

V-3-1-1 強度計算の基本方針の概要

目次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「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六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条に規定されている設計基準対象施設または第55条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器、管、ポンプ、弁若しくはこれらの支持構造物又は設計基準対象施設に属する炉心支持構造物の材料及び構造について、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

なお、設計基準対象施設のうち材料及び構造の要求事項に変更がなく、改造を実施しない機器については、今回の申請において変更は行わない。

今回、新たに材料及び構造の要求が追加又は変更となる機器であって、クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲、「残留熱除去設備」及び「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲、クラス2機器のうち「原子炉格納容器調気設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲、クラス3機器のうち「使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備」及び「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」、クラス4機器のうち「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲、重大事故等クラス2機器（支持構造物含む）、重大事故等クラス3機器について、強度計算及び強度評価の基本方針、計算方法について以下の資料により構成する。

また、クラス1管を支持する支持構造物及び重大事故等クラス2機器を支持する支持構造物であって、その損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス2支持構造物の強度計算については、計算方法が耐震評価と同じであり、地震荷重が支配的であることから、添付書類「V-2 耐震性に関する説明書」にて説明する。

上述の機器と評価条件が異なる自然現象等特殊な荷重を考慮した評価が必要な設備のうち竜巻の荷重を考慮した評価を別添1に、火山の影響による荷重を考慮した評価を別添2に、津波又は溢水の荷重を考慮した評価を別添3に示す。

技術基準規則の機器区分に該当しない機器のうち、施設した内燃機関（燃料系含む）の評価を別添4に、非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の評価を別添5に、重大事故等対処設備としての炉心支持構造物の評価を別添6に、及び重大事故等対処設備としての原子炉压力容器内部構造物の評価を別添7示す。

V-3-1 強度計算の基本方針

V-3-1-1 強度計算の基本方針の概要（本紙）

V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針

V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針

V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針

V-3-1-5 クラス4機器の強度計算の基本方針

V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針

V-3-1-7 重大事故等クラス3機器の強度評価の基本方針

V-3-2 強度計算方法

V-3-2-1 強度計算方法の概要

V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法

V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法

V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法

V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法

V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法

V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法

V-3-2-8 クラス4管の強度計算方法

V-3-2-9 重大事故等クラス2容器の強度計算方法

V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法

V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法

V-3-2-12 重大事故等クラス2弁の強度計算方法

V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法

V-3-2-14 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

V-3-2-15 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

V-3-1-2 クラス 1 機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 1 機器の強度計算の基本方針	2
2.1 クラス 1 機器の構造及び強度	3

1. 概要

クラス1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六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第1号及び第8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、原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲、「残留熱除去設備」及び「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲について、クラス1機器となる管及び弁が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス1機器の強度計算の基本方針

クラス1機器の材料及び構造については、技術基準規則第17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）第17条10において「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。））＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1－2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1－2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス1機器の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和45年9月3日 通商産業省告示第501号（以下「昭和45年告示第501号」という。））の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（平成6年7月21日 通商産業省告示第501号（以下「平成6年告示第501号」という。））又は改造に伴い強度評価が必要な機器の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。また、施設時に強度に対する要求がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

クラス1機器の材料については、設計・建設規格又は告示第501号に規定されている材料を使用する設計とする。

2.1 クラス1機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲については、施設時の適用規格が昭和45年告示第501号又は平成6年告示第501号である。

施設時の適用規格が昭和45年告示第501号のものについては設計・建設規格との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。ただし、施設時の適用規格が昭和45年告示第501号のものであって、昭和45年告示に規定がないものについては、設計・建設規格に基づき評価を実施する。また、施設時の適用規格が平成6年告示第501号のものについては、公式及び解析による評価において設計・建設規格と差異がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

クラス1機器のうち「残留熱除去設備」及び「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」の改造を実施する機器については、設計・建設規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、施設時の適用規格が昭和45年告示第501号である原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲の機器については、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

「残留熱除去設備」及び「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備」の改造を実施する機器については、設計・建設規格による評価を実施するため適用規格の選定は実施しない。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の2つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値のSI単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上述の2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は昭和45年告示第501号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断でき

ない場合は設計・建設規格及び昭和45年告示第501号の両規格により評価を実施する。
両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

施設時の適用規格が昭和45年告示第501号であり、解析による応力評価の規定がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が昭和45年告示第501号である場合の設計・建設規格及び昭和45年告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。

a. 評価式

(a) 管*1

評価項目	設計・建設規格	昭和45年告示第501号	適用する規格	備考
厚さ計算 (直管)	[PPB-3411] $t = \frac{P D_o}{2 \cdot S_m + 0.8 \cdot P}$	[第50条第1項 (S45年)] $t = \frac{P D_o}{2 \cdot S_\eta + 0.8 \cdot P}$	昭和45年告示 第501号	*2
穴補強の 要否	[PPB-3422] 穴は、PPB-3424に従って補強しなければならない。ただし、次の(1)から(3)のいずれかの場合は、この限りではない。 (1) 穴の周辺部に対してPVB-3100に準じて応力解析及び疲労解析を行い、これに適合している場合 (2) 穴の直径は、次の計算式により計算した値を超えないこと。 $d = 0.2 \cdot \sqrt{R \cdot T_s}$ (3) 平板に穴をあける場合	[第52条第1項 (第31条第1項準用) (S45年)] 穴を補強すること。ただし、次に掲げる穴の容器の胴に設ける場合は、この限りではない。 イ 61 mm以下で、胴の内径の1/4以下の穴 ロ イに掲げるものを除き、穴の径が200 mm以下で、かつ次の図により求めたdの値以下の穴 $d = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_o T_s (1-K)}$	設計・建設規格 及び 昭和45年告示第 501号	*3

注記 *1: 評価式に記載の記号は、添付書類「V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法」の記号の定義による。

*2: クラス1機器の設計応力強さ S_m は、 $\min(1/3 S_u, 2/3 S_y)$ に対し、許容引張応力 S は $\min(1/4 S_u, 5/8 S_y)$ であることから $S_m > S$ であり、かつ継手効率 η は1以下であるため、厚さ計算について安全側の規格は昭和45年告示第501号となる。

*3: 安全側の規格が容易に判断できないことから、設計・建設規格及び昭和45年告示第501号の両規格にて評価を実施する。

b. 許容値

許容値については、代表例により規格の相違を記載する。

(a) 管*

機器名	材料	最高使用温度 (℃)	設計・建設規格 (MPa)	昭和45年 告示第 5 0 1 号 (MPa)	適用する規格
残留熱除去設備 配管	SUS304TP	302	118	99	昭和45年告示第 5 0 1 号

注記 *：表中の設計・建設規格の値は設計応力強さ S_m 値，告示第 5 0 1 号は許容引張応力 S 値を示す。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が昭和45年告示第 5 0 1 号である場合の設計・建設規格及び昭和45年告示第 5 0 1 号の比較において，確認された安全側の規格の適用により評価を実施し，強度計算書に評価結果を記載する。なお，設計・建設規格及び昭和45年告示第 5 0 1 号の両規格による評価を実施したものにおいては，両規格による評価結果を計算書に記載する。

V-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要 1
2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針 1

1. 概要

クラス 2 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六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第2号及び第9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していることが要求されている。

本資料は、クラス 2 機器のうち原子炉格納容器調気設備の改造に伴い、管が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針

クラス 2 機器の材料及び構造については、技術基準規則第17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）第17条10において「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。）」＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1－2005/2007及び J S M E S N C 1－2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 2 機器のうち原子炉格納容器調気設備の改造を実施する機器の評価は、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。）」＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007による評価を実施する。

なお、クラス 2 機器を同位クラスである重大事故等クラス 2 機器として兼用し、重大事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され、重大事故等時における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、設計基準の評価結果の記載は省略する。

V-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	クラス 3 機器の強度計算の基本方針	2
2.1	原水タンク及びクラス 3 機器（消火設備用ポンベ、消火器及び火災防護設備用水源タンクを除く）の構造及び強度	4
2.2	クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ、消火器及び火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の構造及び強度	4

1. 概要

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六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第3号及び第10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，「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」のうちクラス 3 機器となる容器及び管が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 3 機器の強度計算の基本方針

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17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）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第17条10において「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。））＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1－2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1－2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、原水タンク及びクラス 3 機器（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクを除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とし、施設時の適用規格が設計・建設規格のものである為、設計・建設規格による評価を実施する。

また、技術基準規則の解釈の冒頭において「技術基準規則に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではなく、技術基準規則に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、技術基準規則に適合するものと判断する。」ことが規定されている。

クラス 3 容器のうち火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）については、鋼製石油貯槽と同じ全溶接製縦円筒型貯槽であることから鋼製石油貯槽の構造の規定である JIS B 8501（1995）「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」（以下「JIS B 8501」という。）の規定に従って設計しているため、クラス 3 容器の材料、構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で、施設時の規格である JIS B 8501に基づき評価を実施する。

クラス 3 容器のうち完成品としてそれぞれの高圧ガス保安法及び消防法の規制を受ける消火設備用ポンペ及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に関する審査基準（原規技発第1306195号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））」に基づき設定する火災区域又は火災区画に配備する消火器（以下「消火器」という。）については、技術基準規則第17条第1項第3号及び第10号におけるクラス 3 容器の材料、構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で、高圧ガス保安法及び消防法に適合したものを使用する設計とする。

原水タンク及びクラス 3 機器（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクを除く）の材料については、設計・建設規格に規定されている材料を使用する設計とする。

また、消火設備用ポンベ及び消火器の材料については、技術基準規則第17条におけるクラス 3 容器の材料、構造及び強度の規定と高圧ガス保安法又は消防法の規定の比較評価において適切であることを確認する。

火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の材料については、JIS B 8501に基づき適用された材料が技術基準規則第17条の要求を満たすものとして規定されている材料であることを確認し、クラス 3 容器の構造及び強度の規定とJIS B 8501の規定の比較評価において適切であることを確認する。

2.1 原水タンク及びクラス3機器（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクを除く）の構造及び強度

原水タンク及びクラス3機器（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクを除く）については、技術基準規則施工前に着手又は完成した設備を含み、施設時の適用規格は設計・建設規格である。よって、設計・建設規格による評価を実施する。

2.2 クラス3機器のうち消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の構造及び強度

クラス3機器のうち消火設備用ポンペ、消火器については設計に適用した高圧ガス保安法及び消防法の規定が技術基準規則第17条に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があることを確認する。

また、火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）については設計に適用したJIS B 8501が、火災防護設備用水源タンクの使用条件下において技術基準規則第17条に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があることを確認する。

(1) 技術基準規則第17条第1項第3号、第10号及び第15号の要求事項

a. 材料

- ・クラス3容器に使用する材料が、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学成分を有すること。
- ・工学的安全施設に属するクラス3容器に使用する材料にあつては、当該機器の最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験又はその他の評価方法により確認したものであること。（火災防護設備は工学的安全施設に該当しないため対象外）

b. 構造及び強度

- ・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。
- ・クラス3容器に属する伸縮継手にあつては、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊を生じないこと。（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクに対して伸縮継手を使用していないため対象外）
- ・設計上定める条件において、座屈が生じないこと。（消火設備用ポンペ、消火器及び火災防護設備用水源タンクの外面には圧力が加わらないことから対象外）

c. 主要な耐圧部の溶接部

主要な耐圧部の溶接部について、不連続で特異な形状でないものであること等が規定されている。（主要な耐圧部の溶接部は、機器のうち容器及び管を対象とし、施設の安全上の重要度、圧力、口径等から技術基準規則の解釈に定められており、火災防護設備については、外形150mm以上の管が「主要な耐圧部の溶接部」に該当し、容器については対象外）

(2) 技術基準規則第17条と高压ガス保安法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第17条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有していることが要求されている。

一方、高压ガス保安法では、容器について、充てんする高压ガスの種類、充てん圧力、使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造することが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

（圧力）

技術基準規則第17条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、高压ガス保安法における、ポンベ内部に受ける最高の圧力である「充てん圧力」と同等である。

（温度）

技術基準規則第17条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、高压ガス保安法における「使用温度」として規定している温度の上限値と同等である。

（荷重）

技術基準規則第17条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス3容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火設備用ポンベに対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、高压ガス保安法も充てん圧力を規定していることから、想定する荷重は同等である。

（その他の使用条件）

技術基準規則第17条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、高圧ガス保安法では、ポンベの材料選定として、充てんする高圧ガスの種類等、使用される環境に応じた適切な材料を選定するよう規定していることから、技術基準規則第17条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第17条では、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が要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、「一般継目なし容器（ハロンポンベ及び二酸化炭素ポンベ）の必要肉厚を材料の許容応力より算出すること」が要求されており、材料の降伏点を超えることのないよう許容応力を規定していることから、要求する保安水準は確保されている。

上述のa. 項及びb. 項より、技術基準規則第17条と高圧ガス保安法の材料、構造及び強度の規定の水準は同等であることから、火災防護設備として使用する消火設備用ポンベについては、高圧ガス保安法の材料、構造及び強度に関する要求に適合することにより、技術基準規則第17条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから、高圧ガス保安法に適合したものを使用する設計とする。

(3) 技術基準規則第17条と消防法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第17条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されている。

一方、消防法では、容器について耐食性及び耐久性を有する材料を用いた堅牢な材料を使用すること並びに腐食試験等においてさび等の異常を生じないことが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

(圧力)

技術基準規則第17条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、消防法における消火器内部に受ける最高の圧力である「調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值」と同等である。

(温度)

技術基準規則第17条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、消防法における「使用温度範囲」として規定している最高温度と同等である。

(荷重)

技術基準規則第17条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス3容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火器に対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、消防法も使用圧力等を規定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第17条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、消防法では、消火器の材料選定として、充てんした消火剤に接触する部分はその消火剤に侵されない材料で造ることが規定されており、技術基準規則第17条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第17条では、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が要求されている。

一方、消防法では、使用材料に応じた消火器の本体容器の板厚を規定しており、消火器内部に受ける最高の圧力（調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值）を超える圧

力（設計上定める最高の圧力の1.3～2.0倍）で耐圧試験を実施し，強度上支障のある永久ひずみ（円筒部分にあっては，円周長の0.5%以上の永久ひずみ）を生じないことが要求されている。これは，設計上定める条件に対して十分な裕度をもって，全体的な変形を弾性域に抑えることができる水準であることから，要求する保安水準は確保されている。

上述のa. 項及びb. 項より，技術基準規則第17条と消防法の材料，構造及び強度の規定の水準は同等であることから，火災防護設備として使用する消火器については，消防法の材料，構造及び強度に関する要求に適合することにより，技術基準規則第17条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから，消防法に適合したものを使用する設計とする。

(4) 火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の設計に適用したJIS B 8501の技術基準規則第17条クラス3容器の規定への適合性

a. 材料

技術基準規則第17条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されており、適合する材料として、解釈10に記載のある設計・建設規格において使用可能と規定されている材料が該当する。なお、技術基準規則第17条では工学的安全施設に属する機器以外のクラス3機器は、破壊じん性及び非破壊試験については要求がない。

JIS B 8501に基づき設計された火災防護設備用水源タンクは、設計・建設規格クラス3容器の規定において使用可能とされている材料で製造されており、また、工学的安全施設に属する機器以外のクラス3機器である。

よって、火災防護設備用水源タンクで使用されている材料は技術基準規則第17条クラス3機器における材料の要求を満足している。

b. 構造及び強度

技術基準規則第17条において、構造強度の要求は、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が要求されており、解釈6において『「全体的な変形を弾性域に抑える」とは、構造上の全体的な変形を弾性域に抑えることに加え、材料の引張強さに対しても十分な構造強度を有することをいう。』とされている。

以下のとおり、火災防護設備用水源タンクの設計に適用したJIS B 8501の規定は、技術基準規則第17条クラス3容器の構造及び強度の規定を満足している。

（構造上の全体的な変形を弾性域に抑えること）

開放タンクの規格であるJIS B 8501では、設計降伏点（ S_y ）に対して60%に抑えることが規定されており、設計条件に対して構造上の全体的な変形を弾性域に抑えることができる。

（引張強さに対して十分な構造強度を有すること）

JIS B 8501には設計引張強さ（ S_u ）を基準とした許容値の設定がないため、許容値として設定されている設計降伏点（ S_y ）を基準に引張強さの確認を検討する。

火災防護設備用水源タンクの胴の材料は軟鋼材のSS400であり、（ S_y ）は設計引張強さ（ S_u ）に対して60%程度*1であることから

$$S_y = 0.6 \cdot S_u \quad \dots (2.1)$$

JIS B 8501で水源タンクに要求されている許容値（以下「 S_j 」とする。）は設計降伏点（ S_y ）に対して60%に抑える規定により

$$S_j = 0.6 \cdot S_y \quad \dots (2.2)$$

式 (2.1) 及び (2.2) より

$$S_j = 0.6 \cdot (0.6 \cdot S_u) = 0.36 \cdot S_u$$

となり，設計引張強さに対するJIS B 8501の許容値（ S_j ）は（ S_u ）に対しても40%程度に抑えられる。よって（ S_j ）を許容値としているJIS B 8501の規定については引張強さに対しても十分な構造強度を有していると言える。

また，開放タンクは圧力容器に比べ，その構造から急激な圧力上昇が発生する可能性はなく，水頭以上の圧力が加わることがないことから，高い圧力による破裂危険性はない。

注記 *1： JISで規定される（ S_u ）（ S_y ）に対して，設計・建設規格で規定される（ S_u ）（ S_y ）の値は，40℃以下のSS400で同じ値

上述のa. 項及びb. 項より，火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の設計に適用したJIS B 8501は，設計条件において構造上の全体的な変形を弾性域に抑えることができ，技術基準規則のクラス3容器の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから，火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）については，技術基準規則第17条クラス3容器の要求を満足している。

V-3-1-5 クラス4機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要 1
2. クラス 4 機器の強度計算の基本方針 1

1. 概要

クラス4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六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第4号及び第11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していることが要求されている。

本資料は、「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い、クラス4機器のうち管が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス4機器の強度計算の基本方針

クラス4機器の材料及び構造については、技術基準規則第17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）第17条10において「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。）」＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1－2005/2007及び J S M E S N C 1－2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、今回新たに改造を実施するクラス4機器の評価は、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。）」＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007による評価を実施する。

V-3-1-6 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物
の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針	2
2.1 重大事故等クラス 2 機器（クラス 1 機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等 クラス 2 支持構造物（クラス 1 支持構造物を除く）の構造及び強度	4
2.1.1 クラス 2 機器の規定に基づく評価	7
2.1.2 クラス 2 機器の規定によらない場合の評価	12
2.2 重大事故等クラス 2 機器であってクラス 1 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物であ ってクラス 1 支持構造物の構造及び強度	23
2.3 重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器の構造及び強度	24
2.4 設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号における材料の規定によらない場合の評価	25

1. 概要

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物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六号）（以下「技術基準規則」という。）第55条第1項第2号及び第5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2機器である容器、管、ポンプ及び弁並びに重大事故等クラス2支持構造物であって、重大事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがある支持構造物（以下「重大事故等クラス2支持構造物」という。）が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物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）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い、設計基準対象施設の規定を準用する。

また、技術基準規則の解釈第17条10において「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。）」＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1－2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1－2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物を除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和45年9月3日 通商産業省告示第501号又は昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。施設時の適用規格が設計・建設規格の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。

施設された機器が告示第501号のうち昭和45年告示第501号の場合は、ポンプ、弁および支持構造物の規定がないため、重大事故等クラス2機器のうちポンプ及び弁並びに重大事故等クラス2支持構造物については、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

クラス2機器（支持構造物含む）を同位クラスである重大事故等クラス2機器（支持構造物含む）として兼用し、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、クラス2機器の既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の評価は、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、既工認における評価結果がある場合は、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。また、上述の評価条件がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の評価は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって非常用炉心冷却設備に係るろ過装置（ストレーナ）の評価は、技術基準規則の解釈第17条4に記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））の評価方針を考慮し、重大事故等クラス2機器としての評価を実施する。

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料については、技術基準規則第55条において材料は「使用前に適用されるものとする。」と規定されていることから、技術基準規則施工前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合は、使用条件に対して適切であることを確認した材料を使用する設計とする。

2.1 重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物を除く）の構造及び強度

重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物を除く）の評価における適用規格、評価方法の考え方を図2-1に示す。重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物において、施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物で、クラスアップ又は条件アップ*¹されておらず、既工認における評価結果がある場合は、その評価結果の確認による評価を実施する。（評価区分①）

なお、クラスアップされる機器であっても既に施設されている機器であって、既工認において検定水圧試験を用いた評価結果がある場合は、既工認での試験条件とクラス2機器の規定で要求される試験条件が同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器及び支持構造物については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分②）

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物でクラスアップ又は条件アップされており、施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支持構造物については、設計・建設規格又は告示第501号による評価を実施する。また、クラスアップ又は条件アップされておらず、既工認における評価結果がない場合で、施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支持構造物については、同じく設計・建設規格又は告示第501号による評価を実施する。（評価区分③）

上述する機器又は支持構造物以外については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分④）

設計・建設規格又は告示第501号に評価式*²が規定されていない場合、又は、より精緻な評価が必要な場合は、同等性を示す評価方法により十分な強度を有することを確認する。

技術基準規則において、重大事故等クラス2機器の強度評価については、延性破断、疲労破壊（各機器に属する伸縮継手及び伸縮継手を除く管に限る。）及び座屈（容器及び管に限る。）による破壊の防止が求められており、重大事故等クラス2支持構造物の強度評価については、延性破断及び座屈による破壊の防止が求められている。

ただし、重大事故等クラス2管の疲労評価については、重大事故等時は運転状態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は発生しないこと、また、設計基準対象施設と機能を兼用している設備については、設計基準対象施設に対する要求事項に基づき疲労評価を実施していることから、評価を省略する。

注記 *1：クラスアップする機器とは，クラス 1 機器又はクラス 2 機器に属さない機器のうち重大事故等クラス 2 機器となるものをいう。条件アップする機器とは，設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されないものをいう。

*2：評価式とは設計・建設規格にて評価する場合は，クラス 2 機器の評価式，告示第 5 0 1 号にて評価する場合は，第 3 種容器，第 4 種容器及び第 2 種管の評価式を示す。

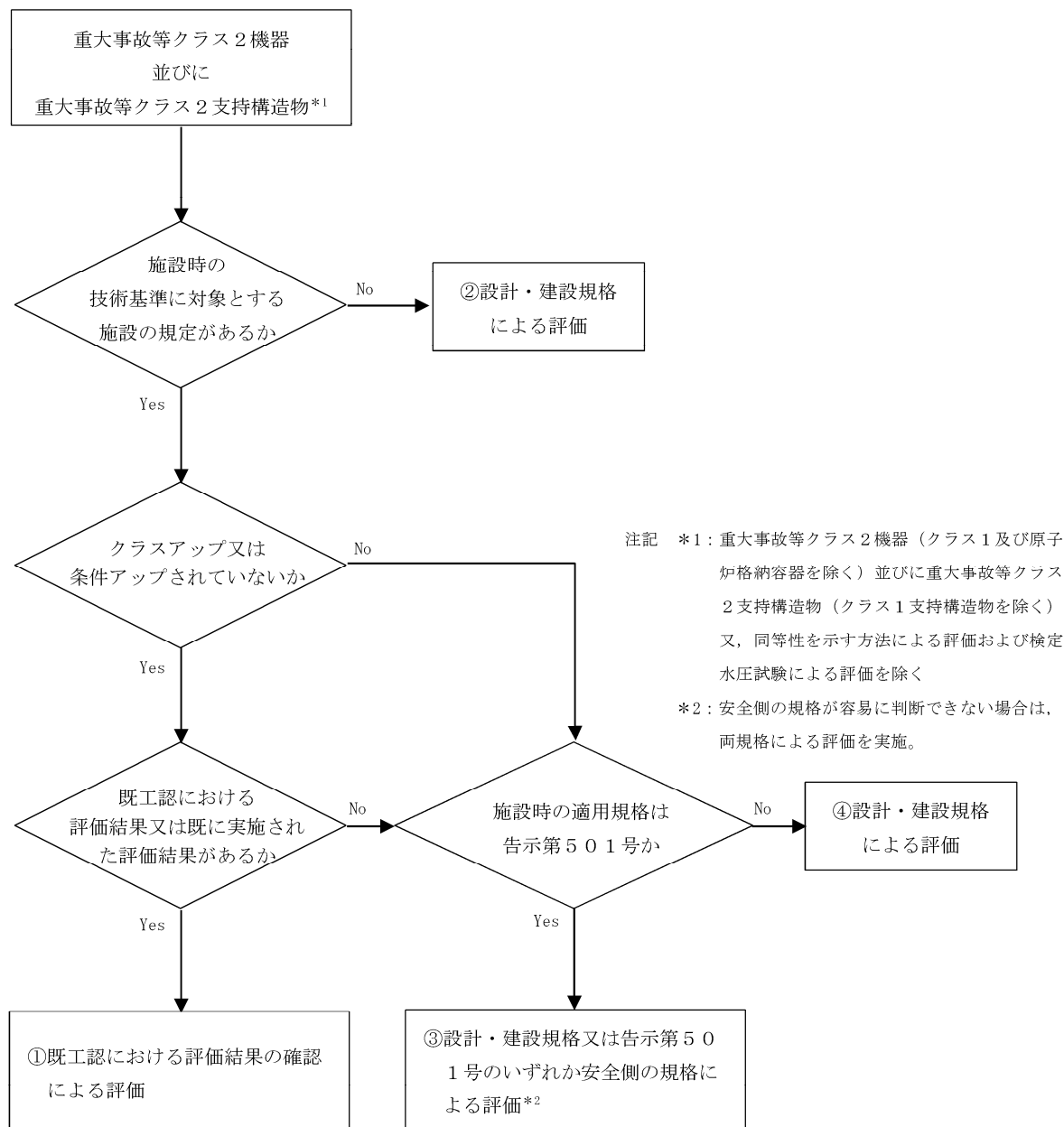


図2-1 評価区分の整理フロー

2.1.1 クラス2機器の規定に基づく評価

(1) 強度計算における適用規格の選定

重大事故等クラス2機器のうち図2-1において、「③設計・建設規格又は告示第501号のいずれか安全側の規格による評価」に区分された機器の適用規格について説明する。当該機器の施設時の適用規格は告示第501号であるため、設計・建設規格と告示第501号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の2つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値のSI単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上記2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

施設時の適用規格が昭和45年告示第501号である場合は、解析による応力評価の規定がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。また、施設時の適用規格が昭和55年告示第501号である場合は、クラス2機器の規定に基づく評価対象の機器においてクラスアップ又は条件アップされる機器がないため、前述した通り既工認の評価結果の確認による評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。なお、本項に記載の告示第501号の評価式は、両規格の比較を行うため、SI単位系に換算したものをを用いる。

a. 評価式

(a) 容器*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
平板の板厚計算 における係数	[PVC-3310] (取付け方法a) $K=0.17$ (取付け方法m) $K=0.20+\frac{1.0Fh_g}{Wd}$ (参考) $t=d\sqrt{\frac{KP}{S}}$	[第33条第1項 (S45年)] (取付け方法a) $K=0.20$ (取付け方法 θ) $K=0.30+\frac{1.4Fh_g}{Wd}$ (参考) $t=d\sqrt{\frac{KP}{S}}$	昭和45年 告示第501号	*2
胴、管台の 厚さ計算 (開放タンク)	[PVC-3920] [PVC-3980] $t=\frac{D_i H \rho}{0.204 S \eta}$	[第43条第2項 (S45年)] [第45条第1項 (S45年)] $t=\frac{D_i (H-0.3) \rho}{0.204 S \eta}$	設計・建設規格	*3
地面、基礎等に直接接 触するものの制限厚さ (開放タンク)	[PVC-3970] $t=6$	[第44条第2項 (S45年)] $t=3$	設計・建設規格	*3
継手効率	[PVC-3130] η : 継手効率 (参考) $t=\frac{PD_i}{2S\eta-1.2P}$	[第31条第3項 (S45年)] η : 継手効率 (参考) $t=\frac{PD_i}{2S\eta-1.2P}$	昭和45年 告示第501号 又は 設計・建設規格	*4

注記 *1 : 評価式に記載の記号は、添付書類「V-3-2-9 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」の記号の定義による

*2 : t (必要肉厚) は告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第501号の評価式を適用する。

*3 : t (必要肉厚) は設計・建設規格の方が大きくなり安全側が明確であるため、設計・建設規格の評価式を適用する。

*4 : S および η の値により安全側の規格が変わるため、設計・建設規格と告示第501号で S 、 η の値を比較し小さい方の値を選定する。

なお、 S の値については事項「b. 許容値」にて記載する。

(b) 管*1

評価項目	設計建設・規格	告示第501号	適用する規格	備考
厚さ計算 (直管)	[PPC-3411] $t = \frac{PD_o}{2 \cdot S_\eta + 0.8 \cdot P}$ S : 許容引張応力 η : 継手効率	[第50条第1項 (S45年)] $t = \frac{PD_o}{2 \cdot S_\eta + 0.8 \cdot P}$ S : 許容引張応力 η : 継手効率	設計・建設規格 又は 昭和45年告示第 501号	*2
厚さ計算 (平板)	[PPC-3413] $t = d \sqrt{\frac{KP}{S}}$ K : 係数 (取付方法 (m)) $K = 0.20 + \frac{1.0 \cdot F h g}{W d}$	[第58条第3項 (S55年)] $t = d \sqrt{\frac{KP}{S}}$ K : 係数 (取付方法 (k)) $K = 0.30 + \frac{1.4 \cdot F h g}{W d}$	昭和55年告示第 501号	*3
補強に必要な 面積	[PPC-3424] $A_r = 1.07 \cdot d \cdot t_{r3} (2 - \sin \theta)$ $t_{r3} : \text{主管の計算上必要厚さ}$ $t_{r3} = \frac{PD_o}{2 \cdot S_\eta + 0.8 \cdot P}$	[第52条第1項 (第31条第1項準用) (S45年)] $A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F$ $t_{sr} : \text{主管の計算上必要厚さ}$ F : 第60条により求められる係数 $t_{sr} = \frac{PD_o}{2 \cdot S_\eta - 1.2 \cdot P}$	設計・建設規格 及び 昭和45年告示第 501号	*4

注記 *1 : 評価式に記載の記号は、添付書類「V-3-2-10 重大事故等クラス2管の強度計算方法」の記号の定義による。

*2 : Sおよび η の値により安全側の規格が変わるため、設計・建設規格と告示第501号で S_η の値を比較し小さい方の値を選定する。なお、Sの値については事項「b. 許容値」にて記載する。

*3 : t (必要肉厚) は告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第501号の評価式を適用する。

*4 : 補強に必要な面積の安全側の規定が容易に判断できないため、設計・建設規格の両方で評価を実施する。

b. 許容値

許容値については、代表例により規格の相違を記載する。

(a) 容器

機器名	材料	最高使用 温度 (℃)	設計・建設規格 (MPa)	昭和45年 告示第501号 (MPa)	適用する規格
ほう酸水貯蔵タンク	SUS304	66	126	145	設計・建設規格

(b) 管

機器名	材料	最高使用 温度 (℃)	設計・建設規格 (MPa)	昭和45年 告示第501号 (MPa)	適用する規格
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化 設備配管	SUS304TP	80	125	118	昭和45年告示 第501号
非常用炉心冷却設備その他 原子炉注水設備配管	SM41B	148	100	101	設計・建設規格*

注記 *：SI単位化による誤差と考えられ、両規格には相違がないと考え設計・建設規格を選定

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施し、強度計算書に評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したもののにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

2.1.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価

ここでは、設計・建設規格又は告示第501号に評価式*1が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

設計・建設規格又は告示第501号に評価式が規定されていない場合、同等性を示す評価式により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は、クラス1容器の規定を準用した評価により十分な強度を有することを確認する。

図2-2に重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フローを示す。今回の工事計画対象設備である重大事故等クラス2機器の評価のうち、フローに基づき抽出された同等性評価方法を以下に示す。

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式*2を用いた評価
 - (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価
- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス1容器の規定を準用した評価

注記 *1：評価式とは、設計・建設規格にて評価する場合はクラス2機器の評価式，告示第501号にて評価する場合は第3種容器，第4種容器及び第2種管の評価式を示す。

*2：機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式

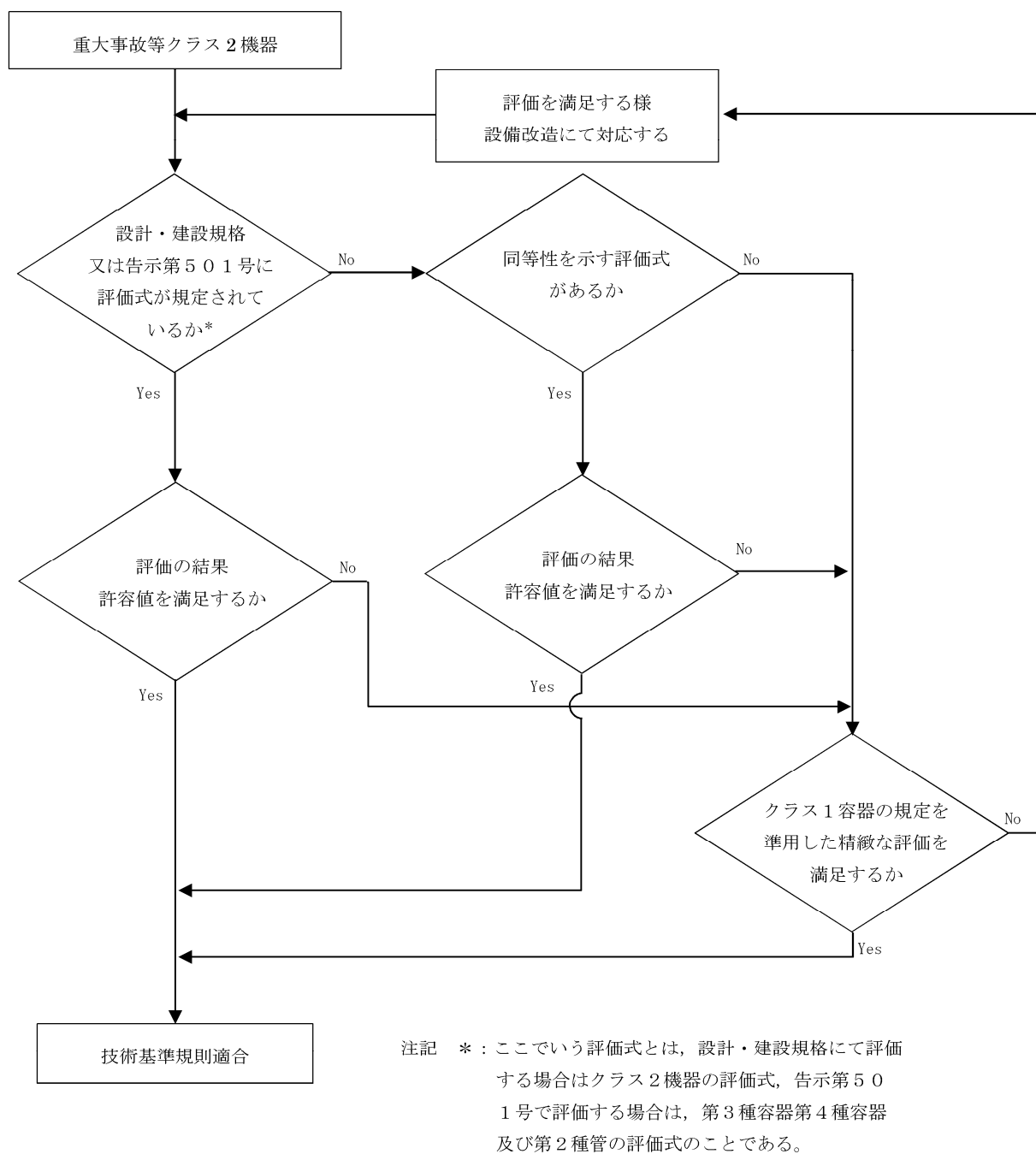


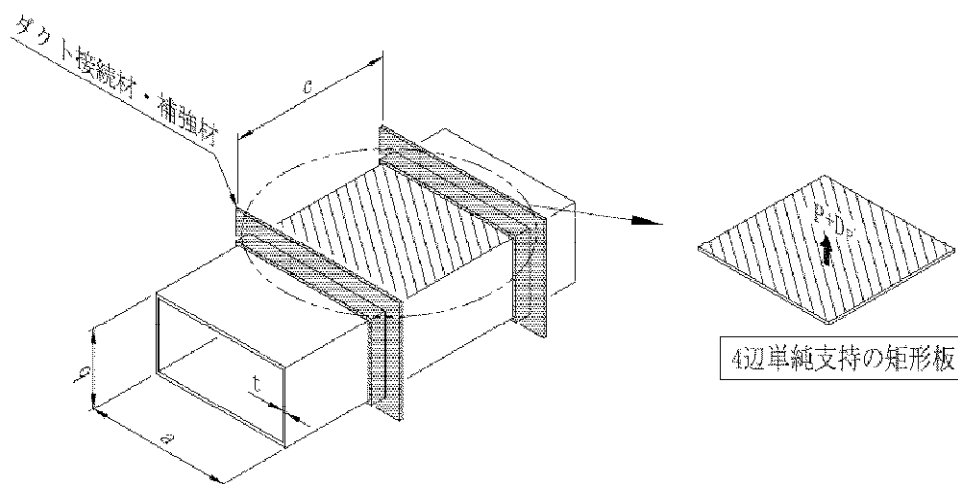
図2-2 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

重大事故等クラス2管のうち矩形ダクトについては、形状が円形ではないことから、設計・建設規格に規定されているクラス2管の円形を前提とした評価式を適用することができない。このため、矩形ダクトの強度評価については、以下に示すとおり重大事故等クラス2管の評価手法として妥当性を確認した機械工学便覧に記載されている長方形板の大たわみ式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できない矩形ダクトについて、矩形ダクトの任意のダクト鋼板面のうち2辺は他の2つの側面のダクト鋼板で支持されており、残りの2辺は補強部材（及び接続材）で支持された、4辺単純支持長方形板とみなすことができる。実際の使用条件では、この鋼板面に圧力と自重の等分布荷重である面外荷重が作用する。鋼板面は、この面外荷重により薄い平板が板厚の半分以上大きくたわみ、膜引張応力状態で応力の釣合いが保たれ、鋼板中心部で最大応力が発生する。このように、薄い平板が板厚の半分以上の比較的大きなたわみを生じる挙動を示す場合の応力評価には、機械工学便覧記載の長方形板の大たわみ式（次項に示す2つの式）が適していることから、矩形ダクトの強度評価には、機械工学便覧記載の4辺単純支持長方形板の大たわみ式を用いる。



計算に使う記号

記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
P	MPa	最高使用圧力
g	mm/s ²	重力加速度
D _p	kg/mm ²	単位面積あたりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算式

$$\frac{256 (1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} (P + g D_p) =$$

$$\frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \frac{\delta_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 c^2} + (3-\nu^2) + \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \left(\frac{\delta_{\max}}{t} \right)^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 E \delta_{\max}}{8 (1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2) \delta_{\max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu (\delta_{\max} + 4t)}{c^2} \right\}$$

b. 判断基準

矩形ダクトの強度評価では，設計・建設規格クラス2管に規定のある厚さ計算及び応力計算を参考とし，機械工学便覧のたわみの式を適用した評価を実施する。また，判断基準については以下のとおりとし，裕度については設計・建設規格のクラス2管の規定における許容引張応力S値を適用する。

(a) 厚さ計算

最少板厚を求める場合は，面外荷重による一時応力 σ_{max} を許容引張応力S値に置き換えて，2式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び t を求める。この時の t を矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し，ダクトの実際使用厚さが計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

一次応力を求める場合は，ダクトの実際使用厚さを用いて，2式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び σ_{max} を求める。この時の σ_{max} を矩形ダクトの一次応力と定義し，一次応力が許容引張応力S値の1.5倍以下であることを確認する。

(2) 立形ポンプの評価

重大事故等クラス2ポンプのうち立形ポンプについては、設計・建設規格におけるクラス2ポンプに評価式が規定されていないため、立形ポンプの強度評価については、以下に示すとおりの重大事故等クラス2ポンプの評価手法として妥当性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス3ポンプの評価式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス2ポンプ及びクラス3ポンプのケーシングの強度評価式を表2-3に示す。

ケーシング厚さの評価式については、一般的な材料力学における内圧を受ける薄肉円筒の式又は内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づいており、横形ポンプにおいては、クラス2ポンプとクラス3ポンプの考え方は同一であり、技術的に同一の強度を有することが要求されている。この考え方については、クラス2管とクラス3管の厚さ計算についても同様であることから、クラス2ポンプに評価式が規定されていない重大事故等クラス2ポンプのうち立形ポンプのケーシングの強度評価については、クラス3ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いる。

表2-3 設計建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ型式	設計・建設規格強度評価式		備考
	クラス 2	クラス 3	
横形ポンプ	$t = \frac{P A}{2 S}$	$t = \frac{P A}{2 S}$	・ 同じ式である ・ 内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく
立形ポンプ	—	$t = \frac{P D_o}{2(S \eta + P y)}$	・ 内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。
配管（参考）	$t = \frac{P D_o}{2 S \eta + 0.8 P}$	$t = \frac{P D_o}{2 S \eta + 0.8 P}$	・ 内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。
t : ケーシング及び吐出エルボ、揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ（mm） P : 最高使用圧力（MPa） A : 設計・建設規格 図PMC-3320-6又は設計・建設規格 図PMD-3310-1から図PMD-3310-6までに示す寸法（mm） 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） D_o : 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、個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法（mm） η : 長手継手の効率で、設計・建設規格 PMD-3110に定めるところによる。 y : 0.4（D_o／t ≥ 6.0の場合） d／（d + D_o）（D_o／< 6.0の場合）			

b. 判断基準

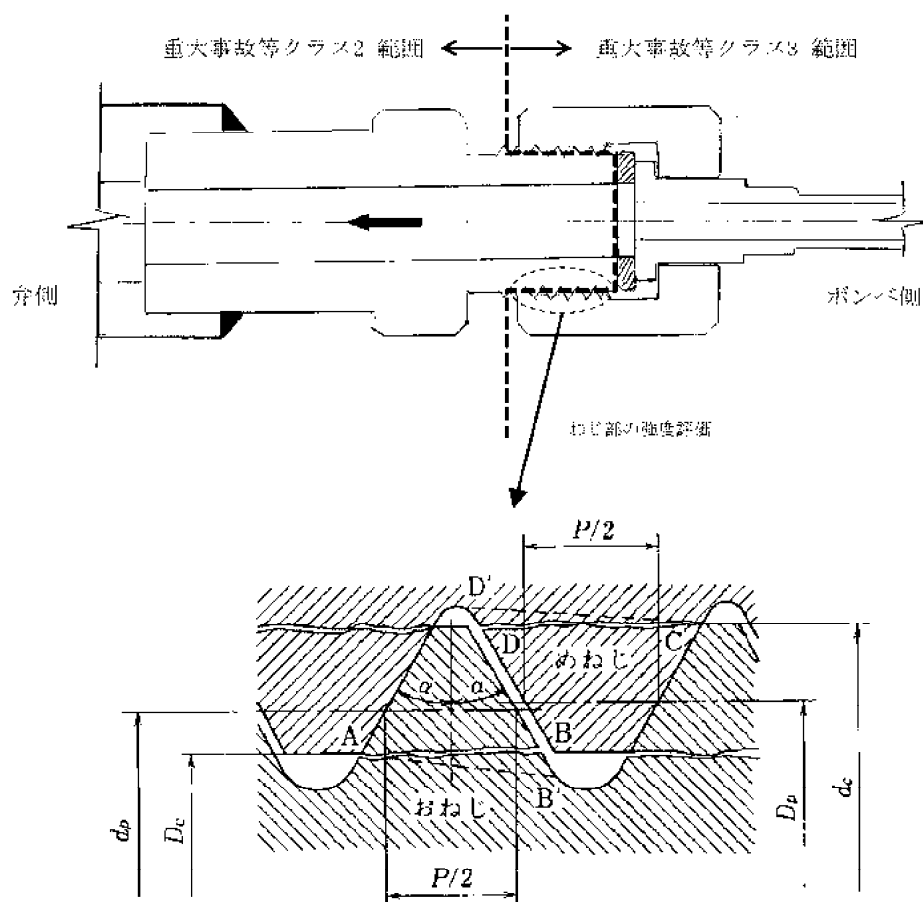
立形ポンプのケーシングの強度評価では、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが、裕度については設計・建設規格のクラス 2 ポンプのケーシングの規定における許容引張応力 S 値を適用する。

(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

重大事故等クラス2管のうちねじ込み継手については端部がねじ部であるため設計・建設規格に規定されているクラス2管の評価式を適用することができない。このため、ねじ部の強度評価については、以下に示す機械工学便覧に記載されているねじ部のせん断破壊評価式を準用した評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用するねじはJ I S B 8 2 4 6 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また、継手部の厚さ計算については、設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。



計算に使う記号及び計算式

記号	単位	定義
A_B	mm	おねじのせん断長さ
P	mm	ピッチ
d_p	mm	おねじの有効径
D_C	mm	めねじの内径
α	°	ねじ角度
W_B	N	おねじのねじ山の許容軸方向荷重
z	—	負荷能力があるとみなされる、ねじ山の数 $z = (L - 0.5 \cdot P) / P$
τ_B	MPa	おねじ材料の許容せん断応力
L	mm	ねじの基準長さ
F_B	MPa	おねじの耐圧力
F_t	N	ねじ締付トルクによる引拔荷重
A	mm ²	内圧評価断面積

計算式
$A_B = (P/2) + (d_p - D_C) \tan \alpha$ $W_B = \pi D_C (A_B) z \tau_B$ $F_B = (W_B - F_t) / A$

b. 許容値

ねじ部のせん断評価は、機械工学便覧記載のせん断破壊式を準用した評価を実施するが、ねじ込み継手は管と管とを接続する継手であることから、許容値については設計・建設規格クラス2管の規定における許容引張応力 S を基に求めた許容せん断応力 $S/\sqrt{3}$ を適用する。

(4) クラス 1 容器の規定を準用又は参考とした評価

重大事故等クラス 2 機器の評価において、公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価を実施する必要があるため、設計・建設規格にて規定されている準用規定に基づき、クラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。そのため機器によっては、公式による評価と解析による評価を組み合わせ、その健全性を確認する方針とする。

クラス 1 容器の規定を満足しない場合は、重大事故等時に求められる機能を発揮できるよう、クラス 1 容器の規定を参考とした評価を実施する。

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価は公式による評価が基本となるが、公式による評価を満足しない部位を含む機器は、公式による評価と解析による評価を組み合わせた評価を実施する。

(a) クラス 2 機器の公式による評価

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価については、設計・建設規格 PVC-3000 (クラス 2 容器の設計), PPC-3000 (管の設計), PMC-3000 (クラス 2 ポンプの設計) の各機器の規定において、胴、管、ケーシング等の一般部の板厚評価式、開口部に対する補強及びフランジの簡易評価式等、強度評価式が種々に与えられているが、構造不連続部等の局所に着目した強度評価方法については明確にされていない。

設計建設規格のクラス 2 機器であっても、構造不連続部等の局所的に応力が高い部分も存在すると考えられるが、各機器の規定されている強度評価は、一般部に対し、許容値を低く設定（許容引張応力 S ）して裕度のある評価を行うことで、局所の健全性も担保している。

(b) 解析による評価

評価対象部位のうち公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価としてクラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。解析による評価は、構造不連続部等の局所的に応力が高い部位を模擬した詳細な解析に応じた許容値（許容応力 S_m ）を設定し、より精緻な評価を行うことで、局所の健全性を確認している。

(c) 評価対象部位間の相互影響

前述の(b)項に記載の機器は、評価対象部位ごとに公式と解析による評価が混在する機器であり、以下に示すとおり部位間の相互影響を適切に考慮することで、機器としての健全性を確認する。

イ. 一体構造体

主管に設けられた管台等の一体構造体中に存在する構造不連続部等の局所では、一般部に比べ発生応力が大きくなり、その局部応力により局所周辺も発生応力が引き上げられると考えられる。そのため、局部応力が隣接する部位に及ぼす影響の有無を適切に評価する必要がある。

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については、設計・建設規格 解説にその考え方が示されており、設計・建設規格 解説 PVB-3513（補強面積の設置条件）及び設計・建設規格 解説 PVB-3530（補強をしない穴の適合条件）では、殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲について示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513には「 $0.5\sqrt{R \cdot t}$ に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから、主管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する構造不連続部等の局所の評価について、局部応力が及ぼす影響範囲 $0.5\sqrt{R \cdot t}$ を網羅するよう適切にモデル化することで、一体構造体として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

フランジとボルト等の一体でない異なる構造体中に存在する評価対象部位間では、荷重・変位伝達等を個別に設定することで、独立した部位として個々に評価を実施する。

2.2 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、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」が要求されている。

クラス1機器については、重大事故等時に流路としての機能が要求され、重大事故等クラス2機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度、事故時荷重等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の評価を基本とし、設計上定められる条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び事故時荷重を上回る評価条件に対して、供用状態Dの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、流路としての十分な機能が保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

また、重大事故等クラス2支持構造物は、技術基準規則第55条において、「重大事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器に溶接により取り付けられている支持構造物については、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器と同様に、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び自重に対して、供用状態Dの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とする。

注記 *：供用状態Dの許容応力は、設計・建設規格 解説 PVB-3111において、鋼材の究極的強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力（ P_m ）は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力（ P_L ）＋一次曲げ応力（ P_b ）は $1.5 \times 2/3 S_u$ （ $= S_u$ ）と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0としている。設計・建設規格に規定されている供用状態Dの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保証を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、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」が要求されている。

原子炉格納容器については、重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能が要求され、重大事故等クラス2機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の評価を基本とし、設計上定める条件である重大事故等時における供用状態Dの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認する。

注記 *：供用状態Dの許容応力は、設計・建設規格 解説 PVB-3111において、鋼材の究極的強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力（ P_m ）は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力（ P_L ）＋一次曲げ応力（ P_b ）は $1.5 \times 2/3 S_u$ （ $= S_u$ ）と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0としている。設計・建設規格に規定されている供用状態Dの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保証を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

2.4 設計・建設規格又は告示第501号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機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料について、技術基準規則施工前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針に従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・建設規格又は告示第501号において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、使用材料となるクラス2機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機器の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日本工業規格（以下「JIS」という。）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。選定結果を表2-1に示す。

表2-1 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	○	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。
降伏点 又は耐力		
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機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機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機器については，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等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス2機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等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス2機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，材料のじん性の評価に用いられる値であるが，じん性については「(2) 破壊じん性」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 *：J I S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機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機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機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2-2のとおり整理する。

表2-2 化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

	C	S _i	M _n	P	S	C _u	N _i	C _r	M _o	V	W	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	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、材料の機械的強度である引張強さ、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）で使用されてい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。
じん性	低下	—	向上	低下	低下	—	向上	—	—	—	—	じん性については、「(2) 破壊じん性」において確認する。なお、じん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	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、N _i 、C _r があるが、N _i 、C _r 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成分に差異がある場合は、悪影響を与える差異がないことを確認する。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。
	—	—	—	—	—	向上	向上	向上	向上	向上	—	

注記 *：発電用原子力設備規格 溶接規格（2007年版）J S M E S N B 1—2007（日本機械学会）を示す。なお、施設時の適用規格である電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和45年通商産業省令第81号）も同値である。

(2) 破壊じん性

a. 破壊じん性試験不要となる材料の規定

破壊じん性については，設計・建設規格に規定されている破壊じん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。

破壊じん性試験不要となる材料の規定*¹

- ・ 厚さが16 mm未満の材料
- ・ 断面積625 mm²未満の棒の材料
- ・ 呼び系が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，又は外径が169 mm未満の管に接続されるフランジの材料及び管継手の材料
- ・ オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金
- ・ 非鉄金属

注記 *1：一例としてクラス2容器の除外規定（設計・建設規格 PVC-2310）を記載している。

b. 破壊じん性の確認

破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当しない機器の破壊じん性については，施設時の要求を考慮し，以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊じん性が要求されていた設備

該当設備は，施設時の規格の要求に基づき十分な破壊じん性を有していることを確認している。また，材料の破壊じん性値は，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) 施設時に破壊じん性が要求されていなかった設備

対象設備は，機器クラスがクラス3機器（工学的安全施設を除く），クラス4管及びNonクラス*²に該当する設備であり，施設時における破壊じん性に対する要求がないことから，材料のじん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じん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 *2：技術基準規則第2条第2項第28号，第32号，第33号，第34条及び第35条に規定する「原子炉格納容器」，「クラス1容器」，「クラス1管」，「クラス1ポンプ」，「クラス1弁」，「クラス2容器」，「クラス2管」，「クラス2ポンプ」，「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物，「クラス3容器」，「クラス3管」，「クラス4管」，炉心支持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，管，ポンプ，弁又は支持構造物

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屋外に施設される機器においては水戸地方気象台の気象観測記録における最低温度である -12.7°C ，原子炉格納容器の最低使用温度は 0°C ，屋内に設置される機器においては最低使用温度である 10°C ，海水と接する設備は海水の最低温度である 7°C ，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器については， 38°C 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，原子炉格納容器及び屋外に施設される機器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定した値と変わらない。屋内に施設される機器のうち，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温度 10°C を下回ることなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器については，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，屋内に施設される機器のうち，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，最低海水温度が 7°C 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 10°C 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じん性が要求されていた機器において，材料の破壊じん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機器については，施設時に確認した破壊じん性が重大事故等対象設備としての材料に要求される破壊じん性を包絡しており，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機器については、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じん性が要求されていなかった機器において、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機器に属する鋳造品については、非破壊検査の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の有無

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。

V-3-1-7 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針

目 次

1. 概要..... 1

2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針..... 2

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..... 3

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..... 4

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六号）（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評価の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針

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）（以下「技術基準規則の解釈」という。）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、技術基準規則の解釈第55条6において同解釈第17条6を準用していることから、第17条において技術基準規則を満たす仕様規定としている「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。）」＜第I編 軽水炉規格＞ J S M E S N C 1－2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）のクラス 3 機器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) 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。

(2) 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}」、「メーカー規格及び基準」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

V-3-2-1 強度計算方法の概要

目 次

1. 概要	1
2. 評価条件整理表	2

1. 概要

本資料は、添付書類「V-3-1 強度計算の基本方針」に基づき、クラス1機器、クラス2機器、クラス3機器、クラス4機器、重大事故等クラス2機器、重大事故等クラス2支持構造物及び重大事故等クラス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について説明するものであり、以下の資料により構成する。

- V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- V-3-2-8 クラス4管の強度計算方法
- V-3-2-9 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-12 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法
- V-3-2-14 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- V-3-2-15 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

2. 評価条件整理表

添付書類「V-3-1 強度計算の基本方針」に示す強度計算の方針との整合を図るため、各強度計算書において、「評価条件整理表」を添付する。本項では「評価条件整理表」で整理する項目について説明する。なお、強度評価対象機器のうち以下の機器については、評価条件及び適用規格の比較等が不要であることから「評価条件整理表」は添付しないこととする。

- ・ 重大事故等クラス 2 機器であってクラス 1 容器
- ・ 重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器
- ・ 消火設備用ポンベ又は消火器
- ・ 火災防護設備用水源タンク
- ・ 重大事故等クラス 3 機器

(1) 新設又は既設の判定

当該設備が新設又は既設であることを記載する。

(2) 施設時の技術基準における規定の有無

表2-1 施設時の技術基準における規定の有無の判定区分

項目	説明
有	「容器」又は「管」のうち施設時の技術基準が 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和45年9月3日 通商産業省告示第501号）（以下「昭和45年告示第501号」という。）である機器（応力計算書を除く）^{*1} 施設時の技術基準が 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「昭和55年告示第501号」という。） 又は 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（平成6年7月21日 通商産業省告示第501号）（以下「平成6年告示第501号」という。） 又は 「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。））＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）である機器
無	「施設時の技術基準における規定がない機器」

注記 ^{*1}：昭和45年告示第501号において、「容器」及び「管」の応力計算については規定されていないため、応力計算書については「無」に分類する。

(3) 機器クラス

・クラスアップの有無

表2-2 クラスアップの有無の判定区分*¹

項目	説明
有	「原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲でありクラス2機器からクラス1機器になる機器」, 「施設時に規定がなかった機器のうち今回クラス3機器に分類される機器」, 又は「クラス1機器又はクラス2機器に属さない機器のうち重大事故等クラス2機器となる機器」
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 *1: 「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）」については「有」「無」に分類可能なものであっても「－」とする。

・施設時機器クラス

表2-3 施設時機器クラスの判定区分*¹

項目	説明
DB-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」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第2条第2項第32号に規定する「クラス1容器」, 「クラス1管」, 「クラス1ポンプ」又は「クラス1弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第2条第2項第33号に規定する「クラス2容器」, 「クラス2管」, 「クラス2ポンプ」又は「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第2条第2項第34号に規定する「クラス3容器」, 「クラス3管」
DB-4	技術基準規則第2条第2項第35号に規定する「クラス4管」
Non	上記以外の容器, 管, ポンプ, 弁又は支持構造物
－	新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）又は上記以外の機器

注記 *1: 施設時の適用規格が昭和45年告示第501号, 昭和55年告示第501号又は平成6年告示第501号の場合には, 技術基準規則における機器クラスに読み替えて記載する。

- ・DBクラス：設計基準対象施設としての機器クラス

表2-4 DBクラスの判定区分

項目	説明
DB-1	技術基準規則第2条第2項第32号に規定する「クラス1 容器」, 「クラス1 管」, 「クラス1 ポンプ」又は「クラス1 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第2条第2項第33号に規定する「クラス2 容器」, 「クラス2 管」, 「クラス2 ポンプ」又は「クラス2 弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第2条第2項第34号に規定する「クラス3 容器」, 「クラス3 管」
DB-4	技術基準規則第2条第2項第35号に規定する「クラス4 管」
Non	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器であり, 上記以外の容器, 管, ポンプ, 弁又は支持構造物
—	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器であり, 上記以外の機器

- ・SAクラス：重大事故等対処設備としての機器クラス

表2-5 SAクラスの判定区分

項目	説明
SA-2	技術基準規則第2条第2項第38号に規定する「重大事故等クラス2 容器」, 「重大事故等クラス2 管」, 「重大事故等クラス2 ポンプ」又は「重大事故等クラス2 弁」及びこれらを支持する構造物
—	設計基準対象施設としてのみ使用する機器

(4) 評価条件

- ・条件アップの有無

表2-6 条件アップの有無の判定区分^{*1}

項目	説明
有	設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に, 重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されない機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 *1: 「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む）」は「有」「無」に分類可能なものであっても「—」とする。

- ・DB条件：最高使用圧力及び最高使用温度
- ・SA条件：重大事故等時における使用時の圧力及び温度

(5) 既工認における評価結果の有無

表2-7 既工認における評価結果の有無の判定区分^{*1}

項目	説明
有	既工認において同等以上の評価条件にて評価されている機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記 *1:「施設時の技術基準における規定がない機器」,「クラスアップする機器」,「条件アップする機器」又は「新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」は「有」「無」に分類可能なものであっても「－」とする。

(6) 施設時の適用規格

表2-8 施設時の評価規格の判定区分^{*1}

項目	説明
S45告示	施設時の適用規格が昭和45年告示第501号である機器
S55告示	施設時の適用規格が昭和55年告示第501号である機器
H6告示	施設時の適用規格が平成6年告示第501号である機器
設計・建設規格	施設時の適用規格が設計・建設規格である機器

注記 *1:「施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器」,「施設時に上記以外の規格にて評価を実施している機器」又は「新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」は「－」とする。

(7) 評価区分

表2-9 評価区分

項目	説明
既工認	既工認における評価結果の確認による評価
設計・建設規格又は告示	設計・建設規格又は告示第501号 ^{*1} のいずれか安全側の規格による評価 ^{*2}
設計・建設規格	設計・建設規格による評価 ^{*3, *4}
同等性 ^{*5}	同等性を示す手法による評価

注記 *1 : 「告示第501号」とは昭和45年告示第501号又は昭和55年告示第501号のいずれかを指す。

*2 : 安全側の規格が容易に判断できない場合は、両規格による評価を実施する。

*3 : 施設時の適用規格が設計・建設規格の場合又は施設時の技術基準に規定がない場合

*4 : 平成6年告示第501号のものについては、公式及び解析による評価において設計・建設規格と差異がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

*5 : 一部の部位のみ同等性を示す手法による評価を実施する場合においても列記する。

(8) 同等性評価区分

a. 評価式が規定されていない場合

- (a) 長方形板の大たわみ式を用いた評価
- (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
- (c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価

b. 精緻な評価を実施する必要がある場合

- (a) クラス1容器の規定を準用した評価

(9) 評価クラス

(1)～(9)の分類に基づき、評価クラスを判別する。

V-3-2-2 クラス 1 管の強度計算方法

まえがき

本強度計算方法は、工事計画認可申請書に添付するクラス 1 管の強度計算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 管の基本板厚計算方法

第二部 クラス 1 管の応力計算方法

第一部 クラス 1 管の基本板厚計算方法

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. クラス1 管の強度計算方法	1-7
2.1 共通記号	1-7
2.2 管の板厚計算	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

本計算方法は、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。））J S M E S N C 1－2005/2007）（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「J I S」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. J I S B 2 3 1 2 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- b. J I S B 2 3 1 3 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
- c. J I S B 2 3 1 6 (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. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
- b. J I S B 2 2 3 9 (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 5 0 1 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 5 0 1 号 条項	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
第 50 条 第 1 項 第 2 項 第 3 項	2. 2 2. 2. 1	管の板厚計算（告示第 5 0 1 号）
PPB-3411（直管） PPB-3411(1) PPB-3411(2) PPB-3411(3)	2. 2. 2 2. 4 2. 5	管の板厚計算（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）
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） PPB-3414(1) PPB-3414(2) PPB-3414(3)	2. 7	フランジの強度計算 (1. 2(4) フランジ継手)
PPB-3415（管継手） PPB-3415(1)		1. 2(3) 管継手
PPB-3415. 1（レジューサ） PPB-3415. 1(1) PPB-3415. 1(2) PPB-3415. 1(3)	2. 5	レジューサの強度計算
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 5 0 1 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 5 0 1 号)
PPB-3420 (穴と補強) PPB 3421 PPB-3422 PPB-3423 PPB-3424 PPB-3422(3)	2.6.2 2.3	管の穴と補強計算 (設計・建設規格) 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 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
NO.	項		
J I S B 8 2 6 5 (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) 「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
	5		

注記 * : 設計・建設規格 PPB-3414(2)により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」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、本強度計算方法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、本強度計算方法によるものとする。
- (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 5 0 1 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 5 0 1 号は非 S I 単位を S I 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 J I S 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（16 mm<径≤40 mm）

- (5) ガasket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asket係数（m）及びガasketの最小設計締付圧力（y）は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3によりガasketメーカー推奨値を適用する。

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. クラス 1 管の強度計算方法

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 5 0 1 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 5 0 1 号により計算を実施する場合，告示第 5 0 1 号第31条第3項第1号による。	—

注記 *：告示第 5 0 1 号で使用されていない記号

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は、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 管の板厚計算（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
	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	t_r 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

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

(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} $\dots\dots\dots (B)$

(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 $\dots\dots\dots (C)$

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) $\geq$ 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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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 管の板厚計算（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_o	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

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S_m + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

(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}

$$t_{op} = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (B)$$

(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 $\dots\dots\dots (C)$

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) $\geq$ 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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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

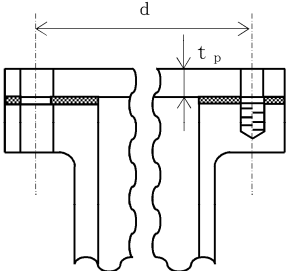
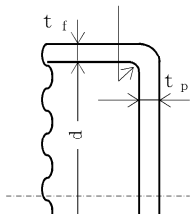
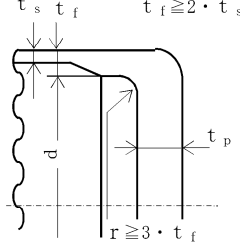
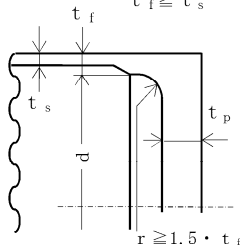
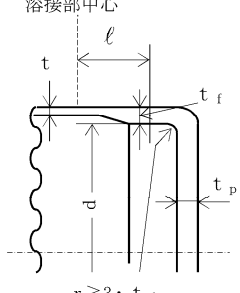
平板の強度計算は、設計・建設規格 PPB-3413及び設計・建設規格 PPB-3422(3)を適用する。

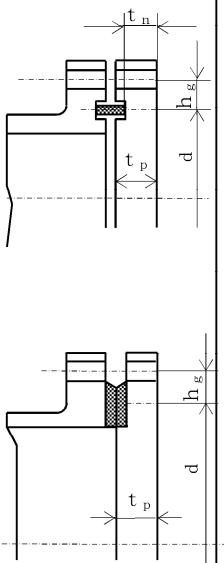
(1) 記号の説明

設計・建設規格又は J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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	t_r / t_s	—
m	m_g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S 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_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 (J I S B 8265 附属書 3 表 2 による。)	N/mm^2
π	π	円周率	—
	NON-	非石綿ジョイントシート	—
	ASBESTOS		
	SUS-NON-	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ASBESTOS		
	ガスケット座 面の形状	J I S 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)		$d \leq 600 \text{ mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$ かつ, $r \geq 0.25 \cdot t_f$ であること。
(c)		$t_f \geq 2 \cdot t_s$ かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(d)		$t_f \geq t_s$ かつ, $r \geq 1.5 \cdot t_f$ であること。
(e)		$r \geq 3 \cdot t_f$ 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 $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g^{*2}}{W \cdot d}$
(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) $\ell \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b) 管が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さになつて
 $t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ 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 ≤ 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J I S B 8 2 6 5 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asket縮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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$F = \text{Max} (W_o, W_g)$$

(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 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 (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(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 (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) $\geq$ 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_o	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
	$D_{o,c}$	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 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R_R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	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。

$$D_{oc} \geq R$$

$$r \geq 3 \cdot t_{co}$$

$$r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$$

$$r \geq 50 \text{ mm}$$

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

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

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

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (A')$$

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

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (B)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (B')$$

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。

$$2 \geq \frac{D}{2 \cdot h}$$

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

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (C)$$

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

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \dots\dots\dots (C')$$

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_o	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 _{sℓ}	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

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)} \quad \dots\dots\dots (A)$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i \cdot W}{4 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.1 \cdot P)} \quad \dots\dots\dots$$

ただし，

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{D_i}{2 \cdot r \cdot \cos \theta}} \right) \quad \dots\dots\dots (B)$$

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

$$t_2 = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots$$

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

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

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \quad \text{.....(D)}$$

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

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{D_o \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \quad \text{.....(D')}$$

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

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot (D_o - 2 \cdot t_s)}{4 \cdot B} \quad \text{.....(D' ')}$$

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

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s) \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s)}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \quad \text{.....(D' ' ')}$$

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) $\geq$ 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 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—
		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 5 0 1 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 _s	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 r}	2 つの穴の間の主管の必要な断面積	mm ²
		A _{s o}	2 つの穴の間の主管の断面積	mm ²
		A _{r i}	2 つの穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{o i}	2 つの穴の間にある補強に有効な面積	mm ²
		A _{r s}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{2 s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A _{3 s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4 s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	D _i	D _{i b}	管台の内径	mm
		D _{i r}	主管の内径	mm
		D _{o b}	管台の外径	mm
		D _{o e}	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 _{f r D}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d _{r 1}	補強を要しない穴の最大径	mm
		d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第 5 0 1 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 5 0 1 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	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_s	2 つの穴の中心間の距離	mm
	P	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	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	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 5 0 1 号 別表第 4 又は別表第 5 による。	MPa
		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 5 0 1 号 別表第 4 又は別表第 5 による。	MPa
	t_n	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	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
		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	θ	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
		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。

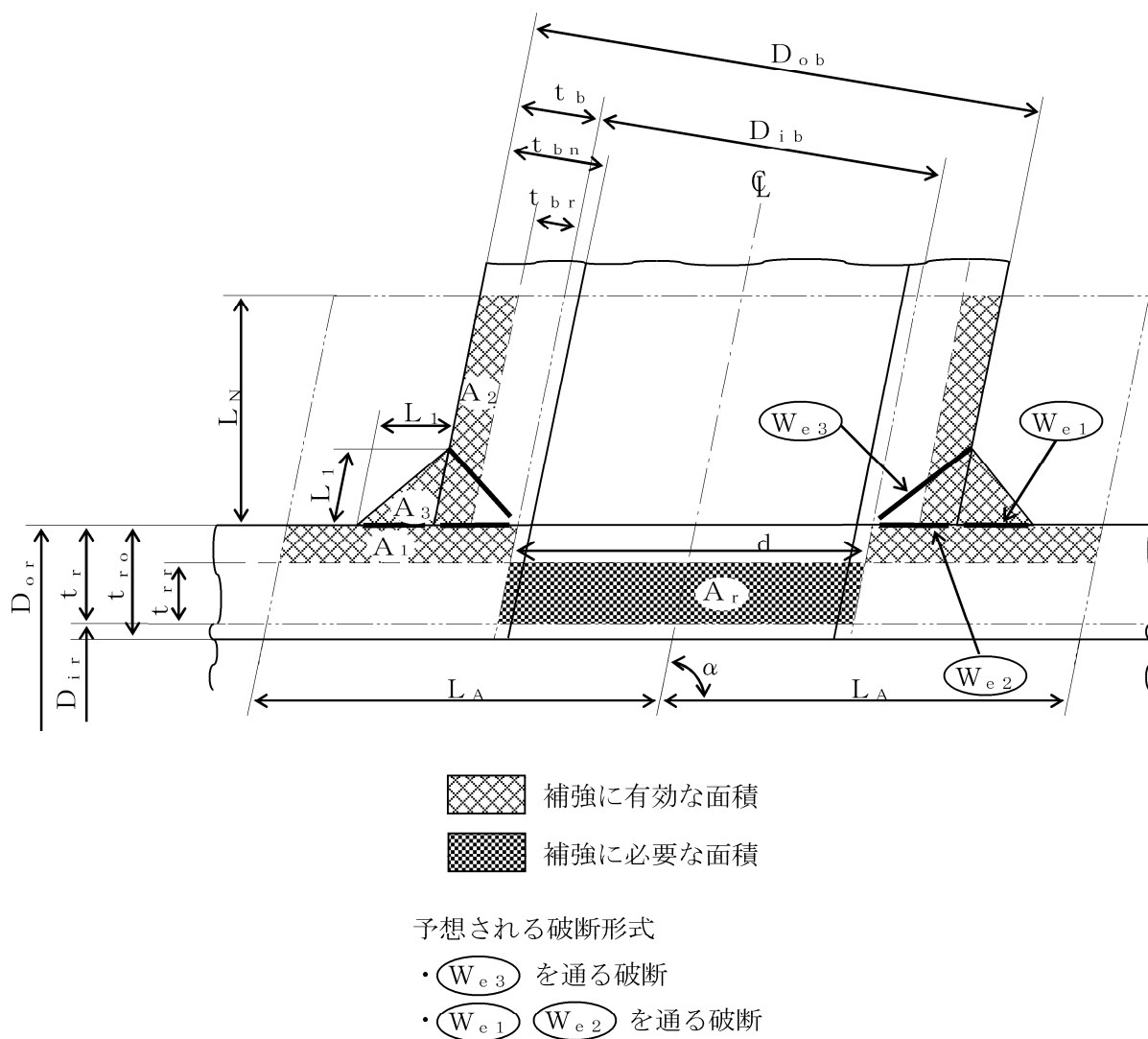


図 2-1 A形（強め材のない場合）

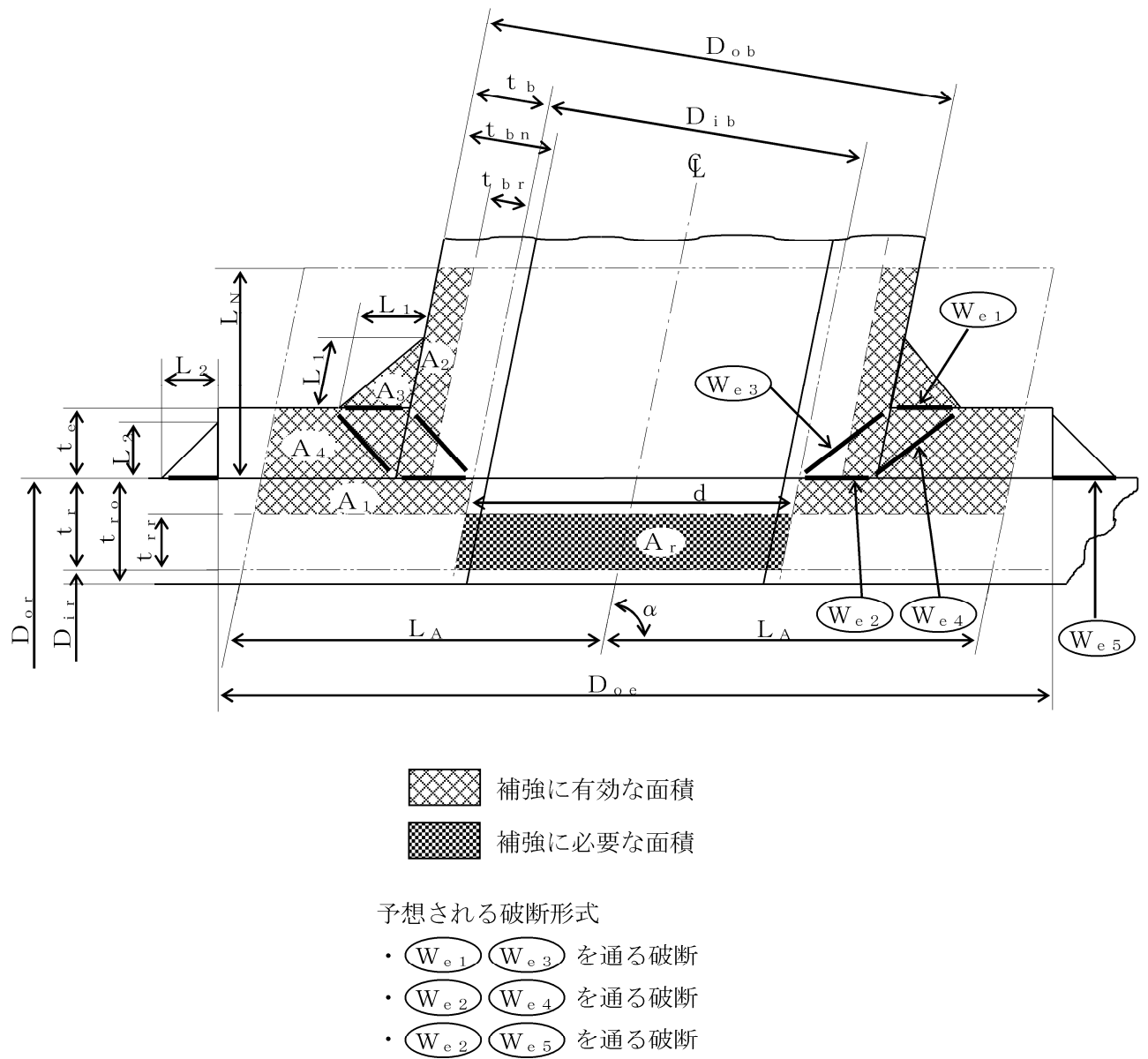


図 2-2 B 形 (強め材のある場合)

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 mm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 mm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}) $\geq$ 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

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

(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

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

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。

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{ir}}{2 \cdot S_r \cdot \eta - 1.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

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。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_b - 1.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ob}}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

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。

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(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

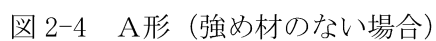
大穴の補強を要しない限界径 (d_{fRD}) $\geq$ 断面に現われる穴の径 (d) ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は、i 項以降による。

NT2 補③ V-3-2-2 R1

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。

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。



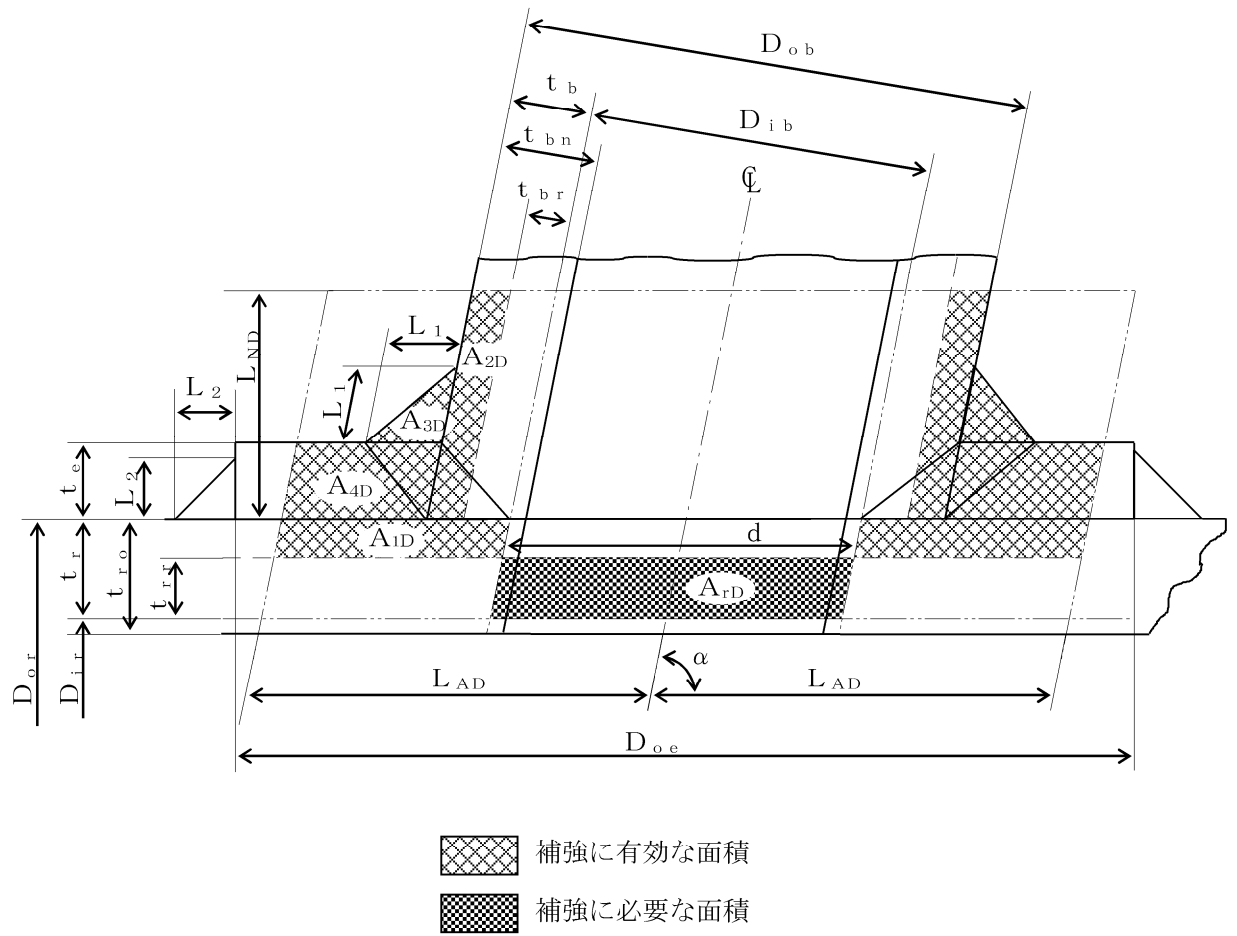
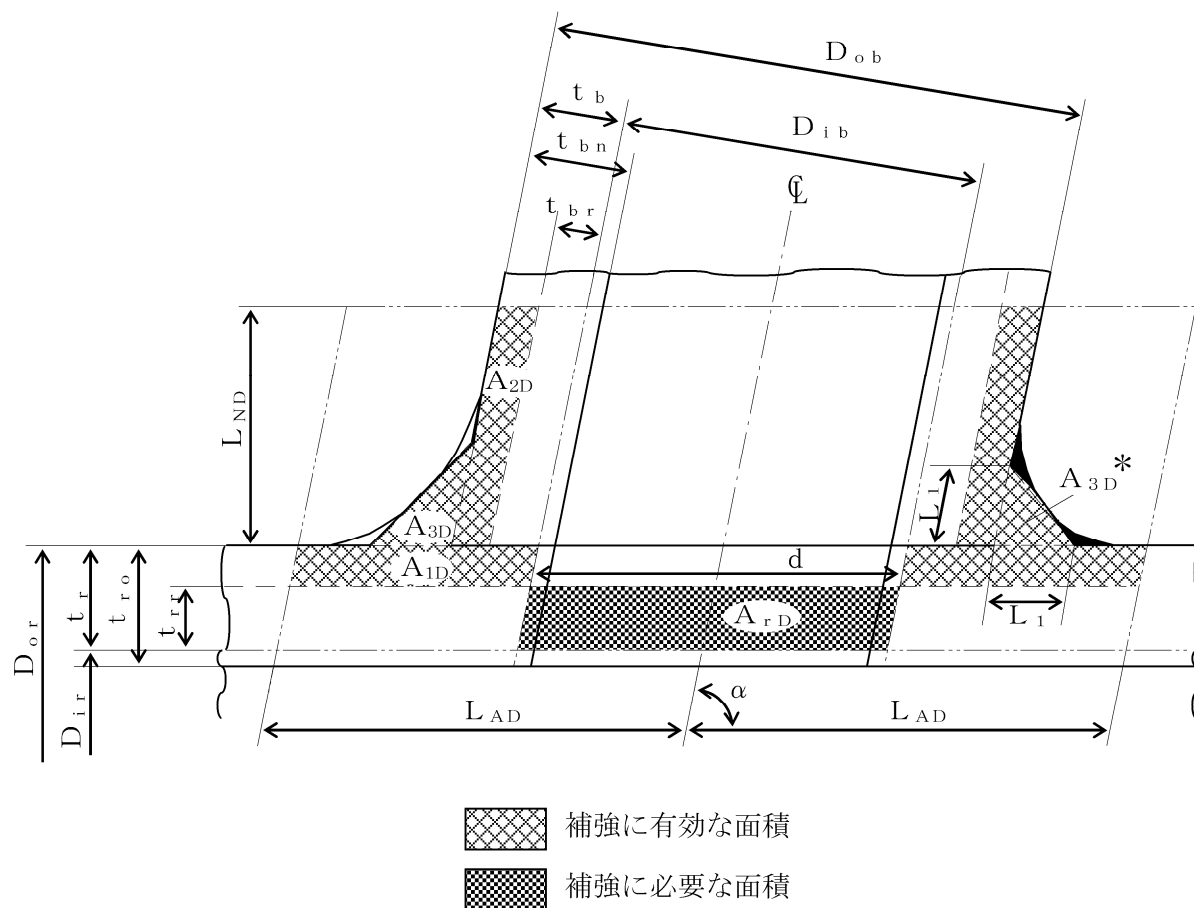


図 2-5 B形 (強め材のある場合)



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

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_{rr} - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_{AD} - d)$$

$$A_{2D} = A_2$$

(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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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) $\geq$ 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) $\geq$ 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

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

二. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e2}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ロ) B形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e4}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e4}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e5}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e5}$$

(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) $\leq$ 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 _r	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	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	D _{or}	主管の外径	mm
	d	断面に現われる穴の径	mm
d ₁ , d ₂		平板の径又は最小内のり	
	d ₁ , d ₂	隣接する 2 つの穴の各々の直径	mm
K	d _{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	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
p	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
R	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	主管の平均半径 ($= \frac{D_{or} - t_r}{2}$)	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
S	r_p	管台の外半径	mm
	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, $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	°
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。

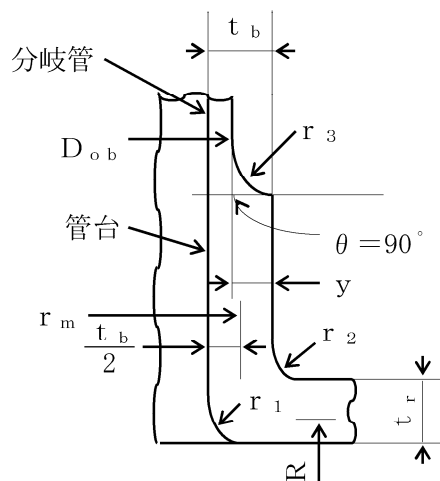


図 2-1

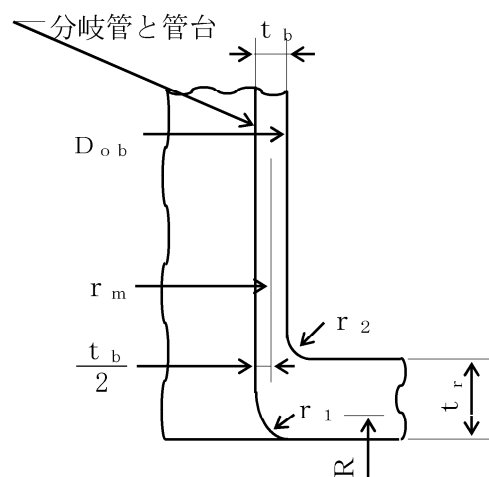


図 2-2

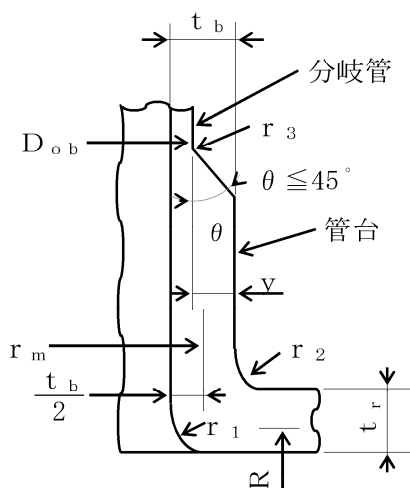


図 2-3

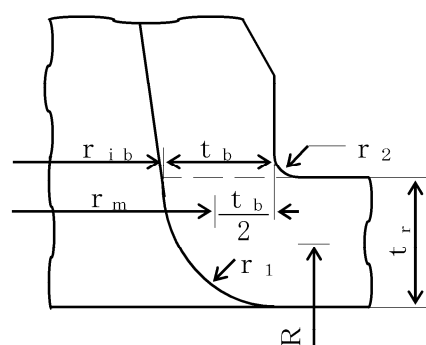


図 2-4

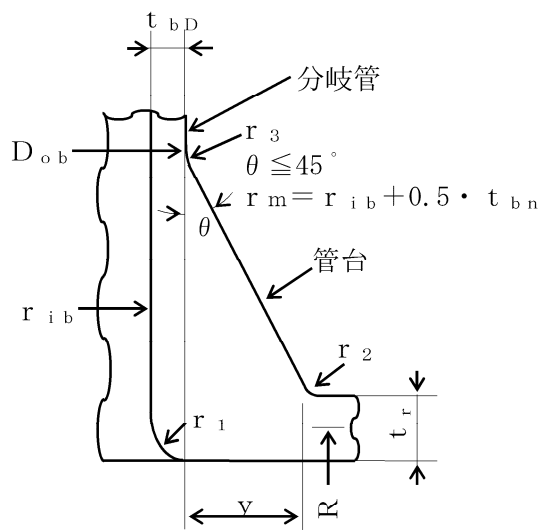


图 2-5

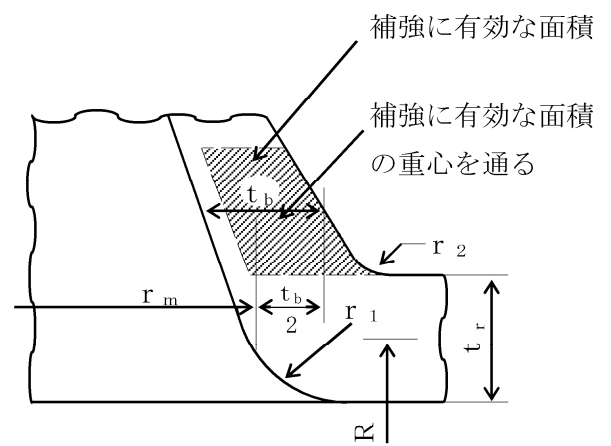


图 2-6

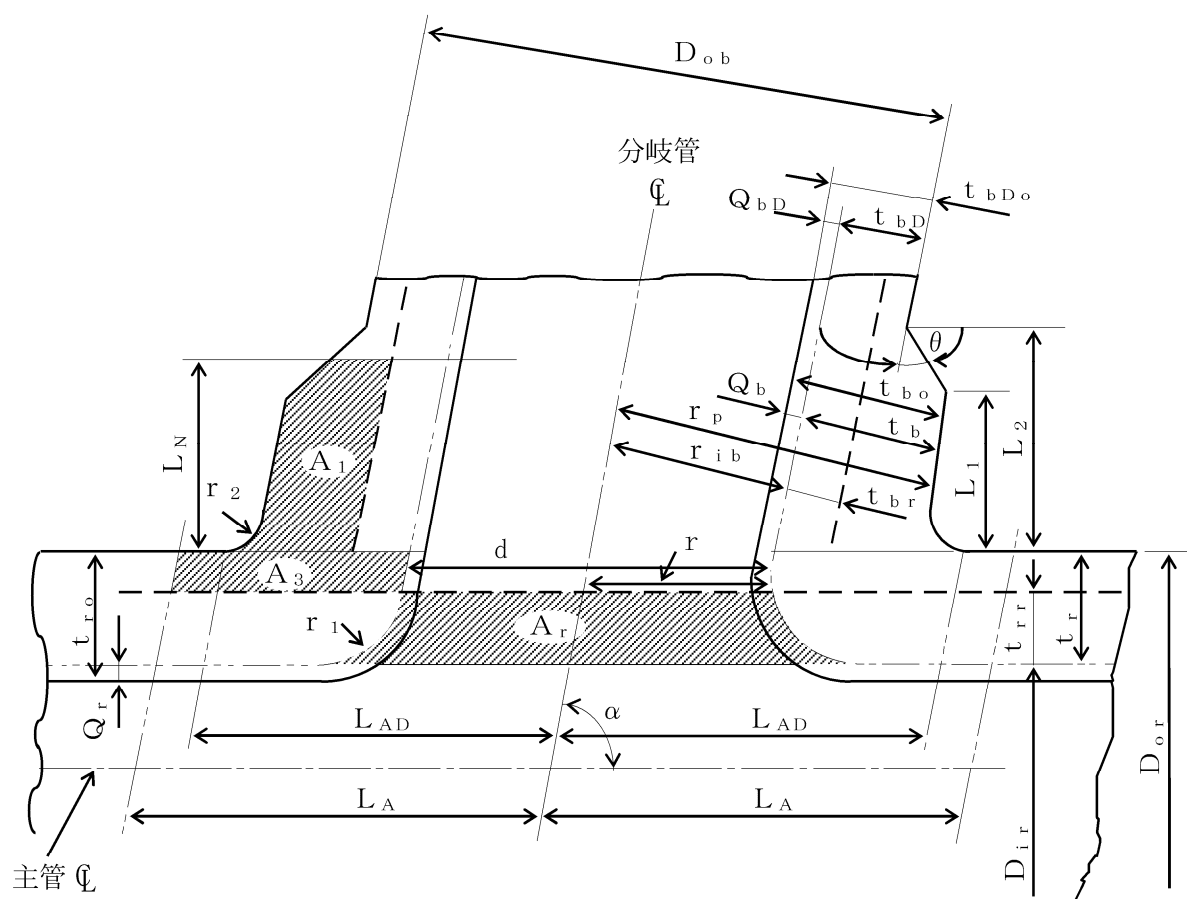
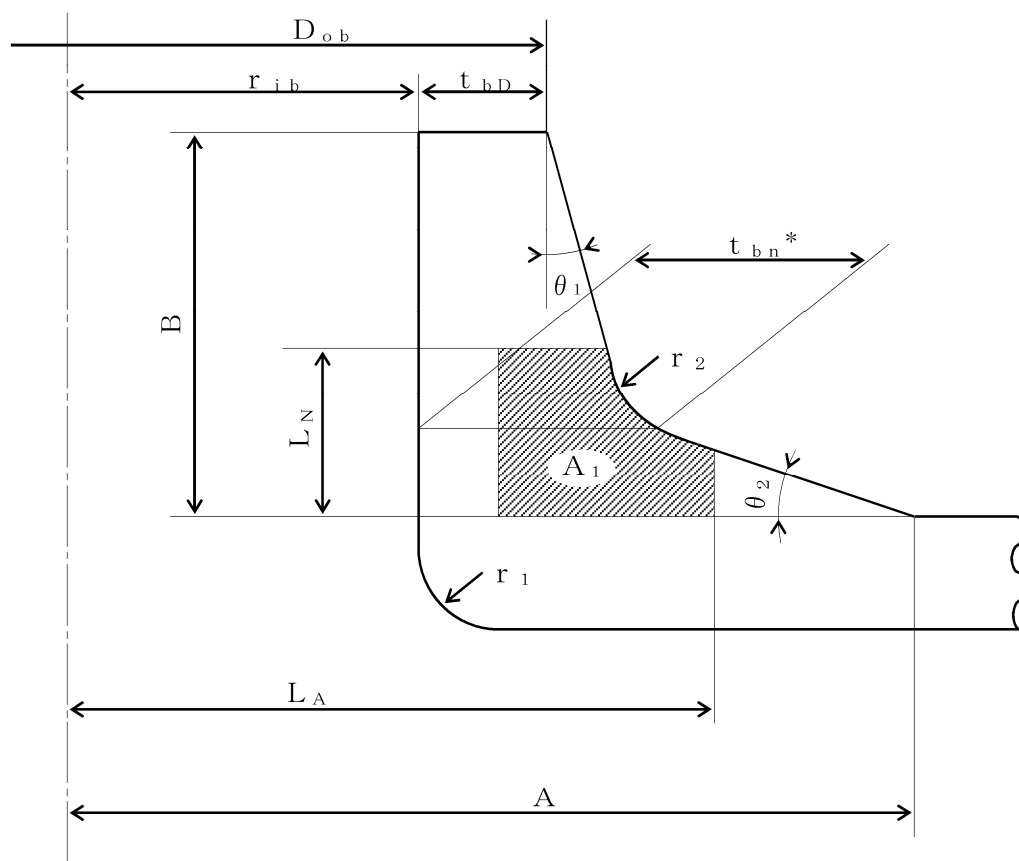


図 2-7



注記 * : t_{bn} は補強面積 A_1 の重心点を通る管台肉

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）

$$L_{AD} = r + 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r} \quad (t_b \leq 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r} \text{ の場合})$$

$$L_{AD} = r + t_b / \sin \alpha + t_r \quad (t_b > 0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r} \text{ の場合})$$

- (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。

$L_N \leq L_1$ の場合

$$A_{R2}^* = r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$A_{1D} = (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N$$

$$A_4 = 0$$

$$A_5 = 0$$

$L_1 < L_N \leq L_2$ の場合

$$A_{R2}^* = r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$A_{1D} = (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N$$

$$A_4 = (t_b - t_{bD}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot \frac{L_N - L_1}{L_2 - L_1} \cdot \frac{L_N - L_1}{2}$$

$$A_5 = 0$$

$L_N > L_2$ の場合

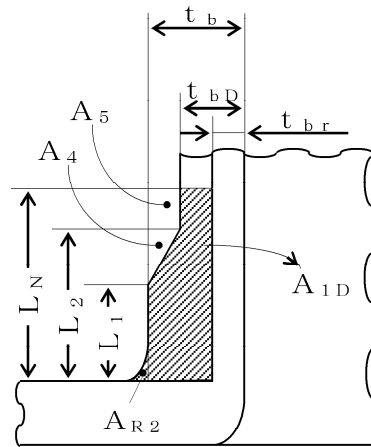
$$A_{R2}^* = r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$A_{1D} = (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N$$

$$A_4 = (t_b - t_{bD}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot \frac{L_2 - L_1}{2}$$

$$A_5 = (t_b - t_{bD}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot (L_N - L_2)$$

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、

$$B_{xx} = \frac{S_{mb}}{S_{mr}} \quad (S_{mr} > S_{mb} \text{ のとき})$$

$$B_{xx} = 1 \quad (S_{mr} \leq S_{mb} \text{ のとき})$$

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}) $\geq$ 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、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は J I S 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 (一体形フランジで f の最小採用値は 1 であるが、J I S B 8 2 6 5 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 ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 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 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{ (一体形フランジの場合)} \right)$	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 $\left(= \frac{F}{h_0} \text{ (一体形フランジの場合)} \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S 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
H _G , 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 ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	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 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
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属 書 3 表 2 による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

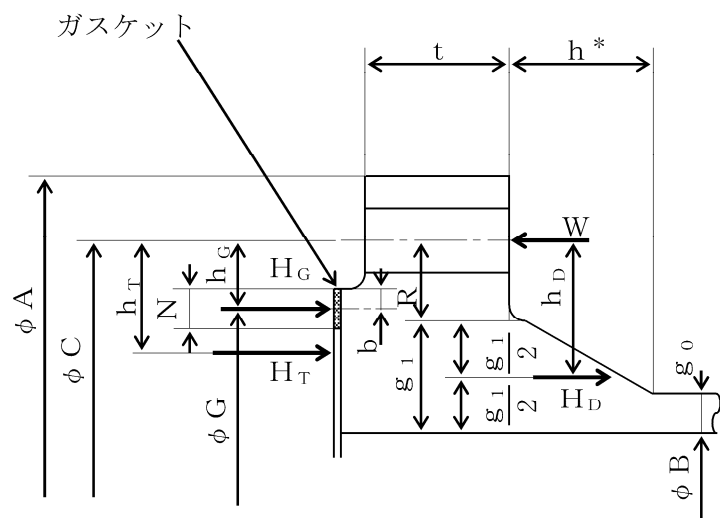
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締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 * : J I S B 8 2 6 5 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。

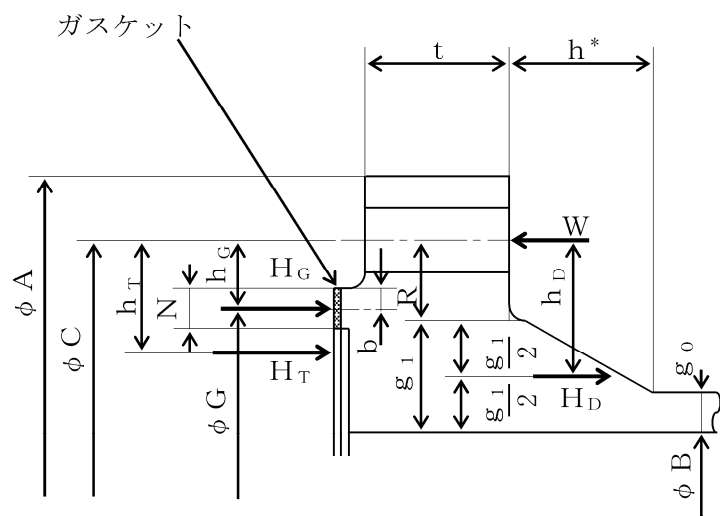
(2) フランジの形式

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。

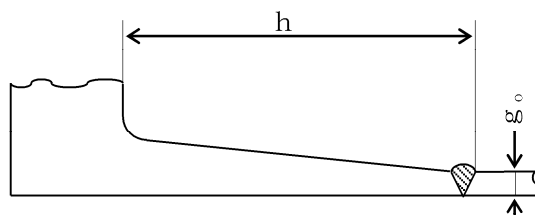


図 2-10 一体形フランジ

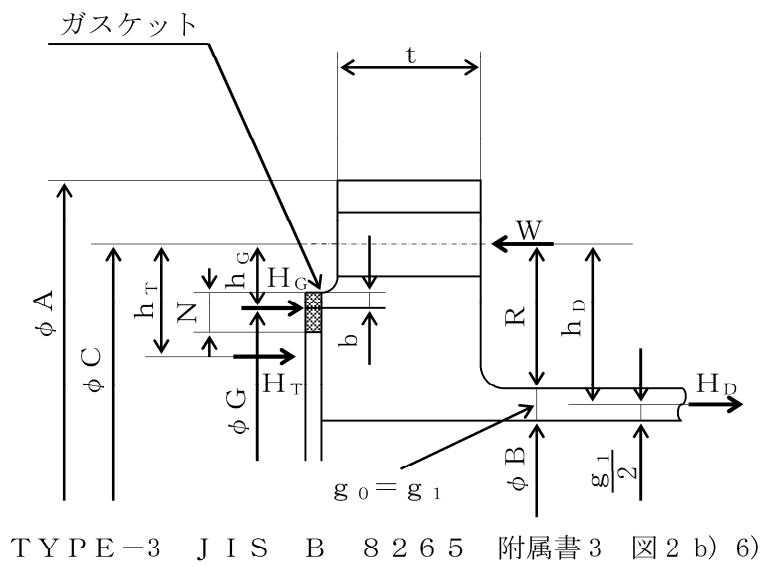


図 2-11 一体形フランジ

(3) 内圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅 (b) 及びガasket反力円の直径 (G) は, ガasket座の基本幅 (b_o) に従い以下のように求める。

b_o ≤ 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 J I S B 8 2 6 5 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asket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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

- 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asket縮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) 使用状態でフランジの応力

$$\sigma_{H_o} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_o}$$

$$\sigma_{R_o} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{T_o} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_o}$$

(b) ガasket縮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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ})$$

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 | |
| | 使用状態にあつては | $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| | ガasket縮付時にあつては | $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| c. | フランジの径方向応力 | |
| | 使用状態にあつては | $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| | ガasket縮付時にあつては | $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| d. | フランジの周方向応力 | |
| | 使用状態にあつては | $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| | ガasket縮付時にあつては | $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

目次

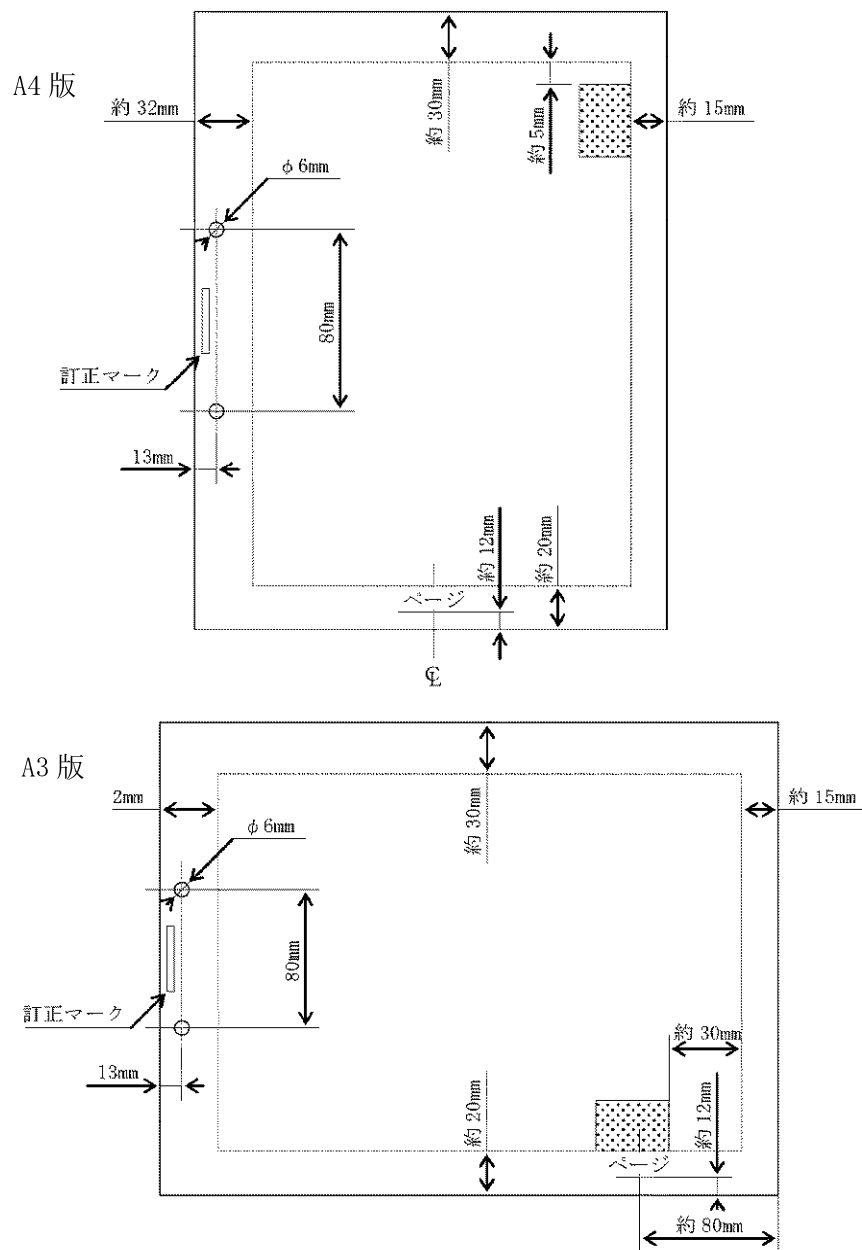
1. 適用範囲	別 1-1
2. 書式	別 1-1
3. 記載内容	別 1-3
4. 記載要領	別 1-4
4.1 配管	別 1-4
4.2 弁	別 1-13
4.3 スペシャリティ及び計装品	別 1-14
4.4 フランジ	別 1-16
4.5 機器	別 1-16
4.6 その他	別 1-17
5. 管番号及び継手番号	別 1-19
5.1 付番の原則	別 1-19
5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載	別 1-21
5.3 管番号表示の際に注意すべき事項	別 1-27

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。

(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うち、当該計算書記載範囲の配管	太い実線 (———)	0.8～1.0 mm
・当該申請回の機器*¹、弁、スペシャリティ、レギュレーサ、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 (———)	0.3～0.5 mm
・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、レギュレーサ、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 ・当該計算書記載範囲外の主配管	細い破線 (----)	0.3～0.5 mm

注記 *1：原子炉格納容器貫通部は、破線で記載する。

*2：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 & I D」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（M0, A0）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、系統略称及びクラス区分は記載しない。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。

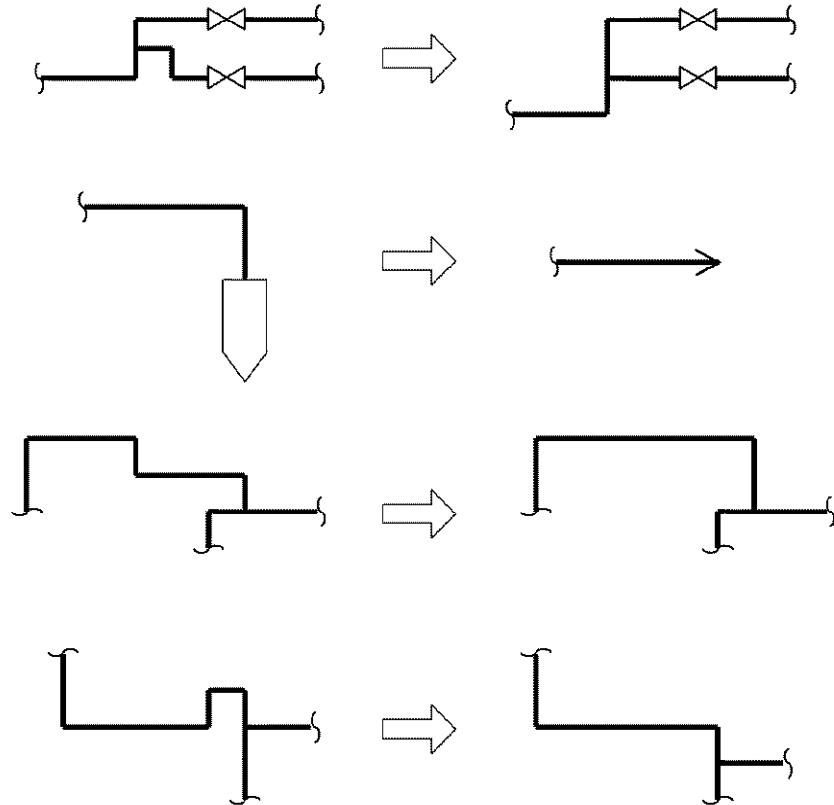
注 6 : ポンプの流れ方向表示は行わない。

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

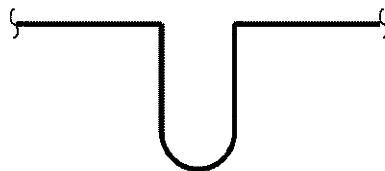
(1) P & I Dより概略系統図を作成する場合の表記（原則として）



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。

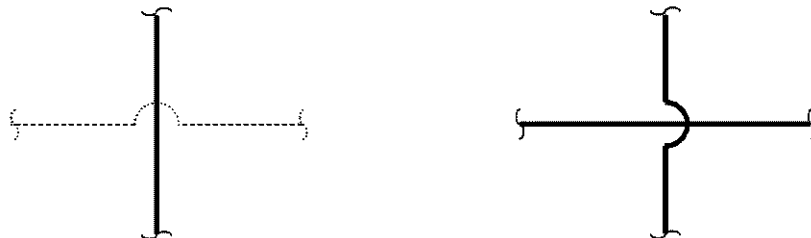
(2) Uシール部の表記

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。



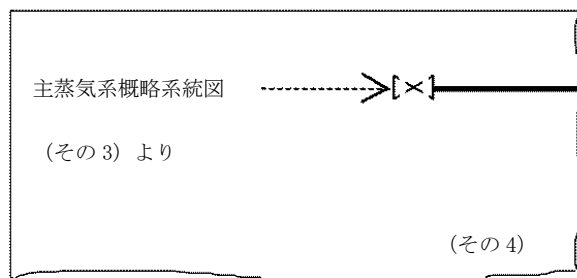
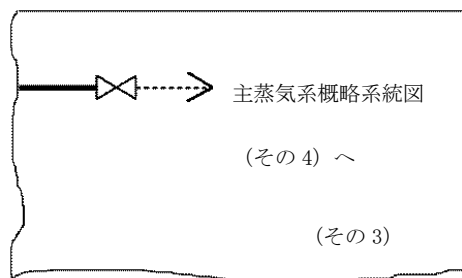
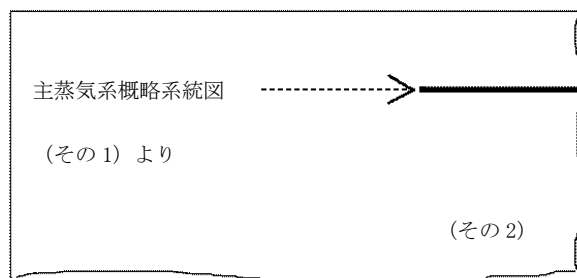
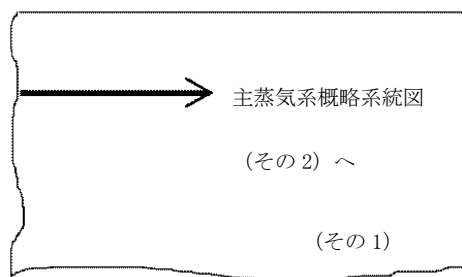
(3) 線の交差の表示

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。

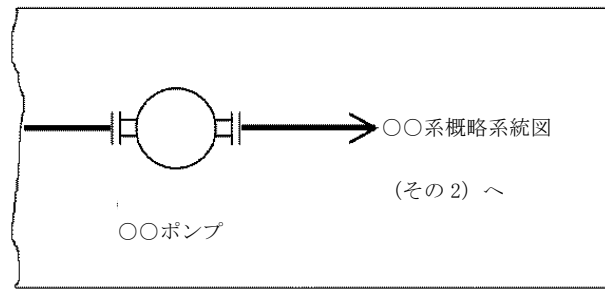


(4) 配管の接続先表示

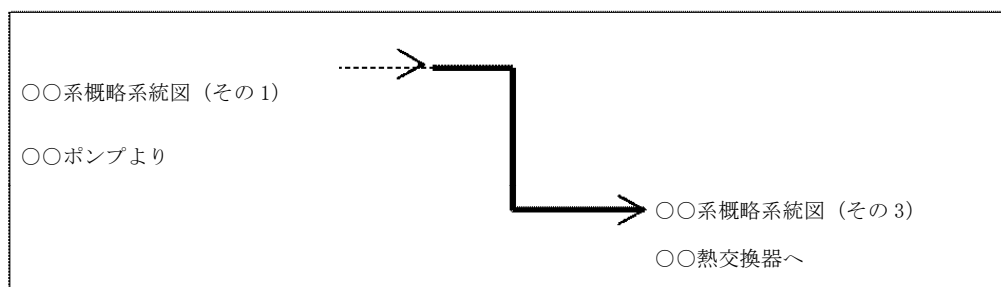
- 表記上概略系統図では、原則として工認系統図に合わせ「…へ」及び「…より」で統一する。
- 同一系統の同一シート内での機器の接続は、実線で結ぶことを原則とする。
- 同一系統であって、別シートへの接続を表示する場合は、接続される概略系統図名を記載する。また、読込んだシート内に接続する機器がある場合は機器名称も記載する。



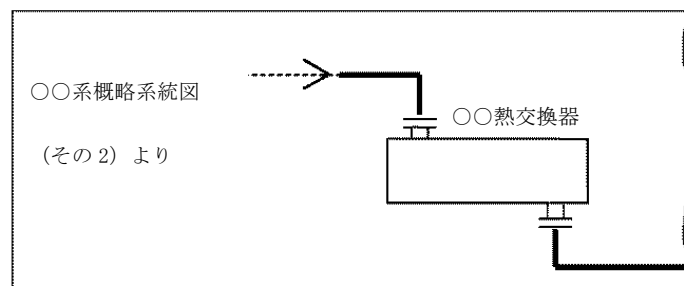
概略系統図の構成が3枚となる場合の表記例



〇〇系概略系統図 (その1)



〇〇系概略系統図 (その2)



〇〇系概略系統図 (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。

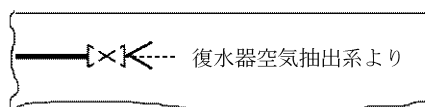
注記 *：ユーティリティ系と接続する場合は系統名称のみとする。

ただし、系統機能上重要なものは機器名称も記載する。

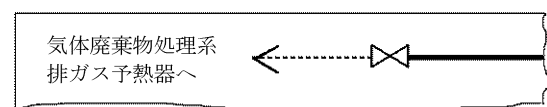
なお、同一申請回において廃棄設備と取り合う場合は、概略系統図名と機器名称を記載する。

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

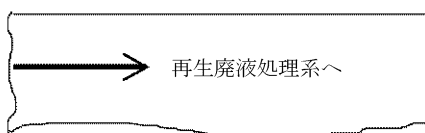


気体廃棄物処理系概略系統図
(復水器空気抽出系は将来申請)

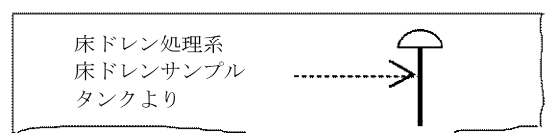


復水器空気抽出系概略系統図
(気体廃棄物処理系は将来申請)

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



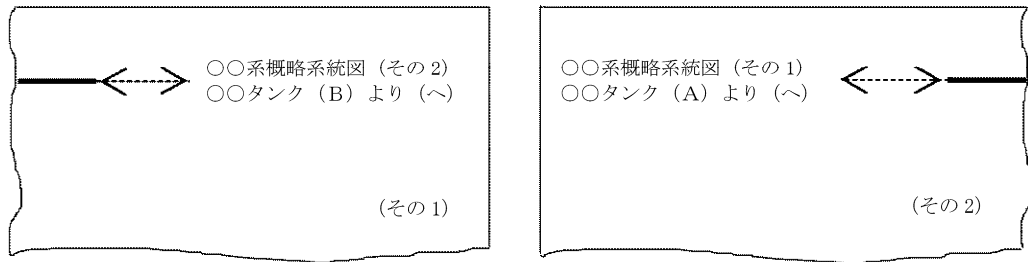
床ドレン処理系概略系統図
(再生廃液処理系は将来申請)



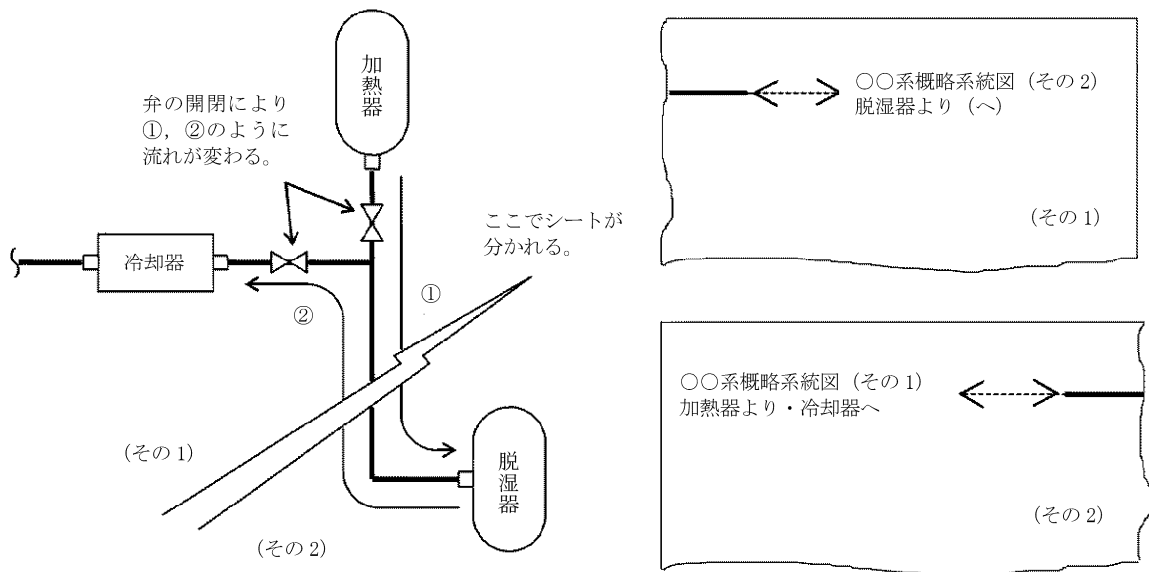
再生廃液処理系概略系統図
(床ドレン処理系は申請済)

- (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）にあつては、お互い「〇〇より（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。

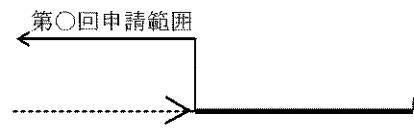


注：流体がモード等により行き先が変わる場合、下記の例に従う。

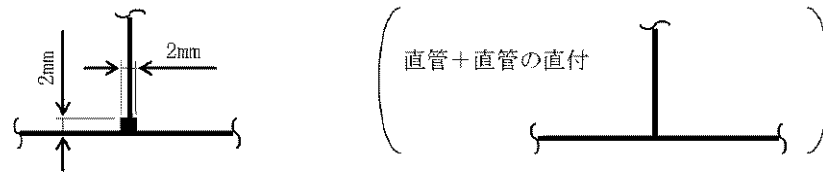


- f. 接続先の配管が工認対象外である場合は、表記する必要はない。ただし、工事計画書に記載する管継ぎ手にかかわる場合及び系統の接続を示すために必要なラインは、11ページ「(9) 分岐部の申請範囲の表記」に示す表記をする。

- 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。

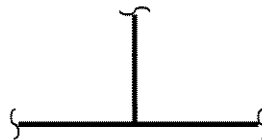


- (5) 管台の表記は下記に従うものとする（寸法は目安値）

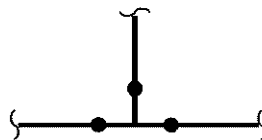


- (6) 継手類の表記は下記に従うものとする。

- 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

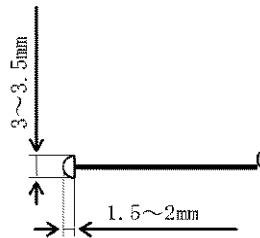
(a) 偏心又は同心の区別は行わない。また、径違いソケットについてはレジューサ表記とする。

(b) 表記寸法（目安値）



c. 鏡板, キャップ

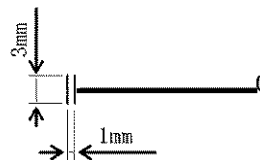
表記寸法（目安値）



d. 平板

表記寸法（目安値）

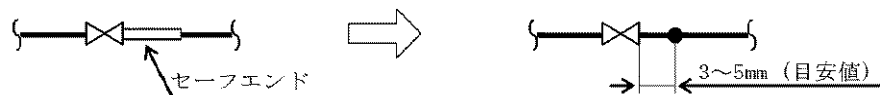
(a) フランジにボルトで締め付けられるタイプ



(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。

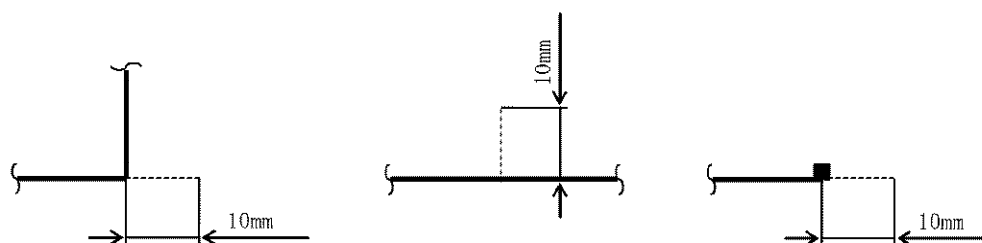


(9) 分岐部の申請範囲の表記

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 J I S 規 格品)			
異径ティー 及び管台 (設計・建設規格 規定の J I S 規 格品)			
同径ティー (設計・建設規格 規定の J I S 規 格品以外)			
異径ティー (設計・建設規格 規定の J I S 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)

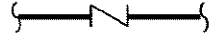


注2 : クラス1管及びクラス2管以外であっても、工認系統図上の分岐、合流を明確にする必要がある場合にはクラス1管及びクラス2管の表記とする。
ただし、主流路を形成する分岐部を除き、 $\phi 61$ mm以下の穴で、穴の補強が不要なものについては分岐部破線表示又は管台表示は不要とする。

4.2 弁

(1) 弁の形式は下記記号にて表示する。

a. 逆止弁



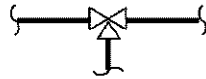
注：流れ方向の指示は表示しない。

ただし、弁の向きは工認系統図に合わせる。

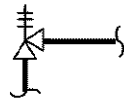
b. バタフライ弁



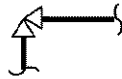
c. 三方弁



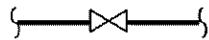
d. 安全弁, 逃がし弁



e. アングル弁

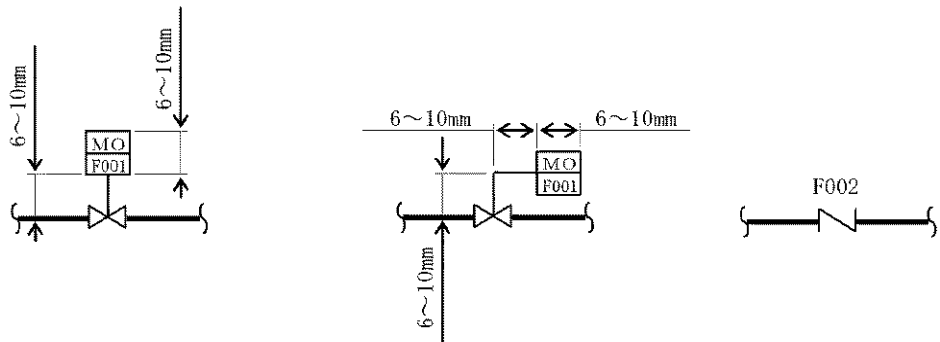


f. 上記以外の弁はすべてゲート弁表示とする。

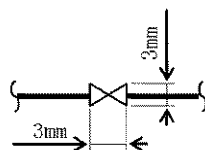


(2) 弁の開閉は表示しないものとし、すべて白抜きとする。

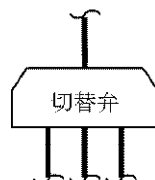
(3) 主要弁の表記は下記に示すように駆動方式及び弁番号を記載する。(寸法は目安値)



(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。

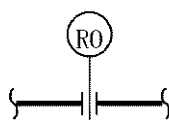


4.3 スペシャリティ及び計装品

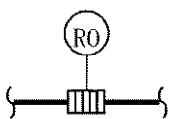
スペシャリティ及び計装品の表示は下記に従うものとする。

(1) オリフィス

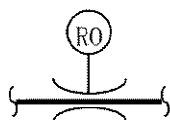
a. 単段減圧オリフィス



b. 多段減圧オリフィス

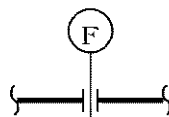


c. ベンチュリ形流量制限器

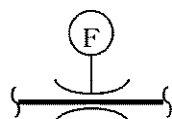


(2) 流量計

a. オリフィスプレート式



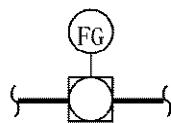
b. ベンチュリ式及びフローノズル式



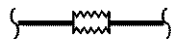
c. その他



(3) フローグラス

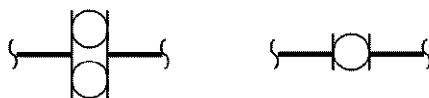


(4) 伸縮継手

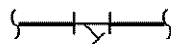


(5) ストレーナ

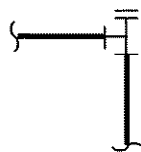
a. バスケットストレナ



b. Y型ストレナ



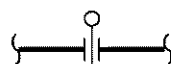
c. T型ストレナ



d. コーンストレナ (仮設のものは除く。)

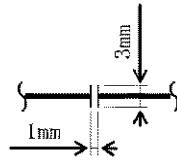


(6) スペクタクルフランジ



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。

(図はフランジ取り付けを示している。)

- 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



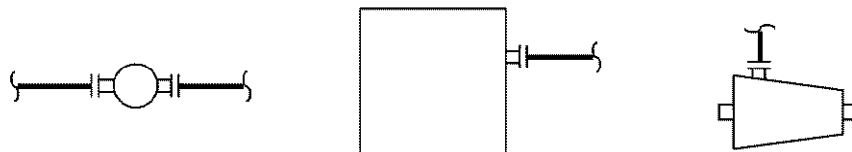
(2) その他の機器

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。

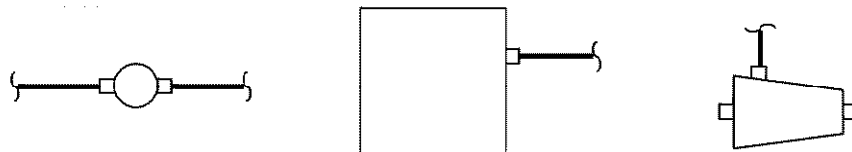
(形状は原則として工認系統図に合わせる。)

(3) 機器取合点表示

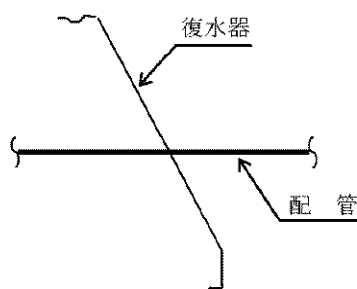
- a. フランジ取合点



- b. ノズル取合点

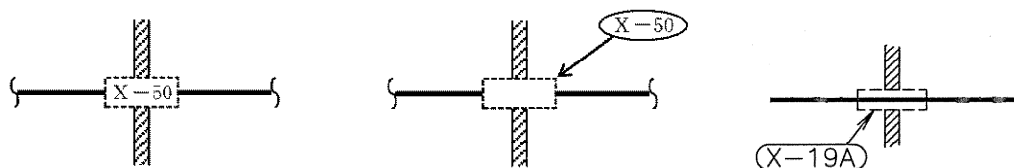


(4) 復水器貫通部表示

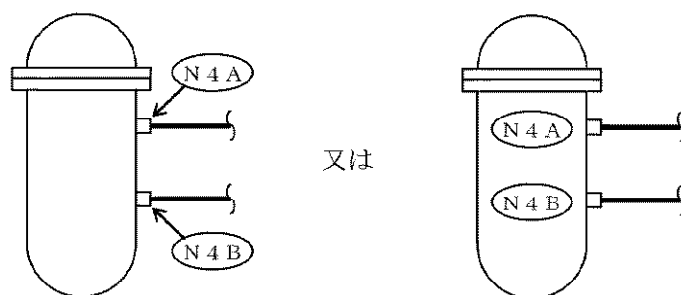


4.6 その他

- (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。

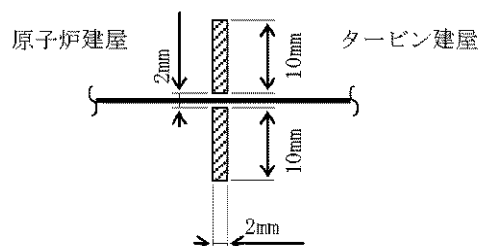


- (2) 原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器ノズルは下記表示とする。



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)

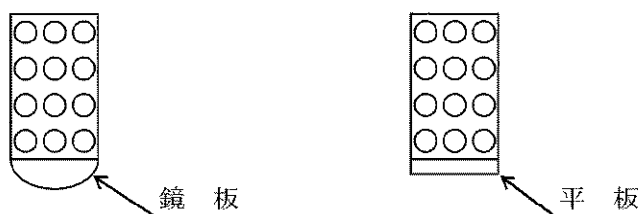


注1：R/B，T/B等の略称は使用しない。

注2：埋込部の表示は行わない。

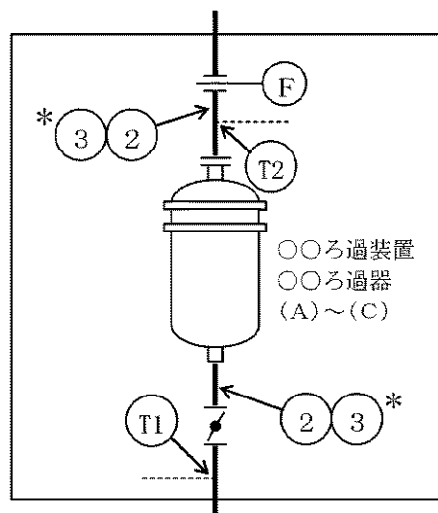
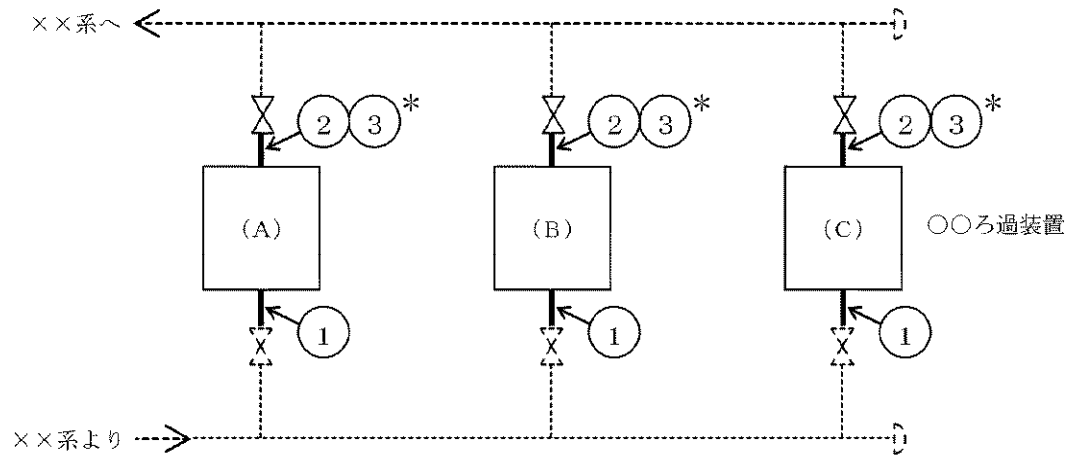
注3：建屋外のダクトは「屋外」と，2mmギャップは「連絡トレンチ」と呼称する。

- (4) スパージャ，ディフュ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クラスがある場合は、上位クラス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
- ・クラス

- (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

①T ②T ③T （規格外継手に適用）

- ・レジューサ

①R ②R ③R （ 同 上 ）

- ・鏡板，キャップ

①C ②C ③C （ 同 上 ）

- ・平板，閉止フランジ

①B ②B ③B （ 同 上 ）

- ・フランジ

①F ②F ③F （ 同 上 ）

- ・伸縮継手

①E ②E ③E （ 同 上 ）

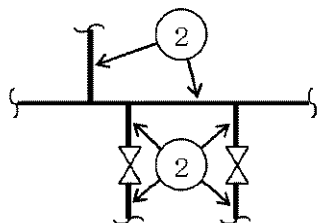
- ・穴あき管

①SP ②SP ③SP （ 同 上 ）

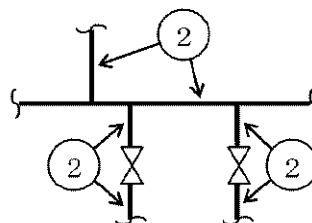
(4) 管番号の記入

- a. 番号の矢印は2箇所以内とする。

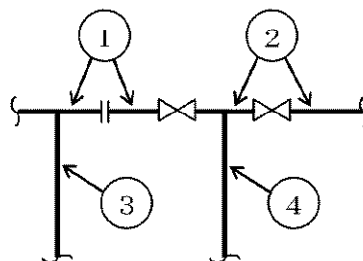
(誤)



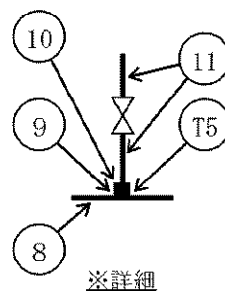
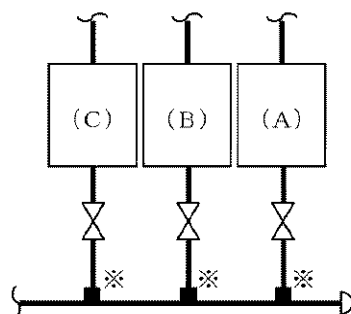
(正)



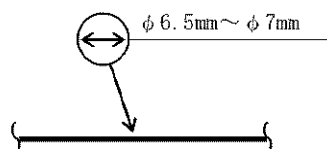
- b. 同一仕様であっても、弁及びフランジ等により仕様変更か否か誤解を招くと思われる場合は必ず番号を取る。



- 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 J I S 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④と接続される管⑤が同一仕様である場合は、⑤に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上④（⑤側半分）に管番号を付番する場合もある。

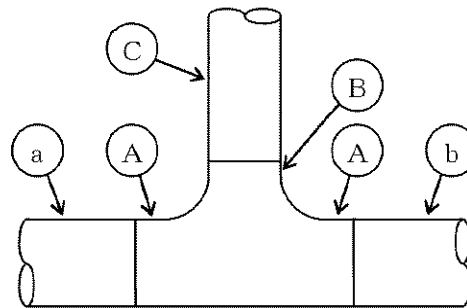
(b) ティーの主管側④と接続される管⑥が同一仕様である場合は、⑥に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上④（⑥側半分）に管番号を付番する場合もある。

(c) ティーの主管側④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、④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④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⑦と接続される管⑧が同一仕様である場合は、⑧に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上⑦に管番号を付番する場合もある。

- (e) ティーの分岐管側⑥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、⑥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⑥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 J I S 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。

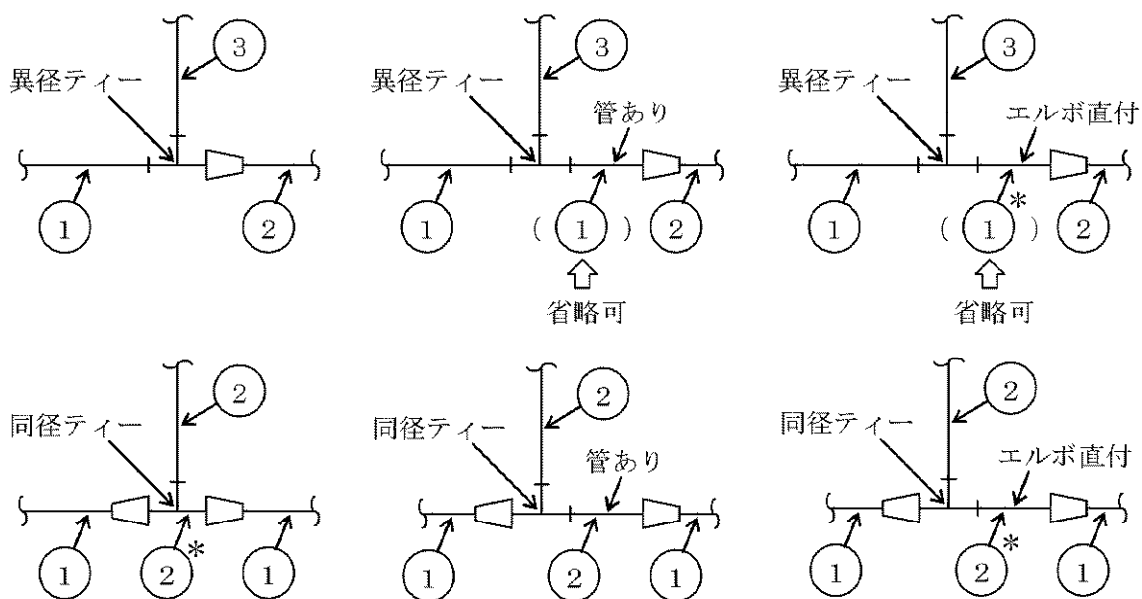
注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のレジューサについては、クラス 1 管及びクラス 2 管並びに汽力設備を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

d. キャップ

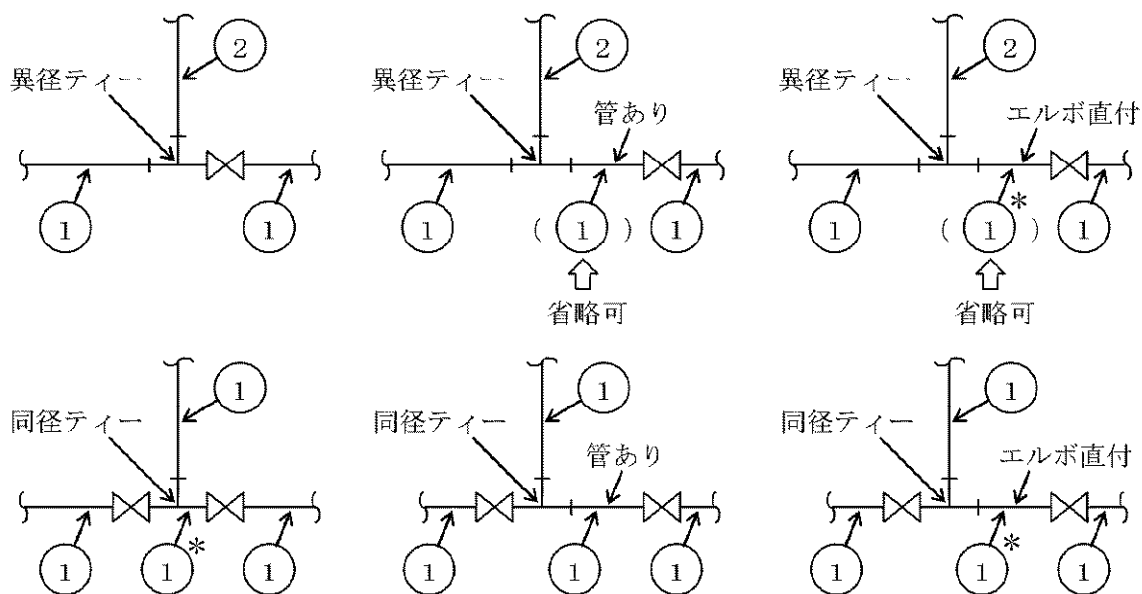
キャップに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合は、キャップ端部に管番号を付番し、管継手マーク”*”を付ける。

注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 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。

(ティー主管側+レギュレーサ)

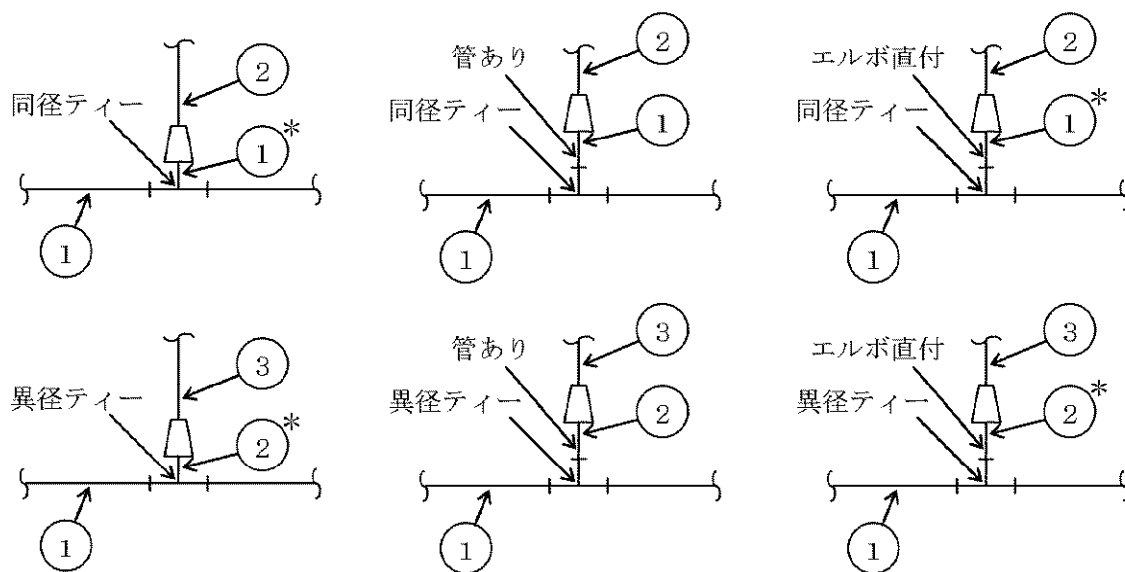


(ティー主管側+弁)

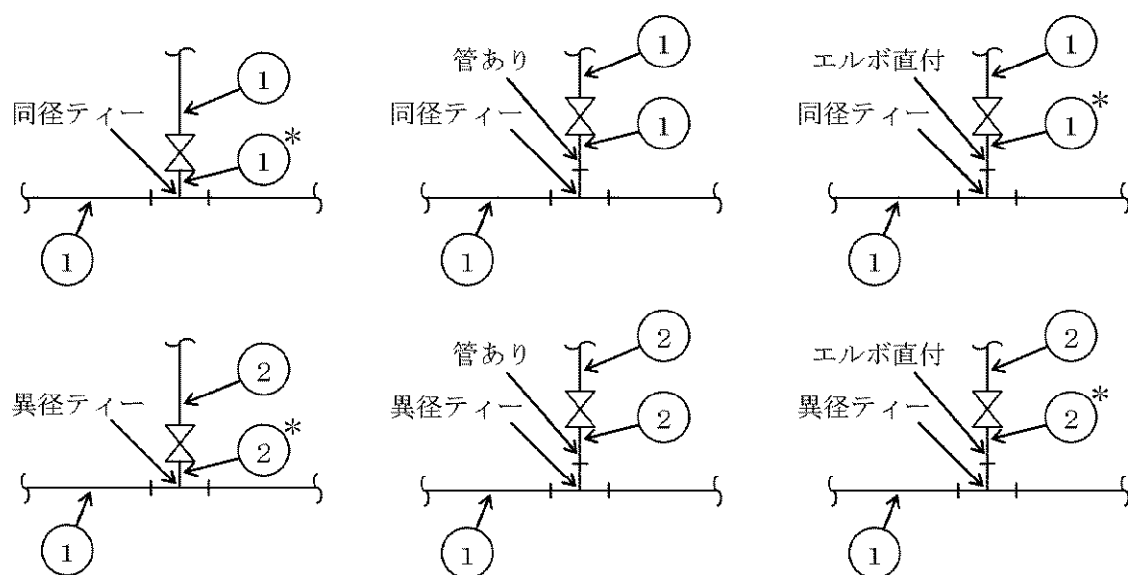


管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その1)

(ティー分岐管側+レジューサ)



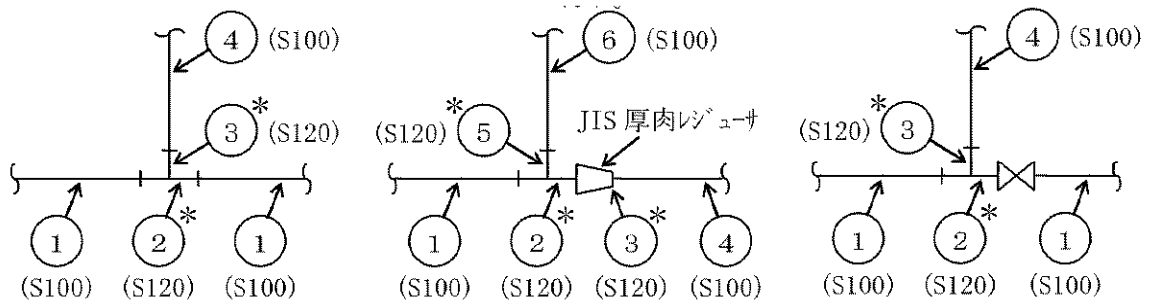
(ティー分岐管側+弁)



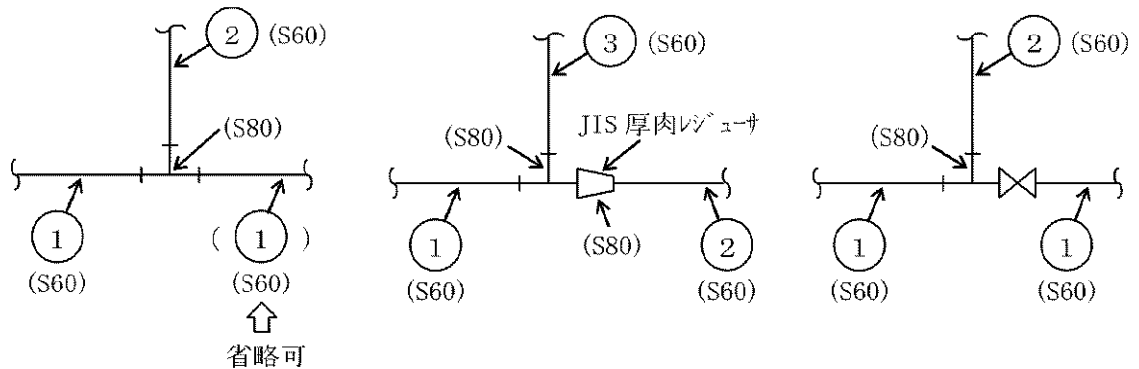
管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その2)

(J I S 厚肉ティール)

(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。

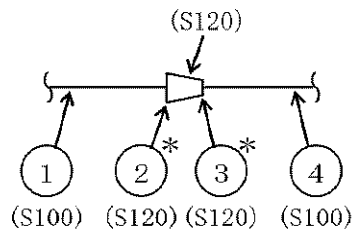


(イ) 上記以外…同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。

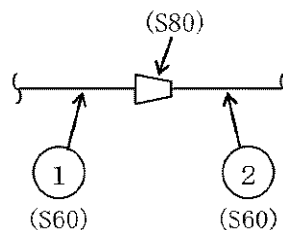


(J I S 厚肉レギュサ)

(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。

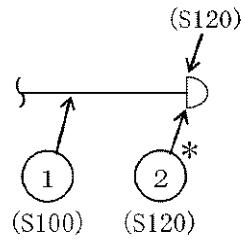


(イ) 上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。

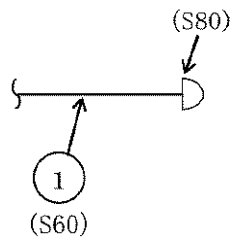


(J I S 厚肉キャップ)

(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 J I S 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、管番号は取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、J I S 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 J I S 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 J I S 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 J I S 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

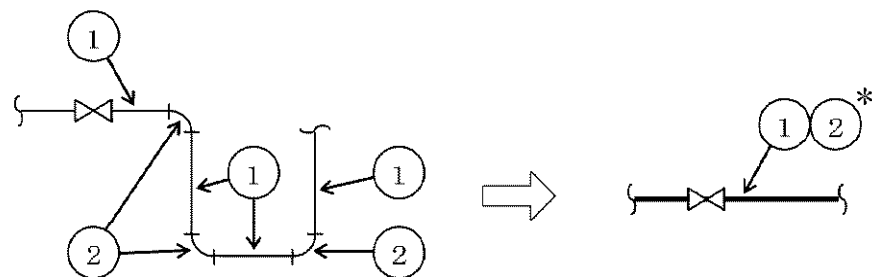
(b) 異径ティーで分岐部がレジューサ等に接続する場合、機器直結のレジューサのように溶接部における口径が表れない場合又は機器、エルボ、レジューサ直結で直管がない場合

(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。

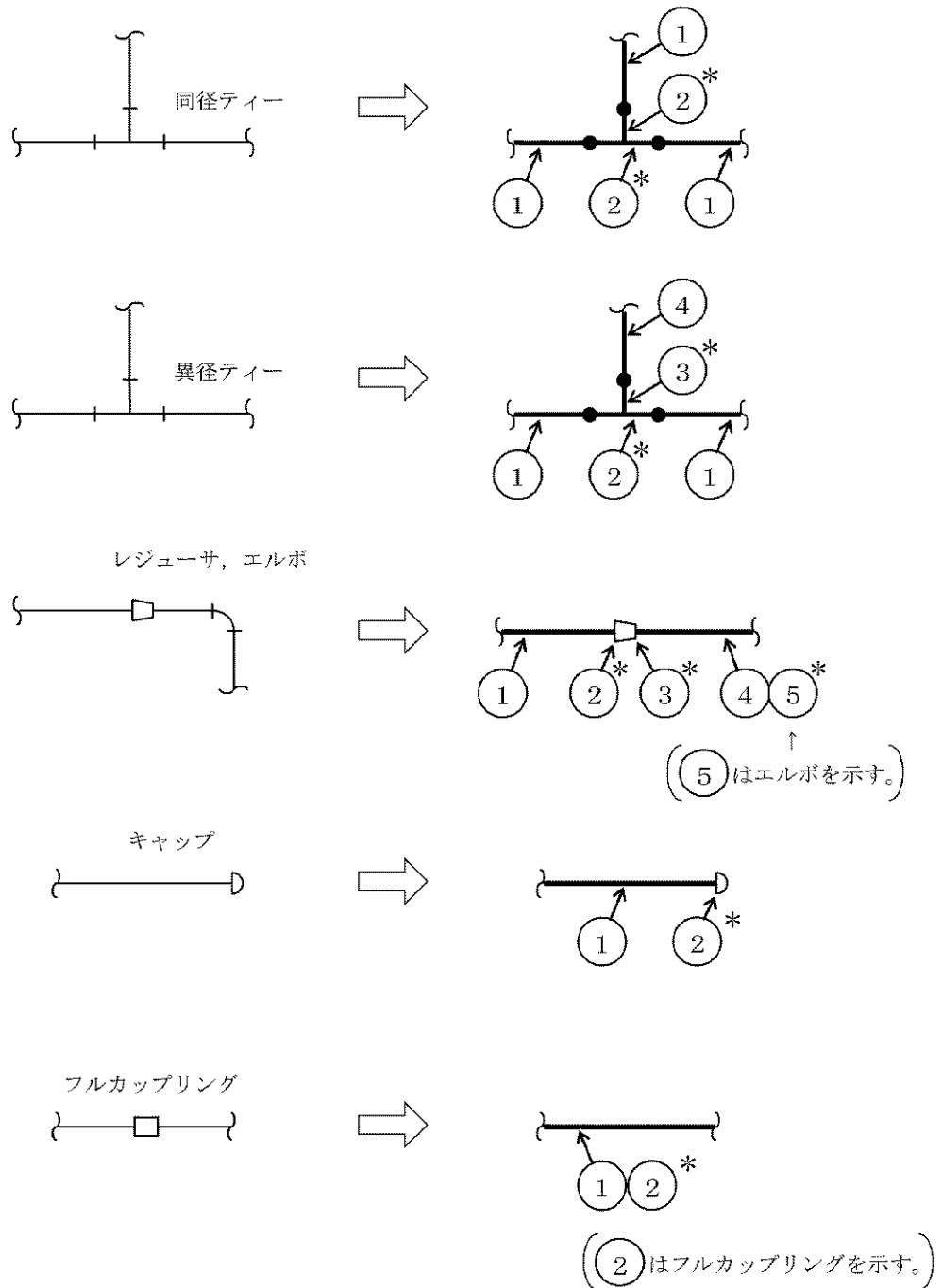
(3) 番号表示例

- a. エルボの強度計算を行う場合



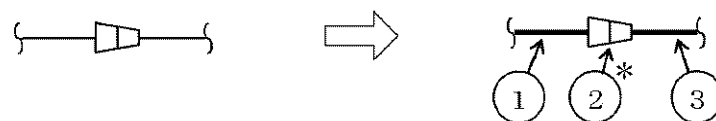
b. 設計・建設規格規定の J I S 規格品管継手を使用する場合

- (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（レジャーサについては、汽力設備も含む。）の場合）

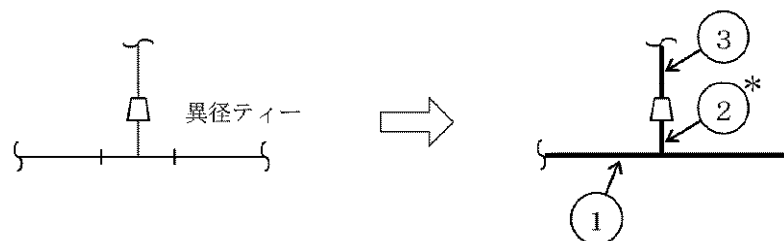


(b) レジューサの2段直列接続

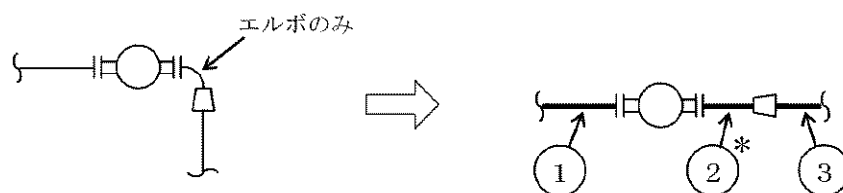
注：接続配管と同材，同肉厚の場合を示す。



(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

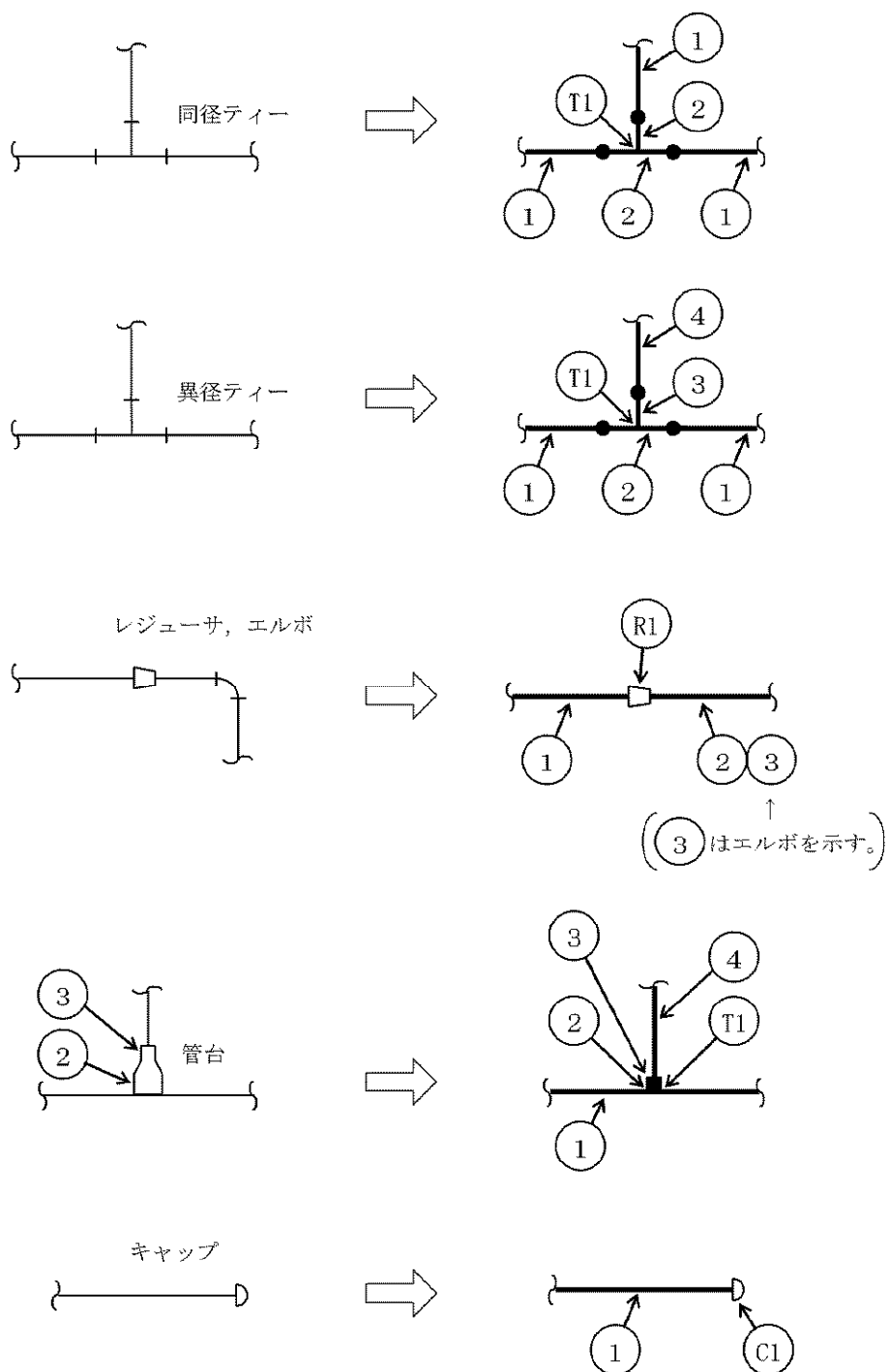


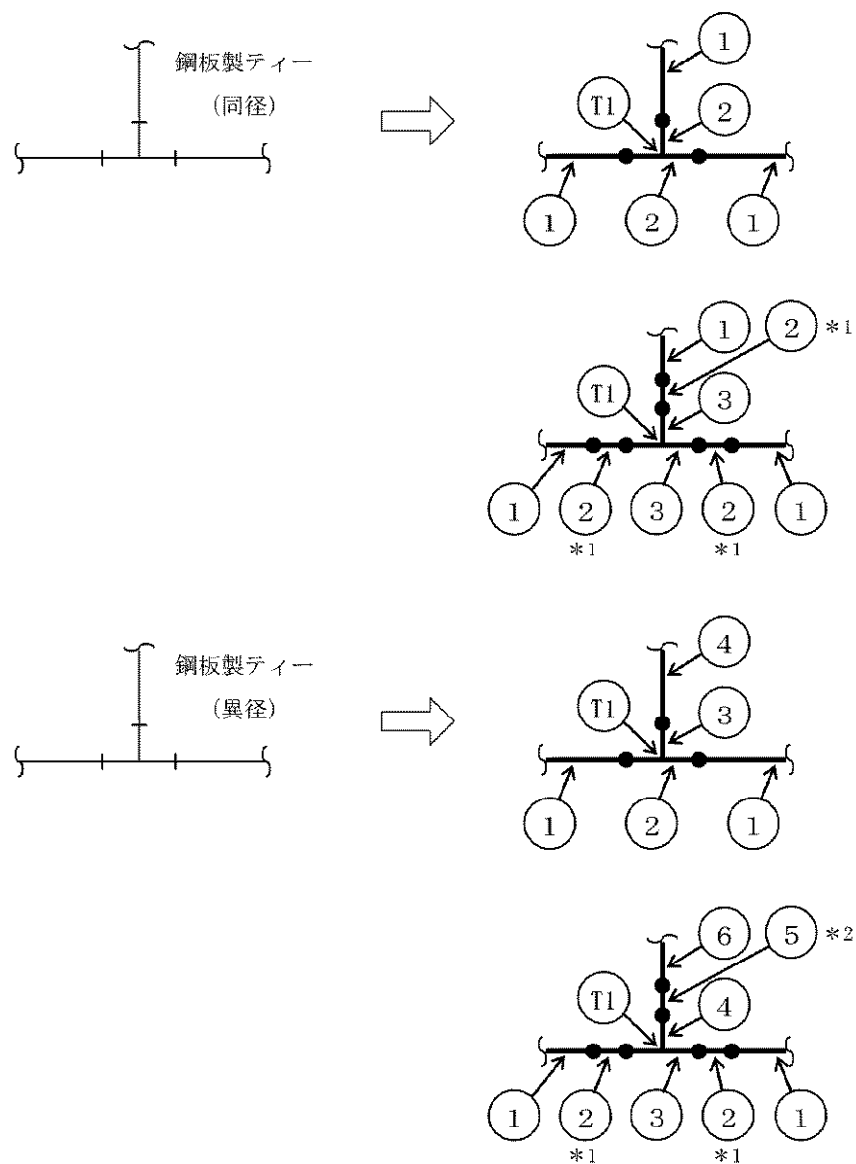
(d) エルボとレジューサが直付でエルボに接続配管がない場合



c. 設計・建設規格規定の J I S 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

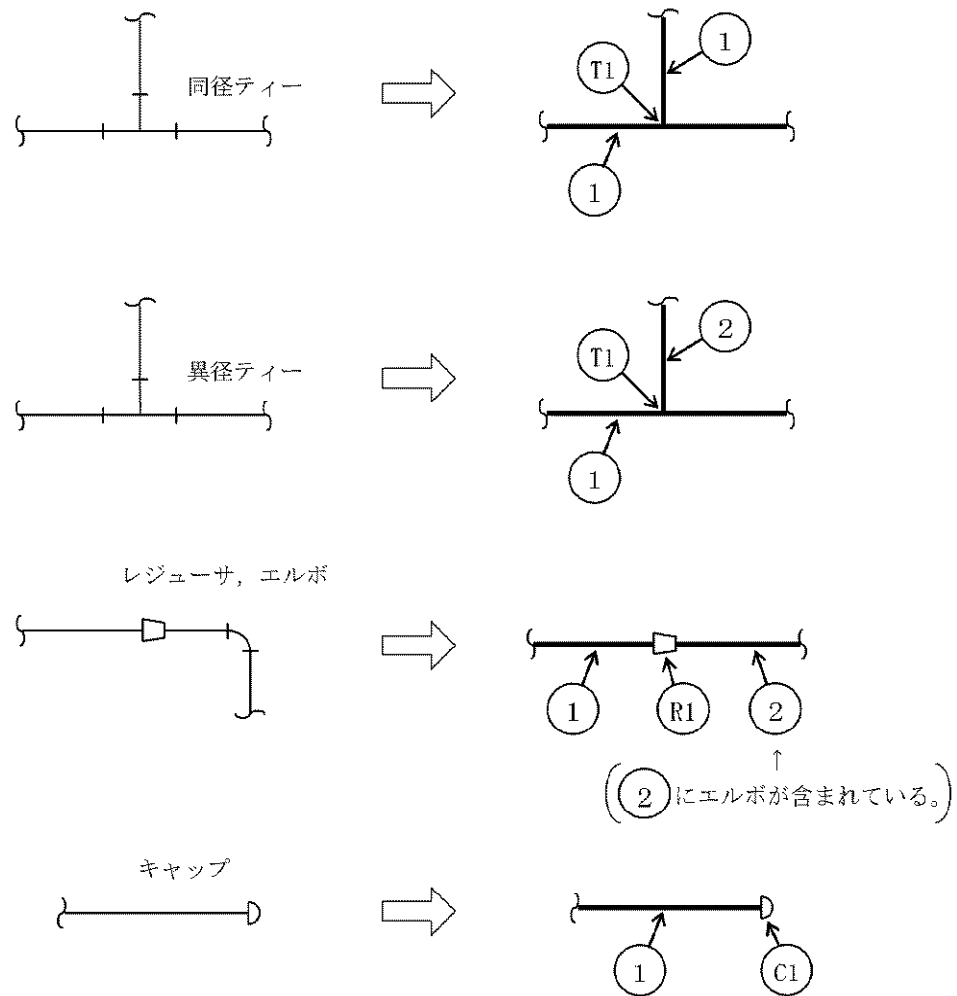




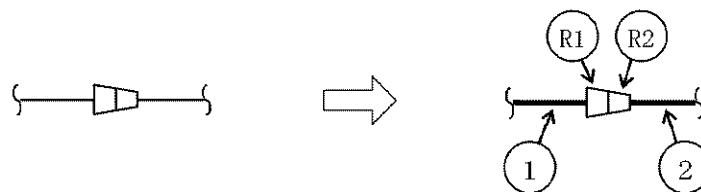
注記 *1 : 仕様が①と異なる場合を示す。

*2 : 仕様が②と異なる場合を示す。

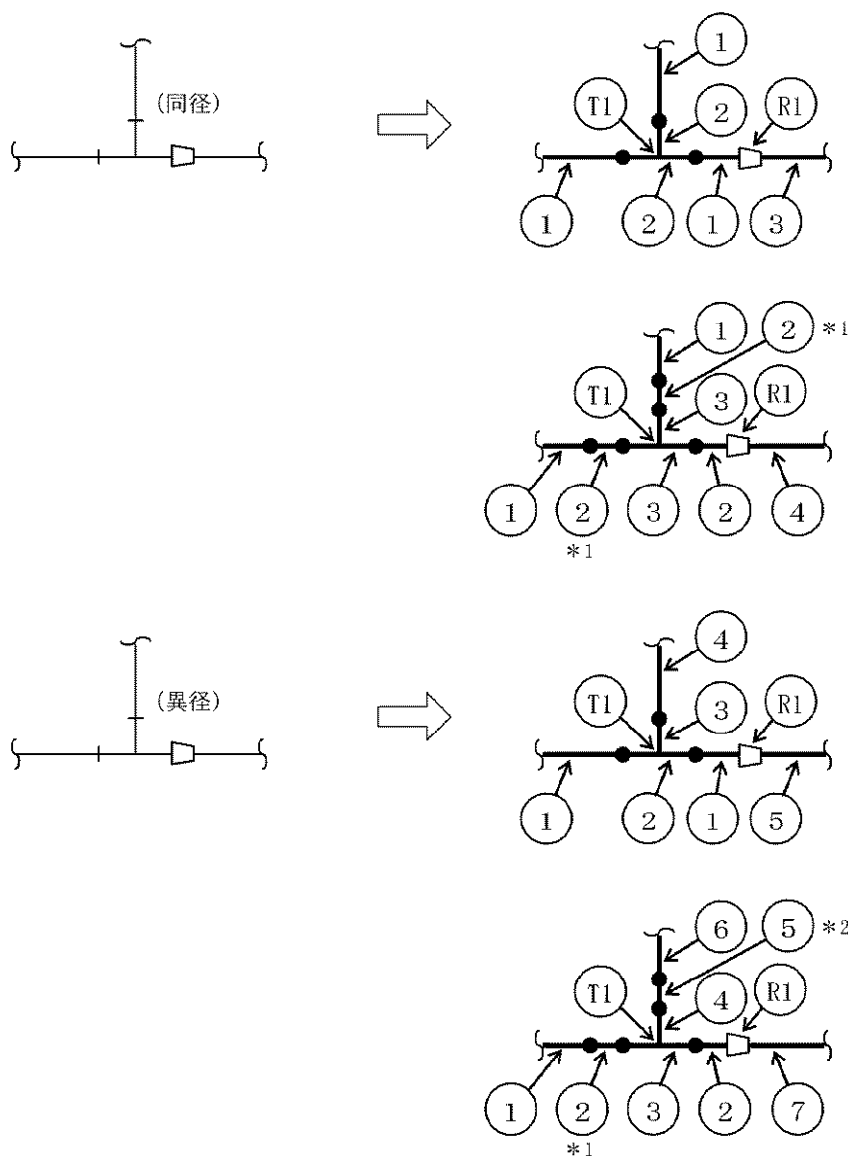
(b) 管継手の材料及び肉厚が接続配管と同じ場合



(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。

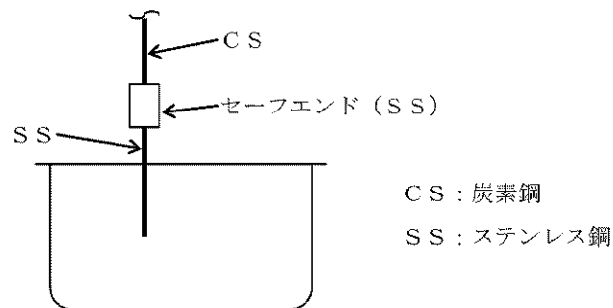
(4) フランジ

J I S 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。

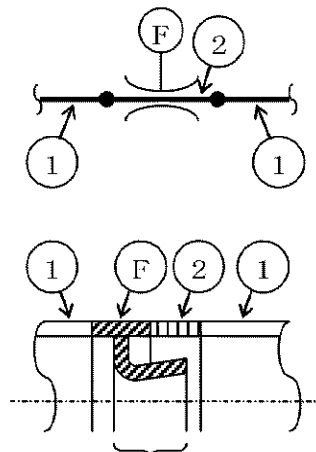
ただし, J I S等の規格フランジに圧力検出用の穴をあけた場合, 規格フランジとして扱う。

(5) その他

- a. 弁メーカー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。

別紙 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-*-*-*-*-* 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-* クラス*機器の強度計算の基本方針」及び「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-* クラス*管の強度計算方法」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

NT2 補③ V-3-2-2 R1

・評価条件整理表

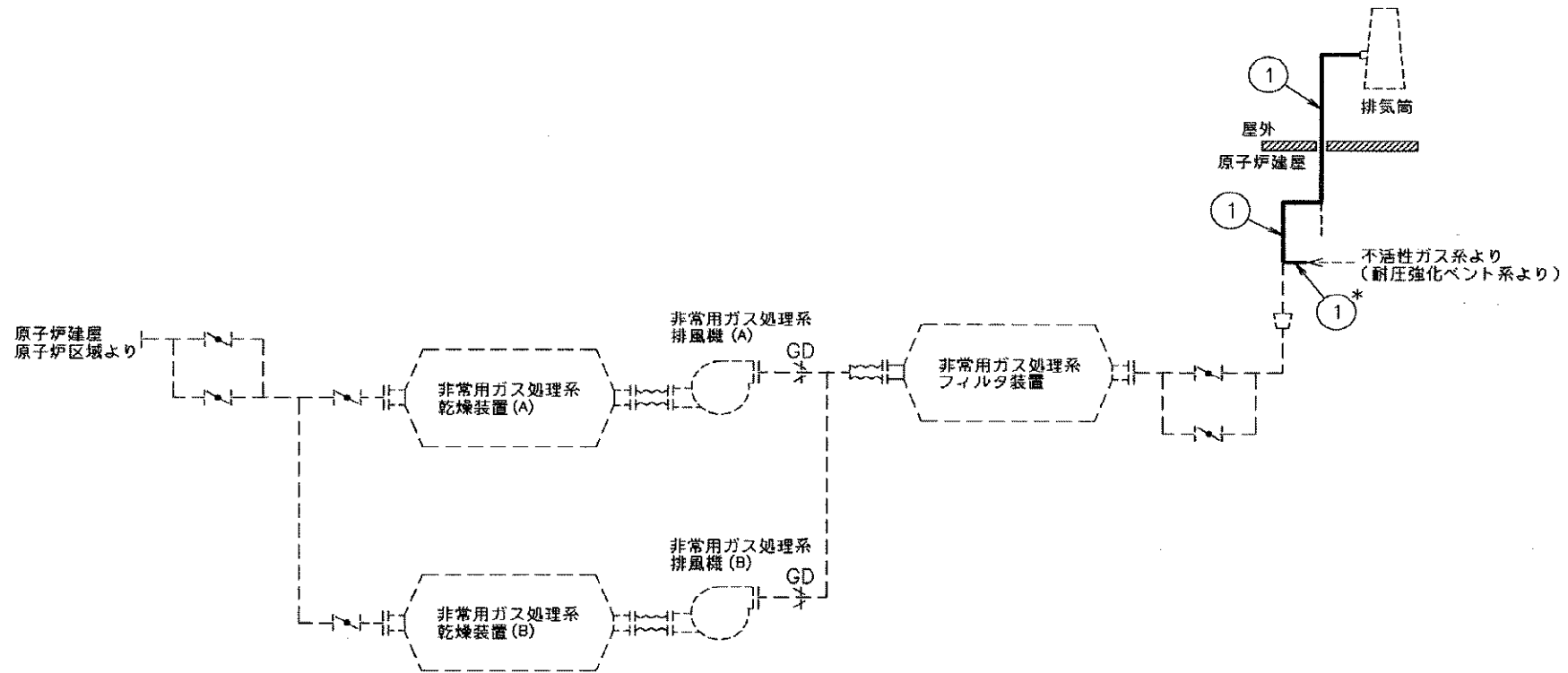
管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に 対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか			評価条件に変更があるか					既工認に おける 評価結果 の有無	既工認 評価規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス
			DB クラス	SA クラス	クラス アップ の有無	DB条件		SA条件		条件 変更の 有無					
						圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)	温度 (℃)						
1	既設	有	DB-3	SA-2	有					有	有	S45告示	②	—	SA-2
2	新設	有	DB-3	SA-2	—					—	—	—	③	—	SA-2
3	新設	有	DB-3	SA-2	—					—	—	—	③	—	SA-2*1
4	新設	有	DB-3	SA-2	—					—	—	—	③	—	SA-2*1
5	新設	有	DB-3	SA-2	—					—	—	—	③	—	SA-2*1
6	既設	有	DB-3	SA-2	有					有	有	S45告示	②	—	SA-2
7	既設	有	DB-3	SA-2	有					有	有	S45告示	②	—	SA-2

・適用規格の選定

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の板厚計算	②	同等	設計・建設規格
2	管の板厚計算	③	—	設計・建設規格
3	管の板厚計算		—	設計・建設規格
4	管の板厚計算		—	設計・建設規格
5	管の板厚計算		—	設計・建設規格
6	管の板厚計算	②	評価式	S45告示
7	管の板厚計算		許容値	S45告示
8	管の板厚計算		許容値	S45告示
9	管の板厚計算		評価式	S45告示
10	管の板厚計算		許容値	S45告示
11	管の板厚計算		評価式	設計・建設規格
12	管の板厚計算		評価式	設計・建設規格
13	管の板厚計算		評価式	S45告示
14	管の板厚計算		許容値	S45告示
15	管の板厚計算	③	—	設計・建設規格
T1	管の穴と補強計算	②	判断不可	S45告示 設計・建設規格
T2	管の穴と補強計算		判断不可	S45告示 設計・建設規格

目次

1. 概略系統図.....
2. 管の強度計算書.....



注記*：管継手
非常用ガス処理系概略系統図

2. 管の強度計算書（クラス1配管）

告示第501号 第50条 準用，設計・建設規格 PPB-3551及びPPB-3561

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	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t _s (mm)	t (mm)	算 式	t _r (mm)	最高圧力 P _C P _D (MPa)	許容圧力 P _{aC} P _{aD} (MPa)
1																
3																

評価：t_s ≧ t_r，P_C ≧ P_{aC}，P_D ≧ P_{aD}，よって十分である。

管の強度計算書（クラス 1 配管）

設計・建設規格 PPB-3411, PPB-3551及びPPB-3561

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	ク ラ ス	S m (MPa)	Q	t s (mm)	t (mm)	算 式	t r (mm)	最高圧力 P c P o (MPa)	許容圧力 P a c P a o (MPa)
2															
4															

評価：t s ≥ t r, P c ≤ P a c, P o ≤ P a o, よって十分である。

2. 管の強度計算書（重大事故等クラス2管）

告示第501号 第58条 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	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t _s (mm)	t (mm)	算 式	t _r (mm)
10														

評価：t_s ≥ t_r，よって十分である。

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	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t s (mm)	t (mm)	算 式	t r (mm)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
11														

評価：t s ≥ t r，よって十分である。

管の強度計算書（クラス4配管）

告示第501号 第67条 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	ク ラ ス	Q	t _s (mm)	t _r (mm)
2										
3										

評価：t_s ≥ t_r，よって十分である。

管の強度計算書（クラス4配管）

設計・建設規格 PPH-3020

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	ク ラ ス	Q	t _s (mm)	t _r (mm)
2										
3										

評価：t_s ≥ t_r，よって十分である。

管の穴と補強計算書（クラス 1 配管）

設計・建設規格 PPB-3420

NO.		T1	r 1 (mm)	
形 式			r 2 (mm)	
最高使用圧力 P (MPa)			L 1 (mm)	
最高使用温度 (°C)			L 2 (mm)	
主管と管台の角度 α (°)				
傾斜面の傾き角 θ (°)		—	d (mm)	
			d f r (mm)	
主管材料				
S m r (MPa)				
D o r (mm)				
D i r (mm)			LN (mm)	
t r o (mm)			LA (mm)	
Q r			LAD (mm)	
t r (mm)				
t r r (mm)			A r (mm ²)	
			A r 2 3 (mm ²)	
管台材料			A 1 (mm ²)	
S m b (MPa)			A 3 (mm ²)	
r p (mm)			AD 3 (mm ²)	
r l b (mm)			A 0 (mm ²)	
t b o (mm)			A 0 D (mm ²)	
Q b			評価: $A 0 > A r$ $A 0 D \geq A r 2 3$ よって十分である。	
t b (mm)				
t b r (mm)				
D o b (mm)				
t b D o (mm)				
Q b D				
t b D (mm)				
t b n (mm)		—		
y (mm)		—		

管の穴と補強計算書（重大事故等クラスⅡ管）

設計・建設規格 PPC-3420 準用

NO.	T2	A_r (mm ²)	
形 式		A_0 (mm ²)	
最高使用圧力 (MPa)		A_1 (mm ²)	
最高使用温度 (℃)		A_2 (mm ²)	
主管と管台の角度 (°)		A_3 (mm ²)	
		A_4 (mm ²)	
主管材料		評価： $A_0 > A_r$ よって十分である。	
S_r (MPa)			
D_{or} (mm)			
D_{ir} (mm)			
t_{ro} (mm)		d_{frD} (mm)	
Q_r		L_{AD} (mm)	
t_r (mm)		L_{ND} (mm)	
t_{rr} (mm)		A_{rD} (mm ²)	
η		A_{0D} (mm ²)	
		A_{1D} (mm ²)	
管台材料		A_{2D} (mm ²)	
S_b (MPa)		A_{3D} (mm ²)	
D_{ob} (mm)		A_{4D} (mm ²)	
D_{ib} (mm)		評価： $A_{0D} \geq A_{rD}$ よって十分である。	
t_{bn} (mm)			
Q_b			
t_b (mm)		W (N)	
t_{br} (mm)		F_1	—
		F_2	—
強め材材料		F_3	—
S_e (MPa)		S_{w1} (MPa)	—
D_{oe} (mm)		S_{w2} (MPa)	—
t_e (mm)		S_{w3} (MPa)	—
		W_{e1} (N)	—
穴の径 d (mm)		W_{e2} (N)	—
K		W_{e3} (N)	—
d_{fr} (mm)		W_{e4} (N)	—
L_A (mm)		W_{e5} (N)	—
L_N (mm)		W_{ebp} (N)	—
L_1 (mm)		W_{ebp} (N)	—
L_2 (mm)		W_{ebp} (N)	—
		評価： $W \leq 0$ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

管の穴と補強計算書（クラス3配管）

設計・建設規格 PPD-3420

NO.		T3	A_r (mm ²)	
形 式			A_0 (mm ²)	
最高使用圧力 (MPa)			A_1 (mm ²)	
最高使用温度 (°C)			A_2 (mm ²)	
主管と管台の角度 (°)			A_3 (mm ²)	
			A_4 (mm ²)	
主管材料			評価: $A_0 > A_r$ よって十分である。	
S_r (MPa)				
D_{or} (mm)				
D_{ir} (mm)				
t_{ro} (mm)			d_{frD} (mm)	
Q_r			L_{AD} (mm)	
t_r (mm)			L_{ND} (mm)	
t_{rr} (mm)			A_{rD} (mm ²)	
η			A_{0D} (mm ²)	
			A_{1D} (mm ²)	
管台材料			A_{2D} (mm ²)	
S_b (MPa)			A_{3D} (mm ²)	
D_{ob} (mm)			A_{4D} (mm ²)	
D_{ib} (mm)			評価: $A_{0D} \geq A_{rD}$ よって十分である。	
t_{bn} (mm)				
Q_b				
t_b (mm)			W (N)	
t_{br} (mm)			F_1	——
			F_2	——
強め材材料			F_3	——
S_e (MPa)			S_{w1} (MPa)	——
D_{oe} (mm)			S_{w2} (MPa)	——
t_e (mm)			S_{w3} (MPa)	——
			W_{e1} (N)	——
穴の径 d (mm)			W_{e2} (N)	——
K			W_{e3} (N)	——
d_{fr} (mm)			W_{e4} (N)	——
L_A (mm)			W_{e5} (N)	——
L_N (mm)			W_{ebp} (N)	——
L_1 (mm)			W_{ebp} (N)	——
L_2 (mm)			W_{ebp} (N)	——
			評価: $W \leq 0$ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

V-3-*-*-* 管の基本板厚計算書

NT2 補③ V-3-2-2 R1

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「V-**-** 管の基本板厚計算書」による。

第二部 クラス1 管の応力計算方法

目次

1. 一般事項	2-1
1.1 概要	2-1
1.2 適用基準	2-1
2. クラス1管の強度計算方法	2-1
2.1 計算方針	2-1
2.2 計算方法	2-2
3. 計算書の構成	2-15
3.1 管の応力計算書	2-15

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうち、管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (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。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2. クラス 1 管の強度計算方法

2.1 計算方針

設計基準対象施設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。

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 管は、設計・建設規格 PPB-3500 による評価を実施する。

2.2 計算方法

2.2.1 解析による計算

応力計算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、解析は解析コード「H I S A P」を使用する。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・H I S A P及びN S A F E」に示す。

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. スナッパ：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、管内流体の質量、付加質量として保温材等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. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力
- e. 配管肉厚方向の温度こう配及び管軸に沿った構造上不連続部に生じる熱応力

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
$K_1, K_2, K_{2b}, K_{2r}, K_3$	—	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)

記号	単位	定義
$M_{b\ p}$	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により生ずるモーメント
$M_{b\ r}$	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（逃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
$M_{b\ s}$	N・mm	(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 (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 (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
M_c	N・mm	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
$M_{i\ p}$	N・mm	管の機械的荷重により生ずるモーメント

記号	単位	定義
M_{is}	N・mm	(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 (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 (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
M_{rp}	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により生ずるモーメント
M_{rs}	N・mm	(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 (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 (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
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	最高使用圧力
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

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_ℓ	MPa	繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格 PPB-3533 による。）
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
$S_{p r m}$	MPa	一次応力
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 $\ell_a = \sqrt{(d_a t_a)}, \quad \ell_b = \sqrt{(d_b t_b)}$ 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。）

記号	単位	定義
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	$\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$	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
α_a, α_b	$\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$	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）

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 1.5 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 1.5 \cdot S_m$$

b. 一次応力（設計・建設規格 PPB-3552）

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \\ \leq \text{Min} (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq \text{Min} (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$$

c. 一次応力（設計・建設規格 PPB-3562）

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \\ \leq \text{Min} (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m}(3) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq \text{Min} (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

d. 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

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

(b) (a)以外の管

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

e. 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

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

f. 繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格 PPB-3533）

$$S_\ell = S_p / 2$$

g. 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さに対応する許容繰返し回数 N_i を算出する。

h. 疲労累積係数（設計・建設規格 PPB-3535）

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

i. 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

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

ロ. イ. 以外の管

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

(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. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ 場合

(イ) $K < B_0$ の場合

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

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

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

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

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

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

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

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

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

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

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ 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

$$S_e = C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r \leq 3 \cdot S_m$$

ロ. (イ)以外の管

$$S_e = C_2 \cdot M_{is} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$$

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

$$\Delta T \leq 1.4 \cdot y \cdot S_y / (E \cdot \alpha) \cdot C_4$$

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

$$x = P_0' \cdot D_0 / (2 \cdot t) \cdot 1 / S_y$$

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

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

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態
クラス 1 管	原子炉冷却材 圧力バウンダリ	$P + M + D$	設計条件
		$P + M + T + O$	許容応力状態Ⅰ，Ⅱ
		$P + M + D$	許容応力状態Ⅲ
		$P + M + D$	許容応力状態Ⅳ

表 2-1 中の記号

P：内圧による荷重

M：機械荷重（自重除く。）

D：配管の自重による荷重

T：配管の熱膨張荷重（支持点の熱膨張変位を含む。）

O：過渡熱による荷重

表 2-2 許容応力（クラス 1 管）

状態	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
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
許容応力状態 Ⅰ，Ⅱ	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
許容応力状態Ⅲ	$\text{Min } (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	—	—
許容応力状態Ⅳ	$\text{Min } (3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	—	—

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2-3に示すとおりである。

表 2-3 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
応力	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：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：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

本計算方法に基づき，管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。

また，評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 管

工事計画記載範囲の管のうち，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。また，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鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(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管を含む概略系統図を添付する。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のうち評価結果記載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) 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

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。解析モデルは各応力区分における裕度最小モデルを添付する。添付フォーマットを以下に示す。

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
				$S_{pr m}$	$1.5 \cdot S_m$ $\text{Min}(2.25 \cdot S_m,$ $1.8 \cdot S_T)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m,$ $2 \cdot S_T)$	S_n	S_e	S_n'	$3 \cdot S_m$	ΔT		U
(A, B)			$S_{pr m} (1)$	Max	$1.5 \cdot S_m$							
(A, B)			S_n			Max			$3 \cdot S_m$			
(A, B)			S_e				Max		$3 \cdot S_m$			
(A, B)			S_n'					Max	$3 \cdot S_m$			
(A, B)			U									Max
C			$S_{pr m} (2)$	Max	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m,$ $1.8 \cdot S_T)$							
D			$S_{pr m} (3)$	Max	$\text{Min}(3 \cdot S_m,$ $2 \cdot S_T)$							

(5) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。このため、下表の代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス 1 範囲 供用状態 A, B）

No	配管モデル	供用状態(A, B)												
		一次応力(膜+曲げ)					一次+二次応力(Sn)					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	***-1	1	**	***	*,**	—	11	**	***	*,**	—	17	*,****	—
2	***-2	2	**	***	*,**	—	12	**	***	*,**	○	18	*,****	—
3	***-3	3	**	***	*,**	—	13	**	***	*,**	—	19	*,****	○
4	***-4	4	**	***	*,**	○	14	**	***	*,**	—	20	*,****	—
5	***-5	5	**	***	*,**	—	15	**	***	*,**	—	21	*,****	—
6	***-6	6	**	***	*,**	—	16	**	***	*,**	—	22	*,****	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス 1 範囲 供用状態 C, D）

No	配管モデル	供用状態C					供用状態D				
		一次応力(膜+曲げ)					一次応力(膜+曲げ)				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	23	**	***	*, **	—	29	**	***	*, **	—
2	***-2	24	**	***	*, **	—	30	**	***	*, **	—
3	***-3	25	**	***	*, **	—	31	**	***	*, **	—
4	***-4	26	**	***	*, **	○	32	**	***	*, **	○
5	***-5	27	**	***	*, **	—	33	**	***	*, **	—
6	***-6	28	**	***	*, **	—	34	**	***	*, **	—

V-3-2-3 クラス 1 弁の強度計算方法

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	3
1.4 計算精度と数値の丸め方	4
1.5 材料の表示方法	5
2. クラス1弁の強度計算方法	6
2.1 弁箱に係るものの応力評価	6
2.2 弁体の一次応力	14
2.3 フランジの強度計算	20
2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算	28
2.5 弁箱の形状規定	30
2.6 管台の最小厚さの計算	31
3. 添付図	32

別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス1弁が十分な強度を有することを確認するための方法を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。））J S M E S N C 1－2005/2007）（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。

設計・建設規格 規格番号と本資料との対応は、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フランジについては日本工業規格（以下「J I S」という。）を適用して行う。本資料との対応は、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	本資料の計算式 (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 J I S と強度計算書との対応

J I S		本資料の計算式 (章節番号)	備考
N o .	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003)		2.3	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造—一般事項」			
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 J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」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、本資料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、本資料によるものとする。

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。

J I S 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 J I S 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 $\leq$ 63 mm）

- (3) ガasket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asket係数（m）及びガasketの最小設計締付圧力（y）は，J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 備考 3 よりガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス 1 弁の強度計算方法

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示す。

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_f	図 3-1 に示す流体部面積	mm^2
(A_{f1}, A_{f2})	(A_{f1}, A_{f2})		
A_m	A_m	図 3-1 に示す金属部面積	mm^2
(A_{m1}, A_{m2})	(A_{m1}, A_{m2})		
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 °C 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	疲労累積係数	—
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 ℓ (1) に対応する許容繰返し回数	—
	N (2)	S ℓ (2) に対応する許容繰返し回数	—
	N _i	実際の繰返し回数	—
	N _{r i}	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 _{r 1}	P _{r 1}	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 _{r 2}	P _{r 2}	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
Δ P _{f m}	Δ P _{f m}	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	$S_\ell (1)$	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	$S_\ell (2)$	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 °C 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 °C 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	°C
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 °C 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°C
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	—
ε_p	ε_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	°C
ΔT_f	ΔT_f	流体温度変動の振幅（運転条件図により求める。 14°C以上のものに限る。）	°C
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。）	°C

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。

$$S \leq S_m$$

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。

$$P_d \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_b \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_t \leq 1.5 \cdot S_m$$

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。

$$S_n (1) \leq 3 \cdot S_m$$

$$S_n (2) \leq 3 \cdot S_m$$

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。

$$S \leq 2.25 \cdot S_m$$

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 添付 4-2 3.1 または 3.2 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つては、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。

$$S_n = 3 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{fm} \quad \cdots \cdots (2.1.6.1)$$

- a. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260 °C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 °C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 ($S_n \geq 3 \cdot S_m$)

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

- (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)

$$\text{イ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

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

$$\text{ロ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1 \right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$$

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

- (b) $K \geq B_0$ (A_0 式と K_e' 式が交わらない場合)

$$\text{イ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

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

$$\text{ロ. } \frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K} \right) \cdot (q - 1)}}{a}$$

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

$$K = \frac{S_p}{S_n}$$

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

- c. (2.1.61) 式で計算した値が弁箱材料の 260 °C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 ($S_n \geq 3 \cdot S_m$) 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。

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

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

$$\varepsilon_{ep} = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon^p$$

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma^*}{E}$$

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 添付 4-2 3.1 または 3.2 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, 疲労累積係数 (I_t) が 1 以下であること。

すなわち,

$$I_t = \sum \frac{N_i}{N_{ri}} \leq 1$$

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。

具体的な計算方法は、VVB-3380 解説による。

(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/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。

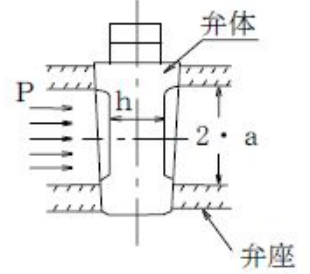
(2) 算式

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

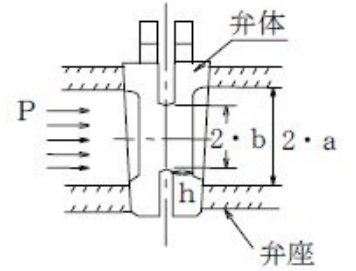
右図のような弁体形状のもの

$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *1$$



b. 形式W2

右図のような弁体形状のもの



$$\sigma_D = |\sigma_{11}| + |\sigma_{15}|$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{11} + \ell_n \frac{a}{b} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_{11} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1 - \nu) \cdot a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ 1 - (1 + 2 \cdot \ell_n \frac{a}{b}) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}$$

$$B_{11} = \frac{2 \cdot b^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 1 \right\}$$

$$\sigma_{15} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \cdot$$

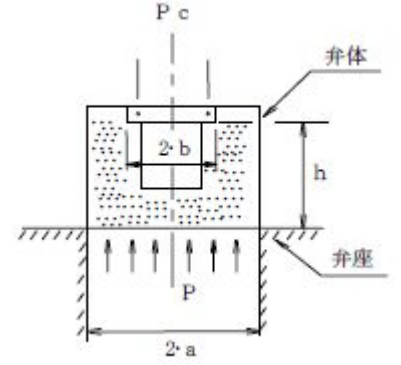
$$\left\{ (3 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{15} + \ell_n \frac{a}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} - (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{15} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left[(3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{b^2} + (1 - \nu) \right] \cdot \left\{ (4 \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 3) \cdot \frac{b^2}{a^2} - 2 \right\}$$

$$B_{15} = \frac{b^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2} \cdot \left[(3 + \nu) - \left\{ (5 + \nu) + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right\} \cdot \frac{b^2}{a^2} \right]$$

c. 形式G1

右図のような弃体形状のもの



$$\sigma_D = |\sigma_5| + |\sigma_7|$$

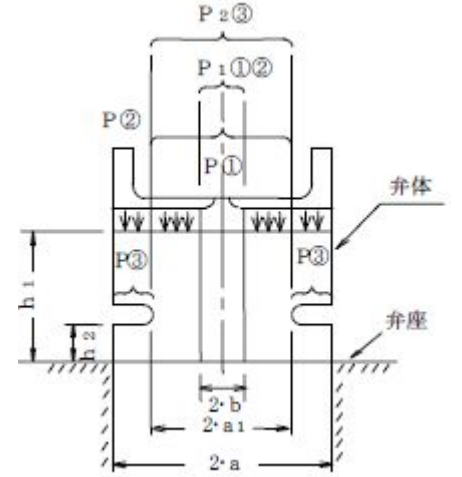
$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot P_c}{8 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 4 - (1 - \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}^{*4}$$

$$\sigma_7 = \frac{3 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ (1 - \nu) \cdot \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) + 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} \right\}^{*5}$$

d. 形式G2

右図のような弃体形状のもの

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

$$\sigma_{D1} = |\sigma_{13}| + |\sigma_9| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の①})$$

$$\sigma_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot (A_{13} + \ell_n \frac{a}{b}) \right.$$

$$\left. \cdot \frac{b^2}{a^2} + (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{13} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

$$A_{13} = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1 + \nu)} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) + (3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{b^2} \right\}$$

$$B_{13} = \frac{1}{1 - \nu} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b} - (3 + \nu) \right\} \cdot \frac{b^2}{a^2}$$

$$\sigma_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot (A_9 + \ell_n \frac{a}{b}) + (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_9 \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}^{*7}$$

$$A_9 = \frac{1 - \nu}{2 \cdot (1 + \nu)} + \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b}$$

$$B_9 = -\frac{2 \cdot (1 + \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{b^2}{a^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a}{b}$$

(b) 図の②の荷重状態の場合

$$\sigma_{D2} = |\sigma'_{13}| + |\sigma'_9| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の②})$$

$$\sigma'_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a_1^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a_1^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot (A'_{13} + \ell_n \frac{a_1}{b}) \right.$$

$$\left. \cdot \frac{b^2}{a_1^2} + (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a_1^2} + B'_{13} \cdot \frac{a_1^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

$$\sigma'_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^2}$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot (A'_9 + \ell_n \frac{a_1}{b}) + (1 - \nu) \cdot (1 - B'_9 \cdot \frac{a_1^2}{b^2}) \right\}^{*7}$$

$$A'_9 = \frac{1 - \nu}{2 \cdot (1 + \nu)} + \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$

$$B'_9 = -\frac{2 \cdot (1 + \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{b^2}{a_1^2 - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$

(c) 図の③の荷重状態の場合

$$\sigma_{D3} = |\sigma_{15}| + |\sigma_{11}| \quad (P \text{ 及び } P_1 \text{ は図の③})$$

$$\sigma_{15} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_2^2} \cdot \left\{ (3 + \nu) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot (A_{15} + \ell_n \frac{a}{a_1}) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right.$$

$$\left. - (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot a_1^2}{a^2} + B_{15} \cdot \frac{a^2}{a_1^2} \right) \right\}^{*8}$$

$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2}$$

$$\cdot \left[(3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{a_1^2} + (1 - \nu) \cdot \left\{ (4 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 3) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} - 2 \right\} \right]$$

$$B_{15} = \frac{a_1^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2}$$

$$\cdot \left[(3 + \nu) - \left\{ (5 + \nu) + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right\} \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right]$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot P_2}{4 \cdot \pi \cdot h_2^2}$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{11} + \ell_n \frac{a}{a_1} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - B_{11} \cdot \frac{a^2}{a_1^2} \right) \right\}^{*9}$$

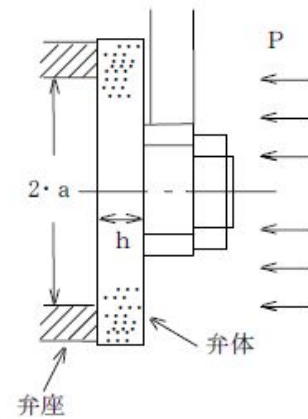
$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1 - \nu) \cdot a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ 1 - \left(1 + 2 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}$$

$$B_{11} = \frac{2 \cdot a_1^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 1 \right\}$$

e. 形式C1

右図のような弃体形状のもの

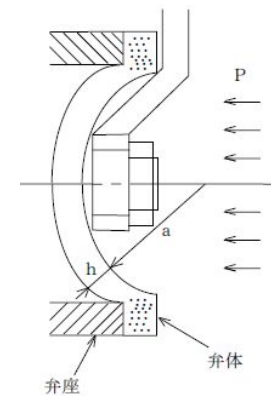
$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *10$$



f. 形式C2

右図のような弃体形状のもの

$$\sigma_D = \frac{P \cdot a}{1.2 \cdot h} \quad *11$$



(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$\sigma_D \leq 1.5 \cdot S_m$$

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、 $P = \frac{P_c}{\pi \cdot b^2}$ 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 フランジ及びボルトの強度計算

設計・建設規格 VVB-3390 を適用する。

(1) 記号の説明

J I S 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 _o (f ≥ 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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

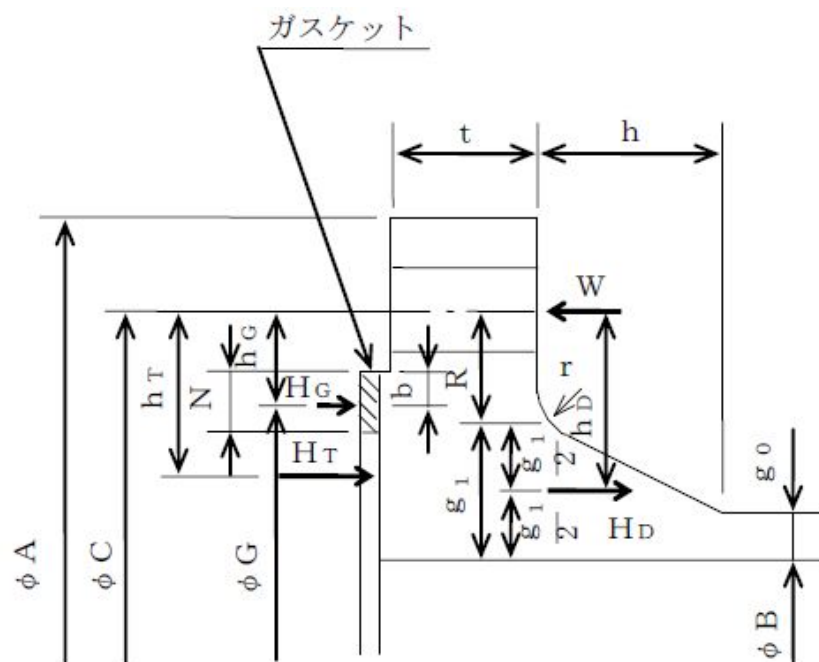
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$ 気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	mm
H_P	H_P	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 係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
L	L	ガスケット係数	—
m	m	(J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I S 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*
		非石綿ジョイントシート	MPa*
	NON- ASBESTOS		—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—

注記 * : J I S B 8 2 6 5 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



(J I S B 8 2 6 5 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) $b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35 \text{ mm}$ 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asket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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

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*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

$$\text{ただし, } R = \frac{C - B}{2} - g_1$$

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asket縮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

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_o} \quad *1, *2$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

- (b) ガasket縮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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

注記 *1 : 設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。J I S B 8 2 6 5 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

使用状態にあつては $\sigma_{H_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{H_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$

c. フランジの半径方向応力

使用状態にあつては $\sigma_{R_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{R_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$

d. フランジの周方向応力

使用状態にあつては $\sigma_{T_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{T_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$

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

$$(a) \quad \frac{d_n}{d_m} \leq 1.5 \text{ の場合}$$

$$t_m = t$$

$$(b) \quad \frac{d_n}{d_m} > 1.5 \text{ の場合}$$

$$t_m = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(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

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

- b. ネック部の最小厚さ

$$t_{ma} \geq t_m$$

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

$$r_1 \geq 0.3 \cdot t$$

- b. 弁座挿入部のすみの丸みの半径

$$r_2 \geq \text{Max} (0.05 \cdot t, 0.1 \cdot h)$$

- 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
	N o .	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 _{b r}	管台の最小厚さ	mm
	T _m	最高使用温度	℃
	t _{n o}	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

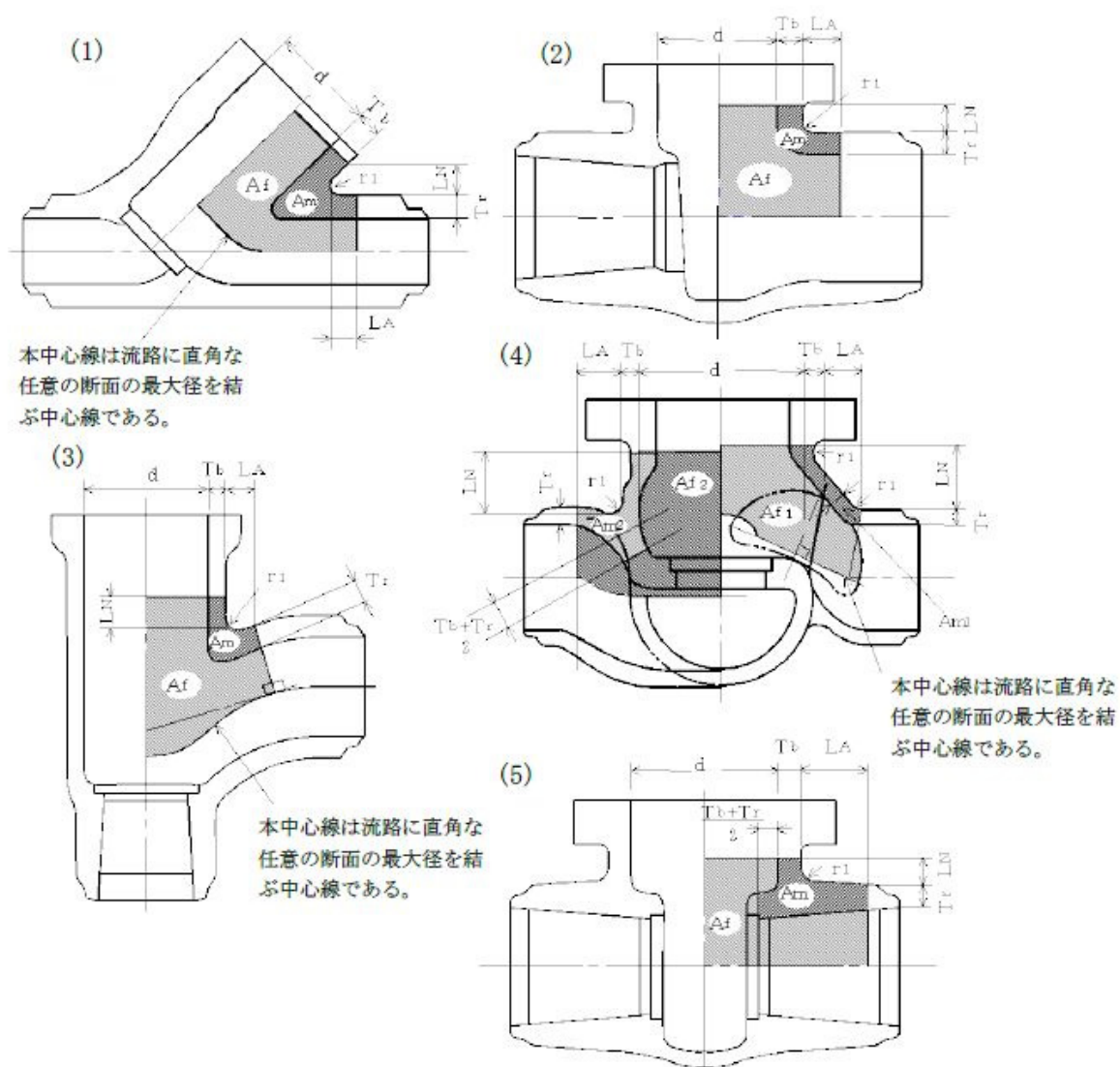
$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$t_{b r} \geq t$$

3. 添付図

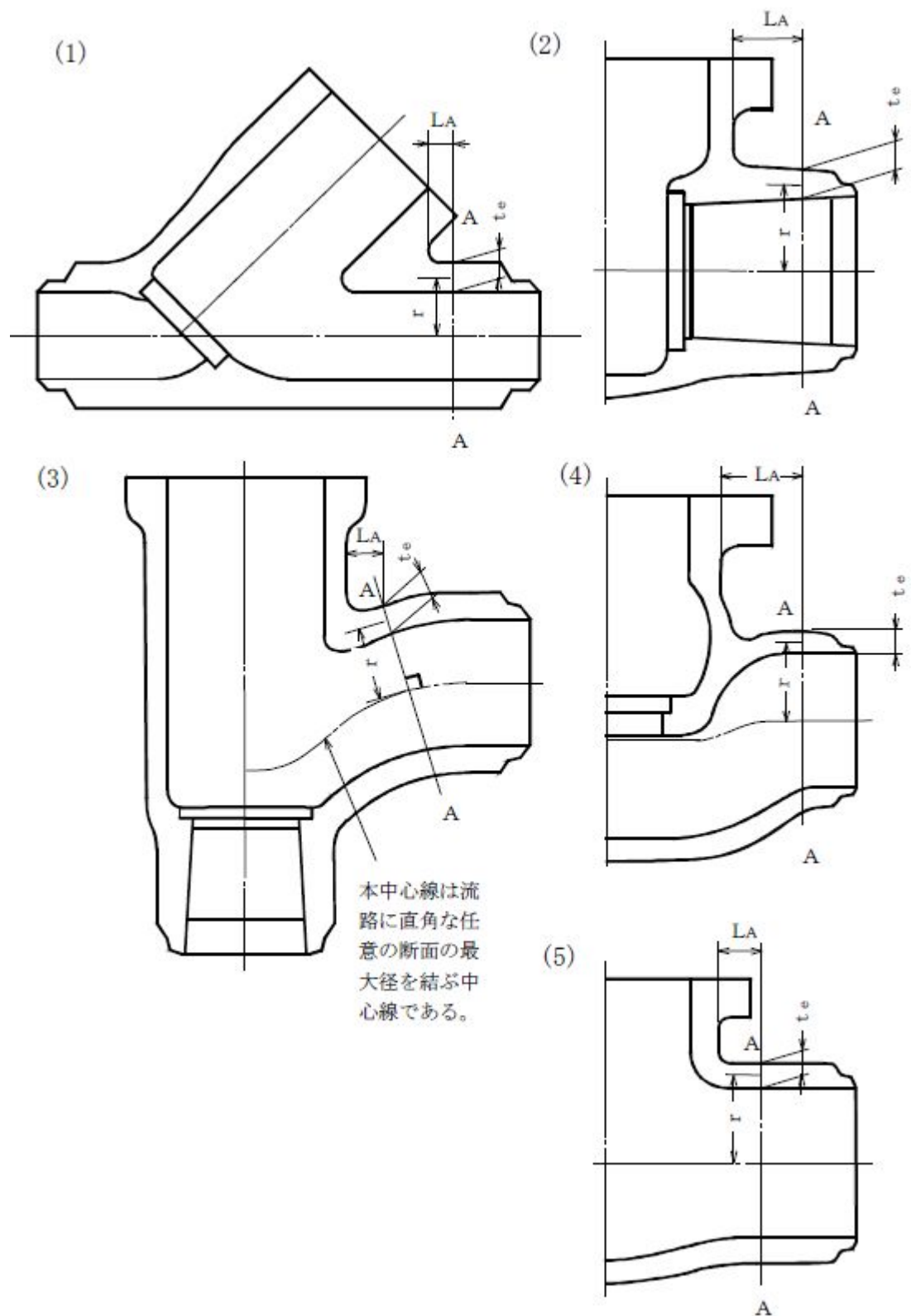


注 1 : 本図は設計・建設規格 VVB-3320 の図 VVB-3320-1 と同じ。

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

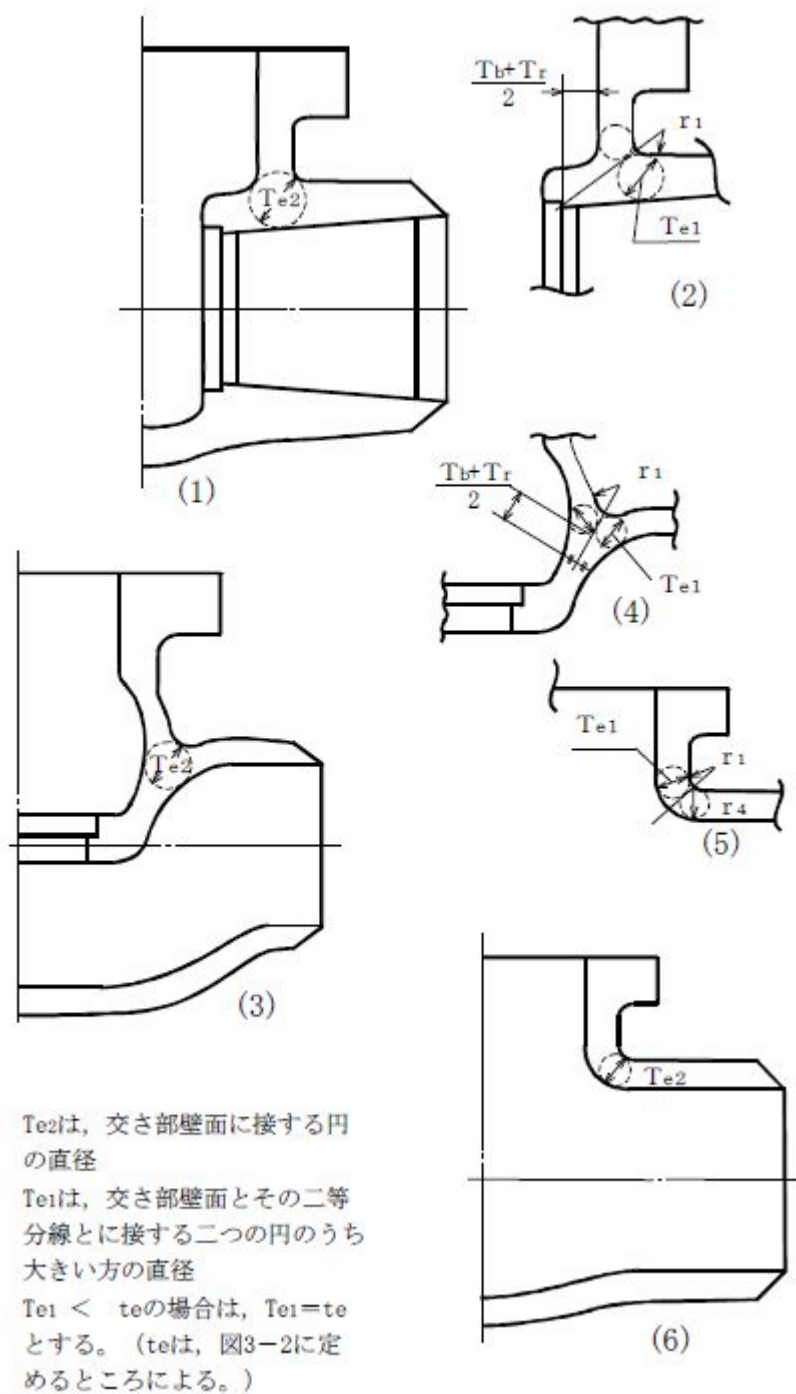
$$\frac{A_{f1}}{A_{m1}} \text{ と } \frac{A_{f2}}{A_{m2}} \text{ の値が大きい方の組合せを用いる。}$$

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 t_e 及び r を明示した図



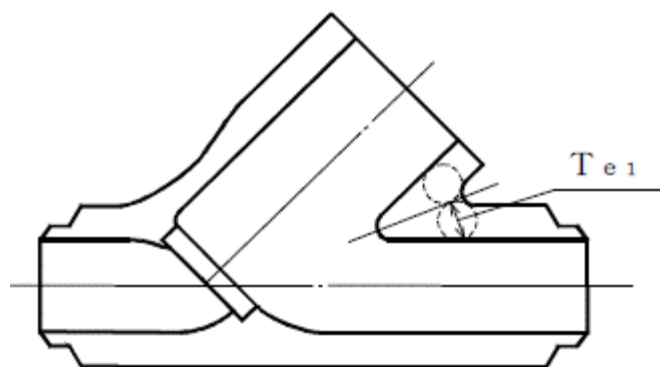
注：本図は設計・建設規格 VVB-3340 の図 VVB-3340-1 と同じ。

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

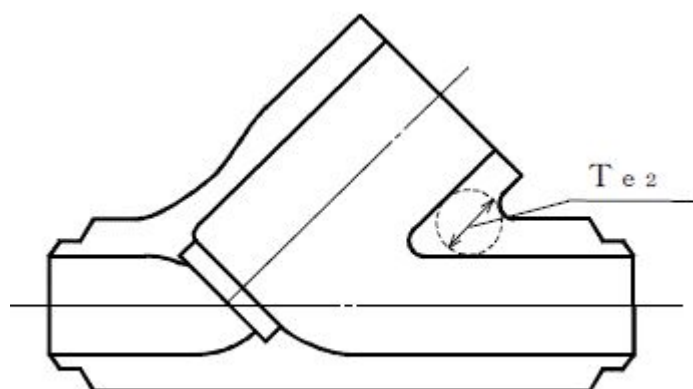
$T_{e1} < t_e$ の場合は、 $T_{e1} = t_e$ とする。

(t_e は、図3-2に定めるところによる。)



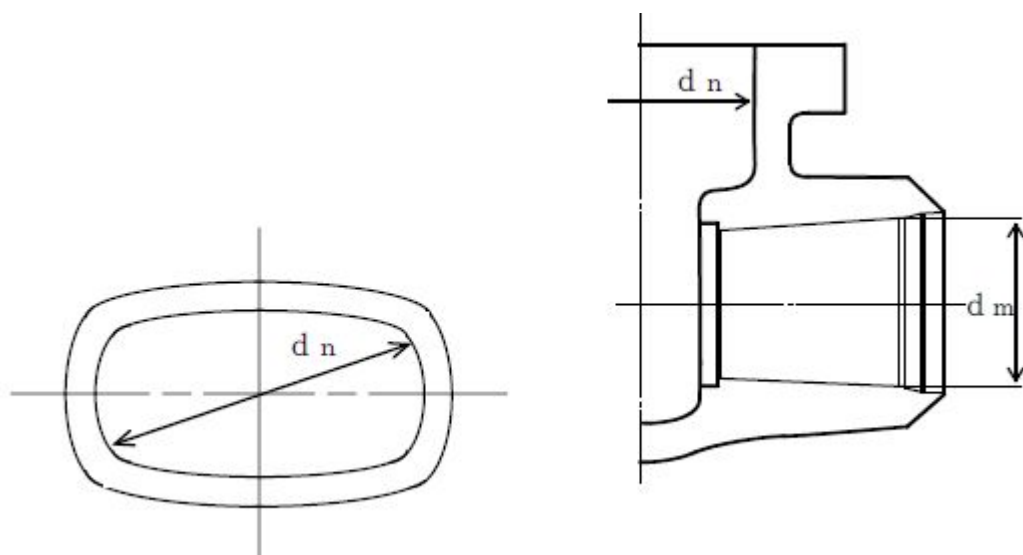
注：本図は図3-3の(4)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

T_{e2} は、交差部壁面に接する円の直径



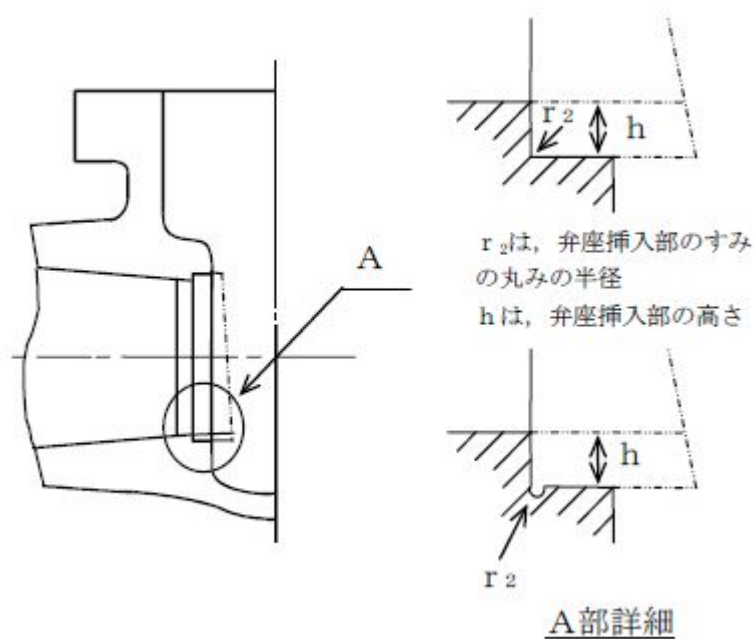
注：本図は図3-3の(3)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

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

別添1 クラス1弁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、添付書類「V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針」及び「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びに「V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法」及び「V-3-2-12 重大事故等クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)

1. 設計仕様

系統：_____

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

2. 強度計算書

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件			弁箱の一次＋二次応力評価	
最高使用圧力 P	(MPa)			
最高使用温度 T _m	(℃)		t _e	(mm)
弁箱材料			T _{e 1}	(mm)
接続管材料			T _{e 2}	(mm)
接続管外径	(mm)		r _i	(mm)
接続管内径	(mm)		θ	(°)
添付図番号			K	
			P _e	(MPa)
	図3－3	(2) (一例)	α × 10 ⁻⁶	(mm/mm℃)
内圧による弁箱の一次応力評価			E	(MPa)
			C ₂	
P ₁	(MPa)		Δ T	(℃)
P ₂	(MPa)		C ₄	
P _{r 1}	(MPa)		Δ P _{f m}	(MPa)
P _{r 2}	(MPa)		Δ T _{f m}	(℃)
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	(mm ²)	× 10 ⁴		
A _m	(mm ²)	× 10 ⁴	弁箱の局部一次応力評価	
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。	
配管反力による弁箱の二次応力評価			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	(mm ²)	× 10 ³	Q _T	(MPa)
A ₂	(mm ²)	× 10 ⁴	S _ℓ (1)	(MPa)
C _b			S _ℓ (2)	(MPa)
Z ₁	(mm ³)	× 10 ⁵	E _m	(MPa)
Z ₂	(mm ³)	× 10 ⁶	N (1)	
Z _p	(mm ³)	× 10 ⁶	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：_____

弁番号

シート

繰返しピーク応力強さ（疲労累積係数）						
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 _{r i}	N _i /N _{r i}
評価：疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r i}} = \leq 1$ よって十分である。						
弁箱の形状規定				弁体の一次応力評価		
r ₁	(mm)			材料		
r ₂	(mm)			形式		
0.3・t	(mm)			P (MPa)		
0.05・t	(mm)			P _c (P ₁ , P ₂) (N)		
0.1・h	(mm)			h (mm)		
d _n /d _m				a (mm)		
評価：r₁ ≥ 0.3・t r₂ ≥ Max (0.05・t, 0.1・h) $\frac{d_n}{d_m} < 2$ よって十分である。				b (mm)		
				σ _D (MPa)		
				1.5・S _m (MPa)		
				評価：σ _D ≤ 1.5・S _m		よって十分である。

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ	
弁箱材料	
弁ふた材料	
d _m (mm)	
t ₁ (mm)	
t ₂ (mm)	
t (mm)	
d _n (mm)	
d _n / d _m	
t _m (mm)	
t _{a b} (mm)	
t _{a f} (mm)	
t _{m a} (mm)	
評価： $t_{a b} \geq t$ $t_{a f} \geq t$ $t_{m a} \geq t_m$ よって十分である。	

NT2 補③ V-3-2-3 R1

系統：_____

弁番号

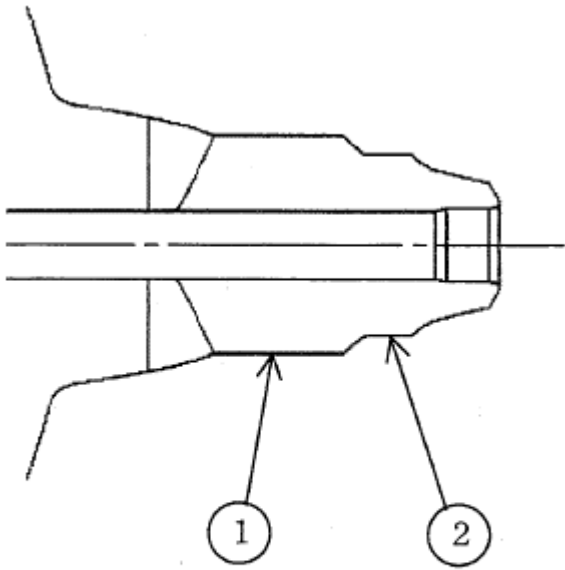
シート

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) × 10 ⁵
P _{eq}	(MPa)		h _D	(mm)
T _m	(℃)	302	M _D	(N・mm) × 10 ⁷
M _e	(N・mm)	× 10 ⁶	H _G	(N) × 10 ⁵
F _e	(N)		h _G	(mm)
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 3 b) 7) (例)		M _G	(N・mm) × 10 ⁷
フランジ			H _T	(N) × 10 ⁵
材料			h _T	(mm)
σ _{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 ℃)			M _T	(N・mm) × 10 ⁷
			M _o	(N・mm) × 10 ⁷
σ _{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)			M _g	(N・mm) × 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 _o	(mm)		f	
g ₁	(mm)		F	
h	(mm)		V	
ボルト			e	(mm ⁻¹)
材料			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			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)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b	(mm)			
N	(mm)			
G _s	(mm)			
ボルトの計算				
H	(N)	× 10 ⁶		
H _p	(N)	× 10 ⁵		
W _{m1}	(N)	× 10 ⁶		
W _{m2}	(N)	× 10 ⁵		
A _{m1}	(mm ²)	× 10 ³		
A _{m2}	(mm ²)	× 10 ³		
A _m	(mm ²)	× 10 ³		
A _b	(mm ²)	× 10 ⁴		
W _o	(N)	× 10 ⁶		
W _s	(N)	× 10 ⁶		
評価：A _m < A _b				
よって十分である。				

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

管台の厚さ									
N o .	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 _{n o} (mm)	材料	S (MPa)	η	t (mm)	t _{b r} (mm)
1									
2									
評価： t _{b r} ≥ t よって十分である。									



管台の形状

外径 115 mm 以下の管に接続される弁のフォーマット

外径 115 mm 以下の管に接続される弁は，以下の計算を省略する。

設計・建設規格 VVB-3010 による。

- ・ 弁箱の応力解析
- ・ 弁体の応力解析
- ・ フランジの応力計算

1. 設計仕様

系統：_____

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

2. 強度計算書

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件	
最高使用圧力 P (MPa)	
最高使用温度 T _m (°C)	
弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ	
P ₁ (MPa)	
P ₂ (MPa)	
d _m (mm)	
t ₁ (mm)	
t ₂ (mm)	
t (mm)	
d _n (mm)	
d _n / d _m	
t _m (mm)	
t _{a b} (mm)	
t _{a f} (mm)	
t _{m a} (mm)	
評価： $t_{a b} \geq t$ $t_{a f} \geq t$ $t_{m a} \geq t_m$ よって十分である。	

V-3-2-4 クラス 2 管の強度計算方法

まえがき

本強度計算方法は、工事計画認可申請書に添付するクラス 2 管の強度計算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 2 管の基本板厚計算方法

第二部 クラス 2 管の応力計算方法

第一部 クラス 2 管の基本板厚計算方法

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. クラス 2 管の強度計算方法	1-7
2.1 共通記号	1-7
2.2 管の板厚計算	1-8
2.3 平板の強度計算	1-12
2.4 鏡板の強度計算	1-23
2.5 レジューサの強度計算	1-26
2.6 管の穴と補強計算	1-29
2.7 フランジの強度計算	1-70
2.8 伸縮継手の強度計算	1-87

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうちクラス2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。））J S M E S N C 1－2005/2007）（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「J I S」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. J I S B 2 3 1 2（2001）「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- b. J I S B 2 3 1 3（2001）「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
- c. J I S B 2 3 1 6（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. J I S B 2 2 3 8（1996）「鋼製管フランジ通則」
- b. J I S B 2 2 3 9（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」
- c. J I S B 8 2 1 0（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 5 0 1 号各条項と強度計算書との対応

設計・建設規格 告示第 5 0 1 号	規格番号 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	管の板厚計算（告示第 5 0 1 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	管の板厚計算（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 告示第 5 0 1 号	規格番号 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 5 0 1 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 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
N o .	項		
J I S B 8 2 6 5 (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 J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」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、本計算方法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、本計算方法によるものとする。
- (3) 各配管の強度計算書において、N O . 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 5 0 1 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 5 0 1 号は非 S I 単位を S I 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 J I S 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（16 mm＜径≤40 mm）

- (5) ガasket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、J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3によりガスケットメーカー推奨値を適用する。

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. クラス 2 管の強度計算方法

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 5 0 1 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 S P：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 5 0 1 号より計算を実施する場合，告示第 5 0 1 号第 31 条第 3 項第 1 号による。	—

注記 *：告示第 5 0 1 号で使用されていない記号

2.2 管の板厚計算

管の強度計算は，告示第 5 0 1 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 管の板厚計算（告示第 5 0 1 号）

(1) 記号の説明

告示第 5 0 1 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 5 0 1 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 5 0 1 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 5 0 1 号第 58 条第 1 項第 1 号により求めた値： t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

告示第 5 0 1 号第 58 条第 1 項第 2 号により求めた値： t_{op}

$t_{op} = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots (B)$

c. 炭素鋼鋼管の告示第 5 0 1 号上必要な最小厚さ： t_t

告示第 5 0 1 号第 58 条第 1 項第 3 号により求めた値 $t_t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots (C)$

(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 ） $\geq$ 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 管の板厚計算（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_o	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	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

設計・建設規格 PPC-3411(1)の式より求めた値： t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots (A)$$

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}

$$t_{op} = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \quad \dots\dots\dots (B)$$

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 $\dots\dots\dots (C)$

(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 ） $\geq$ 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。

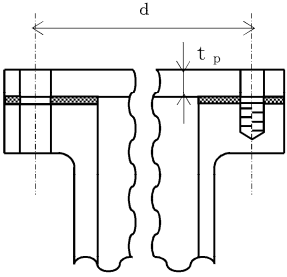
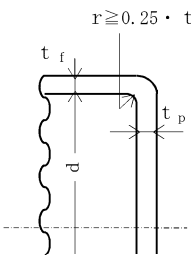
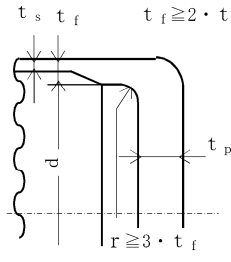
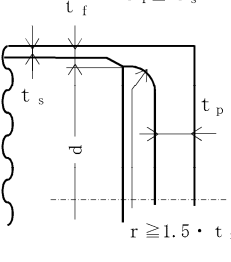
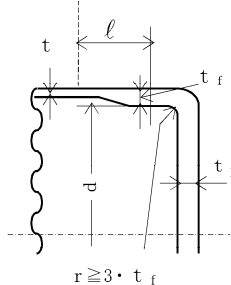
(1) 記号の説明

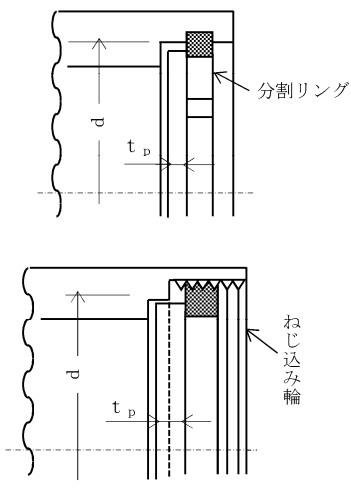
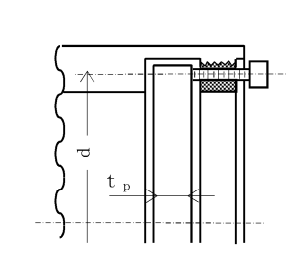
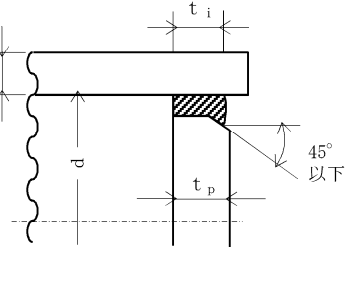
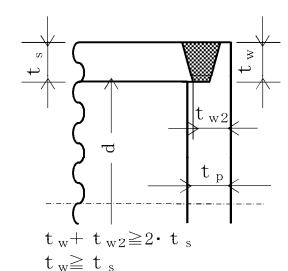
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8265 附属書 3 表 3 による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表 PPC-3413-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内径	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 (J I S B 8265 附属書 3 表 2 による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S 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

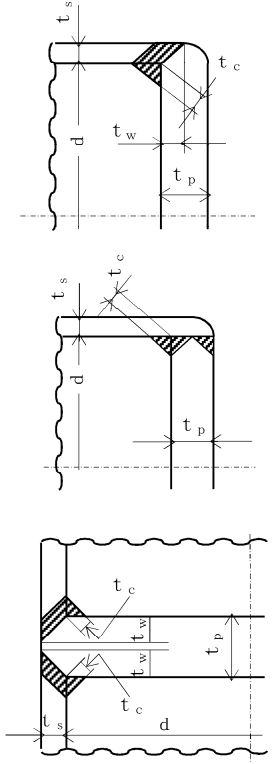
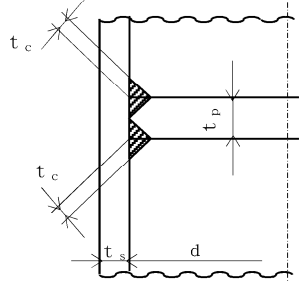
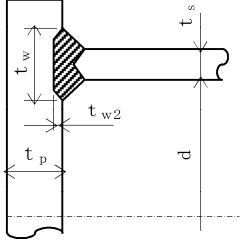
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力 (S_a 又は S_b のいずれか 小さい方の値)	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング 等の機械的装置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_0	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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 によ る。)	N/mm ²

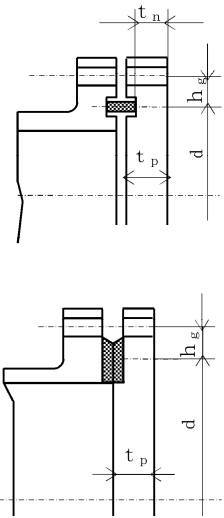
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)～(n)	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ガスケット座 面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。	—
	平板の取付け 方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413 の表 PPC-3413-1 による。	—
	2A～2N	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限

	取付け方法	形状の制限
(a)		無し
(b)		$d \leq 600 \text{ mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$ かつ, $r \geq 0.25 \cdot t_f$ であること。
(c)		$t_f \geq 2 \cdot t_s$ かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(d)		$t_f \geq t_s$ かつ, $r \geq 1.5 \cdot t_f$ であること。
(e)		$r \geq 3 \cdot t_f$ であること。

	取付け方法	形状の制限
(f)		$0.8 \cdot S_1 \geq \sigma_p$ であること。
(g)		$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$ であること。
(h)		$t_i \geq 2 \cdot t_r$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。
(i)	 $t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_w \geq t_s$	$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_w \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_r$ 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 $t_w \geq \text{Min} (0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p) \text{ かつ,}$ $t_c \geq \text{Min} (0.7 \cdot t_s, 6 \text{ mm}) \text{ であること。}$ (2) (1)以外の場合 $t_w \geq \text{Min} (t_s, 0.5 \cdot t_p) \text{ かつ,}$ $t_c \geq \text{Min} (0.7 \cdot t_s, 6 \text{ mm}) \text{ であること。}$
(k)		$t_c \geq \text{Min} (0.7 \cdot t_s, 6 \text{ mm}) \text{ であること。}$
(l)	 $t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$	$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s \text{ であること。}$

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) $\ell \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b) 管が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって

$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ 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 ≤ 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J I S B 8 2 6 5 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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot n$$

- (d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$F = \text{Max}(W_o, W_g)$$

- (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。

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

- (d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$F = \text{Max}(W_o, W_g)$$

- (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) $\geq$ 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 _o	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 _{o,c}	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 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	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 _{c,o}	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。

$$\begin{aligned} D_{oc} &\geq R \\ r &\geq 3 \cdot t_{co} \\ r &\geq 0.06 \cdot D_{oc} \\ r &\geq 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

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d

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

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

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (A')$$

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

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (B)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (B')$$

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。

$$2 \geq \frac{D}{2 \cdot h}$$

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

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (C)$$

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

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \dots\dots\dots (C')$$

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) $\geq$ 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_o	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_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
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

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)} \quad \dots\dots\dots (A)$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i \cdot W}{4 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.1 \cdot P)} \quad \dots\dots\dots$$

ただし，

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{D_i}{2 \cdot r \cdot \cos \theta}} \right) \quad \dots\dots\dots (B)$$

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

$$t_2 = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots$$

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

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 $\dots\dots\dots (C)$

(b) 外面に圧力を受ける管 $\dots\dots\dots (C')$

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ $\dots\dots\dots (C'')$

(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

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (D)$$

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

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{D_o \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D')$$

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

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_o \cdot (D_o - 2 \cdot t_s)}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (D'')$$

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

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s) \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s)}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D''')$$

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 ） $\geq$ 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

- 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。
- 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。
- 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, 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 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—
		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 5 0 1 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 _s	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 r}	2 つの穴の間の主管の必要な断面積	mm ²
		A _{s o}	2 つの穴の間の主管の断面積	mm ²
		A _{r i}	2 つの穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{o i}	2 つの穴の間にある補強に有効な面積	mm ²
		A _{r s}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{2 s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A _{3 s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4 s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	D _i	D _{i b}	管台の内径	mm
		D _{i r}	主管の内径	mm
		D _{o b}	管台の外径	mm
		D _{o e}	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 _{f r D}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d _{r 1}	補強を要しない穴の最大径	mm
		d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第 5 0 1 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	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
	P	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
	S	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_o	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
	t_n	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	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
		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	θ	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
		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。

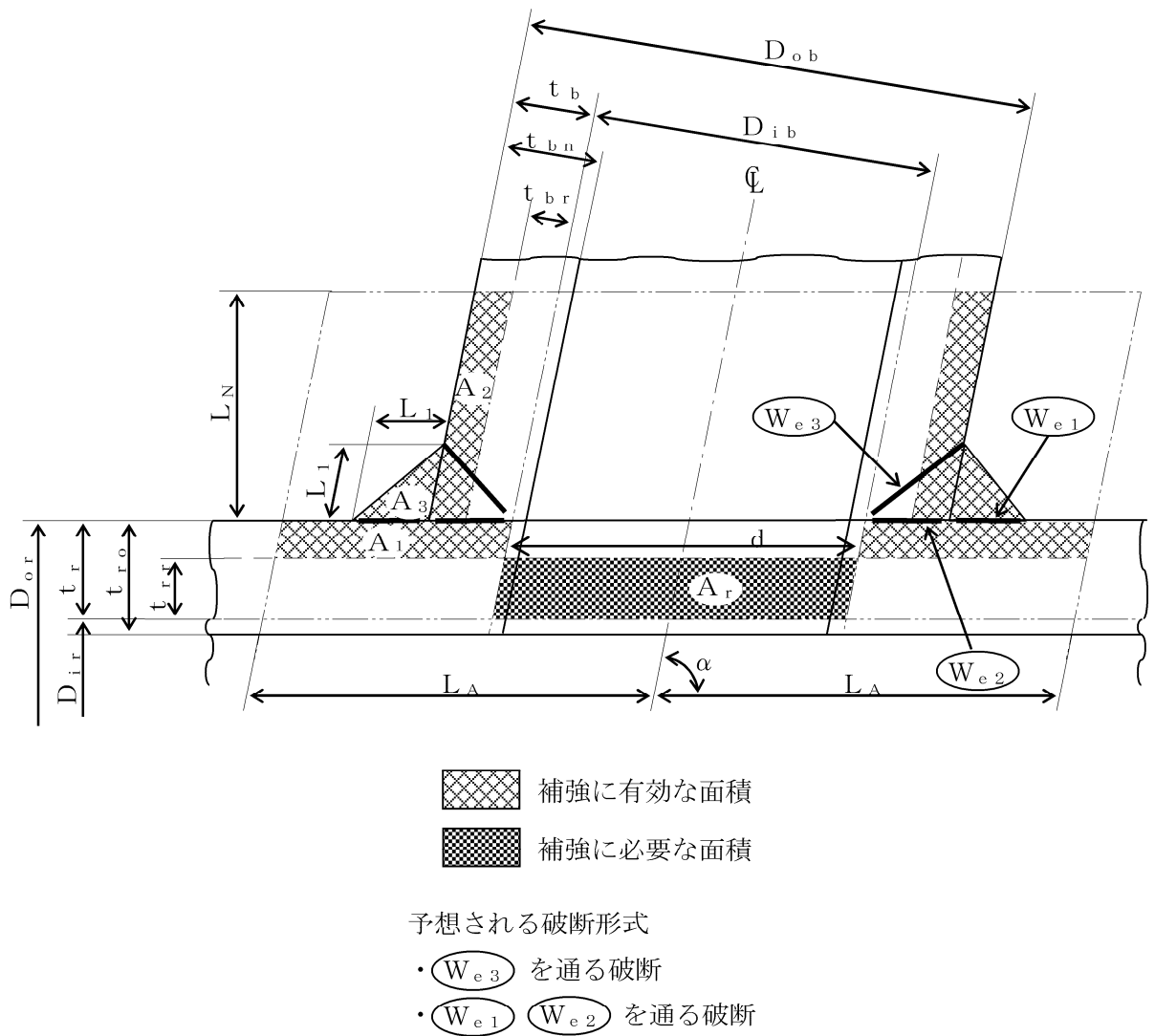


図 2-1 A形（強め材のない場合）

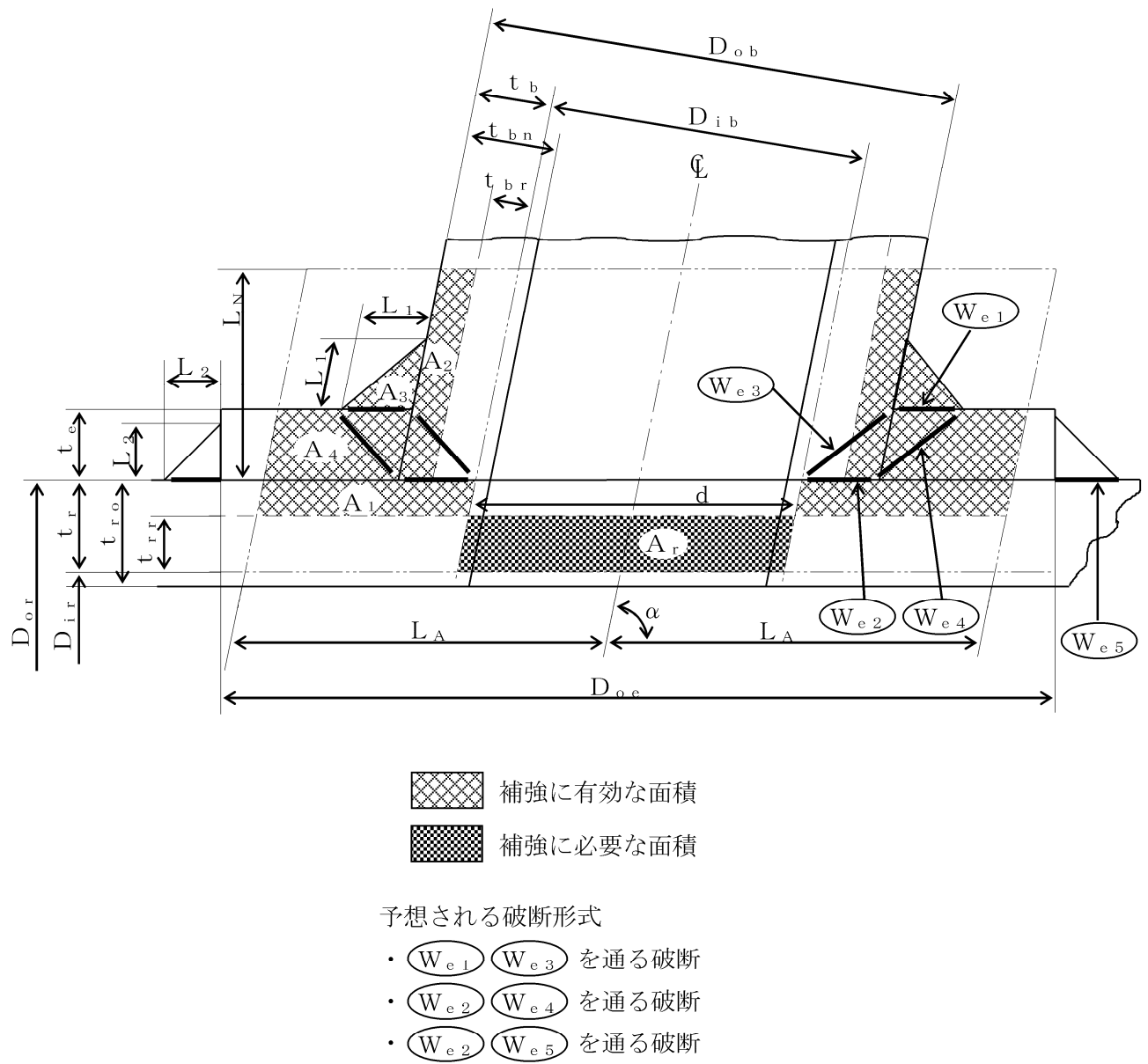
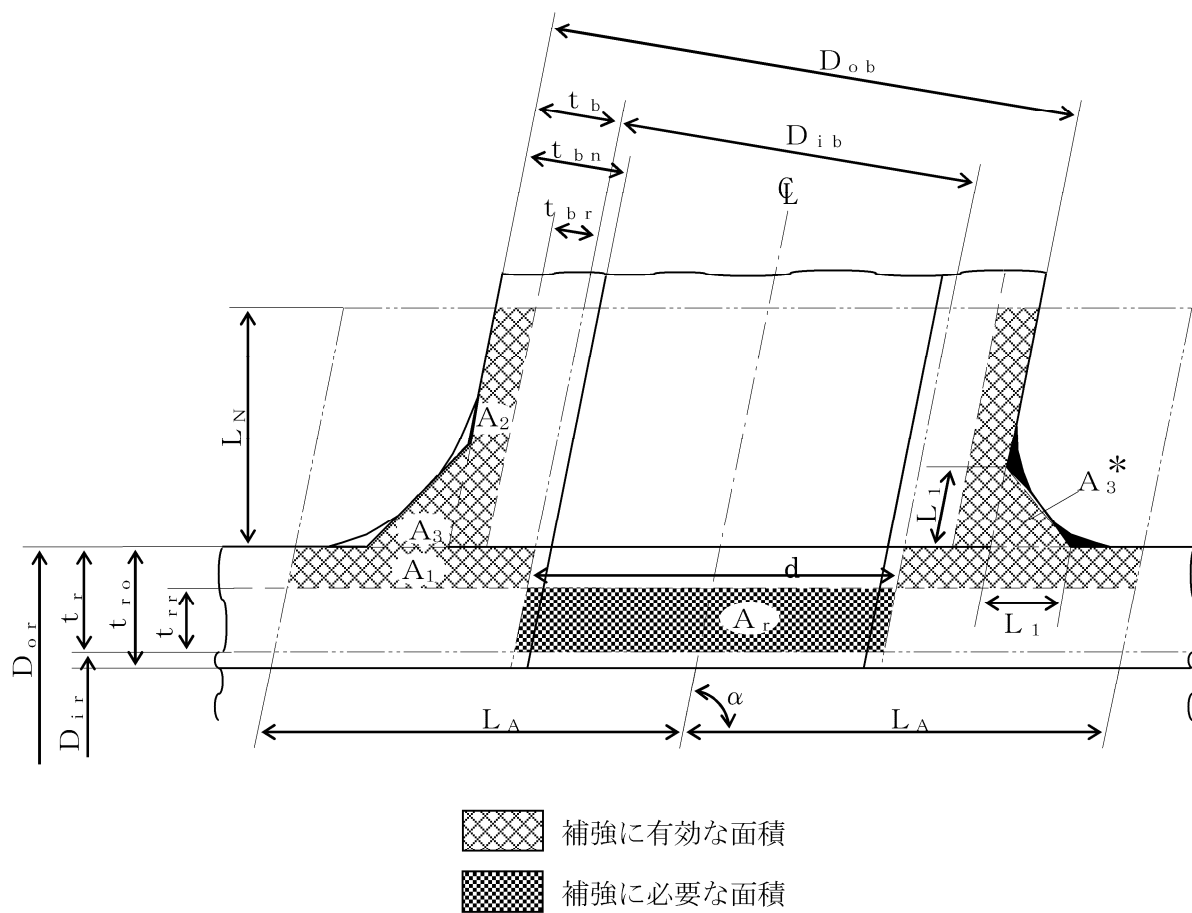


図 2-2 B形（強め材のある場合）



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 mm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 mm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} ） $\geq$ 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

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

(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

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

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。

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{ir}}{2 \cdot S_r \cdot \eta - 1.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

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。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_b - 1.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{（内圧）}$$

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ob}}{B} \quad \dots\dots\dots \text{（外圧）}$$

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。

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（強め材が有効範囲 L_A 内にある場合）

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

（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 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} ） $\geq$ 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。

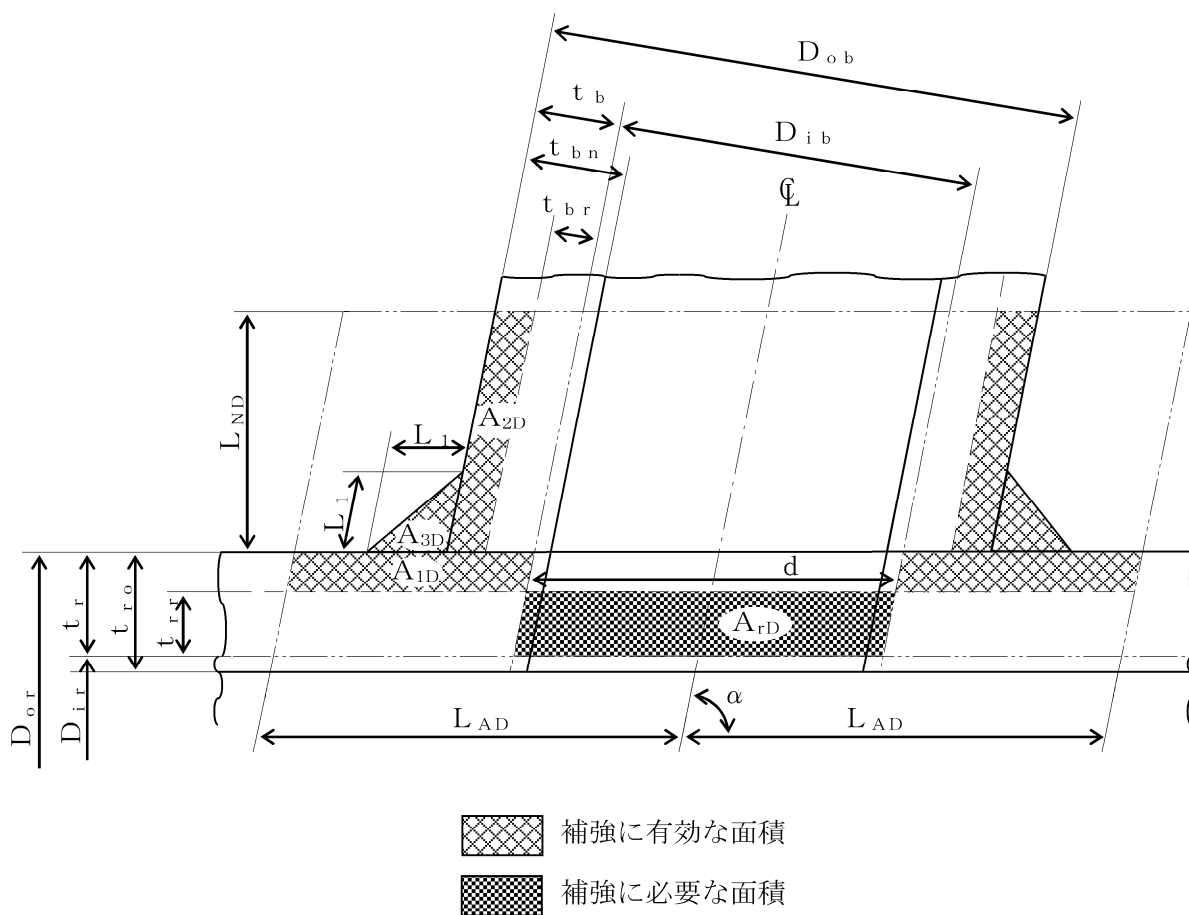


図 2-4 A形（強め材のない場合）

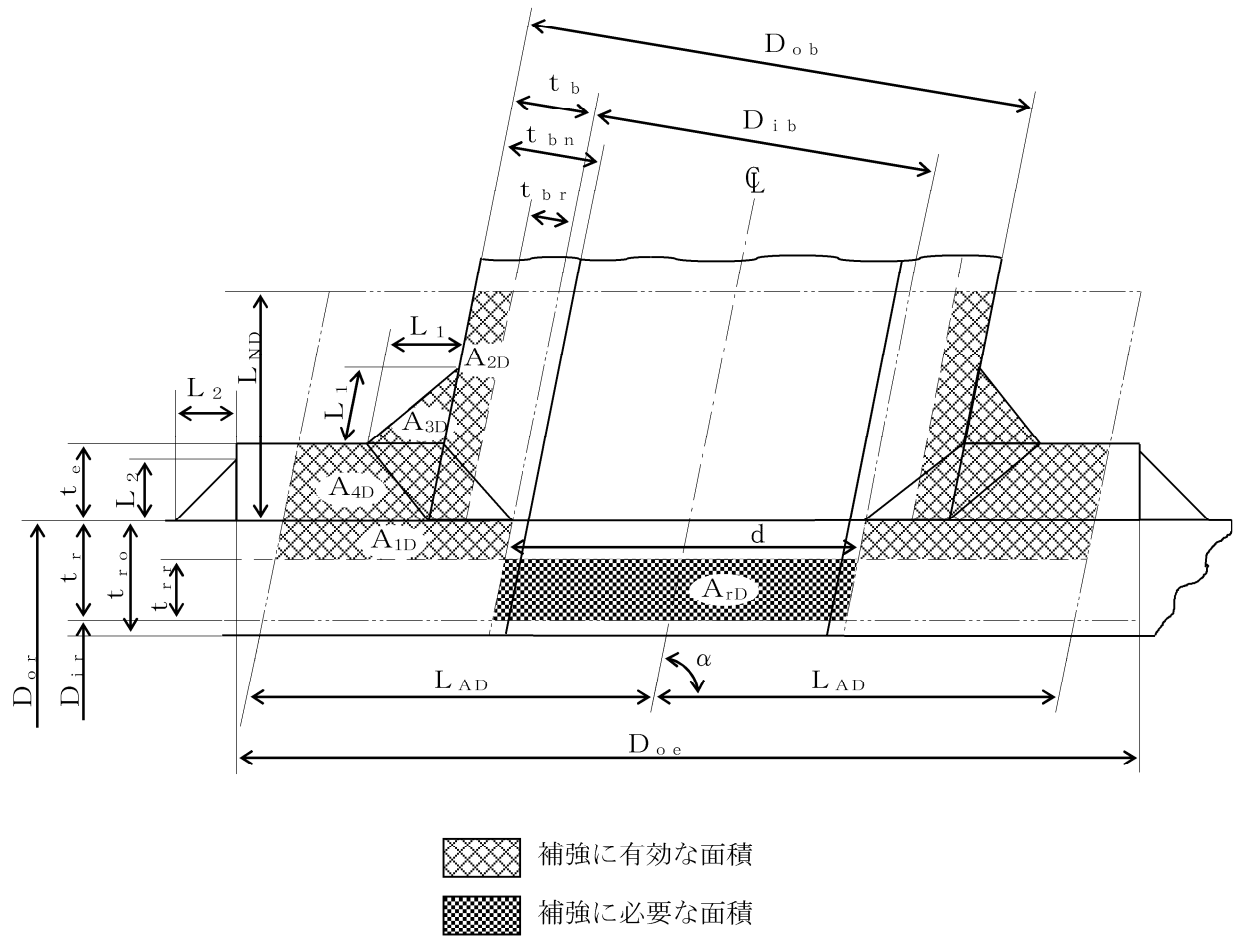
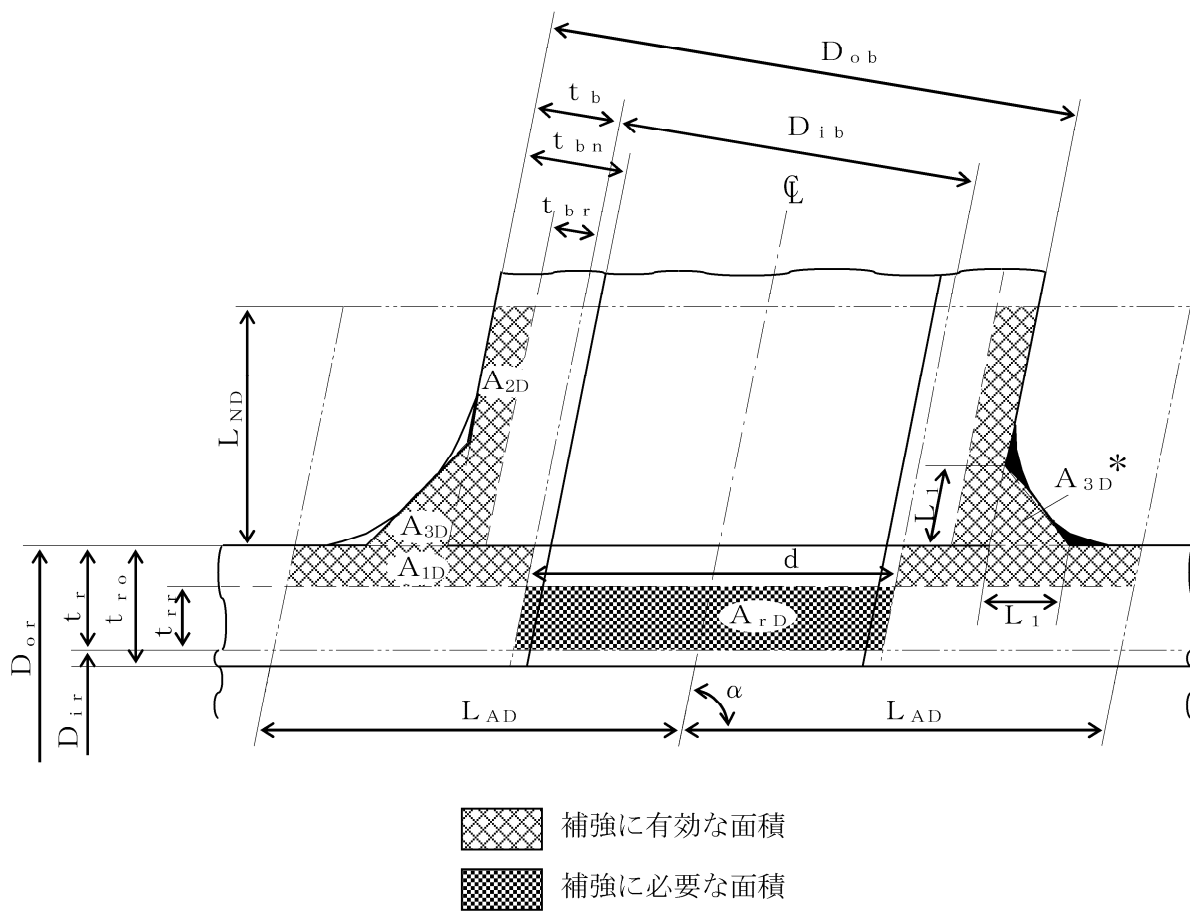


図 2-5 B 形（強め材のある場合）



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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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) $\geq$ 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) $\geq$ 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

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e2}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ロ) B形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e4}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e4}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e5}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e5}$$

(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) $\leq$ 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	%, 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 PVC-3130 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 t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
	D	D	鏡板の内面における長径	mm
		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 _{rl}	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	MPa
			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	
	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 _s	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 _{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 _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	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	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_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_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	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_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{nr}	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)	θ	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
		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。

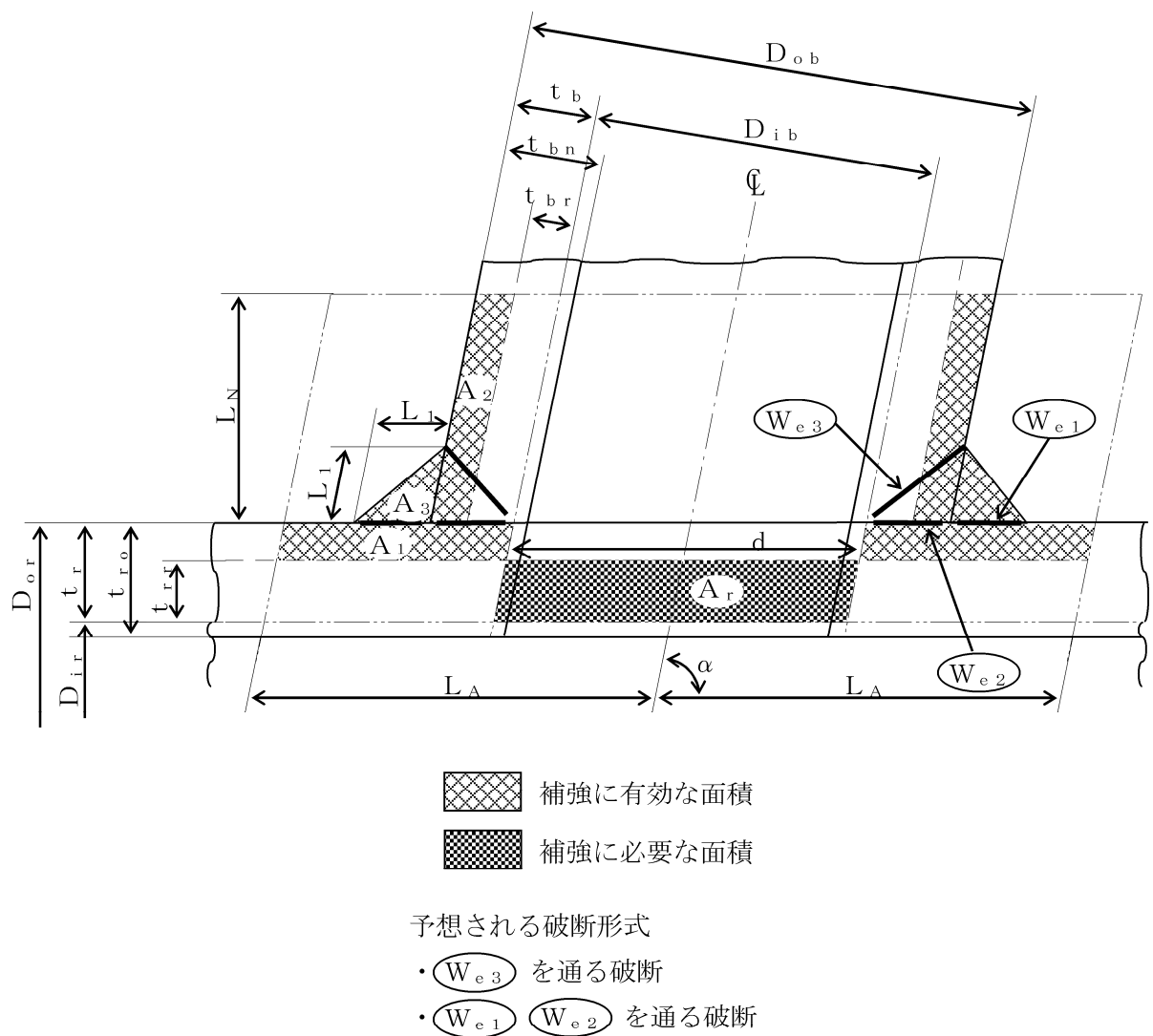


図 2-1 A形（強め材のない場合）

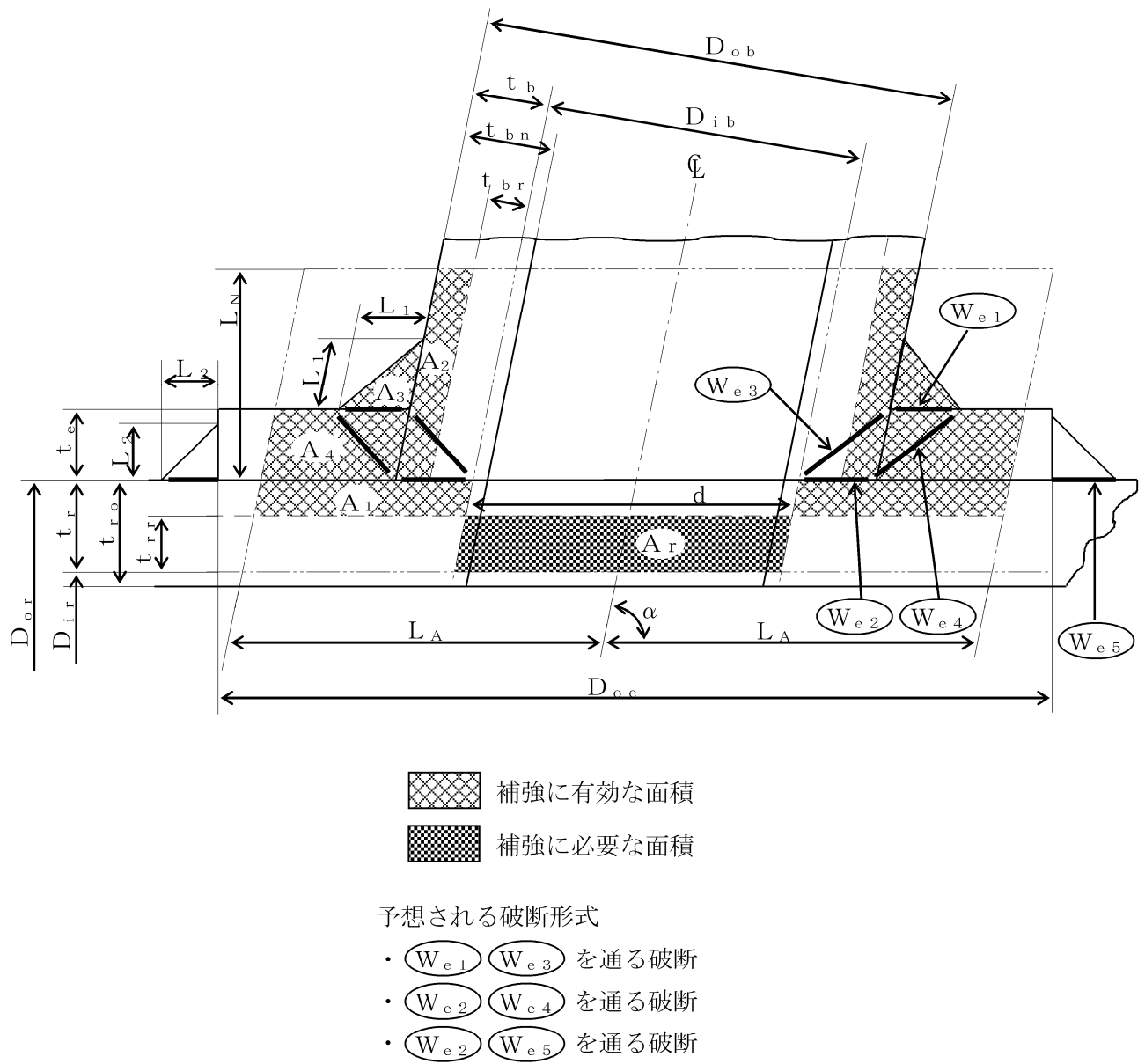
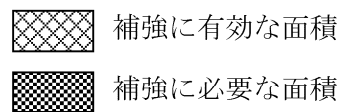
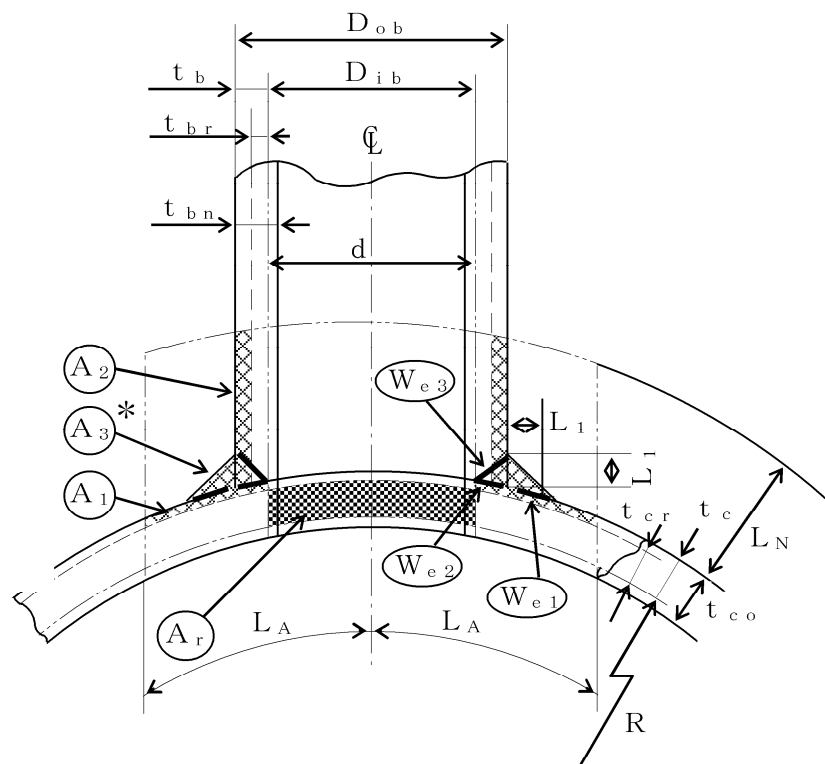


図 2-2 B形（強め材のある場合）

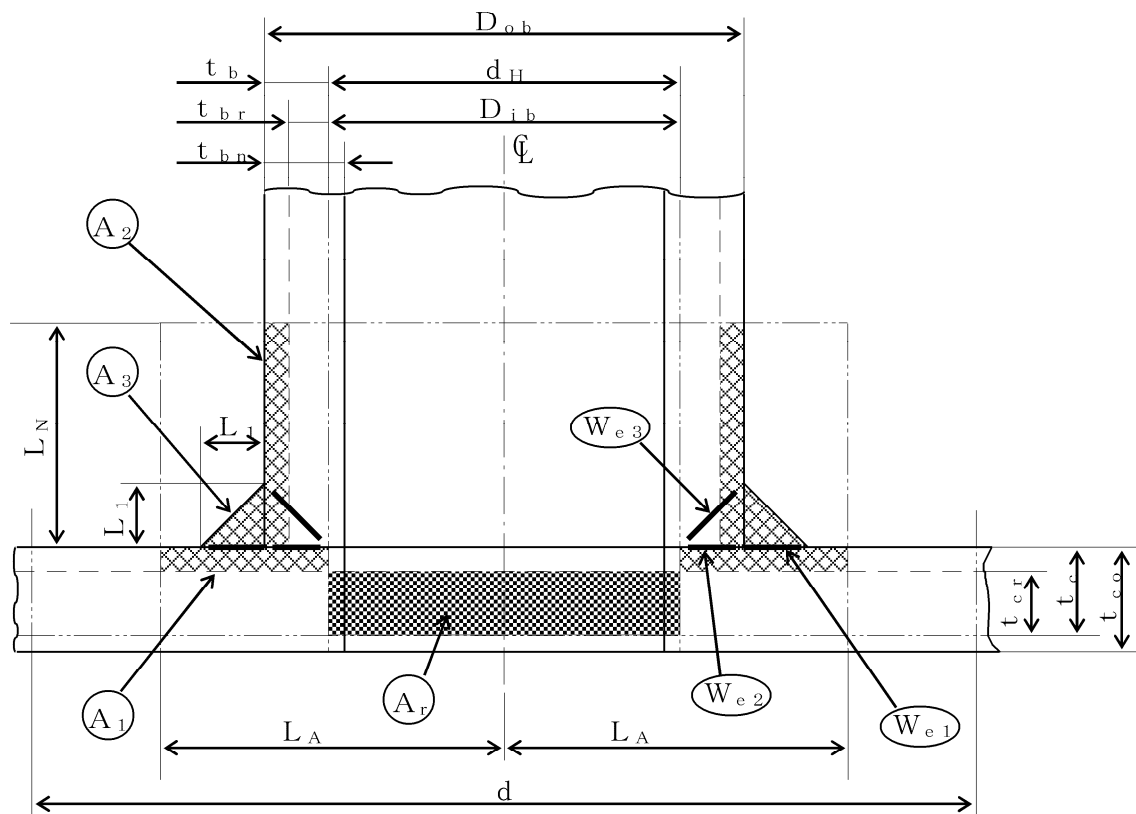


予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

注記 * : A_3 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 2-3 A形 (鏡板で強め材のない場合)



補強に有効な面積

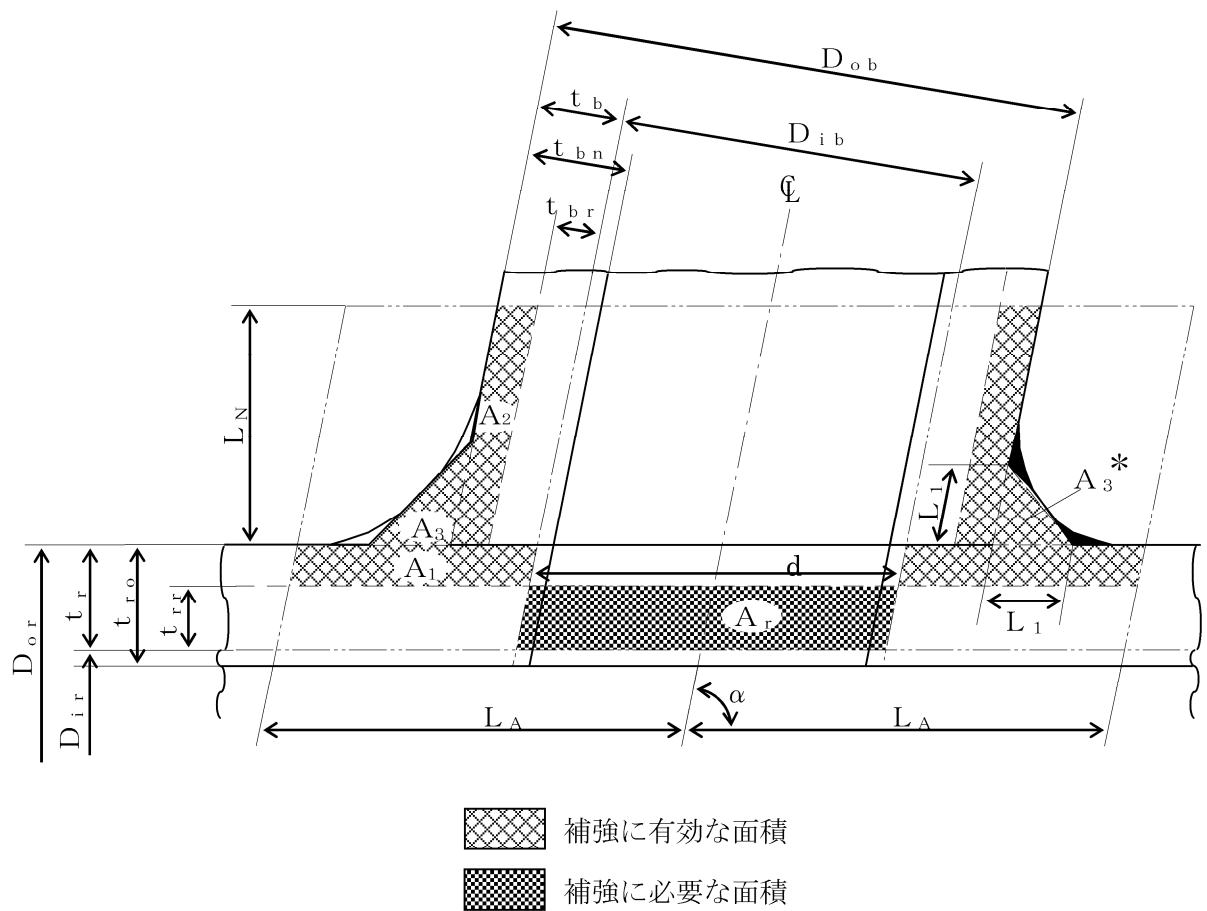


補強に必要な面積

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_{r1}) とする。

イ. 平板以外の管に設ける穴であって、穴の径が 61 mm 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 200 mm 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) さらに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径である 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}) $\geq$ 断面に現われる穴の径 (d) 又は平板の最小厚さ (t_c) $\geq$ 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

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

ロ. 鏡板の場合

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$$

ハ. 平板の場合

$$L_A = d_H \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$$

(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

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

ロ. 鏡板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

ハ. 平板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

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 PPC-3424(1)b. (a)を適用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_r \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

ただし， $\eta = 1.00$

$$t_{rr} = \frac{3 \cdot P \cdot D_{or}}{4 \cdot B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(中低面)}$$

ただし， $W = 1.00$ 及び $\eta = 1.00$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(中高面)}$$

ロ. 半だ円形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_1 \cdot D}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_K \cdot (D + 2 \cdot t_c)}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(中高面)}$$

ハ. 全半球形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(中低面)}$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{B} \quad \dots\dots\dots \text{(中高面)}$$

(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。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_b - 1.2 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

$$t_{br} = \frac{3 \cdot P \cdot D_{ob}}{4 \cdot B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

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

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(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 ($d_{f r D}$)

イ. $D_{i r}$ が 1500 mm 以下の場合

$$d_{f r D} = D_{i r} / 2$$

ただし、500 mm を超える場合 500 mm とする。

ロ. $D_{i r}$ が 1500 mm を超える場合

$$d_{f r D} = D_{i r} / 3$$

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 ($d_{f r D}$) $\geq$ 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。

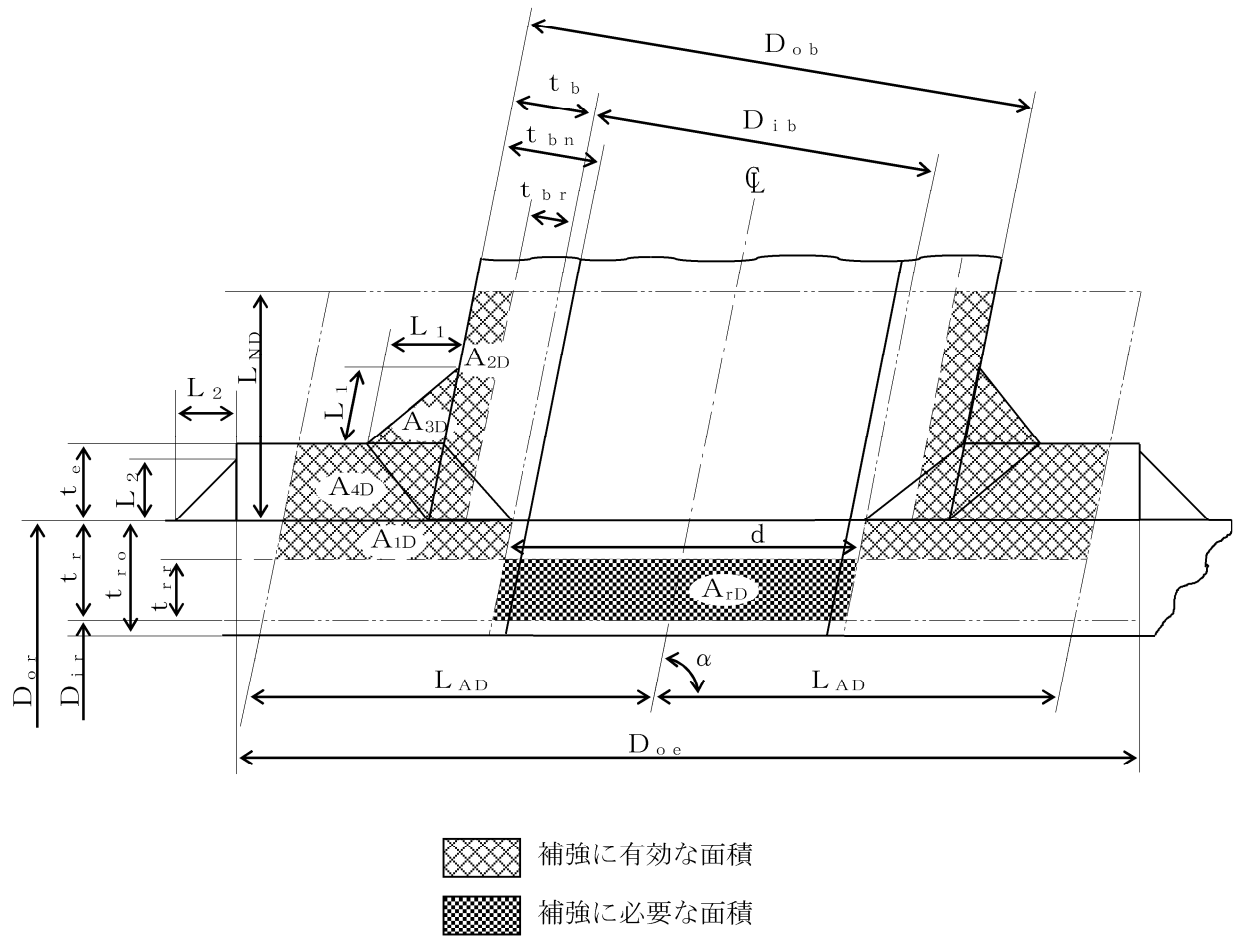
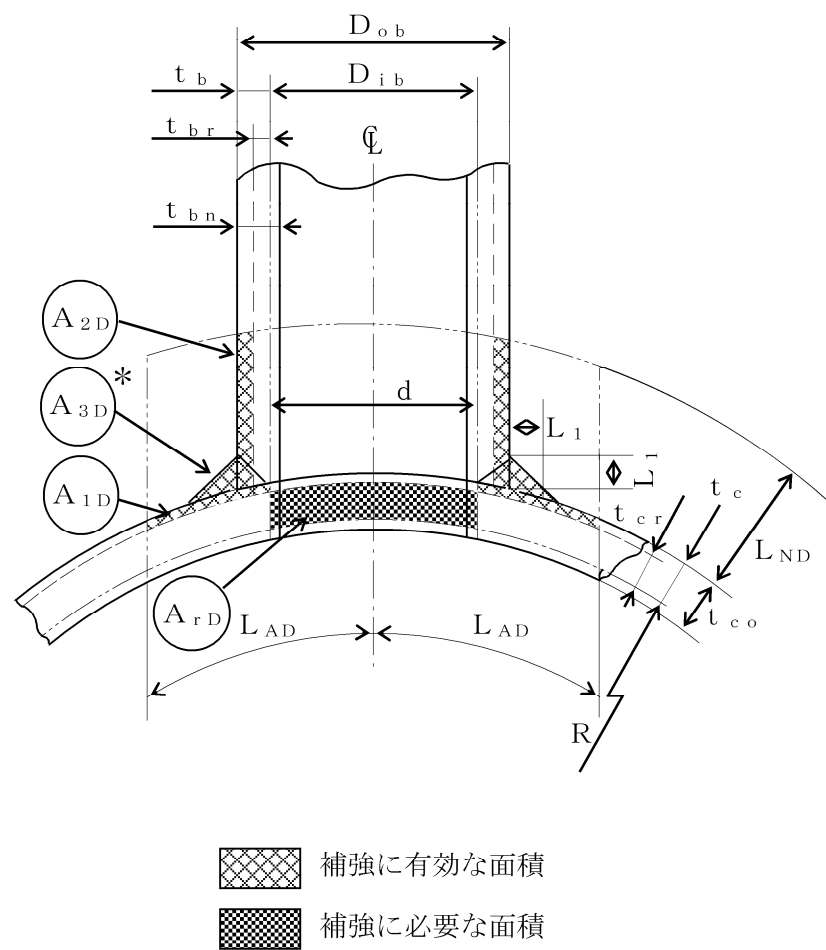


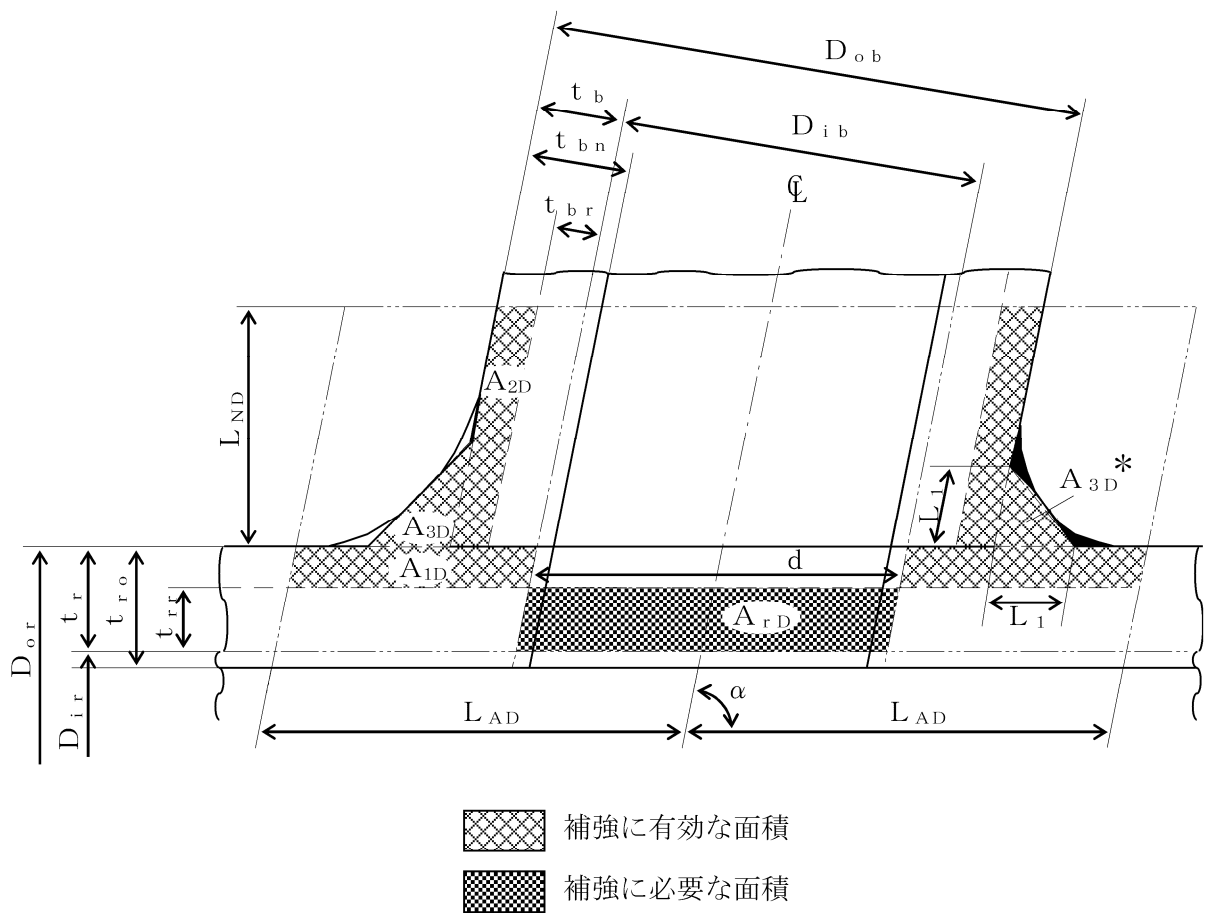
図 2-7 B 形（強め材のある場合）



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）

1-64



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

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_{rr} - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_{AD} - d)$$

$$A_{2D} = A_2$$

(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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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}) $\geq$ 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) $\geq$ 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

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

(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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e2}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ロ) B形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} + \textcircled{W_{e3}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e4}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e4}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e2}} + \textcircled{W_{e5}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e5}$$

(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) $\leq$ 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,

$$\frac{S_b}{S_r}, \frac{S_b}{S} \text{ 又は } \frac{S_e}{S_r} \text{ が1を超える場合は, 値を1として計算する。}$$

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, 本計算方法では取付け角度が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、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は J I S 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	$B + g_0$ ($f \geq 1$ 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、J I S B 8 2 6 5 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_0	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 (\text{一体形フランジの場合}) \right)$ $\left(= \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 (\text{ルーズ形フランジ (差込) 形フランジ) の場合} \right)$	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 $\left(= \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジの場合}) \right)$ $\left(= \frac{F_L}{h_o} (\text{ルーズ形フランジ (差込) 形フランジ) の場合} \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
F _L	F _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 6 又は表 4 による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S 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
H _G , 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 ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	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 J I S 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_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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 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 J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 ₀	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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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

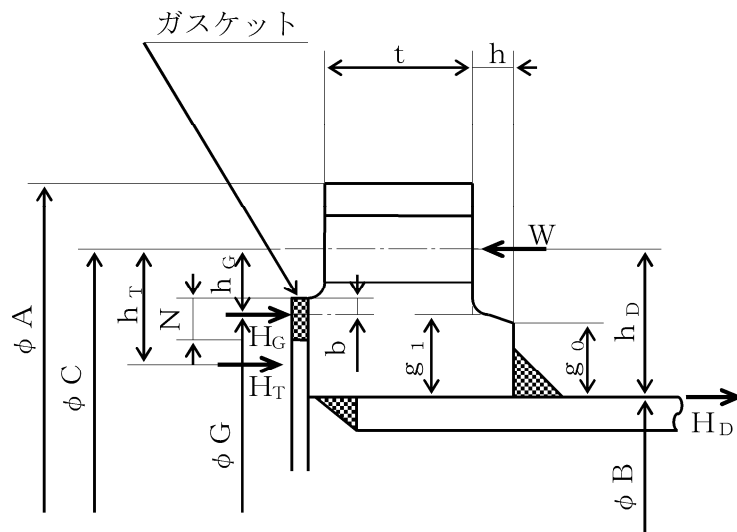
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 に よる。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に よる。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応 力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に よる。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
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 * : J I S B 8 2 6 5 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) フランジの形式

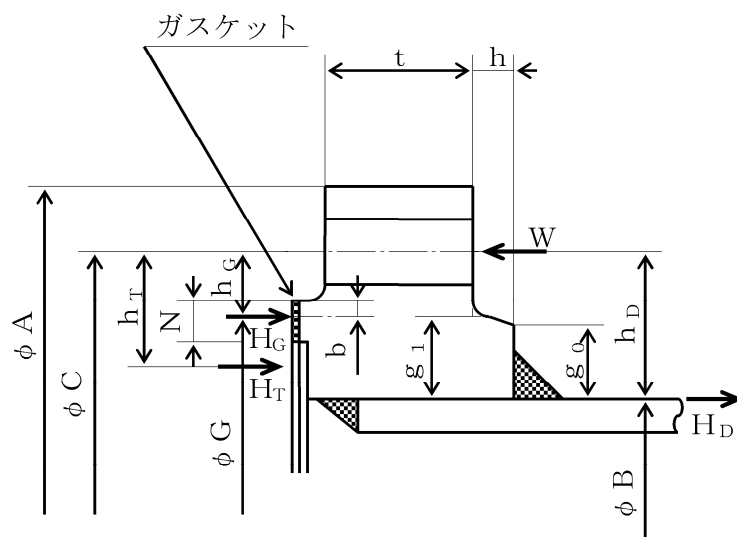
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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、 $g_o = g_1$ とする。

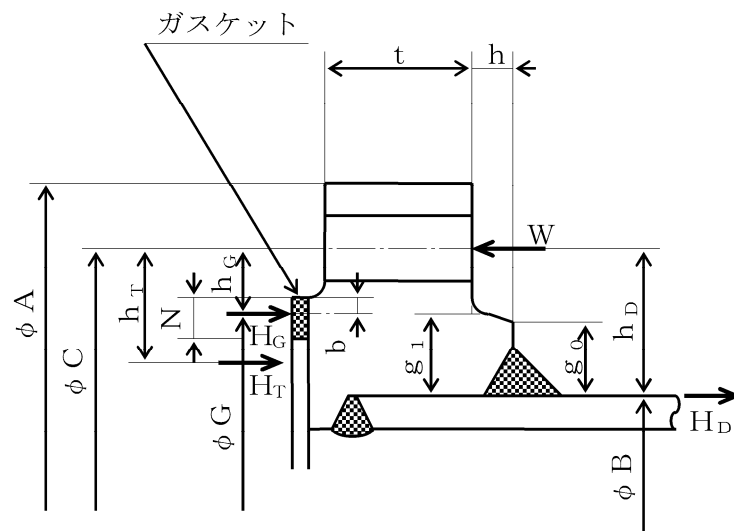
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_o = g_1$ とする。

TYPE-2 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)

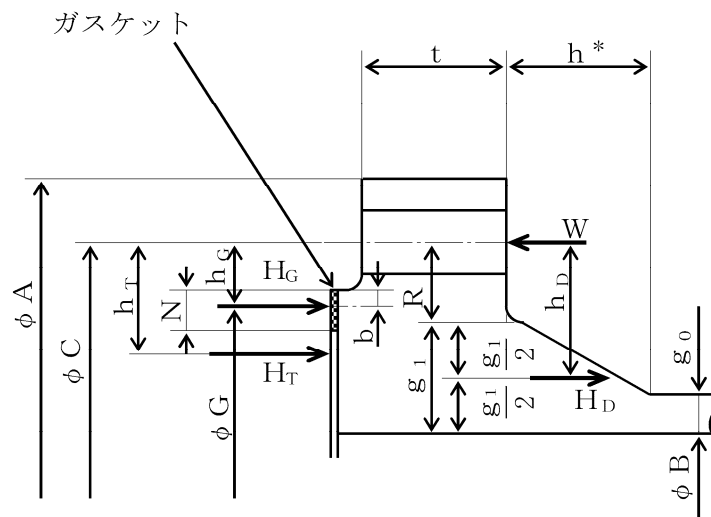
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



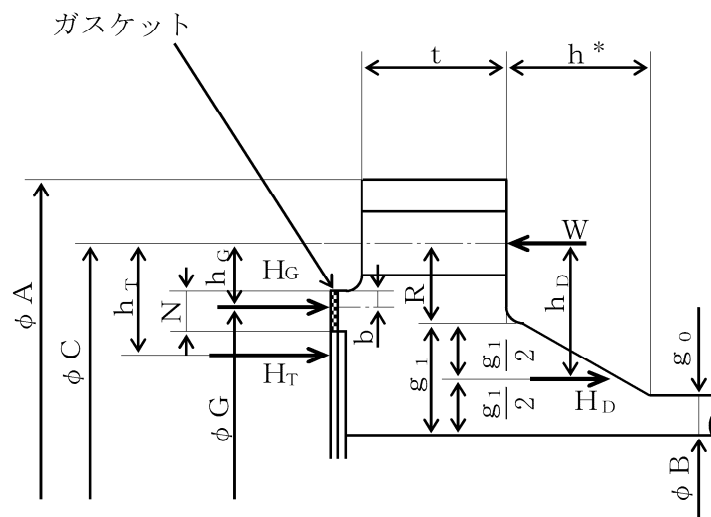
注 : ハブのテーパが 6° 以下のときは, $g_0 = g_1$ とする。

TYPE-3 J I S B 8 2 6 5 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。

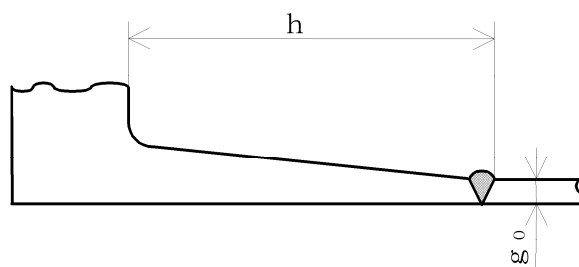
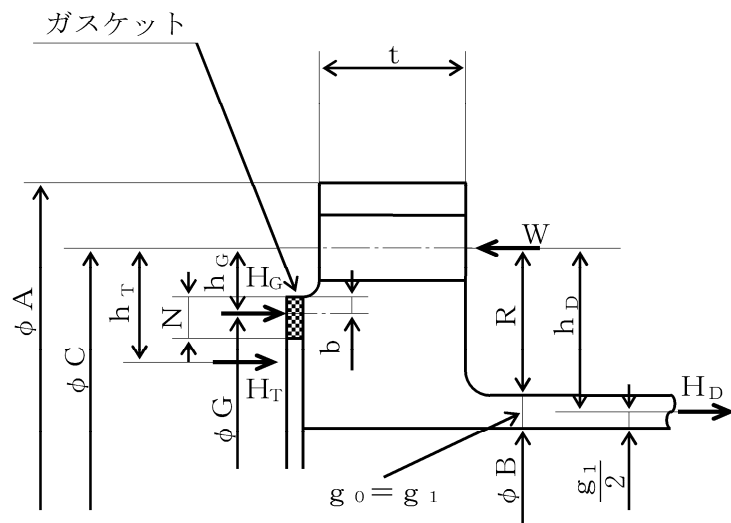
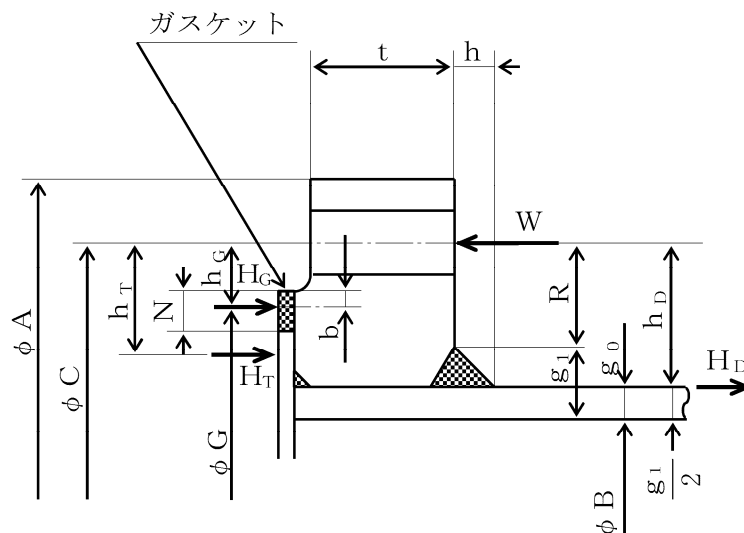


図2-13 一体形フランジ



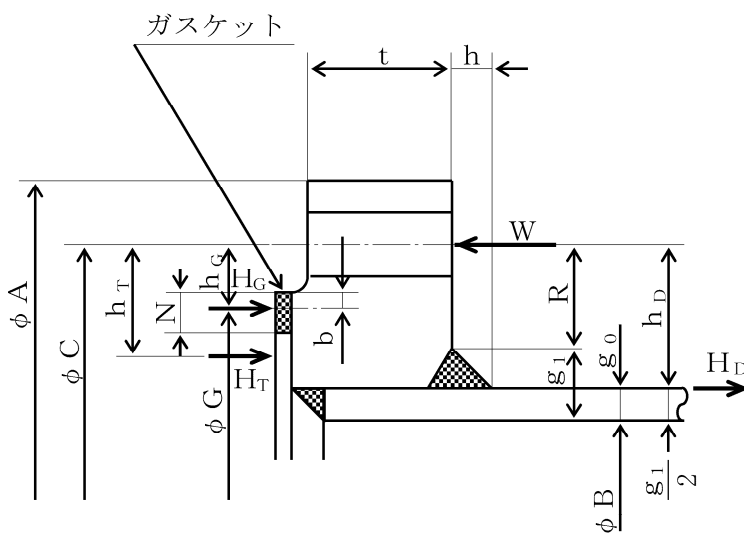
TYPE-6 J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 b) 6)

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asket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅（ b ）及びガasket反力円の直径（ G ）は、ガasket座の基
本幅（ b_o ）に従い以下のように求める。

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 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asket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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

- 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asket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

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_o}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガasket縮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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

また, B が $20 \cdot g_1$ 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

使用状態にあつては

$$\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$$

ガasket縮付時にあつては

$$\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$$

(c) フランジの径方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$$

ガasket縮付時にあつては

$$\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$$

(d) フランジの周方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$$

ガasket縮付時にあつては

$$\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$$

(4) 外圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅（ b ）及びガasket反力円の直径（ G ）は、ガasket座の基本幅（ b_o ）に従い以下のように求める。

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 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asket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

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_e \cdot B}{4 \cdot g_o}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

- (b) ガasket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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

また、 B が $20 \cdot g_1$ 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

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 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (c) フランジの径方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (d) フランジの周方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |

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	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1による。	
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。

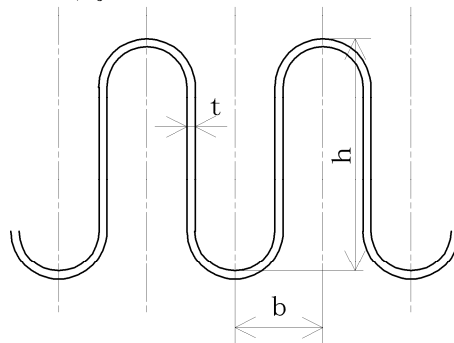


図 2-16 継手部の形状

(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

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c} \dots\dots\dots (A)$$

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h}{t \cdot c} \dots\dots\dots (B)$$

(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 $U \leq 1$ 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（ $U = \sum_i (N_{r i} / N_i)$ ）が $U \leq 1$ であれば，伸縮継手の強度は十分である。

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

基本板厚計算書の概略系統図記載要領については、添付書類「V-3-2-2 クラス 1 管の強度計算方法 別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領」による。

別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、添付書類「V-3-2-2 クラス 1 管の強度計算方法 別紙 2 管の基本板厚計算書のフォーマット」による。

第二部 クラス 2 管の応力計算方法

目次

1. 一般事項.....	2-1
1.1 概要.....	2-1
1.2 適用基準.....	2-1
2. クラス2管の強度計算方法.....	2-1
2.1 計算方針.....	2-1
2.2 計算方法.....	2-1
3. 計算書の構成.....	2-8
3.1 管の応力計算書.....	2-8

1. 一般事項

1.1 概要

本計算方法は、発電用原子力設備のうち、管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (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。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年）（以下「設計・建設規格」という。）

2. クラス 2 管の強度計算方法

2.1 計算方針

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 2 管は、設計・建設規格 PPC-3500 による評価を実施する。

2.2 計算方法

2.2.1 解析による計算

応力計算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、解析は解析コード「H I S A P」を使用する。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・H I S A P 及び N S A F E」に示す。

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. スナッパ：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、管内流体の質量、付加質量として保温材等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. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力

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)
D_0	mm	管の外径
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
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	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

記号	単位	定義
$M_{b\ b}$	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（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
$M_{b\ r}$	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（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
M_c	N・mm	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
P	MPa	最高使用圧力
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
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_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_n	MPa	一次＋二次応力
$S_{p\ r\ m}$	MPa	一次応力
t	mm	管の厚さ
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

2.2.2.2 応力計算

(1) 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

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

ロ. イ.以外の管

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

(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

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

ロ. イ.以外の管

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

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

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

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

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

管クラス	設備	荷重の組合せ	許容応力状態
クラス 2 管	原子炉格納容器 バウンダリ	P + D	I , II
		P + D + M	

表 2-2 許容応力 (クラス 2 管)

許容応力状態	荷重の組合せ	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次応力
I , II	P + D	$1.5 S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$
	P + D + M	$1.8 S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$

表 2-1, 表 2-2 中の記号

P : 内圧による荷重

D : 自重その他の長期的荷重

M : 逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重

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 2-3 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
応力	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：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：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

本計算方法に基づき，管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。

また，評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 管

工事計画記載範囲の管のうち，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。また，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鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(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管を含む概略系統図を添付する。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のうち評価結果記載の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) 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

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。解析モデルは各応力区分における裕度最小モデルを添付する。添付フォーマットを以下に示す。

a. 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
				$S_{prm}(1)$	$1.5 \cdot S_h$	$S_n(a)$	$S_a(c)$
				$S_{prm}(2)$	$1.8 \cdot S_h$	$S_n(b)$	$S_a(d)$
鳥瞰図 番号	(A, B)		$S_{prm}(1)$	Max	$1.5 \cdot S_h$		
	(A, B)		$S_n(a)$			Max	$S_a(c)$
	(A, B)		$S_{prm}(2)$	Max	$1.8 \cdot S_h$		
	(A, B)		$S_n(b)$			Max	$S_a(d)$

注記 *1: $S_{pr m}(1)$, $S_{pr m}(2)$ 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。

(5) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。このため、下表の代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス2範囲）

No	配管 モデル	供用状態(A, B) ^{*1}					供用状態(A, B) ^{*2}				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	1	**	***	*, **	—	9	**	***	*, **	—
2	***-2	2	**	***	*, **	○	10	**	***	*, **	○
3	***-3	3	**	***	*, **	—	11	**	***	*, **	—
4	***-4	4	**	***	*, **	—	12	**	***	*, **	—
5	***-5	5	**	***	*, **	—	13	**	***	*, **	—
6	***-6	6	**	***	*, **	—	14	**	***	*, **	—
7	***-7	7	**	***	*, **	—	15	**	***	*, **	—
8	***-8	8	**	***	*, **	—	16	**	***	*, **	—

注記 *1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

No	配管 モデル	供用状態(A, B) ^{*3}					供用状態(A, B) ^{*4}				
		一次＋二次応力					一次＋二次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	1	**	***	*, **	—	9	**	***	*, **	—
2	***-2	2	**	***	*, **	○	10	**	***	*, **	○
3	***-3	3	**	***	*, **	—	11	**	***	*, **	—
4	***-4	4	**	***	*, **	—	12	**	***	*, **	—
5	***-5	5	**	***	*, **	—	13	**	***	*, **	—
6	***-6	6	**	***	*, **	—	14	**	***	*, **	—
7	***-7	7	**	***	*, **	—	15	**	***	*, **	—
8	***-8	8	**	***	*, **	—	16	**	***	*, **	—

注記 *3：設計・建設規格 PPC-3530(1)aに基づき計算した一次＋二次応力を示す。

*4：設計・建設規格 PPC-3530(1)bに基づき計算した一次＋二次応力を示す。

V-3-2-5 クラス 2 弁の強度計算方法

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.....	2
1.4 計算精度と数値の丸め方.....	3
1.5 材料の表示方法.....	4
2. クラス 2 弁の強度計算方法.....	5
2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算.....	5
2.2 2.1 項の規定に適合しない場合の計算.....	8
2.3 管台の最小厚さの計算.....	10
2.4 フランジの強度計算.....	11
3. 添付図.....	23

別紙 クラス 2 弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス2弁が十分な強度を有することを確認するための方法を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。））J S M E S N C 1－2005/2007）（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。

設計・建設規格 規格番号と本資料との対応は、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フランジについては日本工業規格（以下「J I S」という。）を適用して行う。本資料との対応は、表 1-2 に示すとおりである。

- (3) 本資料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. J I S B 2 2 2 0（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	本資料の計算式 (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 mm を超える弁について適用する。

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		本資料の計算式 (章節番号)	備 考
N o .	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003)		2.4	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造—一般事項」			
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 J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」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、本資料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、本資料によるものとする。

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。

J I S 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 J I S 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 $\leq$ 63 mm）

- (3) ガasket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asket係数（m）及びガasketの最小設計締付圧力（y）は，J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 備考 3 よりガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス 2 弁の強度計算方法

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示す。

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	$\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ 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：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（1.03 MPa）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)
- $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$
- 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

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

b. ネック部の最小厚さ

$$(a) \quad \frac{d_n}{d_m} \leq 1.5 \text{ の場合}$$

$$t_{ma1} \geq t_{m1}$$

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

$$(b) \quad \frac{d_n}{d_m} > 1.5 \text{ の場合}$$

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

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

$$D' \leq D$$

$$D = 0.35 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

- b. t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分の厚さ

$$t' \geq \frac{3}{4} \cdot t$$

- 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

$$\ell' \geq \ell$$

$$\ell = 1.75 \cdot \sqrt{d_m \cdot t} + 0.5 \cdot (d_1 + d_2)$$

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	°C
	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。

$$t_{br} \geq t$$

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

J I S 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 _o (f ≥ 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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

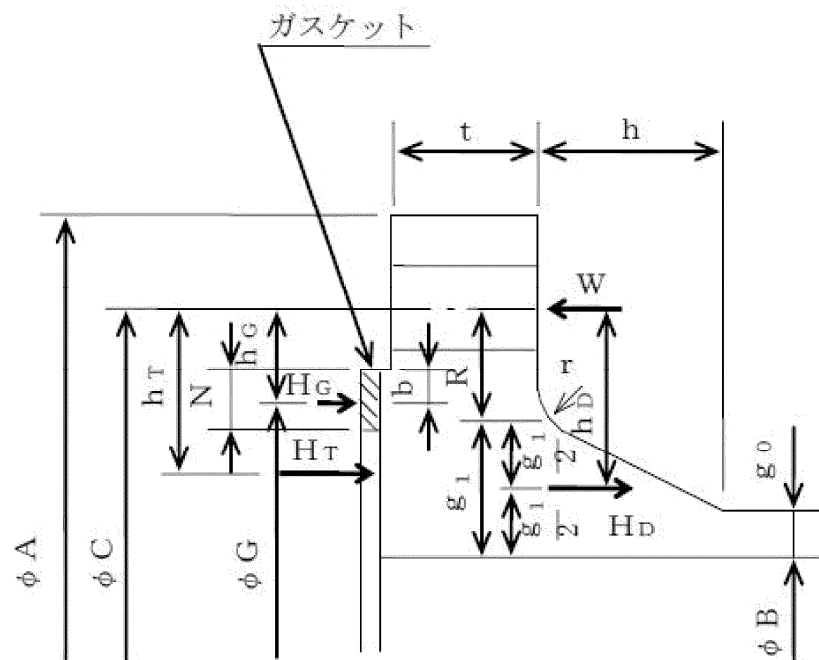
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I S 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 * : J I S B 8 2 6 5 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



(J I S B 8 2 6 5 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) $b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35 \text{ mm}$ 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asket縮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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket縮付時})$$

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*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

$$\text{ただし, } R = \frac{C - B}{2} - g_1$$

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asket縮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asket縮付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

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。J I S B 8 2 6 5 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

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_{H_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては} \quad \sigma_{H_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$$

- c. フランジの半径方向応力

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_{R_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては} \quad \sigma_{R_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$$

- d. フランジの周方向応力

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_{T_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_b}$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては} \quad \sigma_{T_g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f_a}$$

2.4.2 全面座フランジ

設計・建設規格 VVC-3310 を適用する。

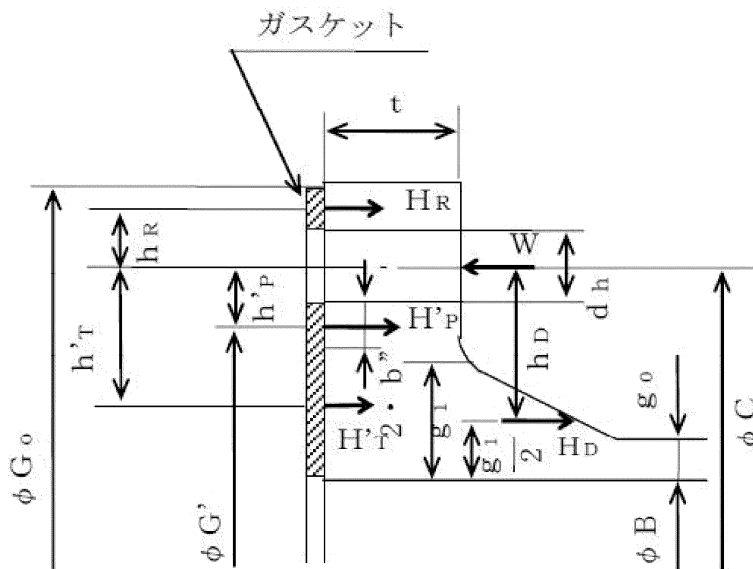
(1) 記号の説明

J I S 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 $2 \cdot b'' = 5 \text{ mm}$	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_o	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

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
M_o	M_o	$H_R \cdot h_R$, 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_{fl}	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 (J I S B 8 2 6 5 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 * : J I S B 8 2 6 5 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



(J I S B 8 2 6 5 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asket縮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

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

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。

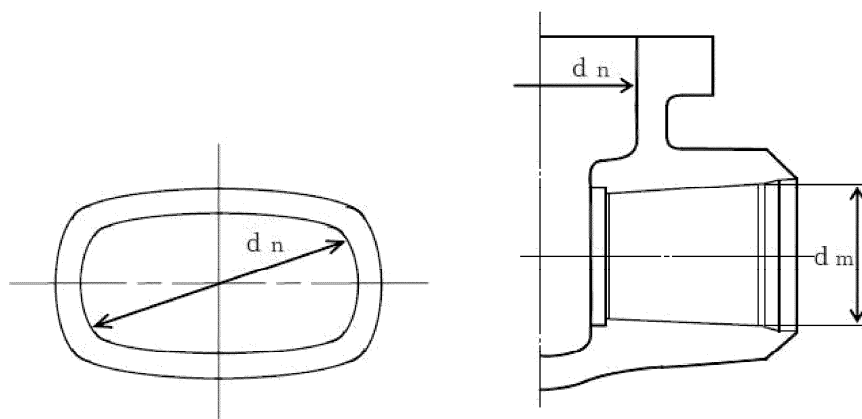
a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

b. フランジの厚さ

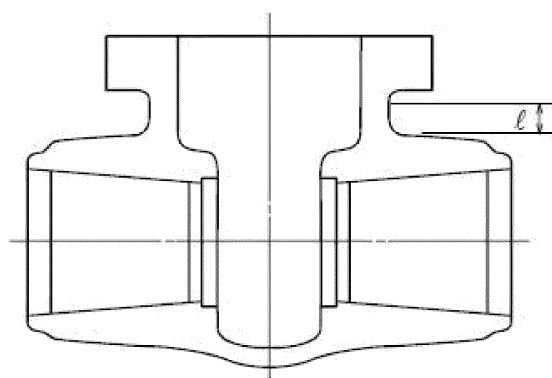
$$t_{fl} \geq t$$

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

別紙 クラス2弁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、添付書類「V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)

目次

1.	クラス 2 弁	.....
1.1	設計仕様	.....
1.2	強度計算書	.....

1. クラス 2 弁

1.1 設計仕様

系統：_____

機器の区分		クラス 2 弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト

1.2 強度計算書

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P （MPa）		d _n （mm）	
最高使用温度 T _m （℃）		d _n ／d _m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		ℓ （mm）	
弁箱材料		t _{m 1} （mm）	
弁ふた材料		t _{m 2} （mm）	
P ₁ （MPa）		t _{m a 1} （mm）	
P ₂ （MPa）		t _{m a 2} （mm）	
d _m （mm）		評価： t _{m a 1} ≧ t _{m 1} t _{m a 2} ≧ t _{m 2} よって十分である。	
t ₁ （mm）			
t ₂ （mm）			
t （mm）			
t _{a b} （mm）			
t _{a f} （mm）			
評価： t _{a b} ≧ t t _{a f} ≧ t よって十分である。			

NT2 補③ V-3-2-5 R1

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

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) ×10 ⁵
P _{eq}	(MPa)		h _D	(mm)
T _m	(℃)		M _D	(N・mm) ×10 ⁷
M _e	(N・mm)	×10 ⁶	H _G	(N) ×10 ⁵
F _e	(N)		h _G	(mm)
フランジの形式			M _G	(N・mm) ×10 ⁷
フランジ			H _T	(N) ×10 ⁵
材料			h _T	(mm)
σ _{fa} (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 ℃)			M _T	(N・mm) ×10 ⁷
			M _o	(N・mm) ×10 ⁷
σ _{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)			M _g	(N・mm) ×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 _o	(mm)		f	
g _l	(mm)		F	
h	(mm)		V	
ボルト			e	(mm ⁻¹)
材料			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			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)		応力の評価： σ_{Ho} ≦ 1.5 ・ σ_{fb} σ_{Ro} ≦ 1.5 ・ σ_{fb} σ_{To} ≦ 1.5 ・ σ_{fb} σ_{Hg} ≦ 1.5 ・ σ_{fa} σ_{Rg} ≦ 1.5 ・ σ_{fa} σ_{Tg} ≦ 1.5 ・ σ_{fa} よって十分である。	
b	(mm)			
N	(mm)			
G _s	(mm)			
ボルトの計算				
H	(N)	×10 ⁶		
H _p	(N)	×10 ⁵		
W _{m1}	(N)	×10 ⁶		
W _{m2}	(N)	×10 ⁵		
A _{m1}	(mm ²)	×10 ³		
A _{m2}	(mm ²)	×10 ³		
A _m	(mm ²)	×10 ³		
A _b	(mm ²)	×10 ⁴		
W _o	(N)	×10 ⁶		
W _s	(N)	×10 ⁶		
評価：A _m <A _b				

V-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法

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 計算精度と数値の丸め方.....	3
1.4 材料の表示方法	4
2. クラス3容器の強度計算方法.....	5
2.1 共通記号の定義	5
2.2 原水タンクの構造及び強度.....	6
2.3 火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の構造及び強度	74

別紙 クラス3容器の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、添付書類「V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス3容器が十分な強度を有することを確認するための方法を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、火災防護設備用水源タンク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適用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））J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）及びJ I S B 8 5 0 1（1995）「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」（以下「J I S B 8 5 0 1」という。）の規定に基づく強度計算方法について説明する。なお、消火設備用ポンベ及び消火器については、添付書類「V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針」に示すとおり、高圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用することとする。

設計・建設規格及びJ I S B 8 5 0 1の項目と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 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. J I S B 2 2 3 8（1996）「鋼製管フランジ通則」
 - b. J I S B 2 2 3 9（1996）「鋳鉄製管フランジ通則」
 - c. A S M E B 1 6 . 5（1996）「PIPE FLANGES AND FLANGED FITTINGS」
- (3) J I S B 8 5 0 1の規定に基づく設計をされるタンクの管台については、原則J I S B 8 5 0 1の「3.10 附属物」に規定される図及び表に適合するものを使用する設計とするが、特殊な形状又は寸法を用いる場合は、J I S B 8 5 0 1に従い、強め材の検討として補強計算を実施する。

表1-1 設計・建設規格及び J I S B 8 5 0 1 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 J I S B 8 5 0 1 項目番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PVD-3000 クラス 3 容器の設計		
PVD-3010 (PVC-3920準用)	2.2.1	開放タンクの胴の計算
PVD-3010 (PVC-3970準用)	2.2.2	開放タンクの底板の計算
PVD-3010 (PVC-3980準用)	2.2.3	開放タンクの管台の計算
PVD-3010, (PVC-3950, PVC-3160準用)	2.2.4	開放タンクの胴の穴の補強計算
PVD-3510		開放タンクに穴を設ける場合の規定および補強不要となる穴の規定
PVD-3010 (PVC-3162準用)	2.2.5	2 つ以上の穴が設計しているときの補強計算
PVD-3010 (PVC-3710準用) (J I S B 8 2 6 5 (2003))	2.2.6	フランジの強度計算 (「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」)
J I S B 8 5 0 1 鋼製石油貯槽の構造 (全溶接性)		
3.5.2	2.3.1	側板の厚さ
3.4.2	2.3.2	底板の厚さ
3.5.5	2.3.3	側板の開口穴に対する補強

1.3 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1-2に示すとおりとする。

表1-2 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		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
降伏点		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*1	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*2
力		N	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
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：開放タンクの胴内径

*2：絶対値が1,000以上のときは、べき数表示とする。

1.4 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・建設規格及び J I S に定める材料記号を原則とする。
- (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 J I S 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	$\left[\begin{array}{l} \text{付録材料図表 Part5 表 5} \\ \text{の許容引張応力の上段} \end{array} \right]$	SCMV3-1
SCMV3	$\left[\begin{array}{l} \text{付録材料図表 Part5 表 5} \\ \text{の許容引張応力の下段} \end{array} \right]$	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40 mm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 J I S 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 °C空冷の場合)

- (6) ガasket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asket (非石綿) (ステンレス鋼)

平形金属被覆ガasket (非石綿板) (ステンレス鋼)

なお，この場合のガasket係数 m 及びガasketの最小設計締付圧力 y は，J I S B 8265 附属書3 表2 備考3より，ガasketメーカー推奨値を適用する。

2. クラス 3 容器の強度計算方法

2.1 共通記号の定義

クラス 3 容器の強度計算において，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。

計算書の表示	表示内容	単位
P	最高使用圧力	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 もしくは J I S で定める降伏点又は耐力	MPa
η	継手の効率 設計・建設規格 PVD-3110 もしくは J I S B 8 5 0 1 に定める定数。	—
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。）	—
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 J S M E S N B 1 - 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 原水タンクの構造及び強度

2.2.1 開放タンクの胴の計算

原水タンクについては設計・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。	—

(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 3 mm，その他の材料で作られた場合は 1.5 mm 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 5 m を超えるものについては、同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 ） $\geq$ 胴に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.2 開放タンクの底板の計算

原水タンクについては設計・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 項の場合で上記以外の記号については、設計・建設規格 PVC-3220 及び PVC-3310 によるものとする。

(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

(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
設計・建設規格 PVD-3010 により 3 mm 以上
- b. 上記以外のものの底板に必要な厚さ：t
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

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。

(b) 平板

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。

(4) 評価

底板の最小厚さ（ t_b ） $\geq$ 底板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

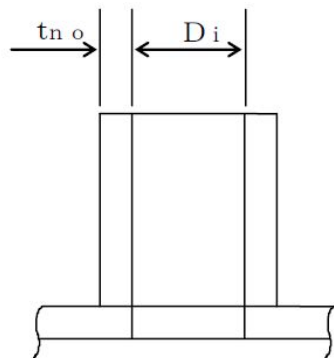
2.2.3 開放タンクの管台の計算

原水タンクについては設計・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	t	管台に必要な厚さ	mm
	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. 管台の計算上の必要な厚さ： 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

(3) 算式

管台の最小厚さ（ t_n ） $\geq$ 管台に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.4 開放タンクの胴の穴の補強計算

原水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110 及び PVD-3510（設計・建設規格 PVC-3160 及び PVC-3950 準用）を適用する。

なお、穴を設ける場合の規定及び補強不要となる穴の規定については以下の通りとする。

（PVD-3511, PVD-3512 適用）

- ・穴は、円形または楕円形であること。ただし、容器内の流体等の監視用のために設ける穴で長方形の両端が凸形に半円形状であるものについてはこの限りではない。
- ・穴の径（円形の穴については直径、だ円形の穴については長径をいう）が 85 mm 以下の場合、補強計算は不要とする。

(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_0	補強に有効な総面積	mm^2
	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_r	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	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。）	—
d	B_e	強め板の外径	mm
	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、最小内りの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	円筒胴にあつては胴の内径。さら形鏡板及び半だ円形鏡板にあつては鏡板のフランジ部の内径。全半球形鏡板にあつては鏡板の内径	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	$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$	MPa
	P L A T E —	管台のない平板形式（図 2-20 参照）	—
	R	さら形鏡板にあつては鏡板の中央部における内面の半径。半だ円形鏡板にあつては $D_{iL} \cdot K_1$ 。全半球形鏡板にあつては鏡板の内半径	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
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

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	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	$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N
	W_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：胴の外側）	N
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴の内側）	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（胴と強め板との突合せ部）	N
	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（胴の部分径 D_{on} において）	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力（胴の部分径 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

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	W E L D -	管台溶接形式 (図 2-1～図 2-19 を参照)	—
	X	補強の有効範囲 (胴の面に沿った方向)	mm
	X ₁	補強の有効範囲	
	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 (胴より外側)	mm
	Y ₂	補強の有効範囲 (胴より内側)	mm
	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	—
	応力除去の有無		
	有 り	同左	—
	無 し	同左	—

注記 *1: 設計・建設規格 図 PVD-4112-3 による。

(2) 胴の補強計算

a. 管台の形式

図 2-1～図 2-19 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

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

設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \max(d, d/2 + t_s + t_n)$$

$$Y_1 = \min(2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \min(2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n)$$

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

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

$$A_4 = \{M i n (B_e, X) - D_{on}\} \cdot t_e \cdot S_e / S_s$$

($S_e / S_s > 1$ 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

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

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{M i n (X_1, X_2) - d / 2\}$$

管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{M i n (X_1, X_2) - d / 2\}$$

$$- (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot t_n$$

(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

設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格 PVC-3164 準用）を用いる。

(a) 大きい穴の補強を要する限界径

イ. D_i が 1500 mm 以下の場合

$$d_j = D_i / 2$$

ただし、500 mm を超える場合は 500 mm とする。

ロ. D_i が 1500 mm を超える場合

$$d_j = D_i / 3$$

ただし、1000 mm を超える場合は 1000 mm とする。

ここで、 $d \leq d_j$ 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

$$A_{j\ r} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(d) 大きい穴の補強に有効な範囲

$$X_j = X_{j\ 1} + X_{j\ 2}$$

$$X_{j\ 1} = X_{j\ 2} = d/2 + d/4$$

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) 管台の一部が胴の部分となっていない場合及び WELD-8, 22, 38 の場合

$$A_{j\ 1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{s\ r}) \cdot (X_j - d)$$

(ロ) 管台の一部が胴の部分となっている場合

$$A_{j\ 1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{s\ r}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{s\ r}) \cdot 2 \cdot t_n$$

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

$$A_{j\ 2} = 2 \cdot \{ \min(X_j, D_{on}) - d \} / 2 - t_{nr} \cdot Y_1 \cdot S_n / S_s$$

(ロ) 管台が胴の内側に突出している場合

$$A_{j\ 2} = 2 \cdot \{ \{ \min(X_j, D_{on}) - d \} / 2 - t_{nr} \} \cdot Y_1$$

$$+ (\text{Min} (X_j, D_{on}) - d) / 2 \cdot Y_2 \cdot S_n / S_s$$

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

$$A_{j4} = \{ \text{Min} (B_e, X_j) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_s$$

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

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、 $W \geq 0$ 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

$$W_{e1} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_1 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e2} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1} / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{WELD-17 以外の場合})$$

$$W_{e2} = \pi \cdot (d - 2 \cdot L_2) \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{WELD-17 の場合})$$

$$W_{e3} = \pi \cdot B_e \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{d_w - D_{on}}{2} \right) \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e5} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2$$

$\dots\dots\dots (\text{WELD-5, 6, 14, 35, 36, 44 以外の場合})$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2$$

$\dots\dots\dots (\text{WELD-5, 6, 14, 35, 36, 44 の場合})$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36 以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36 の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \quad \dots\dots\dots (\text{WELD-14, 44 以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \quad \cdots \cdots \cdots \text{(WELD-14, 44 の場合)}$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(d) 予想される破断箇所の強さ

イ. WELD-1, 31 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e5D}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e5}$$

ロ. WELD-2, 32 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ハ. WELD-3, 33 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

ニ. WELD-4, 34 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e11}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e11} + W_{e7}$$

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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヘ. WELD-6, 36 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e7}$$

ト. WELD-8, 38 の場合

$$\begin{aligned}
W_{\text{ebp}1} &= \textcircled{W_{\text{e}1}} \textcircled{W_{\text{e}2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{\text{e}1} + W_{\text{e}2} \\
W_{\text{ebp}2} &= \textcircled{W_{\text{e}1}} \textcircled{W_{\text{e}10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{\text{e}1} + W_{\text{e}10}
\end{aligned}$$

チ. WELD-9, 39 の場合

$$\begin{aligned} W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\ W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10} \\ W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7} \end{aligned}$$

リ. WELD-11, 41 の場合

$$\begin{aligned} W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2} \\ W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2} \\ W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2} \\ W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\ W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10} \end{aligned}$$

ヌ. WELD-12, 42 の場合

$$\begin{aligned} W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} \\ W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\ W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\ W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\ W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10} \end{aligned}$$

ル. WELD-13, 43 の場合

$$\begin{aligned} W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5D}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5} \\ W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5} \end{aligned}$$

ヲ. WELD-14, 44 の場合

$$\begin{aligned} W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6} \\ W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\ W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10} \\ W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10} \end{aligned}$$

ワ. WELD-15, 16, 22, 45, 46 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

カ. WELD-17 の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

コ. WELD-18, 48 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ク. WELD-19, 19', 49 の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

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。

$$A_0 > A_r$$

$$A_{0D} \geq A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

$$A_{j0} \geq A_{jr} \quad (\text{ただし, 大きい穴の補強を要する場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

2.2.5 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

原水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3162準用）を適用する。

(1) 記号の定義

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_s	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	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	係数	—
ℓ	ℓ	2つの穴の中心間の距離	mm
t_{sr}	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_{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あうときは次による。

$$d \geq 1.5 \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$$

$$A_r = 0.5 \cdot (A_{r1} + A_{r2})$$

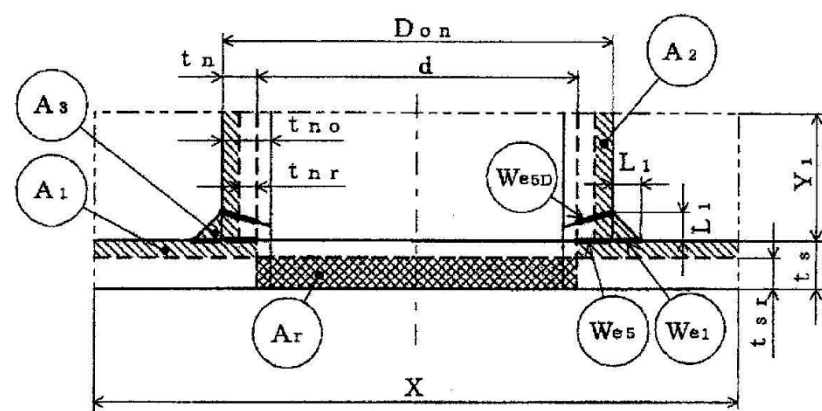
$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{sr} \cdot F \quad (\text{胴の補強計算の場合})$$

$$A_d = A_1 + A_2$$

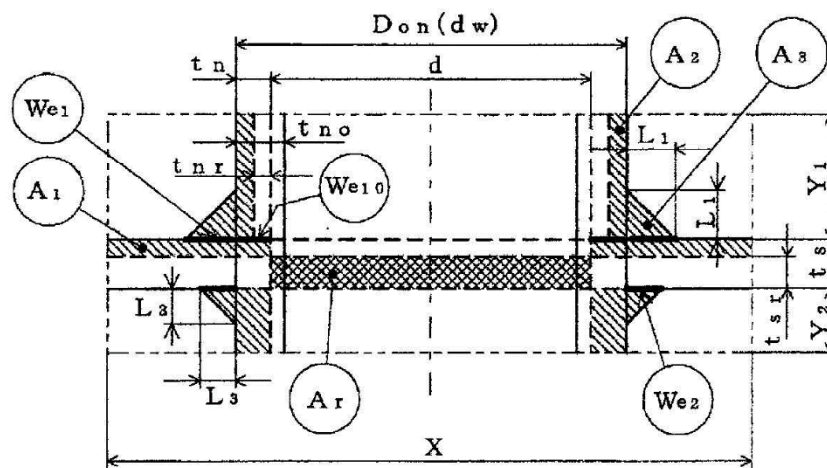
(2) 評価

下記の条件を満足すれば十分である。

$$\ell \geq d, \quad A_{rs} \geq A_r, \quad A_d \geq A_s$$



WELD-1



WELD-2

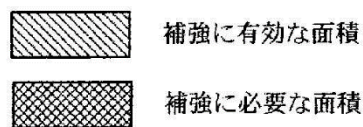
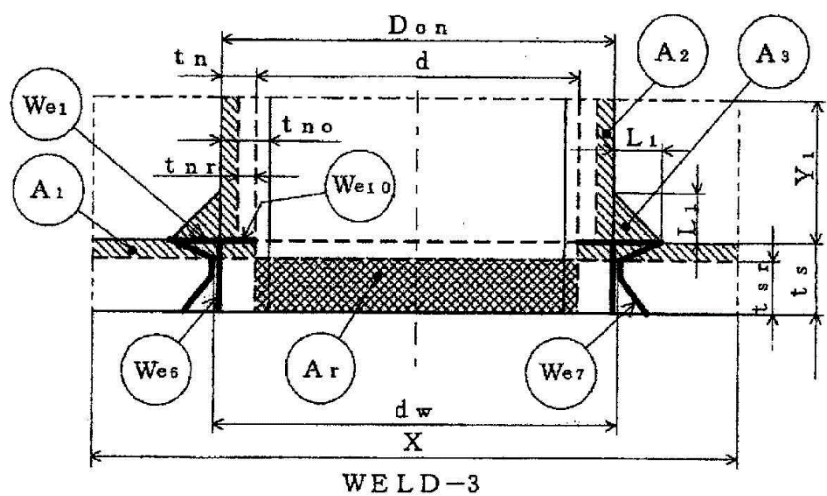
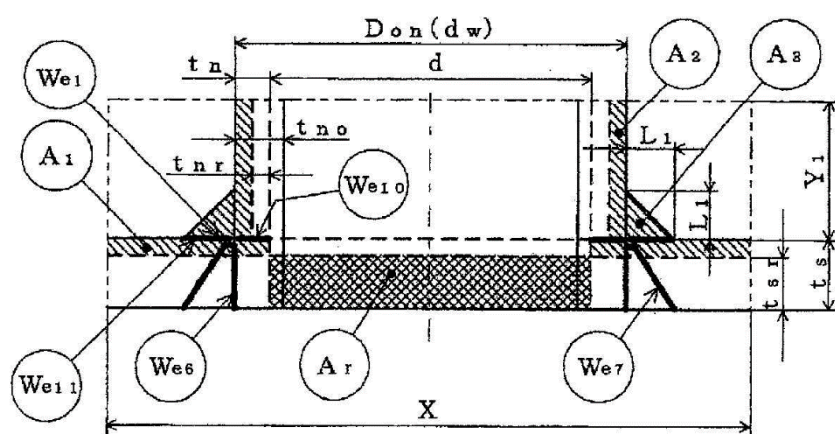


図 2-1

* : We_1 等で示される図中の太線は、予想される破断形式を示す。(以降、同様)



WELD-3



WELD-4

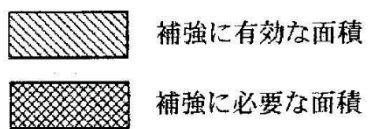
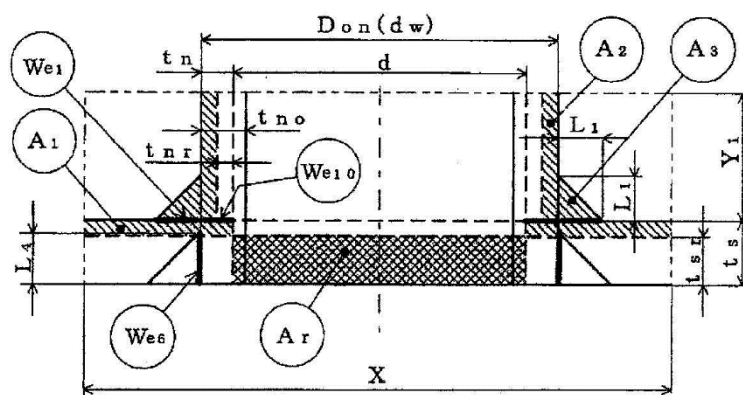
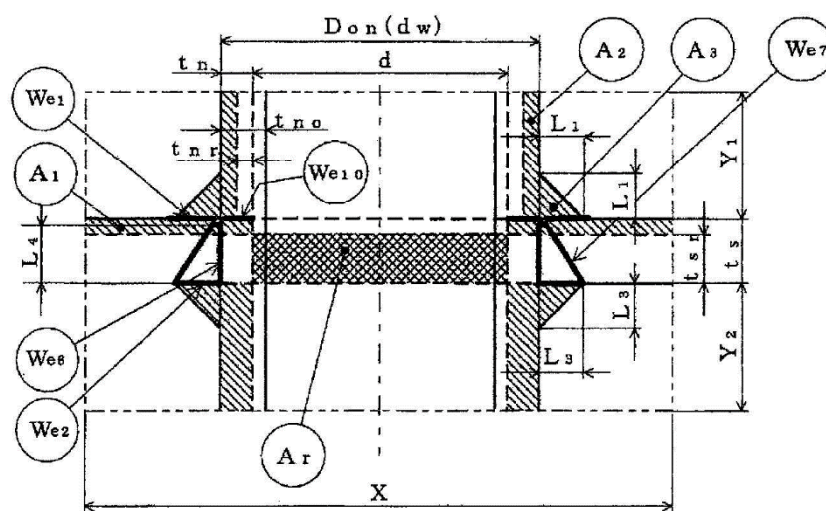


図 2-2



WELD-5



WELD-6



図 2-3

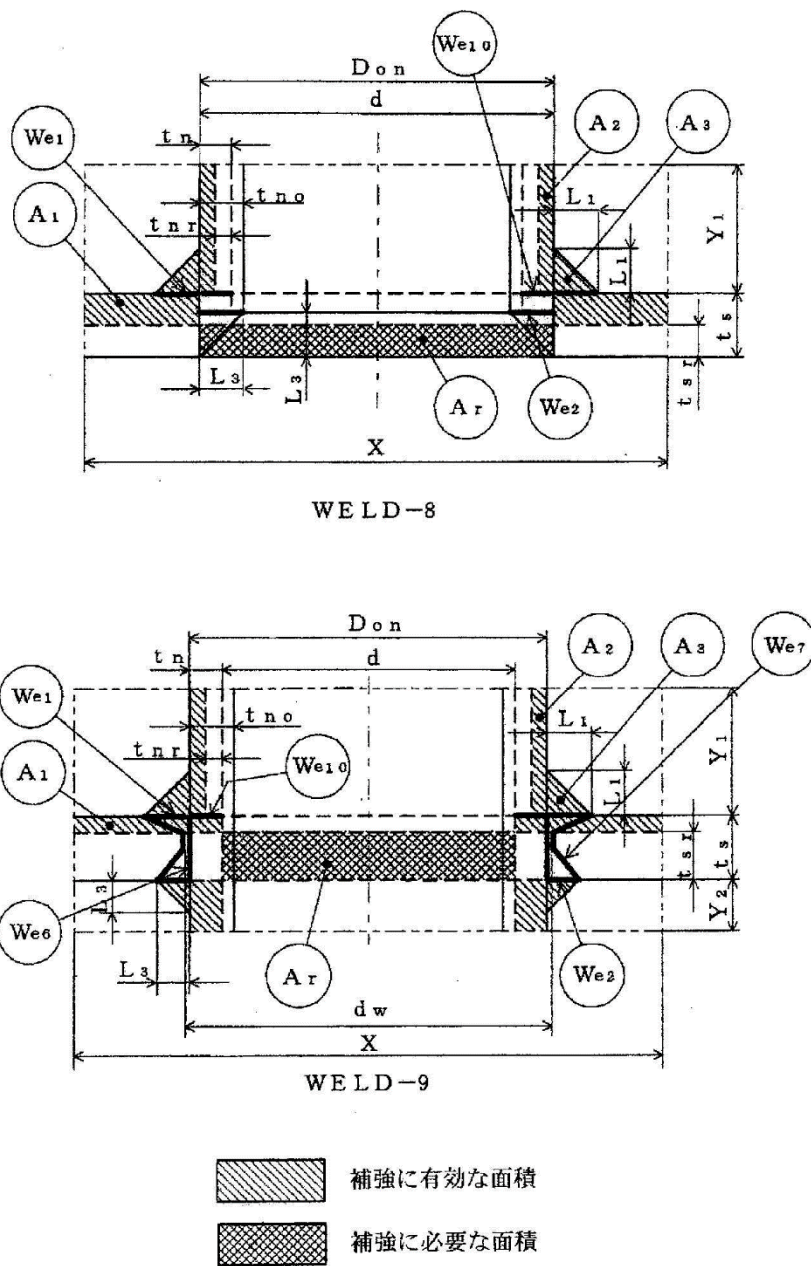
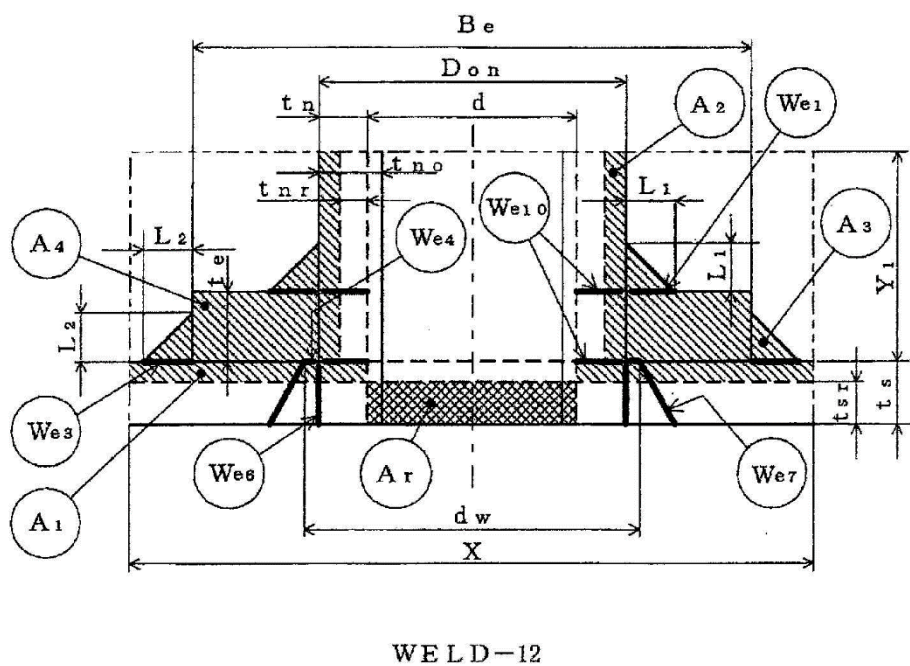
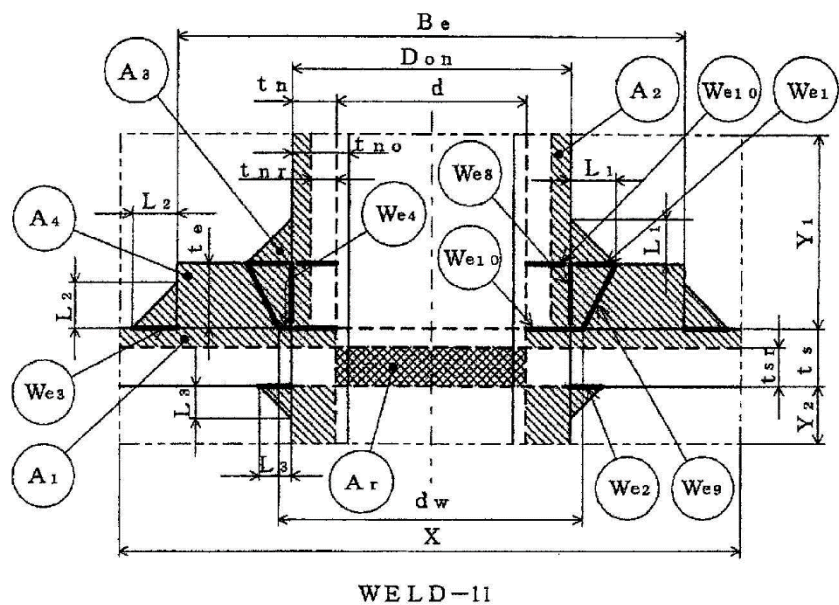
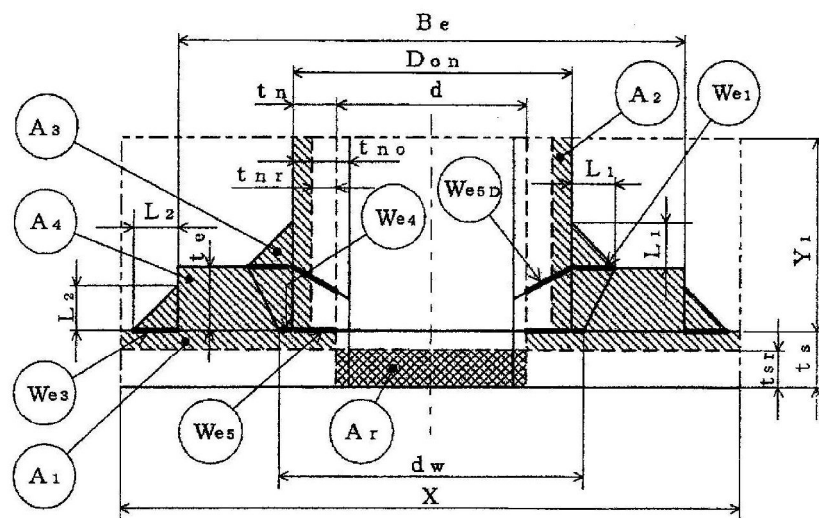


図 2-4

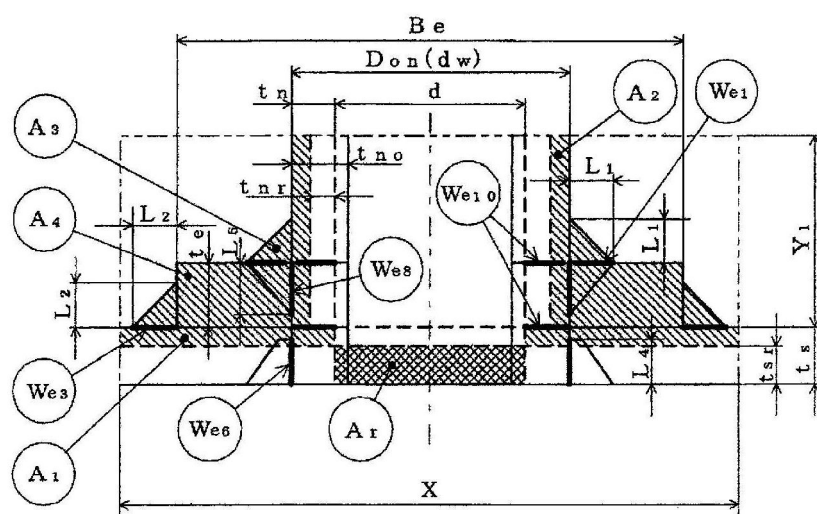


補強に有効な面積
補強に必要な面積

図 2-5

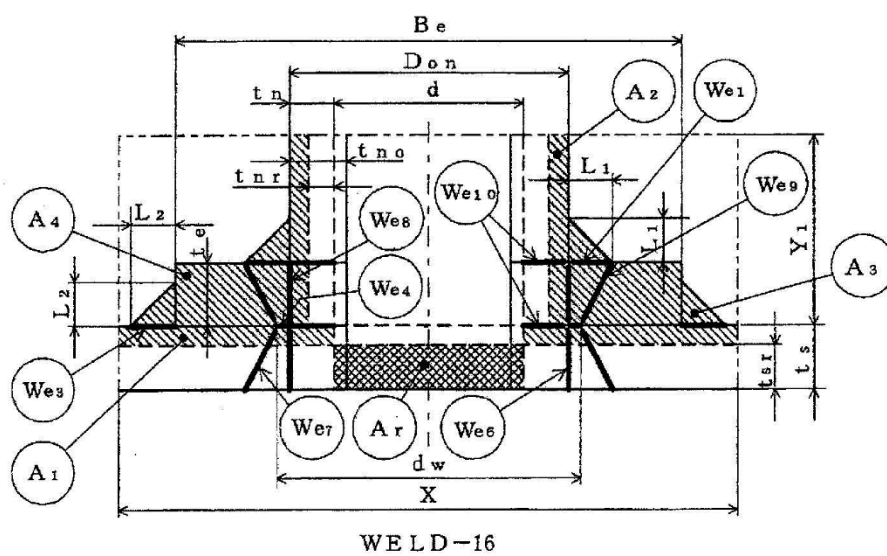
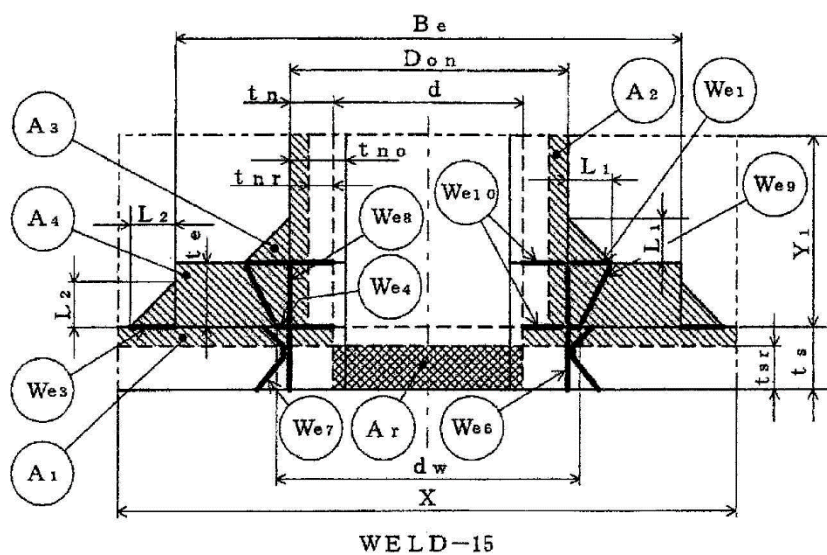


WELD-13



WELD-14

图 2-6



 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

図 2-7

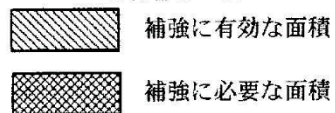
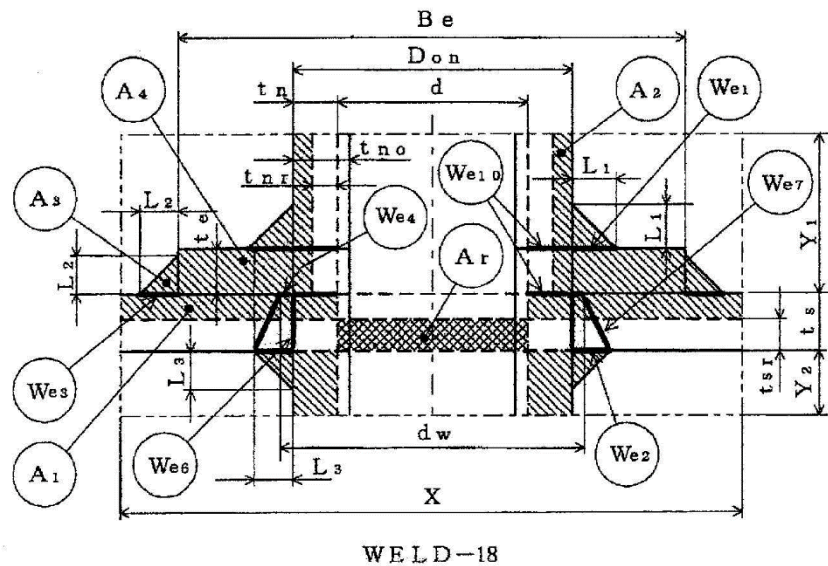
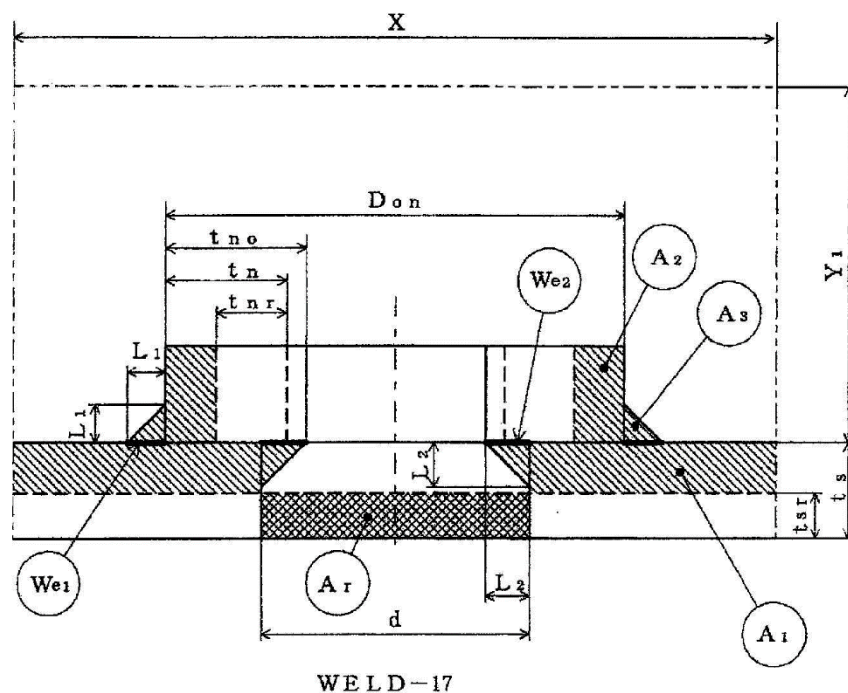
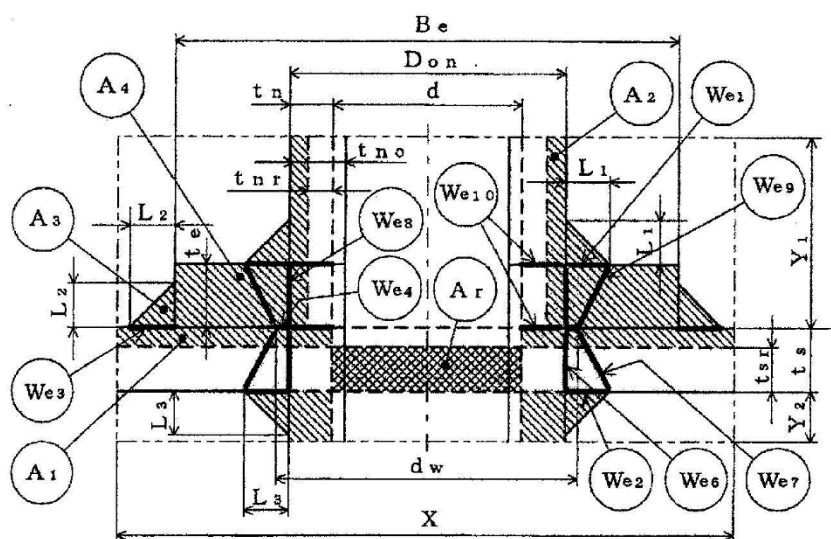
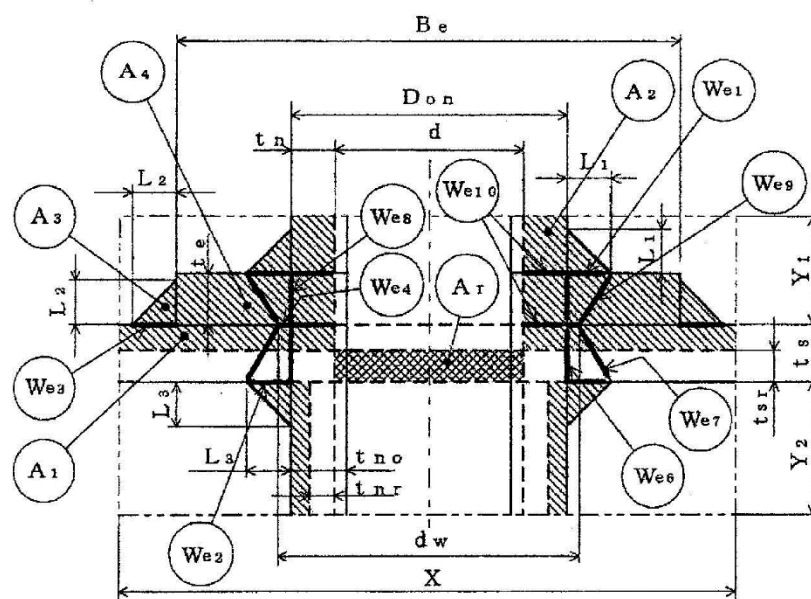


図 2-8



WELD-19



WELD-19'

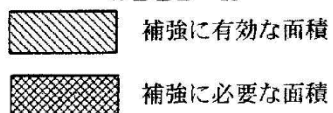


図 2-9

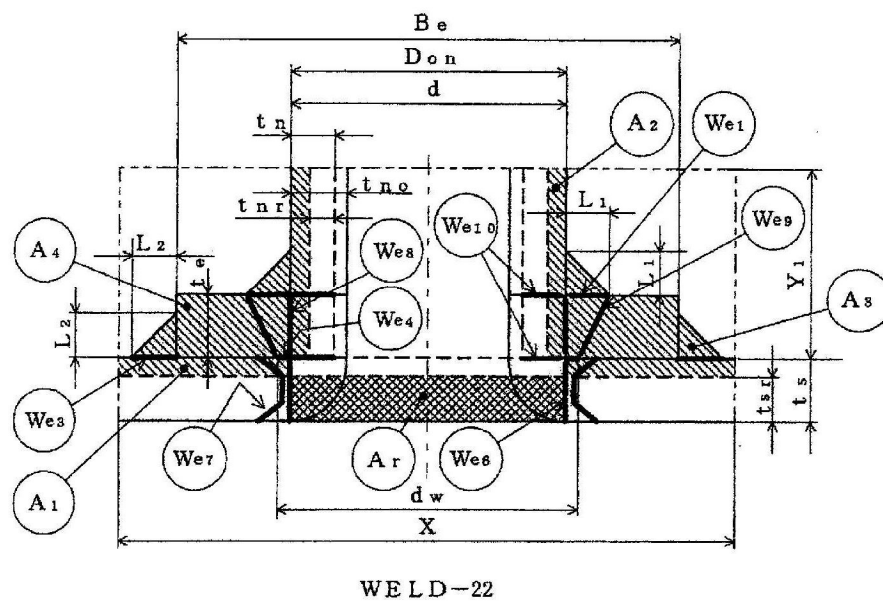


図 2-10

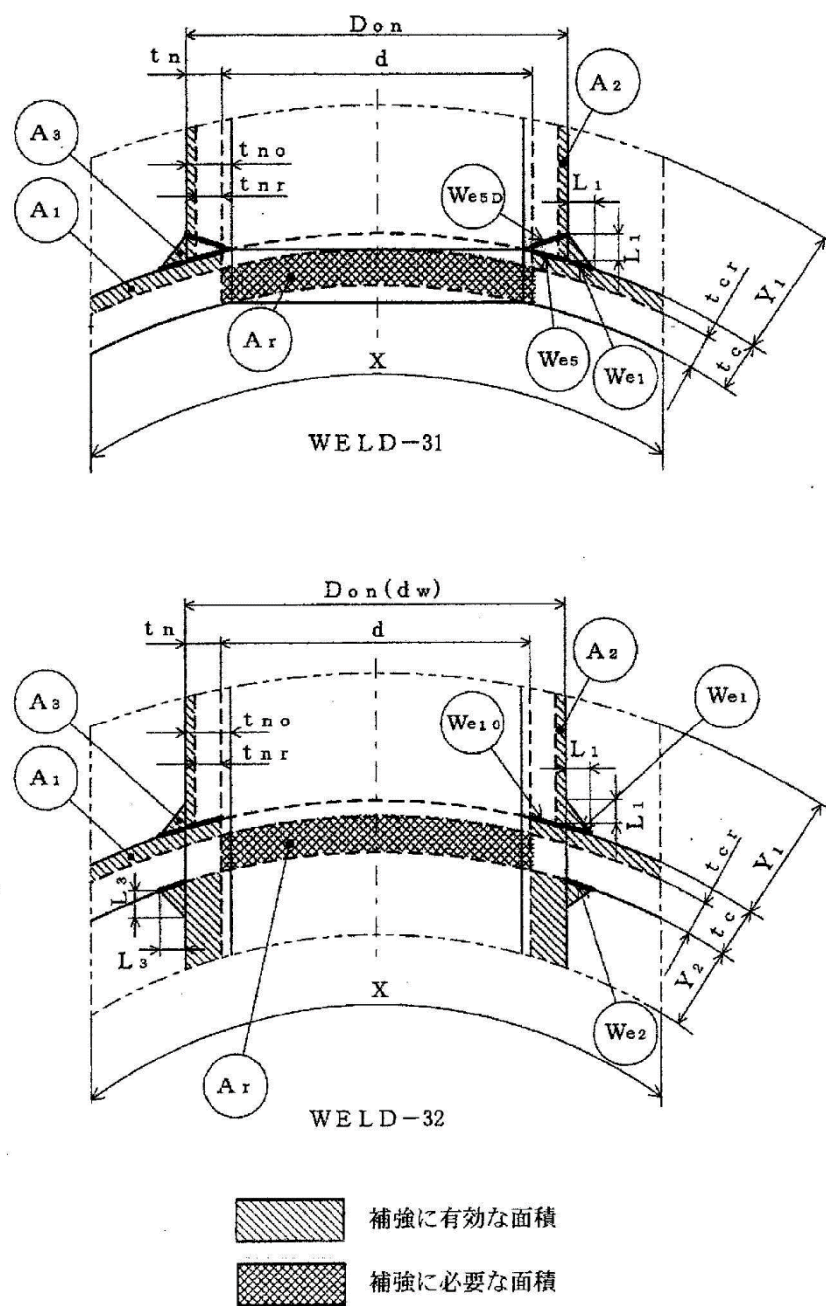


図 2-11

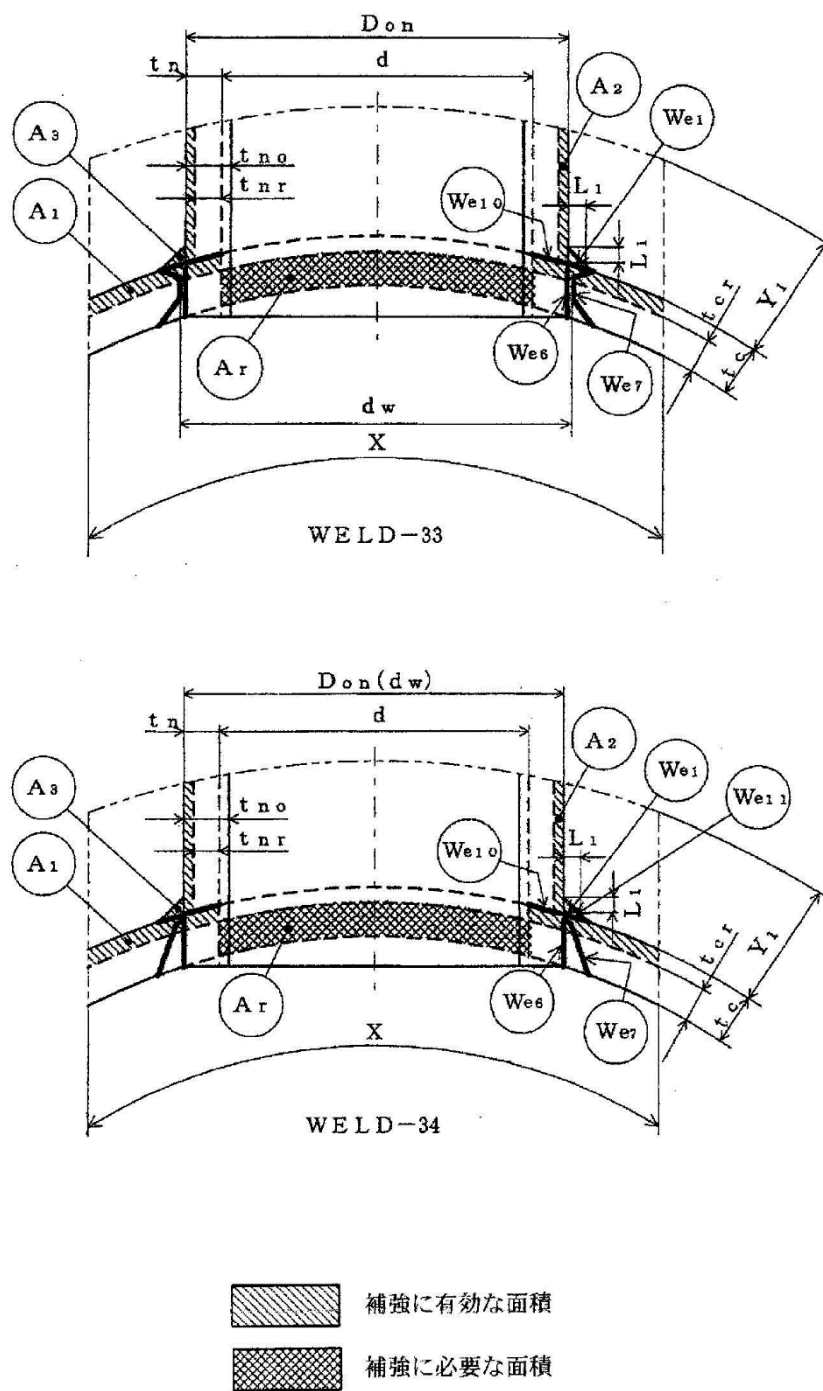


図 2-12

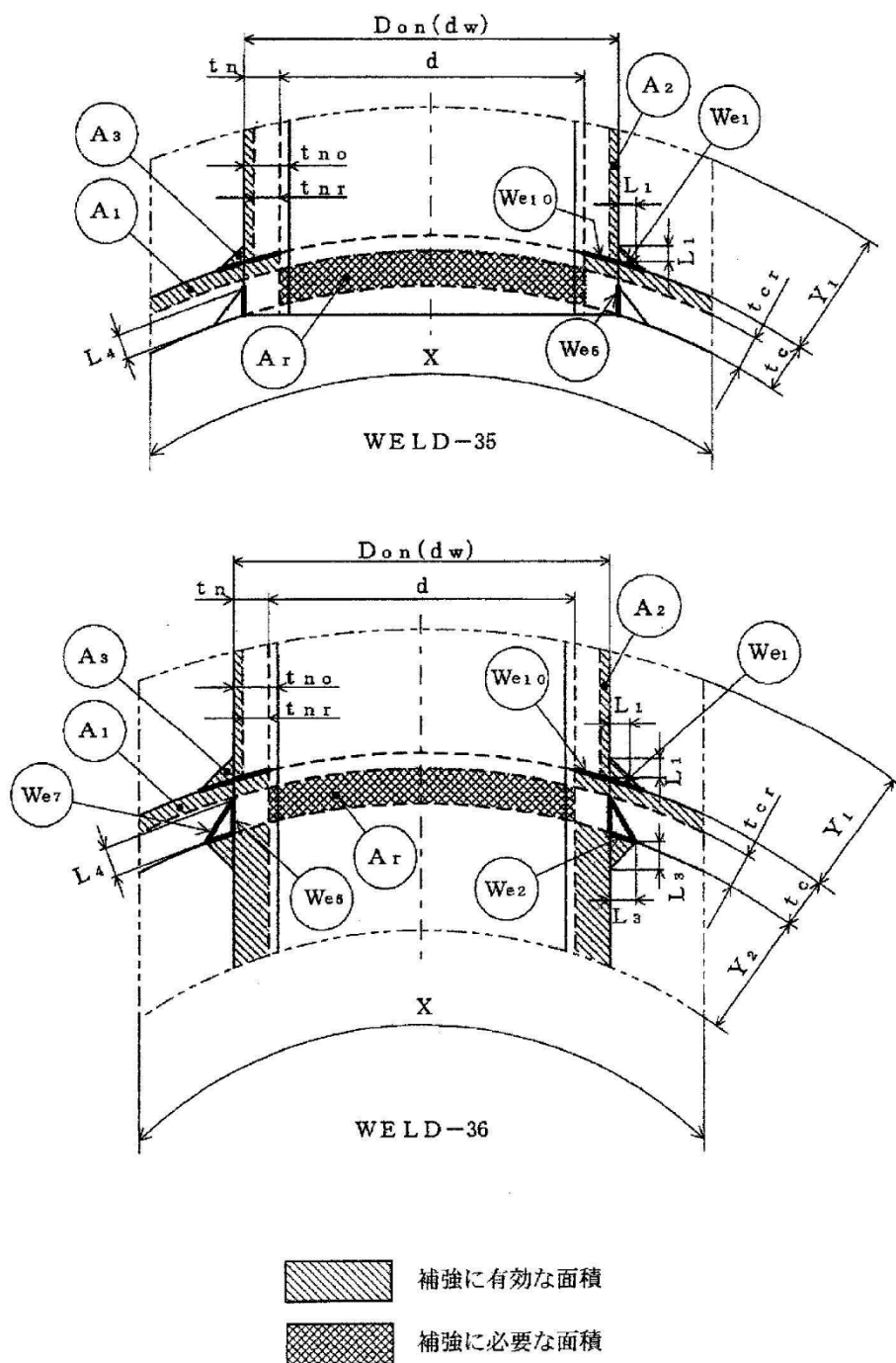


图 2-13

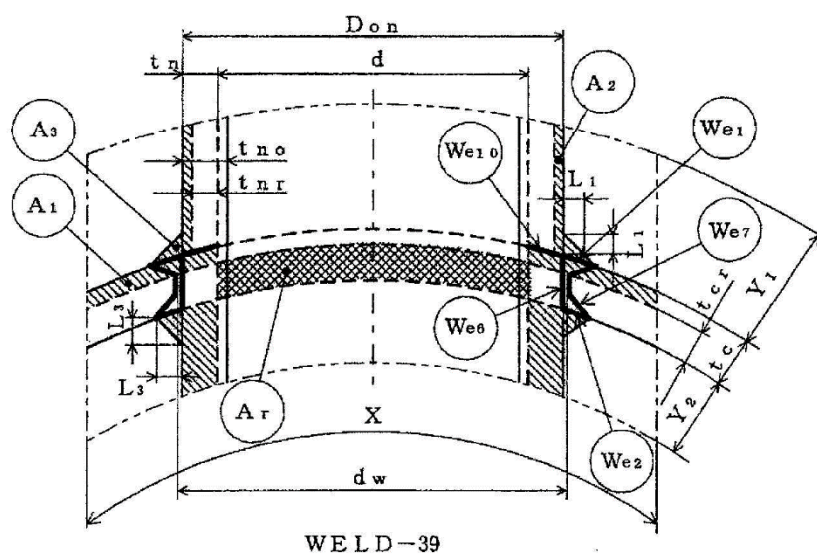
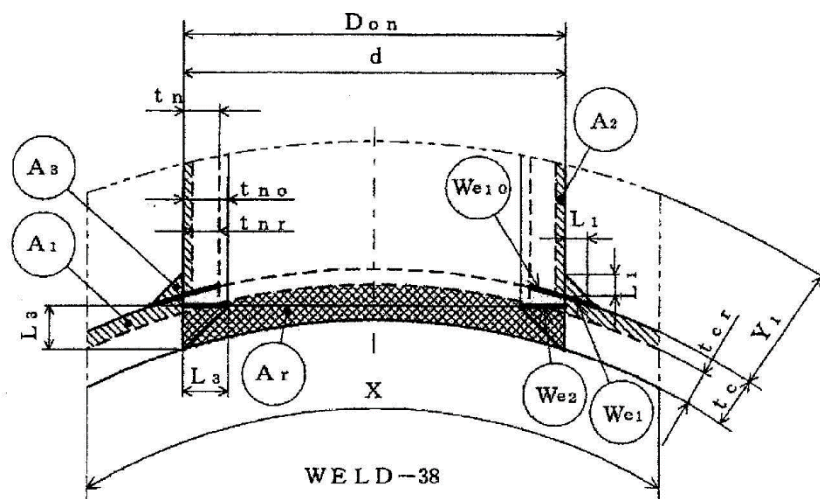


図 2-14

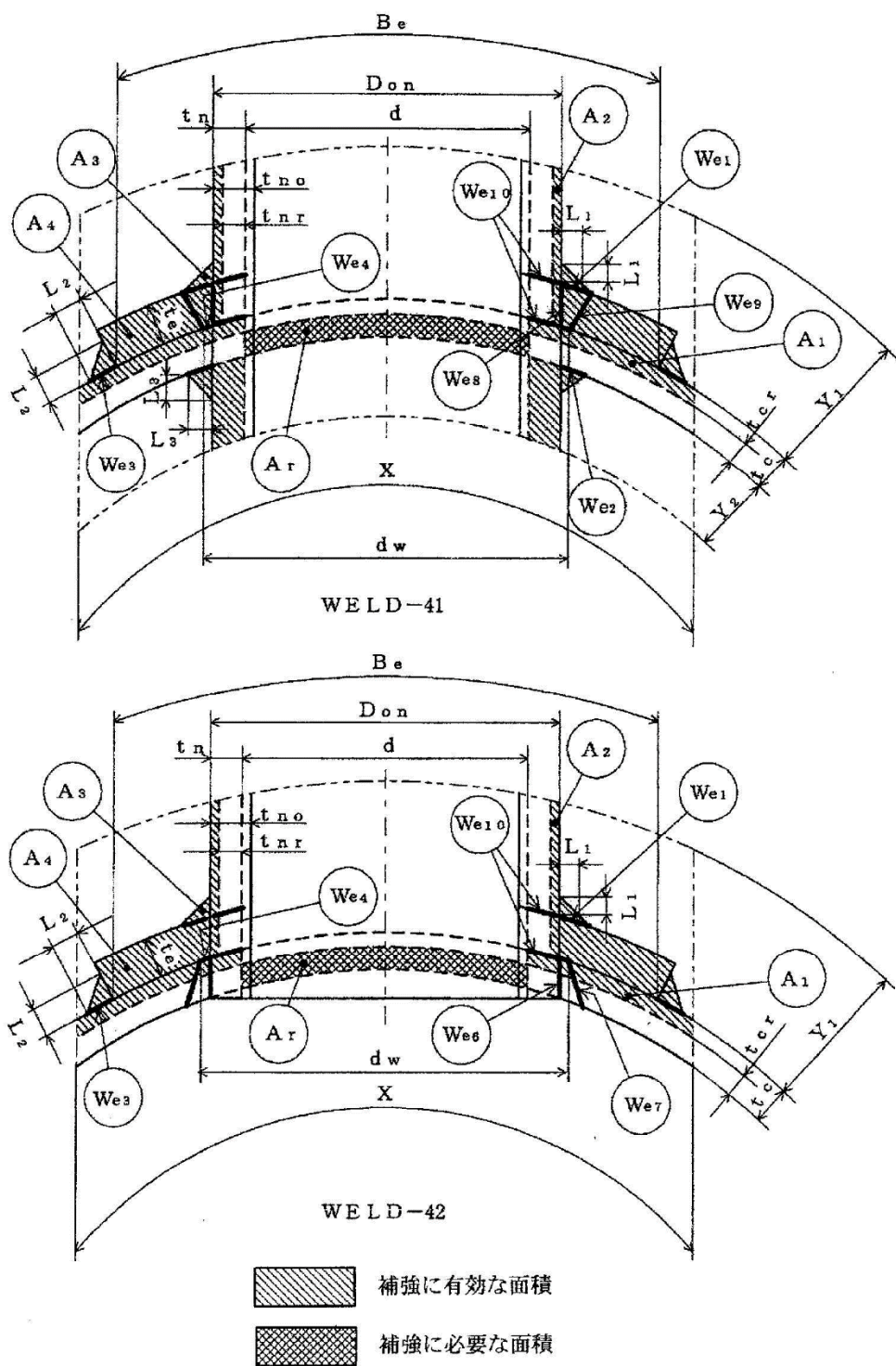


図 2-15

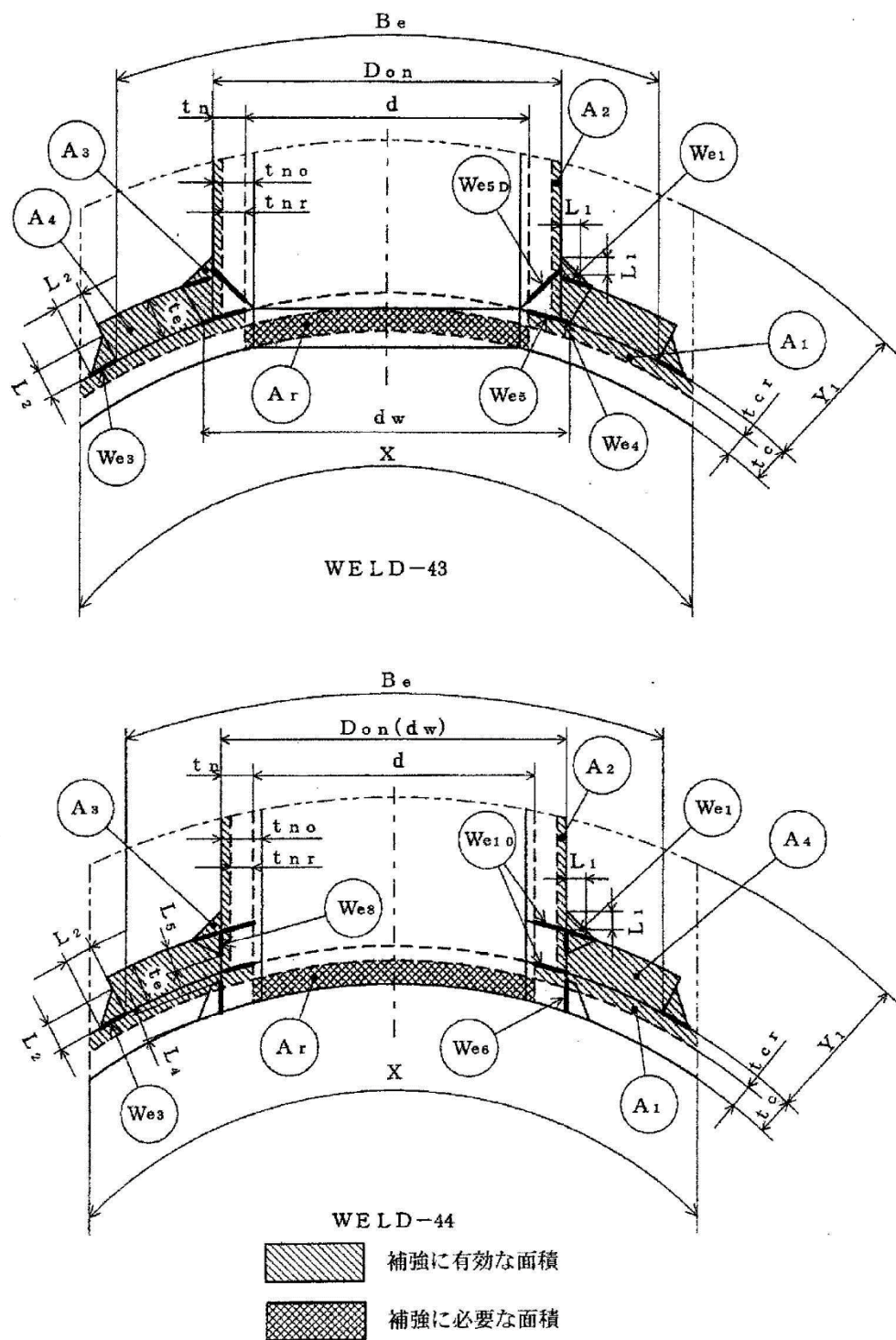
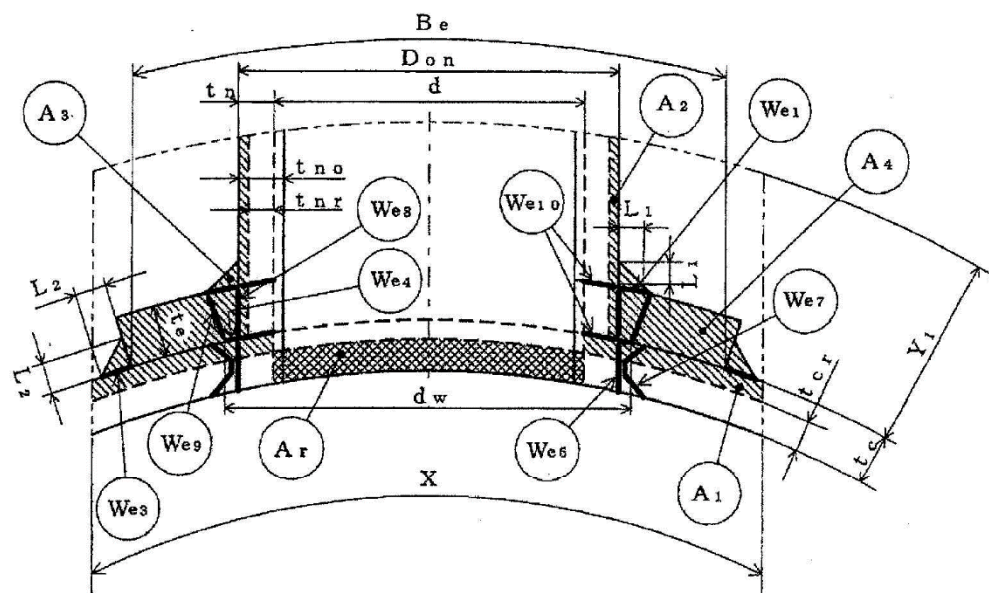
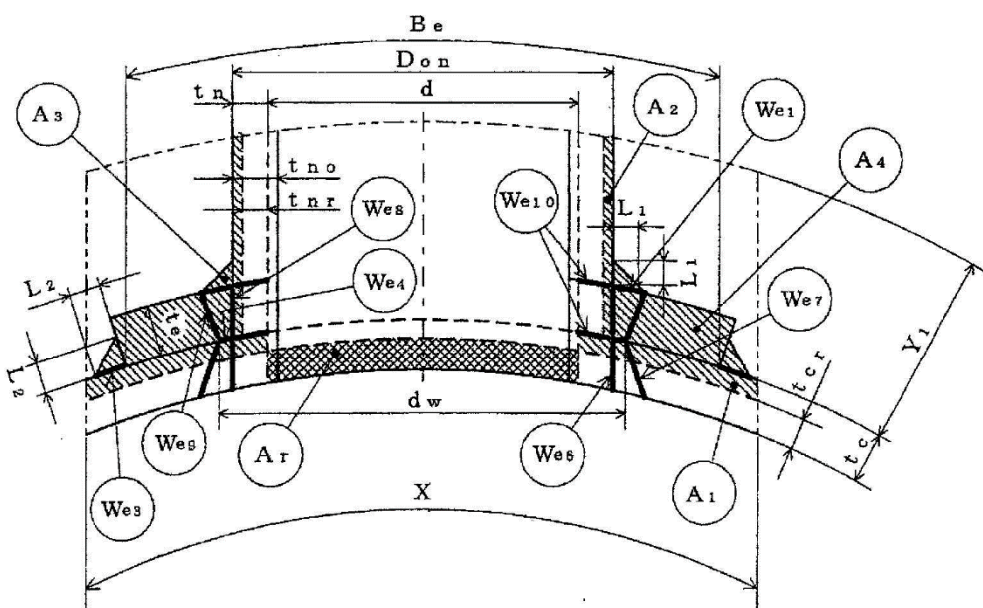


図 2-16



WELD-45



WELD-46

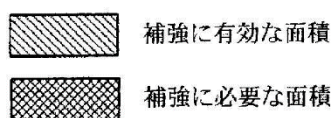
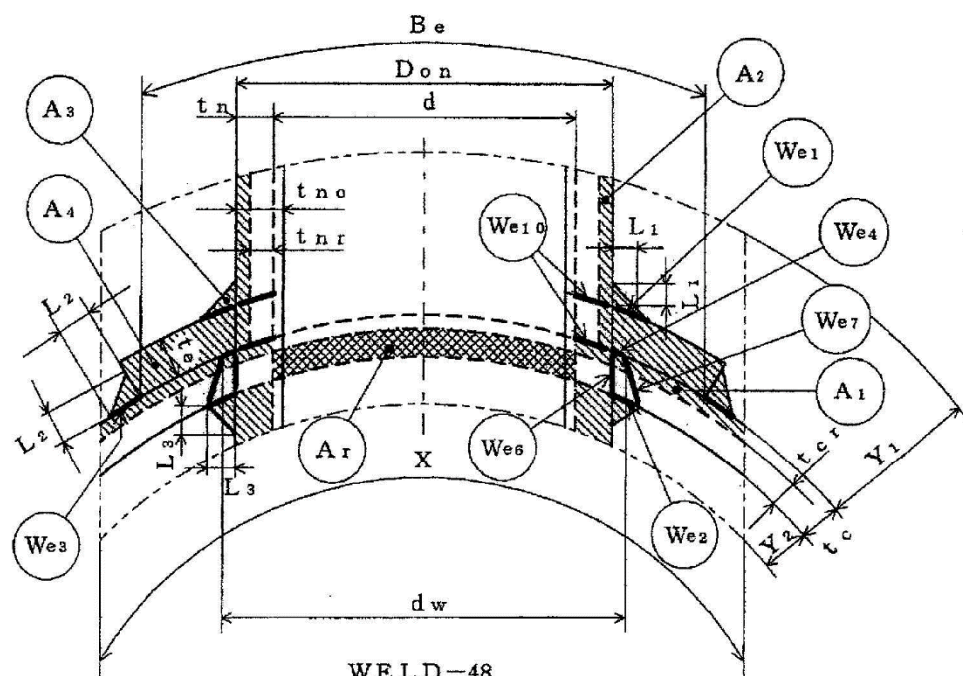
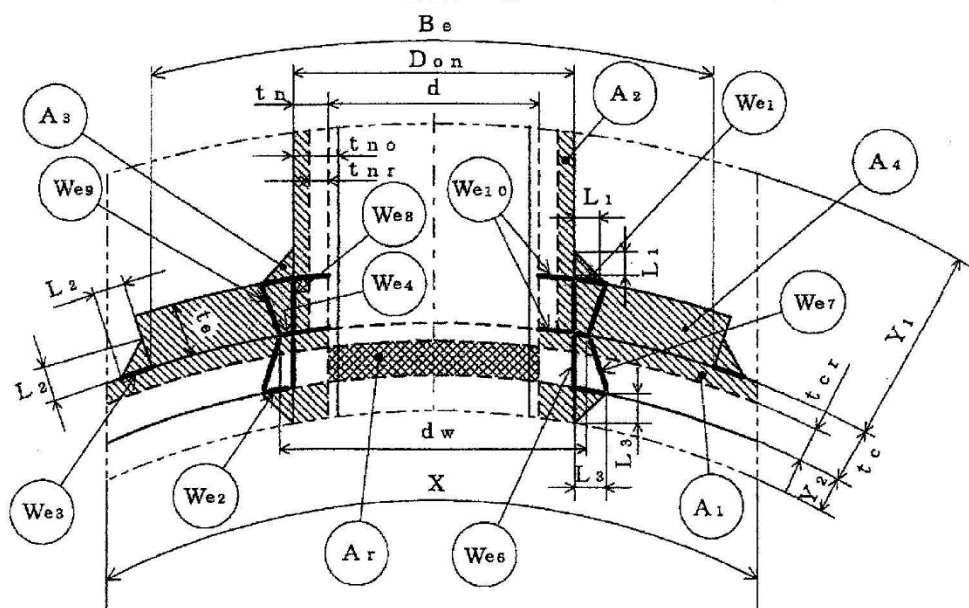


図 2-17



WELD-48



WELD-49



図 2-18

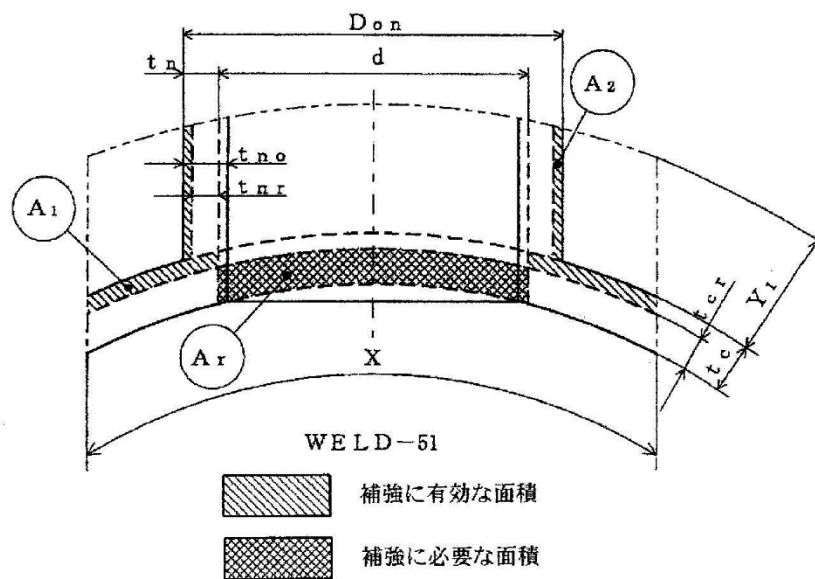


図 2-19

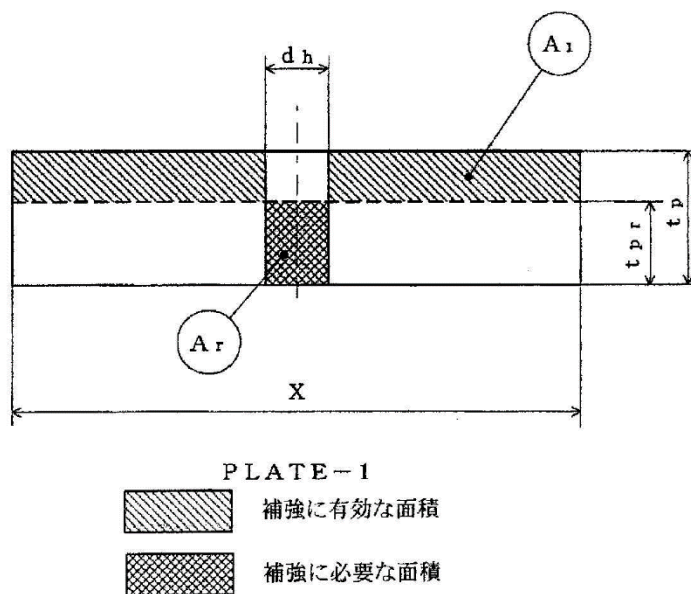
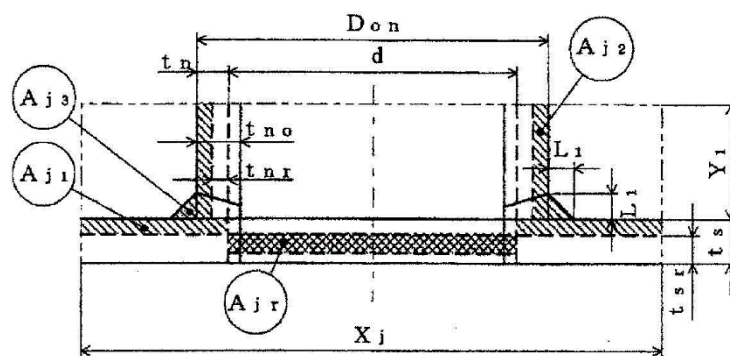
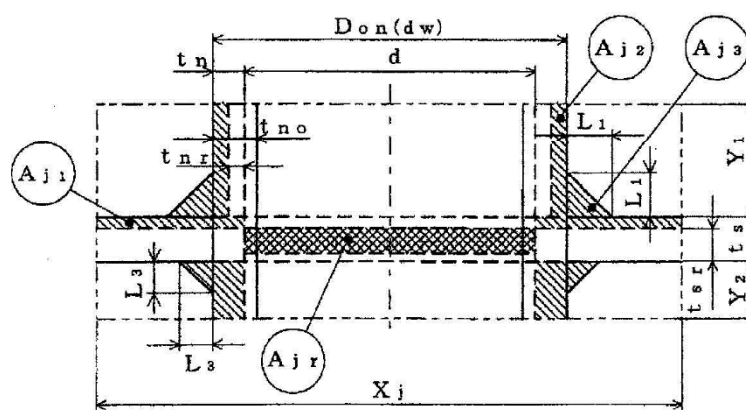


図 2-20



WELD-1



WELD-2

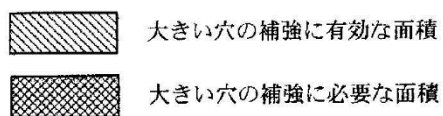
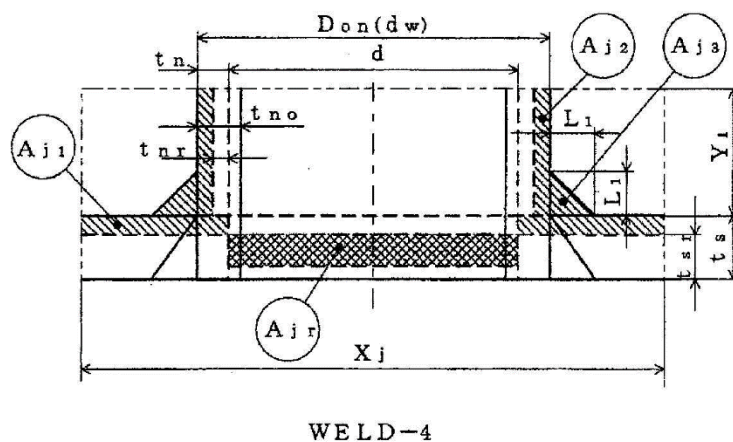
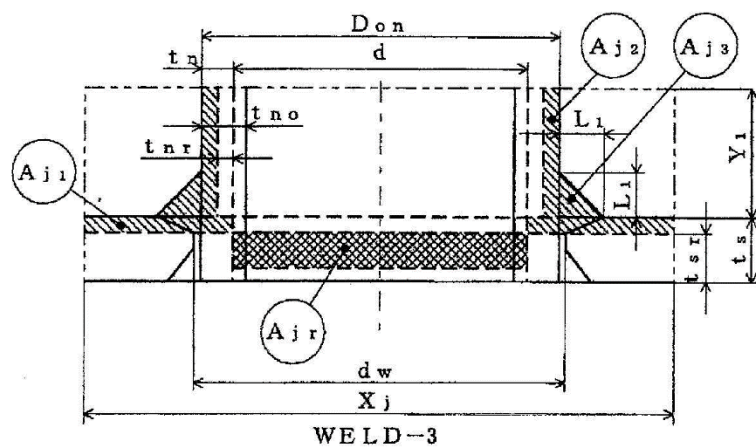
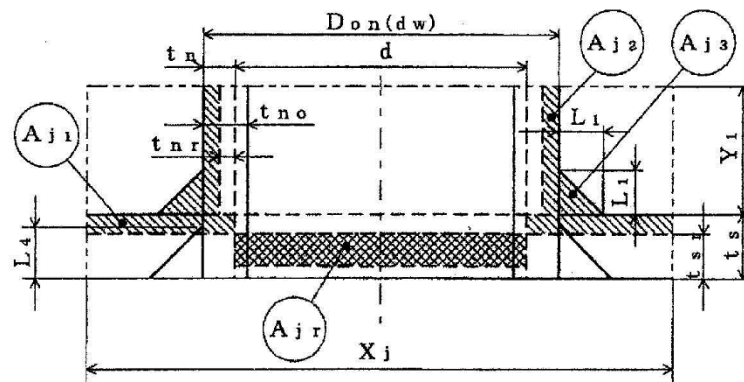


図 2-21

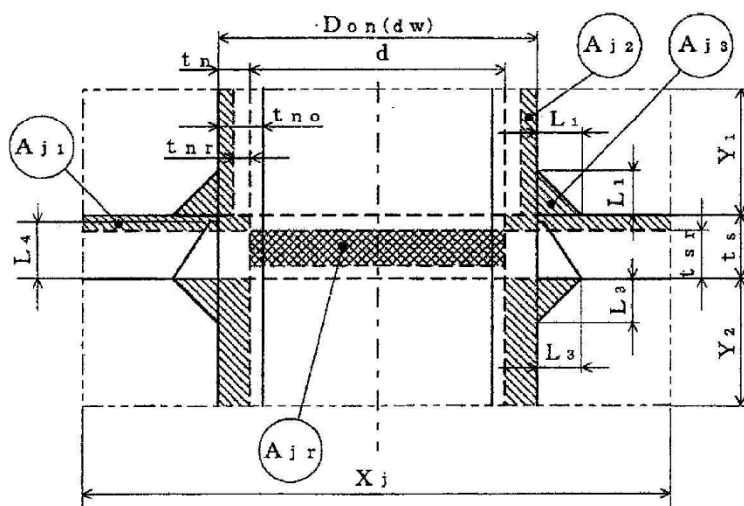


-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図 2-22



WELD-5



WELD-6

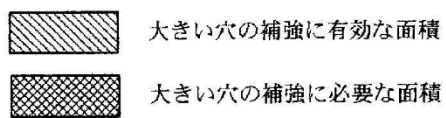
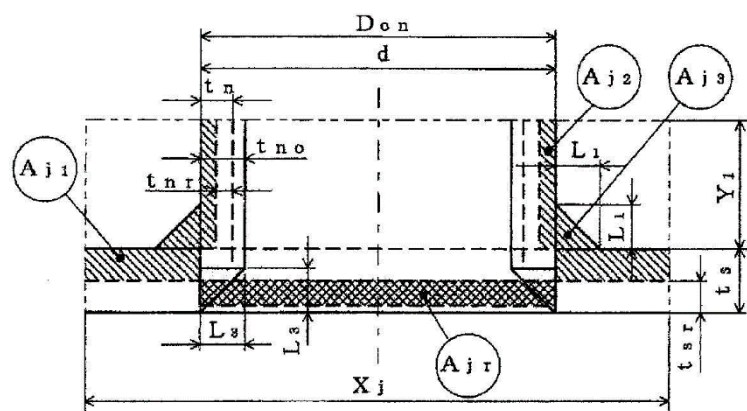
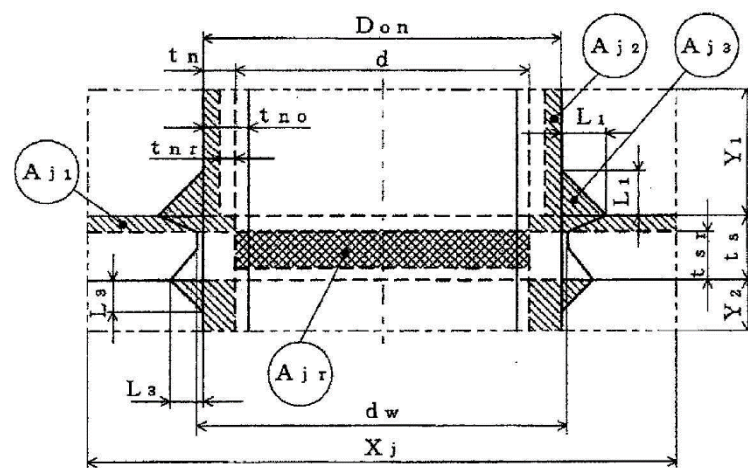


図 2-23



WELD-8



WELD-9

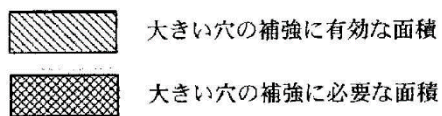
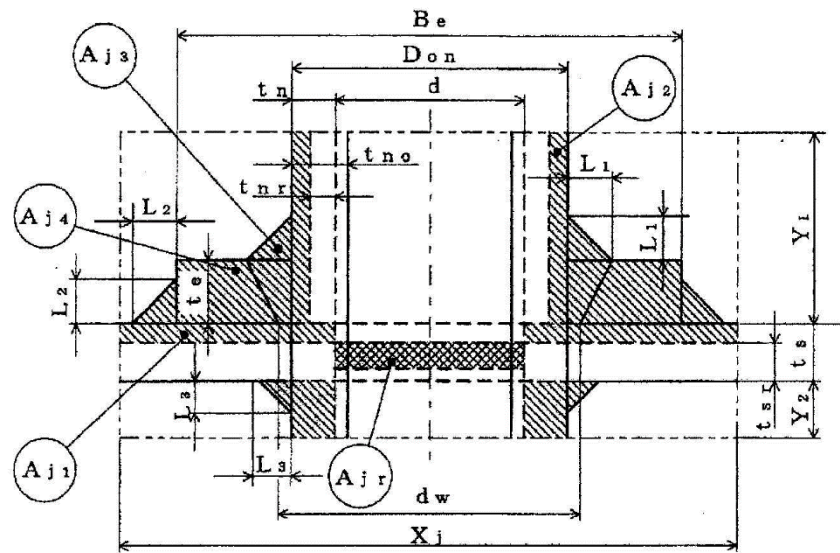
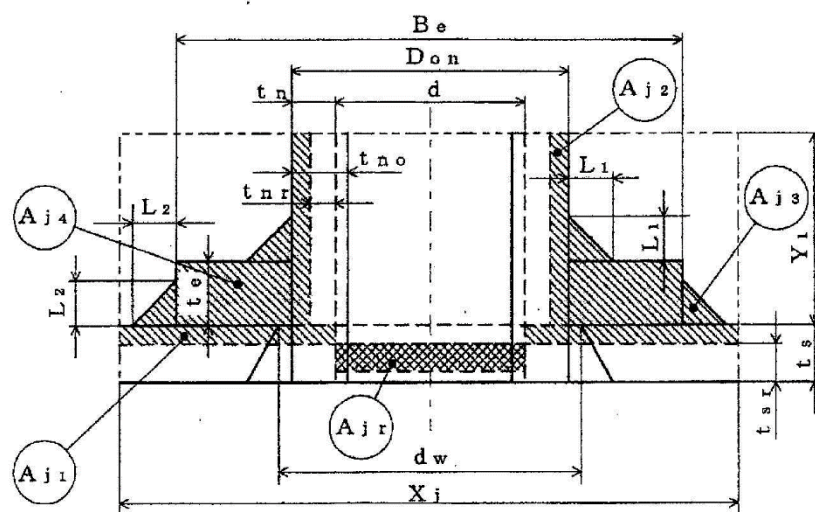


図 2-24



WELD-11



WELD-12

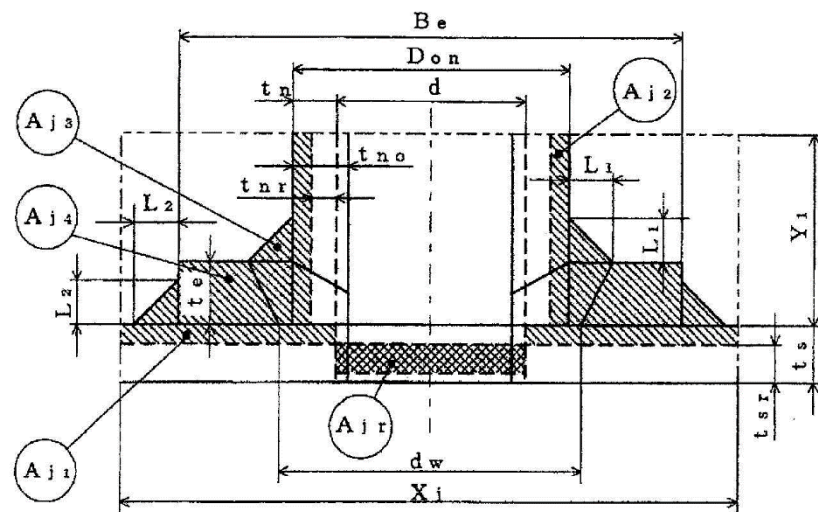


大きい穴の補強に有効な面積

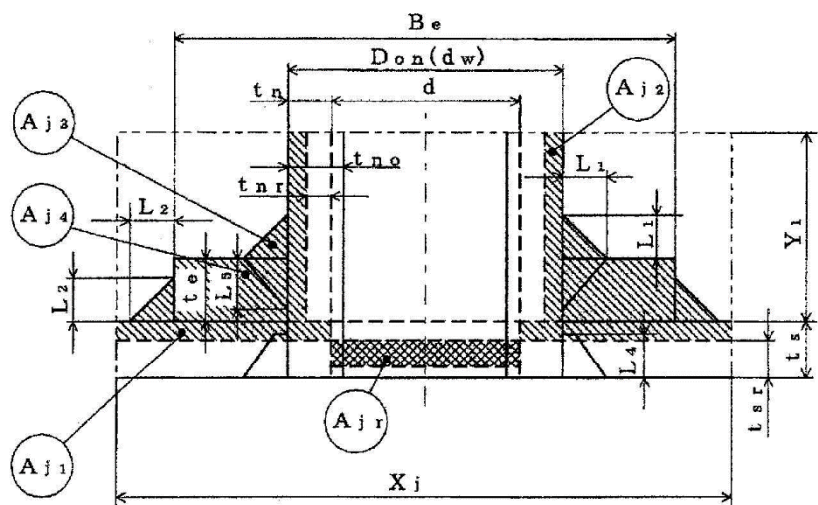


大きい穴の補強に必要な面積

图 2-25



WELD-13



WELD-14

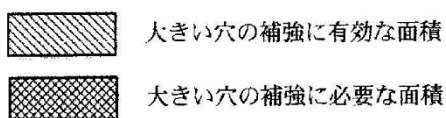
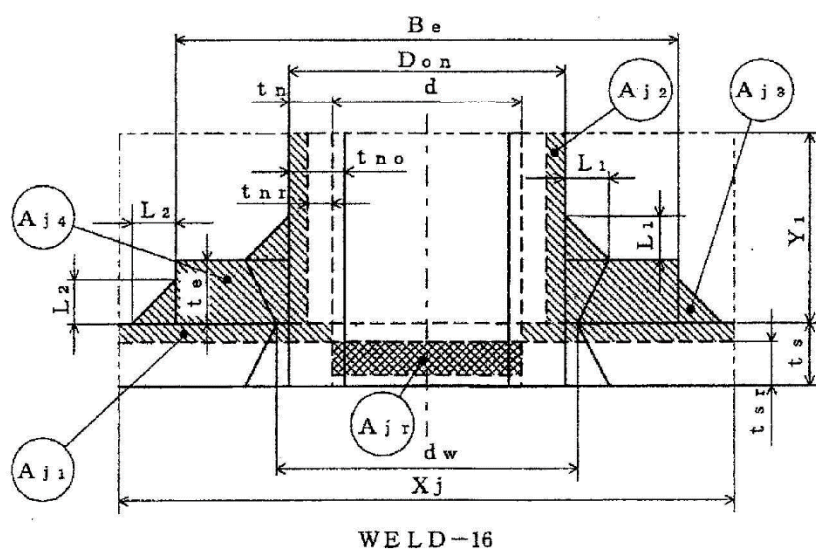
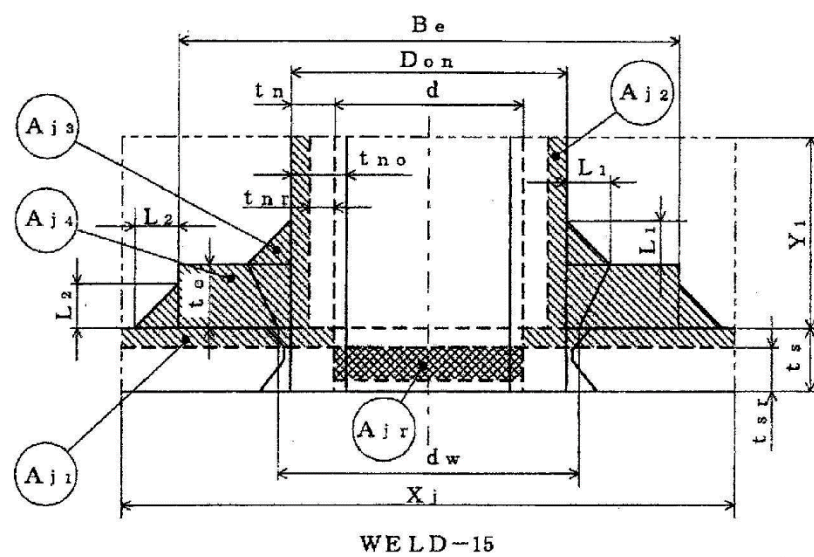
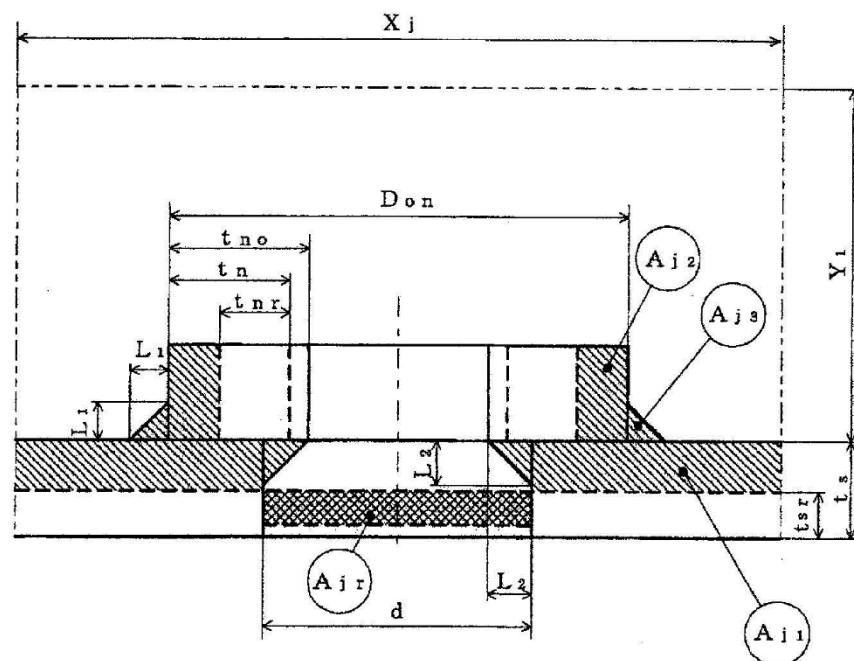


図 2-26

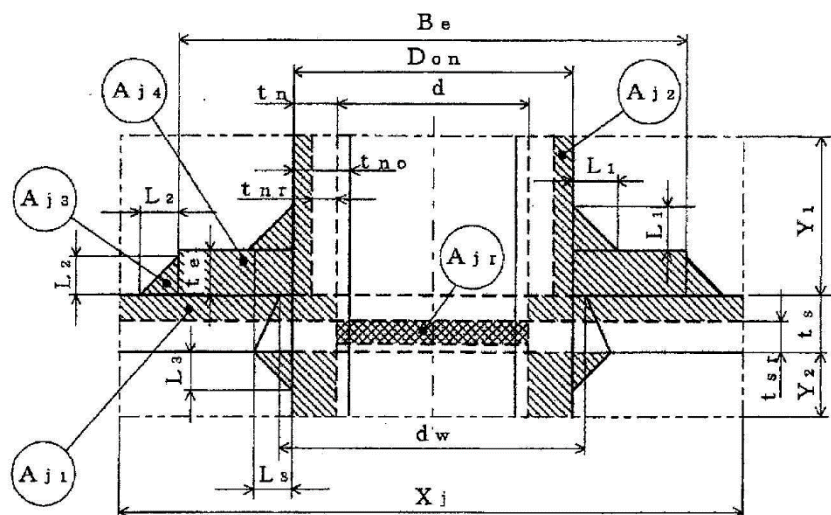


-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

图 2-27



WELD-17



WELD-18

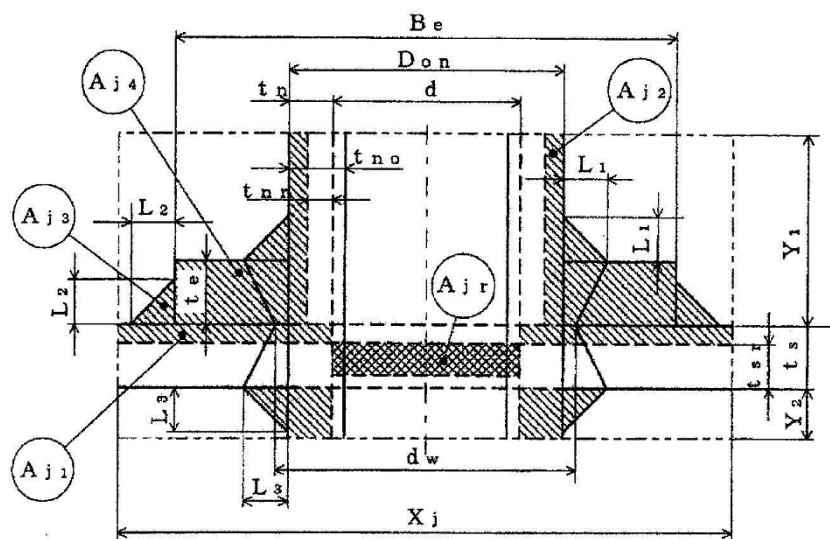


大きい穴の補強に有効な面積

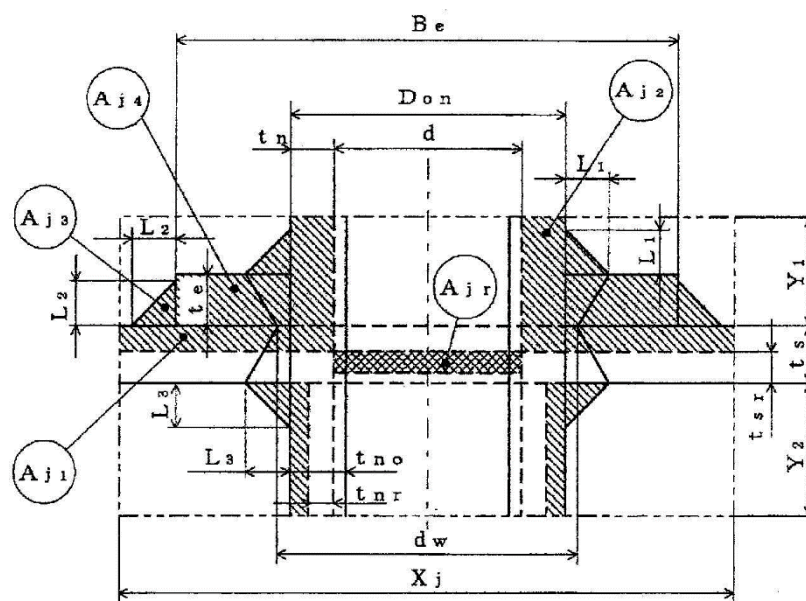


大きい穴の補強に必要な面積

図 2-28



WELD-19



WELD-19'

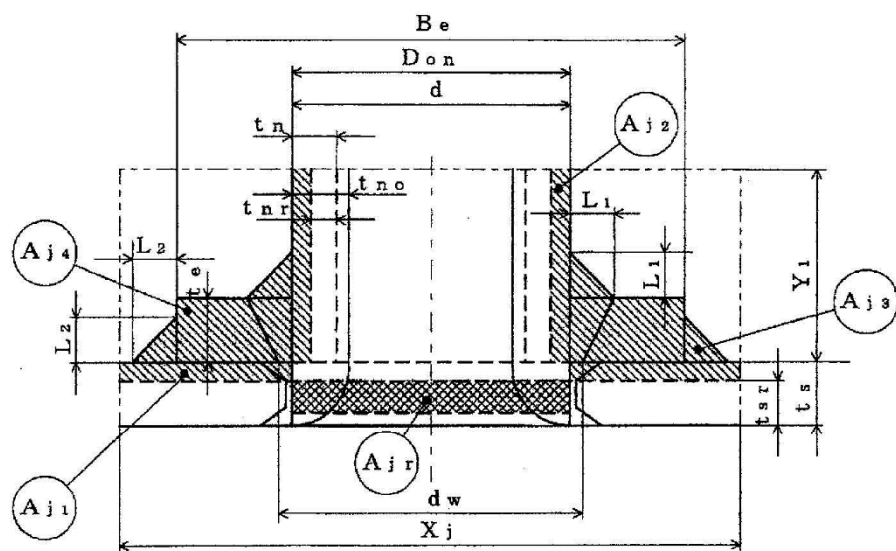


大きい穴の補強に有効な面積



大きい穴の補強に必要な面積

図 2-29



WELD-22

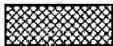
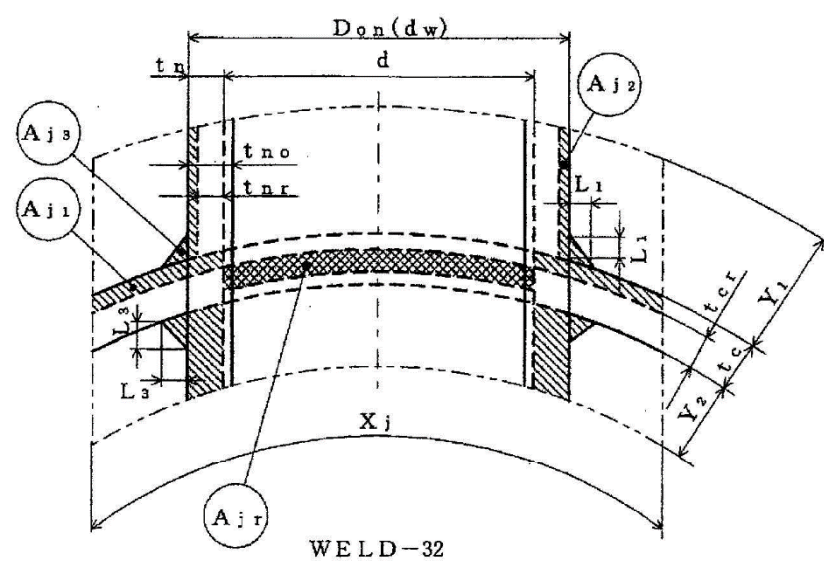
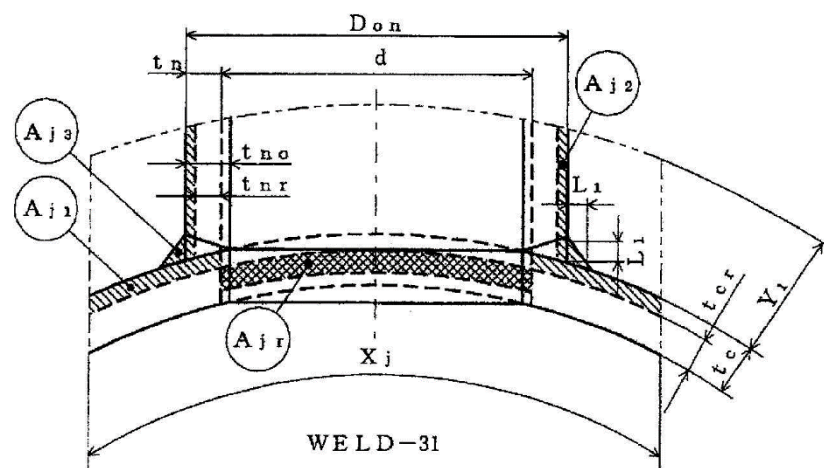
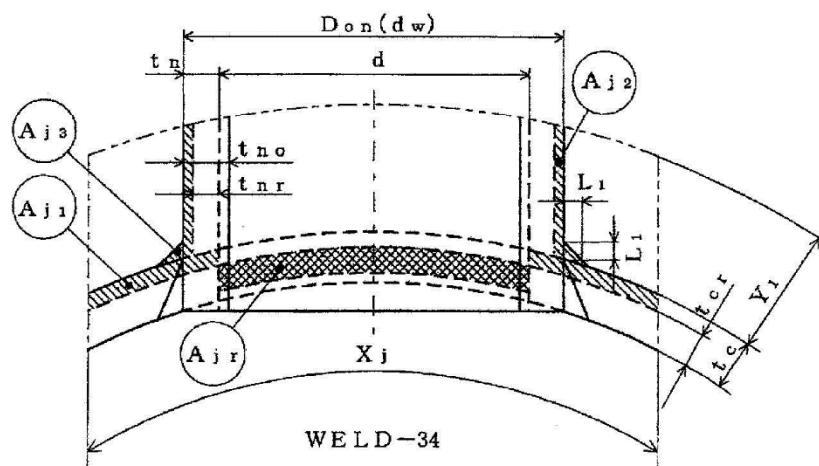
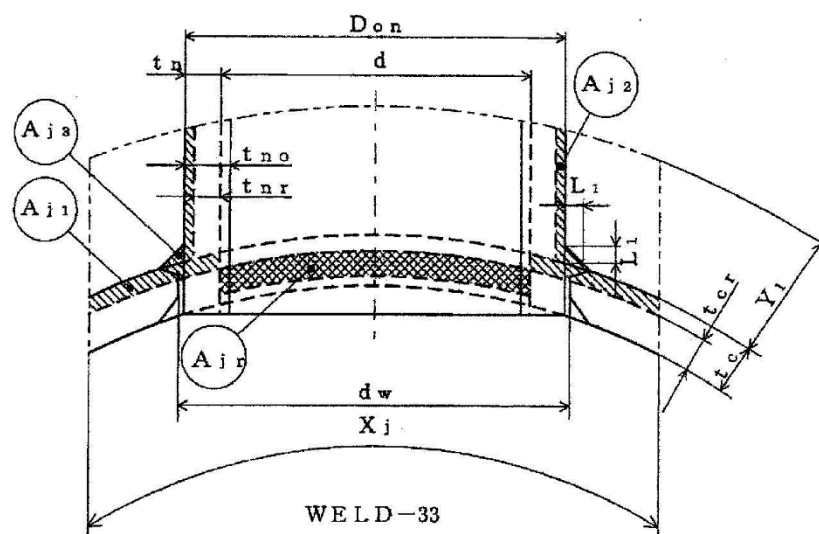
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図 2-30



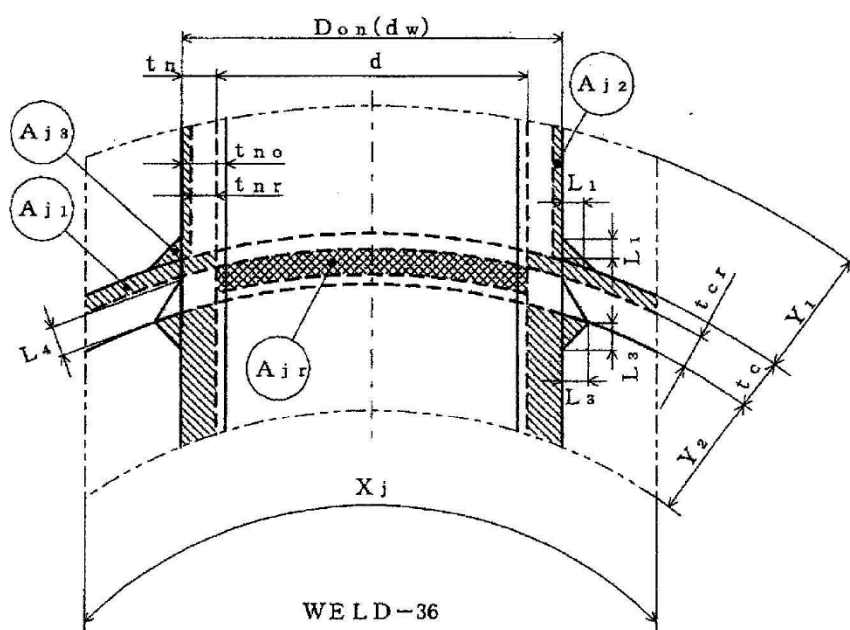
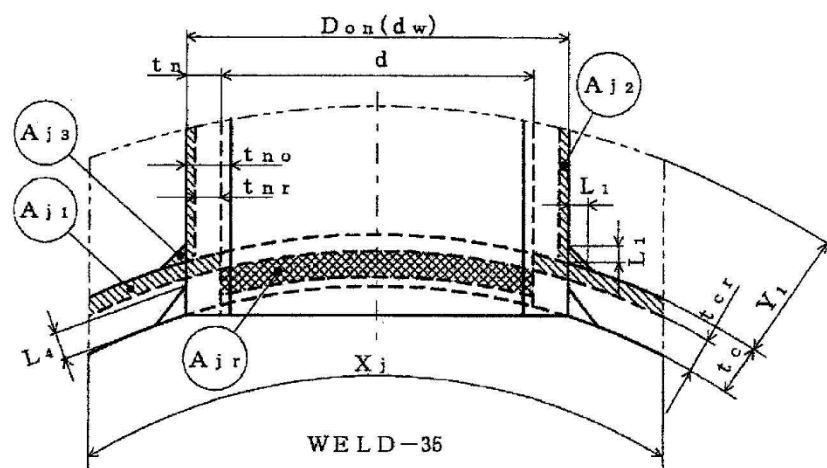
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図 2-31



-  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 2-32



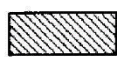
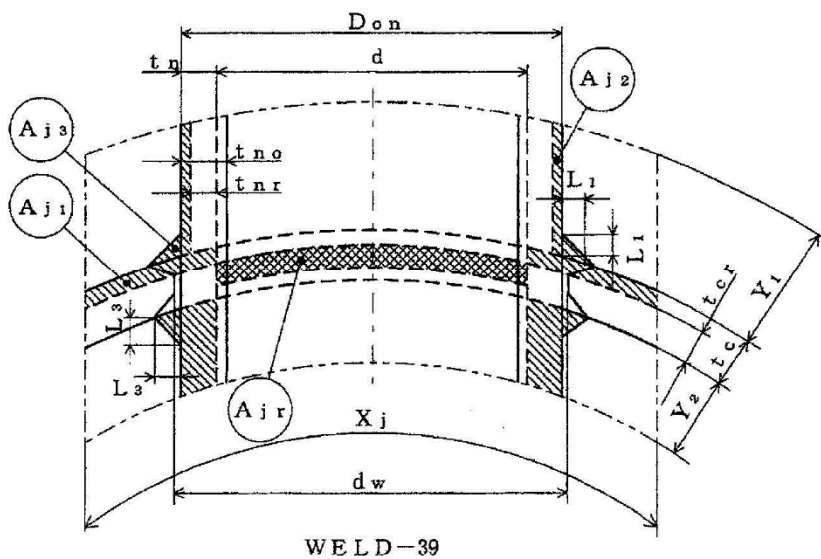
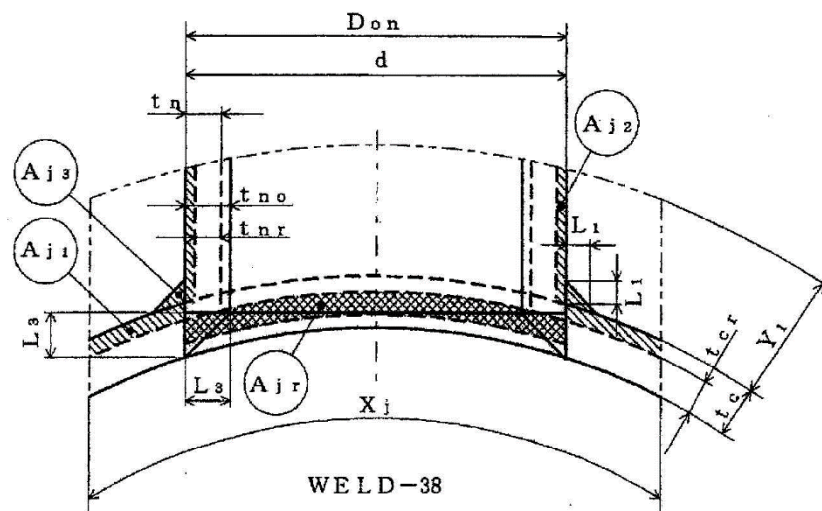
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図 2-33



-  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 2-34

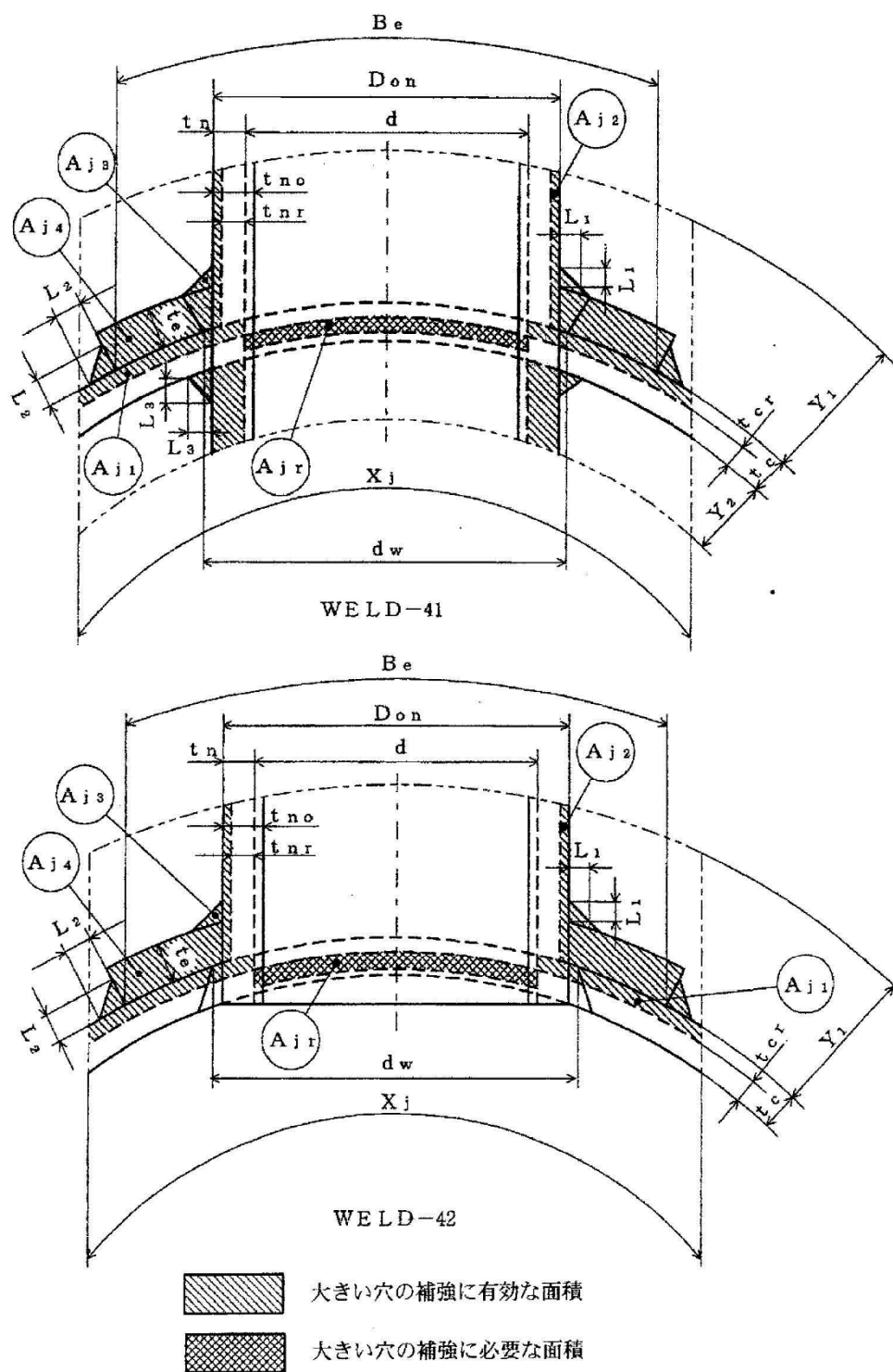


図 2-35

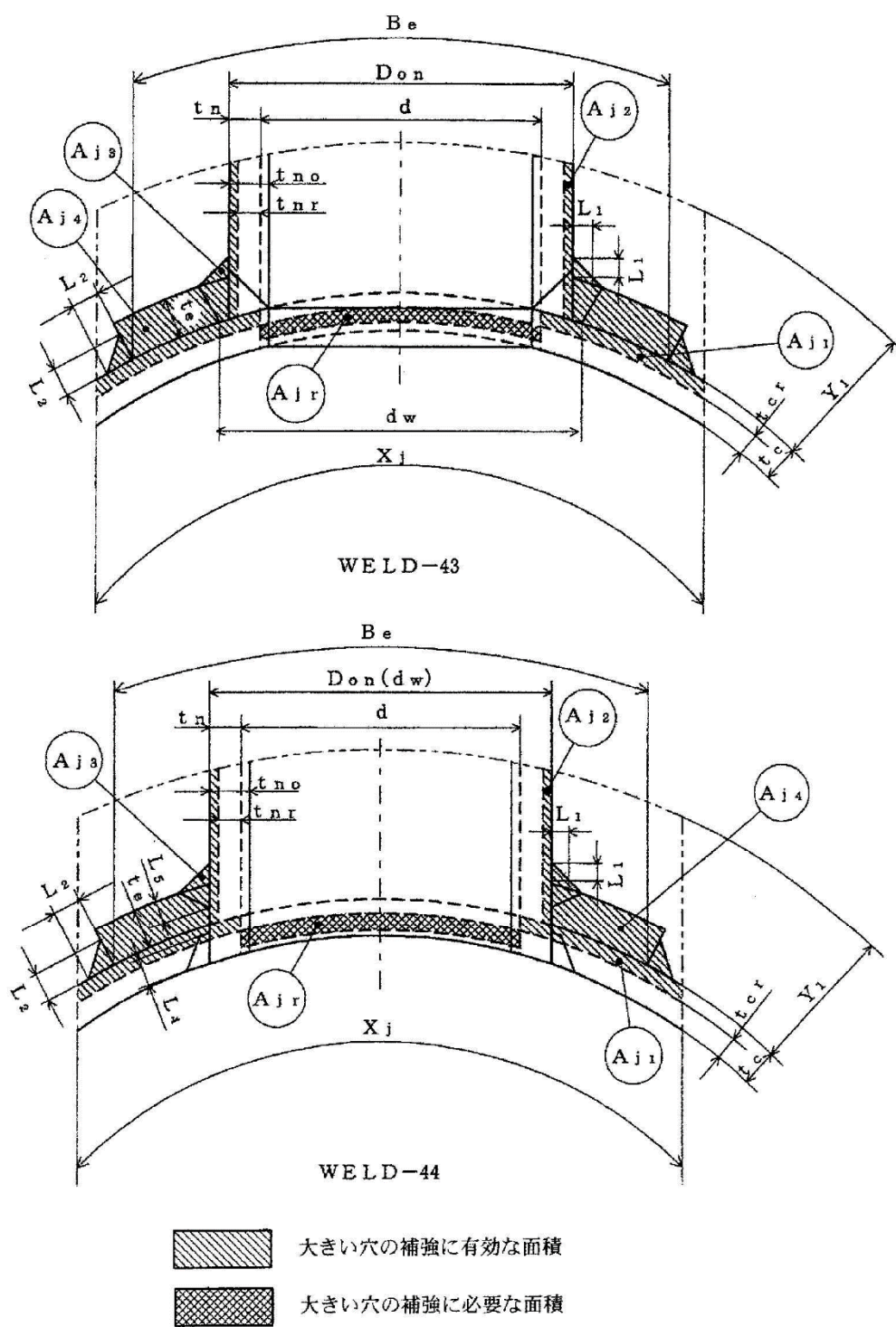


図 2-36

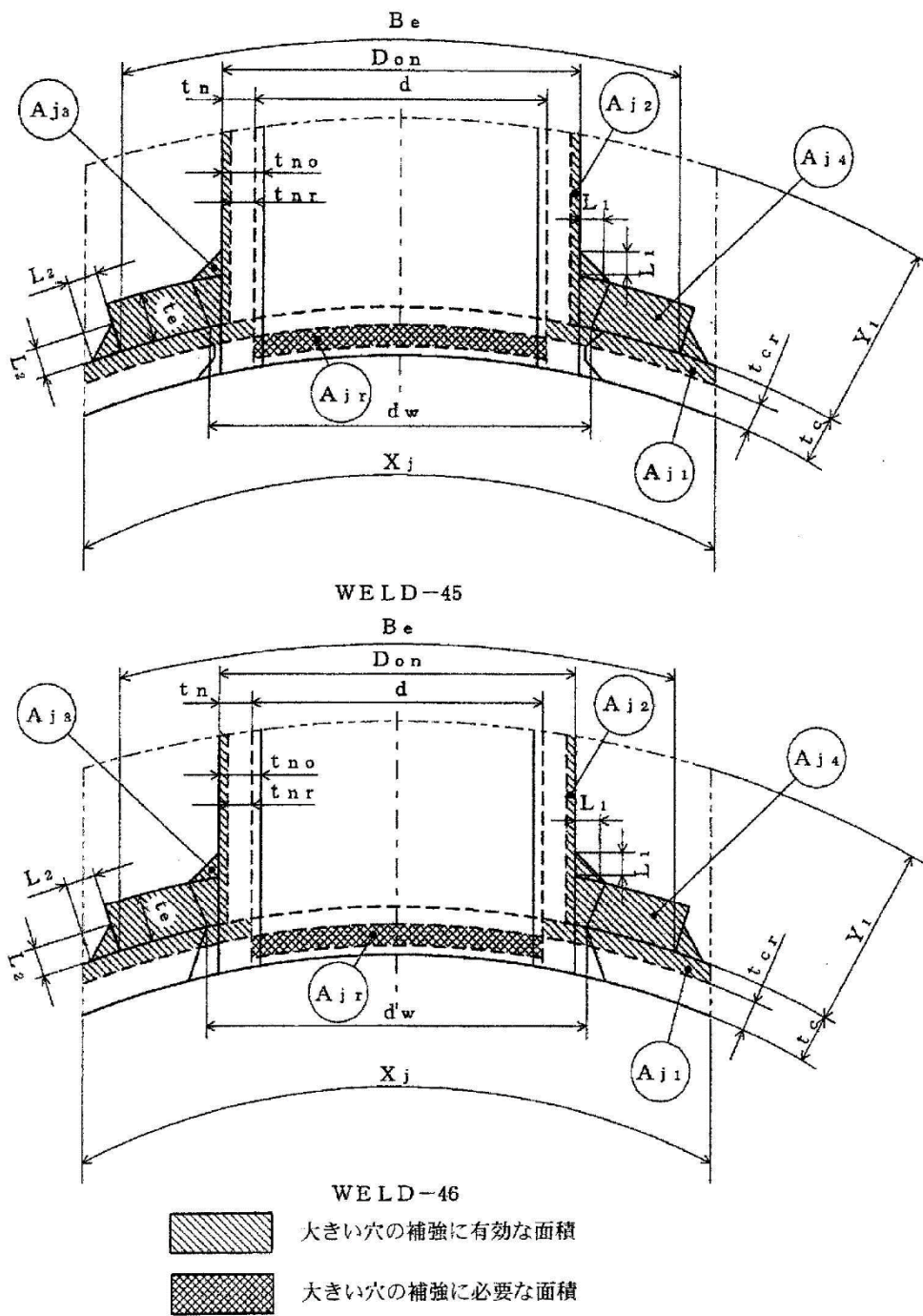


図 2-37

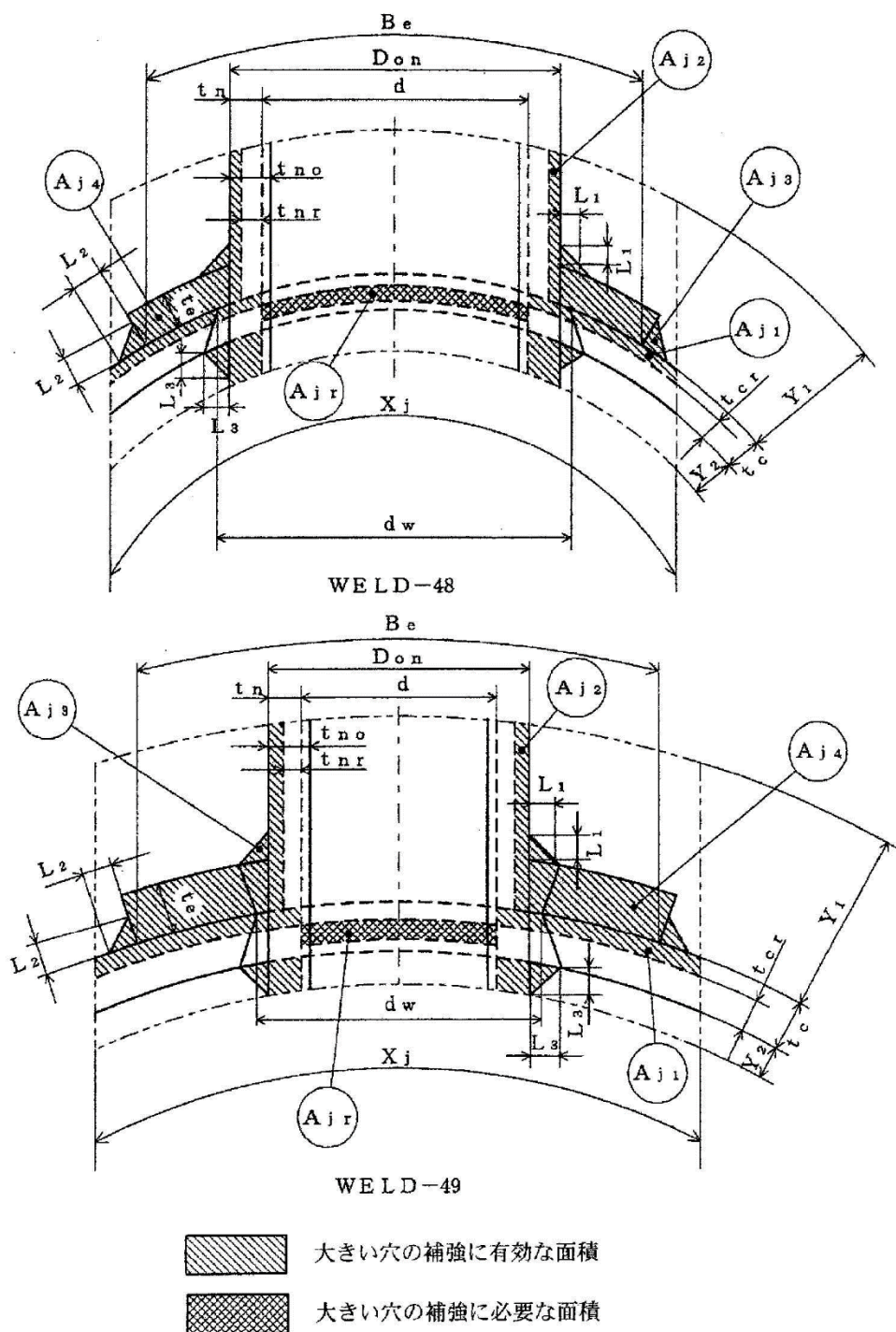


図 2-38

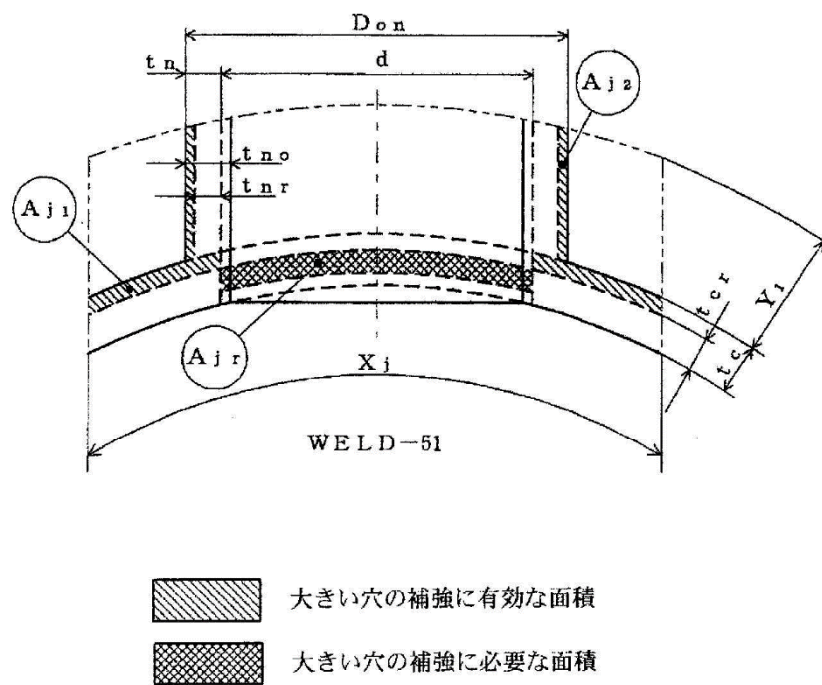


図 2-39

2.2.6 フランジの強度計算

原水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3710準用）を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5を適用し、フランジ形式及び各部の記号は図2-40～図2-42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。

(1) 記号の説明

J I S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（J I S B 8 2 6 5 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 $\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \right) \\ \left(\frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \right) \end{array} \right.$ （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） （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）	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

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
e	e	$\left(= \frac{F}{h_0} \right)$ (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)) $\left(= \frac{F_L}{h_0} \right)$ (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))	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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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_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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 9 又は附属書 3 表 4 による。)	—

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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 (J I S B 8 2 6 5 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*

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	—

注記 * : J I S B 8 2 6 5 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。

(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。

$$g_o \leq 16 \text{ mm} \quad , \quad B / g_o \leq 300$$

$$P \leq 2 \text{ MPa} \quad , \quad \text{最高使用温度} \leq 370 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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。

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot b_o$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

b_o は J I S B 8 2 6 5 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

$$A_{m1} = W_{m1} / \sigma_b \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = W_{m2} / \sigma_a \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

- d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = (A_m + A_b) \cdot \sigma_a / 2 \quad (\text{ガスケット締付時})$$

- 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

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

- 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，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asket縮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

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_H \leq \text{Min} (1.5 \cdot \sigma_f, 1.5 \cdot \sigma_n)$$

$$\text{ガasket縮付時にあつては} \quad \sigma_H \leq \text{Min} (1.5 \cdot \sigma_{fa}, 1.5 \cdot \sigma_{na})$$

図 2-40 FLANGE-2 に示すハブ付き一体形フランジの場合

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_H \leq \text{Min} (1.5 \cdot \sigma_f, 2.5 \cdot \sigma_n)$$

$$\text{ガasket縮付時にあつては} \quad \sigma_H \leq \text{Min} (1.5 \cdot \sigma_{fa}, 2.5 \cdot \sigma_{na})$$

上記以外で鋳鉄以外の材料の場合

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_f$$

$$\text{ガasket縮付時にあつては} \quad \sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$$

ハ. フランジの径方向応力

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_R \leq \sigma_f$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_R \leq \sigma_{fa}$$

二. フランジの周方向応力

使用状態にあつては

$$\sigma_T \leq \sigma_f$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_T \leq \sigma_{fa}$$

ホ. 軸方向と径方向応力の平均

使用状態にあつては

$$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_f$$

ガスケット締付時にあつては

$$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_{fa}$$

ヘ. 軸方向と周方向応力の平均

使用状態にあつては

$$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_f$$

ガスケット締付時にあつては

$$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_{fa}$$

(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

$$A_b > A_m$$

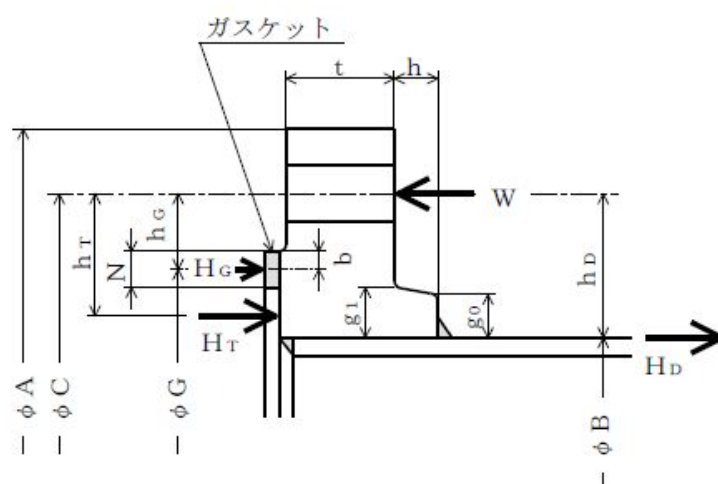
ロ. フランジの周方向応力

使用状態にあつては

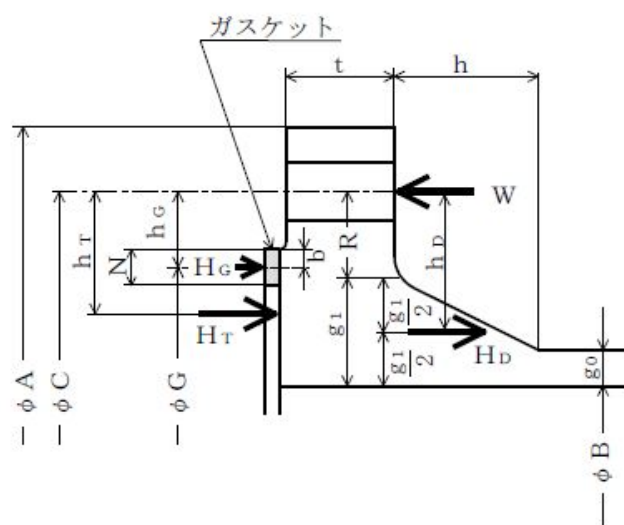
$$\sigma_T \leq \sigma_f$$

ガスケット締付時にあつては

$$\sigma_T \leq \sigma_{fa}$$



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)]

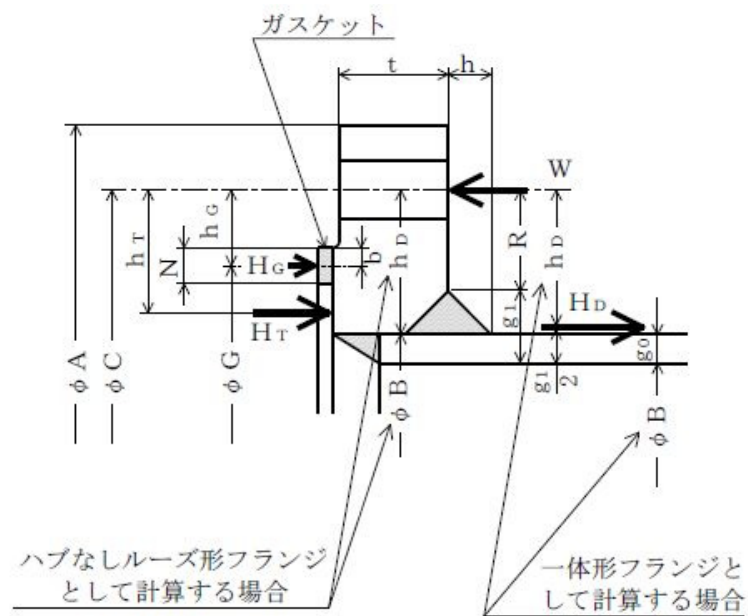


FLANGE-2 (JIS B 8265 附属書3 図2 7), 8), 9))
[一体形フランジ]

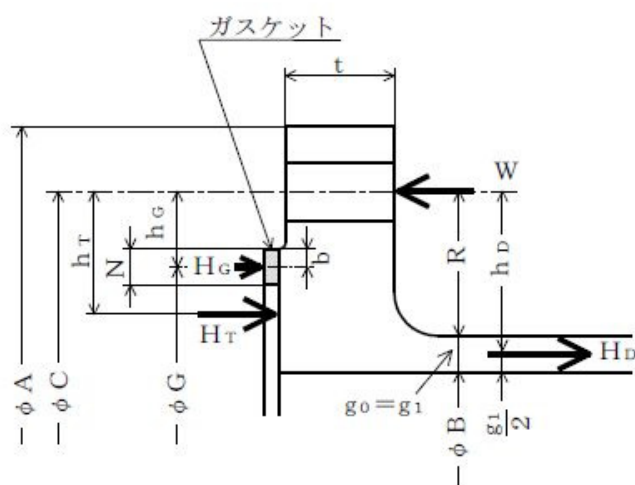
注1 : ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2 : W は, W_g , W_{m1} , W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図 2-40



FLANGE-3 (JIS B 8265 附属書3 図2 11), 12), 13), 14), 15))
〔任意形フランジ〕

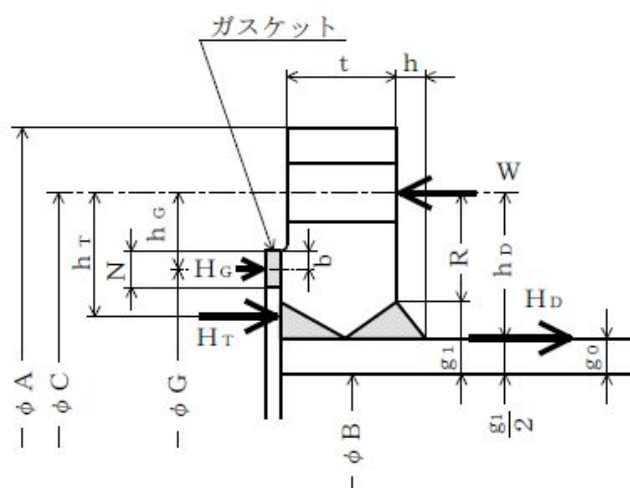


FLANGE-4 (JIS B 8265 附属書3 図2 6))
〔一体形フランジ〕

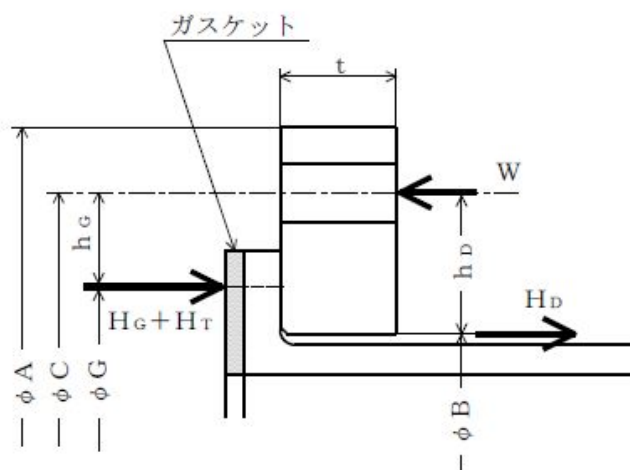
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2：Wは、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図 2-41



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 2-42

2.3 火災防護設備用水源タンク（原水タンクを除く）の構造及び強度

2.3.1 側板の厚さ

クラス3容器のうち、火災防護設備用水源タンクについては、J I S B 8 5 0 1

3.5.2（側板の厚さ）の規定を適用する。

(1) 記号の定義

計算書の表示	表示内容	単位
D_i	胴の内径	m
H	水頭	m
f	最高使用温度における胴の材料の許容引張応力で、当該日本工業規格の降伏点又は耐力の最小値の60 %の値	MPa
t_a	胴に必要な厚さ	mm
t_1	胴の計算上必要な厚さ	mm
t_2	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
t_3	胴の材料に応じた最大呼び厚さ	mm
t	胴の最小厚さ	mm
t_{so}	胴の呼び厚さ	mm
ρ	液体の比重。ただし、1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

(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. 胴の計算上必要な最小厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot (H - 0.3) \cdot \rho}{0.2 \cdot f \cdot \eta} + c$$

なお、火災防護用水源タンクは内外綿に塗装施工がされているため、腐食等による減肉（腐れ代 c ）は考慮しない。

- b. 胴の内径に応じた必要厚さ： t_2

胴の内径の区分に応じ J I S B 8 5 0 1 表8に記載される厚さ以上とする。

- c. 胴の材料に応じた最大呼び厚さ： t_3

胴の材料に応じた最大呼び厚さ以下であることをあらかじめ確認しているため、計算書への記載は省略する。

(3) 評価

胴の最小厚さ（ t ） $\geq$ 胴に必要な厚さ（ t_a ）ならば十分である。

2.3.2 底板の厚さ

クラス3容器のうち、火災防護設備用水源タンクについては、J I S B 8 5 0 1

3.4.2（底板の大きさ）の規定を適用する。

(1) 記号の定義

計算書の表示	表示内容	単位
t_b	底板の最小厚さ	mm
t_{bo}	底板の呼び厚さ	mm

(2) 厚さの制限

底板に使用する板の実際厚さは、6 mm未満となってはならない。

(3) 評価

底板の最小厚さ $t_b \geq 6 \text{ mm}$ ならば十分である。

2.3.3 穴の補強計算

クラス3容器のうち、火災防護設備用水源タンクについては、J I S B 8 5 0 1

3.5.5（側板の開口穴に対する補強）の規定を適用する。

(1) 記号の定義

計算書の表示	表示内容	単位
$A_1 \sim A_7$	補強に有効な断面積	mm^2
A_a	管台と強め材取付部の溶接部面積	mm^2
A_b	管台と胴取付部の溶接部面積	mm^2
A_{req}	補強に必要な面積	mm^2
A_t	補強に有効な断面積の和	mm^2
D_P	胴の開口径	mm
D_R	強め材の開口径	mm
$F_a \sim F_c$	溶接部の受持つ荷重	N
F_{req}	溶接部の負うべき荷重	N
t	胴の最小厚さ	mm
t_a	胴の必要厚さ	mm
t_n	管台の最小厚さ	mm
t_r	強め材の厚さ	mm
S_{un}	最高使用温度における管台の材料の引張強さ	MPa
S_{us}	最高使用温度における胴の材料の引張強さ	MPa
S_{yn}	最高使用温度における管台の材料の降伏点	MPa
S_{ys}	最高使用温度における胴の材料の降伏点	MPa
W_{ni}	管台と胴取付部の溶接脚長	mm
W_{no}	管台と強め材取付部の溶接脚長	mm
σ_{aF}	最高使用温度における強め材外周溶接部の許容せん断応力	MPa
σ_{at}	最高使用温度における側板の許容引張応力 (降伏点又は耐力の最小値の 60 %)	MPa

(a) 面積計算

J I S B 8 5 0 1 該当部

補強に必要な面積 $A_{req} = D_P \cdot t_a \cdots \cdots 3.5.5 (2)$ 補強に有効な面積 $A_1 = 2 \cdot (D_P - D_R / 2) \cdot t_r \cdots \cdots 3.5.5 (1) (a)$ $A_2 = 2 \cdot (4 \cdot t_n) \cdot t_n \cdots \cdots 3.5.5 (3) (3.2)$ $A_3 = 2 \cdot t \cdot t_n \cdots \cdots 3.5.5 (3) (3.3)$ $A_4 = 2 \cdot t_n \cdot t_n \cdots \cdots 3.5.5 (3) (3.4)$ $A_5 = 2 \cdot (D_P / 2) \cdot (t - t_a) \cdots \cdots 3.5.5 (1) (d)$ $A_6 = 2 \cdot (1 / 2) \cdot W_{no}^2 \cdots \cdots 3.5.5 (2)$ $A_7 = 2 \cdot (1 / 2) \cdot W_{ni}^2 \cdots \cdots 3.5.5 (2)$ $A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7$

(b) 強め材外周溶接㊟の脚長の検討

イ. すみ肉溶接が荷重を受ける有効範囲内の面積

㊟部の面積 $A_a = W_{no} \cdot \pi \cdot D_P \cdots \cdots 3.5.5 (4)$ ㊞部の面積 $A_b = W_{ni} \cdot \pi \cdot D_P \cdots \cdots 3.5.5 (4)$ ロ. すみ肉溶接が受持たなければならない全荷重: F_{req} $F_{req} = (A_{req} - A_5) \cdot \sigma_{at}$ ハ. すみ肉溶接㊟部の受ける荷重: F_a $F_a = A_a \cdot \sigma_{aF}$ ニ. すみ肉溶接㊞部の受ける荷重: F_b $F_b = A_b \cdot \sigma_{aF}$ ホ. すみ肉溶接部㊟の受けもつ荷重: F_c $F_c = F_{req} - F_a - F_b$

(c) 評価結果

イ. 面積計算 $A_t \geq A_{req}$ ならば十分である。ロ. 溶接部強さ $F_c \leq 0$ であることを確認する。

また、この時の脚長は4.5 mmとする。

別紙 クラス 3 容器の強度計算書のフォーマット

V-3-*-*-* ○○○○○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「V-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、添付書類「V-3-2-1 強度計算方法の概要」に基づき、火災防護設備用水源タンクについては評価条件整理表は不要とする。

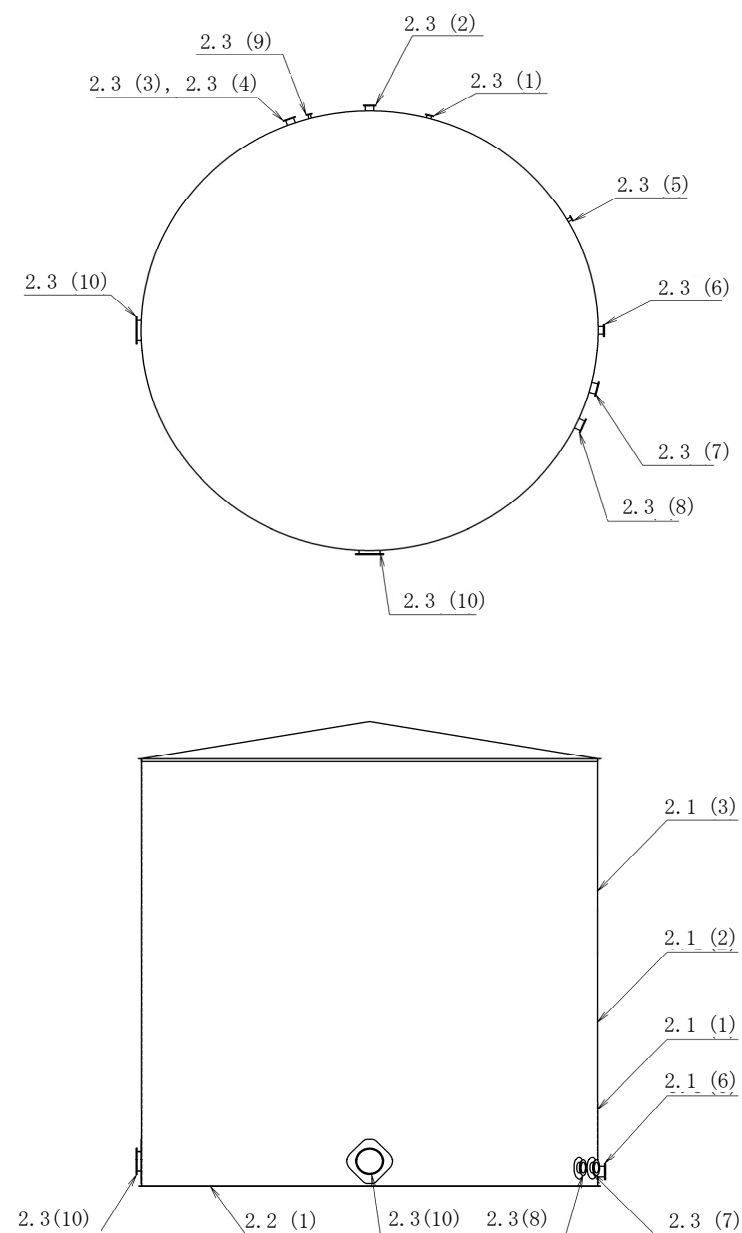
目次

1. 計算条件	.....
1.1 計算部位	.....
1.2 設計条件	.....
2. 強度計算	.....
2.1 ○○の計算	.....
2.2 △△の計算	.....
2.3 □□の計算	.....

1. 計算条件

1.1 計算部位

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1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用压力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称		(1) 胴板
材料		
水頭 H (m)		
最高使用温度 (°C)		
胴の内径 D_i (mm)		
液体の比重 ρ		
許容引張応力 S (MPa)		
継手効率 η		
継手の種類		
放射線検査の有無		
必要厚さ t_1 (mm)		
必要厚さ t_2 (mm)		
必要厚さ t_3 (mm)		
t_1, t_2, t_3 の大きい値 t (mm)		
呼び厚さ t_{so} (mm)		
最小厚さ t_s (mm)		
評価: $t_s \geq t$, よって十分である。		

2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960, PVC-3970準用)

(イ) 設計・建設規格 PVC-3960 (1)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3970 (1)

底板名称		(1) 底板
材料		
必要厚さ	t (mm)	
呼び厚さ	t _{bo} (mm)	
最小厚さ	t _b (mm)	
評価：t _b ≥ t, よって十分である。		

2.3 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称		(1) ○○入口
材料		
水頭	H (m)	
最高使用温度	(°C)	
胴の内径	D _i (mm)	
液体の比重	ρ	
許容引張応力	S (MPa)	
継手効率	η	
継手の種類		
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 _{no} (mm)	
最小厚さ	t _n (mm)	
評価: $t_n \geq t$, よって十分である。		

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算
設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
補強の計算を要する85 mmを超える穴の名称	○○出口 (3.5 (1)) ○○入口 (3.5 (2))
※ただし、PVD-3511に記載される監視用に設ける穴であるものを除く	

2.5 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 W E L D - 1 1

部材名称	(1) ○○出口	
胴板材料		
管台材料		
強め板材料		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)
穴の径	d	(mm)
管台が取付く穴の径	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	
係数	F	
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	A_0	(mm ²)
補強： $A_0 > A_r$ ， よって十分である。		

部材名称	(1) ○○出口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 d_j (mm)	
評価： $d \leq d_j$ ，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： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。	

2.1 側板の厚さの計算

J I S B 8 5 0 1 3.5.2

胴板名称		(1) 側板
材料		
水頭 H (m)		
胴の内径 D_i (m)		
液体の比重 ρ		
許容引張応力 f^* (MPa)		
継手効率 η		
放射線透過試験又は超音波探傷試験の有無		
必要厚さ t_1 (mm)		
胴の内径に応じた必要厚さ t_2 (mm)		
t_1, t_2 の大きい値 t_a (mm)		
呼び厚さ t_{so} (mm)		
最小厚さ t (mm)		
評価： $t \geq t_a$, よって十分である。		

注記 * : 降伏点又は耐力の最小値の60 %

2.2 底板の厚さの計算

J I S B 8 5 0 1 3.4.2

底板名称	(1) 底板
材料	
呼び厚さ $t_{c o}$ (mm)	
最小厚さ t_b (mm)	
評価： $t_b \geq 6.0$ mm, よって十分である。	

2.3 穴の補強計算

a. 補強計算の可否検討

J I S B 8 5 0 1 3.5.5

管台名称	胴の開口径 D _p (mm)	補強を 要しない 穴の径 (mm)	構造	補強計算 の可否*
(1) ○○入口			—	要
(2) ○○出口			J I S B 8 5 0 1 「3.10 附属 物」による	否

注記 * : D_p > 85 mmもしくはJ I S B 8 5 0 1の「3.10 附属物」に規定される構造であれば、補強計算は不要とする。

b. 補強計算

J I S B 8 5 0 1 3.5.5

管台名称		(1) ○○入口
胴の開口径	D_P (mm)	
強め材の開口径	D_R (mm)	
胴の最小厚さ	t (mm)	
胴の必要厚さ	t_a (mm)	
管台の最小厚さ	t_n (mm)	
強め材の厚さ	t_r (mm)	
管台と胴取付部の溶接脚長	W_{ni} (mm)	
管台と強め材取付部の溶接脚長	W_{no} (mm)	
補強に必要な面積	A_{req} (mm ²)	
補強に有効な面積 (mm ²)	A_1	
	A_2	
	A_3	
	A_4	
	A_5	
	A_6	
	A_7	
$A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7$		
溶接部強さ		
溶接部の負うべき荷重	F_{req}	
溶接部の受持つ荷重 (Ⓐ部)	F_a	
溶接部の受持つ荷重 (Ⓑ部)	F_b	
溶接部の受持つ荷重 (Ⓒ部)	F_c	
評価 : $F_c \leq 0$, よって十分である。		