

V-3-2-7 クラス 3 管の強度計算方法

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	5
1.4 計算精度と数値の丸め方	6
1.5 材料の表示方法	7
1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法	8
2. クラス3管の強度計算方法	9
2.1 共通記号	9
2.2 管の板厚計算	10
2.3 平板の強度計算	14
2.4 鏡板の強度計算	25
2.5 レジューサの強度計算	28
2.6 管の穴と補強計算	31
2.7 フランジの強度計算	72
2.8 伸縮継手の強度計算	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3管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））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 PPD-3415）

- a. J I S B 2 3 0 1 (2001) 「ねじ込み式可鍛鉄製管継手」
- b. J I S B 2 3 0 2 (1998) 「ねじ込み式鋼管製管継手」
- c. J I S B 2 3 0 3 (1995) 「ねじ込み式排水管継手」
- d. J I S B 2 3 1 1 (2001) 「一般配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- e. J I S B 2 3 1 2 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- f. J I S B 2 3 1 3 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
- g. J I S B 2 3 1 6 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
- h. J I S G 3 4 5 1 (1987) 「水輸送用塗覆装鋼管の異形管」
- i. J I S G 5 5 2 7 (1998) 「ダクタイル鉄異形管」

- (4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PPD-3414）

- a. 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) 「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 PPD-3430により溶接継手，フランジ継手，ねじ込み継手又は機械的継手（メカニカルジョイント，ビクトリックジョイント等であつて当該継手が十分な強度を有する機械的な締付けにより行われ，かつ，漏えいを防止する方法によるものに限る。）とする。ただし，継手部に著しい配管反力が生じる場合は，ねじ込み継手又は機械的継手としない。

表1-1 設計・建設規格各規格番号及び告示第501号各条項と強度計算書との対応

設計・建設規格 告示第501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501号）
PPD-3411（直管） PPD-3411(1) PPD-3411(2) PPD-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）
PPD-3412（曲げ管） PPD-3411（直管）を準用する。		
PPD-3414（フランジ） PPD-3414(1) PPD-3414(2) PPD-3414(3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4) フランジ継手)
PPD-3415（管継手） PPD-3415(1)		1.2(3)管継手
PPD-3415.1（レジューサ） PPD-3415.1(1) PPD-3415.1(2) PPD-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
PPD-3415.2 (鏡板) PPD-3415.2(1) PPD-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPD-3416 (伸縮継手)	2.8	伸縮継手の強度計算
第60条 準用 第31条 第2項第2号イ, ハ 第5項第1号 第2号イ, ロ 第6項第1号イ, ロ, ハ 第2号イ, ロ, ハ 第3号 第4号 第5号 第6号イ, ロ 第7号イ	2.6 2.6.1	管の穴と補強計算 (告示第 5 0 1 号)
PPD-3420 (穴と補強) PPD-3421 PPD-3422 PPD-3423 PPD-3424	2.6.2	管の穴と補強計算 (設計・建設規格)
PPD-3422(3)	2.3	平板の強度計算

表1-2 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」	3		
附属書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 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501号 別表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。（告示第501号は非SI単位をSI単位に換算する。）

*2：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)

- (2) 管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので、材料表示としては、製造方法の区別を特に表示しない。

(継目無管：S，溶接管：W)

- (3) 強度区分により許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に 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	$\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の上段} \end{array} \right)$	SCMV3-1
SCMV3	$\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の下段} \end{array} \right)$	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) 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 3 管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス 3 管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設 規格又は 告示第 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 PVD-3110による。レジューサは設計・建設規格 PVC-3130による。 告示第 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

管の板厚計算は、告示第501号第58条第1項又は設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

2.2.1 管の板厚計算（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
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第501号 別表第4及び別表第5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の告示第501号上必要な最小厚さ	mm
	算式	t_r として用いる値の算式	—
	製法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

告示第 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 PPD-3411(1)の式より求めた値： t

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

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPD-3411(2)の図PPD-3411-1より求めた値。ただし、図から求められない場合は次の式より求めた値： t_{op}

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

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 PPD-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 PPD-3413及び設計・建設規格 PPD-3422(3)を適用する。

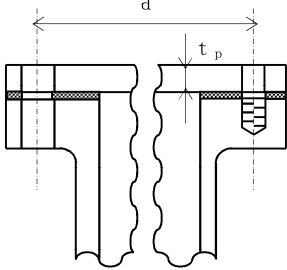
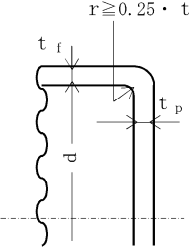
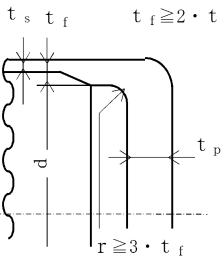
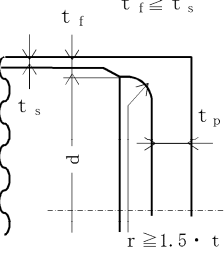
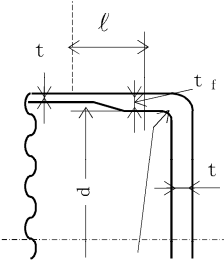
(1) 記号の説明

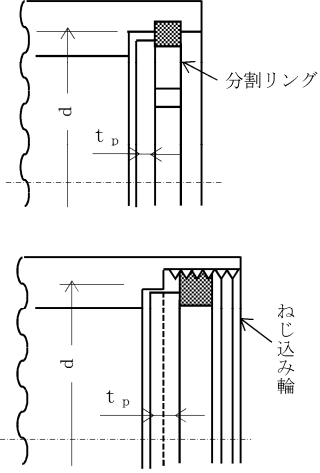
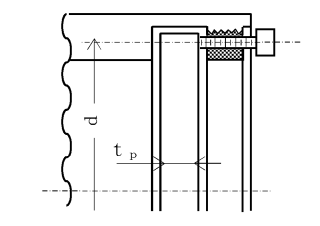
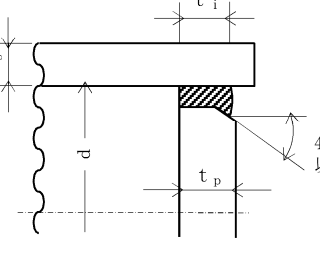
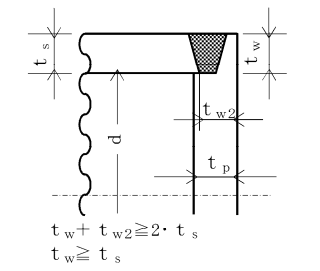
設計・建設規格又は J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_0	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPD-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径と d との差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t_r / t_s	—
m	m_g	ガスケット係数 (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

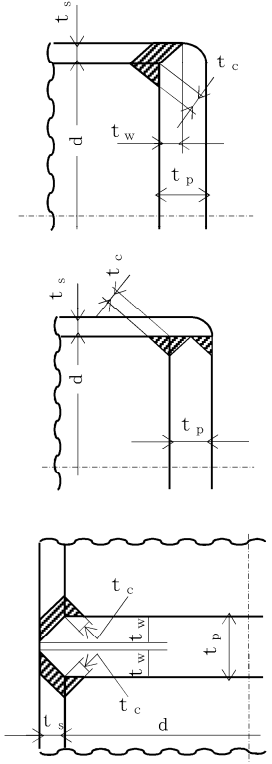
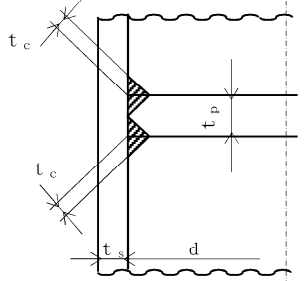
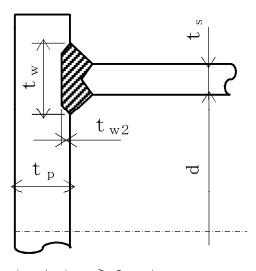
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力 (S_a 又は S_b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容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

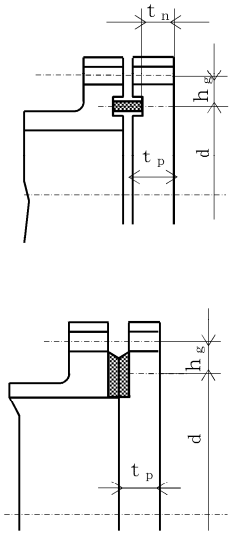
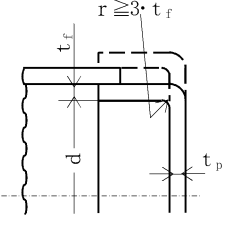
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)～(o)	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ガスケット座 面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け 方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413 の表PPD-3413-1による。	—
	3A～30	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限

	取付け方法	形状の制限
(a)		無し
(b)		$d \leq 600 \text{ mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$ 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)		$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(o)	その他の場合	無し

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33・m, 0.2) m = t _r / t _s
(e)	0.17* ¹ 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20* ²
(h)	Max (0.33・m, 0.2) m = t _r / t _s
(i)	0.33
(j)	Max (0.33・m, 0.2) m = t _r / t _s
(k)	
(ℓ)	
(m)	0.20 + $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、t _n の厚さの場合は $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ * ³
(n)	0.20
(o)	0.50

注記 *1: 取付け方法 (e) の場合

t_fからt_sへ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり、かつ、以下の(a)又は(b)いずれかの場合、K=0.10とできる。

(a) $\ell \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ 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JIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし、 P は2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガ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

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

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

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

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

(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。

$$d = G$$

(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

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(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 PPD-3422(3)により平板の計算上必要な厚さを、次の式より計算した値とする。

- (a) 穴の径 (d_h) が平板の径又は最小内のり (d) の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、 K の値は (m) の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。

- (b) 穴の径 (d_h) が平板の径又は最小内のり (d) の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

- (4) 評価

平板の最小厚さ (t_p) $\geq$ 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 PPD-3413の表PPD-3413-1の条件を満足するものとする。
b. スペクタクルフランジの取付け方法は (g) タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は、設計・建設規格 PPD-3415.2及び設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t となる。)	—
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D_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_{oc}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f. の表 PPD-3415.2-1による。	—
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R_D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	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_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算式	t として用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPD-3415.2(1)a. により以下とする。

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

設計・建設規格 PPD-3415.2(2)a. の式PPD-1.12又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)b. の式PPD-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

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 PPD-3415.2(2)c. の式PPD-1.15又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)d. の式PPD-1.16より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

(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 PPD-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 PPD-3415.2(2)e.の式PPD-1.17又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f.より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

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 PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 (D)

(b) 外面に圧力を受ける管 (D')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3) 評価

鏡板の最小厚さ (t_c) $\geq$ 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 PPD-3415.1（設計・建設規格 PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_3 となる。)	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_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 PPD-3415.1(3)の図PPD-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	°
	算式	t として用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	—
	端部記号	大径端、小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは、次に掲げる値とし、大径端側及び小径端側のそれぞれについて計算を行う。

a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PPD-3415.1(1)a. の式PPD-1.8より求めた値

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

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 PPD-3415.1(1)b. の式PPD-1.9より求めた値

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

ただし、

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

小径端側

設計・建設規格 PPD-3415.1(3) の式PPD-1.11より求めた値

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

ただし、Kは設計・建設規格 PPD-3415.1(3) の図PPD-3415.1-1より求めた値

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 (C)

(b) 外面に圧力を受ける管 (C')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')

(a), (b) 又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

- d. 円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

- (a) 円すいの頂角の2分の1が 22.5° 以下のもの

- イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

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

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

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号に関して記載の内容は，全て直管又は曲げ管の場合のみに限る。

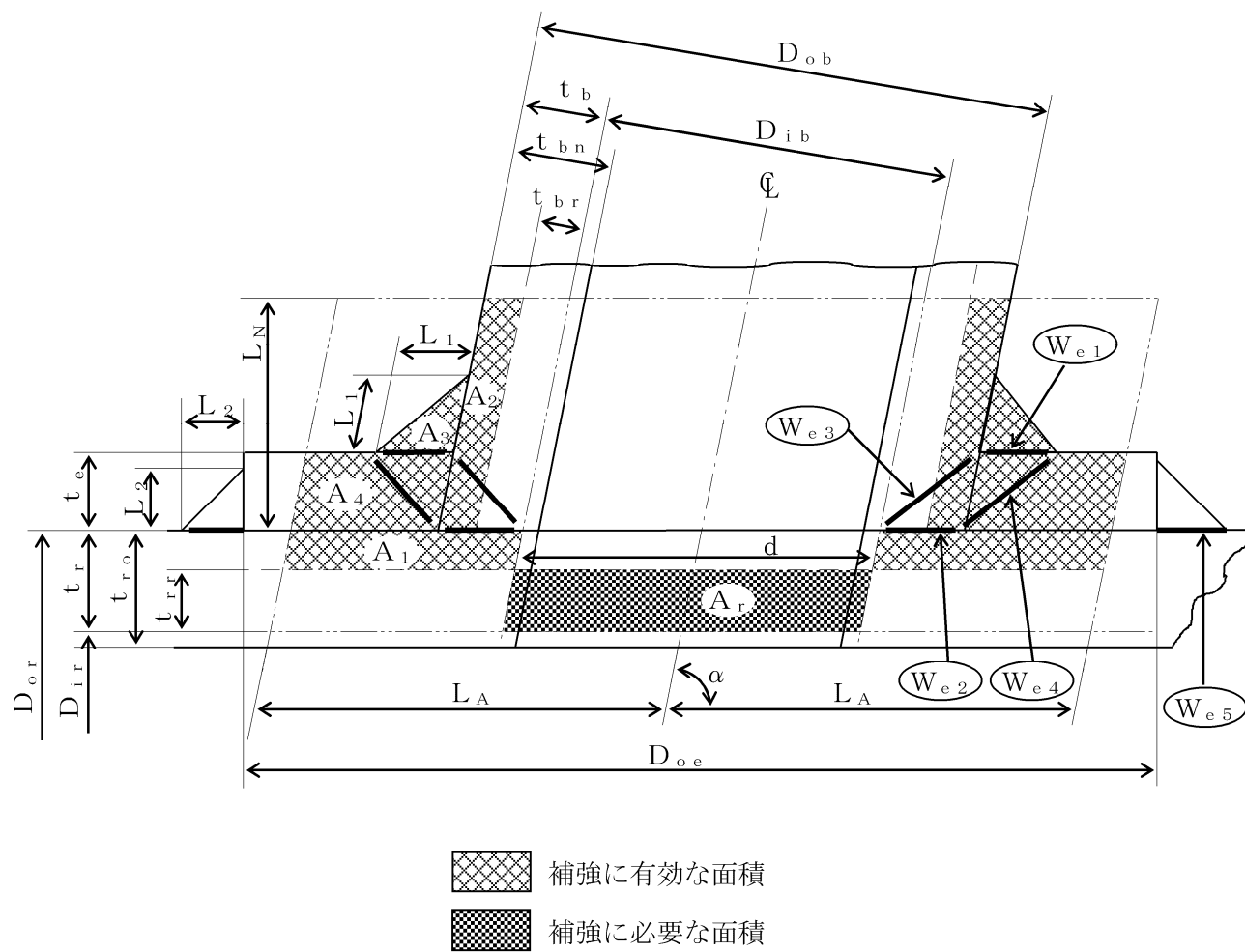
(1) 記号の説明

	告示第501号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 告示第501号 別図第1～第8により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{rr} となる。）	—
	D, 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501 号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直 管 又 は 曲 げ 管 の 記 号	A	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A ₁	穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A ₂	穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A ₄	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	A _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A _{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A _{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
	A _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501号第60条（第31条第6項第1号ロ（イ）準 用）により求められる係数	—
		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数	—
		F ₂	突合せ溶接の引張応力係数	—
		F ₃	突合せ溶接のせん断応力係数	—

		告示第501 号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直 管 又 は 曲 げ 管 の 記 号	ℓ		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
			L ₁	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）*	mm
			L ₂	強め材のすみ肉部の脚長*	mm
		P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
			Q _b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
	S		S _b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 告示第501号 別表第4及び別表第5による。	MPa
		S	S _c	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 _b	管台の最小厚さ	mm
			t _{bn}	管台の公称厚さ	mm
		t	t _{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
			t _e	強め材の最小厚さ	mm
			W	溶接部の負うべき荷重	N
	t		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

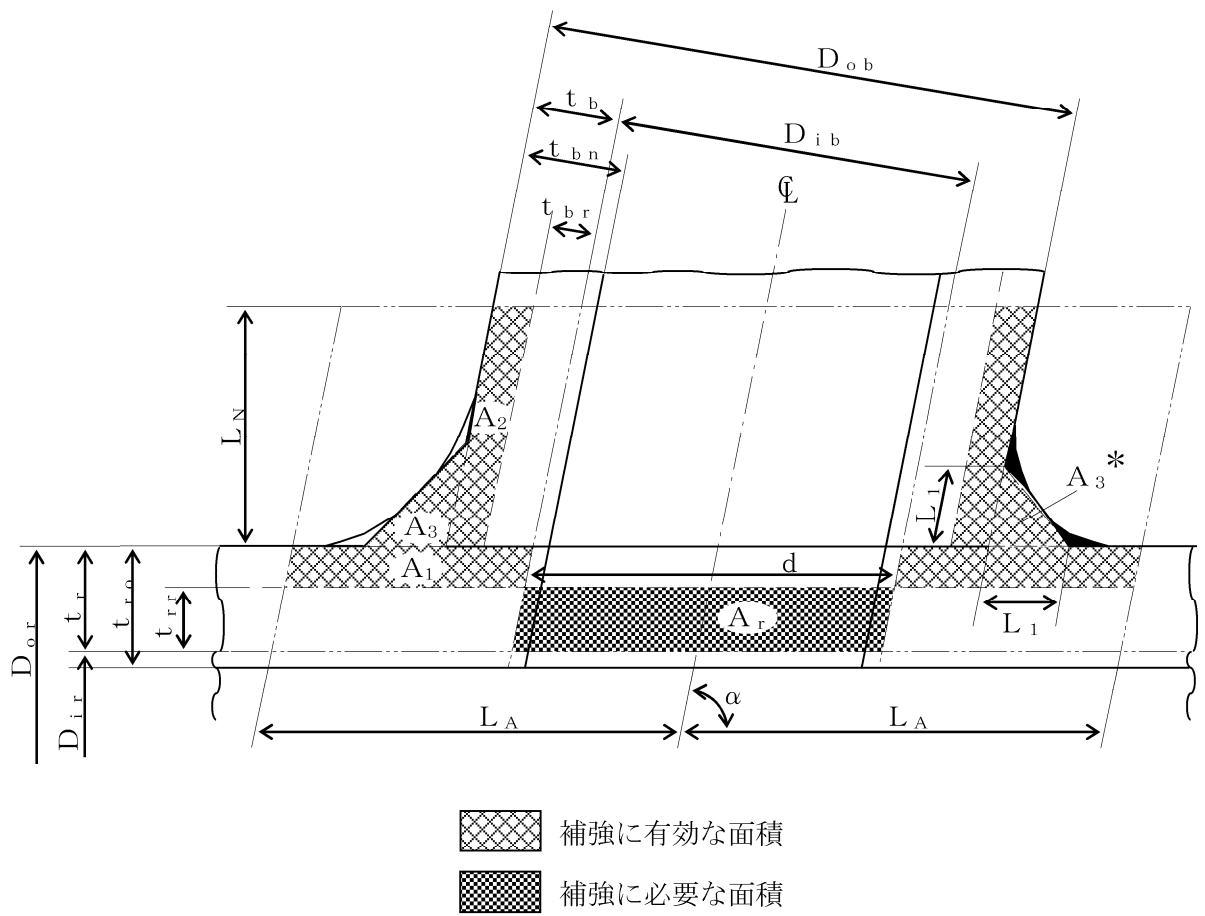
	告示第501 号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直管又は曲げ管の記号	θ	W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
		α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	—
		形式	管台の取付け形式	—



予想される破断形式

- ・ W_{e1} W_{e3} を通る破断
- ・ W_{e2} W_{e4} を通る破断
- ・ W_{e2} W_{e5} を通る破断

図2-2 B形（強め材のある場合）



注記 * : 本形式における補強に有効な面積 A_3 はA形及びB形と同様に $A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記 部) として算出するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記 部) は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-3 C形 (一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、告示第501号第60条（第31条第5項第2号イ，ロ準用）を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は、次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（ d_{fr} ）とする。

イ. 管に設ける穴であって、穴の径が61 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。

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

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

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。

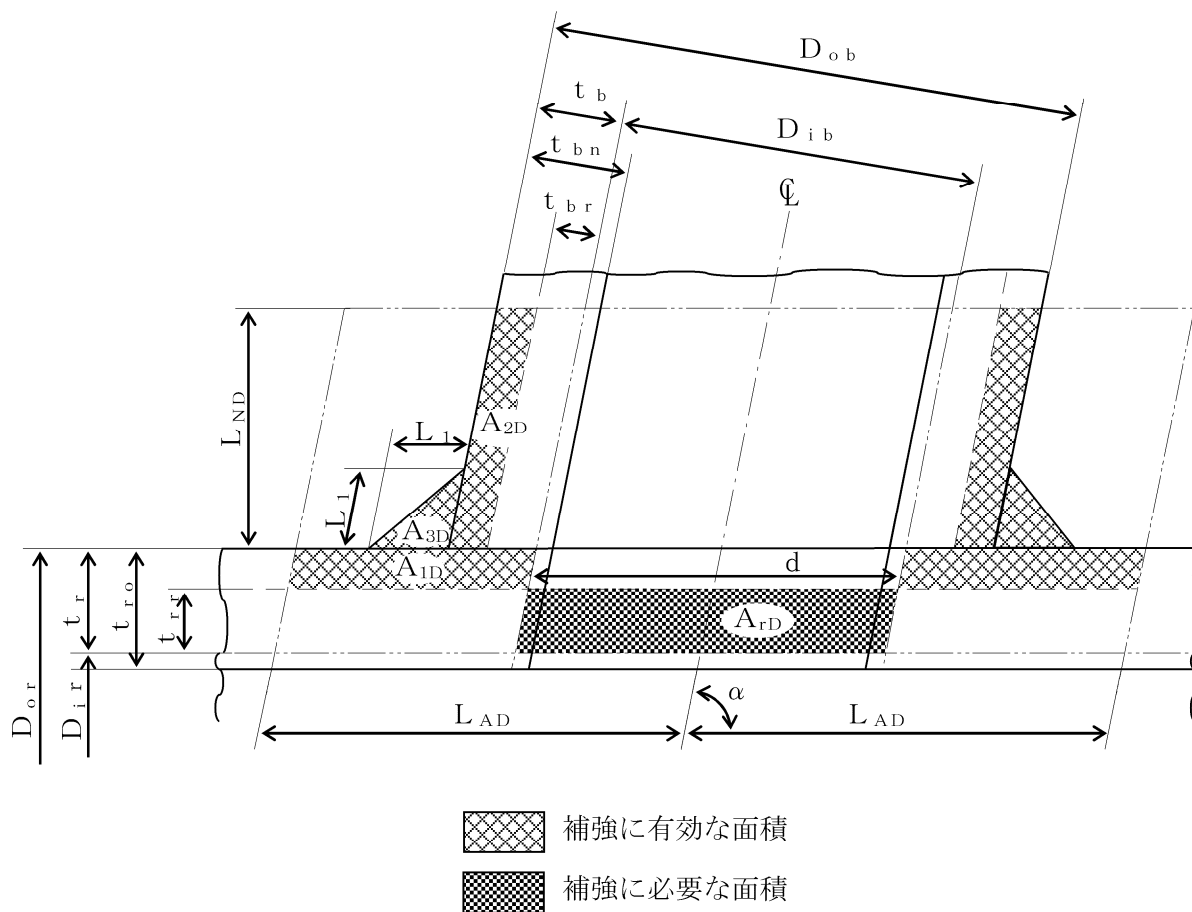


図2-4 A形（強め材のない場合）

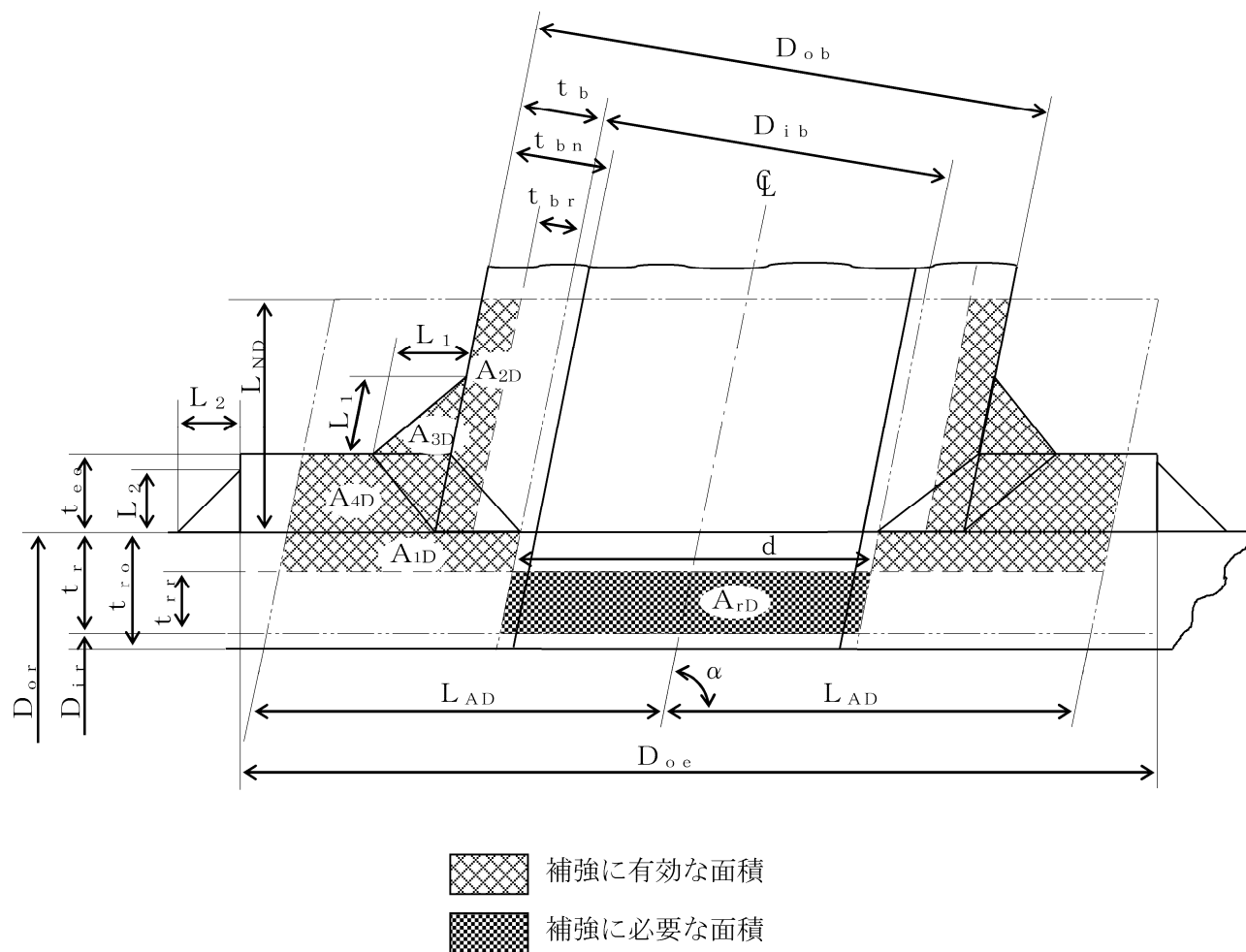
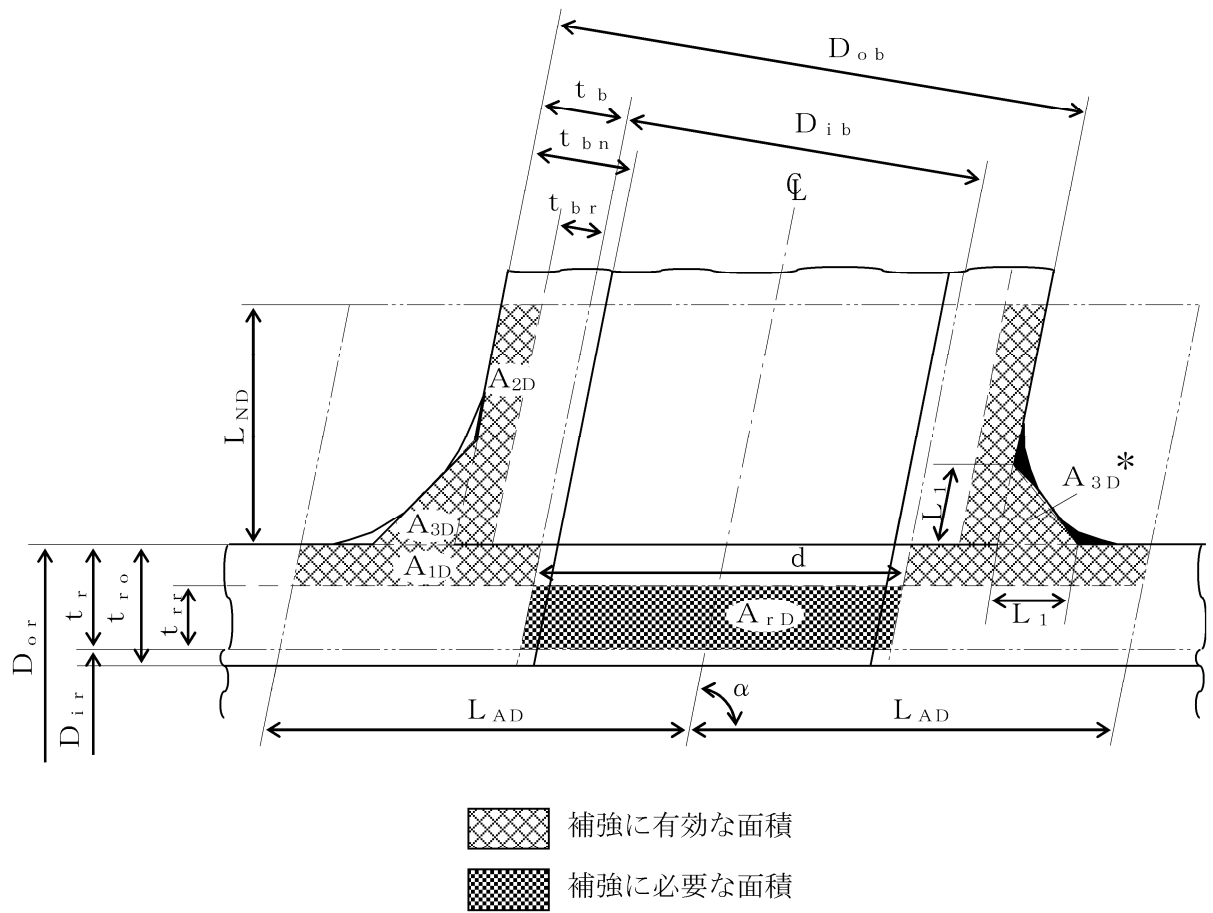


図2-5 B形（強め材のある場合）



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 PPD-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
直 管 又 は 曲 げ 管 の 記 号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に より最終的に t_{br} 及び t_{rr} となる。)	—
	D	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—
		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	—
	η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合 穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る 場合 穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場 合 設計・建設規格 PVD-3110に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
鏡 板 の 記 号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に より最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
	D	D _o	鏡板の内面における長径 鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径に同じ)	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d _{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K ₁	K ₁	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に 用いる係数 設計・建設規格 PPD-3424(1) の表PPD-3424-1及び 表PPD-3424-2による。	—
	K	K _K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に 用いる係数 設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f. の表PPD-3415.2- 1による。	—
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球 形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5によ る。	MPa
	t _s	t _c	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	—
	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
	t	t	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5によ る。	mm
	t _s	t _c	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t _{s r} , t _{r 2}	t _{c o}	平板の最小厚さ	mm
		t _{c r}	平板の呼び厚さ	mm
		取付け方法	平板の計算上必要な厚さ	—
	(a)～(o)	3A～30	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表 PPD-3413-1による。 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 _{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の2分の1の面積	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	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	d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格 PPD-3424(1)b. により求められる係数	—
		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数	—
		F ₂	突合せ溶接の引張応力係数	—
		F ₃	突合せ溶接のせん断応力係数	—

設計・建設規格の記号		計算書の表示	表示内容	単位
共通記号 (管の穴と補強計算)	ℓ	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	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_c	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	mm
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	mm
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t_{nr}	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	N
		t_e	強め材の最小厚さ	N
		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	
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	

注記 * : 設計・建設規格の図PPD-4000-4による。

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
共通記号 (管の穴と補強計算)	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

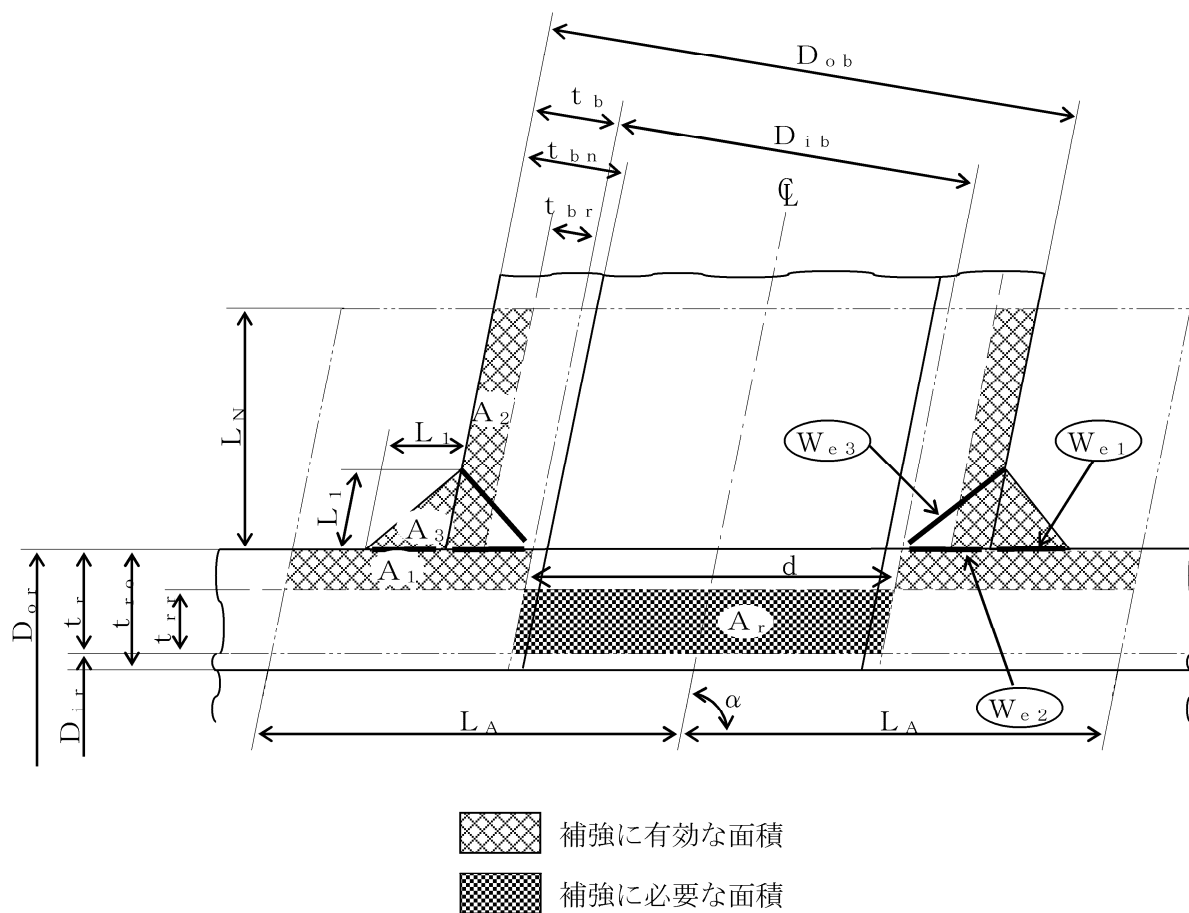
a. 穴の形状

管に設ける穴は，設計・建設規格 PPD-3421 (2)により円形又はだ円形であること。

b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

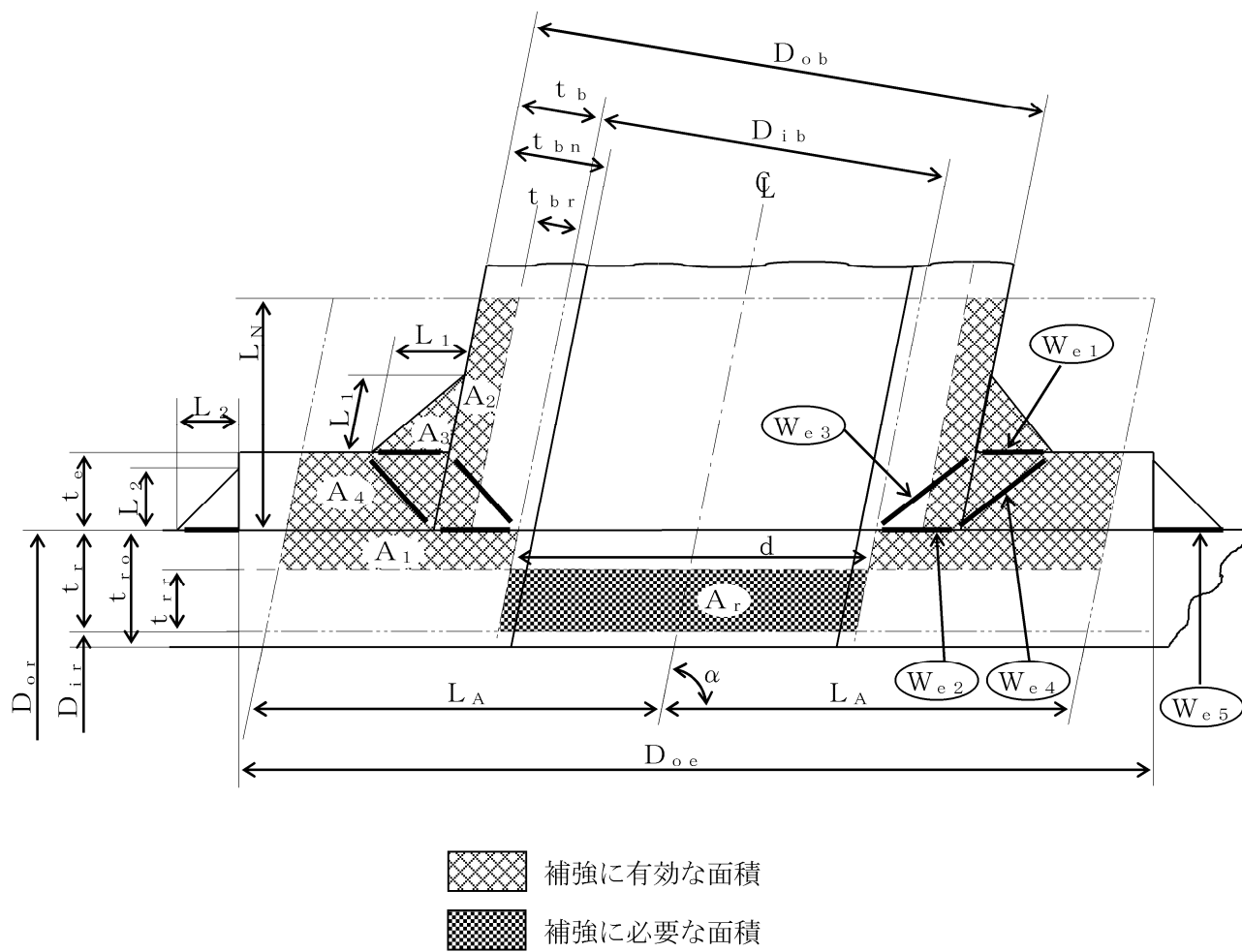
ただし，すみ肉溶接部分の破断箇所については，両方の脚長が等しいため，片側の脚長の破断形式のみを図示する。



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

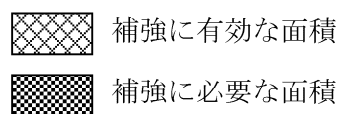
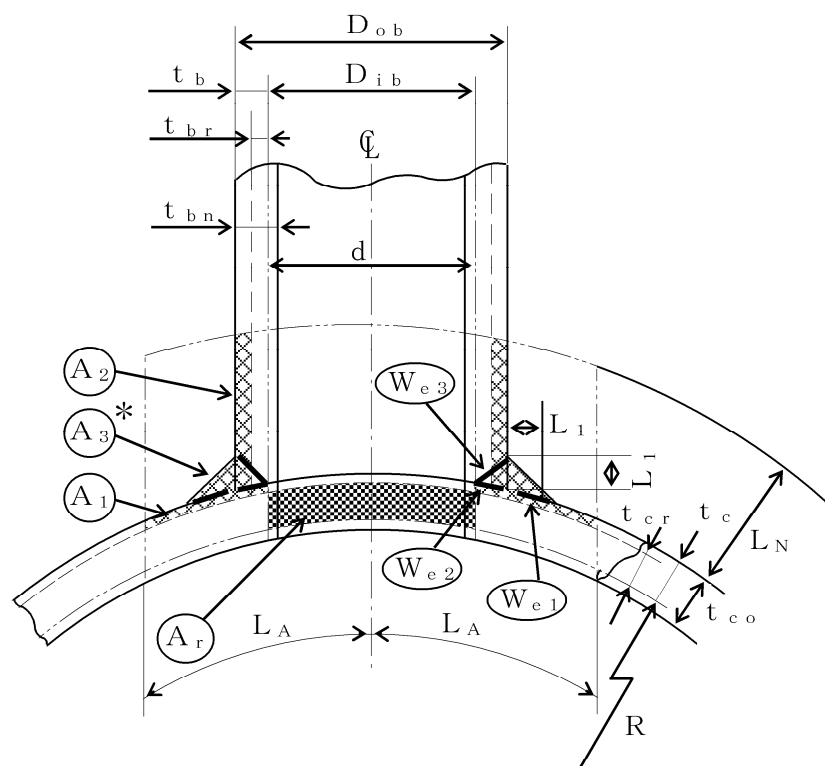
図2-1 A形（強め材のない場合）



予想される破断形式

- W_{e1} W_{e3} を通る破断
- W_{e2} W_{e4} を通る破断
- W_{e2} W_{e5} を通る破断

図2-2 B形（強め材のある場合）

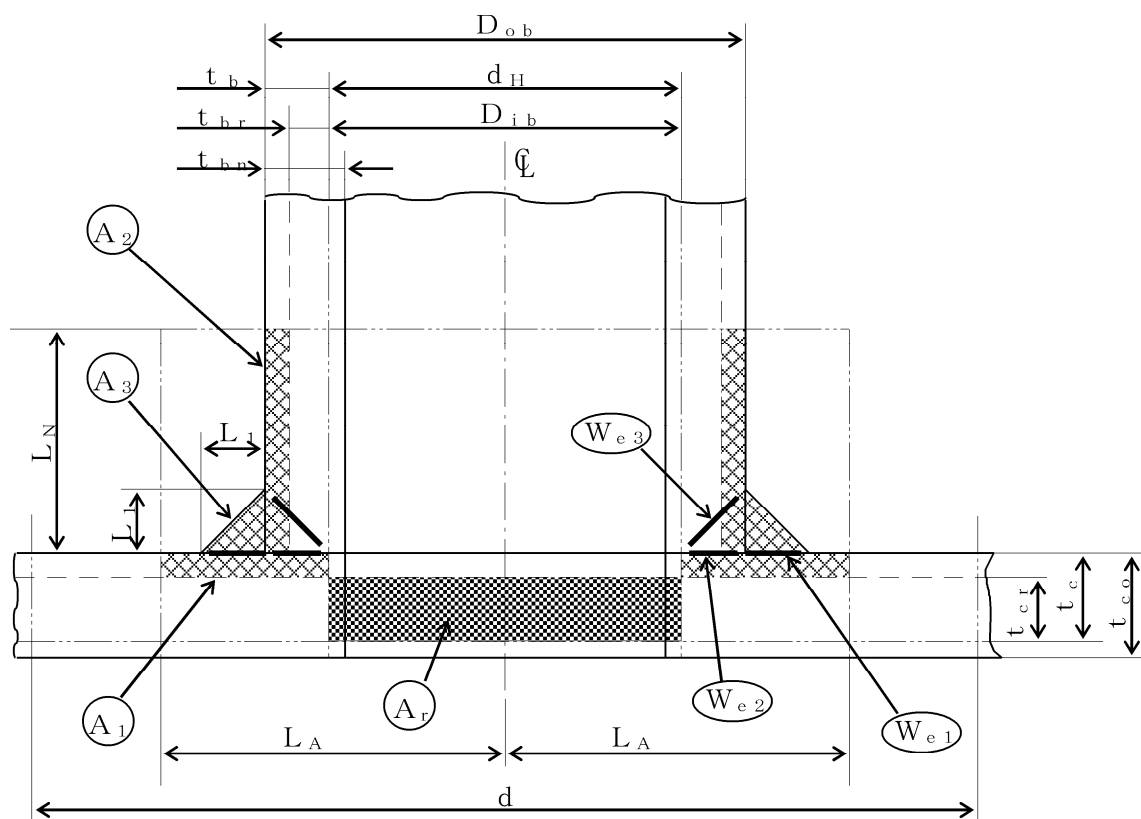


予想される破断形式

- ・ 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、
補強面積計算上は考慮しない。

図2-3 A形（鏡板で強め材のない場合）

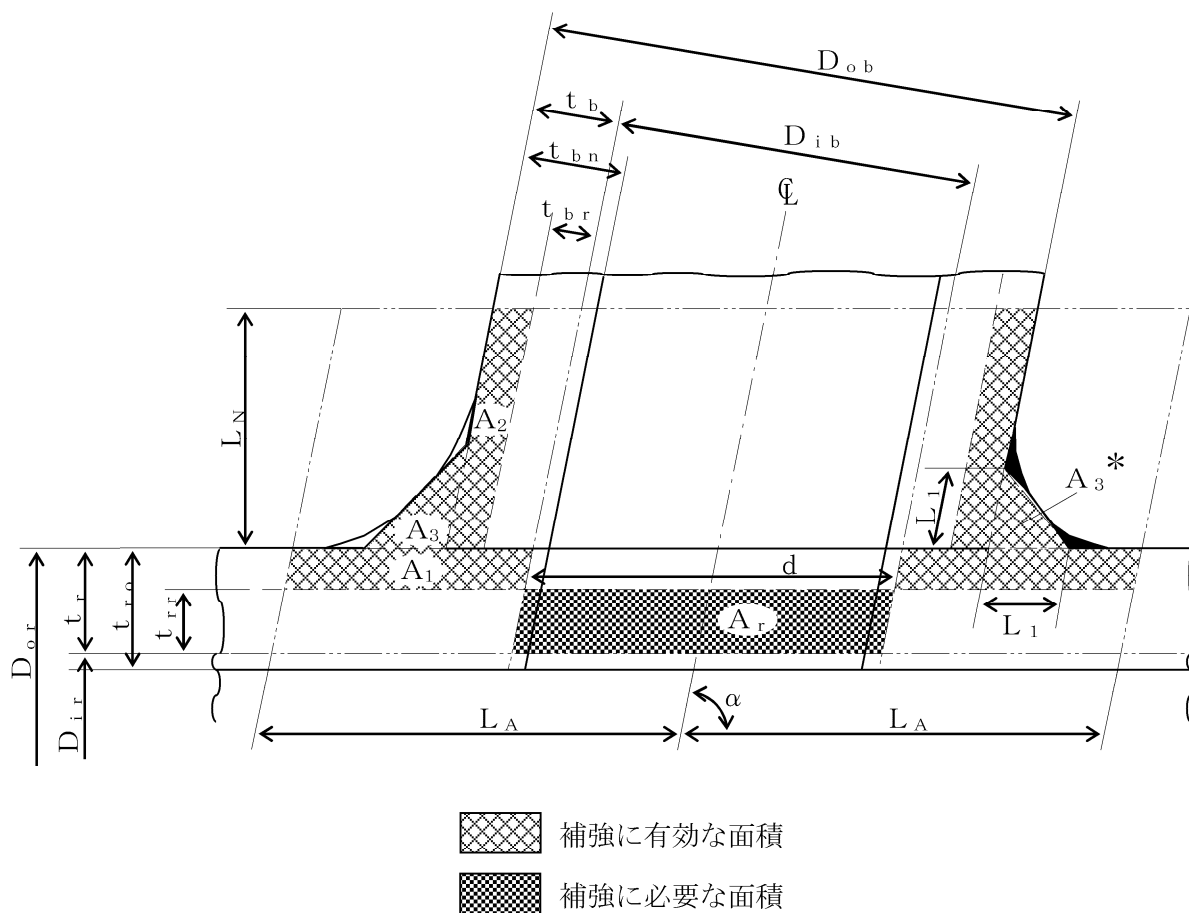


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

図2-4 A形（平板で強め材のない場合）



注記 * : 本形式における補強に有効な面積 A_3 はA形及びB形と同様に $A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記  部) として算出するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記  部) は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-5 C形 (一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPD-3422を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は、次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値 (d_{fr}) とする。

イ. 平板以外の管に設ける穴であって、穴の径が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PPD-3422-1及び図PPD-3422-2により求めた値以下の穴 (d_{r2})

直管又は曲げ管の場合

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_{or} \cdot t_r \cdot (1-K)}$$

鏡板の場合

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_o \cdot t_c \cdot (1-K)}$$

ただし、Kの値は次の算式による。

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$K = \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}$$

(ロ) さら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のりである d の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、Kの値は設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1中で(m)の取付け方法を除き、0.375以上とすることを要しない。

(ロ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径 (d_{fr}) $\geq$ 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 PPD-3424(1)a. を適用する。

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 (L_A) は、次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

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

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 PPD-3424(1)b. (a) を適用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

ただし, $W=1.00$ 及び $\eta=1.00$

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

ロ. 半だ円形鏡板

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

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

ハ. 全半球形鏡板

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

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

(c) 平板の場合

$$t_{cr} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ (t_{br}) は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)b. (b)を適用する。

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

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

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$A_r = 1.07 \cdot d \cdot t_{rr} \cdot (2 - \sin \alpha)$$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr}$$

(ハ) 平板の場合

$$A_r = 0.5 \cdot d_H \cdot t_{cr}$$

ロ. 補強に有効な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

(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 PPD-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径 (d_{frD})

イ. D_{ir} が1500 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，設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

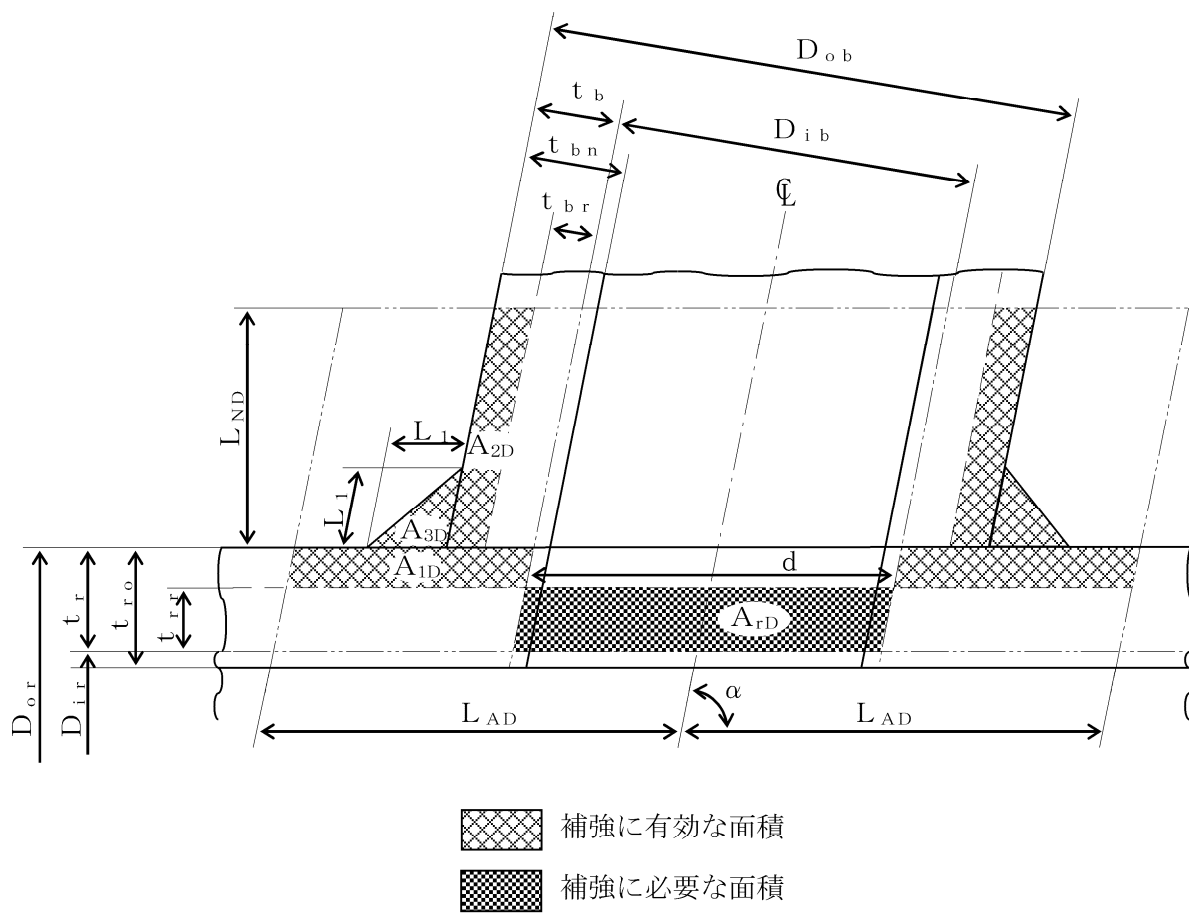


図2-6 A形（強め材のない場合）

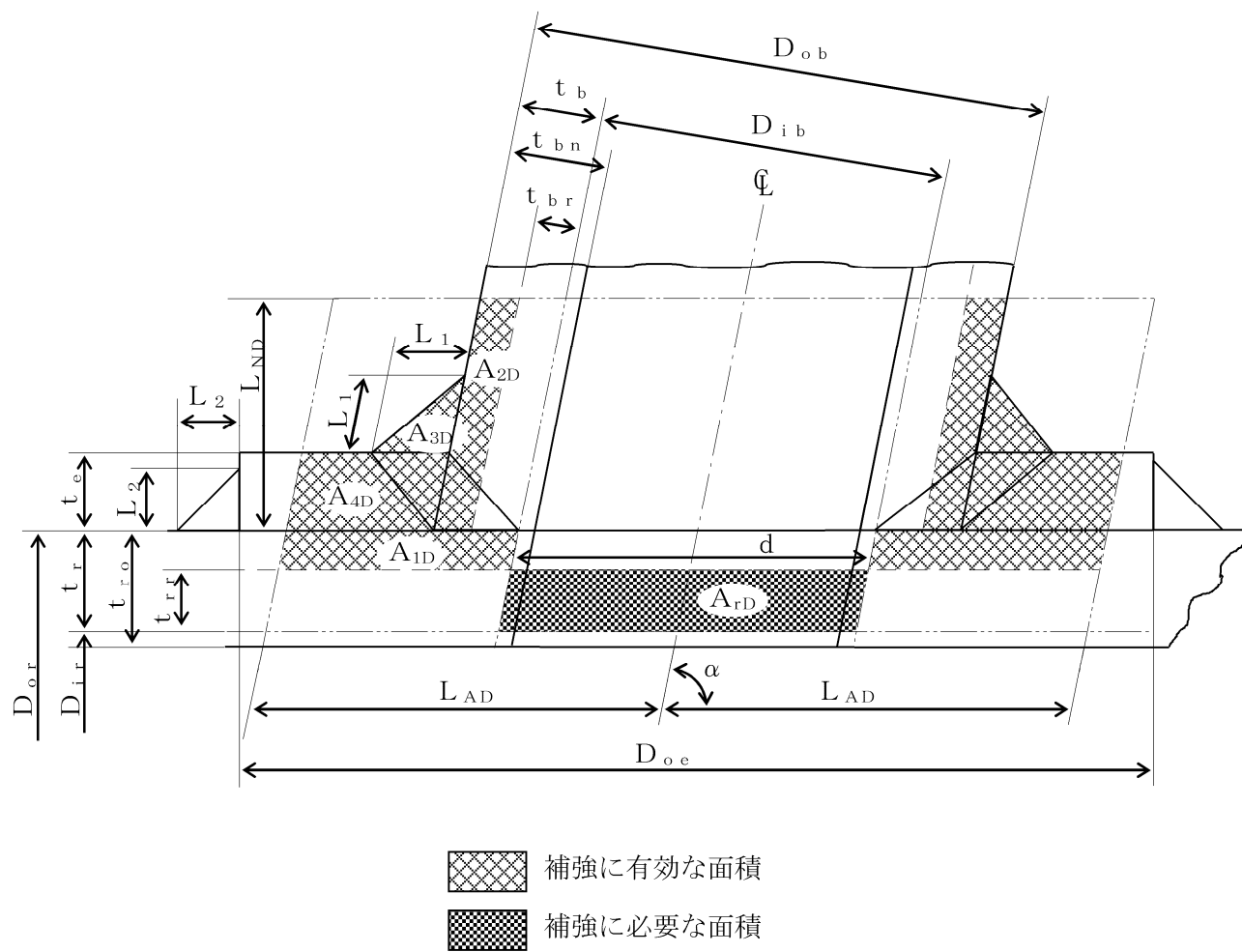
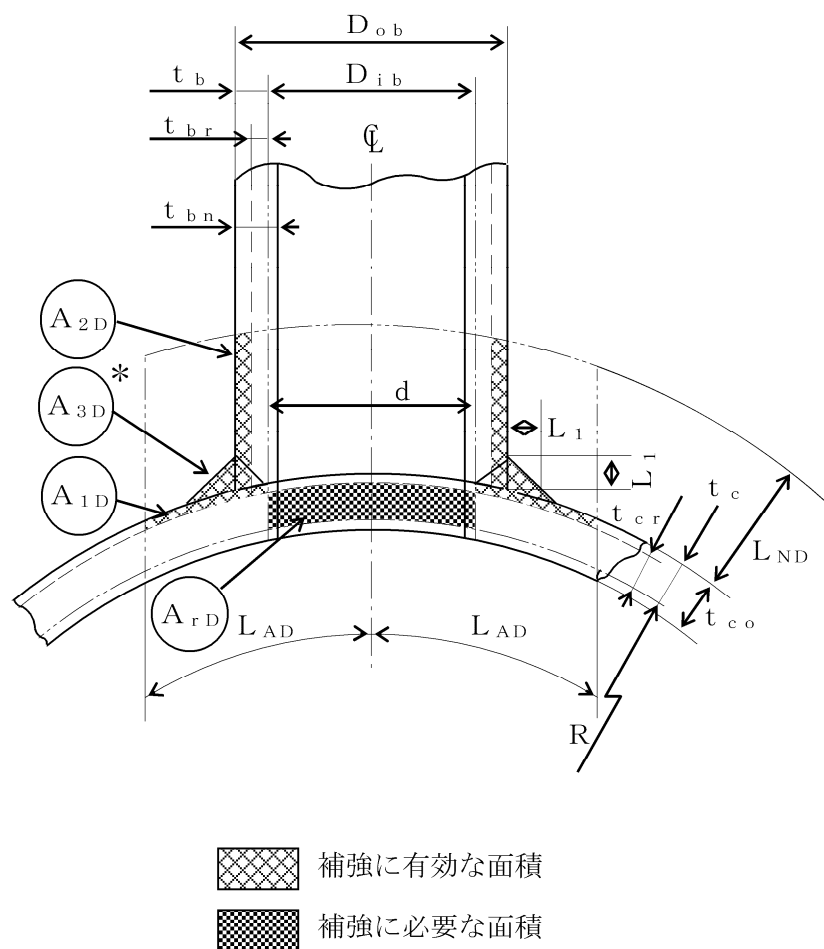


図2-7 B形（強め材のある場合）



注記 * : A_{3D} の面積で $(L_1)^2$ 以外の部分は、
補強面積評価上は考慮しない。

図2-8 A形（鏡板で強め材のない場合）

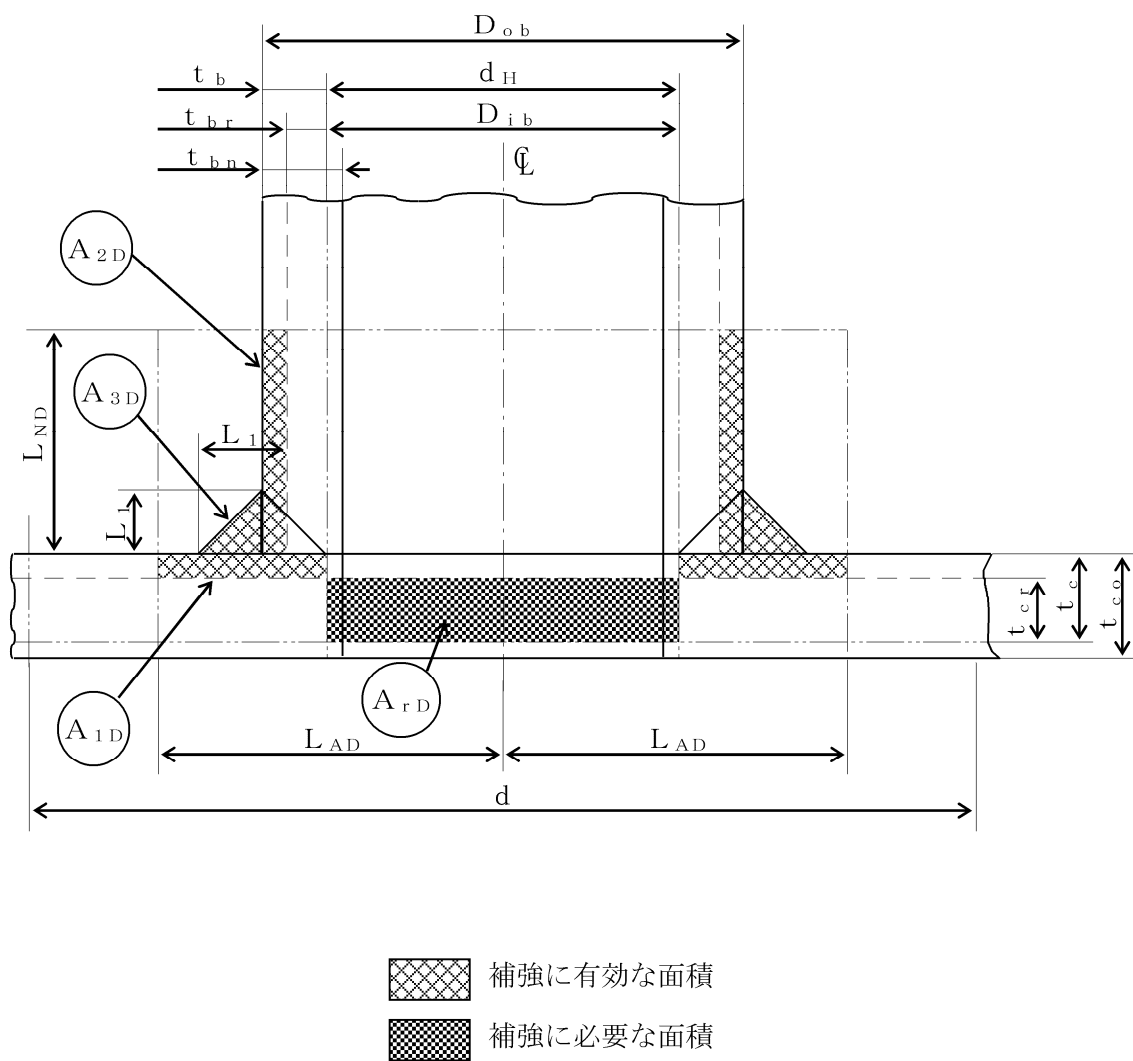
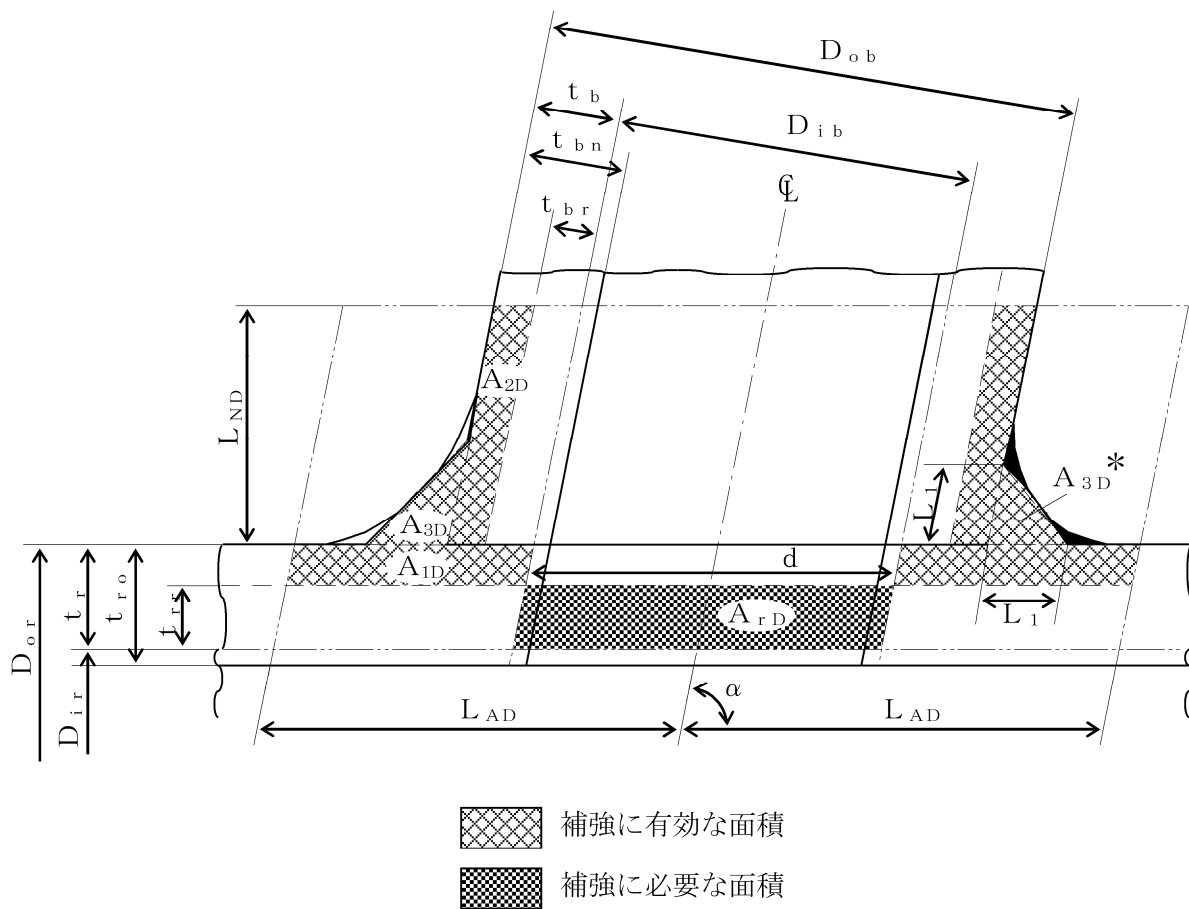


図2-9 A形（平板で強め材のない場合）



注記 * : 本形式における補強に有効な面積 A_{3D} は A 形及び B 形と同様に $A_{3D} = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記  部) として算出するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記  部) は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

- (b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD} = \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$$

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

- (a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

ロ. 大穴の補強に有効な面積

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

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{2D} = 2 \cdot \left(\frac{d}{4} - t_{br} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_{ND} \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

(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 PPD-3424(2)a., b. 及びc. を適用する。

以下、直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr} = 0.7 \cdot L_s \cdot t_{rr} \cdot F$$

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot t_r$$

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L = 1.5 \cdot \left(\frac{d + d_D}{2} \right)$$

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{ri} = \frac{A_r + A_{rs}}{2}$$

A_r 及び A_{rs} は1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot (t_r - t_{rr}) + \frac{A_2 + A_{2s}}{2} + \frac{A_3 + A_{3s}}{2} + \frac{A_4 + A_{4s}}{2}$$

A_2 , A_{2s} , A_3 , A_{3s} , A_4 及び A_{4s} は、1つの穴の計算に準じる。

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

イ. 2つの穴の間にある主管の断面積 (A_{so}) $\geq$ 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 PPD-3424(8)及び(9)を適用する。

ただし、C形に関しては評価すべき溶接部がないため、強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

$$W = d \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S$$

(ハ) 平板の場合

$$W = d_H \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H) \cdot S$$

ロ. 溶接部の許容応力

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

(ロ) 鏡板又は平板の場合

$$S_{W1} = S \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$W_{c1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

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

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

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

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

(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

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

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

(ロ) B形の管台形式の場合

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

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

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

(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。

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 PPD-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 (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
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 (\text{一体形フランジの場合}) \right)$ $\left(= \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 (\text{ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の場合}) \right)$	mm ³
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(= \frac{F}{h_o} (\text{一体形フランジの場合}) \right)$ $\left(= \frac{F_L}{h_o} (\text{ルーズ型フランジ(差込み型フランジ)の場合}) \right)$	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。)	—

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
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
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 $\left(=\frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}\right)$	—
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_0	M_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

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	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 _{e q} を加えたものである。	MPa
P _{e q}	P _{e q}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジに作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{e q} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3}$	MPa
R	P _o R	最高使用圧力 (内圧) 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	MPa 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。)	—
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 _{m 1}	W _{m 1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	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。)	—

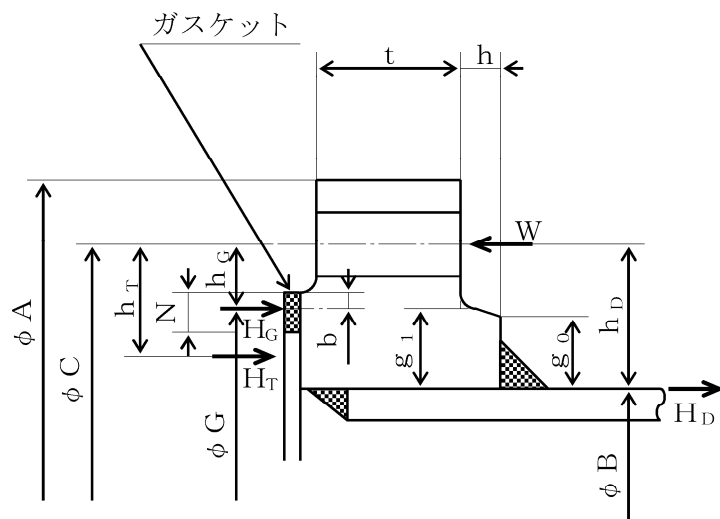
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
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

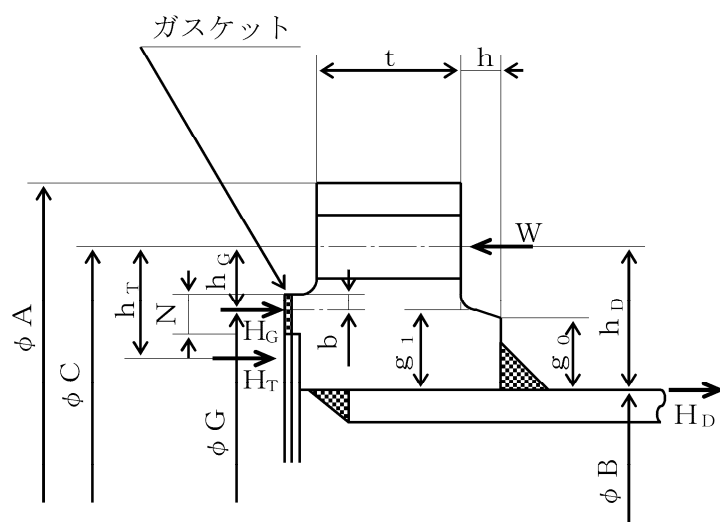
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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、 $g_0 = g_1$ とする。

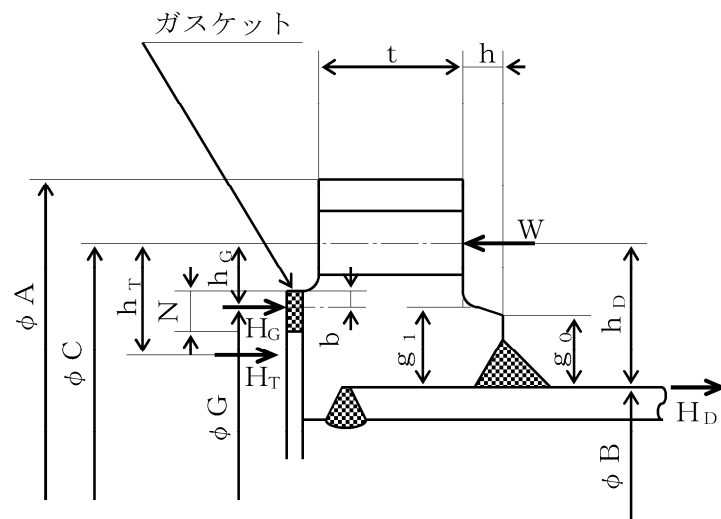
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



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

TYPE-2 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)

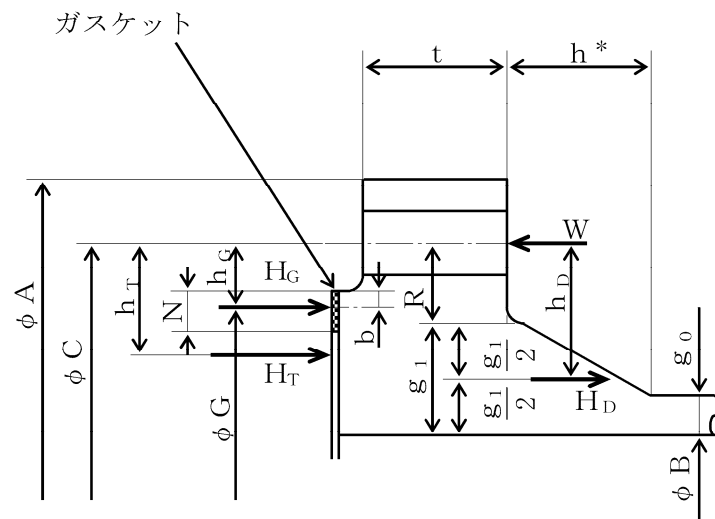
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



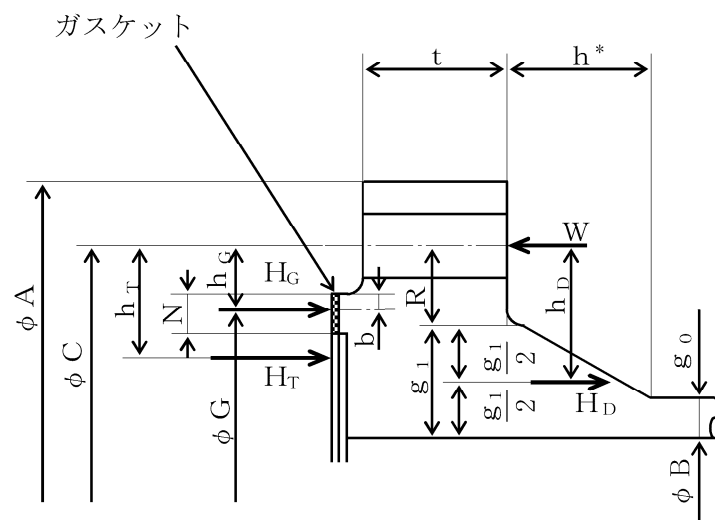
注 : ハブのテーパが 6° 以下のときは, $g_0 = g_1$ とする。

TYPE-3 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)



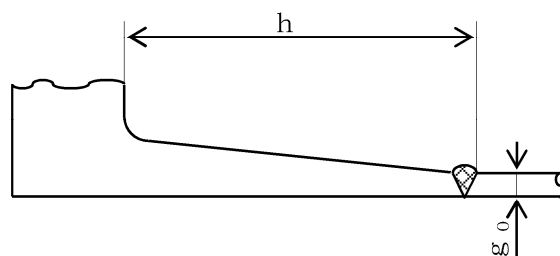
TYPE-4 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 8)



TYPE-5 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 8)

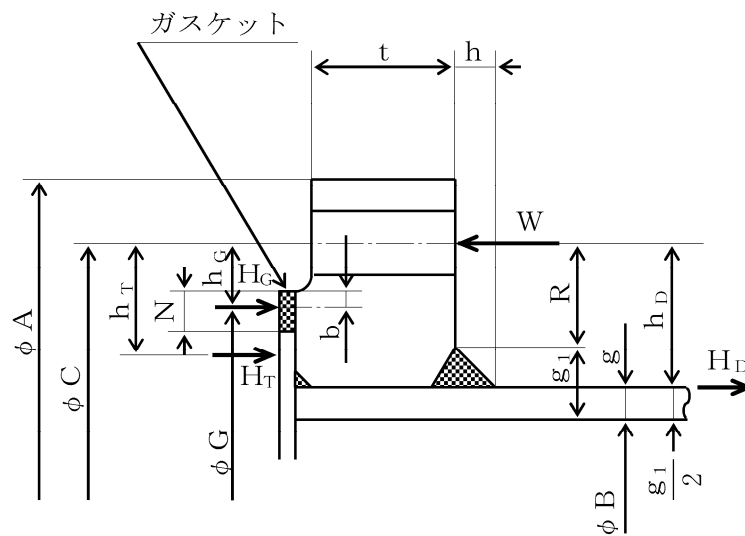
注記 * : フランジに近いハブのこう配が1/3以下の場合はhは下図に従う。

図2-13 一体形フランジ

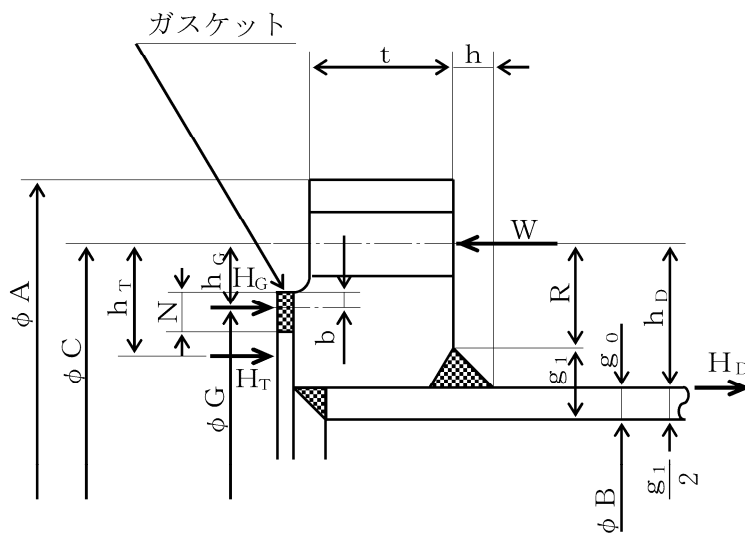


TYPE-6 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 c) 12)
(一体形フランジとして計算)



TYPE-8 J I S B 8 2 6 5 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. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

- (a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(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、

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

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

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

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

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

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

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

(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JIS B 8265 附属書3 表3による。

b. 計算上必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$$

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

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_g = \left(\frac{A_{m2} + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a$$

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$

ただし、

$$R = \left(\frac{C - B}{2} \right) - g_1$$

- g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_o = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

- h. ガ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) 使用状態でフランジの応力

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

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

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

- (b) ガasket締付時のフランジの応力

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

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

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

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_{H_o} ）及び σ_{H_g} 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 PPD-3416を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
c	c	継手部の層数	—
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	N_r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の2倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(N_r)／許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算式		—
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

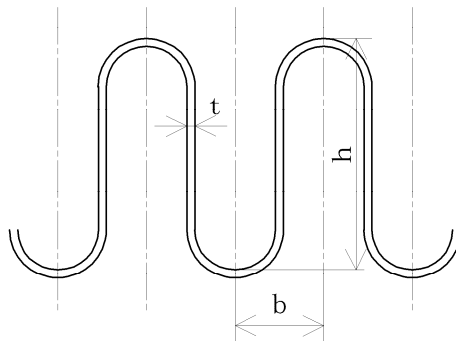


図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

ただし，材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

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

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。

V-3-2-8 クラス4管の強度計算方法

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	3
1.5 材料の表示方法	4
1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法	5
1.7 長方形の管の表示方法	5
2. クラス4管の強度計算方法	6
2.1 共通記号	6
2.2 管の板厚計算	6
2.3 フランジの強度計算	7
2.4 伸縮継手の強度計算	8
別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領	
別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット	

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4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。）により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 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 PPH-3045）

- a. J I S B 2 3 1 1 (2001) 「一般配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- b. J I S B 2 3 1 2 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
- c. J I S B 2 3 1 3 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
- d. J I S B 2 3 1 6 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」

- (3) 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 PPH-3040）

- 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 2 2 4 0 (1996) 「銅合金製管フランジ通則」

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PPH-3020 (管の厚さ)	2.2	管の板厚計算
PPH-3040 (継手の構造)	2.3	フランジの強度計算 (1.2(3) フランジ継手)
PPH-3045 (管継手)	2.4	1.2(2) 管継手
準用 PPC-3416 (伸縮継手)		伸縮継手の強度計算

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1-2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
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位 ^{*1}
温度		℃	—	—	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
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}

注記 *1：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) 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 $\left(\begin{array}{c} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5表5の許容} \\ \text{引張応力の上段} \end{array} \right)$	SCMV3-1
SCMV3 $\left(\begin{array}{c} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5表5の許容} \\ \text{引張応力の下段} \end{array} \right)$	SCMV3-2

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。

1.7 長方形の管の表示方法

長方形の管の長径及び短径の表示は、以下の例のように記載する。

(W及びHはそれぞれ幅及び高さを意味する。)

(例) 角形 1600W×1650H

2. クラス4管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス4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・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
P	NO.	管，フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ：管 F：フランジ E：伸縮継手	—
	P	最高使用圧力（内圧）	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は，設計・建設規格 PPH-3020を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	D _o	管の外径	mm
	t _r	管に必要な厚さ	mm
	t _s	管の最小厚さ	mm
	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. 円形の管

設計・建設規格 PPH-3020(1)の表PPH-3020-1により求めた値：t

b. 長方形の管

設計・建設規格 PPH-3020(2)の表PPH-3020-2より求めた値。

(3) 評価

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

2.3 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 PPH-3040を適用する。

(1) 記号の説明

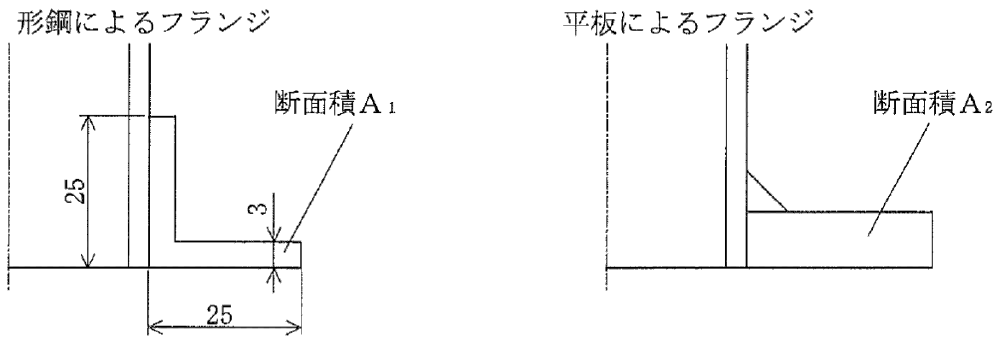
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
	D	フランジの外径	mm
	d _o	管内径	mm
	h	ボルトの穴径	mm
	t	フランジ厚さ	mm

(2) 評価

実際の断面積 $\geq$ 必要な断面積(25 mm $\times$ 25 mm $\times$ 3 mmの形鋼の断面積=141 mm²)ならば強度は十分である。

(3) 補足

設計・建設規格 PPH-3040 (1) の規定に関する代表例を図2-1に示す。



$$A_2 \geq A_1$$

図2-1

2.4 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 PPH-3045(設計・建設規格 PPC-3416準用)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
c	c	継手部の層数	—
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6表1による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	N_r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の2倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(N_r)／許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算式		—
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-2に示す。

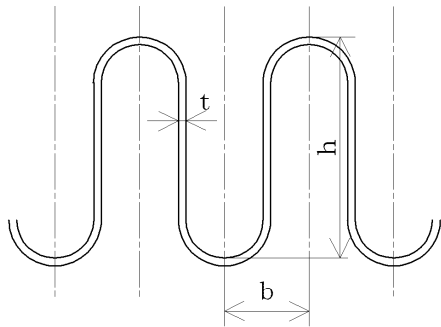


図2-2 継手部の形状

(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（ $U = \sum_i (N_{ri} / N_i)$ ）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 管の強度計算書 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 管の強度計算書
別紙 2 管の基本板厚計算書のフォーマット」による。

V-3-2-9 重大事故等クラス 2 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.....	5
1.4 材料の表示方法	7
2. 重大事故等クラス 2 容器（クラス 1 容器又は原子炉格納容器を除く）の強度計算方法 ...	8
2.1 共通記号の定義	8
2.2 クラス 2 容器の規定に基づく強度計算方法.....	100
2.2.1 円筒型の胴の計算	100
2.2.2 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算.....	111
2.2.3 鏡板の計算	133
2.2.4 平板の計算	22
2.2.5 容器の管板の計算	377
2.2.6 容器の管台の計算	39
2.2.7 開放タンクの計算	400
2.2.8 熱交換器の伝熱管の計算.....	455
2.2.9 穴の補強計算	466
2.2.10 フランジの強度計算	1255
2.3 既工認における評価結果の確認による強度評価方法.....	1388
3. 重大事故等クラス 2 容器であってクラス 1 容器の強度計算方法.....	13939
4. 重大事故等クラス 2 容器であって原子炉格納容器の強度計算方法.....	13939

別紙 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-3-1-6 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」に基づき、重大事故等クラス2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、昭和45年通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示第501号」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））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。））により行う。

告示第501号各条項及び設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 両規格に計算式の規定がないものについては、日本工業規格（以下「J I S」という。）を準用する。J I Sと強度計算書との対応は表1-2に示すとおりである。
- (3) 重大事故等クラス2容器であってクラス1容器の強度評価に当たっては、設計上定める条件である重大事故等時の使用圧力、使用温度及び事故時荷重を上回る既工認における評価結果を確認することにより評価を実施する。
- (4) 重大事故等クラス2容器であって原子炉格納容器の評価に当たっては、設計・建設規格によるクラスMCの規定を準用し評価を実施する。
- (5) 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」

表1-1 告示第501号各条項及び設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号 告示501号 条項	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
(重大事故等クラス2容器) PVC-3100 (容器の胴の規定) PVC-3121 PVC-3122(1)	2.2.1	円筒形の胴の計算
PVC-3150(2)	2.2.2	容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3160 PVC-3162	2.2.9(2)	容器の穴の補強計算 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算
PVC-3200 (容器の鏡板についての規定) PVC-3210(1) PVC-3220 PVC-3221	2.2.3(1)	さら形鏡板の計算
PVC-3210(2) PVC-3223(1)	2.2.3(2)	全半球形鏡板の計算
PVC-3210(3) PVC-3220 PVC-3225	2.2.3(3)	半だ円形鏡板の計算
PVC-3230(2)	2.2.3(4)	容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3240	2.2.9(2)	容器の穴の補強計算
第33条 (容器の平板についての規定) 第1項		平板の計算
PVC-3300 (容器の平板についての規定) PVC-3310 PVC-3320	2.2.4	平板の計算
PVC-3320(2)	2.2.9(2)	容器の穴の補強計算
PVC-3500 (容器の管板についての規定) PVC-3510	2.2.5	容器の管板の計算
PVC-3600 (管台についての規定) PVC-3610 PVC-3610(1) PVC-3610(2)	2.2.6 2.2.8	容器の管台の計算 熱交換器の伝熱管の計算

表1-1 告示第501号各条項及び設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号 告示501号 条項	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PVC-3900（開放タンクについての規定）		
PVC-3920	2.2.7(1)	開放タンクの胴の計算
PVC-3940 PVC-3950	2.2.9(3)	開放タンクの穴の補強計算
PVC-3960 PVC-3970	2.2.7(2)	開放タンクの底板の計算
PVC-3980	2.2.7(3)	開放タンクの管台の計算

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
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」附属書3 (規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」	3 4 5	2. 2. 10	フランジ強度計算* ¹
J I S B 8 2 0 1 (2005) 「陸用鋼製ボイラー構造」	6. 6. 8	2. 2. 4	だ円形マンホール平板の計算* ²

注記 *1：設計・建設規格 PVC-3710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。

*2：J I S B 8 2 0 1 (2005)「陸用鋼製ボイラー構造」(以下「J I S B 8 2 0 1」という。)を用いて計算を行う。

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1-3に示すとおりとする。

表1-3 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	最高使用圧力 (開放タンクを除く)	MPa	—	—	小数点以下第2位
	最高使用圧力 (開放タンク)	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	外面に受ける 最高の圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
許容応力* ¹		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
降伏点* ¹		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm m* ²	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第3位
	開放タンクの水頭及び 管台の内径	m	小数点以下第5位	四捨五入	小数点以下第4位
	ガスケット厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
角度		°	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
慣性モーメント		mm ⁴	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁

注記 *1：設計・建設規格 付録材料図表及び告示第501号 別表に記載された温度の間における許容引張応力及び設計降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。（告示第501号は非SI単位をSI単位に換算する。）ただし，許容引張応力及び設計降伏点が設計・建設規格 付録材料図表及び告示第501号 別表に定められた値のa倍である場合は，次のようにして定める。

(1) 比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て，小数点以下第1位までの値をa倍する。

(2) (1)で得られた値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

*2：開放タンクの胴内径

*3：絶対値が1,000以上のときは，べき数表示とする。

1.4 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・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は次のように表示する。

	相当材記号	相当	(当該材記号)
(例1)	SM400A	相当	(SMA400AP)
(例2)	SCMV3-1	相当	(ASME SA387 Gr. 11C1.1)

- (2) 管材の許容引張応力の値は継目無管，電気抵抗溶接管及び鍛接管等，製造方法により異なる場合があるため材料記号の後に“－”を入れ，その製法による記号を付記して表示する。

(例) STPT410-S（継目無管の場合）

- (3) 強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に 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	〔付録材料図表 Part5 表 5 の許容引張応力の上段〕	SCMV3-1
SCMV3	〔付録材料図表 Part5 表 5 の許容引張応力の下段〕	SCMV3-2

- (4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) S45C（直径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℃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 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. 重大事故等クラス2容器（クラス1容器又は原子炉格納容器を除く）の強度計算方法

2.1 共通記号の定義

重大事故等クラス2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。

設計・建設規格又は告示第501号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
S_y	S_y	材料の設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8による。	MPa
	η	継手の効率 設計・建設規格 PVC-3130 に規定している継手の種類に応じた効率を使用する。設計・建設規格 PVC-3140 に規定している連続した穴がある場合における当該部分の効率については該当するものがないので強度計算書には記載しない。	—
	継手の種類		—
	継手無し	同左	—
	突合せ両側溶接	同左	—
	裏当金（取り除く。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る。）並びにこれと同等以上の効果が得られる方法による溶接	—
	裏当金（取り除かず。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものを除く。）	—
	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	—

設計・建設 規格又は 告示第501号 の記号	計算書 の表示	表示内容	単位
	放射線検査の有無	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 クラス2容器の規定に基づく強度計算方法

2.2.1 円筒型の胴の計算

重大事故等クラス2容器については，設計建設規格 PVC-3121, PVC-3122(1)を適用する。容器の形状は設計・建設規格 PVC-3111に適合する円筒形とする。また，容器の継手は，設計・建設規格 PVC-3112に適合する溶接継手又は，フランジ継手を使用する。

(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
D_i	D_i	胴の内径	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
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の材料による制限最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の実際使用最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm

(2) 算式

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 胴の材料による制限最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては3 mm，その他の材料で作られたものにあつては1.5 mmとする。

- b. 内面に圧力を受ける胴： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

(3) 評価

胴の最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 胴に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.2 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算

重大事故等クラス2容器については、設計・建設規格PVC-3150(2)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
D	D	穴の中心における胴の外径	mm
	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数 ただし $K \leq 0.99$	—
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t_s	t_s	胴の実際使用最小厚さ	mm
η	η	穴が長手継手を通る場合はその継手の効率, その他の場合は1.00	—

(2) 算式

胴の補強を要しない穴の最大径は、次のa項及びb項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。ここで、胴の補強を要しない穴は、円形又はだ円形とする。

- a. 穴の径が61 mm以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

- b. 穴の径が200 mm以下で、かつ、クラス2容器は設計・建設規格 図PVC-3150-1及びPVC-3150-2により求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_s \cdot (1 - K)}$$

Kは、次の式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

- (a) 円筒形の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_s}$$

(3) 評価

穴の径＞補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は，穴の補強計算を行わない。

2.2.3 鏡板の計算

(1) さらに形鏡板の計算

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3210(1), PVC-3220を適用する。

a. 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
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
	D_{oc}	鏡板の外径	mm
R	R	鏡板の中央部における内面の半径	mm
r	r	鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm
W	W	さらに形鏡板の形状による係数	—

b. 形状の制限

$D_{oc} \geq R$, $r \geq 3 \cdot t_{co}$, $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$, $r \geq 50\text{mm}$ であること。

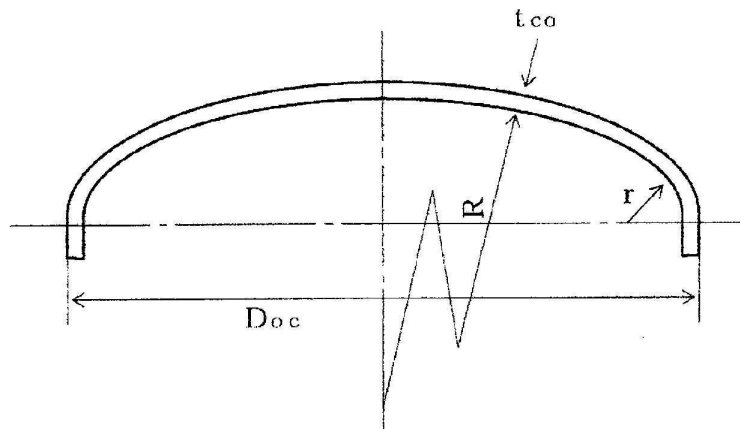


図2-1 さらに形鏡板の形状

c. 算式

さら形鏡板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a) 中低面に圧力を受ける鏡板： t_1 ， t_2

イ. フランジ部： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

ロ. 鏡板： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

d. 評価

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

(2) 全半球形鏡板の計算

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3210(2), PVC-3220及びPVC-3223(1)を適用する。

a. フランジ部を有する場合

(a) 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
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
R	R	鏡板の内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

(b) 形状

全半球形であること。

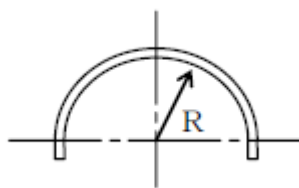


図2-2 全半球形鏡板の形状

(c) 算式

イ. 中低面に圧力を受ける鏡板： t_1 , t_2

(イ) フランジ部： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

(ロ) 鏡板： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

(d) 評価

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

b. フランジ部を有しない場合

(a) 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
R	R	鏡板の内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
t	t	鏡板に必要な厚さ	mm
	t ₁	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

(b) 形状

全半球形であること。

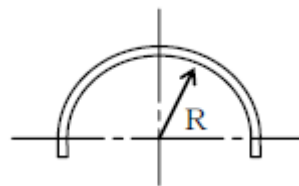


図2-3 全半球形鏡板の形状

(c) 算式

中低面に圧力を受ける全半球形鏡板に必要な厚さ t_1 は、次に掲げる値とする。

$$t_1 = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

(d) 評価

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

(3) 半だ円形鏡板の計算

重大事故等クラス 2 容器については設計・建設規格 PVC-3210(3), PVC-3220及び PVC-3225を適用する。

(a) 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
D_i	D_i	鏡板が取り付けられる胴の内径	mm
D	D_{iL}	鏡板の内面における長径	mm
h	h	鏡板の内面における短径の 2 分の 1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

(b) 形状

$$\frac{D_{iL}}{2 \cdot h} \leq 2 \text{ であること。}$$

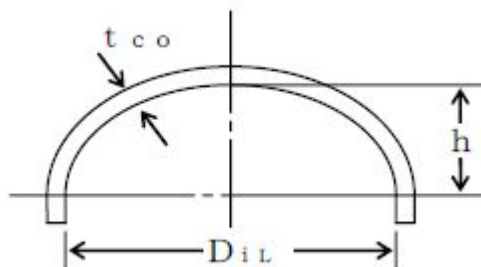


図2-4 半だ円形鏡板の形状

(c) 算式

半だ円形鏡板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

イ. 中低面に圧力を受ける鏡板： t_1 , t_2

(イ) フランジ部： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

(ロ) 鏡板： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_{iL} \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

$$\text{ただし, } K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D_{iL}}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(d) 評価

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

(4) 容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3230(2)を適用する。

(a) 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
D	D	鏡板のフランジ部の外径。ただし円すい形鏡板にあつては、円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の外径	mm
d	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数 ただし $K \leq 0.99$	—
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
η	η	穴が継手を通る場合はその継手の効率。その他の場合は 1.00	—

(b) 算式

鏡板の補強を要しない穴の最大径は、次のイ項及びロ項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

イ. 穴の径が61 mm以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_c}{4}$$

ロ. 穴の径が200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図PVC-3150-1及び図PVC-3150-2により求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_c \cdot (1 - K)}$$

Kは、次の式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

(イ) さらに形鏡板及び半だ円形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

(ロ) 全半球鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{3.64 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

(c) 評価

穴の径>補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は、穴の補強計算を行わない。

2.2.4 平板の計算

2.2.4.1 円形平板の計算

重大事故等クラス2容器については告示第501号 第33条 第1項又は設計・建設規格 PVC-3310及びPVC-3320を適用する。

(1) 記号の定義

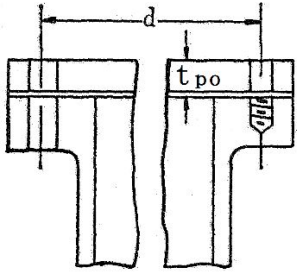
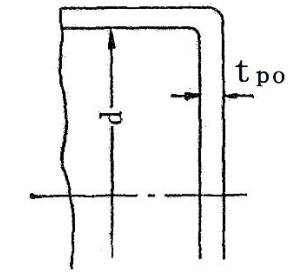
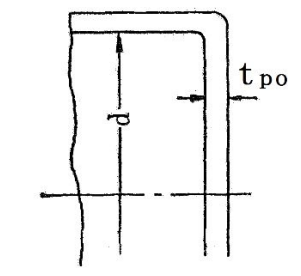
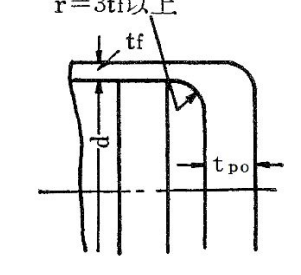
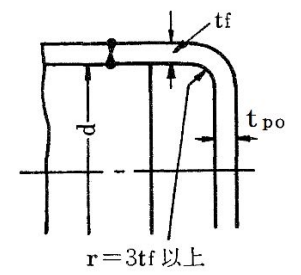
告示第501号, 設計・建設規格, J I Sの記号	計算書の 表示	表示内容	単位
A_B	A_B	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8265 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d, G	d	クラス2容器は告示第501号 第33条第1項に記載される表, 設計・建設規格 表 PVC-3310-1, に規定する方法によって測った平板の径又は最小内径 (ガスケットの場合 $d = G$)	mm
d_b	d_b	平板の断面に現れる穴の径 (だ円穴の場合は長径)	mm
	d_h	平板の断面に現れる穴の径 (だ円穴の場合は長径)	mm
D_g	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
G_s	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_g	h_g	モーメントアームでボルトのピッチ円の直径と d との差の2分の1	mm
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジ部の長さ	mm
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8265 附属書3 表2による。)	—

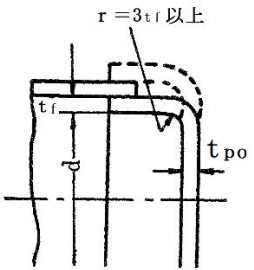
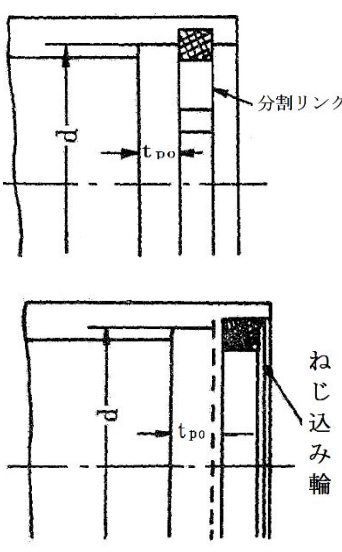
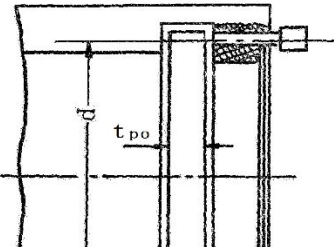
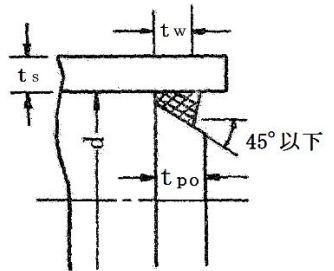
告示第501号, 設計・建設規格, J I Sの記号	計算書の 表示	表示内容	単位
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第501号 別表第4 又は別表第5, 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 告示第501号 別表第4 又は別表第5, 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 告示第501号 別表第4 又は別表第5, 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	胴又は管の最小厚さ	mm
t_r	t_{sr}	胴又は管の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_w	t_w	設計・建設規格 表 PVC-3310-1 及び表 PVD-3310-1 による。	mm
t_{w1}	t_{w1}	設計・建設規格 表 PVC-3310-1 及び表 PVD-3310-1 による。	mm
t_{w2}	t_{w2}	設計・建設規格 表 PVC-3310-1 及び表 PVD-3310-1 による。	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N

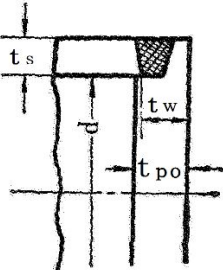
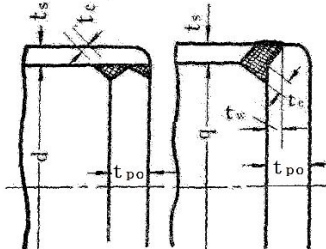
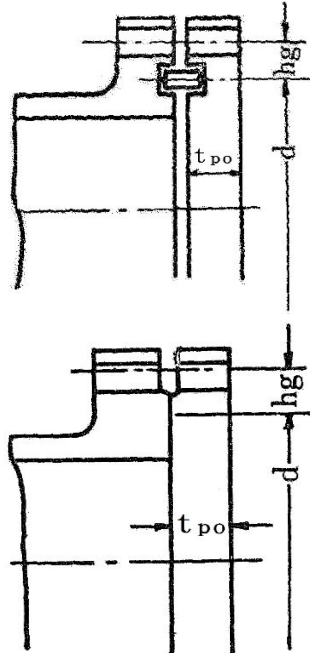
告示第501号, 設計・建設規格, J I Sの記号	計算書の 表示	表示内容	単位
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	ガスケット 座面の形状	ガスケット座面の形状 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	—

(2) 形状の制限

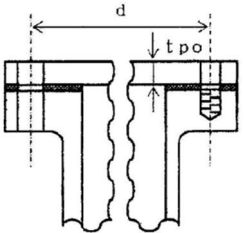
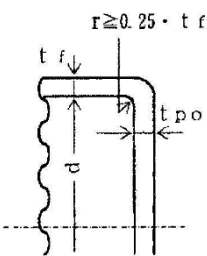
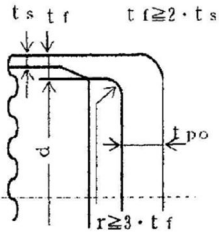
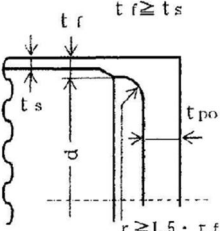
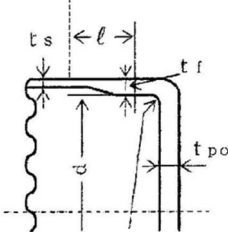
a. 告示第501号（第33条第1項）

取付け方法	形状の制限
(a) 	無し
(b) 	$d \leq 600 \text{ mm}$, $t_{po} \geq d/20$ であること。
(c) 	$d \leq 600 \text{ mm}$, $t_{po} \geq d/20$ であること。
(d) 	$r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(e) 	$d \leq 600 \text{ mm}$, $t_{po} \geq d/20$, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。

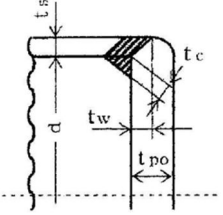
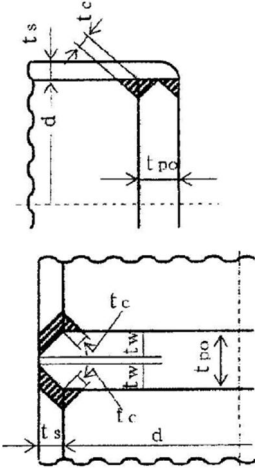
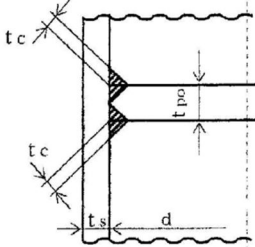
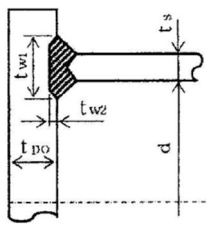
	取付け方法	形状の制限
(f)		$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(g)		$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。
(h)		$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。
(i)		$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること

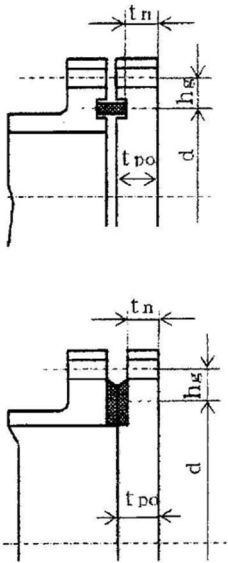
取付け方法	形状の制限
(j)	 $t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること
(k)	 $t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6)$ であること。
(l)	 無し
(m)	その他の場合 無し

b. 設計・建設規格 (PVC-3310)

取付け方法	形状の制限
(a)	
(b)	 $r \geq 0.25 \cdot t_f$
(c)	 $t_f \geq 2 \cdot t_s$
(d)	 $r \geq 1.5 \cdot t_f$
(e)	 溶接部中心 $r \geq 3 \cdot t_f$

取付け方法	形状の制限
(f)	$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。
(g)	$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。
(h)	$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること
(i)	$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_{w1} \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$ であること。

取付け方法	形状の制限
(j)(1)	 $t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_{po}),$ $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6) \text{ であること。}$
(j)(2)	 $t_w \geq \text{Min}(1.0 \cdot t_s, 0.5 \cdot t_{po}),$ $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6) \text{ であること。}$
(k)	 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6) \text{ であること。}$
(ℓ)	 $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s,$ $(t_{w2} = 0 \text{ を含む。})$ $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ 以上 ($t_{w2} = 0$ を含む。)

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. 告示第501号

(a) 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法 第33条 第1項	Kの値
(a)	0.20
(b)	
(c)	
(d)	0.25
(e)	
(f)	0.30
(g)	
(h)	
(i)	0.50
(j)	
(k)	
(ℓ)	$0.30 + \frac{1.4 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d} \quad *1$
(m)	0.75

注記 *1 : 2.2.10項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。

Fは W_o と W_g のいずれか大きい方、 h_g は h_G 、WはH、dはG(セルフシー
ルガasketを用いる場合は D_g)とする。

- (b) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で容器の胴の穴の補強に準じて補強するものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

この場合において、平板の補強に用いる必要厚さ（ t_{pr} ）は t とし、かつ、補強に有効な面積は、補強に必要な面積の2分の1以上とする。

- (c) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で(b)項以外のものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、平板の取付け方法が、(ℓ) の場合を除き、 K の値が0.375を超えるときはその値を0.375とする。

- (d) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1を超えるものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

b. 設計・建設規格

(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(0.2, 0.33・m) ここで, $m = t_{sr} / t_s$
(e)	0.17 0.10 ^{*1}
(f)	0.20
(g)	
(h)	Max(0.2, 0.33・m) ここで, $m = t_{sr} / t_s$
(i)	0.33
(j)(1)	Max(0.2, 0.33・m) ここで, $m = t_{sr} / t_s$
(j)(2)	
(k)	
(l)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし, t_n の厚さにあつては $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ^{*2}
(n)	0.50

注記 *1: 取付け方法(e)において t_f から t_s へ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり, かつ, 以下の①又は②いずれかの場合, $K=0.10$ とする。

$$\textcircled{1} \quad 1 \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f} \text{ の場合}$$

$$\textcircled{2} \quad t_s \text{ が } 2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s} \text{ 以上の長さにわたって}$$

$$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}} \text{ の場合}$$

*2: 2.2.10項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。

Fは W_o と W_g のいずれか大きい方, h_g は h_G , WはH, dはG(セルフシールガasketを用いる場合は D_g)とする。

- (b) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で容器の胴の穴の補強に準じて補強するものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

この場合において、平板の補強に用いる必要厚さ（ t_{pr} ）は t とし、かつ、補強に有効な面積は、補強に必要な面積の2分の1以上とする。

- (c) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で(b)項以外のものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、平板の取付け方法が、(m) の場合を除き、 K の値が0.375を超えるときはその値を0.375とする。

- (d) 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1を超えるものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ（ t_p ） $\geq$ 平板の計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.4.2 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8201 6.6.8 項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

(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	穴の長径	mm
b	b	穴の短径	mm
c	c	穴の短径と長径との比によって定まる係数 (J I S B 8201 図 6.20 による。)	—
t	t	マンホール平板に必要な厚さ	mm
	t ₁	マンホール平板の計算上必要な厚さ	mm
	t ₂	マンホール平板の中央部の規格上必要な最小厚さ	mm
	t _p	マンホール平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	マンホール平板の呼び厚さ	mm
α	α	付け代で、1 mm 以上とする。ただし、取替えのできるマンホール平板にあっては、0 とする。	mm
σ _a	σ _a	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

(2) 算式

だ円形マンホール平板の計算上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. 平板の計算上必要な厚さ：t₁

$$t_1 = \frac{5 \cdot b}{c} \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_a}} + \alpha$$

- b. 規格上必要な最小厚さ：t₂

平板の中央部の厚さは 14 mm 以下としてはならない。

(3) 評価

マンホール平板の最小厚さ (t_p) ≧ マンホール平板に必要な厚さ (t) ならば十分である。

2.2.5 容器の管板の計算

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3510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	A	管板に取り付けられる任意の管の中心が囲む面積	mm ²
D	D	パッキンの中心円の径（胴と一体となった管板にあつては、胴の内径）	mm
	d _t	管の外径	mm
F	F	管及び管板の支え方による係数	—
L	L	面積Aの周のうち穴の径以外の部分の長さ	mm
P	P	計算上必要な厚さが大きい値の方の最高使用圧力	MPa
	P _t	管穴の中心間の距離	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
	t	管板に必要な厚さ	mm
t	t ₁	管板の計算上必要な厚さ	mm
t	t ₂	管板の計算上必要な厚さ	mm
	t _b	管板の最小厚さ	mm
	t _{bo}	管板の呼び厚さ	mm
	t _s	胴と管板が一体となっている場合の胴の最小厚さ	mm
	z	管穴の中心間に必要な距離	mm
	伝熱管の形式		
	直管	同左	—
	U字管	同左	—
	管板の支え方		
	管側胴と一体でない。	同左	—
	管側胴と一体である。	同左	—
	胴側胴と一体でない。	同左	—
	胴側胴と一体である。	同左	—

(2) 形状の制限

$P_t \geq z$, $z = d_t + 0.25 \cdot d_t$ であること。

(3) 算式

管板の計算上必要な厚さは、次の式により計算したいずれか大きい方の値（10 mm未満の場合は10 mm）とする。

$$t_1 = \frac{F \cdot D}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{S}}$$

$$t_2 = \frac{P}{0.85 \cdot S} \cdot \left(\frac{A}{L} \right)_{\text{Max}}$$

ここで $\left(\frac{A}{L} \right)_{\text{Max}}$ は $\left(\frac{A}{L} \right)$ の最大値であり、通常一番外側の管穴の中心を順次結んで

得られる多角形が最大値となる。

以下にA及びLの取り方の例を示す。

Aは、一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の面積（図2-5参照）

Lは、一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の外周の長さから外周上の管穴の直径の合計を差し引いた長さ

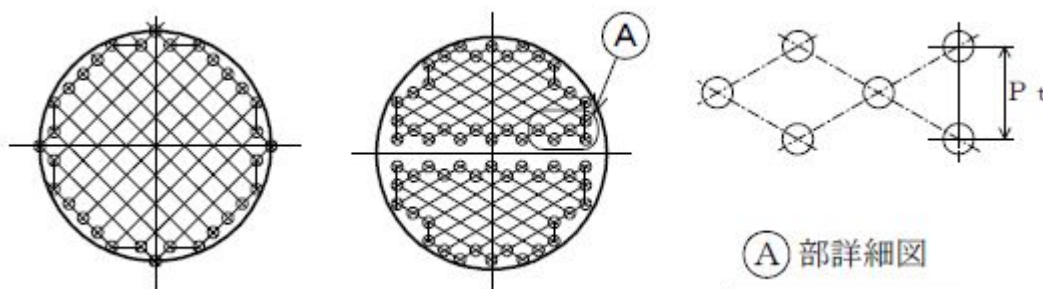


図2-5 管板の計算に用いる多角形

なお、計算は管側と胴側各々の条件に対して行い、計算上必要な厚さが大きい側の結果を強度計算書に記載する。

(4) 評価

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

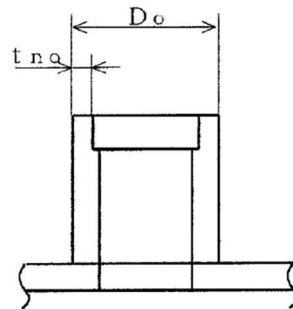
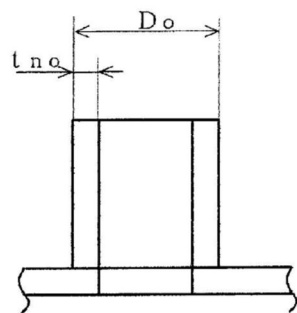
2.2.6 容器の管台の計算

重大事故等クラス2 容器については設計・建設規格 PVC-3610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
D_o	D_o	管台の外径*	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 による。	MPa
t	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_3	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm

注記 *：管台の外径及び呼び厚さは，下図参照。



本図は，管台の外径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり，管台の取付け形式を示すものではない。

(2) 算式

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 内面に圧力を受ける管台： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- b. 規格上必要な最小厚さ： t_3

炭素鋼鋼管を使用する管台にあつては，管台の外径に応じて設計・建設規格 表 PVC-3610-1より求めた管台の厚さとする。

(3) 評価

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

2.2.7 開放タンクの計算

(1) 開放タンクの胴の計算

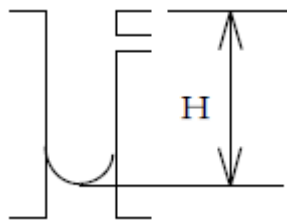
重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3920を適用する。

a. 記号の定義

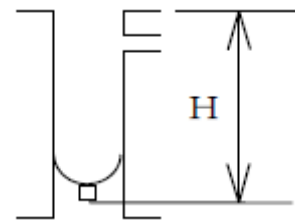
設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭*	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6 による。	MPa
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし、1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

注記 *：開放タンクの水頭の取り方は、強度評価上は次のいずれかとする。

- ① タンク上部フランジ上端又はタンク胴板上端より底板内側まで
- ② 底板に管台が取り付けの場合は、第1溶接継手まで



①の場合



②の場合

なお、この水頭の取り方は、底板及び管台の計算で用いる水頭も同じである。

b. 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、胴の内径の区分に応じ設計・建設規格表PVC-3920-1より求めた胴の厚さとする。

c. 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) 開放タンクの底板の計算

重大事故等クラス2容器（クラス2容器）については設計・建設規格 PVC-3960及びPVC-3970を適用する。

a. 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
H	H	水頭	m
	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c. (b)項の場合の記号の説明で上記以外の記号については、鏡板又は平板の項を参照のこと。ただし、鏡板の計算にあつては、 t_b を t_c 、 t_{bo} を t_{co} に読み替える。

b. 形状の制限

次のいずれかであること。

(a) 平板

(b) 設計・建設規格に規定されている鏡板

c. 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 PVC-3970(1)により6 mm以上とする。

- (b) 上記以外のものの底板に必要な厚さ： t

設計・建設規格 PVC-3970(2)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。

$$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$$

イ. 鏡板

設計・建設規格 PVC-3970(2)より，設計・建設規格 PVC-3220を準用する。

さら形鏡板にあつては，2.2.3(1)項「さら形鏡板の計算」による厚さとする。

全半球形鏡板にあつては，2.2.3(2)項「全半球形鏡板の計算」による厚さとする。

半だ円形鏡板にあつては，2.2.3(3)項「半だ円形鏡板の計算」による厚さとする。

ロ. 平板

設計・建設規格 PVC-3970(2)より，設計・建設規格 PVC-3310を準用する。

2.2.4項「平板の計算」による厚さとする。

d. 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。

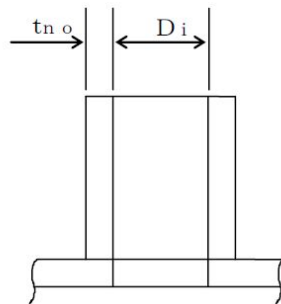
(3) 開放タンクの管台の計算

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3980を適用する。

a. 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
D_i	D_i	管台の内径*	m
H	H	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図書 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	管台に必要な厚さ	mm
t	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし、1.00 未満の場合は1.00 とする。	—

注記 * : 管台の内径及び呼び厚さは、下図参照。



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。

b. 算式

開放タンクの管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a) 管台の計算上必要な厚さ : t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

(b) 規格上必要な最小厚さ : t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格 表PVC-3980-1より求めた管台の厚さとする。

c. 評価

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。

2.2.8 熱交換器の伝熱管の計算

重大事故等クラス2容器の熱交換器の伝熱管については設計・建設規格 PVC-3610(1)及びPVC-3610(2)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
B	B	設計・建設規格 付属材料図表 Part7 図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_2 となる。）	—
D_o	D_o	伝熱管の外径	mm
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
	t	伝熱管に必要な厚さ	mm
t	t_1	内圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	外圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
	t_t	伝熱管の最小厚さ	mm
	t_{to}	伝熱管の呼び厚さ	—

(2) 算式

伝熱管に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 内面に圧力を受ける伝熱管： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- b. 外面に圧力を受ける伝熱管： t_2

設計・建設規格 図PVC-3610-1より P_e 及びSに対応して求めた厚さ。ただし、図より求められない場合は、次の式により計算した値とする。

$$t_2 = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B}$$

(3) 評価

伝熱管の最小厚さ（ t_t ） $\geq$ 伝熱管に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.2.9 穴の補強計算

(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	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	mm^2
	A_{j0}	大きい穴の補強に有効な総面積	mm^2
	A_{j1}	大きい穴の胴、鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j2}	大きい穴の管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j3}	大きい穴のすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j4}	大きい穴の強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
A_r	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、最小内のり断面に現われる穴の径	mm
	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

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	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
A_r	PLATE—	管台のない平板形式（図 2-25 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
B	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
	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

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	S_{w3}	突合せ溶接部の許容引張応力	MPa
	S_{w4}	管台壁の許容せん断応力	MPa
t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	穴の補強計算に用いる鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_e	強め板の最小厚さ	mm
t_n	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ	mm
t_{nr}	t_{nr}	管台の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_p	平板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W_1^{*2}	$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N
	W_2^{*2}	$W_2 = (d \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$ 又は $W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$	N
	W_{e1}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の外側）	N
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の内側）	N
	W_{e3}	すみ肉溶接部のせん断力（強め板取付部）	N
	W_{e4}	突合せ溶接部のせん断力（胴，鏡板又は平板と強め板との突合せ部）	N
	W_{e5}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e5D}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e6}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径 D_{on} において）	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径 d_w において）	N
	W_{e8}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径 D_{on} において）	N
	W_{e9}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径 d_w において）	N
	W_{e10}	管台のせん断力	N
	W_{e11}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部の胴，鏡板又は平板の部分径 d_w より外側）	N

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
η	W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp4}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp5}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp6}	予想される破断箇所の強さ	N
	WELD-	管台溶接形式 (図 2-6～図 2-24 を参照)	—
	X	補強の有効範囲 (胴, 鏡板又は平板の面に沿った方向)	mm
	X_1	補強の有効範囲	mm
	X_2	補強の有効範囲	mm
	X_j	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j1}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j2}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	Y_1	補強の有効範囲 (胴, 鏡板又は平板より外側)	mm
	Y_2	補強の有効範囲 (胴, 鏡板又は平板より内側)	mm
	η	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: 重大事故等クラス 2 容器については設計・建設規格 図PVC-4212-3による。

*2: 本記号の表示内容は胴の場合を示す。

なお, 鏡板の場合は S_s を S_c , t_{sr} を t_{cr} に読み替える。平板の場合は, S_s を S_p , d を d_h , t_{sr} を t_{pr} に読み替える。

(2) 容器の穴の補強計算

「補強は、穴の中心を含み、かつ、胴板の面に垂直な任意の平面に現れる断面について、補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きい」ことを確認する。また、破断が想定される溶接部の強さが溶接部の負うべき荷重より大きいことを確認する。

なお、穴の補強計算上必要のない強め板を取り付けるものもあるが、その場合は強め板があるものとして計算する。

a. 胴の場合（設計・建設規格 PVC-3160）

重大事故等クラス2容器については、設計・建設規格 PVC-3160を適用する。

(a) 管台の形式

図2-6～図2-24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

イ. 補強に必要な面積

(イ) 円筒形の胴の場合

①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

$$A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F$$

②管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F + 2 \cdot \left(1 - S_n / S_s\right) \cdot t_{sr} \cdot F \cdot t_n$$

（ $S_n / S_s > 1$ の場合は $S_n / S_s = 1$ とする。以下、胴の場合において同じ。）

ロ. 補強に有効な範囲（設計・建設規格 PVC-3161.1）

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d, d/2 + t_s + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n)$$

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。

ハ. 補強に有効な面積

設計・建設規格 PVC-3161.2 を適用する。

（イ） 胴の部分の補強に有効な面積

① 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

$$A_1 = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X - d)$$

② 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

① 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

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 \cdot S_n/S_s$$

② 管台が胴の内側に突出している場合

$$A_2 = 2 \cdot \left\{ (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 + t_n \cdot Y_2 \right\} \cdot S_n/S_s$$

ただし、

$$t_{nr} = \frac{P \cdot (D_{on} - 2 \cdot t_n)}{2 \cdot S_n - 1.2 \cdot P}$$

(ハ) すみ肉溶接部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

$$A_4 = \{ \text{Min}(B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_s$$

($S_e / S_s > 1$ の場合は $S_e / S_s = 1$ とする。以下、胴の場合において同じ。)

(ホ) 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

二. 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 PVC-3165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

①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

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

・管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{ \text{Min}(X_1, X_2) - d/2 \} - (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot t_n$$

②管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D} = A_2/2$$

③すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D} = A_3/2$$

④強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D} = A_4/2$$

⑤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 PVC-3164を適用する。

イ. 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。

ロ. 大きい穴の補強における管台の形式

図2-26～図2-44に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

ハ. 大きい穴の補強に必要な面積

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

ニ. 大きい穴の補強に有効な範囲

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

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

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。

ホ. 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

①管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びWELD-8, 22, 38の場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X_j - d)$$

②管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n/S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

(ロ) 管台の部分の補強に有効な面積

①管台が胴の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22, 38の場合

$$A_{j2} = 2 \cdot \left\{ \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} - t_{nr} \right\} \cdot Y_1 \cdot \frac{S_n}{S_s}$$

②管台が胴の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot \left[\left\{ \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} - t_{nr} \right\} \cdot Y_1 + \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} \cdot Y_2 \right] \cdot \frac{S_n}{S_s}$$

(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 PVC-3168及びPVC-3169を適用する。

イ. 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。

$$\text{よって, } W = \text{Min}(W_1, W_2)$$

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。

(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

$$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$$

$$W_2 = (d \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$$

(ロ) 管台の一部分が胴の一部となっている場合

$$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$$

$$W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$$

ロ. 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_s \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_s \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_s \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_s, S_n) \cdot F_4$$

ハ. 継手部の強さ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-14, 44以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-14, 44の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

ニ. 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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(チ) WELD-9, 39の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

(リ) WELD-11, 41の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ヌ) WELD-12, 42の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ル) WELD-13, 43の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5D}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}$$

(ヲ) WELD-14, 44の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ワ) WELD-14' の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(カ) WELD-15, 16, 22, 45, 46の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(コ) WELD-17の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ク) WELD-18, 48の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(レ) WELD-19, 19', 49の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ホ. 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。

$$A_o > A_r$$

$$A_{oD} > A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

$$A_{jo} > A_{jr} \quad (\text{ただし, 大きい穴の補強を要する場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

b. 鏡板の場合

設計・建設規格 PVC-3240を適用する。

(a) 管台の形式

図2-6～図2-24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

イ. 補強に必要な面積

設計・建設規格 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3161.3準用）を適用する。

(イ) 半だ円形鏡，さら形鏡板及び全半球鏡板の場合

①管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びW E L D-38の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr} \cdot F$$

②管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_r = d \cdot t_{cr} \cdot F + 2 \cdot \left(1 - S_n / S_c\right) \cdot t_{cr} \cdot F \cdot t_n$$

ただし， t_{cr} は次による。

さら形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad (W=1.00, \eta=1.00とする。)$$

半だ円形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

全半球形鏡板にあって（厚さが内半径の0.356倍以下のもの），中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

ロ. 補強に有効な範囲

設計・建設規格 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3161.1準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d, d/2 + t_c + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

また、強め板がない場合には $t_e = 0$ とする。

ハ. 補強に有効な面積

設計・建設規格 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3161.2準用）を適用する。

(イ) 鏡板の部分の補強に有効な面積

① 管台の一部が鏡板の部分となっていない場合及び WELD-38 の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X - d)$$

② 管台の一部が鏡板の部分となっている場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X - d) - (1 - S_n/S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

(ロ) 管台の部分の補強に有効な面積

① 管台が鏡板の内側に突出していない場合及び WELD-8, 22, 38 の場合

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 \cdot S_n/S_c$$

② 管台が鏡板の内側に突出している場合

$$A_2 = 2 \cdot \left\{ (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 + t_n \cdot Y_2 \right\} \cdot S_n/S_c$$

ただし,

$$t_{nr} = \frac{P \cdot (D_{on} - 2 \cdot t_n)}{2 \cdot S_n - 1.2 \cdot P}$$

(ハ) すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3 = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし、補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

(ニ) 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4 = \{ \text{Min}(B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_c$$

($S_e / S_c > 1$ の場合は $S_e / S_c = 1$ とする。以下、鏡板の場合において同じ。)

(ホ) 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

二. 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 PVC-3241 (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

①鏡板の部分の補強に有効な面積

・管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及び WELD-8, 22, 38 の場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot \{ \text{Min}(X_1, X_2) - d/2 \}$$

・管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot \{ \text{Min}(X_1, X_2) - d/2 \} - (1 - S_n / S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot t_n$$

②管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D} = A_2/2$$

③すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D} = A_3/2$$

④強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D} = A_4/2$$

⑤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 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3164準用）を適用する。

イ. 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。

ロ. 大きい穴の補強における管台の形式

図2-26～図2-44に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

ハ. 大きい穴の補強に必要な面積

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

ニ. 大きい穴の補強に有効な範囲

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

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

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。

ホ. 大きい穴の補強に有効な面積

(イ) 鏡板の部分の補強に有効な面積

①管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びWELD-8, 22, 38の場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d)$$

②管台の一部分が鏡板の一部となっている場合

$$A_{j1} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n/S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) (X_j - d) - (1 - S_n/S_c)$$

(ロ) 管台の部分の補強に有効な面積

①管台が鏡板の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22, 38の場合

$$A_{j2} = 2 \cdot \left\{ \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} - t_{nr} \right\} \cdot Y_1 \cdot \frac{S_n}{S_c}$$

②管台が鏡板の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot \left[\left\{ \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} - t_{nr} \right\} \cdot Y_1 + \frac{\text{Min}(X_j, D_{on}) - d}{2} \cdot Y_2 \right] \cdot \frac{S_n}{S_c}$$

(ハ) すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{j3} = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし、大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

(ニ) 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4 = \{\text{Min}(B_e, X_j) - D_{on}\} \cdot t_e \cdot S_e / S_c$$

(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 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3168及びPVC-3169準用）を適用する。

イ. 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。

$$よって, W = \text{Min}(W_1, W_2)$$

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。

(イ) 管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びWE L D-8, 22, 38の場合

$$W_1 = \text{Min}(A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_c$$

$$W_2 = (d \cdot t_{cr} - A_1) \cdot S_c$$

(ロ) 管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$W_1 = \text{Min}(A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_c$$

$$W_2 = (d_w \cdot t_{cr} - A_1) \cdot S_c$$

ロ. 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_c \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_c \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_c \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_c, S_n) \cdot F_4$$

ハ. 継手部の強さ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_c \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-6, 36の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-14, 44以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WELD-14, 44の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

ニ. 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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(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-14' の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(カ) WELD-15, 16, 22, 45, 46の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(コ) WELD-17の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ク) WELD-18, 48の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(レ) WELD-19, 19', 49の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \dots\dots\dots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ホ. 評価

鏡板の穴の補強は、下記の条件を満足すれば十分である。

$$A_0 > A_r$$

$$A_{0D} > A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

$$A_{j0} > A_{jr} \quad (\text{ただし, 大きい穴の補強を要する場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

c. 平板の場合

設計・建設規格 PVC-3320 (2) を適用する。

(a) 管台の形式

図2-6～図2-15及び図2-25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

イ. 補強に必要な面積

設計・建設規格 PVC-3320 (2) (設計・建設規格 PVC-3161.3 準用) を適用する。

(イ) 管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びWE L D-8, 22の場合

$$A_r = d_h \cdot t_{pr}$$

(ロ) 管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_r = d_h \cdot t_{pr} + 2 \cdot \left(1 - S_n / S_p\right) \cdot t_{pr} \cdot t_n$$

($S_n / S_p > 1$ の場合は $S_n / S_p = 1$ とする。以下，平板の場合において同じ。)

ロ. 補強に有効な範囲

設計・建設規格 PVC-3320(2) (設計・建設規格 PVC-3161.1準用) を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d_h, d_h/2 + t_p + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし、構造上計算した有効範囲がとれない場合は、構造上取り得る範囲とする。

また、強め板がない場合は $t_e = 0$ とする。

ハ. 補強に有効な面積

設計・建設規格 PVC-3320(2) (設計・建設規格 PVC-3161.2準用) を適用する。

(イ) 平板の部分の補強に有効な面積

①管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びWELD-8, 22の場合

$$A_1 = (t_p - t_{pr}) \cdot (X - d_h)$$

②管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_1 = (t_p - t_{pr}) \cdot (X - d) - (1 - S_n/S_p) \cdot (t_p - t_{pr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

(ロ) 管台の部分の補強に有効な面積

①管台が平板の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22の場合

$$A_2 = 2 \cdot (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 \cdot S_n/S_p$$

②管台が平板の内側に突出している場合

$$A_2 = 2 \cdot \{ (t_n - t_{nr}) \cdot Y_1 + t_n \cdot Y_2 \} \cdot S_n/S_p$$

ただし、

$$t_{nr} = \frac{P \cdot (D_{on} - 2 \cdot t_n)}{2 \cdot S_n - 1.2 \cdot P}$$

(ハ) すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_3 = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし、補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

(ニ) 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_4 = \{ \text{Min}(B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_p$$

($S_e / S_p > 1$ の場合は $S_e / S_p = 1$ とする。以下、平板の場合において同じ。)

(ホ) 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

二. 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 PVC-3320(2) (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

①平板の部分の補強に有効な面積

・管台の一部分が平板の部分となっていない場合及び WELD-8, 22 の場合

$$A_{1D} = (t_p - t_{pr}) \cdot \{ \text{Min}(X_1, X_2) - d_h / 2 \}$$

・管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_{1D} = (t_p - t_{pr}) \cdot \{ \text{Min}(X_1, X_2) - d_h / 2 \} - (1 - S_n / S_p) \cdot (t_p - t_{pr}) \cdot t_n$$

②管台の部分の補強に有効な面積

$$A_{2D} = A_2/2$$

③すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{3D} = A_3/2$$

④強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{4D} = A_4/2$$

⑤補強に有効な総面積

$$A_{0D} = A_{1D} + A_{2D} + A_{3D} + A_{4D}$$

(c) 溶接部の強度

設計・建設規格 PVC-3320(2) (設計・建設規格 PVC-3168及びPVC-3169準用)
を適用する。

イ. 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

$$\text{よって, } W = \text{Min}(W_1, W_2)$$

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。

(イ) 管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びWELD-8, 22の場合

$$W_1 = \text{Min}(A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_p$$

$$W_2 = (d \cdot t_{pr} - A_1) \cdot S_p$$

(ロ) 管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$W_1 = \text{Min}(A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_p$$

$$W_2 = (d_w \cdot t_{pr} - A_1) \cdot S_p$$

ロ. 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_p \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_p \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_p \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_p, S_n) \cdot F_4$$

ハ. 継手部の強さ

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

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

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

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

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

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

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_p \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-5, 6, 14\text{以外の場合})$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-5, 6, 14\text{の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_p \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-6\text{以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-6\text{の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-14\text{以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \dots\dots\dots (\text{WEL D}-14\text{の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d_h}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) WELD-1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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(チ) WELD-9の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

(リ) WELD-11の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ヌ) WELD-12の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ル) WELD-13の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5D}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e5}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}$$

(ヲ) WELD-14の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{ebp3} = \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(ワ) WELD-15, 16, 22の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(カ) WELD-17の場合

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(コ) WELD-18の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

(ク) WELD-19, 19'の場合

$$\begin{aligned}
 W_{ebp1} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e8}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp2} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7} \\
 W_{ebp3} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \\
 &\quad \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2} \\
 W_{ebp4} &= \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10} \\
 W_{ebp5} &= \textcircled{W_{e9}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7} \\
 W_{ebp6} &= \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}
 \end{aligned}$$

ホ. 評価

平板の穴の補強は，下記の条件を満足すれば十分である。

$$A_{0D} > A_r$$

$$A_{0D} > A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

(3) 開放タンクの穴の補強計算

重大事故等クラス 2 容器については設計・建設規格 PVC-3940及びPVC-3950を適用する。

ただし，穴の径が85 mm以下の場合は計算を行わない。

ここで，最高使用圧力 P は，次の式による値とする。

$$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$$

開放タンクの胴に穴を設ける場合は，2.2.9(2) 項「容器の穴の補強計算」を適用する。

(5) 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

重大事故等クラス2容器については、設計・建設規格 PVC-3162を適用する。

a. 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_{cr}	鏡板の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm

b. 算式

2以上の穴が接近しているためそれぞれの補強に有効な範囲が重なり合うときは次による。

$$d = 1.5 \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$$

$$A_r = 0.5 \cdot (A_{r1} + A_{r2})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{sr} \cdot F \quad (\text{胴の補強計算の場合})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{cr} \cdot F \quad (\text{鏡板の補強計算の場合})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{pr} \cdot F \quad (\text{平板の補強計算の場合})$$

$$A_d = A_1 + A_2$$

c. 評価

下記の条件を満足すれば十分である。

$$l \geq d, A_{rs} \geq A_r, A_d \geq A_s$$

ここで、各形式図（図2-6～図2-44）において、胴、鏡板又は平板の最小厚さ及び穴の補強計算に用いる計算上必要な厚さは、それぞれ胴の場合は t_s , t_{sr} , 鏡板の場合は t_c , t_{cr} , 平板の場合は t_p , t_{pr} と読替えを行う。

また、各形式図中の d は、平板の場合は d_h と読替えを行う。

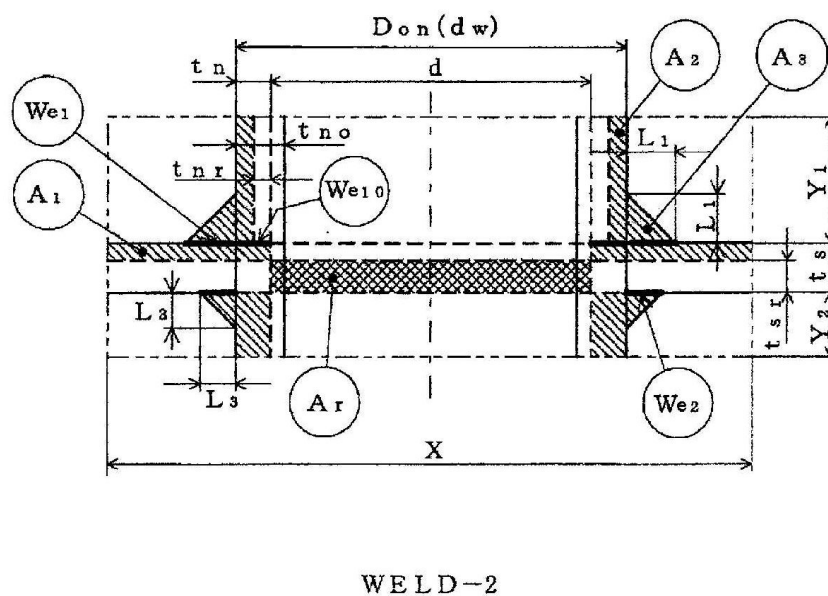
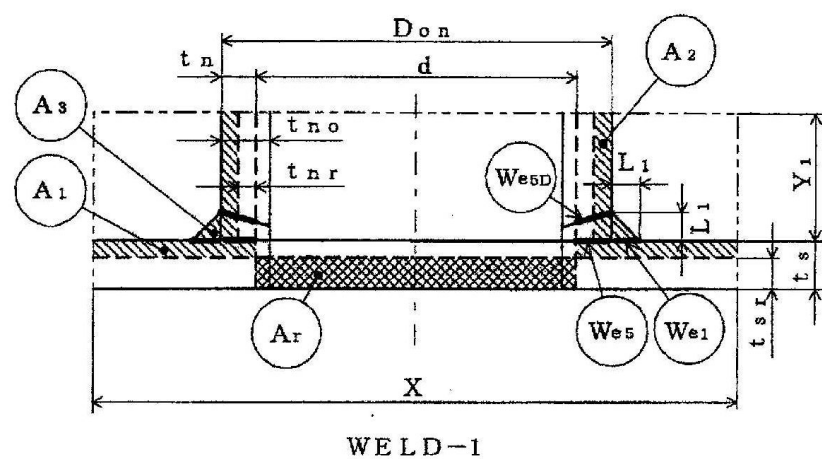
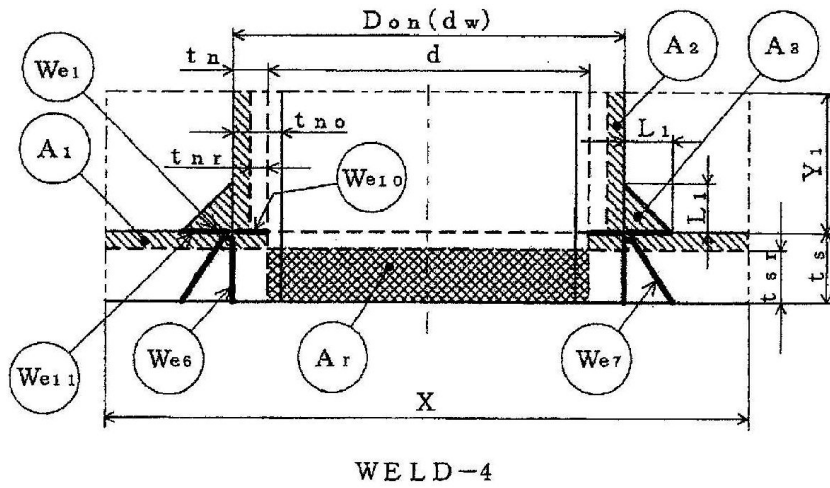
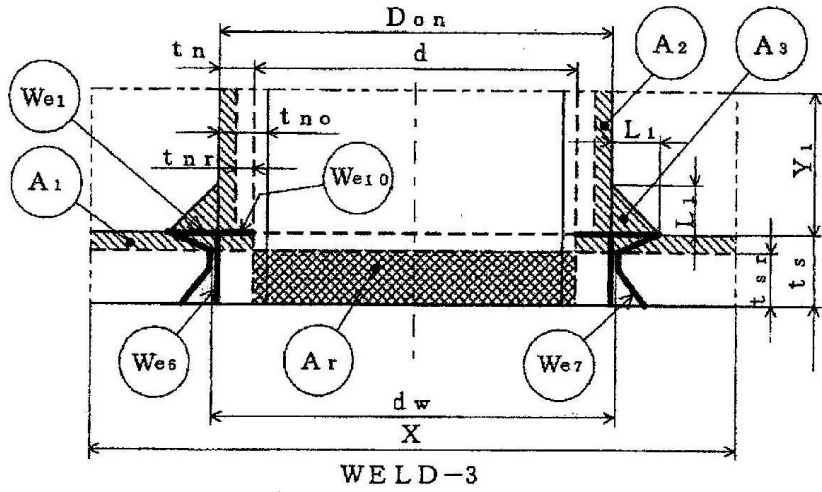


図2-6

注 : $W_{e.1}$ 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)



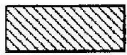
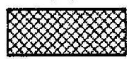
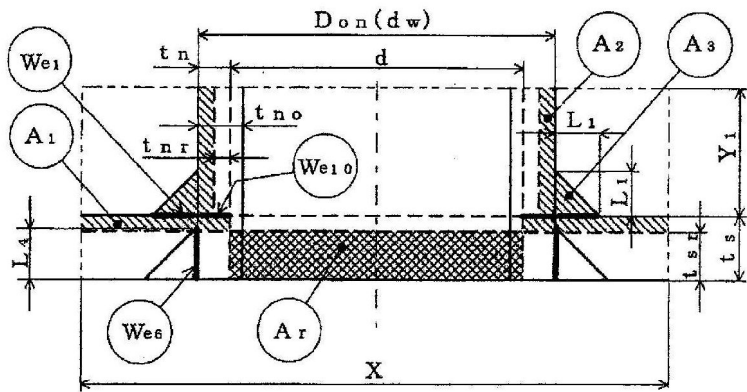
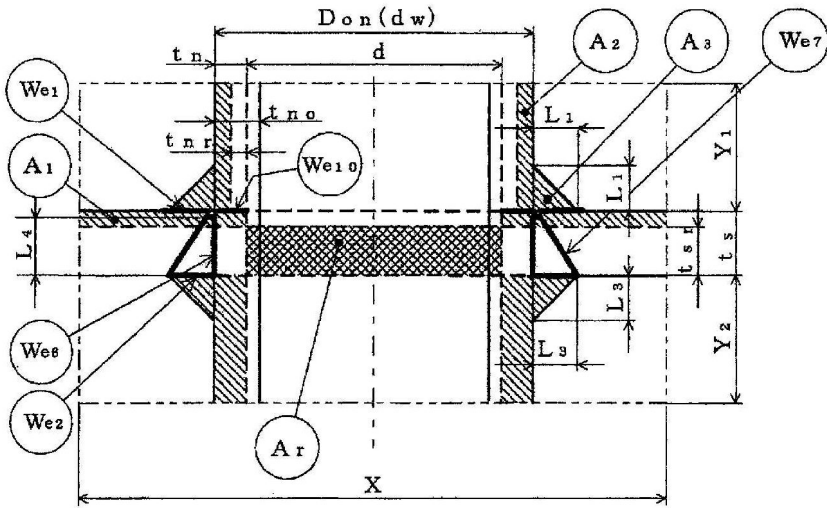
 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

図2-7



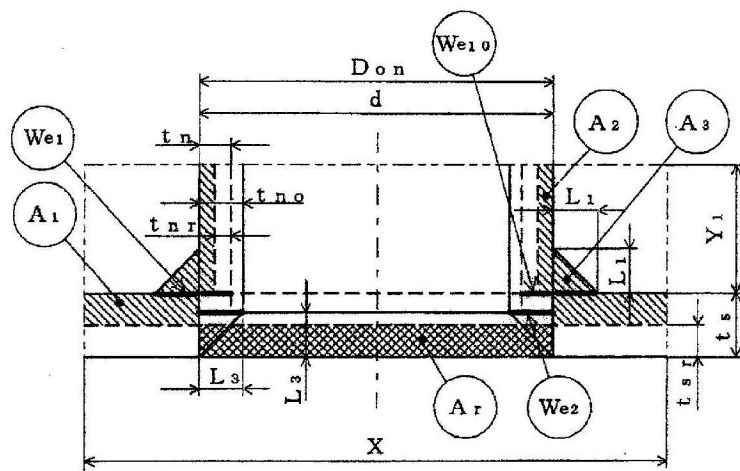
WELD-5



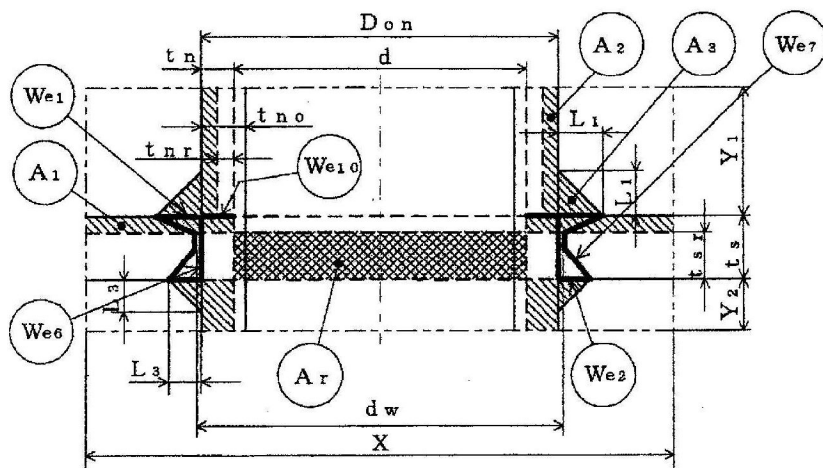
WELD-6

-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図2-8



WELD-8

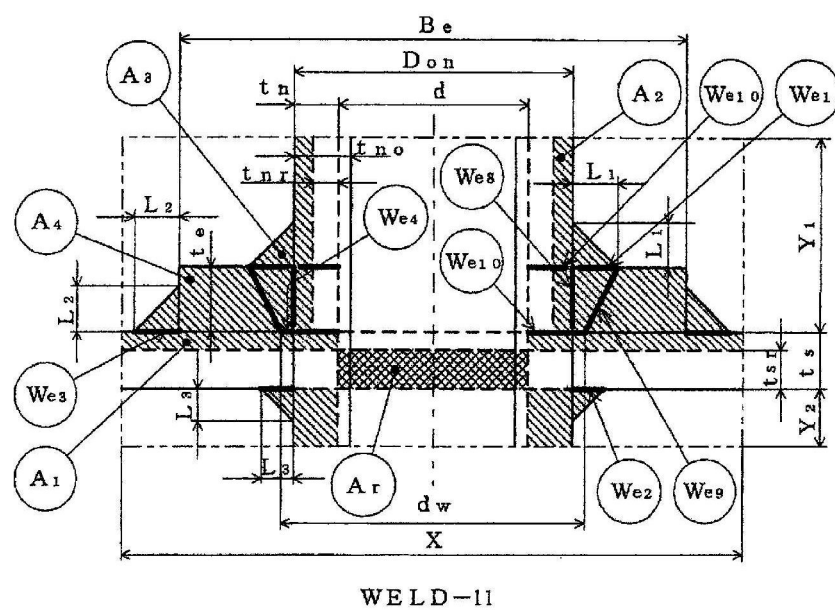


WELD-9

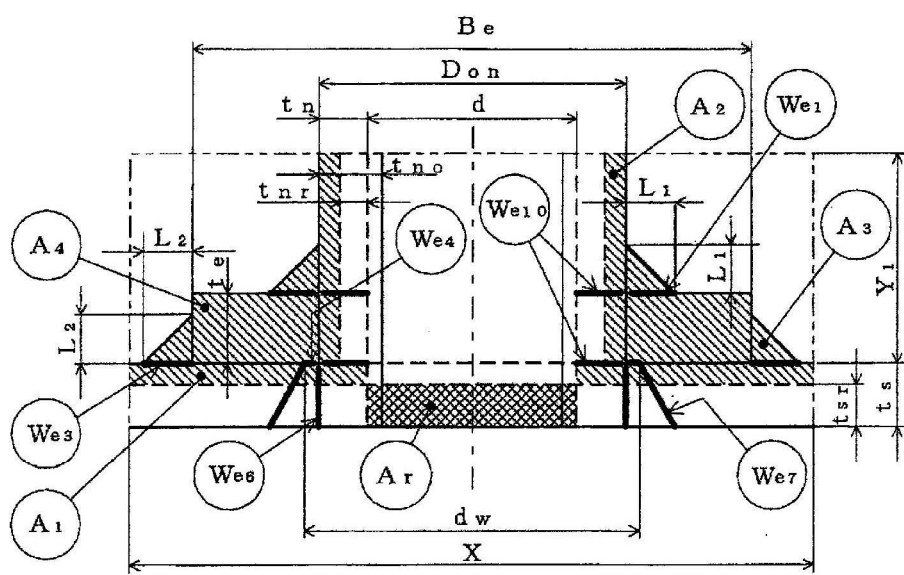
 補強に有効な面積

 補強に必要な面積

图 2-9



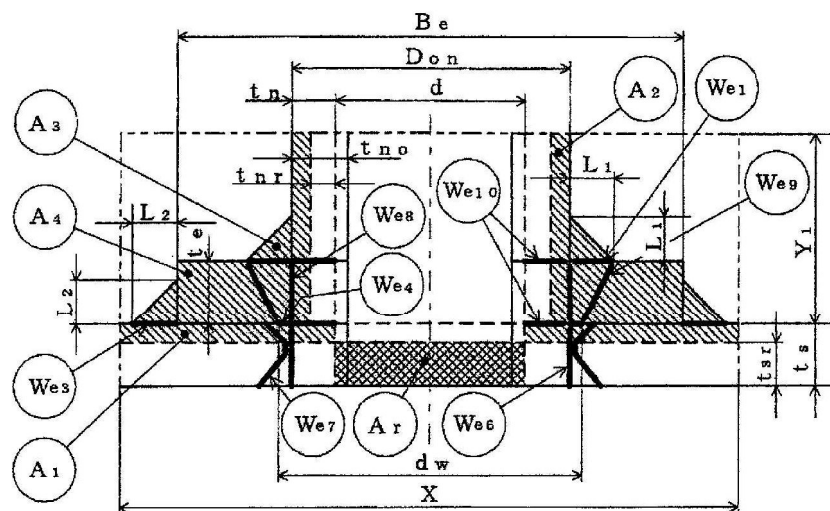
WELD-12



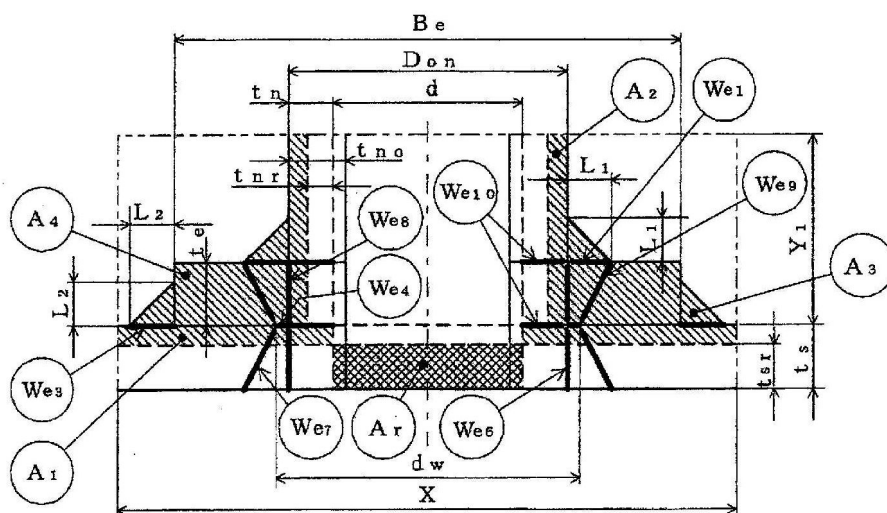
WELD-12

图2-10

92



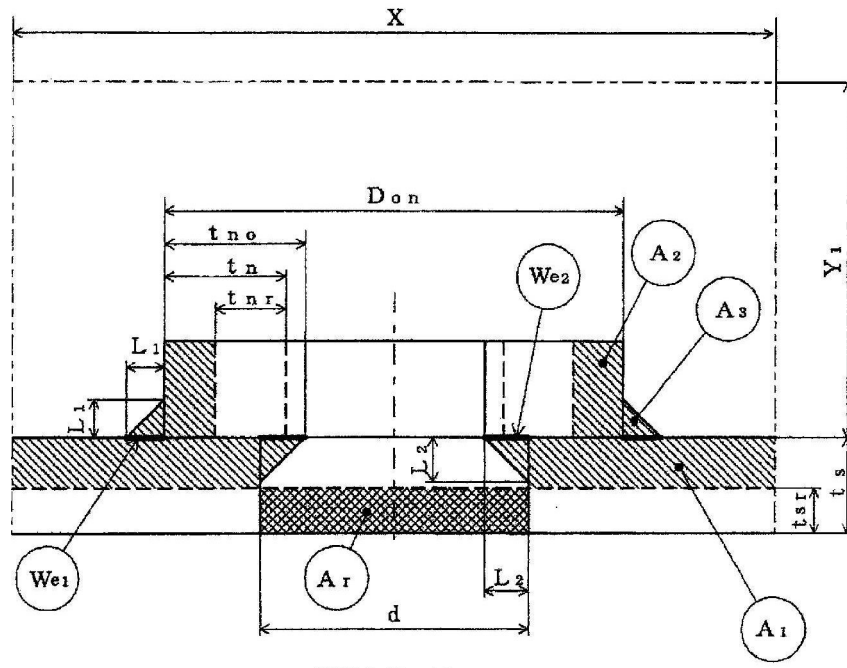
WELD-15



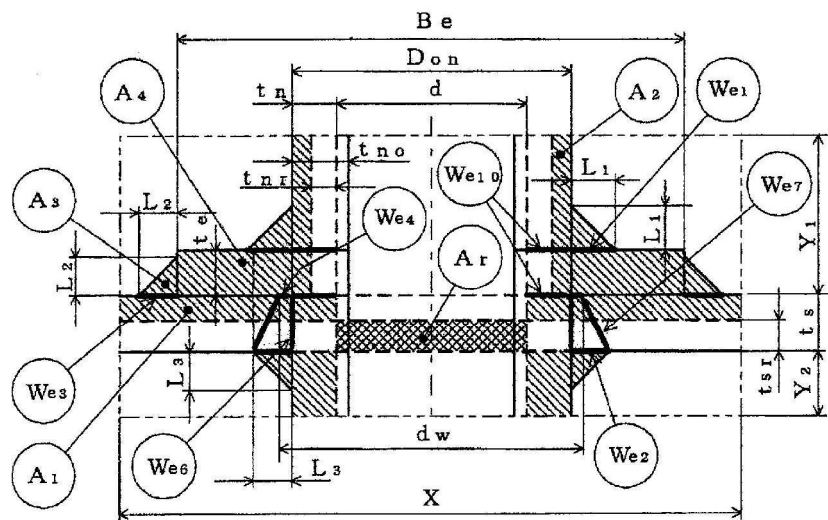
WELD-16



図2-12



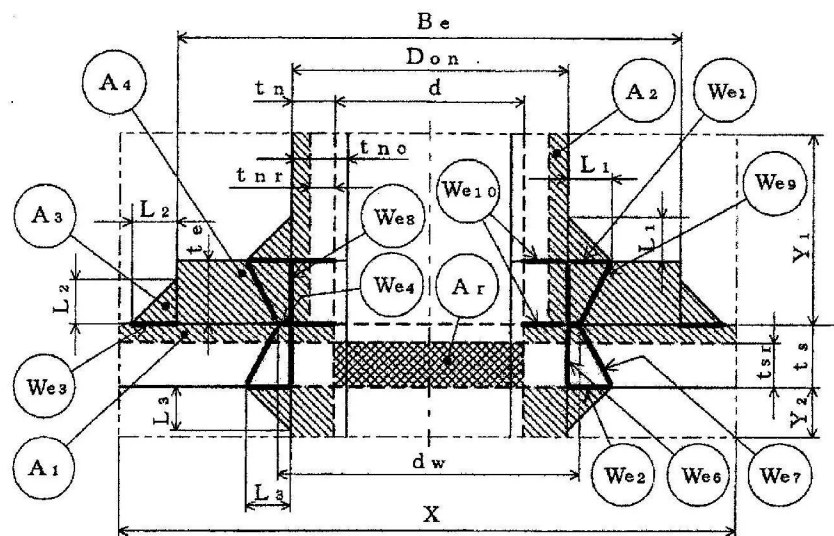
WELD-17



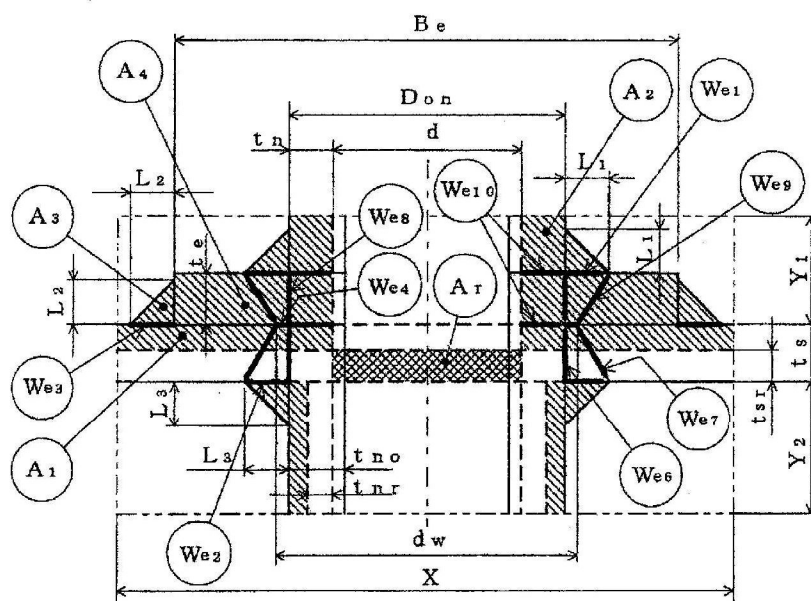
WELD-18



図2-13



WELD-19



WELD-19'

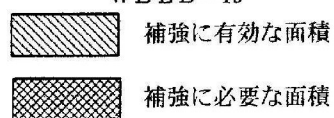
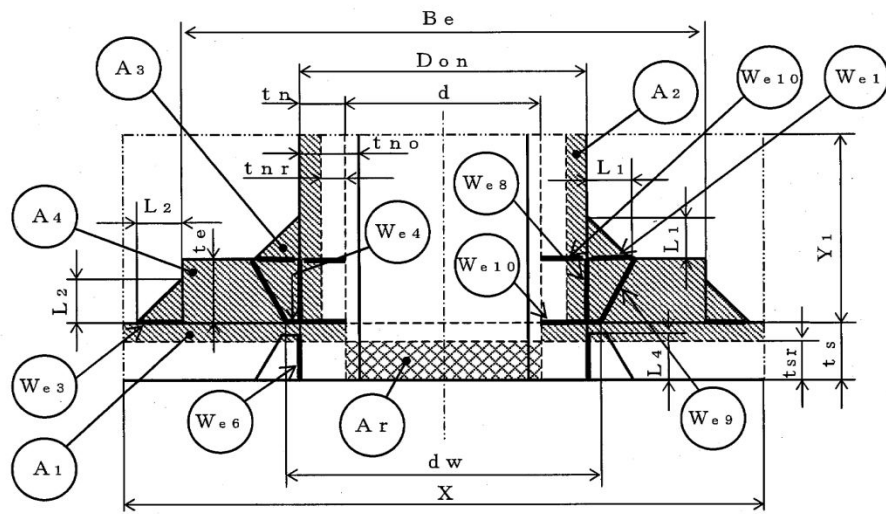
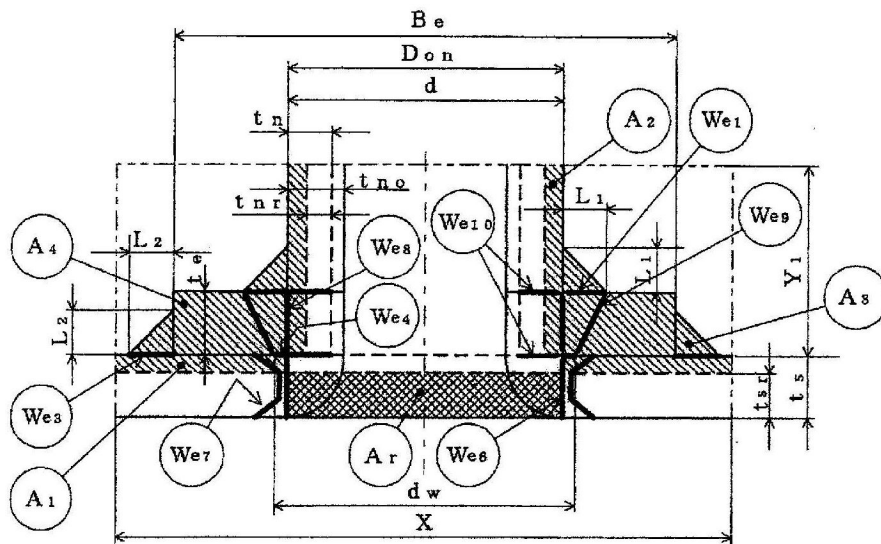


図2-14



WELD-14'



WELD-22

 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

図2-15

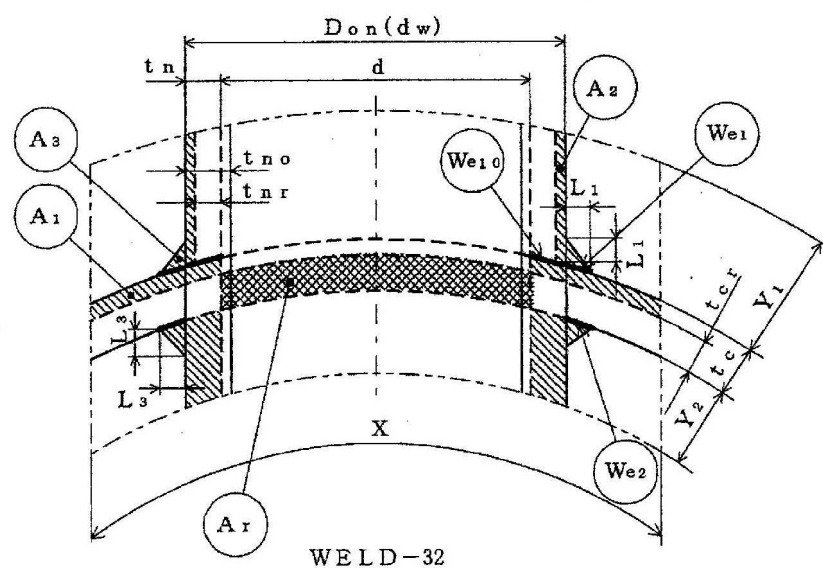
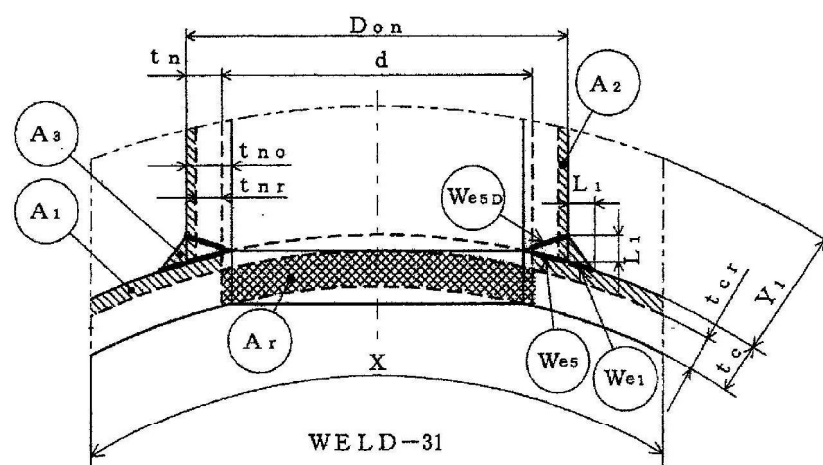
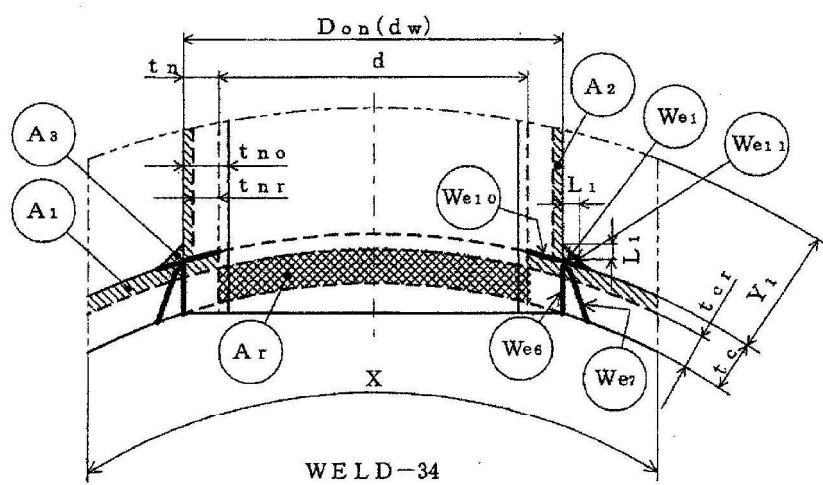


図2-16



98

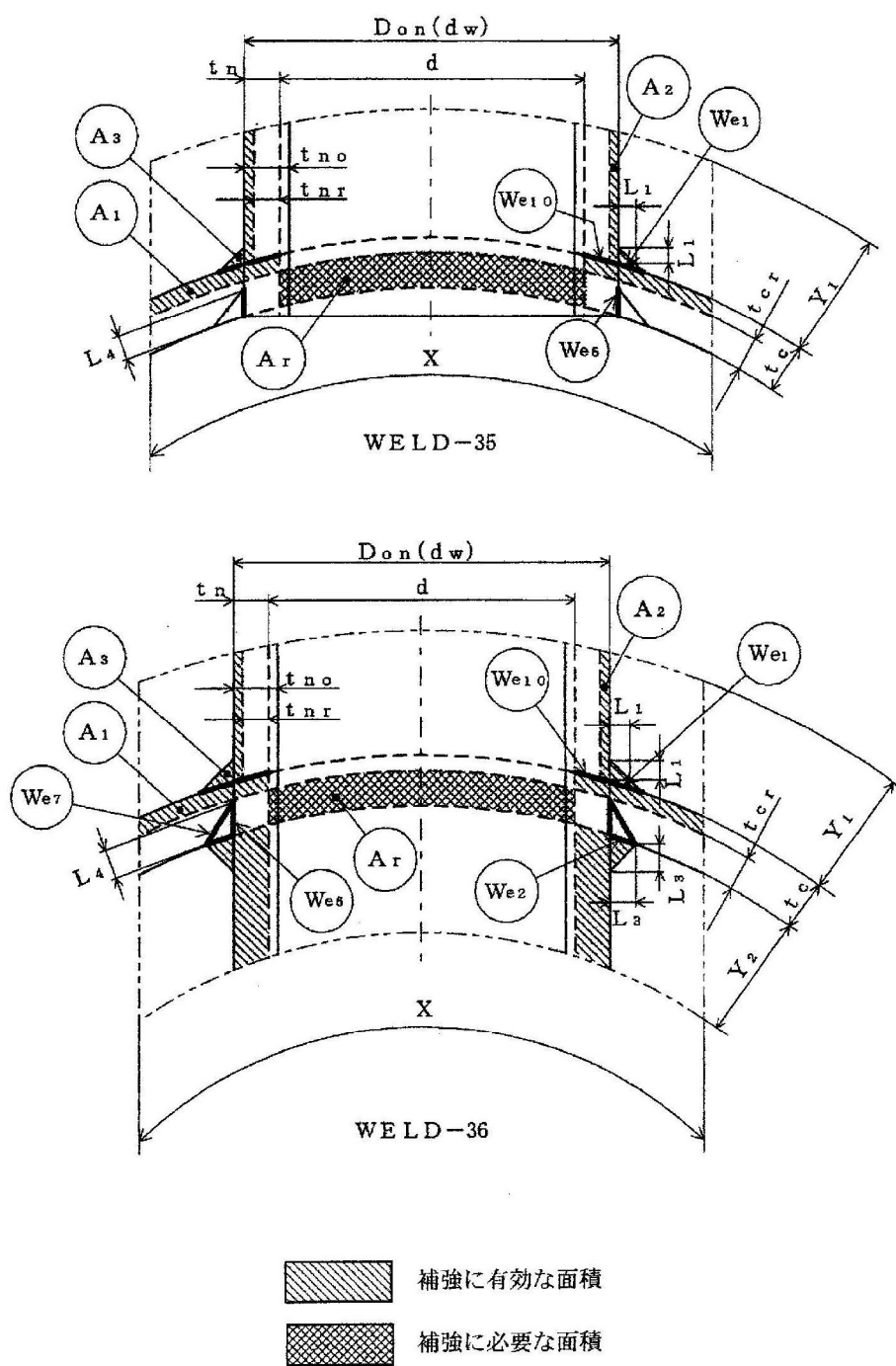


图2-18

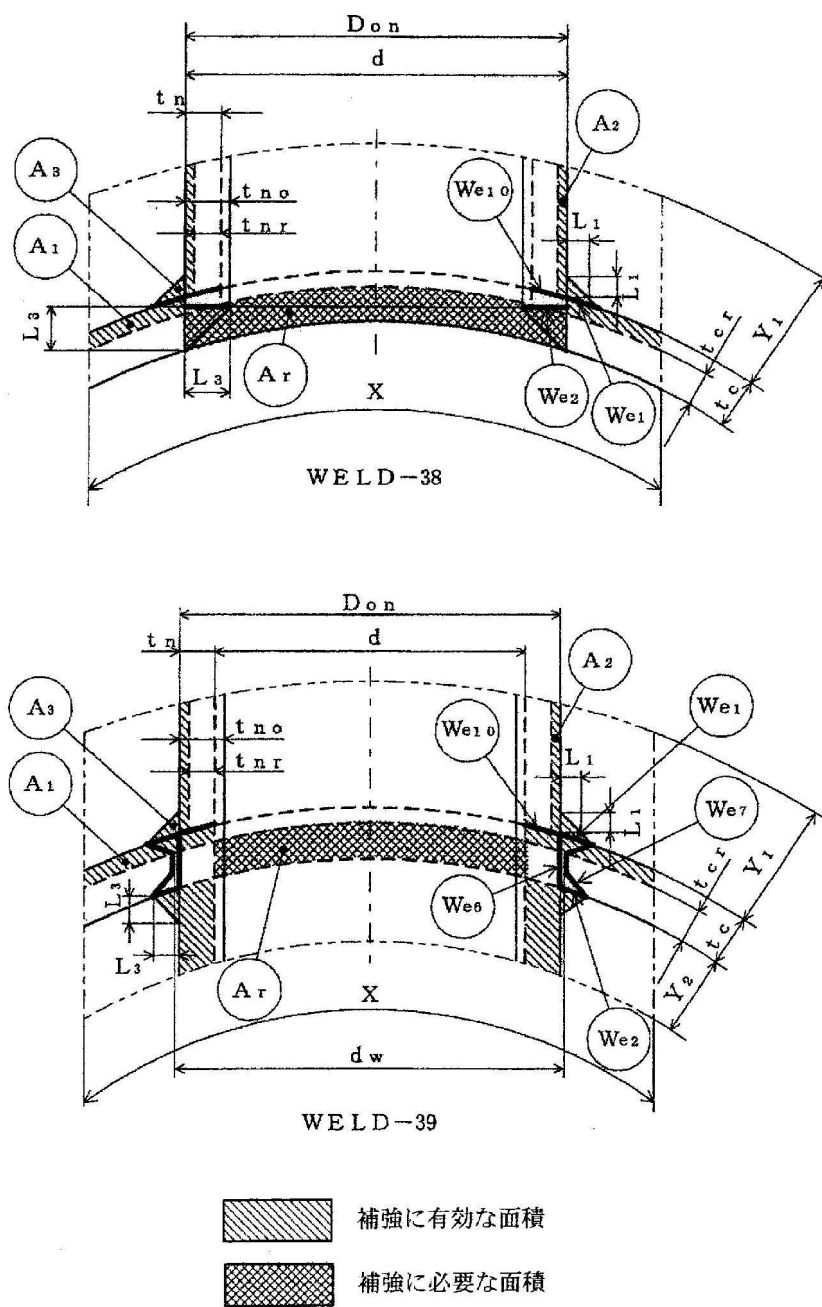


图2-19

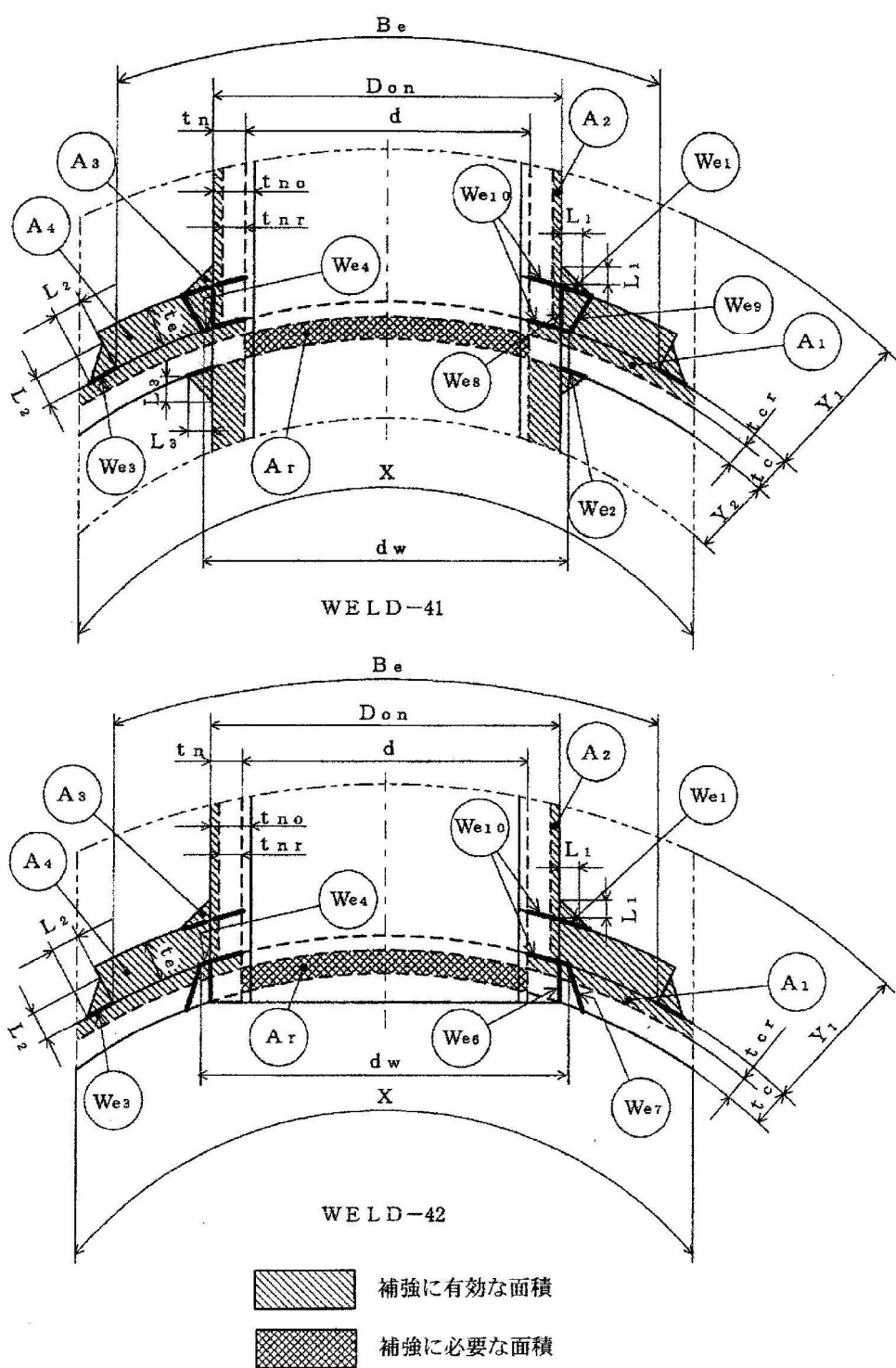


図2-20

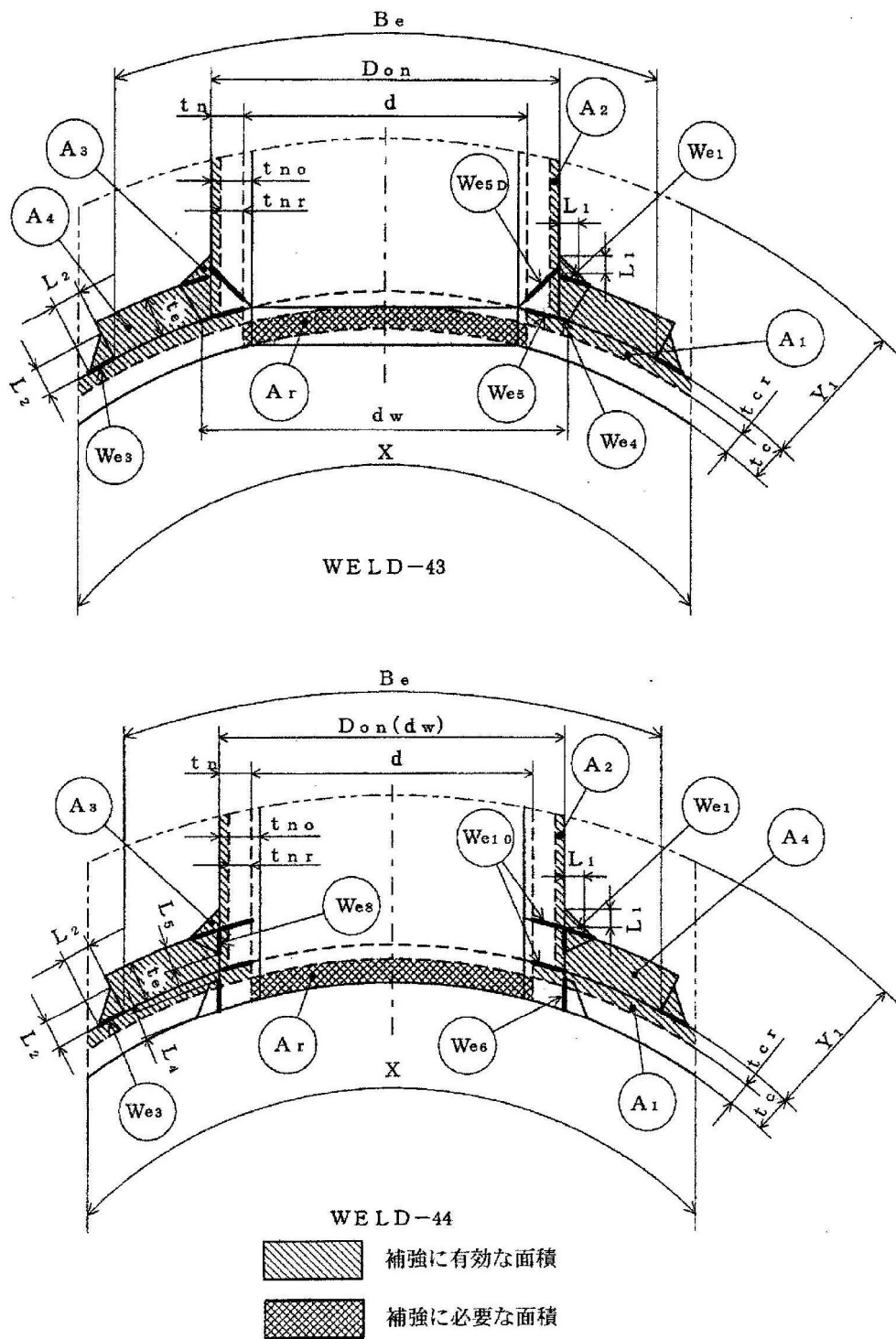


图2-21

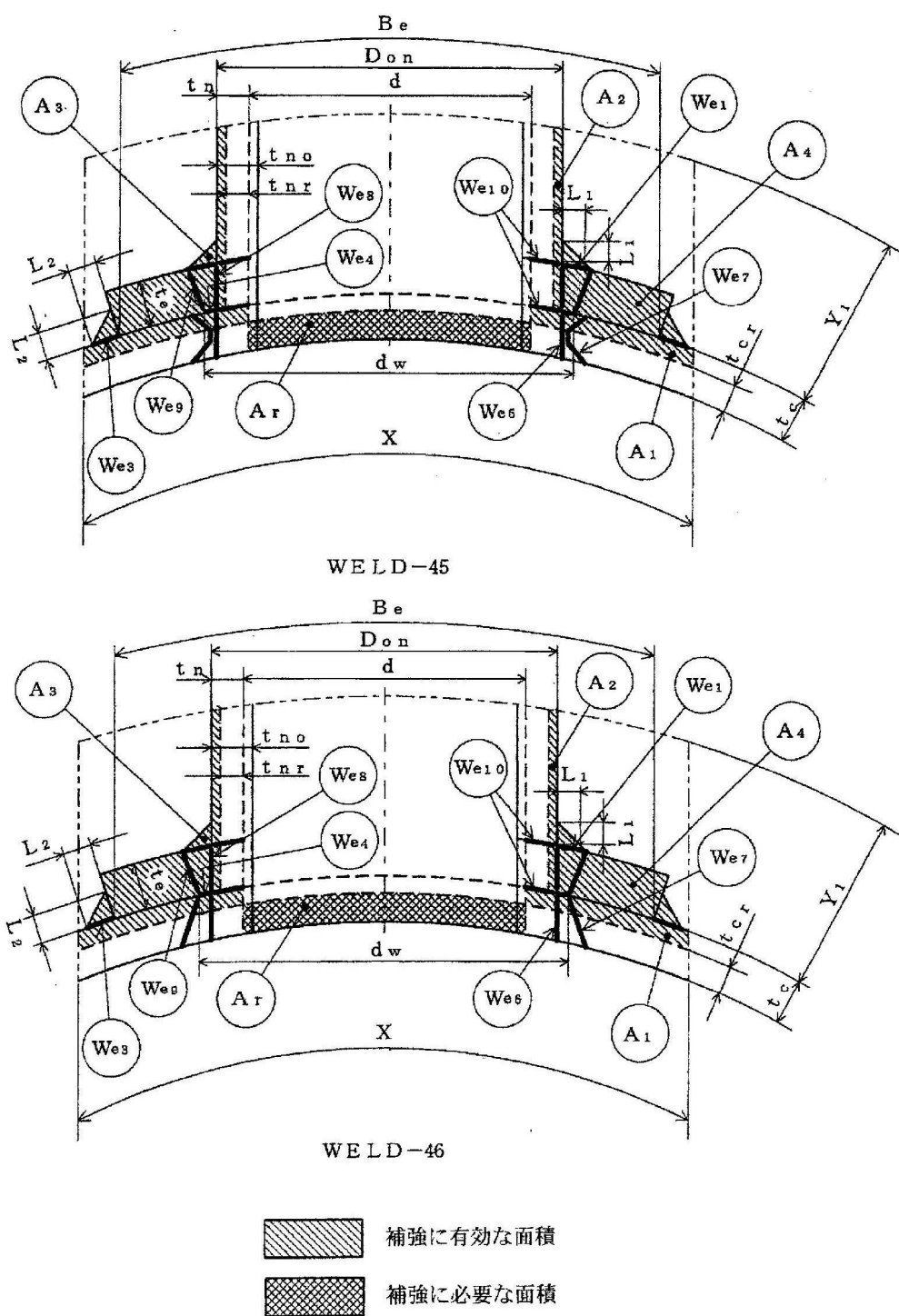


図2-22

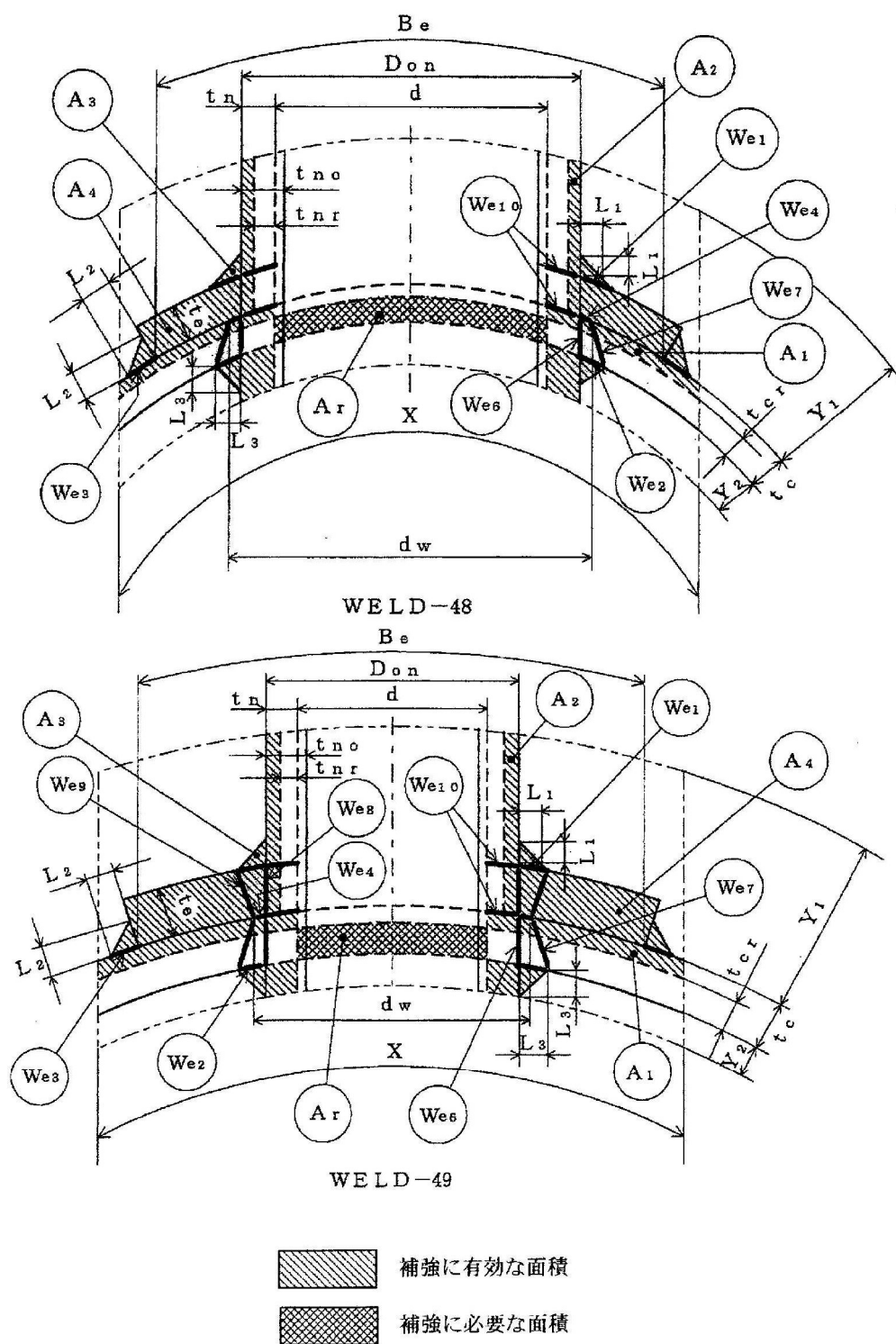


図2-23

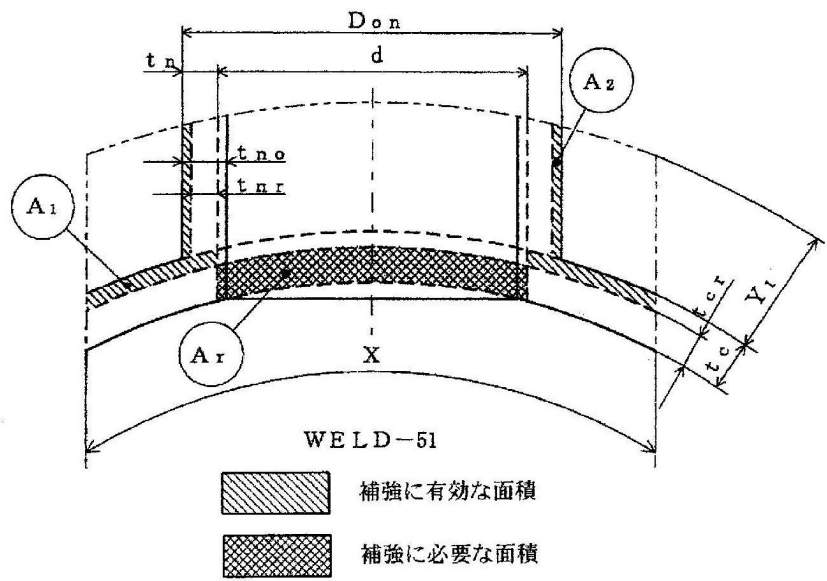


図2-24

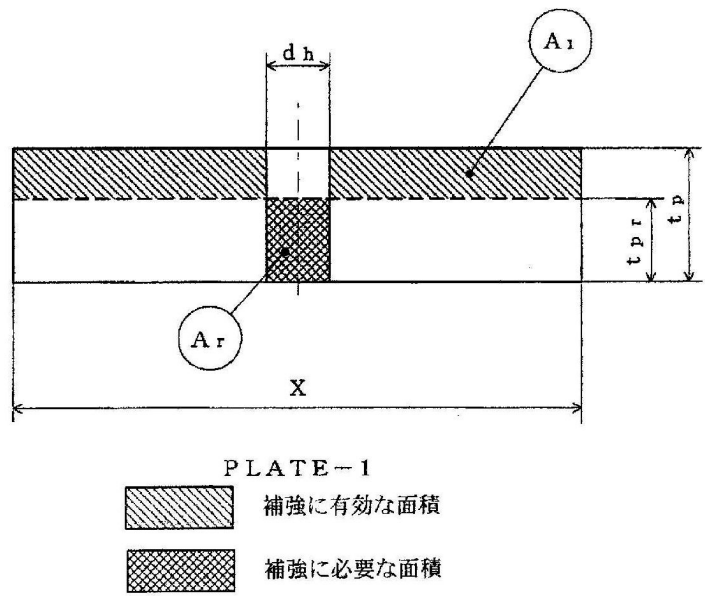
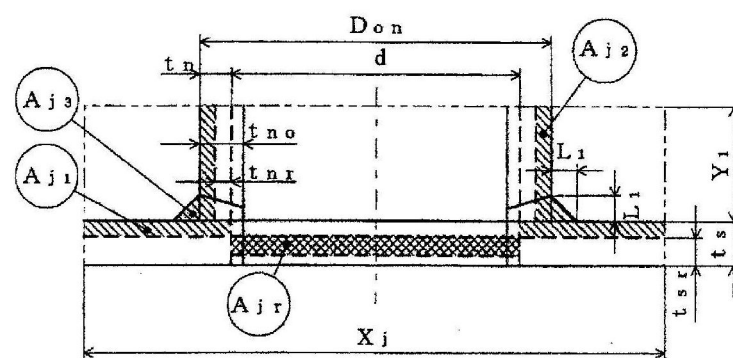
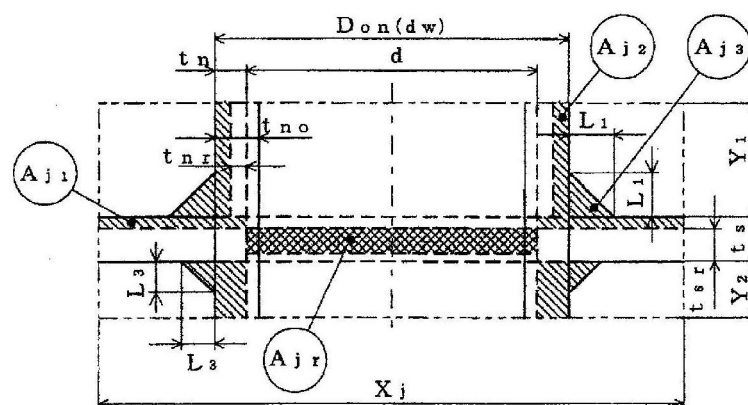


図2-25



WELD-1



WELD-2

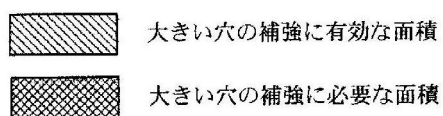
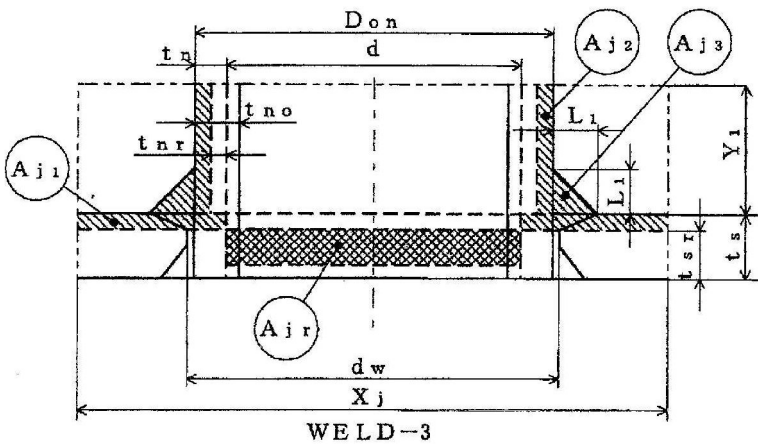
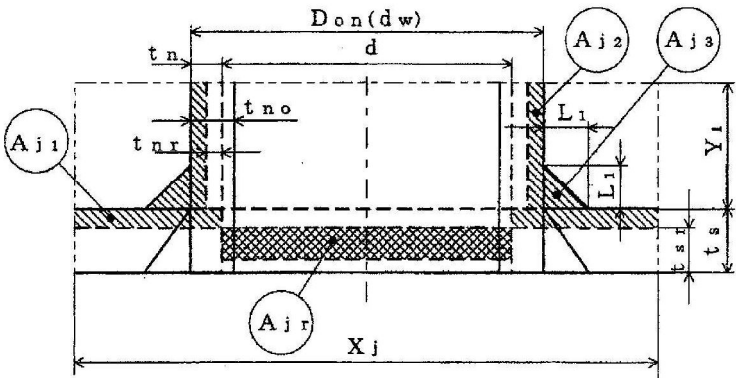


図2-26



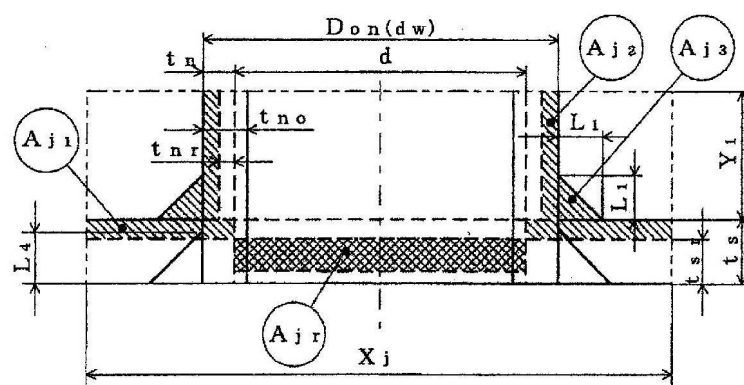
WELD-3



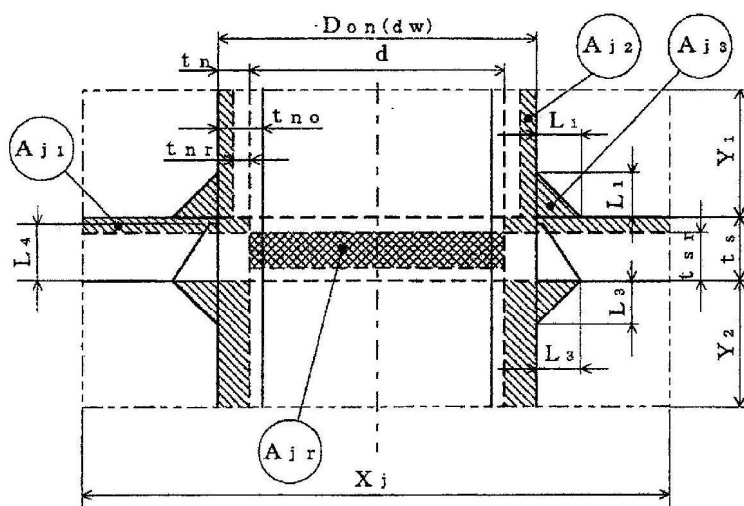
WELD-4

-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図2-27



WELD-5



WELD-6

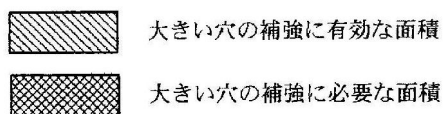
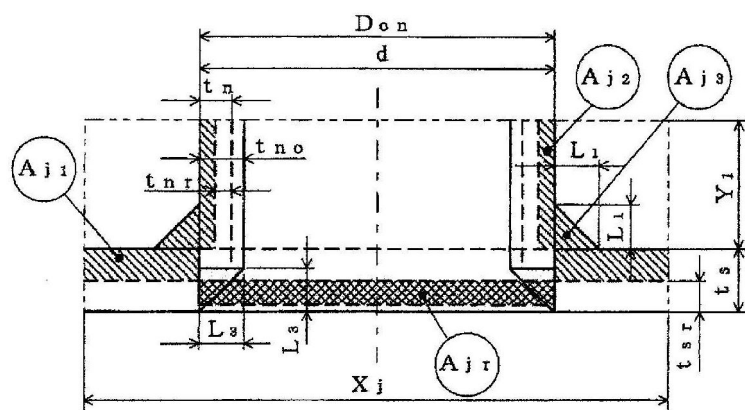
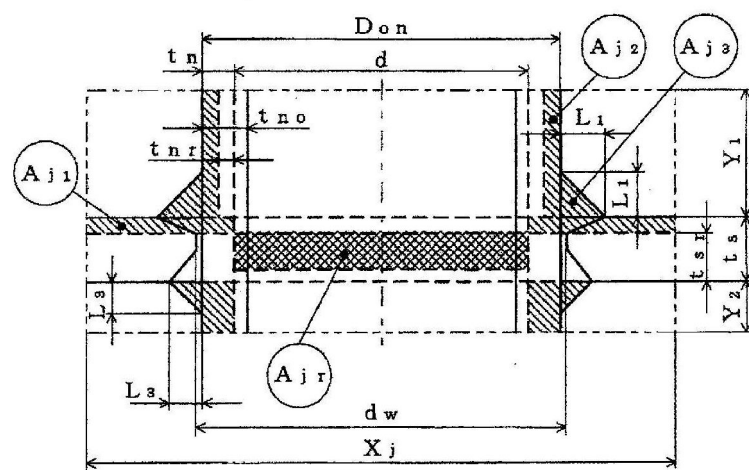


図2-28



WELD-8



WELD-9

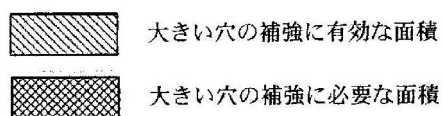
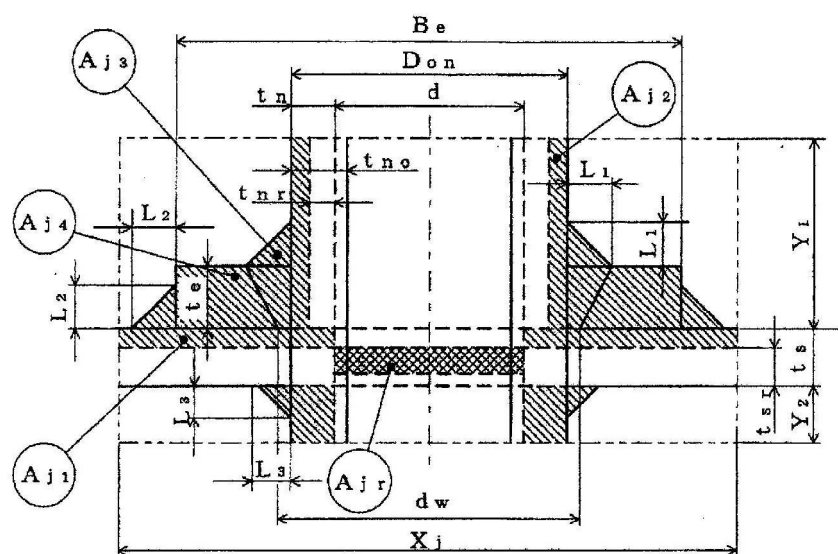
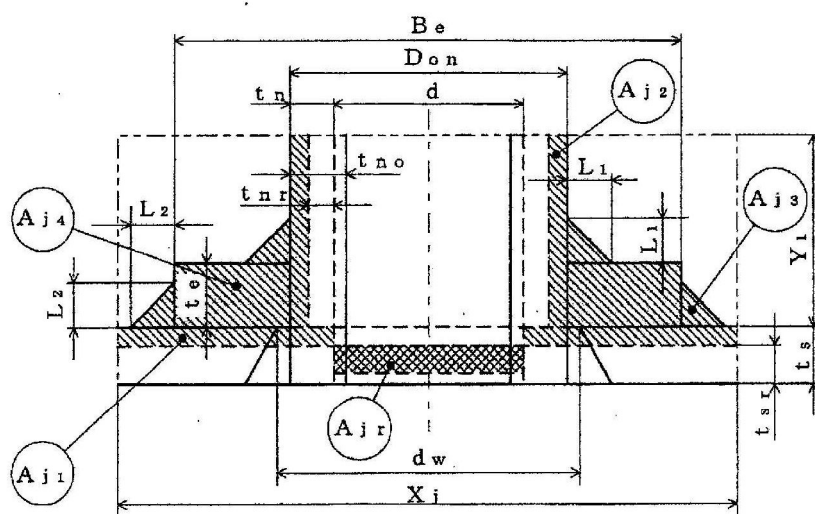


図2-29



WELD-11



WELD-12

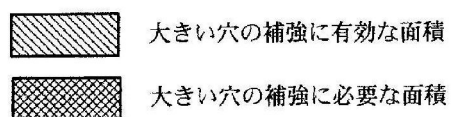
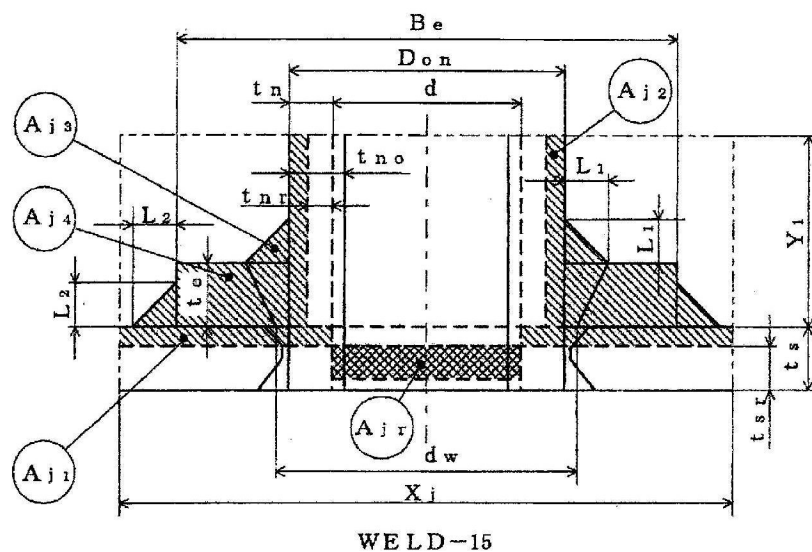


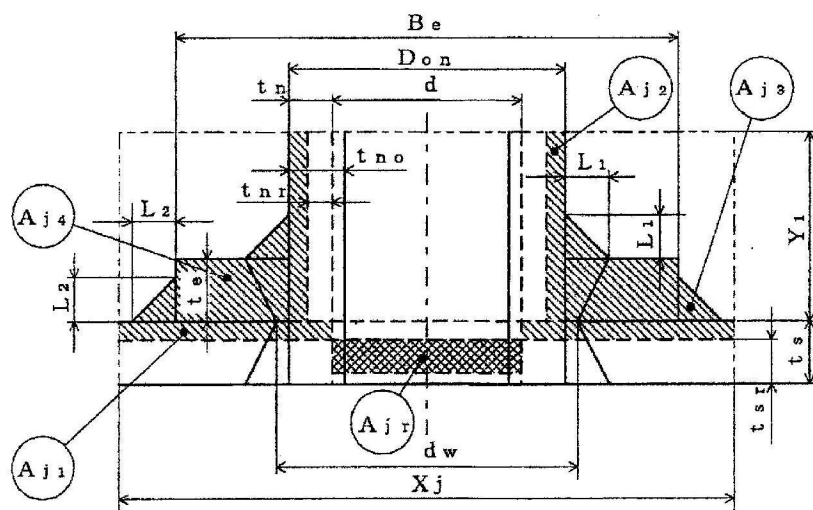
図2-30

-  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

111



WELD-15



WELD-16

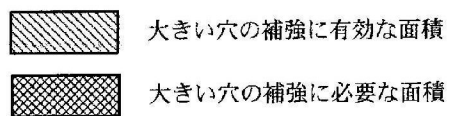
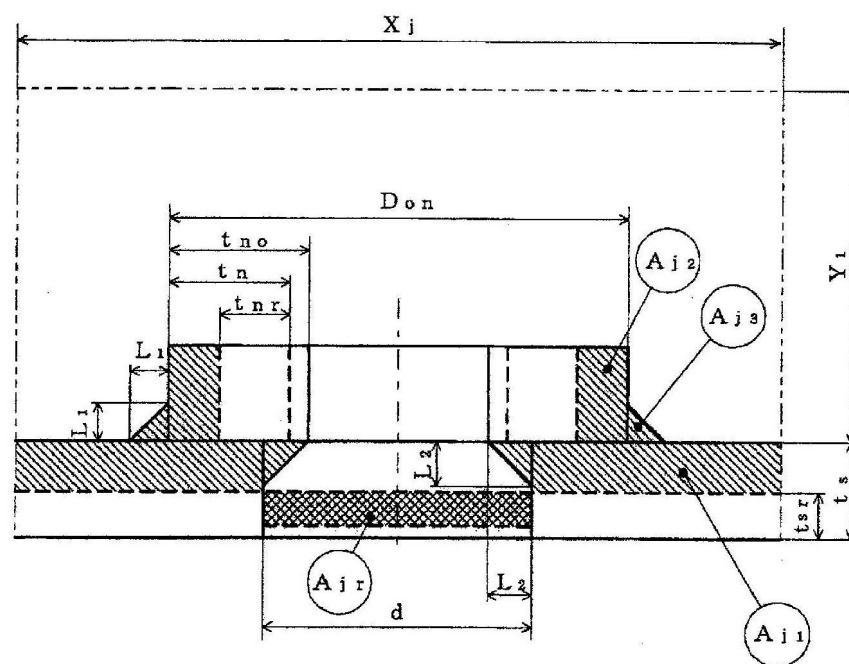
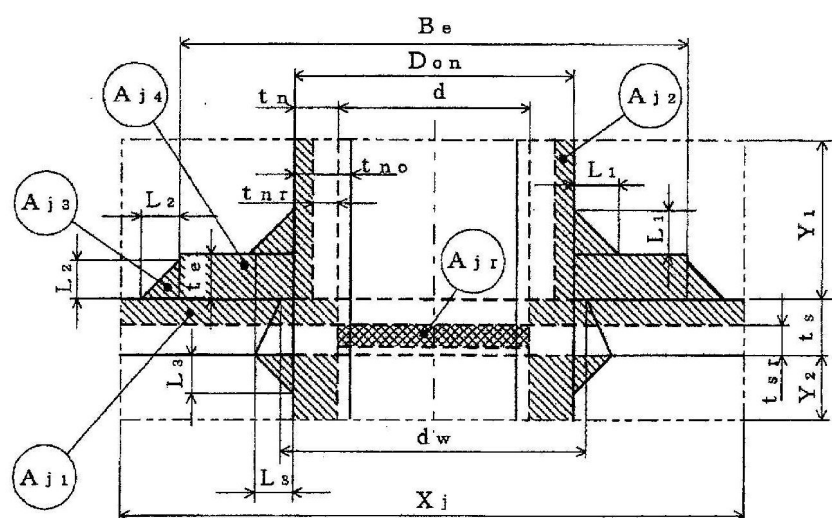


図2-32



WELD-17



WELD-18

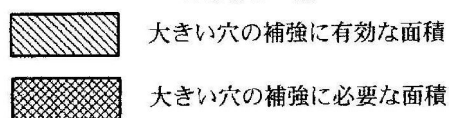
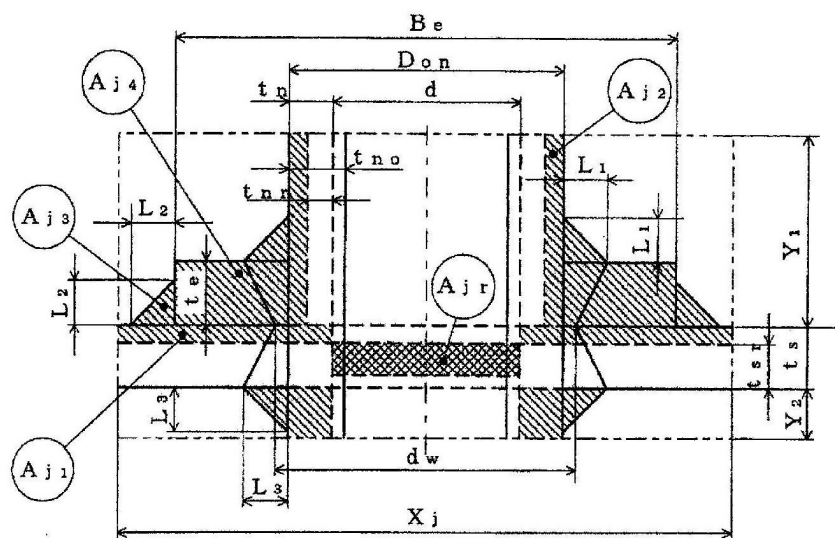
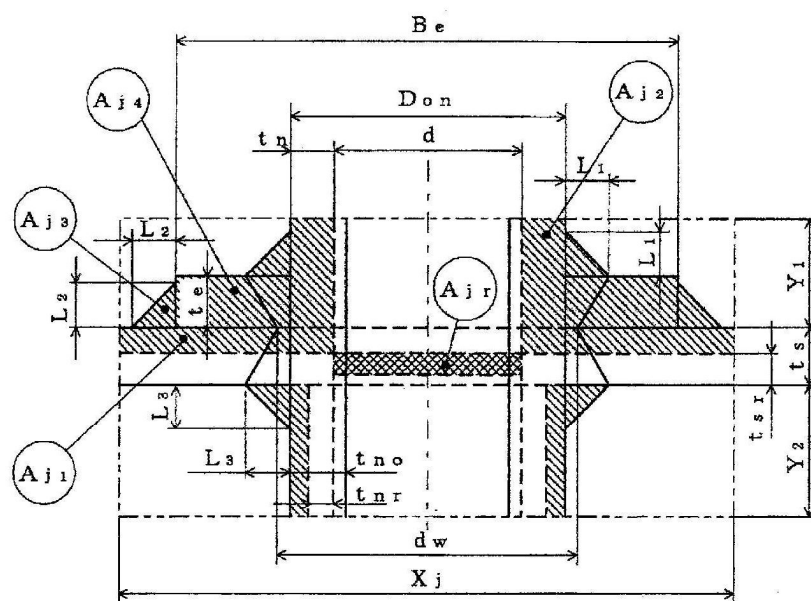


図2-33



WELD-19



WELD-19'

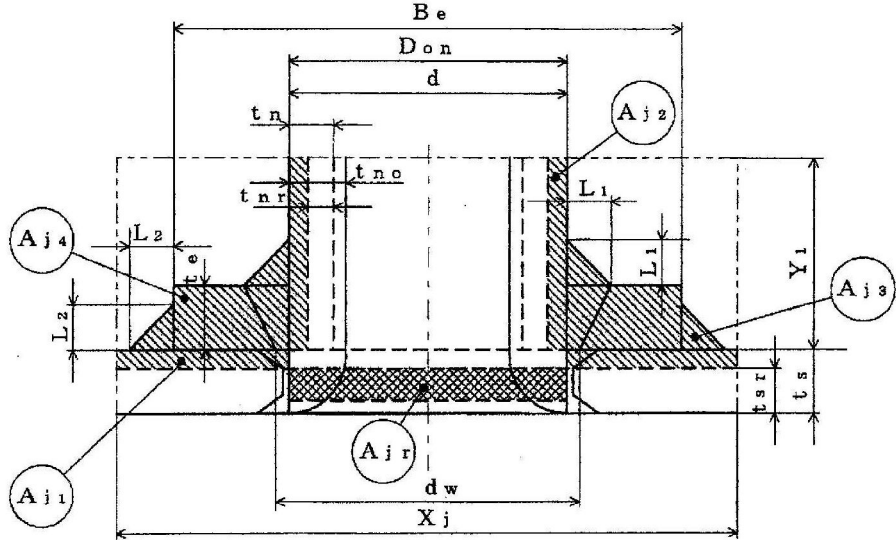


大きい穴の補強に有効な面積



大きい穴の補強に必要な面積

図2-34



WELD-22

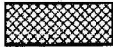
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図2-35

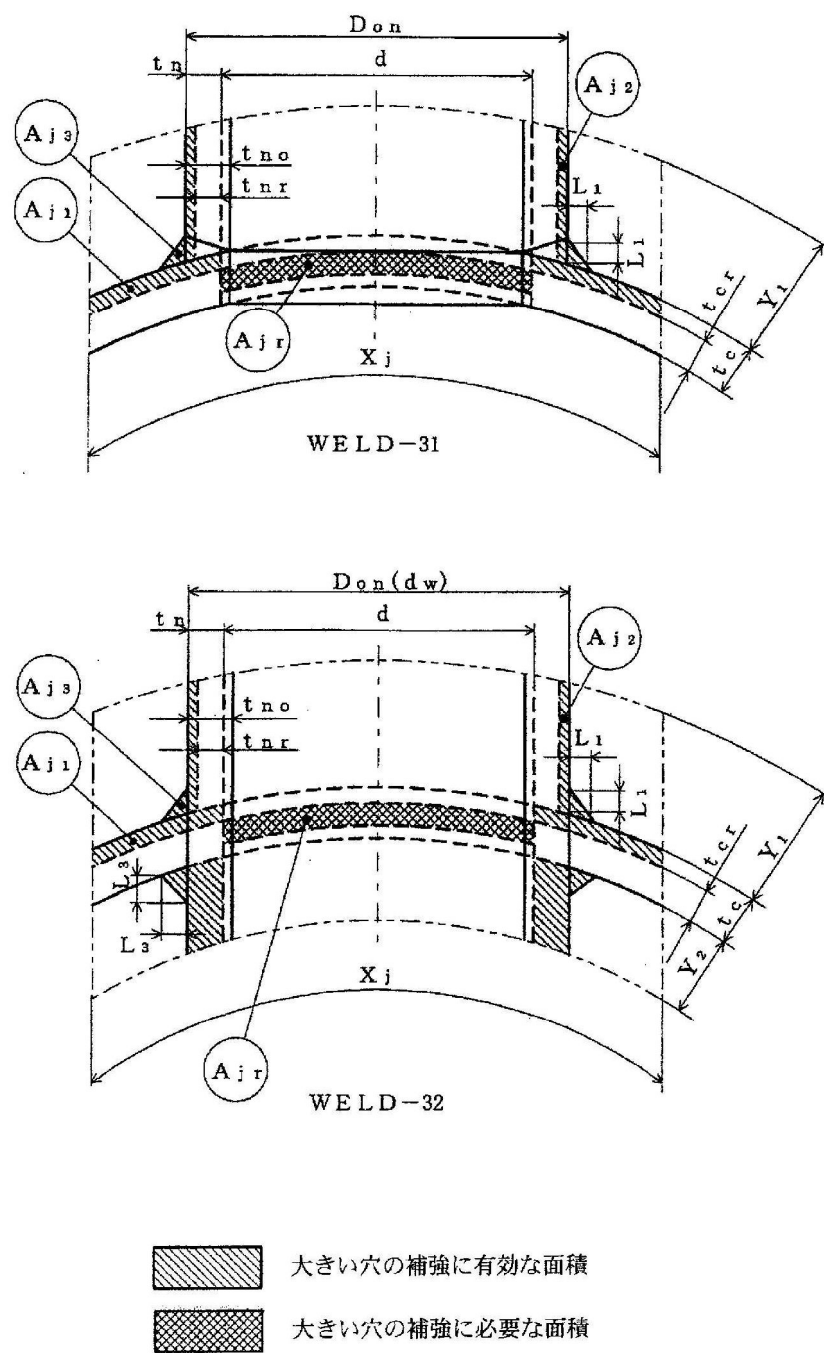


図2-36

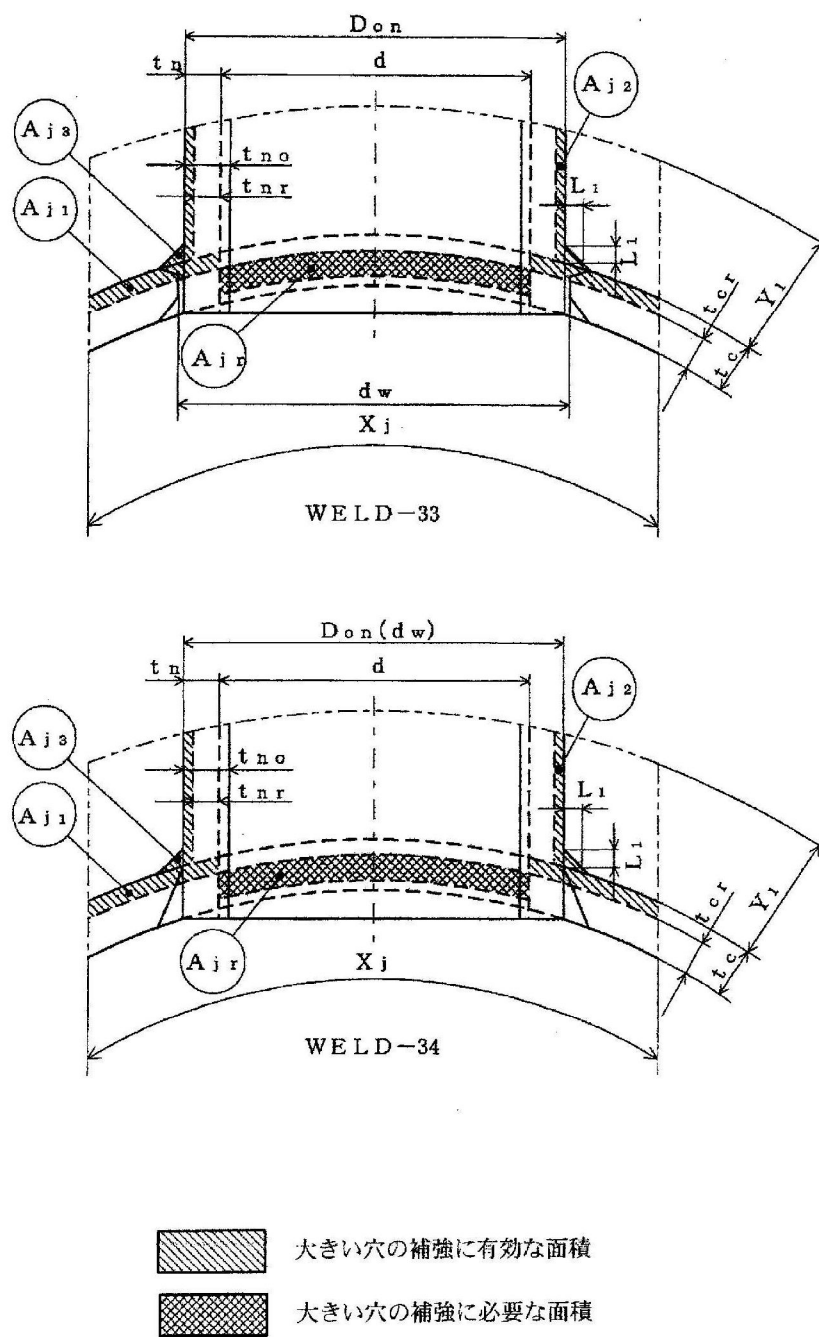
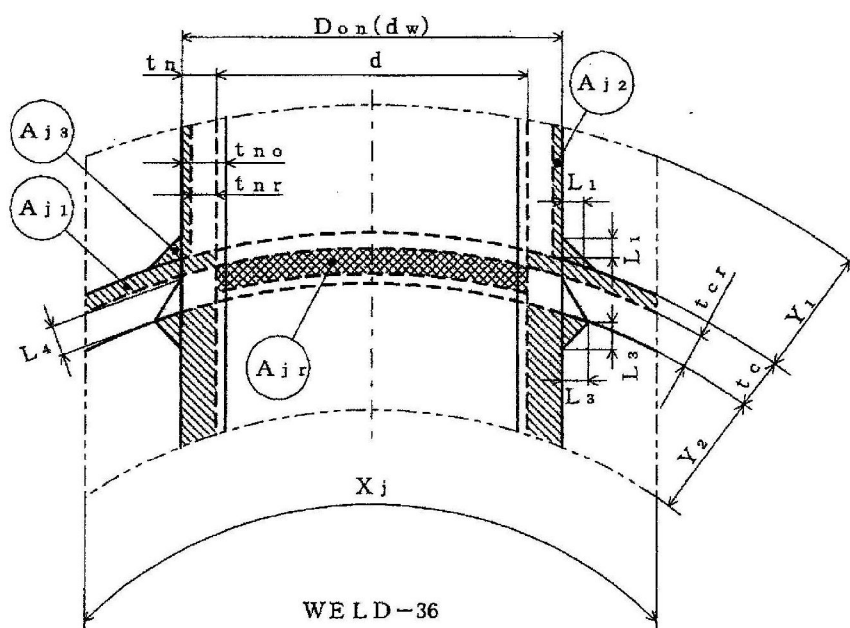
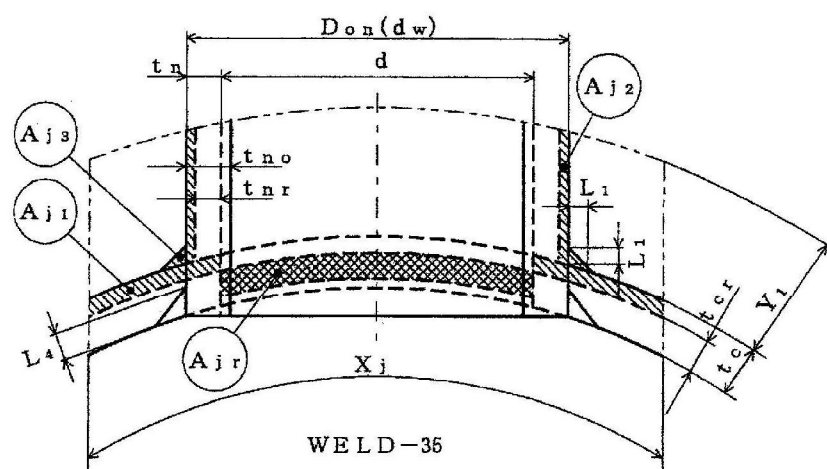
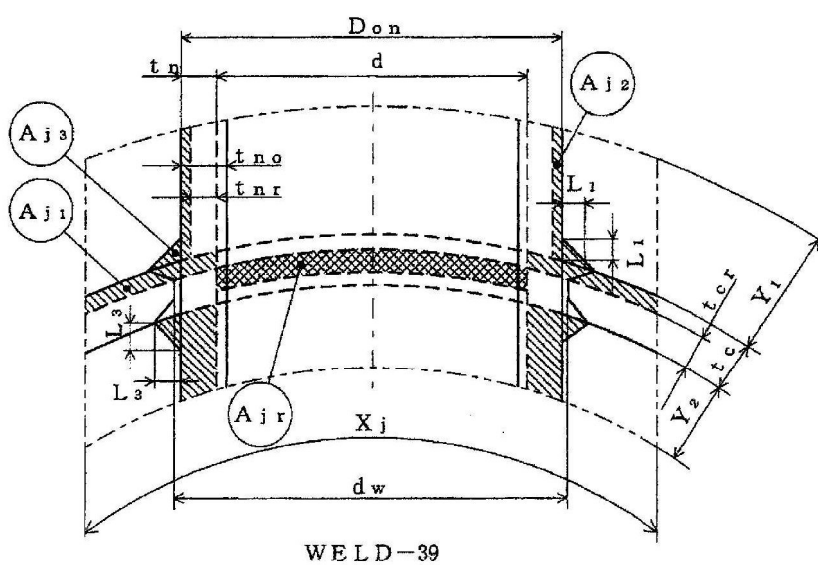
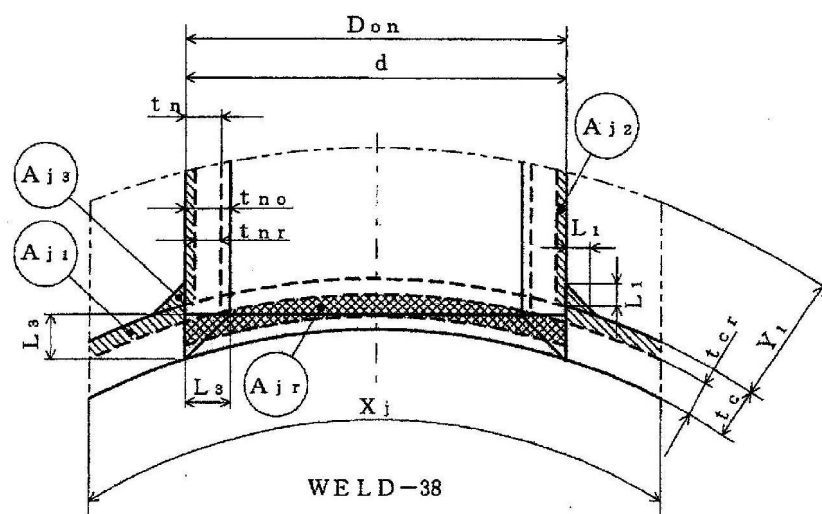


図2-37



-  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2-38



-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図2-39

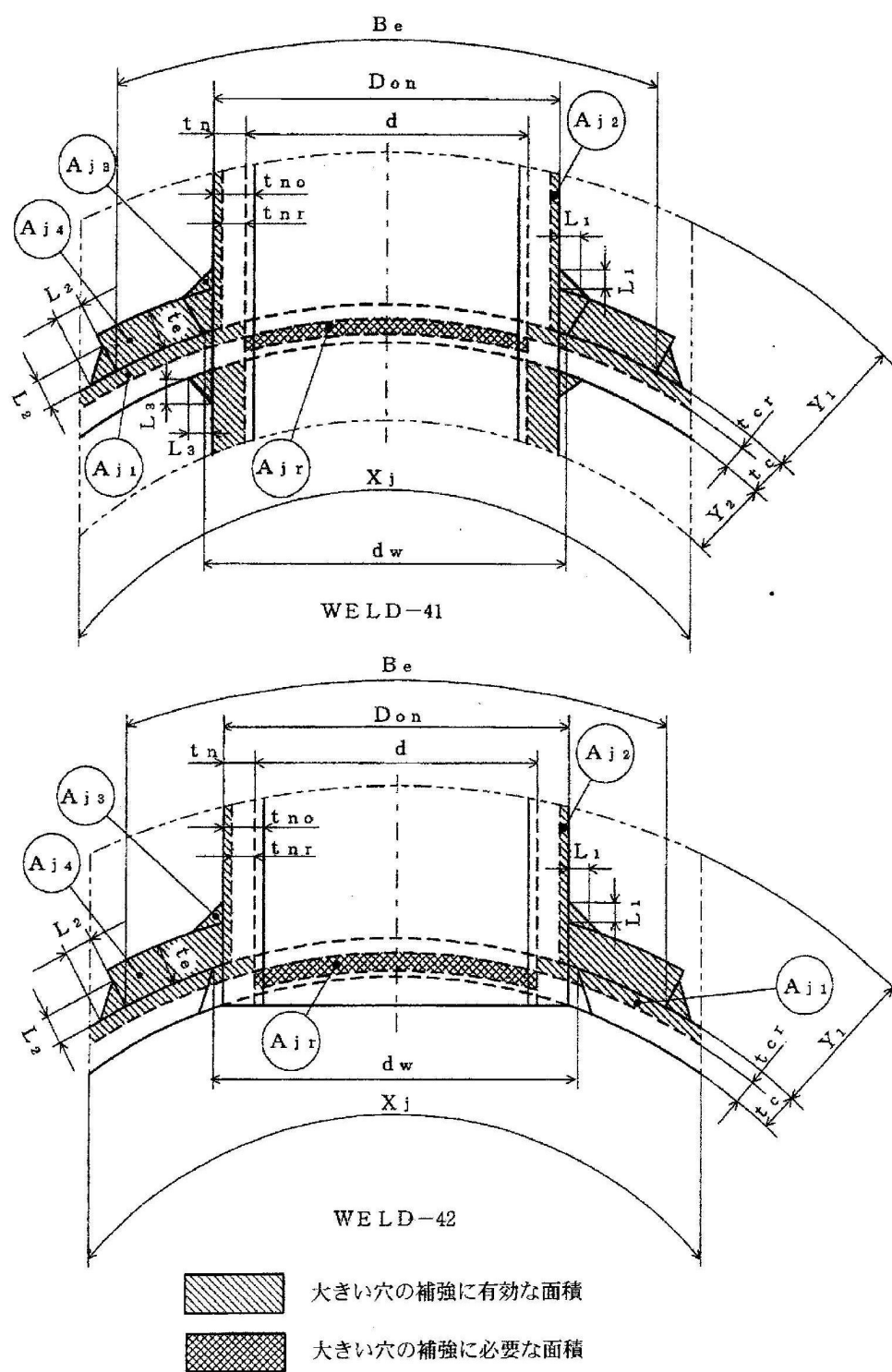


図2-40

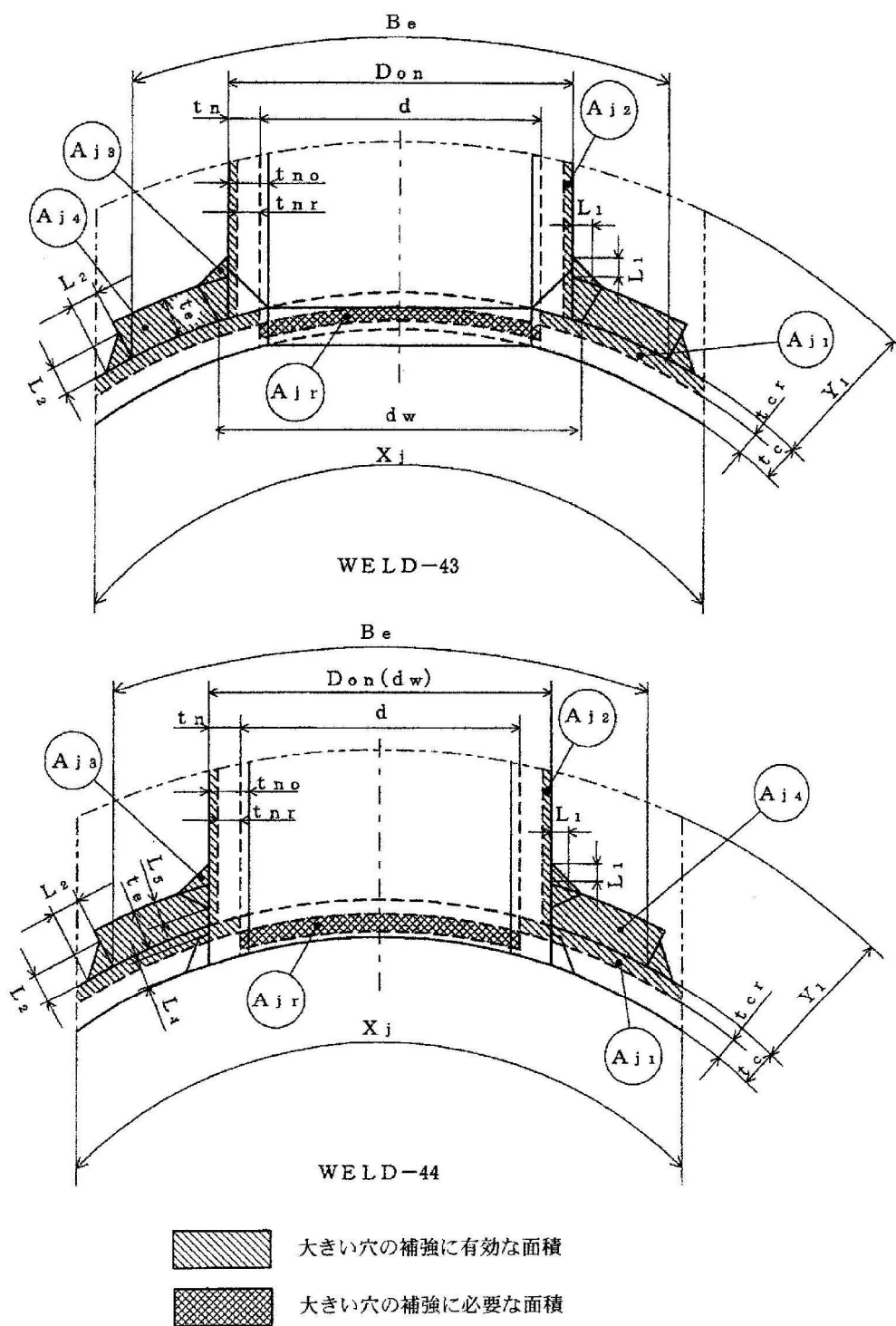


図2-41

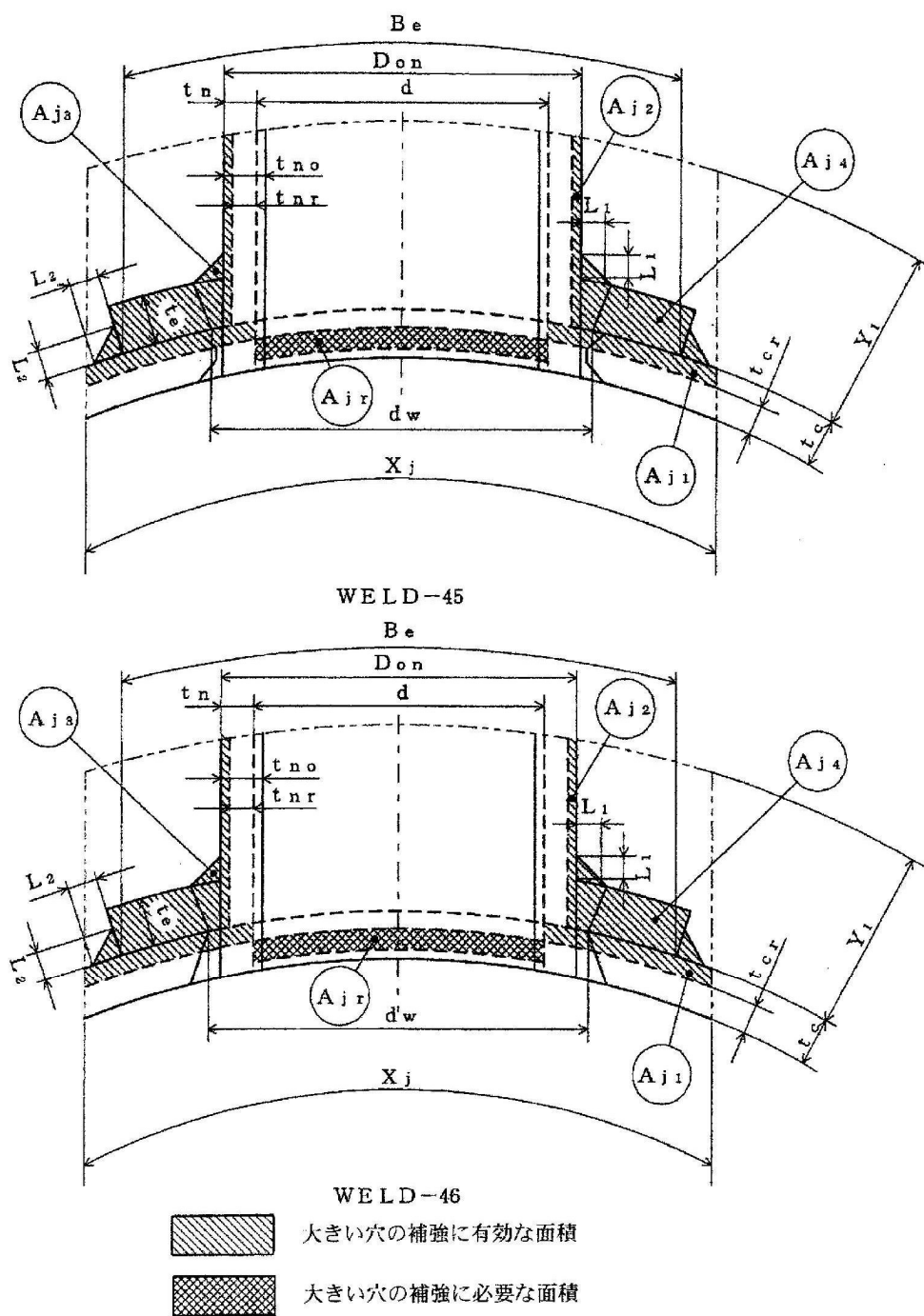


図2-42

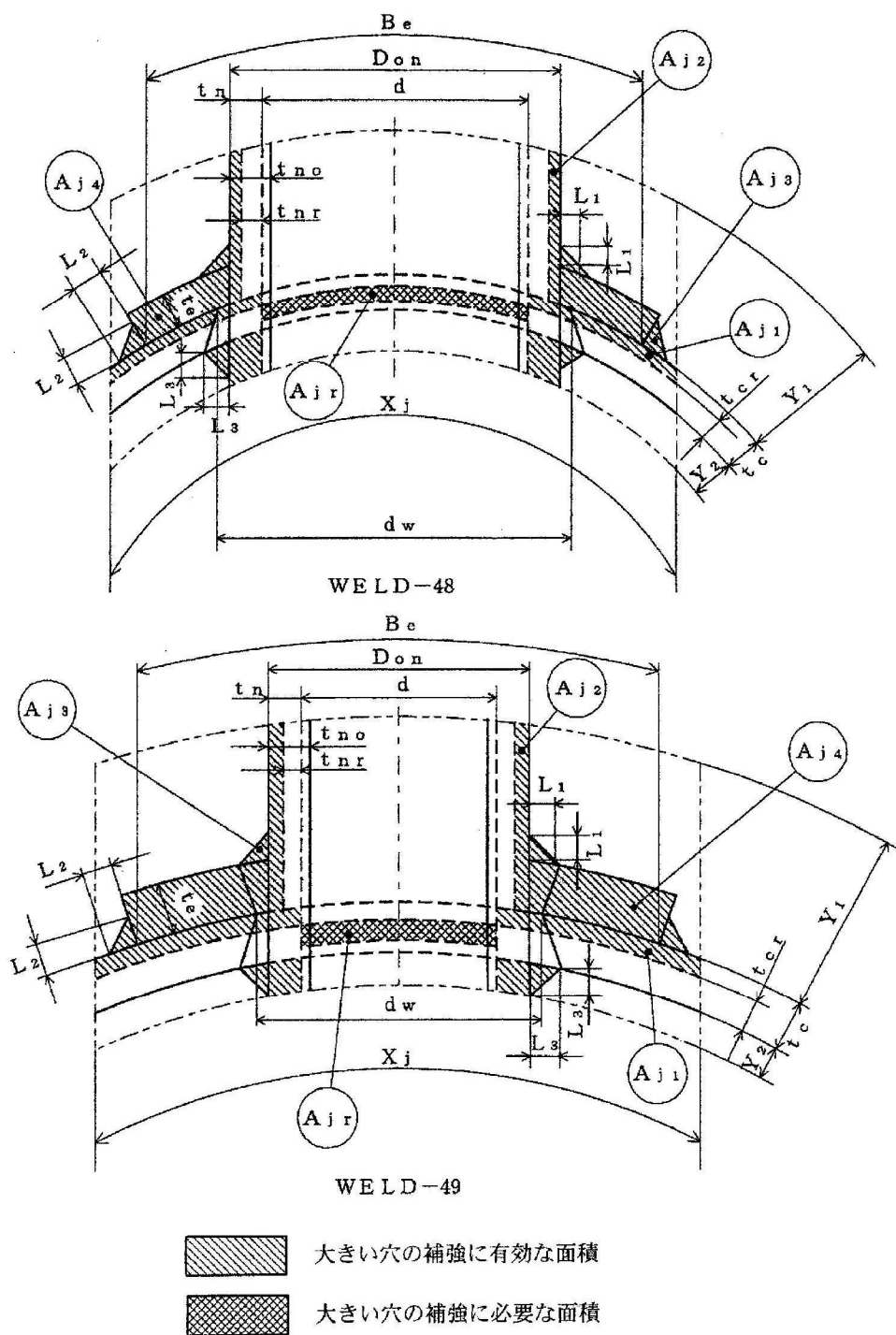


図2-43

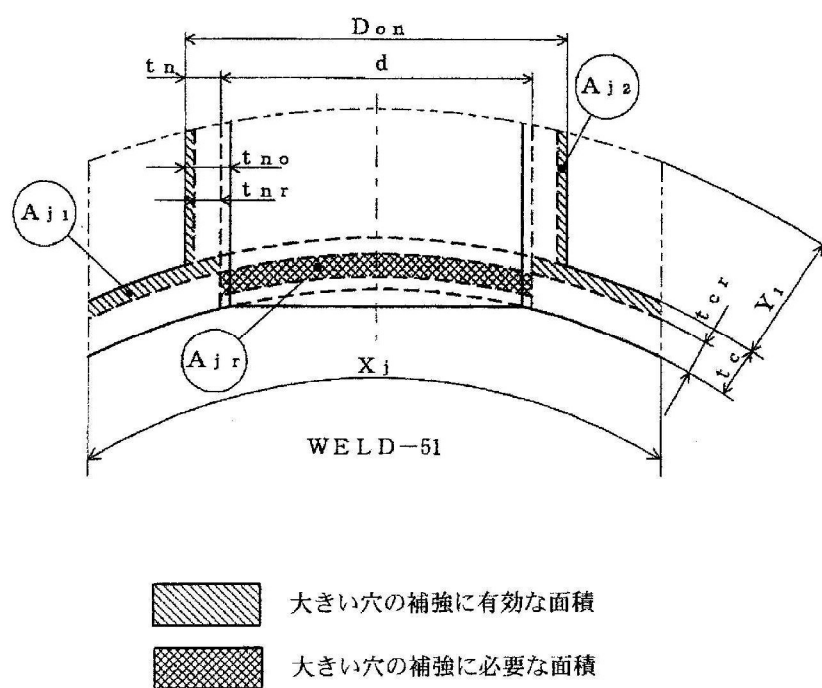


図2-44

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
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 ₀	g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g _i	g _i	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H _D	H _D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h _D	h _D	ボルト穴の中心円から H _D 作用点までの半径方向の距離	mm
H _G	H _G	ガスケット荷重	N
h _G	h _G	ボルト穴の中心円から H _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	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
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h _T	h _T	ボルト穴の中心円から H _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比 (= 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 ₀	M ₀	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
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	$K = A/B$ 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	$K = A/B$ 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。)	—
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	$K = A/B$ 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
Z	Z	$K = A/B$ 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

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
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ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	MPa*
	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。

(2) 算式

a. フランジの内圧計算

任意形フランジは，一体形フランジとして計算する。

ただし，下記条件をすべて満足する場合には，ハブなしルーズ形フランジとして計算する。

- ・ $g_0 \leq 16\text{mm}$
- ・ $B/g_0 \leq 300$
- ・ $P \leq 2\text{MPa}$
- ・ 最高使用温度 $\leq 370^\circ\text{C}$

(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_0 に従い以下のように求める。

ここで， b_0 は J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。

- ・ $b_0 \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_0$$

$$G = G_s - N$$

- ・ $b_0 > 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_0}$$

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

(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

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$$

ロ. ガasket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asket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asket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asket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。

ハ. 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

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

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

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

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

ニ. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

ホ. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_0 - H$$

$$H_T = H - H_D$$

ヘ. 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型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。)

ト. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

チ. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

リ. 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

(イ) 使用状態でのフランジ応力

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_0}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

(ロ) ガasket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,

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

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0}$$

(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)

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$$

(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)

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2$$

(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フランジの場合)

$$e = \frac{F}{h_0}$$

(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)

$$e = \frac{F_L}{h_0}$$

ヌ. 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

(イ) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_H = 0$$

$$\sigma_R = 0$$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B}$$

(ロ) ガasket締付時のフランジの応力

$$\sigma_H = 0$$

$$\sigma_R = 0$$

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B}$$

ル. 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。

(イ) 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

①ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

②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

$$\text{使用状態にあつては } \sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_f, 1.5 \cdot \sigma_n)$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 1.5 \cdot \sigma_{na})$$

- ・ 図2-45 F L A N G E - 2に示すハブ付き一体形フランジの場合

$$\text{使用状態にあつては } \sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_f, 2.5 \cdot \sigma_n)$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 2.5 \cdot \sigma_{na})$$

- ・ 上記以外で鋳鉄以外の材料の場合

$$\text{使用状態にあつては } \sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_f$$

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

③フランジの径方向応力

$$\text{使用状態にあつては } \sigma_R \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \sigma_R \leq \sigma_{fa}$$

④フランジの周方向応力

$$\text{使用状態にあつては } \sigma_T \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \sigma_T \leq \sigma_{fa}$$

⑤軸方向と径方向応力の平均

$$\text{使用状態にあつては } \frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_{fa}$$

⑥軸方向と周方向応力の平均

$$\text{使用状態にあつては } \frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては } \frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_{fa}$$

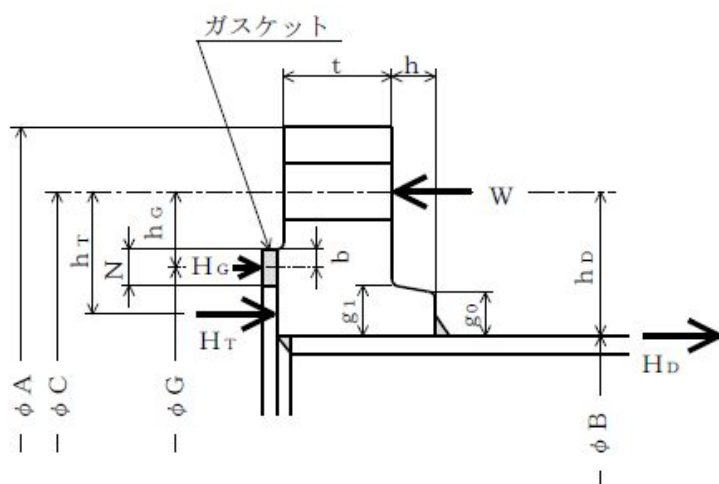
(イ) ルーズ形フランジでハブがないもの、ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ

①ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

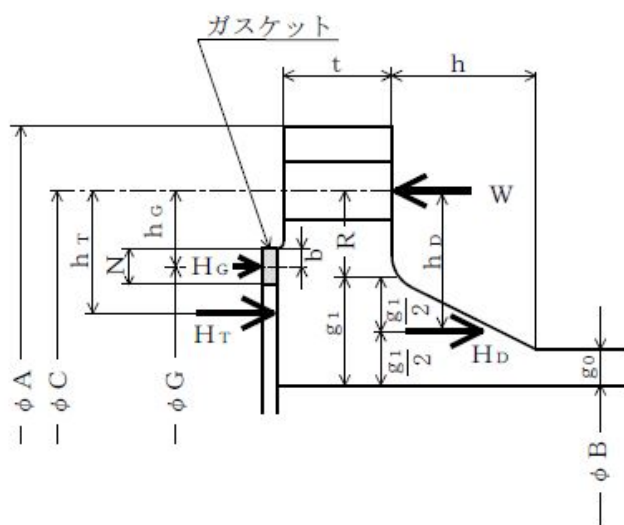
②フランジの周方向応力

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)]

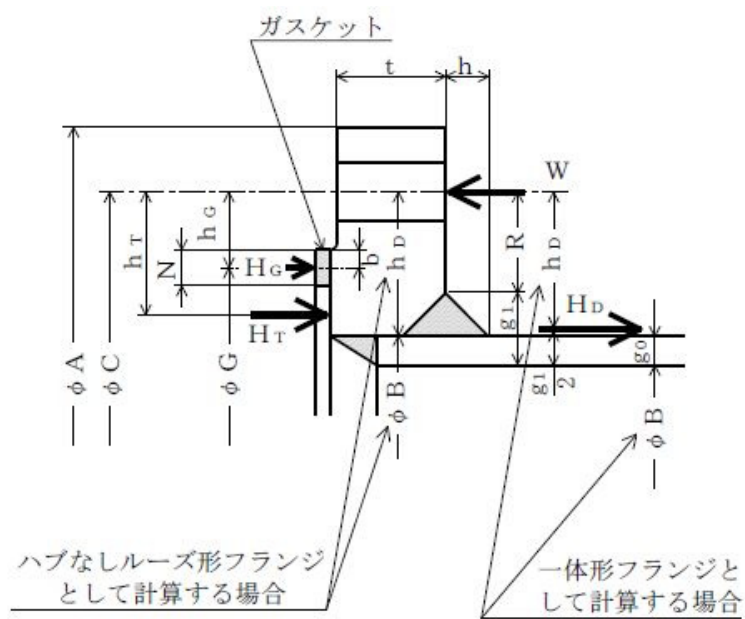


FLANGE-2 (JIS B 8265 附属書3 図2 7), 8), 9))
[一体形フランジ]

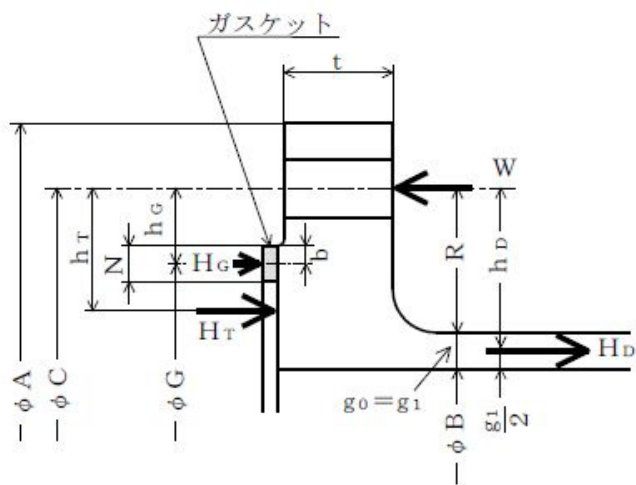
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2： W は、 W_g , W_{m1} , W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図2-45



FLANGE-3 (JIS B 8265 附属書3 図2 11), 12), 13), 14), 15))
〔任意形フランジ〕

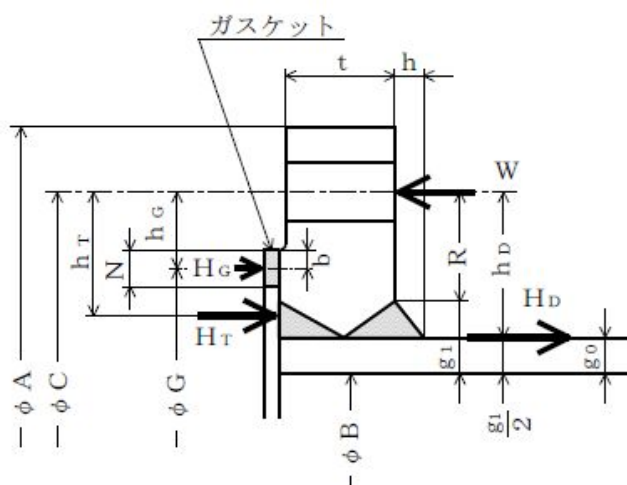


FLANGE-4 (JIS B 8265 附属書3 図2 6))
〔一体形フランジ〕

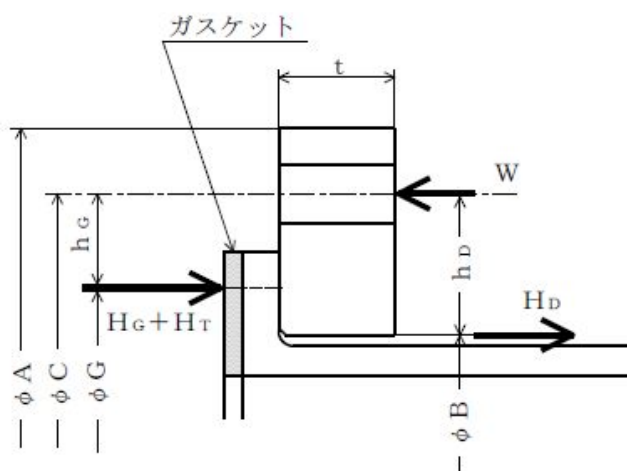
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2: W は、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

图2-46



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2-47

2.3 既工認における評価結果の確認による強度評価方法

クラス2容器を重大事故等クラス2容器として兼用する容器の強度評価について、以下の確認内容のとおり、クラス2容器の既に認可された工事計画（以下「既工認」という。）の添付書類における評価結果を用いることにより、重大事故等クラス2容器の評価ができることから、クラス2容器の既工認の確認による評価を実施する。

2.3.1 確認内容

- (1) 技術基準規則第17条において、クラス2容器の材料、構造及び強度の要求は、重大事故等クラス2容器に要求される適切な機械的強度及び化学的成分、延性破断防止等の要求と同じである。
- (2) 重大事故等時の使用圧力及び使用温度は設計基準の最高使用圧力及び最高使用温度に包絡されている。

2.3.2 強度評価方法

クラス2容器の既工認における評価結果にてクラス2容器としての強度が十分であることを確認することにより、重大事故等クラス2容器として要求される強度が十分であることを確認する。

3. 重大事故等クラス2容器であってクラス1容器の強度計算方法

重大事故等クラス2容器であってクラス1容器については、添付書類「V-2-3-4-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針」に記載する強度計算方法にて評価を実施する。

4. 重大事故等クラス2容器であって原子炉格納容器の強度計算方法

重大事故等クラス2容器であって原子炉格納容器の強度計算方法については、添付書類「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」の記載内容に基づき、設計・建設規格による評価を実施する。

対象となる添付書類を以下に示す。これら添付書類については、評価の対象となる機器の形状、設計条件により計算方法が異なることから、計算方法については各計算書に個別に示すこととする。

V-3-9-1-1-1	ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の基本板厚計算書
V-3-9-1-1-2	ドライウェルトップヘッドの強度計算書
V-3-9-1-1-3	ドライウェルフランジ部の強度計算書
V-3-9-1-1-4	ドライウェル本体及びサプレッション・チェンバ本体の強度計算書
V-3-9-1-1-5	原子炉格納容器胴アンカー部強度計算書
V-3-9-1-1-6	サプレッション・チェンバ底部ライナ部強度計算書
V-3-9-1-1-7	原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書
V-3-9-1-2-1	機器搬入用ハッチの基本板厚計算書
V-3-9-1-2-2	機器搬入用ハッチの強度計算書
V-3-9-1-3-1	所員用エアロックの基本板厚計算書
V-3-9-1-3-2	所員用エアロックの強度計算書
V-3-9-1-3-3	サプレッション・チェンバアクセスハッチの基本板厚計算書
V-3-9-1-3-4	サプレッション・チェンバアクセスハッチの強度計算書
V-3-9-1-4-1	原子炉格納容器貫通部の強度計算書
V-3-9-1-4-2	原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書
V-3-9-1-4-3	電気配線貫通部の強度計算書
V-3-9-2-1	ベント管の強度計算書
V-3-9-2-2-1-1	格納容器スプレイヘッドの基本板厚計算書
V-3-9-2-2-1-2	格納容器スプレイヘッドの応力計算書

別紙 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-3-1-6 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」及び「V-3-2-9 重大事故等クラス2容器の強度計算方法」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 (℃)

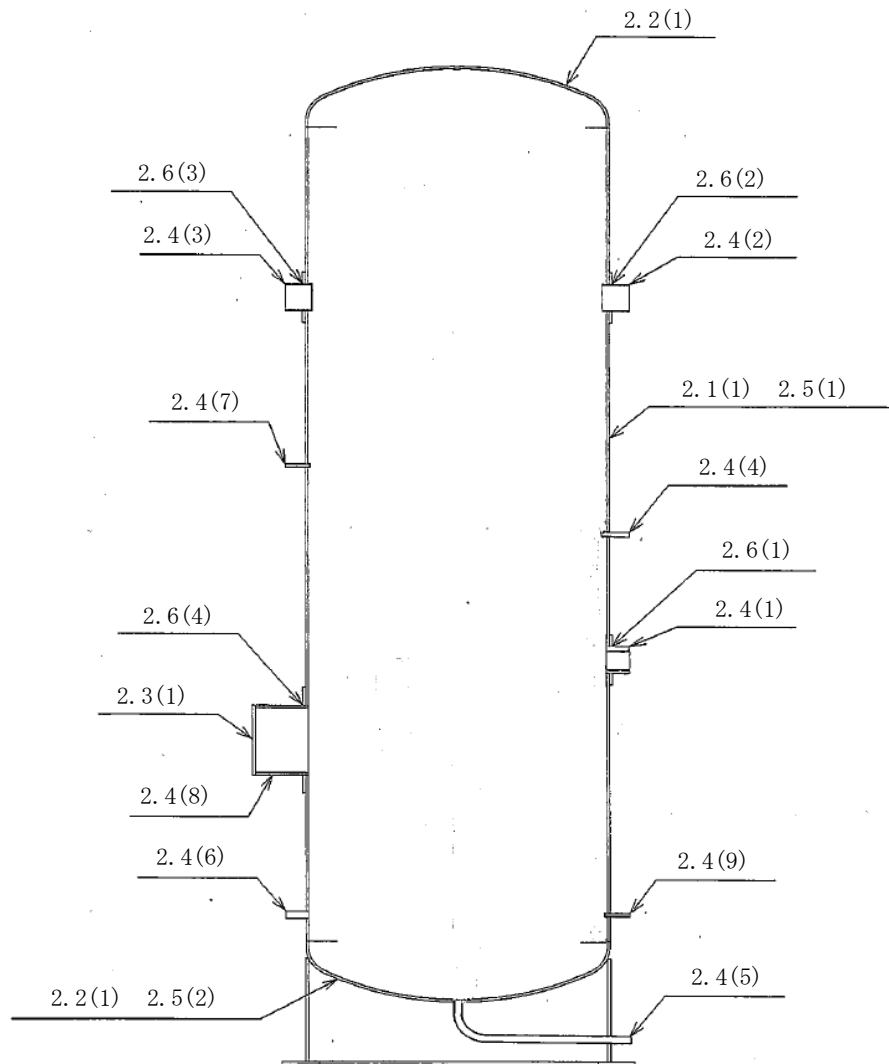
目次

1. 設計条件	.....
2. 適用規格	.....
3. 強度計算	.....
3.1 容器の胴の厚さの計算	.....
3.2 容器の鏡板の厚さの計算	.....
3.3 容器の平板の厚さの計算	.....
3.4 容器の管台の厚さの計算	.....
3.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	.....
3.6 容器の穴の補強計算	.....
3.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	.....

1. 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3-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	****
最高使用温度 (℃)	***

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称		(1) 胴板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
胴の内径	(mm)	D_i
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
t_1, t_2 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{so} (mm)	
最小厚さ	t_s (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の外径 D_{oc} (mm)		2240.00
鏡板の中央部における内面の半径 R (mm)		2200.00
鏡板のすみの丸みの内半径 r (mm)		220.00
$3 \cdot t_{co}$ (mm)		60.00
$0.06 \cdot D_{oc}$ (mm)		134.40
評価： $D_{oc} \geq R$, $r \geq 3 \cdot t_{co}$, $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$, $r \geq 50$ mm, よってさら形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力 P (MPa)		
最高使用温度 (°C)		
胴の内径 D_i (mm)		
さら形鏡板の形状による係数 W		
許容引張応力 S (MPa)		107
継手効率 η		1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ t_1 (mm)		
必要厚さ t_2 (mm)		
t_1, t_2 の大きい値 t (mm)		
呼び厚さ t_{co} (mm)		
最小厚さ t_c (mm)		
評価： $t_c \geq t$, よって十分である。		

2.3 容器の平板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) マンホール平板	
平板の取付け方法	(i)	
平板の穴の有無	無し	
溶接部の寸法	t_{w1}	(mm)
溶接部の寸法	t_{w2}	(mm)
胴又は管の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)
胴又は管の最小厚さ	t_s	(mm)
$t_{w1} + t_{w2}$		(mm)
$2 \cdot t_s$		(mm)
$1.25 \cdot t_{sr}$		(mm)
評価： $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_{ws}$, $t_{w1} \geq t_s$, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$ よって十分である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3310

平板の厚さ

平板名称	(1) マンホール平板	
材料	SUSF316L (厚さ130 mm未満)	
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
許容引張応力	S	(MPa)
取付け方法による係数	K	
平板の径	d	(mm)
必要厚さ	t	(mm)
呼び厚さ	t_{po}	(mm)
最小厚さ	t_p	(mm)
評価： $t_p \geq t$, よって十分である。		

2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) ○○○入口
材料		SUS316LTP-S
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
管台の外径	D _o (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t ₁ (mm)	
必要厚さ	t ₃ (mm)	
t ₁ , t ₃ の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t _{no} (mm)	
最小厚さ	t _n (mm)	
評価：t _n ≥ t, よって十分である。		

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
胴の外径	D (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
胴板の最小厚さ	t_s (mm)	
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	
61, d_{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_s$	(mm ²)	
200, d_{r2} の小さい値	(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径	(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		○○○入口(3.6(1)) ○○○出口(3.6(2)) ○○○出口(3.6(3)) マンホール(3.6(4))

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
鏡板の最小厚さ	t_c (mm)	
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, d_{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm ²)	
200, d_{r2} の小さい値	(mm)	
補強を要しない穴の最大径	(mm)	
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 W E L D - 1 1

部材名称		(1) ○○○入口
胴板材料		SUS316L
管台材料		SUS316LTP-S
強め板材料		SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°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)
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)
管台の最小厚さ	t_n	(mm)
胴板の継手効率	η	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	D_i	(mm)
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm ²)
補強の有効範囲	X_1	(mm)
補強の有効範囲	X_2	(mm)
補強の有効範囲	X	(mm)
補強の有効範囲	Y_1	(mm)
補強の有効範囲	Y_2	(mm)
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)
強め板の外径	B_e	(mm)
管台の外径	D_{on}	(mm)
溶接寸法	L_1	(mm)
溶接寸法	L_2	(mm)
溶接寸法	L_3	(mm)
胴板の有効補強面積	A_1	(mm ²)
管台の有効補強面積	A_2	(mm ²)
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm ²)

強め板の有効補強面積	A_4	(mm ²)
補強に有効な総面積	A_0	(mm ²)
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。		

部材名称	(1) ○○○入口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 d_j (mm)	
評価： $d \leq d_j$ ，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。	

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

3.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

胴側胴板（使用材料規格：J I S G ○○○○ △△△△）の評価結果

（比較材料：J I S G ○○○○ △△△△）

（材料記号を記載）

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	370 N/mm ² 以上	215 N/mm ² 以上	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	370 N/mm ² 以上	215 N/mm ² 以上	

(2) 化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.25 以下	0.35 以下	0.30 ～ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
比較材料	0.25 以下	0.10 ～ 0.35	0.30 ～ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	—	—	—	—	—
比較結果	Si, P, S の成分規定に差異があるが、以下により、本設備の環境下での使用は問題ないとする。 Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1)の評価結果からも機械強度は同等以上であること。 P：冷間脆性に影響を与える成分であるが、本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm 未満）であるため、脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること、さらには、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。 S：熱間脆性に影響を与える成分であるが、本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm 未満）であるため、脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること、さらには、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。									

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学成分、いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本設備において、△△△△を重大事故等クラス2材料として使用することに問題ないとする。

（材料記号を記載）

V-3-2-10 重大事故等クラス 2 ポンプの強度計算方法

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. 計算条件	5
2.1 ポンプの形式判別	5
2.2 計算部位	5
2.3 設計条件	5
3. 重大事故等クラス2ポンプのうちクラス2ポンプの規定に基づく評価	6
3.1 共通記号	6
3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ	7
3.3 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	8
3.4 ケーシング各部形状の規定	9
3.5 往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ	14
3.6 うず巻ポンプ、ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ	15
3.7 ボルトの平均引張応力	17
3.8 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ	19
3.9 吸込及び吐出フランジ	19
4. 重大事故等クラス2ポンプのうちクラス2ポンプの規定によらない場合の評価	19
4.1 立形ポンプの強度計算方法	19
4.2 クラス1容器の規定を準用した強度計算方法	21

別紙 ポンプ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-3-1-6 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」に基づき、重大事故等クラス2ポンプ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。なお、設計基準対象施設のクラス3ポンプで重大事故等対処設備兼用となるポンプのうち、設計・建設規格のクラス2ポンプに規定がないものについては、クラス3ポンプの規定を準用する。

（例）軸垂直割りケーシングを持った1段あるいは多段の立形ポンプ

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては、他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「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フランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PMC-3710）
 - a. J I S B 2 2 3 8（1996）「鋼製管フランジ通則」

表 1-1 設計・建設規格 各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
(重大事故等クラス 2 ポンプ)		
PMC-3110	2.1	ポンプの形式判別
PMC-3320	3.2	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ
PMC-3330	3.3	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ
PMC 3340	3.4	ケーシング各部形状の規定
PMC-3350	3.5	往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ
PMC-3410	3.6	うず巻ポンプ、ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ
PMC-3510	3.7	ボルトの平均引張応力
PMC-3610	3.8	耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ
PMC-3710	3.9	吸込及び吐出フランジ

表 1-2 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) * 「圧力容器の構造—一般事項」附属書 3 (規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」	3	3.7	ボルトの平均引張応力
	4	3.9	吸込及び吐出フランジ*

注記 *：設計・建設規格 PMC-3710 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 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
最高使用温度		℃	—	—	整数位
許容応力* ¹		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 2 位	切捨て	小数点以下第 1 位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第 3 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²

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

*²：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

1.4 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・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

	相当材記号	相当（当該材記号）
(例 1)	SM400A	相当（SMA400AP）
(例 2)	SCS14	相当（ASME SA351 Gr. CF8M）

- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力が異なる場合、材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7（径 $\leq$ 63 mm）

- (3) 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 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. 計算条件

2.1 ポンプの形式判別

ポンプの形式が、設計・建設規格 PMC-3110 に掲げるもののうち、いずれかの形式に該当するかを判別する。

- (1) うず巻ポンプであって、ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの
- (2) ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるもの又は軸平行割りであるもの
- (3) 往復ポンプ

上記(1)及び(2)に掲げるポンプについては、設計・建設規格 PMC-3320 から PMC-3340 及び PMC-3400 から PMC-3700, (3)に掲げるポンプについては設計・建設規格 PMC-3350 から PMC-3700 の規定に従って計算を行う。

2.2 計算部位

設計・建設規格 PMC-3000 において強度計算の対象となる部位を略図を用いて明らかにする。

2.3 設計条件

ポンプの強度計算は、最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）の厚さを求める計算において、使用する最高使用圧力は、以下の(1)又は(2)による。

- (1) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で同一の場合は、その最高使用圧力を使用する。
- (2) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で相違している場合は、以下の条件のうちいずれかにする。
 - a. ケーシングの耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）を吸込側、吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。
(分けない場合は、吐出側のみの最高使用圧力を使用する。)
 - b. ピットバレル形（軸垂直割り軸対称ケーシング）ポンプの場合は、吸込側の最高使用圧力のみを使用する。（ただし、一部管台の計算においては、吐出側の最高使用圧力を使用する。）

3. 重大事故等クラス 2 ポンプのうちクラス 2 ポンプの規定に基づく評価

3.1 共通記号

重大事故等クラス 2 ポンプ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。

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図 表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	ケーシングの計算上必要な厚さ	mm
	t_s	最小厚さ	mm
	t_{so}	呼び厚さ	mm
η	η	長手継手の効率で、設計・建設規格 PVC 3130 を適用する。	—

3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおけるうず巻ポンプ又はターボポンプのケーシング厚さは、設計・建設規格 PMC-3320 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
A	A	図 3-1～2（設計・建設規格 図 PMC-3320-1, 5）に 示す寸法	mm

(2) 算式

$$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$$

ただし、片吸込み1重うず巻ポンプについては、

$$t = \frac{P \cdot A}{S}$$

(3) 評価

最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

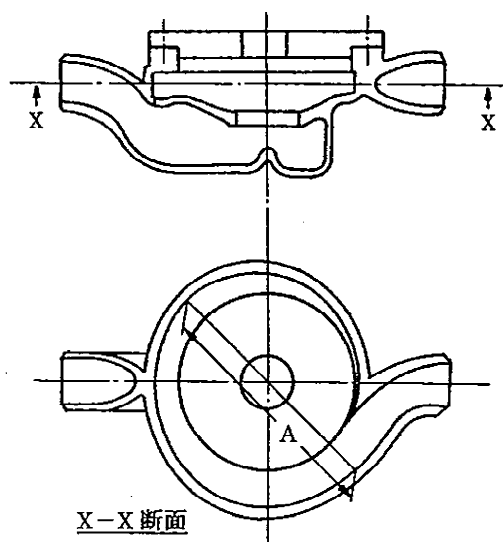


図 3-1 1重うず巻ポンプの例
(設計・建設規格
図 PMC-3320-1)

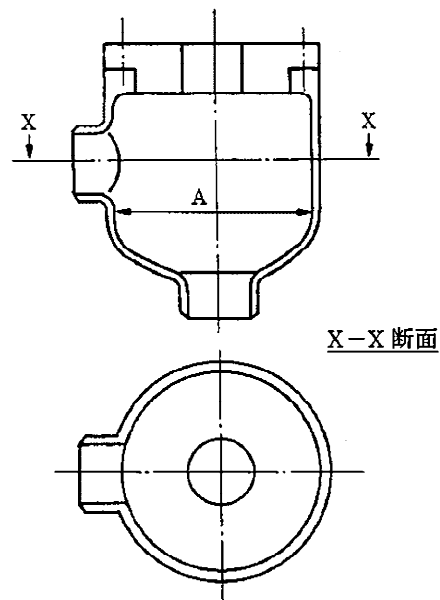


図 3-2 ターボポンプの例
(設計・建設規格
図 PMC-3320-5)

3.3 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおけるうず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さは、設計・建設規格 PMC-3330 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
ℓ	ℓ	図 3-3（設計・建設規格 図 PMC-3330-1）に示す 範囲	mm
r_i	r_i	吸込口部分又は吐出口部分の内半径	mm
r_m	r_m	次式により計算した値 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$	mm
	t_ℓ	ℓ の範囲の最小厚さ	mm
	$t_{\ell o}$	ℓ の範囲の呼び厚さ	mm

(2) 算式

$$\ell = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t}$$

ただし、 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$

(3) 評価

ℓ の範囲の最小厚さ (t_ℓ) $\geq$ 計算上必要な厚さ (t) * ならば十分である。

注記 * : ピットバレル形ポンプの吐出口部分については、吐出口の内径と吐出側の最高使用圧力を用いて求めた必要厚さと、ケーシング内径と吸込側の最高使用圧力を用いて求めた必要厚さの大きい値とする。

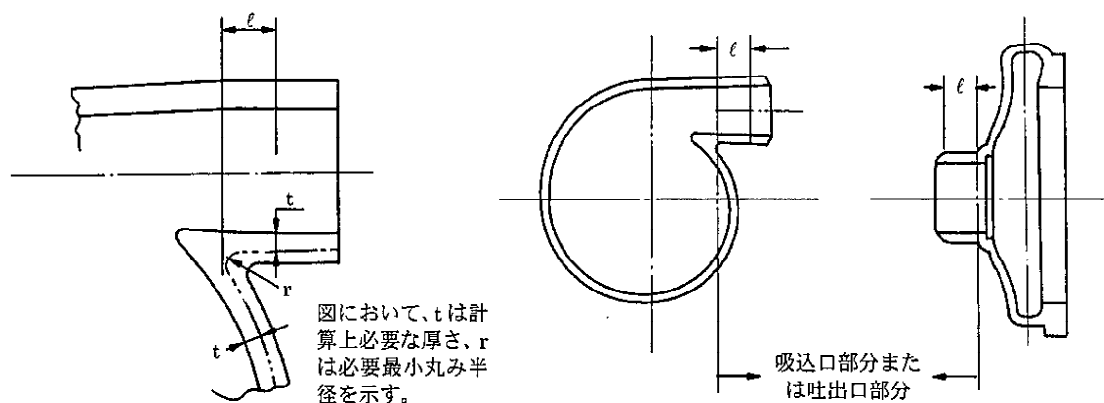


図 3-3 吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例
(設計・建設規格 図 PMC-3330-1)

3.4 ケーシング各部形状の規定

3.4.1 うず巻ポンプであって、ケーシングが軸垂直割りまたは軸平行割りの形状の規定 2.1 項の(1)に掲げるポンプの形状は、設計・建設規格 PMC-3340 (1) から (7) によるものとする。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
	r_1	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の両端の丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{1s}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の両端の丸みの最小半径	mm
	r_{1so}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の両端の丸みの呼び半径	mm
	r_2	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{2s}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの最小半径	mm
	r_{2so}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸みの呼び半径	mm
	r_3	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{3s}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めの丸みの最小半径	mm
	r_{3so}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めの丸みの呼び半径	mm
	r_4	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すクロッチの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{4s}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すクロッチの丸みの最小半径	mm

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
	r_{4so}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すクロッチの丸みの呼び半径	mm
	r_5	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{5s}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの最小半径	mm
	r_{5so}	図3-4-1 (b) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(b)) に示すボリュート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの呼び半径	mm
	t_1	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の点Bから点Cまでの範囲の計算上必要な厚さ	mm
	t_{1s}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の点Bから点Cまでの範囲の最小厚さ	mm
	t_{1so}	図3-4-1 (a) (設計・建設規格 図PMC-3340-1(a)) に示す分流壁の点Bから点Cまでの範囲の呼び厚さ	mm

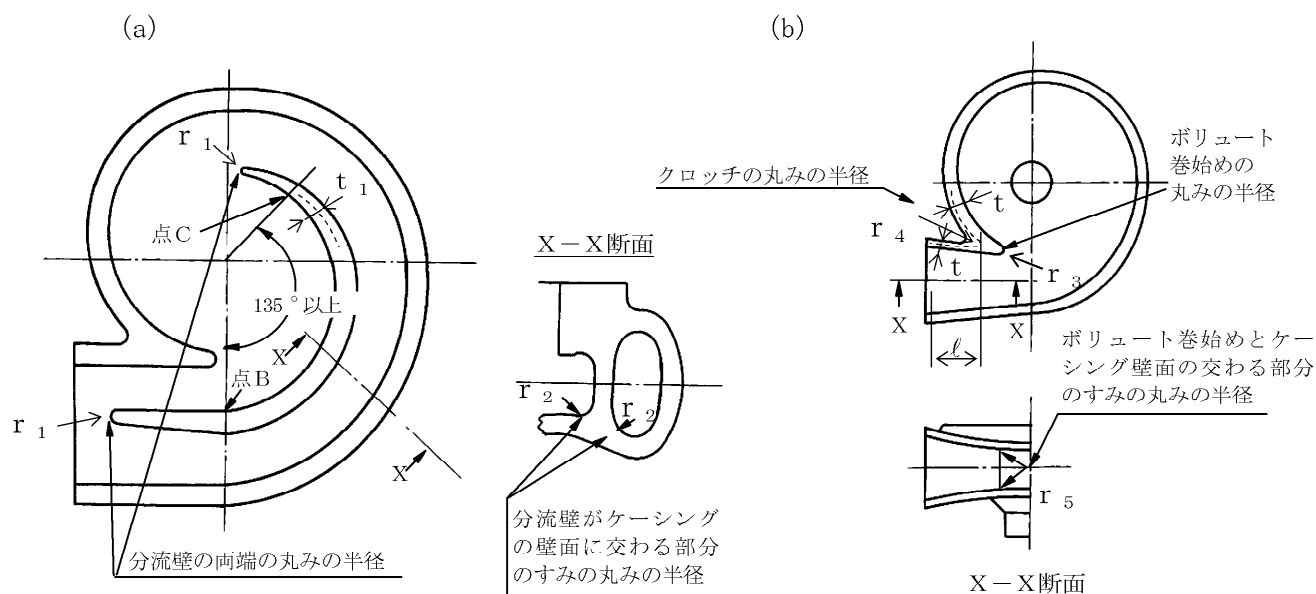


図3-4-1 うず巻ポンプのケーシング各部形状 (設計・建設規格 図PMC-3340-1)

(2) 算式

- | | | | |
|----|---|---|---------------|
| a. | $t_1 = 0.7 \cdot t$ | } | 図 3-4-1 (a) 型 |
| b. | $r_1 = 0.05 \cdot t$ | | |
| c. | $r_2 = 0.1 \cdot t$ 又は 6 mm のうちいずれか大きい値 | | |
| d. | $r_3 = 0.05 \cdot t$ | } | 図 3-4-1 (b) 型 |
| e. | $r_4 = 0.3 \cdot t$ | | |
| f. | $r_5 = 0.1 \cdot t$ 又は 6 mm のうちいずれか大きい値 | | |

(3) 評価

- 最小厚さ (t_{1s}) $\geq$ 計算上必要な厚さ (t_1) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{1s}) $\geq$ 計算上必要な半径 (r_1) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{2s}) $\geq$ 計算上必要な半径 (r_2) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{3s}) $\geq$ 計算上必要な半径 (r_3) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{4s}) $\geq$ 計算上必要な半径 (r_4) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{5s}) $\geq$ 計算上必要な半径 (r_5) ならば十分である。

3.4.2 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定

重大事故等クラス2ポンプにおける2.1項の(2)に掲げるポンプのうち、横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段ポンプのケーシングのボルト穴は、設計・建設規格 PMC-3340(8)，(9)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
X	a	図 3-4-2 (a) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(a)) に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト 穴の中心間の弧の計算上必要な長さ	mm
	a_s	図 3-4-2 (a) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(a)) に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト 穴の中心間の弧の最小長さ	mm
	a_{so}	図 3-4-2 (a) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(a)) に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト 穴の中心間の弧の呼び長さ	mm
	X	図 3-4-2 (b) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(b)) に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間 の計算上必要な距離	mm
	X_s	図 3-4-2 (b) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(b)) に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間 の最小距離	mm
d	X_{so}	図 3-4-2 (b) (設計・建設規格 図 PMC-3340-3(b)) に示すケーシングボルト穴と吐出ノズル内面との間 の呼び距離	mm
	d_{bm}	ケーシングボルトの呼び径	mm

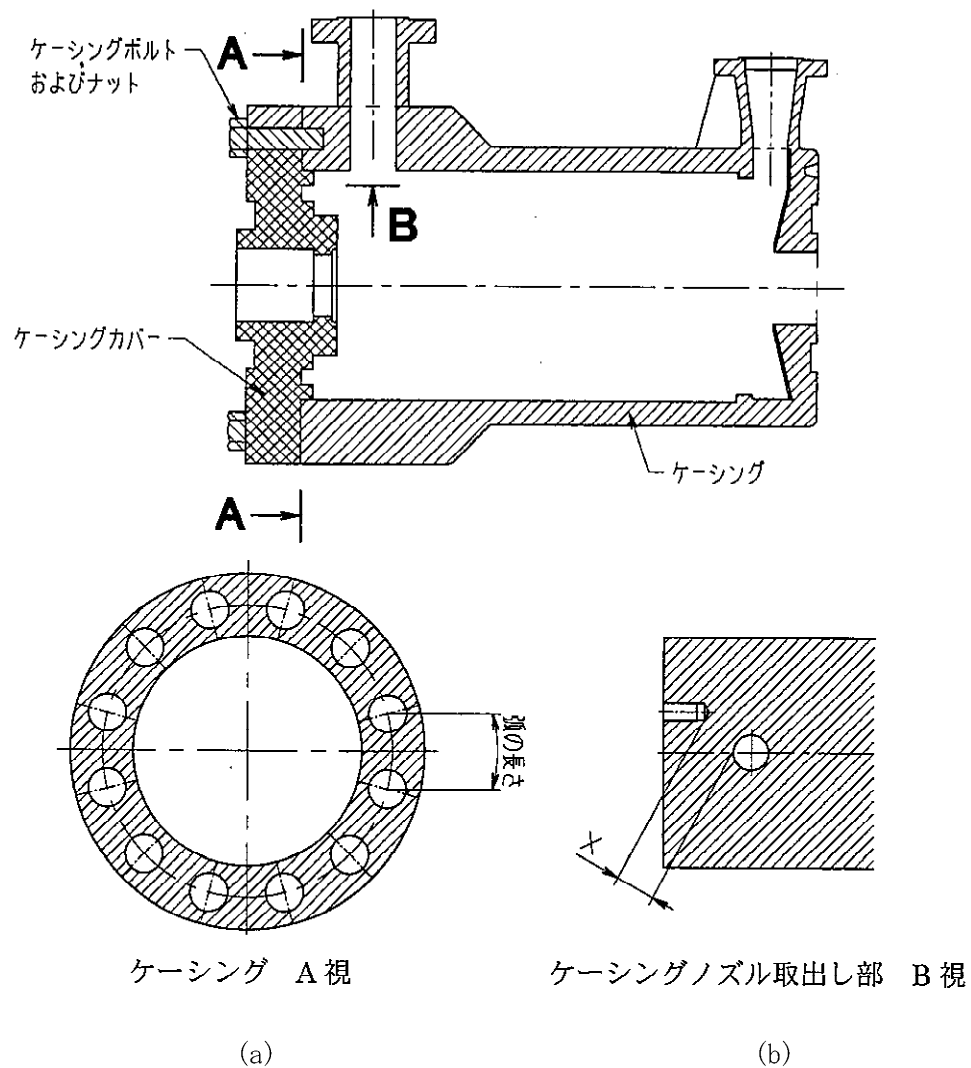


図 3-4-2 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段の
ターボポンプのケーシングのボルト穴回りの形状
(設計・建設規格 図 PMC-3340-3)

(2) 算式

- a. $a = 2 \cdot d_{bm}$
- b. $X = t$ 又は $0.5 \cdot d_{bm}$ のうちいずれか大きい値

(3) 評価

- a. 最小長さ (a_s) $\geq$ 計算上必要な長さ (a) ならば十分である。
- b. 最小距離 (X_s) $\geq$ 計算上必要な距離 (X) ならば十分である。

3.5 往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおける往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さは、設計・建設規格 PMC-3350 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
D_i	D_i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内径	mm
R_i	R_i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内半径	mm
Z	Z	次式により計算された値 $Z = \frac{S \cdot \eta + P}{S \cdot \eta - P}$	—
	継手の種類		
	継手有り	同左	—
	継手無し	同左	—

(2) 算式

厚さが内半径の2分の1以下のもの

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

厚さが内半径の2分の1を超えるもの

$$t = R_i \cdot \left(\sqrt{Z} - 1 \right)$$

$$\text{ただし, } Z = \frac{S \cdot \eta + P}{S \cdot \eta - P}$$

(3) 評価

最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.6 うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ

3.6.1 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバー（軸封部を除く。）の厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおけるうず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバー（軸封部を除く。）の厚さは，設計・建設規格 PMC-3410(1)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
d	d	設計・建設規格 表 PMC-3410-1 に示すケーシング カバーの取付け方法に応じたケーシングカバーの径 又は最小内のり	mm
K	K	設計・建設規格 表 PMC-3410-1 に規定するケーシ ングカバーの取付け方法による係数	—

(2) 算式

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

(3) 評価

最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.6.2 往復ポンプのケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー及びマニホールドカバー）の厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおける往復ポンプのケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー及びマニホールドカバー）の厚さは、設計・建設規格 PMC-3410(1)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
d	d	設計・建設規格 表 PMC-3410-1 に示すケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の取付け方法に応じたケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の径又は最小内のり	mm
F	F	全体のボルトに作用する力（セルフシールガスケットを用いる場合、Fはボルト等に加わる平均引張応力の計算におけるWと等しい。）	N
h_g	h_g	ボルト中心円直径とdとの差の2分の1	mm
K	K	設計・建設規格 表 PMC-3410-1 に規定するケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー又はマニホールドカバー）の取付け方法による係数で、本プラントにおいては、取付け方法が（m）の場合のみであるので、以下に（m）の場合の取付け方法による係数の求め方を示す。 $K = 0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$	—
W	W	パッキンの外径又はケーシングカバーの接触面の外径内の面積に作用する全圧力	MPa

(2) 算式

平板形の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

$$\text{ただし、} K = 0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$$

(3) 評価

最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.7 ボルトの平均引張応力

重大事故等クラス2ポンプのボルトの平均引張応力は、設計・建設規格 PMC-3510 を適用し、以下の方法により求める。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
A_b	A_b	ボルト1本当たりの最小軸断面積 $A_b = (\pi/4) \cdot d_b^2$	mm^2
	b	ガスケット座の有効幅	mm
	b_o	ガスケット座の基本幅 (JIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
	H_p	気密を十分に保つために、ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
	m	ガスケット係数 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	—
		N ガスケットの接触面の幅 (JIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
		n ボルトの本数	—
		S_b 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に規定する材料の許容引張応力	MPa
W	W	ボルトに作用する引張荷重 (注：立形ポンプで評価対象ボルトに部品の自重が掛かる場合はその自重を荷重として加える)	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	N/mm^2
S_b	π	円周率	—
	σ	耐圧部分等のうちボルト等に係るものの最高使用圧力又はガスケット締付時のボルト荷重と釣り合う場合に生じる平均引張応力	MPa

(2) 算式

円形フランジをボルト等により締め付ける場合

設計・建設規格 PVB-3121 の解説及び J I S B 8 2 6 5 附属書 3 の方法により計算する。

$$\sigma = \frac{W}{n \cdot A_b}$$

ただし、Wは次式で計算される W_{m1} 、 W_{m2} のいずれか大きい値とする。

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$\text{ここで、} H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$$

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

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

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

なお、セルフシールガスケットを使用する場合は、次式を用いる。

$$W_{m1} = H = \frac{\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot P$$

$$W_{m2} = 0$$

(3) 評価

ボルトの平均引張応力 (σ) $\leq$ 許容引張応力 (S_b) ならば十分である。

3.8 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ

重大事故等クラス2ポンプについては設計・建設規格 PMC-3610 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
D_o	D_o	管台の外径	mm
	継手の種類		
	継手有り	同左	—
	継手無し	同左	—

(2) 算式

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

(3) 評価

最小厚さ（ t_s ） $\geq$ 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.9 吸込及び吐出フランジ

重大事故等クラス2ポンプについては設計・建設規格 PMC-3710 に規定されるフランジ（JIS規格（材料に係る部分を除く。）又は、設計・建設規格 別表2 のいずれか）を用いる。これ以外のフランジを用いる場合は、JIS B 8265 附属書3により応力計算を行い、必要な強度を有することを確認する。

4. 重大事故等クラス2ポンプのうちクラス2ポンプの規定によらない場合の評価

4.1 立形ポンプの強度計算方法

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。

4.1.1 軸垂直割りケーシングをもった1段あるいは多段の立形ポンプの吐出エルボ、揚水管及びボウルの厚み

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
D_o	D_o	図 4-1（設計・建設規格 図 PMD-3310-7）に示す吐出エルボの外径寸法，揚水管の外径寸法又は個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法	mm
d	d	吐出エルボ，揚水管又はボウルの内径寸法	mm
y	y	0.4 ($D_o / t \geq 6.0$ の場合) $d / (d + D_o)$ ($D_o / t < 6.0$ の場合)	—

(2) 算式

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

(3) 評価

最小厚さ (t_s) $\geq$ 計算上必要な厚さ (t) ならば十分である。

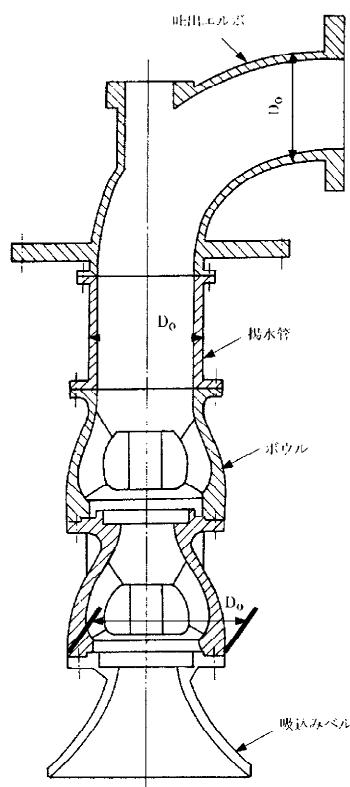


図 4-1 軸垂直割りケーシングをもった多段の立形ポンプの例
(設計・建設規格 図 PMD-3310-7)

4.2 クラス1容器の規定を準用した強度計算方法

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。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
P_b	P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	P_L	一次局部膜応力	MPa
P_m	P_m	一次一般膜応力	MPa
S_m	S_m	設定応力強さ	MPa

(2) 強度計算方法

a. ケーシングカバーの応力計算（設計・建設規格 PVB-3111 準用）

設計・建設規格に基づく評価を実施する場合

クラス1容器の応力評価の規定である設計・建設規格 PVB-3111を準用して応力解析を実施し、その一次応力強さは次の規定を満足することを確認する。*

- (a) 一次一般膜応力強さが S_m を超えないこと。
- (b) 一次局部膜応力強さが $1.5 S_m$ を超えないこと。
- (c) 一次膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さが $1.5 S_m$ を超えないこと。

注記 *：以下の規定から、重大事故等クラス2ポンプのケーシング及びケーシングカバーについて、クラス1容器の応力評価の規定 設計・建設規格 PVB-3111 を準用することとする。

- ・設計・建設規格解説 PMC-3410 において、本規定は「クラス2容器の平板の必要厚さ（PVC-3310）及びフランジ付きさら形ふた板（PVC-3410, PVC-3420）の必要最小厚さの計算式を採用したものである。」と記載されている。
- ・クラス2容器の材料及び構造の特例 設計・建設規格 PVC-1210 では、「PVC-2000 から PVC-2400, PVC-3100 から PVC-3800 及び PVC-4100 までの規定にかかわらず、クラス2容器の材料及び構造の規格は、PVB-2000 から PVB-2400 及び PVB-3100 から PVB-4100 までの規定に準ずることができる。」と記載されていることから、重大事故等クラス2ポンプのケーシングカバーは、クラス1容器の応力評価の規定 設計・建設規格 PVB-3111 を準用する。

別紙 ポンプの強度計算書のフォーマット

V-○-○-○-○ ○○○ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「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」及び「V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定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.	計算条件	.....
1.1	ポンプ形式	.....
1.2	計算部位	.....
1.3	設計条件	.....
2.	強度計算	.....
2.1	ケーシングの厚さ	.....
2.2	ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	.....
2.3	ケーシングのボルト穴	.....
2.4	ケーシングカバーの厚さ	.....
2.5	ボルトの平均引張応力	.....
2.6	耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	.....
2.7	設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	.....

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

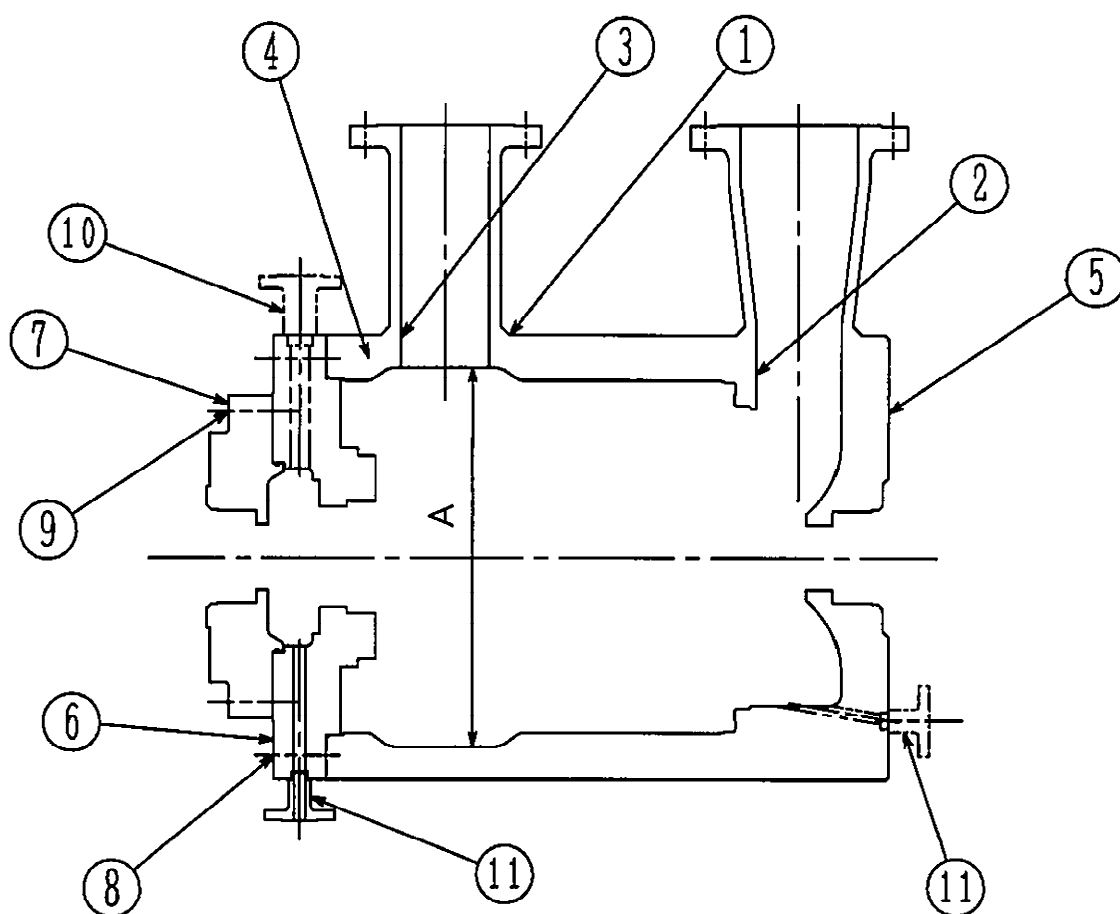


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①				

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	r _i	r _m	ℓ	t	t _{ℓo}	t _ℓ
②						
③						

評価： $t_\ell \geq t$ ， よって十分である。

2.3 ケーシングのボルト穴

設計・建設規格 PMC-3340

(単位：mm)

計算部位	d_{bm}	a	a_{so}	a_s	X	X_{so}	X_s
④							

評価： $a_s \geq a$ ，よって十分である。評価： $X_s \geq X$ ，よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PMC-3410

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤					
⑥					
⑦					

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S _b (MPa)	d _b (mm)	n	A _b (mm ²)
⑧						
⑨						

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G _s (mm)	G (mm)	D _g (mm)

H (N)	H _p (N)	W _{m1} (N)	W _{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)

評価：σ ≤ S_b，よって十分である。

2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D _o (mm)
⑩				
⑪				

継手の種類	放射線透過試験の有無	η

t (mm)	t _{s o} (mm)	t _s (mm)

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

ケーシング（使用材料規格：J I S G ○○○○ △△△△）の評価結果

（比較材料：J I S G ○○○○ △△△△）

（材料記号を記載）

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	370 N/mm ² 以上	215 N/mm ² 以上	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	370 N/mm ² 以上	215 N/mm ² 以上	

(2) 化学的成分

	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.25 以下	0.35 以下	0.30 ～ 0.90	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
比較材料	0.25 以下	0.10 ～ 0.35	0.30 ～ 0.90	0.035 以下	0.035 以下	—	—	—	—	—
比較結果	Si, P, S の成分規定に差異があるが、以下により、本設備の環境下での使用は問題ないとする。 Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1)の評価結果からも機械強度は同等以上であること。 P：冷間脆性に影響を与える成分であるが、本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm 未満）であるため、脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること、さらには、設計・建設規格クラス 2 の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。 S：熱間脆性に影響を与える成分であるが、本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm 未満）であるため、脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること、さらには、設計・建設規格クラス 2 の規定でも破壊脆性試験が要求されない範囲であること。									

(3) 評価結果

(1) (2) の評価により、機械的強度、化学成分、いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本設備において、△△△△を重大事故等クラス 2 材料として使用することに問題ないとする。

（材料記号を記載）

V-3-2-11 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法

まえがき

本書は、工事計画認可申請書に添付する重大事故等クラス 2 管の強度計算について説明するものである。

本書は、添付書類「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」に基づき以下により構成される。

- 第一部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管の基本板厚計算方法
- 第二部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管の応力計算方法
- 第三部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管の規定によらない場合の強度計算方法
- 第四部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管の基本板厚計算方法
- 第五部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管の応力計算方法

第一部 重大事故等クラス 2 管であってクラス 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. 重大事故等クラス2管であってクラス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
3. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	1-89

1. 一般事項

1.1 概要

本書は、発電用原子力設備のうち重大事故等クラス2管であってクラス2管の基本板厚計算書（以下「基本板厚計算書」のことを「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・建設規格より溶接継手、フランジ継手及び機械継手とする。

上記のうち機械継手は設計・建設規格 PPD-3430に記載されクラス3管として使用可能な継手であり、海水系配管のように重大事故等クラス2管として要求される機能が設計基準対象施設（クラス3管）と同じ機能である場合、強度に関する最高使用圧力及び最高使用温度が同じである事を確認し、機械継手を使用できるものとする。

なお、クラス2管とクラス3管に規定される計算上必要な厚さの規定は同様であり、機械継手の強度評価は主要耐圧部材の厚さが計算上必要な厚さの規定以上であることを確認する。

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 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) レジャーサの強度計算 (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 (レジャーサ) 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	レジャーサの強度計算 レジャーサの強度計算 (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
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、本書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、本書によるものとする。
- (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. 重大事故等クラス2管であってクラス2管の強度計算方法

重大事故等クラス2管であってクラス2管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設 規格又は 告示第501 号の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	NO.	管，平板，鏡板，レジューサ，管の穴，フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ：管 B：平板 C：鏡板 R：レジューサ T：管の穴 F：フランジ E：伸縮継手 SP：穴あき管	—
P	P	最高使用圧力（内圧）	MPa
P_e^*	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率 管及び鏡板は設計・建設規格 PVC-3130 による。レジューサは設計・建設規格 PVC-3130 及び PVC-3140 による。 告示第501号より計算を実施する場合，告示第501号第31条第3項第1号による。	—

注記 *：告示第501号で使用されていない記号

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は，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501号第58条第1項第1号により求めた値： t

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

b. 外面に圧力を受ける管

告示第501号第58条第1項第2号により求めた値： t_{op}

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

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

(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。

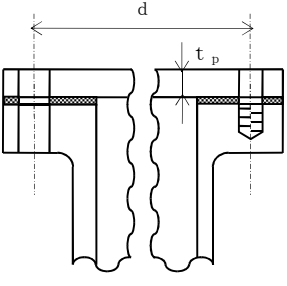
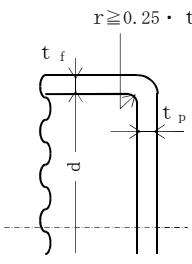
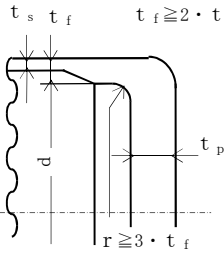
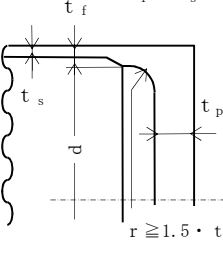
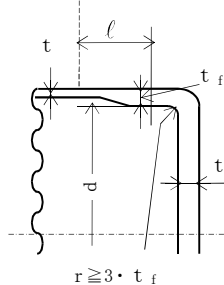
(1) 記号の説明

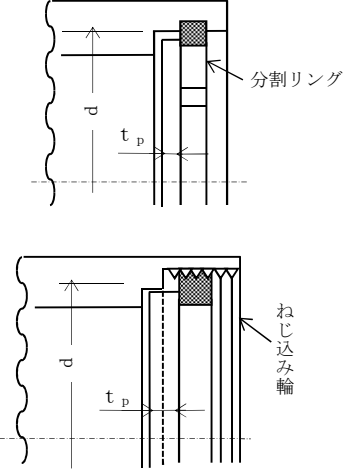
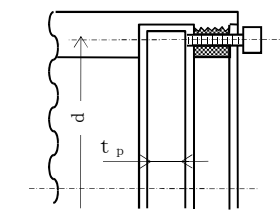
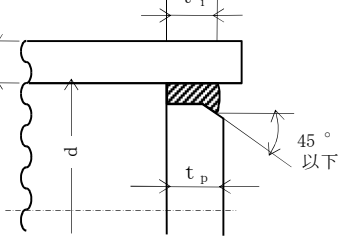
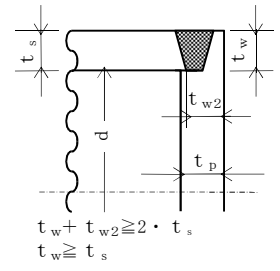
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表 PPC-3413-1 に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径と d との差の 2 分の 1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t_r / t_s	—
m	m_g	ガスケット係数 (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

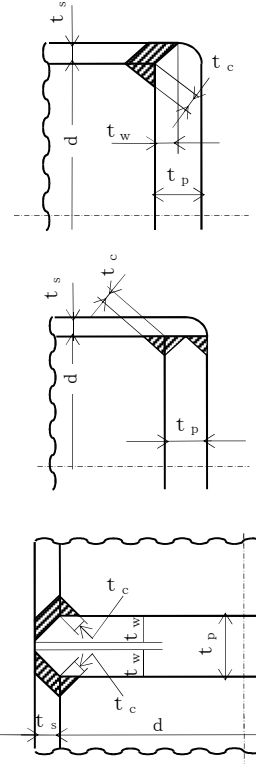
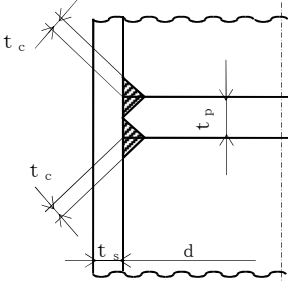
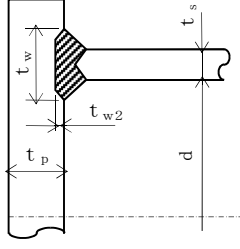
設計・建設 規格又は J I Sの記号	計算書の表示	表示内容	単位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力 (S_a 又は S_b のいずれか 小さい方の値)	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング 等の機械的装置の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

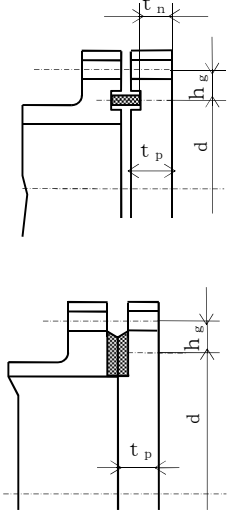
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)～(n)	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ガスケット座 面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 によ る。	—
	平板の取付け 方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413 の表 PPC-3413-1 による。	—
	2A～2N	取付け方法の表示区分	

(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)	 $t_c \geq \text{Min} (0.7 \cdot t_s, 6 \text{ mm})$ であること。
(ℓ)	 $t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ であること。

	取付け方法	形状の制限
(m)		無し
(n)	その他の場合	無し

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	Kの値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33・m, 0.2) $m = t_r / t_s$
(e)	0.17 ^{*1} 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20 ^{*2}
(h)	Max (0.33・m, 0.2) $m = t_r / t_s$
(i)	0.33
(j)	Max (0.33・m, 0.2) $m = t_r / t_s$
(k)	
(l)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、 t_n の厚さの場合は $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ^{*3}
(n)	0.50

注記 *1: 取付け方法 (e) の場合

t_f から t_s へ移行するテーパが 1 対 4 又はそれより緩やかであり、かつ、以下の(a)又は(b)いずれかの場合、 $K=0.10$ とできる。

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

$$d = G$$

(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

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

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

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

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

(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) 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 8265 附属書 3 表 3 による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし, P は 2.7 項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

- (c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

- (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

- 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。
- 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。

$$D_{oc} \geq R$$

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

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

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

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)a. の式PPC-1.12又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)b.

の式PPC-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

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

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

ただし，

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

小径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(3) の式PPC-1.11より求めた値

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

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

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

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 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
	S	Q _b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
		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 5 0 1 号 別表第 4 及び別表第 5 による。	MPa
	S	S _e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 告示第 5 0 1 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。

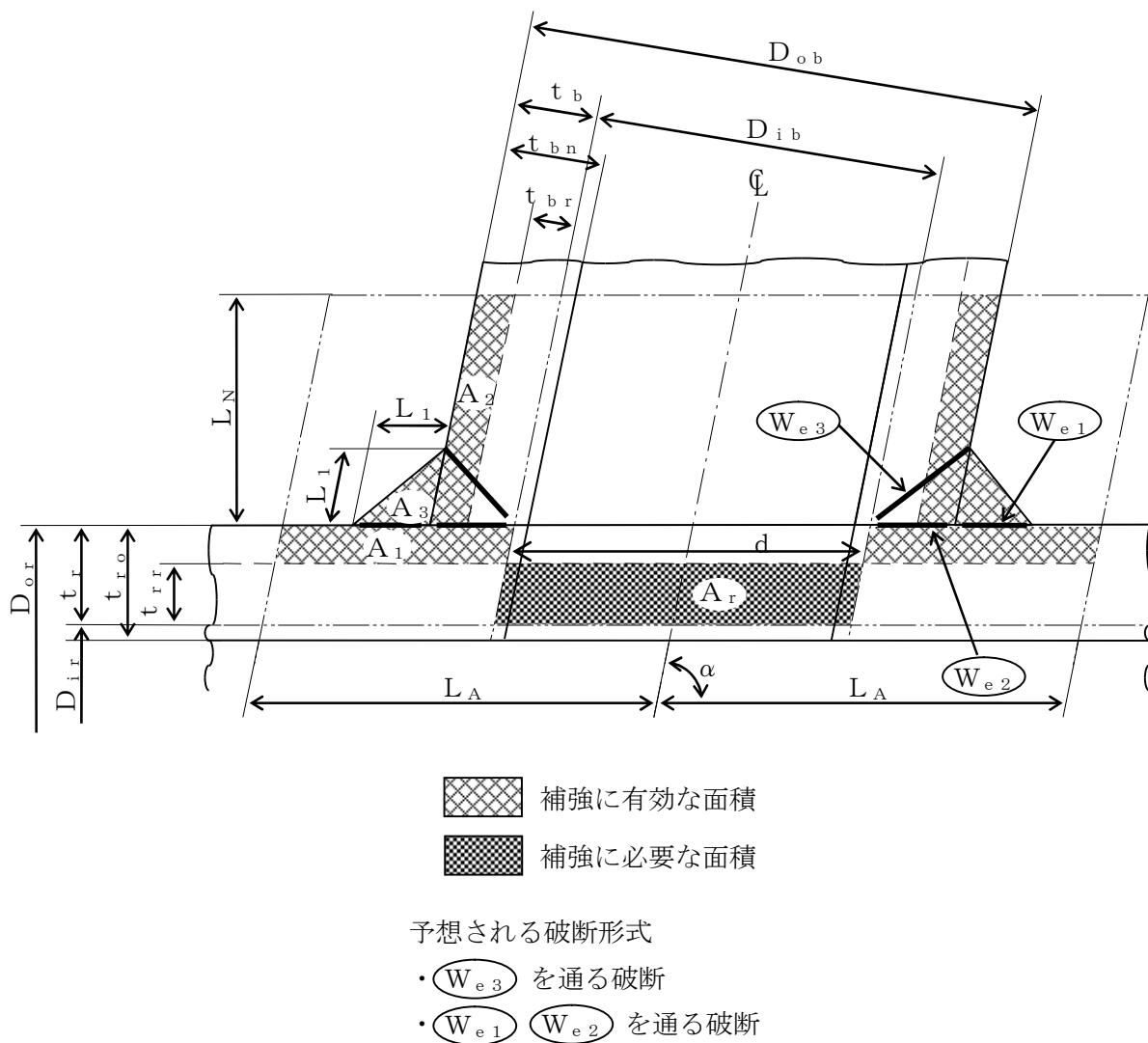
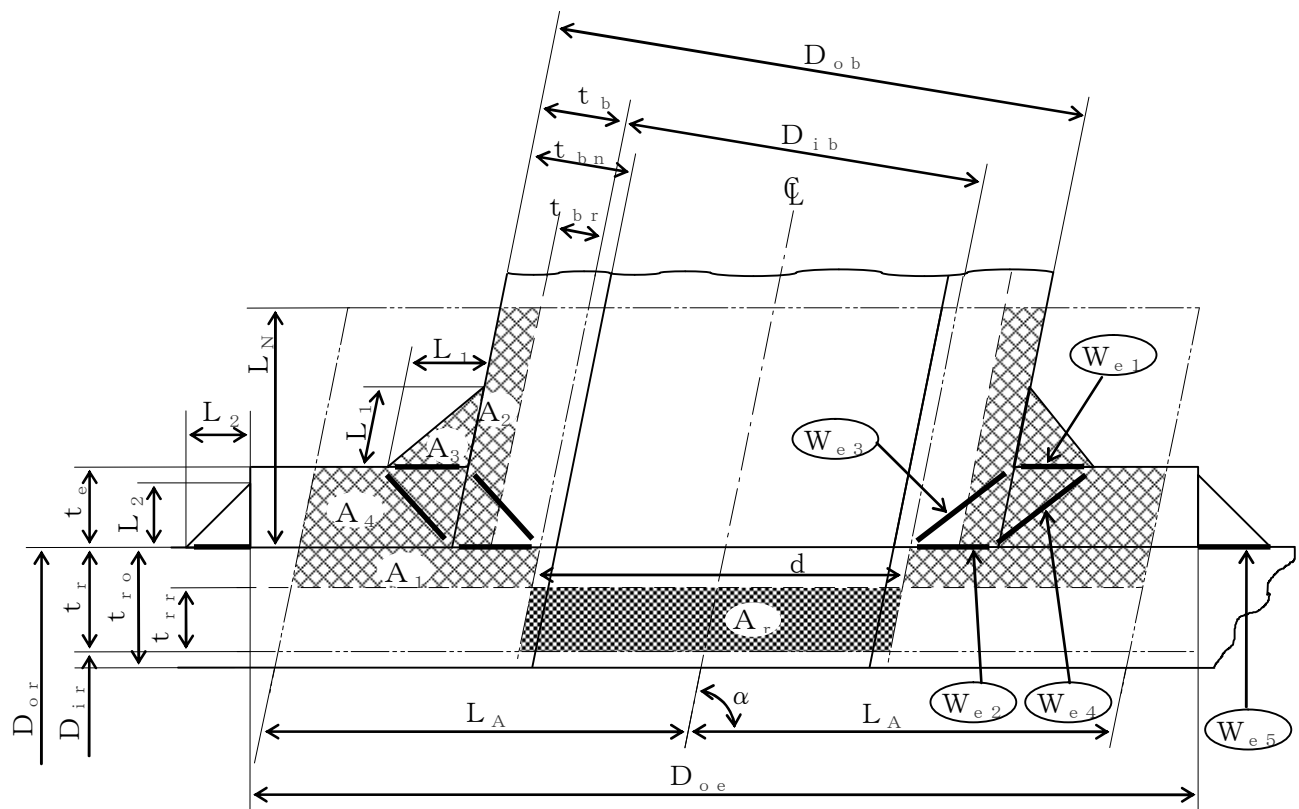


図 2-1 A形（強め材のない場合）

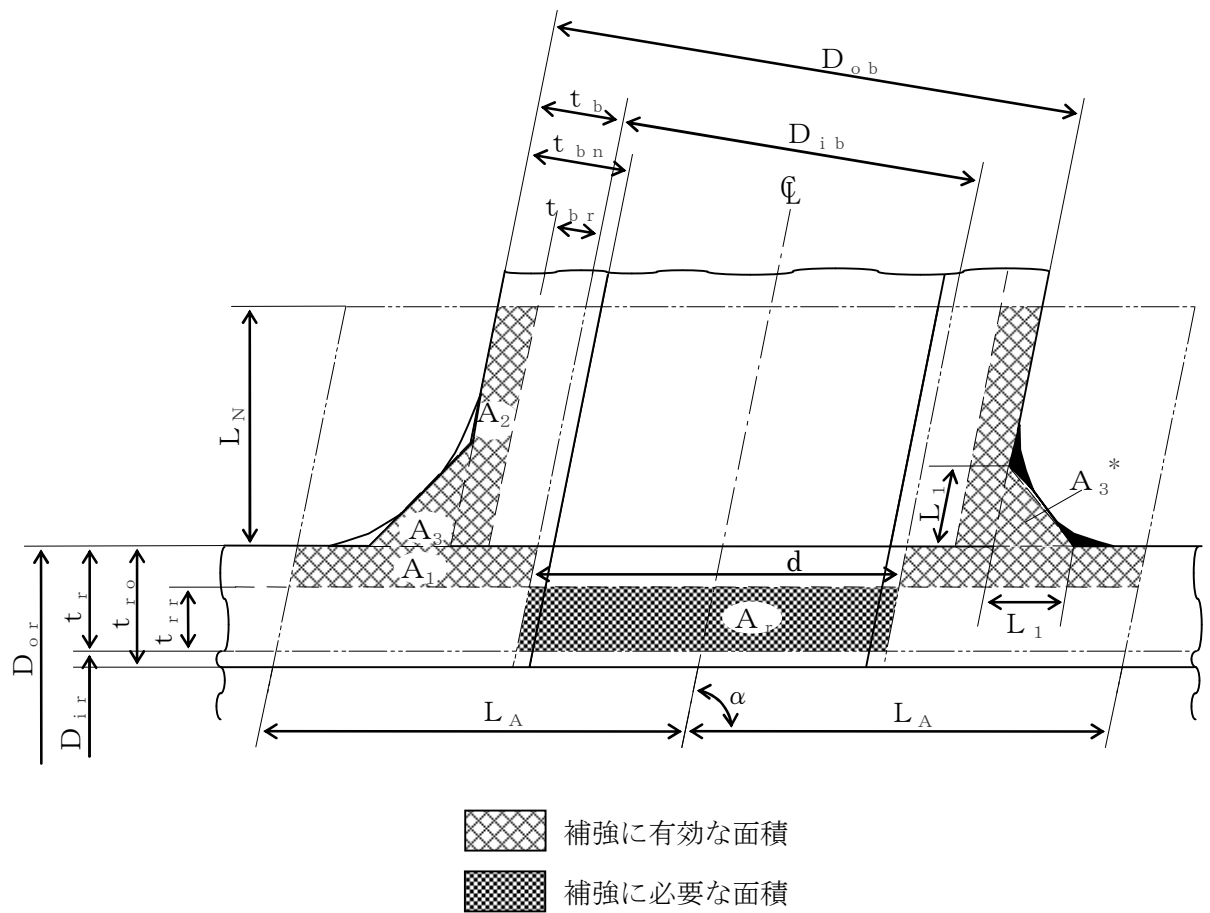


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e1} W_{e3} を通る破断
- W_{e2} W_{e4} を通る破断
- W_{e2} W_{e5} を通る破断

図 2-2 B 形 (強め材のある場合)



注記 * : 本形式における補強に有効な面積 A_3 はA形及びB形と同様に $A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記 部) として算出するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記 部) は、補強面積評価上は考慮しない。

図 2-3 C 形 (一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、告示第501号第60条（第31条第5項第2号イ、ロ準用）を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は、次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値（ d_{fr} ）とする。

イ. 管に設ける穴であって、穴の径が61 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。

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

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

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。

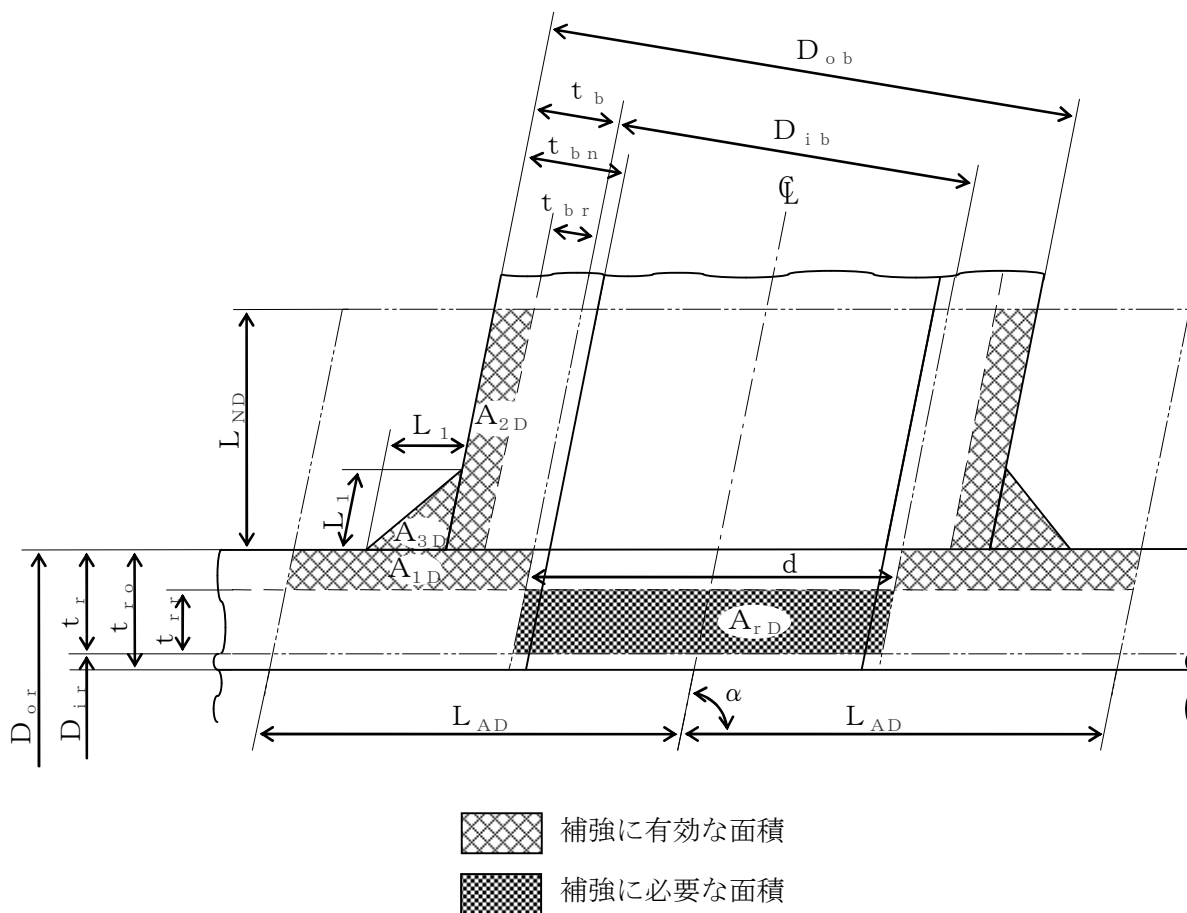


図 2-4 A形（強め材のない場合）

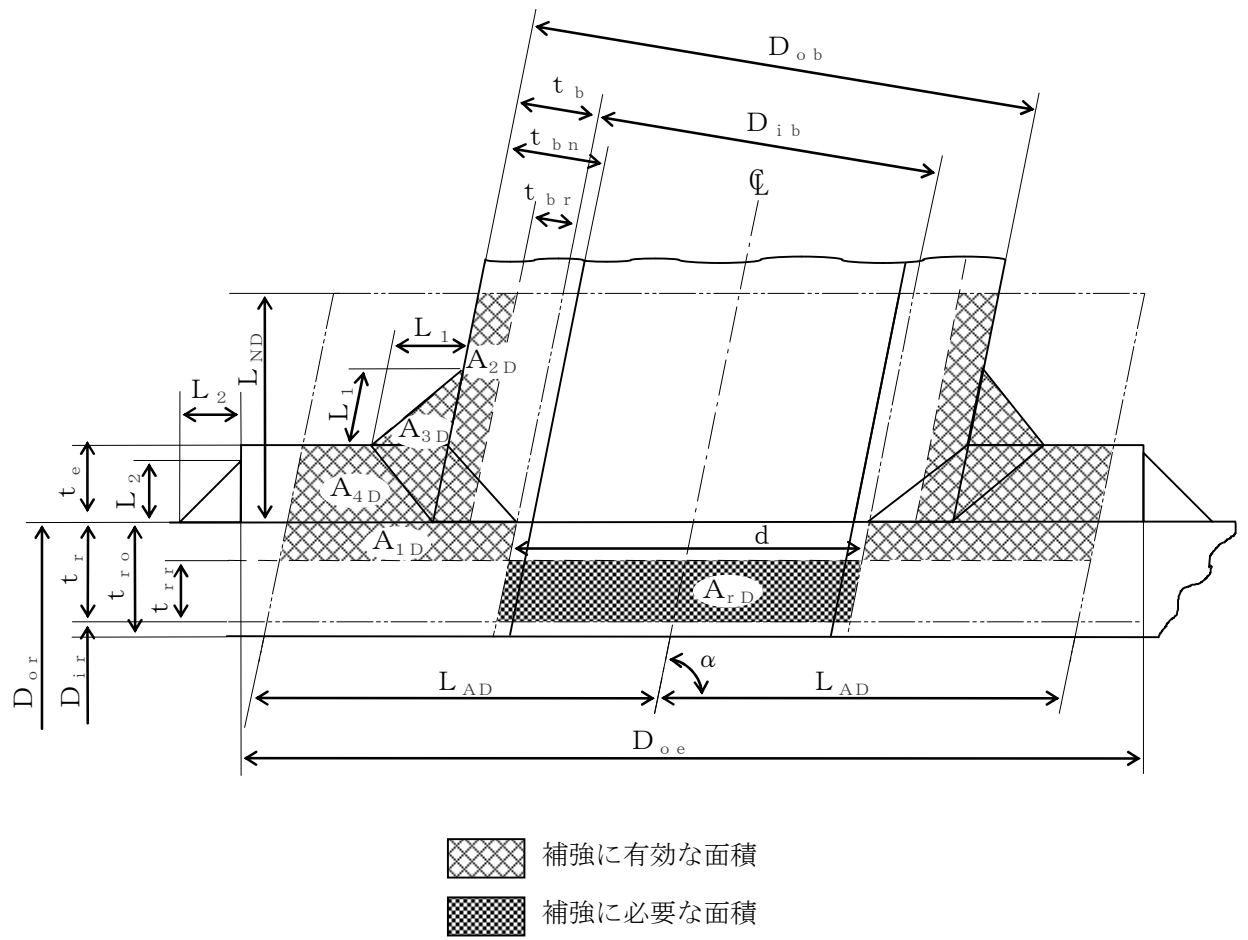
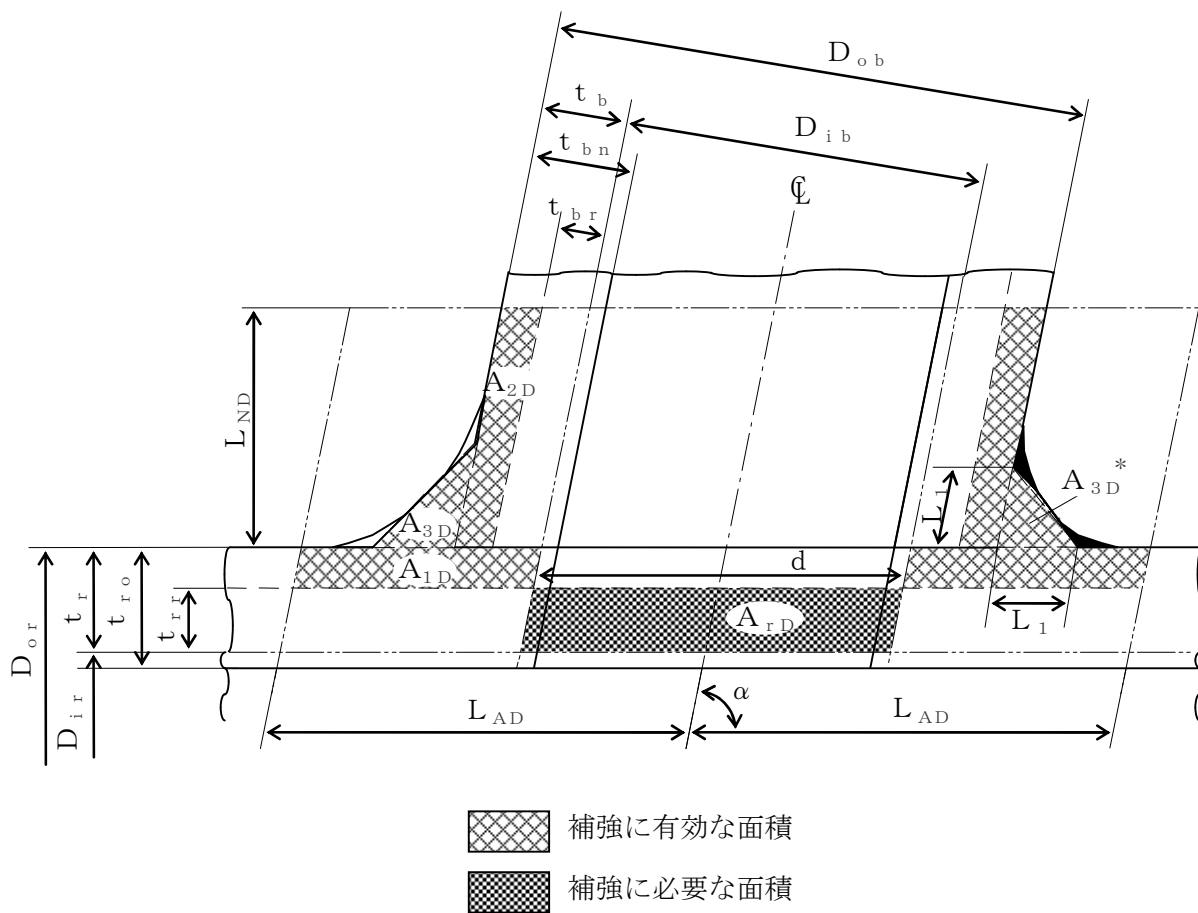


図 2-5 B 形（強め材のある場合）



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,

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

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。

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 D _o	鏡板の内面における長径 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 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 _{c o}	平板の呼び厚さ	mm
	t _{s r} , t _{r 2}	t _{c r}	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 _{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の2分の1の面積	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	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 2-7～図 2-11 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。

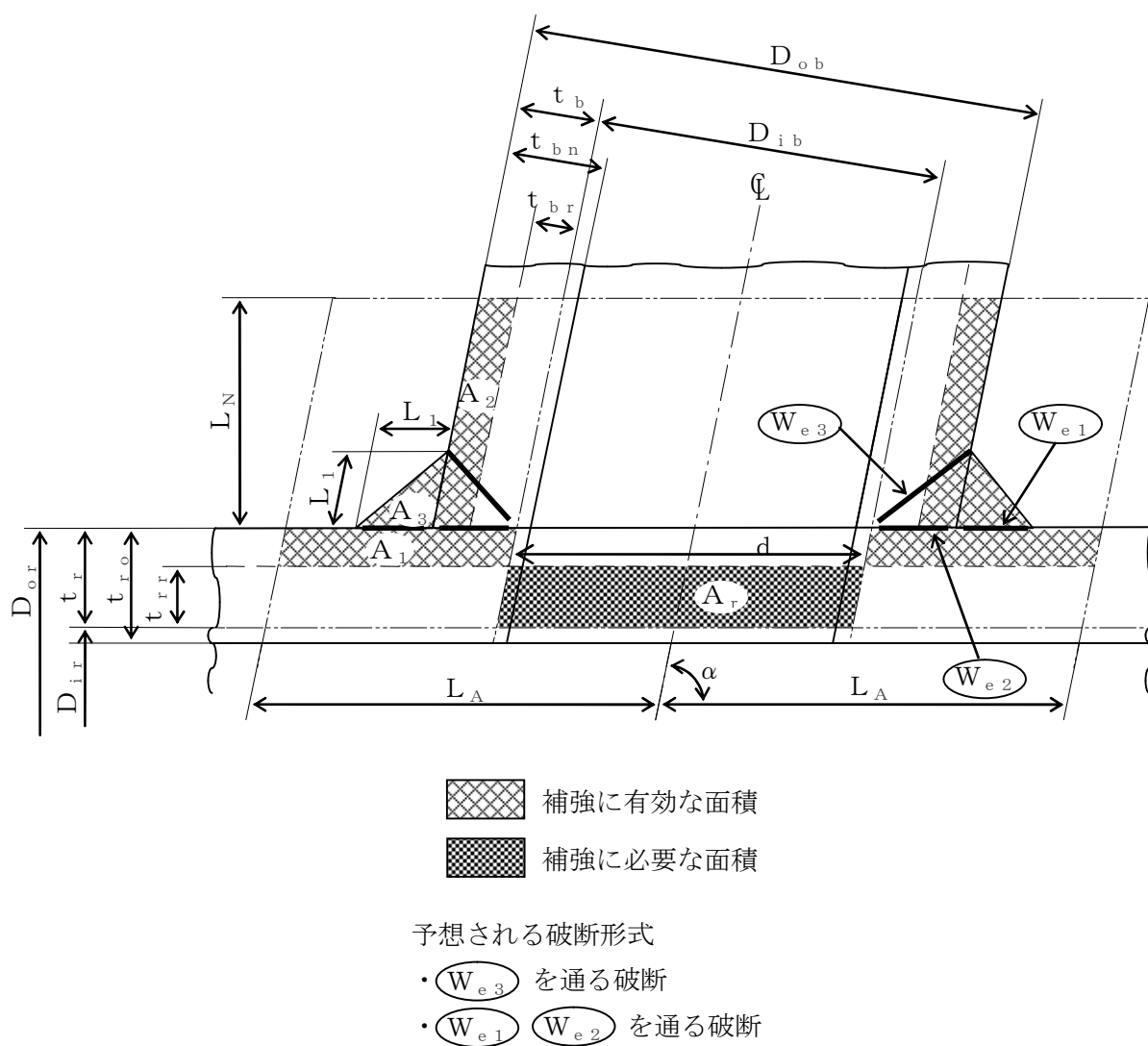


図 2-7 A形（強め材のない場合）

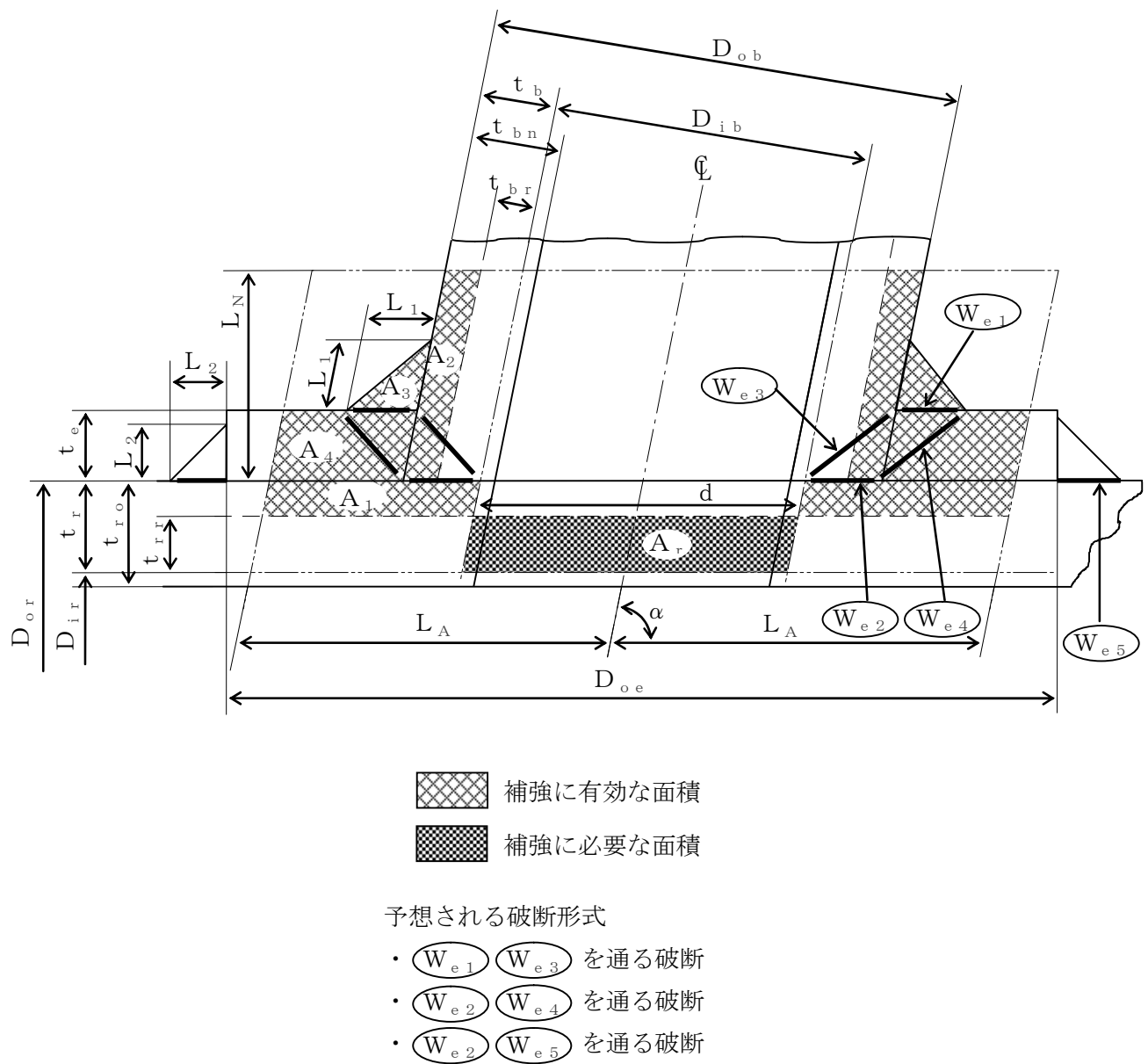
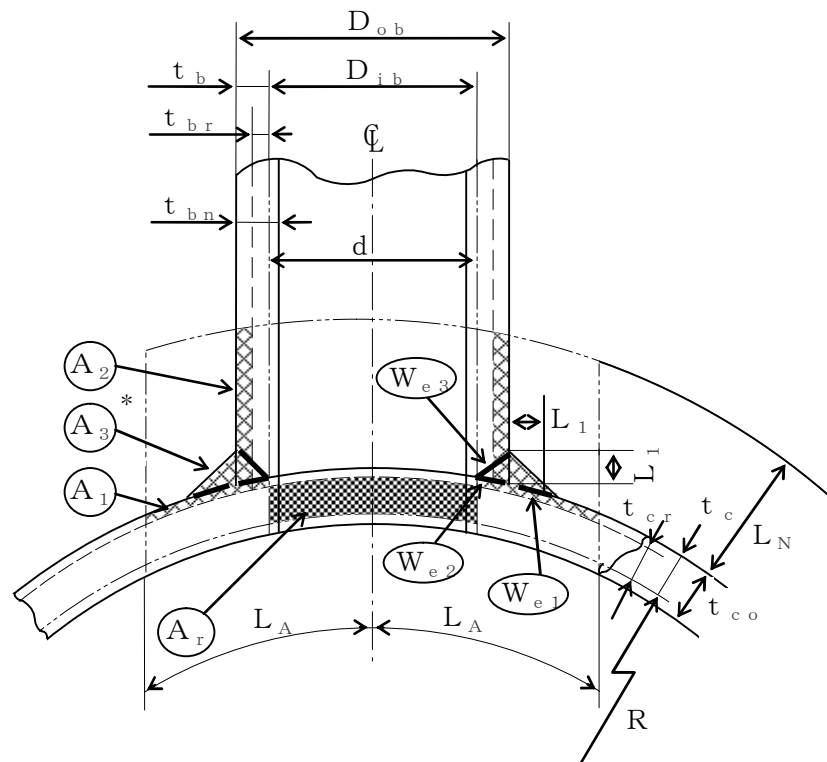


図 2-8 B 形 (強め材のある場合)



補強に有効な面積



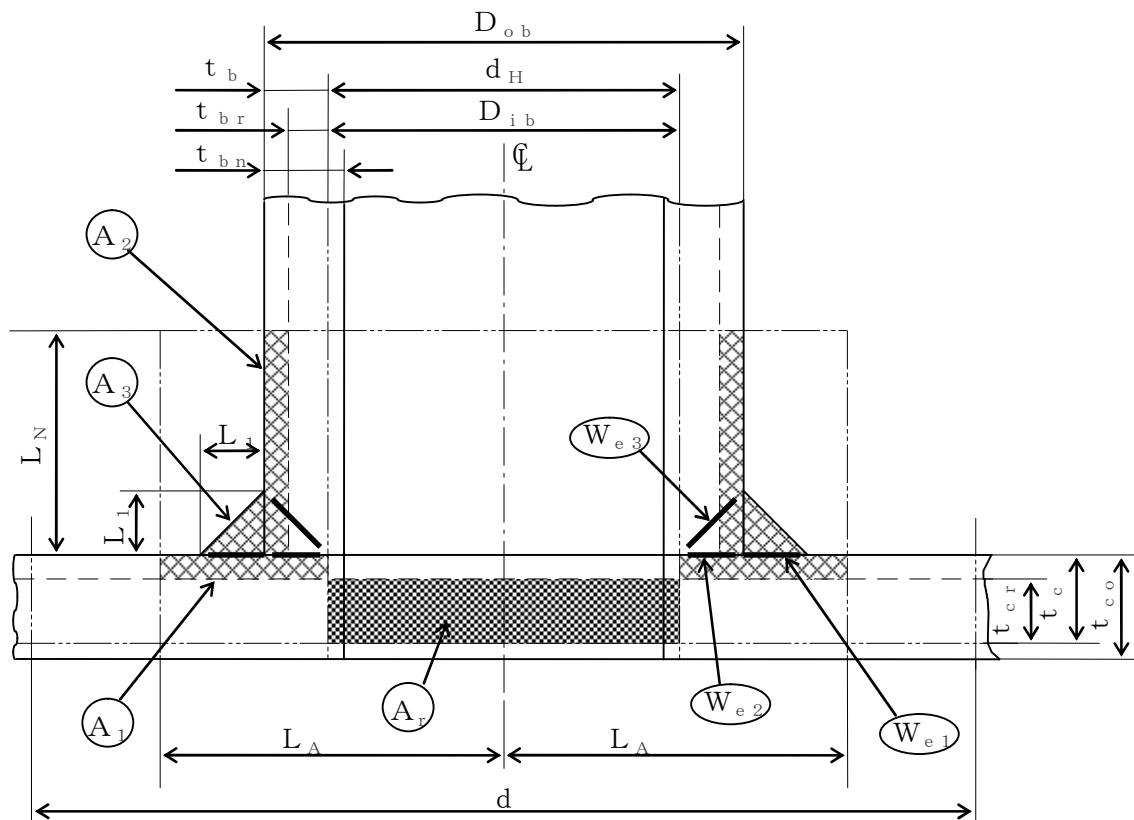
補強に必要な面積

予想される破断形式

- 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 2-9 A 形 (鏡板で強め材のない場合)



補強に有効な面積

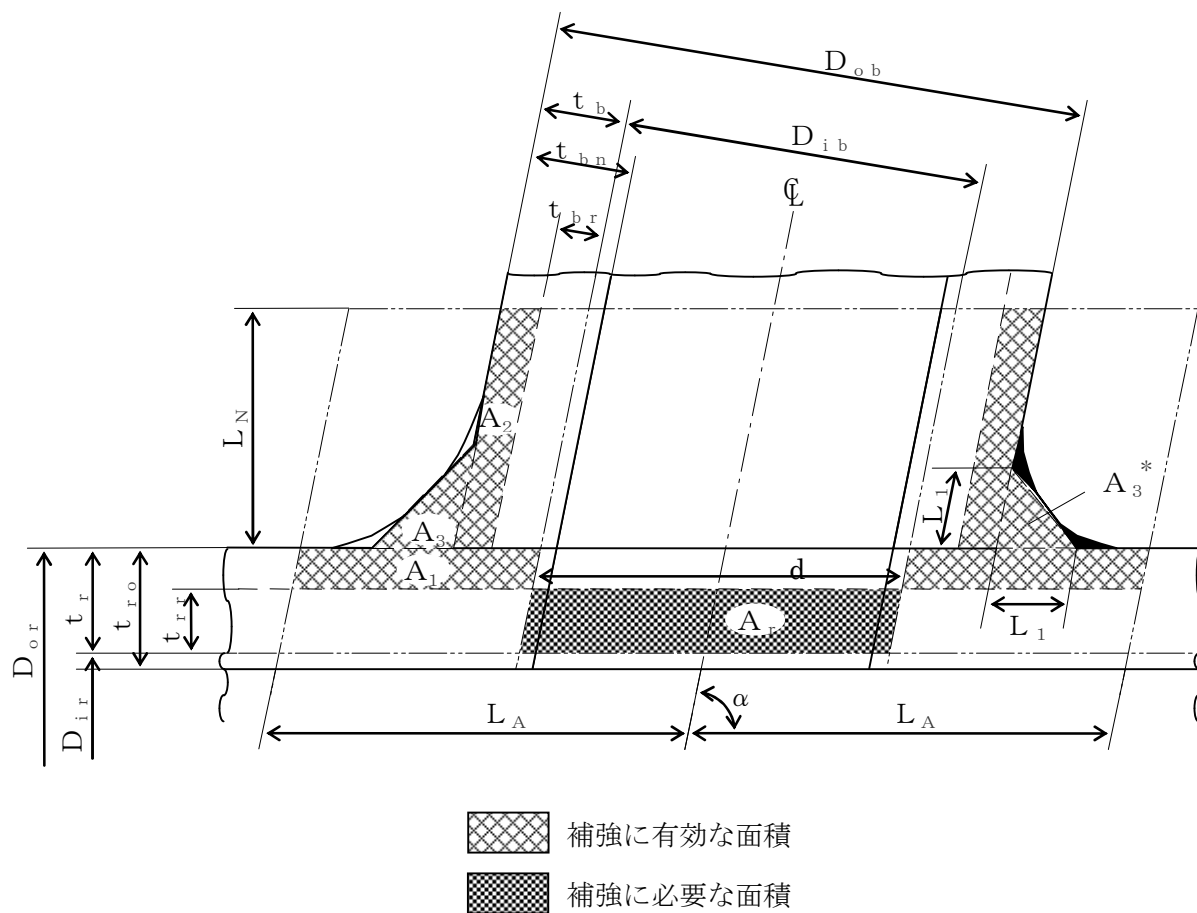


補強に必要な面積

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 2-10 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 2-11 C 形 (一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3422 を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は、次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値 (d_{fr}) とする。

イ. 平板以外の管に設ける穴であって、穴の径が 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。

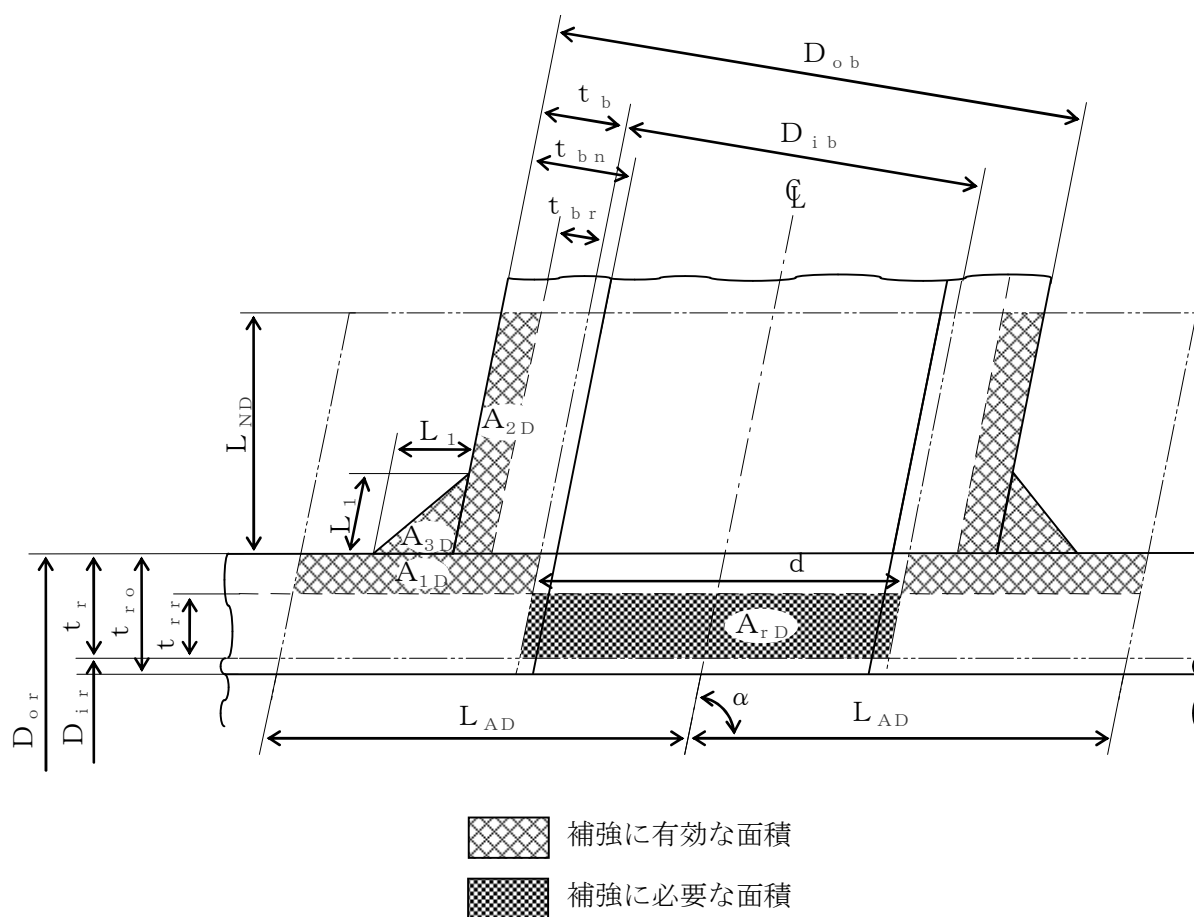


図 2-12 A形 (強め材のない場合)

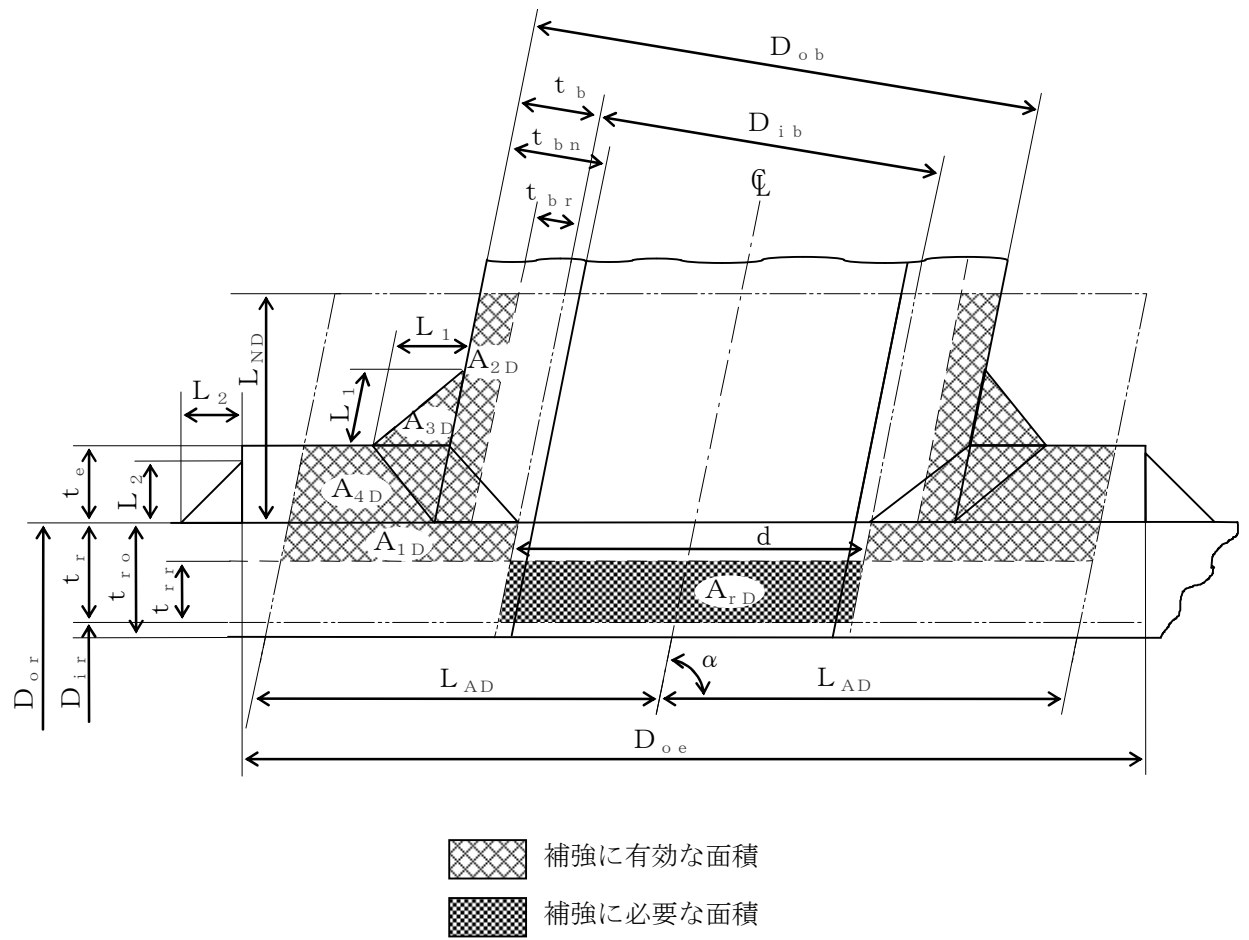
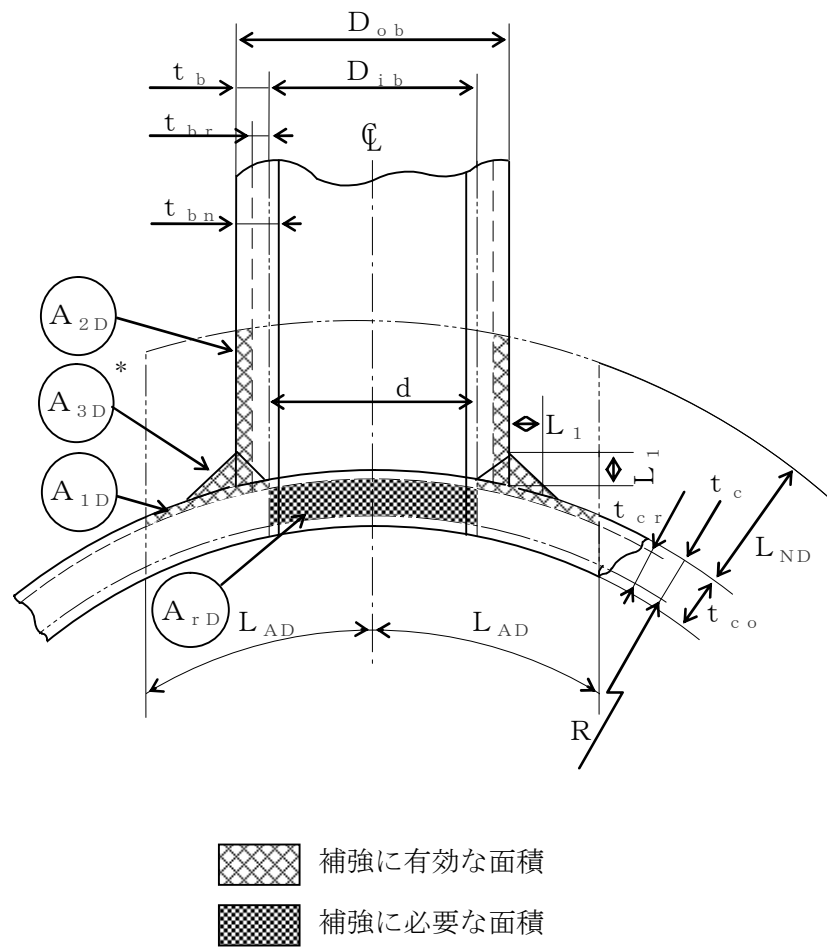


図 2-13 B 形（強め材のある場合）



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 2-14 A形（鏡板で強め材のない場合）

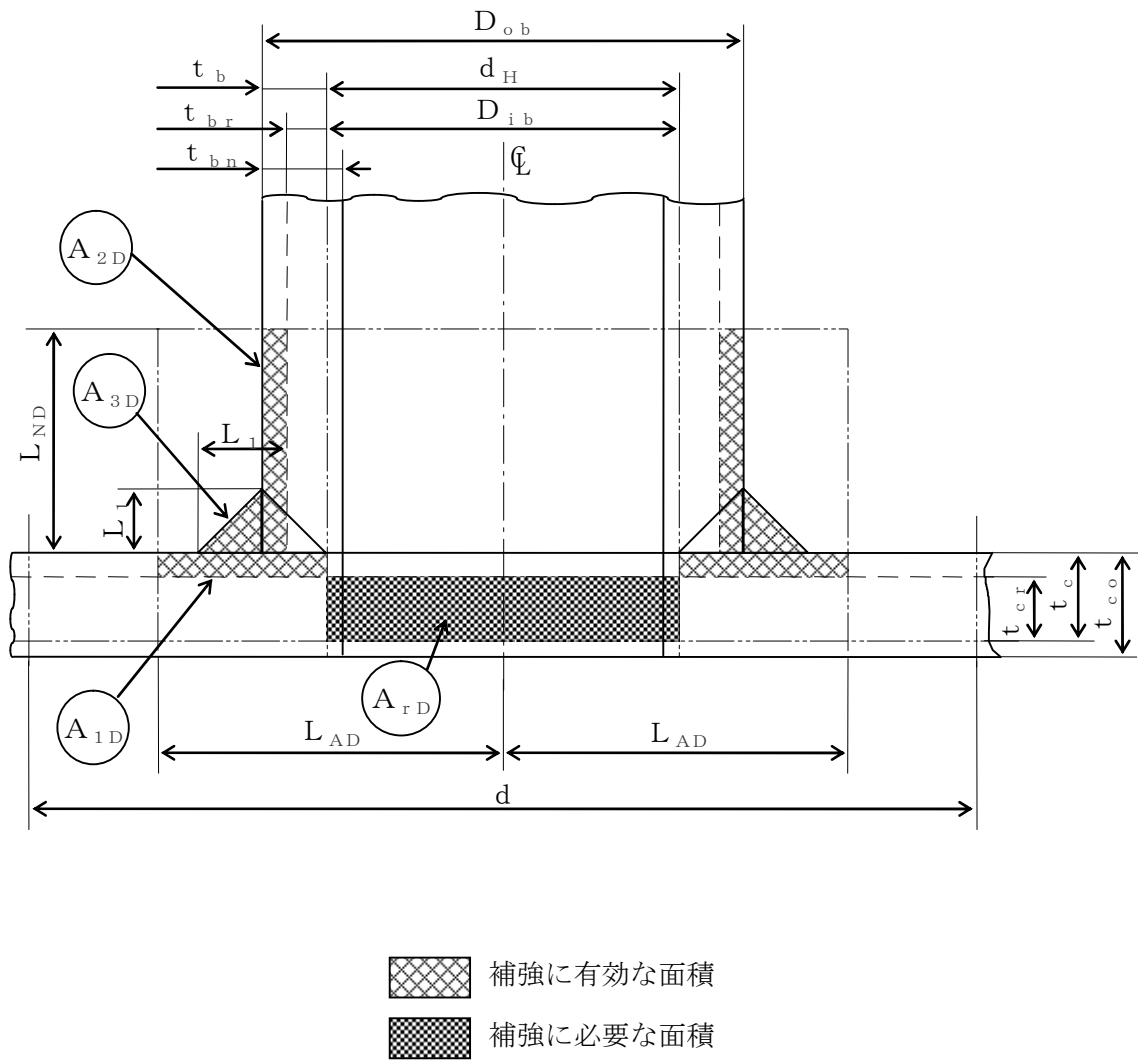
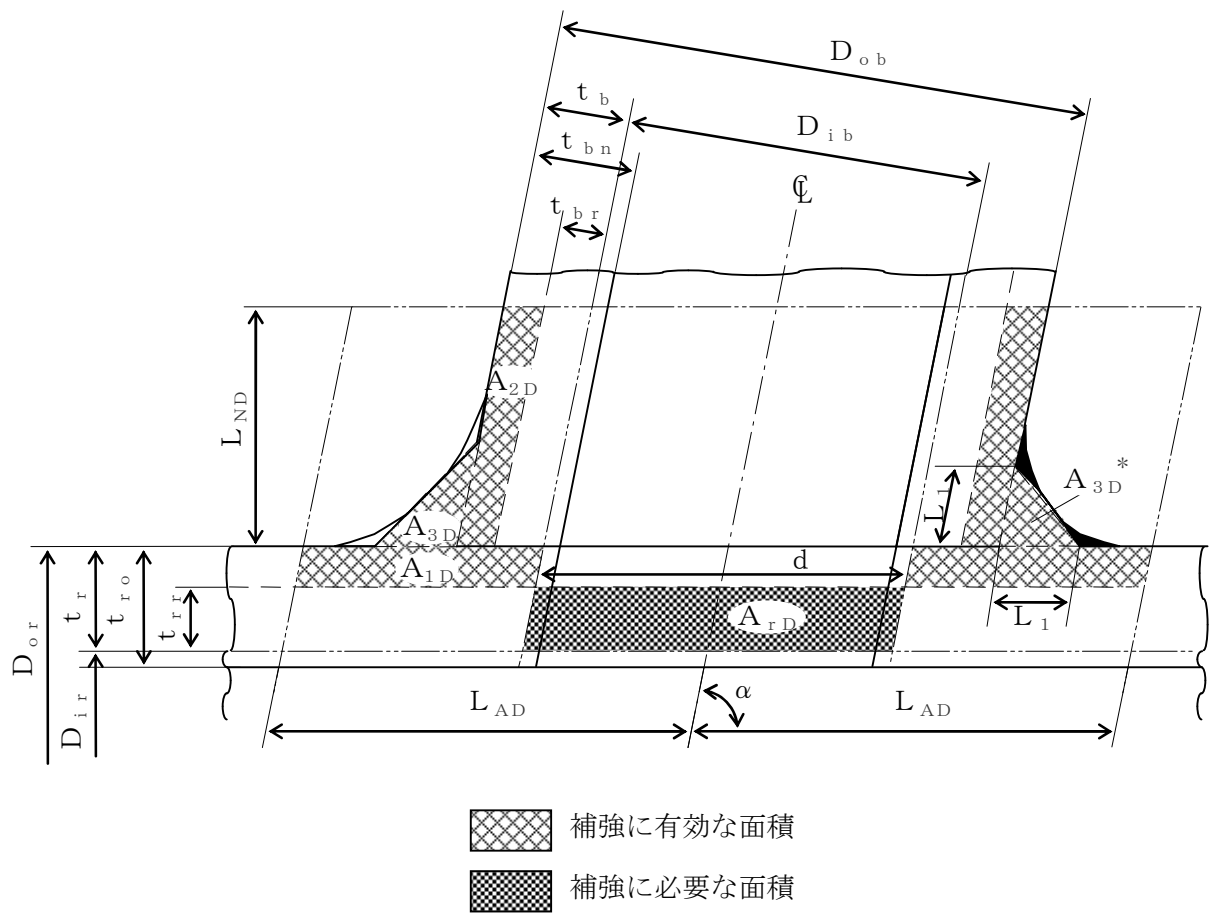


図 2-15 A 形（平板で強め材のない場合）



注記 * : 本形式における補強に有効な面積 A_{3D} はA形及びB形と同様に $A_{3D} = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記  部) として算出するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記  部) は、補強面積評価上は考慮しない。

図 2-16 C 形 (一体形で強め材のない場合)

- (b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD} = \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$$

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

ロ. 大穴の補強に有効な面積

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

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{2D} = 2 \cdot \left(\frac{d}{4} - t_{br} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_{ND} \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{3D} = A_3$$

(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

$$A_{so} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot t_r$$

ハ. 2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L = 1.5 \cdot \left(\frac{d + d_D}{2} \right)$$

ニ. 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。

ホ. 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。

(b) 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, 本書では取付け角度が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 _o	g _o	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_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
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_0	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

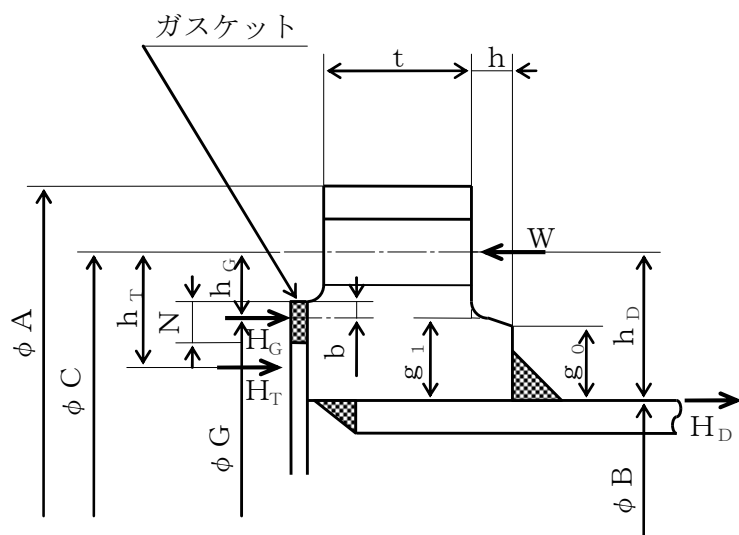
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R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

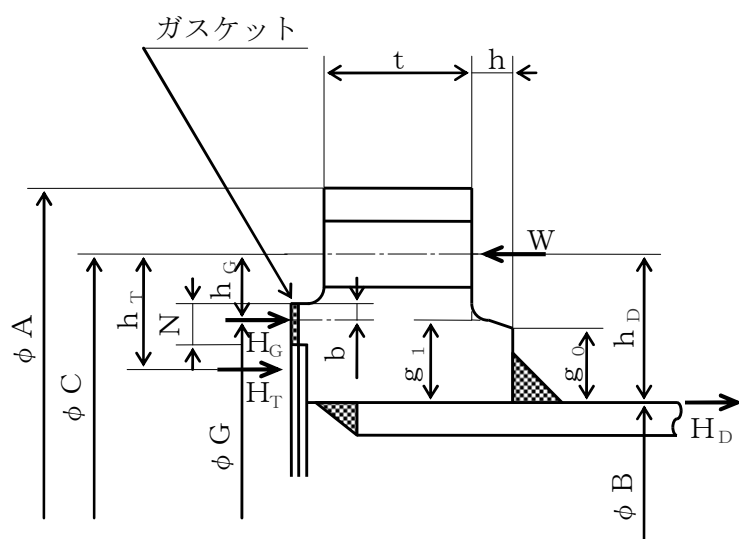
フランジの形式及び各部の記号は、図2-17～図2-21による。

ただし、 W は、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。



注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

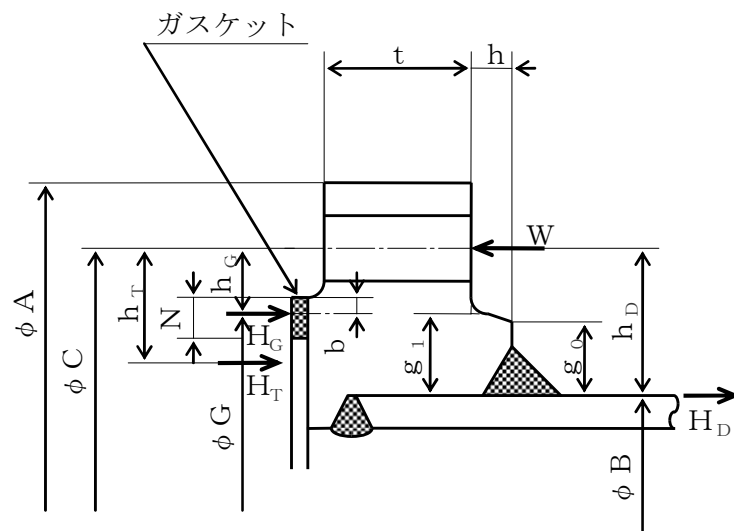
TYPE-1 J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 a) 4)



注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

TYPE-2 J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 a) 4)

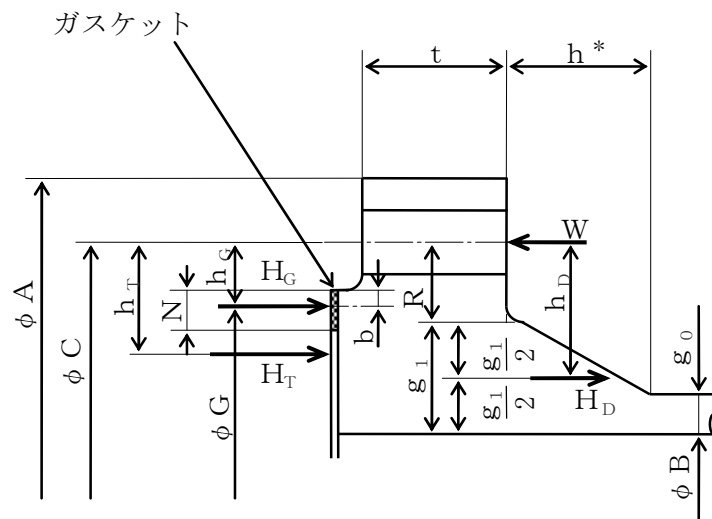
図 2-17 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



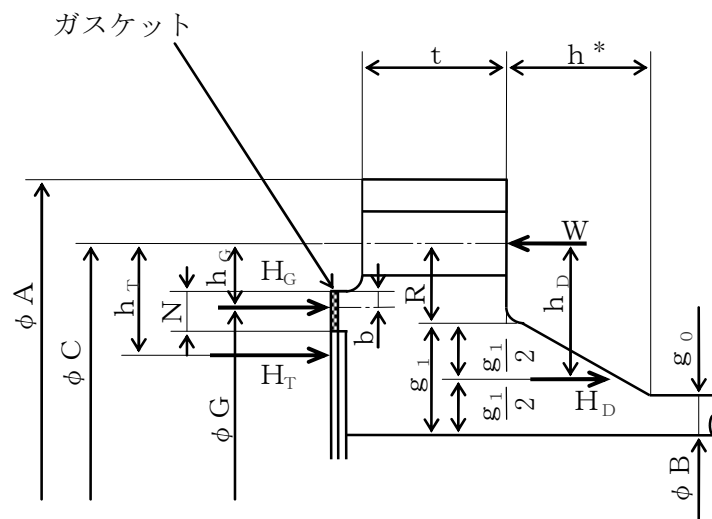
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは， $g_0 = g_1$ とする。

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

図 2-18 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



TYPE-4 J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 2 b) 8)



TYPE-5 J I S B 8 2 6 5 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。

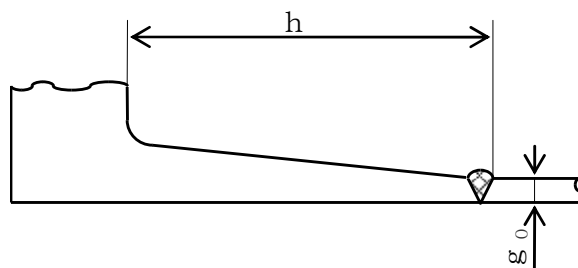
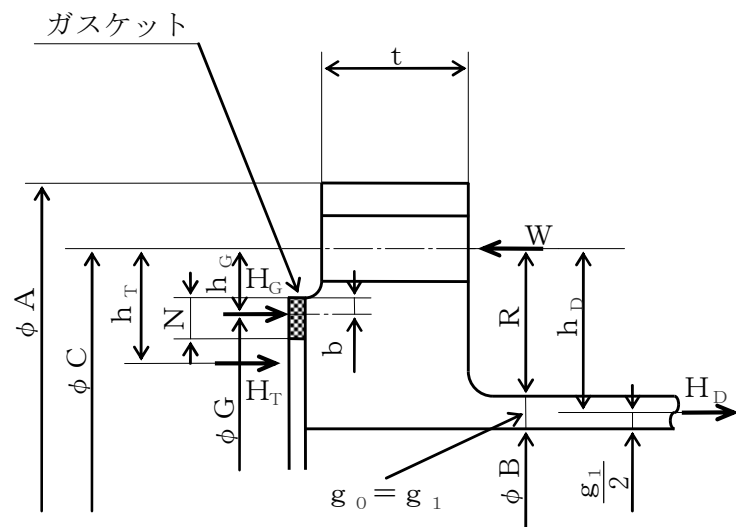
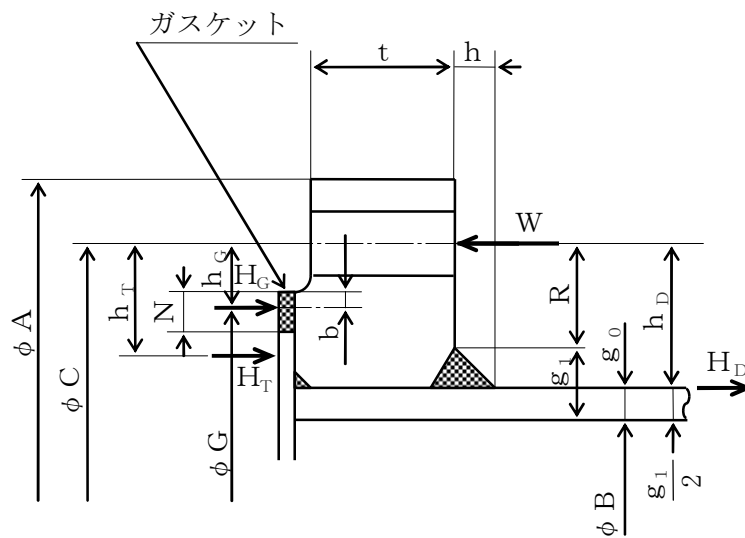


図 2-19 一体形フランジ



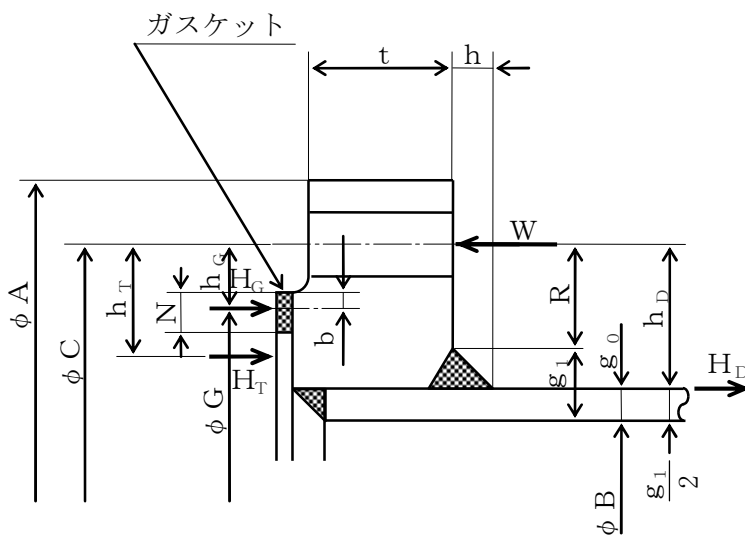
TYPE-6 JIS B 8265 附属書 3 図 2 b) 6)

図 2-20 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2-21 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. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

- (a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(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縮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

$$\begin{aligned} \sigma_{Ho} &= \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_e \cdot B}{4 \cdot g_o} \\ \sigma_{Ro} &= \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} \\ \sigma_{To} &= \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro} \end{aligned}$$

- (b) ガasket縮付時のフランジの応力

$$\begin{aligned} \sigma_{Hg} &= \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} \\ \sigma_{Rg} &= \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} \\ \sigma_{Tg} &= \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg} \end{aligned}$$

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 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	N_r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の 2 倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(N_r)／許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算式		—
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

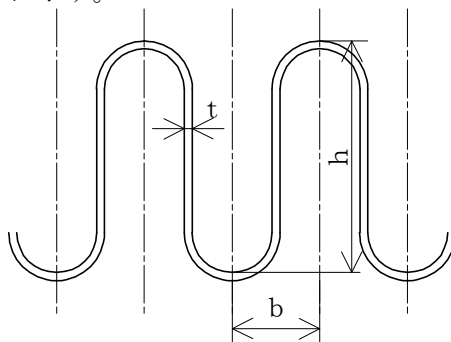


図 2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

ただし，材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

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

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。

3. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 支持構造物の材料について、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）施行前に工事着手又は完成したものであって設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針にしたがって、重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格においてクラス 2 管及びクラス 2 支持構造物に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は、機械的強度及び化学的成分について、使用材料とクラス 2 管に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については、使用材料と比較対象となるクラス 2 管に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である J I S 等に規定されている機械的性質のうち、機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。表 3-1「機械的強度における評価項目の選定結果」に選定結果を示す。

表 3-1 機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ	○	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管の強度評価においては、全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また、一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの、対象となる重大事故等クラス2管は既に施設された設備であるため、今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては、材料の延性の評価に用いる値であるが、重大事故等クラス2管については、塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また、一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成型性が良くなるものの、対象となる重大事故等クラス2管は既に施設された設備であるため、今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については、材料の加工性を示す値であるが、一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工性など成型性が良くなるものの、対象となる重大事故等クラス2管は既に施設された設備であるため、今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については、材料の靱性の評価に用いられる値であるが、靱性については「(2) 破壊靱性」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管に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は、使用材料と比較対象となるクラス2管に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である J I S 等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について、使用材料と設計・建設規格においてクラス2管に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い、化学的成分規定値に差異があった場合は、化学的成分ごとの影響を確認し、使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは、求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお、各化学的成分の影響については、表 3-2「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 3-2 化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	－	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、材料の機械的性質である引張強さ、降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	－	－	－	－	－	－	－	向上	－	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、高温域（設計・建設規格 PVB-3312）で使用されないことを確認する。
溶接性		低下	－	－	－	－	－	－	－	－	－	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、溶接規格*にて定められた数値 0.35 %以下であることを確認する。
靱性		低下	－	向上	低下	低下	－	向上	－	－	－	靱性については、「(2) 破壊靱性」において確認する。なお、靱性に影響を及ぼす不純物である P, S の化学的成分に差異がある場合は、成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐 食 性	応力 腐食 割れ	低下	－	－	－	－	－	向上	向上	－	－	耐食性のうち、応力腐食割れに影響を与える化学的成分には、C, Ni, Cr があるが、Ni, Cr については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから、悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える化学的成分に差異がある場合は、悪影響を与える差異が無いことを確認する。なお、耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面 腐食	－	－	－	－	－	向上	向上	向上	向上	向上	

注：表中は化学的成分を添加した場合の影響を示す。

注記 *：「溶接規格」とは、発電用原子力設備規格（溶接規格 J S M E S N B 1－2007）（日本機械学会 2007 年 11 月）をいう。

(2) 破壊靱性

a. 破壊靱性試験不要となる材料の規定

破壊靱性については、設計・建設規格に規定されている破壊靱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。

破壊靱性試験不要となる材料の規定*

- ・厚さが 16 mm 未満の材料
- ・断面積が 625 mm² 未満の棒の材料
- ・呼び径が 25 mm 未満のボルト等の材料
- ・外径が 169 mm 未満の管の材料
- ・厚さが 16 mm または外径が 169 mm 未満の管に接続されるフランジの材料および管継手の材料
- ・オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金

注記 *：クラス 2 配管の除外規定（設計・建設規格 PPC-2310）を記載している。

b. 破壊靱性の確認

破壊靱性試験不要となる材料の規定に該当しない配管の破壊靱性については、施設時の要求を考慮し、以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊靱性が要求されていた配管

該当配管は、施設時の規格の要求に基づき十分な破壊靱性を有していることを確認している。また、材料の破壊靱性値は、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) 施設時に破壊靱性が要求されていなかった配管

対象配管は、技術基準規則で規定している機器クラスのうち、クラス 3 管（工学的安全施設を除く。）、クラス 4 管及び Non クラス*に該当する配管（支持構造物を含む。）であり、施設時における破壊靱性に対する要求がないことから、材料の靱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靱性は同じであるとみなせることから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 *：技術基準規則第2条第2項第32号、第33号、第34号及び第35号に規定する。

「クラス 1 管」、「クラス 2 管」及びこれらをサポートする構造物、「クラス 3 管」及び「クラス 4 管」並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の管又は支持構造物

上述の(a)項、(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は原子炉格納容器、格納容器バウンダリ及び屋外に施設される配管においては気象観測記録における最低温度である -12.7°C 、屋内に設置される配管においては建屋の最低温度である 4.4°C 、海水又は海水により冷却される原子炉補機冷却水と接する配管は海水の最低温度である 7.0°C 、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管については、 21°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、格納容器バウンダリ及び屋外に施設される配管の最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値と変わらない。屋内に施設される配管のうち、重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は、設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 4.4°C を下回ることはなく、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管については、重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため、設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることではない。また、屋内に施設される配管のうち、重大事故等時において通水される内部流体が海水の場合は、最低海水温度が 7.0°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 4.4°C を有意に下回ることではない。

以上より、(a)項に該当する施設時に破壊靱性が要求されていた配管において、材料の破壊靱性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない配管については、施設時に確認した破壊靱性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊靱性を包絡しており、重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る配管については、使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊靱性が要求されていなかった配管において、設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し、使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス2に属する鋳造品については、非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に、非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで、材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

別紙 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「IV-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「IV-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。