　ポンプの強度計算書のフォーマット

Ⅴ－○－○－○－○　　○○○ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は，「付録 13　ポンプの強度計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づいて計算を行う。

なお，本計算書においては，基本方針で定義された記号を使用する。

目次

1.　計算条件
1.1　ポンプ形式
1.2　計算部位
1.3　設計条件
2.　強度計算
2.1　ケーシングの厚さ
2.2　ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ
2.3　ケーシングのボルト穴
2.4　ケーシングカバーの厚さ
2.5　ボルトの平均引張応力
2.6　耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ
2.7　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって，ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

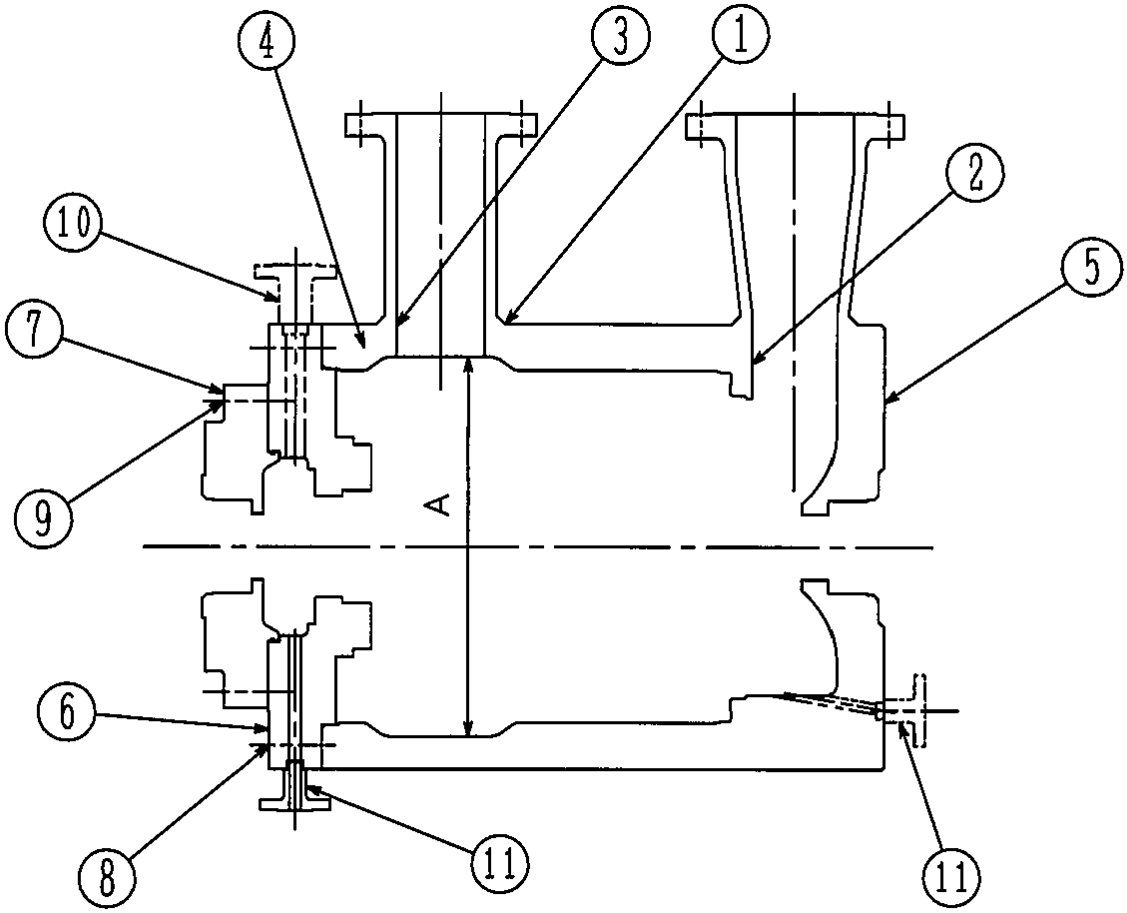


図 1-1 概要図

1.3　設計条件

設計条件	
最高使用圧力（MPa）	
最高使用温度（℃）	

2.　強度計算

2.1　ケーシングの厚さ

設計・建設規格　PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①				

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.2　ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格　PMC-3330　　(単位：mm)

計算部位	r_i	r_m	ℓ	t	$t_{\ell o}$	t_ℓ
②						
③						

評価：$t_\ell \geqq t$，よって十分である。

2.3　ケーシングのボルト穴

設計・建設規格　PMC-3340　　（単位：mm）

計算部位	d_{bm}	a	a_{so}	a_s	X	X_{so}	X_s
④							

評価：$a_s \geqq a$，よって十分である。

評価：$X_s \geqq X$，よって十分である。

2.4　ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格　PMC-3410

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤					
⑥					
⑦					

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.5　ボルトの平均引張応力

設計・建設規格　PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S_b (MPa)	d_b (mm)	n	A_b (mm^2)
⑧						
⑨						

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G_s (mm)	G (mm)	D_g (mm)

H (N)	H_p (N)	W_{m1} (N)	W_{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)

評価：$\sigma \leqq S_b$，よって十分である。

2.6　耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格　PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D_o (mm)
⑩				
⑪				

継手の種類	放射線透過試験の有無	η

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

2.7　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

ケーシング（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

（材料記号を記載）

(1)　機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	370 N/mm^{2}以上	215 N/mm^{2}以上	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	370 N/mm^{2}以上	215 N/mm^{2}以上	

(2)　化学的成分

	化学成分（%）									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.25 以下	0.35 以下	0.30 ～ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	－	－	－	－	－
比較材料	0.25 以下	0.10 ～ 0.35	0.30 ～ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	－	－	－	－	－
比較結果	Si，P，Sの成分規定に差異があるが，以下により，本設備の環境下での使用は問題ないと考える。 Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが，(1)の評価結果からも機械強度は同等以上であること。 P　：冷間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は，薄肉（16 mm未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。 S　：熱間脆性に影響を与える成分であるが，本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。									

(3)　評価結果

(1)(2)の評価により，機械的強度，化学成分，いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため，本設備において，△△△△を重大事故等クラス２材料として使用することに問題ないと考える。

（材料記号を記載）

付録 14　重大事故等クラス３機器の強度計算書作成の基本方針

目次

1.　概要 ····· 1
2.　重大事故等クラス３機器の強度計算書作成の基本方針 ····· 1
2.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の構造及び強度 ····· 1
2.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の構造及び強度 ····· 2
3.　重大事故等クラス３機器の強度評価方法 ····· 3
3.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の強度評価方法 ····· 3
3.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の強度評価方法 ····· 5

1. 概要

重大事故等クラス３機器の材料及び構造については，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 3 号及び第 6 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，重大事故等クラス３機器である容器，管及びポンプが十分な強度を有することを確認するための強度計算書作成の基本方針であり，本基本方針に基づき，完成品を除く重大事故等クラス３機器が十分な強度を有することを確認するための方法として参考にする発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）のクラス３機器の規定に基づく強度評価方法及び重大事故等クラス３機器のうち完成品が一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認するための強度評価方法について説明するものである。

2. 重大事故等クラス３機器の強度計算書作成の基本方針

重大事故等クラス３機器の材料及び構造については，技術基準規則第 55 条（材料及び構造）に規定されており，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号）により完成品として一般産業品の規格及び基準へ適合している場合は，技術基準規則の規定を満足するものとされている。

よって，重大事故等クラス３機器の技術基準規則第 55 条への適合性については，設計基準対象施設で適用されている設計・建設規格を参考にして評価を実施する。又は完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認することで評価を実施する。

完成品を除く重大事故等クラス３機器の材料については設計・建設規格を参考にして適切な材料を使用する設計とする。また，重大事故等クラス３機器のうち完成品の材料については，完成品として一般産業品の規格及び基準に適合するものを使用する設計とする。

2.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の構造及び強度

(1)　管

管は，設計・建設規格のクラス３機器の規定を準用し，強度評価を実施する。

(2)　フランジ

管のフランジは，設計・建設規格　PPD-3414 に適合するものを使用する設計とする。

(3)　管継手

管継手の強度評価は，以下のいずれかによる。

・設計・建設規格　PPD-3415 に適合するものを使用する設計とする。

・設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ，実条件を踏まえた耐圧試験により裕度を有することが確認された型式のものを使用する設計とする。なお，設計・建設規格のクラス３機器の規定では，設計許容応力以下となる必要板厚は，最高使用圧力を条件として評価式により求めており，設計許容応力は降伏点に対して 8 分の 5 を基準にしていることから，降伏点に対する安全率は 1.6 となる。また，設計・建設規格のクラス３機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定め

られており，耐圧試験の規定では，耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.5 倍（気圧の場合は 1.25 倍）の 106%を超えないこととしている。

2.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の構造及び強度

完成品は，一般産業品の規格及び基準への適合性を確認することにより材料及び構造の要求を満たしていると評価することから，適用される規格及び基準を，その規格基準に応じて，「法令*1 又は公的な規格*2」，「メーカ規格及び基準」の 2 つの区分に分類し，適用される規格及び基準が妥当であること，対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度を確認する。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク，非常用発電装置（可搬型）に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては，可搬型ポンプ及び非常用発電装置（可搬型）が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として製作されているため，内燃機関を有する可搬型ポンプ又は非常用発電装置（可搬型）が一般産業品の規格及び基準へ適合していることを確認することで，それらの附属機器である燃料タンク又は冷却水ポンプが重大事故等時の使用条件に対する強度を有することを確認する。

注記　＊1：例えば，高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則等

＊2：例えば，日本工業規格等

3.　重大事故等クラス３機器の強度評価方法

3.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の強度評価方法

対象となる重大事故等クラス３機器のうち，設計・建設規格に定められたクラス３機器の規定を準用して強度計算を実施する管については，設計・建設規格　PPD-1000 クラス３管に準拠した重大事故等クラス３管の強度計算を実施する。ここでは，その方法及び計算式について説明する。

耐圧試験による強度評価を実施する管継手については，設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ，実条件を踏まえた耐圧試験を実施し，その結果の確認により強度評価を実施する。

(1)　記号の定義

管の厚さ計算に用いる記号について以下に説明する。

a.　管の厚さ計算に使用するもの

	記号	単位	定義
管の厚さ計算に使用するもの	D_o	mm	管の外径
	P	MPa	最高使用圧力
	S	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 及び表 6 に規定する材料の許容引張応力*1
	t	mm	管の計算上必要な厚さ
	η	－	長手継手の効率*2

注記　＊1：溶接鋼管又は鍛接鋼管の許容引張応力は，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5（備考）に規定する材料規格及び非破壊検査に応じた品質係数を掛けた値とする。

＊2：継手効率については設計・建設規格　PPD-3411 の規定により設計・建設規格　PVD-3110 に定められたものを用いることとし，以下のとおりとする。

ただし，品質係数が 1 未満となる場合は，継手の効率は 1.00 とする。

設計・建設規格　表 PVD-3110-1　継手効率の値

継手の種類	効率	
	発電用原子力設備規格（溶接規格（2007 年版）ＪＳＭＥ　ＳＮＢ１－2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「溶接規格」という。）N-4140 の規定において準用する溶接規格 N-1100(1)a.項の規定に準じて放射線透過試験を行い，同規格(2)a.項の規定に適合するもの	その他のもの
突合せ両側溶接，裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る）およびこれらと同等以上の効果が得られる方法による溶接	1.00	0.70
裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものを除く）	0.90	0.65
裏当金を使用しない突合せ片側溶接	0.60	0.60
両側全厚すみ肉重ね溶接	0.55	0.55
プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	0.50	0.50
プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	0.45	0.45

(2)　強度評価方法

a.　基本事項

ここでは，重大事故等クラス３管の計算上必要な厚さ計算等の方法を示す。

材料の許容引張応力は，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 及び表 6 により管の最高使用温度に応じた値をとるものとするが，最高使用温度が設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 及び表 6 記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算する。なお，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 及び表 6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点以下第１位を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は設計・建設規格に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。また，穴をあけた重大事故等クラス３管は以下に該当するため，補強をする必要はない。

・穴の径が 61 mm 以下で，かつ，管の内径の 4 分の 1 以下の穴を設ける場合
（設計・建設規格　PPD-3422）

b.　管の厚さ計算（設計・建設規格　PPD-3411）

管の厚さは，以下の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを示し

て，強度に対する要求事項に適合することを確認する。

項目	適用規格番号	計算式
内圧を受ける直管	設計・建設規格 PPD-3411(1)	$t = \frac{P \cdot D_o}{2S \cdot \eta + 0.8P}$ *
炭素鋼鋼管	設計・建設規格 PPD-3411(3)	表 1 の必要最小厚さを満足すること。

注記　＊：継手効率ηは，前述する 3.1(1)項　注記　＊2 の設計・建設規格　表 PVD-3110-1 の値を用いる。

表 1　炭素鋼鋼管の必要最小厚さ
（設計・建設規格　表 PPD-3411-1）

管の外径（mm）	管の厚さ（mm）
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

c.　管継手

耐圧試験による強度評価を実施する管継手については，実条件を踏まえた耐圧試験圧力まで昇圧したとき，これに耐え，著しい漏えいがないことを確認する。

3.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の強度評価方法

重大事故等クラス３機器のうち完成品の材料，構造及び強度が，一般産業品の規格及び基準に適合していることの確認については，以下のとおり，適用される規格及び基準が妥当であること，対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認により行う。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク，非常用発電装置（可搬型）に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては，可搬型ポンプ及び非常用発電装置（可搬型）が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認する。また，非常用発電装置（可搬型）の一般産業品の規格及び基準への適合性の確認については，対象とする完成品が発電装置であり，「可搬形発電設備技術基準（ＮＥＧＡ　Ｃ３３１：2005)」を準用していることを添付資料Ⅴ-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」において確認していることを踏まえ，発電装置として使用条件に対する強度の確認を実施する。

(1)　法令又は公的な規格への適合性確認

a.　対象とする機器の使用目的，使用環境と法令又は公的な規格の使用目的，想定している使用環境を比較し，適用される規格及び基準が妥当であることを確認する。

b.　法令又は公的な規格に基づく機器に適切な材料が使用され，十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

(a)　対象とする機器の材料が，適用される法令又は公的な規格に基づいた材料であること。

(b)　対象とする機器の最高使用圧力及び最高使用温度がメーカ仕様の範囲内であること。

(c)　適用される法令又は公的な規格で定められている試験に合格していること。

(2)　メーカ規格及び基準への適合性確認

a.　対象とする機器の使用目的，使用環境とメーカ規格及び基準の使用目的，想定している使用環境を比較し，適用される規格及び基準が妥当であることを確認する。

b.　非常用発電装置（可搬型）を除くメーカ規格及び基準に基づく機器に適切な材料が使用され，十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

(a)　対象とする機器の材料が，以下のいずれかに該当すること。

・設計・建設規格のクラス３機器に使用可能とされている材料と同種類であること。

・機器と同様の用途の機器について規定している法令又は公的な規格で使用可能とされている材料と同種類であること。

・日本工業規格等に規定されている材料と同種類であって，対象とする機器の使用環境を踏まえた強度が確保できる材料であること。

(b)　対象とする機器の最高使用圧力及び最高使用温度がメーカ仕様の範囲内であること。

(c)　法令又は公的な規格，設計・建設規格等で定められている試験と，試験条件が同等である試験に合格していること。

c.　非常用発電装置（可搬型）が使用条件に対して十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

(a)　「日本電機工業会規格　ＪＥＭ－１３５４」に基づいた温度試験により，対象とする非常用発電装置（可搬型）の定格負荷状態における最高使用温度が，メーカ許容値の範囲内であること。

(b)　対象とする非常用発電装置（可搬型）の容量がメーカ仕様の範囲内であること。

別添１　重大事故等クラス３機器の強度計算書のフォーマット

目次

1.　強度計算書のフォーマット ····· 別 1-1
1.1　強度計算書のフォーマットの概要 ····· 別 1-1
1.2　記載する数値に関する注意事項 ····· 別 1-1
1.3　強度計算書のフォーマット ····· 別 1-1

1. 強度計算書のフォーマット

1.1 強度計算書のフォーマットの概要

重大事故等クラス３機器のうち，設計・建設規格に基づく強度計算を実施した機器については，耐圧部分を構成する部材について計算に必要な条件及び結果を記載したフォーマットとする。

一方，完成品として一般産業品の規格及び基準に基づく強度評価を実施した機器については，適用した規格及び基準への適合性を確認するために必要な条件及びその結果を記載したフォーマットとする。

1.2 記載する数値に関する注意事項

計算に使用しないものや計算結果のないものは，計算結果表の欄には　－　として記載する。

1.3 強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

(1) 設計・建設規格に定められたクラス３管の規定を準用した強度計算結果
FORMAT-Ⅰ　管の厚さ計算結果

(2) 設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にした，実条件を踏まえた耐圧試験結果
FORMAT-Ⅱ　継手耐圧試験結果

(3) 完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果
FORMAT-Ⅲ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）
FORMAT-Ⅳ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）
FORMAT-Ⅴ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））

(1)　設計・建設規格に定められたクラス３管の規定を準用した強度計算結果

FORMAT-Ⅰ

管の厚さ計算結果

設備区分 ＿＿＿＿＿＿＿＿ 施設 ＿＿＿＿＿＿＿＿ 設備　　重大事故等クラス３管

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 S (MPa)	外径 D_o (mm)	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ（最小厚さ） (mm)
評価：									

(2)　設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にした，実条件を踏まえた耐圧試験結果

FORMAT-Ⅱ

継手耐圧試験結果

名称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価

(3)　完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

FORMAT-Ⅲ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）

Ⅱ．　法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準					
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ．　メーカ仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験

Ⅳ．　確認項目

a：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

b：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（ⅡとⅢの材料及び試験条件の比較，ⅠとⅢの使用条件の比較）

Ⅴ．　評価結果

FORMAT-Ⅳ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ．　確認項目

ａ：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

ｂ：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

Ⅳ．　評価結果

FORMAT-Ⅴ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））

Ⅰ． 非常用発電装置（可搬型）の使用目的，使用環境及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量（kVA/個）

Ⅱ． メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量（kVA/個）	メーカ許容値（℃）	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ． 確認項目

ａ：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

ｃ：使用条件に対する強度の確認（Ⅱと「日本電機工業会規格　ＪＥＭ－１３５４」に規定される温度試験との比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

Ⅳ． 評価結果

付録15　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＡＳＴＲＡＮ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
2.1 MSC NASTRAN Ver.2008.0.0……3
2.2 MSC NASTRAN Ver.2013.1.1……5
2.3 MSC NASTRAN Ver.2006r1……7

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）NASTRANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-14-1	主排気筒の耐震性についての計算書	Ver.2008.0.0
V-2-2-14-2	主排気筒の基礎の耐震性についての計算書	Ver.2013.1.1
V-2-5-4-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-5-7-2-1	残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-10-1-2-7	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-10-1-3-7	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1

2.　解析コードの概要

2.1　MSC NASTRAN　Ver.2008.0.0

コード名 / 項目	MSC NASTRAN
使用目的	立体骨組解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2008.0.0
計算機コードの概要	有限要素法を用いたMSC NASTRANは世界で圧倒的シェアを持つ汎用構造解析プログラムのスタンダードである。その誕生は1965 年，現在の米国MSC.Software Corporationの前身である米国 The MacNeal-Schwendler Corporation の創設者，マクニール博士とシュウェンドラー博士が，当時ＮＡＳＡ（The National Aeronautics and Space Administration）で行われていた，航空機の機体強度をコンピュータ上で解析することをテーマとした「有限要素法プログラム作成プロジェクト」に参画したことに始まる。そこで作成されたプログラムはＮＡＳＴＲＡＮ（NASA Structural Analysis Program）と命名され，1971年にThe MacNeal-Schwendler CorporationからMSC NASTRAN として一般商業用にリリースされた。 以来，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。また各分野からの高度な技術的要求とコンピュータの発展に対応するために，常にプログラムの改善と機能拡張を続けている。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素，解析に対して，既工事

	計画で使用された実績がある。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で実施の立体骨組解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから，解析解と理論解の一致をもって解析機能の妥当性も確認できる。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素，解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.2 MSC NASTRAN Ver.2013.1.1

コード名 / 項目	MSC NASTRAN
使用目的	応力解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2013.1.1
計算機コードの概要	・MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析用として開発された有限要素法による汎用解析計算機コードである。 ・市販され，現在では航空宇宙，自動車，造船，機械，土木及び建築などの様々な分野の構造解析に使用されている。 ・動的解析，静的解析，伝熱解析等の機能を有し，固有振動数，刺激係数及び応力等の算定が可能である。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	本解析コードは，汎用市販コードであり，主排気筒の有限要素法による応力解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，シェル要素を用いた応力解析について，シェル要素を用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードは，汎用市販コードであり，主排気筒の有限要素法による応力解析に使用している。 ・本解析コードの運用環境については，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は以下のとおりである。 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木及び建築などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

	・開発機関が提示する使用マニュアルにより，今回の工事認可申請で使用する有限要素法（シェル要素）による応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と今回の工事認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果を持って，解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の工事認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.3 MSC NASTRAN Ver.2006r1

コード名 / 項目	MSC NASTRAN
使用目的	固有値解析，応力解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2006r1
計算機コードの概要	（汎用3次元構造解析コード） 航空宇宙，機械，建築，土木などの様々な分野の構造解析に適用可能な3次元有限要素解析コードである。 静的解析（線形，非線形），動的解析（線形，非線形），固有値解析，伝熱解析，線形座屈解析等が可能である。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木及び建築などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・検証の体系と今回の工事認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果を持って，解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の工事認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

付録16　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＤＹＮＡ２Ｅ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）DYNA2Eについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver 7.2.48

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	DYNA2E
使用目的	固有値解析，応力解析
開発機関	センチュリリサーチセンタ（株） （現伊藤忠テクノソリューションズ（株））
開発時期	2007年（初版開発時期　1972年）
使用したバージョン	Ver 7.2.48
計算機コードの概要	本計算機コードは，土木・建築分野における骨組み解析を対象として開発された汎用2次元／3次元骨組応力解析コードであり，固有値解析並びに静的（線形，非線形）及び動的解析（線形，非線形）による応力解析が可能である。 以下に示す構造に対し，3種類の解析を行うことができる。 ＜構　造＞ 1.　2次元骨組み構造 2.　3次元骨組み構造 ＜解　析＞ 1.　固有値解析 2.　静的解析（線形，非線形） 3.　動的解析（線形，非線形）
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）】 ・別計算機コード「構造解析用計算機コード（NASTRAN Ver.2007r1）」による検証が実施されていることを確認した。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及びNASTRANを用いて得られた結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認した。

付録17　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＡＰ－Ⅳ

目次

1.　はじめに・・・1
1.1　使用状況一覧・・・2
2.　解析コードの概要・・・3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）SAP-Ⅳについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-5-4-1-1	残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書	導入時バージョン

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	SAP-Ⅳ
使用目的	固有値解析，応力解析
開発機関	米国カリフォルニア大学
開発時期	1973年
使用したバージョン	導入時バージョン
計算機コードの概要	任意形状の三次元系の静的解析及び動的解析を有限要素法を用いて行うもので，蒸気タービンの基礎の自重，運転時荷重及び地震力による応力計算等に用いる。 なお，本計算機コードは，機械工学，土木工学，航空工学等の分野において，多くの実績を有している。
検証（Verification）及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）】 ・理論解による検証が実施されていることを確認した。 ・片持ちばりの自重による固定端モーメント及び自由端たわみ，固有振動数をSAP-Ⅳによる解析結果と理論値とを比較して検討し，SAP－Ⅳによる解析結果が妥当であることを確認した。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素，解析については，既工事計画で使用された実績がある。

付録18　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＨＩＳＡＰ及びＮＳＡＦＥ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. HISAP及びNSAFEについて……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析フローチャート……4
3.3 汎用構造解析コードSAPの解析方法……5
3.4 検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）……6

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）HISAP及びNSAFEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書	SAP-V
V-2-5-3-1-3	管の耐震性についての計算書	SAP-V
V-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書	SAP-V
V-2-5-3-3-1	管の耐震性についての計算書	SAP-V

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	HISAP及びNSAFE
使用目的	管及び支持構造物の応力解析
開発機関	米国カリフォルニア大学
開発時期	1976年
使用したバージョン	SAP-Ⅴ
計算機コードの概要	任意の三次元形状に対し,有限要素法により静的解析,動的解析を行い,反力・モーメント・応力，固有振動数・刺激係数等の算出が可能な計算プログラムである。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）】 ・HISAP及びNSAFEはメインプログラムである汎用構造解析コードSAP,応力評価プログラム及びインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。 ・メインプログラムであるSAPについては，配管用では別の構造解析用計算機コード（NASTRAN 2005.0.0）を用いて，代表的な配管検証用モデルに対する計算を行い，比較を行うことによって，計算結果の妥当性の確認を行った。 ・支持構造物用では材料力学に基づく手計算手法を用いて，代表的な簡易骨組モデルに対する計算を行い,比較を行うことによって計算結果の妥当性の確認を行った。 ・応力評価プログラムについては，メインプログラムの出力結果（軸力，モーメント）から，適用技術基準（ＪＳＭＥ*1，ＪＥＡＧ*2等）に基づいて応力評価が正しく行われていることを手計算で確認した。 ・サブプログラムについては，インターフェイスチェックシートを用いて，単位，桁数，符号が変換前後で正しく処理されていることを確認した。

注記　＊1：日本機械学会「発電用原子力設備規格　設計・建設規格」
　　＊2：原子力発電所耐震設計技術指針

3.　HISAP及びNSAFEについて

3.1　一般事項

本解析プログラムHISAP（配管用）及びNSAFE（支持構造物用）は，汎用構造解析コードSAP，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムから成る解析コードである。

以下にHISAP及びNSAFEの解析検証について述べる。

3.2　解析フローチャート

本解析プログラムを用いた解析フローチャートを図3.2-1に示す。

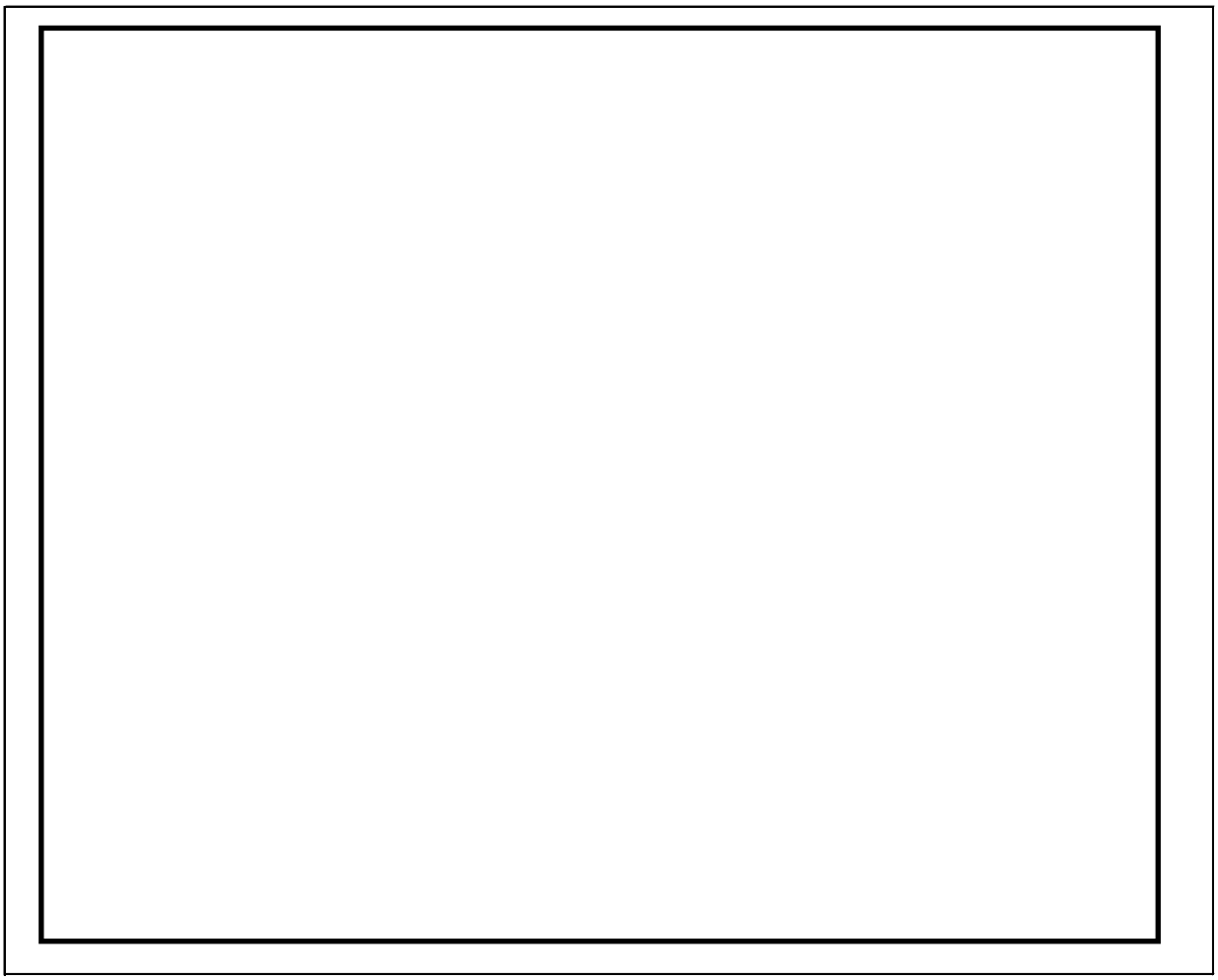
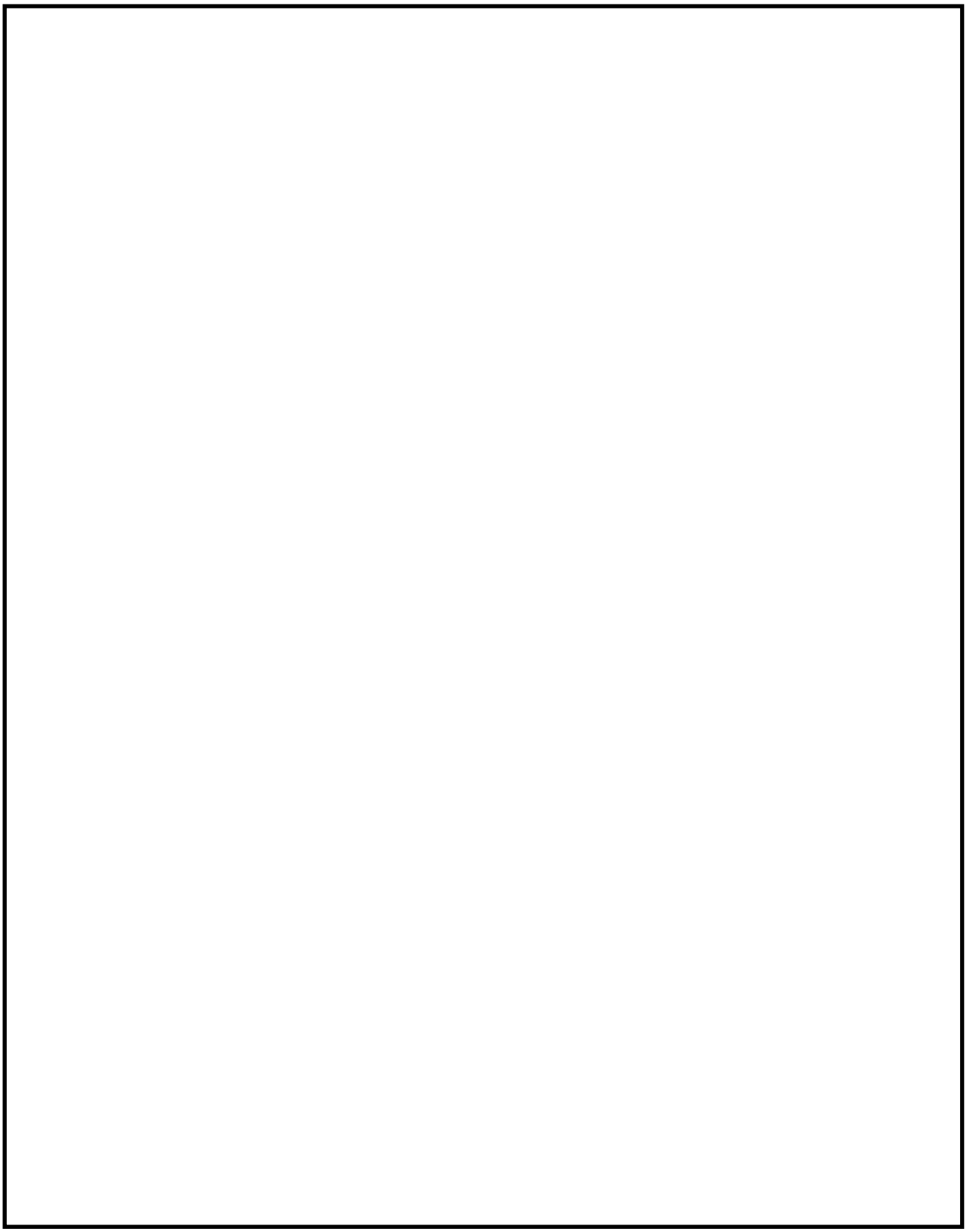


図3.2-1　解析フローチャート

3.3　汎用構造解析コードSAPの解析方法

以下にHISAP及びNSAFEのメインプログラムである汎用構造解析コードSAPの解析方法について示す。



3.4 検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）

以下に汎用構造解析コードSAPの検証及び妥当性確認について示す。

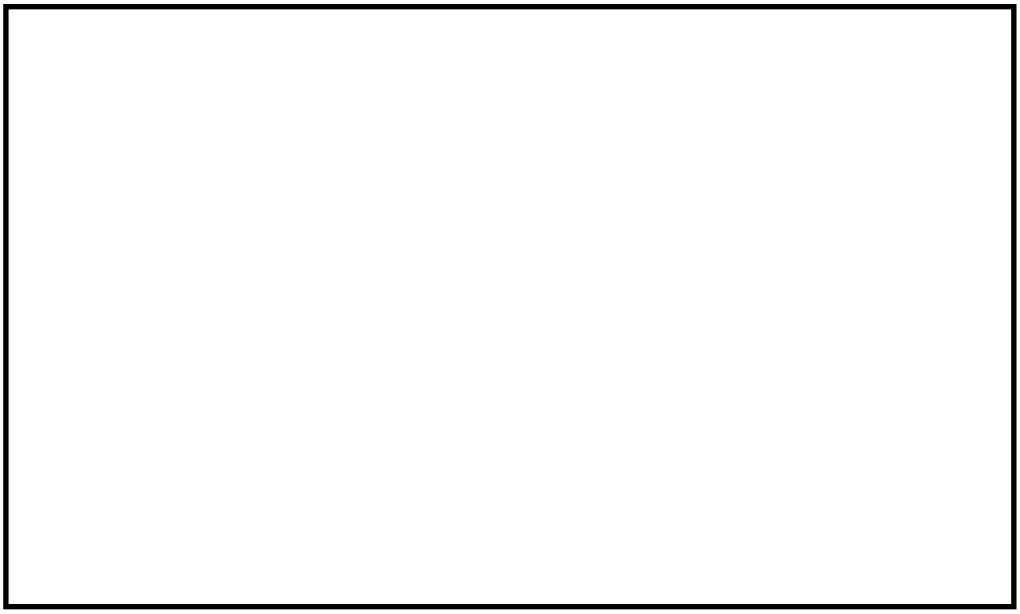
3.4.1 配管

(1) 検証の概要

(2) 検証ケース

(3) 解析条件

図3.4-1に解析モデルを示す。



鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
⊣⊢	レストレイント
⊣⊢	リジッドハンガ
Y(㎜) Z(㎜)　X(㎜)	主要機器取合点等の移動量
	注： 鳥瞰図中の寸法の単位は㎜である。

図3.4-1　解析モデル

以下に示す荷重条件のもと，配管系の [redacted] 解析を行った。また，設計条件を表3.4-2に示す。

・自重

・熱膨張

表3.4-2　設計条件

解析範囲							
管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	運転温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N～11，12～22 24～26，27～28 19～46，47～48	[redacted]					
2	30～40A						
3	50～56A						

(4)　解析結果の比較

表3.4-3　拘束点反力 [redacted]

[redacted]　(単位：N)

節点	SAP			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
[redacted]						

[redacted]　(単位：N)

節点	SAP			NASTRAN		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
[redacted]						

(5)　検証結果

表3.4-3における自重及び熱膨張による拘束点反力の比較結果のとおり,両者でよく一致している。

3.4.2　支持構造物

(1)　検証の概要

材料力学に基づく手計算手法を用いて，代表的な支持構造物検証用モデルに対する計算を行い，得られた結果を比較することにより検証を行った。

(2)　検証ケース

代表的な支持構造物検証用モデル [redacted] 及び [redacted] について，SAP及び「手計算手法」を用いて，両者を比較評価する。

表3.4-4に計算内容及び検証項目を示す。

表3.4-4　計算内容及び検証項目

計算内容	検証項目
圧縮応力，曲げ応力，せん断応力	発生応力

(3) 解析条件

図3.4-2に解析モデルを，表3.4-5に設計条件を示す。

（単位：mm）

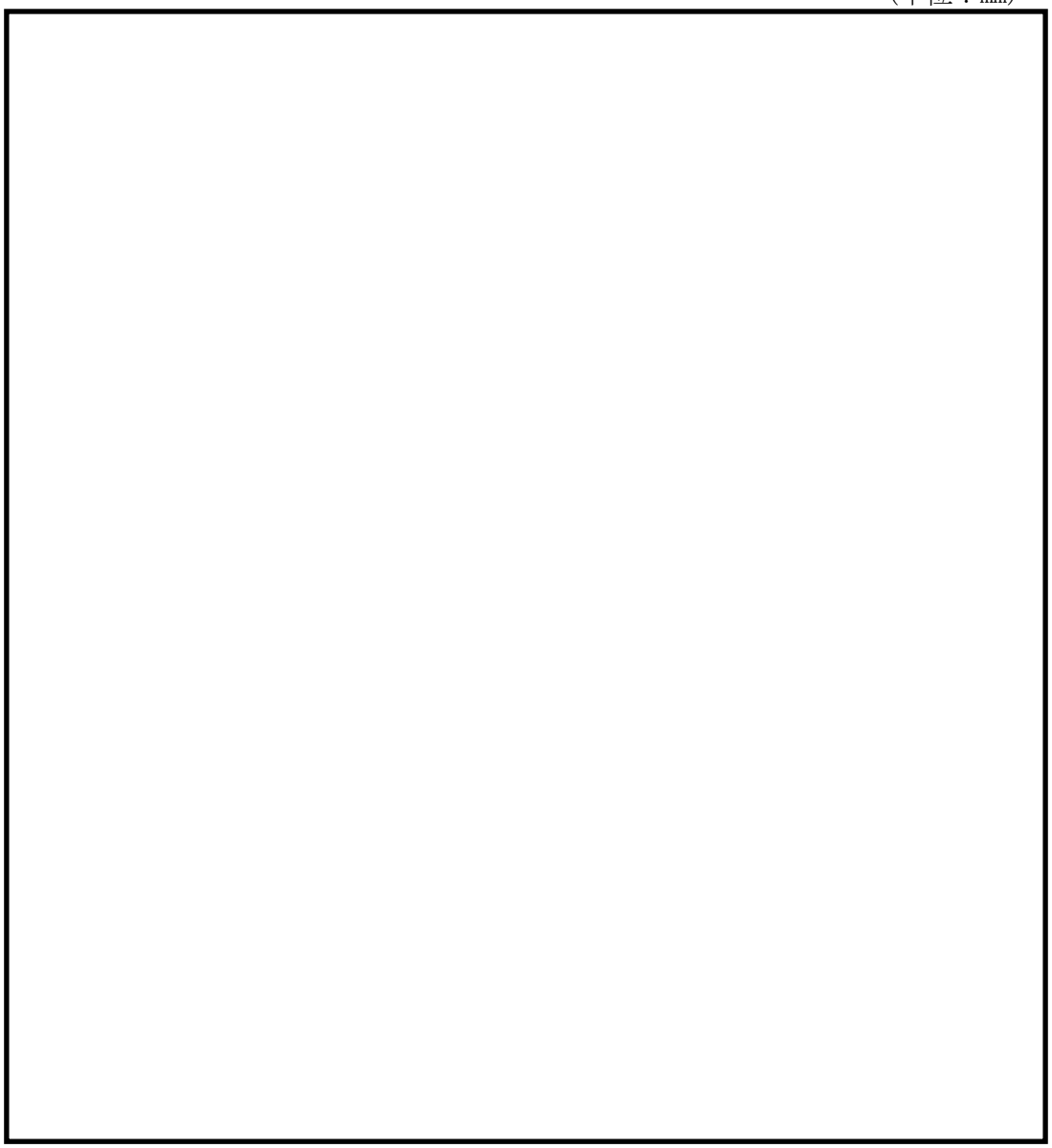


図3.4-2　解析モデル

表3.4-5　設計条件

(4)　評価結果の比較

表3.4-6に発生応力についての評価結果を比較した表を示す。

表3.4-6　発生応力（SAPと手計算手法の比較）

(5)　検証結果

表3.4-6における [redacted] 及び [redacted] による発生応力の比較結果のとおり，両者でよく一致している。

3.4.3　評価結果

3.4.1項，3.4.2項を踏まえ，以下の評価結果からSAPを対象とする検討に用いることは妥当である。

・代表的な配管検証用モデルの静的解析において，拘束点反力の評価結果は代表的解析コードであるNASTRANの解析解と概ね一致することを確認できた。
・代表的な支持構造物検証用モデルを対象とした応力解析において，発生応力の評価結果はSAPの解析解が手計算手法による理論解と概ね一致していることを確認できた。

付録19　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＡＢＡＱＵＳ

目次

1.　はじめに……1
1.1　使用状況一覧……2
2.　解析コードの概要……3
2.1　ABAQUS Ver.6.4-4……3
2.2　ABAQUS Ver.6.5.4……4

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ABAQUSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-4-2-3	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書	Ver.6.4-4
Ⅴ-2-10-1-2-2	非常用ディーゼル発電機　空気だめの耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
Ⅴ-2-10-1-2-3	非常用ディーゼル発電機　燃料油デイタンクの耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
Ⅴ-2-10-1-3-2	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機　空気だめの耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
Ⅴ-2-10-1-3-3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機　燃料油デイタンクの耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
Ⅴ-3-別添6	炉心シュラウドの応力計算書	Ver.6.4-4

2.　解析コードの概要

2.1　ABAQUS Ver.6.4-4

コード名 / 項目	ABAQUS
使用目的	応力解析
開発機関	ABAQUS社
開発時期	2004年（初版開発時期　1978年）
使用したバージョン	Ver.6.4-4
計算機コードの概要	有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。
検証（Verification）及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・使用する解析モデルは，従来の工事計画認可申請及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・理論解とコードによる計算結果を比較して検証が実施されていることを確認した。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素，解析については，既工事計画で使用された実績がある。

2.2　ABAQUS Ver.6.5-4

コード名 / 項目	ABAQUS
使用目的	応力解析
開発機関	ABAQUS社
開発時期	2005年（初版開発時期　1978年）
使用したバージョン	Ver.6.5.4
計算機コードの概要	有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野の構造解析に広く利用されている。
検証（Verification）及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・使用する解析モデルは，従来の工事計画認可申請及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。 ・本解析コードによる地震応答計算結果と振動試験結果を比較して，検証*が実施されていることを確認した。 【妥当性確認（Validation）】 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木などの様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・文献*に示す試験報告書において，本解析コードが検証されたものであることを確認した。 注記　＊：平成19年度　原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書

付録20　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＱＡＤ－ＣＧＧＰ２Ｒ

目次

1.　はじめに……… 1
1.1　使用状況一覧……… 2
2.　解析コードの概要……… 3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）QAD-CGGP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	1.04
V-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.04
V-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.04

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	QAD-CGGP2R
使用目的	燃料プール水深の遮蔽計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	2001年（初版開発時期　1967年）
使用したバージョン	1.04
計算機コードの概要	本計算機コードは，米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分コード「QAD」をベースとし，旧日本原子力研究所がＩＣＲＰ1990年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて，実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。 本計算機コードは，線源を直方体，円筒，球の形状に構成でき，任意の遮蔽体で構成される体系のガンマ線実効線量率を計算する。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本計算機コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本計算機コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・本計算機コードは，線量率評価を実施するコードであり，計算に必要な主な条件は線源条件，遮蔽体条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり，使用目的に記載する評価に適用可能である。 【妥当性確認（Validation）】 本計算機コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 [redacted]と計算値を比較した。実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ，遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本計算機コードによる計算値を比較している。 ・実験値と計算値を比較した結果，概ね一致していることを確認している。

	・上記妥当性確認では，実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ，遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本計算機コードによる計算値を比較している。 ・今回の燃料プール水深の遮蔽計算では，上記妥当性確認における実験体系と同様に，ガンマ線の遮蔽体透過後の線量率を計算する。 ・今回の燃料プール水深の遮蔽計算は上記妥当性確認内容と合致している。 ・また，原子力発電所放射線遮へい設計規程（ＪＥＡＣ４６１５－2008）（日本電気協会　原子力規格委員会　平成20年6月）では，事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コードとして，QADコードが挙げられている。

付録21　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＯＲＩＧＥＮ２

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ORIGEN2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	2.2（June 2002）
V-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	2.2（June 2002）
V-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	2.2（June 2002）
V-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	2.2（June 2002）

NT2 補① 付録21 R0

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	ORIGEN2
使用目的	使用済燃料貯蔵設備の崩壊熱評価 制御棒の線源強度計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所（ORNL）
開発時期	1980年
使用したバージョン	2.2（June 2002）
計算機コードの概要	本計算機コードは，使用済燃料等の核種生成量，崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するためにORNLで開発され公開された燃焼計算コードであり，原子力発電所施設，再処理施設，廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。 また，国内の最新の使用済燃料についての評価精度向上を目指し，日本原子力研究所シグマ委員会核種生成量評価ワーキンググループにおいてJENDL核データセットに基づくORIGEN2用ライブラリが作成され，公開されている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本計算機コードの検証の内容は次のとおりである。 ・計算機能が適正であることは，コード配布時に同梱されたサンプル問題の再現により確認している。 ・本計算機コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・本計算機コードは，燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり，計算に必要な主な条件は組成，照射条件，核データライブラリである。 これら評価条件が与えられれば評価は可能であり，本計算機コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。 【妥当性確認（Validation）】 本計算機コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。 ・米国原子力学会（ANS）のNuclear Technology vol.62 （1983年9月）の「ORIGEN2 :A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において，ANS標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン，プルトニウム，アメリシウムなどの組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

	・日本原子力研究所シグマ委員会にて開発されたORLIBJライブラリについては，「JENDL-3.3に基づくORIGEN2用ライブラリ：ORLIBJ33」JAERI-Data/Code 2004-015(2004年11月)等において，核種生成量について照射後試験結果と，本計算機コードによる計算値を比較することで妥当性の確認を行っている。 ・今回の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており，本計算機コードの使用は妥当である。

付録22　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＣＡＬＥ

目次

1.　はじめに……………………………………………………………… 1
1.1　使用状況一覧………………………………………………………… 2
2.　解析コードの概要…………………………………………………… 3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）SCALEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-3-2	燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	6.0 KENOV.a

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	SCALE
使用目的	使用済燃料貯蔵設備の未臨界性評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所（ＯＲＮＬ）
開発時期	2009年
使用したバージョン	SCALE6.0 KENOⅤ.a
計算機コードの概要	本計算機コードは核燃料物質，構造材等の幾何形状等を入力とし，中性子の飛程を乱数を使用して確率的に計算し，各中性子が吸収されて消滅するか，体系外に漏れるまでの反応過程で発生する核分裂中性子数を計算し，これらの比から実効増倍率を求めるものである。このため，計算体系が三次元の複雑な形状でも精度の高い計算ができる。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 米国ＰＮＬ*1で行われた臨界実験を対象としたベンチマーク解析※を実施し，計算精度を検証した。 [redacted] 【妥当性確認（Validation）】 ※ベンチマーク解析 ベンチマーク解析の対象としたPNL-3602実験結果は，国内BWRの燃料貯蔵設備と同様に，中性子吸収材，板厚，水ギャップ幅，燃料対減速材比及び燃料濃縮度など，臨界解析で重要と考えられる要因に関し，数種類の異なる体系で実施されている。また，臨界実験に用いられた燃料仕様は，金属キャスク燃料や燃料ラックの臨界評価に用いている燃料仕様と同程度であり，ベンチマーク試験として妥当と考えられる。 なお，本検証については，米国オークリッジ国立研究所で行われたベンチマーク解析*2が参考になる。

注記 ＊1：Pacific Northwest National Laboratory

＊2 [redacted]

付録23　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＴＯＮＢＯＳ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
2.1 TONBOS Ver.3の特徴……4
3. 解析手法……4
3.1 基礎方程式……4
3.2 飛来物運動方程式の時間積分法……6
3.3 評価条件……7
3.4 適用範囲……8
4. 解析フローチャート……9
5. 解析コードの検証……10
5.1 フジタスケールとの比較……10
5.2 米国Grand Gulf 原子力発電所への竜巻来襲事例……11
5.3 佐呂間竜巻での車両飛散事例……13
6. 妥当性確認……19
7. 参考文献……19

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）TONBOSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-1-1-2-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver.3

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	TONBOS
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2013年
使用したバージョン	Ver.3
計算機コードの概要	本計算機コードは，一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。 空気中の物体が受ける抗力，揚力による運動を計算することで，竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析することができる解析コードであり，飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さ等の算出が実施できる。 仮定する風速場は，地面付近の風速場をよく表現できているフジタモデルDBT-77（DBT:Design Basis Tornado）とする。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）】 本解析コードの検証の内容は次のとおりであり，本解析コードの妥当性を確認した。 ・自動車飛散解析において，フジタスケールの各スケールに対応する被災状況とおおむね合致した結果が得られた。 ・パイプ飛散解析において，Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例とおおむね合致した結果が得られた。 ・自動車やトラックの飛散解析において，佐呂間竜巻での車両飛散事例とおおむね一致した結果を得られた。

2.1　TONBOS Ver.3の特徴

「TONBOS」は，竜巻による風速場は地面付近の風速場をよく表現できているフジタモデルDBT-77（DBT:Design Basis Tornado）が移動するものとして定め，飛来物を質点系モデルとして，飛来物が（流体）抗力，揚力及び重力を受けて運動する軌跡に対する運動方程式を解くことにより，飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さ等を算定する解析コードである。

3.　解析手法

3.1　基礎方程式

(1)　竜巻の風速場

フジタモデルDBT-77 における接線風速等の関係式については，Fujita Work Book[(1)]と同様に以下の式で定義する。

無次元座標　$r = R/R_m$　　$z = Z/H_i$

接線風速　$V_\theta = F_r(r) F_h(z) V_m$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r<1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \qquad F_h(z) = \begin{cases} z^{k0} & (z<1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速

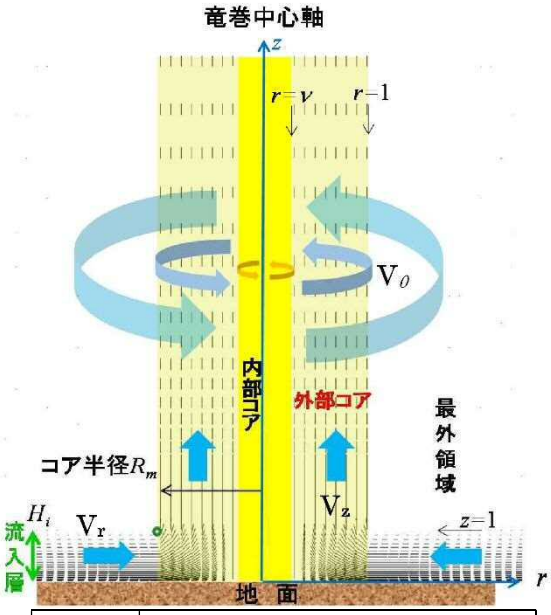
$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq v) \\ \dfrac{V_\theta \tan\alpha_0}{1-v^2}\left(1-\dfrac{v^2}{r^2}\right) & (v<r<1) \\ V_\theta \tan\alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan\alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z<1) \\ B\{1-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \dfrac{3}{28}\dfrac{\eta V_m}{1-v^2} A(16z^{\frac{7}{6}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z<1) \\ \dfrac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1-v^2)}\{2-\exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

k_0, k, v, η, A, Bは定数



V_θ	接線方向風速
V_r	半径方向風速（内向きが正）
V_z	上昇風速
V_m	最大接線風速
R_m	外部コア半径

図3-1　フジタモデルの概要

また，上記以外の定数として，内部コアの半径R_vと外部コアの半径R_mの比$v = R_v/R_m$，流入層高さH_i，その他定数k_0，k，A，B についても，Fujita Work Book[(1)]に基づく以下の式及び値を用いる。

内部コア半径と外部コア半径の比　$v = 0.9 - 0.7\exp(-0.005R_m)$　(1)

流入層高さ　$H_i = \eta R_m$　ここで　$\eta = 0.55(1-v^2)$　(2)

その他定数　$k_0 = 1/6,\ k = 0.03,\ A = 0.75,\ B = 0.0217$　(3)

時刻t＝0 で竜巻中心は原点に位置するものとし,竜巻の風速場は飛来物の影響を受けないと仮定すると，時刻t における竜巻の風速場V_w の各風速成分 (u,v,w) は以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_r\cos\theta - V_\theta\sin\theta \\ V_r\sin\theta + V_\theta\sin\theta \\ V_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{tr} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで，V_{tr} はx軸方向の竜巻の移動速度，θ は竜巻中心と各点を結ぶ線分がx軸となす角であり，竜巻中心からの距離rは以下で定義されるものである。

$$r = \sqrt{(x - V_{tr}t)^2 + y^2} \quad (5)$$

なお，静止する観測者からみた最大水平風速V_D は，x軸方向の竜巻の移動速度V_{tr}をV_mに加えた以下で計算される。

$$V_D = V_m + V_{tr} \quad (6)$$

(2)　飛来物の運動

飛来物の運動は，既往研究[(2)～(6)]と同様に方向性がない平均的な抗力（抗力係数一定）と重力のみが外力として作用するものとした。ただし，地面付近では地面の存在により地面の損座により流れが非対称になること（地面効果）による揚力加速度L を考慮した。この場合，物体飛行の空中での運動方程式は以下のようになる。

$$\frac{dV_M}{dt} = \frac{\rho}{2}\frac{C_D A}{m}\left|V_W - V_M\right|(V_W - V_M) - (g - L)k \quad (7)$$

ここで，各変数は以下で定義する。

V_M：飛来物の速度ベクトル

V_W：風速ベクトル（フジタモデルでの風速場と移動速度の和）

ρ ：空気密度

C_DA：飛来物の各方向の抗力係数と見附面積の積の平均値

m：飛来物の質量

g：重力加速度

k：鉛直上向きの単位ベクトル

また，揚力加速度ℓは，既往の風洞実験の結果[(7) (8)]を考慮して，物体高さdの物体にかかる揚力が，物体底面が地面から3dの高度であるときに消滅するものとした。具体的には，地面からzの距離（高度）にある物体に作用する揚力加速度L を以下の関数形でモデル化する。（Z：物体底面の高度（=z-d/2））

$$L = \frac{1}{2}\rho\frac{C_D A}{m}\left|V_W - V_M\right|_{x,y}^{\ 2} f(Z/d) \quad (8)$$

ここでf(Z/d)は，既往の風洞実験の結果[7]を参考に，以下で定義する。

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1-(z/3d)\} / \{1+(Z/d)\} & 0 \le Z \le 3d \\ 0 & 3d < Z \end{cases} \quad (9)$$

3.2　飛来物運動方程式の時間積分法

時刻t における竜巻の風速場V_w＝(u,v,w)は，式(4)で与えられるため，式(7)を時間積分することによって，飛来物の速度と位置の時刻歴を求めることができる。一定加速度法では，時刻τから時刻τ＋⊿τにおける加速度が一定と仮定する。つまり，

$$\frac{dV_M(t)}{dt} = A(\tau) \quad (10)$$

ここで，加速度ベクトルA(τ)は，以下を表す。

$$A(\tau) = \frac{\rho}{2}\frac{C_D A}{m}\left|V_W(\tau) - V_M(\tau)\right|\{V_W(\tau) - V_M(\tau)\} - (g - L)k \quad (11)$$

式(11)を時間積分すると，以下を得る。

$$V_M(t) = V_M(\tau) + A(\tau)(t - \tau) \quad (12)$$

さらに式(12)を時間積分すると，以下の飛来物位置X_M (t)を得る。

$$X_M(t) = X_M(\tau) + V_M(\tau)(t - \tau) + \frac{A(\tau)}{2}(t - \tau)^2 \quad (13)$$

従って，時刻t＝τ＋⊿τにおける飛来物の速度と位置は以下で与えられる。

$$V_M(t + \Delta\tau) = V_M(\tau) + A(\tau)\Delta\tau \quad (14)$$

$$X_M(t + \Delta\tau) = X_M(\tau) + V_M(\tau)\Delta\tau + \frac{A(\tau)\Delta\tau^2}{2} \quad (15)$$

式(14)，(15)の右辺は時刻t＝τにおける既知の速度・位置の関数であるため，陽解法として時間積分を実施する。

3.3　評価条件

以下の初期条件を設定する。

・竜巻の風速場（図3-2）

竜巻の最大水平風速（V_m）が85 m/sとなる風速場を設定する。

竜巻の移動速度（V_{tr}）は15 m/sとする。

竜巻風速半径（外部コア半径：R_m）は30 mとする。

初期高さ（物体の設置高さ。地面設置の場合は初期高さ0 m）に51×51 個の物体を配置する。

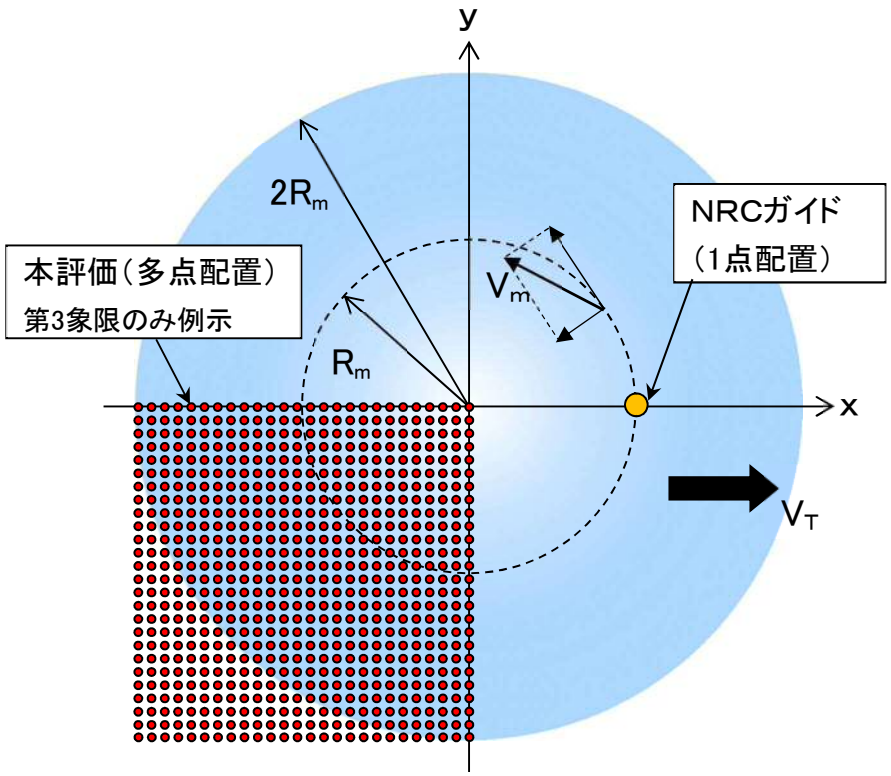


図3-2 竜巻の風速場及び初期物体配置

・飛散距離及び飛散高さ

図3-3に示すとおり，飛散距離は初期位置からの距離とし，飛来物が地表面に落ちた場合は，それ以上移動しないものとする。飛散高さは，初期高さからの相対高さとする。

2,601（51×51） 個の算出結果のうち，飛来物の速度及び飛散距離の最大値を解析結果として採用する。

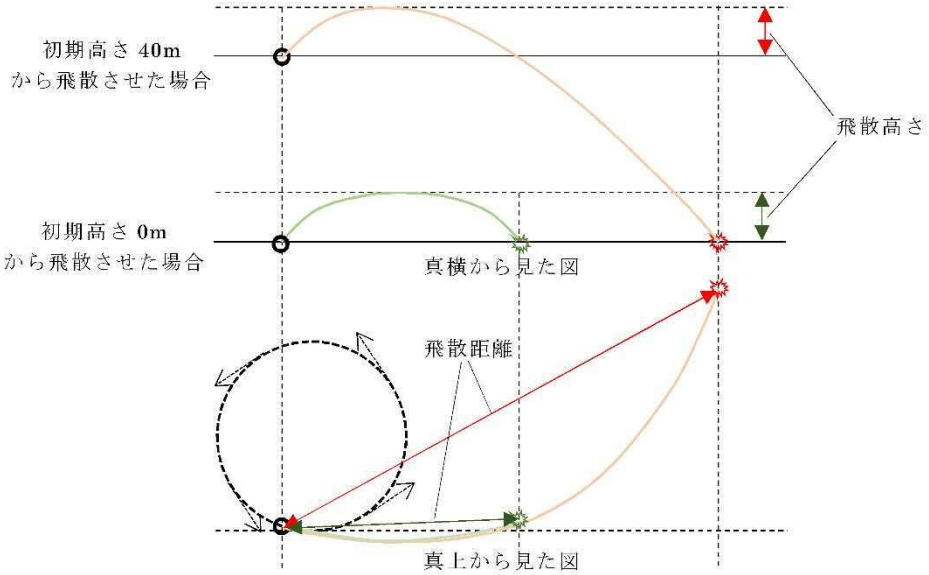


図3-3 飛散距離及び飛散高さ

3.4 適用範囲

解析は以下の条件で実施することとする。

・竜巻の最大風速：100 m/sとする。
・竜巻の最大接線風速：最大風速との比が0.85となる85 m/sとする。
・竜巻中心の移動速度：最大風速との比が0.15となる15 m/sとする。
・竜巻の最大接線風速半径：30mとする。
・空力パラメータ：制限なし。
・解析時間刻み：0.01 秒以下。
・重力加速度，空気密度：それぞれ9.80665 m/s^2，1.22 kg/m^3とする。

4. 解析フローチャート

図4-1に解析フローチャートを示す。

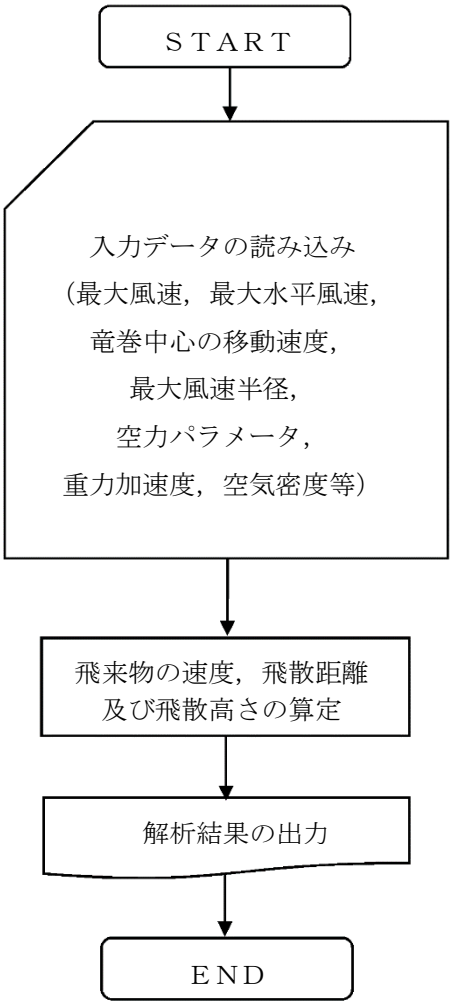


図4-1　解析フローチャート

5.　解析コードの検証

5.1　フジタスケールとの比較

フジタスケールは，竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から，当時の竜巻風速を推定するために考案された指標である。このフジタスケールで示されている自動車の被災状況を表5-1に示す。

ここで，TONBOSによって，各スケールに対応する最大風速(69 m/s，92 m/s，116 m/s)におけるフジタモデルによる自動車飛散解析を行う。その結果を表5-2に示す。

TONBOSによる自動車飛散解析の結果は，各スケールに対応する自動車の被災状況とおおむね合致していると考えられる。

表5-1　フジタスケールで示されている自動車の飛散状況

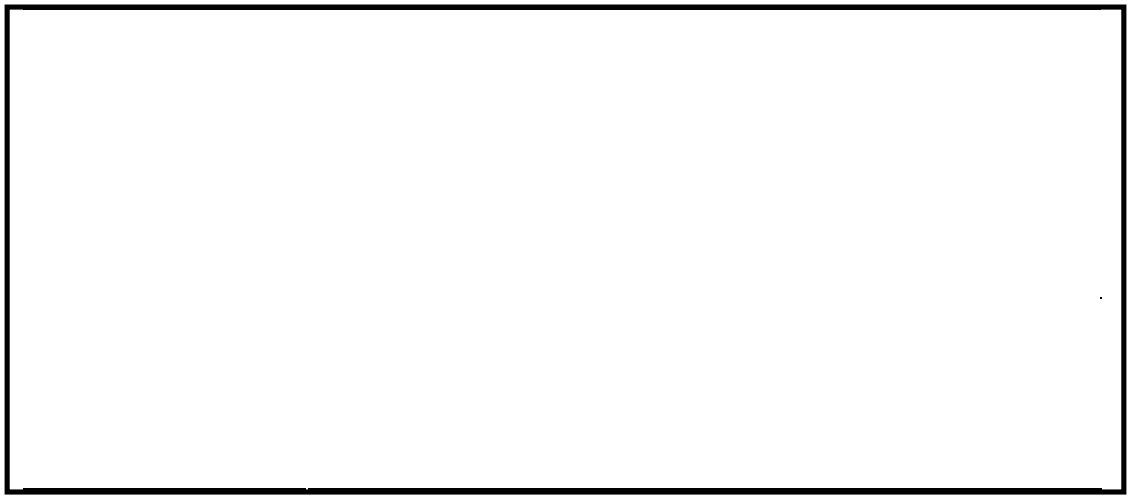
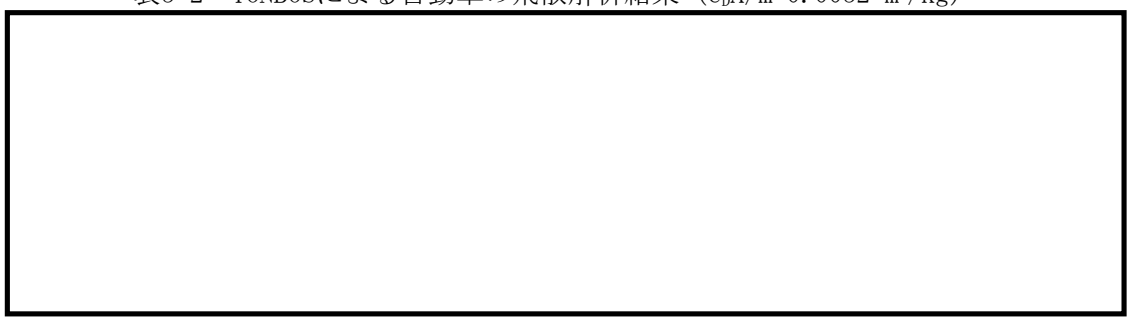


表5-2　TONBOSによる自動車の飛散解析結果（C_DA/m=0.0052 m^2/kg）[9]



5.2　米国Grand Gulf原子力発電所への竜巻来襲事例

1978年4月17日に米国のミシシッピー州にて建設中のGrand Gulf原子力発電所にF3の竜巻が来襲した。主な被害として，建設中の冷却塔内部に設置されていたコンクリート流し込み用のクレーンが倒壊し，冷却塔の一部が破損したことが挙げられる。また，竜巻によりトレーラーが台から剥がれ移動したことや,直径8～10インチの木が折れた事例等も確認されており,図5-1は，竜巻による飛来物の飛散状況が定量的に分かる事例として，資材置き場のパイプの飛散状況を示したものである。なお，通過時の竜巻規模はF2 であったと考えられている。このパイプはコンクリート・石綿製で，長さは8フィート，直径（内径）は8インチであった。このパイプの飛散状況に対して，TONBOS を用いた飛来解析を行った。その計算条件は過去の記録に基づき表5-3のとおりとする。

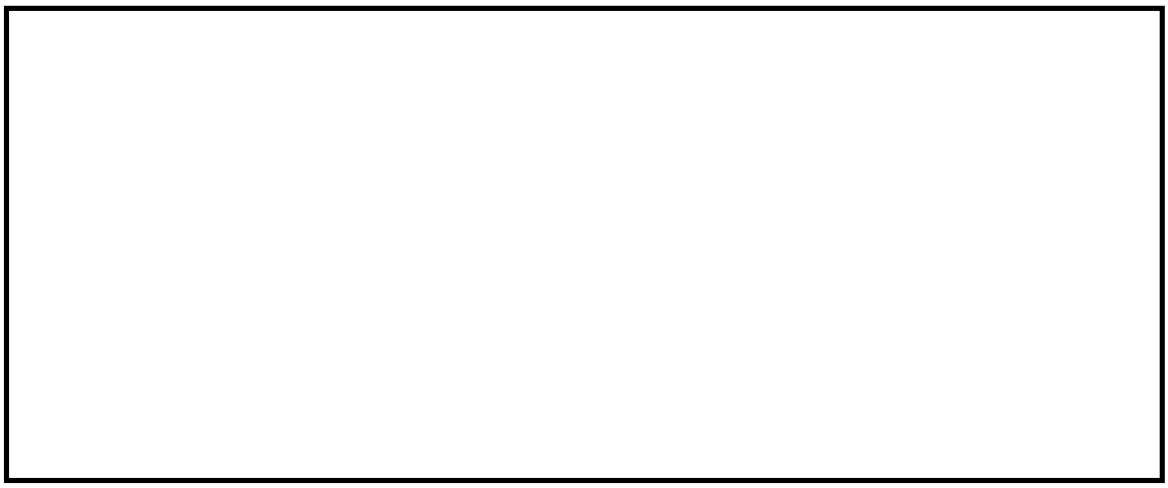


図5-1 Grand Gulf原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況[10]

被害状況	

表5-3　Grand Gulf原子力発電所の竜巻によるパイプ飛散の再現をする上での計算条件[9]

竜巻条件	竜巻の最大風速	67 m/s
	最大接線風速	53.6 m/s
	移動速度	13.4 m/s
	コア半径	45.7 m/s
飛来物条件	直径（外径）	9 inch（0.2286 m）
	物体高さ	0.229 m
	密度	1700 kg/m^3
	飛行定数C_DA/m	0.0080 m^2/kg
初期配置	・物体個数51×51 個，竜巻半径の4 倍を一辺とする正方形内（x，y=[-2Rm，+2Rm]）に等間隔配置 ・設置高さ1ｍ（パイプが収納されていた木箱が2 段重ねで配置されていた状況を想定。）	

計算結果を表5-4に示す。TONBOSによるパイプ飛散解析の結果は，パイプがほとんど飛散せず，木箱が倒れた影響で散乱したと思われる状況とおおむね合致している。

表5-4　Grand Gulf原子力発電所のパイプの飛散計算結果[9]

風速場モデル	
フジタモデル	

注記　＊1：初期物体高さからの飛散高さ。

5.3　佐呂間竜巻での車両飛散事例

2006年11月7日に北海道網走支庁佐呂間町に発生した竜巻（以下「佐呂間竜巻」という。）により，4tトラックが約40 m移動したことが報告されている[11]。被災状況を図5-2に示す。この事例では被災時に4tトラックに乗員2名が乗車しており,4tトラックの初期位置と移動位置が分かっている（図5-2左上画像の②）。また，4tトラックの他に2 台の自動車（図5-2左上画像の③と⑥）について，初期位置と被災後の移動位置が分かっている。このように竜巻被災前後で車両等の位置が明確になっている事例は極めてまれである。なお，竜巻飛来物の再現計算は，竜巻が頻発する米国でもほとんど実施されていない。この理由としては，来襲した実際の竜巻特性を精度よく計測・推測することが困難であることや自動車等の移動前後の位置が不明確な場合が多いことが挙げられる。

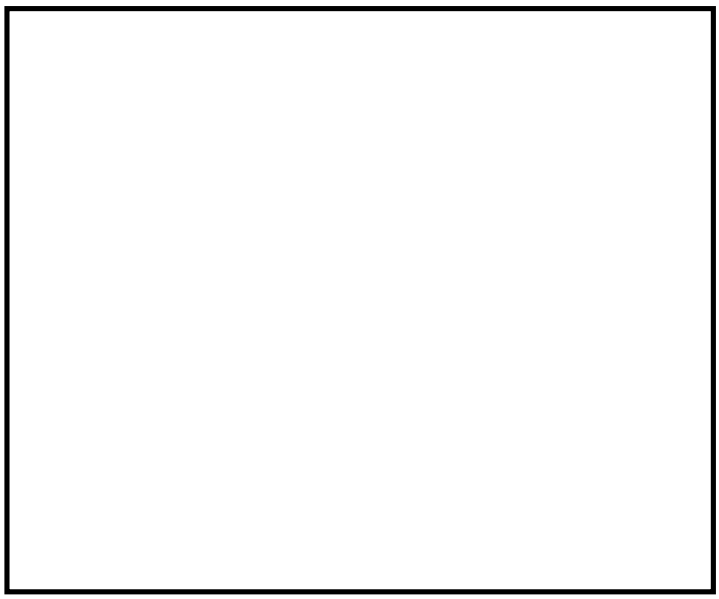


図5-2 佐呂間竜巻(2006.11.7)による被災状況（工事事務所敷地内の車両被災）
（文献(11)の写真に竜巻被害の方向を ⇨ で加筆）

ここでは，TONBOSによるフジタモデルを風速場として用いた車両（4tトラック，乗用車）の飛散評価を行い，実際の被害状況と比べて妥当な結果となるかどうかの確認を行う。

方法としては，下記の2通りとする。

(a) 竜巻特性や飛来物（4tトラック，乗用車）の状況を現実的に設定した場合の再現解析

(b) 東海第二発電所に適用する飛散解析手法による検証

(a) 竜巻特性や飛来物の状況を現実的に設定した場合の再現解析

（ｉ） 4tトラックの飛散解析

再現解析の条件として，入手可能なデータ[11][12]に基づき，合理的と考えられる竜巻特性条件と飛来物（4tトラック）の条件を表5-5のように設定する。初期配置の条件として，配置個数は１個とし，竜巻が遠方から近づく状況設定としている。また，風速60 m/s 以下では浮上しない設定となっている。その上で，竜巻との距離を合理的な範囲で変化させ，佐呂間竜巻の再現性を確認する。

車両と竜巻中心との距離を18 m，20 m，22 m とした場合の解析結果を表5-6及び図5-3に示す。車両の軌跡は竜巻中心との相対位置関係に敏感であるが，各ケースとも飛散方向が実際の移動方向とおおむね合致しており，特に車両と竜巻中心との距離を20 m としたケース2 では飛散距離もほぼ正確に再現されている。このように，TONBOSによる4tトラックの飛散解析の結果で，飛来物が地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることが確認できる。

表5-5 佐呂間竜巻の4t トラックの計算条件[9]

竜巻条件	竜巻の最大風速		92 m/s
	最大接線風速		70 m/s
	移動速度		22 m/s
	コア半径		20 m
飛来物条件	車種不明のため，三菱ふそうPA-FK71Dの仕様を採用	車両長さ	8.1 m
		車両幅	2.24 m
		車両高さ	2.5 m
		車両質量	4000 kg
	飛行定数C_DA/m		0.0056 m^2/kg
初期配置	・物体個数：1台 ・竜巻は遠方から物体に近づくが，風速60 m/s 以下では浮上しない ・設置高さ0 m		

表5-6 佐呂間竜巻での4tトラックの飛散計算結果[9]

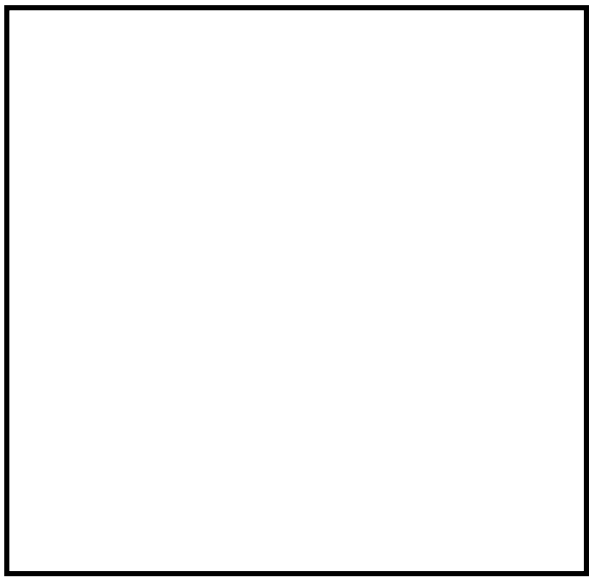


図5-3 TONBOSによるトラック飛散の再現解析結果[9]

（ⅱ）乗用車の飛散解析

白い乗用車（図5-2の⑥）の被災事例を対象として，物体を１点初期配置した条件で最大水平速度等を計算する。

白い乗用車の計算条件について，表5-7に示す。

表5-7 佐呂間竜巻の白い乗用車の計算条件

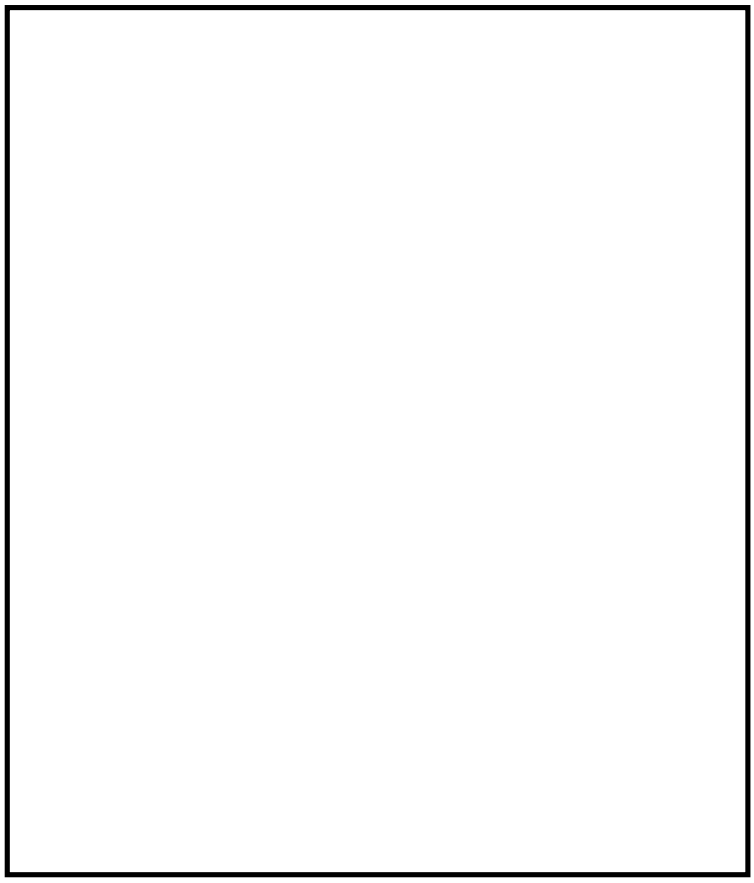
竜巻条件	表5-5と同様		
飛来物条件	白い自動車（トヨタカローラを仮定）	車両長さ	4.4 m
		車両幅	1.7 m
		車両高さ	1.5 m
	飛行定数C_DA/m		0.0097 m^2/kg
初期配置	・物体個数：1台 ・竜巻は遠方から物体に近づくが，風速60 m/s 以下では浮上しない ・設置高さ0 m		

白い乗用車と竜巻中心との距離を，18 m，20 m，22 m とした場合の解析結果を表5-8及び図5-4に示す。飛散距離についてはケース1 でおおむね合致している。

飛散方向については，飛び出し方向はおおむね合致しているものの，最終的な着地点には多少のずれが生じている。これは乗用車（白）が建物に近接して駐車していたため，この建物の倒壊の影響を受けて飛散方向のずれが生じたものと推定される。

なお，赤い乗用車（図5-2の③）について評価した場合は，竜巻中心との距離が大きいため飛散しない解析結果となる。ただし，実際には，赤い乗用車は全壊・飛散したプレハブ建物（軽量鉄骨造２階建て，図5-2のA）のすぐ下流側に駐車しており，そのがれきの影響を受けて一緒に移動したものと考えられる。

表5-8 佐呂間竜巻での白い乗用車の飛散計算結果



(b)　東海第二発電所に適用する飛散解析手法による検証[13]

ここでは，東海第二発電所に適用する飛来物評価法の竜巻条件・物体初期配置条件で前述の佐呂間竜巻における4tトラック及び白い乗用車の被災事例を評価し，佐呂間竜巻での実際の被災状況（移動距離等）との結果を比較する。

（ｉ）　4tトラックの飛散解析

計算条件について表5-9に示す。竜巻条件としては，設計竜巻の最大風速を92 m/s とし，その他の特性量については，ガイドに例示されている方法に従い，移動速度V_t を14 m/s（最大風速の15 %），竜巻コア半径Rm を30 m とする。

表5-9　東海第二発電所に適用する飛来物評価法の計算条件

竜巻条件	設計竜巻風速	92 m/s
	最大接線風速	78 m/s
	移動速度	14 m/s
	コア半径	30 m
飛来物条件	表5-5と同様	
初期配置	・物体個数51×51 個，竜巻半径の4 倍を一辺とする正方形内（x, y=[-2Rm, +2Rm]）に等間隔配置 ・設置高さ0m	

表5-10に実際の被災状況と，東海第二発電所に適用する飛来物評価法の結果の比較を示す。また，図5-5に被災後の4tトラックの状況を示す。

TONBOSによる飛散評価結果として，4tトラックの最大飛来物速度は36 m/s，最大飛散高さは3.6 m，最大飛散距離は63.4 m となる。

実際の4tトラック飛散距離は約40 mであり，TONBOSによる飛散距離の評価結果はこれを上回る。また，飛散高さや最大水平速度については，直接の比較はできないものの，4tトラックの乗員2 名が存命であったこと，被災後の4t トラックがほぼ元の外形をとどめていること等から，東海第二発電所に適用する飛来物評価法で飛散解析をした場合でも，実際の被災状況と比較して妥当な結果となるものと考えられる。

表5-10　実際の被災状況と「東海第二発電所の飛来物評価法」との結果の比較（4tトラックの場合）

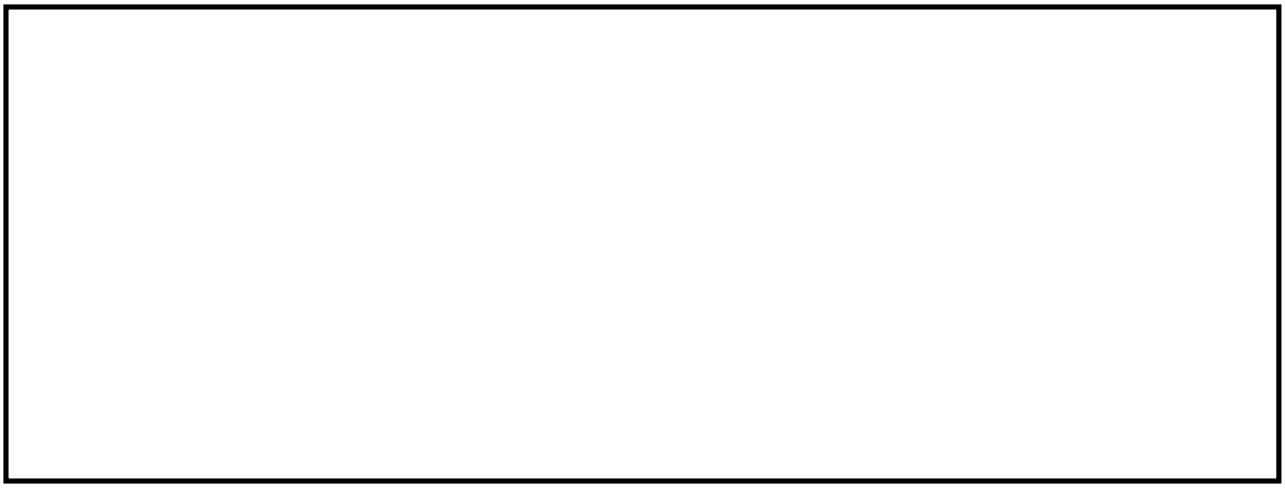


図5-5 竜巻による被災後の4t トラックの様子[12)14)]

（ⅱ）　乗用車（白）の飛散解析

4tトラックの場合と同様に,東海第二発電所に適用する飛来物評価条件で白い乗用車の飛散解析を行った場合の結果を表5-11に示す。

白い乗用車の場合も,TONBOSによる評価が実際の被災状況を包含する結果となっている。

表5-11　実際の被災状況と「東海第二発電所の飛来物評価法」との結果の比較（白い乗用車の場合）

6.　妥当性確認

TONBOSを竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用することは次のとおり妥当である。

・本解析コードは，竜巻により発生する飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さの評価を目的に開発されたコードであり，使用目的が合致している。

・評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

7.　参考文献

(1)　Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978

(2)　Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976.

(3)　Maruyama, T., Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.99(4),pp.249-256, 2011.

(4)　東京工芸大学（2011）：平成21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，独立行政法人原子力安全基盤機構

(5)　U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.76: Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1, March 2007.

(6)　丸山敬，数値的に生成された竜巻状の渦の性質，平成２１年度京都大学防災研究所研究発表要旨

(7)　EPRI, Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects, report NP-2898, 1978.

(8)　Lei, C., Cheng, L. and Kavanagh, K., Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.80, pp.263-286, 1999.

(9)　日本保全学会　原子力規制関連事項検討会，　2015：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン(JSM-NRE-009)

(11)　札幌管区気象台：平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風．災害時気象調査報告，災害時自然現象報告書，2006年第1号,2006.

(14)　土木学会　平成18年11月北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査報告書

NT2 補① 付録23 ROE

付録24　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＦＬＩＰ

目次

1. はじめに……………………………………………………………………………… 1
 1.1 使用状況一覧……………………………………………………………………… 2
2. 解析コードの概要………………………………………………………………… 3

NT2 補① 付録24 R0

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ＦＬＩＰについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-6	取水構造物の地震応答計算書	Ver.7.3.0_2

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＦＬＩＰ
使用目的	地震応答解析（時刻歴解析）
開発機関	ＦＬＩＰコンソーシアム
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver.7.3.0_2
計算機コードの概要	ＦＬＩＰ（Finite element analysis of Liquefaction Program）は，1988年に運輸省港湾技術研究所（現：（独）港湾航空技術研究所）において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく，２次元地震応答解析プログラムである。 ＦＬＩＰの主な特徴として，以下の①～⑤を挙げることができる。 ① 有限要素法に基づくプログラムである。 ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。 ③ 地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い，部材断面力や残留変形等を計算する。 ④ 土の応力－ひずみモデルとして，マルチスプリングモデルを採用している。 ⑤ 液状化現象は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを使用している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し，解析解が提示解と一致することを確認した。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説（2007）（社団法人日本港湾協会）」において，港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており，今回の解析に使用することは妥当である。

	・本工事計画において使用するバージョンは，既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において，今回使用する解析機能に影響が生じていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

付録25　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＡＮＩＳＮ

目次

1.　はじめに……………………………………………………………… 1
1.1　使用状況一覧…………………………………………………………… 2
2.　解析コードの概要……………………………………………………… 3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ANISNについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ANISN-JR
Ⅴ-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ANISN-JR

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ANISN
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	1977年（初版開発時期1967年）
使用したバージョン	ANISN-JR
計算機コードの概要	本計算機コードは，米国オークリッジ国立研究所で開発された，一次元多群輸送方程式を離散座標Sn法で解く計算プログラムである。本計算機コードの計算形状は，一次元形状（球，無限平板，無限円筒）であり，中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。本計算機コードでは，計算形状内での中性子及びガンマ線の線束が計算され，線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより，線量率又は発熱量を算出することができる。
検証（Verification）及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本計算機コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本計算機コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・本計算機コードは，線量率評価を実施するコードであり，計算に必要な主な条件は線源条件，幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり，使用目的に記載する評価に適用可能である。 【妥当性確認（Validation）】 本計算機コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・スカイシャインガンマ線について，固体廃棄物貯蔵庫を線源とした線量評価が，ANISNコードとG33コードの結合計算法によって実施されている。 ・この固体廃棄物貯蔵庫での測定値と計算値の比較の詳細が，原子力施設散乱放射線挙動専門委員会の成果報告会（昭和54年9月，財団法人　原子力安全研究協会）*に示されている。 ・測定値と計算値を比較した結果，概ね一致していることを確認している。

	・今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は，上記妥当性確認内容と合致している。 ・また，原子力発電所放射線遮へい設計規程（ＪＥＡＣ４６１５－2008）（日本電気協会　原子力規格委員会　平成20年6月）では，事故時の中央制御室遮蔽のための輸送計算コードとして，ＡＮＩＳＮコードが挙げられている。

注記　＊：「ガンマ線スカイサンシャインの線量評価に関する研究」成果報告会・予稿集（昭和54年9月　財団法人　原子力安全研究協会）

付録26　計算機プログラム（解析コード）の概要・Ｇ３３－ＧＰ２Ｒ

目次

1.　はじめに‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 1
1.1　使用状況一覧‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 2
2.　解析コードの概要‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）G33-GP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.00
V-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.00

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	G33-GP2R
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	2001年（初版開発時期　1964年）
使用したバージョン	1.00
計算機コードの概要	本計算機コードは，Los Alamos Scientific Laboratoryで開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム「G33」をベースとし，旧日本原子力研究所がＩＣＲＰ1990年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて，実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。 本計算機コードは，点等方線源からの一回散乱を計算する。散乱は，クラインー仁科の式に基づき計算する。散乱が起こる領域は直角，球，円筒座標により指定し，遮蔽体は平板，球，円筒又は二次曲面により入力することができる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本計算機コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本計算機コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・本計算機コードは，線量率評価を実施するコードであり，計算に必要な主な条件は線源条件，幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり，使用目的に記載する評価に適用可能である。 【妥当性確認（Validation）】 本計算機コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・スカイシャインガンマ線について，米国Radiation Research Associates（RRA）が1977年に米国カンザス州立大学において^{60}Co線源を用いたベンチマーク試験を実施している。 ・このRRAでの実験値と計算値を比較の詳細が，ガンマ線遮蔽設計ハンドブック（1988年1月，社団法人　日本原子力学会）に示されている。

	・その結果は，天井遮蔽がないケースでは計算値は実験値とよい一致を示しているが，天井遮蔽があるケースでは，計算値は実験値を過小評価となっている。 ・この原因は，G33コードが天井透過中の散乱成分を考慮してないためであり，この成分を考慮するため，天井遮蔽までをANISNコードで計算することを推奨している。今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価では，この計算手法を採用している。 ・今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は，上記妥当性確認内容と合致している。 ・また，原子力発電所放射線遮へい設計規程（ＪＥＡＣ４６１５－2008）（日本電気協会　原子力規格委員会　平成20年6月）では，事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コード／散乱線計算コードとして，QADコード／G33コードが挙げられている。

付録27　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＡＡＰ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）MAAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

なお，MAAPコードの詳細は，東海第二発電所原子炉設置変更許可申請書添付書類十「追補2.Ⅲ重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて」に示している。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver.4
Ⅴ-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver.4

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	MAAP
使用目的	シビアアクシデント解析 （シビアアクシデント時の格納容器圧力逃がし装置による水素排出性能解析）
開発機関	EPRI
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver.4
計算機コードの概要	MAAP（Modular Accident Analysis Program）コードは，米国産業界が実施したIDCOR（Industry Degraded Core Rulemaking）プログラムにおいて，1980年代の初めに米国FAI社（Fauske & Associates, LLC.）によって開発されたコードであり，プログラムの完了に伴い，所有権が米国EPRI（Electric Power Research Institute）に移管され，EPRIを中心としたMUG（MAAP User's Group）のもとで保守及び改良が進められている。MAAPコードは,軽水炉のシビアアクシデント時の原子炉圧力容器,原子炉格納容器及び原子炉建屋内の熱水力／核分裂生成物（FP）の放出・移行挙動を同時に一貫して解析できることに特徴があり，PRAやシビアアクシデントマネジメントの策定等において，米国を始め，世界的に広く利用されている。 MAAPは，シビアアクシデントの事象進展の各段階を網羅し，炉心，原子炉圧力容器,原子炉格納容器内で起こると考えられる重要な事故時の物理現象をモデル化するとともに,工学的安全施設や炉心損傷防止対策あるいは格納容器破損防止対策で想定する各種の機器についてのモデルを備えている。また，FPに関する物理現象をモデル化しており，事故時に炉心溶融に伴って原子炉圧力容器や原子炉格納容器内に放出されるFPの挙動についても取り扱うことが可能である。このように，広範囲の物理現象を取り扱うことが可能な総合解析コードであり,シビアアクシデントで想定される種々の事故シーケンスについて,起因事象から安定した状態，あるいは過圧・過温により原子炉格納容器健全性が失われる状態まで計算が可能であることが特徴である。

検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	MAAPコードはシビアアクシデントを評価するための総合システム解析コンピュータ・コードであり，原子炉圧力容器，再循環ポンプ等を含む原子炉冷却材圧力バウンダリ全体及び原子炉格納容器における水，水蒸気，水素，FP，溶融炉心等の挙動の評価並びに格納容器圧力逃がし装置による水素排出評価に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・米国プラントのSBO事象に関するユーザーズマニュアルの例題を実施して，解析解が開発元の結果を再現していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・炉心損傷事象に関する国際的な標準問題であるTMI事故を模擬した解析結果が事故データと比較し，概ね一致するため，シビアアクシデント時の炉内の挙動や運転員操作を含む現象モデル全般が妥当であることを確認している。 ・HDR炉における実機スケール水素混合実験に対する実機解析を実施し，実機データと概ね一致するため，原子炉格納容器内の伝熱，流動（水素ガス挙動を含む）に関する現象モデルが妥当であることを確認している。 ・溶融燃料あるいは融体金属とコンクリートの相互作用に関するACE実験及びSURC実験を模擬した実験解析を実施。溶融炉心の温度とコンクリート侵食深さの時間変化について，実験データと概ね一致している結果が得られることを確認している。 ・シビアアクシデント時の全体挙動，原子炉格納容器内の水素ガスの挙動，溶融炉心とコンクリートの相互作用による水素発生の妥当性を確認しているため，MAAPコードは水素濃度評価へ適用できる。

付録28　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＧＯＴＨＩＣ

目次

1.　はじめに･･･ 1
1.1　使用状況一覧･･･ 2
2.　解析コードの概要･･ 3

別紙　原子炉建屋原子炉棟の水素挙動評価へのＧＯＴＨＩＣコードの適用性

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）GOTHICについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

なお，原子炉建屋原子炉棟の水素挙動評価への適用性について，別紙にて述べる。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver.8.1

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	GOTHIC
使用目的	シビアアクシデント解析 （シビアアクシデント時の原子炉建屋原子炉棟内における水素分布評価及び水素処理設備による水素濃度低減性能解析）
開発機関	EPRI
開発時期	1989年
使用したバージョン	Ver.8.1
計算機コードの概要	Electric Power Research Insuituteにより開発された汎用熱流体解析コードである。本解析コードは，気相，液体連続相及び液体分散相(液滴)の3相について，各々，質量，運動量及びエネルギーの3保存式を解く，完全3流体（9保存式）解析コードである。 各相間の質量，運動量及びエネルギーの移動は，構成式で表され，これにより，凝縮・沸騰現象や，凝縮した液体によって随伴される気相の流れ等，複雑な混相流現象を模擬することができる。また，ファン・水素再結合器等の機器モデルが組み込まれており，これらの機器の作動及び制御を模擬できる。 このような基本構成により，原子炉建物内における気液混相の熱流動を取り扱うことができる。GOTHICは，主に米国において設計基準事故を想定した原子炉格納容器の設計や環境条件．シビアアクシデント時の水素分布解析などに豊富な使用実績がある。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	今回の解析は，シビアアクシデント時の原子炉建屋原子炉棟内における静的触媒式水素再結合装置の水素濃度低減性能評価に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・コードのサンプル問題を実行し，ユーザーマニュアルに示される同一問題の結果と比較を行い，解析解がそれを再現していることを確認している。 ・1次元熱伝導の理論解に対する解析解が再現していることを確認している。 ・本解析コードの適用制限について，蒸気表・各種相関式・物性範囲及び数値計算手法上の制約に対し問題ないことを確認している。

	【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・実機プラントに対する上記の目的に対しては，検証内容が事故時の状況，機器設備の作動状況，物理現象の模擬などに対し適用可能な範囲にあることを確認している。 ・静的触媒式水素再結合装置作動時に見られる重要な物理現象の個別効果及び，それらを重ね合わせた総合効果の再現性を確認している。 ・NUPEC試験など，実機解析の再現能力，適用範囲と不確かさを考慮したうえで，上記目的に対する保守性を有している。

別添

原子炉建屋原子炉棟の水素挙動評価へのＧＯＴＨＩＣコードの適用性

1. はじめに

原子炉建屋水素対策の有効性を評価するための熱流動解析において，米国ＥＰＲＩ（Electric Power Research Institute）により開発された汎用熱流動解析コード「GOTHIC（Generation of Thermal-Hydraulic Information for Containments）」を用いている。以下に本解析コードを用いる妥当性を示す。

2. 本解析コードの特徴

(1) 概要

本解析コードは，気相，液体連続相，及び液体分散相（液滴）の3相について，各々，質量，運動量及びエネルギーの3保存式を解く，完全3流体（9保存式）解析コードである。

各相間の質量，運動量及びエネルギーの移動は構成式で表され，これにより，凝縮・沸騰現象や，凝縮した液体によって随伴される気相の流れ等，複雑な混相流現象を模擬することができる。また，ファン・水素再結合器等の機器モデルが組み込まれており，これらの機器の作動及び制御を模擬できる。

このような基本構成により，原子炉建物内における気液混相の熱流動を取り扱うことができる。

(2) 流体

前述のように，本解析コードは気相及び液相の熱流動を取り扱うことができる。このうち気体については，蒸気だけでなく水素，窒素，酸素等の様々なガスが混合した多成分ガスを取り扱うことができる。

(3) 伝熱

流体の各相間の伝熱（エネルギー移動）は，(1)で記述したように構成式で表される。

流体と壁面等の構造体との間の伝熱は，壁面熱伝達モデルにより評価する。壁面熱伝達モデルは，自然対流熱伝達及び強制対流熱伝達，凝縮熱伝達等のモデルが組み込まれており，流体と構造物の間の熱伝達及び壁面近傍の蒸気の凝縮等を考慮できる。また，構造物内部の熱伝導を考慮できる。

(4) 形状モデル

本解析コードの形状モデル例を図1に示す。本解析コードでは，区画を複数ボリューム（サブボリューム分割）として扱う分布定数系モデルと，区画を1ボリュームとして扱う集中定数系モデルがあり，解析内容に応じて適切にモデル化することが可能である。

このうち，分布定数系モデル（サブボリュームモデル）は，いわゆる直交系の構造格子モデルであり，3次元の流体挙動が計算される。分布定数系モデルにおいては，各サブボリュームの体積や高さ等，また，サブボリューム間の流路面積や水力等価直径等の形状パラメータを設定することにより，当該部の3次元形状をモデル化することが可能である。更に，乱流モデル及び分子拡散モデルが組み込まれており，乱流拡散及び分子拡散による質量・運動量・エネルギー

NT2 補① 付録28 R0

の移動を考慮可能である。また，壁面摩擦モデルや局所圧力損失モデルにより，壁面と流体との相互作用や，流路内の構造物を通過することによる運動量・エネルギーの損失を考慮可能である。更に，各相間の界面を通じた質量，運動量，エネルギーの移動が考慮されている。各サブボリュームについて，これらのモデルを含む質量・運動量・エネルギーの保存式を計算することにより，三次元熱流動を評価する。

集中定数系においては，各区画・各相について質量とエネルギーの保存式が計算される。一方，集中定数系の区画間の流れはフローパスモデルで模擬する。フローパスは，各相について1次元の運動量の保存式が計算され，壁面摩擦モデル，局所圧力損失モデル，各相間の界面を通じた運動量の移動等が考慮されている。

また，区画と境界条件とを接続することにより，境界との流体の流入・流出が計算される。フローパスは1次元の流れであるが，場合によって，これらを複数設置することにより，区画間の循環流れ等も模擬することができる。

形状モデルの例を図1に示す。

図1　形状モデル例

(5)　境界条件

流入境界から流入する流体の種類，流量，エネルギー等を設定できる。また，圧力境界条件により，境界での流体の圧力等を設定できる。一方，熱伝導体の境界においては，境界での熱流束，温度等を設定可能である。

(6)　機器モデル

ファンや水素再結合器等の機器を模擬できる。ファンモデルは，フローパスに流入・流出する流量を制御できる。水素再結合器モデルは，当該モデルに流入する水素と酸素の結合反応及び上記結合反応によって生じる反応発熱を制御できる。

ファンモデル及び水素再結合器モデルを組み合わせることにより，PARの試験データに基づく性能をモデル化することが可能である。

3.　本解析コードの妥当性確認

原子炉建屋水素対策の有効性を評価するための熱流動解析に本解析コードを用いることの妥当性を確認するため，基本的な物理現象である3次元的な流動によるガスの流動・拡散現象，ガスの熱流動と水素ガス濃度変化への影響が大きい水蒸気の壁面熱伝達による凝縮及び構造体内部熱伝導，PARモデルに着目する。

(1)　3次元流動解析への適用性

原子炉建屋内では，原子炉格納容器等から漏えいしたガスが拡散し混合する。原子炉建屋水素対策の有効性評価では，オペレーティングフロアに対して，複数ボリューム分割できる分布定数系モデルを適用することで，水素や水蒸気等ガスのボリューム間の拡散・混合を解析可能である。

ガスの拡散・混合に関する代表的な総合効果試験としてNUPEC試験がある（図2参照）。NUPEC試験は，表1及び図3から図5に示すように，25の区画に分割された試験体系において，ガス放出の有無，放出ガスの種類（水蒸気又は水素の代替としてのヘリウム)やスプレイの有無等を考慮した試験が行われ，雰囲気圧力・温度やガス濃度分布が測定されている。ここでは，水蒸気及び水素の代替としてのヘリウムの両方を放出し，かつスプレイを想定しない点で，原子炉建物水素対策の想定条件に近い試験ケースTestM-4-3を対象に，解析の試験データとの比較を行った。

TestM-4-3の試験条件を以下に示す。

・初期圧力：101kPa[abs]
・初期温度：28℃
・蒸気の放出条件：0.33kg／s（1,800秒で停止）
・ヘリウムの放出条件：0.03kg／s（1,800秒で停止）
・ガス放出区画：図4参照
・スプレイ：なし

以上より，原子炉格納容器漏えいによる水素や水蒸気の放出を想定して，ガス拡散・混合を評価する原子炉建物水素流動解析に本解析コードを適用するのは妥当である。

表1　NUPEC試験体系の内部区画（出典：参考文献[1]Table3-2）

ノード番号	区画
1	炉内計装チェイス
2	CV サンプ　ポンプ室
3	一般部(下部) C
4	一般部(下部) D
5	一般部(下部) A
6	一般部(下部) B
7	SG 基礎部 C
8	SG 基礎部 D (Test M-4-3 ガス放出区画)
9	CV 冷却材　ドレンタンク
10	SG 基礎部 A
11	SG 基礎部 B
12	一般部(上部) C,D
13	一般部(上部) A,B
14	SG ループ室 C
15	SG ループ室 D
16	加圧器室(下部)
17	SG ループ室 A
18	SG ループ室 B
19	キャビティ
20	SG 煙突部 C
21	SG 煙突部 D
22	加圧器室(上部)
23	SG 煙突部 A
24	SG 煙突部 B
25	ドーム部

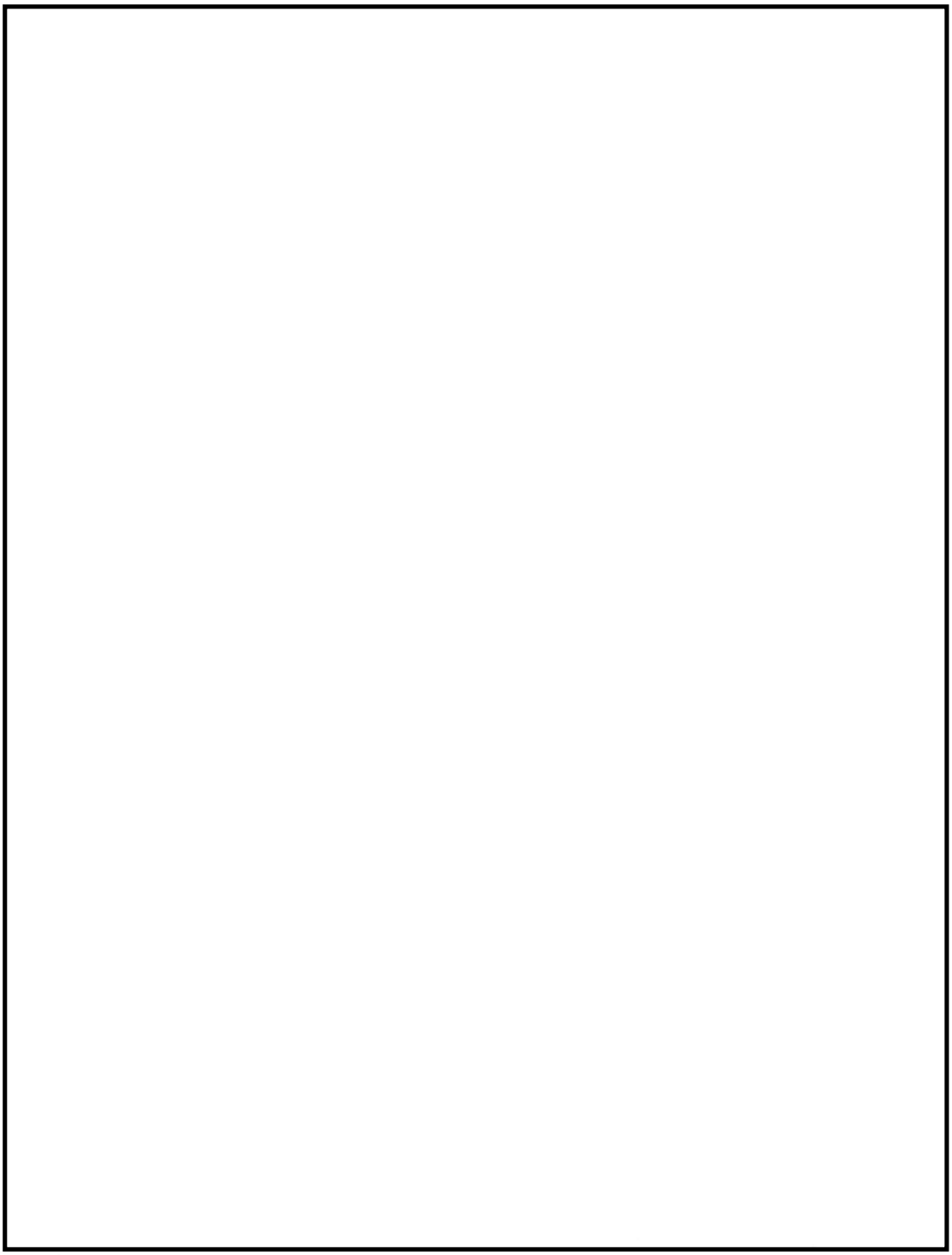


図2　水素濃度の範囲と試験スケール（出典：[1]Fig.3-1）

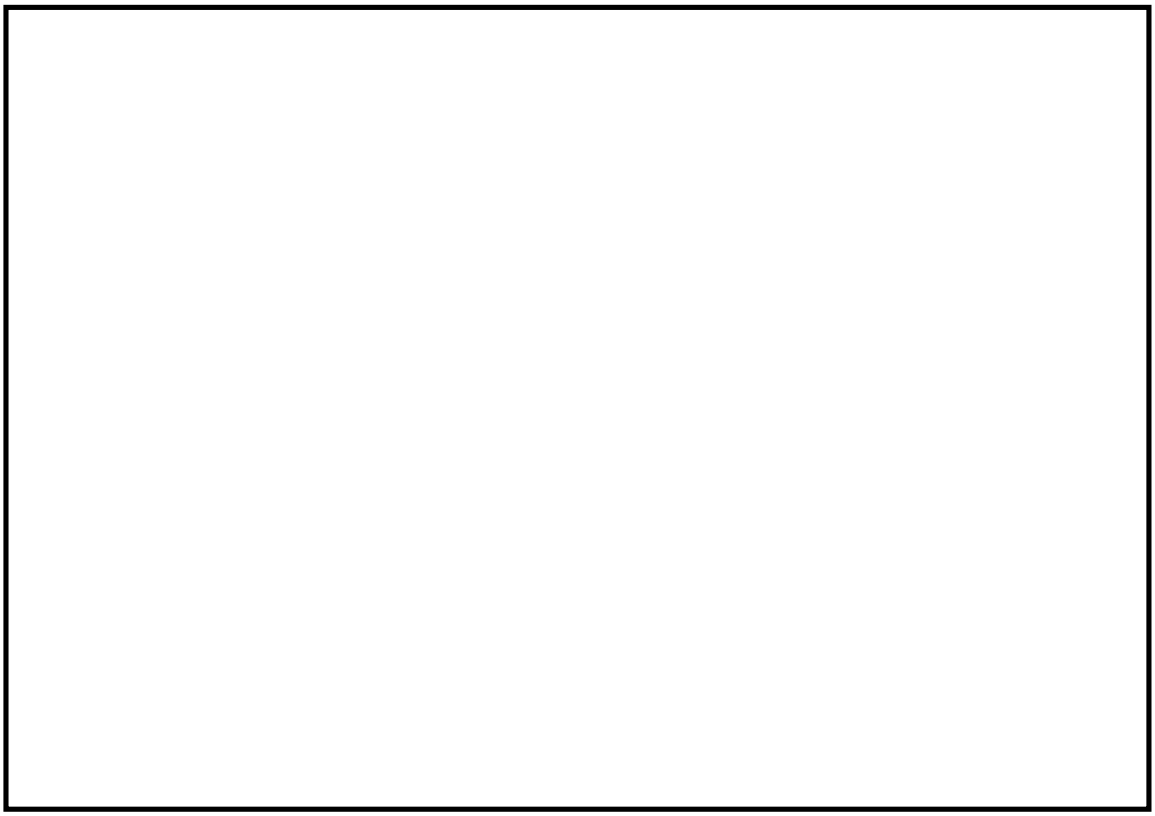


図3　NUPEC試験体系の概要（出典：[2]Fig.17-1）

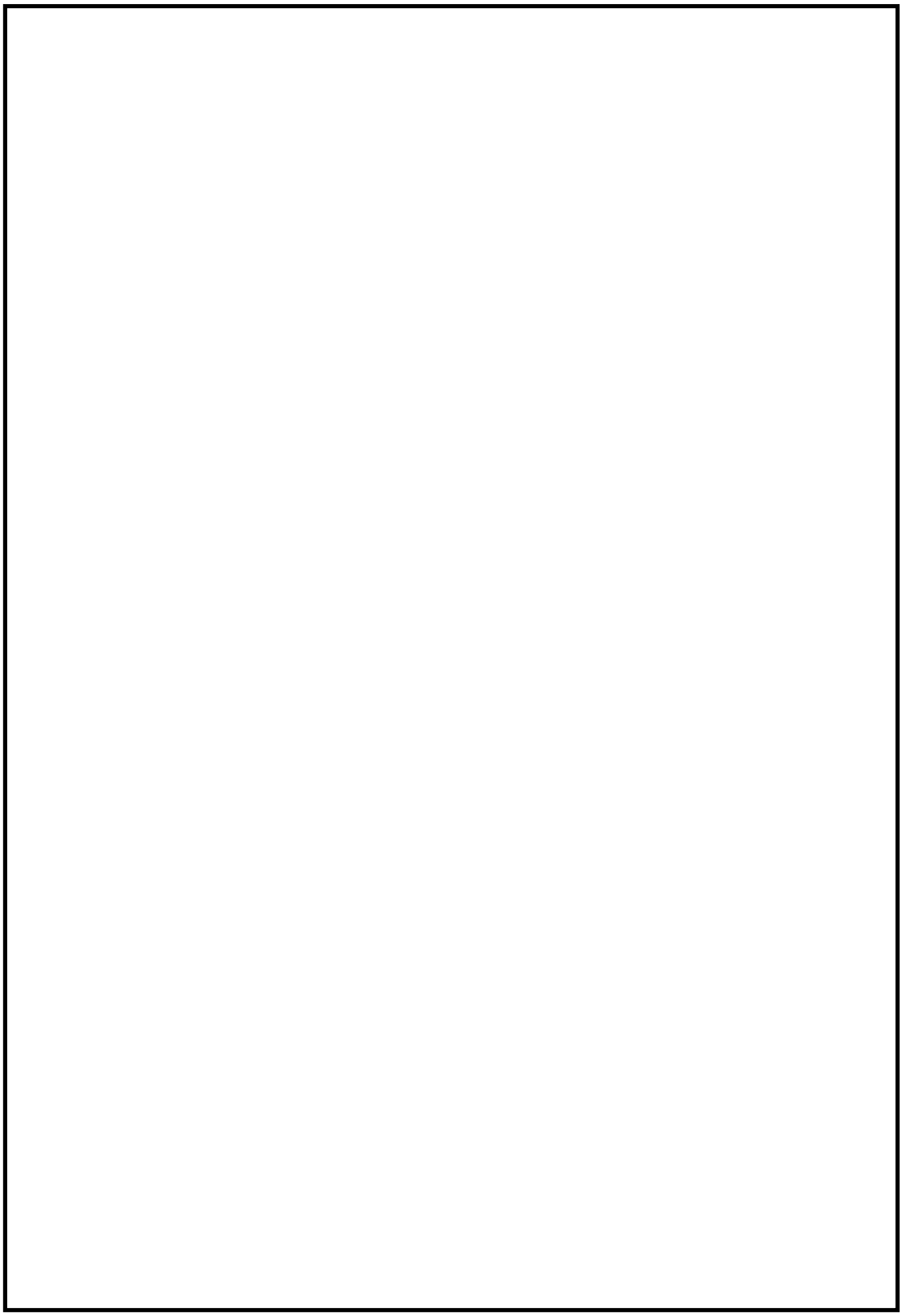


図4　NUPEC試験体系における区画と開口部（出典：[2]Fig.17-2）

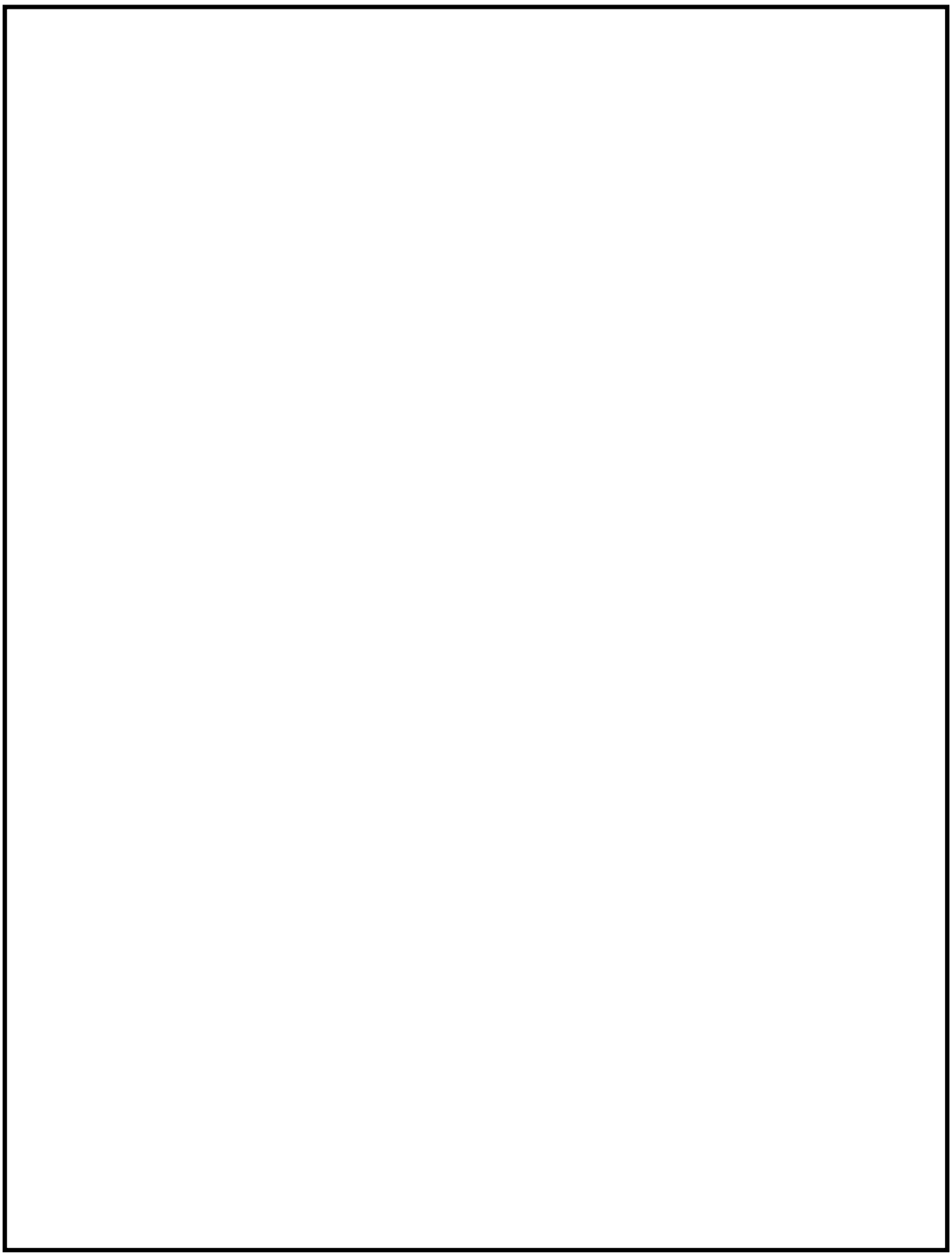
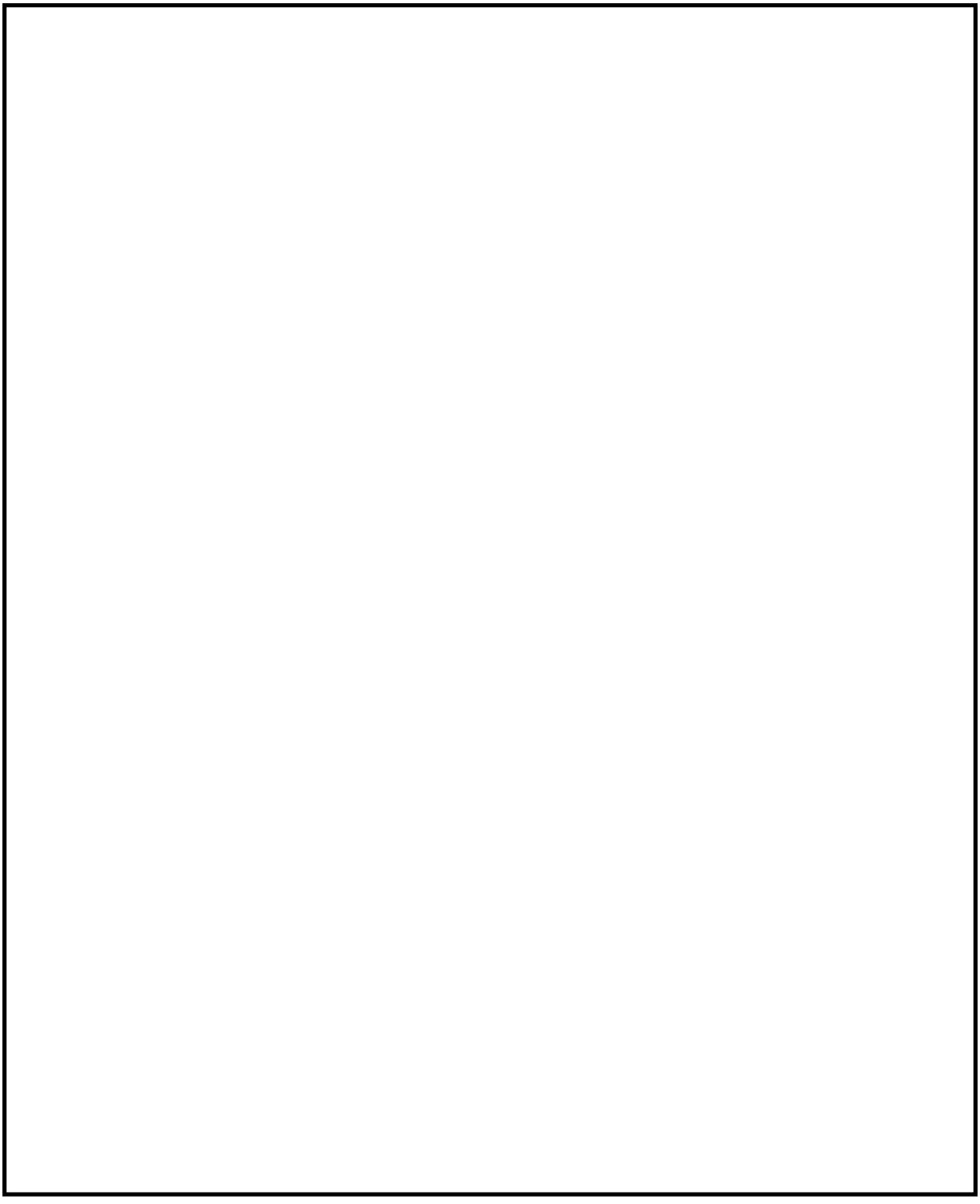
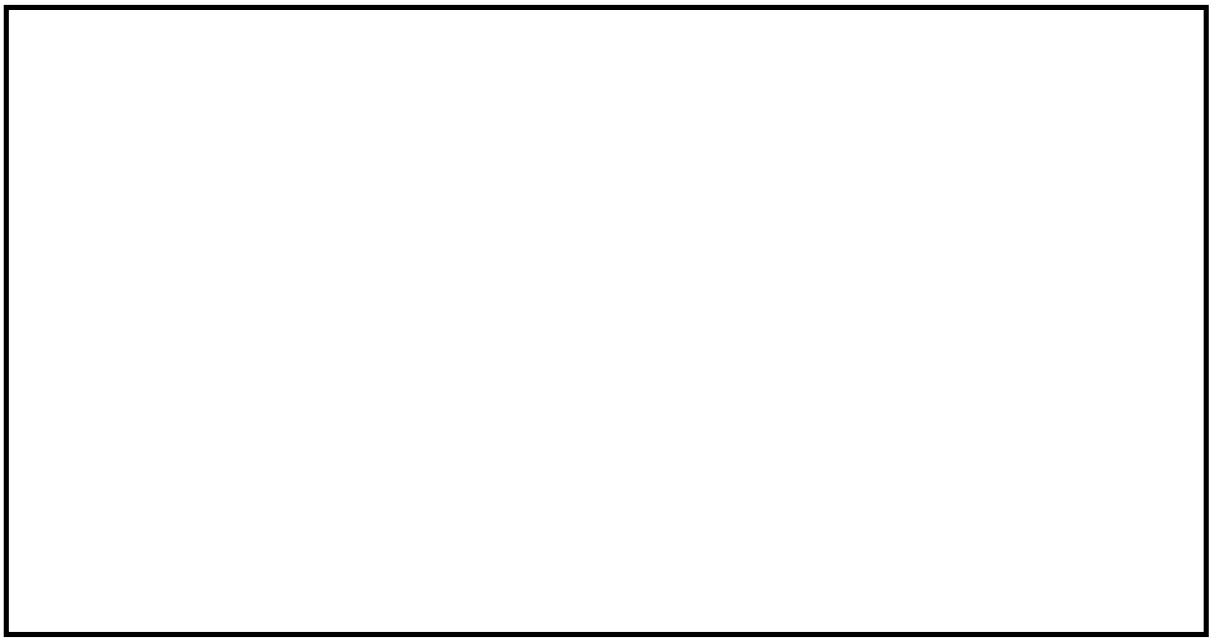


図5　NUPEC試験体系におけるヘリウム濃度及び圧力の計測点
（出典：[3]図3.1.4）



（番号1～25は試験における区画番号に対応（第2表）

図6　NUPEC試験の解析モデル概要（出典：[2]Fig.17-3）



NUPEC試験の解析モデルにおける分布定数系によるノード分割

（出典：[2]Fig.17-4）

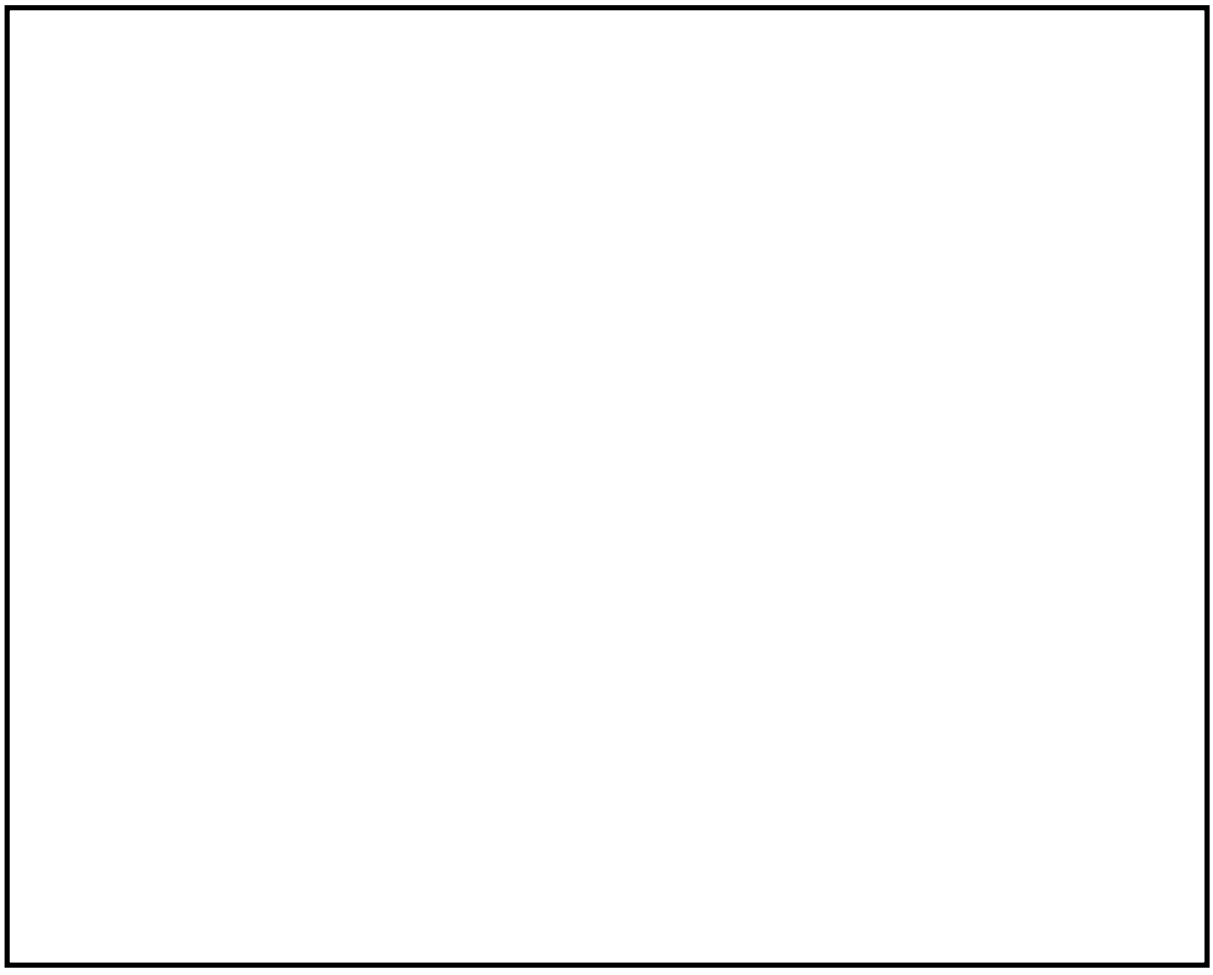


図8　格納容器圧力（出典：［2］Fig.17-16）

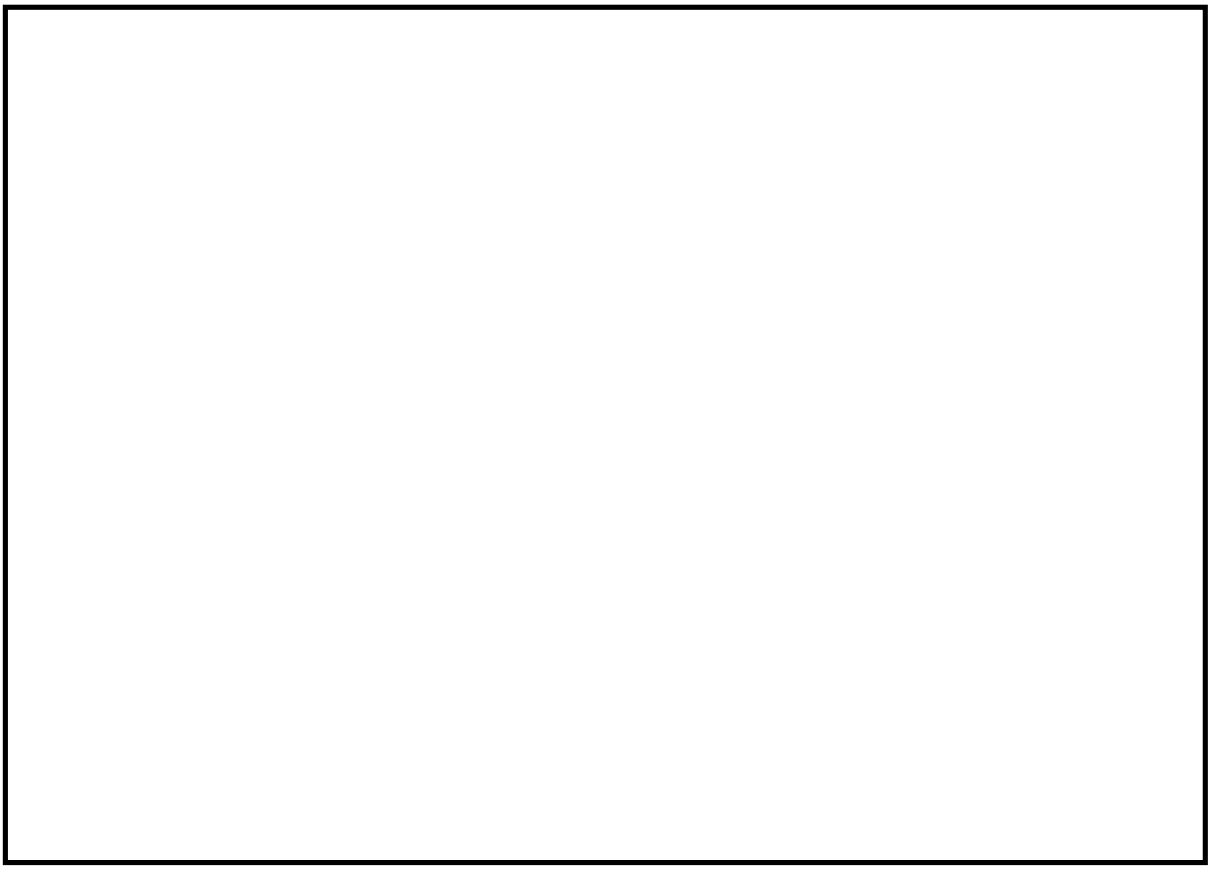


図9　格納容器温度（出典：［2］Fig.17-17）

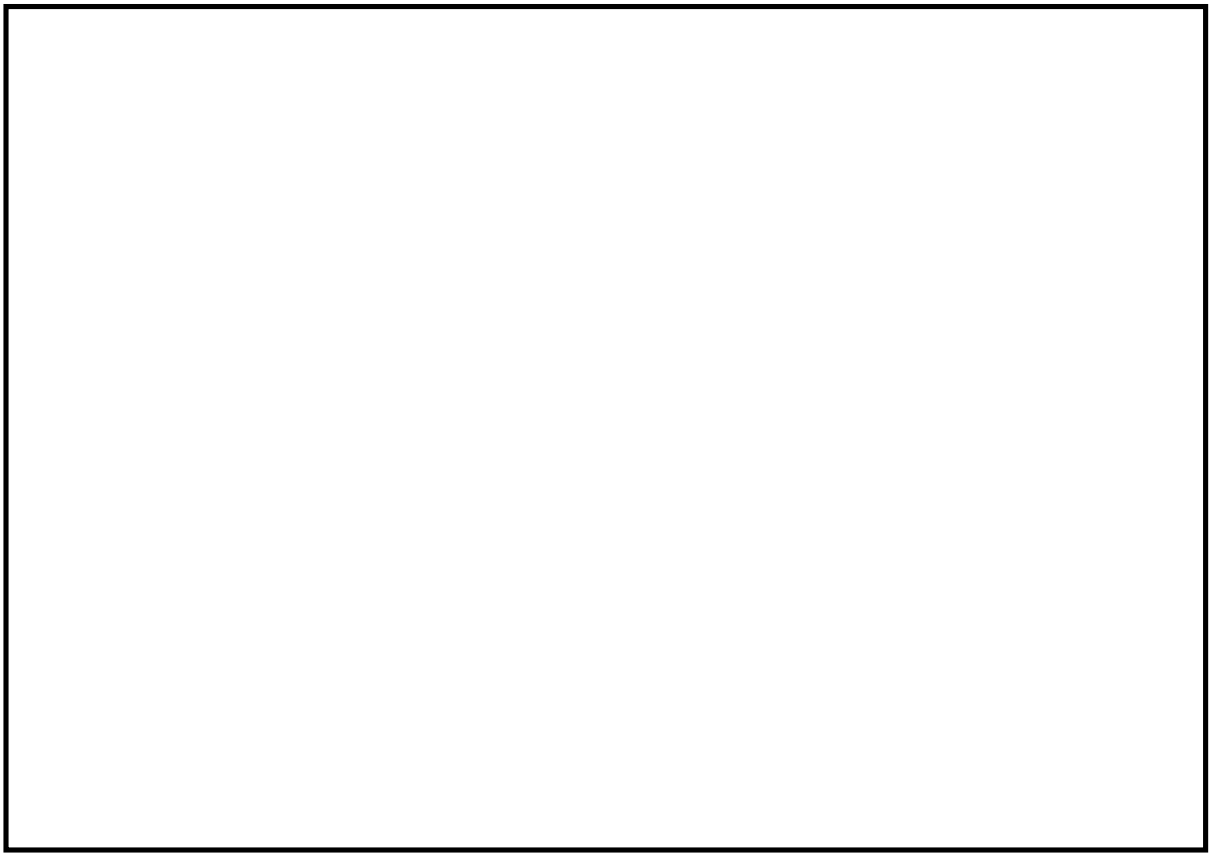


図10　ヘリウム濃度（出典：［2］Fig.17-19）

(2)　水蒸気凝縮(壁面熱伝達)への適用性

凝縮熱伝達モデルとして，DLM-FMモデル（Diffusion Layer Model with enhancement due to Film roughening and Mist generation in the boundary layer）を使用した。本モデルは，液膜の擾乱や壁面付近での液滴発生を考慮した最適評価モデルである。

本モデルで評価した凝縮熱伝達について，個別効果試験データとの比較を図11に示す。

また，比較する試験パラメータの範囲を以下に示す。

図に示すとおり，ほとんどの試験データに対して約20%以内で予測できている。想定されるパラメータ範囲は，以下に示すように試験パラメータの範囲を概ね満たすことから，本モデルを適用するのは妥当である。

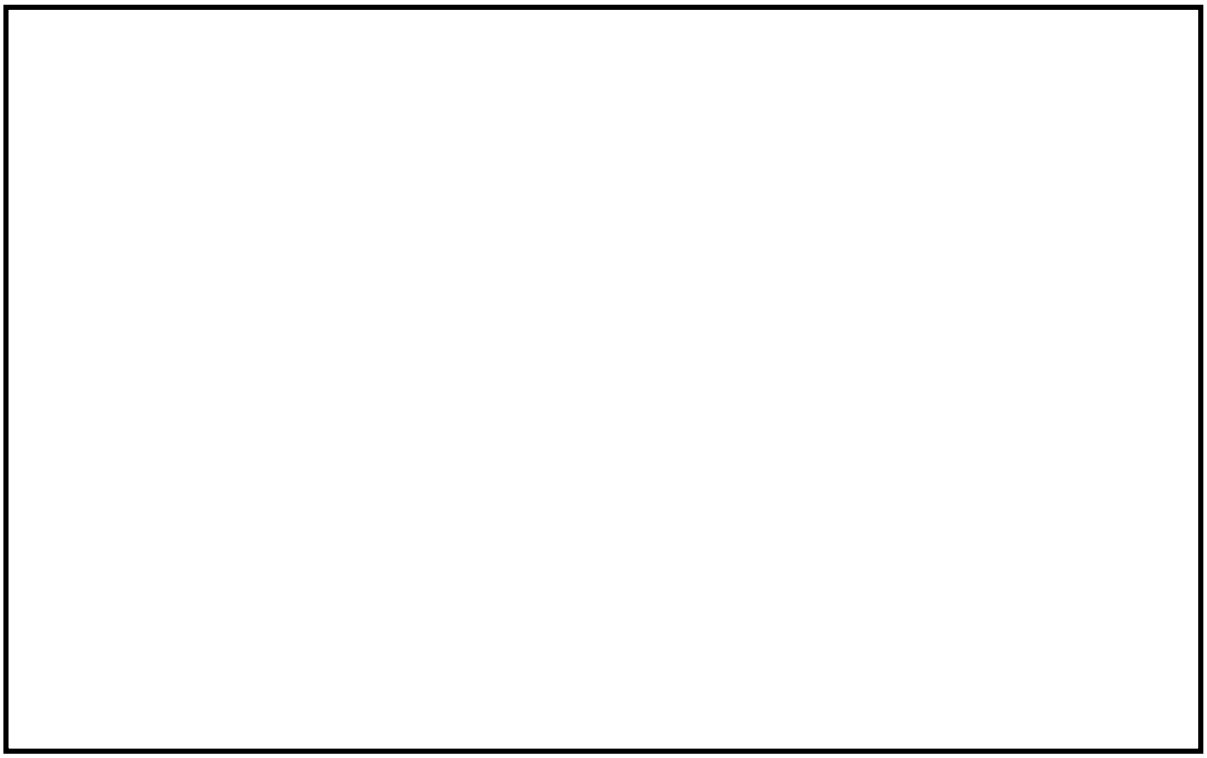


図11　DLM-FMモデルの試験データとの比較（出典：［2］Fig.5-40）

(3)　構造体内部熱伝導

オペレーティングフロアの壁及び天井の構造体を熱伝導体とみなし，GOTHICコードに内蔵されている1次元熱伝導モデルを使用している。

円筒の熱伝導体において，熱伝導体の初期温度を500F，熱伝導体周りの流体温度を200Fとした条件で，GOTHICコードで評価した円筒中心の温度の時間変化と理論解との比較を図12に示す。GOTHICコードは理論解とよく一致しており，原子炉建物水素対策の有効性評価の中で，構造体内部熱伝導へ本モデルを適用することは妥当である。

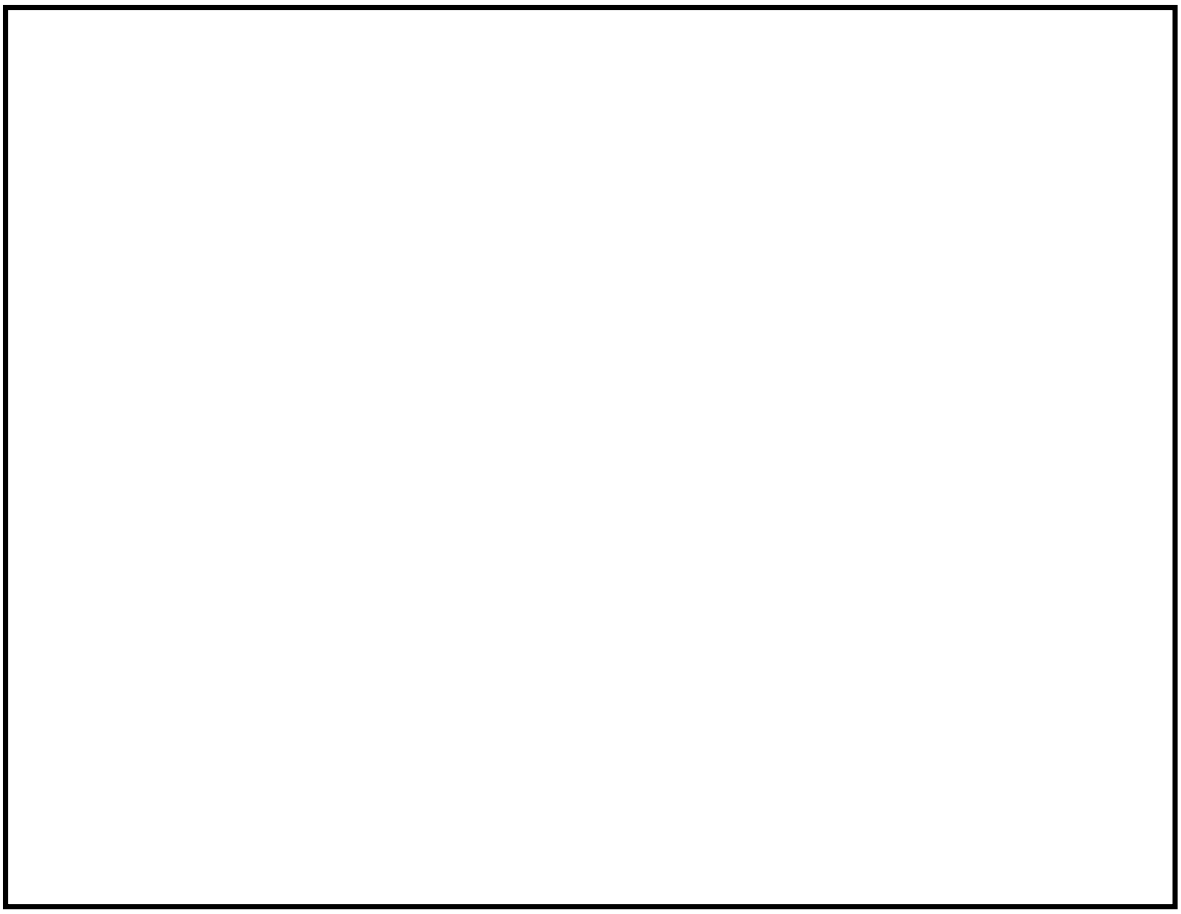


図12　円筒中心温度の1次元熱伝導モデルによる計算結果（変数名：TA3）と解析解（変数名：DC3T）との比較（出典：参考文献［2］Fig.4-11）

(4) PARモデル

オペレーティングフロアのような相対的に広大な空間に設置されたPARによる水素再結合挙動を，本解析コードによって適切に行えるかについては，以下の2つの点に着目して検討する必要がある。

・本解析コードでモデル化するPARにおいて，本来，PAR内部で生じているような局所的な熱・流動影響を伴う水素・酸素再結合を取り扱えるか

・PARの大きさに対して，相対的に空間スケールの大きい「粗メッシュ」モデルによっても，適正なPAR流入気体条件（水素，酸素濃度，気体温度，圧力）を与えることができるか

以下では，これらの観点に対しての考察・検討を示す。

a. PAR内の局所流動の扱い

PARの内部においては，カートリッジにおける水素・酸素の再結合開始に伴い，カートリッジでの再結合熱の流入気体への伝熱，伝熱に伴う気体の浮力による上昇流の発生，及び上昇流に対する流動抵抗の発生等，複雑な熱流動が発生していると考えられる。

KALI試験[4]でのPARの水素処理量の基本式についての妥当性検証解析においては，[redacted]（図13）より求めた処理速度の実験値と，試験条件（温度，圧力は代表値）を相関式への入力値として与えて算出した処理速度を比較しており，これによって相関式の妥当性が確認された。すなわち，PAR内部の複雑な流動の結果としての水素処理容量を，PARの入口において計測された水素濃度，気体温度及び気体圧力の関数として整理して与えたものが，水素処理容量相関式である。水素処理容量相関式はPAR内の浮力や流動抵抗等の局所流動及び水素処理特性を内包しており，PAR入口条件として水素濃度，気体圧力，気体温度を与えれば，これらのPAR内部の局所性を陰に含んだ形で，当該PAR水素処理容量を得ることができるように配慮されている。

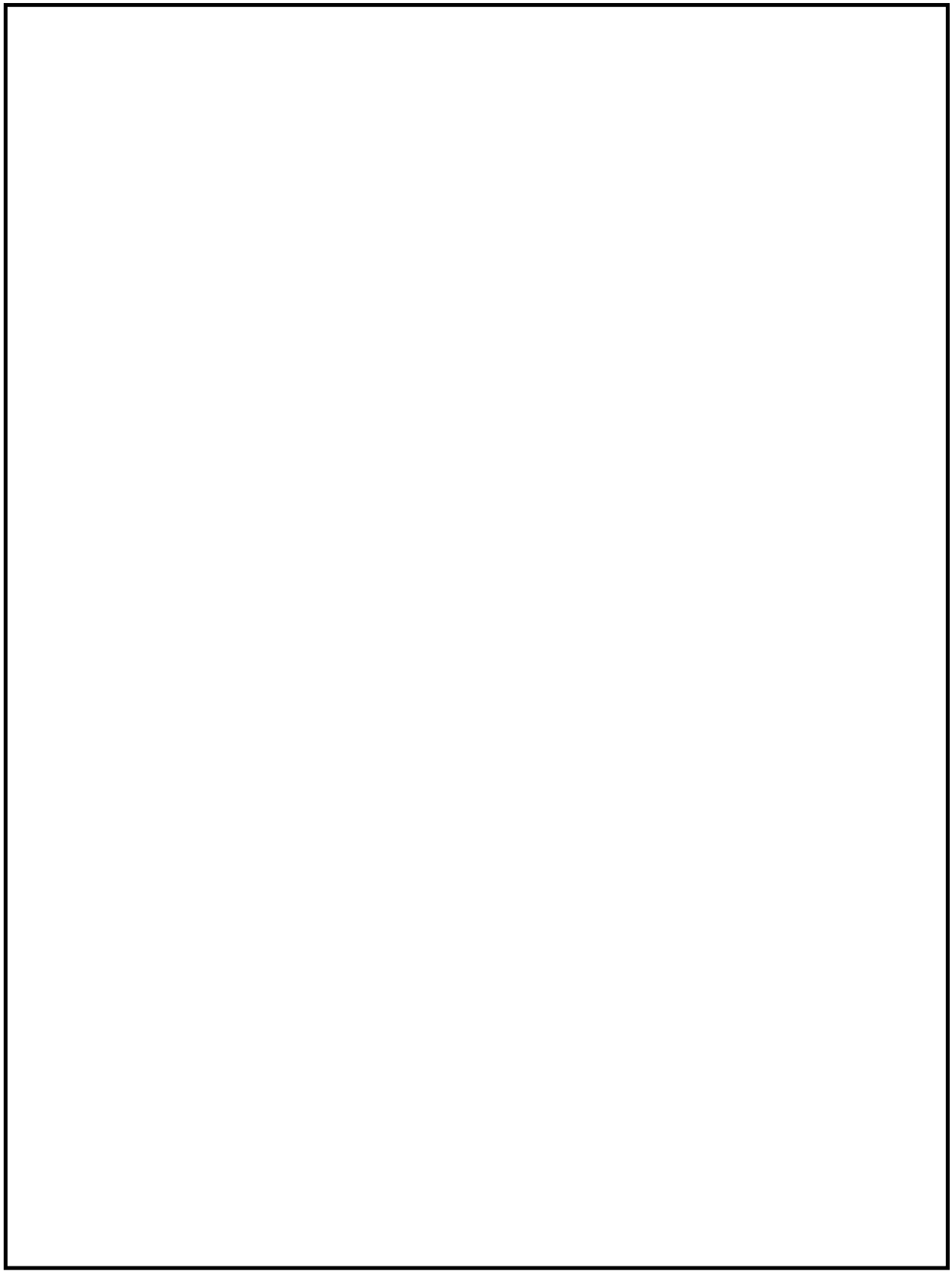


図13　KALI試験の計測位置

b. GOTHICにおけるPARのモデル化

GOTHICにおいては，NIS社製のPARによる水素処理相関式を，機器モデルの一つである [redacted] 及び [redacted] で模擬している。GOTHICにおけるPARの組込みロジックを図14に示す。[redacted] による体積流量の制御を使用して，Fischer[5]の相関式に示されるPAR入口から自然に引き込まれる [redacted] を模擬している。次に，[redacted] を使用して [redacted] で模擬した体積流量，PAR入口水素濃度等のパラメータから上記の相関式で計算される水素処理量を模擬している。

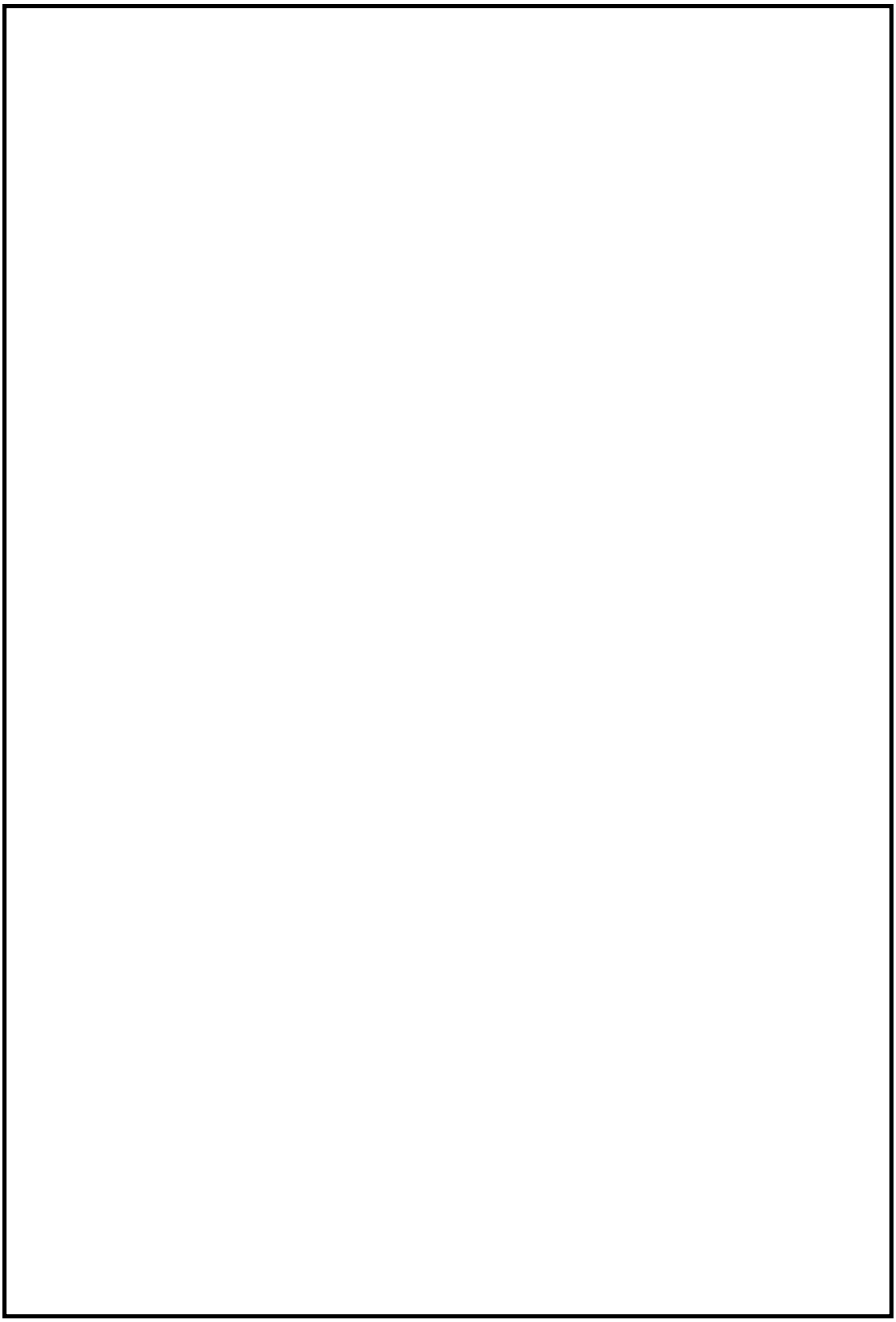


図14　PARの組み込みロジック

c. GOTHICのオペレーティングフロア解析モデルとPARモデルの関係

上記b.により，GOTHICコードにおいて，PARの水素処理容量相関式を忠実にモデル化していることを示した。また，a.により，PAR入口の水素濃度，気体圧力，気体温度を与えれば，適正な水素処理容量を計算できることを示した。

GOTHICによるPARの解析においては，オペレーティングフロア内のサブボリュームの大きさは，PARの大きさと比較して大きく，PAR入口部を局所的にモデル化はしていない。すなわち，PARの水素処理量を適正に評価するためには，PARの入口条件を適切に評価する必要がある。これについて考察を行った。

PARモデルでは，フローパスの入口と出口を同じサブボリュームに接続し，同サブボリュームの水素濃度・酸素濃度・温度をPAR入口の条件として使用している。PARが設置される実機建屋体系では，作動中のPAR排気は周囲雰囲気に比べて高温であるので，上方へ立ち昇って行き，PARの周囲に留まることはないと考えられるので，このようにPAR設置ボリュームに排気を混合させるモデル化は，以下に示すとおり保守的な設定と考える。

・水素濃度

PARで処理され水素濃度が低くなったガスが,フローパスの出口より同サブボリュームに排出され混合する。そのため，同サブボリュームの水素濃度は，実際のPAR入口の水素濃度よりも低くなり,相関式で計算した水素処理容量が小さくなるため保守的な設定と考える。

・酸素濃度

PARで処理され酸素濃度が低くなったガスが,フローパスの出口より同サブボリュームに排出され混合する。そのため，同サブボリュームの酸素濃度は，実際のPAR入口の酸素濃度よりも低くなり，PARの起動の観点で保守的な設定と考える。ただし，東海第二発電所の場合，水素発生量に比べて十分な酸素量を有しており，酸素濃度による影響はない。

・気体温度

GOTHICモデルにおいては，PARの水素・酸素再結合による発生熱量が，サブノード内の気体全体を加熱するため，PAR出口温度については，実際よりも低く評価され，浮力による上昇速度が実際よりも小さくなる。これは，オペレーティングフロアの気体の混合性を小さくする。水素濃度分布の局所化や成層化の観点からは，オペレーティングフロアの気体の混合性が促進されない方が一般に厳しい評価となると考えられる。

また，PARに流入する気体温度の観点からは，実際よりも高温な気体がPARに流入することになり，これはPARの水素処理速度を実際よりも低下させる方向に作用する。

・気体圧力

解析においては，サブノード内の気体圧力は一定である。一方，実際の流動においては，圧力に分布がある。しかしながら，解析対象としているような，解放空間における空間内の圧力差は小さく，圧力分布を均一に扱っている影響は僅少と考えられる。

d. PAR設置状態における総合的な解析能力

3.(1)に示したNUPEC試験についての解析は，上記のa.からc.が適合する状況で行われたものであり，この結果は，3.(1)で先述のように，GOTHICで適切なPAR解析を行い得ることを示している。

以上から，GOTHICコードによるPAR解析については，

・PAR内の局所性については，PAR入口条件に縮約された水素処理容量相関式により，

・PAR周囲を比較的粗メッシュで扱っていることについては，その設定がPARの水素処理量やオペレーティングフロア内のガス混合性を低く見積もる定性的傾向があることにより，

評価モデルとしては適正であることを示した。

また，総合的な評価能力については，3.(1)の実験解析により，適切な解析能力があることを示した。

以上の検討から，GOTHICにおけるPARのモデル化，及び同モデルを用いての水素・酸素再結合解析は適正に実施できる。

参考文献一覧

1 NUPEC, “Final ComPARison Reprot on ISP-35: NUPEC Hydrogen Mixing and Distoribution Test(Test M-7-1)”, CSNI Report NEA/CSNI/R(94)29, December, 1994.

[redacted]

3 独立行政法人原子力安全基盤機構，溶接部等熱影響部信頼性実証試験（原子炉格納容器）に関する報告書（平成4年度），平成5年3月

[redacted]

5 K. FISCHER, “QUALIFICATION OF A PASSIVE CATALYTIC MODULE FOR HYDROGEN MITIGATION”, Nuclear Technology VOL.112, Oct. 1995

付録29　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＧＲＩＭＰ２

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. GRIMP2の解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……6
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……7

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）GRIMP2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.2.5

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	GRIMP2
使用目的	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver.2.5
計算機コードの概要	GRIMP2は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	GRIMP2は，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・GRIMP2を用いて評価した基礎底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねがWong&Lucoの論文※の結果と良い一致を示すことを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 ※Wong H.L. and Luco J.E. : Tables of Impedance Functions and Input Motions for Rectangular Foundations, USC Report CE78-15, 1978 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，基礎底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3. GRIMP2の解析手法について

3.1 一般事項

GRIMP2は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。GRIMP2は，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

GRIMP2の主な特徴を以下に示す。

- 点加振解に基づき，基礎下の応力分布を仮定した場合の円形基礎及び矩形基礎の底面地盤ばねを求めることができる。
- 基礎分割法を用いて，点加振解及び等分布加振解に基づき，基礎下の変位分布を仮定した場合の矩形基礎の底面地盤ばねを求めることができる。

3.3 解析手法

一般に地盤上の基礎面に動的な力$Pe^{i\omega t}$を加えた場合，それに応じる変位wは以下の式で表せる。

$$w=\frac{Pe^{i\omega t}}{K_f}\{g_1(\omega)-ig_2(\omega)\} \tag{3.3-1}$$

ここで，

K_f ：静的剛性

この比例係数$g_1(\omega)-ig_2(\omega)$を田治見は振動アドミッタンスと名付けた。

ここで，基礎下の応力分布を仮定し，点加振解を基礎面について積分することで，加振力と基礎の代表変位を用いて基礎の動的地盤ばねを評価できる。

一方で，基礎下の応力分布を仮定せず変位分布を仮定する場合には，図3.3-1に示すように基礎を複数の要素に分割し，各要素の加振力と変位の関係から基礎の動的地盤ばねを評価できる。

要素iに荷重P_iを加えた時の要素jの変位をu_jとすると次のような関係が得られる。

$$\{u_j\}=[d_{ij}]\{P_i\} \tag{3.3-2}$$

ここで，$[d_{ij}]$は，地盤の柔性マトリクスで，非対角項については点加振解から算定する。また，対角項については，加振点と変位の算定点が一致することから点加振解は発散するため，要素内に一様な応力が作用したときの中心点変位を用いて算定する。

柔性マトリクス$[d_{ij}]$の逆マトリクス$[K_{ij}]$は剛性マトリクスとなるため，次のような関係が得られる。

$$\{P_i\}=[K_{ij}]\{u_j\} \tag{3.3-3}$$

各要素の変位$\{u_j\}$を仮定し，(2.2.2-3)式に代入すると各要素の反力$\{P_i\}$が得られ，反力の合計と基礎の変位を用いて基礎の動的地盤ばねを評価できる。

なお，具体的な数値計算法は吉田の論文[※1]に基づいている。

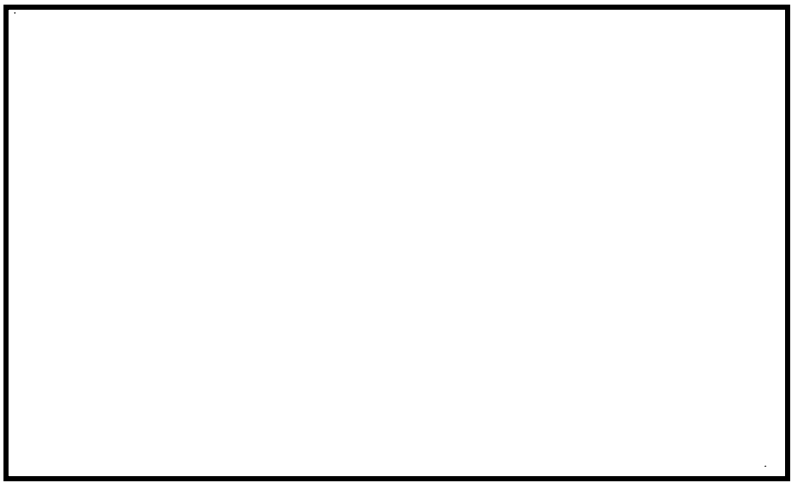


図3.3-1　基礎の分割

※1：吉田一博：半無限弾性地盤上の矩形基礎の各種の動的地盤ばねについて，日本建築学会構造系論文集，第457号，pp.19-28，1994

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図 3.4-1 に示す。

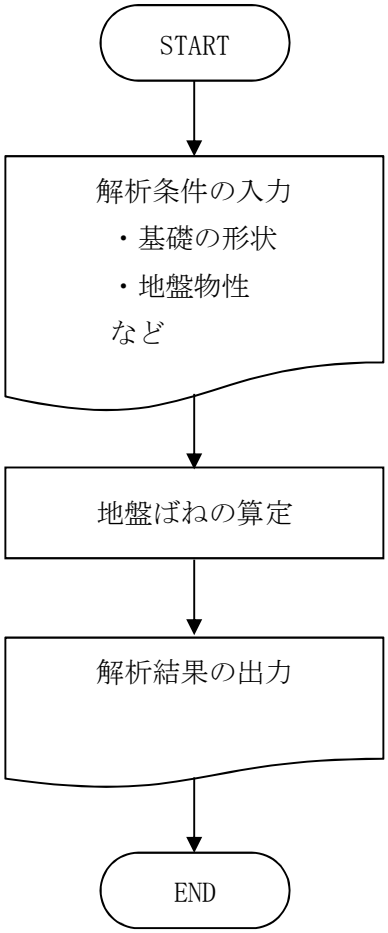


図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

a.　文献との比較による検証

以下に示す条件について地盤ばねを評価し，Wong&Lucoの論文※2との比較を行う。

・地盤のポアソン比は0.45，材料減衰定数は0.00とする。

・基礎は剛とし，分割数は20×20とする。

地盤ばねの比較結果を図3.5-1に示す。

図より，GRIMP2の結果はWong&Lucoの論文による結果と良い一致を示しており，GRIMP2が底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねを正しく評価していることが確認できる。

(a)　水平ばね　　(b)　回転ばね

(c)　鉛直ばね

図3.5-1　解析結果の比較

b.　使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析における底面地盤ばねの算定にGRIMP2を使用することは,次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

付録30　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＶＫ４６３

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. NVK463の解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……5
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……6

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）NVK463について説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.1.0

2.　解析コードの概要

項目＼コード名	NVK463
使用目的	水平方向の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1985年
使用したバージョン	Ver.1.0
計算機コードの概要	NVK463は，Novakの論文※に基づき，水平，上下，回転及びねじれに対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	NVK463は，原子炉建屋の水平方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの建屋埋込み部分の側面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・NVK463を用いて評価した建屋側面地盤の水平ばねがNovakの論文の結果とよく一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，建屋側面地盤の水平ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3.　NVK463の解析手法について

3.1　一般事項

NVK463は，Novakの論文※に基づき，水平，上下，回転及びねじれに対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。NVK463は，原子炉建屋の水平方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの建屋埋込み部分の側面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2　解析コードの特徴

NVK463の主な特徴を以下に示す。

・平面ひずみを仮定した全無限地盤にある円形基礎の側面地盤ばねを算定できる。

・円形基礎は剛体として扱う。

3.3　解析手法

円形基礎の側面と接する地盤に対する水平，上下，回転及びねじれ加振した場合の力－変形関係から建屋の側面地盤ばねを算定する方法である。

今回評価対象とした建屋側面地盤の水平ばねは，0次と1次の変形ベッセル関数を用いて，以下の式で評価される。

$$K_u^j = -\pi H_j G_j a_0^{\,2} \frac{4K_1(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*)}{b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* a_0^* K_0(b_0^*)K_0(a_0^*)} \qquad (3.3\text{-}1)$$

ここで，

π　　：円周率

H_j　　：建物質点 j の支配高さ

G_j　　：建物質点 j の支配高さにおける地下部外壁に接する地盤のせん断弾性係数

$a_0 = \omega r_0 / V_s$ （等価円置換の無次元振動数）

$r_0 = \sqrt{B_x B_y / \pi}$ （等価円半径）

ω　　：円振動数

V_s　　：地下部外壁に接する地盤のS波速度

B_x，B_y　　：建物の辺長

$K_0(\ )$，$K_1(\ )$　　：それぞれ0次と1次の変形ベッセル関数

$a_0^* = \dfrac{a_0}{\sqrt{1 + i \cdot 2h_j}} \cdot i$，　$b_0^* = a_0^* / \eta_j$，　$\eta_j = \sqrt{2(1-\nu_j)/(1-2\nu_j)}$

h_j，ν_j　　：地下部外壁に接する地盤のそれぞれ減衰定数とポアソン比

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

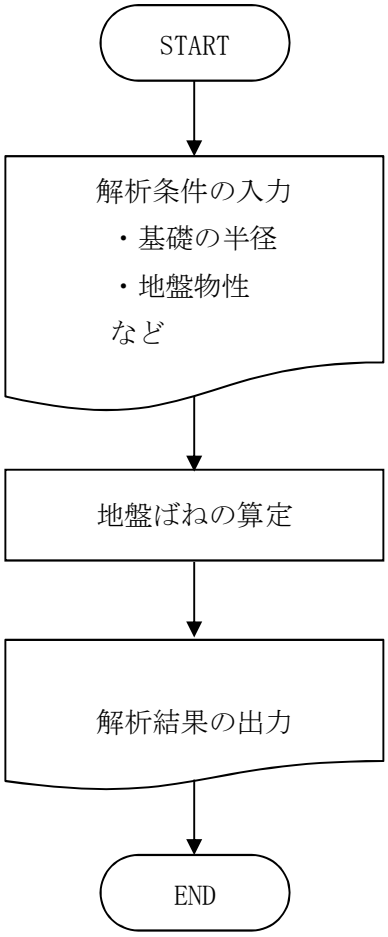


図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

a.　文献との比較による検証

Novakの論文に記載されている水平ばねの評価結果を再現し，Novakの論文に記載されている結果との比較を行う。

NVK463での解析条件は以下とする。

・地盤のポアソン比は0.25，0.40，0.499の3ケースとする。

・地盤の材料減衰定数は0.00，0.05，0.10の3ケースとする。

水平ばねの比較結果を図3.5-1に示す。

図より，NVK463の結果はNovakの論文による結果と良い一致を示しており，NVK463が建屋側面地盤の水平ばねを正しく評価していることが確認できる。

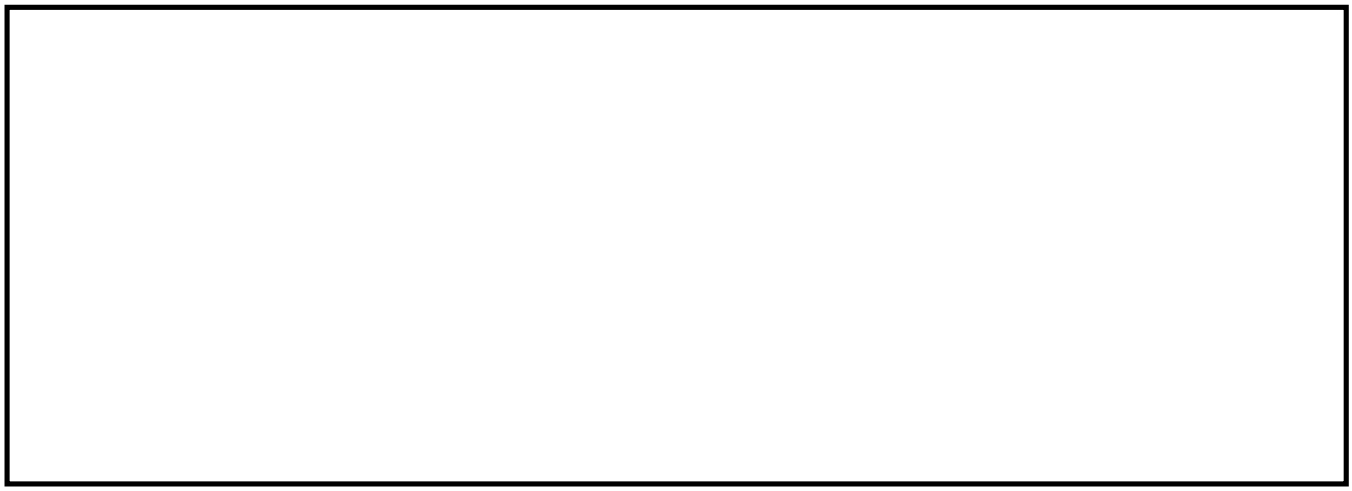


図3.5-1　解析結果の比較（水平ばね）

b.　使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤ばねの算定にNVK463を使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，側面地盤の水平ばねの算定について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

付録31　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＫＳＨＡＫＥ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. KSHAKEの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……6
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……7

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）KSHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.2

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	KSHAKE
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver.2
計算機コードの概要	KSHAKEは，米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発したプログラムで，一次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数及び時刻歴応答波形を計算するプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	KSHAKEは，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓ$_s$及び弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・KSHAKEを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致することを確認している。 ・既工事計画において実績のある別コード（microSHAKE）による解析結果と一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，地盤の応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3.　KSHAKEの解析手法について

3.1　一般事項

KSHAKEは，米国カリフォルニア大学バークレイ校でSchnabelとLysmerらにより開発されたSHAKEを基本に開発したプログラムである。KSHAKEは，水平方向に半無限に広がりのある，均質，粘弾性のいくつかの層からなる土層でのせん断波の縦方向伝播に対する応答計算を行う。

3.2　解析コードの特徴

KSHAKEの主な特徴を以下に示す。

・一次元重複反射理論に基づき，多層地盤の地震応答解析を行う。

・地盤の非線形性は，ひずみ依存特性として等価線形法により考慮する。

・鉛直動については，Ｓ波速度V_sをＰ波速度V_pとして定義することで対応できる。

3.3　解析手法

図3.3-1に示す線形粘弾性体を通過するせん断波の伝播は，水平変位u=u(x,t)による以下の式で表される。

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=G\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\eta\frac{\partial^3 u}{\partial x^2\cdot\partial t} \tag{3.3-1}$$

ここで，

ρ　：単位体積質量

G　：せん断弾性係数

η　：粘性係数

振動数ω に対し，調和振動は次のように表せる。

$$u(x,t)=U(x)\cdot e^{i\omega t} \tag{3.3-2}$$

(3.3-2)式は，振動数ω の調和振動に対する波動方程式の解として与えられる。

$$u(x,t)=E\cdot e^{i(kx+\omega t)}+F\cdot e^{-i(kx+\omega t)} \tag{3.3-3}$$

ここで，右辺第1項は上昇波，第2項は下降波を示している。また，kは複素波数と呼ばれ，下式を満足するものである。

$$k^2=\frac{\rho\ \omega^2}{G+i\omega\ \eta}=\frac{\rho\ \omega^2}{G^*} \tag{3.3-4}$$

ここで，任意のm層と(m+1)層の変位とせん断応力の連続性を考え，さらに自由面では$\tau=0$ の境界条件を導入して，次のような関係が得られる。

$$E_m=e_m(\omega)E_1 \tag{3.3-5}$$

$$F_m=f_m(\omega)F_1 \tag{3.3-6}$$

伝達関数e_m及びf_mは，E_1=F_1=1に対する倍率であり，E_1=F_1=1を上式に代入することで求まる。

他の伝達関数は，e_m及びf_mから得られる。n層及びm層表面での変位を関係付ける伝達関数$A_{n,m}$を次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega)=\frac{u_m}{u_n}=\frac{e_m(\omega)+f_m(\omega)}{e_n(\omega)+f_n(\omega)} \tag{3.3-7}$$

これらの式より，伝達関数A(ω)は，系のいかなる2つの層の間においても定めることができる。

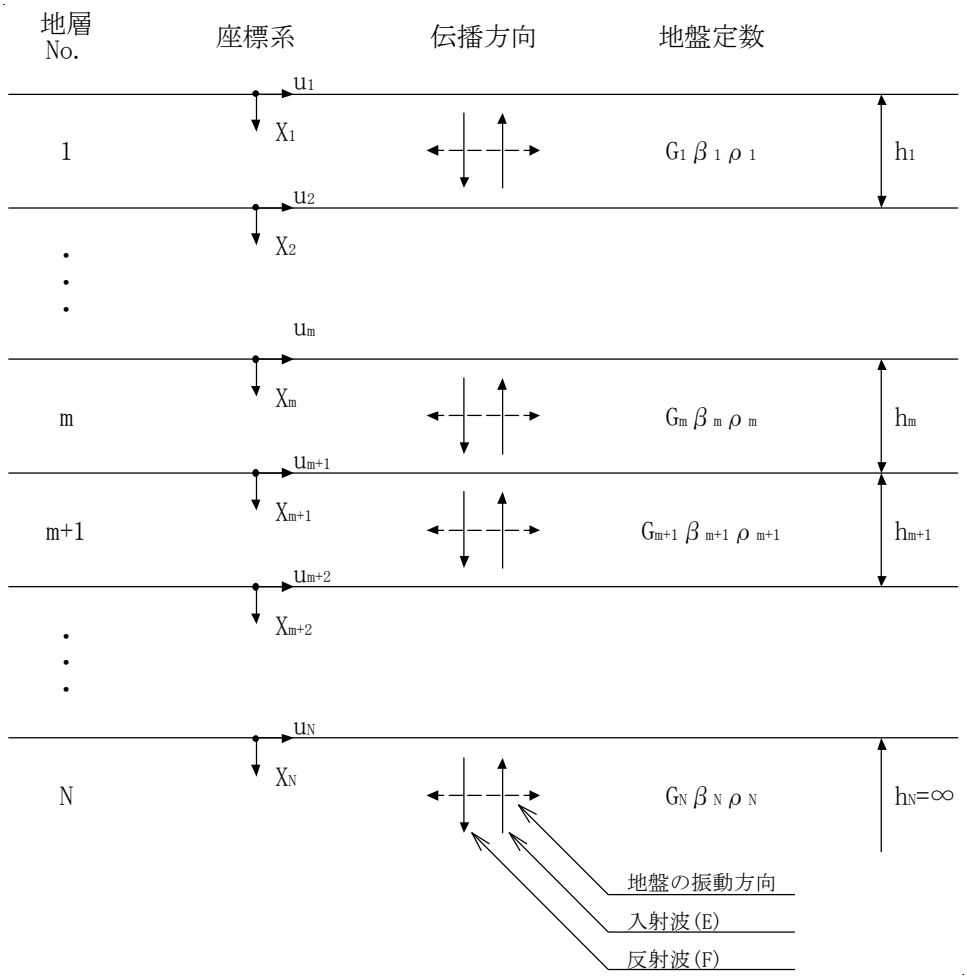


図3.3-1　1次元地盤モデル

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

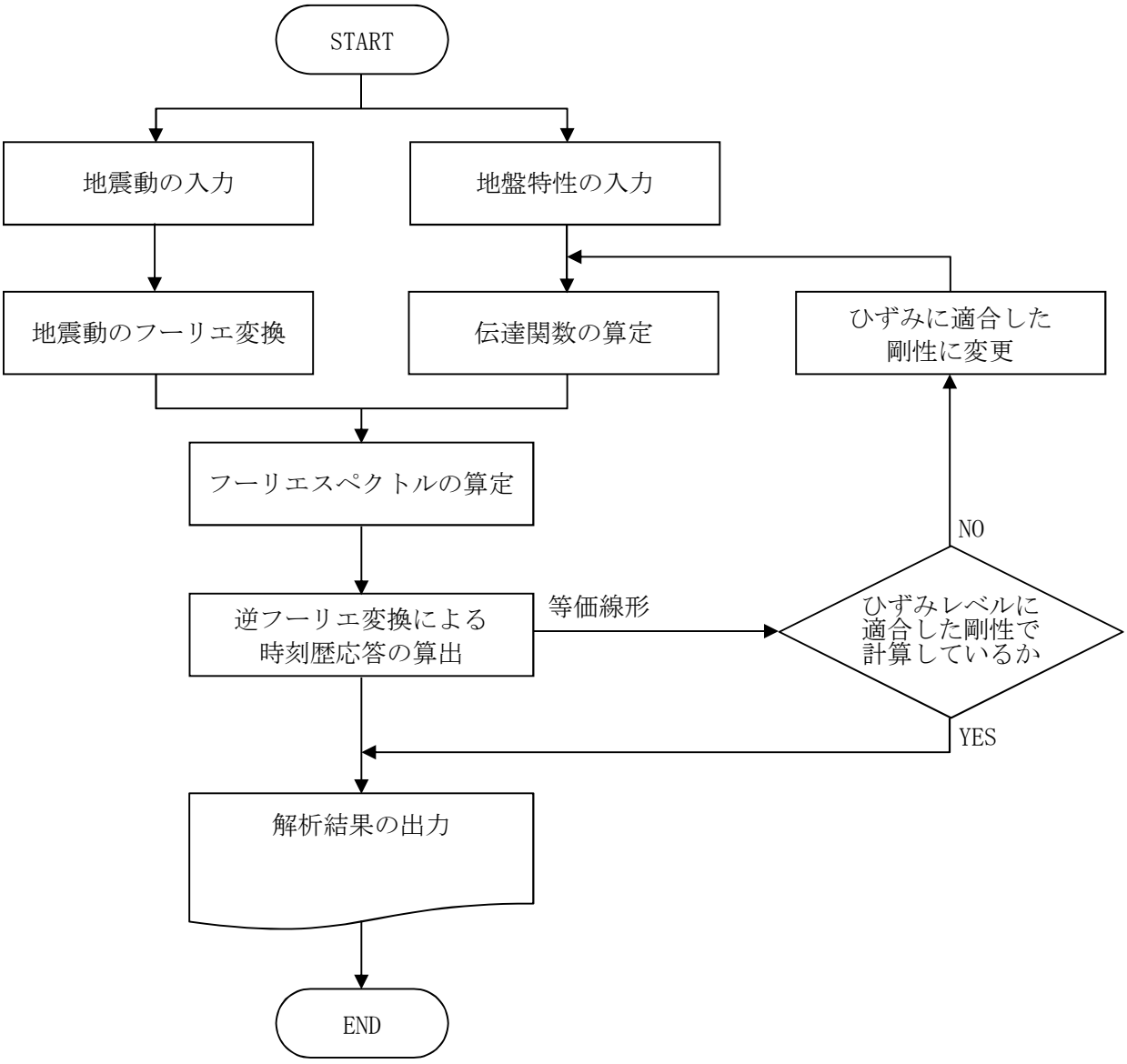


図3.4-1　解析フローチャート

NT2 補① 付録31 R0

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

a.　理論解との比較による検証

2層地盤モデルについて，一次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行う。比較は第2層上面のはぎとり波($2E_2$)に対する地表面波(E_1+F_1)の伝達関数とし，理論解は以下の式で表される。

$$\frac{e_1(\omega)+f_1(\omega)}{2e_2(\omega)}=\frac{1}{\cosh(ikh)+\alpha\sinh(ikh)} \qquad (3.5\text{-}1)$$

ただし，

$$k=\sqrt{\frac{\rho_1}{G_1^*}}\,\omega$$

$$\alpha=\sqrt{\frac{\rho_1 G_1^*}{\rho_2 G_2^*}}$$

$$G_1^*=\rho_1 Vs_1^{\,2}(1-2\beta_1^{\,2}+2i\,\beta_1\sqrt{1-\beta_1})$$

$$G_2^*=\rho_2 Vs_2^{\,2}(1-2\beta_2^{\,2}+2i\,\beta_2\sqrt{1-\beta_2})$$

ここで，

ρ_1，　ρ_2	：第1層，第2層の単位体積質量
Vs_1，Vs_2	：第1層，第2層のせん断波速度
h	：第1層の層厚
β_1，　β_2	：第1層，第2層の減衰定数

検討地盤モデルを図3.5-1に，伝達関数の比較結果を図3.5-2に示す。

図より，KSHAKEの結果は理論解と一致しており，KSHAKEが伝達関数を正しく評価していることが確認できる。

図3.5-1　検討地盤モデル

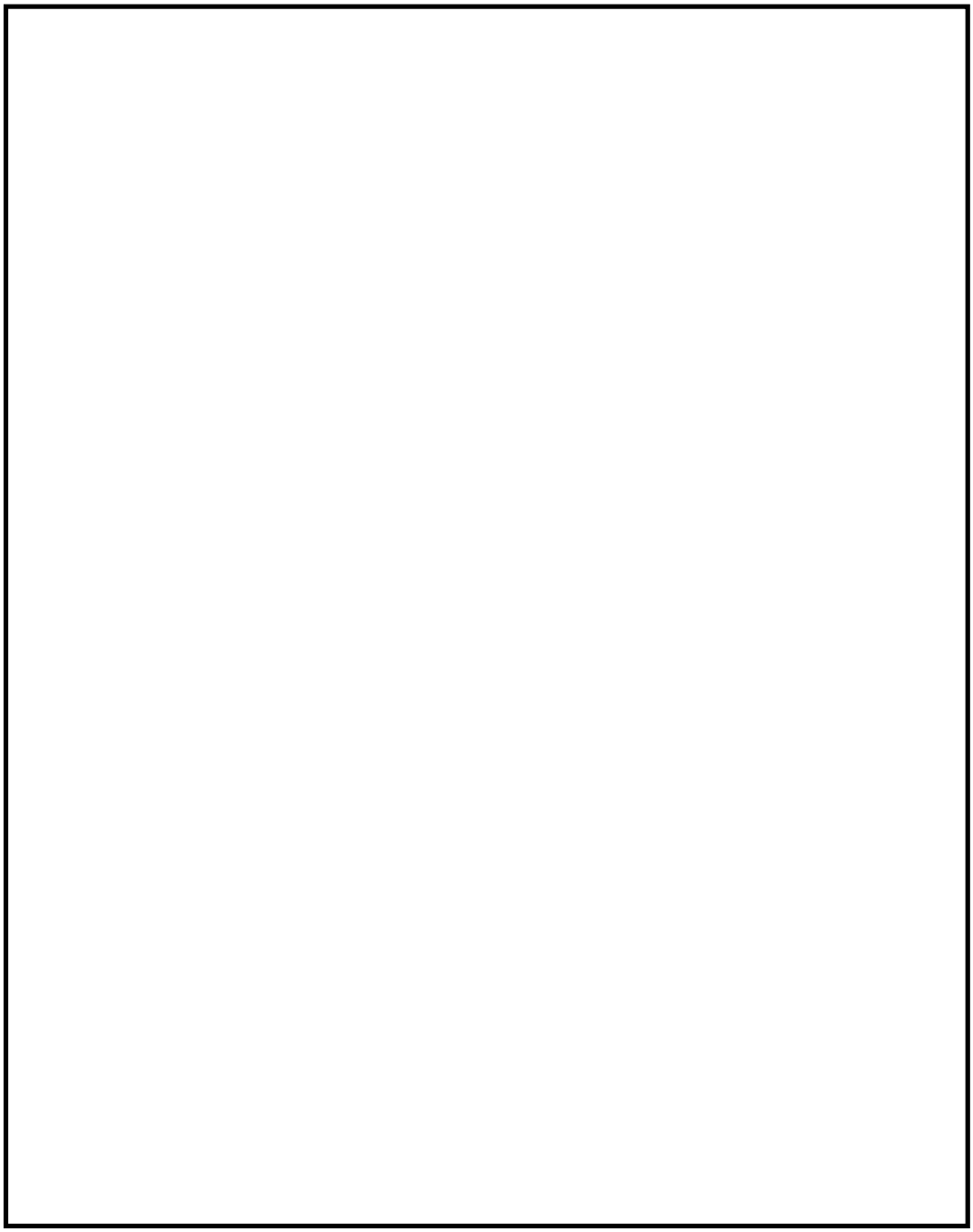


図3.5-2　理論解との伝達関数の比較

b.　他コードとの比較による検証

最下層を半無限体とした3層地盤モデルについて,市販されている1次元地盤の等価線形解析プログラム「microSHAKE/3D ver.2.3.0.327」（株式会社地震工学研究所）との比較を行う。なお，「microSHAKE ver.3.1.0」は，川内原子力発電所第1号機の工事計画で実積があり，比較には異なるバージョンを使用するが,バージョンの差異により今回使用する解析機能に影響が生じていないことを確認している。

検討地盤モデルを表3.5-1に，ひずみ依存特性を図3.5-3に，検討に用いる入力地震動(2E波)を図3.5-4に，解析結果の比較を図3.5-5に示す。

図より，KSHAKEの結果はmicroSHAKEによる結果と一致していることが確認できる。

表3.5-1　検討地盤モデル

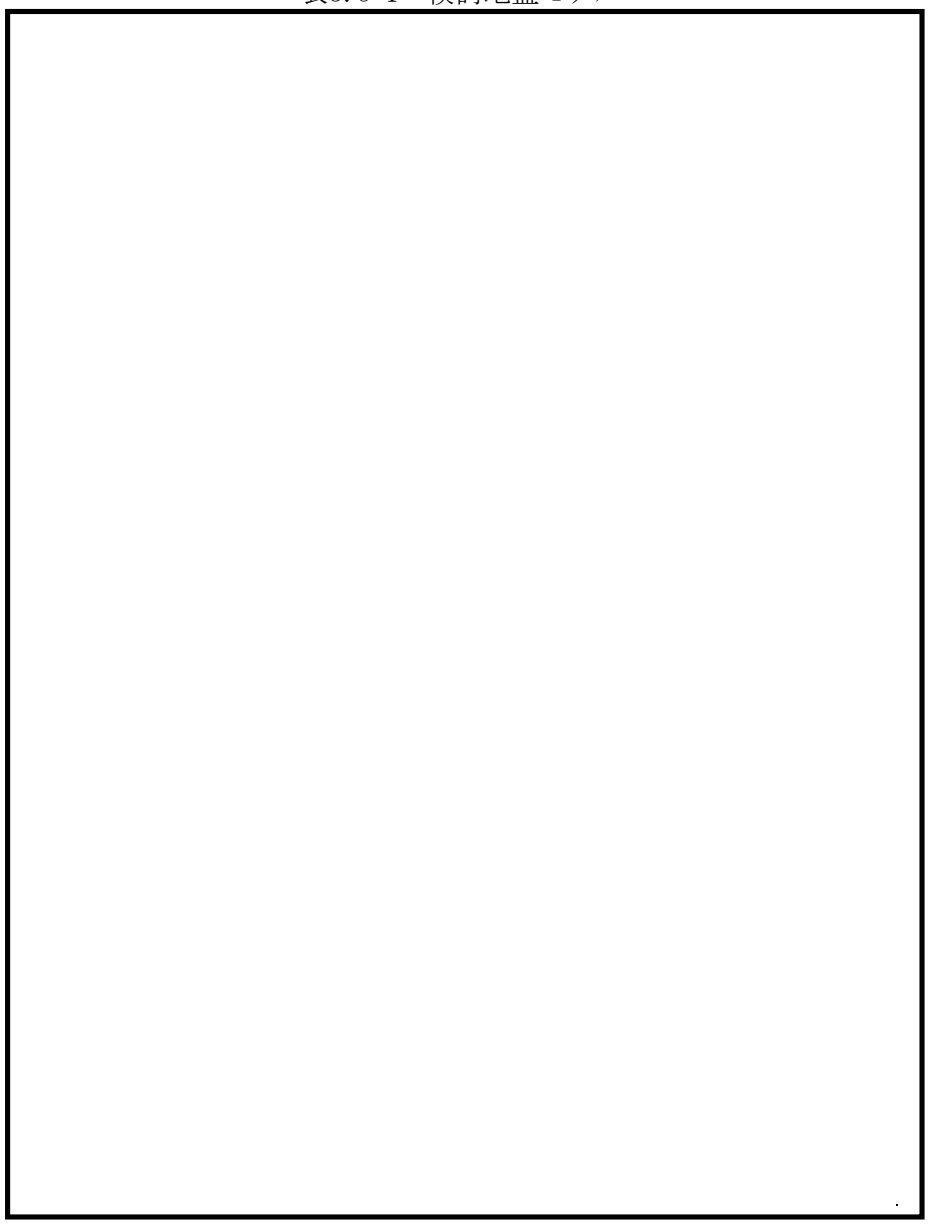


図3.5-3 (1/2)　ひずみ依存特性（第1層）

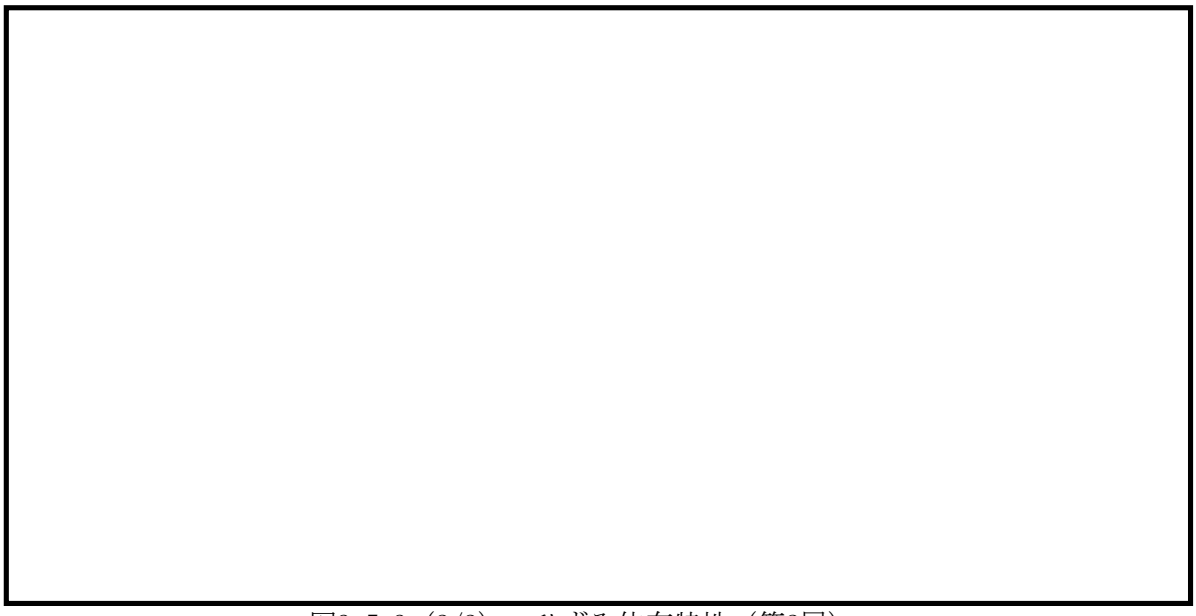


図3.5-3 (2/2)　ひずみ依存特性（第2層）

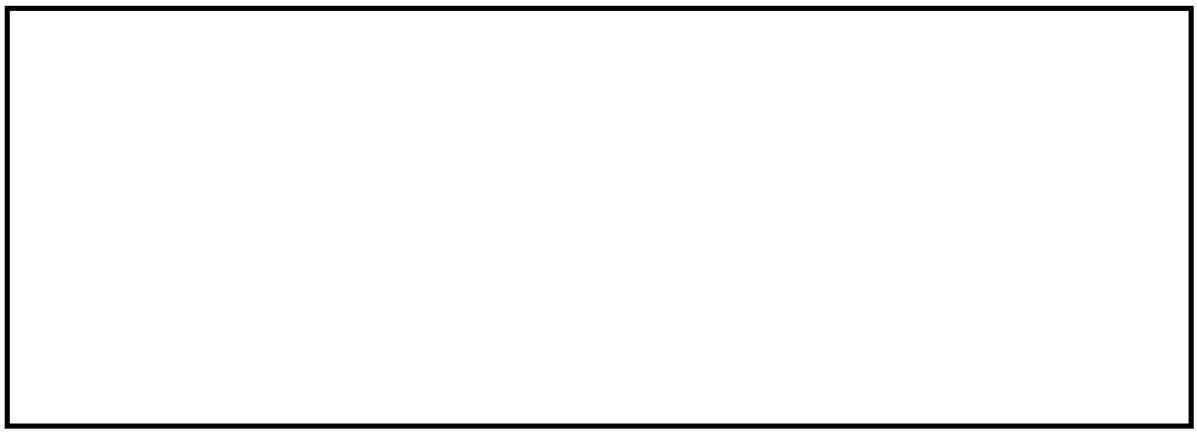
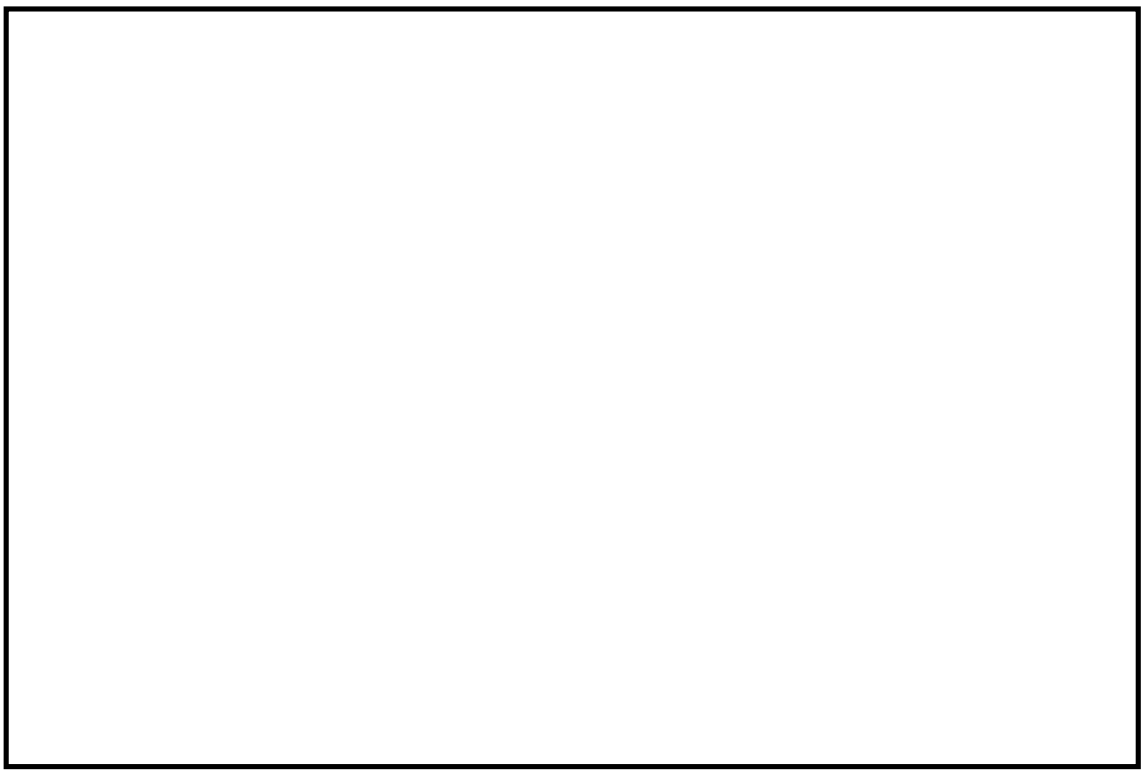


図3.5-4　入力地震動(2E波)



(a)　加速度　　(b)　有効せん断ひずみ

図3.5-5（1/2）　解析結果の比較（最大応答分布）

図3.5-5（2/2）　解析結果の比較（地表面加速度応答スペクトル）

c. 使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析における入力地震動の策定にKSHAKEを使用することは,次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，地盤の応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
・評価地盤を水平成層と仮定していることから，一次元重複反射理論の適用範囲である。

付録32　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＤＡＣ３Ｎ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. DAC3Nの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……6
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……7

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）DAC3Nについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	V97

2.　解析コードの概要

項目＼コード名	DAC3N
使用目的	固有値解析及び弾塑性応答解析
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1997年
使用したバージョン	V97
計算機コードの概要	DAC3Nは，ばね要素やはり要素などでモデル化された建屋地盤連成系モデルの固有値解析及び地震応答解析を行うプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	DAC3Nは，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向について，基準地震動Ｓ$_s$及び弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する建屋の応答を評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・既工事計画において実績のある別コード（TDAPⅢ）による解析結果と一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3. DAC3Nの解析手法について

3.1 一般事項

DAC3Nは，清水建設株式会社が開発したプログラムであり，時間領域における構造解析用計算機コードである。DAC3Nは，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの応答を評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

DAC3Nの主な特徴を以下に示す。

・ばね要素やはり要素などでモデル化した，多質点系の応答解析を行う。
・質量は，集中質量として評価する。
・要素に非線形特性を設定し，非線形解析を行うことができる。
・ひずみエネルギ比例型及びレーリー減衰型の減衰を用いることができる。
・固有値解析は，サブスペース法による。
・応答解析は，時間領域の直接積分法による。

3.3 解析手法

a. 固有値解析

多自由度系の運動方程式は以下の式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\}+[C]\{\dot{u}\}+[K]\{u\}=\{f\} \quad (3.3\text{-}1)$$

ここで，

[M] ：質量マトリクス
[C] ：減衰マトリクス
[K] ：剛性マトリクス
{ü} ：加速度ベクトル
{u̇} ：速度ベクトル
{u} ：変位ベクトル
{f} ：外力ベクトル

(3.3-1)式の荷重ベクトルを{0}とし，減衰項を除いた自由振動を表す方程式は以下の式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\}+[K]\{u\}=\{0\} \quad (3.3\text{-}2)$$

(3.3-2)式の変位{u}に調和振動を仮定すると次のような関係が得られる。

$$(-\omega_r^2[M]+[K])\{u_r\}=\{0\} \quad (3.3\text{-}3)$$

一般に，$\{u_r\}=\{0\}$ 以外の(2.4.2-3)式を満足する ω_r 及び $\{u_r\}$ を求めることを固有値問題と呼び， ω_r を固有値， $\{u_r\}$ を固有ベクトルという。

b.　ひずみエネルギ比例型減衰

建屋の減衰は,各次の振動モードにおける部材のひずみエネルギに比例するものとして以下の式から設定する。

$$h_i = \frac{\sum_k h_0^j \, E_i^j}{\sum_k E_i^j} \tag{3.3-4}$$

ただし,

$$E_i^j = \frac{1}{2}\{\phi_i^j\}^T [k^j] \{\phi_i^j\}$$

ここで,

h_0^j　　：j部材の減衰定数

$[k^j]$　　：j部材の剛性マトリクス

$\{\phi_i^j\}$　　：i次の振動モードにおけるj部材の材端変位ベクトル

c.　直接積分法

直接積分法はニューマークのβ法を用いる。nステップの変位$\{u_n\}$，速度$\{\dot{u}_n\}$及び加速度$\{\ddot{u}_n\}$が既知の場合，次の(n+1)ステップの変位及び速度はβ及びγをパラメータとして，以下の式で表される。

$$\{\dot{u}_{(n+1)}\} = \{\dot{u}_n\} + (1-\gamma)\{\ddot{u}_n\} + \gamma\{\ddot{u}_{(n+1)}\} \tag{3.3-5}$$

$$\{u_{(n+1)}\} = \{u_n\} + \Delta t\{\dot{u}_n\} + \frac{\Delta t^2}{2}\{\ddot{u}_n\} + \beta\,\Delta t^2(\{\ddot{u}_{(n+1)}\} - \{\ddot{u}_n\}) \tag{3.3-6}$$

(3.3-5)式及び(3.3-6)式を(3.3-1)式に代入し，$\{\dot{u}_{(n+1)}\}$及び$\{\ddot{u}_{(n+1)}\}$を消去すると，変位増分に対する次のような関係が得られる。

$$[\bar{K}](\{u_{(n+1)}\} - \{u_n\}) = \{\bar{f}\} \tag{3.3-7}$$

ただし,

$$[\bar{K}] = [K] + \frac{1}{\beta\,\Delta t^2}[M] + \frac{\gamma}{\beta\,\Delta t}[C]$$

$$[\bar{f}] = \{f_{(n+1)}\} - \{f_n\} + [M]\left(\frac{1}{\beta\,\Delta t}\{\dot{u}_n\} + \frac{1}{2\beta}\{\ddot{u}_n\}\right) + [C]\left\{\frac{\gamma}{\beta}\{\dot{u}_n\} + \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right)\Delta t\{\ddot{u}_n\}\right\}$$

(3.3-7)式から，(n+1)ステップの変位が得られ，速度及び加速度を得ることができる。

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

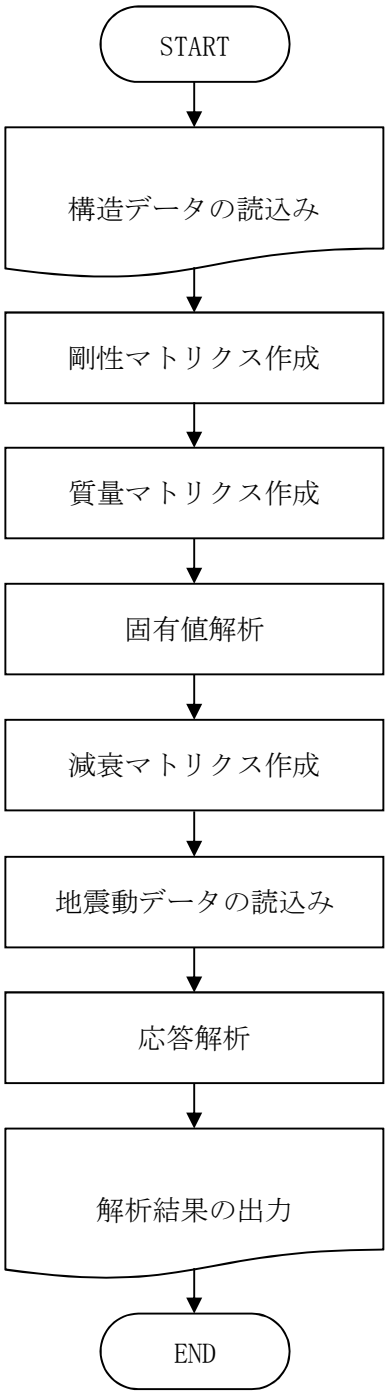


図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

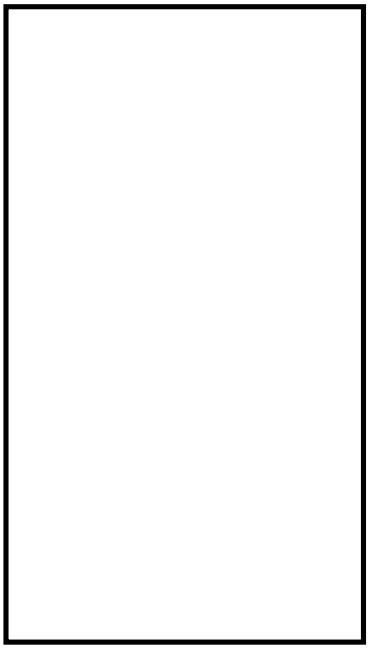
a.　他コードとの比較による検証

例題に対して，市販されている汎用構造解析プログラム「TDAPⅢ Ver.3.09」（大成建設株式会社／株式会社アーク情報システム）との比較を行う。なお，「TDAPⅢ Ver.3.09」は，既工事計画で使用実績がある。

解析モデルの諸元を表3.5-1～表3.5-4に，検討に用いる入力地震動を図3.5-1に，解析結果の比較を図3.5-2に示す。

図より，DAC3Nの結果はTDAPⅢによる結果と良い一致を示していることが確認できる。

表3.5-1　解析モデル諸元



EL. (m)	重量 W (kN)	回転慣性重量 Ig ($\times 10^6$kN･m^2)	せん断断面積 As (m^2)	断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ I (m^4)
40.0	150,000	3.0		
			100	20,000
30.0	200,000	4.0		
			150	30,000
20.0	250,000	5.0		
			200	40,000
10.0	300,000	6.0		
			250	50,000
0.0	400,000	8.0		

表3.5-2　材料定数

ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
22,100	9,210	5

表3.5-3 (1/2)　復元力特性（$\tau-\gamma$ 関係）

要素番号	τ_1 (N/mm^2)	τ_2 (N/mm^2)	τ_3 (N/mm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
1	1.79	2.42	5.46	0.194	0.582	4.0
2	1.96	2.65	5.75	0.213	0.639	4.0
3	2.08	2.81	6.09	0.226	0.678	4.0
4	2.18	2.94	6.50	0.237	0.711	4.0

表3.5-3 (2/2)　復元力特性（M－ϕ 関係）

要素番号	M_1 ($\times10^6$kN･m)	M_2 ($\times10^6$kN･m)	M_3 ($\times10^6$kN･m)	ϕ_1 ($\times10^{-6}$1/m)	ϕ_2 ($\times10^{-6}$1/m)	ϕ_3 ($\times10^{-6}$1/m)
1	2.29	5.74	9.40	5.18	46.0	415
2	4.06	10.8	17.0	6.12	48.0	350
3	6.11	16.9	26.1	6.91	49.4	312
4	8.46	24.0	36.6	7.66	50.7	286

表3.5-4　地盤のばね定数と減衰係数

ばね番号	質点番号	地盤ばね成　分	ばね定数 K_C	減衰係数 C_C
K1	5	底面・並進	4.0×10^7　kN/m	1.0×10^6　kN･s/m
K2	5	底面・回転	3.0×10^{10}　kN･m/rad	3.0×10^8　kN･m･s/rad

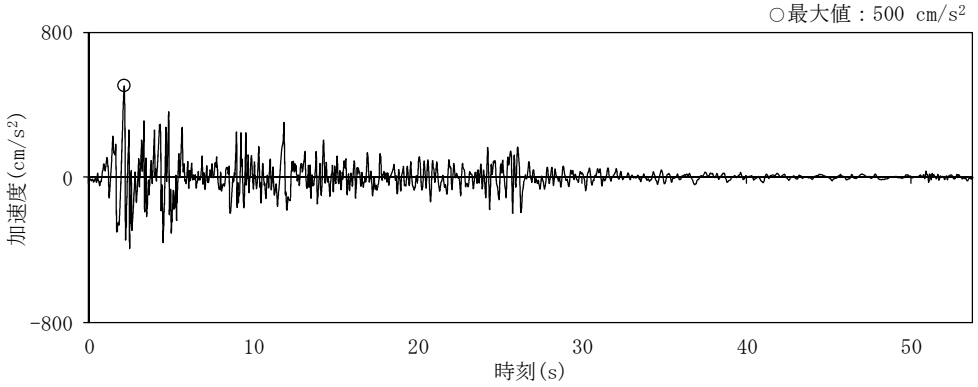
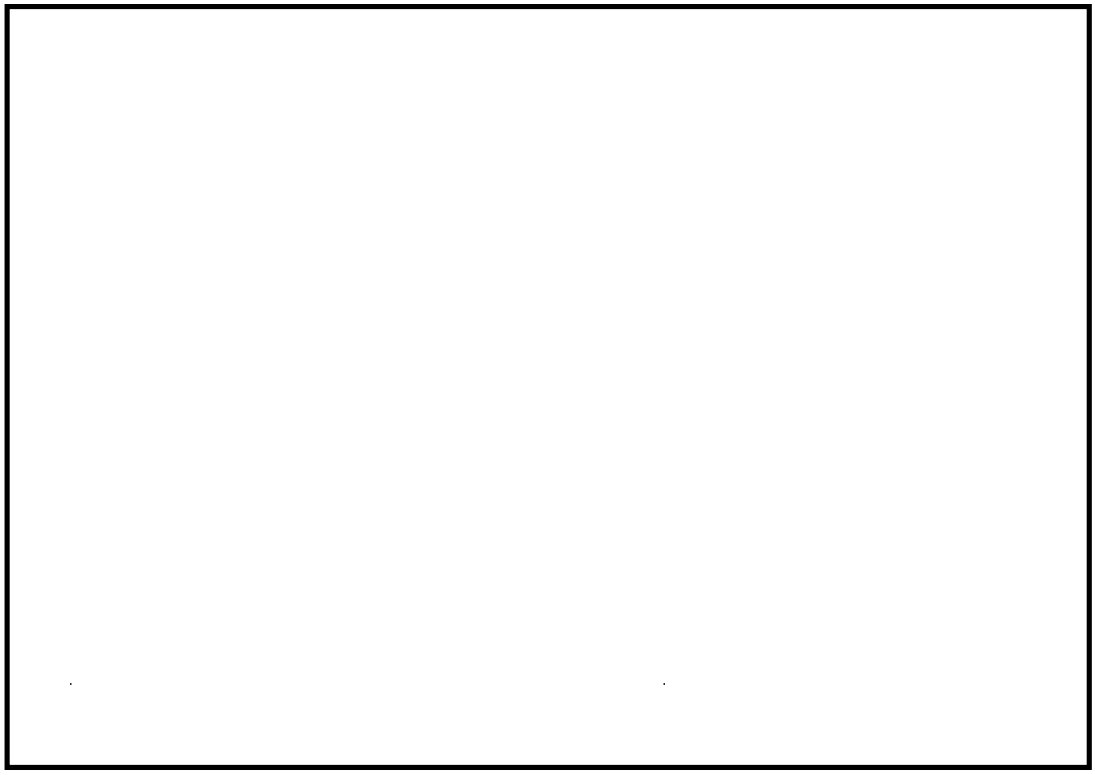


図3.5-1　入力地震動



(a) 加速度　　(b) せん断ひずみ

図3.5-2　解析結果の比較（最大応答分布）

b. 使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析にDAC3Nを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

付録33　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＰＲＩＮＴ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. SPRINTの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……5
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……6

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）SPRINTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-4	使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書	1997/7版

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	SPRINT
使用目的	杭基礎の有効入力動及び地盤ばねの算定
開発機関	株式会社大林組
開発時期	1988年
使用したバージョン	1997/7版
計算機コードの概要	SPRINTは，薄層要素法により，杭による拘束効果を考慮した有効入力動の計算並びに杭基礎の水平，上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	SPRINTは，使用済燃料乾式貯蔵建屋の有効入力動の計算並びに水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・SPRINTを用いて評価した有効入力動及び地盤インピーダンスが論文及び他解析コードの結果と良い一致を示すことを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，有効入力動，基礎底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3.　SPRINTの解析手法について

3.1　一般事項

SPRINTは，薄層要素法により，杭による拘束効果を考慮した有効入力動の計算並びに杭基礎の水平,上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。SPRINTは，薄層要素法により，杭基礎の伝達関数（有効基礎入力動）及び地盤ばねの評価に使用している。

3.2　解析コードの特徴

サブストラクチャー法による地盤・構造物動的相互作用解析コードSPRINTは，以下に示す特徴を有している。

・薄層要素法を用いているため，成層地盤を取り扱うことが可能である。
・薄層要素法を用いているため，水平方向の無限性が解析的に考慮されている。
・精度の高いダッシュポット(Paraxial境界要素)を用いて，鉛直方向の半無限性を考慮している。
・基礎の埋込みを考慮できる。
・群杭の効果を考慮できる。
・実体波の斜め入射を考慮できる。
・対称条件を用いて計算速度を向上させている。

3.3　解析手法

3次元薄層要素法を用いている。

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

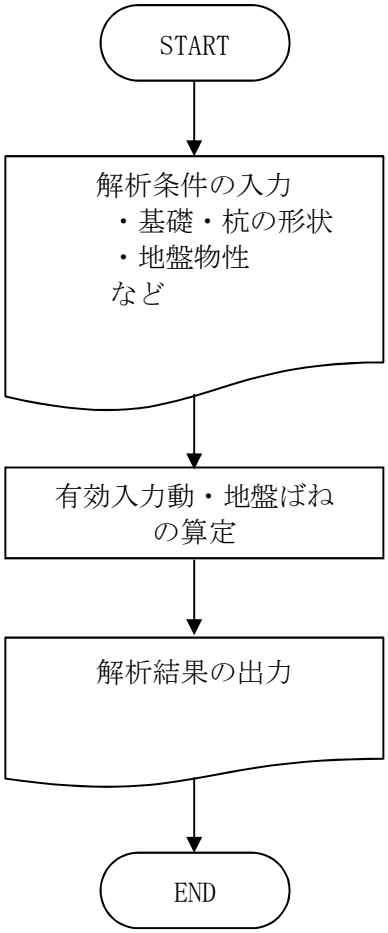


図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

a.　文献，他解析コードとの比較による検証

既往の文献において,SPRINTとKayniaの手法との比較や上下方向点加振解の比較を実施した。また，社内別途解析コード「ABLE（動的有限要素法解析コード）」との比較を実施した。比較結果を図3.5-1～図3.5-3に示す。

有効入力動は，SPRINTとKayniaによる手法を比較した結果※1※2※5，両者は，定性的及び定量的によく一致している。

上下方向点加振解はHalpens等と，円形基礎のグランドコンプライアンスは庄等の結果と比較※3※6※7し，よく一致している。

また，SPRINTと軸対象FEM解析コードABLEの結果も良好に一致している※4。

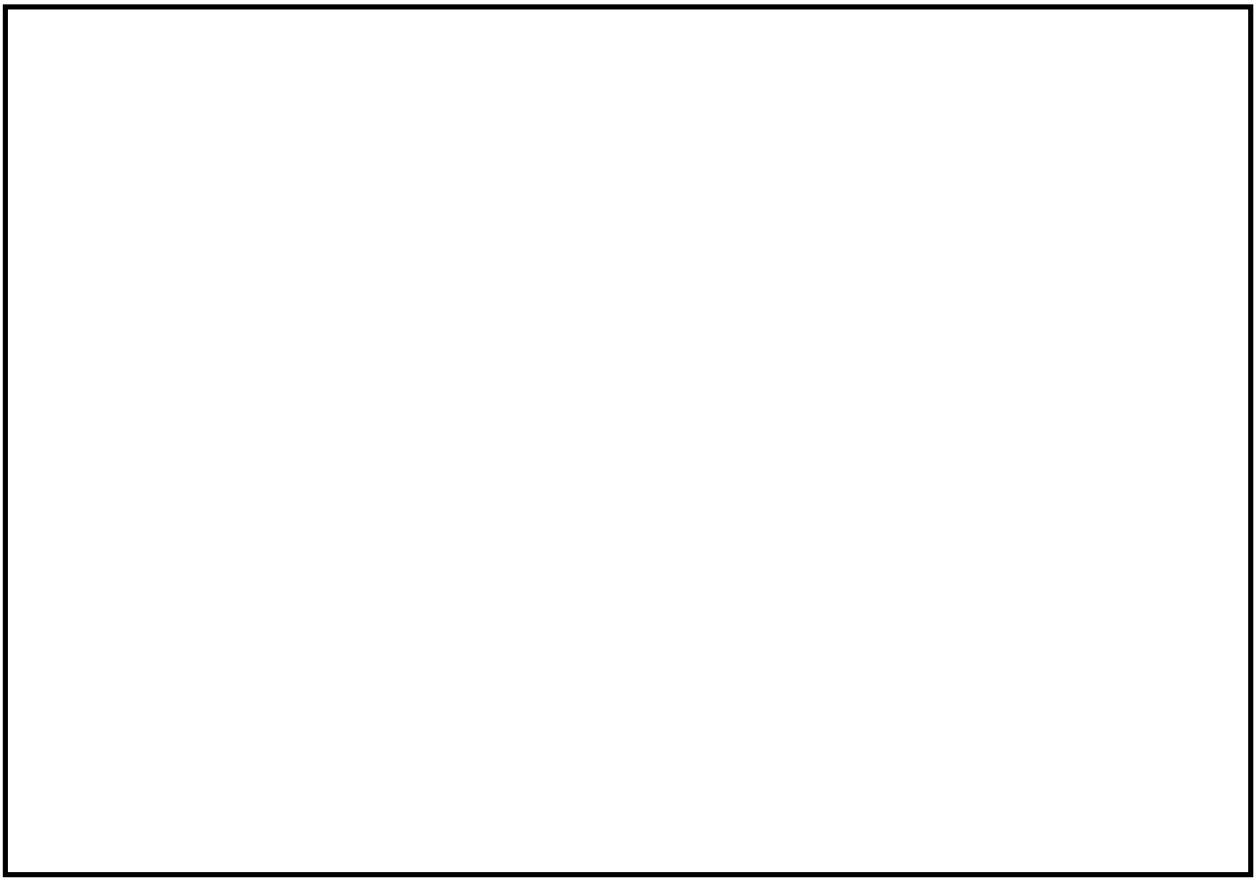


図3.5-1　有効入力動の比較※1※2※5

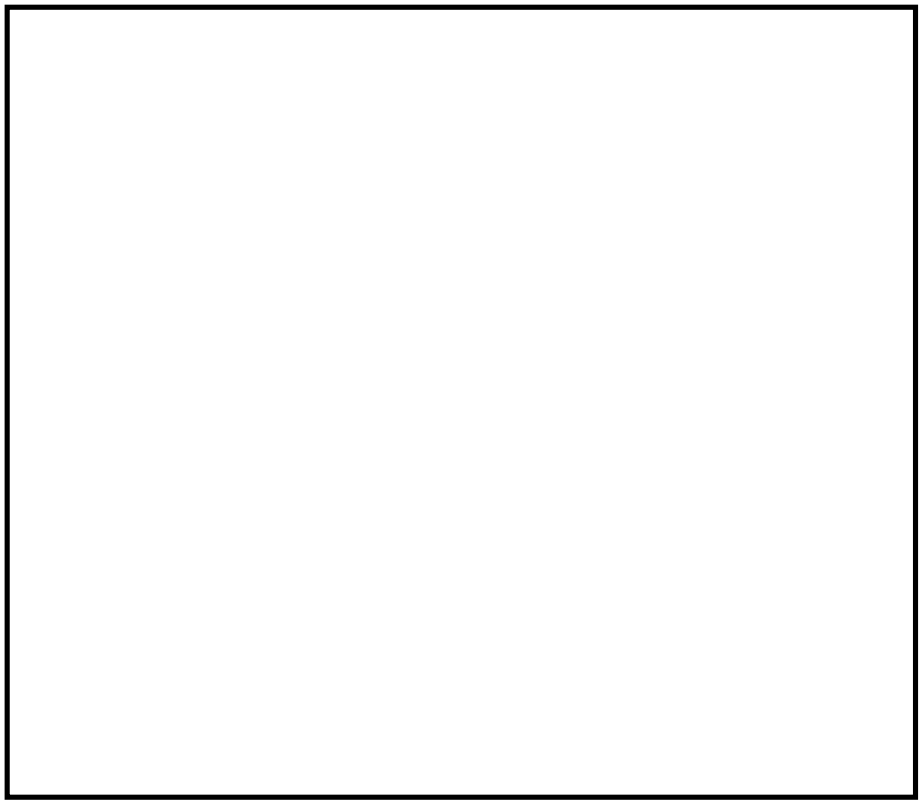


図 3.5-2　地盤ばねの比較※3※6※7

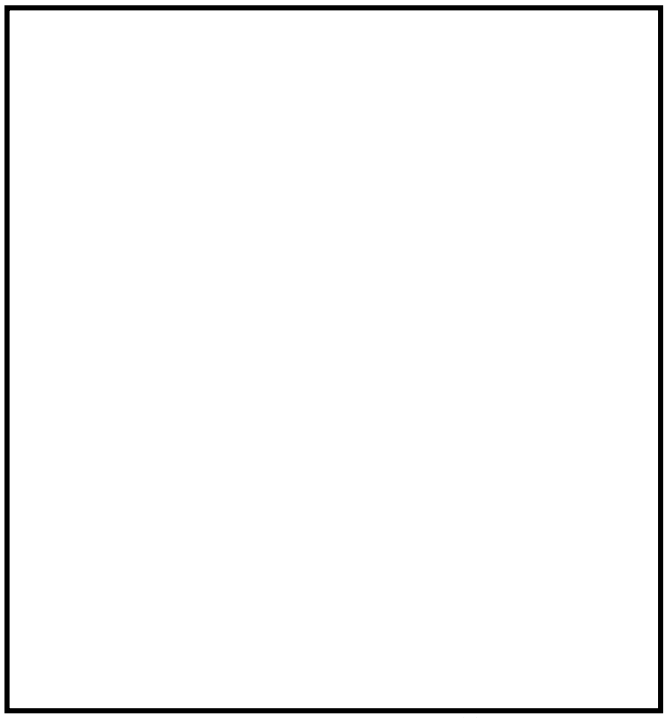
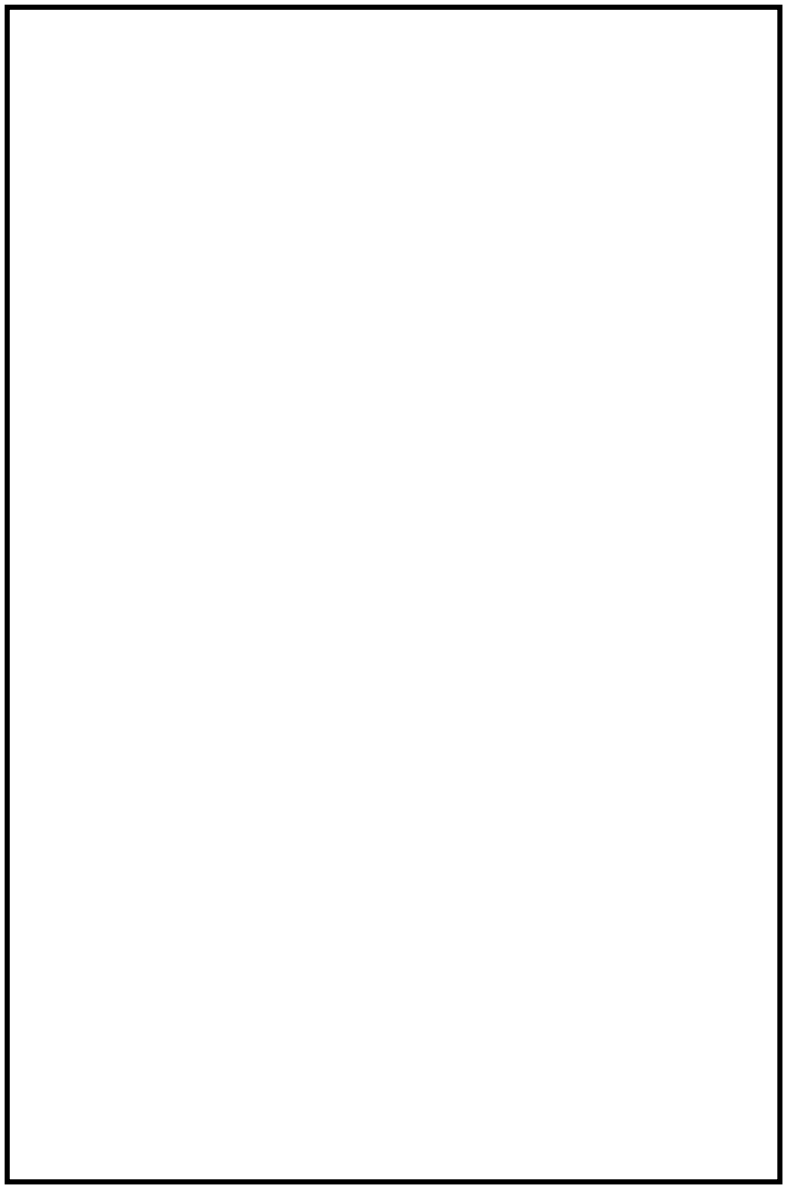


図 3.5-3　FEM との比較※4



b.　他解析コードとの比較による検証

SPRINTより算出した地盤ばね及び地盤減衰と,既工事計画で実績のある地盤ばね算定コードVAにより算出した地盤ばね及び地盤減衰の比較検証を行う。

VAは質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねを振動アドミッタンス理論により求める計算機コードである。振動アドミッタンス理論を用いているVAでは地盤を伝播する波動問題を水平方向・深さ方向ともに連続体の半無限地盤として波動方程式を満足する解を求めている。

薄層要素法を用いているSPRINTでは水平方向には連続体として,深さ方向には有限要素法的な離散化手法を組み合わせている。

薄層法と振動アドミッタンスを用いて，1層の一様な半無限地盤上にある40m×80mの剛基礎モデルの地盤インピーダンスを算出し，変位一様分布の加振条件により算出した縮合ばね値（地盤ばね及び地盤減衰）を比較する。なお，振動アドミッタンスの変位評価位置は要素中心である。

解析条件を表3.5-1に，解析モデル概念図を図3.5-4に，地盤インピーダンスを図3.5-5～図3.5-9に示す。

SPRINTとVAの結果は良好に一致している。

表3.5-1　解析条件

項目		値
基礎幅（m）	X方向	80
	Y方向	40
分割数（個）	X方向	10
	Y方向	5
せん断波速度Vs（m/s）		1400
粗密波速度Vp（m/s）		2914
ポアソン比		0.35
単位体積重量（kN/m^3）		20.0

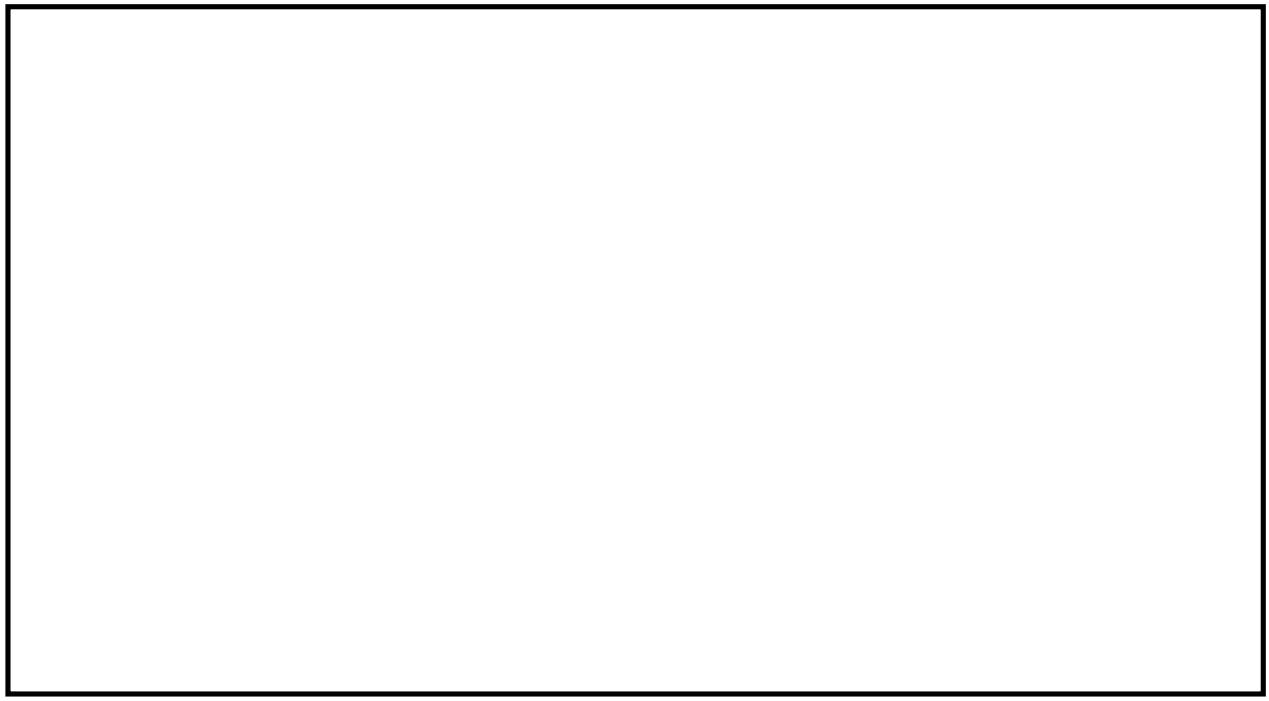


図3.5-4　SPRINT解析モデル概念図

表3.5-2　地盤インピーダンスの一覧

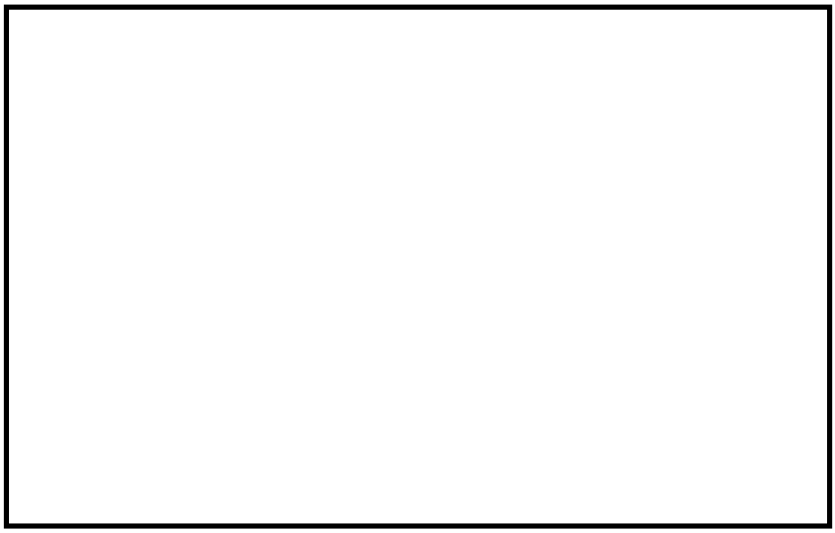


図3.5-5　X方向の地盤インピーダンス

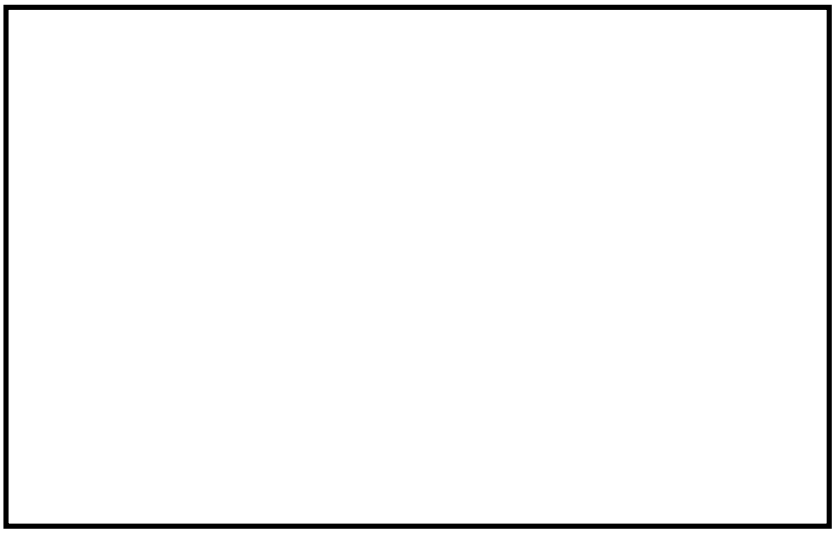


図3.5-6　Y方向の地盤インピーダンス

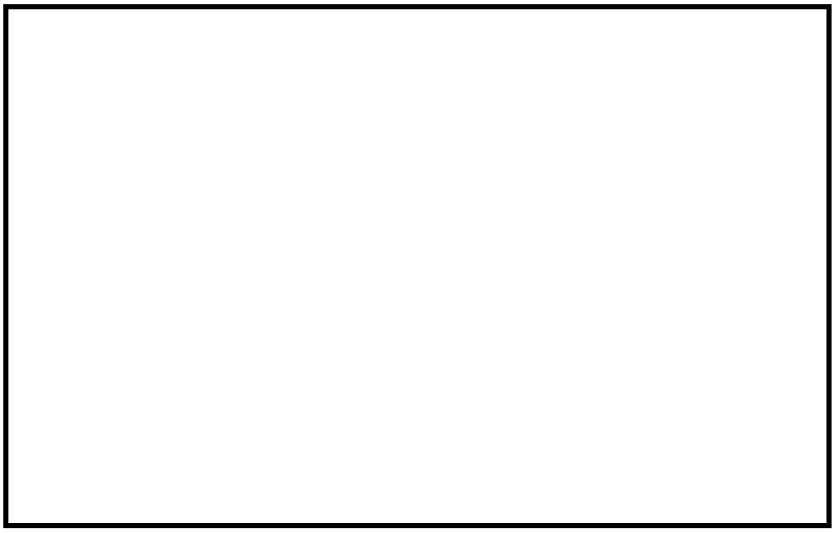


図3.5-7　Z方向の地盤インピーダンス

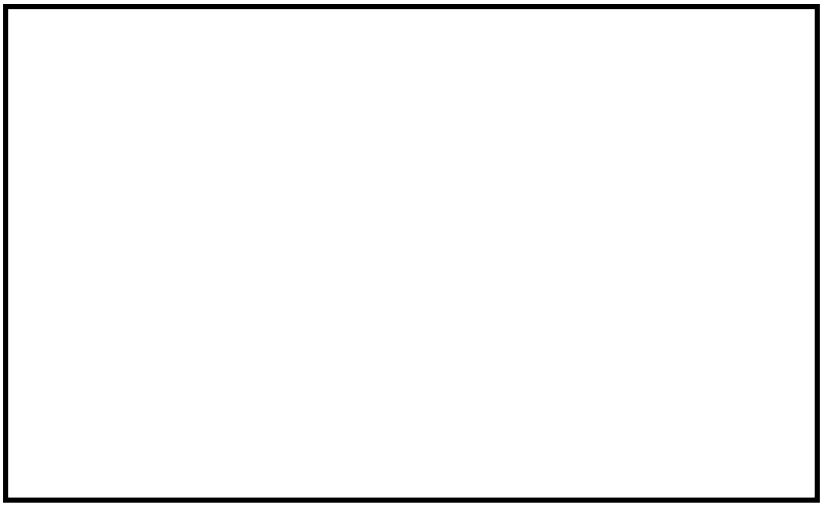


図3.5-8　Rx方向の地盤インピーダンス

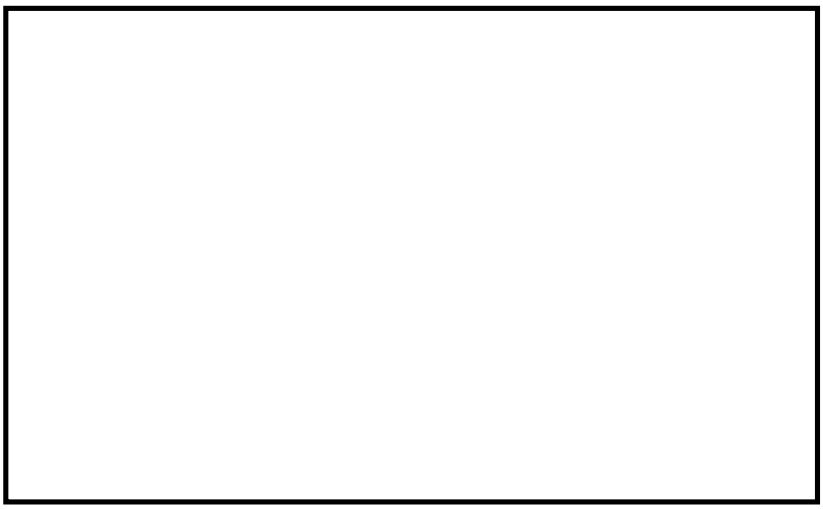


図3.5-9　Ry方向の地盤インピーダンス

c.　使用内容に対する妥当性

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析における有効入力動及び底面地盤ばねの算定にSPRINTを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，有効入力動，底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねについて検証していることから,解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

付録34　計算機プログラム（解析コード）の概要・ｍｉｃｒｏＳＨＡＫＥ／３Ｄ

目次

1.　はじめに……1
1.1　使用状況一覧……2
2.　解析コードの概要……3
3.　microSHAKEの解析手法について……4
3.1　一般事項……4
3.2　解析コードの特徴……4
3.3　解析手法……5
3.4　解析フローチャート……7
3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……8

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）microSHAKE/3Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-4	使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver.2.2

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	microSHAKE/3D
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver.2.2
計算機コードの概要	microSHAKE/3Dは,米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発したプログラムで,一次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴応答波形を計算するプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	microSHAKE/3Dは，使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓ$_s$及び弾性設計用地震動Ｓ$_d$に対する自由地盤の応答を評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・既工事計画において実績のある別コード（SHAKESI）による解析結果と一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容のとおり，地盤の応答解析について検証していることから,解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3. microSHAKEの解析手法について

3.1 一般事項

microSHAKE/3Dは,米国カリフォルニア大学バークレイ校でSchnabelとLysmerらにより開発されたSHAKEを基本に開発したプログラムである。microSHAKE/3Dは，水平方向に半無限に広がりのある，均質，粘弾性のいくつかの層からなる土層でのせん断波の縦方向伝播に対する応答計算を行う。

3.2 解析コードの特徴

microSHAKE/3Dの主な特徴を以下に示す。

・一次元重複反射理論に基づき，多層地盤の地震応答解析を行う。

・地盤の非線形性は，ひずみ依存特性として等価線形法により考慮する。

・鉛直動については，S波速度VsをP波速度Vpとして定義することで対応できる。

3.3　解析手法

以下に示す一次元重複反射理論に基づく周波数応答解析による。各層は，均質，等方性であり，厚さh，単位体積重量ρ，せん断弾性係数G 及び減衰定数βで定義されるものとする。

図3.3-1で示される系を通過するせん断波の伝播は，水平変位u= u(x, t)のみによる以下の式で表される。

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=G\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\eta\frac{\partial^3 u}{\partial x^2\partial t}$$

振動数ωに対し，調和変位は，次の様に表せる。

$$u(x,t)=U(x)\cdot e^{i\omega t}$$

上式は，振動数ωの調和振動に対する波動方程式の解として与えられる。

$$u(x,t)=E\cdot e^{i(\kappa x+\omega t)}+F\cdot e^{-i(\kappa x-\omega t)}$$

$$\kappa^2=\frac{\rho\omega^2}{G+i\omega\eta}=\frac{\rho\omega^2}{G^*}$$

第1項は，Xのマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し，第2項はXのプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。

ここで，任意のm層と(m+1)層の変位とせん断応力との連続性を考え，更に自由面ではτ=0の境界条件を導入して次の様な関係を導き出す。

$$E_m=e_m(\omega)E_1$$

$$F_m=f_m(\omega)F_1$$

伝達関数e_m及びf_mは，単に，$E_1=F_1=1$に対する倍率であり，$E_1=F_1=1$を上式に代入すれば決まるものである。

他の伝達関数は，e_m，f_mから簡単に得られる。n層及びm層表面での変位を関係づける伝達関数$A_{n,m}$を次の様に，定義する。

$$A_{n,m}(\omega)=u_m/u_m$$

$$A_{n,m}(\omega)=\frac{e_m(\omega)+f_m(\omega)}{e_n(\omega)+f_n(\omega)}$$

これらの式より，伝達関数A(ω)は，系のいかなる2つの層の間においても定められる。

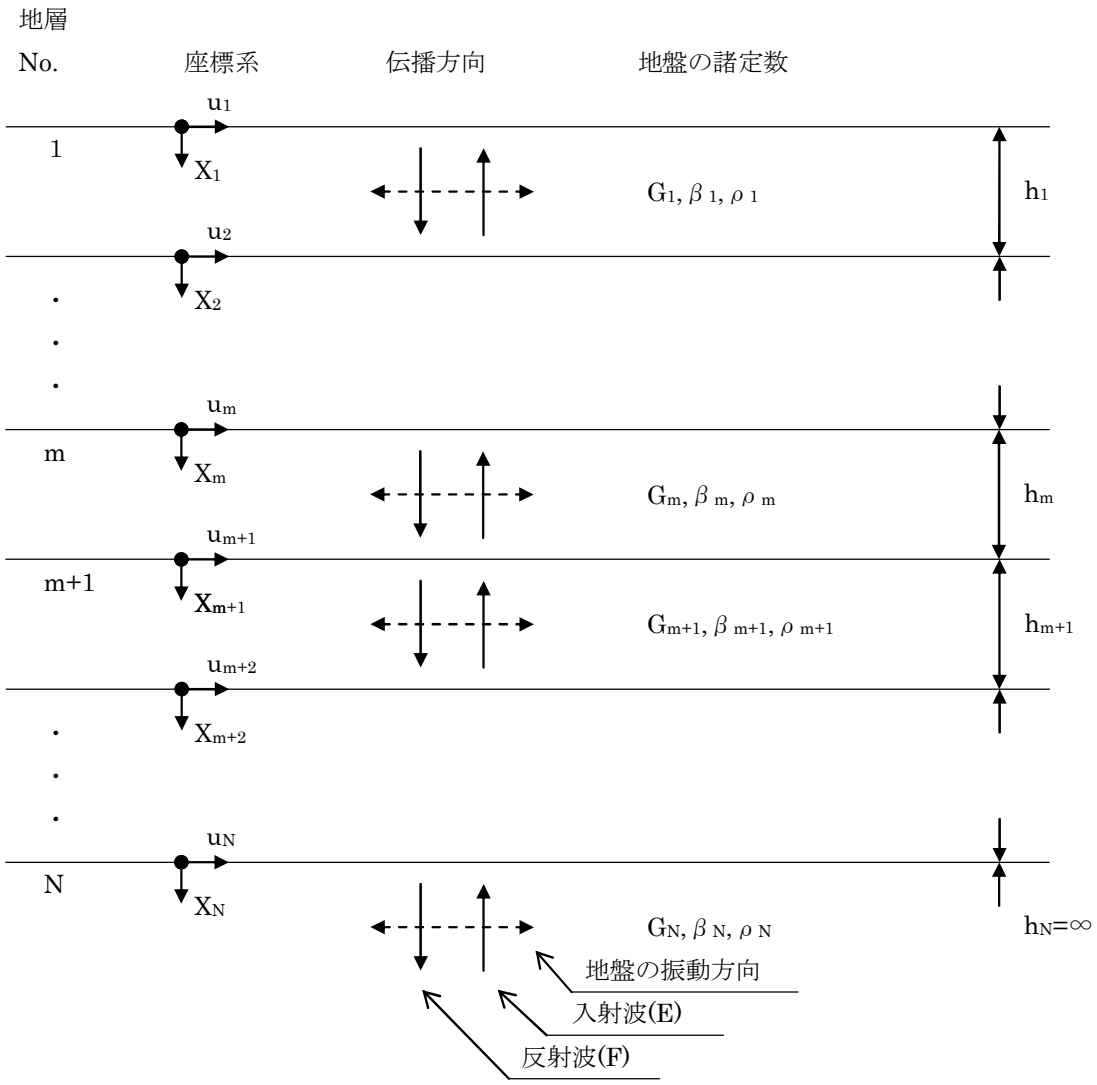


図3. 3-1　1次元地盤モデル

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

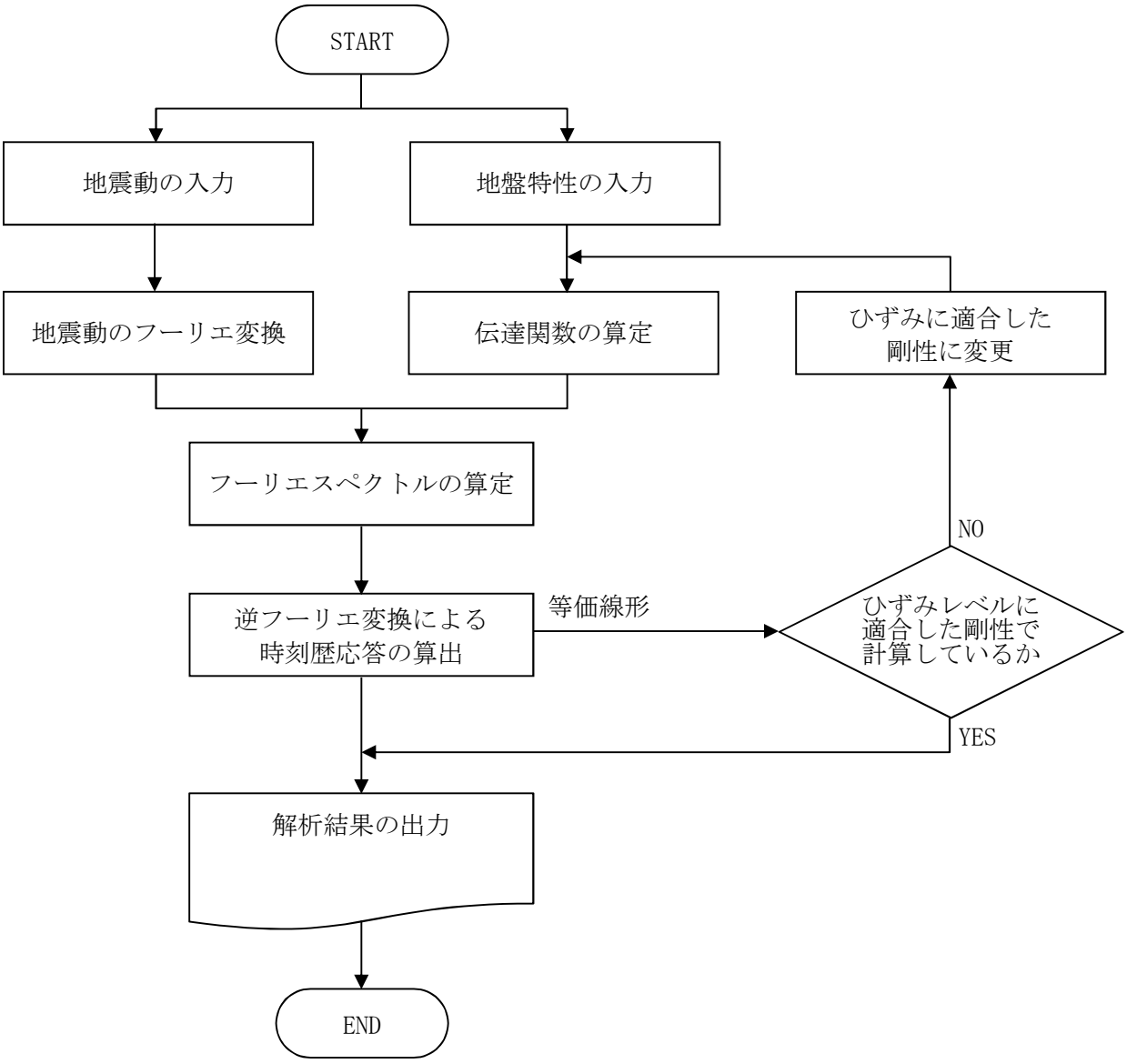


図3.4-1　解析フローチャート

NT2 補① 付録34 R0

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

大林組が保有し,既工事計画にて実績のある一次元波動解析コードSHAKESIの解析結果と比較,検討することで，microSHAKE/3Dの妥当性検証を実施する。

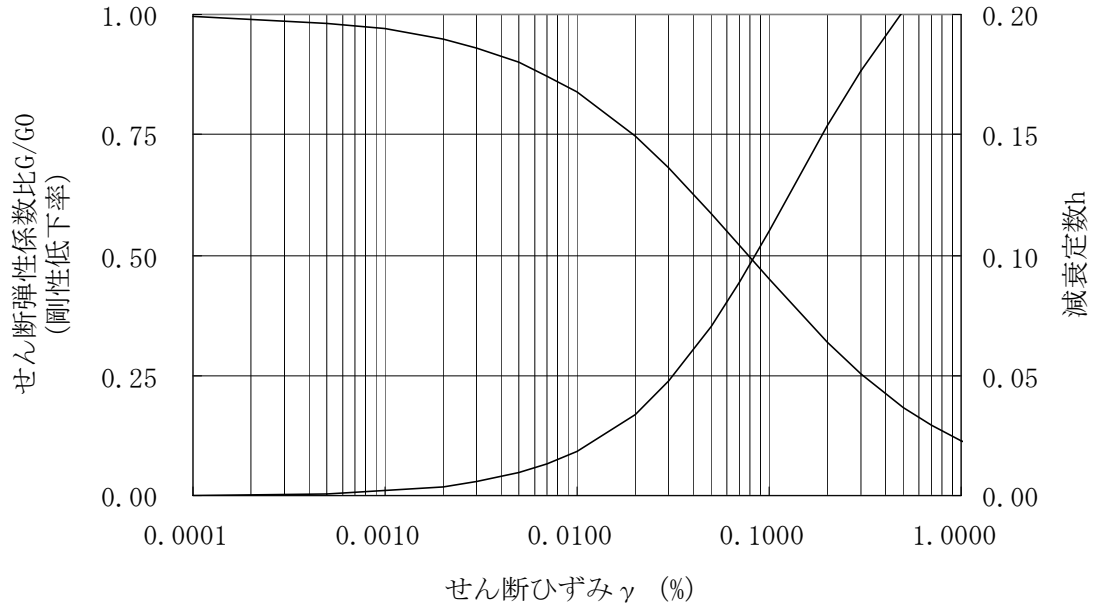
検証解析に使用する地盤物性値を表3.5-1に，非線形特性を図3.5-1に示す。なお，等価線形解析を実施する際は，最大繰返し計算回数を20 回，繰返し計算における許容誤差を5 %，有効歪と最大歪の比を0.65とする。検証解析に使用する地震波を図3.5-2に示す。地震波は，解放基盤面に2E波として入力する。入力地震波は継続時間81.91 s，時間刻みは0.01 sである。最大応答分布を図3.5-3に，各層の最大応答加速度分布を表3.5-2に，最大応答変位分布を表3.5-3に示す。

比較結果から，microSHAKE/3DとSHAKESIの応答差は1%以下となることが確認できた。

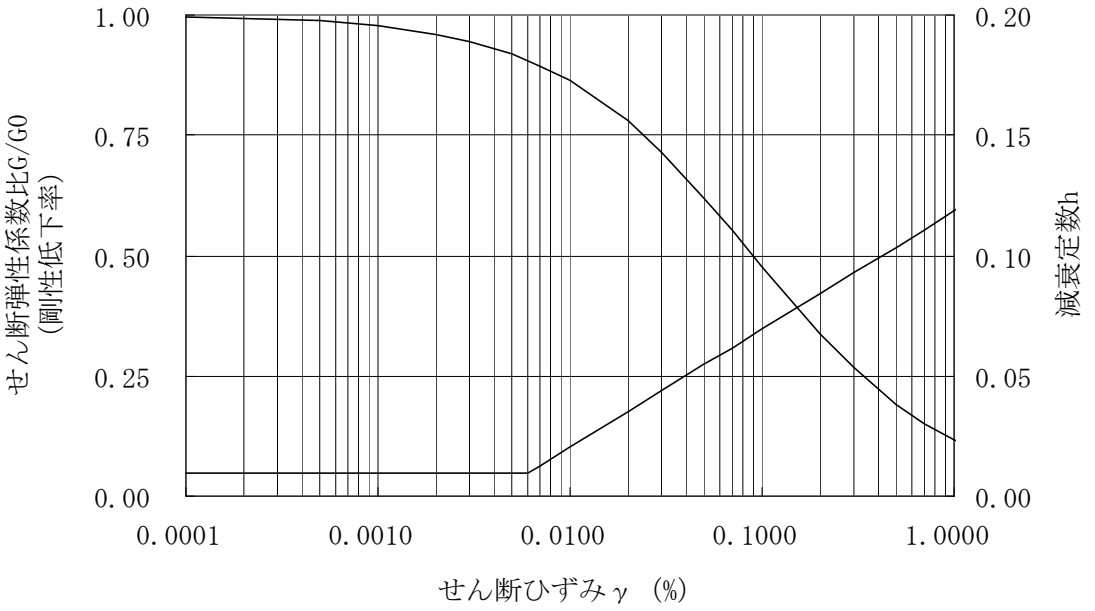
表3.5-1　地盤定数

層番号	層厚 (m)	単位体積重量 (kN/m^3)	ポアソン比	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	せん断弾性係数 ($x10^3kN/m^2$)	減衰定数 (%)	地盤番号
1	0.98	17.7	0.46	221	811	87.9	－	1
2	0.98	17.7	0.46	229	842	94.7	－	1
3	0.99	17.7	0.46	237	869	101	－	1
4	0.99	17.7	0.46	243	895	107	－	1
5	0.99	17.7	0.46	250	919	113	－	1
6	0.99	17.7	0.46	257	943	119	－	1
7	0.99	17.7	0.46	262	963	124	－	1
8	0.99	17.7	0.46	268	986	130	－	1
9	1.00	16.5	0.46	304	1119	156	－	2
10	1.00	16.5	0.46	304	1119	156	－	2
11	1.05	16.5	0.46	304	1119	156	－	2
12	1.55	18.2	0.46	761	2796	1075	3	0
13	3.2375	18.2	0.46	761	2796	1075	3	0
14	3.2375	18.2	0.46	761	2796	1075	3	0
15	3.2375	18.2	0.46	761	2796	1075	3	0
16	3.2375	18.2	0.46	761	2796	1075	3	0
17	6.00	18.2	0.399	801	1955	1192	3	0
18	6.00	18.2	0.399	801	1955	1192	3	0
19	6.00	18.2	0.399	801	1955	1192	3	0
20	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
21	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
22	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
23	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
24	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
25	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
26	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
27	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
28	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
29	7.40	17.8	0.393	822	1957	1225	3	0
解放基盤面		17.0	0.393	819	1952	1164	3	0

＊：地盤番号「0」は等価物性のため，非線形特性を定義しない。



(a)　地盤番号1



(b)　地盤番号2

図3.5-1　G/G_0－γ曲線及びｈ－γ曲線

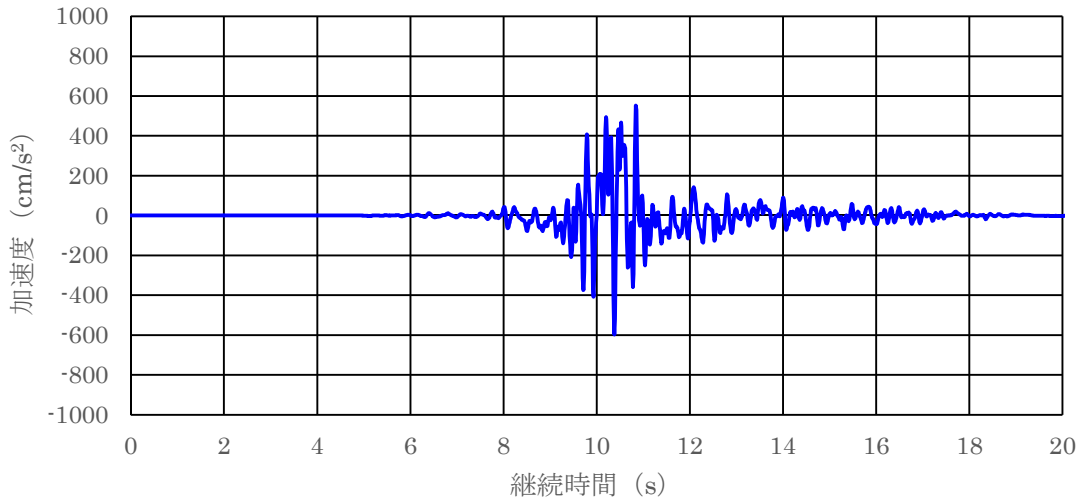


図3.5-2　加速度時刻歴波形

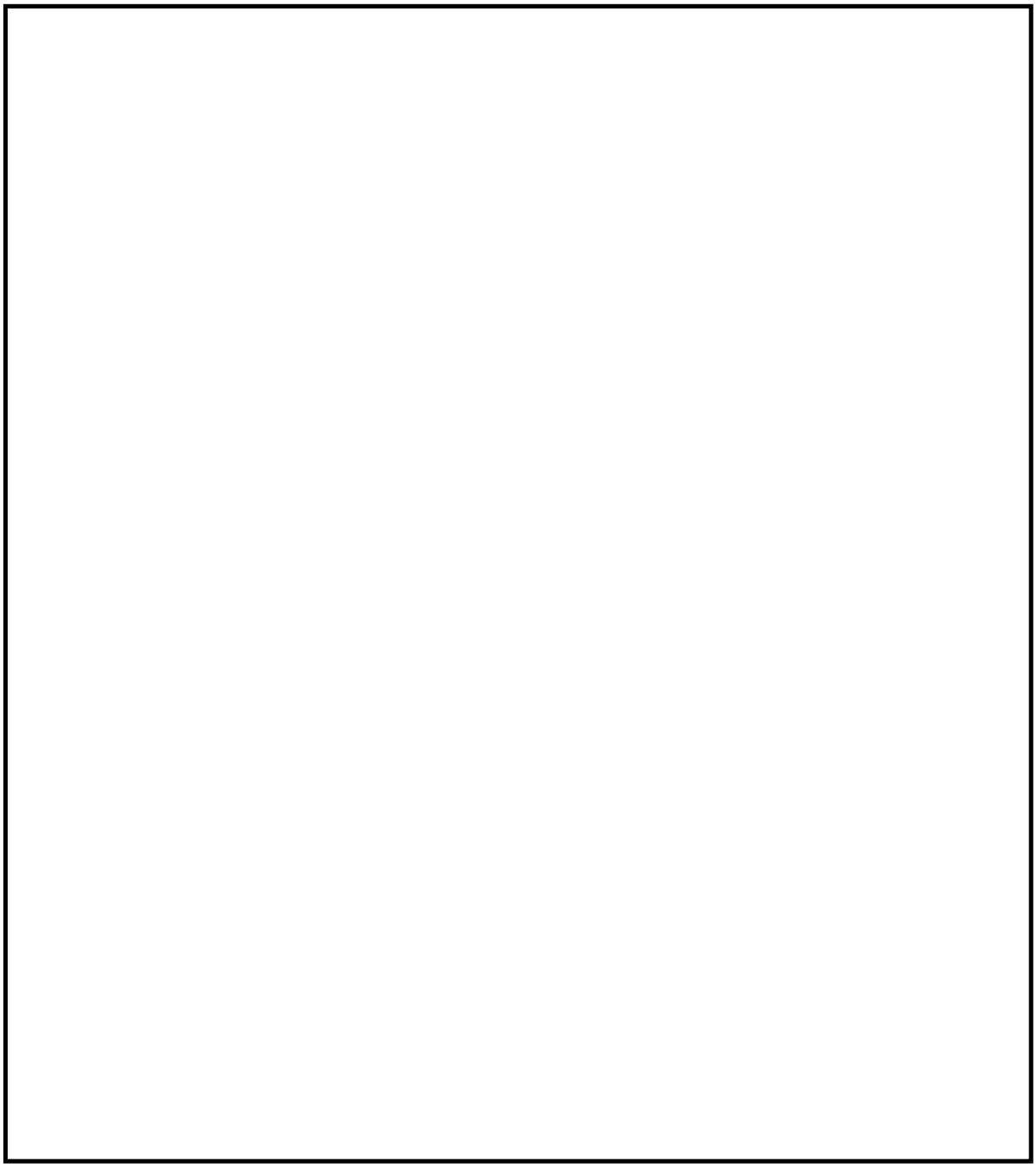


図3.5-3　最大応答分布

表3.5-2　各層の最大応答加速度

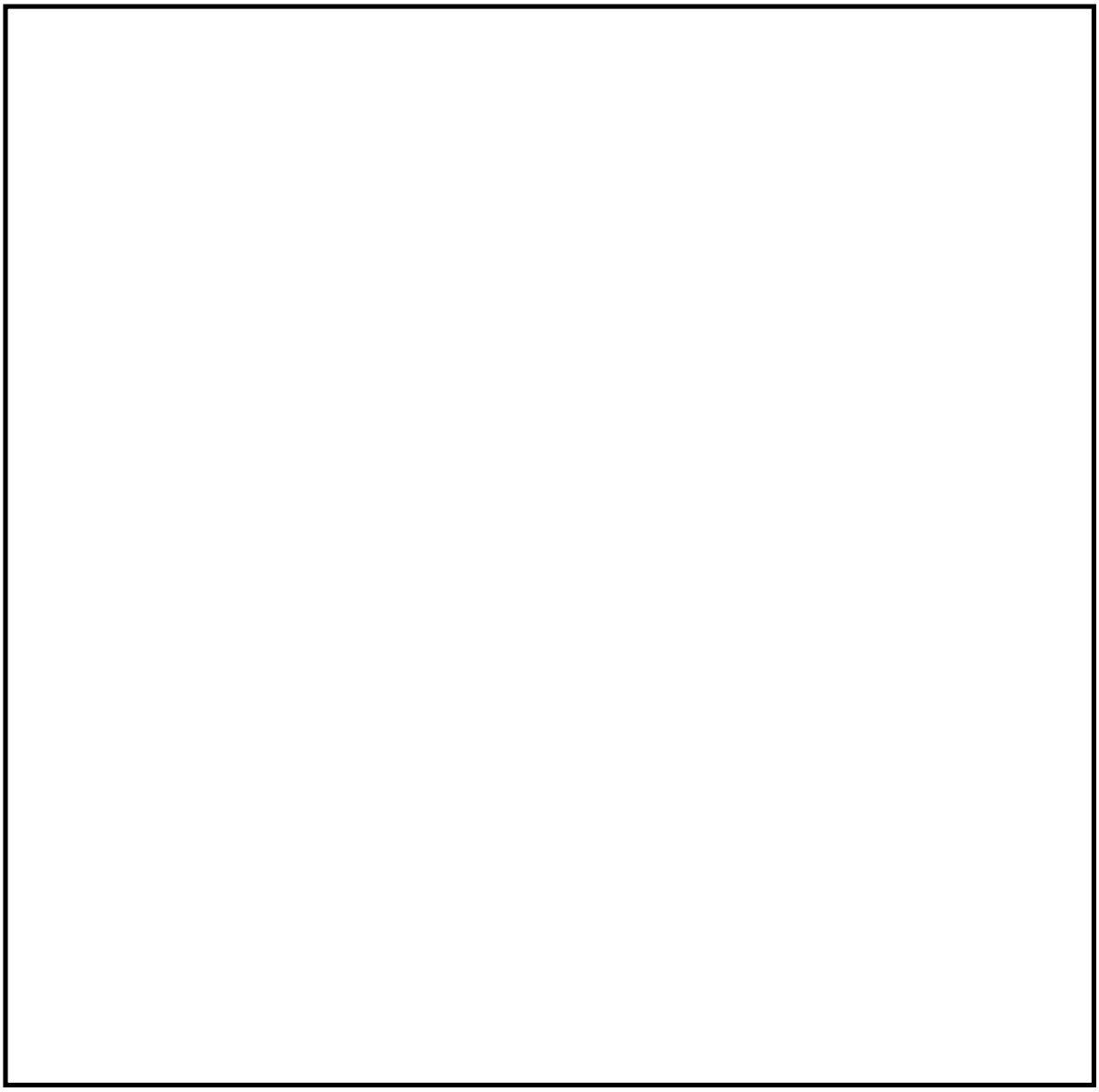
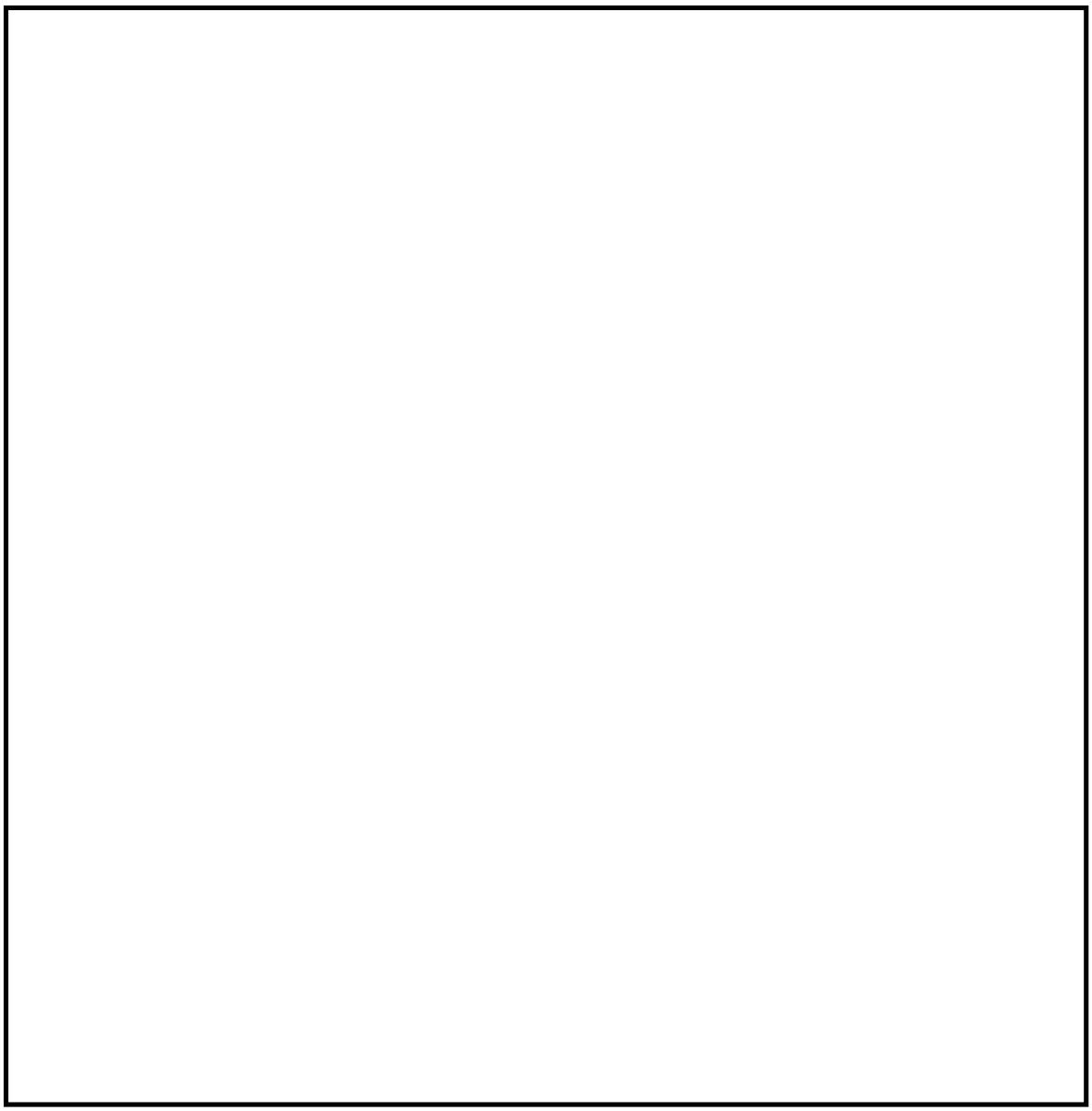


表3.5-3　各層の最大応答変位



a. 使用内容に対する妥当性

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析における入力地震動の策定にmaicroSHAKEを使用することは，次のとおり本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，地盤の応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
・評価地盤を水平成層と仮定していることから，一次元重複反射理論の適用範囲である。

付録35　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＯＲＡ２Ｄ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. NORA2Dの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……4
3.4 解析フローチャート……8
3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）……8

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）NORA2Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-4	使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書	Ver.01.03.00

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	NORA2D
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	株式会社大林組
開発時期	1979年(初版)
使用したバージョン	Ver.01.03.00
計算機コードの概要	・株式会社大林組が独自に開発したコードである。 ・NORA2Dは，2次元集中質点系モデルを対象に，地震応答解析を行う解析コードである。実固有値解析，線形応答解析の他，部材の材料非線形性及び基礎浮き上がり非線形性を考慮した非線形応答解析を行うことができる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	NORA2D（Ver.01.03.00）は，使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。 ・原子力産業界において，「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた大飯発電所3号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）」の地震応答解析に本解析コードが使用された実績がある。 ・地震応答解析に対して，原子力産業界において，多数の解析で使用実績のある「TDAPⅢ」（株式会社アーク情報システム）を用いた解析解と，本解析コードによる解析解を比較した結果，両者の解が概ね一致していることを確認した。 ・非線形性を考慮した地震応答解析に対して，原子産業界において，多数の解析で使用実績のある「Soil Plus」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）を用いた解析解と，本解析コードによる解析解を比較した結果，両者の解が概ね一致していることを確認した。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.　NORA2Dの解析手法について

3.1　一般事項

NORA2Dは，株式会社大林組が開発したプログラムであり，時間領域における構造解析用計算機コードである。NORA2Dは，使用済み燃料乾式貯蔵建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの応答を評価するために使用している。

3.2　解析コードの特徴

本解析コードは,直接積分法の１つであるニューマークβ法(Newmark　β　method)により，非線形地震応答解析を行う解析コードである。主な特徴を以下に示す。

・2次元集中質点系モデルを対象とした計算機コードである。
・建屋モデル化に用いるはり要素では，せん断剛性，曲げ剛性の各々に対して，独立した材料非線形性を与えることができる。
・地盤モデル化には，ダンパー付ばね要素の他，基礎浮き上がり非線形が考慮できる回転ばね要素が用意されている。
・減衰として，レーリー減衰，ひずみエネルギー比例型減衰等の適用が可能である。

3.3　解析手法

a.　運動方程式

$$[m]\{\ddot{u}\}+[c]\{\dot{u}\}+[k]\{u\}=-[m]\{\alpha\}\ddot{u}_0 \cdots\cdots (1)$$

ここに，

$[m]$　:質量マトリックス
$[c]$　:減衰マトリックス
$[k]$　:剛性マトリックス
$\{u\}$　:変位ベクトル
$\{\alpha\}$　:入力ベクトル（入力のある自由度:1，他:0）
$\ddot{u}_0$　:入力地震動の加速度

地盤ばねを考慮する質点を添字cで，それ以外の質点を添字sで表すと(1)式は次式となる。

$$\begin{bmatrix}M_s & 0\\ 0 & M_c\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\ddot{u}_s\\ \ddot{u}_c\end{Bmatrix}+\begin{bmatrix}C_{ss} & C_{sc}\\ C_{cs} & C_{cc}+C_c\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\dot{u}_s\\ \dot{u}_c\end{Bmatrix}+\begin{bmatrix}K_{ss} & K_{sc}\\ K_{cs} & K_{cc}+K_c\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}u_s\\ u_c\end{Bmatrix}=-\begin{bmatrix}M_s & 0\\ 0 & M_c\end{bmatrix}\{\alpha\}\ddot{u}_0 \cdots (2)$$

ここで，

$$[m]=\begin{bmatrix}M_s & 0\\ 0 & M_c\end{bmatrix}$$

$$[c]=\begin{bmatrix}C_{ss} & C_{sc}\\ C_{cs} & C_{cc}+C_c\end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sc} \\ K_{cs} & K_{cc} + K_c \end{bmatrix}$$

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix}$$

$[K_c]$, $[C_c]$　：地盤ばねの剛性及び減衰マトリックス

b.　固有値の解法

(2)式において，外力項を$\{0\}$とし減衰項を除けば，(3)式に示す自由振動を表す方程式となる。

$$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sc} \\ K_{cs} & K_{cc} + K_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix} = \{0\} \quad \cdots\cdots (3)$$

(3)式で変位$(u_s, u_c)^T$に調和振動を仮定すれば，(4)式が得られる。

$$\left(-\omega_i^2 \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sc} \\ K_{cs} & K_{cc} + K_c \end{bmatrix} \right) \{\phi_i\} = \{0\} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここで，

ω_i　：i次の固有円振動数

$\{\phi_i\}$　：i次の固有モードベクトル

(4)式が固有モードベクトル$\{\phi_i\} \neq \{0\}$を満たす条件は固有値問題となり，(4)式を解くことにより固有値ω_iが得られる。

c. 減衰項の設定

本項では，系の粘性減衰に着目し，建物にはひずみエネルギー比例型減衰，地盤ばねには減衰係数を直接与えることを想定して，減衰項の設定について述べる。

地盤ばねに与える減衰を除いた建物のモード減衰定数h_iは，i次振動モードにおける各部材のひずみエネルギーに比例するものとして次式で求める。

$$\mathrm{h}_i = \frac{\Sigma_j\left(\mathrm{h}^j \mathrm{E}_i^j\right)}{\Sigma_j \mathrm{E}_i^j} \cdots\cdots (5)$$

ここで，

h^j ： j部材の減衰定数

$$\mathrm{E}_i^j = \frac{1}{2}\left\{\phi_i^j\right\}^T \left[k^j\right]\left\{\phi_i^j\right\} \cdots\cdots (6)$$

ただし，

$\left[k^j\right]$ ： j部材の剛性マトリックス

$\left\{\phi_i^j\right\}$ ： i次振動モードにおけるj部材の材端変位ベクトル

建物の減衰マトリックスは，(5)式による各次モード減衰定数と固有モードベクトルより次式で求める。

$$\begin{bmatrix} C_{ss} & C_{sc} \\ C_{cs} & C_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \left(\Sigma_i \{\phi_i\}\eta_i \{\phi_i\}^T\right) \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdots\cdots (7)$$

ここで，

$$\eta_i = \frac{2\mathrm{h}_i \omega_i}{\{\phi_i\}^T \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \{\phi_i\}}$$

なお，地盤ばねの減衰は，C_cで表される内部粘性減衰として与えられるので，地盤-建物連成モデルの減衰マトリックスは，次式で与えられる。

$$[c] = \begin{bmatrix} C_{ss} & C_{sc} \\ C_{cs} & C_{cc} + C_c \end{bmatrix} \cdots\cdots (8)$$

d. 運動方程式の解法

本解析コードでは，直接積分法の１つであるニューマーク β 法により，各時間ステップに対する運動方程式の解を順次求めていく。以下に，ニューマーク β 法の概要を示す。

nステップの変位$\{u\}_{(n)}$，速度$\{\dot{u}\}_{(n)}$，加速度$\{\ddot{u}\}_{(n)}$が既知とすると，n+1ステップの変位，速度は β をパラメータとして(9)式のように表せる。

$$\{\dot{u}\}_{(n+1)} = \{\dot{u}\}_{(n)} + \frac{1}{2}\left(\{\ddot{u}\}_{(n+1)} + \{\ddot{u}\}_{(n)}\right)$$
$$\{u\}_{(n+1)} = \{u\}_{(n)} + \{\dot{u}\}_{(n)}\Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\{\ddot{u}\}_{(n)}\Delta t^2 + \beta\{\ddot{u}\}_{(n+1)}\Delta t^2 \quad \cdots\cdots (9)$$

(9)式をn+1ステップの運動方程式(1)式に代入して$\{\dot{u}\}_{(n+1)}$及び$\{\ddot{u}\}_{(n+1)}$を消去することにより，変位増分$\{\Delta u\} = \{u\}_{(n+1)} - \{u\}_{(n)}$を以下のように求めることができる。

$$\{\Delta u\} = [\overline{K}]^{-1}\{\overline{\Delta \mathrm{P}}\} \cdots\cdots (10)$$

ここに，

$$[\overline{K}] = [k] + \frac{1}{2\beta\Delta t}[c] + \frac{1}{\beta\Delta t^2}[m]$$

$$\{\overline{\Delta \mathrm{P}}\} = -[m]\{\alpha\}\Delta\ddot{u}_0 + [m]\left(\frac{1}{\beta\Delta t}\{\dot{u}\}_{(n)} + \frac{1}{2\beta}\{\ddot{u}\}_{(n)}\right) + [c]\left(\frac{1}{2\beta}\{\dot{u}\}_{(n)} + \left(\frac{1}{4\beta} - 1\right)\{\ddot{u}\}_{(n)}\Delta t\right)$$

$$\Delta\ddot{u}_0 = \ddot{u}_{0(n+1)} - \ddot{u}_{0(n)}$$

また，$\{\Delta\dot{u}\} = \{\dot{u}\}_{(n+1)} - \{\dot{u}\}_{(n)}$及び$\{\Delta\ddot{u}\} = \{\ddot{u}\}_{(n+1)} - \{\ddot{u}\}_{(n)}$は，(10)式の$\{\Delta u\}$を用いて次のように表される。

$$\{\Delta\dot{u}\} = \frac{1}{2\beta\Delta t}\{\Delta u\} - \frac{1}{2\beta}\{\dot{u}\}_{(n)} - \left(\frac{1}{4\beta} - 1\right)\{\ddot{u}\}_{(n)}\Delta t \cdots\cdots (11)$$

$$\{\Delta\ddot{u}\} = \frac{1}{\beta\Delta t^2}\{\Delta u\} - \frac{1}{\beta\Delta t}\{\dot{u}\}_{(n)} - \frac{1}{2\beta}\{\ddot{u}\}_{(n)} \cdots\cdots (12)$$

このように，(10)～(12)式の手続きを繰り返すことにより，各時間ステップに対する運動方程式の解が順次求められることとなる。

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

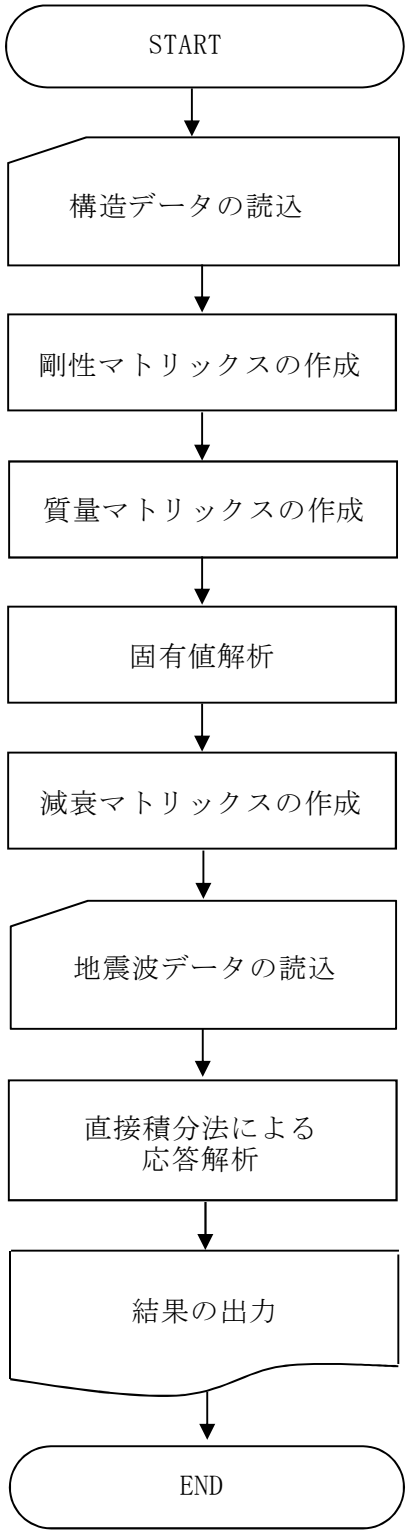


図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)

a.　検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。

b.　妥当性確認(Validation)

検証用の解析コードとして，原子力産業界において，多数の解析で使用実績のある「TDAPⅢ」（株式会社アーク情報システム）を用いた解析解と，NORA2Dによる解析解を比較した。

また，付着力を考慮した地震応答解析に対して，原子力産業界において，多数の解析で使用実績のある「Soil Plus」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）を用いた解析解と，NORA2Dによる解析解を比較した。

(a)　「TDAPⅢ」（株式会社アーク情報システム）との比較

PWR型原子炉建屋モデルを模擬した質点系SR（スウェイ-ロッキング）モデルを対象に「TDAPⅢ」（株式会社アーク情報システム）を用いた解析解と，NORA2Dによる解析解を比較した。検証解析の主な内容は以下のとおりとする。

①固有値解析

質点系SRモデルの固有値解析を実施し，固有値（固有振動数），及びひずみエネルギー比例型減衰手法に基づくモード減衰定数について，NORA2DとTDAPⅢによる結果を比較する。

②線形応答解析

同上の質点系SRモデルに対して，線形応答解析を実施し，節点及び要素の最大応答値について，NORA2DとTDAPⅢによる結果を比較する。

なお，応答解析の時間刻みは0.002 秒とし，直接積分法による。建屋減衰は歪エネルギー比例型減衰として減衰マトリックスを構成し，地盤の減衰については別途，当該自由度に地盤の減衰係数を足しこむことにより考慮する。

質点系SRモデルの概要図を図3.5-1に，建屋諸元について表3.5-1～表3.5-3に，地盤ばね諸元と浮上り非線形特性について表3.5-4及び図3.5-2に，入力地震動を図3.5-3に示す。

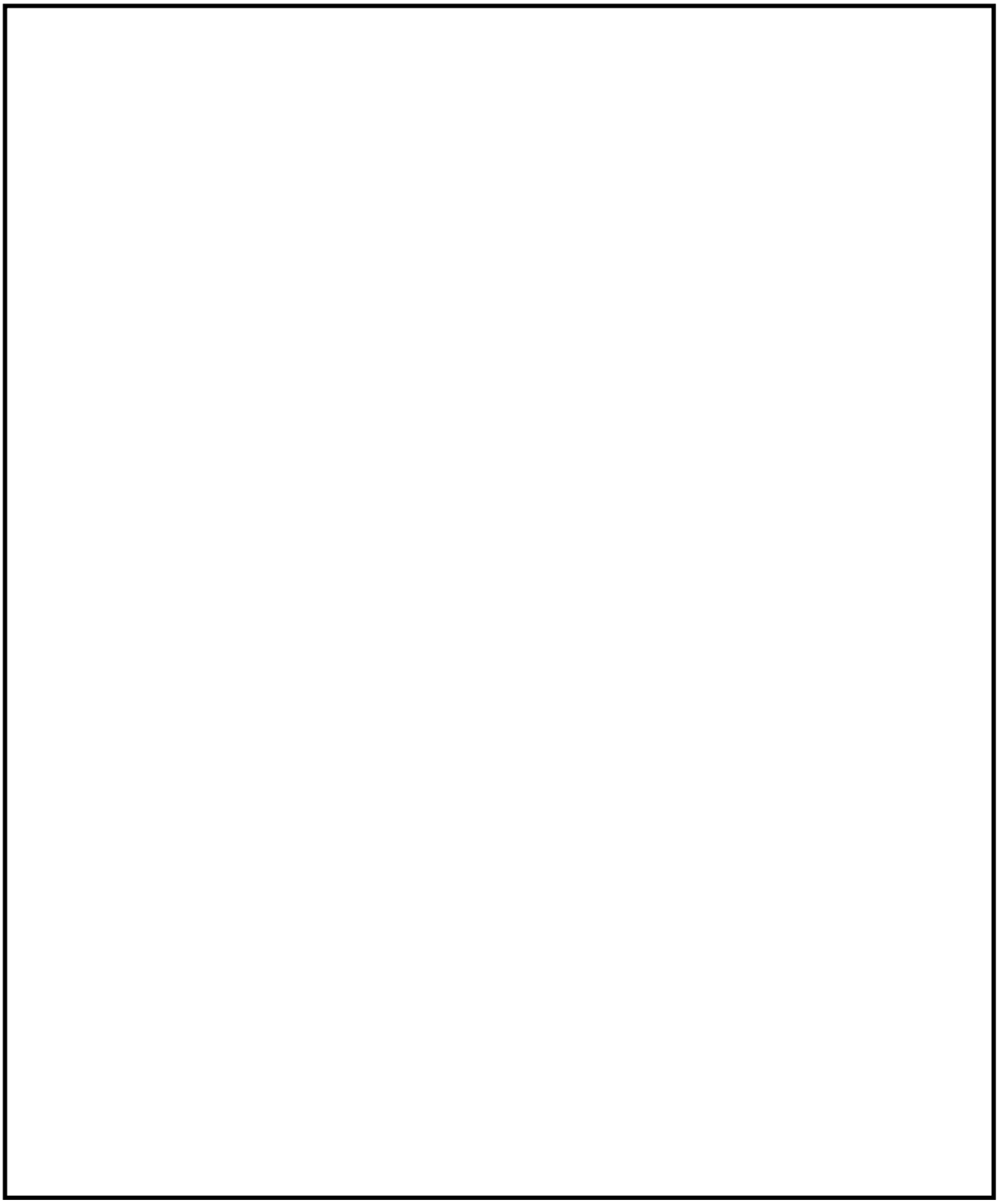


図3.5-1　PWR型原子炉建屋を模擬した質点系SRモデル

表3.5-1　PWR型原子炉建屋を模擬した質点系SRモデルの諸元（R/B）

建屋・構造物	質点番号	高さ EL.(m)	重量(tf)	回転慣性 ($\times 10^6$ tf/m^2)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント (m^4)	軸断面積 (m^2)
内部コンクリート (I/C)	IC11	26.80	290		11	13	36	47
	IC10	22.40	475		10	13	36	47
	IC09	21.50	475		9	28	1000	91
	IC08	30.90	200		8	13	180	25
	IC07	23.70	440		7	13	180	25
	IC06	18.20	260	—	6	13	180	25
	IC05	16.50	5000		5	102	11500	203
	IC04	16.20	—		4	102	11500	203
	IC03	8.90	4600		3	134	15200	255
	IC02	7.10	—		2	130	15100	244
	IC01	5.80	3000		1	147	17400	277
			14740					
原子炉格納容器 (PCCV)	CV20	65.10	320		20	44	610	1.3
	CV19	63.60	1390		19	76	13480	8.4
	CV18	57.60	3020		18	76	29240	51
	CV17	48.50	3380		17	83	39780	160
	CV16	40.50	5930	—	16	90	44420	180
	CV15	26.70	4780		15	90	44420	180
	CV14	19.90	3920		14	90	44420	180
	CV13	9.80	3230		13	90	44420	180
	CV12	6.00	2280		12	90	44420	180
			28250					
周辺補機棟 REB	EB22	16.50	25100	16.0	22	460	230400	890
	EB21	8.90	31700	21.0	21	610	265600	1120
基礎版 BASE	BS23	0.00	78800	27.3	23	5,100	2810000	6000
	BS24	-8.00	57600	27.3				

表3.5-2　PWR型原子炉建屋を模擬した質点系SRモデルの諸元（鉄骨部）

建屋・構造物	質点番号	高さ EL.(m)	重量(tf)	回転慣性 ($\times 10^6$ t /m^2)	要素番号	せん断ばね定数(tf/cm)
燃料取扱棟 REB (鉄骨部)	FH27	33.129	200	—	27	6894
	FH26	28.90	140	—	26	6718
	FH25	23.10	170	—	25	5577

表3.5-3　PWR型原子炉建屋を模擬した質点系SRモデルの材料定数と減衰定数

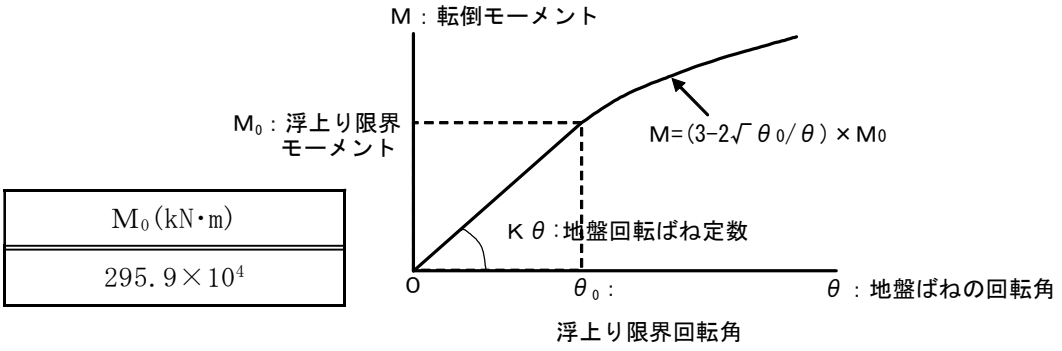
	ヤング係数 E(tf/cm^2)	せん断剛性 G(tf/cm^2)	減衰定数 h(%)	設計基準強度 Fc(kg/cm^2)
原子炉格納容器（PCCV）	304 361	136 155	3	420 588
周辺補機棟，燃料取扱棟（REB） 内部コンクリート（I/C） 基礎版　(B/M)	270 318	116 136	5*	240 336

＊：部材番号25，26，27のFH/B鉄骨部の減衰定数は2%。

表3.5-4　地盤ばね定数と減衰係数

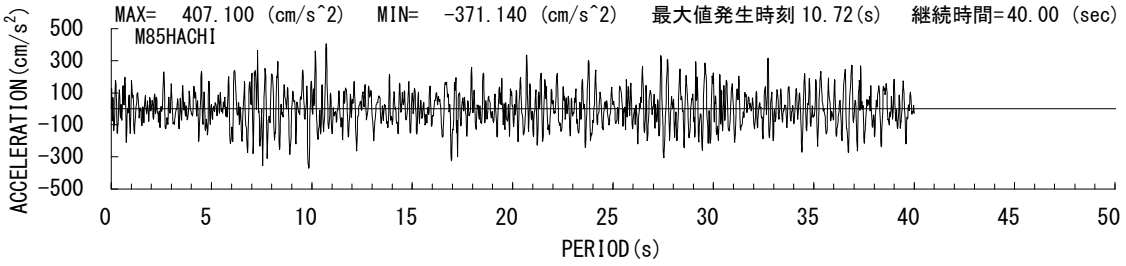
	ばね定数 Ks	減衰係数 Cs
水平	10.75×10^5 (tf/cm)	1.80×10^4 (tf･sec/cm)
回転	16.81×10^{12} (tf･cm/rad)	9.85×10^{10} (tf･cm･sec/rad)

*浮上り限界転倒モーメント：M = W･L/6 = 244,600tf･75m/6 = 3.06×10^6tf･cm/rad

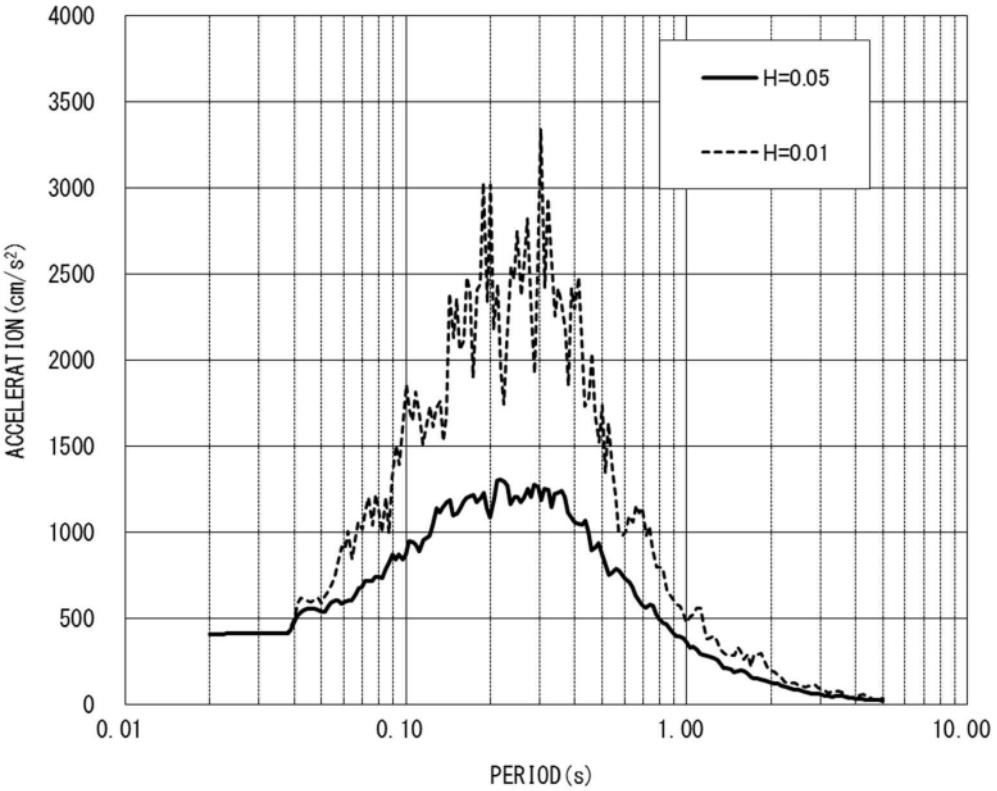


M_0(kN･m)
295.9×10^4

図3.5-2　地盤回転ばねの幾何学的非線形特性



(a) 加速度時刻歴



(b) 応答スペクトル（減衰定数1%, 5%）

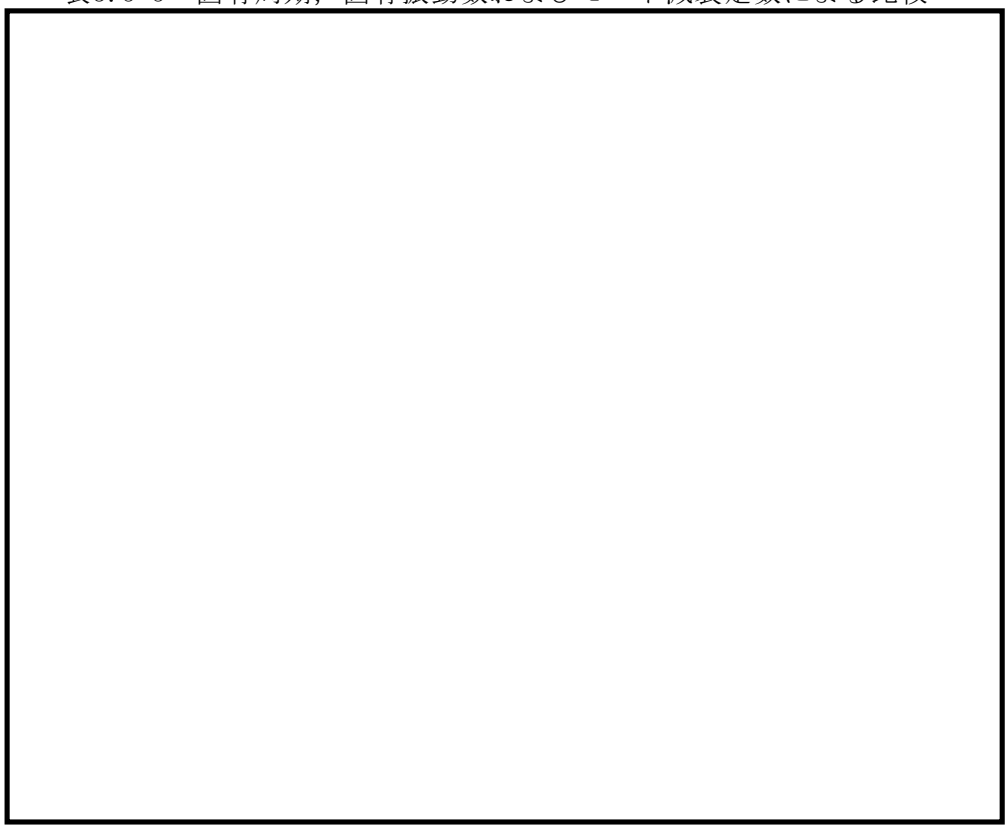
図3.5-3 入力地震波

ｲ. 固有値解析

質点系SRモデルにおけるNORA2DとTDAPⅢで算定した固有値の比較を表3.5-5に示す。

質点系SRモデルにおけるNORA2DとTDAPⅢで算定した固有値（固有振動数）とモード減衰定数について，両者の結果が同一となることを確認した。

表3.5-5　固有周期，固有振動数およびモード減衰定数による比較



ﾛ. 線形応答解析

NORA2DとTDAPⅢで算定した線形応答解析結果の比較を表3.5-6及び表3.5-7に示す。なお，比較は変位，速度，加速度，せん断力，モーメントについて示している。

質点系SRモデルにおけるNORA2DとTDAPⅢで算定した各応答について，両者の結果がほぼ同一となることを確認した。

表3.5-6　節点の最大応答値（変位，速度，加速度）による比較（質点系SRモデル，線形応答解析）

(1) 水平変位　　(2) 水平速度　　(3) 絶対加速度

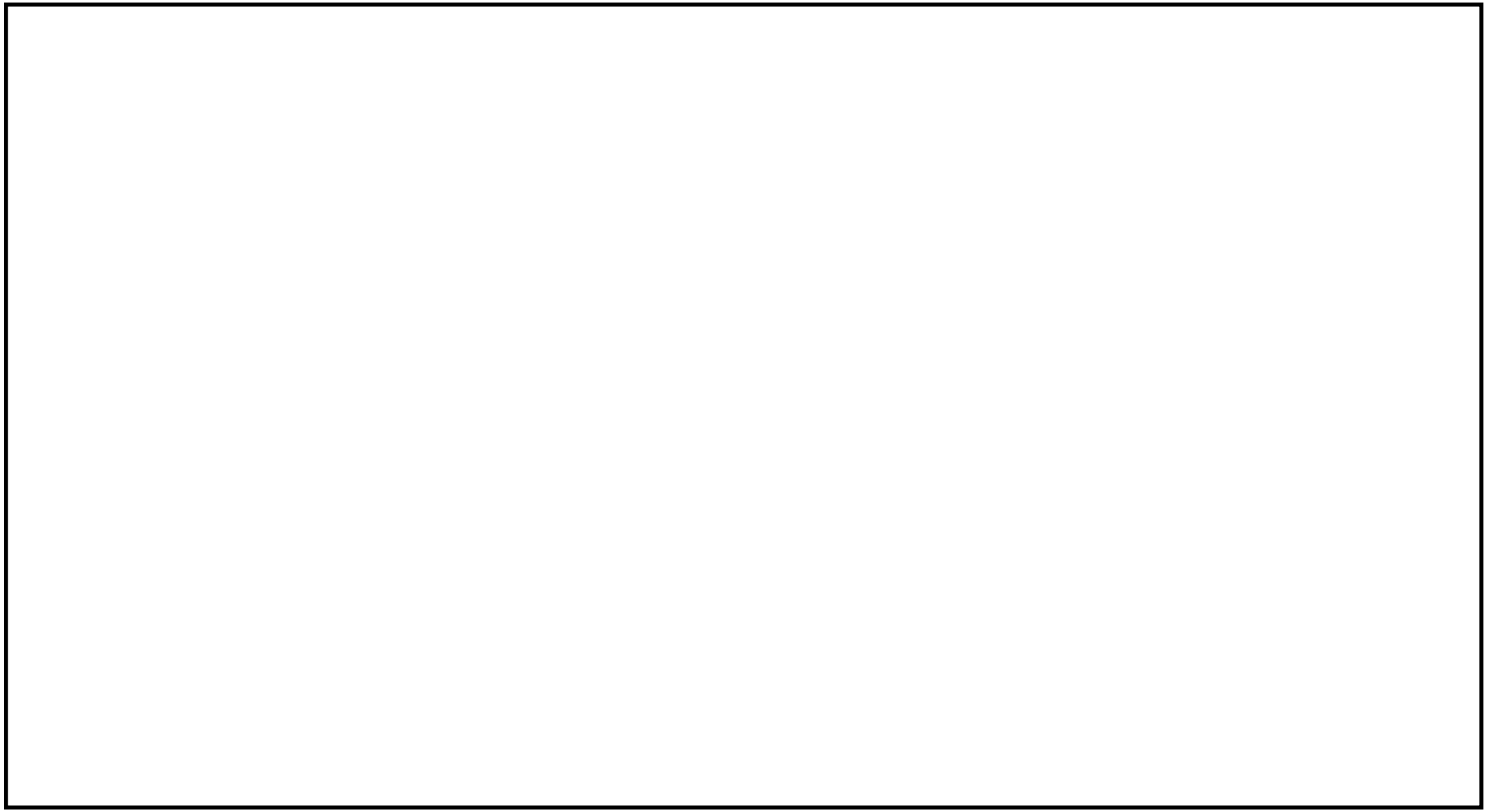
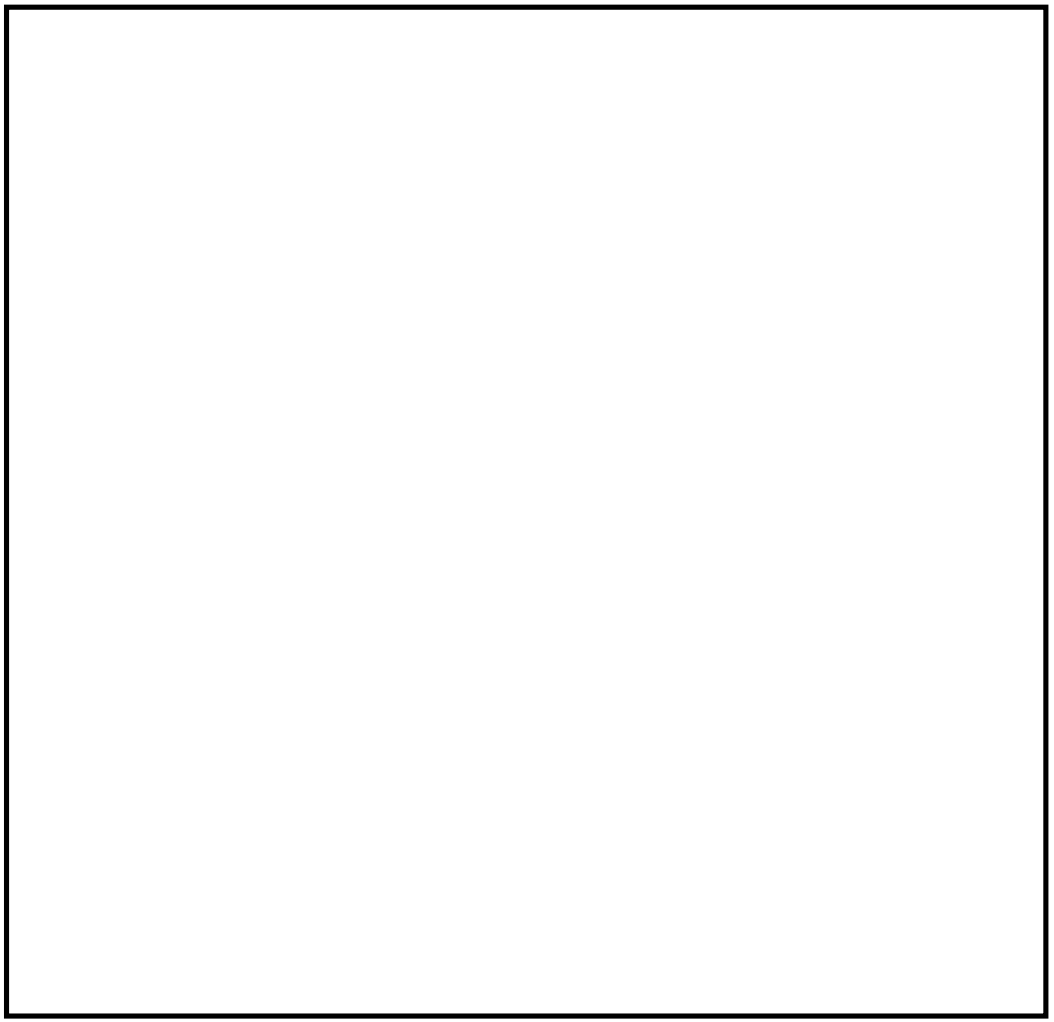


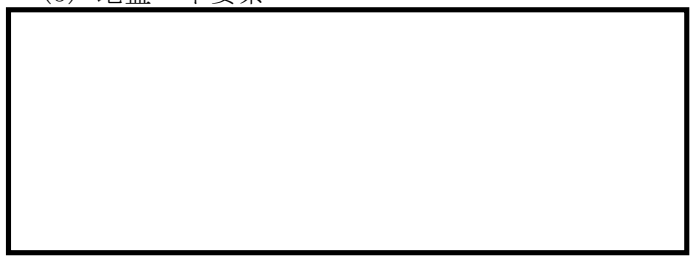
表3.5-7　要素の最大応答値（せん断力，曲げモーメント）による比較
（質点系SRモデル，線形応答解析）

(1) はり要素



(2) せん断バネ要素

(3) 地盤バネ要素



(4) 地盤粘性要素

(b)　「Soil Plus」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）との比較

地盤－建屋間の連成を考慮し,かつ基礎底面と地盤間の付着力を考慮した質点系モデルの地震応答解析に対して，「Soil Plus」（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）を用いた解析解と，NORA2Dによる解析解を比較した。検証解析の主な内容は以下のとおりとする。

・非線形応答解析

部材の材料非線形性および基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析を実施し，節点及び要素の最大応答値について，NORA2DとSoil Plusによる結果を比較する。なお，建屋基礎底面と地盤との間に付着力を考慮する。

NORA2Dにおける解析モデルは,地盤－建屋連成系を質点及び梁やばね等に置換したモデル（以下「質点系SRモデル」という。）とする。質点系SRモデルの解析モデル図を図3.5-4に，建屋諸元及び材料物性を表3.5-8，表3.5-9に，地盤諸元と浮上り非線形特性を表3.5-10，図3.5-5に，上部構造の復元力特性を表3.5-11，表3.5-12に示す。

なお，基礎浮上り非線形特性のモデル化，及び建屋の復元力特性は，JEAG4601[*1]に従うものとする。NORA2Dにおける質点系SRモデルの地震応答解析の時間刻みは0.001秒とし，直接積分法による。建屋減衰は歪エネルギー比例型減衰として減衰マトリックスを構成し，地盤の減衰については別途，当該自由度に地盤の減衰係数を足しこむことにより考慮する。

*1：(社)日本電気協会 原子炉発電所耐震設計技術指針追補版(JEAG4601-1991)

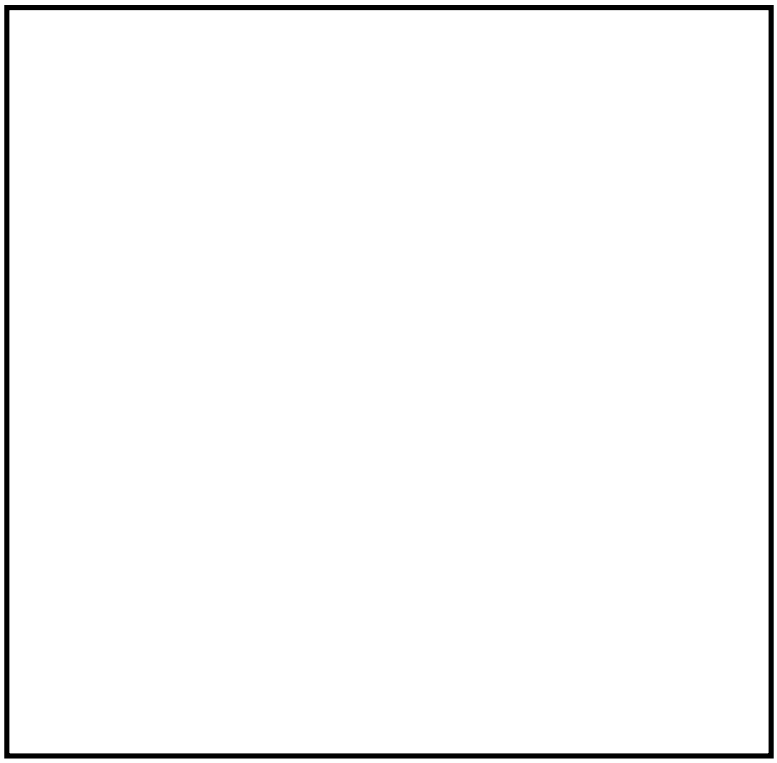


図3.5-4　地震応答解析モデル

表3.5-8　建屋モデルの諸元

質点番号	高さ EL. (m)	重量 W (ton)	回転慣性 J_θ ($\times 10^4$ ton･m^2)	部材番号	せん断断面積 As (m^2)	断面２次ﾓｰﾒﾝﾄ I ($\times 10^2$m^4)	軸断面積 A_N(m^2)
MA05	40.2	892.7	－	MA05	0.191	－	0.682
MA04	32.7	847.0	1.69	MA04	15.92	6.24	62.84
MA03	27.5	6,611.4	83.1	MA03	77.60	241.03	187.41
MA02	20.5	9,247.8	116.4	MA02	105.09	274.07	250.83
MA01	11.4	13,148.3	166.0	MA01	107.95	302.05	282.49
MABT	3.0	11,572.4	161.2	MABT	1,856.4	2,575.20	1,856.4
MABB	0.0	8,736.7	121.5				

表3.5-9　建屋モデルの材料定数と減衰定数

部位	ヤング係数 E ($\times 10^3$ kg/cm^2)	ポアソン比 ν	減衰定数 h(%)
RC 部	270	0.167	5.0
鉄骨部	2,100	0.3	2.0

表3.5-10　地盤ばね定数と減衰係数

並進		回転	
ばね定数 ($\times 10^5$t/cm)	減衰係数 ($\times 10^3$t･s/cm)	ばね定数 ($\times 10^{12}$t･cm/rad)	減衰係数 ($\times 10^9$t･cm･s/rad)
5.911	5.074	2.710	2.510

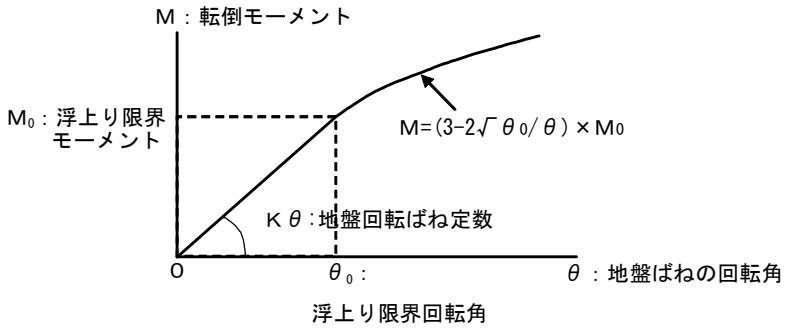


図3.5-5　地盤回転ばねの幾何学的非線形特性

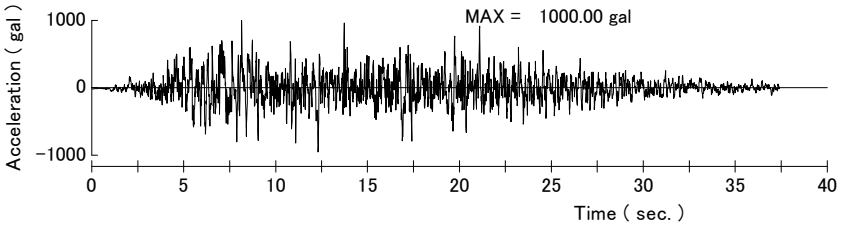
表3.5-11　上部構造の復元力特性（τ－γ関係）

部材	τ_1 (kg/cm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	τ_2 (kg/cm^2)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	τ_3 (kg/cm^2)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
MA04	19.47	0.17	26.29	0.50	55.79	4.00
MA03	19.56	0.17	26.41	0.51	60.20	4.00
MA02	20.35	0.18	27.48	0.53	59.48	4.00
MA01	21.34	0.18	28.81	0.55	60.05	4.00

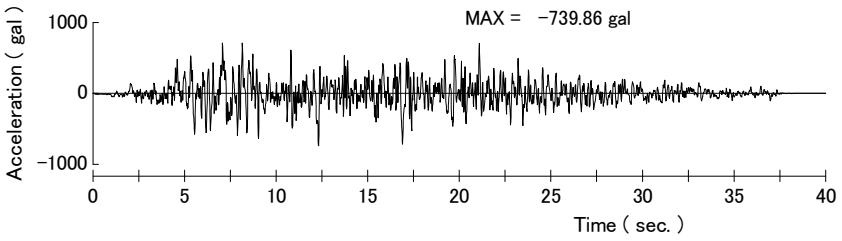
表3.5-12　上部構造の復元力特性（M－φ関係）

部材	M_1 ($\times10^4$t･m)	ϕ_1 ($\times10^{-6}$/m)	M_2 ($\times10^4$ t･m)	ϕ_2 ($\times10^{-6}$/m)	M_3 ($\times10^4$ t･m)	ϕ_3 ($\times10^{-6}$/m)
MA04	2.06	12.23	5.63	136.15	8.83	2723.10
MA03	32.68	5.02	62.18	51.43	89.82	1028.50
MA02	39.30	5.31	72.35	51.62	110.81	1032.50
MA01	45.69	5.60	88.13	53.11	139.26	1062.20

質点系SRモデルの地震応答解析では埋込みを考慮する。入力地震動については，2E波を解放基盤面（建屋底面位置）に定義し，建屋底面位置におけるE+F波及び切欠き力を求め，これを建屋へ入力する。入力地震動（E+F波）について図3.5-6に示す。



（a）2E波（解放基盤面）



（b）E+F波（建屋入力動）

図3.5-6　入力地震波（加速度時刻歴）

比較用の解析コード「Soil Plus」における解析モデルは，３次元FEM地盤-建屋モデル（以下，「3DFEMモデル」という。）とする。

3DFEMモデルの概念図を図3.5-7に，解析モデルを図3.5-8に示す。建屋は梁要素，基礎版は板要素，地盤はソリッド要素でモデル化する。基礎版節点と地盤節点をジョイント要素で連結し，浮上りを考慮する。

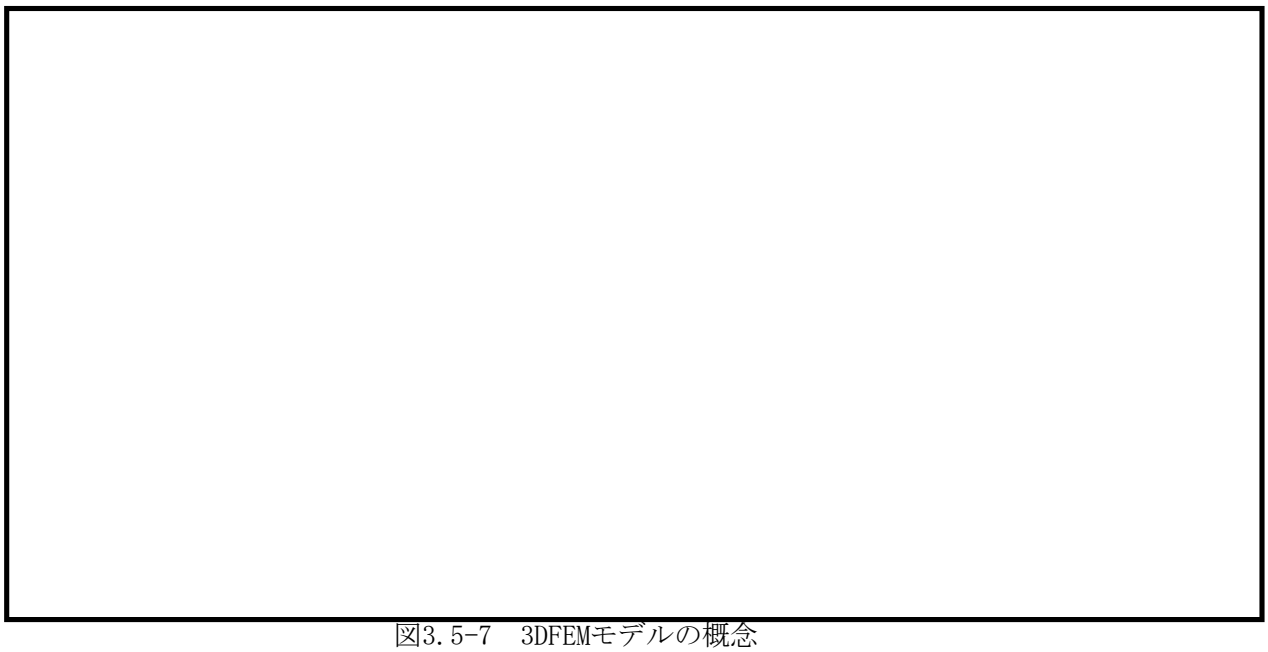


図3.5-7　3DFEMモデルの概念

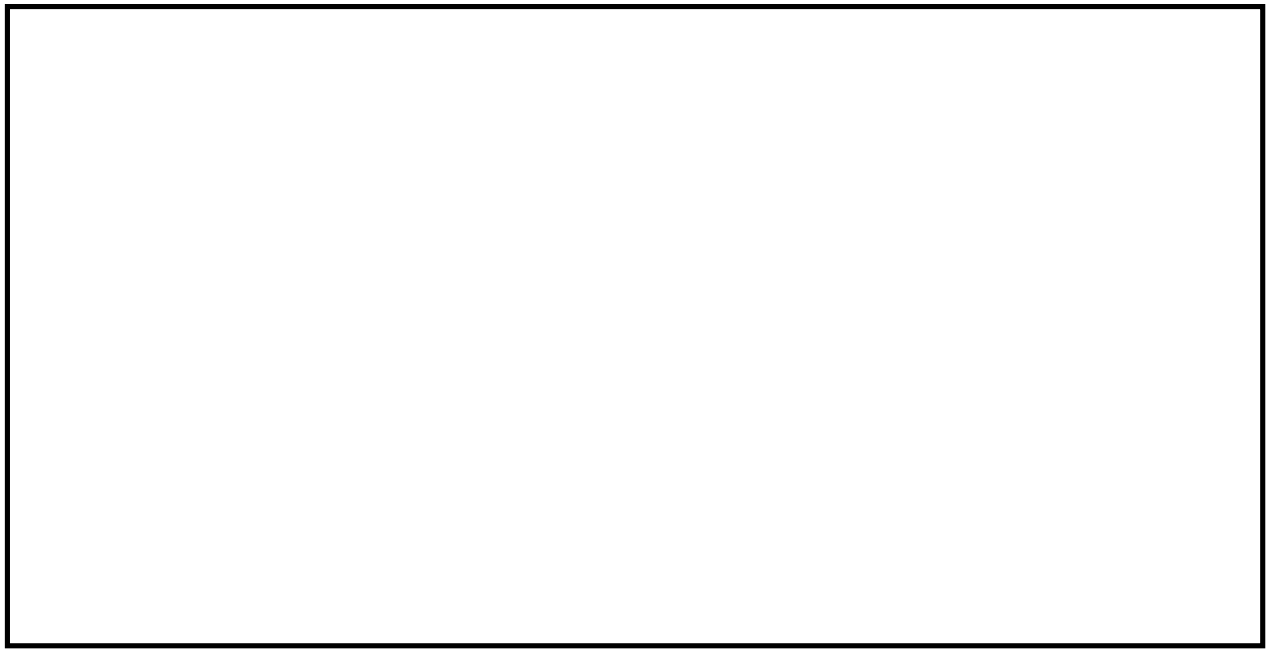


図3.5-8　解析モデル（3DFEMモデル）

3DFEMモデルの建屋諸元については表3.5-8及び表3.5-9に，建屋の復元力特性は表3.5-11及び表3.5-12に従う。なお，応答解析では，時間刻みを0.002 秒刻みとする。

3DFEMモデルにおける自由地盤の重量は，地盤に比べ十分大きい値（地盤×10^6）を設定し，地盤と自由地盤をダッシュポットで繋ぎ，逸散減衰を表現する。また，減衰についてはRayleigh型減衰を用いる。

NORA2DとSoil Plusにおける建屋各部の最大応答値（加速度，変位）を表3.5-13，表3.5-14に示す。

建屋各部の応答は，やや応答差が現れるものの，両解析コードにおける非線形応答解析結果は概ね同一となることを確認した。

表3.5-13　建屋各部の最大応答値（加速度）

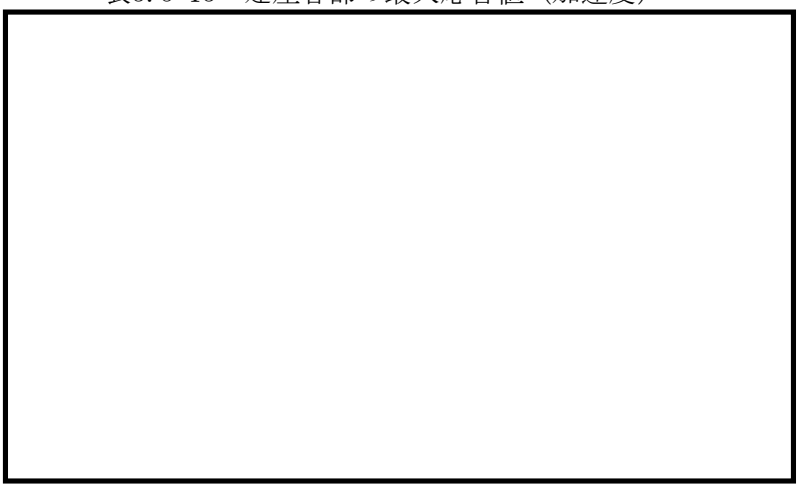
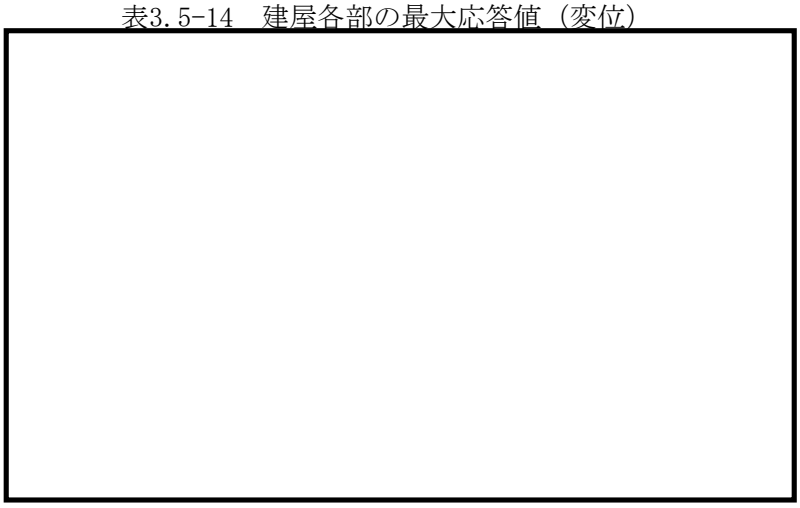


表3.5-14　建屋各部の最大応答値（変位）



c. 使用内容に対する妥当性

PWR型原子炉建屋モデルを模擬した2次元質点系SRモデルによる検証において,以下の結果が得られたことから，本解析コードを対象とする検討に用いることは妥当である。

・固有値解析結果について，他解析コードの計算結果と比較して同じ結果が得られることが確認できた。

・線形応答解析結果について，他解析コードの計算結果と比較してほぼ同一の結果が得られることが確認できた。

・部材の材料非線形性及び基礎浮き上がり非線形性を考慮した非線形応答解析結果について，他解析コードの計算結果と比較してほぼ同一の結果が得られることが確認できた。

付録36　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＨＡＫＥ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. SHAKEの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……5
3.4 解析フローチャート……8
3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）……9

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）SHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-13	主排気筒の地震応答計算書	Ver.1.6.9
Ⅴ-2-2-15	非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書	Ver.1.6.9

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	SHAKE
使用目的	地盤応答解析（入力地震動評価）
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver.1.6.9
計算機コードの概要	・米国カルフォルニア州立大学から発表された SHAKE（最新公開版は「SHAKE－91」である。）を基本に開発されたもので，1 次元重複反射理論に基づく多層地盤の地震応答解析を行うプログラムである。 ・地盤の各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。 ・地盤の等価線形解析を行うことが可能である。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	SHAKE　Ver.1.6.9（以下「本解析コード」という。）は，地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓ$_s$に対する地盤応答を1次元重複反射理論に基づき評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果が公開文献*1 の理論解（以下「理論解」という。）と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードのベースとなった米国カルフォルニア州立大学から発表された SHAKE は世界的に広く用いられており，その最新版である SHAKE－91 を用いた解析解と本解析コードの解析解を比較した結果，概ね一致していることを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 注記　＊1：　最新耐震構造解析　柴田明徳著　234 頁，235 頁　森北出版株式会社　第 1 版

3.　SHAKEの解析手法について

3.1　一般事項

本資料は，地盤応答解析を行う解析コードSHAKE Ver.1.6.9（以下「本解析コード」という）の概要である。

本解析コードは，日本国内の原子力施設の工事計画認可申請に多くの利用実績のある解析コードであり，地盤応答解析（入力地震動の評価）に用いる。

3.2　解析コードの特徴

本解析コードは，1次元重複反射理論に基づく弾性地盤応答解析ができる解析コードである。以下に，今回の解析に使用する弾性解析の機能を示す。

①1 次元波動論に基づき，多層地盤の地震応答を行う。

②解析結果として，地盤の各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。

③本解析コードは，次の仮定を設けて地震応答解析を行っている。

・地盤は，水平方向に半無限に広がっているものとする。（水平成層地盤）

・応答は，地震動が解析基盤から鉛直伝播により起こるものとする。

・地盤物性は，各層の単位体積重量，せん断波速度（又はせん断弾性係数），ポアソン比及び減衰定数を入力することで定義する。

④等価線形解析を行うことができる。

また，今回の解析における本解析コードのバージョン，件名，使用要素及び評価内容を表1に示す。なお，次に示す検証及び妥当性確認はVer.1.6.2で実施した結果である。本工事計画において使用するバージョンは，検証及び妥当性確認において記載されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

表3.2-1　使用件名

バージョン	件名	使用要素	評価内容
Ver.1.6.9	・主排気筒 ・非常用ガス処理系配管支持架構	－	地盤応答解析

3.3　解析手法

解析理論において,図1に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。各層は,均質，等方性であり，厚さｈ，密度ρ，せん断弾性係数Ｇ及び臨界減衰比βで定義される。

図3.3-1に示される系を通過するせん断波の伝播は，水平変位ｕ＝ｕ（ｘ，ｔ）による以下の式で表わされる。

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=G\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\eta\frac{\partial^3 u}{\partial x^2\partial t} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで,

η：粘性係数

水平変位ｕ＝ｕ（ｘ，ｔ）を，以下の（2）式で表わされる振動数ωに対する調和振動と考える。

$$u(x,t)=U(x)\cdot e^{i\omega t} \quad \cdots\cdots (2)$$

ここで,

ｉ：虚数単位

（2）式は，波動方程式の一般解として（3）式で表わされる。

$$u(x,t)=E\cdot e^{i(kx+\omega t)}+F\cdot e^{-i(kx-\omega t)} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$k=\sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G+i\omega\eta}}=\sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G^*}} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここで,

Ｅ，Ｆ：積分定数

Ｇ＊　　：複素剛性

（3）式の第一項は，Xのマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し，第二項はXのプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。

ここで，任意のｍ層と（ｍ＋1）層の変位とせん断応力との連続性を考え，更に自由面ではせん断応力τ＝0の境界条件を導入し，以下関係を導く。

$$E_m=e_m(\omega)E_1 \quad \cdots\cdots (5)$$

$$F_m=f_m(\omega)F_1 \quad \cdots\cdots (6)$$

伝達関数ｅ$_m$及びｆ$_m$は，それぞれＥ$_1$及びＦ$_1$に対する倍率であり，Ｅ$_1$＝Ｆ$_1$＝1を上式に代入すれば決まるものである。

他の伝達関数は，ｅ$_m$及びｆ$_m$から得られ，n層及びｍ層表面での変位を関連づける伝達関数Ａ$_{n,m}$は次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = u_m / u_n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (7)$$

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (8)$$

これらの式より，伝達関数Ａ（ω）は，系のいかなる2つの層の間においても定められる。

伝達関数が定まれば，複素フーリエ変換により入力動のフーリエスペクトルＦ（ｆ）を求め，それに伝達関数Ａ（ｆ）を乗じてフーリエスペクトルＲ（ｆ）を算定し，それを複素フーリエ逆変換することにより時刻歴応答が求まる。

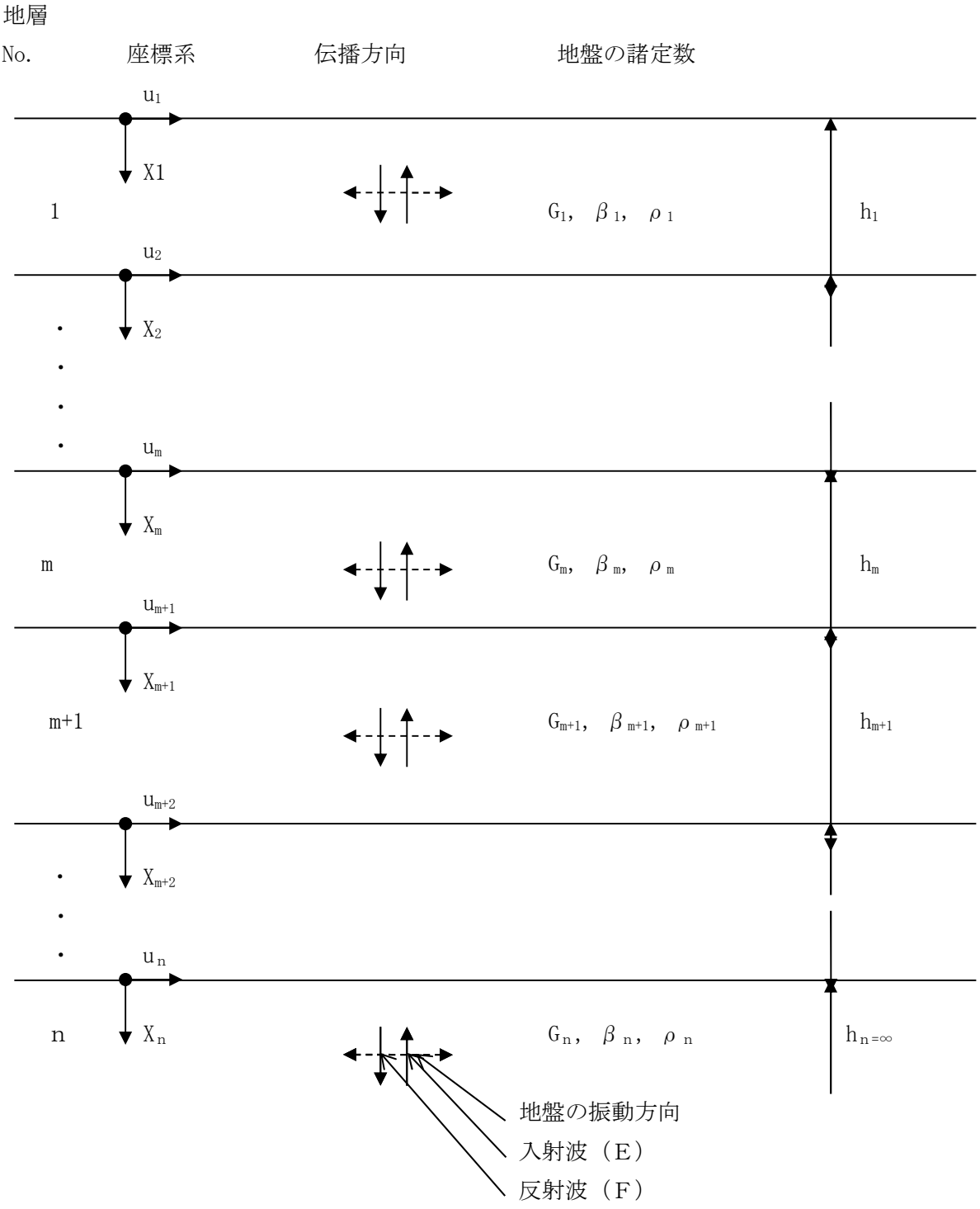
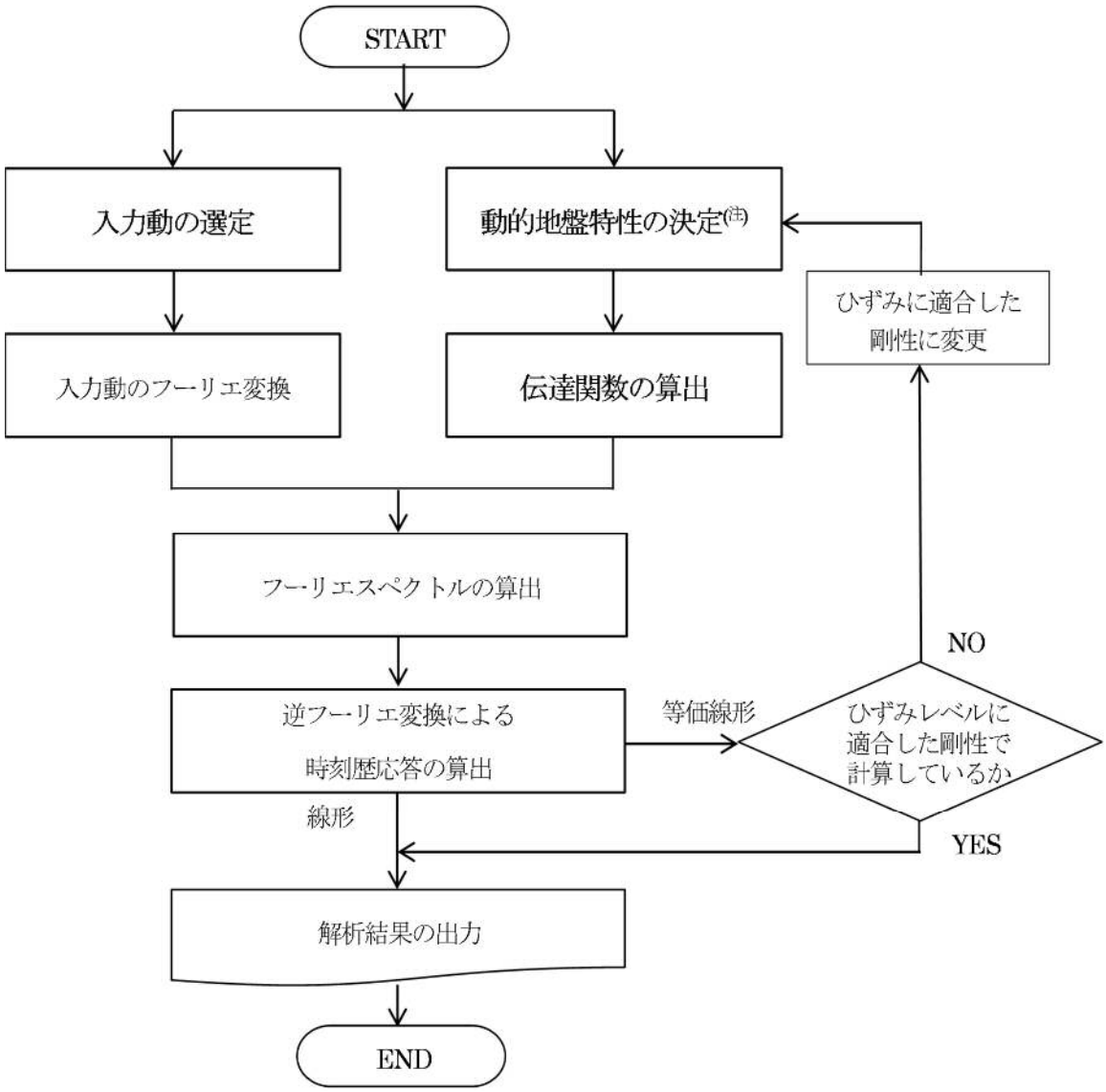


図 3.3-1　1 次元地盤の波動伝播

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。



注：　入力データとして単位体積重量，せん断弾性係数及び等価線形法に用いるＧ－γ関係を選定する。

図3.4-1　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

本コードは，「3.3　解析手法」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり，「3.4　解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは，日本国内の数多くの原子力施設の工事計画認可申請における解析に使用された実績があるため，解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ，今回の解析機能に特化する形で，公開文献*1により求めた理論解（以下「理論解」という）と本解析コードによる解析解を比較するとともに，複素応答と1次元重複反射理論に基づき構築された世界各国で用いられている類似解析コードであるSHAKE－91*2とのコードベンチマークにより，本解析コードの解析機能の適切さを確認している。

注記　＊1:　最新耐震構造解析　柴田明徳著　231頁,232頁　森北出版株式会社　第1版【参考資料】参照

＊2:　ＳＨＡＫＥ－91は，米国カルフォルニア州立大学バークレイ校が有償配布している複素応答と重複反射理論に基づいた１次元地盤の等価線形解析プログラムであり，世界各国で広く用いられている「SHAKE」の最新バージョンである。

a.　検証（Verification）

(a)　検証方法

2層の弾性モデル地盤を対象として，本解析コードによる解析解と理論解による結果が一致することを確認する。

(b)　解析条件

解析条件及び解析モデルを図3.5-1に示す。地盤減衰は，履歴減衰として0％と5％の二種とする。

(c)　検証結果

本解析コードによる加速度伝達関数を理論解による加速度伝達関数と比較して図3.5-2及び表3.5-1に示す。本解析コードと理論解の解析結果は同一条件，同一手法による結果であり，両者は概ね一致していることから，本解析コードが正しく評価していることが確認できる。

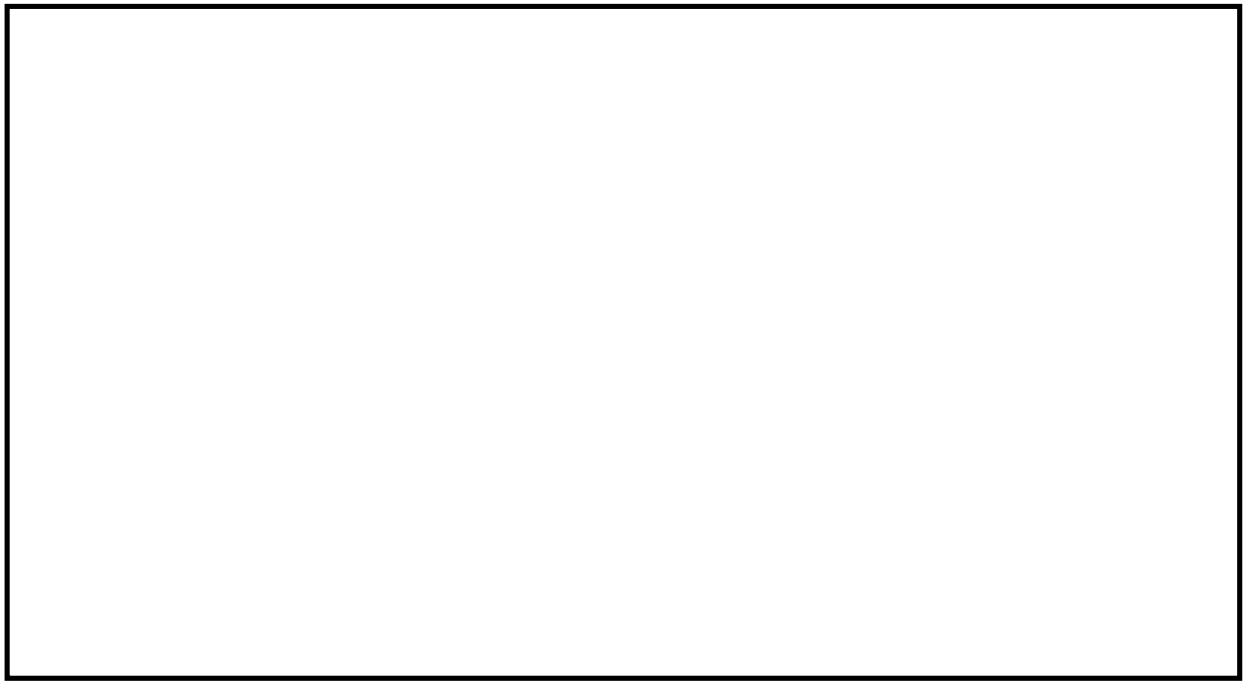
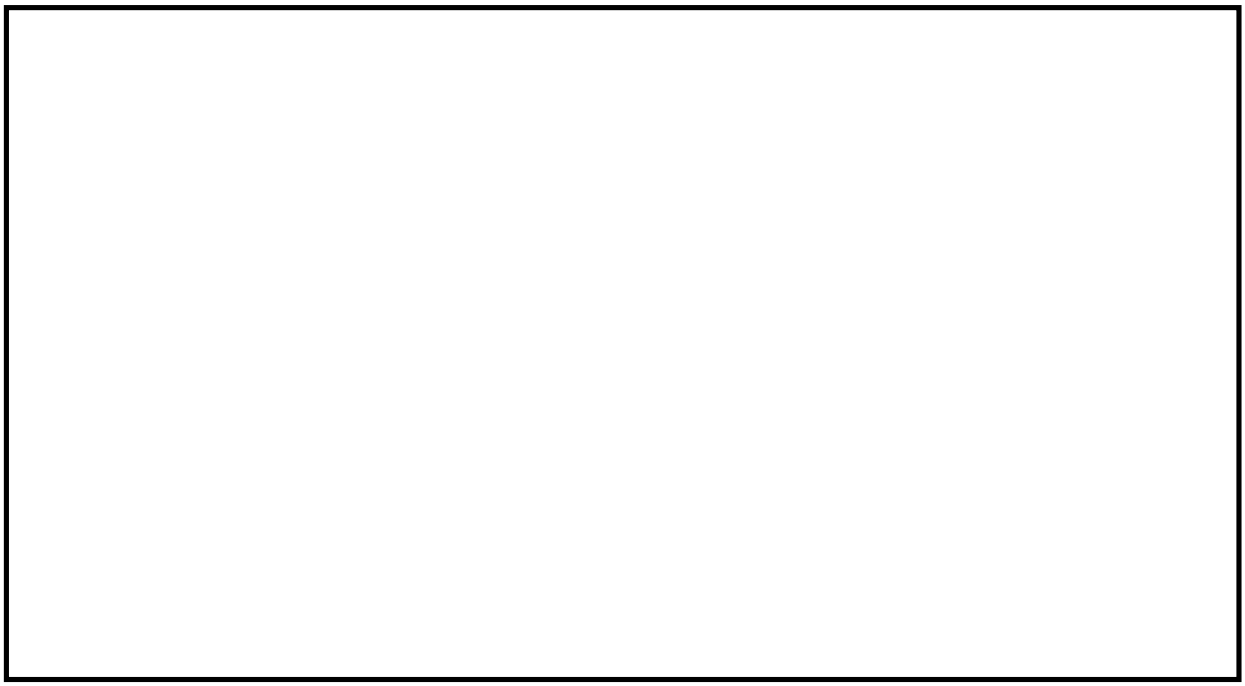


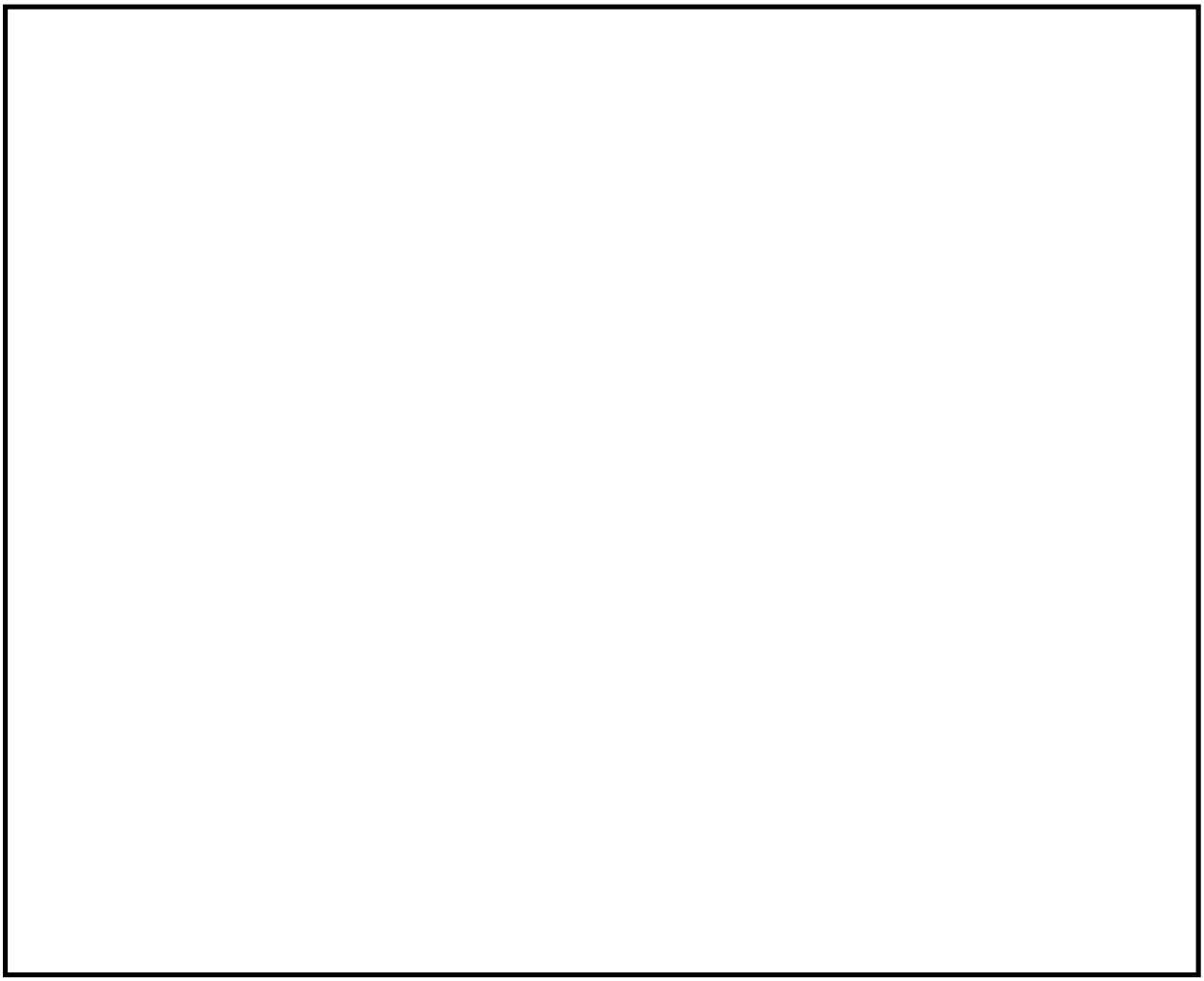
図 3.5-1　解析条件及び解析モデル



地表面／基盤層

図3.5-2　本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較

表3.5-1　本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較



b. 妥当性確認（Validation）

(a) 妥当性確認方法

水平成層の弾性モデル地盤を対象として，本解析コードによる解析解と類似解析コードであるSHAKE－91（前述）による結果が一致することを確認する。

(b) 解析条件

解析の諸条件については，地盤モデル諸元を表3，地盤のひずみ依存特性を図3.5-3及び図3.5-4，入力地震動を図3.5-5に示す。

なお，地盤モデルは，SHAKE－91の例題に添付されている等価線形モデルであり，長さはfeet，重さはpounds，重力加速度は32.2 feet/s^2であることから，表3.5-2にはMKS単位系に変換した数値も併記している。

また，入力地震動はSHAKE－91の例題に添付されている地震波を0.1 g（gは重力加速度9.80665 m/s^2）に規準化したものを用いる。

(c) 妥当性確認結果

本解析コードとSHAKE－91による解析結果のうち，地盤の最大加速度分布を図3.5-6，地盤の等価せん断ひずみ分布を図3.5-7，地表の加速度応答スペクトルを図3.5-8に示す。

SHAKE－91の加速度出力（重量加速度単位）を重量加速度g＝9.80665 m/s^2を用いてcm/s^2に変換して比較する。

本解析コードとSHAKE－91の解析結果は同一条件，同一手法による結果であり，両者は概ね一致していることから，本計算機コードが正しく評価していることが確認できる。

表3.5-2　地盤モデル諸元

区分	層厚 ft (m)	深度 ft (m)	湿潤単位体積重量 kpd／ft^3 (tonf/m^3)	せん断波速度 ft／s (m/s)	減衰定数
砂質土	5 (1.52402)	5 (1.52402)	0.125 (2.00226)	1000 (304.679)	0.05
	5 (1.52402)	10 (3.04804)	0.125 (2.00226)	900 (274.193)	0.05
	10 (3.04804)	20 (6.07608)	0.125 (2.00226)	900 (274.193)	0.05
	10 (3.04804)	30 (9.14412)	0.125 (2.00226)	950 (289.424)	0.05
粘性土	10 (3.04804)	40 (12.19216)	0.125 (2.00226)	1000 (304.679)	0.05
	10 (3.04804)	50 (15.24020)	0.125 (2.00226)	1000 (304.679)	0.05
	10 (3.04804)	60 (18.28824)	0.125 (2.00226)	1100 (335.139)	0.05
	10 (3.04804)	70 (21.33628)	0.125 (2.00226)	1100 (335.139)	0.05
砂質土	10 (3.04804)	80 (24.38432)	0.130 (2.08235)	1300 (396.083)	0.05
	10 (3.04804)	90 (27.43236)	0.130 (2.08235)	1300 (396.083)	0.05
	10 (3.04804)	100 (30.48040)	0.130 (2.08235)	1400 (426.549)	0.05
	10 (3.04804)	110 (33.52844)	0.130 (2.08235)	1400 (426.549)	0.05
	10 (3.04804)	120 (35.57648)	0.130 (2.08235)	1500 (457.022)	0.05
	10 (3.04804)	130 (39.62452)	0.130 (2.08235)	1500 (457.022)	0.05
	10 (3.04804)	140 (42.67256)	0.130 (2.08235)	1600 (487.476)	0.05
	10 (3.04804)	150 (45.72060)	0.130 (2.08235)	1800 (548.427)	0.05
基盤	—	—	0.140 (2.24253)	4000 (1218.712)	0.01

γ	粘性土G／G₀	γ	粘性土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	1.000	0.0010	0.0080
0.0030	0.981	0.0030	0.0140
0.0100	0.941	0.0100	0.0280
0.0300	0.847	0.0300	0.0510
0.1000	0.656	0.1000	0.0980
0.3000	0.438	0.3000	0.1550
1.0000	0.238	1.0000	0.2100
3.0000	0.144	3.1600	0.2500
10.0000	0.110	10.0000	0.2800

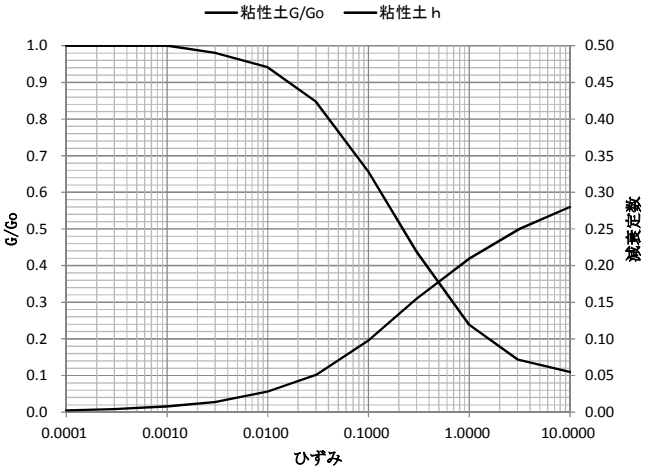


図3.5-3　粘性土の非線形特性

γ	砂質土G／G₀	γ	砂質土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	0.990	0.0010	0.0080
0.0030	0.960	0.0030	0.0140
0.0100	0.850	0.0100	0.0280
0.0300	0.640	0.0300	0.0510
0.1000	0.370	0.1000	0.0980
0.3000	0.180	0.3000	0.1550
1.0000	0.080	1.0000	0.2100
3.0000	0.050	3.0000	0.2500
10.0000	0.035	10.0000	0.2800

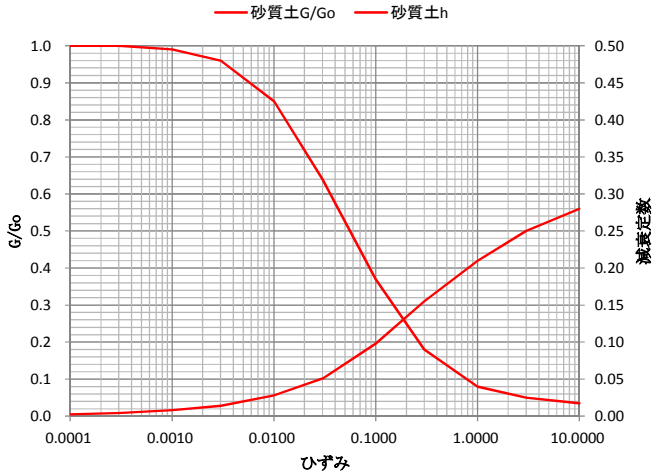


図3.5-4　砂質土の非線形特性

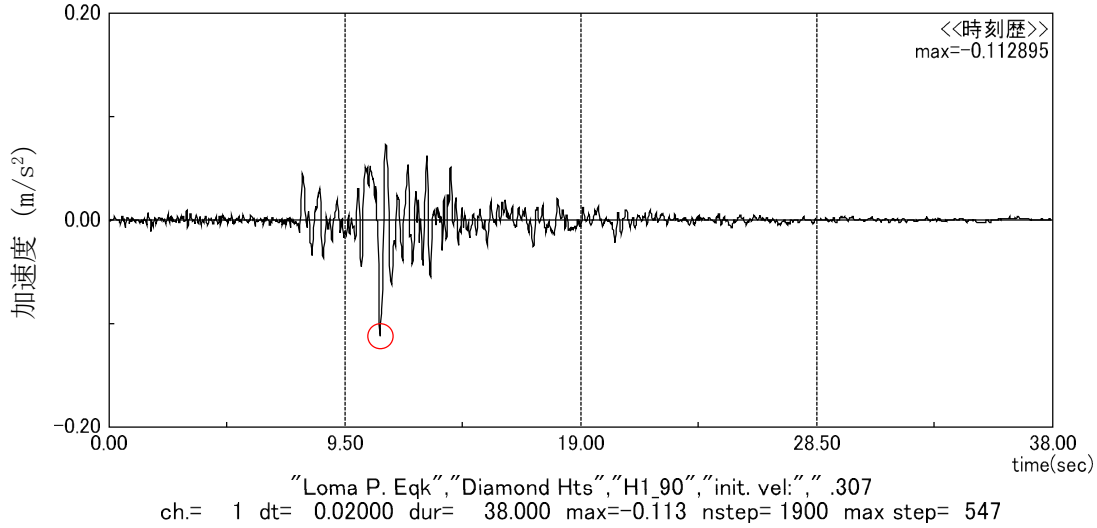


図3.5-5　入力地震動

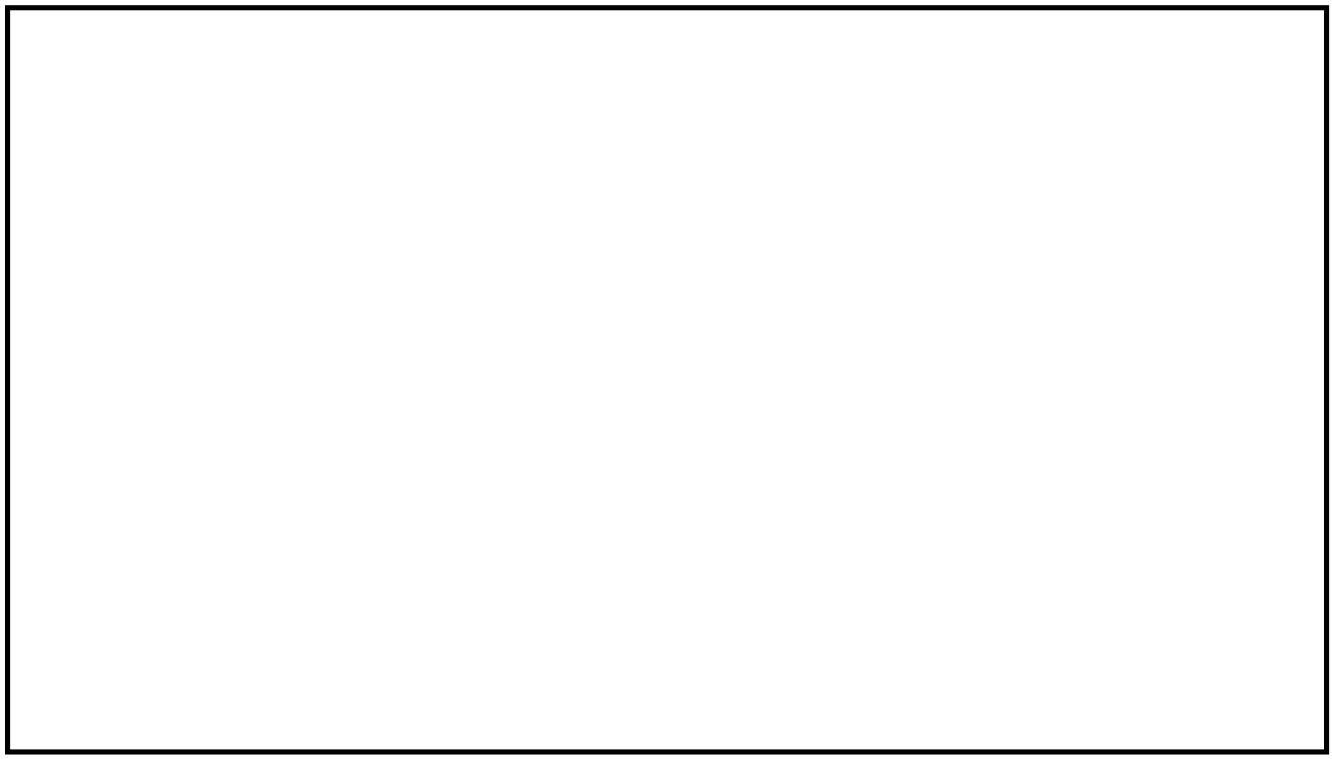


図3.5-6　地盤の最大加速度分布

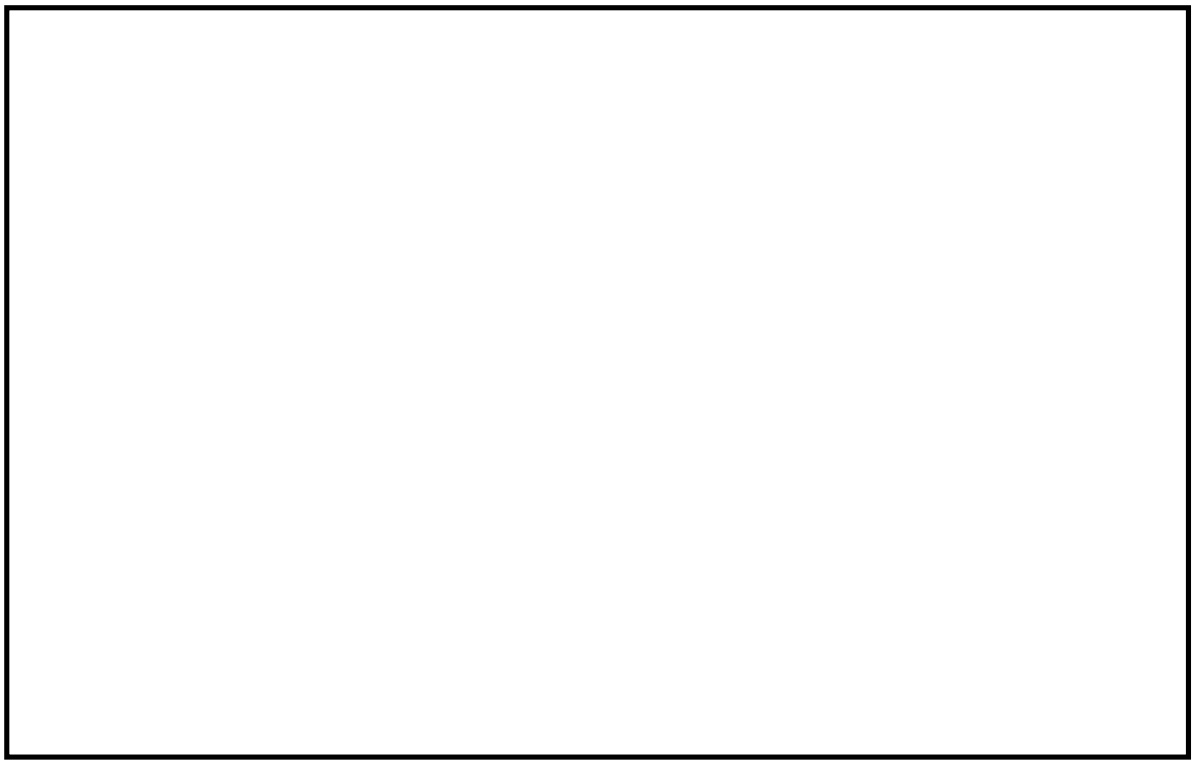


図3.5-7　地盤の等価せん断ひずみ

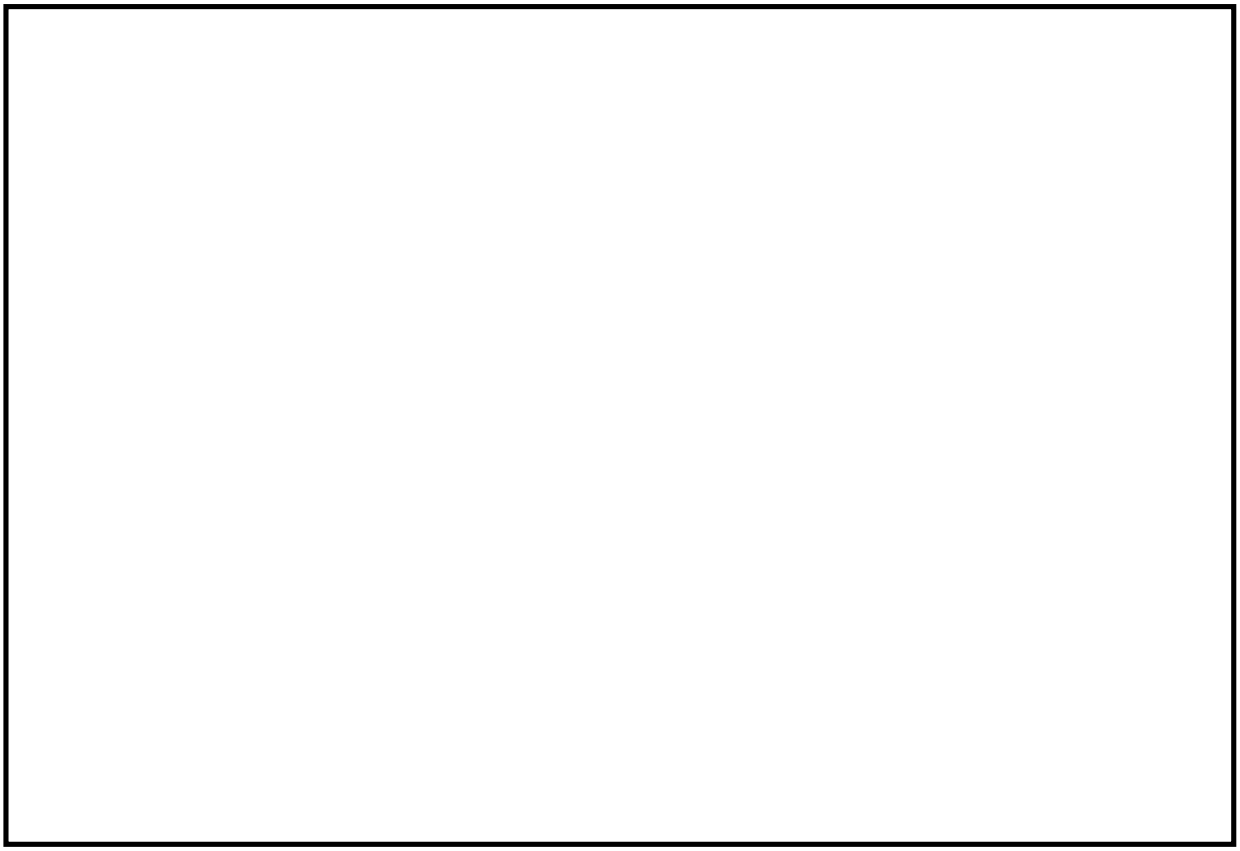


図3.5-81　地表の加速度応答スペクトル（ｈ＝0.05）

c. 評価結果

以下の評価結果から，本解析コードを対象とする検討に用いることは妥当である。

・2層地盤の弾性モデル地盤を対象とした本解析コードの解析解が公開文献による理論解と概ね一致していることを確認できた。
・水平成層モデル地盤を対象とした本解析の解析解が，複素応答と1次元重複反射理論に基づき構築された類似解析コードであるSHAKE－91の解析解と概ね一致することを確認できた。

付録37　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＴＬＰＩＬＥＳＰ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. TLPILESPの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 本解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……5
3.4 解析フローチャート……7
3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation……8

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）TLPILESPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-13	主排気筒の地震応答計算書	Ver.2.3
Ⅴ-2-2-15	非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書	Ver.2.3

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	TLPILESP
使用目的	群杭基礎の動的地盤ばねの算出
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1992年
使用したバージョン	Ver.2.3
計算機コードの概要	TLPILESP（以下「本解析コード」という。）は，鹿島建設が自社開発したもので，薄層要素法に基づく群杭基礎の動的地盤ばねを算出するプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	本解析コードは，主排気筒の地震応答解析における群杭地盤ばねの算出に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証は以下のとおり実施している。 ・公開文献との結果を比較している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認は以下のとおりである。 ・検証の体系と今回の工事認可申請で使用する体系が同等であることから，本解析コードの解析結果と検証済解析コードの解析解の一致をもって，解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の工事認可申請で行う地震応答解析並びに基礎版の応力解析に用いる地盤ばねの用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.　TLPILESPの解析手法について

3.1　一般事項

本解析コードは，鹿島建設により開発されたプログラムである。本解析コードは，水平方向に半無限に広がりのある成層地盤上の群杭基礎の動的地盤ばねを算出することが出来る。

また，本解析コードは，主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の動的地盤ばねの算定に使用している。

3.2　本解析コードの特徴

①半無限成層地盤の特性は，薄層要素法による加振解を用いており，成層地盤への適用が可能である。

②群杭効果を考慮した群杭基礎の動的地盤ばねが算定できる。また，2 本杭間の杭頭柔性の重ね合わせを用いているため，大規模群杭への適用が可能である。

③本解析コードは，薄層要素法を用いているため，地盤のモデル化において次の仮定を設けている。

・地盤各層は，弾性とし，水平方向に半無限に広がっているものとする。（水平成層地盤）

・分割した地盤各層内の変位分布は，線形と仮定する。

・地盤物性は，各層の単位体積重量，せん断波速度（又はせん断弾性係数），ポアソン比及び減衰定数を入力することで定義する。

④モデル下部境界は，半無限要素あるいはダッシュポット要素でモデル化する。

また,今回の解析における本解析コードのバージョン,件名,使用要素及び評価内容を表3.2-1に示す。

表3.2-1　使用件名

バージョン	件名	使用要素	評価内容
Ver.2.3	・主排気筒 ・非常用ガス処理系配管支持架構	－	地震応答解析モデルによる基礎底面地盤ばねの算定

3.3　解析手法

a.　基本方針

杭各部での変位を$\{u^p\}$，作用力を$\{f^p\}$として，杭－地盤連成系での力の釣り合いを（1）式のとおりに表す。

$$[K_{PS}]\{u^p\}=\{f^p\} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，剛性マトリクス$[K_{PS}]$は，図3.3-1及び（2）式に示すとおり，半無限成層地盤から得られる剛性マトリクス$[K_{SS}]$から，杭を土柱に置換した置換土柱の剛性マトリクス$[K_S]$を引く一方で，杭の剛性マトリクス$[K_P]$を足し合わせて算定する。

$$[K_{PS}]=[K_{SS}]-[K_S]+[K_P] \quad \cdots\cdots (2)$$

杭の剛性マトリクス$[K_P]$は，杭の曲げとせん断剛性をもとに定める。同様に，置換土柱の剛性マトリクス$[K_S]$も，土の物性値をもとに評価する。一方，$[K_{SS}]$は無限領域に対して評価する必要があり，以下のb.～d.に示す方法にて評価する。

地盤ばね算定にあたっては，杭頭位置に単位加振，すなわち，$\{f^p\}=\{e^{i\omega t},0,\cdots,0\}^T$ を与えた時の杭頭変位u^{top}を求め，その逆数を地盤ばねとする。

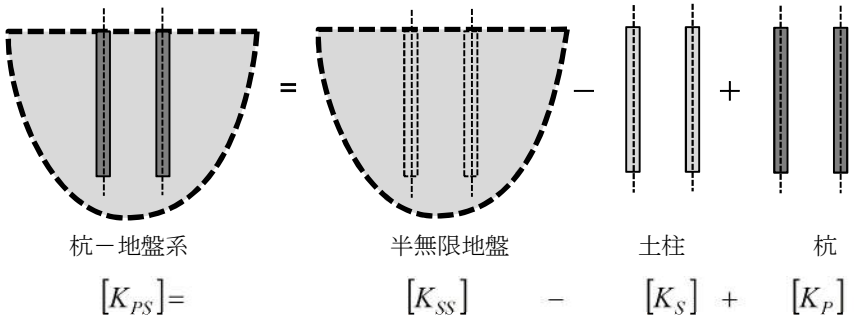


図 3.3-1　杭－地盤系の剛性マトリックス

b.　半無限成層地盤についての基礎方程式

上記の半無限成層地盤についての剛性$[K_{SS}]$を算定するにあたっては，まず，図3.3-2に示すように，半無限成層地盤の上層部は平行で複数の層からなると仮定する。また，各層においては，図3.3-3に示すとおりｚ軸を鉛直下方に向けて円筒座標(r,θ,z)を定め，円筒座標系での変位を(u_r,u_θ,u_z)と表わす。この時，水平方向に加振する場合，波数α，振動数ωとした波動方程式は（3）式となる。

$$\alpha^2(\lambda+2G)u_r-G\frac{d^2u_r}{dz^2}+\alpha(\lambda+G)\frac{du_z}{dz}-\omega^2\rho u_r=0$$

$$-\alpha(\lambda+G)\frac{du_r}{dz}+\alpha^2Gu_z-(\lambda+2G)\frac{d^2u_z}{dz^2}-\omega^2\rho u_z=0$$

$$\alpha^2Gu_\theta-G\frac{d^2u_\theta}{dz^2}-\omega^2\rho u_\theta=0 \quad \cdots\cdots (3)$$

ここで，λはヤング係数，G はせん断弾性係数，ρは質量密度である。

なお，鉛直方向に加振する場合にも類似の方程式が誘導されるが，省略する。

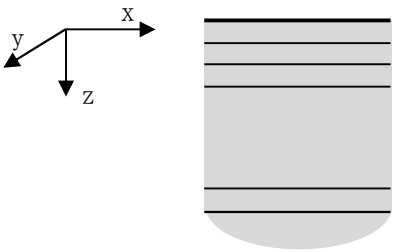


図 3.3-2　半無限成層地盤

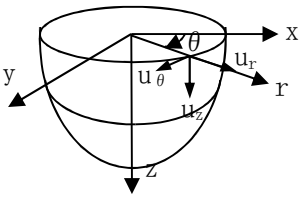


図 3.3-3　円筒座標系

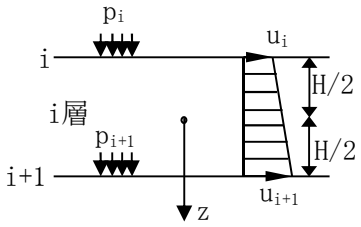


図 3.3-4　層要素

c.　半無限成層地盤の固有値解析

次に，ある層要素 i については図3.3-4に示すように層内の深さ方向の変位は線形に変化すると仮定する。この時，（3）式の偏微分方程式を離散化し，i 層の上面，下面の変位を要素に持つベクトル $\{u^i\}=\{u_i, u_{i+1}\}^T$ についての代数方程式（4）を誘導することができる。

$$\left(\alpha^2[A^i]+\alpha[B^i]+[G^i]-\omega^2[M^i]\right)\{u^i\}=\{f^i\} \qquad \cdots\cdots (4)$$

ここで，$\left(\alpha^2[A^i]+\alpha[B^i]+[G^i]-\omega^2[M^i]\right)$ は波数，振動数に依存した剛性マトリクス，$\{f^i\}=\{f_i, f_{i+1}\}^T$ は i 層の上面，下面での表面力を要素に持つベクトル。

上記で誘導した要素の代数方程式を複数の要素について組み合わせると，次のような層分割した半無限成層地盤についての変位ベクトル $\{u^s\}$ と表面力ベクトル $\{f^s\}$ の関係式を得る。

$$\left(\alpha^2[A]+\alpha[B]+[G]-\omega^2[M]\right)\{u^s\}=\{f^s\} \qquad \cdots\cdots (5)$$

ここで，$\left(\alpha^2[A]+\alpha[B]+[G]-\omega^2[M]\right)$ は波数，振動数に依存した，半無限地盤全体の剛性マトリクス。

$\{f^s\}=0$ として振動数ωごとに，波数αに対する複素固有値解析を実施し，固有値と固有ベクトルを計算する。地盤内の点を加振する解は，それらをもとに分解された固有モードの重ねあわせとして表す。

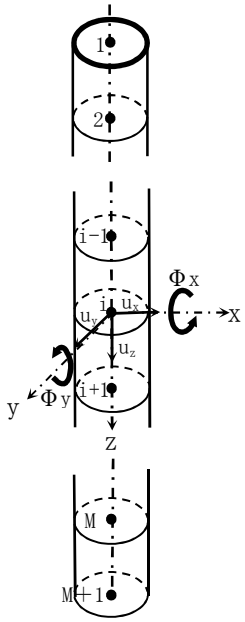


図 3.3-5　杭部分の離散化

d.　杭位置を加振した時の半無限地盤の剛性マトリクスの評価

円柱形の杭部分は図3.3-5に示すとおりに離散化する。杭位置の各部を加振した変位は，点加振時の変位を半径 r_0 の杭外周リング形状に沿って積分して算定する。また，杭が複数本ある場合を想定し，各杭位置を加振した時の各部の変位を算定し（6）式の通りに表す。また，それを（7）式のように変形し，剛性マトリクス $[K_{ss}]$ を定める。

$$\{u^p\}=[D_{ss}]\{f^p\} \qquad \cdots\cdots (6)$$

$$\{f^p\}=[D_{ss}]^{-1}\{u^p\}=[K_{ss}]\{u^p\} \qquad \cdots\cdots (7)$$

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

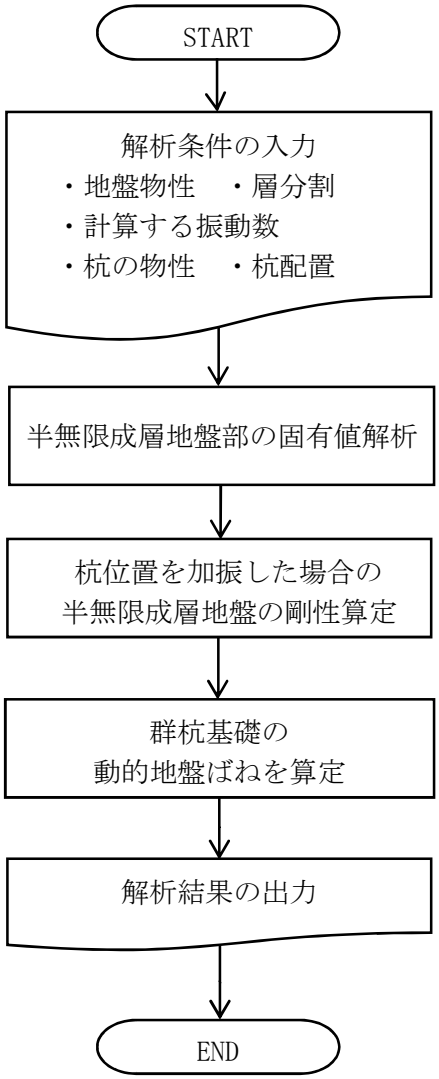


図3.4-1　解析フローチャート

3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

a. 検証（Verification）

本コードは，「3.3 解析手法」に示した一般性を有する理論モデルそのままに構築されたものである。また，今回の工事認可申請で使用する解析機能は「3.3 解析手法」に示す一般性のあるモデルに基づき構築されている。

以上を踏まえ，今回使用する解析機能に特化する形で，本コードと日本建築学会の公開文献*1の結果を比較することにより，本コードの当該解析機能の適切さを確認した。

検証は，均質地盤を対象として，本コードの解析解と公開文献*1で示されている解析解の比較を行う。検証を行う解析モデル図及び解析諸元を図3.5-1に示す。

単杭及び群杭基礎の動的地盤ばねを算定し公開文献の結果と合わせて図3.5-2に示す。図3.5-2より両者は概ね一致しており，本コードが杭基礎の動的地盤ばねを正しく評価していることが確認できる。

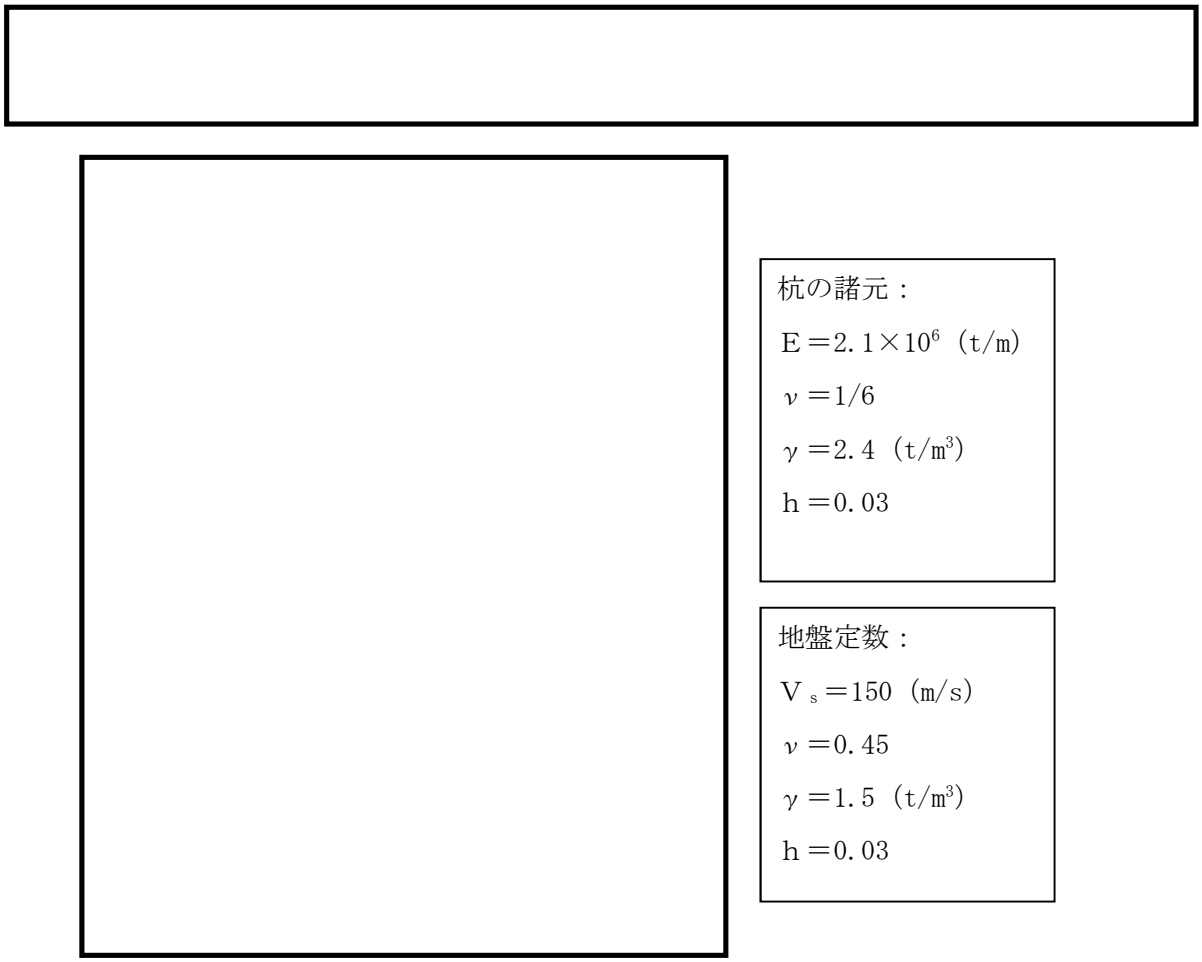


図3.5-1 解析モデル及び解析諸元

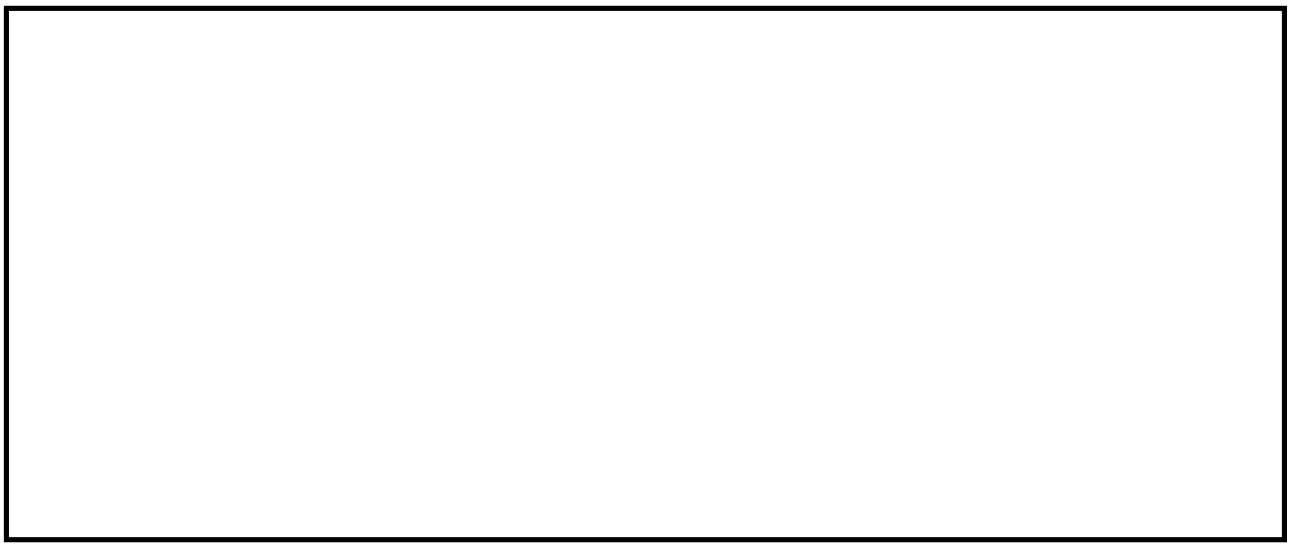


図3.5-2　公開文献*1の解析解とTLPILESPによる動的地盤ばねの比較

b.　妥当性確認（Validation）

本解析コードによる動的地盤ばね計算の機能について，弾性地盤の群杭基礎の動的地盤ばねの解析結果が公開文献による解析解と概ね一致していることを確認している。

また，上記に加えて，今回の工事認可申請で行う解析の用途及び適用範囲が，上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

c.　評価結果

本解析コードによる解析解と公開文献による解析結果を比較した結果，概ね一致していることが確認できたため，本解析に本解析コードを用いることは妥当である。

付録38　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＮＵＰＰ４

目次

1.　はじめに・・・1
1.1　使用状況一覧・・2
2.　解析コードの概要・・・3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）NUPP4について説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-13	主排気筒の地震応答計算書	Ver.1.4.10

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	NUPP4
使用目的	地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver.1.4.10
計算機コードの概要	・原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによる解析計算機コードである。 ・静荷重（節点荷重），スペクトルモーダル解析及び動荷重（節点加振力，地震入力）を扱うことができる。 ・地震応答解析は，線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか，線形解析を周波数領域で行うことが可能である。
検証（Verification）及び 妥当性確認（Validation）	ＮＵＰＰ4 Ｖｅｒ.1.4.10（以下「本解析コード」という。）は，主排気筒の地震応答解析に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの適用は，以下のとおり妥当である。 ・本解析コードの前バージョンであるＮＵＰＰ及びＮＵＰＰⅡ（以下「前バージョン」という。）は，日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数多くの工事計画認可申請に使用されており，十分な使用実績がある。 ・ＮＵＰＰⅡは，平成21 年3 月9 日付発室発第583 号にて届出た東海第二発電所 工事計画届書の耐震性に関する説明書において，主排気筒の地震応答解析に使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，既工事計画において使用されているものと異なるが，本解析コードは使用計算機（OS）の変更に伴うカスタマイズを施したものであり解析に係る部分は前バージョンから変更していないため，前バージョン同様，信頼性があると判断できる。

	・固有値解析，弾性地震応答解析については，既設工事認可申請時に確認されている(財)原子力工学試験センターの報告書*1による解析結果と概ね一致することを確認している。 ・弾塑性地震応答解析については，既設工事認可申請時に確認されている(財)原子力発電技術機構の報告書*2による解析結果と概ね一致することを確認している。 ・本工事計画における用途及び適用は範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 注記　＊1：質点系モデルの線形動的解析プログラムの作成成果報告書 昭和56 年7 月 (財)原子力工学試験センター 原子力安全解析所 ＊2：質点系モデル解析コードSANLUMの保守に関する報告書 平成10 年3 月 (財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所

付録39　計算機プログラム（解析コード）の概要・ｋ－ＳＨＡＫＥ

目次

1.　はじめに…………………………………………………………………… 1
1.1　使用状況一覧………………………………………………………………… 2
2.　解析コードの概要……………………………………………………………… 3

1. はじめに

本資料は，添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）k-SHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付資料を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-2-6	取水構造物の地震応答計算書	Ver.7.0

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	k-SHAKE
使用目的	地震応答解析（入力地震動の算定）
開発機関	株式会社構造計画研究所
開発時期	1997年
使用したバージョン	Ver.7.0
計算機コードの概要	k-SHAKEは，重複反射理論に基づく地盤の１次元地震応答解析を行う解析コードである。成層地盤に対し，地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いた等価線形法により考慮することができる。 k-SHAKEの主な特徴として，以下の①～③を挙げることができる。 ① １次元重複反射理論に基づくプログラムである。 ② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いた等価線形法により考慮する。 ③ 鉛直動は，Ｓ波速度V_sをＰ波速度V_pとして定義することで対応する。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる二層のモデル地盤に対する地震応答解析結果と，１次元重複反射理論に基づく理論解が一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・原子力産業界において，原子力発電所の地盤・斜面評価をはじめとする多数の解析に本コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・本工事計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において，本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。 ・本工事計画における地震応答解析を実施する際の入力地震動算定の使用用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。