Ⅴ-3-2-8　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　強度計算書の構成とその見方 ･･ 1
1.4　計算精度と数値の丸め方 ･･ 4
1.5　材料の表示方法 ･･ 6
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 ･･ 7
2.1　共通記号 ･･ 7
2.2　円筒形の胴の計算 ･･ 9
2.3　容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算 ･･････････････････････････ 10
2.4　さら形鏡板の計算 ･･ 12
2.5　全半球形鏡板の計算 ･･･ 14
2.6　半だ円形鏡板の計算 ･･･ 16
2.7　容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算 ･･････････････････････････ 18
2.8　円形平板の計算 ･･･ 20
2.9　だ円形マンホール平板の計算 ･･･ 33
2.10 容器の管板の計算 ･･ 34
2.11 容器の管台の計算 ･･ 36
2.12 開放タンクの胴の計算 ･･ 38
2.13 開放タンクの底板の計算 ･･･ 39
2.14 開放タンクの管台の計算 ･･･ 41
2.15 熱交換器の伝熱管の計算 ･･･ 42
2.16 円すい形の胴の計算 ･･･ 43
3.　穴の補強計算 ･･ 46
3.1　記号の説明 ･･ 46
3.2　容器の穴の補強計算 ･･ 51
3.3　開放タンクの胴の穴の補強計算 ･･ 76
3.4　開放タンクの鏡板の穴の補強計算 ･･･ 76
3.5　2つ以上の穴が接近しているときの補強計算 ･･････････････････････････････ 77
4.　フランジの強度計算 ･･ 117
4.1　記号の説明 ･･･ 117
4.2　フランジの計算 ･･･ 121
5.　既工認における評価結果の確認による強度評価方法 ･･････････････････････････ 129
5.1　確認内容 ･･ 129
5.2　強度評価方法 ･･ 129
6.　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 ･･････････････････ 129

7.　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 ･････････････････ 129

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

本書は，Ｖ-3-1-5「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55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。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

また，重大事故等クラス２容器であって原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器の強度計算は通商産業省告示第４５２号「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」（以下「告示第４５２号」という。）又は「発電用原子力設備規格　コンクリート製原子炉格納容器規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＥ１-2003」（日本機械学会）（以下「ＣＣＶ規格」という。）により行う。

告示第５０１号と設計・建設規格の比較に基づく，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)　告示第５０１号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は表1－2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）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）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８(1996)「鋼製管フランジ通則」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３９(1996)「鋳鉄製管フランジ通則」

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本書と各容器の強度計算書からなる。

(2)　各容器の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本書によるものとする。

表1－1　告示第５０１号各条項又は設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応
（重大事故等クラス２容器）

告示第５０１号　条項 設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備　　考
PVC-3100（容器の胴の規定）		
PVC-3121	2.2	円筒形の胴の計算
PVC-3122(1)		
PVC-3111	2.16	円すい形の胴の計算
PVC-3121		
PVC-3124.1		
PVC-3150(2)	2.3	容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3160	3.2	容器の穴の補強計算
PVC-3162	3.5	2つ以上の穴が接近しているときの補強計算
PVC-3200（容器の鏡板についての規定）		
PVC-3210(1)	2.4	さら形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3221		
PVC-3210(2)	2.5	全半球形鏡板の計算
PVC-3223(1)		
PVC-3210(3)	2.6	半だ円形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3225		
PVC-3230(2)	2.7	容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3240	3.2	容器の穴の補強計算
第34条（容器の平板についての規定）		
第1項	2.8	円形平板の計算
第2項		
PVC-3300（容器の平板についての規定）		
PVC-3310	2.8	円形平板の計算
PVC-3320		
PVC-3320(2)	3.2	容器の穴の補強計算

告示第５０１号　条項 設計・建設規格　規格番号	強度計算書の計算式 （章節番号）	備　　考
PVC-3500（容器の管板についての規定）		
PVC-3510	2.10	容器の管板の計算
PVC-3600（管台についての規定）		
PVC-3610	2.11	容器の管台の計算
PVC-3610(1)	2.15	熱交換器の伝熱管の計算
PVC-3610(2)		
PVC-3900（開放タンクについての規定）		
PVC-3920	2.12	開放タンクの胴の計算
PVC-3940	3.3(3.4)	開放タンクの胴の穴の補強計算（開放タンクの鏡板の穴の補強計算）
PVC-3950		
PVC-3960	2.13	開放タンクの底板の計算
PVC-3970		
PVC-3980	2.14	開放タンクの管台の計算

表1－2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式 （章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２０１(2005) 「陸用鋼製ボイラー構造」	6.6.8	2.9	だ円形マンホール平板の計算*1
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003) 「圧力容器の構造－一般事項」附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	3 4 5	4	フランジの強度計算*2

注記＊1：ＪＩＳ　Ｂ　８２０１（2005）「陸用鋼製ボイラー構造」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２０１」という。）を用いて計算を行う。

＊2：設計・建設規格　PVC-3710によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1－3に示すとおりとする。

表1－3　表示する数値の丸め方

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

注記＊1：設計・建設規格　付録材料図表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。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。

また，告示第５０１号　別表に記載された許容引張応力及び設計降伏点は，各温度の値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

＊2：開放タンクの胴内径

＊3：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

（例1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例2）　SCMV3-1 相当（ASME　SA387 Gr.11C1.1）

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

（例）STPT410-S（継目無管の場合）

(3)　強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記して表示する。

（例）

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3 〔付録材料図表　Part5　表5 の許容引張応力の上段〕	SCMV3-1
SCMV3 〔付録材料図表　Part5　表5 の許容引張応力の下段〕	SCMV3-2

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

（例）S45C（直径40mm以下）

(5)　熱処理によって許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳに定める熱処理記号を付記して表示する。

（例）SUS630　H1075（固溶化熱処理後570～590℃空冷の場合）

(6)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

（例）非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガスケット（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガスケット係数m及びガスケットの最小設計締付圧力ｙは，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3より，ガスケットメーカ推奨値を適用する。

2.　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

発電用原子力設備のうち重大事故等クラス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。

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
P	P	最高使用圧力	MPa
Pe	Pe	外面に受ける最高の圧力	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	η	継手の効率 クラス２容器については設計・建設規格PVC-3130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。）	—

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	裏当金を使用しない突合せ片側溶接	同左	—
	両側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	放射線検査の有無		
	有り	発電用原子力設備規格（溶接規格　ＪＳＭＥＳ　ＮＢ１-2001）（日本機械学会　2001年2月）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	—

K7 ① V-3-2-8 R1

2.2　円筒形の胴の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3121，PVC-3122(1)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
D_i	D_i	胴の内径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm

(2)　算式

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

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

b.　内面に圧力を受ける胴：t_2

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

(3)　評価

胴の最小厚さ（t_s）≧胴に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.3　容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3150(2)を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
D	D	穴の中心における胴の外径。ただし，円すい形の胴にあっては，円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の外径	mm
	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数　ただしK≦0.99	—
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
η	η	穴が長手継手を通る場合はその継手の効率 その他の場合は1.00	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°

(2)　算式

胴の補強を要しない穴の最大径は，次のａ項及びｂ項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

a.　穴の径が61mm以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴

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

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

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

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

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

(b)　円すい形の場合

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

(3)　評価

穴の径＞補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は，穴の補強計算を行わない。

2.4　さら形鏡板の計算

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

(1)　記号の説明

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

(2)　形状の制限

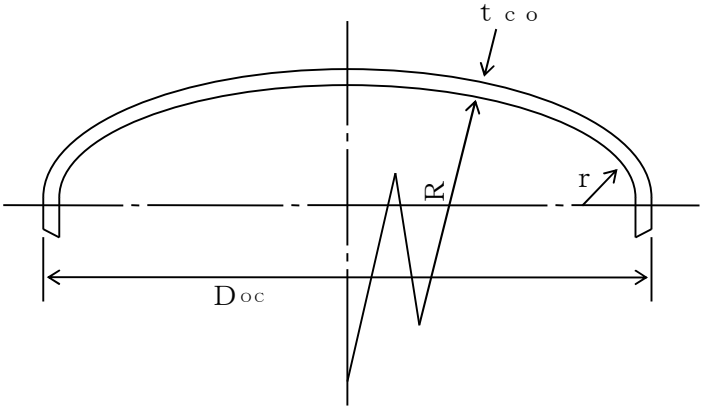


図2－1　さら形鏡板の形状

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

(3)　算式

さら形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

(a)　フランジ部：t_1

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

(b)　鏡板：t_2

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

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

(4)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.5　全半球形鏡板の計算

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

(1)　フランジ部を有する場合

a.　記号の説明

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

b.　形状

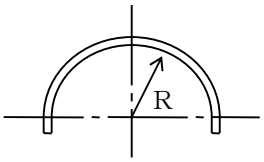


図2－2　全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c.　算式

全半球形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a)　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

イ．　フランジ部：t_1

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

ロ．　鏡板：t_2

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

d.　評価

鏡板の最小厚さ（ｔ$_c$）≧鏡板に必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

(2)　フランジ部を有しない場合

a.　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
R	R	鏡板の内半径	mm
S	S	内圧時（中低面に圧力を受けるとき）の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

b.　形状

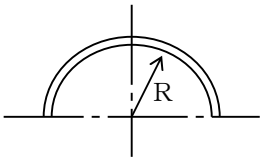


図2－3　全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c.　算式

全半球形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値とする。

(a)　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1

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

d.　評価

鏡板の最小厚さ（ｔ$_c$）≧鏡板に必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

2.6　半だ円形鏡板の計算

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

(1)　記号の説明

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

(2)　形状の制限

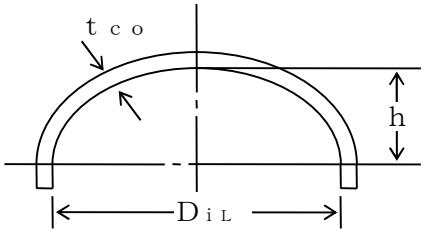


図2－4　半だ円形鏡板の形状

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

(3)　算式

半だ円形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　中低面に圧力を受ける鏡板：t_1，t_2

(a)　フランジ部：t_1

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

(b)　鏡板：t_2

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

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

(4)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.7　容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算

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

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
D	D	鏡板のフランジ部の外径。ただし，円すい形鏡板にあっては，円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の外径	mm
d	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≦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	—

(2)　算式

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

a.　穴の径が61mm以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴

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

b.　穴の径が200mm以下で，かつ，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。

(a)　さら形鏡板及び半だ円形鏡板の場合

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

(b)　全半球形鏡板の場合

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

(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。

2.8　円形平板の計算

重大事故等クラス２容器については告示第５０１号第34条第1項及び第2項又は設計・建設規格　PVC-3310及びPVC-3320を適用する。

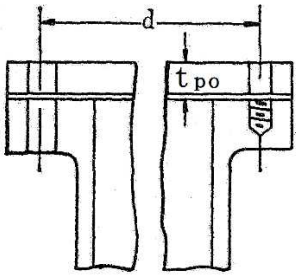
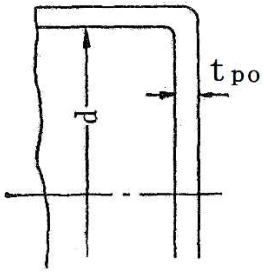
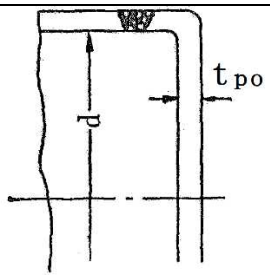
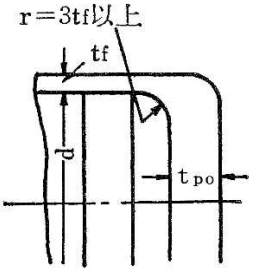
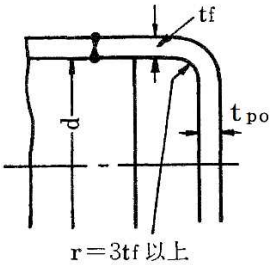
(1)　記号の説明

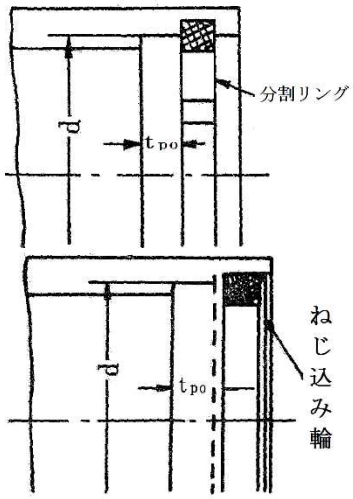
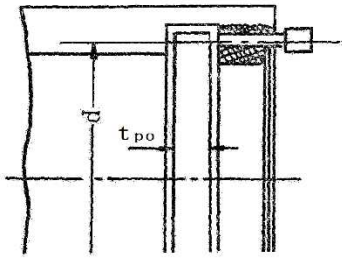
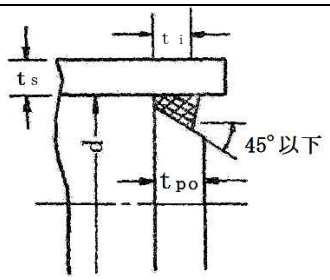
告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表1又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d，G	d	クラス２容器は告示第５０１号第34条第1項の表又は設計・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のり（ガスケットの場合ｄ＝G）	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	d_h	平板の断面に現れる穴の径（だ円穴の場合は長径）	mm
D_g	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_g	h_g	モーメントアームでボルトのピッチ円の直径とｄとの差の2分の1	mm
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジ部の長さ	mm

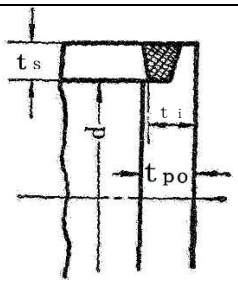
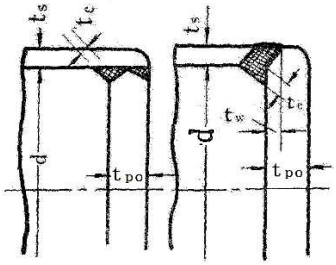
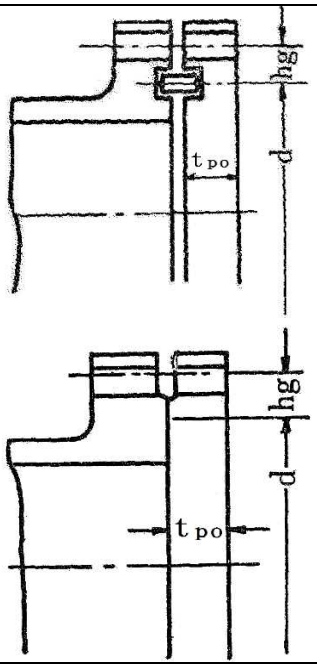
告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
m	m	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2表2又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表1又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は別表第7，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
σ_a	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8又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第8又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	胴又は管の最小厚さ	mm
t_r	t_{sr}	胴又は管の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_i	t_i	平板ののど厚。告示第５０１号第34条第1項の表による。	mm
t_w	t_w	告示第５０１号第34条第1項の表又は設計・建設規格表PVC-3310-1による。	mm
t_{w1}	t_{w1}	設計・建設規格　表PVC-3310-1による。	mm

告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
t_{w2}	t_{w2}	設計・建設規格　表PVC-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
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表2又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	ガスケット座面の形状	ガスケット座面の形状 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表1又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	—

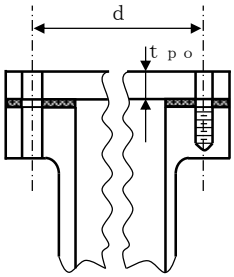
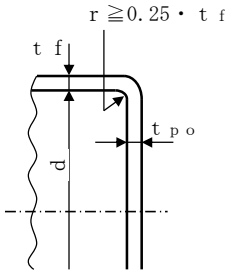
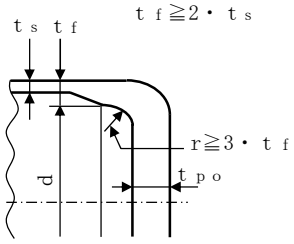
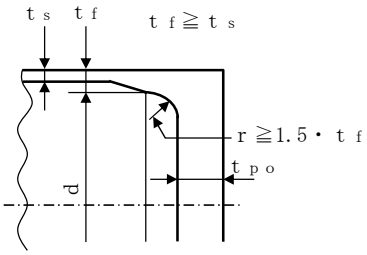
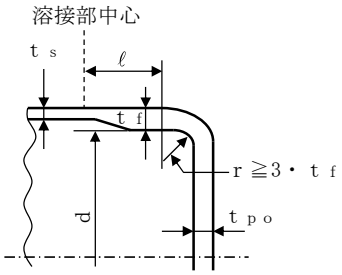
(2)　形状の制限（告示第５０１号）

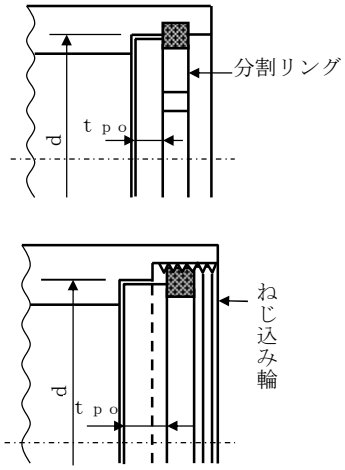
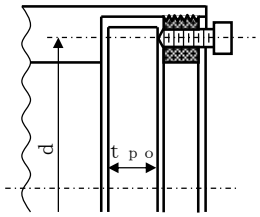
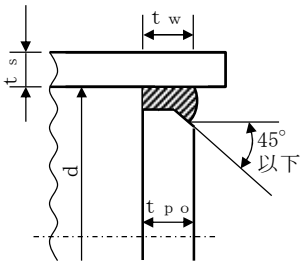
取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
（a）		無し
（b）		d ≦600 mm, t_{po}≧ d ／20であること。
（c）		d ≦600 mm, t_{po}≧ d ／20であること。
（d）		r ≧3・t_fであること。
（e）		d ≦600 mm, t_{po}≧ d ／20, r ≧3・t_fであること。

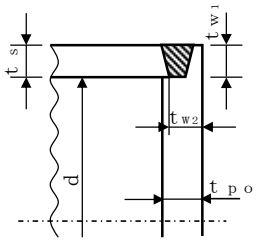
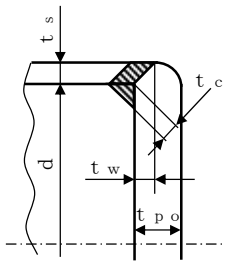
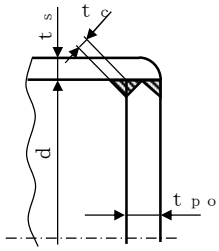
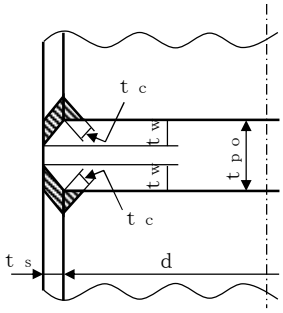
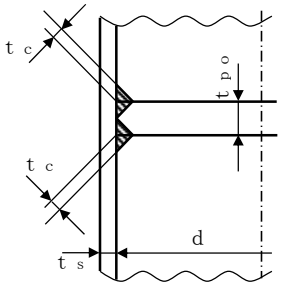
取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
(f)		0.8・S≧σ$_p$であること。
(g)		0.8・S$_b$≧σ$_p$であること。
(h)		t$_i$≧2・t$_{sr}$かつ, t$_i$≧1.25・t$_s$であること。

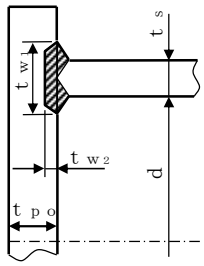
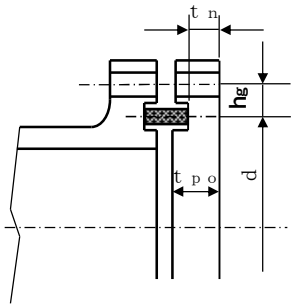
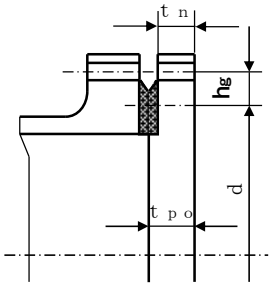
取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
(i)		$t_i \geqq 2 \cdot t_{sr}$かつ, $t_i \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。
(j)		$t_w \geqq 2 \cdot t_{sr}$かつ, $t_w \geqq 1.25 \cdot t_s$であること。 かつ, $t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s,\ 6\mathrm{mm})$であること。
(k)		無し
(ℓ)	その他の場合	無し

形状の制限（設計・建設規格）

取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
（a）		無し
（b）		d≦600mm, d／4＞tｐｏ≧d／20かつ r≧ｔｆ／4であること。
（c）		ｔｆ≧2・ｔｓかつ r≧3・ｔｆであること。
（d）		ｔｆ≧ｔｓかつ r≧1.5・ｔｆであること。
（e）		r≧3・ｔｆであること。

取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
(f)		0.8・S≧σ pであること。
(g)		0.8・S b≧σ pであること。
(h)		t w≧2・t s rかつ t w≧1.25・t sであること。

取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
(i)	 $t_{w1}+t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ $t_{w1} \geqq t_s$	$t_{w1}+t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$, $t_{w1} \geqq t_s$かつ $t_s \geqq 1.25 \cdot t_{sr}$であること。
(j)(1)	 	$t_w \geqq \mathrm{Min}(0.5 \cdot t_s,\ 0.25 \cdot t_{po})$ かつ$t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s,\ 6\mathrm{mm})$ であること。
(j)(2)		$t_w \geqq \mathrm{Min}(1.0 \cdot t_s,\ 0.5 \cdot t_{po})$ かつ$t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s,\ 6\mathrm{mm})$ であること。
(k)		$t_c \geqq \mathrm{Min}(0.7 \cdot t_s,\ 6\mathrm{mm})$であること。

取　付　け　方　法		形　状　の　制　限
(ℓ)	 $t_{w1}+t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ （$t_{w2}=0$を含む。）	$t_{w1}+t_{w2} \geqq 2 \cdot t_s$ （$t_{w2}=0$を含む。）
(m)	 	無し
(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。（告示第５０１号）

取付け方法	Ｋ　の　値
（ａ）	0.20
（ｂ）	
（ｃ）	
(d)	0.25
（ｅ）	
（ｆ）	0.30
（ｇ）	
（ｈ）	0.50
（ｉ）	
（ｊ）	
（ｋ）	$0.30 + \frac{1.4 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$　＊
（ℓ）	0.75

注記＊：4項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。

ＦはW$_O$とW$_g$のいずれか大きい方，ｈ$_g$はｈ$_G$，WはH，ｄはG（セルフシールガスケットを用いる場合はＤ$_g$）とする。

Ｋの値は以下による。（設計・建設規格）

取付け方法	Ｋ　の　値
（ａ）	0.17
（ｂ）	0.13
（ｃ）	0.17
（ｄ）	Max(0.2，0.33・m)　$m=\frac{t_{sr}}{t_s}$
（ｅ）	0.17 0.10*1
（ｆ）	0.20
（ｇ）	
（ｈ）	Max(0.2，0.33・m)　$m=\frac{t_{sr}}{t_s}$
（ｉ）	0.33
（ｊ）(1)	Max(0.2，0.33・m)　$m=\frac{t_{sr}}{t_s}$
（ｊ）(2)	
（ｋ）	
（ℓ）	
（ｍ）	$0.20+\frac{1.0\cdot F\cdot h_g}{W\cdot d}$ ただし，t_nの厚さにあっては　$\frac{1.0\cdot F\cdot h_g}{W\cdot d}$ *2
（ｏ）	0.50

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

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

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

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

＊2：4項「フランジの強度計算」における記号との対応は次のとおり。

ＦはＷ$_o$とＷ$_g$のいずれか大きい方，h_gはh_G，ＷはＨ，ｄはＧ（セルフシールガスケットを用いる場合はＤ$_g$）とする。

b.　平板に穴を設ける場合であって，穴の径（ｄｈ）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（ｔｐｒ）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（ｄｈ）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，告示第５０１号第34条第1項の表中（ｋ）又は設計・建設規格　表PVC-3310-1中（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（ｄｈ）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（ｔｐ）≧平板の計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

2.9　だ円形マンホール平板の計算

重大事故等クラス２容器についてはＪＩＳ　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

ＪＩＳ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 （ＪＩＳ　Ｂ　８２０１　図6.20による。）	—
	t	マンホール平板に必要な厚さ	mm
t	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_{po}	マンホール平板の呼び厚さ	mm
α	α	付け代で，1mm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.　平板の計算上必要な厚さ：t_1

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

b.　規格上必要な最小厚さ：t_2

平板の中央部の厚さは14mm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。

2.10　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)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
A	A	管板に取り付けられる任意の管の中心が囲む面積	mm^2
D	D	パッキンの中心円の径（胴と一体となった管板にあっては，胴の内径）	mm
	d_t	管の外径	mm
F	F	管及び管板の支え方による係数	—
L	L	面積Aの周のうち穴の径以外の部分の長さ	mm
P	P	計算上必要な厚さが大きい値の方の最高使用圧力	MPa
	P_t	管穴の中心間の距離	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	管板に必要な厚さ	mm
t	t_1	管板の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	管板の計算上必要な厚さ	mm
	t_b	管板の最小厚さ	mm
	t_{bo}	管板の呼び厚さ	mm
	t_s	胴と管板が一体となっている場合の胴の最小厚さ	mm
	z	管穴の中心間に必要な距離	mm
	伝熱管の形式		
	直　管	同左	—
	U 字 管	同左	—
	管板の支え方		
	管側胴と一体でない。	同左	—
	管側胴と一体である。	同左	—
	胴側胴と一体でない。	同左	—
	胴側胴と一体である。	同左	—

(2)　形状の制限

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

(3)　算式

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

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

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

ここで $\left(\frac{A}{L}\right)_{Max}$ は，$\left(\frac{A}{L}\right)$ の最大値であり，通常一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形が最大値となる。

以下にＡ及びＬの取り方の例を示す。

Ａは，一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の面積（図2－5参照）

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

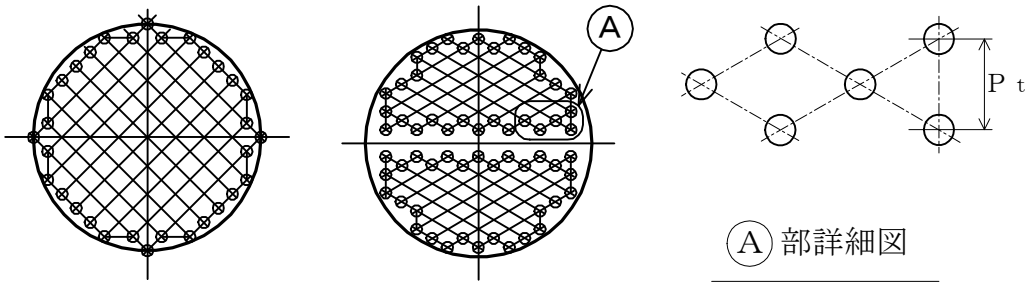


図2－5　管板の計算に用いる多角形

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

(4)　評価

管板の最小厚さ（t_b）≧管板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

K7 ① V-3-2-8 R1

2.11　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。

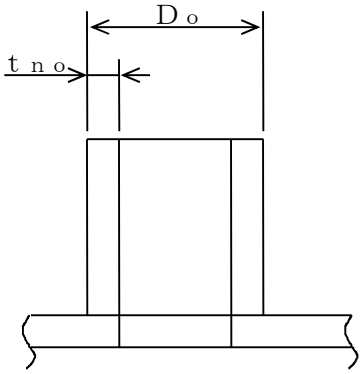
(1)　記号の説明

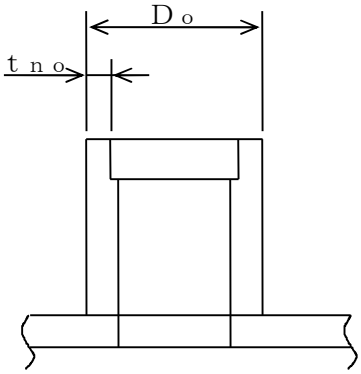
設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
B	B	設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_2となる。）	－
D_o	D_o	管台の外径*2	mm
S	S〔S_1〕*1	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
S	S_2	外圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	管台に必要な厚さ	mm
t	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	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*2	mm

注記＊1：S〔S_1〕は内圧時の計算のみの場合はSを，内圧時及び外圧時の計算の場合はS_1を用いる。

なお，S_1＝S_2の場合は，S_2をS_1と置き換える。

＊2：管台の外径及び呼び厚さは，下図参照





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

(2)　算式

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　内面に圧力を受ける管台：t_1

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

b.　外面に圧力を受ける管台：t_2

設計・建設規格　図PVC-3610-1よりP_e，S_2に対して求めた厚さ。ただし，図より求められない場合は次の式による値とする。

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

c.　規格上必要な最小厚さ：t_3

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

(3)　評価

管台の最小厚さ（t_n）≧管台に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.12　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。

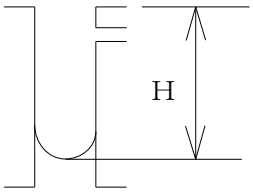
(1)　記号の説明

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

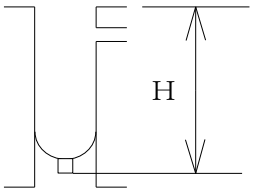
注記＊：開放タンクの水頭の取り方は，強度評価上は次のいずれかとする。

a.　タンク上部フランジ上端又はタンク胴板上端より底板内側まで

b.　底板に管台が取り付く場合は，第1溶接継手まで



a 項の場合



b 項の場合

なお，この水頭の取り方は，底板及び管台の計算で用いる水頭も同じである。

(2)　算式

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は3mm，その他の材料で作られた場合は1.5mmとする。

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

c.　胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が5mを超えるものについては，胴の内径の区分に応じ設計・建設規格表PVC-3920-1より求めた胴の厚さとする。

(3)　評価

胴の最小厚さ（t_s）≧胴に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.13　開放タンクの底板の計算

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

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
H	H	水頭	m
P	P	最高使用圧力	MPa
	t	底板の規格上必要な厚さ	mm
	t_b	底板の最小厚さ	mm
	t_{bo}	底板の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし，1.00未満の場合は1.00とする。	―

下記(3)b項の場合の記号の説明で上記以外の記号については，鏡板又は平板の項を参照のこと。ただし，鏡板の計算にあっては，t_bをt_c，t_{bo}をt_{co}に読み替える。

(2)　形状の制限

次のいずれかであること。

a.　平板

b.　設計・建設規格　PVC-3210に規定されている鏡板であること。

(3)　算式

開放タンクの底板に必要な厚さは次によるものとする。

a.　地面，基礎等に直接接触するものの厚さ：t

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3970(1)により6mm以上とする。

b.　上記以外のものの底板に必要な厚さ：t

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

ここで，最高使用圧力Ｐは次の式による値とする。

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

(a)　鏡板

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3970(2)より，設計・建設規格　PVC-3220を準用する。

さら形鏡板にあっては，2.4項「さら形鏡板の計算」による厚さとする。

全半球形鏡板にあっては，2.5項「全半球形鏡板の計算」による厚さとする。

半だ円形鏡板にあっては，2.6項「半だ円形鏡板の計算」による厚さとする。

(b)　平板

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3970(2)より，設計・建設規格　PVC-3310を準用する。

2.8項「円形平板の計算」による厚さとする。

(4)　評価

底板の最小厚さ（t_b）≧底板に必要な厚さ（t）ならば十分である。

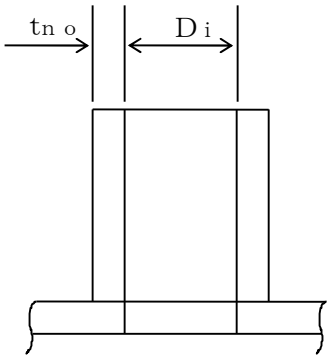
2.14　開放タンクの管台の計算

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。

(1)　記号の説明

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

注記＊：管台の内径及び呼び厚さは，下図参照



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

(2)　算式

開放タンクの管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　管台の計算上必要な厚さ：t_1

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

b.　規格上必要な最小厚さ：t_2

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

(3)　評価

管台の最小厚さ（t_n）≧管台に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.15　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)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
B	B	設計・建設規格　付録材料図表　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_2となる。）	—
D_o	D_o	伝熱管の外径	mm
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	伝熱管に必要な厚さ	mm
t	t_1	内圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	外圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
	t_t	伝熱管の最小厚さ	mm
	t_{to}	伝熱管の呼び厚さ	mm

(2)　算式

伝熱管に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　内面に圧力を受ける伝熱管：t_1

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

b.　外面に圧力を受ける伝熱管：t_2

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

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

(3)　評価

伝熱管の最小厚さ（t_t）≧伝熱管に必要な厚さ（t）ならば十分である。

2.16　円すい形の胴の計算

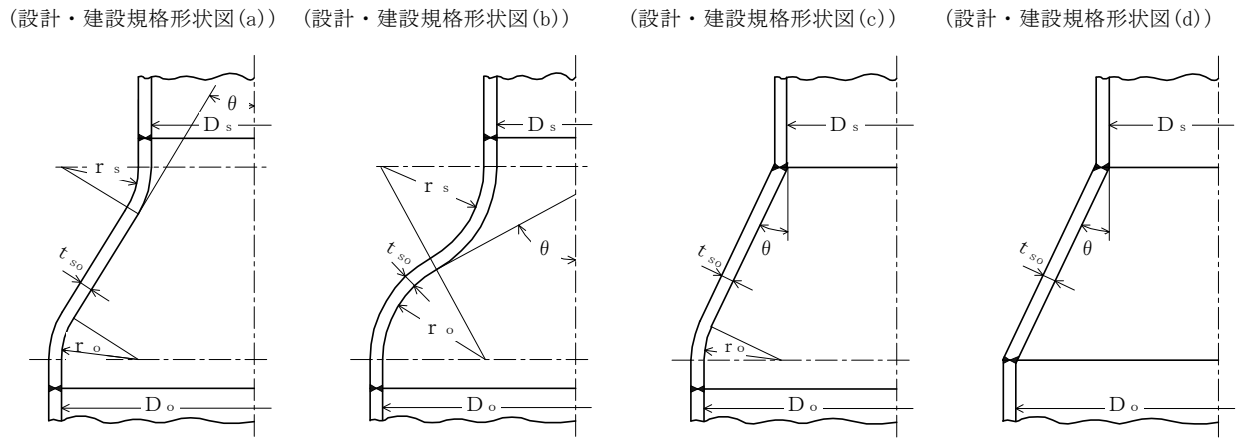
重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3111，PVC-3121及びPVC-3124.1を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
D_i	D_i	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	胴の大径端側の内径	mm
D_s	D_s	胴の小径端側の内径	mm
r	r	円すいのすその丸みの部分の内半径	mm
r_o	r_o	胴の大径端側のすその丸みの部分の内半径	mm
r_s	r_s	胴の小径端側のすその丸みの部分の内半径	mm
S	S〔S_1〕*	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
t	t_3	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{so}	胴の呼び厚さ	mm
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	°

注記＊：S〔S_1〕は内圧時の計算のみの場合はＳを，内圧時及び外圧時の計算の場合はS_1を用いる。

(2)　形状の制限



注：設計・建設規格　図PVC-3111-1による。

図2－6　円すい形の胴の形状

設計・建設規格形状図(a)及び設計・建設規格形状図(b)の形状にあっては

$r_o \geqq \mathrm{Max}(r_1,\ r_2)$ であること。

ここで　$r_1 = 0.06 \cdot (D_o + 2 \cdot t_{so})$

$r_2 = 3 \cdot t_{so}$

設計・建設規格形状図(c)の形状にあっては

$r_o \geqq \mathrm{Max}(r_1,\ r_2)$ 及び $\theta \leqq 30°$ であること。

ここで　$r_1 = 0.06 \cdot (D_o + 2 \cdot t_{so})$

$r_2 = 3 \cdot t_{so}$

設計・建設規格形状図(d)の形状にあっては

$\theta \leqq 30°$ であること。

(3)　算式

円すい形の胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

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

b.　内面に圧力を受ける胴

(a)　設計・建設規格形状図(a)～設計・建設規格形状図(c)の形状にあっては，次の式による値とする。

イ．　円すい部：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.6\cdot P)}$$

ロ．　すその丸みの部分：t_3

$$t_3=\frac{P\cdot D_i\cdot W}{4\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.1\cdot P)}$$

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

(b)　設計・建設規格形状図(d)の形状にあっては，次の式による値とする。

イ．　円すい部：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot\cos\theta\cdot(S\cdot\eta-0.6\cdot P)}$$

(4)　評価

胴の最小厚さ（t_s）≧胴に必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.　穴の補強計算

3.1　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	A_0	補強に有効な総面積	mm^2
A	A_1	胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_2	管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_3	すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_4	強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{0D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての補強に有効な総面積	mm^2
	A_{1D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{2D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{3D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についてのすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{4D}	$X_1 \neq X_2$の場合の片側断面についての強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j0}	大きい穴の補強に有効な総面積	mm^2
	A_{j1}	大きい穴の胴，鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j2}	大きい穴の管台の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j3}	大きい穴のすみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{j4}	大きい穴の強め板の部分の補強に有効な面積	mm^2
	A_{jr}	大きい穴の補強に有効な面積	mm^2
A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
	A_{rD}	片側断面についての穴の補強に必要な面積	mm^2
B	B	設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{nr}となる。）	—
	B_e	強め板の外径	mm
d	d	胴又は鏡板の断面に現われる穴の径 平板の場合は設計・建設規格の表中に規定する方法によって測った平板の径又は，最小内のり断面に現われる穴の径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	d_h	平板の断面に現われる穴の径	mm
	d_j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
	d_w	管台の取り付く穴の径（完全溶込み溶接により溶接された管台については，$d_w = D_{on} + \alpha$（αはルート間隔の2倍），それ以外の管台については，$d_w = D_{on}$）	mm
Di	D_i	円筒胴にあっては胴の内径。さら形鏡板及び半だ円形鏡板にあっては鏡板のフランジ部の内径。全半球形鏡板にあっては鏡板の内径	mm
D	D_{iL}	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
	D_{is}	半だ円形鏡板の内面における短径	mm
	D_{on}	管台の外径	mm
F	F	係数	—
	F_1	すみ肉溶接の許容せん断応力の係数	—
	F_2	突合せ溶接の許容せん断応力の係数	—
	F_3	突合せ溶接の許容引張応力の係数	—
	F_4	管台壁の許容せん断応力の係数	—
K_1	K_1	半だ円形鏡板の長径と短径との比による係数	—
	L_1	溶接の脚長*1	mm
	L_2	溶接の脚長*1	mm
	L_3	溶接の脚長*1	mm
	L_4	溶接の脚長*1	mm
	L_5	溶接の脚長*1	mm
	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
	ＰＬＡＴＥ－	管台のない平板形式（図3－20参照）	—
	R	さら形鏡板にあっては鏡板の中央部における内面の半径。半だ円形鏡板にあってはD_{iL}・K_1 全半球形鏡板にあっては鏡板の内半径	mm
	S_c	鏡板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_e	強め板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
S	S_n	管台材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_p	平板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
S	S_s	胴板材の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
	S_{w1}	すみ肉溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w2}	突合せ溶接部の許容せん断応力	MPa
	S_{w3}	突合せ溶接部の許容引張応力	MPa
	S_{w4}	管台壁の許容せん断応力	MPa
t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	穴の補強計算に用いる鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_e	強め板の最小厚さ	mm
t_n	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ	mm
t_{nr}	t_{nr}	管台の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_p	平板の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W_1*2	$W_1=(A_2+A_3+A_4)\cdot S_s$	N
	W_2*2	$W_2=(d\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$又は $W_2=(d_w\cdot t_{sr}-A_1)\cdot S_s$	N
	W_{e1}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の外側）	N
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴，鏡板又は平板の内側）	N
	W_{e3}	すみ肉溶接部のせん断力（強め板取付部）	N
	W_{e4}	突合せ溶接部のせん断力（胴，鏡板又は平板と強め板との突合せ部）	N

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	W_{e5}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e5D}	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W_{e6}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径D_{on}において）	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径d_wにおいて）	N
	W_{e8}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径D_{on}において）	N
	W_{e9}	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径d_wにおいて）	N
	W_{e10}	管台のせん断力	N
	W_{e11}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部の胴，鏡板又は平板の部分径d_wより外側）	N
	W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp4}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp5}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp6}	予想される破断箇所の強さ	N
	ＷＥＬＤ－	管台溶接形式（図3－1～図3－19を参照）	—
	X	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板の面に沿った方向）	mm
	X_1	補強の有効範囲	mm
	X_2	補強の有効範囲	mm
	X_j	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j1}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X_{j2}	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	Y_1	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板より外側）	mm
	Y_2	補強の有効範囲（胴，鏡板又は平板より内側）	mm
η	η	穴が長手継手又は胴と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合はその継手の効率。その他の場合は1.00	—
	π	円周率	—

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単　位
	応力除去の有無		
	有り	同左	—
	無し	同左	—

注記＊1：重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　図PVC-4212-3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ＳｓをＳｃ，ｔｓｒをｔｃｒに読み替える。平板の場合は，Ｓｓをｐ，ｄをｄｈ，ｔｓｒをｔｐｒに読み替える。

3.2　容器の穴の補強計算

容器に穴を設ける場合は以下の手順により補強計算を行う。

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

(1)　胴の場合

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

a.　管台の形式

図3－1～図3－19に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

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

b.　穴の補強

(a)　補強に必要な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3161.3を適用する。

イ．　円筒形又は円すい形の胴の場合

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

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

（ロ）　管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

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

(b)　補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3161.1を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

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

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

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

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

また，強め板がない場合には$t_e = 0$とする。

(c)　補強に有効な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3161.2を適用する。

イ．　胴の部分の補強に有効な面積

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

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

（ロ）　管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot (X - d) - (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が胴の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

（ロ）　管台が胴の内側に突出している場合

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

ただし，

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

ハ．　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

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

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

ホ．　補強に有効な総面積

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

(d)　補強に有効な範囲$X_1 \neq X_2$の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3165を適用する。

補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲$X_1 = X_2$の場合は上記条件を満足することが明らかであり，以下の計算は行わない。

イ．　補強に必要な面積の2分の1

$$A_{rD} = A_r / 2$$

ロ．　X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ）　胴の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

（ロ）　管台の部分の補強に有効な面積

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

（ハ）　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

（ニ）　強め板の部分の補強に有効な面積

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

（ホ）　補強に有効な総面積

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

c.　大きい穴の補強

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3164を適用する。

(a)　大きい穴の補強を要する限界径

イ．　D_iが1500mm以下の場合

$$d_j = D_i / 2$$

ただし，500mmを超える場合は500mmとする。

ロ．　D_iが1500mmを超える場合

$$d_j = D_i / 3$$

ただし，1000mmを超える場合は1000mmとする。

ここで，$d \leqq d_j$の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方，$d > d_j$の場合は補強に必要な面積の3分の2以上が穴の周囲から穴の径の4分の1の範囲内にある必要がある。

(b)　大きい穴の補強における管台の形式

図3－21～図3－39に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c)　大きい穴の補強に必要な面積

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

(d)　大きい穴の補強に有効な範囲

$$X_j = X_{j1} + X_{j2}$$

$$X_{j1} = X_{j2} = d/2 + d/4$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(e)　大きい穴の補強に有効な面積

イ．　胴の部分の補強に有効な面積

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

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

（ロ）　管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

ロ.　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が胴の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

$$A_{j2}=2\cdot[\{\mathrm{Min}(X_j,D_{on})-d\}/2-t_{nr}]\cdot Y_1\cdot S_n/S_s$$

（ロ）　管台が胴の内側に突出している場合

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

ハ.　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし，大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ.　強め板の部分の補強に有効な面積

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

ホ.　大きい穴の補強に有効な総面積

$$A_{j0}=A_{j1}+A_{j2}+A_{j3}+A_{j4}$$

d.　溶接部の強度

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3168及びPVC-3169を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

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

管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

よって，$W=\mathrm{Min}(W_1,W_2)$

ここで，$W<0$の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方，$W\geqq 0$の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

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

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

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

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

(c)　継手部の強さ

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

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

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

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

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

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

$W_{e6}=\pi\cdot D_{on}\cdot t_s\cdot S_{w3}/2$ （ＷＥＬＤ－5，6，14以外の場合）

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

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

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

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

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

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

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

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

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　ＷＥＬＤ－1の場合

$W_{ebp1}=W_{e1}\ W_{e5}$　　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

$W_{ebp2}=W_{e5D}$　　を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－2の場合

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

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

ハ．　ＷＥＬＤ－3の場合

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

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

$W_{ebp3}=W_{e7}$　　を通る強さ＝W_{e7}

ニ.　ＷＥＬＤ－4の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e11} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e11}＋W_{e7}

ただし，D_{on}＝d_wの場合はW_{ebp1}＝W_{ebp3}となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ.　ＷＥＬＤ－5の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヘ.　ＷＥＬＤ－6の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e1} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e7}

ト.　ＷＥＬＤ－8の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

チ.　ＷＥＬＤ－9の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e7}

リ.　ＷＥＬＤ－11の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e4} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e2}

W_{ebp3}＝W_{e9} W_{e4} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヌ．　ＷＥＬＤ－12の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ル．　ＷＥＬＤ－13の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e5D}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e5}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e4} W_{e5}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e5}

ヲ．　ＷＥＬＤ－14の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e10}

W_{ebp4}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ワ．　ＷＥＬＤ－15，16，22の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e7}

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

カ．　ＷＥＬＤ－17の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

ヨ．　ＷＥＬＤ－18の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

タ．　ＷＥＬＤ－19，19′の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

e.　評価

胴の穴の補強は下記の条件を満足すれば十分である。

$A_0 > A_r$

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

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

すべての破断箇所の強さ≧W（ただし，Wが正の場合のみ）

(2)　鏡板の場合

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3240を適用する。

a.　管台の形式

図3－1～図3－19に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

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

b.　穴の補強

(a)　補強に必要な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格　PVC-3161.3準用）を適用する。

イ．　半だ円形鏡板，さら形鏡板及び全半球形鏡板の場合

（イ）　管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

（Ｆ＝1とする。以下鏡板の場合において同じ）

（ロ）　管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

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

ただし，t_{cr}は次による。

さら形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

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

半だ円形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

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

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

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

(b)　補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格　PVC-3161.1準用）を適用する。

$X = X_1 + X_2$

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

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

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

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

また，強め板がない場合には$t_e = 0$とする。

(c)　補強に有効な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格　PVC-3161.2準用）を適用する。

イ．　鏡板の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

（ロ）　管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が鏡板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

（ロ） 管台が鏡板の内側に突出している場合

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

ただし，

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

ハ． すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ． 強め板の部分の補強に有効な面積

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

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

ホ． 補強に有効な総面積

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

(d) 補強に有効な範囲$X_1\neq X_2$の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3165準用）を適用する。

補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲$X_1=X_2$の場合は上記条件を満足することが明らかであり，以下の計算は行わない。

イ． 補強に必要な面積の2分の1

$$A_{rD}=A_r/2$$

ロ． X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ） 鏡板の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

（ロ） 管台の部分の補強に有効な面積

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

（ハ） すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

（ニ） 強め板の部分の補強に有効な面積

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

（ホ） 補強に有効な総面積

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

c. 大きい穴の補強

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格 PVC-3241（設計・建設規格 PVC-3164準用）を適用する。

(a) 大きい穴の補強を要する限界径

イ. D_iが1500mm以下の場合

$$d_j=D_i/2$$

ただし，500mmを超える場合は500mmとする。

ロ. D_iが1500mmを超える場合

$$d_j=D_i/3$$

ただし，1000mmを超える場合は1000mmとする。

ここで，$d \leqq d_j$の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方，$d > d_j$の場合は補強に必要な面積の3分の2以上が穴の周囲から穴の径の4分の1の範囲内にある必要がある。

(b) 大きい穴の補強における管台の形式

図3－21～図3－39に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c) 大きい穴の補強に必要な面積

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

(d) 大きい穴の補強に有効な範囲

$$X_j=X_{j1}+X_{j2}$$

$$X_{j1}=X_{j2}=d/2+d/4$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(e)　大きい穴の補強に有効な面積

イ．　鏡板の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

（ロ）　管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_{j1}=(\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (X_j - d) - (1 - S_n / S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot 2 \cdot t_n$$

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が鏡板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

$$A_{j2}=2 \cdot [\{\mathrm{Min}(X_j, D_{on}) - d\} / 2 - t_{nr}] \cdot Y_1 \cdot S_n / S_c$$

（ロ）　管台が鏡板の内側に突出している場合

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

ハ．　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし，大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

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

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

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3241（設計・建設規格PVC-3168及びPVC-3169準用）を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

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

管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－38の場合

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

管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

よって，$W=\mathrm{Min}(W_1, W_2)$

ここで，$W<0$の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方，W≧0の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

$S_{w1}=S_c \cdot F_1$

$S_{w2}=S_c \cdot F_2$

$S_{w3}=S_c \cdot F_3$

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

(c)　継手部の強さ

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

$W_{e2}=\pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1}/2$

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

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

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

$W_{e6}=\pi \cdot D_{on} \cdot t_c \cdot S_{w3}/2$　（WELD－35，36，44以外の場合）

$W_{e6}=\pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3}/2$　（WELD－35，36，44の場合）

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

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

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

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

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

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

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

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　WELD－31の場合

$W_{ebp1}=W_{e1}\ W_{e5}$　　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

$W_{ebp2}=W_{e5D}$　　を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－32の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ハ．　ＷＥＬＤ－33の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e7}

ニ．　ＷＥＬＤ－34の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e11} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e11}＋W_{e7}

ただし，D_{on}＝d_wの場合はW_{ebp1}＝W_{ebp3}となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ．　ＷＥＬＤ－35の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヘ．　ＷＥＬＤ－36の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e1} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e7}

ト．　ＷＥＬＤ－38の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

チ．　ＷＥＬＤ－39の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e7}

リ．　ＷＥＬＤ－41の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e4} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e2}

W_{ebp3}＝W_{e9} W_{e4} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヌ．　ＷＥＬＤ－42の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ル．　ＷＥＬＤ－43の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e5D}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e5}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e4} W_{e5}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e5}

ヲ．　ＷＥＬＤ－44の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e10}

W_{ebp4}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ワ．　ＷＥＬＤ－45，46の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e7}

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

カ．　ＷＥＬＤ－48の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

ヨ．　ＷＥＬＤ－49の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

e.　評価

鏡板の穴の補強は下記の条件を満足すれば十分である。

$A_0 > A_r$

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

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

すべての破断箇所の強さ≧Ｗ（ただし，Ｗが正の場合のみ）

(3)　平板の場合

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)を適用する。

a.　管台の形式

図3－1～図3－10及び図3－20に管台の形式，補強に有効な面積，補強に必要な面積，破断形式等を示す。

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

b.　穴の補強

(a)　補強に必要な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.3準用）を適用する。

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

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

ロ．　管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

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

(b)　補強に有効な範囲

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.1準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

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

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

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

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，構造上取り得る範囲とする。

また，強め板がない場合は$t_e = 0$とする。

(c)　補強に有効な面積

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3161.2準用）を適用する。

イ．　平板の部分の補強に有効な面積

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

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

（ロ）　管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

ロ．　管台の部分の補強に有効な面積

（イ）　管台が平板の内側に突出していない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

（ロ）　管台が平板の内側に突出している場合

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

ただし，

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

ハ．　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし，補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ．　強め板の部分の補強に有効な面積

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

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

ホ．　補強に有効な総面積

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

(d)　補強に有効な範囲$X_1\neq X_2$の場合の補強に有効な面積の確認

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3165準用）を適用する。

補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は穴の中心線の両側にある必要がある。

ただし，補強に有効な範囲$X_1=X_2$の場合は上記条件を満足することが明らかであり以下の計算は行わない。

イ．　補強に必要な面積の2分の1

$$A_{rD}=A_r/2$$

ロ．　X_1又はX_2のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

（イ）　平板の部分の補強に有効な面積

管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

（ロ）　管台の部分の補強に有効な面積

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

（ハ）　すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

（ニ）　強め板の部分の補強に有効な面積

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

（ホ）　補強に有効な総面積

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

c．　溶接部の強度

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3320(2)（設計・建設規格　PVC-3168及びPVC-3169準用）を適用する。

(a)　溶接部の負うべき荷重

次の２つの計算式（W_1及びW_2）により求めた荷重のうちいずれか小さい方

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

管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びＷＥＬＤ－8，22の場合

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

管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

よって，$W=\mathrm{Min}(W_1,\ W_2)$

ここで，$W<0$の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方，$W\geqq 0$の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b)　溶接部の単位面積当たりの強さ

$S_{w1}=S_p \cdot F_1$

$S_{w2}=S_p \cdot F_2$

$S_{w3}=S_p \cdot F_3$

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

(c)　継手部の強さ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(d)　予想される破断箇所の強さ

イ．　ＷＥＬＤ－1の場合

$W_{ebp1}=W_{e1}\ W_{e5}$　　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e5}$

$W_{ebp2}=W_{e5D}$　　を通る強さ＝W_{e5}

ロ．　ＷＥＬＤ－2の場合

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

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

ハ.　ＷＥＬＤ－3の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e7}

ニ.　ＷＥＬＤ－4の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e11} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e11}＋W_{e7}

ただし，Ｄｏｎ＝d_wの場合はW_{ebp1}＝W_{ebp3}となるためW_{ebp3}を省略する。

ホ.　ＷＥＬＤ－5の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヘ.　ＷＥＬＤ－6の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e1} W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e7}

ト.　ＷＥＬＤ－8の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

チ.　ＷＥＬＤ－9の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

W_{ebp3}＝W_{e7}　　を通る強さ＝W_{e7}

リ.　ＷＥＬＤ－11の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e4} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e2}

W_{ebp3}＝W_{e9} W_{e4} W_{e2}　　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e4}＋W_{e2}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ヌ．　ＷＥＬＤ－12の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ル．　ＷＥＬＤ－13の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e5D}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e5}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e4} W_{e5}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e5}

ヲ．　ＷＥＬＤ－14の場合

W_{ebp1}＝W_{e3} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e10}

W_{ebp4}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

ワ．　ＷＥＬＤ－15，16，22の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e8}＋W_{e6}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e9}＋W_{e7}

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

カ．　ＷＥＬＤ－17の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e2}

ヨ．　ＷＥＬＤ－18の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e7}

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e6}＋W_{e2}

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e3}＋W_{e4}＋W_{e10}

W_{ebp5}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝W_{e1}＋W_{e10}

タ．　ＷＥＬＤ－19，19′の場合

W_{ebp1}＝W_{e1} W_{e8} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e8}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp2}＝W_{e3} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e7}$

W_{ebp3}＝W_{e3} W_{e4} W_{e6} W_{e2}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e6}+W_{e2}$

W_{ebp4}＝W_{e3} W_{e4} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e3}+W_{e4}+W_{e10}$

W_{ebp5}＝W_{e9} W_{e7}　を通る強さ＝$W_{e9}+W_{e7}$

W_{ebp6}＝W_{e1} W_{e10}　を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e10}$

d.　評価

平板の穴の補強は下記の条件を満足すれば十分である。

$A_0 > A_r / 2$

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

すべての破断箇所の強さ≧W（ただし，Wが正の場合のみ）

3.3　開放タンクの胴の穴の補強計算

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

ただし，穴の径が85mm以下の場合は計算を行わない。

ここで，最高使用圧力Ｐは，次の式による値とする。

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

開放タンクの胴に穴を設ける場合は，3.2項「容器の穴の補強計算」を適用する。

3.4　開放タンクの鏡板の穴の補強計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3240，PVC-3940及びPVC-3950を使用して評価する。

ただし，穴の径が85mm以下の場合は計算を行わない。

ここで，最高使用圧力Ｐは，次の式による値とする。

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

開放タンクの鏡板に穴を設ける場合は，3.2項「容器の穴の補強計算」を適用する。

3.5　2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

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

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	A_1	2つの穴の間及び強め板の断面積の和	mm^2
	A_2	2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	mm^2
	A_d	A_1とA_2の和	mm^2
	A_r	A_{r1}とA_{r2}の和の1/2	mm^2
	A_{r1}，A_{r2}	2つの穴のそれぞれの補強に必要な断面積	mm^2
	A_{rs}	2つの穴の間の強め材の断面積	mm^2
A_s	A_s	2つの穴の間に必要な胴の断面積（胴板内に溶着された管壁を含む。）	mm^2
	d	2つの穴の中心間に必要な距離	mm
	d_1，d_2	2つの穴のそれぞれの直径	mm
F	F	係数	—
ℓ	ℓ	2つの穴の中心間の距離	mm
	L_{1i}，L_{2i}	2つの穴のそれぞれの内側溶け込み深さ	mm
	L_{1o}，L_{2o}	2つの穴のそれぞれの外側溶け込み深さ	mm
	t_1，t_2	2つの穴のそれぞれの管壁の厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	鏡板の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm

(2)　算式

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

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

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

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

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

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

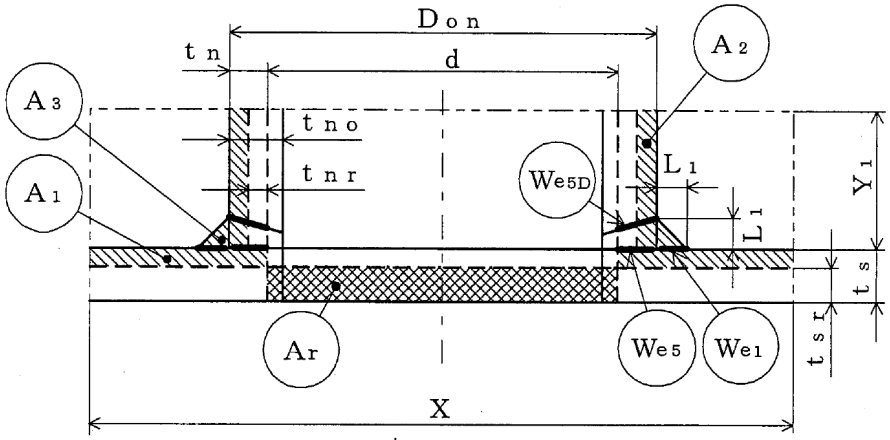
$A_d = A_1 + A_2$

(3)　評価

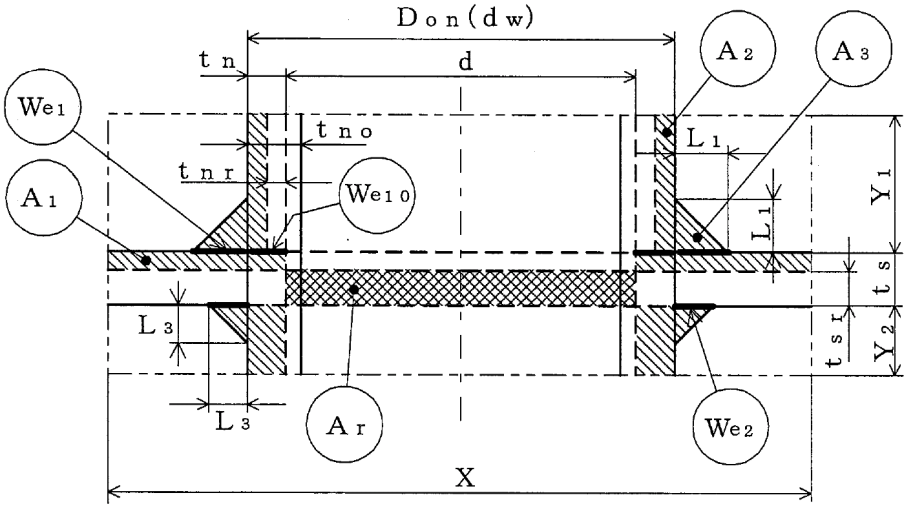
下記の条件を満足すれば十分である。

$\ell \geqq d$，$A_{rs} \geqq A_r$，$A_d \geqq A_s$

注：各形式図（図3－1～図3－39）において，胴，鏡板又は平板の最小厚さ及び穴の補強計算に用いる計算上必要な厚さは，それぞれ胴の場合はｔｓ，ｔｓｒ，鏡板の場合はｔｃ，ｔｃｒ，平板の場合はｔｐ，ｔｐｒと読み替えを行う。
また，各形式図中のｄは，平板の場合はｄｈと読み替えを行う。



WELD－1



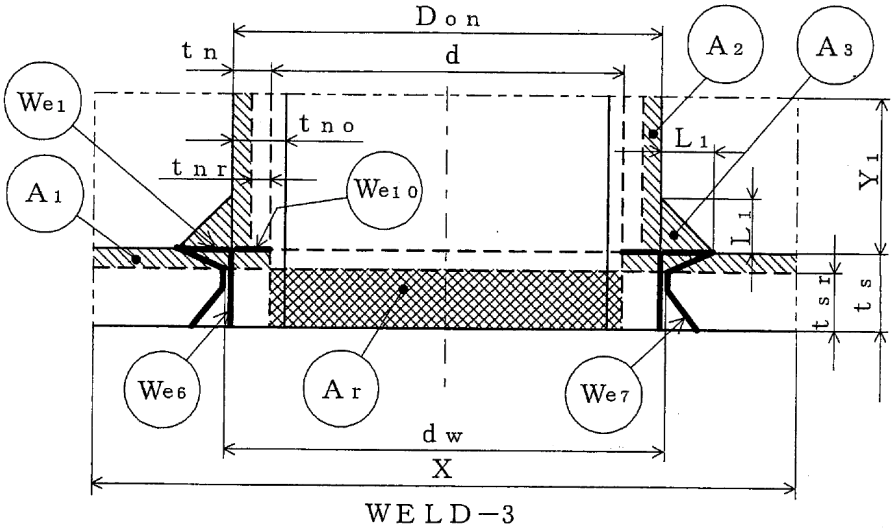
WELD－2

補強に有効な面積

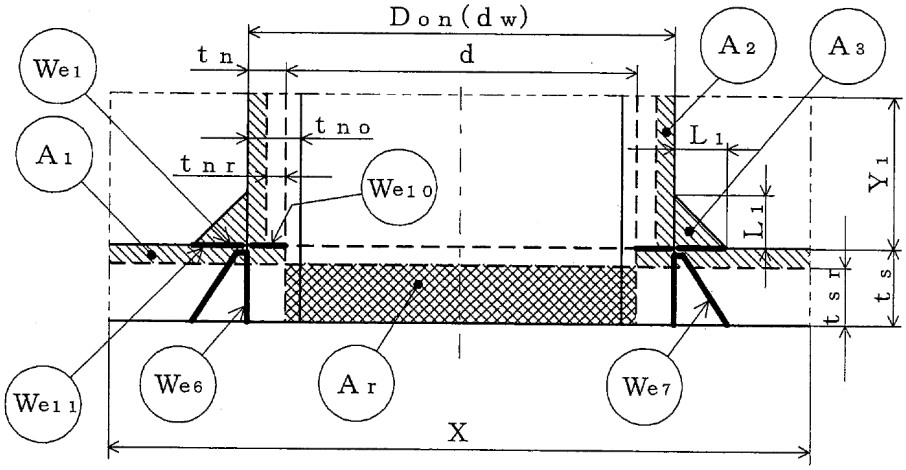
補強に必要な面積

図3－1

（注）We1等で示される図中の太線は，予想される破断形式を示す。（以降，同様）



WELD−3

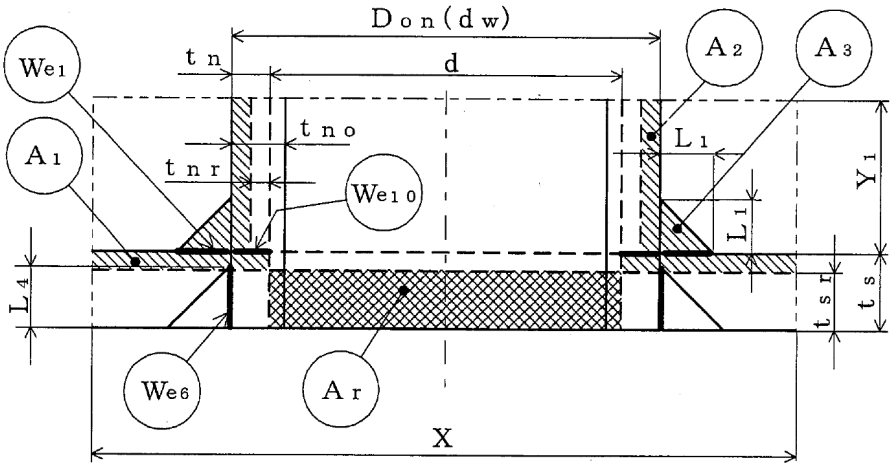


WELD−4

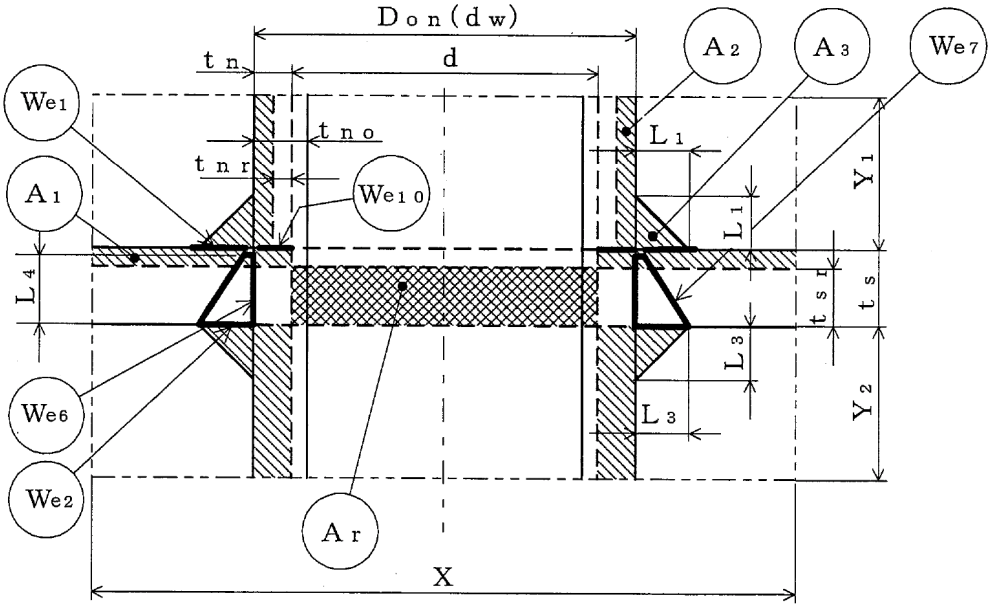
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−2



WELD−5

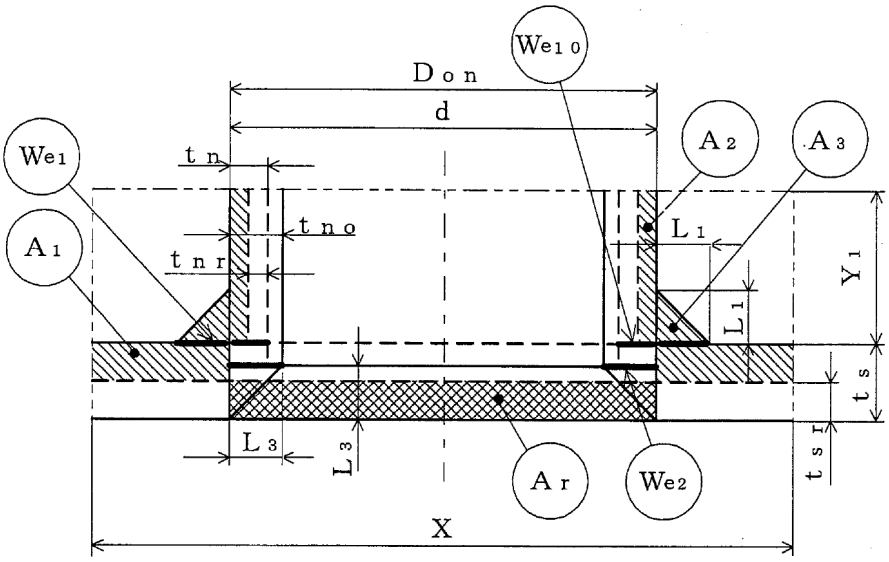


WELD−6

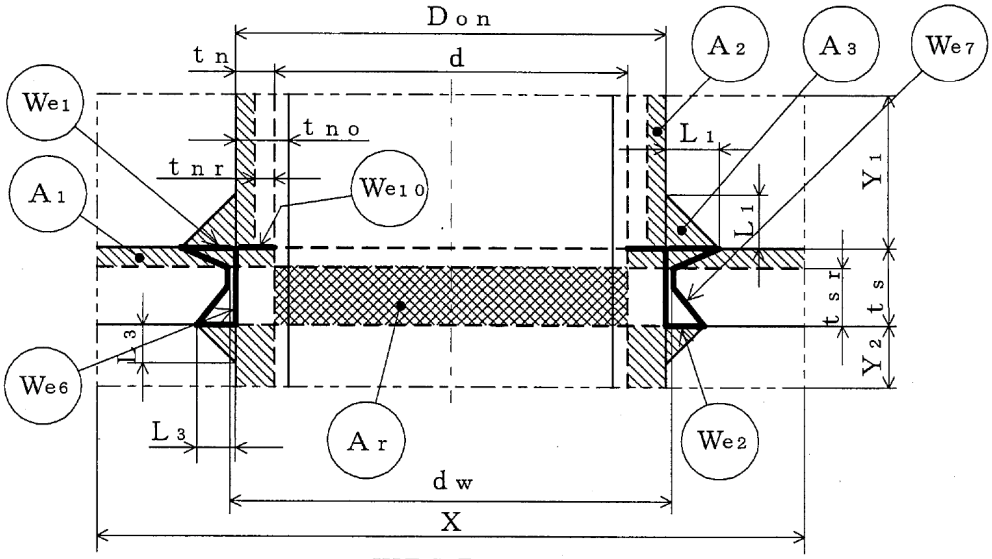
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−3



WELD−8

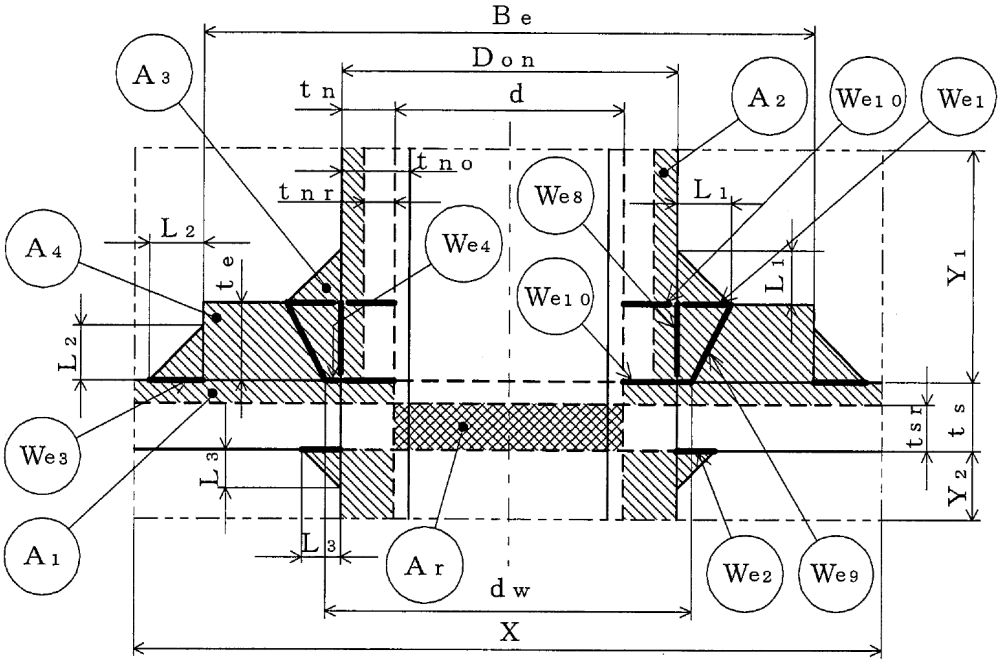


WELD−9

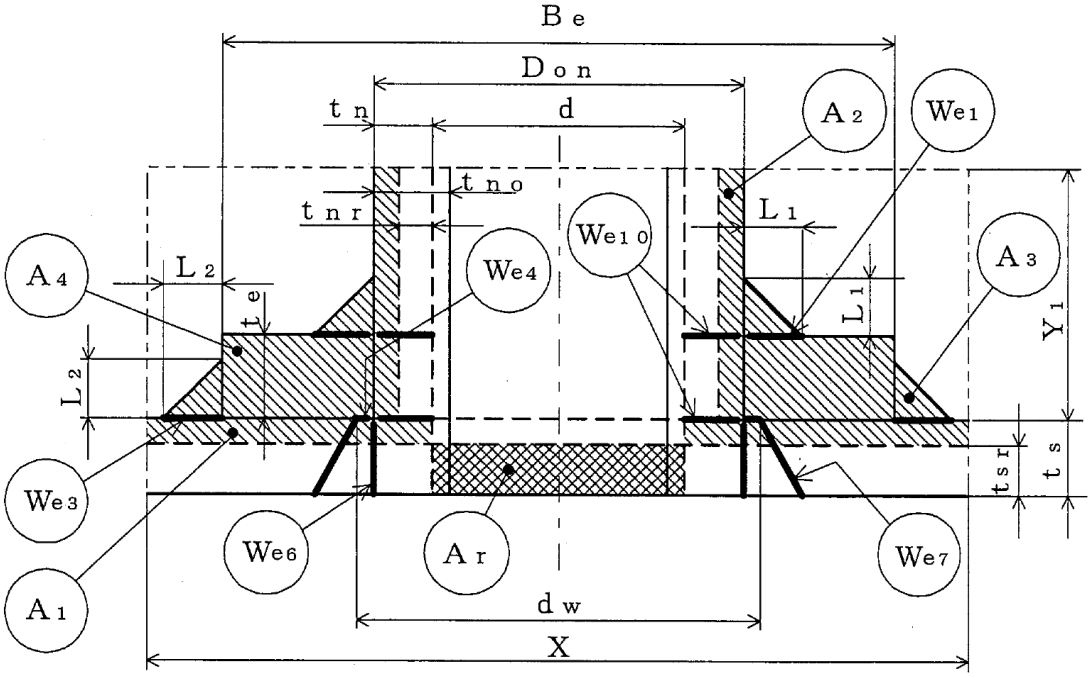
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−4



WELD−11

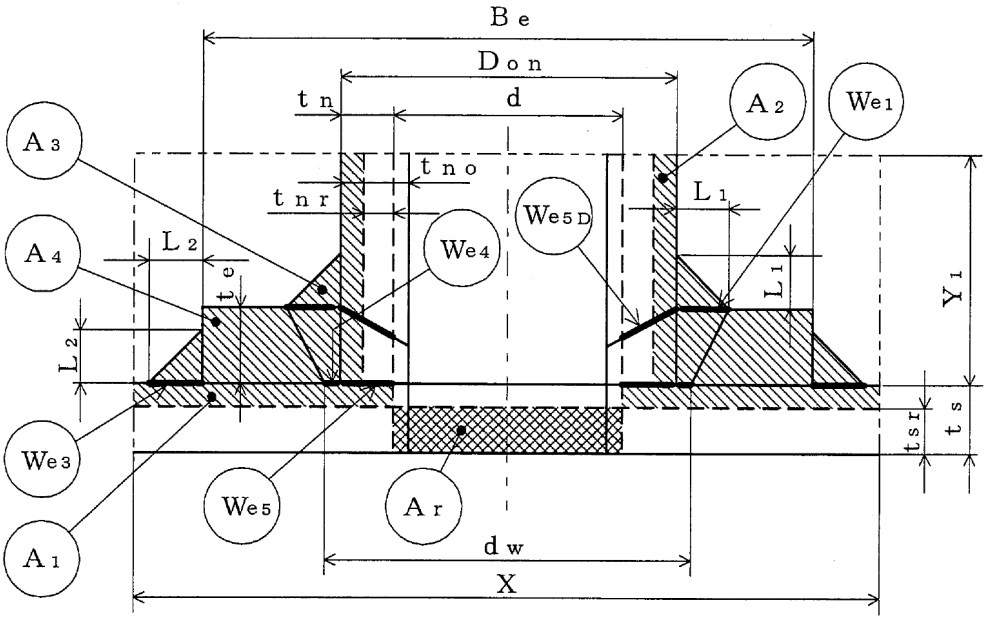


WELD−12

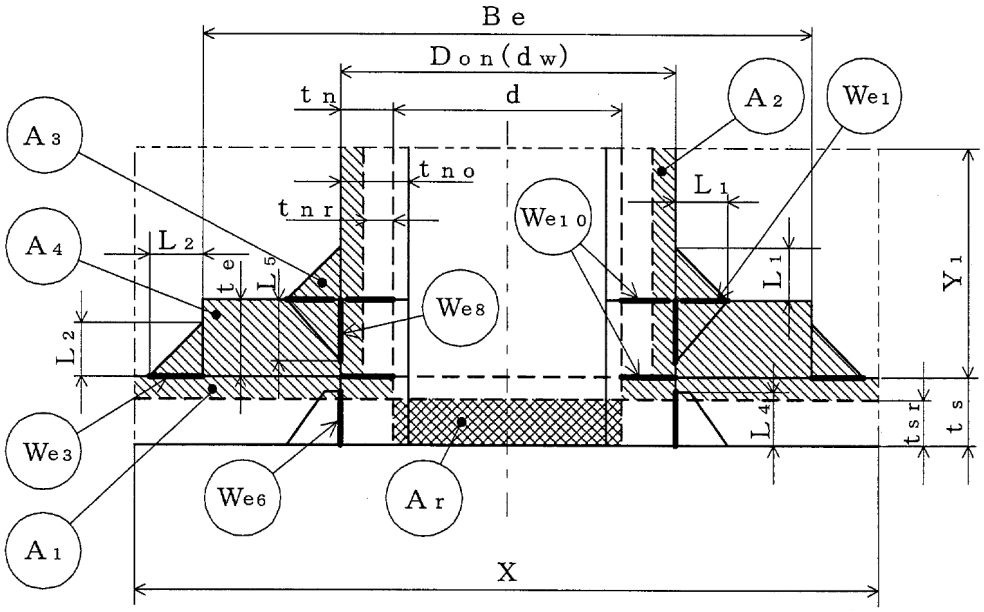
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−5



WELD−13

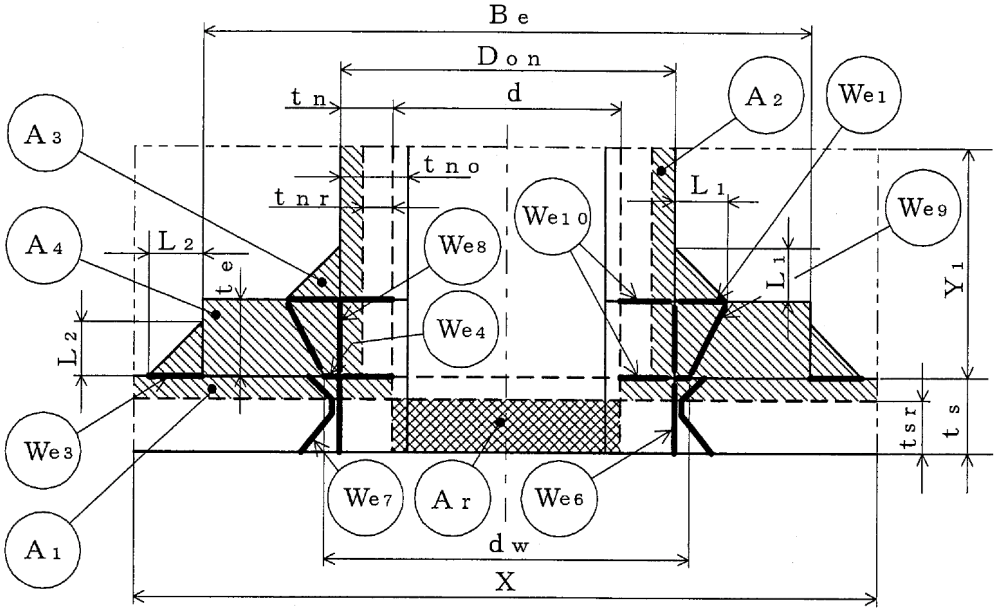


WELD−14

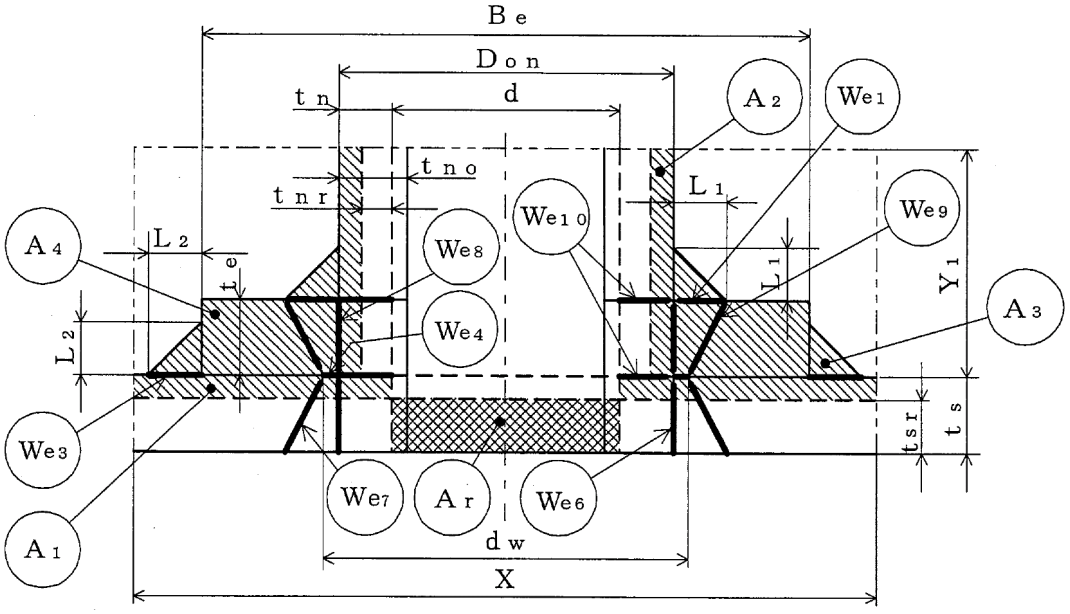
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−6



WELD−15

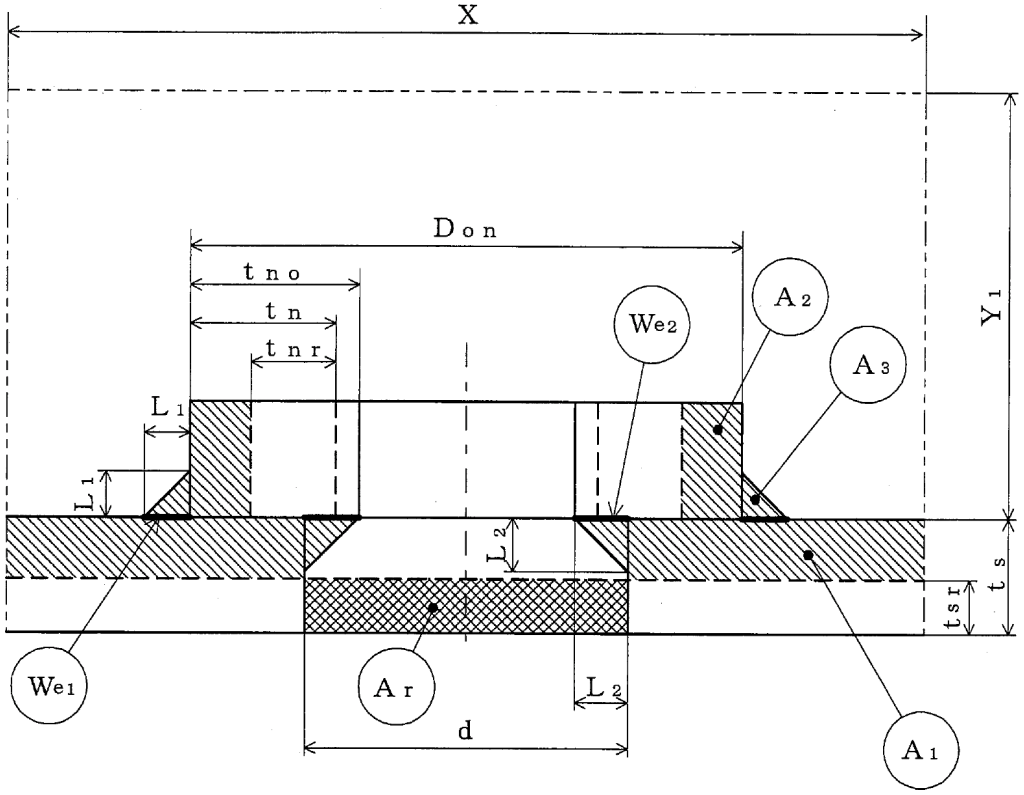


WELD−16

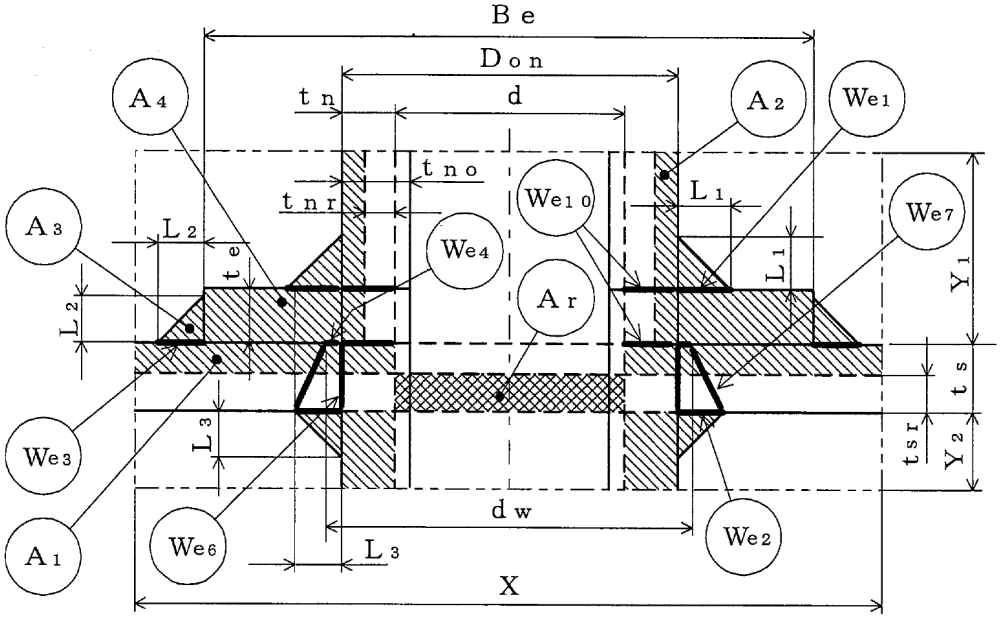
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−7



WELD－17

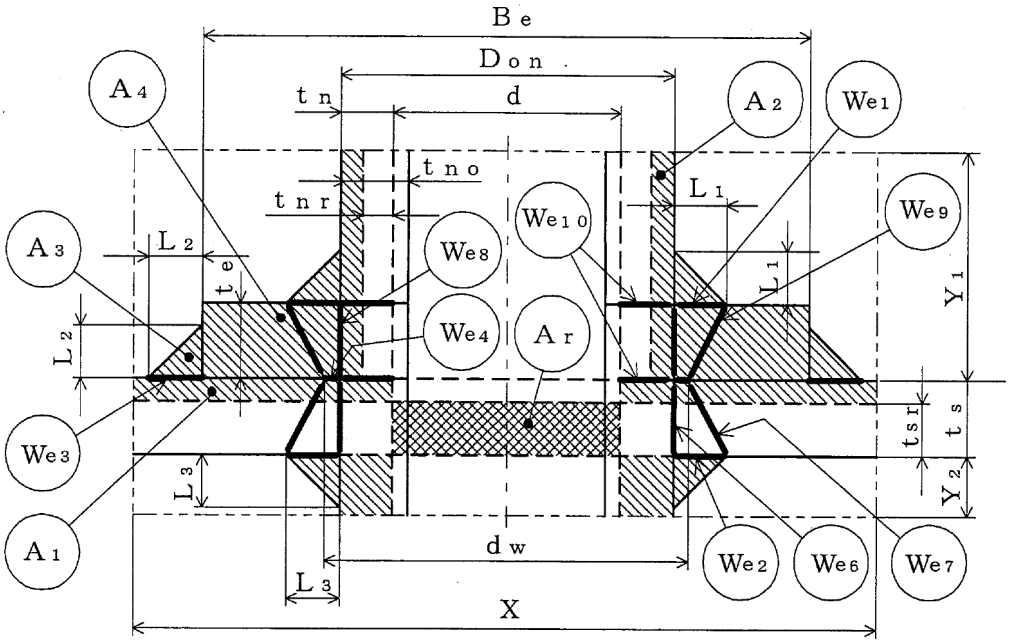


WELD－18

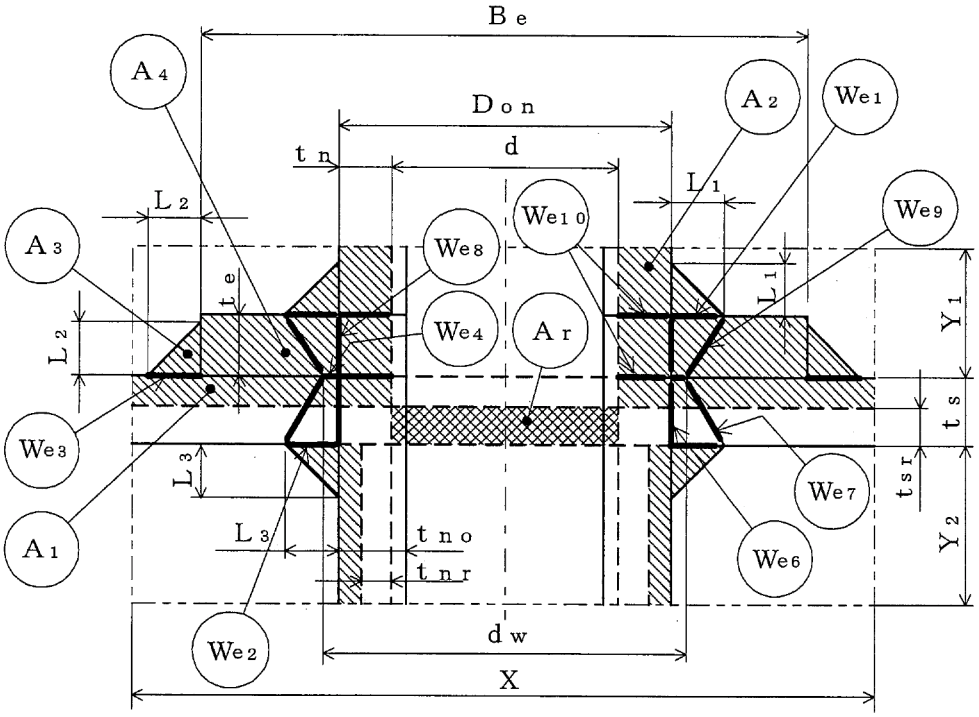
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－8



WELD−19

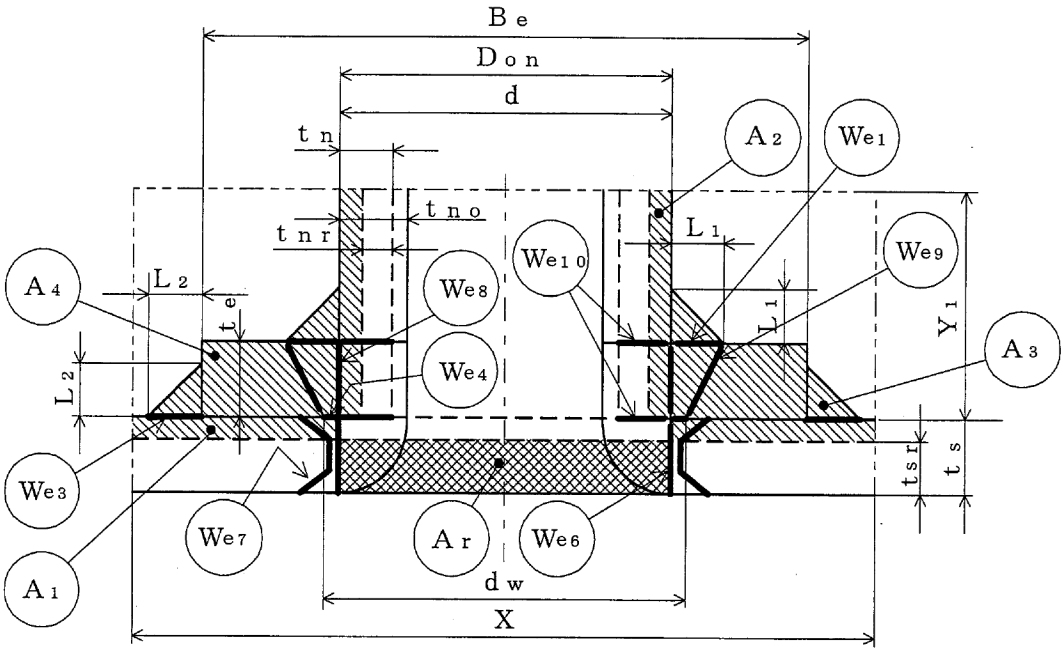


WELD−19′

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−9

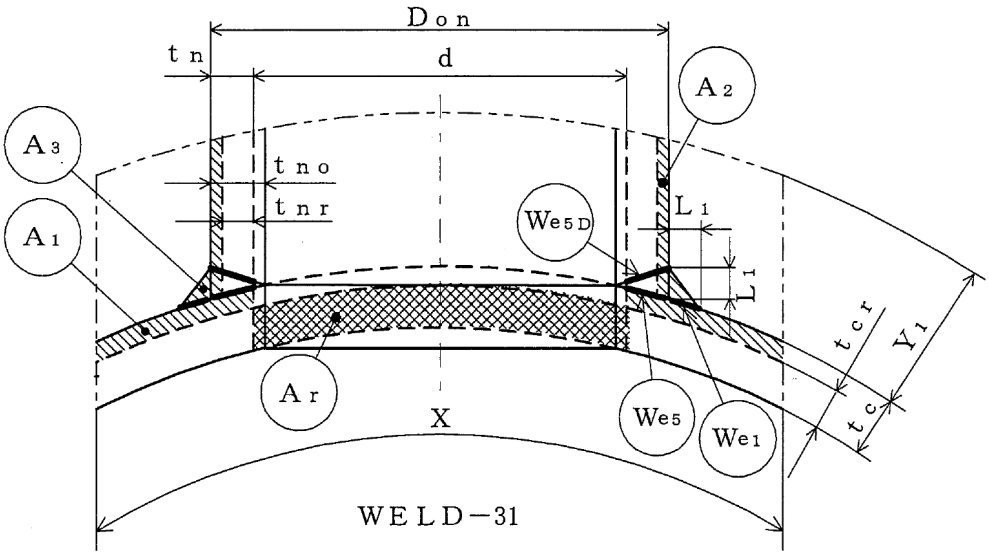


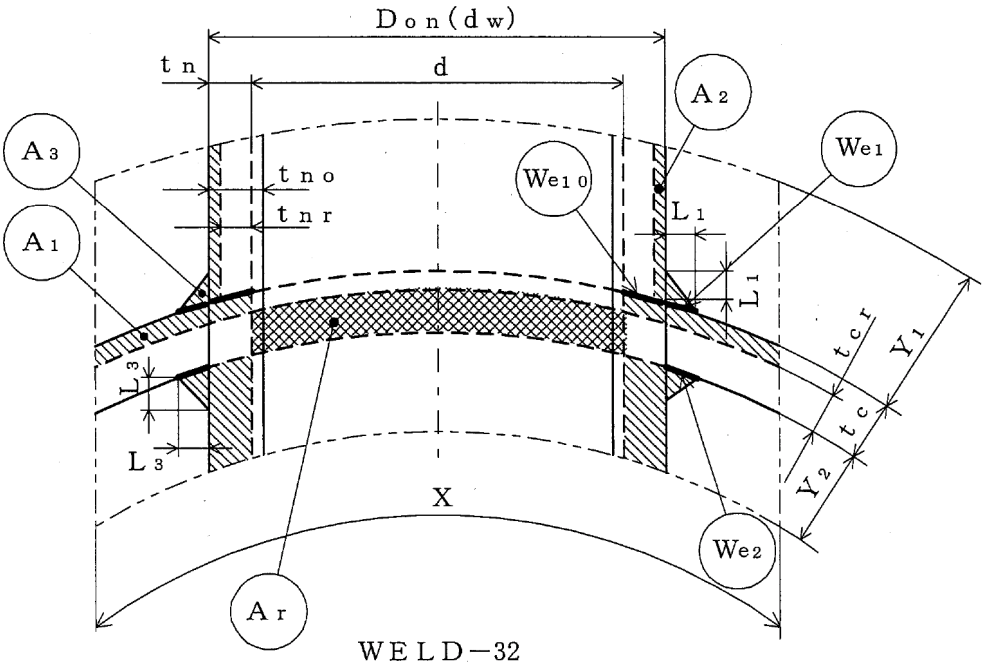
WELD－22

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－10

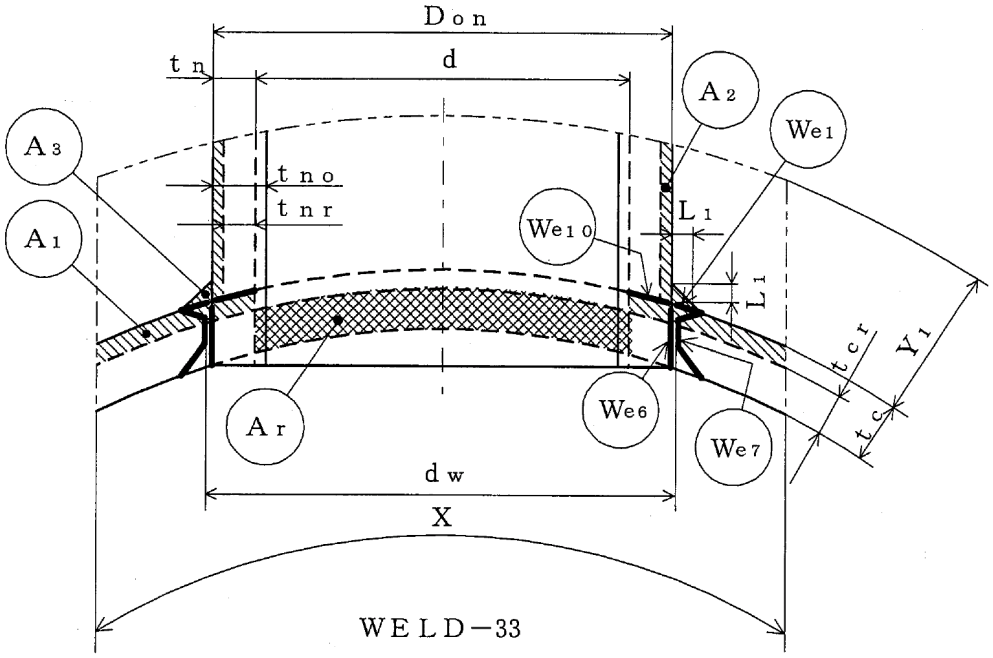


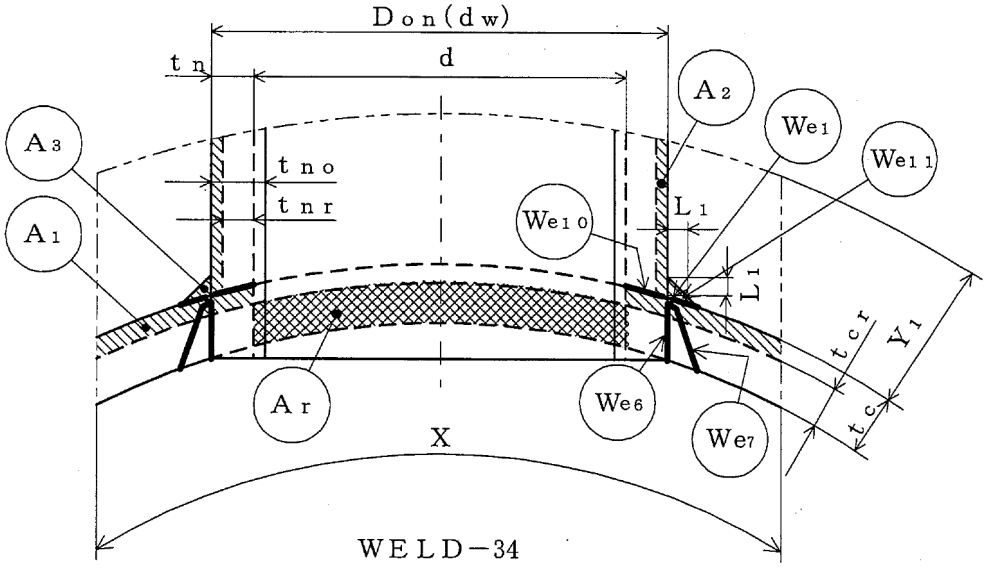


補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－11

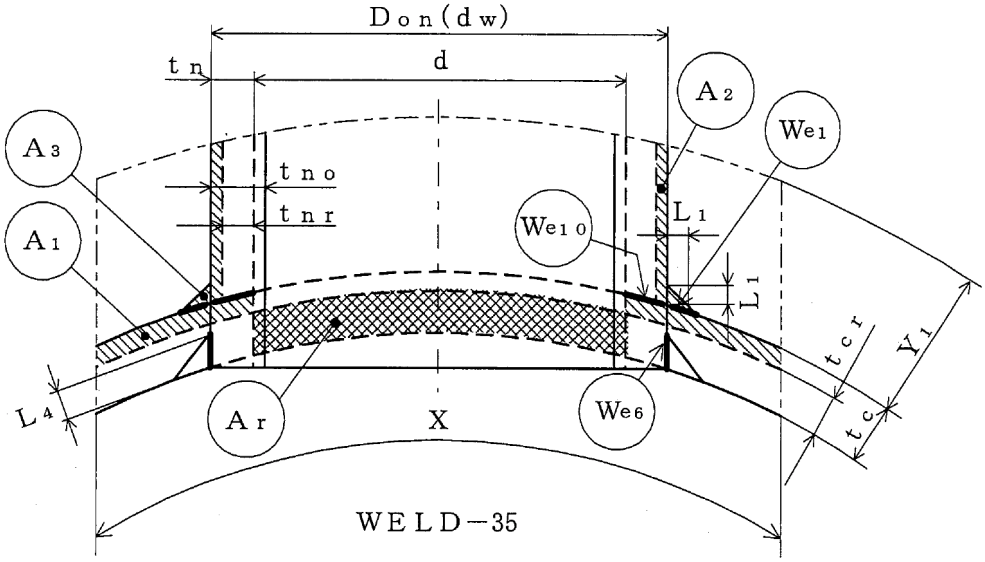


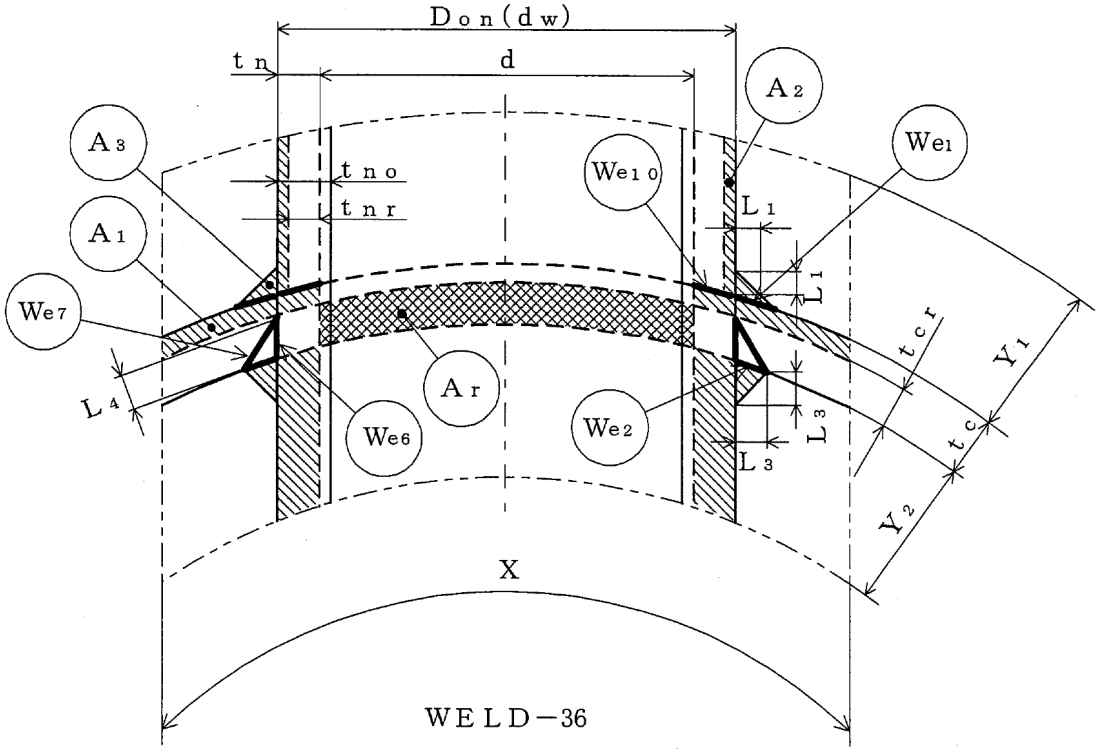


補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－12

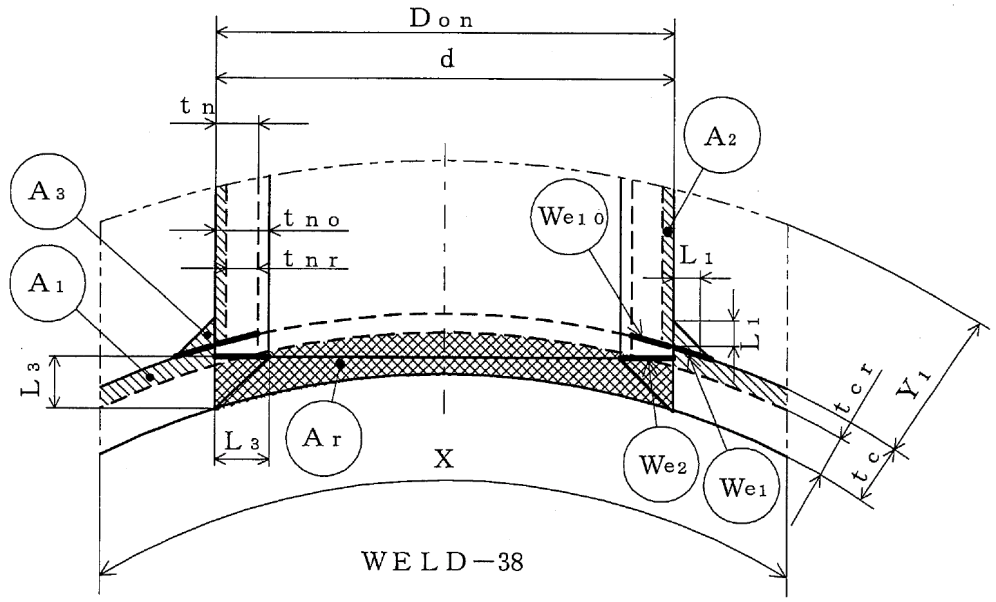


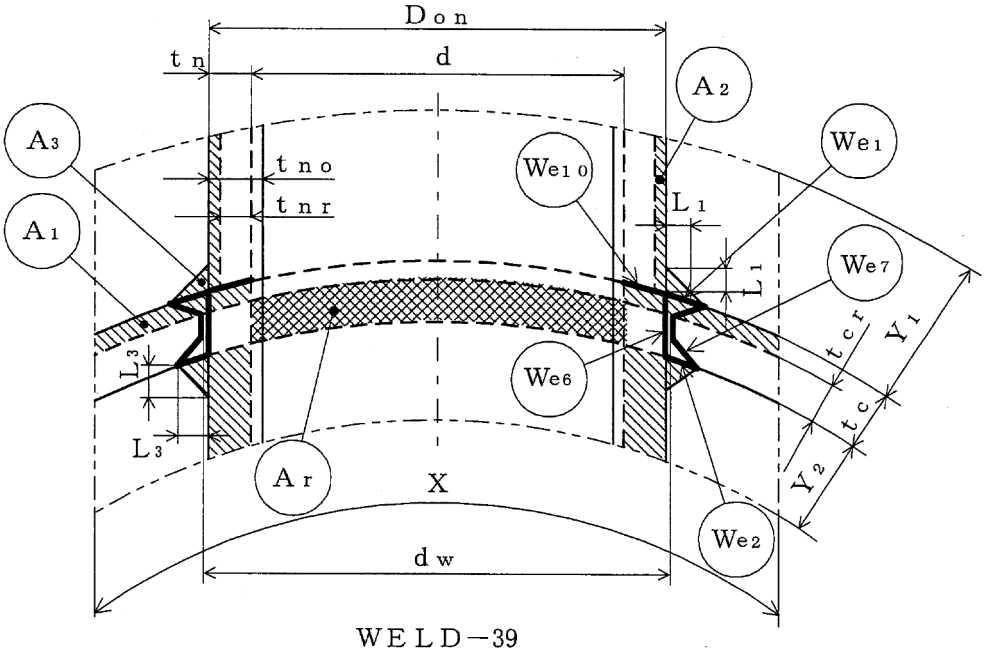


補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−13

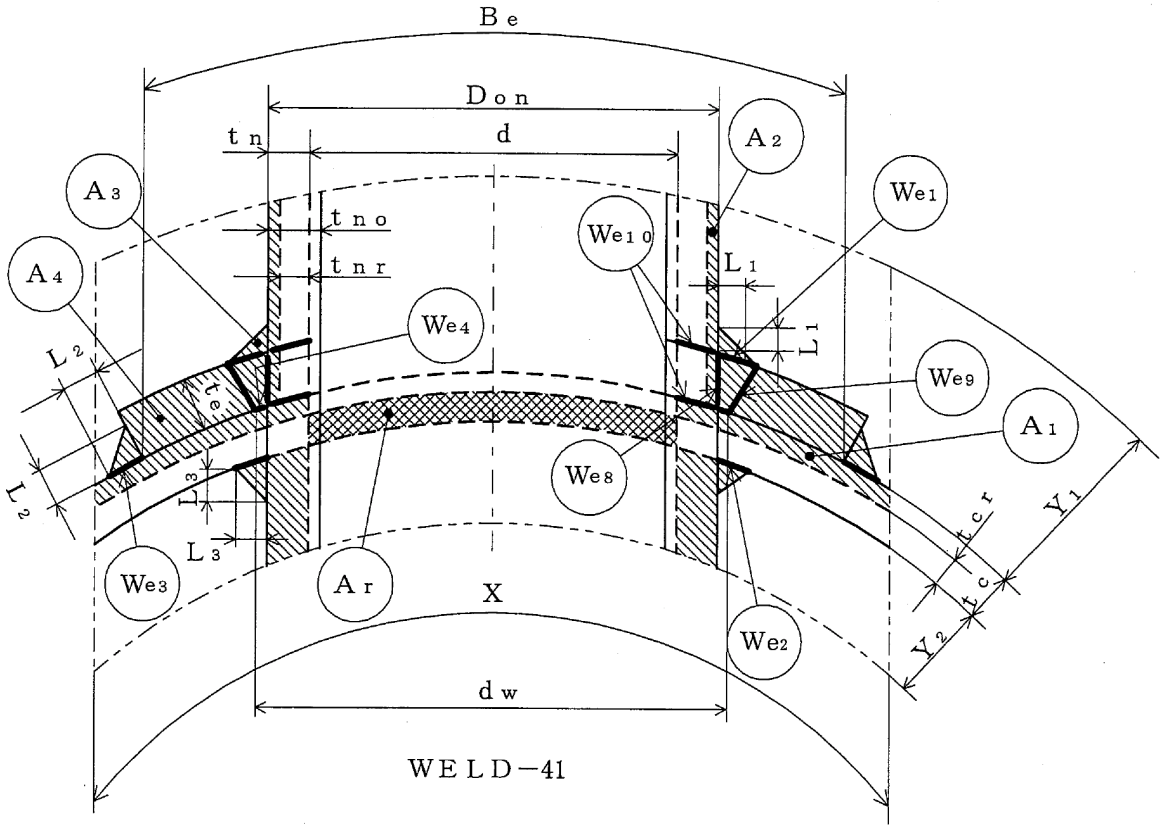




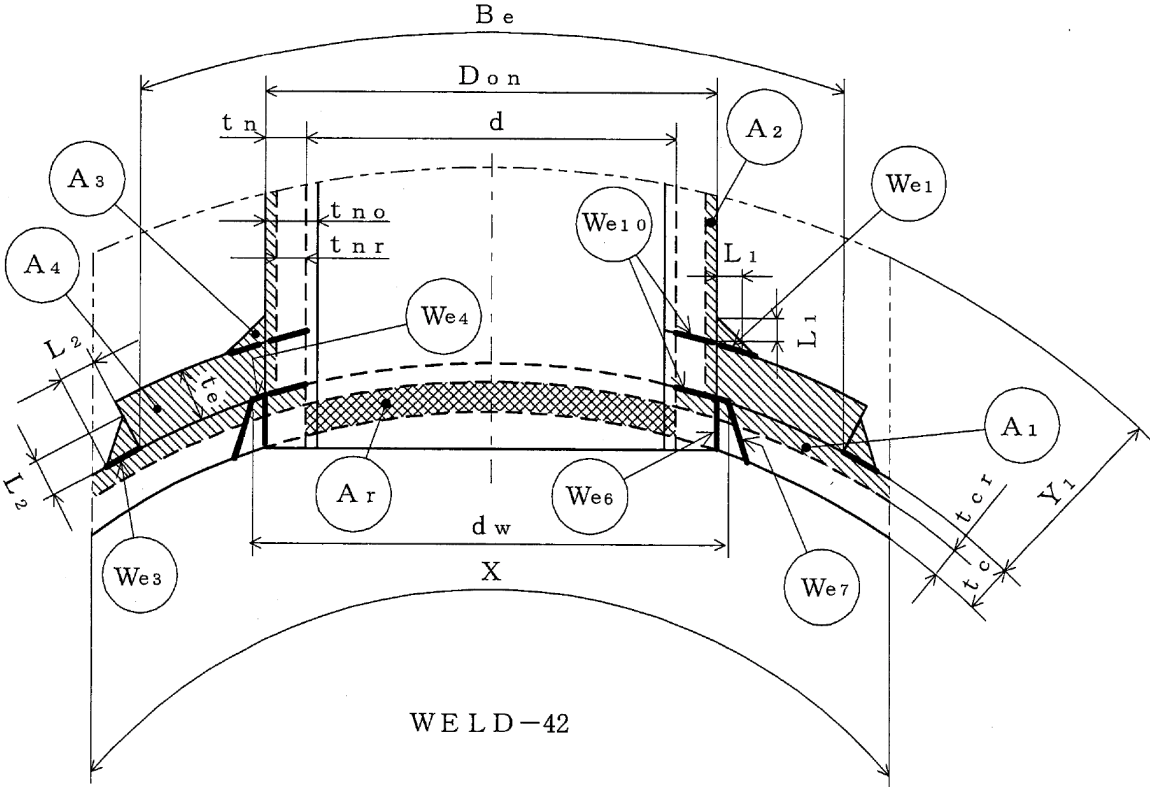
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－14



WELD−41

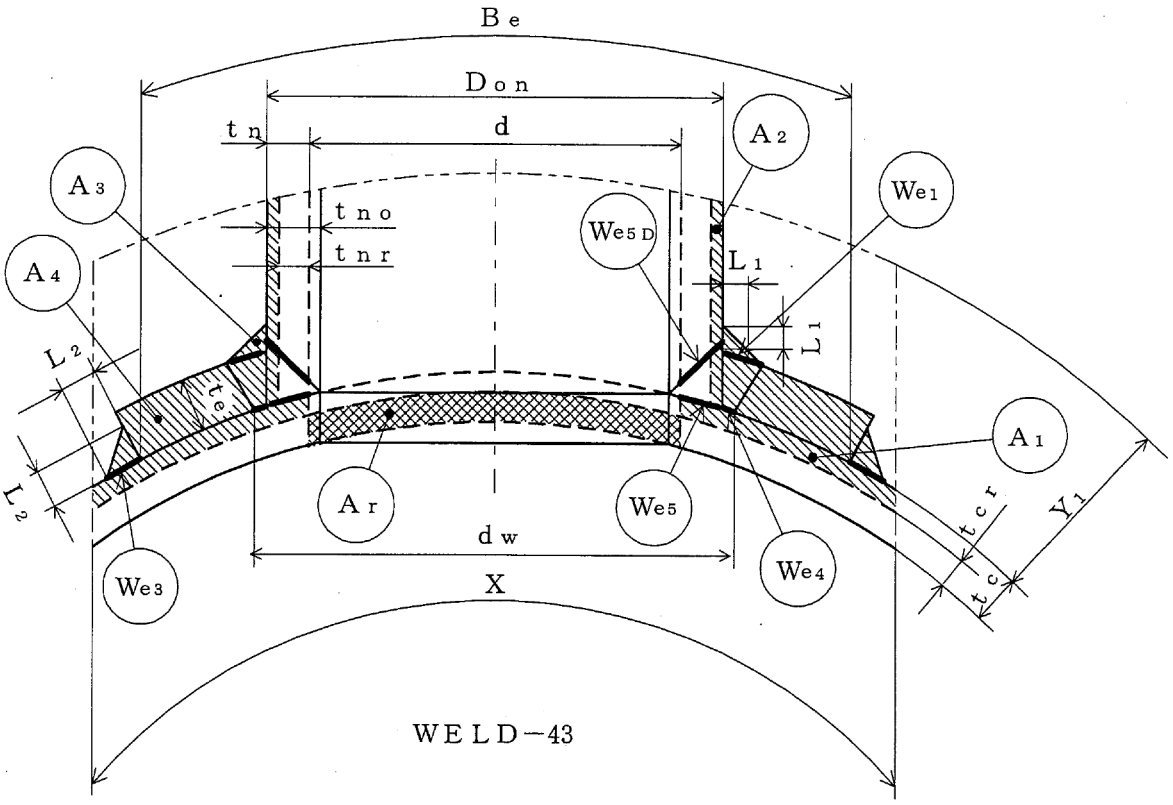


WELD−42

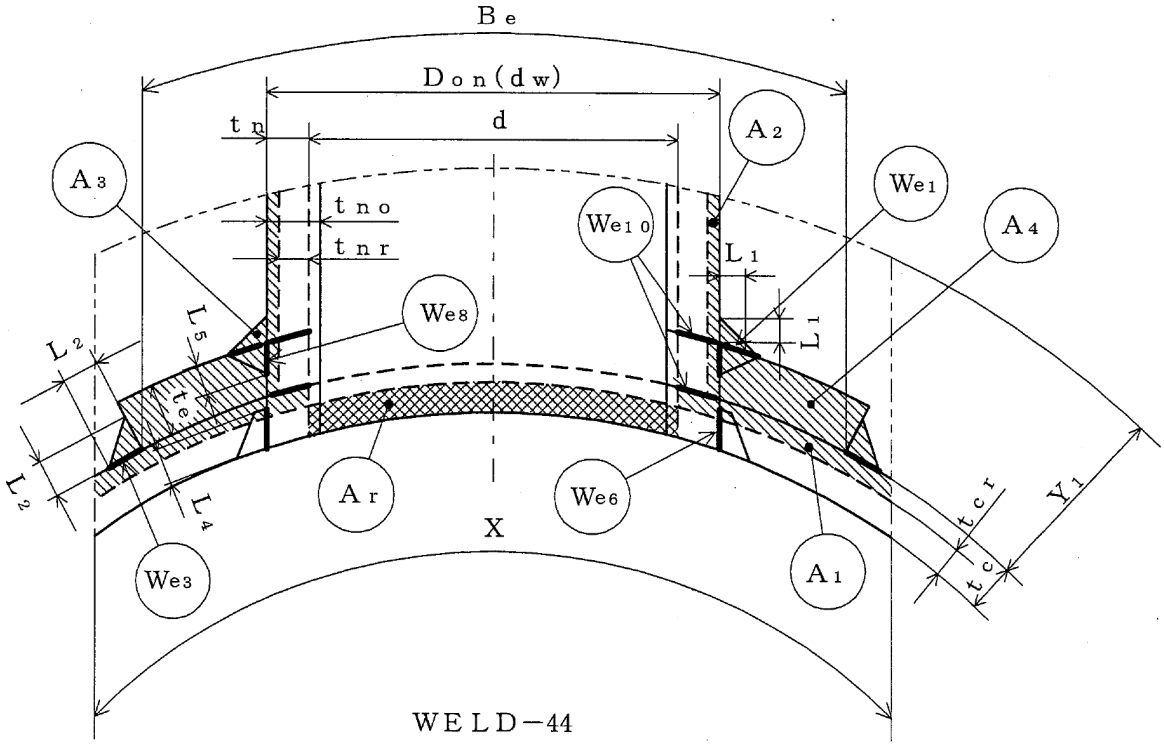
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−15



WELD−43

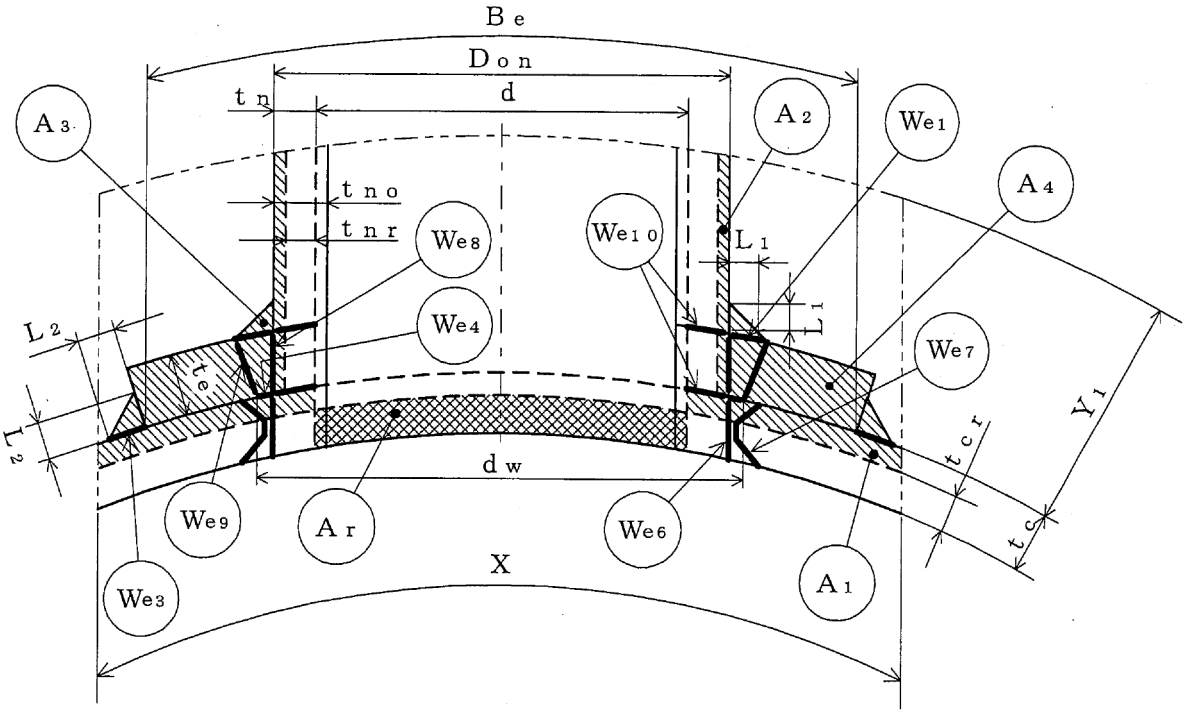


WELD−44

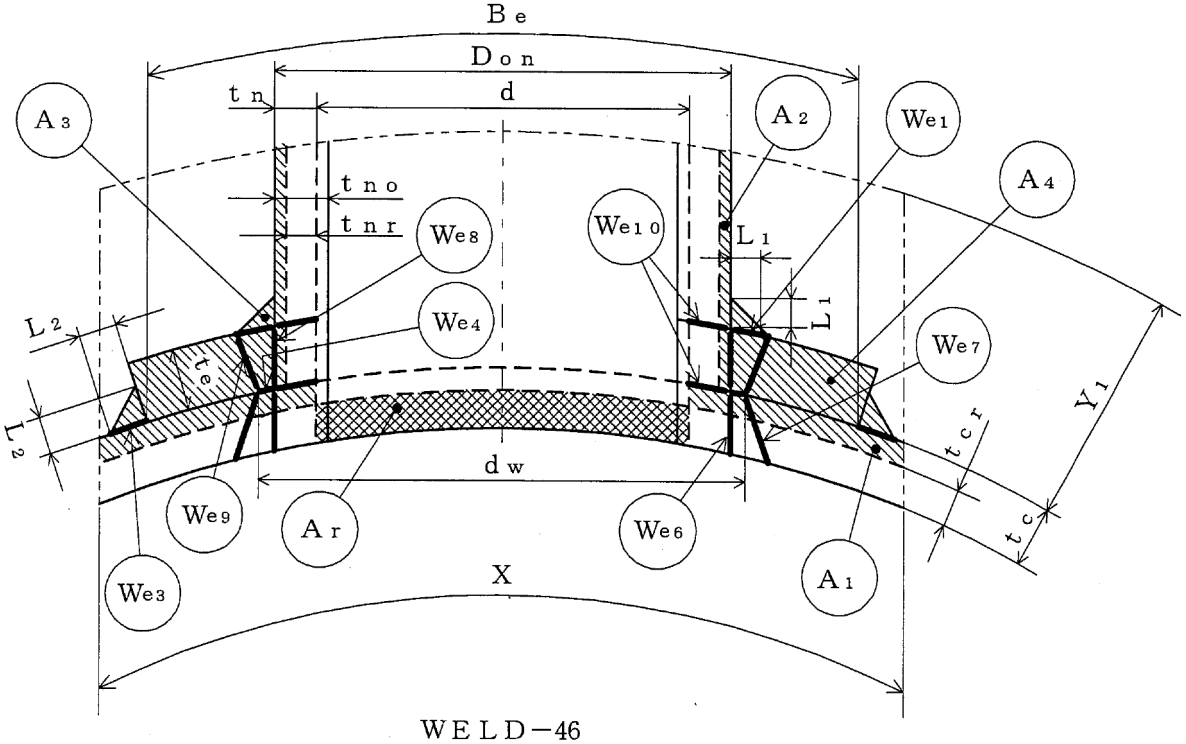
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−16



WELD−45

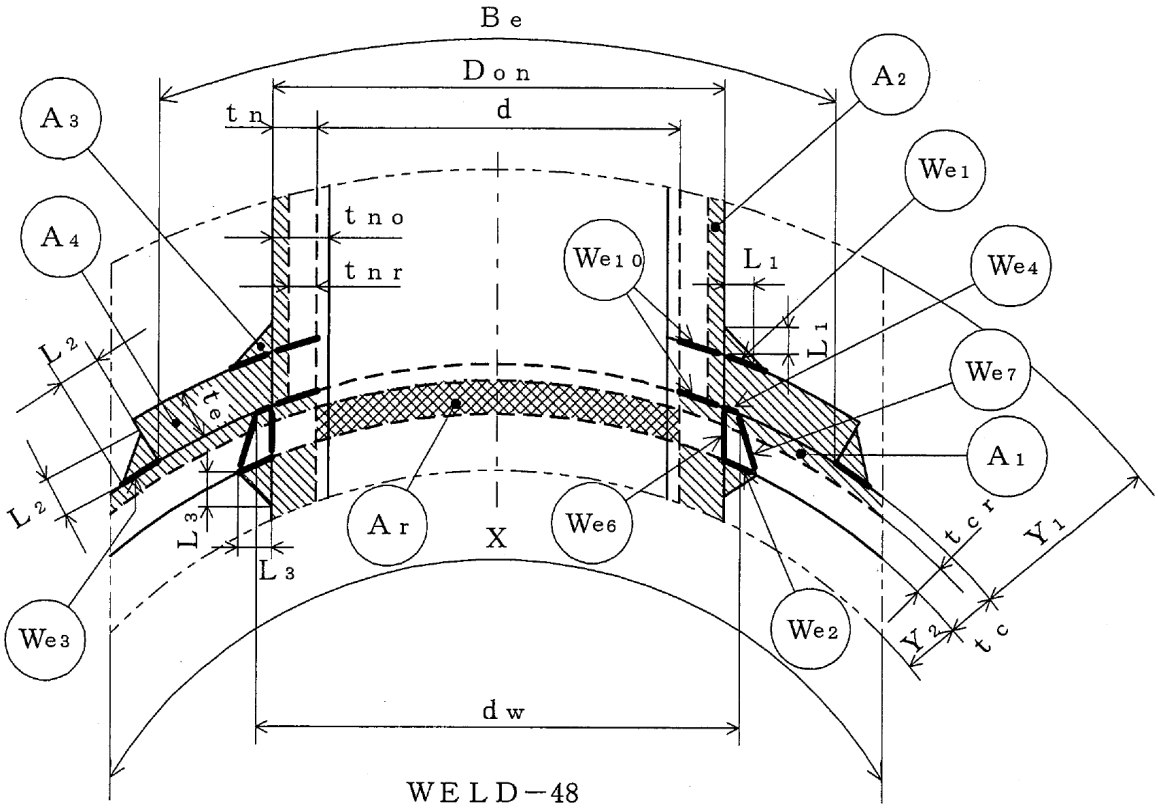


WELD−46

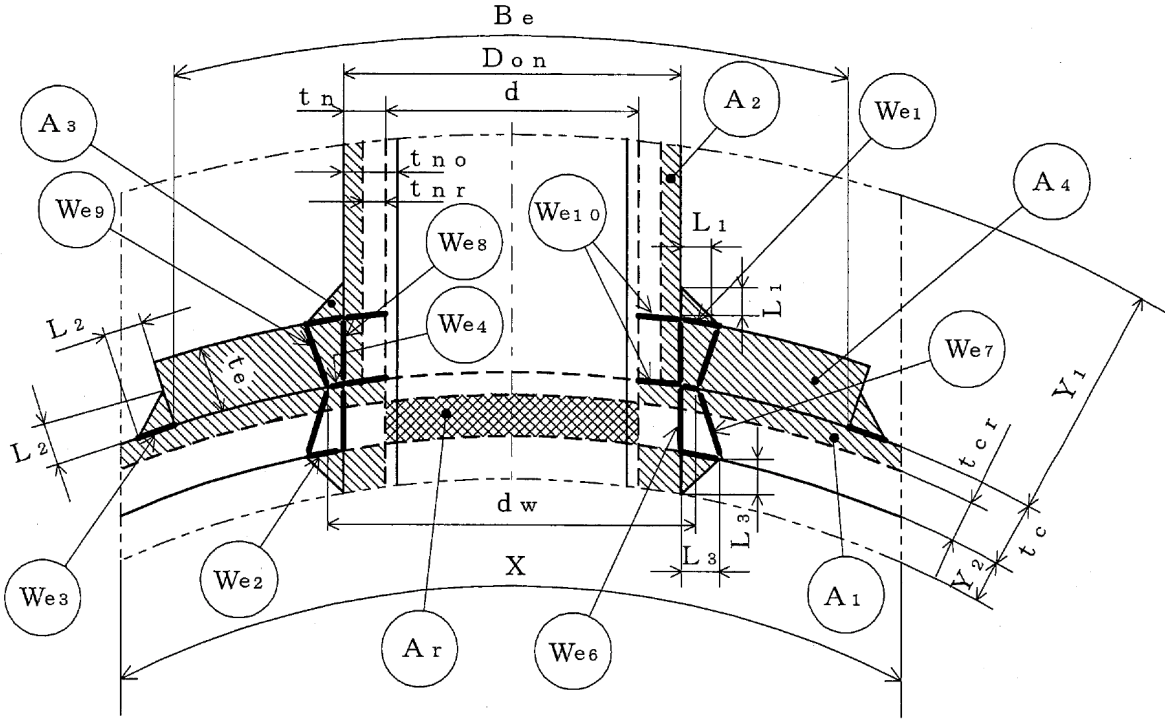
補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3−17



WELD－48



WELD－49

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図3－18

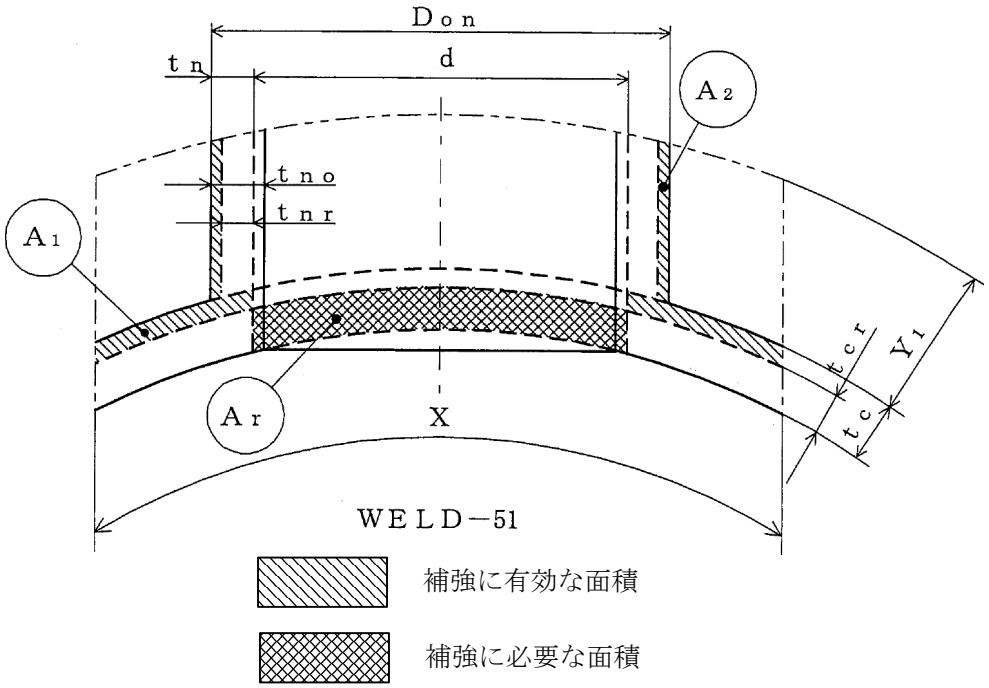

Don
d
tn
A2
tno
tnr
A1
Ar
X
tcr
Y1
tc
WELD－51
補強に有効な面積
補強に必要な面積

図3－19

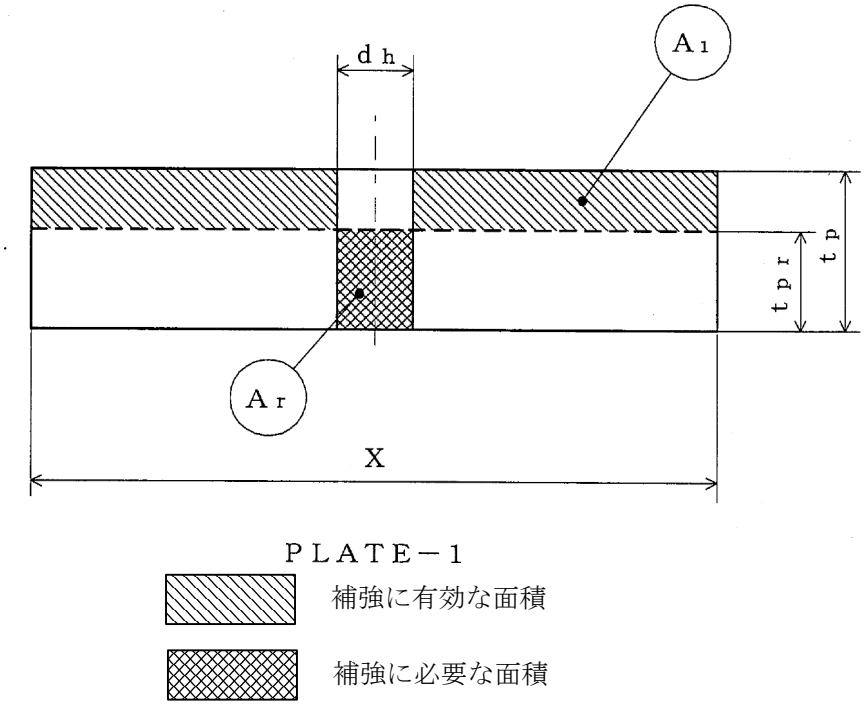
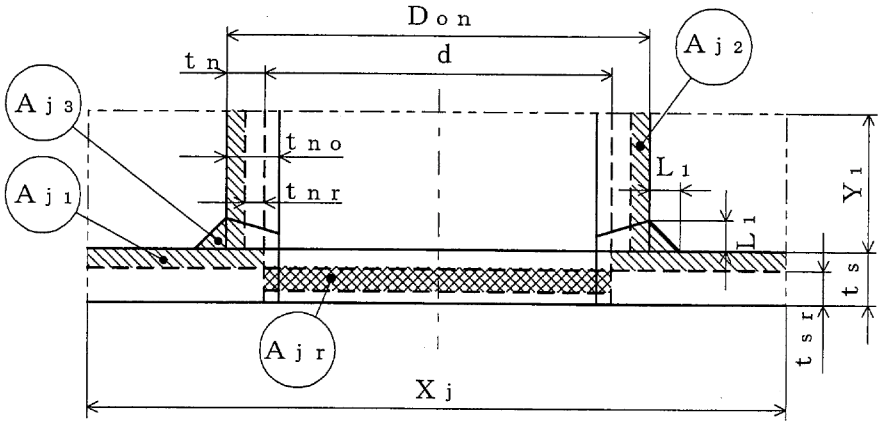
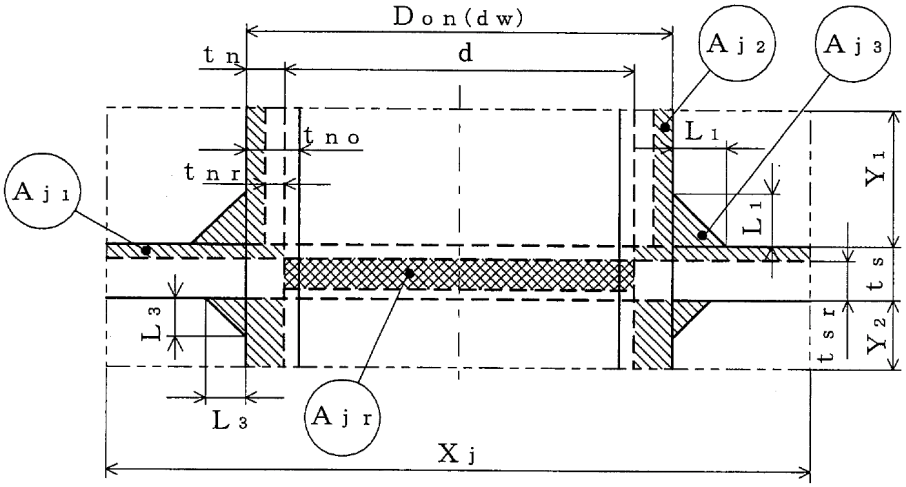

dh
A1
tpr
tp
Ar
X
PLATE－1
補強に有効な面積
補強に必要な面積

図3－20



WELD－1

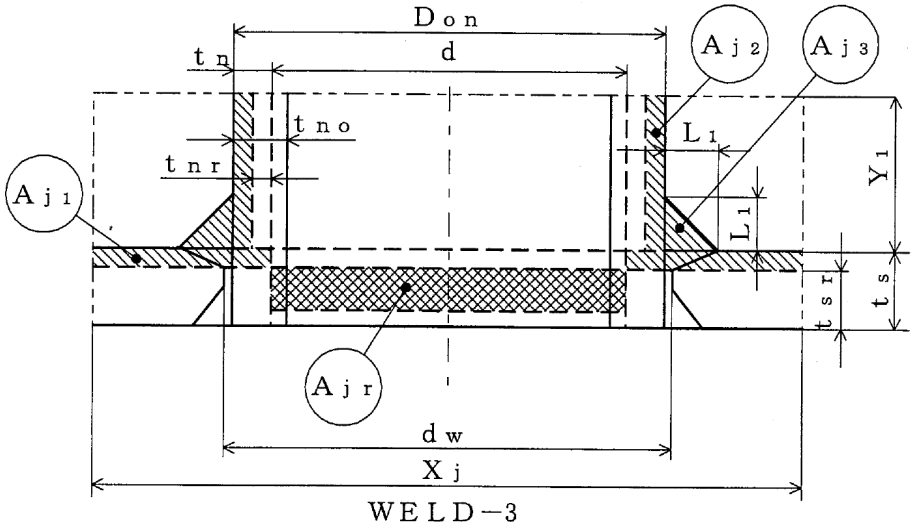


WELD－2

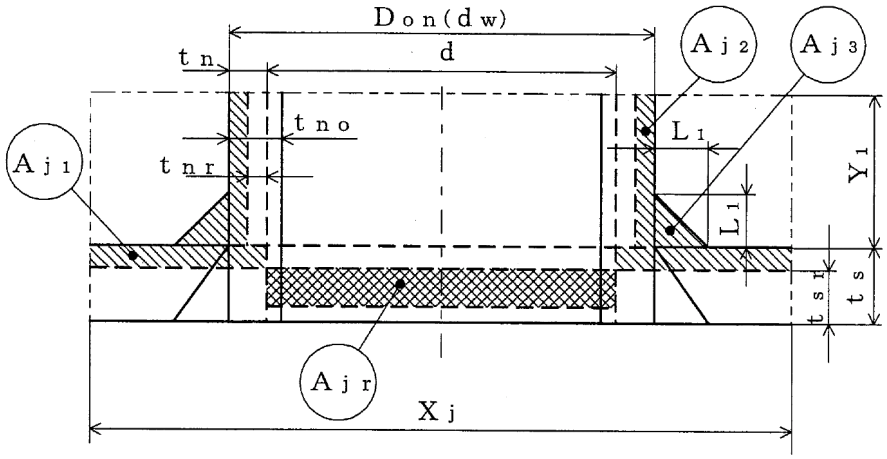
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－21



WELD－3

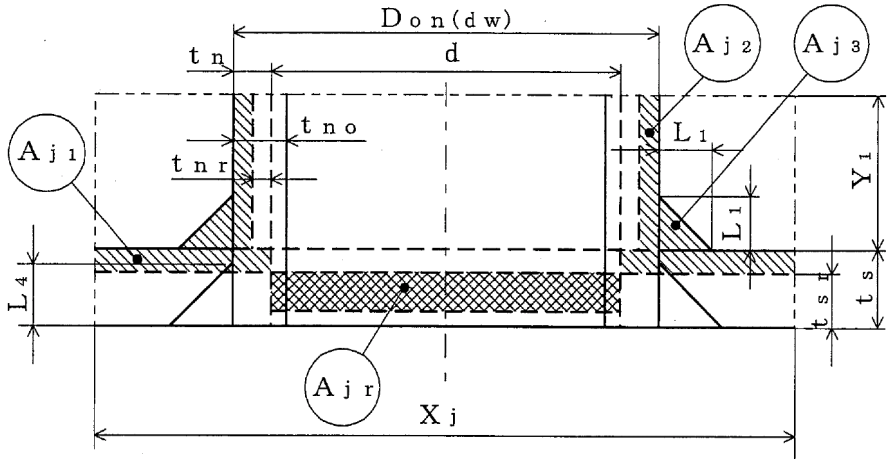


WELD－4

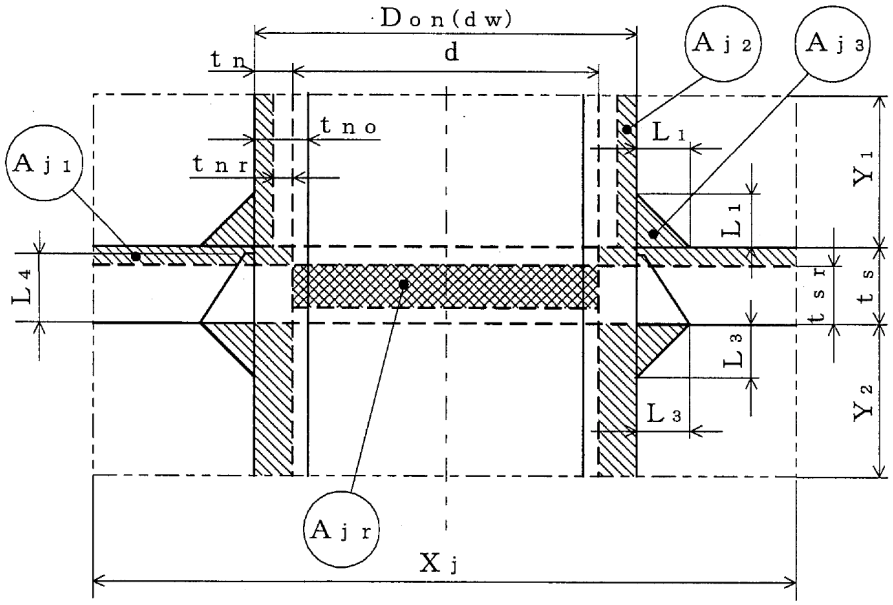
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－22



WELD−5

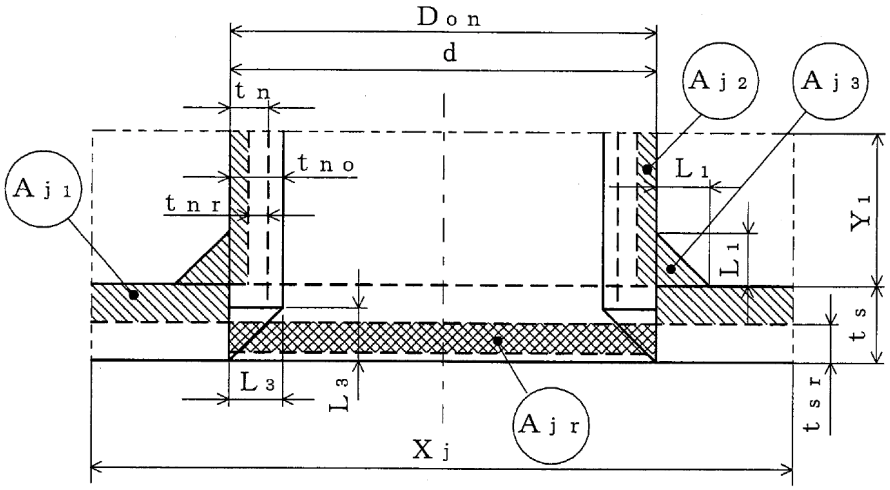


WELD−6

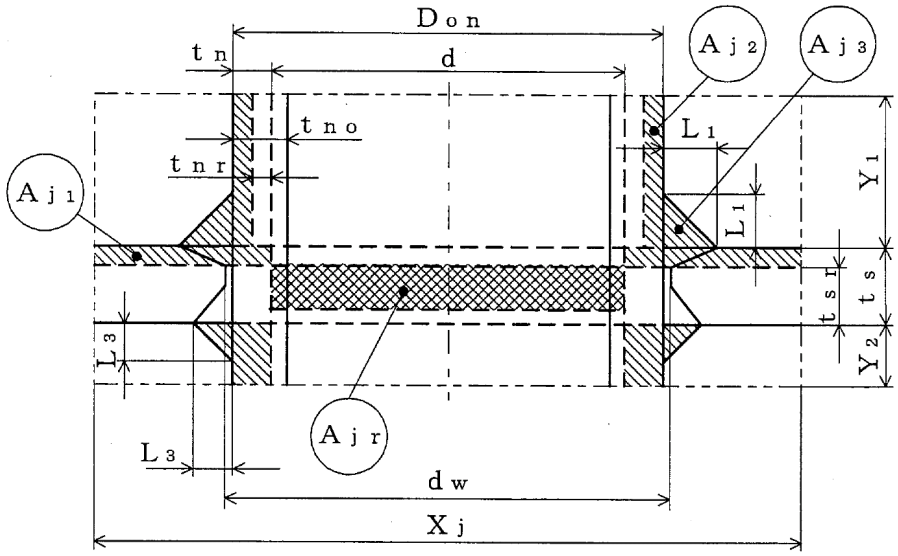
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−23



WELD−8

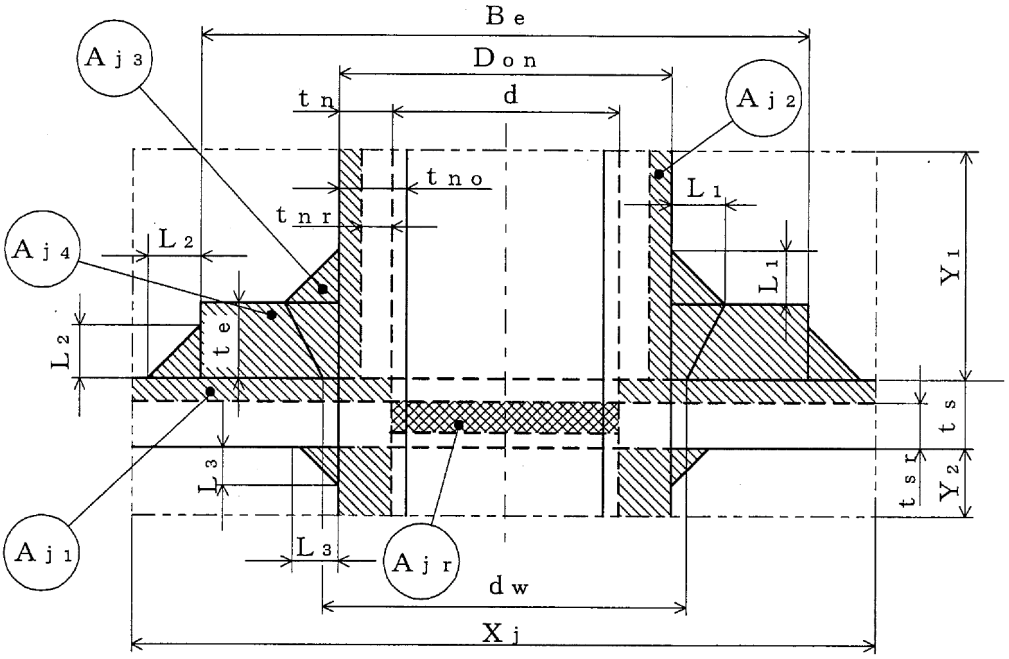


WELD−9

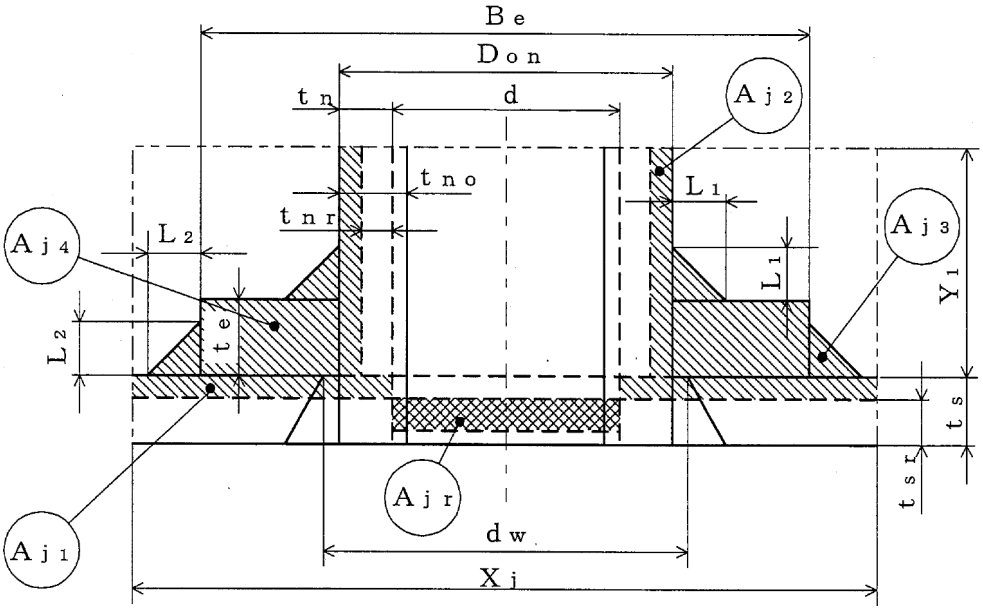
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−24



WELD−11

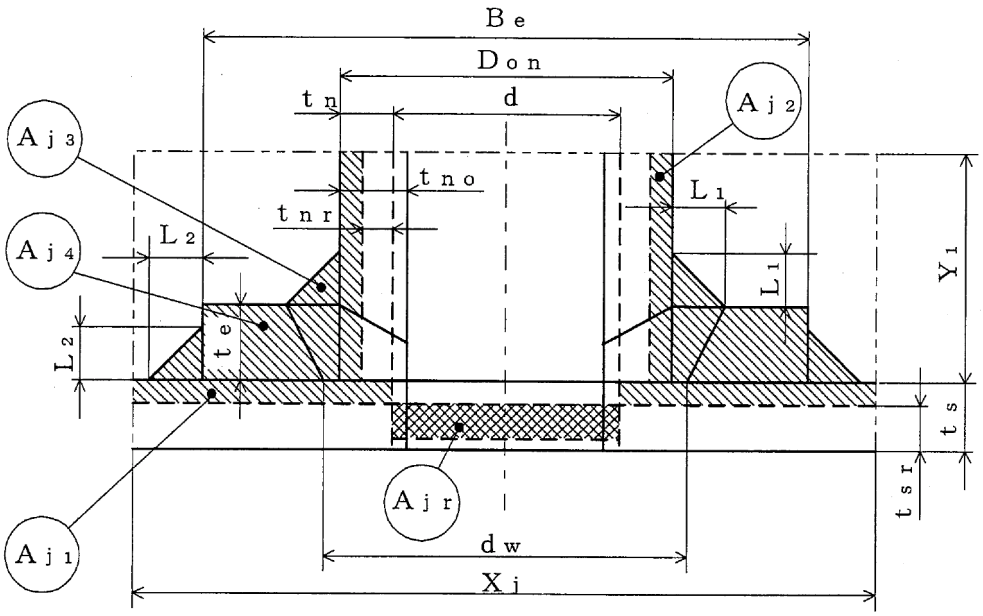


WELD−12

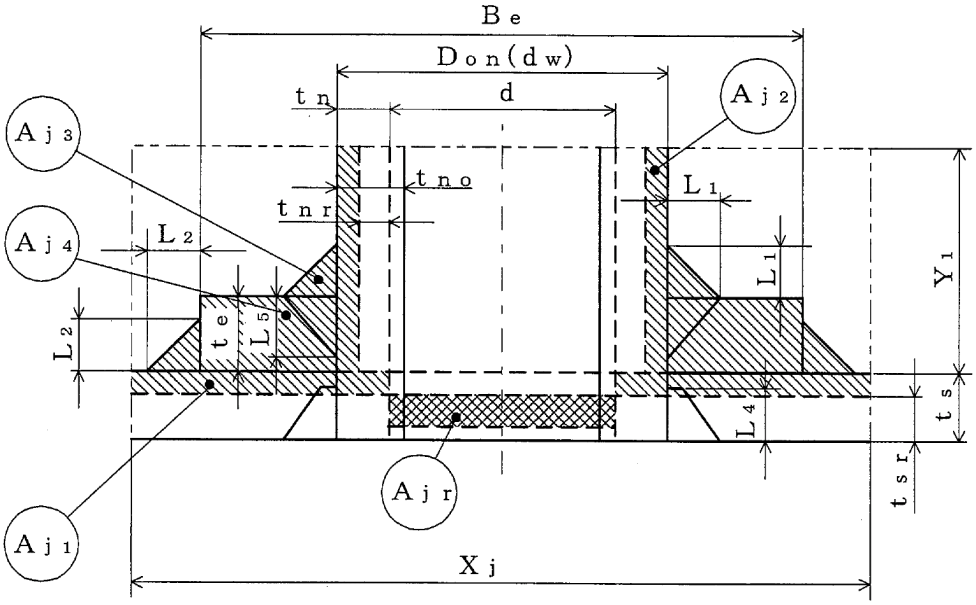
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−25



WELD－13

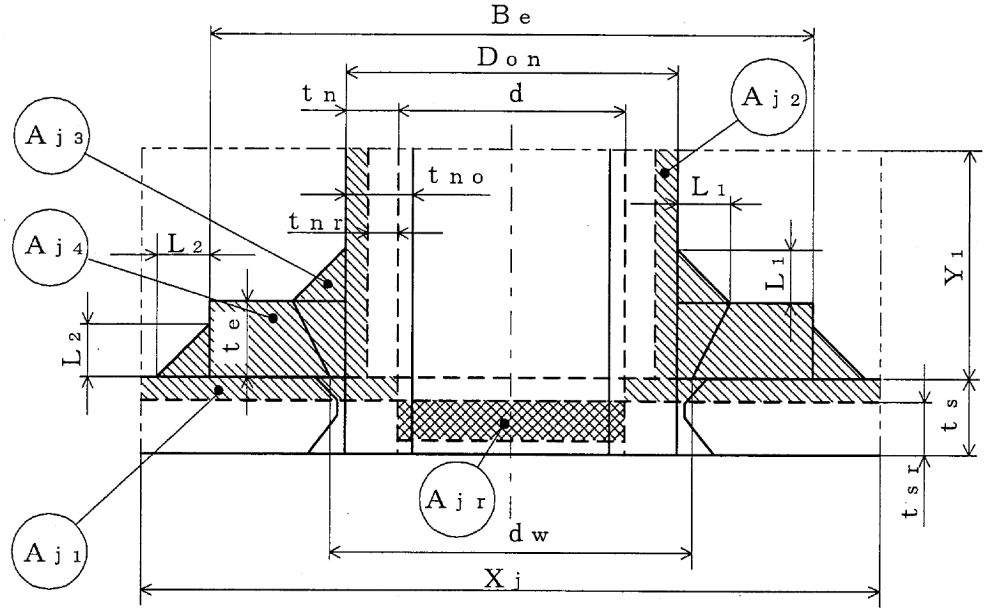


WELD－14

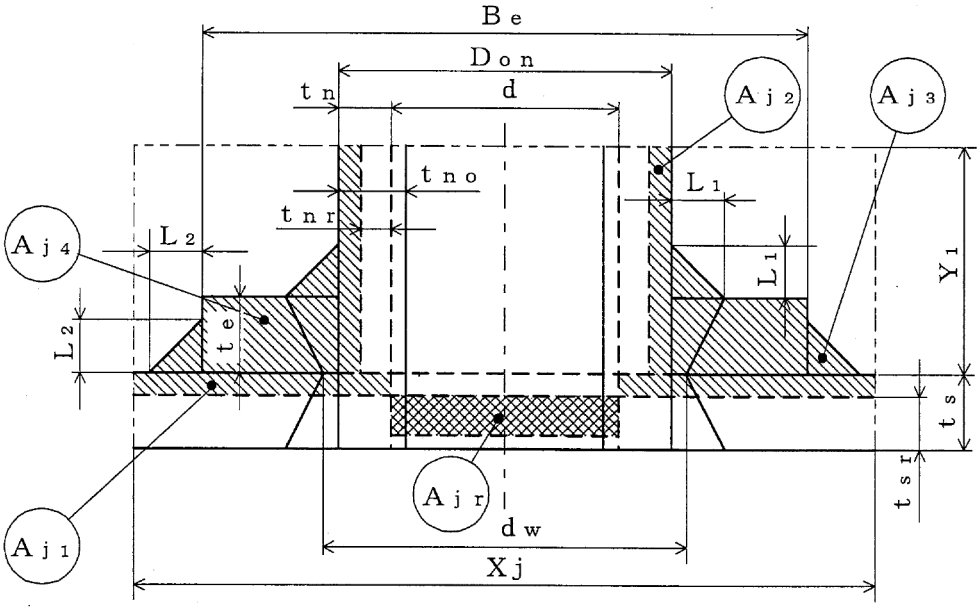
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－26



WELD−15

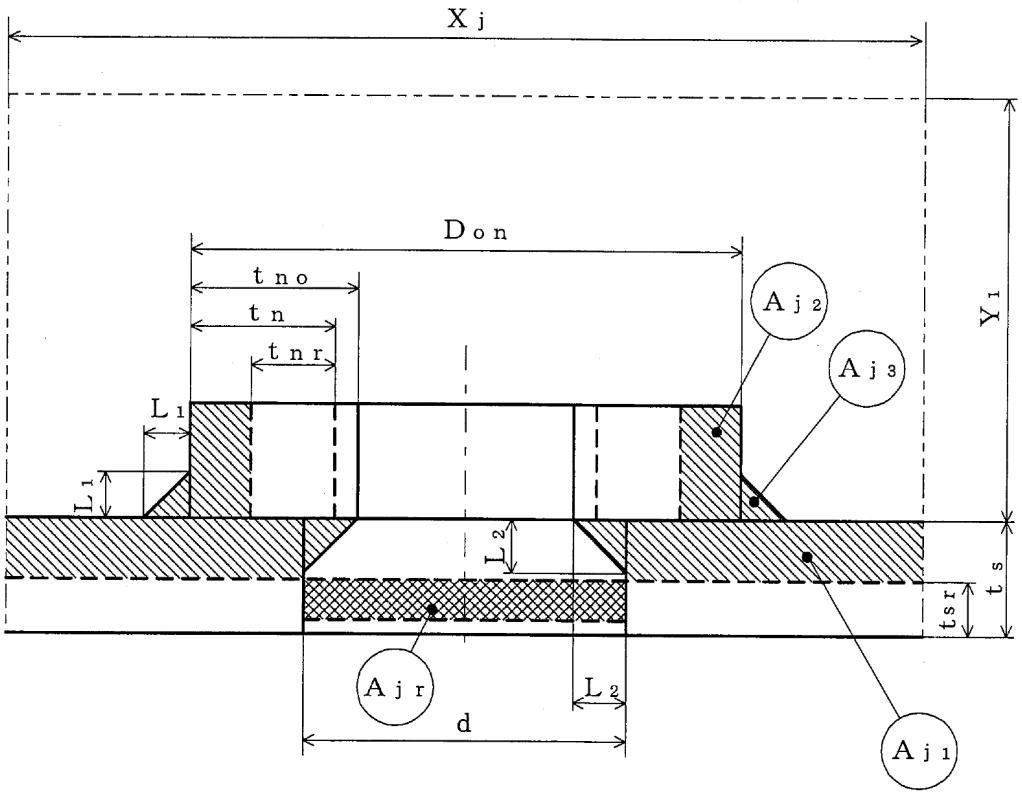


WELD−16

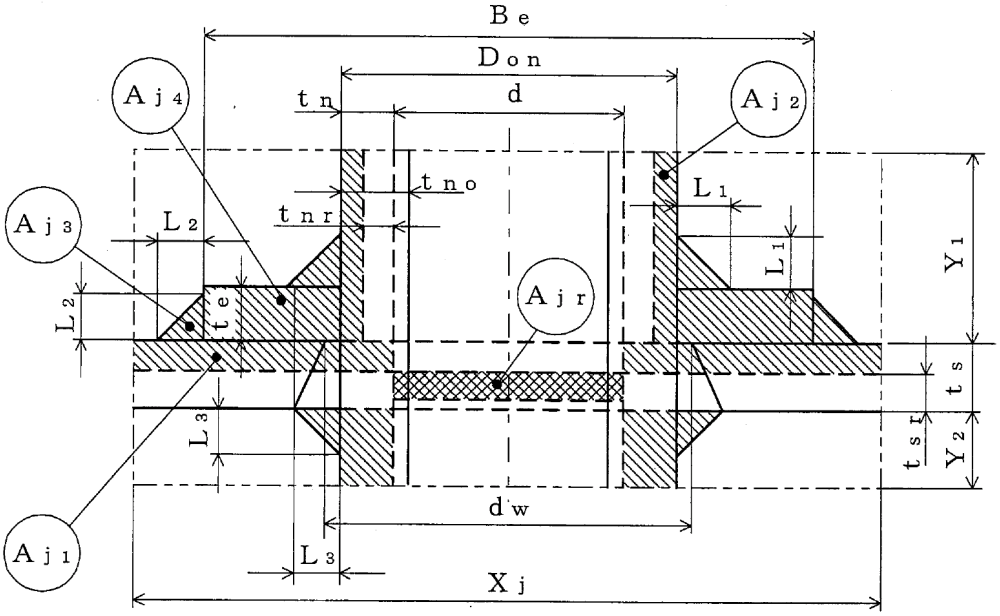
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−27



WELD－17

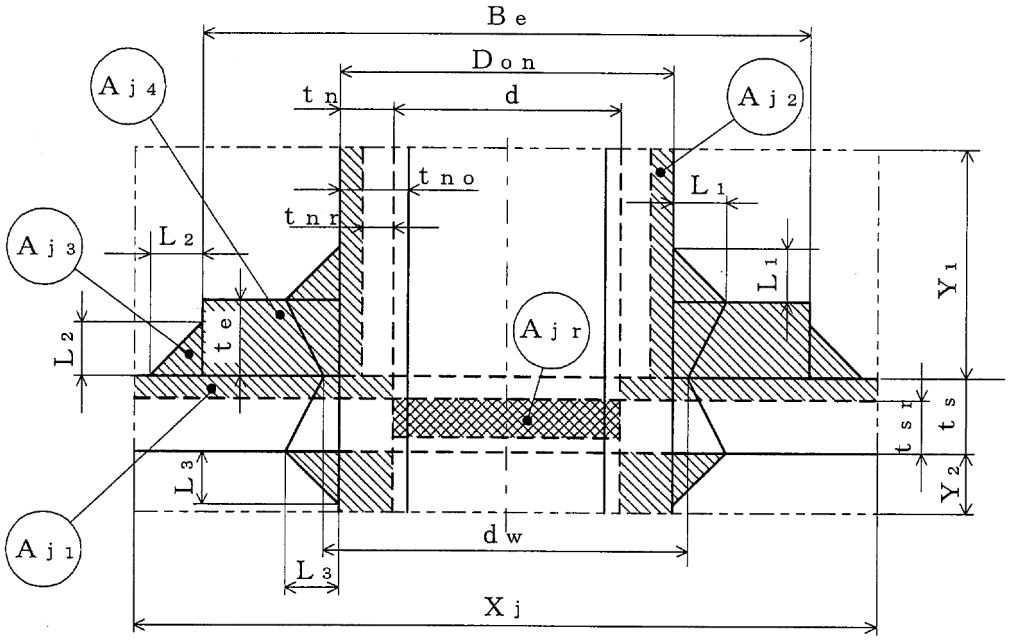


WELD－18

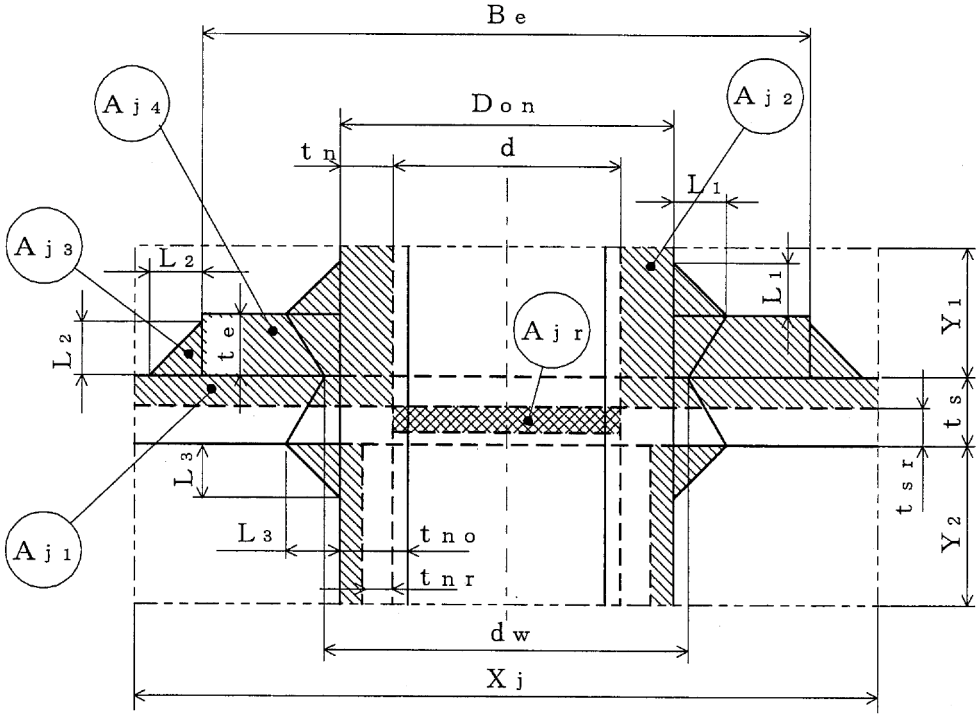
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－28



WELD－19

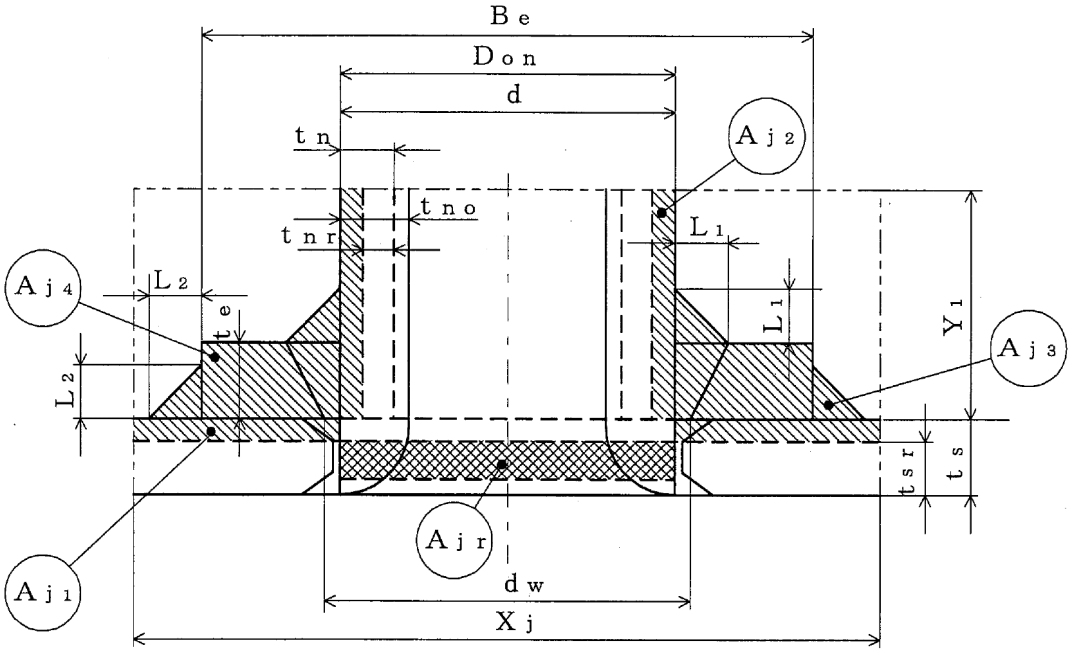


WELD－19′

大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－29

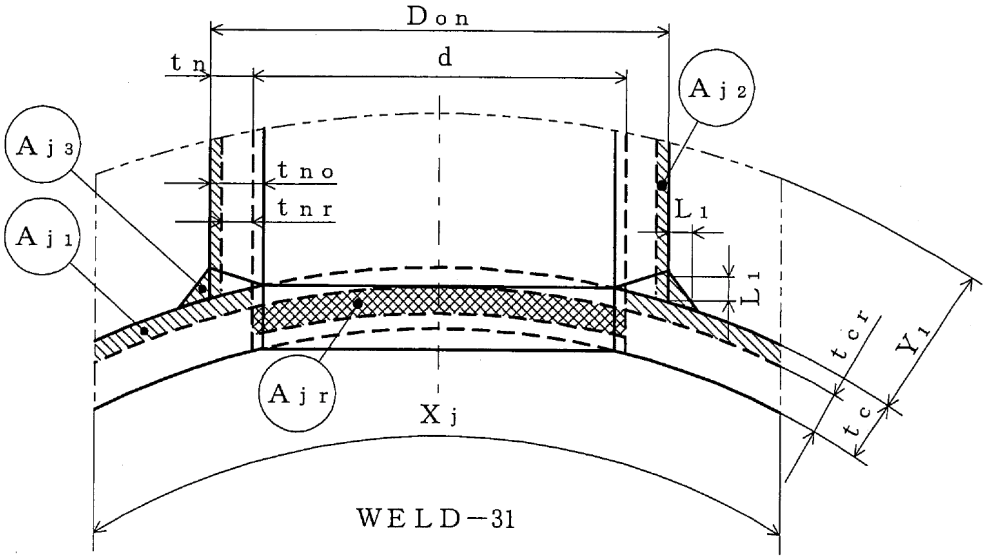


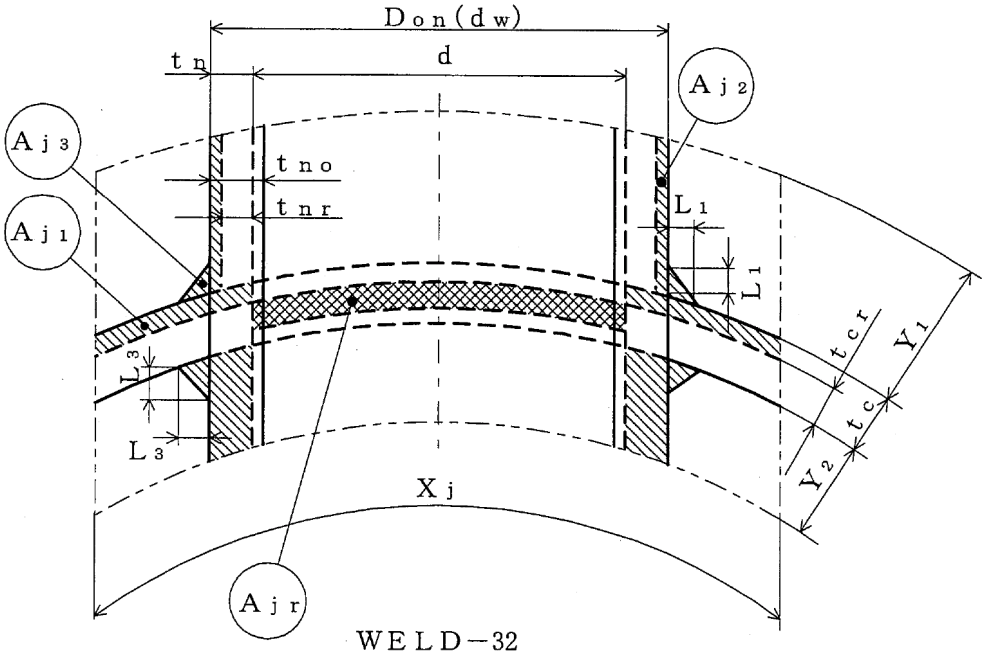
WELD－22

大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－30

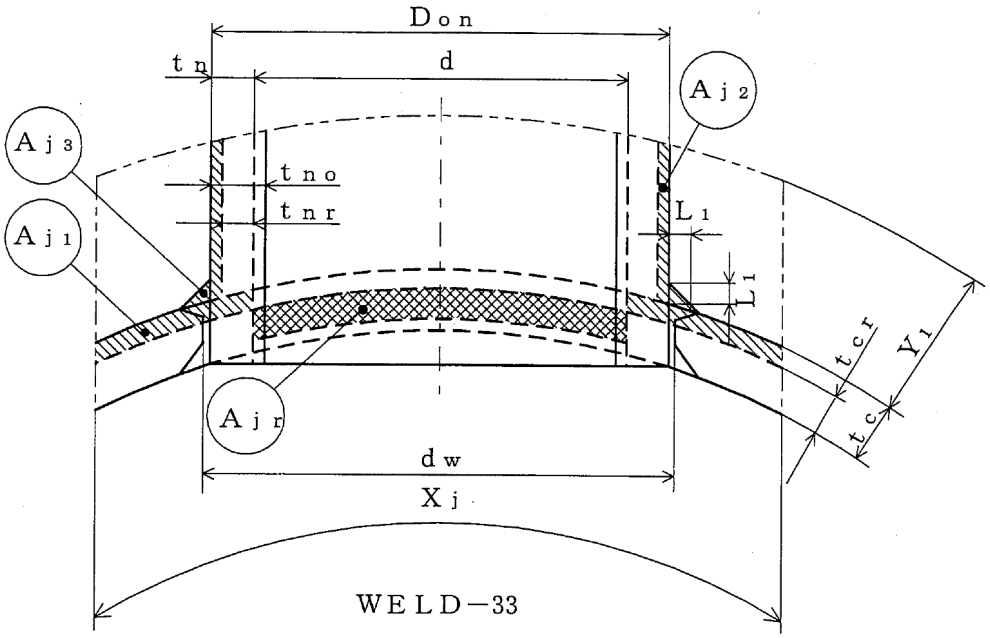


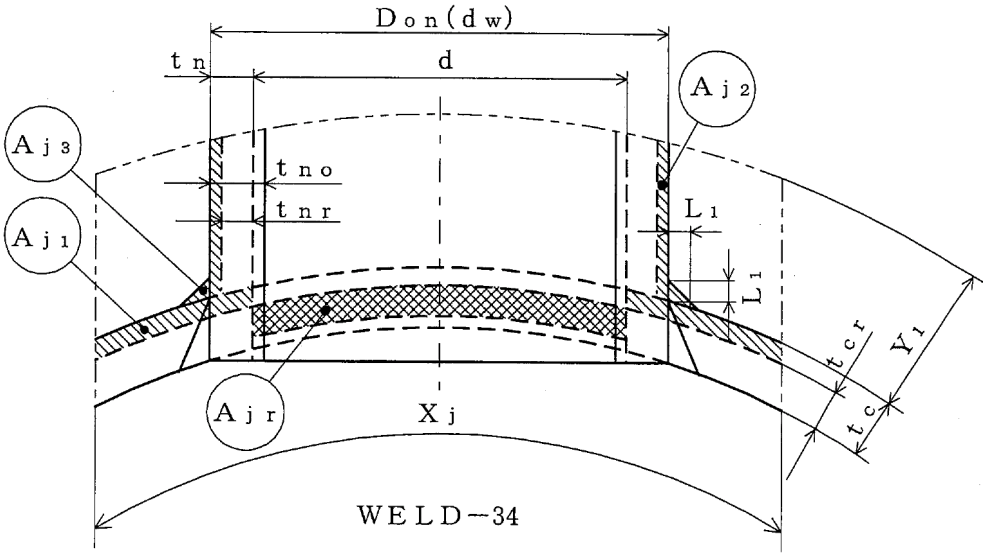


大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－31

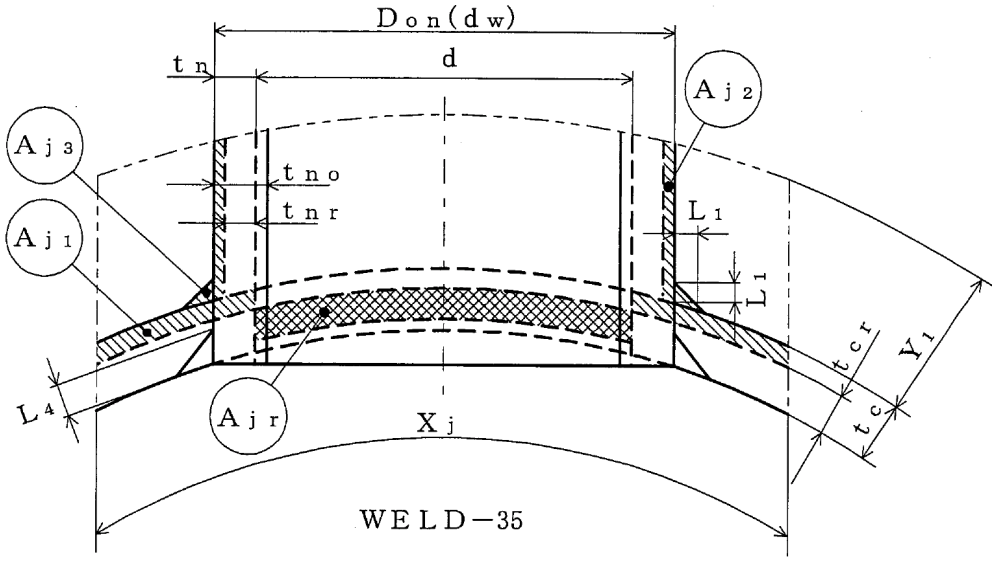


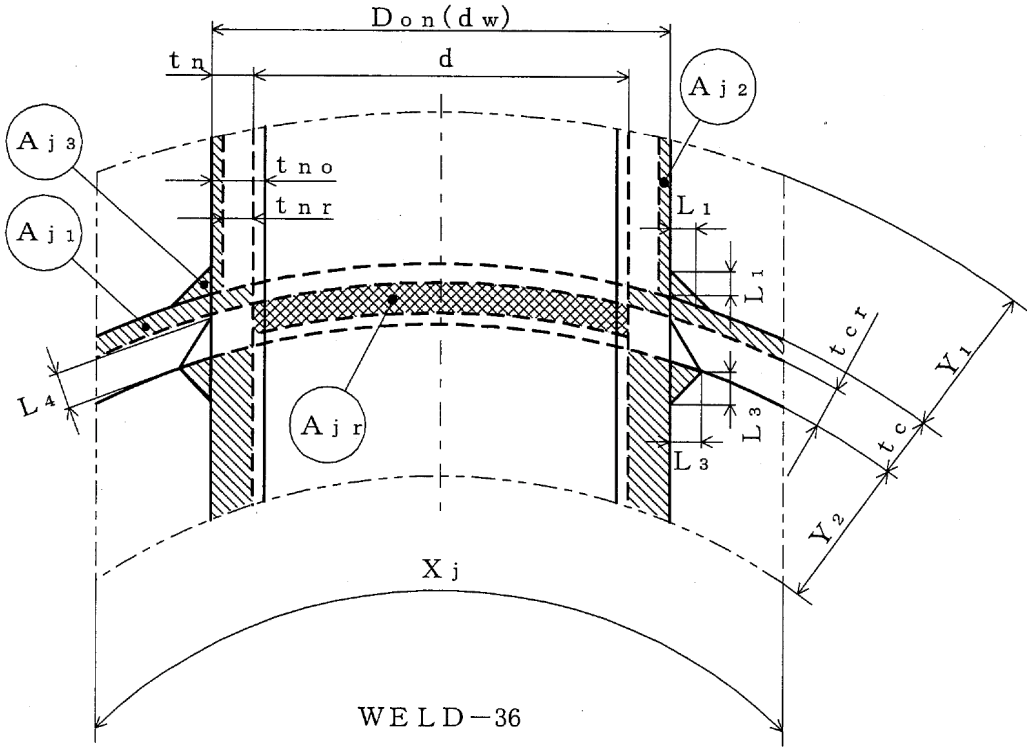


大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－32

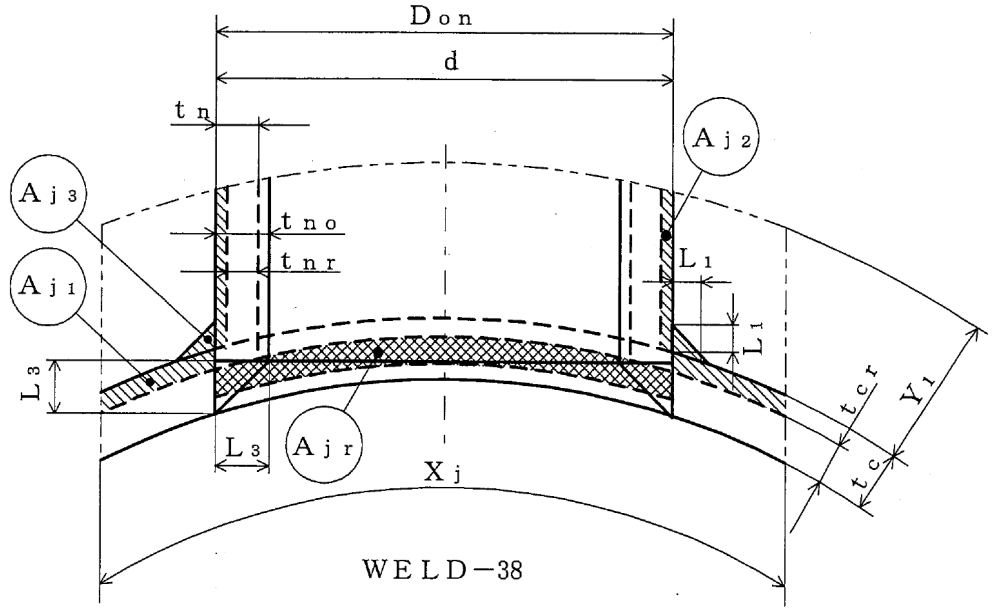


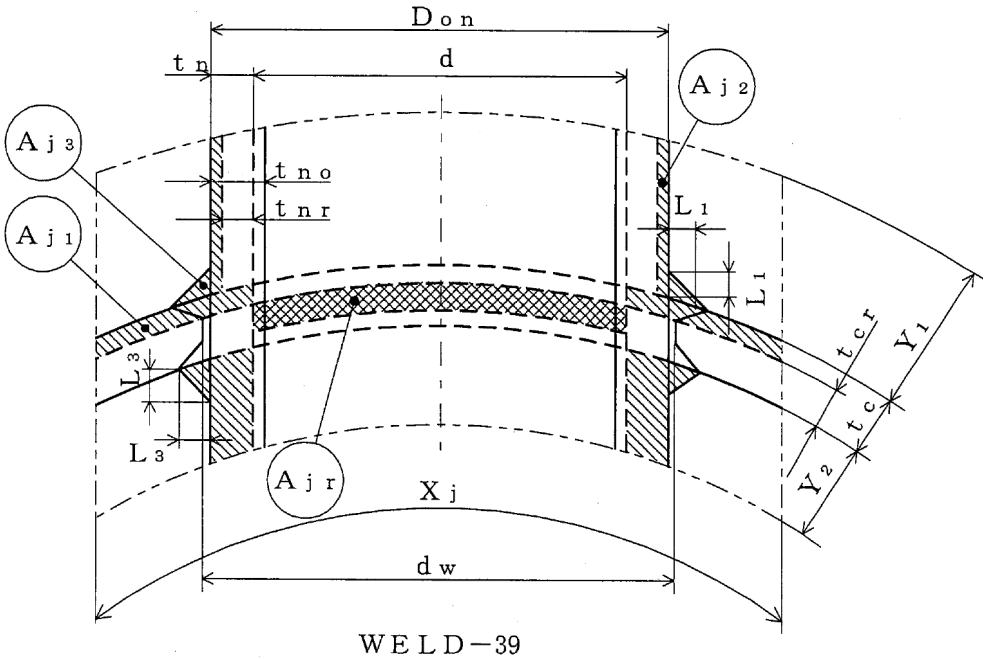


大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－33

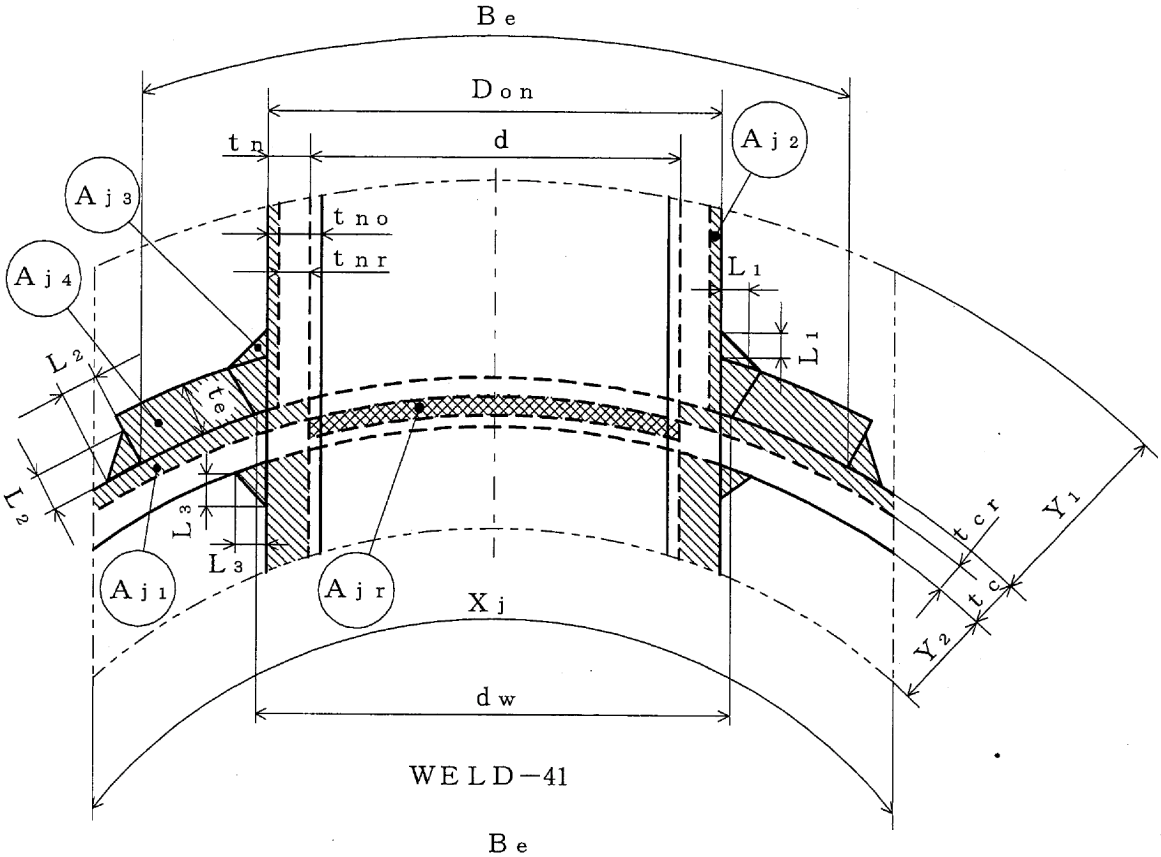




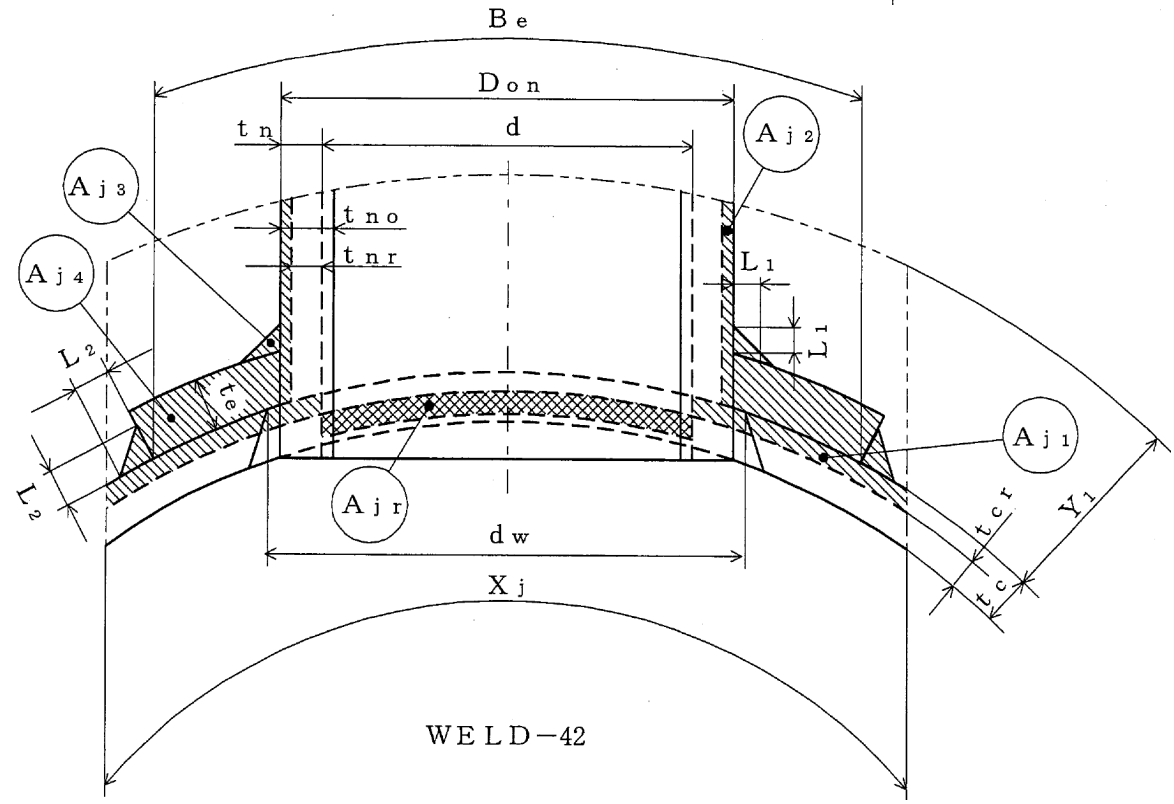
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－34



WELD−41

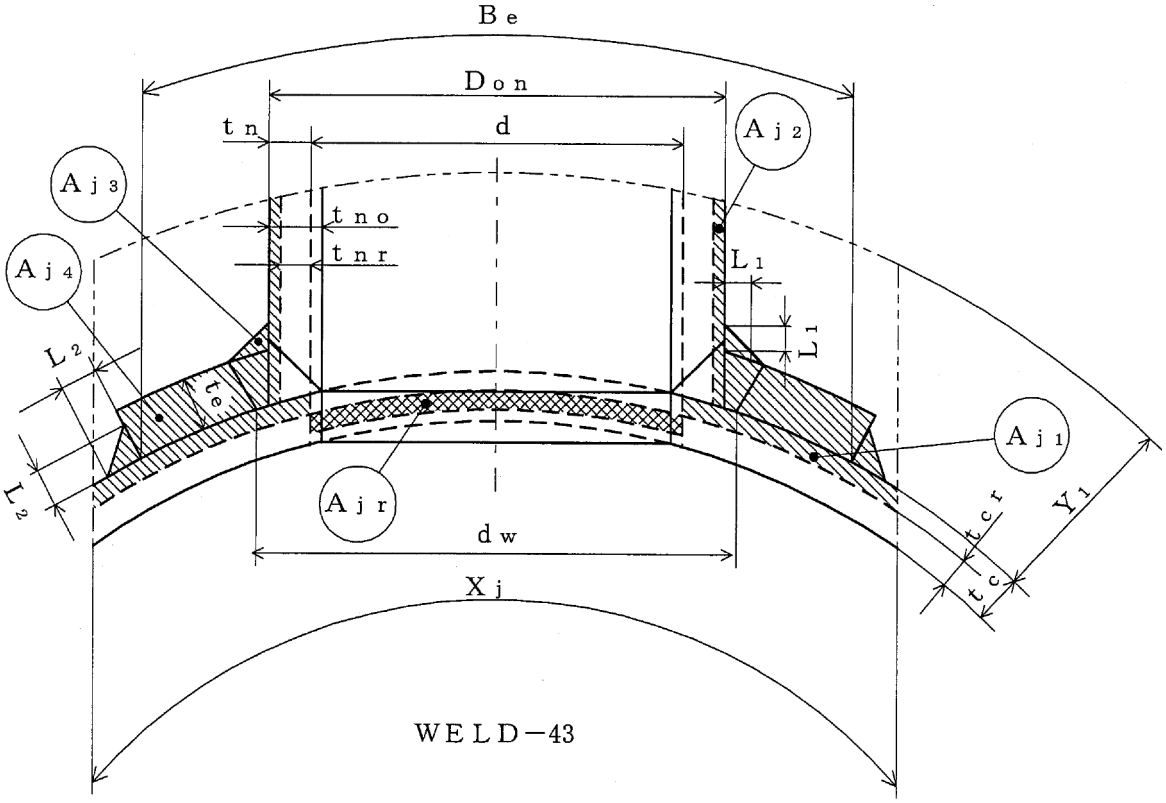


WELD−42

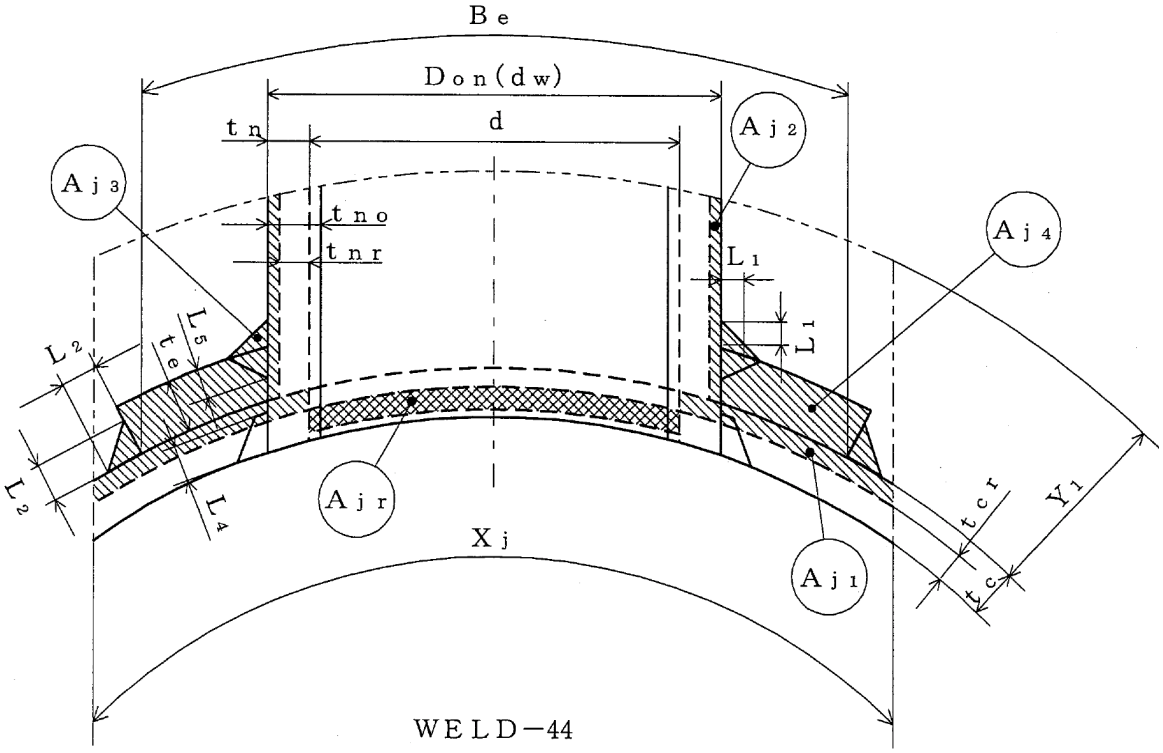
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−35



WELD−43

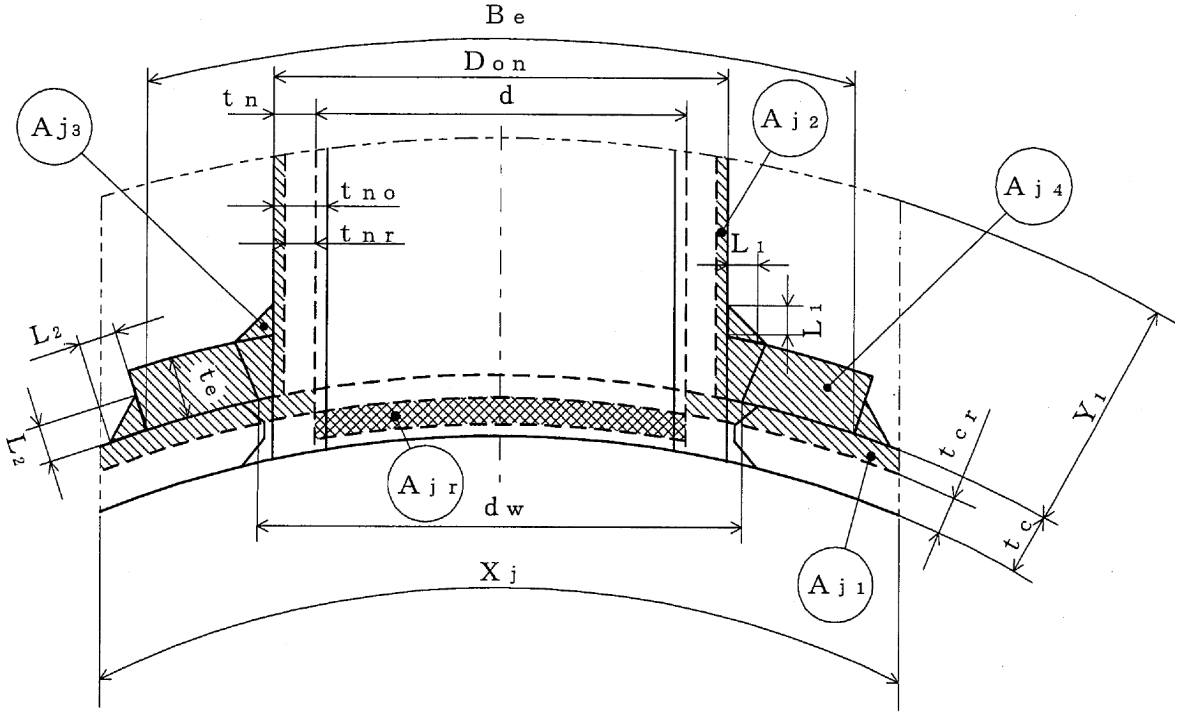


WELD−44

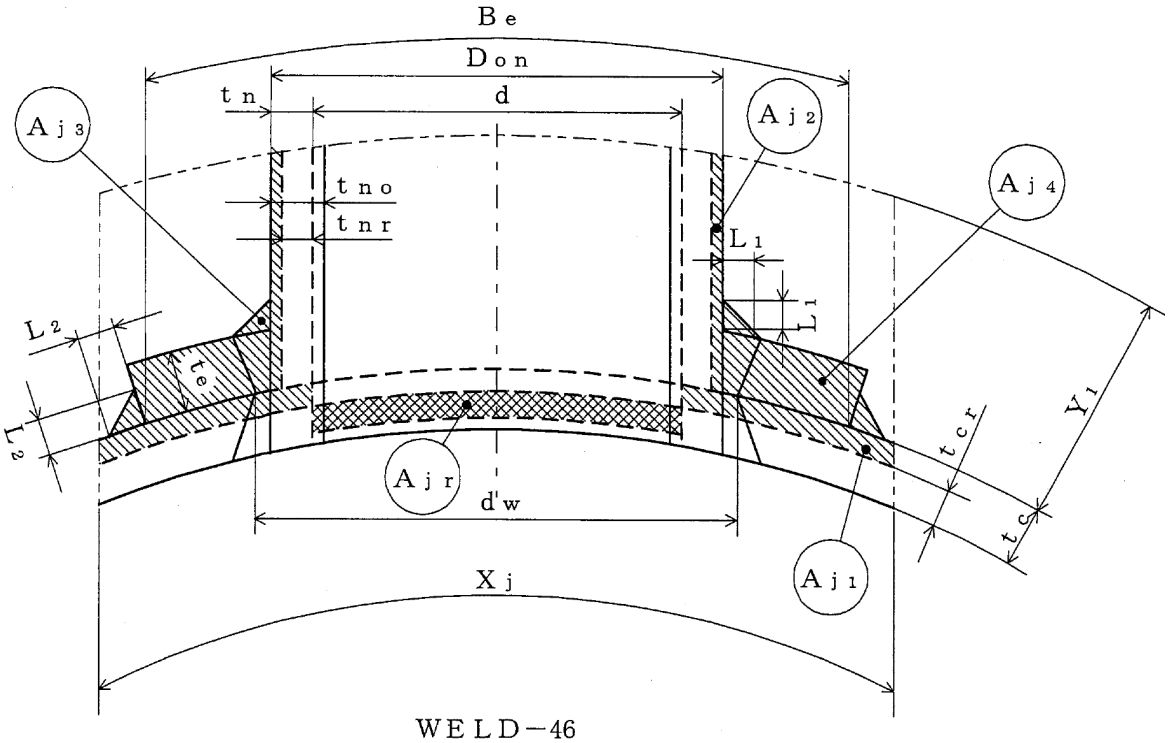
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3−36



WELD－45

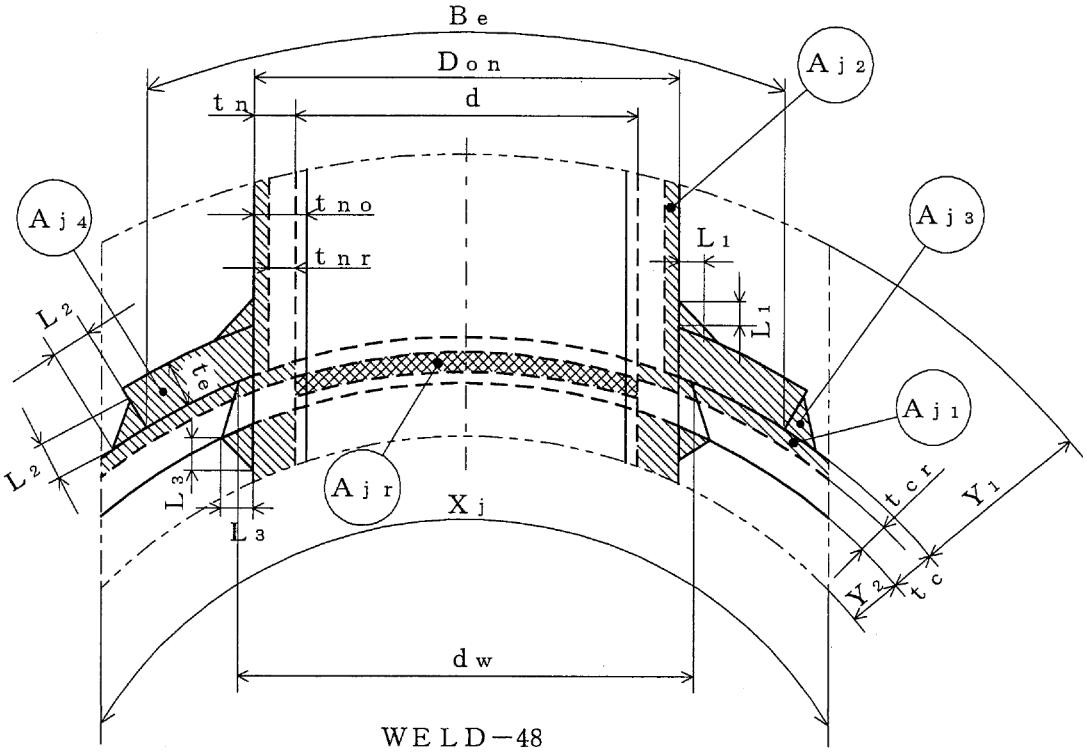


WELD－46

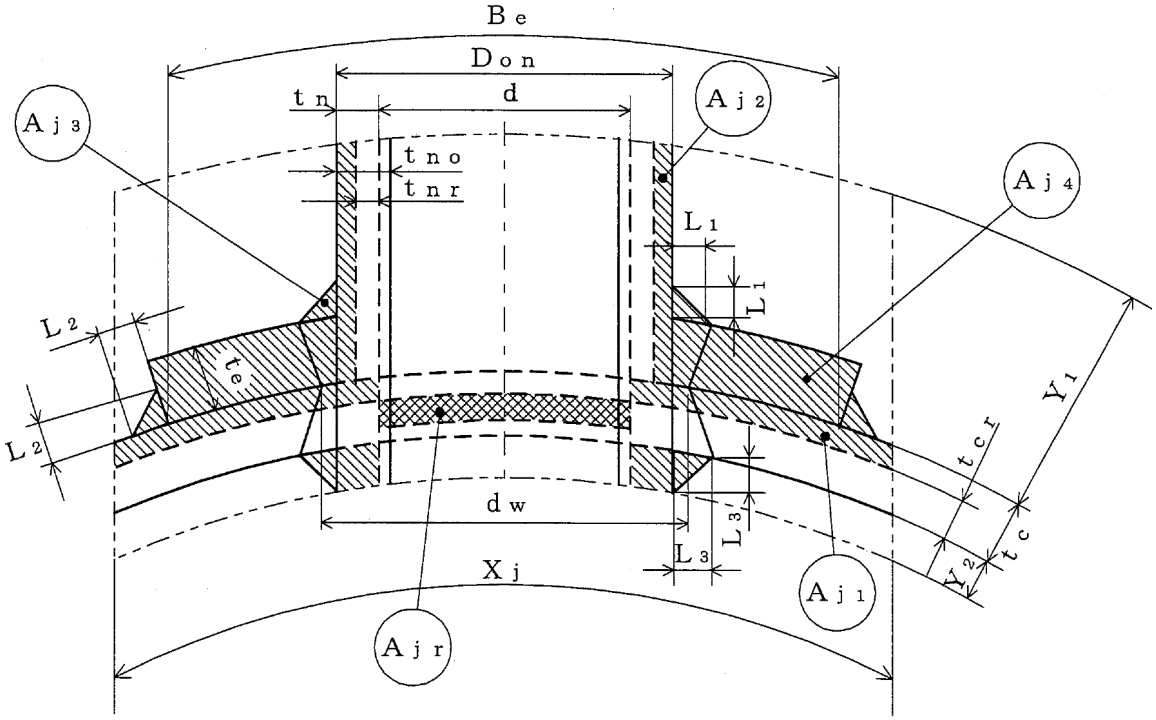
大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－37



WELD－48

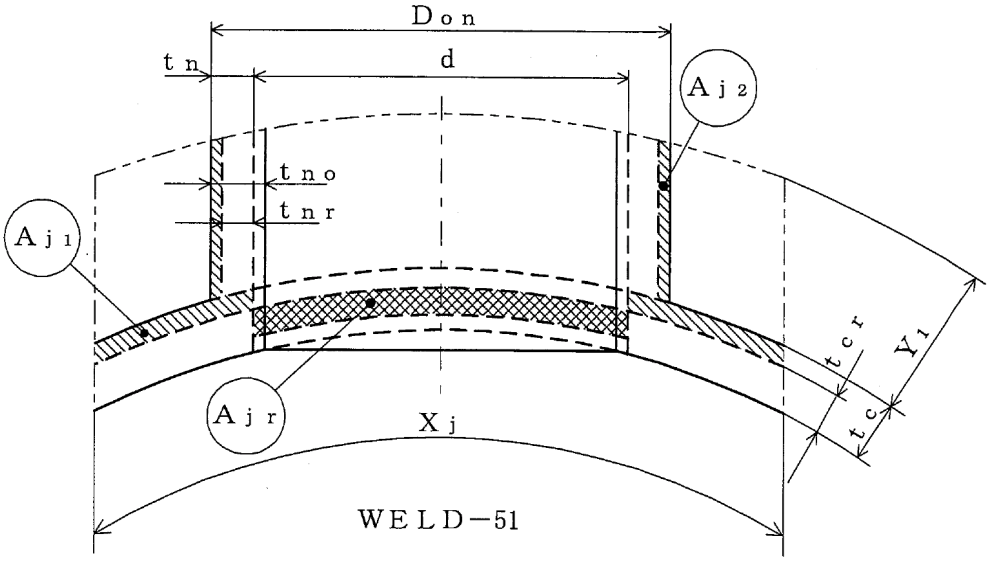


WELD－49

大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－38



大きい穴の補強に有効な面積

大きい穴の補強に必要な面積

図3－39

4.　フランジの強度計算

重大事故等クラス２容器については設計・建設規格　PVC-3710を適用する。

計算は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５を適用する。

フランジ形式及び各部の記号は図4－1～図4－3による。

なお，設計圧力及び使用温度は設計・建設規格における最高使用圧力及び最高使用温度とする。

4.1　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_o	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left\{\begin{array}{l}(=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_o^2 \\ \text{（一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合））} \\ (=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_o^2 \\ \text{（ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合））}\end{array}\right.$	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_g	D_g	セルフシールガスケットの外径	mm
e	e	係数 $\left\{\begin{array}{l}(=\frac{F}{h_o} \\ \text{（一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合））} \\ (=\frac{F_L}{h_o} \\ \text{（ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合））}\end{array}\right.$	mm^{-1}

ＪＩＳ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（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は附属書3　表4による。）	—
F_L	F_L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図6又は附属書3　表4による。）	—
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は附属書3　表4による。）	—
	ＦＬＡＮＧＥ－	フランジの形式（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５による。図4－1～図4－3参照）	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_S	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために，ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H_T	H_T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比，$\frac{A}{B}$	—
L	L	係数 $\left(=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	—

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単　位
m	m	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用する全モーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=(\frac{A}{B})$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=(\frac{A}{B})$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	—
V	V	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は附属書3　表4による。）	—
V_L	V_L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図9又は附属書3　表4による。）	—
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

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単　位
Y	Y	K＝$(\frac{A}{B})$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	K＝$(\frac{A}{B})$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7又は図中の算式による。）	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。）	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。）	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_f	σ_f	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_n	σ_{na}	管台又は胴の材料の常温における許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_n	σ_n	管台又は胴の材料の最高使用温度における許容引張応力（設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。）	MPa
σ_H	σ_H	ハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_R	フランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_T	フランジの周方向応力	MPa*
	ガスケット座面の形状	ガスケット座面の形状（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	—

注記＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

4.2　フランジの計算

(1)　フランジの内圧計算

任意形フランジは，一体形フランジとして計算する。

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

$g_0 \leqq 16$mm　，　$B / g_0 \leqq 300$

$P \leqq 2$MPa　，　最高使用温度≦370℃

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅ｂ及びガスケット反力円の直径Ｇは，ガスケット座の基本幅b_0に従い以下のように求める。

$b_0 \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_0$

$G = G_s - N$

$b_0 > 6.35$mmの場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

b_0はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

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

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

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

熱交換器の管板を挟む一対のフランジのように，フランジ又はガスケットが同一でない場合は，W_{m1}及びW_{m2}の値は，それぞれのフランジ又はガスケットについて計算した値のうちの大きい方とし，その値を両方のフランジの計算に用いる。

また，セルフシールガスケットを用いる場合は，

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

$W_{m2} = 0$

とする。

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = W_{m1} / \sigma_b$（使用状態）

$A_{m2} = W_{m2} / \sigma_a$（ガスケット締付時）

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

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

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$（使用状態）

$W_g = (A_m + A_b) \cdot \sigma_a / 2$（ガスケット締付時）

e.　使用状態でフランジに加わる荷重

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

$H_G = W_o - H$

$H_T = H - H_D$

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
一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$
差込み形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$
ラップジョイント形フランジ	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{C-G}{2}$

ただし，

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

また，セルフシールガスケットを用いる場合は，GはD$_g$と読み替える。
（h項においても同じ。）

g.　使用状態でフランジに作用するモーメント

$M_D = H_D \cdot h_D$

$M_G = H_G \cdot h_G$

$M_T = H_T \cdot h_T$

$M_o = M_D + M_G + M_T$

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，一体形フランジとして計算する任意形フランジ及びルーズ形フランジでハブを考慮して計算するものの応力

(a)　使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

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

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

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

ここで，

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

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

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2$$ （一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_0^2$$ （ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

$$e = \frac{F}{h_o}$$ （一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

$$e = \frac{F_L}{h_o}$$ （ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合）

j.　ルーズ形フランジでハブがないもの，ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの応力

(a)　使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_H = 0$$

$$\sigma_R = 0$$

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

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_H = 0$$

$$\sigma_R = 0$$

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

k.　評価

内圧を受けるフランジは，下記の条件を満足すれば十分である。

(a)　一体形フランジ，一体形フランジとして計算する任意形フランジ及びルーズ形フランジでハブを考慮するもの

イ．　ボルトの総有効断面積　　$A_b > A_m$

ロ．　ハブの軸方向応力

一体形フランジとして計算するものの場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq \mathrm{Min}(1.5 \cdot \sigma_f,\ 1.5 \cdot \sigma_n)$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq \mathrm{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa},\ 1.5 \cdot \sigma_{na})$

図4－1ＦＬＡＮＧＥ－2に示すハブ付一体形フランジの場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq \mathrm{Min}(1.5 \cdot \sigma_f,\ 2.5 \cdot \sigma_n)$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq \mathrm{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa},\ 2.5 \cdot \sigma_{na})$

上記以外で鋳鉄以外の材料の場合

使用状態にあっては　　$\sigma_H \leqq 1.5 \cdot \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_H \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

ハ．　フランジの径方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_R \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_R \leqq \sigma_{fa}$

ニ.　フランジの周方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_T \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$

ホ.　軸方向と径方向応力の平均

使用状態にあっては　$\frac{\sigma_H+\sigma_R}{2} \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　$\frac{\sigma_H+\sigma_R}{2} \leqq \sigma_{fa}$

ヘ.　軸方向と周方向応力の平均

使用状態にあっては　$\frac{\sigma_H+\sigma_T}{2} \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　$\frac{\sigma_H+\sigma_T}{2} \leqq \sigma_{fa}$

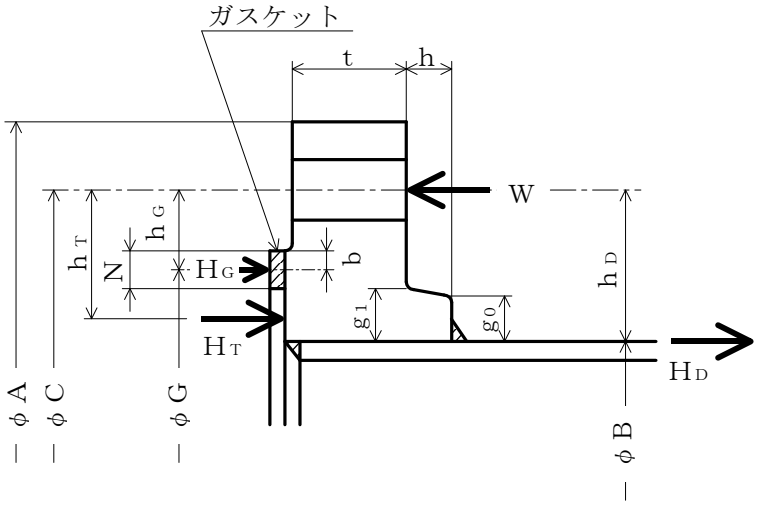
(b)　ルーズ形フランジでハブがないもの，ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ

イ.　ボルトの総有効断面積　$A_b > A_m$

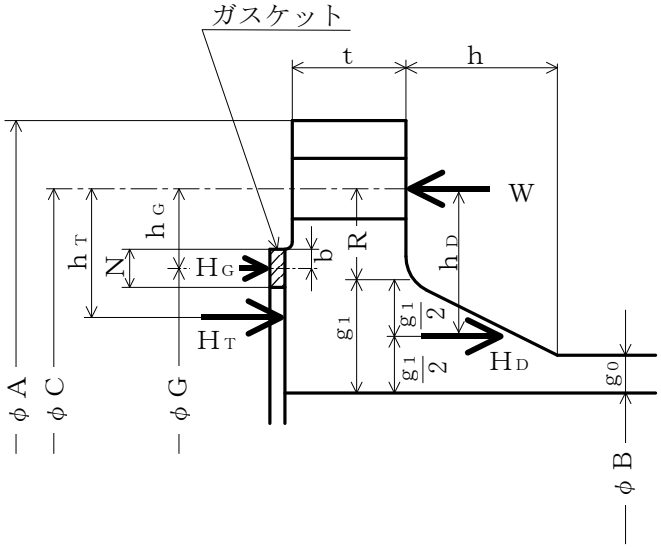
ロ.　フランジの周方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_T \leqq \sigma_f$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$



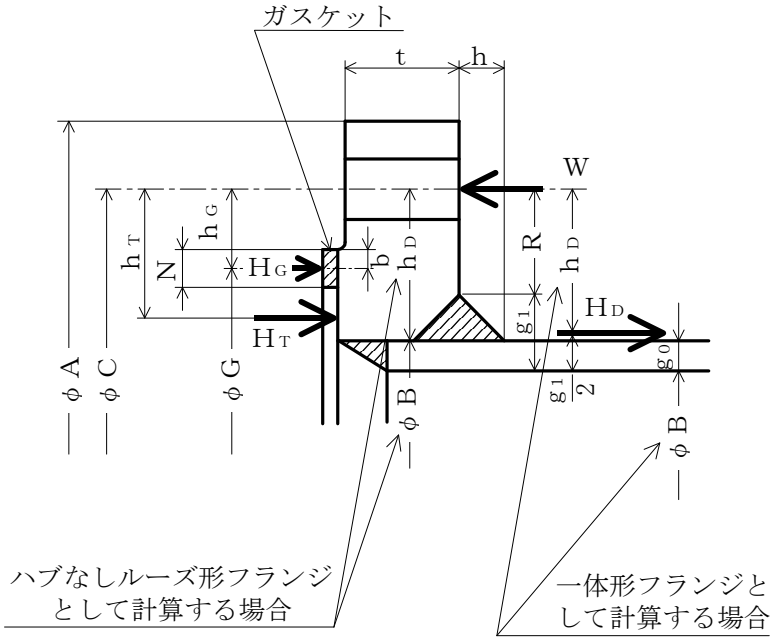
ＦＬＡＮＧＥ－１（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 3)，4)，5)）
〔ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）〕



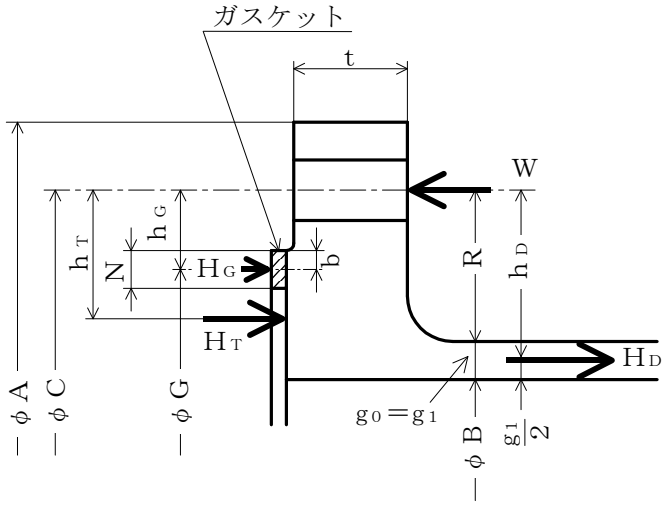
ＦＬＡＮＧＥ－２（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 7)，8)，9)）
〔一体形フランジ〕

注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。
注2：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図4－1



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

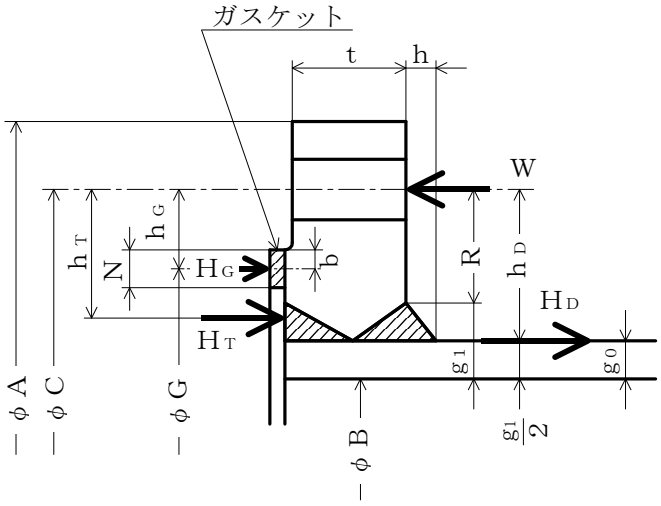


ＦＬＡＮＧＥ－４（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 6)）
〔一体形フランジ〕

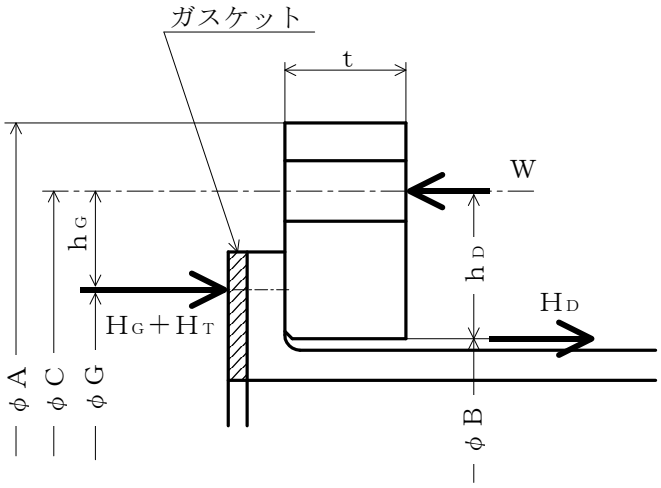
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

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

図4－2



ＦＬＡＮＧＥ－5（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 10)）
〔一体形フランジ〕



ＦＬＡＮＧＥ－6（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 1)）
〔ルーズ形フランジ（ラップジョイント形フランジ）〕

注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。
注2：Wは，W_g，W_{m1}，W_{m2}及びW_oのボルト荷重を表す。

図4－3

K7 ① V-3-2-8 R1

5.　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。

5.1　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。

5.2　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。

6.　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「5.　既工認における評価結果の確認による強度評価方法」に従い評価を実施する。

7.　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，Ｖ-3-1-5「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，告示第５０１号又は告示第４５２号による評価を実施する。但し，改造を行う設備については，設計・建設規格又はＣＣＶ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-3-3-6-1-1-1　原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書
Ｖ-3-3-6-1-1-2　原子炉格納容器ライナ部の強度計算書
Ｖ-3-3-6-1-1-3　原子炉格納容器胴の基本板厚計算書
Ｖ-3-3-6-1-1-4　ドライウェル上鏡の強度計算書
Ｖ-3-3-6-1-1-5　ドライウェル主フランジの強度計算書
Ｖ-3-3-6-1-1-6　下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）の強度計算書

V-3-3-6-1-1-7　下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付）の強度計算書
V-3-3-6-1-1-8　クエンチャサポート基礎の強度計算書
V-3-3-6-1-2-1　機器搬入用ハッチ及びサプレッションチェンバ出入口の基本板厚計算書
V-3-3-6-1-2-2　上部ドライウェル機器搬入用ハッチの強度計算書
V-3-3-6-1-2-3　下部ドライウェル機器搬入用ハッチの強度計算書
V-3-3-6-1-2-4　サプレッションチェンバ出入口の強度計算書
V-3-3-6-1-3-1　所員用エアロックの基本板厚計算書
V-3-3-6-1-3-2　上部ドライウェル所員用エアロックの強度計算書
V-3-3-6-1-3-3　下部ドライウェル所員用エアロックの強度計算書
V-3-3-6-1-4-1　原子炉格納容器貫通部の基本板厚計算書
V-3-3-6-1-4-2　原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書
V-3-3-6-1-4-3　原子炉格納容器電気配線貫通部の強度計算書

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

K7 ① Ⅴ-3-2-8別紙 R1

まえがき

本計算書は，Ⅴ-3-1-5「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-3-2-8「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，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(℃)					

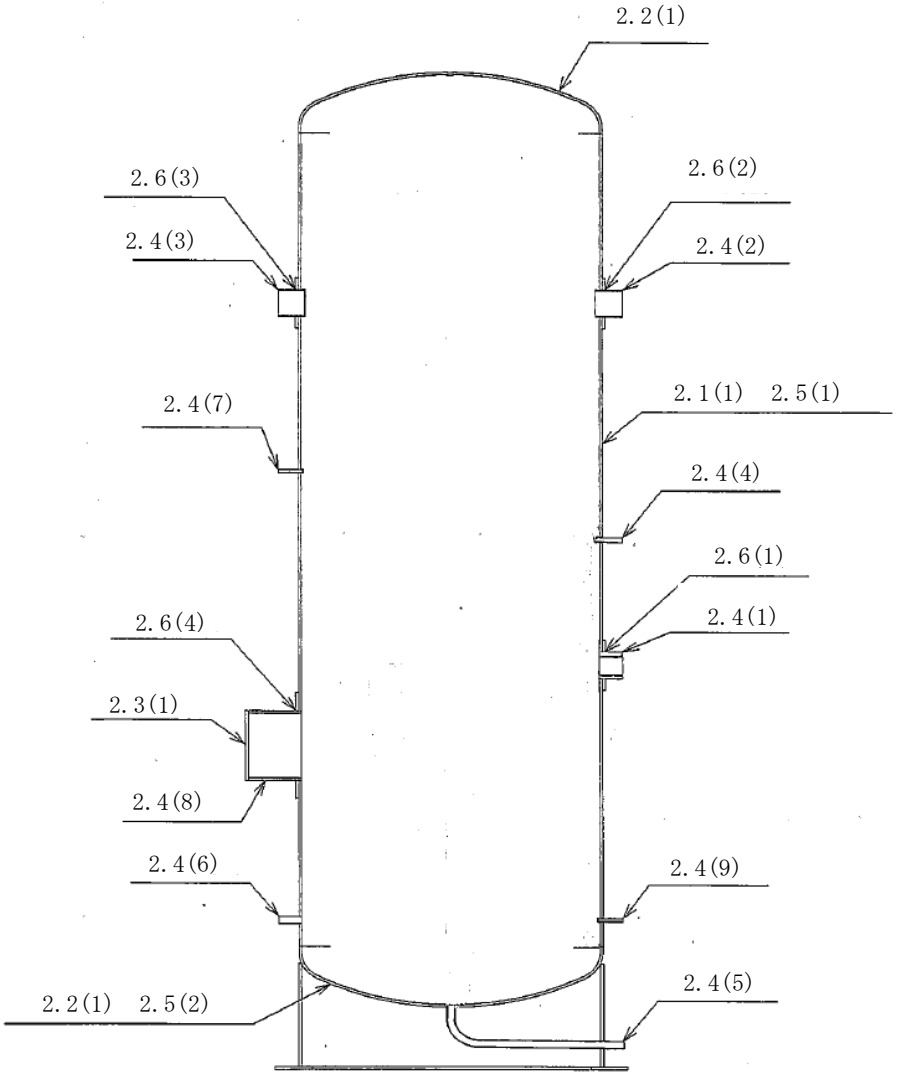
目　　次

1.　計算条件 ……
1.1　計算部位 ……
1.2　設計条件 ……
2.　強度計算 ……
2.1　容器の胴の厚さの計算 ……
2.2　容器の鏡板の厚さの計算 ……
2.3　容器の平板の厚さの計算 ……
2.4　容器の管台の厚さの計算 ……
2.5　容器の補強を要しない穴の最大径の計算 ……
2.6　容器の穴の補強計算 ……
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　計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の
計算項目番号を示す。

図1－1　概要図

1.2　設計条件

最高使用圧力(MPa)	＊＊＊＊
最高使用温度(℃)	＊＊＊

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

2.　強度計算

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		(℃)	
胴の内径		(mm)	D_i
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			有り
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_2	(mm)	
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	
最小厚さ	t_s	(mm)	
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

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：$D_{oc} \geqq R$，$r \geqq 3 \cdot t_{co}$，$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$，$r \geqq 50$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		(℃)	
胴の内径	D_i	(mm)	
さら形鏡板の形状による係数	W		
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_2	(mm)	
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{co}	(mm)	
最小厚さ	t_c	(mm)	
評価：$t_c \geqq t$，よって十分である。			

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)	
$t_{w1}+t_{w2}$	
$2\cdot t_{sr}$　(mm)	
$1.25\cdot t_s$　(mm)	
評価：$t_{w1}+t_{w2}\geqq 2\cdot t_{sr}$，$t_{w1}\geqq t_s$，$t_i\geqq 1.25\cdot t_s$ よって十分である。	

（イ）　告示第５０１号第34条第1項
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_i　(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)	
$2\cdot t_{sr}$　(mm)	
$1.25\cdot t_s$　(mm)	
評価：$t_i\geqq 2\cdot t_{sr}$，$t_i\geqq 1.25\cdot t_s$ よって十分である。	

（ロ） 設計・建設規格　PVC-3310（告示第５０１号第34条第1項）

平板の厚さ

平板名称			(1)　マンホール平板
材料			SUSF316L（厚さ130mm未満）
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
取付け方法による係数	K		
平板の径	d	(mm)	
必要厚さ	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{po}	(mm)	
最小厚さ	t_p	(mm)	
評価：$t_P \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

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		(℃)	
管台の外径	D_o	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	
必要厚さ	t_3	(mm)	
t_1，t_3の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	
最小厚さ	t_n	(mm)	
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

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		(℃)	
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・t_s）／4		(mm)	
61，d_{r1}の小さい値		(mm)	61.00
K			
D・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))

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格　PVC-3230(2)

鏡板名称			(2)　鏡板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	t_c	(mm)	
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
d_{r1}＝（D－２・t_c）／4		(mm)	
61，d_{r1}の小さい値		(mm)	61.00
K			
D・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

K7 ① V-3-2-8別紙 R1

2.6　容器の穴の補強計算

設計・建設規格　PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１１

部材名称			(1)　○○○入口
胴板材料			SUS316L
管台材料			SUS316LTP-S
強め板材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	
最高使用温度		(℃)	
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	107
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	107
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	
補強の有効範囲	X_1	(mm)	
補強の有効範囲	X_2	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	
補強の有効範囲	Y_2	(mm)	
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	
強め板の外径	B_e	(mm)	
管台の外径	D_{on}	(mm)	
溶接寸法	L_1	(mm)	
溶接寸法	L_2	(mm)	
溶接寸法	L_3	(mm)	
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	

部材名称	(1)　○○○入口
強め板の有効補強面積　A_4　(mm^2)	
補強に有効な総面積積　A_0　(mm^2)	
評価：$A_0 > A_r$，よって十分である。	
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径　d_j　(mm)	
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重　W_1　(N)	
溶接部にかかる荷重　W_2　(N)	
溶接部の負うべき荷重　W　(N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力　S_{w1}　(MPa)	
突合せ溶接の許容せん断応力　S_{w2}　(MPa)	
突合せ溶接の許容引張応力　S_{w3}　(MPa)	
管台壁の許容せん断応力　S_{w4}　(MPa)	
応力除去の有無	
すみ肉溶接の許容せん断応力係数　F_1	
突合せ溶接の許容せん断応力係数　F_2	
突合せ溶接の許容引張応力係数　F_3	
管台壁の許容せん断応力係数　F_4	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e1}　(N)	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e2}　(N)	
すみ肉溶接部のせん断力　W_{e3}　(N)	
突合せ溶接部のせん断力　W_{e4}　(N)	
突合せ溶接部の引張力　W_{e8}　(N)	
突合せ溶接部の引張力　W_{e9}　(N)	
管台のせん断力　W_{e10}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp1}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp2}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp3}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp4}　(N)	
予想される破断箇所の強さ　W_{ebp5}　(N)	
評価：$W_{ebp1} \geqq W$，$W_{ebp2} \geqq W$，$W_{ebp3} \geqq W$，$W_{ebp4} \geqq W$，$W_{ebp5} \geqq W$ 以上より十分である。	

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

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

胴側胴板（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

（材料記号を記載）

○○○に使用している○○○は，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し，同等であることを示す。

(1)　機械的強度

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

(2)　化学的成分

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

(3)　評価結果

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

（材料記号を記載）

Ｖ-3-2-9　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，Ｖ-3-1-5「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。

(1)　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
(2)　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
(3)　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
(4)　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

(1)　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　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 …… 4
1.4　計算精度と数値の丸め方 …… 5
1.5　材料の表示方法 …… 6
1.6　概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 …… 7
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 …… 8
2.1　共通記号 …… 8
2.2　管の板厚計算 …… 9
2.3　平板の強度計算 …… 11
2.4　鏡板の強度計算 …… 23
2.5　レジューサの強度計算 …… 26
2.6　管の穴と補強計算 …… 30
2.7　フランジの強度計算 …… 55
2.8　伸縮継手の強度計算 …… 70

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「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，昭和55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。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版(2007年追補版含む。)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007)（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

新設・改造設備は設計・建設規格による評価を行う。

なお，告示第５０１号と設計・建設規格の比較に基づく，告示第５０１号各条項又は設計・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)　告示第５０１号及び設計・建設規格に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1－2に示すとおりである。

(3)　管継手は，以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格別表4に掲げるものとし，接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格　PPC-3415)

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１２(2001)「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１３(2001)「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」

c.　ＪＩＳ　Ｂ　２３１６(1997)「配管用鋼製差込み溶接式管継手」

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

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８(1996)「鋼製管フランジ通則」

b.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３９(1996)「鋳鉄製管フランジ通則」

c.　ＪＩＳ　Ｂ　８２１０(1994)「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

(5)　管の接続

管と管を接続する場合は，設計・建設規格　PPC-3430により溶接継手又はフランジ継手とする。

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

告示第５０１号　条項 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
第58条第1項 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 2.4 2.5	管の板厚計算 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）
第58条第3項 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
第61条第1項 PPC-3415.1（レジューサ） PPC-3415.1(1) PPC-3415.1(2) PPC-3415.1(3) 準用 第32条第3項，第4項 PVC-3124.2（外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ）	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算 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））

告示第５０１号　条項 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
第58条第2項 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 PPC-3420（穴と補強） PPC-3421 PPC-3422 PPC-3423 PPC-3424	2.6	管の穴と補強計算
PPC-3422(3)	2.3	平板の強度計算

表1－2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式 （章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２４３(1981)「圧力容器の構造」		2.5	レジューサの強度計算
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造－一般事項」附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	2 3 4 5	2.7	フランジの強度計算＊

注記＊：設計・建設規格　PPC-3414(2)によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本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，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*1
温度		℃	—	—	整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	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：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は，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。また，告示第５０１号別表に記載された許容引張応力及び設計降伏点は，各温度の値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

（例1）　SM400A　相当（SMA400AP）

（例2）　SCMV3-1 相当（ASME SA387 Gr.11Cl.1）

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

（継目無管：S，溶接管：W）

(3)　強度区分により許容引張応力の値が異なる場合，材料記号の後にＪＩＳで定める強度区分を付記する。

（例）

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の上段）	SCMV3-1
SCMV3（付録材料図表 Part5　表5の許容引張応力の下段）	SCMV3-2

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

（例）SS400（16mm＜径≦40mm）

(5)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

K7 ① V-3-2-9(1) R1

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

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。

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	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	―
		管及び鏡板は告示第５０１号第32条第4項又は設計・建設規格　PVC-3130による。レジューサは告示第５０１号第32条第4項又は設計・建設規格　PVC-3130及びPVC-3140による。	

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　PPC-3411を適用する。

(1)　記号の説明

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔｏｐとなる。）	—
D_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 告示第５０１号別表第6又は設計・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	炭素鋼鋼管の告示第５０１号上又は設計・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

告示５０１号第58条第1項第1号の式又は設計・建設規格　PPC-3411(1)の式より求めた値：ｔ

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

b.　外面に圧力を受ける管

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

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

c.　炭素鋼鋼管の告示第５０１号上又は設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

告示第５０１号第58条第1項第3号の表又は設計･建設規格　PPC-3411(3)の表PPC-3411-1より求めた値　……（C）

(3)　評価

ｔ，t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ（t_s）≧管に必要な厚さ（t_r）ならば強度は十分である。

(4)　補足

a.　計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項及びc項の文字Ａ，Ｂ及びＣに対応する。

b.　曲げ管は，管に必要な厚さが確保されている場合は，直管と同等に考えるものとし，表示はしないものとする。

2.3　平板の強度計算

平板の強度計算は，告示第５０１号第58条第3項又は設計・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

告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	告示第５０１号第58条第3項の表又は設計・建設規格の表PPC-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h_g	h_g	ボルトのピッチ円の直径とｄとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t_r／t_s	—
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ Ｂ ８２６５　附属書3 表2による。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm

告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
σ_a	S_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σ_b	S_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
	S_x	ボルトの許容引張応力（S_a又はS_bのいずれか小さい方の値）	MPa
	S_1	最高使用温度におけるねじ込み輪，分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t_c	t_c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t_f，t	t_f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t_w	t_i	平板ののど厚	mm
t_n	t_n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t_p	平板の最小厚さ	mm
	t_{po}	平板の呼び厚さ	mm
t_s	t_s	管の最小厚さ	mm
t_r	t_r	継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
t_w，t_{w1}	t_w	平板の溶接部の深さ	mm
t_{w2}	t_{w2}	平板の溶接部の長さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ Ｂ ８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2

告示第５０１号又は設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単　　位
π	π	円周率	―
	σｐ	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	―
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	―
	ガスケット座面の形状	ＪＩＳ Ｂ ８２６５　附属書3　表2による。	―
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPC-3413の表PPC-3413-1による。	―
（ａ）～（ｎ）	2A～2N	取付け方法の表示区分	

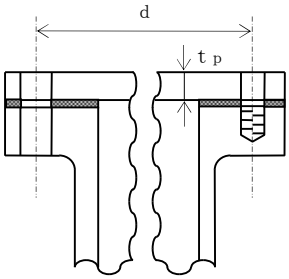
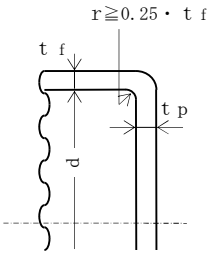
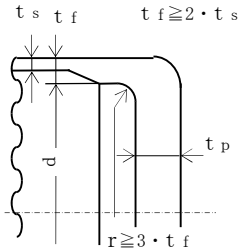
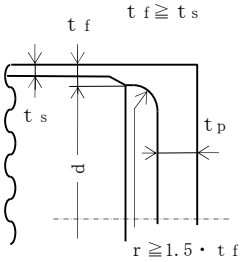
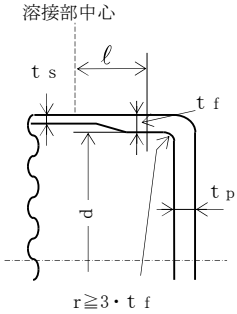
K7 ① V-3-2-9(1) R1

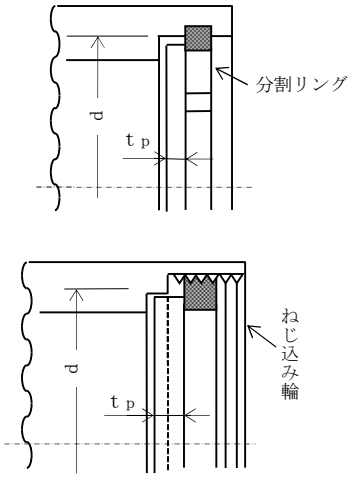
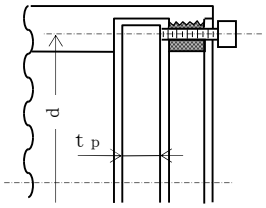
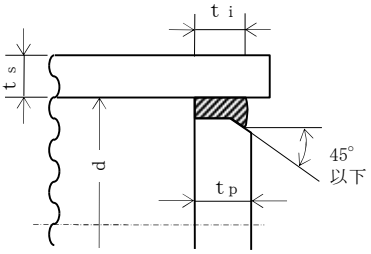
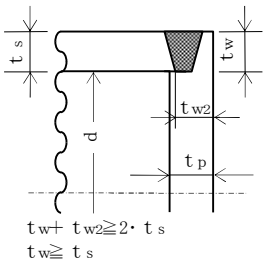
(2)　形状の制限（告示第５０１号）

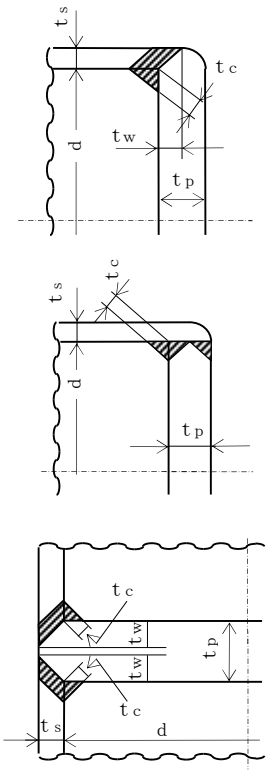
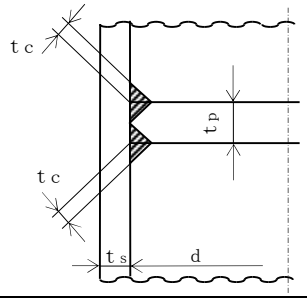
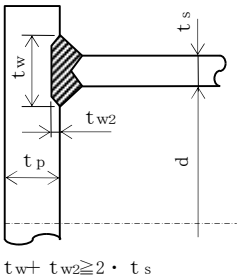
取　付　け　方　法		形　　状　　の　　制　　限
(ℓ)	その他の場合	無し

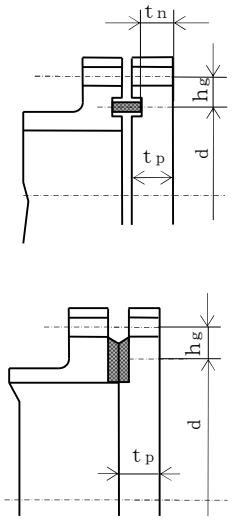
K7 ① V-3-2-9(1) R1

形状の制限（設計・建設規格）

取付け方法		形状の制限
（a）		無し
（b）		d≦600mm，d／20≦tp＜d／4かつ， r≧0.25・tfであること。
（c）		tf≧2・tsかつ，r≧3・tfであること。
（d）		tf≧tsかつ，r≧1.5・tfであること。
（e）		r≧3・tfであること。

取付け方法		形状の制限
(f)		0.8・S_1≧σpであること。
(g)		0.8・S_x≧σpであること。
(h)		t_i≧2・t_rかつ，t_i≧1.25・t_sであること。
(i)		t_w+t_{w2}≧2・t_s，t_w≧t_sかつ， t_s≧1.25・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 tw≧Min（0.5・ts，0.25・tp）かつ， tc≧Min（0.7・ts，6mm）であること。 (2) (1)以外の場合 tw≧Min（ts，0.5・tp）かつ， tc≧Min（0.7・ts，6mm）であること。
(k)		tc≧Min（0.7・ts，6mm）であること。
(ℓ)		tw＋tw2≧2・ts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

K7 ① V-3-2-9(1) R1

(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。（告示第５０１号）

取付け方法	Kの値
(ℓ)	0.75

Kの値は以下による。（設計・建設規格）

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

注記＊1：取付け方法（e）の場合

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

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

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

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

注記＊2：取付け方法（ｇ）の場合のσ_pは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ Ｂ ８２６５　附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

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

$W = H$

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

ただし，Ｐは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b}$　（使用状態）

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

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

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

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　（使用状態）

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

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

(e)　平板に作用する力によって生じるボルトの応力

$\sigma_p = \frac{F}{A_b}$

注記＊3：取付け方法（m）の場合のＦ，ｈｇ，Ｗ及びｄは以下による。

(a)　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leqq 6.35$ mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$ mmの場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3　表3による。

$d = G$

(b)　計算上必要なボルト荷重

イ．　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

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

$W = H$

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

ただし，Ｐは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ．　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

(c)　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b}$　（使用状態）

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

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

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

(d)　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　（使用状態）

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

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

(e)　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$h_g = \frac{C - G}{2}$

b.　平板に穴を設ける場合は，設計・建設規格　PPC-3422(3)により平板の計算上必要な厚さを，次の式より計算した値とする。

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

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

ただし，Ｋの値は（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（ｄｈ）が平板の径又は最小内のり（ｄ）の値の2分の1を超える場合

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

(4)　評価

平板の最小厚さ（ｔｐ）≧平板の計算上必要な厚さ（ｔ）ならば強度は十分である。

(5)　補足

a.　取付け方法は，告示第５０１号第58条第3項の表又は設計・建設規格　PPC-3413の表PPC-3413-1の条件を満足するものとする。

b.　スペクタクルフランジの取付け方法は（ｇ）タイプとする。

2.4　鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は，告示第５０１号第58条第1項，第2項又は設計・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

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Ｂを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にｔとなる。）	—
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D_0	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	D_{oc}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.の表PPC-3415.2-1による。	—
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R_D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 R_D＝Ｒ＋（最小厚さ）	mm
R	R_R	半だ円形鏡板の外面の長径 R_R＝Ｄ＋2・（最小厚さ）	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形　式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算　式	ｔとして用いる値の算式	—

(2)　算式

鏡板の計算上必要な厚さは，次に掲げる値とする。

a.　さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格　PPC-3415.2(1)a.により以下とする。

$D_{oc} \geqq R$

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

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

$r \geqq 50\text{mm}$

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

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

ただし，

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

(b)　中高面に圧力を受けるもの

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

b.　全半球形鏡板鏡部

告示第５０１号第58条第2項第2号ハ，又はニの式又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)c.の式PPC-1.15又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)d.の式PPC-1.16より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

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

(b)　中高面に圧力を受けるもの

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

c.　半だ円形鏡板鏡部

形状は告示第５０１号第58条第2項第1号ハ又は設計･建設規格　PPC-3415.2(1)c.により以下とする。

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

告示第５０１号第58条第2項第2号ホ，又はへの式又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)e.の式PPC-1.17又は設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.より求めた値

(a)　中低面に圧力を受けるもの

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

ただし，

$$K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(b)　中高面に圧力を受けるもの

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

d.　鏡板のフランジ部

告示第５０１号第58条第1項又は設計・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)　炭素鋼鋼管の告示第５０１号上又は設計・建設規格上必要な最小厚さ　…（D’’）

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3)　評価

鏡板の最小厚さ（t_c）≧鏡部（上段）及びフランジ部（下段）の計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，A’，B，B’，C，C’，D，D’及びD’’に対応する。

2.5　レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は，告示第５０１号第61条第1項（告示第５０１号第32条第3項，第4項準用）及びＪＩＳ　Ｂ　８２４３又は設計・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

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Ｂを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_3となる。）	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_0	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　図4－12又は設計・建設規格　PPC-3415.1(3)の 図PPC-3415.1-1より求めた係数	—
r，r_0，r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 （円すいの丸みの外半径）	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は別表第7又は設計・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	—

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　　示　　内　　容	単　　位
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）

告示第５０１号第32条第3項第2号チ(イ)又は設計・建設規格　PPC-3415.1(1)a.の式PPC-1.8より求めた値

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

b.　すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

告示第５０１号第32条第3項第2号チ(ロ)又は設計・建設規格　PPC-3415.1(1)b.の式PPC-1.9より求めた値

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

ただし，

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

小径端側

ＪＩＳ　Ｂ　８２４３又は設計・建設規格　PPC-3415.1(3)の式PPC-1.11より求めた値

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

(B)

ただし，ＫはＪＩＳ　Ｂ　８２４３の図4－12又は設計・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　……（C）

(b)　外面に圧力を受ける管　……（C’）

(c)　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ　……（C’’）

(a)，(b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d.　円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格　PVC-3124.2により求める。

(a)　円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

ただし，$D_o = D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

ただし，$D_o = D_{o\ell}$，長さは円すい部の軸方向の長さとする。

(b)　円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの

イ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

ただし，$D_o = D_{o\ell}$，$t_s = t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell} - 2 \cdot t_{s\ell}$）とする。

ロ．　外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

ただし，$D_o = D_{o\ell}$，$t_s = t_{s\ell}$，長さは（$D_{o\ell} - 2 \cdot t_{s\ell}$）とする。

(3)　評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて，レジューサの最小厚さ（t_s）≧レジューサの計算上必要な厚さ（t）ならば強度は十分である。

(4)　補足

a.　計算書中，NO.（レジューサの番号）に＊印の付いているものは，偏心レジューサを示す。

b.　偏心レジューサの場合のθは，円すいの頂角をそのまま使用する。

c.　計算書中，算式の項の文字は(2)a項，b項，c項及びd項の文字A，B，C，C'，C''，D，D'，D''及びD'''に対応する。

2.6　管の穴と補強計算

管の穴と補強計算は，告示第５０１号第60条又は設計・建設規格　PPC-3420を適用する。

(1)　記号の説明

	告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
直管又は曲げ管の記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値 （Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にt_{br}及びt_{rr}となる。）	—
	D	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(=\dfrac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}\right)$	—
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は設計・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 告示第５０１号第32条第4項又は設計・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ｔｂｒ及びｔｃｒとなる。）	—
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 （フランジ部の外径に同じ。）	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3424(1)の表PPC-3424-1及び表PPC-3424-2による。	—
	K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格　PPC-3415.2(2)f.の表PPC-3415.2-1による。	—
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
		t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r1}	t_{cr}	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	W	W	さら形鏡板の形状による係数	—

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
平板の記号	d	d	平板の径又は最小内のり	mm
	d	d_H	断面に現われる穴の径	mm
	K	K	平板の取付け方法による係数	—
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	t_c	平板の最小厚さ	mm
		t_{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r2}	t_{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格　PPC-3413の表PPC-3413-1による。	—
	(a)～(n)	2A～2N	取付け方法の表示区分	

K7 ① V-3-2-9(1) R1

	告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
共通記号（管の穴と補強計算）	A	A_0	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_3	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_r	A_r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A_s	A_{sr}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
		A_{so}	2つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		A_{ri}	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm^2
		A_{oi}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
		A_{rs}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A_{2s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		A_{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_{4s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	D_i	D_{ib}	管台の内径	mm
		D_{ir}	主管の内径	mm
		D_{ob}	管台の外径	mm
		D_{oe}	強め材の外径	mm
		d_D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d_{frD}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d_{r1}	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	告示第５０１号第60条第2項第1号ロ又は設計・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	—

	告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
共通記号（管の穴と補強計算）		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値	mm
		L_A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L_N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L_{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L_s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L_1	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）	mm
		L_2	強め材のすみ肉部の脚長	mm
	P，P_e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q_b	管台の厚さの負の許容差	%，mm
	S	S_b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 告示第５０１号別表第6又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
	S	S_e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
		S_{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S_{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S_{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t_n	t_b	管台の最小厚さ	mm
		t_{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t_{nr}	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t_e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
		W_{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N

	告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
共通記号（管の穴と補強計算）		W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	—
		形　式	管台の取付け形式	—

(2)　計算手順及び算式

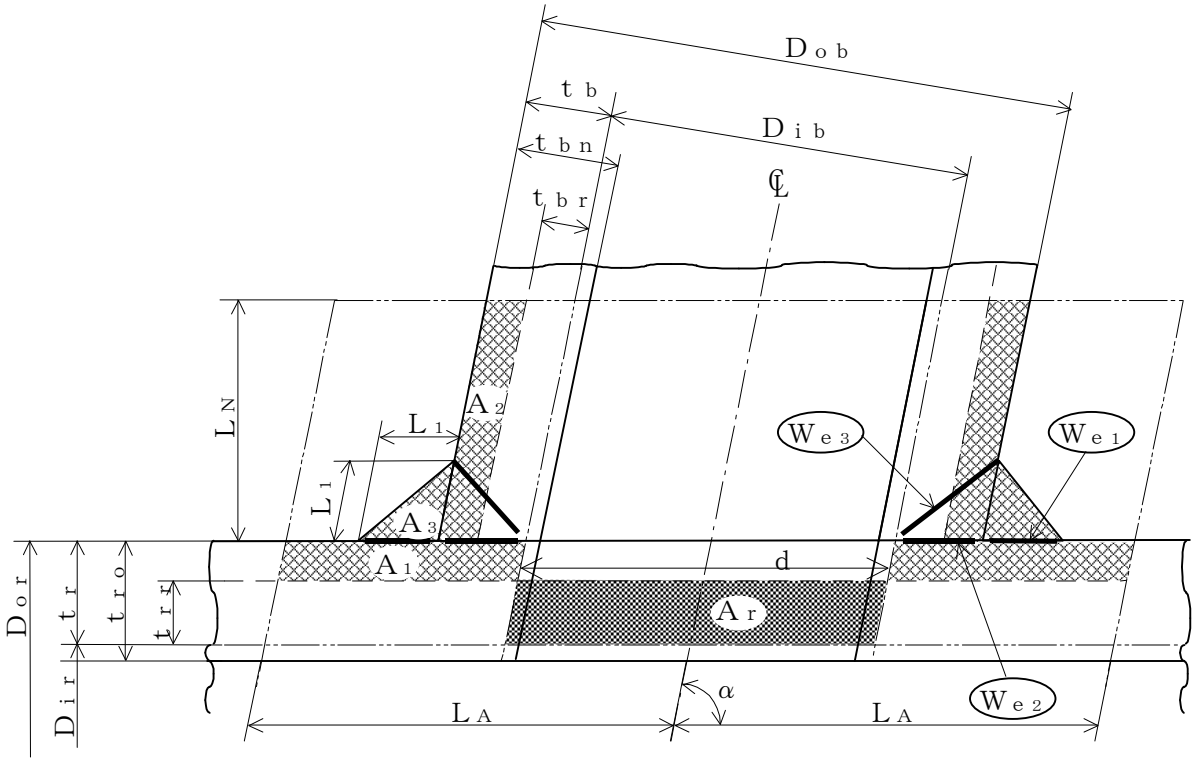
a.　穴の形状

管に設ける穴は，告示第５０１号第60条第1項第1号又は設計・建設規格　PPC-3421(2)により円形又はだ円形であること。

b.　管台の取付け形式

図2－1～図2－5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

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



補強に有効な面積

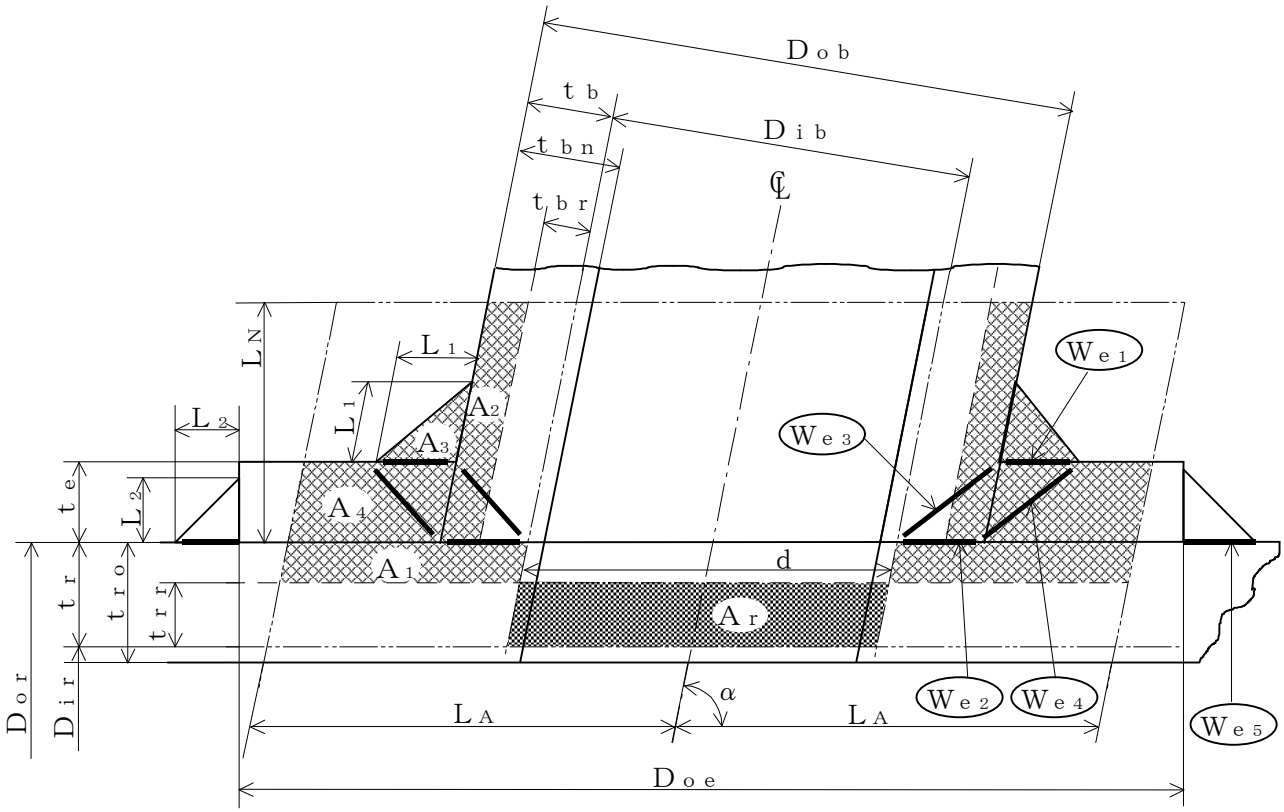
補強に必要な面積

予想される破断形式

・We3 を通る破断

・We1 We2 を通る破断

図2－1　A形（強め材のない場合）



補強に有効な面積

補強に必要な面積

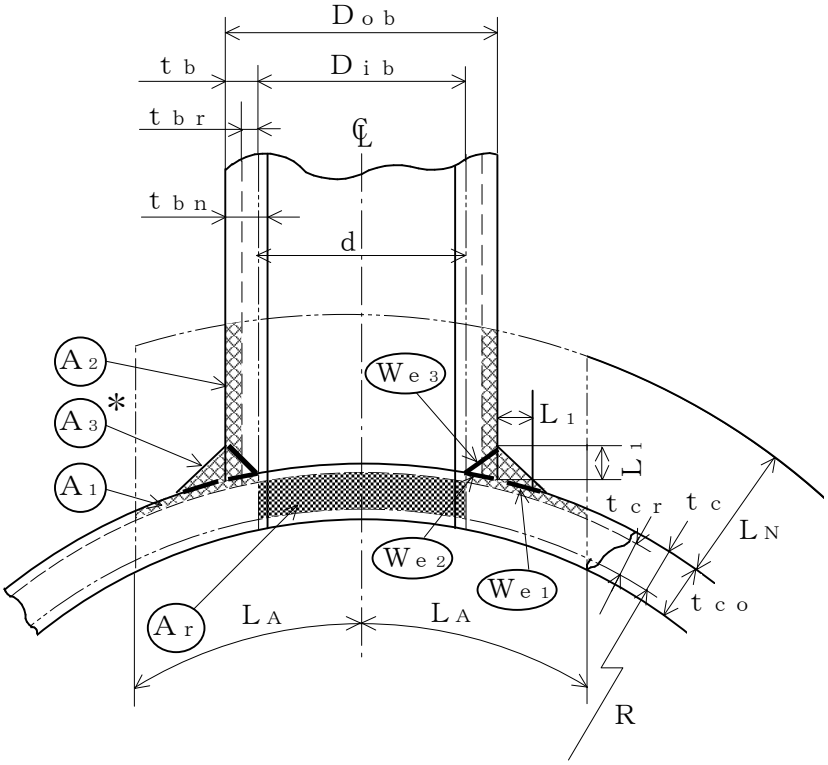
予想される破断形式

・ 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）



補強に有効な面積

補強に必要な面積

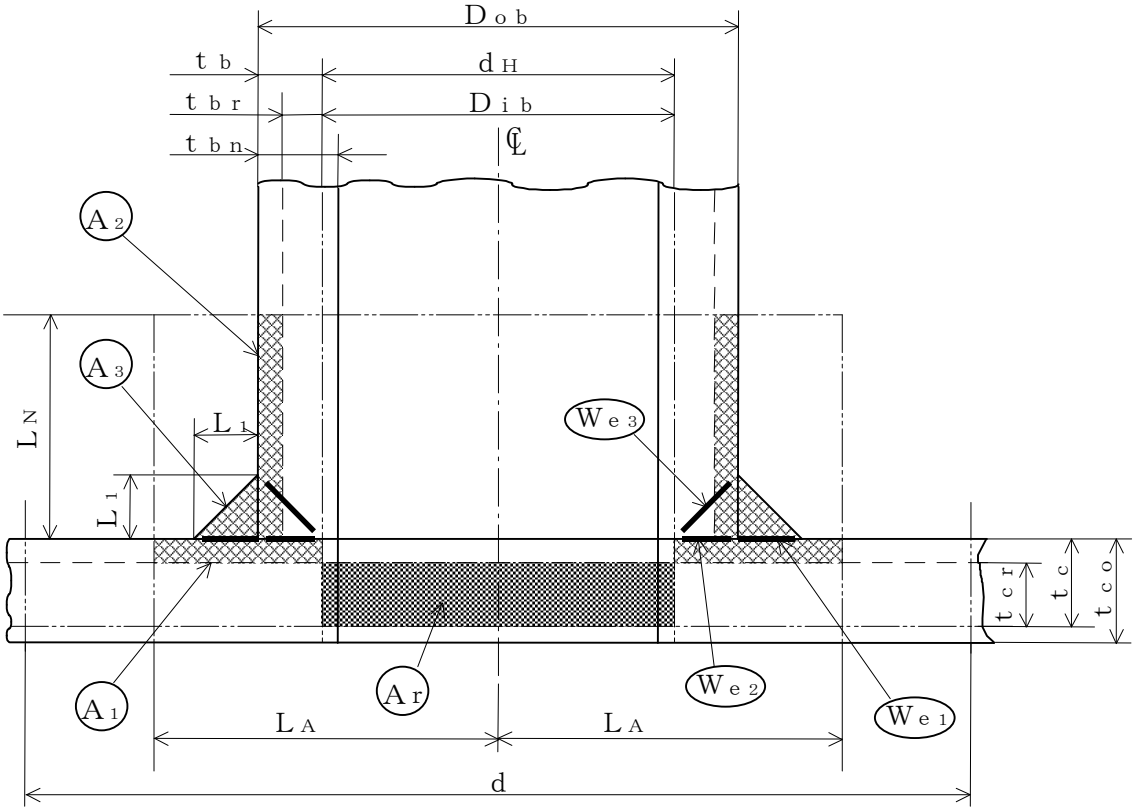
予想される破断形式

・ 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2－3　A形（鏡板で強め材のない場合）



補強に有効な面積

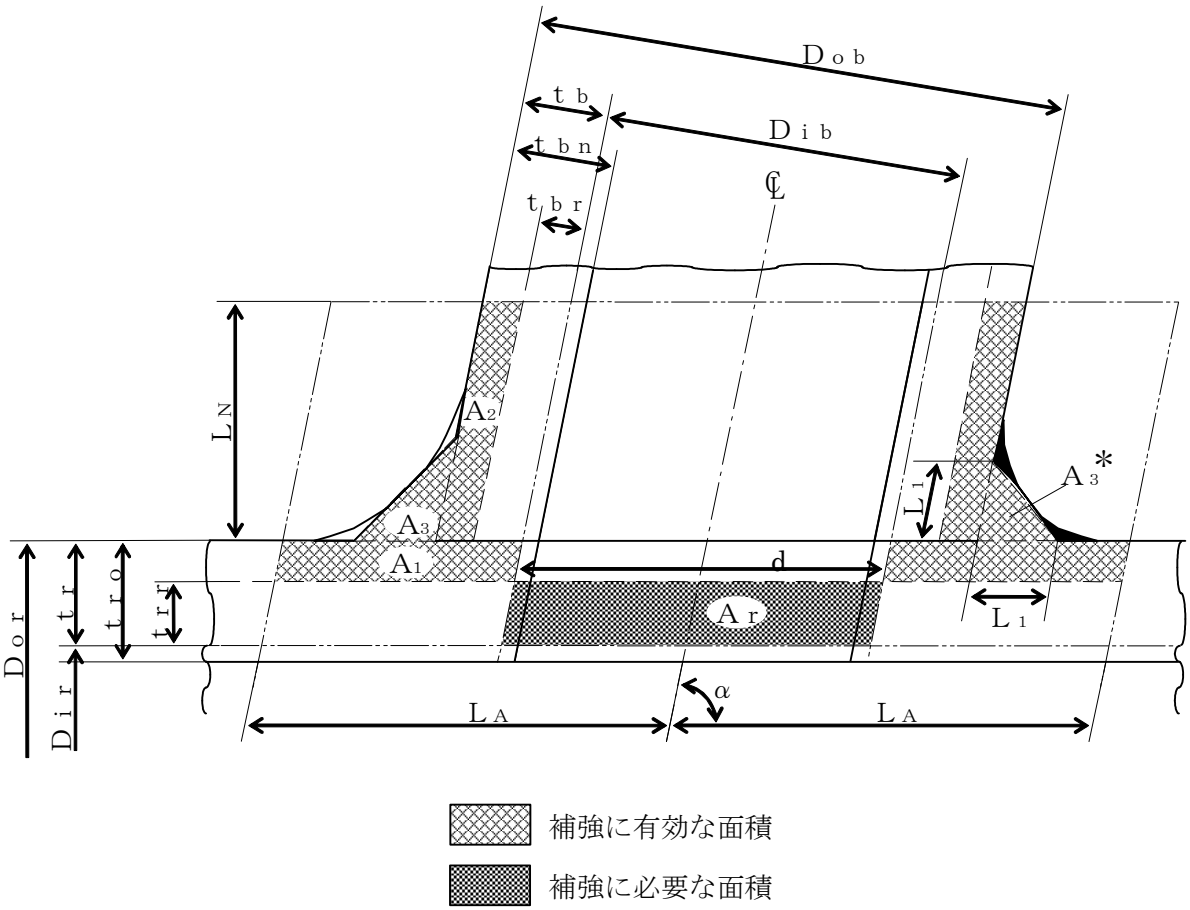
補強に必要な面積

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，告示第５０１号第60条第1項第2号又は設計・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（ｄｆｒ）とする。

イ．　平板以外の管に設ける穴であって，穴の径が61mm以下で，かつ，管の内径の4分の1以下の穴（d_{r1}）

ロ．　平板以外の管に設ける穴であって，イ項に掲げるものを除き，穴の径が200mm以下で，かつ，告示第５０１号第60条第1項第2号ロの図又は設計・建設規格の図PPC-3422-1及び図PPC-3422-2により求めた値以下の穴（d_{r2}）

直管又は曲げ管の場合

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

鏡板の場合

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

ただし，Ｋの値は次の算式による。

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

（ロ）　さら形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

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

（ハ）　全半球形鏡板の場合

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

ただし，Ｋ＞0.99の場合はＫ＝0.99とする。

ハ．　平板に穴を設ける場合であって，平板の最小厚さ（t_c）が次の式により計算した値以上のもの

（イ）　穴の径が平板の径又は最小内のりであるｄの値の2分の1以下の場合

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

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

（ロ）　穴の径が平板の径又は最小内のりであるｄの値の2分の1を超える場合

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

(b)　評価

補強を要しない穴の最大径（ｄｆｒ）≧断面に現われる穴の径（ｄ）又は平板の最小厚さ（ｔｃ）≧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，告示第５０１号第60条第2項第1号イ又は設計・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，告示第５０１号第60条第2項第1号ロ(イ)又は設計・建設規格　PPC-3424(1)b.(a)を適用する。

(a)　直管又は曲げ管の場合

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

ただし，$\eta = 1.00$

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

(b)　鏡板の場合

イ．　さら形鏡板

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

ただし，W＝1.00及びη＝1.00

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

ロ．　半だ円形鏡板

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

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

ハ．　全半球形鏡板

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

$$t_{cr}=\frac{P\cdot(R+t_c)}{B}$$ ……（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，告示第５０１号第60条第2項第1号ロ（ロ）又は設計・建設規格　PPC-3424(1)b.(b)を適用する。

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

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

g.　穴の補強計算

穴の補強計算は，告示第５０１号第60条第2項第1号又は設計・建設規格　PPC-3424(1)を適用する。

(a)　算式

イ．　補強に必要な面積

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

（ロ）　鏡板の場合

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

（ハ）　平板の場合

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

ロ.　補強に有効な面積

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

（強め材が有効範囲L_A内にある場合）

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

（強め材が有効範囲L_Aの外まである場合）

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

（ロ）　鏡板の場合

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

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

（ハ）　平板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b)　評価

穴の補強に有効な面積（A_0）＞穴の補強に必要な面積（A_r）ならば穴の補強は十分である。

h.　大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は，告示第５０１号第60条第2項第4号又は設計・建設規格PPC-3424(4)を適用する。

(a)　算式

大穴の補強を要しない限界径（d_{frD}）

イ．　D_{ir}が1500mm以下の場合

$d_{frD}=D_{ir}/2$

ただし，500mmを超える場合500mmとする。

ロ．　D_{ir}が1500mmを超える場合

$d_{frD}=D_{ir}/3$

ただし，1000mmを超える場合1000mmとする。

(b)　評価

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

必要な場合は，ｉ項以降による。

i.　大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，告示第５０１号第60条第2項第4号又は設計・建設規格PPC-3424(4)を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a)　大穴の補強における管台の取付け形式

図2－6～図2－10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

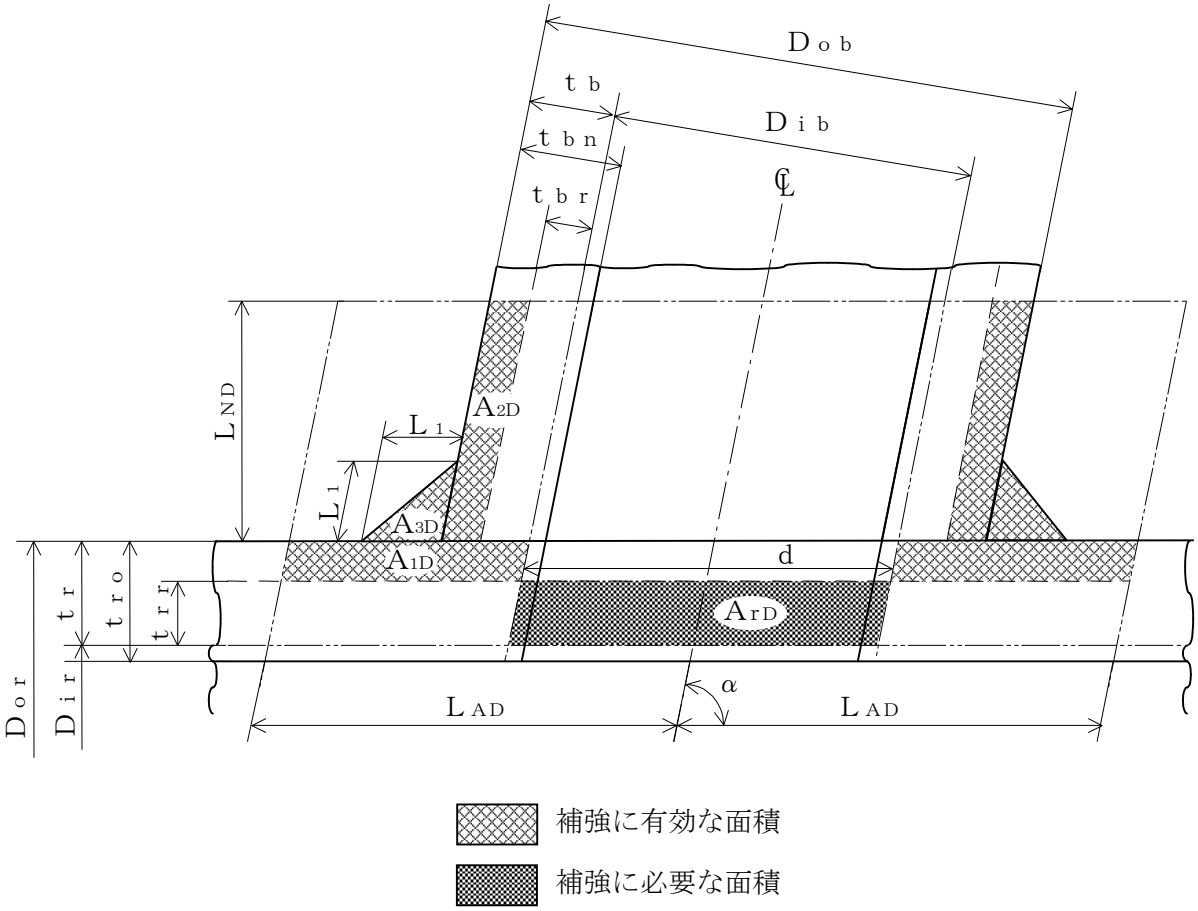


図2－6　A形（強め材のない場合）

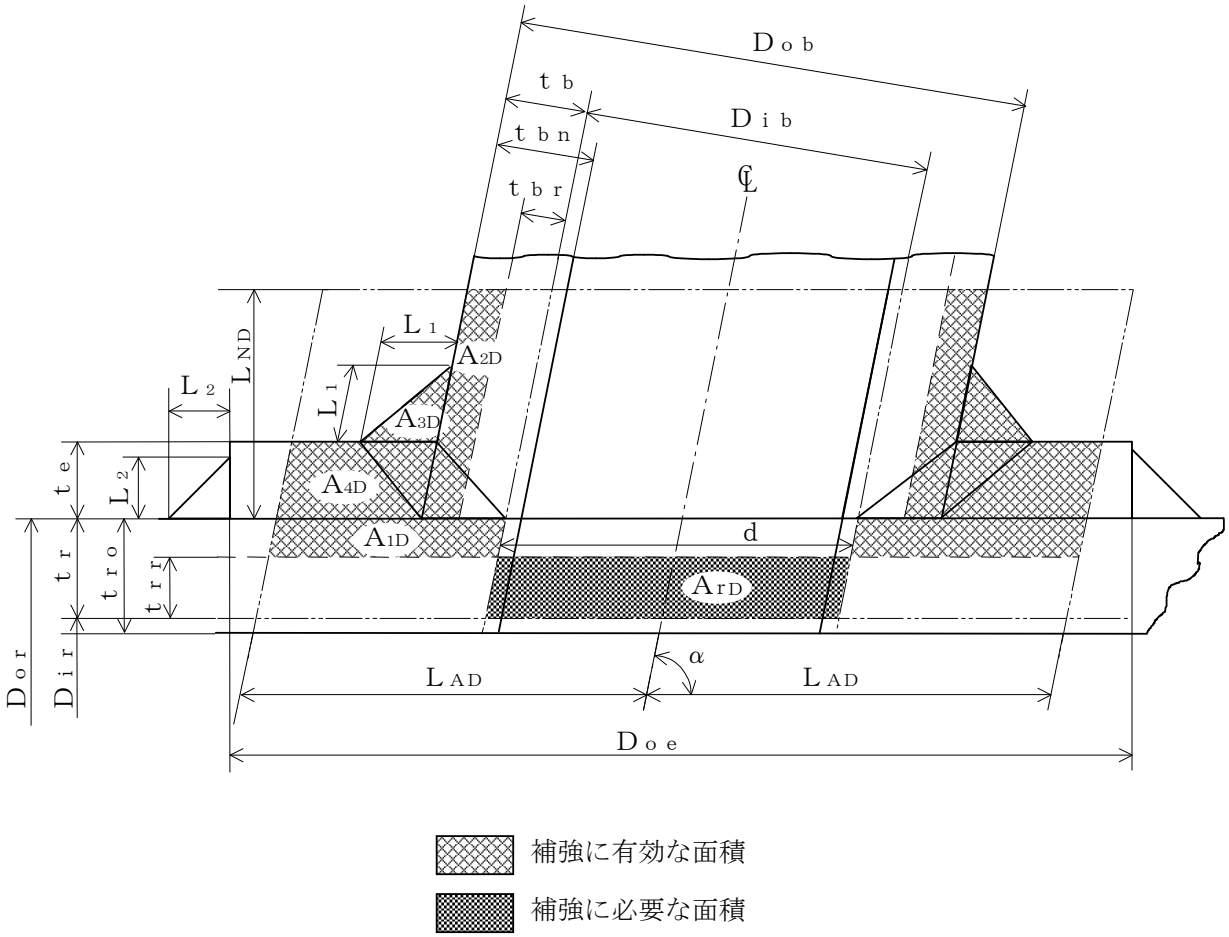
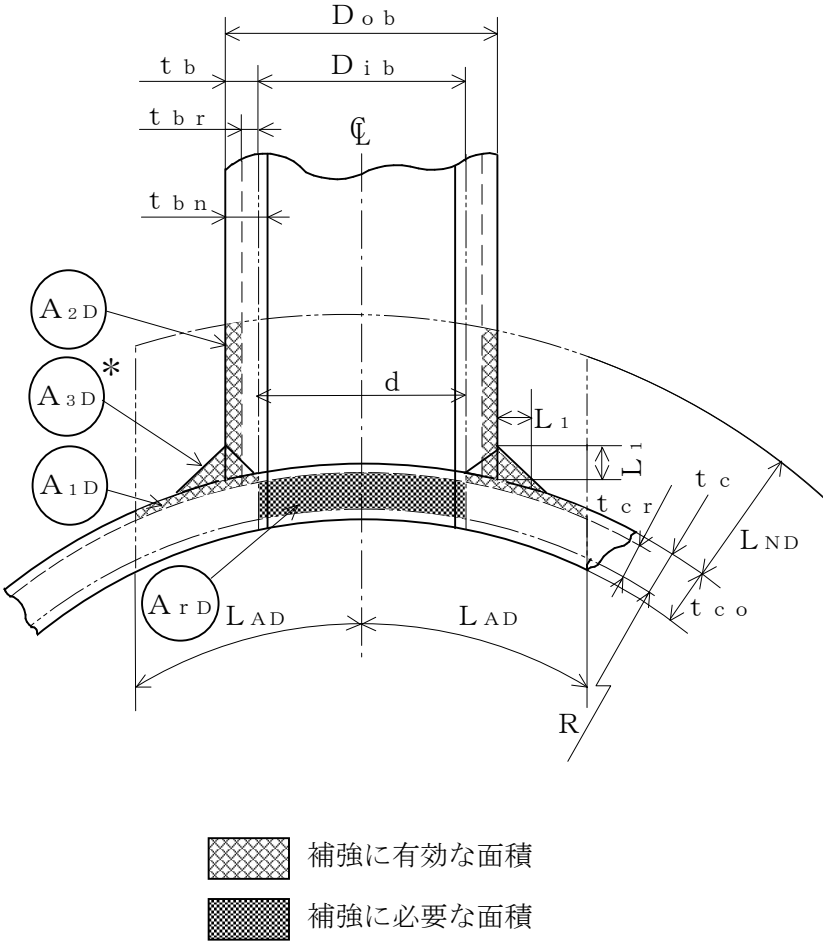


図2－7　B形（強め材のある場合）



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

図2－8　A形（鏡板で強め材のない場合）

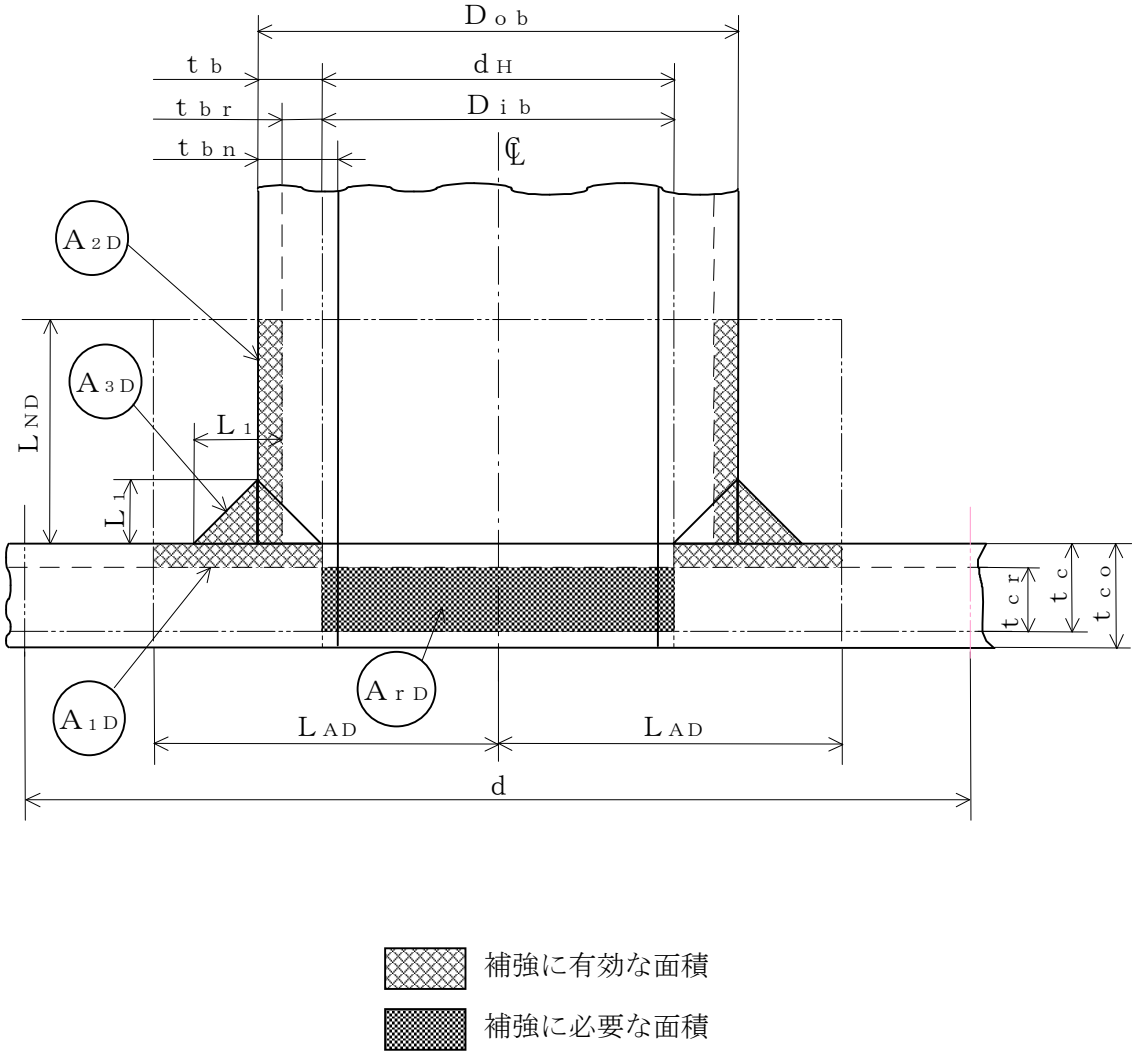
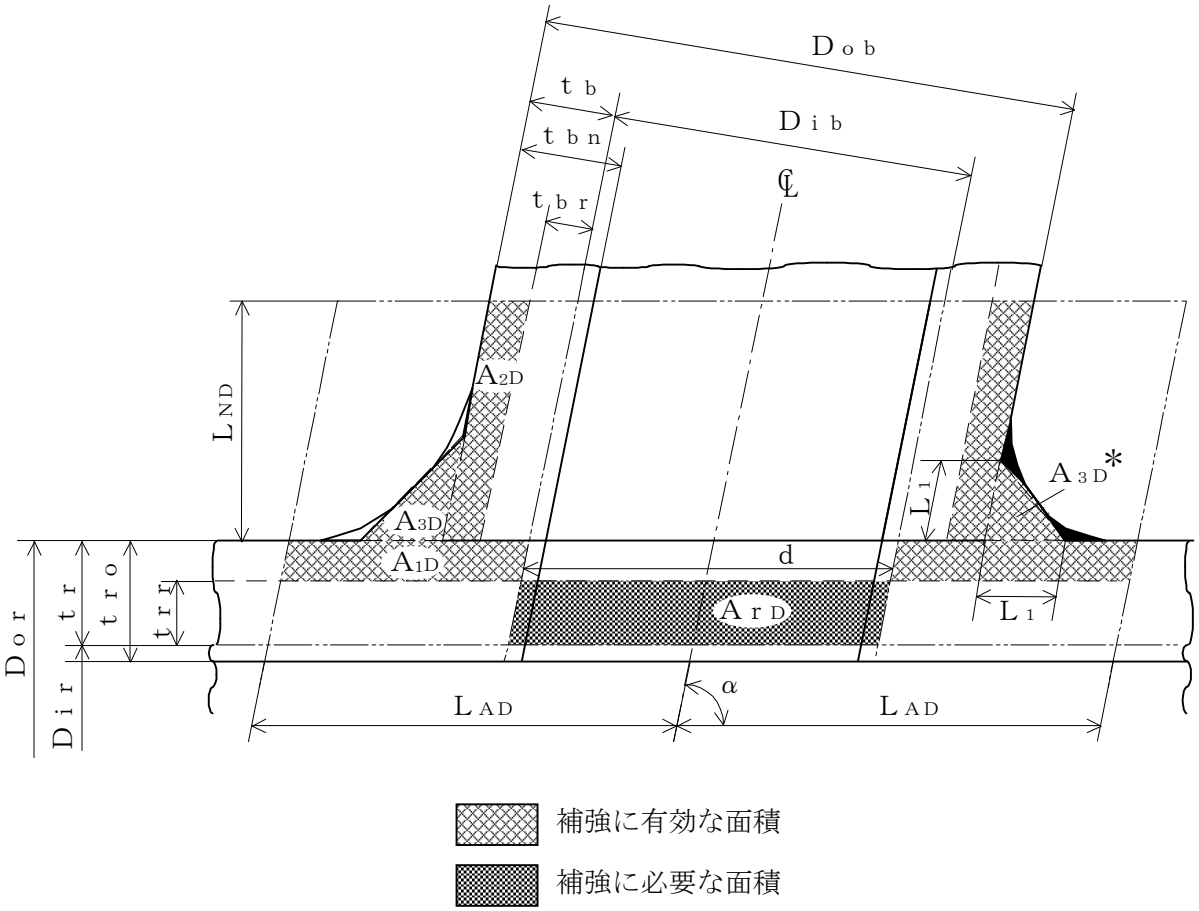


図2－9　A形（平板で強め材のない場合）



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

図2－10　C形（一体形で強め材のない場合）

(b)　穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

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

(c)　主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND}=L_{N}$$

j.　大穴の補強計算

大穴の補強計算は，告示第５０１号第60条第2項第4号又は設計・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）

$$A_{2D}=2\cdot\left(\frac{d}{4}-t_{br}\cdot\mathrm{cosec}\,\alpha\right)\cdot L_{ND}\cdot\frac{S_{b}}{S_{r}}$$

（管台の外径が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{3D}=A_{3}$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{3D}=0$$

（すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

$$A_{4D}=A_{4}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合）

$$A_{4D}=\left(3\cdot\frac{d}{2}-D_{ob}\cdot\mathrm{cosec}\,\alpha\right)\cdot t_{e}\cdot\frac{S_{e}}{S_{r}}$$

（強め材が有効範囲L_{AD}の外まである場合）

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

(b)　評価

大穴の補強に有効な面積（A_{0D}）≧大穴の補強に必要な面積（A_{rD}）ならば大穴の補強は十分である。

K7 ① V-3-2-9(1) R1

k.　2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は，設計・建設規格PPC-3424(2)a.，b.及びc.を適用する。

以下，直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a)　算式

イ．　2つの穴の間にある主管の必要な断面積

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

ロ．　2つの穴の間にある主管の断面積

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

(b)　算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

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

(c)　算式

イ．　2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

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

A_r及びA_{rs}は1つの穴の計算に準じる。

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積

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

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

(d)　評価

穴の補強は，以下の条件を満足すれば十分である。

イ．　2つの穴の間にある主管の断面積（A_{so}）≧2つの穴の間にある主管の必要な断面積（A_{sr}）

ロ．　2つの穴の間にある補強に有効な面積（A_{oi}）≧2つの穴の補強に必要な面積の2分の1（A_{ri}）

ハ．　2つの穴の中心間の距離（L_s）≧2つの穴の径の平均値の1.5倍（L）

1.　溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3424(8)及び(9)を適用する。

ただし，C形に関しては評価すべき溶接部がないため，強度計算は行わない。

(a)　算式

イ．　溶接部の負うべき荷重

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

（ロ）　鏡板の場合

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

（ハ）　平板の場合

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

ロ．　溶接部の許容応力

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

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

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

（ロ）　鏡板又は平板の場合

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

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

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

ハ．　溶接部の破断強さ

（イ）　直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

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

（ロ）　鏡板の場合

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

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

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

（ハ） 平板の場合

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

$$W_{e2}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

$$W_{e3}=\pi\cdot d_H\cdot t_b\cdot S_{W3}/2$$

ニ． 予想される破断箇所の強さ

（イ） A形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=W_{e3}$ を通る強さ＝W_{e3}

$W_{ebp2}=W_{e1}+W_{e2}$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e2}$

（ロ） B形の管台形式の場合

$W_{ebp1}=W_{e1}+W_{e3}$ を通る強さ＝$W_{e1}+W_{e3}$

$W_{ebp2}=W_{e2}+W_{e4}$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e4}$

$W_{ebp3}=W_{e2}+W_{e5}$ を通る強さ＝$W_{e2}+W_{e5}$

(b) 評価

イ． 溶接部の負うべき荷重（W）が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし，溶接部の強度計算は行わない。

ロ． 溶接部の負うべき荷重（W）が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重（W）≦予想される破断箇所の強さ（W_{ebp1}，W_{ebp2}，W_{ebp3}）ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算，大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際，$\frac{S_b}{S_r}$，$\frac{S_b}{S}$ 又は $\frac{S_e}{S_r}$ が1を超える場合は，値を1として計算する。

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Ｆは，1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は，本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，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（f≧1のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）及び一体形フランジでｆの最小採用値は1であるが，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4より求まるｆが1未満となる場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^2\text{(ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の場合)}\right)$	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d_i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(=\frac{F}{h_o}\text{(一体形フランジの場合)}\right)$ $\left(=\frac{F_L}{h_o}\text{(ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の場合)}\right)$	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は表4による。）	—

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
F_L	F_L	ルーズ形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　図6又は表4による。）	—
f	f	ハブ応力修正係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は表4による。）	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H_D	H_D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
HG，H_G	H_G	ガスケット荷重	N
H_P	H_P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H_T	H_T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数（$= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$）	—
M_D	M_D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_0	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
m	m_g	ガスケット係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	—

設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
N	N	ガスケットの接触面の幅（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
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Ｐｅｑを加えたものである。	MPa
P_{eq}	P_{eq}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{eq}=\frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3}$	MPa
	P_o	最高使用圧力（内圧）	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
V	V	一体形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　図8又は表4による。）	—
V_L	V_L	ルーズ形フランジの係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５附属書3　図9又は表4による。）	—
W，W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2

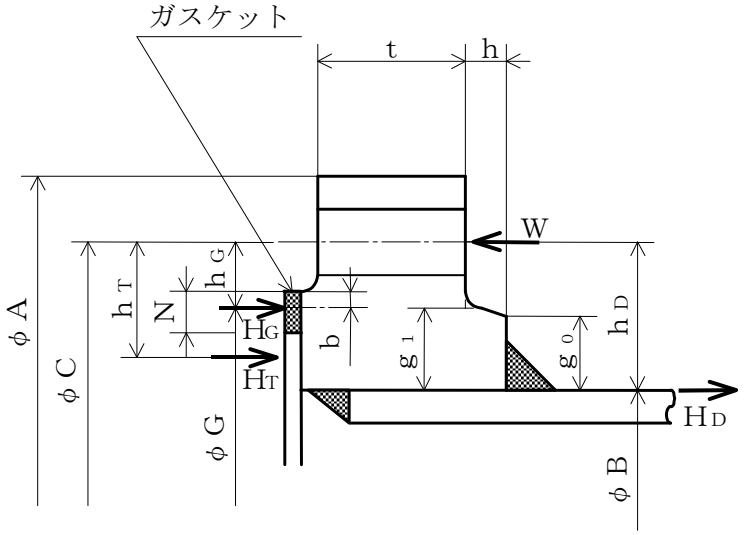
設計・建設規格又はＪＩＳの記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
π	π	円周率	—
σａ	σａ	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σｂ	σｂ	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7による。	MPa
σｆ	σｆａ	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5による。	MPa
σｆ	σｆｂ	最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
σＨ	σＨｇ	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σＨ	σＨｏ	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σＲ	σＲｇ	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σＲ	σＲｏ	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σＴ	σＴｇ	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σＴ	σＴｏ	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形　式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—

注記＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/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

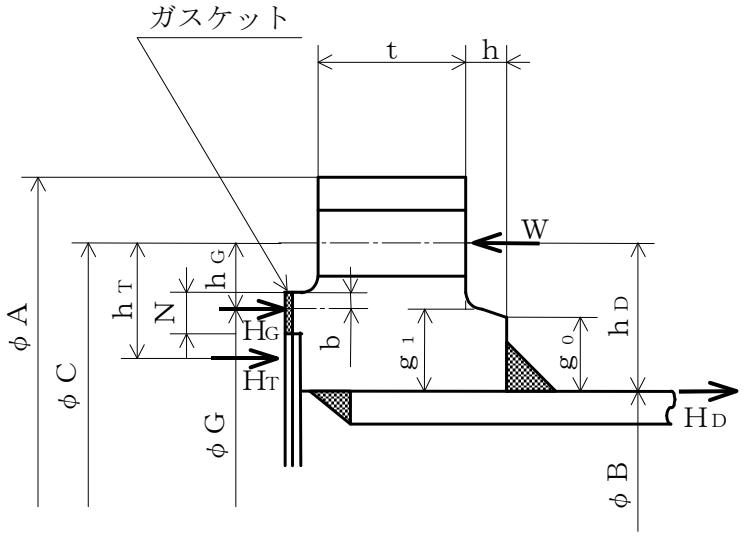
フランジの形式及び各部の記号は，図2－11～図2－15による。

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。

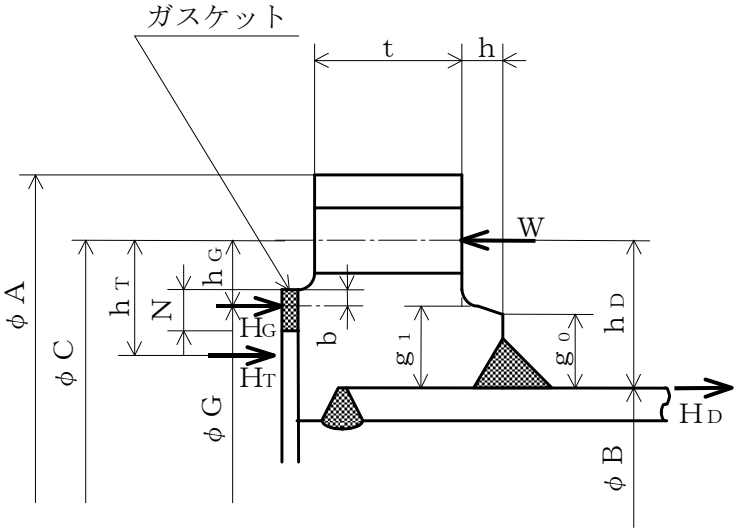
ＴＹＰＥ－1　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）4）



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）

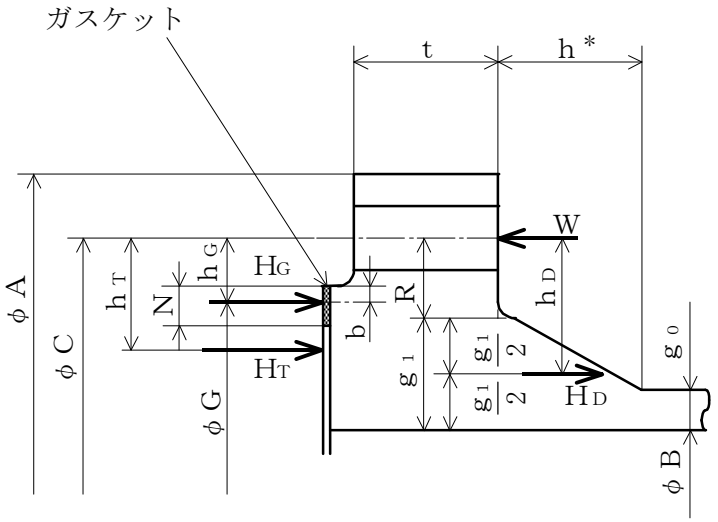


注：ハブのテーパが6°以下のときは，$g_0 = g_1$とする。

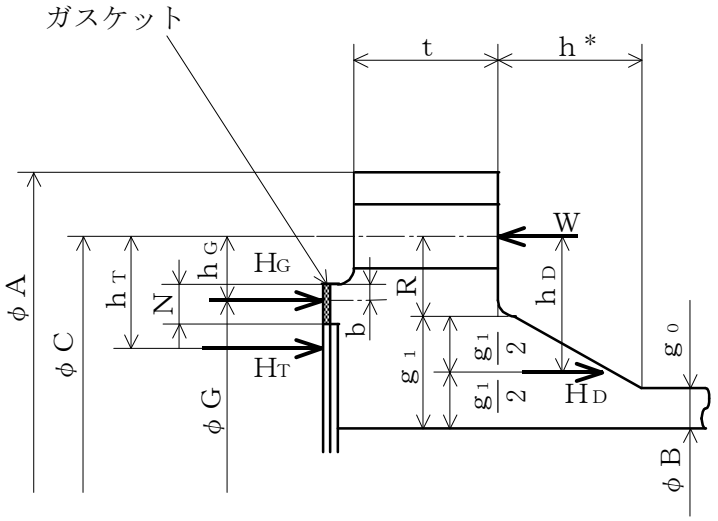
ＴＹＰＥ－3　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 a）5）

図2－12　ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）

K7 ① V-3-2-9(1) R1



ＴＹＰＥ－4　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)



ＴＹＰＥ－5　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）8)

注記＊：フランジに近いハブのこう配が1/3以下の場合は，ｈは下図に従う。

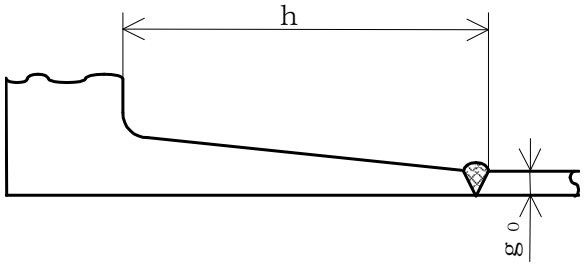
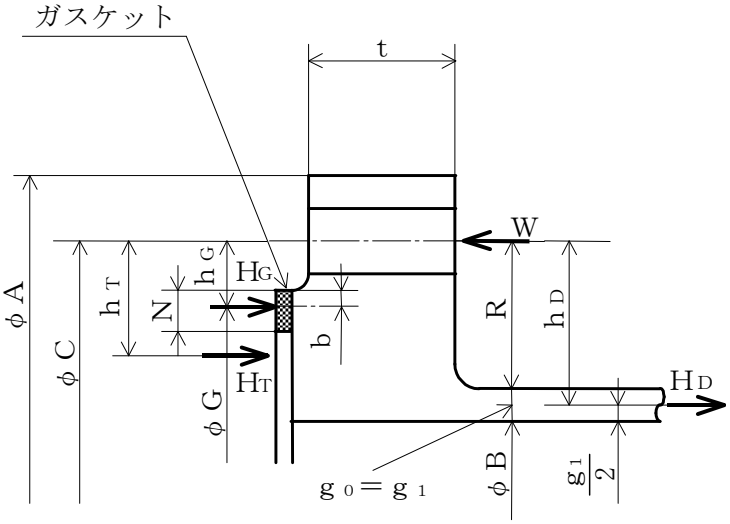


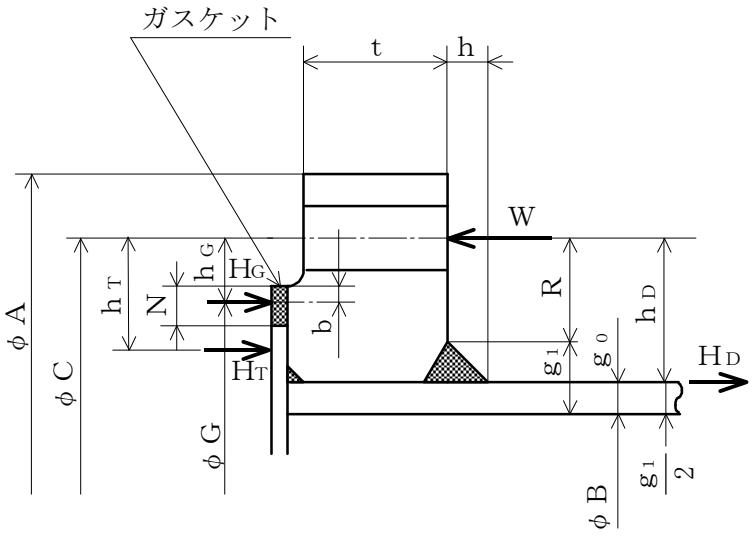
図2－13　一体形フランジ



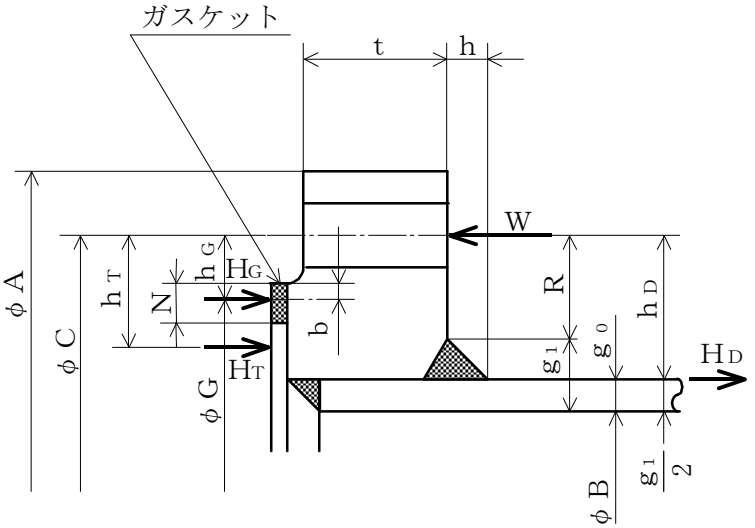
ＴＹＰＥ－6　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）6)

図2－14　一体形フランジ

K7 ① V-3-2-9(1) R1



ＴＹＰＥ－7　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 c）12）
（一体形フランジとして計算）



ＴＹＰＥ－8　ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 c）11）
（一体形フランジとして計算）

図2－15　任意形フランジ

(3)　内圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$W_{m1} = H + H_P$

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

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

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$W_o = W_{m1}$　（使用状態）

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

e.　使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

f.　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

ただし，

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

g.　使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

h.　ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

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

i.　一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a)　使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

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

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

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

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

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

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

ただし，

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

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

$$d=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2$$　（一体形フランジ）

$$d=\frac{U}{V_L}\cdot h_o\cdot g_0^2$$　（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

$$e=\frac{F}{h_o}$$　（一体形フランジ）

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

また，Ｂが20・g_1より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のＢの代わりにB_1を用いる。

j.　評価

内圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a)　ボルトの総有効断面積　　$A_m<A_b$

(b)　ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ho}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Hg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(c)　フランジの径方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ro}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Rg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(d)　フランジの周方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{To}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Tg}\leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

(4)　外圧計算手順及び算式

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mmの場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

ただし，b_oはＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。

b.　計算上必要なボルト荷重

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

c.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

d.　フランジの計算に用いるボルト荷重

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

e.　使用状態でフランジに加わる荷重

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

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

$$H_T = H - H_D$$

f.　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

ただし，

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

K7 ① V-3-2-9(1) R1

g.　使用状態でフランジに作用するモーメント

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

h.　ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i.　一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a)　使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_e \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

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

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

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

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

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

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

ただし，

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

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

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2$$　（一体形フランジ）

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_0^2$$　（ルーズ形フランジ（差込み形フランジ））

$$e = \frac{F}{h_o}$$　（一体形フランジ）

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

また，Ｂが$20 \cdot g_1$より小さいときは，ハブの軸方向の応力（σ_{Ho}）及びσ_{Hg}の計算式のＢの代わりにB_1を用いる。

j.　評価

外圧を受けるフランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

(a)　ボルトの総有効断面積　　$A_{m2} < A_b$

(b)　ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(c)　フランジの径方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(d)　フランジの周方向応力

使用状態にあっては　　$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　　$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.8　伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は，設計・建設規格　PPC-3416を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表　示　内　容	単　位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
c	c	継手部の層数	—
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	Nr	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(Nr)／許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算　式		—
	A	調整リング無しの場合	
	B	調整リング付きの場合	

(2)　継手部の形状

継手部の形状を図2－16に示す。

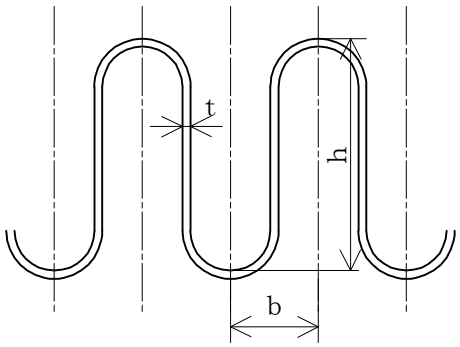


図2－16　継手部の形状

(3)　算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

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

ただし，材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a.　調整リングが付いていない場合の継手部応力

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

b.　調整リングが付いている場合の継手部応力

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

(4)　評価

実際の繰返し回数（N_r）と許容繰返し回数（N）の比（$U=N_r/N$）が$U\leqq 1$であれば，伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は，実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値（$U=\sum_i (N_{ri}/N_i)$）が$U\leqq 1$であれば，伸縮継手の強度は十分である。

K7 ① V-3-2-9(1) R1E

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，Ｖ-3-2-4「クラス２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

1.　管の基本板厚計算書の書式例

書式例を次頁以降に示す。

Ｖ-3-○-○-○　管の基本板厚計算書

K7 ① Ｖ-3-2-9(1)別紙２ R1

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-*「クラス＊機器の強度計算の基本方針」及びＶ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」並びにＶ-3-2-*「クラス＊管の強度計算方法」及びＶ-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，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

管No.	既設 or 新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	ＤＢクラス	ＳＡクラス	条件アップの有無	ＤＢ条件		ＳＡ条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																

・適用規格の選定

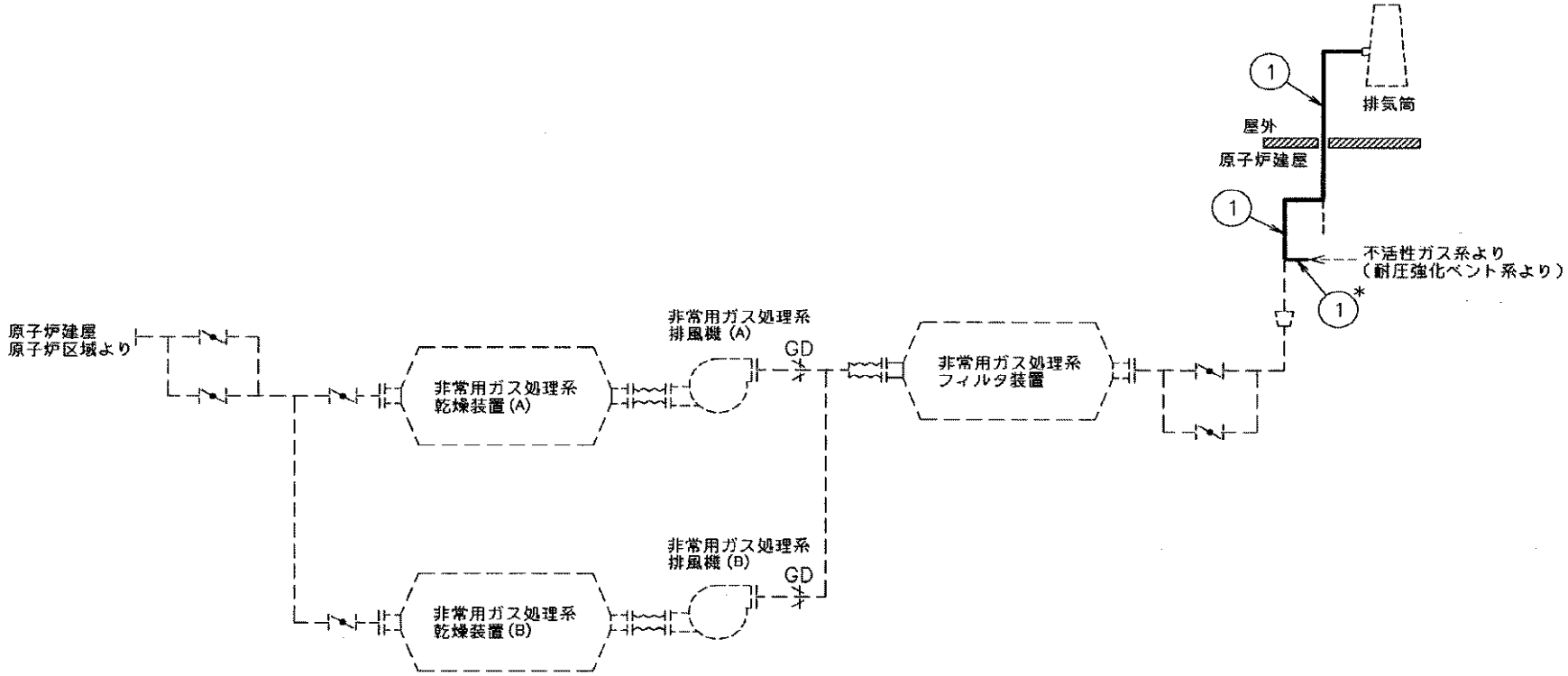
管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

目　　次

1.　概略系統図　……
2.　管の強度計算書　……
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　……

K7 ① V-3-2-9(1)別紙2 R1

1. 概略系統図



注記＊：管継手
非常用ガス処理系概略系統図

2.　管の強度計算書（重大事故等クラス２管）

設計・建設規格　PPC-3411　準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 Do (mm)	公称厚さ (mm)	材料	製法	クラス	S (MPa)	η	Q	ts (mm)	t (mm)	算式	tr (mm)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
11														

評価：ts ≧ tr，よって十分である。

管の穴と補強計算書（重大事故等クラス２管）

設計・建設規格　PPC-3420　準用

ＮＯ.		T2	Ａｒ	(mm²)	
形　　式			Ａ０	(mm²)	
最高使用圧力	(MPa)		Ａ１	(mm²)	
最高使用温度	(℃)		Ａ２	(mm²)	
主管と管台の角度	(°)		Ａ３	(mm²)	
			Ａ４	(mm²)	
主管材料			評価：　Ａ０　＞　Ａｒ よって十分である。		
Ｓｒ	(MPa)				
Ｄｏｒ	(mm)				
Ｄｉｒ	(mm)				
ｔｒｏ	(mm)		ｄｆｒＤ	(mm)	
Ｑｒ			ＬＡＤ	(mm)	
ｔｒ	(mm)		ＬＮＤ	(mm)	
ｔｒｒ	(mm)		ＡｒＤ	(mm²)	
η			ＡＯＤ	(mm²)	
			Ａ１Ｄ	(mm²)	
管台材料			Ａ２Ｄ	(mm²)	
Ｓｂ	(MPa)		Ａ３Ｄ	(mm²)	
Ｄｏｂ	(mm)		Ａ４Ｄ	(mm²)	
Ｄｉｂ	(mm)		評価：　ＡＯＤ　≧　ＡｒＤ よって十分である。		
ｔｂｎ	(mm)				
Ｑｂ					
ｔｂ	(mm)		Ｗ	(N)	
ｔｂｒ	(mm)		Ｆ１		——
			Ｆ２		——
強め材材料			Ｆ３		——
Ｓｅ	(MPa)		Ｓｗ１	(MPa)	——
Ｄｏｅ	(mm)		Ｓｗ２	(MPa)	——
ｔｅ	(mm)		Ｓｗ３	(MPa)	——
			Ｗｅ１	(N)	——
穴の径　ｄ	(mm)		Ｗｅ２	(N)	——
Ｋ			Ｗｅ３	(N)	——
ｄｆｒ	(mm)		Ｗｅ４	(N)	——
ＬＡ	(mm)		Ｗｅ５	(N)	——
ＬＮ	(mm)		Ｗｅｂｐ	(N)	——
Ｌ１	(mm)		Ｗｅｂｐ	(N)	——
Ｌ２	(mm)		Ｗｅｂｐ	(N)	——
			評価：Ｗ≦０ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

管の穴と補強計算書（クラス３配管）

設計・建設規格　PPD-3420

ＮＯ．		T3	Ａｒ　(mm²)	
形　　式			Ａ０　(mm²)	
最高使用圧力　(MPa)			Ａ１　(mm²)	
最高使用温度　(℃)			Ａ２　(mm²)	
主管と管台の角度　(°)			Ａ３　(mm²)	
			Ａ４　(mm²)	
主管材料			評価：　Ａ０　＞　Ａｒ よって十分である。	
Ｓｒ　(MPa)				
Ｄｏｒ　(mm)				
Ｄｉｒ　(mm)				
ｔｒｏ　(mm)			ｄｆｒＤ　(mm)	
Ｑｒ			ＬＡＤ　(mm)	
ｔｒ　(mm)			ＬＮＤ　(mm)	
ｔｒｒ　(mm)			ＡｒＤ　(mm²)	
η			ＡＯＤ　(mm²)	
			Ａ１Ｄ　(mm²)	
管台材料			Ａ２Ｄ　(mm²)	
Ｓｂ　(MPa)			Ａ３Ｄ　(mm²)	
Ｄｏｂ　(mm)			Ａ４Ｄ　(mm²)	
Ｄｉｂ　(mm)			評価：　ＡＯＤ　≧　ＡｒＤ よって十分である。	
ｔｂｎ　(mm)				
Ｑｂ				
ｔｂ　(mm)			Ｗ　(N)	
ｔｂｒ　(mm)			Ｆ１	——
			Ｆ２	——
強め材材料			Ｆ３	——
Ｓｅ　(MPa)			Ｓｗ１　(MPa)	——
Ｄｏｅ　(mm)			Ｓｗ２　(MPa)	——
ｔｅ　(mm)			Ｓｗ３　(MPa)	——
			Ｗｅ１　(N)	——
穴の径　ｄ　(mm)			Ｗｅ２　(N)	——
Ｋ			Ｗｅ３　(N)	——
ｄｆｒ　(mm)			Ｗｅ４　(N)	——
ＬＡ　(mm)			Ｗｅ５　(N)	——
ＬＮ　(mm)			Ｗｅｂｐ　(N)	——
Ｌ１　(mm)			Ｗｅｂｐ　(N)	——
Ｌ２　(mm)			Ｗｅｂｐ　(N)	——
			評価：Ｗ≦０ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

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.　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

胴側胴板（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

○○○に使用している○○○は，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し，同等であることを示す。

（材料記号を記載）

(1)　機械的強度

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

(2)　化学的成分

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

(3)　評価結果

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

（材料記号を記載）

既工認図書を呼び出す例（1／2）

Ｖ-3-○-○-○　管の基本板厚計算書

K7 ① Ｖ-3-2-9(1)別紙２ R1

1.　概要

本計算書については，重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが，設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから，評価結果については平成**年**月**日付け**資庁第****号にて認可された工事計画の添付書類Ⅳ-*-*-*「管の基本板厚計算書」による。

(2)　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

目　　次

1.　一般事項 ･･･ 1
1.1　概要 ･･･ 1
1.2　適用規格 ･･･ 1
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 ･････････････････････････ 2
2.1　計算方針 ･･･ 2
2.2　計算方法 ･･･ 2
3.　計算書の構成 ･･･ 7
3.1　管の応力計算書 ･･･ 7

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管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格

適用規格を以下に示す。

(1)　実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（原子力規制委員会 2013 年 6 月）（以下「技術基準規則」という。）

(2)　実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（原子力規制委員会 2013 年 6 月）（以下「技術基準規則解釈」という。）

(3)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

(4)　発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第５０１号）（以下「告示第５０１号」という。）

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

2.1　計算方針

重大事故等対処設備の材料及び構造は技術基準規則第 55 条に規定されており，技術基準規則解釈第 55 条第 7 項の規定に基づき，技術基準規則第 17 条の設計基準対象施設の規定を準用する。

重大事故等クラス２管であってクラス２管の応力計算として，設計・建設規格　PPC-3520 の規定に基づく一次応力評価を実施する。加えて，施設時に適用された規格が告示第５０１号の範囲については，告示第５０１号第 56 条第 1 号の規定に基づく一次応力評価を実施する。なお，設計・建設規格　PPC-3530 または告示第５０１号第 56 条第 2 号に規定の一次＋二次応力制限は疲労破壊防止のための規定であるが，重大事故等事象は運転状態Ⅳを超える事象であり，繰返し発生することがなく，疲労に有意な影響を及ぼすことがないことから，一次＋二次応力評価を省略する。また，既工認評価結果が有り，かつ評価条件（最高使用圧力及び最高使用温度）に変更がない場合は，既工認の確認による評価を実施する。

2.2　計算方法

2.2.1　解析による計算

応力計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては，スペクトルモーダル解析法を用いる。なお，解析コードは，「ＨＩＳＡＰ」又は「ＮｕＰＩＡＳ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ｖ-3　別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.2.1.1　解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては，以下を考慮する。

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

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

(3)　同一モデルに含める範囲は，原則としてアンカ点からアンカ点までとする。

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

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

(6)　配管の支持構造物は，以下の境界条件として扱うことを基本とする。

a.　レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。

b.　スナッバ：拘束方向の剛性を考慮する。

c.　アンカ：6 方向を固定と扱う。

d.　ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。

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

2.2.1.2　解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

(1)　荷重条件

a.　内圧

b.　機械的荷重（自重及びその他の長期的荷重）

c.　機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）

2.2.2　計算式

2.2.2.1　記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B_1，B_2，B_{2b}，B_{2r}	—	設計・建設規格　PPB-3810 及び告示第５０１号第 48 条に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）
i_1	—	告示第５０１号第 57 条に規定する応力係数又は 1.33 のいずれか大きい方の値
D_0	mm	管の外径
M_a	N･mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_{ab}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_{ar}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_b	N･mm	管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_{bb}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_{br}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る）により生じるモーメント
P	MPa	最高使用圧力
P_m	MPa	内面に受ける最高の圧力
S_h	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図　Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_{prm}	MPa	一次応力
t	mm	管の厚さ
Z	mm^3	管の断面係数
Z_b	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数

2.2.2.2　応力計算

(1)　設計・建設規格　PPC-3500 による評価

a.　一次応力（設計・建設規格　PPC-3520）

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

イ.　管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ.　イ.以外の管

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

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

イ.　管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ.　イ.以外の管

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

(2)　告示第５０１号第 56 条から第 57 条までの規定に基づく評価

a.　一次応力（第 56 条第 1 号）

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

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

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

$$S_{prm}=P_m\cdot D_0/(4\cdot t)+0.75\cdot i_1\cdot(M_a+M_b)/Z\leqq 1.2\cdot S_h$$

2.2.3　荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2－1　荷重の組合せ

管クラス	荷重の組合せ	状態
重大事故等 クラス２管	Ｐ＋Ｄ	供用状態Ｅ 許容応力状態Ｖ
	Ｐ＋Ｍ＋Ｄ	

表 2－1 中の記号

Ｐ：内圧による荷重

Ｍ：逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重

Ｄ：自重その他の長期的荷重

表 2－2　許容応力（設計・建設規格 PPC-3520）

状態	一次応力 （曲げ応力を含む。）
供用状態Ｅ＊	1.5・S_h
	1.8・S_h

注記＊：重大事故等時の状態。設計・建設規格の供用状態Ａ，Ｂでの許容応力を用いる。

表 2－3　許容応力（告示第５０１号第 56 条）

状態	一次応力 （曲げ応力を含む。）
許容応力状態Ｖ＊	S_h
	1.2・S_h

注記＊：重大事故等時の状態。告示５０１号の許容応力状態Ⅰ，Ⅱでの許容応力を用いる。

2.2.4　計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－4に示すとおりである。

表2－4　表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
計算条件	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1
	温度	℃	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N･mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦	―	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
解析結果及び評価	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点第3位表示とする。また，静水頭は「静水頭」と記載する。

＊2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。また，告示別表に記載された許容引張応力は，各温度の値を SI 単位に換算し，SI 単位に換算した値の小数点以下第 1 位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3.　計算書の構成

3.1　管の応力計算書

(1)　概要

本計算方法に基づき，管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(2)　概略系統図

工事計画書記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

(3)　鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。

(4)　計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－1～応－5 に示す。

(5)　計算結果

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－6－1～応－6－2 に示す。

(6)　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。このため，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－7 に示す。

・FORMAT 応－1：

計算条件

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

鳥瞰図番号

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

・FORMAT 応－2：

配管の付加質量，フランジ部の質量，弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

・FORMAT 応－3：

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応－4：

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N･mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z

・FORMAT 応－5：

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

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

注記＊：評価に使用しない許容応力については「―」と記載する。

・FORMAT 応－6－1：

計算結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２管

設計・建設規格　PPC-3520 の規定に基づく評価

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

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

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

・FORMAT 応－6－2：

計算結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２管

告示第５０１号第 56 条第１号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}*1 S_{prm}*2	許容応力 S_h 1.2・S_h
鳥瞰図番号		S_{prm}*1 S_{prm}*2	Max Max	S_h 1.2・S_h

注記＊1：告示第５０１号第 56 条第１号イに基づき計算した一次応力を示す。

なお，保守的な評価となる告示第５０１号第 56 条第１号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

＊2：告示第５０１号第 56 条第１号ロに基づき計算した一次応力を示す。

・FORMAT 応－7：

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２管であってクラス２管）

No.	配管モデル	供用状態Ｅ				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	1	**	***	*.**	—
2	***-2	2	**	***	*.**	—
3	***-3	3	**	***	*.**	—
4	***-4	4	**	***	*.**	○
5	***-5	5	**	***	*.**	—

(3)　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

目　　次

1.　一般事項 ･･･ 1
1.1　概要 ･･･ 3
1.2　計算精度と数値の丸め方 ･･･ 3
2.　ダクトの強度計算方法 ･･･ 3
2.1　記号の定義 ･･ 3
2.2　強度計算方法 ･･ 9
3.　ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価 ･････････････････ 18
3.1　記号の定義 ･･･ 18
3.2　強度計算方法 ･･ 18

1.　一般事項

1.1　概要

本書は，重大事故等クラス２管が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する「発電用原子力設備規格　設計･建設規格（2005年版（2007年追補版含む））＜第Ｉ編　軽水炉規格＞ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という）の規定に基づく強度計算方法について説明するものである。

重大事故等クラス２管の強度計算方法及び計算式については，設計・建設規格クラス２管の規定に基づくものとする。

設計・建設規格クラス２管の規定によらない場合の評価方法として，機械工学便覧の規定を用いる。ただし，設計・建設規格に計算式の規定がない応力計算については，「日本工業規格」（以下「ＪＩＳ」という）を準用する。

設計・建設規格の計算式による評価を実施するが，応力解析による評価を用いる場合は，一次応力強さを設計応力強さ以下とすることで，設備の全体的な変形が弾性域内であることを確認する。

1.2　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1－1に示すとおりとする。

表1－1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単　位	処　理　桁	処理方法	表　示　桁
圧力	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
	最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位*1
温度		℃	—	—	整数位
単位面積当りの質量		Kg/mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
ヤング率		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*3
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*4
	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
	ねじの有効径	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	ねじの内径	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
ねじ山の数		—	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
変位量		mm	小数点以下第3位	四捨五入	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*3
力		N	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

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計降伏点は，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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

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

2. ダクトの強度計算方法

円形ダクト，矩形ダクトの強度評価式はクラス２管には定められていないことから，設計・建設規格を準用した評価式，又は設計・建設規格に規定されていない評価式を用いた強度計算方法並びに計算式について説明する。

2.1 記号の定義

ダクトの厚さ計算，フランジの応力計算，ダクトの応力計算に用いる記号については，次のとおりである。

(1) ダクトの厚さ計算に使用するもの

a. 円形のダクト

	記 号	単 位	定　　義
ダクトの厚さ計算に使用するもの	B	—	設計・建設規格　付録材料図表　Part7　図1～図20により求めた値
	D_o	mm	ダクト外径
	P	MPa	最高使用圧力
	P_e	MPa	外面に受ける最高の圧力
	S	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*1
	t	mm	ダクトの計算上必要な厚さ
	η	—	長手継手の効率*2

注記＊1：設計・建設規格　付録材料図表　Part5に規定がない場合は，Ｓ値は5/8Ｓｙと1/4Ｓｕの小さい方の値とし，Ｓｙ，ＳｕはＪＩＳに記載の値とする。

＊2：継手の効率については，設計・建設規格　PVC-3130に定めるところによる。

b.　矩形のダクト

	記 号	単 位	定　　義
ダクトの厚さ計算に使用するもの	a	mm	ダクト長辺寸法
	c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
	D_p	kg/mm^2	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
	E	MPa	ヤング率
	g	m/s^2	重力加速度（=9.80665）
	P	MPa	最高使用圧力
	S	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	t	mm	ダクトの計算上必要な厚さ
	ν	―	ポアソン比
	δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト板の最大変位量

注記＊：設計・建設規格　付録材料図表　Part5に規定がない場合は，Ｓ値は5/8Ｓｙと1/4Ｓｕの小さい方の値とし，Ｓｙ，ＳｕはＪＩＳに記載の値とする。

(2)　フランジの応力計算に使用するもの

a.　円形のダクト

	記 号	単 位	定　　義
ダクトのフランジ・ボルトの応力計算に使用するもの	A_b	mm^2	ボルト総有効断面積
	B	mm	フランジ内径（図2－1による。）
	C	mm	ボルト穴中心円直径（図2－1による。）
	G	mm	ガスケット反力円直径
	G_0	mm	ガスケット外径又はフランジ外径のいずれか小さい方の値（図2－1による。）
	H	N	内圧力によってフランジに加わる全荷重
	H_D	N	内圧力によってフランジ内径面に加わる荷重（図2－1による。）
	H_P	N	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力（図2－1による。）
	H_R	N	平衡反力（図2－1による。）
	H_T	N	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差（図2－1による。）
	M_0	N･mm	使用状態でフランジに作用する全モーメント
	P	MPa	最高使用圧力
	W_m	N	使用状態のボルト荷重（図2－1による。）
	b”	mm	使用状態におけるガスケット座有効幅　　2b” ＝ 5
	d_b	mm	ボルトねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径
	d_h	mm	ボルト穴直径
	h_D	mm	ボルト穴中心円からH_D作用点までの半径方向の距離（図2－1による。）
	h_P	mm	ボルト穴中心円からH_P作用点までの半径方向の距離（図2－1による。）
	h_R	mm	ボルト穴中心円からH_R作用点までの半径方向の距離（図2－1による。）
	h_T	mm	ボルト穴中心円からH_T作用点までの半径方向の距離（図2－1による。）
	m	―	ガスケット係数
	n	本	ボルト本数
	t	mm	フランジ厚さ（図2－1による。）
	σ_b	MPa	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）
	σ_f	MPa	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）
	σ_{max}	MPa	使用状態でフランジに作用する発生応力
	σ'_{max}	MPa	使用状態でボルトに作用する発生応力

b.　矩形のダクト

	記 号	単 位	定　　義
ダクトのフランジ・ボルトの応力計算に使用するもの	A_b	mm^2	ボルト総有効断面積
	B_1	mm	フランジ内面幅（長辺側）（図2－2による。）
	B_2	mm	フランジ内面幅（短辺側）（図2－2による。）
	C_1	mm	ボルト穴間の距離（長辺側）（図2－2による。）
	C_2	mm	ボルト穴間の距離（短辺側）（図2－2による。）
	G_0	mm	ガスケット外面幅（長辺側）又はフランジ外面幅（長辺側）のいずれか小さい方の値（図2－2による。）
	G_1	mm	ガスケット反力距離（長辺側）
	G_2	mm	ガスケット反力距離（短辺側）
	H	N	内圧力によってフランジに加わる全荷重
	H_D	N	内圧力によってフランジ内面に加わる荷重（図2－2による。）
	H_P	N	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力（図2－2による。）
	H_R	N	平衡反力（図2－2による。）
	H_T	N	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジ内面に加わる荷重との差（図2－2による。）
	M_0	N･mm	使用状態でフランジに作用する全モーメント
	P	MPa	最高使用圧力
	W_m	N	使用状態のボルト荷重（図2－2による。）
	b”	mm	使用状態におけるガスケット座有効幅　　2b” ＝ 5
	d_b	mm	ボルトねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径
	d_h	mm	ボルト穴直径
	h_D	mm	ボルト穴中心からH_D作用点までの距離（図2－2による。）
	h_P	mm	ボルト穴中心からH_P作用点までの距離（図2－2による。）
	h_R	mm	ボルト穴中心からH_R作用点までの距離（図2－2による。）
	h_T	mm	ボルト穴中心からH_T作用点までの距離（図2－2による。）
	m	―	ガスケット係数
	n	本	ボルト本数
	t	mm	フランジ厚さ（図2－2による。）
	σ_b	MPa	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）
	σ_f	MPa	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）
	σ_{max}	MPa	使用状態でフランジに作用する発生応力
	σ'_{max}	MPa	使用状態でボルトに作用する発生応力

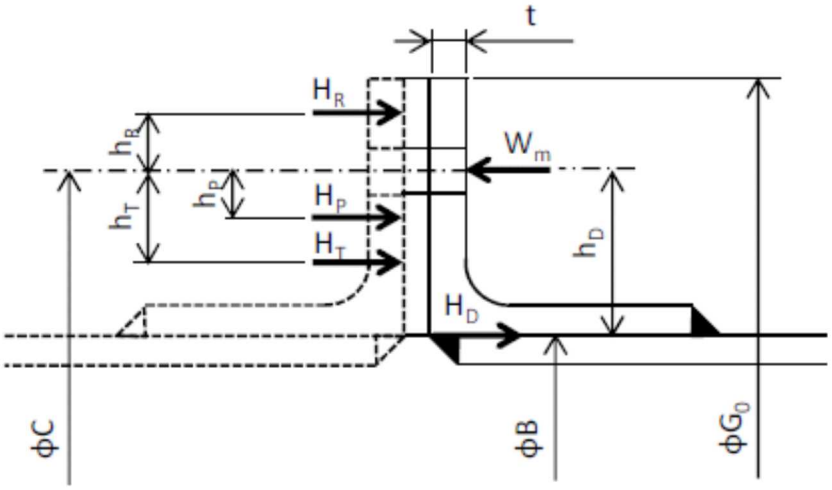


図2－1　フランジの寸法（円形ダクト）

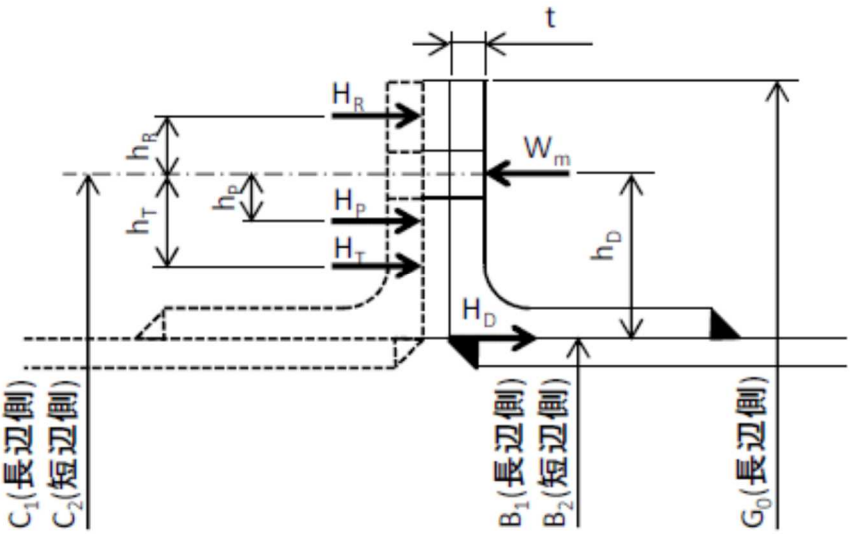


図2－2　フランジの寸法（矩形ダクト）

(3)　ダクトの応力計算に使用するもの

a.　円形のダクト

	記 号	単 位	定　　義
ダクトの応力計算に使用するもの	B_1 B_2	—	設計・建設規格　PPB-3810に規定する応力係数
	D_0	mm	ダクト外径
	M_a	N・mm	ダクトの機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生じるモーメント
	P	MPa	最高使用圧力
	S_h	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	S_{prm}	MPa	一次応力
	t	mm	ダクトの厚さ
	Z	mm^3	ダクトの断面係数

注記＊：設計・建設規格　付録材料図表　Part5に規定がない場合は，Ｓ値は5/8Ｓｙと1/4Ｓｕの小さい方の値とし，Ｓｙ，ＳｕはＪＩＳに記載の値とする。

b.　矩形のダクト

	記 号	単　位	定　　義
ダクトの応力計算に使用するもの	a	mm	ダクト長辺寸法
	c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
	D_p	kg/mm^2	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
	E	MPa	ヤング率
	g	m/s^2	重力加速度（=9.80665）
	P	MPa	最高使用圧力
	S_h	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	S_{prm}	MPa	一次応力
	t	mm	ダクトの厚さ
	ν	—	ポアソン比
	δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト板の最大変位量

注記＊：設計・建設規格　付録材料図表　Part5に規定がない場合は，Ｓ値は5/8Ｓｙと1/4Ｓｕの小さい方の値とし，Ｓｙ，ＳｕはＪＩＳに記載の値とする。

2.2　強度計算方法

円形のダクト，矩形のダクトの計算方法並びに計算式を示す。

材料の許容応力は，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表1，表5，表7に応じた値を用いる。

設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表1，表5，表7記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は設計・建設規格又は機械工学便覧に基づき，適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(1)　応力の制限（設計・建設規格　PC-3111準用）

ダクトの耐圧設計は設計・建設規格　PPC-3400の規定に従って行う。

(2)　ダクトの厚さの計算（設計・建設規格　PPC-3411準用及び機械工学便覧（設計・建設規格 PPC-3411参考））

ダクトの厚さは，次の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

なお，内部流体が空気であり，かつ，耐腐食性を考慮し内面塗装をほどこしている場合は，腐れしろの考慮は不要であることから，炭素鋼鋼管の必要最小厚さは適用しない。

a.　円形のダクト

円形のダクトは薄肉円筒構造であり，設計・建設規格　PPC-3411に規定されている下式を用いて，計算上必要な厚さを求める。

なお，ダクトの外面に圧力を受けるものにあっては，外面圧に対する厚さ計算を行う。

区　　分	適用規格番号	計　　算　　式
内圧を受けるダクト	設計・建設規格 PPC-3411(1)準用	$t=\dfrac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$
外圧を受けるダクト	設計・建設規格 PPC-3411(2)準用	$t=\dfrac{3 \cdot P_e \cdot D_0}{4 \cdot B}$
炭素鋼鋼管	設計・建設規格 PPC-3411(3)準用	必要最小厚さを 満足すること

K7 ① V-3-2-9(3) R1

b.　矩形のダクト

矩形のダクトの任意のダクト板面に着目すると，ダクト板面は両サイドを他の2つの側面のダクト板で，軸方向（流れ方向）を接続部材（及び補強部材）で支持された長方形の板と見なすことができる。ここで，両サイドの2つの側面のダクト板は支持しているダクト板面（評価対象面）に作用する圧力及び自重（面外荷重）を面内で受けている。また，接続部材（及び補強部材）は支持しているダクト板面（評価対象面）に取り付けられており，本部位は評価対象面本体よりも面外荷重に対する剛性が増強されている。したがって，評価対象面は，面外に等分布荷重を受ける4辺単純支持の長方形板と見なせ，長方形板の大たわみ式（出典：機械工学便覧）を用いて，計算上必要な厚さを求めることができる。（図2－3参照）

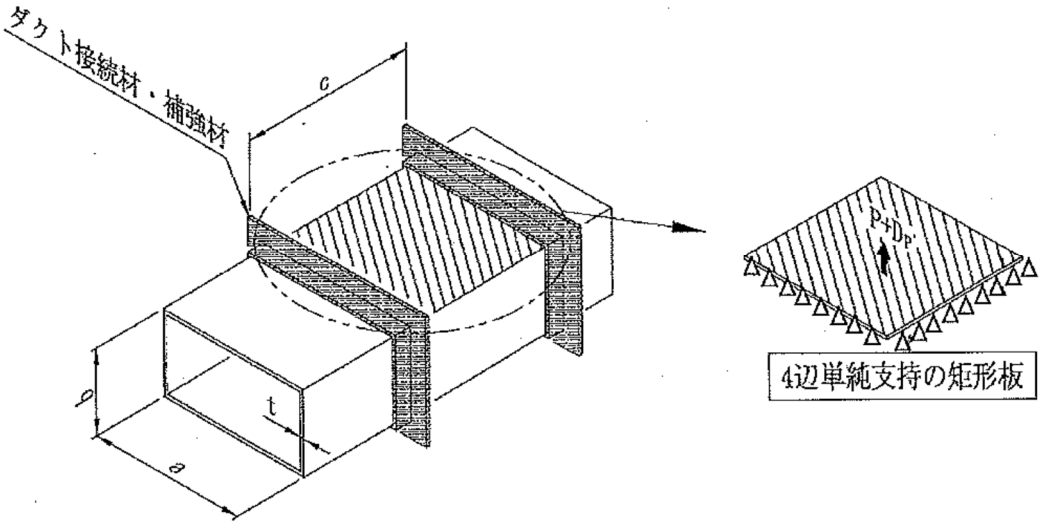


図2－3　板材の面外荷重に対する評価モデル

区　分	適用規格番号	計　　算　　式
矩形のダクト	機械工学便覧 設計・建設規格 PPC-3411(1) 参考	$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E\ t^4}(P+gD_P)=\frac{4}{3}\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{c^2}\right)^2\frac{\delta_{max}}{t}+\left(\frac{4\nu}{a^2c^2}+(3-\nu^2)\left(\frac{1}{a^4}+\frac{1}{c^4}\right)\right)\left(\frac{\delta_{max}}{t}\right)^3$ …（2．1） $S=\frac{\pi^2 E\ \delta_{max}}{8(1-\nu^2)}\left(\frac{(2-\nu^2)\delta_{max}+4t}{a^2}+\frac{\nu(\delta_{max}+4t)}{c^2}\right)$ …（2．2）

（2．1）式及び（2．2）式を解いて，両式を満足するδｍａｘ及びｔを求める。このときのｔを長方形のダクトの計算上必要な厚さと定義する。なお，縦弾性係数は原子力設備の技術基準　別表第11の値を用いて算出し，ポアソン比を0.3として計算を行う。

(3)　フランジ（設計・建設規格　PPC-3414準用）

a.　円形のダクト

円形のアングルフランジ構造であり，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造 － 一般事項」に規定するルーズ形フランジと断面形状が類似しており，同様な寸法の取り方が可能であるため，図2－4「フランジ型式」に示すルーズ形フランジと見なして，設計・建設規格　PPC-3414(2)に従い，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造 － 一般事項」に規定するフランジの応力計算に準じて応力を評価し，必要な強度を有することを確認する。

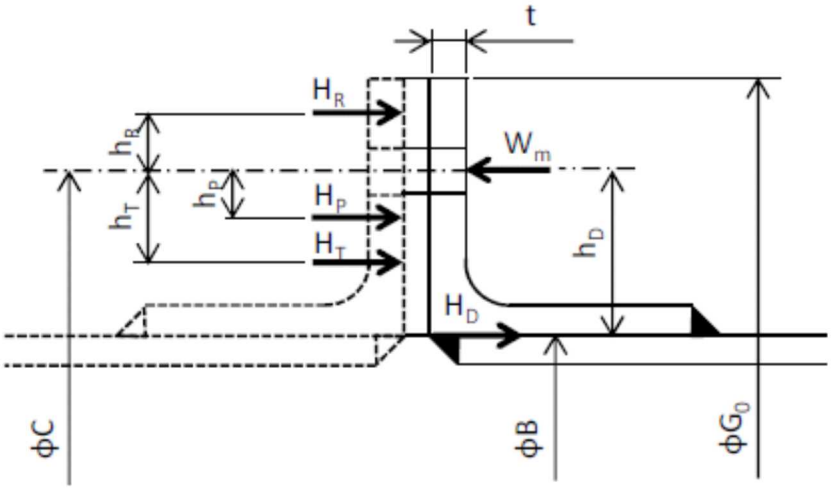


図2－4　フランジ型式　（円形アングルフランジ）

K7 ① V-3-2-9(3) R1

項　　目		計　　算　　式
計算上必要なボルト荷重	使用状態におけるガスケット座有効幅	$b'' = \frac{5}{2}$
	ガスケット反力円直径	$G = C - (d_h + 2 \cdot b'')$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重	$H = \frac{\pi}{4}\left(C - d_h\right)^2 \cdot P$
	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G \cdot m \cdot P$
	平衡反力	$H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_P \cdot h_P}{h_R}$
	使用状態のボルト荷重	$W_m = H + H_P + H_R$
ボルトの発生応力	ボルト総有効断面積	$A_b = n \frac{\pi}{4} d_b^2$
	使用状態でボルトに作用する発生応力	$\sigma'_{max} = \frac{W_m}{A_b}$
	評　　価	σ'_{max} が σ_b 以下となることを確認する。

項　　目		計　　算　　式
フランジに作用するモーメント	内圧力によってフランジ内径面に加わる荷重	$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 \cdot P$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差	$H_T = H - H_D$
	ボルト穴中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	$h_D = \frac{C - B}{2}$
	ボルト穴中心円からH_P作用点までの半径方向の距離	$h_P = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$
	ボルト穴中心円からH_R作用点までの半径方向の距離	$h_R = \frac{G_0 - (C + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$
	ボルト穴中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	$h_T = \frac{(C + d_h + 2 \cdot b'') - B}{4}$
	使用状態でフランジに作用する全モーメント	$M_0 = H_R \cdot h_R$
フランジに生じる応力	使用状態でフランジに作用する発生応力	$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot M_0}{t^2(\pi \cdot C - n \cdot d_h)}$
	評　　価	σ_{max} が$1.5\sigma_f$以下となることを確認する。

b.　矩形のダクト

矩形のアングルフランジ構造であり，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造 － 一般事項」に規定するルーズ形フランジと断面形状が類似しており，矩形と円形の形状の違いを考慮することにより，同様な寸法の取り方が可能であるため，図2－5「フランジ型式」に示すルーズ形フランジに準じた形状にモデル化し，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)「圧力容器の構造 － 一般事項」に規定するフランジの応力計算に準じて応力を評価し，必要な強度を有することを確認する。

なお，フランジについては，図2－5「フランジ型式」に示す断面形状が等ボルト間隔で直線上に配列されているものとして，フランジに作用する曲げ応力を評価し，必要な強度を有することを確認する。

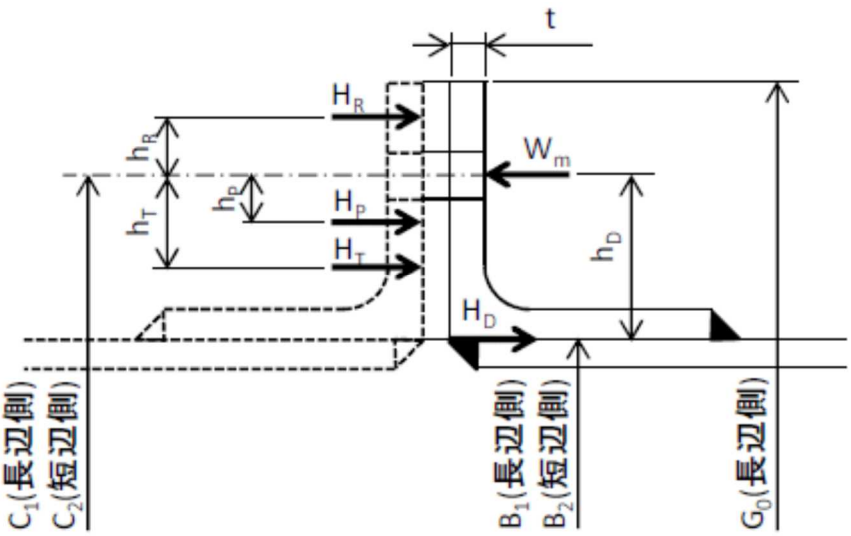


図2－5　フランジ型式　（矩形アングルフランジ）

項　　目		計　　算　　式
計算上必要なボルト荷重	使用状態におけるガスケット座有効幅	$b'' = \frac{5}{2}$
	ガスケット反力距離（長辺側）	$G_1 = C_1 - (d_h + 2 \cdot b'')$
	ガスケット反力距離（短辺側）	$G_2 = C_2 - (d_h + 2 \cdot b'')$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重	$H = (C_1 - d_h) \cdot (C_2 - d_h) \cdot P$
	内圧力によってフランジ内面に加わる荷重	$H_D = B_1 \cdot B_2 \cdot P$
	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	$H_P = 4 \cdot (G_1 + G_2) \cdot b'' \cdot m \cdot P$
	平衡反力	$H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_P \cdot h_P}{h_R}$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジ内面に加わる荷重との差	$H_T = H - H_D$
	ボルト穴中心からH_D作用点までの距離	$h_D = \frac{C_1 - B_1}{2}$
	ボルト穴中心からH_P作用点までの距離	$h_P = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$
	ボルト穴中心からH_R作用点までの距離	$h_R = \frac{G_0 - (C_1 + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$
	ボルト穴中心からH_T作用点までの距離	$h_T = \frac{(C_1 + d_h + 2 \cdot b'') - B_1}{4}$
	使用状態のボルト荷重	$W_m = H + H_P + H_R$
ボルトの発生応力	ボルト総有効断面積	$A_b = n \frac{\pi}{4} d_b^2$
	使用状態でボルトに作用する発生応力	$\sigma'_{max} = \frac{W_m}{A_b}$
	評　　価	σ'_{max}がσ_b以下となることを確認する。

項　　目		計　　算　　式
フランジに作用するモーメント	使用状態でフランジに作用する全モーメント	$M_0 = H_R \cdot h_R$
フランジに生じる応力	使用状態でフランジに作用する発生応力	$\sigma_{max} = \dfrac{6 \cdot M_0}{t^2 \cdot (2 \cdot (C_1 + C_2) - n \cdot d_h)}$
	評　　価	σ_{max}が$1.5\sigma_f$以下となることを確認する。

(4)　穴の補強計算（設計・建設規格　PPC-3420準用）

穴の補強計算は，管の計算上必要な厚さに相当する穴の欠損面積（補強に必要な面積）を管の計算上必要な厚さを上回る部分の面積（補強に有効な面積）が補充していることを確認するものである。したがって，管の計算上必要な厚さが実際の管厚さに対して小さければ，補強に有効な面積が補強に必要な面積を下回ることはない。

中央制御室換気系ダクトの圧力は最も高くなる箇所でも0.00275MPaと微圧であり，一般に，前述する(2)項にて定義する計算上必要な厚さは，小さい値となる。このため，補強に必要な面積も小さい値となり，補強に有効な面積を上回ることはない。したがって，中央制御室換気系のダクトの厚さが計算上必要な厚さに比べて，余裕があることを確認することによって，補強に有効な面積が補強に必要な面積よりも大きくなることを確認できるので，穴の補強計算は省略する。

(5)　応力計算（設計・建設規格　PPC-3500，3700及び3800準用）

縦弾性係数は原子力設備の技術基準　別表第11の値を用いて算出し，ポアソン比を0.3として以下の応力計算を行う。

a.　一次応力（設計・建設規格　PPC-3510準用）

(a)　円形のダクト

円形のダクトは薄肉円筒構造であり，一次応力は，設計・建設規格　PPC-3520に規定されている次の計算式により求められる値が，最高使用温度における材料の許容応力を超えないことを確認する。機械的荷重（短期的）を生じる逃し弁等が設置されていないため，設計・建設規格　PPC-3520(2)による応力計算は行わない。

適用規格番号	計　　算　　式	許容応力
設計・建設規格 PPC-3520(1) b 準用	管台及び突合せ溶接式ティー以外の管 $S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2t} + \frac{B_2 \cdot M_a}{Z}$	1.5Ｓｈ

(b)　矩形のダクト

矩形のダクトの任意のダクト板面に着目すると，ダクト板面は両サイドを他の2つの側面のダクト板で，軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板と見なすことができる。したがって，次の計算式（等分布荷重を受ける4辺単純支持の長方形板の大たわみ式（出典：機械工学便覧；前述する2.2（2）b.項（厚さ計算）の式と同一））により求められる応力値が，最高使用温度における材料の許容応力を超えないことを確認する。

適用規格番号	計　　算　　式	許容応力
機械工学便覧 ［設計・建設規格 PPC-3520(1)b 参考］	$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4}(P+gD_P) = \frac{4}{3}\left(\frac{1}{a^2}+\frac{1}{c^2}\right)^2 \frac{\delta_{max}}{t} + \left(\frac{4\nu}{a^2c^2}+(3-\nu^2)\left(\frac{1}{a^4}+\frac{1}{c^4}\right)\right)\left(\frac{\delta_{max}}{t}\right)^3$ …（2．3） $S_{prm} = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)}\left(\frac{(2-\nu^2)\delta_{max}+4t}{a^2}+\frac{\nu(\delta_{max}+4t)}{c^2}\right)$ …（2．4）	1.5Ｓｈ

（2．3）式及び（2．4）式を解いて，両式を満足するδｍａｘ及びＳｐｒｍを求める。このときのＳｐｒｍを矩形の一次応力と定義する。

3.　ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

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

3.1　記号の定義

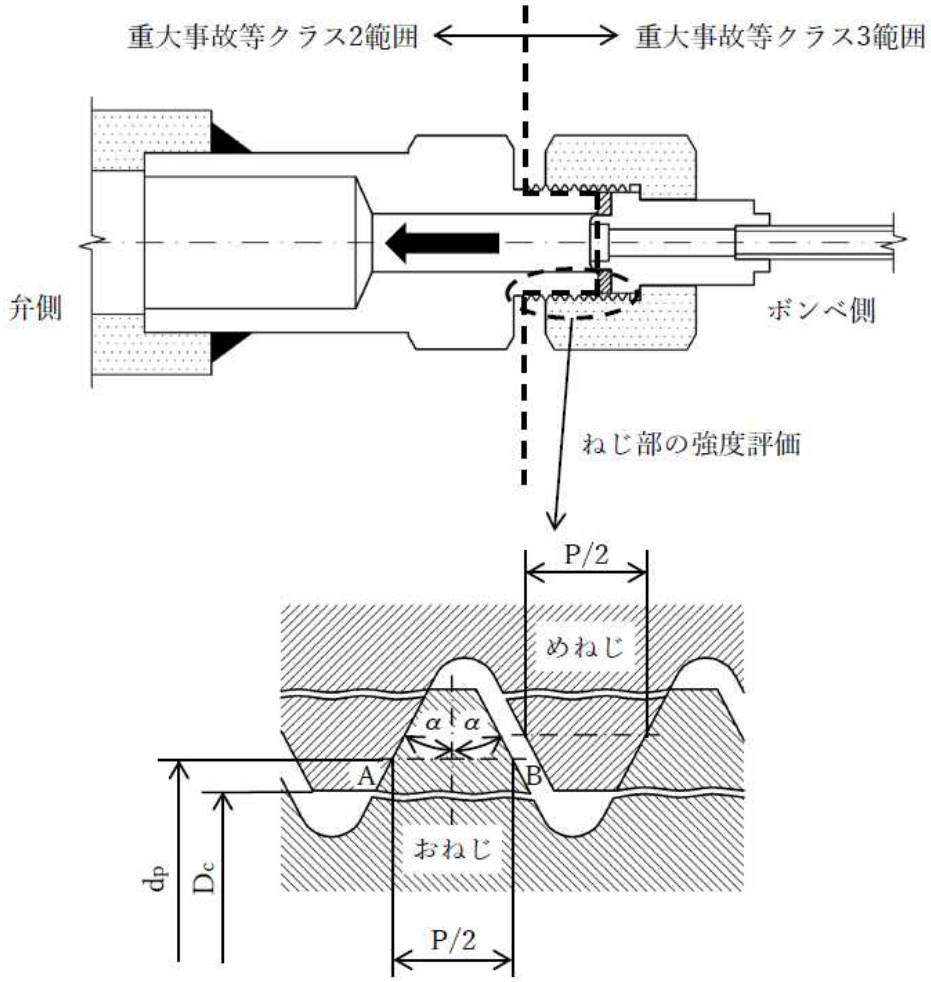
ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価に用いる記号については，次のとおりである。

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

3.2　強度計算方法

(1)　評価式

クラス２管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について，使用するねじはＪＩＳ　Ｂ　８２４６（２００４）「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから，ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また，継手部の厚さ計算については，設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。



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

(2)　許容値

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

(4)　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

目　　次

1.　一般事項 ･･･ 1
1.1　概要 ･･･ 1
1.2　適用規格 ･･･ 1
2.　重大事故等クラス２管であってクラス１管の強度計算方法 ･････････････････････････ 2
2.1　計算方針 ･･･ 2
2.2　計算方法 ･･･ 2
3.　計算書の構成 ･･･ 7
3.1　管の応力計算書 ･･･ 7

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１管の応力計算書（以下「計算書」という。）について説明するものである。

1.2　適用規格

適用規格を以下に示す。

(1)　実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（原子力規制委員会 2013 年 6 月）（以下「技術基準規則」という。）

(2)　実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（原子力規制委員会 2013 年 6 月）（以下「技術基準規則解釈」という。）

(3)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

(4)　発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第５０１号）（以下「告示第５０１号」という。）

2.　重大事故等クラス２管であってクラス１管の強度計算方法

2.1　計算方針

重大事故等対処設備の材料及び構造は技術基準規則第 55 条に規定されており，技術基準規則解釈第 55 条第 7 項の規定に基づき，技術基準規則第 17 条の設計基準対象施設の規定を準用する。

重大事故等クラス２管であってクラス１管の応力計算として，設計・建設規格　PPB-3500 による評価を実施する。加えて，施設時に適用された規格が告示第５０１号の範囲については，告示第５０１号第 46 条による評価を実施する。ただし，既工認評価結果が有り，かつ評価条件（最高使用圧力及び最高使用温度）に変更がない範囲は，既工認の確認による評価を実施する。

注記＊：重大事故等クラス２管はクラス２管の規定への適合が要求されるが，クラス２管はその規定に関わらず，クラス１管の規定に準じてもよいと規定されている。

2.2　計算方法

2.2.1　解析による計算

応力計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の動的解析手法としては，スペクトルモーダル解析法を用いる。なお，解析コードは，「ＨＩＳＡＰ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ｖ-3　別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.2.1.1　解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては，以下を考慮する。

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

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

(3)　同一モデルに含める範囲は，原則としてアンカ点からアンカ点までとする。

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

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

(6)　配管の支持構造物は，以下の境界条件として扱うことを基本とする。

a.　レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。

b.　スナッバ：拘束方向の剛性を考慮する。

c.　アンカ：6 方向を固定と扱う。

d.　ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。

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

2.2.1.2　解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

(1)　荷重条件

a.　内圧

b.　機械的荷重（自重及びその他の長期的荷重）

c.　機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）

2.2.2　計算式

2.2.2.1　記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B_1，B_2，B_{2b}，B_{2r}	—	設計・建設規格　PPB-3810 及び告示第５０１号第 48 条に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）
D_0	mm	管の外径
M_{bp}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重により生じるモーメント
M_{br}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る）により生じるモーメント
M_{ip}	N･mm	管の機械的荷重により生じるモーメント
M_{rp}	N･mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重により生じるモーメント
P	MPa	最高使用圧力
S_m	MPa	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 及び告示第５０１号別表第 2 に規定する材料の許容応力強さ
S_y	MPa	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 及び告示第５０１号別表第 9 に規定する材料の設計降伏点
S_{prm}	MPa	一次応力
t	mm	管の厚さ
Z_i	mm^3	管の断面係数
Z_b	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm^3	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数

2.2.2.2　応力計算

(1)　設計・建設規格　PPB-3500 による評価

a.　一次応力（設計・建設規格　PPB-3562）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

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

(b)　(a)以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_{ip}/Z_i\leqq \mathrm{Min}(3\cdot S_m,\ 2\cdot S_y)$$

(2)　告示第５０１号第 46 条の規定に基づく評価

a.　一次応力（第 46 条第 3 号）

(a)　管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_{2b}\cdot M_{bp}/Z_b+B_{2r}\cdot M_{rp}/Z_r\leqq 3\cdot S_m$$

(b)　(a)以外の管

$$S_{prm}=B_1\cdot P\cdot D_0/(2\cdot t)+B_2\cdot M_{ip}/Z_i\leqq 3\cdot S_m$$

2.2.3　荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2－1　荷重の組合せ

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態
重大事故等クラス２管 であってクラス１管	原子炉冷却材 圧力バウンダリ	Ｐ＋Ｍ＋Ｄ	供用状態Ｅ 許容応力状態Ｖ

表 2－1 中の記号

Ｐ：内圧による荷重

Ｍ：逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重

Ｄ：自重その他の長期的荷重

表 2－2　許容応力（設計・建設規格 PPB-3562）

状態	一次応力 （曲げ応力を含む。）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
供用状態Ｅ＊	Min（3・S_m，2・S_y）	―	―

注記＊：重大事故等時の状態。設計・建設規格の供用状態Ｄの許容値を用いる。

表 2－3　許容応力（告示第５０１号第 46 条）

状態	一次応力 （曲げ応力を含む。）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
許容応力状態Ｖ	3・S_m	―	―

2.2.4　計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－4に示すとおりである。

表2－4　表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
計算条件	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1
	温度	℃	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N･mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦	―	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
解析結果及び評価	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点第3位表示とする。また，静水頭は「静水頭」と記載する。

＊2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。また，告示別表に記載された許容引張応力は，各温度の値を SI 単位に換算し，SI 単位に換算した値の小数点以下第 1 位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3.　計算書の構成

3.1　管の応力計算書

(1)　概要

本計算方法に基づき，管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(2)　概略系統図

工事計画書記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

(3)　鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。

(4)　計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－1～応－5 に示す。

(5)　計算結果

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－6－1～応－6－2 に示す。

(6)　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。このため，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応－7 に示す。

・FORMAT 応－1：

計算条件

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

鳥瞰図番号

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

・FORMAT 応－2：

配管の付加質量，フランジ部の質量，弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

・FORMAT 応－3：

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応－4：

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N･mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z

・FORMAT 応－5：

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

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

注記＊：評価に使用しない許容応力については「―」と記載する。

・FORMAT 応－6－1：

計算結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

設計・建設規格　PPB-3562 の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}	許容応力 Min(3・S_m, 2・S_y)
鳥瞰図番号		S_{prm}	Max	Min(3・S_m, 2・S_y)

・FORMAT 応－6－2：

計算結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

告示第５０１号第 46 条第 3 号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}	許容応力 $3S_m$
鳥瞰図番号		S_{prm}	Max	$3S_m$

・FORMAT 応－7：

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２管であってクラス１管）

No.	配管モデル	供用状態Ｅ				
		一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	1	**	***	*.**	—
2	***-2	2	**	***	*.**	—
3	***-3	3	**	***	*.**	—
4	***-4	4	**	***	*.**	○
5	***-5	5	**	***	*.**	—

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　強度計算書の構成とその見方 ･･･ 3
1.4　計算精度と数値の丸め方 ･･･ 4
1.5　材料の表示方法 ･･･ 5
2.　計算条件 ･･･ 6
2.1　ポンプの形式判別 ･･ 6
2.2　計算部位 ･･ 6
2.3　設計条件 ･･ 6
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 ･････････････ 7
3.1　共通記号 ･･ 7
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 ･････････････････････ 8
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 ･････････ 9
3.4　ケーシング各部形状の規定 ･･ 10
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 ･････････････ 15
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 ･････････････ 16
3.7　ボルトの平均引張応力 ･･ 18
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
･･･ 20
3.9　吸込及び吐出フランジ ･･ 20
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 ･･････････ 21
4.1　立形ポンプの強度計算方法 ･･ 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

本書は，Ｖ-3-1-5「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，昭和 55 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。) 又は発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版（2007 年追補版含む。)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007)（日本機械学会　2007 年９月）(以下「設計・建設規格」という。）により行う。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もった１段あるいは多段の立型ポンプ

告示第５０１号と設計・建設規格の比較に基づく，告示第５０１号各条項又は設計・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)　告示第５０１号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては，他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1－2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格(材料に係る部分を除く。) 又は設計・建設規格　別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　PMC-3710)

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）「鋼製管フランジ通則」

K7 ① Ｖ-3-2-10 R1

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

告示第５０１号 条項 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
第77条第7項 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
第77条第5項 PMC-3410	3.6	うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ
PMC-3510	3.7	ボルトの平均引張応力
PMC-3610	3.8	耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ
PMC-3710	3.9	吸込及び吐出フランジ

表1－2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式（章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２６５(2003)* 「圧力容器の構造－一般事項」附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」	3 4	3.7 3.9	ボルトの平均引張応力 吸込及び吐出フランジ*

注記＊：設計・建設規格　PMC-3710によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本書と各ポンプの強度計算書からなる。

(2)　各ポンプの強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本書によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表1－3に示すとおりとする。

表1－3　表示する数値の丸め方

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

注記＊1：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。また，告示第５０１号別表に記載された許容引張応力は，各温度の値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1)　SM400A 相当（SMA400AP）

(例2)　SCS14　相当（ASME SA351 Gr.CF8M）

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

(例)　SNB7（径≦63mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例）非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガスケット（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガスケット係数m及びガスケットの最小設計締付圧力ｙは，ＪＩＳＢ　８２６５　附属書3　表2　備考3より，ガスケットメーカ推奨値を適用する。

2.　計算条件

2.1　ポンプの形式判別

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

(1)　うず巻ポンプであって，ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの

(2)　ターボポンプであって，ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるもの又は軸平行割りであるもの

(3)　往復ポンプ

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

2.2　計算部位

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

2.3　設計条件

ポンプの強度計算は，最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

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

(1)　最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で同一の場合は，その最高使用圧力を使用する。

(2)　最高使用圧力がポンプの吐出側，吸込側で相違している場合は，以下の条件のうちいずれかにする。

a.　ケーシングの耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）を吸込側，吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。

（分けない場合は，吐出側のみの最高使用圧力を使用する。）

b.　ピットバレル型（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揚げる。

告示第５０１号 又は 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告示第５０１号別表第6又は設計・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$_s$）≧計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

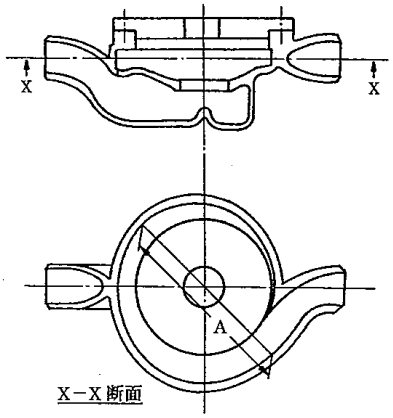


図3－1　1重うず巻ポンプの例
（設計・建設規格
図 PMC-3320-1）

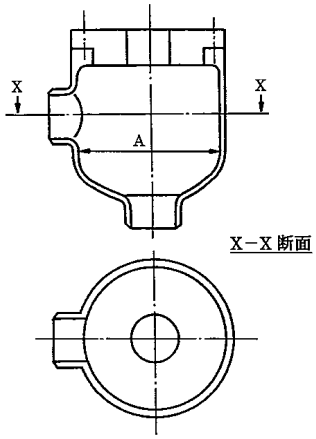


図3－2　ターボポンプの例
（設計・建設規格
図 PMC-3320-5）

K7 ① V-3-2-10 R1

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）≧計算上必要な厚さ（t）*ならば十分である。

注記＊：ピットバレル型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。

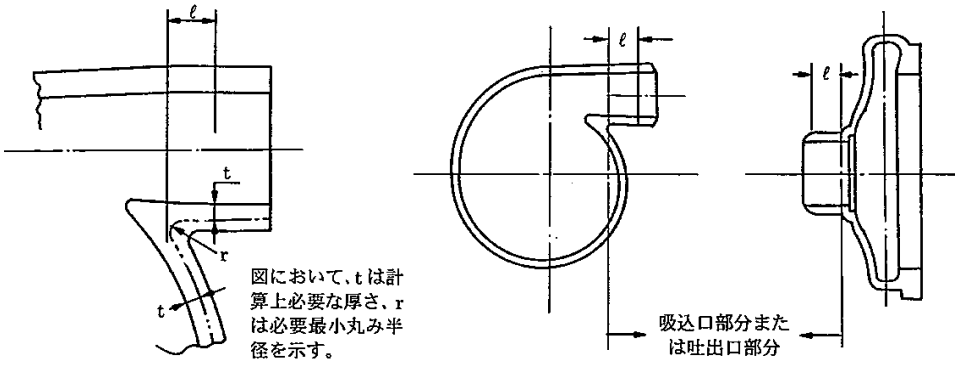


図3－3　吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例
（設計・建設規格　図 PMC-3330-1）

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又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，告示第５０１号第77条第7項第1号から第6号又は，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

告示第５０１号又は設計・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)（告示第５０１号第77条第7項図1又は設計・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)（告示第５０１号第77条第7項図1又は設計・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)（告示第５０１号第77条第7項図1又は設計・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
	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

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表　示　内　容	単　位
	r_5	図3-4-1 (b)（告示第５０１号第77条第7項図2又は設計・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)（告示第５０１号第77条第7項図2又は設計・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)（告示第５０１号第77条第7項図2又は設計・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

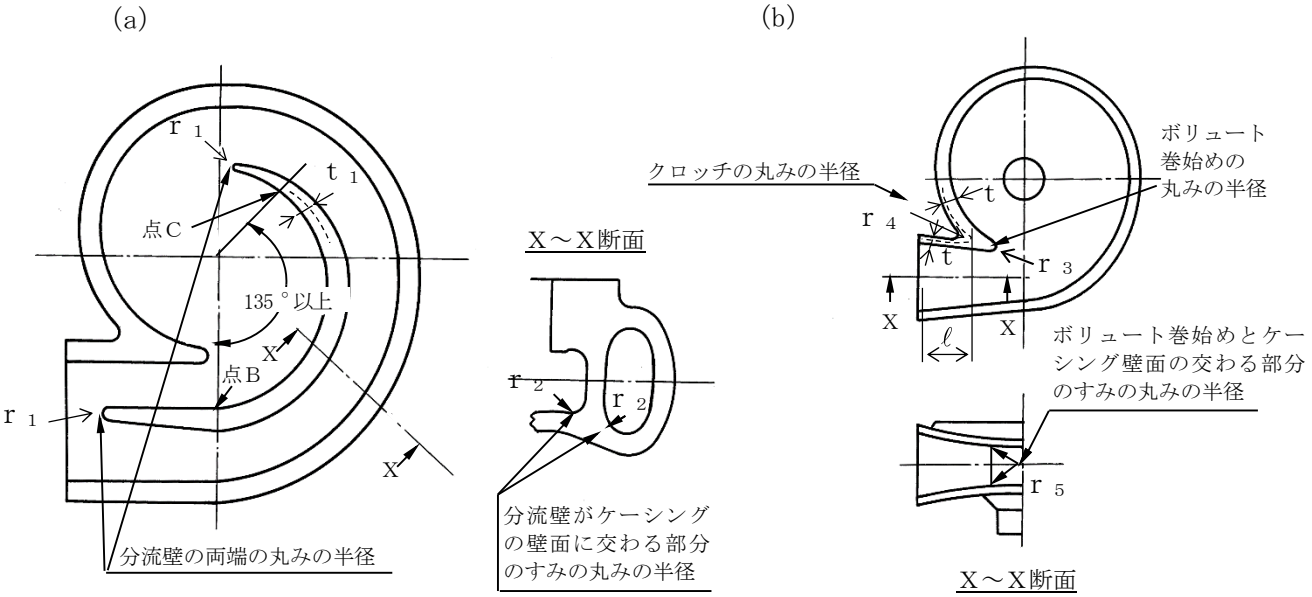


図3-4-1　うず巻ポンプのケーシング各部形状

（告示第５０１号第77条第7項図1，図2又は設計・建設規格　図PMC-3340-1）

(2)　算式

a.　t_1＝0.7・t

b.　r_1＝0.05・t

c.　r_2＝0.1・t 又は 7mm のうちいずれか大きい値
（告示第５０１号の場合）

} 図 3-4-1 (a)型

d.　r_3＝0.05・t

e.　r_4＝0.3・t

f.　r_5＝0.1・t 又は 7mm のうちいずれか大きい値
（告示第５０１号の場合）

} 図 3-4-1 (b)型

(3)　評価

a.　最小厚さ（t_{1s}）≧計算上必要な厚さ（t_1）ならば十分である。

b.　最小半径（r_{1s}）≧計算上必要な半径（r_1）ならば十分である。

c.　最小半径（r_{2s}）≧計算上必要な半径（r_2）ならば十分である。

d.　最小半径（r_{3s}）≧計算上必要な半径（r_3）ならば十分である。

e.　最小半径（r_{4s}）≧計算上必要な半径（r_4）ならば十分である。

f.　最小半径（r_{5s}）≧計算上必要な半径（r_5）ならば十分である。

3.4.2　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
	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	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
	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	d_{bm}	ケーシングボルトの呼び径	mm

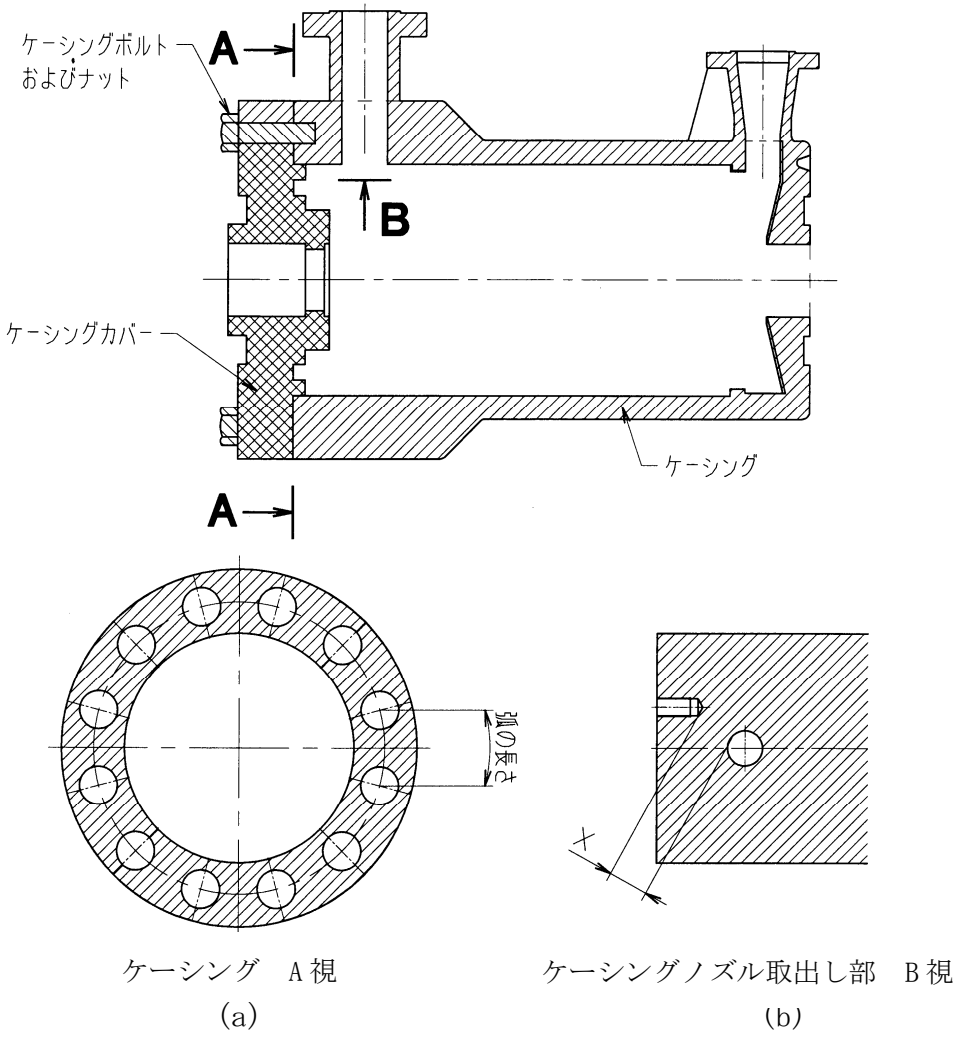


図3-4-2　横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段の
ターボポンプのケーシングのボルト穴回りの形状
（設計・建設規格　図 PMC-3340-3）

(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）≧計算上必要な長さ（a）ならば十分である。

b.　最小距離（X_s）≧計算上必要な距離（X）ならば十分である。

3.5　往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ

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

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

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

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.6　うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ

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

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，告示第５０１号第77条第5項第1号又は設計・建設規格PMC-3410(1)を適用する。

(1)　記号の説明

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表　示　内　容	単　位
d	d	告示第５０１号第77条第5項第1号の表又は設計・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	告示第５０１号第77条第5項第1号の表又は設計・建設規格　表PMC-3410-1に規定するケーシングカバーの取付け方法による係数	—

(2)　算式

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

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

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

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，告示第５０１号第 77 条第 5 項第 1 号又は設計・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	告示第５０１号第77条第5項第1号の表又は設計・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	告示第５０１号第77条第5項第1号の表又は設計・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	—
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

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

(3)　評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

3.7　ボルトの平均引張応力

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	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

設計・建設規格の記号	強度計算書の表示	表　示　内　容	単　位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
	π	円周率	―
S_b	σ	耐圧部分等のうちボルト等に係るものの最高使用圧力又はガスケット締付時のボルト荷重と釣り合う場合に生じる平均引張応力	MPa

(2)　算式

円形フランジをボルト等により締め付ける場合

設計・建設規格　PVB-3121 の解説及びＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書 3 の方法により計算する。

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

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

$W_{m1} = H + H_p$

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

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

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

$b_o \leqq 6.35$mm の場合

$b = b_o$

$G = G_s - N$

$b_o > 6.35$mm の場合

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

$G = G_s - 2 \cdot b$

なお，セルフシールガスケットを使用する場合は，次式を用いる。

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

$W_{m2} = 0$

(3)　評価

ボルトの平均引張応力（σ）≦許容引張応力（S_b）ならば十分である。

K7 ① V-3-2-10 R1

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
Ｄｏ	Ｄｏ	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（ｔｓ）≧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，以下に示すとおりの重大事故等クラス２ポンプの評価手法として妥当性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス３ポンプの評価式及び判断基準を用いた評価を実施する。

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 ≧6.0 の場合） d／（d＋D_o）（D_o／t ＜6.0 の場合）	—
η	η	長手継手の効率で，設計・建設規格　PVD-3110 を適用する。	—

(2)　算式

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

(3)　評価

最小厚さ（ｔｓ）≧計算上必要な厚さ（ｔ）ならば十分である。

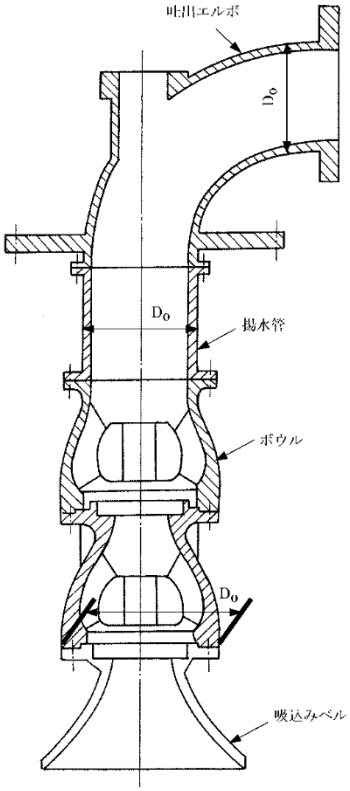


図４－１　軸垂直割りケーシングをもった多段の立形ポンプの例
（設計・建設規格　図 PMD-3310-7）

K7 ① V-3-2-10 R1E

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

K7 ① V-3-2-10 別紙 R1

まえがき

本計算書は，Ⅴ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」並びにⅤ-3-2-10「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。

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，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。

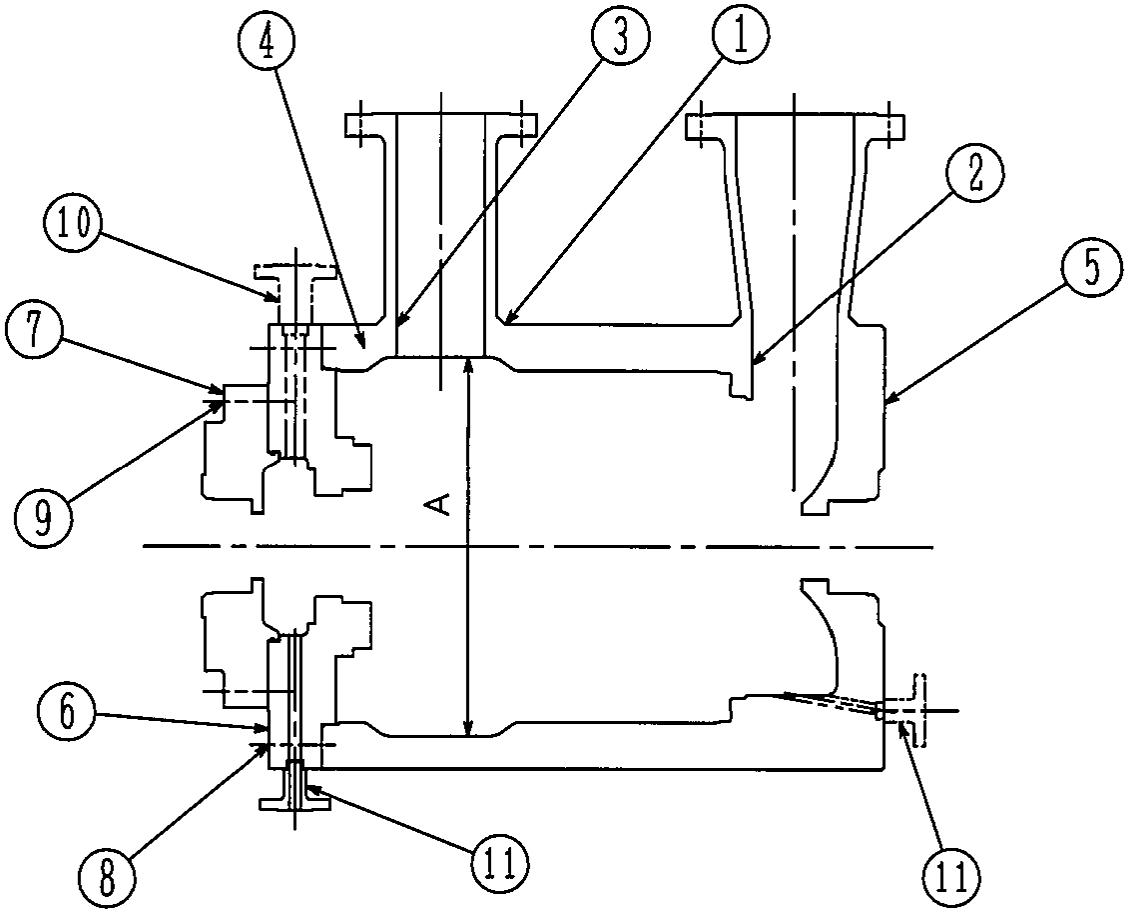


図 1－1　概要図

K7 ① V-3-2-10 別紙 R1

1.3　設計条件

設計条件	
最高使用圧力(MPa)	
最高使用温度(℃)	

2.　強度計算

2.1　ケーシングの厚さ

設計・建設規格　PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①				

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

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.2　ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格　PMC-3330　　(単位：mm)

計算部位	r_i	r_m	ℓ	t	$t_{\ell o}$	t_ℓ
②						
③						

評価：$t_\ell \geqq t$，よって十分である。

2.3　ケーシングのボルト穴

設計・建設規格　PMC-3340　　（単位：mm）

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

評価：$a_s \geqq a$，よって十分である。

評価：$X_s \geqq X$，よって十分である。

2.4　ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格　PMC-3410（告示５０１号第 77 条第 5 項第 1 号）

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

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

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.5　ボルトの平均引張応力

設計・建設規格　PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S_b (MPa)	d_b (mm)	n	A_b (mm^2)
⑧						
⑨						

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G_s (mm)	G (mm)	D_g (mm)

H (N)	H_p (N)	W_{m1} (N)	W_{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)

評価：$\sigma \leqq S_b$，よって十分である。

2.6　耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格　PMC-3610

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

継手の種類	放射線透過試験の有無	η

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

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

2.7　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

（材料記号を記載）

ケーシング（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

ケーシング及びケーシングカバーに使用している△△△△は，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し，同等であることを示す。

(1)　機械的強度

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

(2)　化学的成分

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

(3)　評価結果

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

（材料記号を記載）

Ⅴ-3-2-11　重大事故等クラス２弁の強度計算方法

目　　次

1.　一般事項 ･･･ 1
1.1　概要 ･･･ 1
1.2　適用規格及び基準との適合性 ･････････････････････････････････････ 1
1.3　強度計算書の構成とその見方 ･････････････････････････････････････ 2
1.4　計算精度と数値の丸め方 ･･･ 3
1.5　材料の表示方法 ･･･ 4
2.　重大事故等クラス２弁の強度計算方法 ･････････････････････････････････ 5
2.1　弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 ･････････････････････････････････ 5
2.2　2.1項の規定に適合しない場合の計算 ･････････････････････････････ 8
2.3　管台の最小厚さの計算 ･･ 10
2.4　フランジの強度計算 ･･ 11
3.　添付図 ･･･ 26

別紙　重大事故等クラス２弁の強度計算書のフォーマット

1.　一般事項

1.1　概要

本書は，Ｖ-3-1-5「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書の基本方針」に基づき，重大事故等クラス２弁が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2　適用規格及び基準との適合性

(1)　強度計算は，昭和55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。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版(2007年追補版含む。)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007)（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

告示第５０１号と設計・建設規格の比較に基づく，告示第５０１号各条項又は設計・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)　告示第５０１号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格（以下「ＪＩＳ」という。）と強度計算書との対応は，表1－2に示すとおりである。

(3)　強度計算書で計算するもの以外のフランジは，以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格　VVC-3410）

a.　ＪＩＳ　Ｂ　２２３８（1996）　「鋼製管フランジ通則」

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

告示第５０１号　条項 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
第85条　弁の形状等		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
第1項	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3200　耐圧部の設計		
VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3220	2.2	2.1項の規定に適合しない場合の計算
VVC-3230	2.3	管台の最小厚さの計算
第85条　弁の形状等		フランジの強度計算
第4項*	2.4	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
		フランジボルトの応力解析
VVC-3300　弁の応力評価		フランジの強度計算
VVC-3310　(a)*	2.4	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVC-3310　(b)*	2.4	フランジボルトの応力解析

注記＊：告示第５０１号第85条第4項及び設計・建設規格　VVC-3310による計算は，接続管の外径が115mmを超える弁について適用する。

K7 ① V-3-2-11 R1

表1－2　ＪＩＳと強度計算書との対応

ＪＩＳ		強度計算書の計算式 （章節番号）	備　　考
No.	項		
ＪＩＳ　Ｂ　８２４３（1981） 「圧力容器の構造」 附属書2 「フランジの応力計算方法」 ＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003） 「圧力容器の構造－一般事項」 附属書3（規定） 「圧力容器のボルト締めフランジ」 附属書4（規定） 「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」	 3 4 3 4	2.4	フランジの強度計算*

注記＊：告示第５０１号第85条第4項によりＪＩＳ　Ｂ　８２４３（1981）「圧力容器の構造」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２４３」という。）の附属書2「フランジの応力計算方法」及び設計・建設規格　VVC-3310によりＪＩＳ　Ｂ　８２６５（2003）「圧力容器の構造－一般事項」（以下「ＪＩＳ　Ｂ　８２６５」という。）の附属書3（規定）「圧力容器のボルト締めフランジ」及び附属書4（規定）「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」を用いて計算を行う。

1.3　強度計算書の構成とその見方

(1)　強度計算書は，本書と各弁の強度計算書からなる。

(2)　各弁の強度計算書では，記号の説明及び計算式を省略しているので，本書によるものとする。

1.4　計算精度と数値の丸め方

計算の精度は，6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表1－3に示すとおりとする。

表1－3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
	告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1に規定する許容圧力	MPa	—*1 （小数点以下第3位）	—*1 （四捨五入）	小数点以下第2位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
応力	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚 さ	mm	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
	実際の長さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面積	総断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	実際の断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	弁操作力による反力	N	—	—	整数位
	上記以外の力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		°	—	—	小数点以下第1位

注記＊1：設計・建設規格　別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は，（　）内を適用する。また，告示第５０１号別表に記載された許容圧力は，各温度の値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第3位を四捨五入して，小数点以下第2位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。また，告示第５０１号別表に記載された許容引張応力は，各温度の値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

1.5　材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1)　設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

ＪＩＳの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新のＪＩＳによる材料記号を表示する。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

（例1）　SM400A 相当（SMA400AP）

（例2）　SCS14A 相当（ASME SA351 Gr.CF8M）

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

（例）　SNB7（径≦63mm）

(3)　ガスケット材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

（例）　NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお，この場合のガスケット係数（m）及びガスケットの最小設計締付圧力（y）は，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2　備考3よりガスケットメーカ推奨値を適用する。

2.　重大事故等クラス２弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうち重大事故等クラス２弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に示す。

2.1　弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

告示第５０１号第85条第1項又は設計・建設規格　VVC-3210を適用する。

(1)　記号の説明

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
d_m	d_m	図3－1に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図3－1に示すネック部の内径	mm
ℓ	ℓ	$\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$の場合，図3－2に示すネック部の厚さがｔ以上必要な部分の範囲	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より低く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1に規定する許容圧力の欄のうち，最高使用圧力より高く，かつ，最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	告示第５０１号別表第15又は設計・建設規格　別表3の呼び圧力（告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1においてP_1に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	告示第５０１号別表第15又は設計・建設規格　別表3の呼び圧力（告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1においてP_2に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm

告示第５０１号又は設計・建設規格の記号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
t_m	t_{m1}	ℓの範囲内のネック部の計算上必要な厚さ	mm
t_m	t_{m2}	ℓの範囲外及び$\frac{d_n}{d_m}$＞1.5の場合ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ma1}	t_{m1}に対応するネック部の最小厚さ	mm
	t_{ma2}	t_{m2}に対応するネック部の最小厚さ	mm

(2)　算式

a.　弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1)\cdot(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

注：最高使用圧力が最高使用温度における告示第５０１号別表第13又は設計・建設規格　別表1－1に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合は，弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さｔは，告示第５０１号別表第15又は設計・建設規格　別表3の呼び圧力（1.03MPa）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。

なお，耐圧部分等のうち弁ふたについては，応力計算を行って必要な強度を有することが明らかである場合は，この限りではない。

b.　ネック部の計算上必要な厚さ

(a)　$\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$の場合

イ.　弁箱流路方向の外径から，ネック方向に沿って次の式で計算したℓの範囲の必要厚さ

$$t_{m1} = t$$

$$\ell = 1.1 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

ロ.　イ.以外のネック部の必要厚さ

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(b)　$\frac{d_n}{d_m} > 1.5$の場合

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。ただし，弁箱（ネック部を含む。）で2.2項に掲げる規定（設計・建設規格　VVC-3220）を満足する場合については，この限りではない。

a.　弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$$t_{ab} \geqq t$$

$$t_{af} \geqq t$$

b.　ネック部の最小厚さ

(a)　$\frac{d_n}{d_m} \leqq 1.5$の場合

$$t_{ma1} \geqq t_{m1}$$

$$t_{ma2} \geqq t_{m2}$$

(b)　$\frac{d_n}{d_m} > 1.5$の場合

$$t_{ma2} \geqq t_{m2}$$

2.2　2.1項の規定に適合しない場合の計算

設計・建設規格　VVC-3220 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
D	D	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の直径の許容範囲	mm
	D’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の実際の直径	mm
d_1，d_2	d_1，d_2	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円の直径	mm
d_m	d_m	図3－1に示す弁入口流路内径	mm
ℓ	ℓ	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間距離の許容範囲	mm
	ℓ’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の実際の距離	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ（設計・建設規格　VVC-3210(1)による。）	mm
	t’	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分の最小厚さ	mm
t_m	t_{m1}，t_{m2}	ネック部の計算上必要な厚さ（設計・建設規格　VVC-3210(2)による。）	mm

(2)　評価

2.1 項の規定（設計・建設規格　VVC-3210）に適合しない部分がある弁箱であっても，当該部分が以下の条件を満足すれば十分である。

a.　t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の直径

$$D' \leqq D$$

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

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

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

c.　t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が 2 箇所以上ある場合の，それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の距離

$$\ell' \geqq \ell$$

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

2.3　管台の最小厚さの計算

設計・建設規格　VVC-3230 を適用する。

(1)　記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
	Ｎｏ．	管台の番号	―
D_o	D_o	管台の外径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{br}	管台の最小厚さ	mm
	T_m	最高使用温度	℃
	t_{no}	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率（設計・建設規格　PVC-3130表のPVC-3130-1より求めた値）	―

(2)　算式

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

(3)　評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$t_{br} \geqq t$

2.4　フランジの強度計算

2.4.1　ボルト締めフランジ

告示第５０１号第85条第4項又は設計・建設規格　VVC-3310を適用する。

(1)　記号の説明

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
B_1	B_1	$B+g_0$（$f \geqq 1$のときの一体形フランジの場合） $B+g_1$（$f<1$のときの一体形フランジの場合）	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b_0	b_o	ガスケット座の基本幅	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数（$=\frac{U}{V}\cdot h_o\cdot g_0^2$（一体形フランジの場合））	mm^3
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数（$=\frac{F}{h_o}$（一体形フランジの場合））	mm^{-1}
F	F	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図3又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図5又は表4による。）	—

ＪＩＳの記　号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
	F_e	フランジに作用する機械的鉛直荷重（弁操作力による反力）	N
f	f	ハブ応力修正係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図2又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図4又は表4による。）	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G_s	ガスケット接触面の外径	mm
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために，ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
h_T	h_T	ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数$\left(=\frac{t \cdot e+1}{T}+\frac{t^3}{d}\right)$	—
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表2又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N･mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント （駆動部の偏心荷重によるモーメント）	N･mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N･mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N･mm
M_0	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N･mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N･mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表1又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	P_{eq}	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa

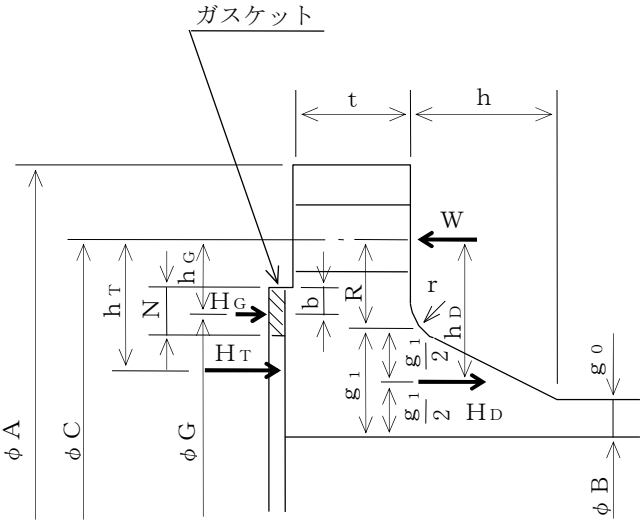
ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図5又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図5又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
V	V	一体形フランジの係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図6又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図8又は表4による。）	—
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_0	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図5又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　表2又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
Z	Z	$K=\left(\frac{A}{B}\right)$の値によって定まる係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図5又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図7による。）	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の告示第５０１号別表第8又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7に定める許容引張応力	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の告示第５０１号別表第8又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の告示第５０１号別表第6又は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の告示第５０１号別表第6又は設計・建設規格 付録材料図表　Part5　表5に定める許容引張応力	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*

ＪＩＳの記　号	計算書の表　示	表　　示　　内　　容	単　　位
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	―
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	―

注記＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２４３は「kg/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。また，ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　算式



（ＪＩＳ　Ｂ　８２４３　附属書2　図1（g）又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　図2 b）　7））

注1：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

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

図2－1　一体形フランジ

a.　ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a)　$b_o \leqq 6.35$mmの場合

$$G = G_s - N$$
$$b = b_o$$

(b)　$b_o > 6.35$mmの場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$
$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで，

$$b_o = N / 2$$

b.　フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$
$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

K7 ① V-3-2-11 R1

c.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

d.　ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

e.　フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1}$$ （使用状態）

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a$$ （ガスケット締付時）

f.　使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g.　使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

ただし，$R = \frac{C-B}{2} - g_1$

注記＊：クラス２弁には，一体形フランジを採用する。

h.　使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

i.　ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

j.　一体形フランジの応力

(a)　使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_0} \quad {}^{*1,\,*2}$$

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

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

(b)　ガスケット締付時のフランジの応力

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

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

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

ここで,

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

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

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

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

注記＊1：告示第５０１号第50条解説又は設計・建設規格　VVB-3390式(VVB-19)による。
ＪＩＳ　Ｂ　８２４３又はＪＩＳ　Ｂ　８２６５の計算式に一次膜応力を加えたものである。

＊2：$B < 20 \cdot g_1$のときは，σ_{Ho}及びσ_{Hg}の計算式のＢの代わりにB_1を用いる。

(3)　評価

一体形フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

a.　ボルトの総有効断面積

$A_b > A_m$

b.　ハブの軸方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

c.　フランジの半径方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

d.　フランジの周方向応力

使用状態にあっては　$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあっては　$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.4.2　全面座フランジ

設計・建設規格　VVC-3310を適用する。

(1)　記号の説明

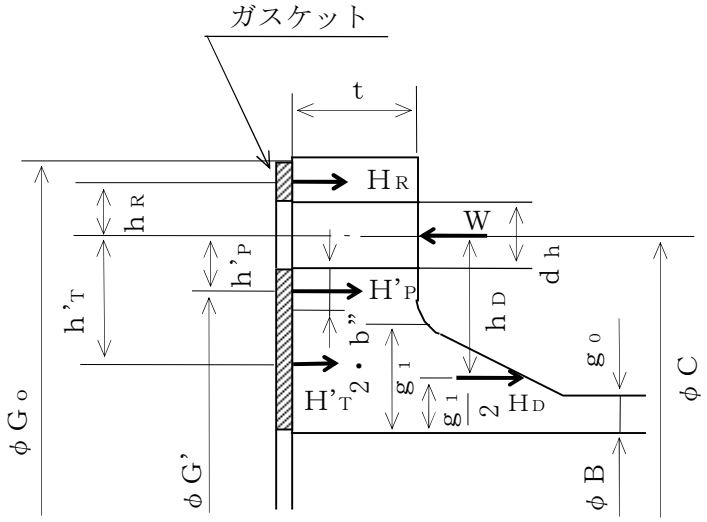
ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A_b	A_b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_m	A_m	ボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm^2
B	B	フランジの内径	mm
b'_o	b'_o	G_o-C，ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
b’	b’	$4\cdot\sqrt{b'_o}$，ガスケット締付時におけるガスケット座の有効幅	mm
2b”	2・b”	使用状態におけるガスケット座の有効幅。2・b”＝5mm	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d_h	d_h	ボルト穴の直径	mm
d_b	d_b	ボルトのねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
G’	G’	$C-(d_h+2\cdot b'')$，ガスケット圧縮力H'_Pの位置の直径	mm
G_0	G_o	ガスケット外径とフランジ外径の小さい方の値	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H’	H’	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H'_P	H'_P	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	N
H'_T	H'_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
H_R	H_R	平衡反力	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離	mm
h'_P	h'_P	ボルト穴の中心円からH'_P作用点までの半径方向の距離	mm
h'_T	h'_T	ボルトの中心円からH'_T作用点までの半径方向の距離	mm
h_R	h_R	ボルトの中心円からH_R作用点までの半径方向の距離	mm
m	m	ガスケット係数 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	—
M_0	M_o	H_R・h_R，使用状態でフランジに作用する全モーメント	N･mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
t	$t_{f\ell}$	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm

ＪＩＳの記号	計算書の表示	表示内容	単位
W_{m1}	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 （ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3　表2による。）	N/mm^2
π	π	円周率	―
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表 Part5　表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める許容引張応力	MPa*

注記＊：ＪＩＳ　Ｂ　８２６５は「N/mm^2」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2)　算式



（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書4　図1）

注1：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注2：Wは，W_{m1}及びW_{m2}のボルト荷重を表す。

図2－2　全面座フランジ

a.　計算上必要なボルト荷重

(a)　使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H'_P + H_R$$

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_h)^2 \cdot P_{FD}$$

$$H'_P = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G' \cdot m \cdot P_{FD}$$

$$H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H'_T \cdot h'_T + H'_P \cdot h'_P}{h_R}$$

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

$$h_D = \frac{(C - B)}{2} - 0.5 \cdot g_1$$

$$H'_T = H' - H_D$$

$$h'_T = \frac{(C + d_h + 2 \cdot b'') - B}{4}$$

$$h'_P = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$$

$$h_R = \frac{G_0 - (C + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$$

K7 ① V-3-2-11 R1

(b)　ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$$

b.　ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

c.　フランジの計算厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_o}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot d_h)}}$$

(3)　評価

全面座フランジは，以下の条件を満足すれば十分である。

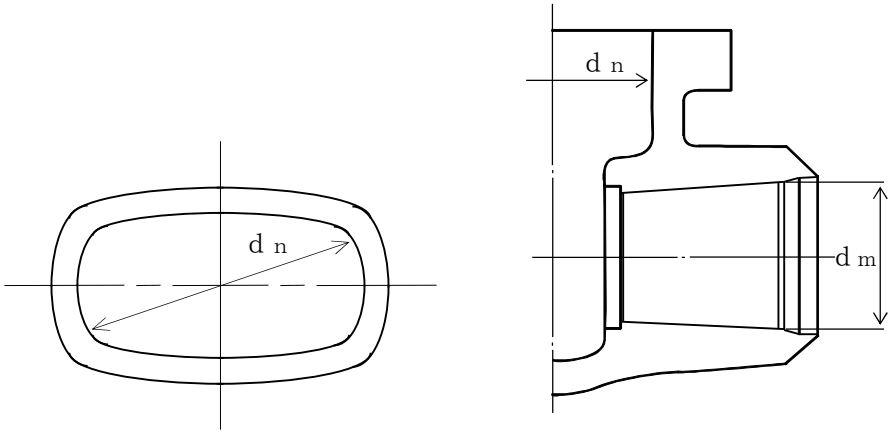
a.　ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

b.　フランジの厚さ

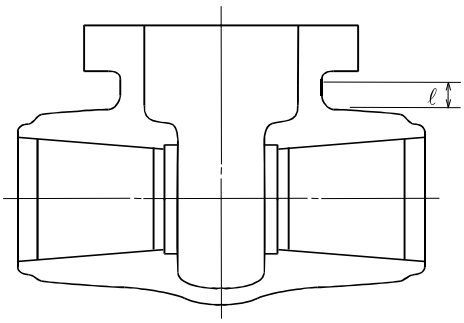
$$t_{f\ell} \geqq t$$

3.　添付図



注：本図は告示第５０１号第82条解説の図82.3又は設計・建設規格VVB-3210の解説図VVB-3210-3と同じ。

図3－1　ｄm及びｄｎを明示した図



ℓの範囲は，ネック部と流路部の交わる部分を基点としてネック部方向にとるものとする。

注：本図は告示第５０１号第85条第1項の図又は設計・建設規格VVC-3210の図VVC-3210-1と同じ。

図3－2　ネック部のℓの範囲

別紙　重大事故等クラス２弁の強度計算書のフォーマット

V－－－－　○○○○○○○○○○○○○の強度計算書

K7 ① V-3-2-11 別紙 R1

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-5「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-3-2-11「重大事故等クラス２弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，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.　重大事故等クラス２弁　……
1.1　設計仕様　……
1.2　強度計算書　……
1.3　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　……

K7 ① V-3-2-11 別紙 R1

1.　重大事故等クラス２弁

1.1　設計仕様

系統：

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

1.2　強度計算書

系統：

弁番号		シート	

	設計・建設規格	告示第５０１号		設計・建設規格	告示第５０１号
設計条件			ネック部の厚さ		
最高使用圧力Ｐ (MPa)			d_n (mm)		
最高使用温度T_m (℃)			d_n／d_m		
弁箱又は弁ふたの厚さ			ℓ (mm)		
弁箱材料			t_{m1} (mm)		
弁ふた材料			t_{m2} (mm)		
P_1 (MPa)			t_{ma1} (mm)		
P_2 (MPa)			t_{ma2} (mm)		
d_m (mm)			評価：$t_{ma1} \geqq t_{m1}$ $t_{ma2} \geqq t_{m2}$ よって十分である。		
t_1 (mm)					
t_2 (mm)					
t (mm)					
t_{ab} (mm)					
t_{af} (mm)					
評価：$t_{ab} \geqq t$ $t_{af} \geqq t$ よって十分である。					

K7 ① V-3-2-11 別紙 R1

系統：

弁番号		シート	

フランジ及びフランジボルトの応力解析　告示第５０１号

設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)		H_D (N)	$\times 10^5$
P_{eq} (MPa)		h_D (mm)	
T_m (℃)		M_D (N･mm)	$\times 10^7$
M_e (N･mm)	$\times 10^6$	H_G (N)	$\times 10^5$
F_e (N)		h_G (mm)	
フランジの形式		M_G (N･mm)	$\times 10^7$
フランジ		H_T (N)	$\times 10^5$
材料		h_T (mm)	
σ_{fa} (MPa) 常温（ガスケット締付時）（20℃）		M_T (N･mm)	$\times 10^7$
		M_o (N･mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度（使用状態）		M_g (N･mm)	$\times 10^8$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	
C (mm)		h_o (mm)	
g_0 (mm)		f	
g_1 (mm)		F	
h (mm)		V	
ボルト		e (mm^{-1})	
材料		d (mm^3)	
σ_a (MPa) 常温（ガスケット締付時）（20℃）		L	
		T	
σ_b (MPa) 最高使用温度（使用状態）		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm^2)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)			
b (mm)		応力の評価：$\sigma_{Ho} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
N (mm)		$\sigma_{Ro} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
G_s (mm)		$\sigma_{To} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$	
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$	$\sigma_{Hg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
H_p (N)	$\times 10^5$	$\sigma_{Rg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
W_{m1} (N)	$\times 10^6$	$\sigma_{Tg} \leqq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
W_{m2} (N)	$\times 10^5$		
A_{m1} (mm^2)	$\times 10^3$		よって十分である。
A_{m2} (mm^2)	$\times 10^3$		
A_m (mm^2)	$\times 10^3$		
A_b (mm^2)	$\times 10^4$		
W_o (N)	$\times 10^6$		
W_s (N)	$\times 10^6$		
評価：$A_m < A_b$ よって十分である。			

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価結果例

1.3　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

弁番号Ｆ001（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　○○○○　△△△△）

弁番号Ｆ001に使用している△△△△は，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し，同等であることを示す。

（材料記号を記載）

(1)　機械的強度

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

(2)　化学的成分

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

(3)　評価結果

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

（材料記号を記載）

K7 ① V-3-2-11 別紙 R1E

Ｖ-3-2-12　重大事故等クラス２支持構造物（容器）の強度計算方法

目　　次

1.　概要 ･･･ 1
2.　重大事故等クラス２支持構造物（容器）の強度計算方法 ･････････････････････････････ 2
2.1　クラス２支持構造物の規定に基づく強度計算方法 ･････････････････････････････････ 2
2.1.1　記号の説明 ･･･ 2
2.1.2　強度計算方法 ･･ 4
3.　強度計算書のフォーマット ･･･ 9
3.1　強度計算書のフォーマットの概要 ･･･ 9
3.2　記載する数値に関する注意事項 ･･･ 9
3.3　強度計算書のフォーマット ･･･ 9

1.　概要

本書は，Ｖ-3-1-5「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容器を支持する支持構造物であって，重大事故等クラス２容器に溶接により取り付けられ，その損壊により重大事故等クラス２容器に損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス２支持構造物（容器）（以下「重大事故等クラス２支持構造物（容器）」という。）が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する規格の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり，重大事故等クラス２支持構造物（容器）の強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

適用する規格は，昭和 55 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。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年９月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお，告示第５０１号及び設計・建設規格による評価について，評価式及び許容値の２つの項目について比較を実施した結果，両規格に相違のないことを確認した。そのため，設計・建設規格による評価を行う。

2.　重大事故等クラス２支持構造物（容器）の強度計算方法

2.1　クラス２支持構造物の規定に基づく強度計算方法

2.1.1　記号の説明

重大事故等クラス２支持構造物（容器）の一次応力計算に用いる記号について，以下に説明する。

	記号	単位	定義
一次応力計算に使用するもの	A	mm^2	支持構造物の断面積
	A_f	mm^2	圧縮フランジの断面積
	A_s	mm^2	支持構造物のせん断断面積
	A_{sf}	mm^2	圧縮フランジとはりのせいの６分の１とからなるＴ型断面の断面積
	b	mm	支持脚フランジ幅
	C	—	許容曲げ応力算出の際に用いる係数
	D_i	mm	スカートの内径
	D_j	mm	スカートに設けられた開口部の穴径（j=1，2，3，・・・）
	E	MPa	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part6 表１に規定される材料の縦弾性係数
	F	MPa	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)により規定される値
	F_c	N	鉛直荷重
	F_s	N	せん断荷重
	f_b	MPa	許容曲げ応力
	f_c	MPa	許容圧縮応力
	f_s	MPa	許容せん断応力
	f_t	MPa	許容引張応力
	g	m/s^2	重力加速度
	h	mm	はりのせい
	I	mm^4	座屈軸まわりの断面二次モーメント
	i	mm	座屈軸についての断面二次半径
	i_f	mm	圧縮フランジとはりのせいの６分の１とからなるＴ型断面のウェッブ軸まわりの断面二次半径
	I_{sf}	mm^4	圧縮フランジとはりのせいの６分の１とからなるＴ型断面のウェッブ軸まわりの断面二次モーメント
	ℓ	mm	支持構造物の長さ
	ℓ_c*	mm	支持脚中立軸間距離
	ℓ_k	mm	座屈長さ

	記号	単位	定義
一次応力計算に使用するもの	ℓ_1	mm	壁（又は架台）から胴の中心までの長さ
	M	N･mm	曲げモーメント
	M_1	N･mm	座屈端部における曲げモーメント（大きい方，$M_1 \geqq M_2$）
	M_2	N･mm	座屈端部における曲げモーメント（小さい方，$M_1 \geqq M_2$）
	m_0	kg	容器の有効運転質量
	N	—	スカート開口部個数又は支持脚本数
	t	mm	スカート厚さ
	t_1	mm	支持構造物のフランジ厚さ
	t_2	mm	支持構造物のウェッブ厚さ
	Y	mm	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ
	Z	mm^3	支持構造物の断面係数
	Λ	—	限界細長比
	λ	—	圧縮材の有効細長比
	ν	—	許容圧縮応力算出の際に用いる係数
	τ	MPa	一次せん断応力
	σ_b	MPa	一次曲げ応力
	σ_c	MPa	一次圧縮応力

注記＊：長手方向及び横方向の区別がある機器の場合は，長手方向ℓ_{c1}，横方向ℓ_{c2}とする。

2.1.2　強度計算方法

ここでは，重大事故等クラス２支持構造物（容器）のスカート部及び脚部の評価が必要な一次応力及びその計算方法を示す。

材料の設計降伏点は，設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８及び設計引張強さは設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表９により容器の最高使用温度に応じた値を用いる。設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８及び表９記載の温度の中間の値の場合は，比例法を用いて計算し，小数点第１位以下を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は，設計・建設規格に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(1)　評価応力（設計・建設規格　SSC-3010）

項目		適用規格番号	評価
一次応力	引張応力	設計・建設規格　SSC-3121.1	支持構造物に引張応力が作用しないので評価を省略する。
	せん断応力		脚支持（壁からの支持）のみ評価を行う。 脚支持（床からの支持）及びスカート支持にはせん断応力が作用しないので評価を省略する。
	圧縮応力		脚支持（床からの支持）及びスカート支持について評価を行う。 脚支持（壁からの支持）には圧縮応力が作用しないので評価を省略する。
	曲げ応力		脚支持のみ評価を行う。 スカート支持には曲げモーメントが作用しないので評価を省略する。
	支圧応力		構造上支圧応力が発生するものはないので評価を省略する。
	組合せ応力		脚支持のみ評価を行う。 スカート支持には圧縮応力しか作用しないため，組合せ応力の評価は省略する。

(2)　スカート部の応力計算（設計・建設規格　SSC-3010）

一次圧縮応力は，以下の計算式により求められる許容圧縮応力以下であることを確認する。

項目	適用規格番号	計算式
一次圧縮応力	—	$F_c = m_0 g$ $\sigma_c = \dfrac{F_c}{A}$
許容圧縮応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	(1)　圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合 （$\lambda \leqq \Lambda$ の場合） $f_c = \left\{1 - 0.4\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\dfrac{F}{\nu}$　＊1，＊2，＊3 (2)　圧縮材の有効細長比が限界細長比を超える場合 （$\lambda > \Lambda$ の場合） $f_c = 0.277F\left(\dfrac{\Lambda}{\lambda}\right)^2$　＊1，＊2 (3)　圧延形鋼又は溶接Ｉ型鋼の断面形状を用いるものはないので記載を省略する。

注記＊1：λは，圧縮材の有効細長比で，$\lambda = \dfrac{\ell_k}{i}$より求める。

ℓ_kは，座屈長さで，設計・建設規格　解説表　SSB-3121-1　座屈長さℓ_kより求める。

iは，座屈軸についての断面二次半径で，$i = \sqrt{\dfrac{I}{A}}$より求める。

Iは，支持構造物の断面二次モーメントで，次式により求める。

$$I = \frac{\pi}{8}\left(D_i + t\right)^3 t - \frac{1}{4}\left(D_i + t\right)^2 t Y$$

Aは，支持構造物の断面積で，次式により求める。

$$A = \left\{\pi\left(D_i + t\right) - Y\right\} t$$

Yは，スカート開口部の水平断面における最大円周長さで，次式により求める。

$$Y = \sum_{j=1}^{N}\left\{\left(D_i + t\right) sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_i + t}\right)\right\}$$

＊2：Λは，限界細長比で，$\Lambda = \sqrt{\dfrac{\pi^2 E}{0.6F}}$より求める。

＊3：νは，許容圧縮応力算出の際に用いる係数で，$\nu = 1.5 + \dfrac{2}{3}\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$より求める。

(3)　脚部の応力計算（設計・建設規格　SSC-3010）

一次圧縮応力及び一次曲げ応力による組合せ評価，一次せん断応力及び一次曲げ応力による組合せ評価は，以下の計算式により求められる許容値以下であることを確認する。

項目	適用規格番号	計算式
一次圧縮応力	—	$F_c = \frac{m_0}{N} g$ $\sigma_c = \frac{F_c}{A}$
一次曲げ応力	—	$M = \frac{m_0 g \ell_c}{2 \cdot N}$　壁からの支持の場合$M = \frac{m_0 g \ell_1}{N}$ $\sigma_b = \frac{M}{Z}$
一次せん断応力	—	$F_s = \frac{m_0}{N} g$ $\tau = \frac{F_s}{A_s}$
許容圧縮応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	(1)　圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合 （$\lambda \leqq \Lambda$ の場合） $f_c = \left\{1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\frac{F}{\nu}$　＊1，＊2，＊3 (2)　圧縮材の有効細長比が限界細長比を超える場合 （$\lambda > \Lambda$ の場合） $f_c = 0.277 F \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2$　＊1，＊2 (3)　圧延形鋼又は溶接Ｉ型鋼の断面形状を用いるものはないので記載を省略する。
許容せん断応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$

項目	適用規格番号	計算式
許容曲げ応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	(1) $f_t = \frac{F}{1.5}$ (2) 荷重面内に対称軸を有する圧延形鋼であって強軸まわりに曲げを受けるものは以下の 2 つの計算式により計算した値のうちいずれか大きい方の値又は(1)に定める値のいずれか小さい方の値 $f_b = \left\{1 - 0.4\frac{\ell^2}{C\Lambda^2 i_f^2}\right\} f_t$ ＊2，＊4 $f_b = \frac{0.433EA_f}{\ell h}$ (3) みぞ形断面のもの，荷重面内に対称軸を有しない圧延形鋼及び溶接組立鋼の場合は以下の計算した値又は(1)に定める値のいずれか小さい方の値 $f_b = \frac{0.433EA_f}{\ell h}$
組合せ評価	設計・建設規格 SSC-3121.1	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$ $\sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \leqq f_t$

注記＊1：λは，圧縮材の有効細長比で，$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$より求める。

ℓ_kは，座屈長さで，設計・建設規格　解説表　SSB-3121-1　座屈長さℓ_kより求める。

ｉは，座屈軸についての断面二次半径で，$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$より求める。

Ｉは，支持構造物の断面二次モーメントで，Ｈ型鋼の場合は次式により求める。

$$I = \frac{1}{12}\left\{bh^3 - (h - 2t_1)^3(b - t_2)\right\}$$

Ａは，支持構造物の断面積で，Ｈ型鋼の場合は次式により求める。

$$A = 2t_1(b - t_2) + ht_2$$

＊2：Λは，限界細長比で，$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$より求める。

＊3：νは，許容圧縮応力算出の際に用いる係数で，$\nu = 1.5 + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$より求める。

＊4：i_fは，圧縮フランジとはりのせいの６分の１とからなるＴ型断面のウェッブ軸まわり

の断面二次半径で，$i_f = \sqrt{\dfrac{I_{sf}}{A_{sf}}}$より求める。

I_{sf}は，圧縮フランジとはりのせいの 6 分の 1 とからなるＴ型断面のウェッブ軸まわりの断面二次モーメントで，次式により求める。

$$I_{sf} = \frac{1}{12}\left\{ b^3 t_1 + \left(\frac{h}{6} - t_1\right) t_2^3 \right\}$$

A_{sf}は，圧縮フランジとはりのせいの 6 分の 1 とからなるＴ型断面の断面積で，次式により求める。

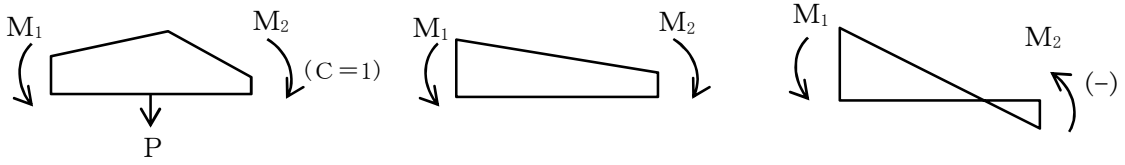
$$A_{sf} = b\ t_1 + \left(\frac{h}{6} - t_1\right) t_2$$

Ｃは，次の計算式により計算した値又は 2.3 のうちいずれか小さい値。（座屈区間中間の強軸まわりの曲げモーメントがM_1より大きい場合は，1 とする。）

$$C = 1.75 - 1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2$$

ここで，$M_1 \geqq M_2$であり，（M_2／M_1）≦1 とする。

① 座屈区間内に最大曲げあり　② 単曲率　③ 複曲率



3.　強度計算書のフォーマット

3.1　強度計算書のフォーマットの概要

強度計算書のフォーマットは，重大事故等クラス２支持構造物（容器）を構成する部材について下記 3.3 項のフォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2　記載する数値に関する注意事項

計算に使用しないものや計算結果のないものは，計算結果表の記入欄には ― として記載する。

3.3　強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

FORMAT-1　一次圧縮応力評価

FORMAT-2　一次圧縮応力及び一次曲げ応力による組合せ評価

FORMAT-3　一次せん断応力及び一次曲げ応力による組合せ評価

(1)　クラス２支持構造物（容器）の規定に基づく強度計算

FORMAT-1

○○の強度計算書

(1).　一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_C (N)	断面積 A (mm^2)	一次圧縮応力 σ_c (MPa)	許容圧縮応力 f_c (MPa)	評価

○○　支持構造物の強度計算説明図

FORMAT-2

○○の強度計算書

(1).　一次圧縮応力及び一次曲げ応力による組合せ評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_C (N)	断面積 A (mm^2)	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm^3)

一次圧縮応力 σ_c (MPa)	許容圧縮応力 f_c (MPa)	一次曲げ応力 σ_b (MPa)	許容曲げ応力 f_b (MPa)	組合せ評価 $\frac{\sigma_c}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1$	評価

○○　支持構造物の強度計算説明図

FORMAT-3

○○の強度計算書

(1). 一次せん断応力及び一次曲げ応力による組合せ評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (℃)	F値 (MPa)	せん断荷重 Fs (N)	せん断断面積 As (mm^2)	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm^3)

一次せん断応力 τ (MPa)	許容せん断応力 fs (MPa)	一次曲げ応力 σb (MPa)	許容曲げ応力 fb (MPa)	組合せ応力 $\sqrt{\sigma_b^2+3\tau^2}$	許容引張応力 ft (MPa)	評価

○○　支持構造物の強度計算説明図

Ｖ-3-2-13　重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

目　　次

1.　概要 ･･･ 1
2.　重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の強度計算方法 ･････････････････････････ 2
2.1　クラス２支持構造物の規定に基づく強度計算方法 ･････････････････････････････ 2
2.1.1　記号の説明 ･･･ 2
2.1.2　強度計算方法 ･･ 3
3.　強度計算書のフォーマット ･･･ 7
3.1　強度計算書のフォーマットの概要 ･･･ 7
3.2　記載する数値に関する注意事項 ･･･ 7
3.3　強度計算書のフォーマット ･･･ 7

K7 ① V-3-2-13 R1

1.　概要

本書はＶ-3-1-5「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ポンプを支持する支持構造物であって，重大事故等クラス２ポンプに溶接により取り付けられ，その損壊により重大事故等クラス２ポンプに損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）（以下「重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）」という。）が十分な強度を有することを確認するための方法として適用する規格の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり，重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の強度計算方法及び強度計算書のフォーマットにより構成する。

適用する規格は，昭和 55 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。）又は発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年９月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお，告示第５０１号及び設計・建設規格による評価について，評価式及び許容値の２つの項目について比較を実施した結果，両規格に相違のないことを確認した。そのため，設計・建設規格による評価を行う。

2.　重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

2.1　クラス２支持構造物の規定に基づく強度計算方法

2.1.1　記号の説明

重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の一次応力計算に用いる記号について，以下に説明する。

	記号	単位	定義
一次応力計算に使用するもの	A_f	mm^2	圧縮フランジの断面積
	A_s	mm^2	取付ラグの断面積
	b	mm	取付ラグの幅
	E	MPa	設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表１に規定する材料の縦弾性係数
	F	MPa	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)により規定される値
	f_c	MPa	許容圧縮応力
	f_b	MPa	許容曲げ応力
	f_t	MPa	許容引張応力
	F_{c1}	N	取付ラグ１個にかかる最大の鉛直荷重
	F_{c2}	N	鉛直荷重
	f_s	MPa	許容せん断応力
	h	mm	はりのせい
	I	mm^4	断面二次モーメント
	i	mm	座屈軸についての断面二次半径
	ℓ_b	mm	圧縮フランジの支点間距離
	ℓ_k	mm	座屈長さ
	M	N･mm	取付ラグにかかる曲げモーメント
	t_1	mm	取付ラグの厚さ（側板）
	t_2	mm	取付ラグの厚さ（底板）
	W	kg	内部流体質量を含むポンプ質量
	Z	mm^3	取付ラグの断面係数
	λ	－	圧縮材の有効細長比
	Λ	－	限界細長比
	ν	－	許容圧縮応力算出の際に用いる係数
	σ_b	MPa	一次曲げ応力
	σ_c	MPa	一次圧縮応力
	σ_s	MPa	一次せん断応力
	B	mm	支持構造物の厚さ

	記号	単位	定義
	H	mm	支持構造物の幅
	n	－	支持構造物の枚数

2.1.2　強度計算方法

ここでは，重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）の取付ラグ部について評価が必要な一次応力及びその計算方法を示す。

材料の設計降伏点は設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８及び設計引張強さは設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表９によりポンプの最高使用温度に応じた値を用いる。設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８及び表９記載の温度の中間の値の場合は比例法を用いて計算し，小数点第１位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は設計・建設規格に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

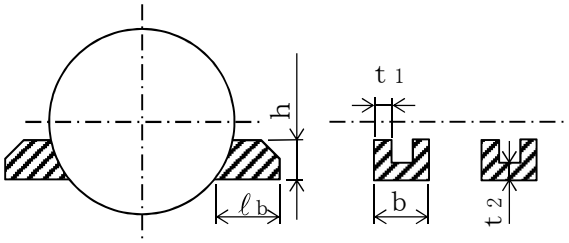
(1)　評価応力（設計・建設規格　SSC-3010）

今回申請する支持構造物（ポンプ）については，以下のとおり評価する。

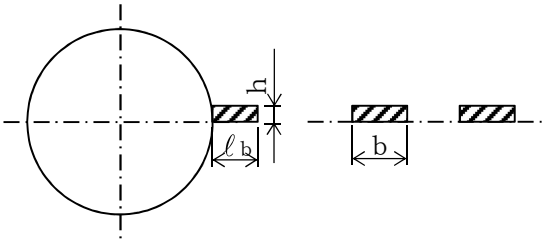
項目		適用規格番号	評価
一次応力	引張応力	設計・建設規格　SSC-3121.1	支持構造物に引張力が作用しないので評価を省略する。
	せん断応力		評価を行う。*1
	圧縮応力		評価を行う。*2
	曲げ応力		評価を行う。*1
	支圧応力		構造上支圧応力が発生するものはないので評価を省略する。
	組合せ応力		支持構造物に引張応力が生じないことから，せん断応力，曲げ応力との組合せは省略する。

注記＊1：a)，b)のみ。c)は支持構造物に応力が作用しないので評価を省略する。

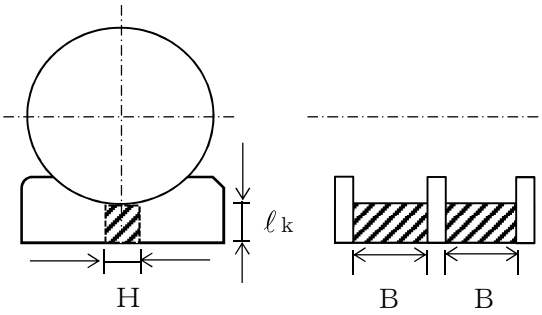
＊2：c)のみ。a)，b）は支持構造物に圧縮力が作用しないので評価を省略する。



a)　凹形



b) 平板形（横方向取付）



c)　平板形(立方向取付)

図 2－1　支持構造物の形状例

(2)　一次応力及び許容応力の計算（設計・建設規格　SSC-3010）

一次応力は，下記計算式により求められる許容応力以下であることを確認する。

項目	適用規格番号	計算式
一次せん断応力	—	$\sigma_s = \dfrac{F_{c1}}{A_{s1}}$　＊1，＊2
許容せん断応力	設計・建設規格　SSC-3121.1	$f_s = \dfrac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$
一次圧縮応力	—	$\sigma_c = \dfrac{F_{c2}}{A_{s2}}$　＊3
許容圧縮応力	設計・建設規格　SSC-3121.1	$f_c = \left\{1 - 0.4\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\dfrac{F}{\nu}$ ここで， $\lambda = \dfrac{\ell_k}{i}$　＊4 $\Lambda = \sqrt{\dfrac{\pi^2 E}{0.6F}}$ $\nu = 1.5 + \dfrac{2}{3}\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$
一次曲げ応力	—	$M = F_{c1} \cdot \ell_b$ $\sigma_b = \dfrac{M}{Z}$　＊5
許容曲げ応力	設計・建設規格　SSC-3121.1	$f_b = \dfrac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h}$　＊6 $f_t = \dfrac{F}{1.5}$ いずれか小さい方の値を用いる。

注記＊1：F_{c1}は，各支持構造物にかかる荷重で最も大きい値を用いる。支持構造物にかかる荷重は，Wをポンプの重心位置及び支持構造物の間隔により比例配分することにより算出する。

＊2：A_{s1}は，取付ラグの断面積で，凹形は $A_{s1} = 2 \cdot t_1 \cdot (h - t_2) + b \cdot t_2$

平板形は $A_{s1} = b \cdot h$ より求める。

＊3：A_{s2}は，支持構造物の全断面積で，平板形は $A_s{}''2'' = {}''n \cdot B \cdot H''$ より求める。

＊4：ｉは座屈軸についての断面二次半径で，平板形は$i=\sqrt{\frac{H^2}{12}}$より求める。

＊5：【凹形】Ｚは，取付ラグの断面係数で，$Z_1=\frac{I}{e_1}$と$Z_2=\frac{I}{e_2}$のうち小さい方の値を用いる。

e_1，e_2は，中立軸までの距離で，次式により求まる。

$$e_1=h-e_2$$

$$e_2=\frac{h^2\cdot 2\cdot t_1+t_2^2\cdot(b-2\cdot t_1)}{2\cdot\{b\cdot t_2+(h-t_2)\cdot 2\cdot t_1\}}$$

Ｉは，断面二次モーメントで，次式により求まる。

$$I=\frac{1}{3}\cdot\left\{2\cdot t_1\cdot e_1^3+b\cdot e_2^3-(b-2\cdot t_1)\cdot(e_2-t_2)^3\right\}$$

【平板形】 $Z=\frac{b\cdot h^2}{6}$

＊6：A_fは，圧縮フランジの断面積で，$A_f=t_2\cdot b$より求める。

3.　強度計算書のフォーマット

3.1　強度計算書のフォーマットの概要

強度計算書のフォーマットは，重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）を構成する部材について以下の 3.3 項のフォーマットを用い，フォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2　記載する数値に関する注意事項

計算に使用しないものや計算結果のないものは，計算結果表の欄には［　―　］として記載する。

3.3　強度計算書のフォーマット

強度計算書のフォーマットは，次のとおりである。

FORMAT-1　支持構造物（ポンプ）の強度計算書

FORMAT-1

○○の強度計算書

○○ポンプ　支持構造物（△△形）

(1).　一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	断面積 A_s (mm^2)	一次せん断応力 σ_s (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)	評価

(2).　一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	有効細長比 λ (－)	限界細長比 Λ (－)	一次圧縮応力 σ_c (MPa)	許容圧縮応力 f_c (MPa)	評価

(3).　一次曲げ応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	曲げモーメント M (N･mm)	断面係数 Z (mm^3)	一次曲げ応力 σ_b (MPa)	許容曲げ応力 f_b (MPa)	評価

○○ポンプ　支持構造物の強度計算説明図

Ⅴ-3-2-14　重大事故等クラス３機器の強度評価方法

目　　次

1.　概要 ･･･ 1
2.　重大事故等クラス３機器の強度評価方法 ･････････････････････････････････ 2
2.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の強度評価方法 ･････････････････････ 2
2.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の強度評価方法 ･････････････････････ 3
3.　強度評価書のフォーマット ･･･ 5
3.1　強度評価書のフォーマットの概要 ･････････････････････････････････････ 5
3.2　強度評価書のフォーマット ･･･ 5

1.　概要

本書は，Ｖ-3-1-6「重大事故等クラス３機器の強度計算の基本方針」に基づき，完成品を除く重大事故等クラス３機器が十分な強度を有することを確認する方法として参考にする「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））＜第１編軽水炉規格＞ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（日本機械学会）」（以下「設計・建設規格」という。）のクラス３機器の規定に基づく強度計算方法及び重大事故等クラス３機器のうち完成品が一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認するための強度評価方法について説明するものであり，重大事故等クラス３機器の強度評価方法及び強度評価書のフォーマットにより構成する。

2.　重大事故等クラス３機器の強度評価方法

2.1　完成品を除く重大事故等クラス３機器の強度評価方法

耐圧試験による強度評価を実施する管継手については，設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ，実条件を踏まえた耐圧試験を実施し，その結果の確認により強度評価を実施する。

(1)　強度評価方法

a.　管継手

耐圧試験による強度評価を実施する管継手については，実条件を踏まえた耐圧試験圧力まで昇圧したとき，これに耐え，著しい漏えいがないことを確認する。

2.2　重大事故等クラス３機器のうち完成品の強度評価方法

重大事故等クラス３機器のうち完成品の材料，構造及び強度が，一般産業品の規格及び基準に適合していることの確認については，以下のとおり，適用される規格及び基準が妥当であること，対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認により行う。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク，非常用発電装置（可搬型）に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては，可搬型ポンプ及び非常用発電装置（可搬型）が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認する。また，非常用発電装置（可搬型）の一般産業品の規格及び基準への適合性の確認については，対象とする完成品が発電装置であり，「可搬形発電設備技術基準（ＮＥＧＡ　Ｃ　３３１:2005)」を準用していることをＶ-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」において確認していることを踏まえ，発電装置として使用条件に対する強度の確認を実施する。

(1)　法令又は公的な規格への適合性確認

(a)　対象とする機器の使用目的，使用環境と法令又は公的な規格の使用目的，想定している使用環境を比較し，適用される規格及び基準が妥当であることを確認する。

(b-1)法令又は公的な規格に基づく機器に適切な材料が使用され，十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

イ．　対象とする機器の材料が，適用される法令又は公的な規格に基づいた材料であること。

ロ．　対象とする機器の最高使用圧力及び最高使用温度がメーカ仕様の範囲内であること。

ハ．　適用される法令又は公的な規格で定められている試験に合格していること。

(2)　メーカ規格及び基準への適合性確認

(a)　対象とする機器の使用目的，使用環境とメーカ規格及び基準の使用目的，想定している使用環境を比較し，適用される規格及び基準が妥当であることを確認する。

(b-2) 非常用発電装置（可搬型）を除くメーカ規格及び基準に基づく機器に適切な材料が使用され，十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

イ．　対象とする機器の材料が，以下のいずれかに該当すること。

・設計・建設規格のクラス３機器に使用可能とされている材料と同種類であること

・機器と同様の用途の機器について規定している法令又は公的な規格で使用可能とされている材料と同種類であること。

・日本工業規格等に規定されている材料と同種類であって，対象とする機器の使用環境を踏まえた強度が確保できる材料であること。

ロ．　対象とする機器の最高使用圧力及び最高使用温度がメーカ仕様の範囲内であること。

ハ．　法令又は公的な規格，設計・建設規格等で定められている試験と，試験条件が同等である試験に合格していること。

(b-3)非常用発電装置（可搬型）が使用条件に対して十分な強度を有する設計であることを，以下の項目により確認する。

イ．　「日本電機工業会規格ＪＥＭ－１３５４」（以下「ＪＥＭ－１３５４」という。）等に基づいた温度試験により，対象とする非常用発電装置（可搬型）の定格負荷状態における最高使用温度が，メーカ許容値の範囲内であること。

ロ．　対象とする非常用発電装置（可搬型）の容量がメーカ仕様の範囲内であること。

3.　強度評価書のフォーマット

3.1　強度評価書のフォーマットの概要

完成品として一般産業品の規格及び基準に基づく強度評価を実施した機器については，適用した規格及び基準への適合性を確認するために必要な条件及びその結果を記載したフォーマットとする。

3.2　強度評価書のフォーマット

強度評価書のフォーマットは以下のとおりである。

(1)　完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

ＦＯＲＭＡＴ－Ⅰ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）

ＦＯＲＭＡＴ－Ⅱ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）

ＦＯＲＭＡＴ－Ⅲ　一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置(可搬型)）

(1) 完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

ＦＯＲＭＡＴ－Ｉ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）

Ｉ． 重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)

Ⅱ． 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準					
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ． メーカ仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	規格及び基準に基づく試験

Ⅳ． 確認項目

(a) ：規格及び基準が妥当であることの確認（ＩとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

(b-1)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（ⅡとⅢの材料及び試験条件の比較，ＩとⅢの使用条件の比較）

Ⅴ． 評価結果

ＦＯＲＭＡＴ－Ⅱ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

Ⅳ．　評価結果

ＦＯＲＭＡＴ－Ⅲ

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））

Ⅰ．　非常用発電装置（可搬型）の使用目的及び使用環境，使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量(kVA/個)

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量(kVA/個)	メーカ許容値(℃)	規格及び基準に基づく試験

Ⅲ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

(b-3)：使用条件に対する強度の確認（ⅡとＪＥＭ－１３５４に規定される温度試験との比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

Ⅳ．　評価結果

Ⅴ-3-3　強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3 R1

Ⅴ-3-3-1　原子炉本体の強度に関する説明書

K7 ① Ⅴ-3-3-1 R1

Ｖ-3-3-1-1　原子炉圧力容器の強度計算書

K7 ① V-3-3-1-1 R1

Ｖ-3-3-1-1-1　原子炉圧力容器本体の強度計算書

K7 ① V-3-3-1-1-1 R1

1.　概要

本計算書については，原子炉圧力容器本体のうち以下の機器の重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが，設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから，評価結果については平成5年6月17日付け4資庁第14562号にて認可された工事計画のⅣ-3-1-2「原子炉圧力容器の強度計算書」による。

(1) 胴板の応力計算書

(2) 上部鏡板，鏡板フランジ及び胴板フランジの応力計算書

(3) 下部鏡板の応力計算書

(4) 中性子束計測ハウジング貫通孔の応力計算書

(5) 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算書

(6) 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)の応力計算書

(7) 主蒸気ノズル(N3)の応力計算書

(8) 給水ノズル(N4)の応力計算書

(9) 低圧注水ノズル(N6)の応力計算書

(10)上蓋スプレイ・ベントノズル(N7)の応力計算書

(11)原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8，N10)の応力計算書

(12)原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル(N9)の応力計算書

(13)炉心支持板差圧検出ノズル(N11)の応力計算書

(14)計装ノズル(N12，N13，N14)の応力計算書

(15)ドレンノズル(N15)の応力計算書

(16)高圧炉心注水ノズル(N16)の応力計算書

Ⅴ-3-3-2　核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書

K7 ① Ⅴ-3-3-2 R1

Ⅴ-3-3-2-1　燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-1 R1

Ⅴ-3-3-2-1-1　使用済燃料貯蔵プールの強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-1-1 R1

まえがき

本計算書は，Ⅴ-3-1-5「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-3-2-8「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，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(℃)					
使用済燃料貯蔵プール	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	静水頭	66	静水頭	100	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

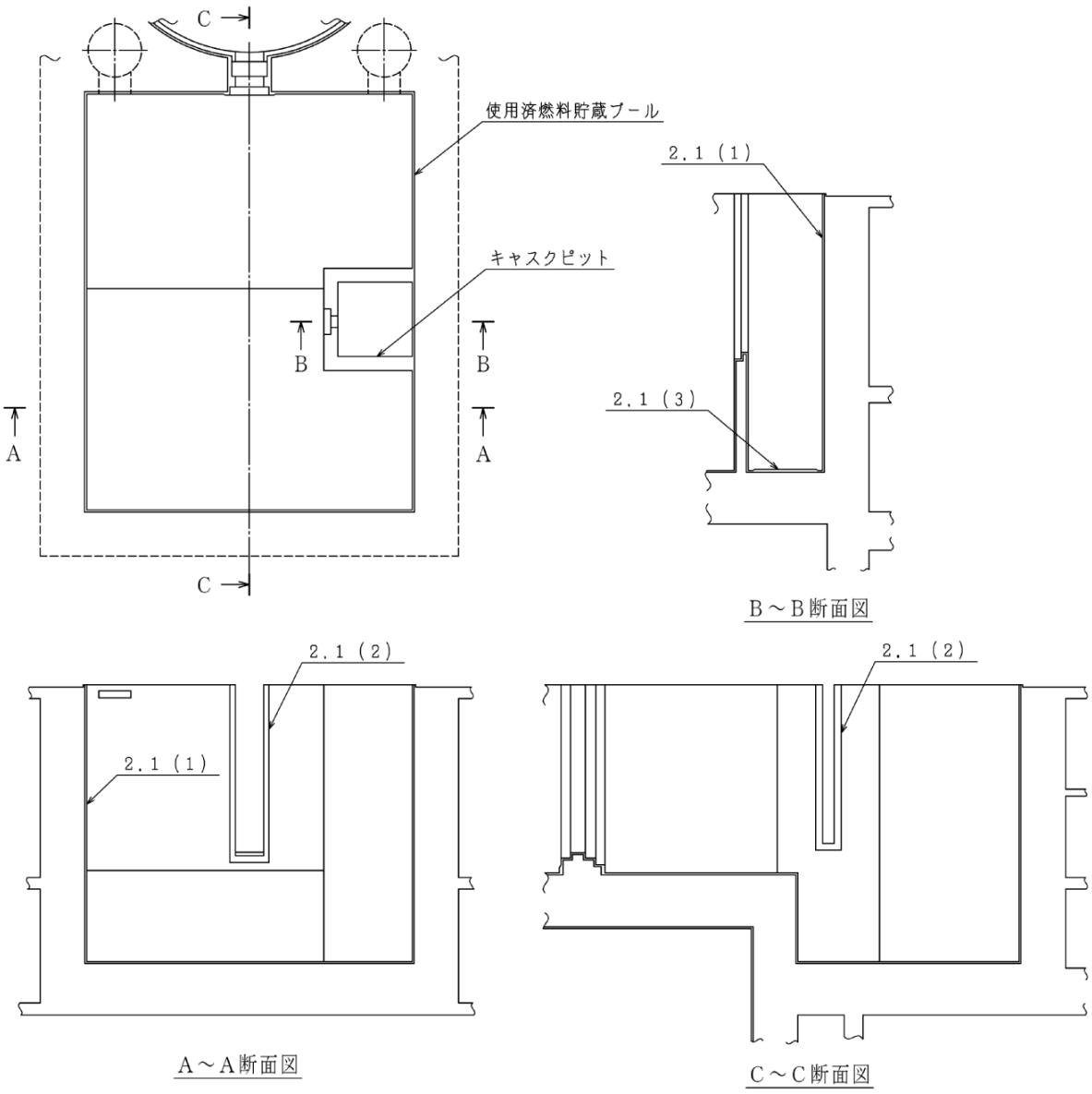
目　　次

1.　計算条件 ･･･ 1
1.1　計算部位 ･･･ 1
1.2　設計条件 ･･･ 1
2.　強度計算 ･･･ 2
2.1　開放タンクの胴の厚さの計算 ･･･ 2

1.　計算条件

1.1　計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の計算項目番号を示す。

図1－1　概要図

1.2　設計条件

最高使用圧力(MPa)	静水頭
最高使用温度(℃)	100

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

2.　強度計算

2.1　開放タンクの胴の厚さの計算*

設計・建設規格　PVC-3920(1)

胴板名称			(1)　ライニング材
材料			SUS304
水頭	H	(m)	—
最高使用温度		(℃)	—
胴の内径	D_i	(m)	—
液体の比重	ρ		—
許容引張応力	S	(MPa)	—
継手効率	η		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	—
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_2，t_3の大きい値	t	(mm)	1.50
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	6.00
最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

注記＊：使用済燃料貯蔵プール（キャスクピット含む。）はコンクリート躯体にステンレス鋼板を内張りしたものであり，水頭による荷重は，内張りの下のコンクリート躯体で強度を保持しているため，内張り材の最小厚さが設計・建設規格　PVC-3920(1)で規定する値以上であることを確認する。

開放タンクの胴の厚さの計算*

設計・建設規格　PVC-3920(1)

胴板名称			(2)　ライニング材
材料			SUS304
水頭	H	(m)	—
最高使用温度		(℃)	—
胴の内径	D_i	(m)	—
液体の比重	ρ		—
許容引張応力	S	(MPa)	—
継手効率	η		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	—
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_2，t_3の大きい値	t	(mm)	1.50
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	12.00
最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

注記＊：使用済燃料貯蔵プール（キャスクピット含む。）はコンクリート躯体にステンレス鋼板を内張りしたものであり，水頭による荷重は，内張りの下のコンクリート躯体で強度を保持しているため，内張り材の最小厚さが設計・建設規格　PVC-3920(1)で規定する値以上であることを確認する。

開放タンクの胴の厚さの計算*

設計・建設規格　PVC-3920(1)

胴板名称			(3)　ライニング材
材料			SUS304
水頭	H	(m)	—
最高使用温度		(℃)	—
胴の内径	D_i	(m)	—
液体の比重	ρ		—
許容引張応力	S	(MPa)	—
継手効率	η		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	—
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_2，t_3の大きい値	t	(mm)	1.50
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	25.00
最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

注記＊：使用済燃料貯蔵プール（キャスクピット含む。）はコンクリート躯体にステンレス鋼板を内張りしたものであり，水頭による荷重は，内張りの下のコンクリート躯体で強度を保持しているため，内張り材の最小厚さが設計・建設規格　PVC-3920(1)で規定する値以上であることを確認する。

Ⅴ-3-3-2-2　使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-2 R1

Ｖ-3-3-2-2-1　燃料プール冷却浄化系の強度計算書

K7 ① V-3-3-2-2-1 R1

Ⅴ-3-3-2-2-1-1　燃料プール冷却浄化系熱交換器の強度計算書

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

まえがき

本計算書は，V-3-1-5「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-3-2-8「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，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 (℃)					
燃料プール冷却浄化系熱交換器	既設	有	管側	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
			胴側	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	70	1.37	70	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

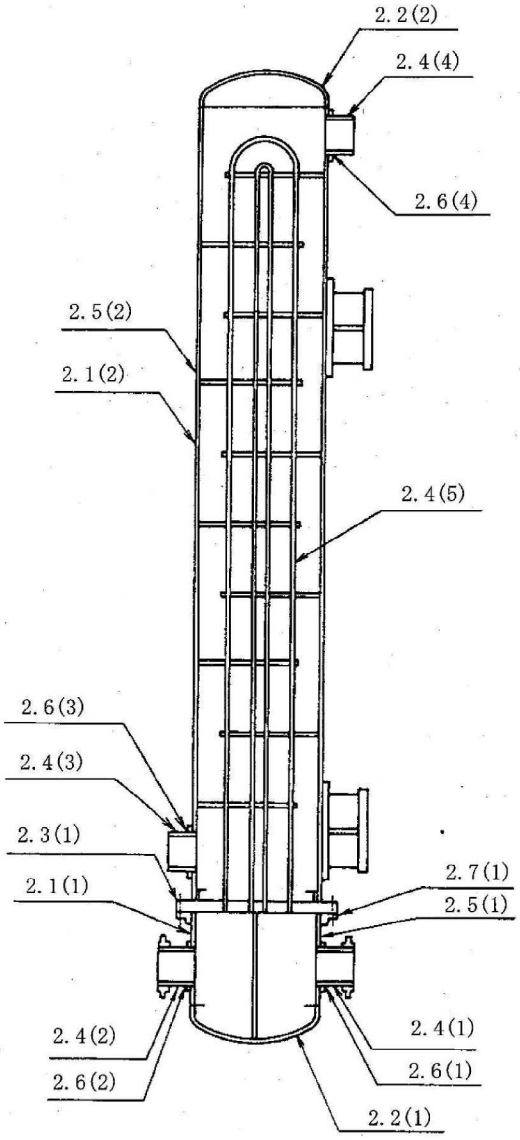
目　次

1.　計算条件 …… 1
1.1　計算部位 …… 1
1.2　設計条件 …… 1
2.　強度計算 …… 2
2.1　容器の胴の厚さの計算 …… 2
2.2　容器の鏡板の厚さの計算 …… 4
2.3　容器の管板の厚さの計算 …… 6
2.4　容器の管台の厚さの計算 …… 7
2.5　容器の補強を要しない穴の最大径の計算 …… 12
2.6　容器の穴の補強計算 …… 14
2.7　容器のフランジの計算 …… 22
2.8　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 …… 24

1.　計算条件

1.1　計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の計算項目番号を示す。

図1－1　概要図

1.2　設計条件

最高使用圧力(MPa)	管側	1.57
	胴側	1.37
最高使用温度(℃)	管側	77
	胴側	70

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

2. 強度計算

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) 管側胴板
材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
許容引張応力	S	(MPa)	125
継手効率	η		0.70
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			無し
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	6.35
t_1, t_2の大きい値	t	(mm)	6.35
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	12.00
最小厚さ	t_s	(mm)	
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称			(2) 胴側胴板
材料			SB410
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		0.70
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			無し
必要厚さ	t_1	(mm)	3.00
必要厚さ	t_2	(mm)	6.73
t_1, t_2の大きい値	t	(mm)	6.73
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	12.00
最小厚さ	t_s	(mm)	
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

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) 管側鏡板
鏡板の外径	D_{oc}	(mm)	724.00
鏡板の中央部における内面の半径	R	(mm)	700.00
鏡板のすみの丸みの内半径	r	(mm)	70.00
$3 \cdot t_{co}$		(mm)	36.00
$0.06 \cdot D_{oc}$		(mm)	43.44
評価：$D_{oc} \geqq R$，$r \geqq 3 \cdot t_{co}$，$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$，$r \geqq 50$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) 管側鏡板
材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
さら形鏡板の形状による係数	W		1.54
許容引張応力	S	(MPa)	125
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)	4.43
必要厚さ	t_2	(mm)	6.78
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	6.78
呼び厚さ	t_{co}	(mm)	12.00
最小厚さ	t_c	(mm)	[redacted]
評価：$t_c \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

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			(2) 胴側鏡板
鏡板の外径	D_{oc}	(mm)	724.00
鏡板の中央部における内面の半径	R	(mm)	700.00
鏡板のすみの丸みの内半径	r	(mm)	70.00
3・t_{co}		(mm)	36.00
0.06・D_{oc}		(mm)	43.44
評価：$D_{oc} \geqq R$，$r \geqq 3 \cdot t_{co}$，$r \geqq 0.06 \cdot D_{oc}$，$r \geqq 50$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			(2) 胴側鏡板
材料			SB410
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
さら形鏡板の形状による係数	W		1.54
許容引張応力	S	(MPa)	103
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)	4.70
必要厚さ	t_2	(mm)	7.19
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	7.19
呼び厚さ	t_{co}	(mm)	12.00
最小厚さ	t_c	(mm)	[redacted]
評価：$t_c \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

2.3　容器の管板の厚さの計算

（イ）設計・建設規格 PVC-3510(1)

管穴の中心間距離

管板名称			(1) 管板
管の外径	d_t	(mm)	[redacted]
必要な距離	z	(mm)	[redacted]
管穴の中心間距離	P_t	(mm)	21.00
評価：$P_t \geqq z$，よって十分である。			

（ロ）設計・建設規格 PVC-3510(2)

管板の厚さ

管板名称			(1) 管板
材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
パッキンの中心円の径又は胴の内径	D	(mm)	772.18
管及び管板の支え方による係数	F		1.25 (伝熱管の形式： U字管)
管板の支え方			管側胴と一体でない。
任意の管の中心が囲む面積	A	(mm^2)	2.114×10^5
面積Aの周のうち穴の径以外の部分の長さ	L	(mm)	499.80
許容引張応力	S	(MPa)	125
必要厚さ	t_1	(mm)	54.09
必要厚さ	t_2	(mm)	6.25
t_1，t_2，10の大きい値	t	(mm)	54.09
呼び厚さ	t_{bo}	(mm)	59.00
最小厚さ	t_b	(mm)	[redacted]
評価：$t_b \geqq t$，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) 管側入口
材料			SUS304TP-S
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
管台の外径	D_o	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	125
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)	1.36
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_3の大きい値	t	(mm)	1.36
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	8.20
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(2) 管側出口
材料			SUS304TP-S
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
管台の外径	D_o	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	125
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)	1.36
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1, t_3の大きい値	t	(mm)	1.36
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	8.20
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(3) 胴側入口
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
管台の外径	D_o	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	103
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)	1.43
必要厚さ	t_3	(mm)	3.80
t_1, t_3の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	8.20
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(4) 胴側出口
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
管台の外径	D_o	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	103
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)	1.43
必要厚さ	t_3	(mm)	3.80
t_1, t_3の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	8.20
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(5) 伝熱管
材料			SUS304TB-S
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
外面に受ける最高の圧力	P_e	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	77
管台の外径	D_o	(mm)	[redacted]
許容引張応力	S	(MPa)	125
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)	0.10
必要厚さ	t_2	(mm)	0.40
t_1, t_2の大きい値	t	(mm)	0.40
呼び厚さ	t_{to}	(mm)	[redacted]
最小厚さ	t_t	(mm)	[redacted]
評価：$t_t \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

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) 管側胴板
材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
胴の外径	D	(mm)	724.00
許容引張応力	S	(MPa)	125
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
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)	[redacted]
61, d_{r1}の小さい値		(mm)	[redacted]
K			[redacted]
$D\cdot t_s$		(mm^2)	[redacted]
200, d_{r2}の小さい値		(mm)	120.26
補強を要しない穴の最大径		(mm)	120.26
評価：補強の計算を要する穴の名称			管側入口(2.6(1)) 管側出口(2.6(2))

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

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			(2) 胴側胴板
材料			SB410
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
胴の外径	D	(mm)	724.00
許容引張応力	S	(MPa)	103
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
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)	[redacted]
61, d_{r1}の小さい値		(mm)	[redacted]
K			[redacted]
$D\cdot t_s$		(mm^2)	[redacted]
200, d_{r2}の小さい値		(mm)	121.59
補強を要しない穴の最大径		(mm)	121.59
評価：補強の計算を要する穴の名称			胴側入口(2.6(3)) 胴側出口(2.6(4))

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

2.6　容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１６

部材名称			(1) 管側入口
胴板材料			SUS304
管台材料			SUS304TP-S
強め板材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	125
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	125
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	125
穴の径	d	(mm)	[redacted]
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	4.43
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	[redacted]
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	[redacted]
補強の有効範囲	X_1	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X_2	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	[redacted]
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	[redacted]
強め板の外径	B_e	(mm)	290.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	216.30
溶接寸法	L_1	(mm)	6.00
溶接寸法	L_2	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	[redacted]
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	[redacted]
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	117.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm^2)	[redacted]
補強に有効な総面積	A_0	(mm^2)	[redacted]
評価：$A_0 > A_r$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

部材名称	(1) 管側入口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径　　d_j　　(mm)	350.00
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重　　W_1　　(N)	[redacted]
溶接部にかかる荷重　　W_2　　(N)	[redacted]
溶接部の負うべき荷重　　W　　(N)	[redacted]
評価：$W < 0$，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１６

部材名称			(2) 管側出口
胴板材料			SUS304
管台材料			SUS304TP-S
強め板材料			SUS304
最高使用圧力	P	(MPa)	1.57
最高使用温度		(℃)	77
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	125
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	125
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	125
穴の径	d	(mm)	[redacted]
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	4.43
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	[redacted]
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	[redacted]
補強の有効範囲	X_1	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X_2	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	[redacted]
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	[redacted]
強め板の外径	B_e	(mm)	290.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	216.30
溶接寸法	L_1	(mm)	6.00
溶接寸法	L_2	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	[redacted]
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	[redacted]
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	117.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm^2)	[redacted]
補強に有効な総面積	A_0	(mm^2)	[redacted]
評価：$A_0 > A_r$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

部材名称	(2) 管側出口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径　d_j　(mm)	350.00
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重　W_1　(N)	[redacted]
溶接部にかかる荷重　W_2　(N)	[redacted]
溶接部の負うべき荷重　W　(N)	[redacted]
評価：$W < 0$，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１６

部材名称			(3) 胴側入口
胴板材料			SB410
管台材料			STPT410-S
強め板材料			SB410
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	103
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	103
穴の径	d	(mm)	[redacted]
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	4.70
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	[redacted]
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	[redacted]
補強の有効範囲	X_1	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X_2	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	[redacted]
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	[redacted]
強め板の外径	B_e	(mm)	290.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	216.30
溶接寸法	L_1	(mm)	6.00
溶接寸法	L_2	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	[redacted]
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	[redacted]
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	117.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm^2)	[redacted]
補強に有効な総面積	A_0	(mm^2)	[redacted]
評価：$A_0 > A_r$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-1 R1

部材名称	(3) 胴側入口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径　d_j　(mm)	350.00
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。	
溶接部にかかる荷重　W_1　(N)	[redacted]
溶接部にかかる荷重　W_2　(N)	[redacted]
溶接部の負うべき荷重　W　(N)	[redacted]
評価：$W < 0$，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

容器の穴の補強計算
設計・建設規格 PVC-3160

参照附図　ＷＥＬＤ－１６

部材名称			(4) 胴側出口
胴板材料			SB410
管台材料			STPT410-S
強め板材料			SB410
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(℃)	70
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)	103
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)	103
穴の径	d	(mm)	[redacted]
管台が取り付く穴の径	d_w	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
管台の最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
胴板の継手効率	η		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	D_i	(mm)	700.00
胴板の計算上必要な厚さ	t_{sr}	(mm)	4.70
管台の計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	[redacted]
穴の補強に必要な面積	A_r	(mm^2)	[redacted]
補強の有効範囲	X_1	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X_2	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	X	(mm)	[redacted]
補強の有効範囲	Y_1	(mm)	[redacted]
強め板の最小厚さ	t_e	(mm)	[redacted]
強め板の外径	B_e	(mm)	290.00
管台の外径	D_{on}	(mm)	216.30
溶接寸法	L_1	(mm)	6.00
溶接寸法	L_2	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	[redacted]
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	[redacted]
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	117.0
強め板の有効補強面積	A_4	(mm^2)	[redacted]
補強に有効な総面積	A_0	(mm^2)	[redacted]
評価：$A_0 > A_r$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

部材名称		(4) 胴側出口
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	d_j (mm)	350.00
評価：$d \leqq d_j$，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	W_1 (N)	[redacted]
溶接部にかかる荷重	W_2 (N)	[redacted]
溶接部の負うべき荷重	W (N)	[redacted]
評価：$W < 0$，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

2.7　容器のフランジの計算

設計・建設規格 PVC-3710

（ＪＩＳ Ｂ ８２６５ 附属書3適用）

（内圧を受けるフランジ）　　参照附図　　ＦＬＡＮＧＥ－１　　差込み形フランジ

フランジ名称				(1) 管側フランジ	
フランジ材料				SUS304	
ボルト材料				SNB7（直径63mm以下）	
ガスケット材料				うず巻形ガスケット（石綿入）ステンレス鋼	
ガスケット厚さ			(mm)	4.5	
ガスケット座面の形状				1a-II	
最高使用圧力		P	(MPa)	1.57	
許容引張応力	温度条件		(℃)	最高使用温度（使用状態）(77)	常温（ガスケット締付時）(20)
	ボルト		(MPa)	σ_b= 173	σ_a= 173
	フランジ		(MPa)	σ_f= 125	σ_{fa}= 129
フランジの外径		A	(mm)	900.00	
フランジの内径		B	(mm)	726.50	
ボルト中心円の直径		C	(mm)	850.00	
ガスケット有効径		G	(mm)	772.18	
ハブ先端の厚さ		g_0	(mm)	12.25	
フランジ背面のハブの厚さ		g_1	(mm)	29.25	
ハブの長さ		h	(mm)	51.00	
ボルト呼び				M24	
ボルト本数		n		28	
ボルト谷径		d_b	(mm)	20.752	
ガスケット接触面の外径		G_s	(mm)	790.00	
ガスケット接触面の幅		N	(mm)	25.00	
ガスケット係数		m		3.00	
最小設計締付圧力		y	(N/mm^2)	68.9	
ガスケット座の基本幅		b_o	(mm)	12.50	
ガスケット座の有効幅		b	(mm)	8.91	
内圧による全荷重		H	(N)	7.352×10^5	
ガスケットに加える圧縮力		H_p	(N)	2.036×10^5	
使用状態での最小ボルト荷重		W_{m1}	(N)	9.388×10^5	
ガスケット締付最小ボルト荷重		W_{m2}	(N)	1.489×10^6	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A_{m1}	(mm^2)	5.427×10^3	
	ガスケット締付時	A_{m2}	(mm^2)	8.608×10^3	
	いずれか大きい値	A_m	(mm^2)	8.608×10^3	
実際のボルト総有効断面積		A_b	(mm^2)	9.470×10^3	
評価：$A_b > A_m$，よって十分である。					

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

フランジ名称				(1) 管側フランジ
ボルト荷重	使用状態	W_o	(N)	9.388×10^5
	ガスケット締付時	W_g	(N)	1.564×10^6
荷重			(N)	$H_D=$ 6.508×10^5
				$H_G=$ 2.036×10^5
				$H_T=$ 8.442×10^4
モーメントアーム			(mm)	$h_D=$ 61.75
				$h_G=$ 38.91
				$h_T=$ 50.33
モーメント			(N·mm)	$M_D=$ 4.019×10^7
				$M_G=$ 7.922×10^6
				$M_T=$ 4.249×10^6
フランジに作用するモーメント	使用状態		(N·mm)	$M_o=$ 5.236×10^7
	ガスケット締付時		(N·mm)	$M_g=$ 6.085×10^7
形状係数		h_o	(mm)	94.34
係数		h/h_o		0.5406
係数		g_1/g_0		2.3878
ハブ応力修正係数		f		1.0000
係数		F_L		1.5139
係数		V_L		0.6711
フランジの内外径の比		K		1.2388
係数		T		1.8231
係数		U		10.0985
係数		Y		9.1896
係数		Z		4.7407
係数		d	(mm^3)	2.1301×10^5
係数		e	(mm^{-1})	1.6048×10^{-2}
フランジの厚さ		t	(mm)	40.00
係数		L		1.2011

使用状態におけるフランジの強さ				
応力			(MPa)	計算値	許容引張応力
ハブの軸方向応力		σ_H		71	$1.5\cdot\sigma_f=$ 187
フランジの半径方向応力		σ_R		70	$\sigma_f=$ 125
フランジの周方向応力		σ_T		85	$\sigma_f=$ 125
組合せ応力	$(\sigma_H+\sigma_R)/2$			70	$\sigma_f=$ 125
	$(\sigma_H+\sigma_T)/2$			78	$\sigma_f=$ 125

ガスケット締付時のフランジの強さ				
応力			(MPa)	計算値	許容引張応力
ハブの軸方向応力		σ_H		82	$1.5\cdot\sigma_{fa}=$ 193
フランジの半径方向応力		σ_R		81	$\sigma_{fa}=$ 129
フランジの周方向応力		σ_T		98	$\sigma_{fa}=$ 129
組合せ応力	$(\sigma_H+\sigma_R)/2$			82	$\sigma_{fa}=$ 129
	$(\sigma_H+\sigma_T)/2$			90	$\sigma_{fa}=$ 129

応力の評価：

$\sigma_H\leqq1.5\cdot\sigma_f$　　$\sigma_H\leqq1.5\cdot\sigma_{fa}$

$\sigma_R\leqq\sigma_f$　　$\sigma_R\leqq\sigma_{fa}$

$\sigma_T\leqq\sigma_f$　　$\sigma_T\leqq\sigma_{fa}$

$(\sigma_H+\sigma_R)/2\leqq\sigma_f$　　$(\sigma_H+\sigma_R)/2\leqq\sigma_{fa}$

$(\sigma_H+\sigma_T)/2\leqq\sigma_f$　　$(\sigma_H+\sigma_T)/2\leqq\sigma_{fa}$

以上より十分である。

2.8　設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

胴側胴板（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　３１０３　SB410）および胴側鏡板（使用材料規格：ＪＩＳ　Ｇ　３１０３　SB410）の評価結果

（比較材料：ＪＩＳ　Ｇ　３１１８　SGV410）

胴側胴板および胴側鏡板に使用している SB410 は，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから，材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し，同等であることを示す。

(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	410N/mm² ～ 550N/mm²	225N/mm²以上	引張強さ及び降伏点は同等以上である。
比較材料	410N/mm² ～ 490N/mm²	225N/mm²以上	

(2)　化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	*1 0.24 以下	0.15 ～ 0.30	0.90 以下	0.035 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
比較材料	*2 0.21 以下	0.15 ～ 0.40	0.85 ～ 1.20	0.030 以下	0.030 以下	—	—	—	—	—
比較結果	C，Si，Mn，P，S の成分規定に差異があるが，以下により，本機器の環境下での使用は問題ないと考える。 C：溶接性に影響を与える成分であるが，溶接規格において溶接の制限を受けない含有量であること。また，脆性に影響を与える成分であるが，本機器において使用される材料は，薄肉（16mm 未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊靭性試験が要求されない範囲であること。 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。 Mn：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。また，脆性に影響を与える成分であるが，本機器において使用される材料は，薄肉（16mm 未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊靭性試験が要求されない範囲であること。									

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1

比較結果	P：冷間脆性に影響を与える成分であるが，本機器において使用される材料は，薄肉（16mm 未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊靭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，本機器において使用される材料は，薄肉（16mm 未満）であるため，脆性破壊が発生しがたい寸法の材料であること，さらには，設計・建設規格クラス２の規定でも破壊靭性試験が要求されない範囲であること。

注記＊1：鋼材の厚さが 25mm 以下の場合の値

＊2：鋼材の厚さが 12.5mm 以下の場合の値

(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，本機器においてＪＩＳ　Ｇ　３１０３　SB410 を重大事故等クラス２材料として使用することに問題ないと考える。

K7 ① V-3-3-2-2-1-1 R1E

Ｖ-3-3-2-2-1-2　燃料プール冷却浄化系ポンプの強度計算書

K7 ① Ｖ-3-3-2-2-1-2 R1

まえがき

本計算書は，Ⅴ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」，Ⅴ-3-2-10「重大事故等クラス２ポンプの強度計算方法」及びⅤ-3-2-13「重大事故等クラス２支持構造物（ポンプ）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，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(℃)					
燃料プール冷却浄化系ポンプ	既設	有	有	Non	Non	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

目　　次

1.　計算条件 …… 1
1.1　ポンプ形式 …… 1
1.2　計算部位 …… 1
1.3　設計条件 …… 2
2.　強度計算 …… 2
2.1　ケーシングの厚さ …… 2
2.2　ケーシングの吐出口部分の厚さ …… 2
2.3　ケーシングカバーの厚さ …… 3
2.4　ボルトの平均引張応力 …… 3
2.5　耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ …… 4
3.　支持構造物の強度計算書 …… 5

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。

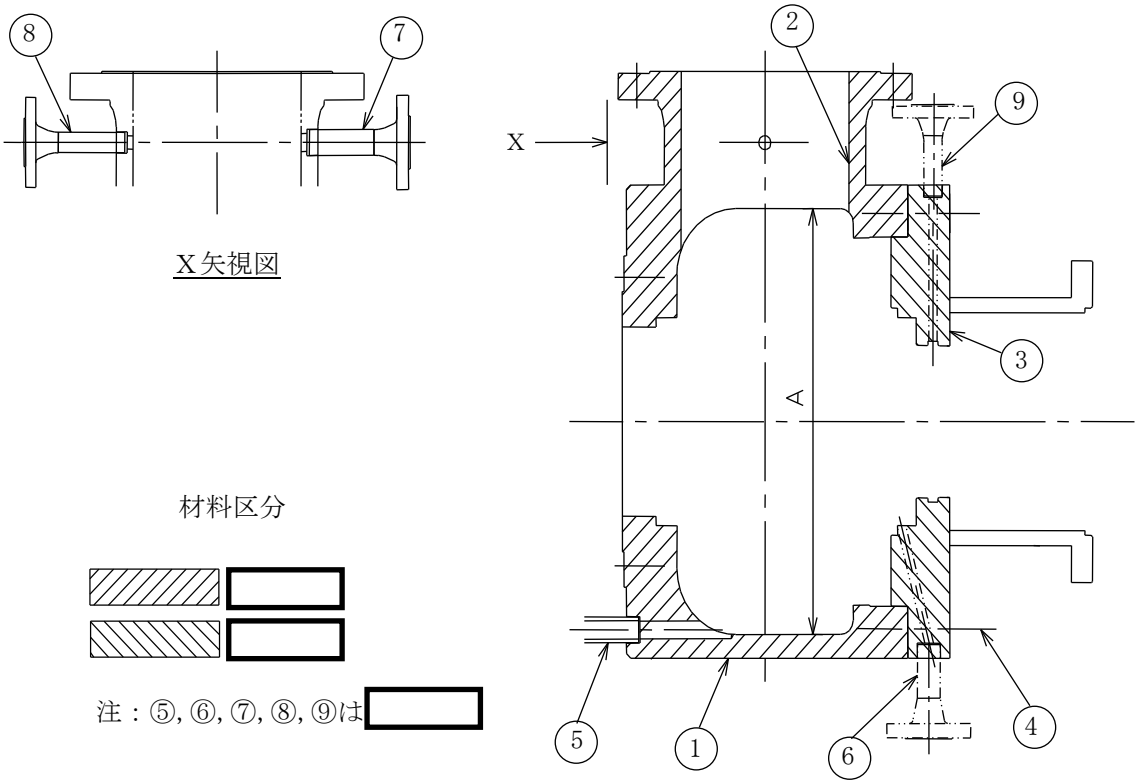


図 1－1　概要図

K7 ① V-3-3-2-2-1-2 R1

1.3　設計条件

設計条件	
最高使用圧力(MPa)	1.57
最高使用温度(℃)	77

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		1.57		

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)
3.0	25.0	

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.2　ケーシングの吐出口部分の厚さ

設計・建設規格　PMC-3330　　(単位：mm)

計算部位	r_i	r_m	ℓ	t	$t_{\ell o}$	t_ℓ
②		101.5	8.6	3.0		

評価：$t_\ell \geqq t$，よって十分である。

K7 ① V-3-3-2-2-1-2 R1

2.3　ケーシングカバーの厚さ

告示第５０１号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
③		1.57			

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)
24.7		

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

2.4　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)
④		1.57				

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)
セルフシールガスケット（ゴム）	—	—	—	—	

H (N)	H_p (N)	W_{m1} (N)	W_{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)
	—		0		37

評価：$\sigma \leqq S_b$，よって十分である。

K7 ① V-3-3-2-2-1-2 R1

2.5　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)
⑤		1.57		
⑥		1.57		
⑦		1.57		
⑧		1.57		
⑨		1.57		

継手の種類	放射線透過試験の有無	η
継手無し	―	1.00
継手無し	―	1.00
継手無し	―	1.00
継手無し	―	1.00
継手無し	―	1.00

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)
0.2		
0.2		
0.2		
0.2		
0.2		

評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。

3.　支持構造物の強度計算書

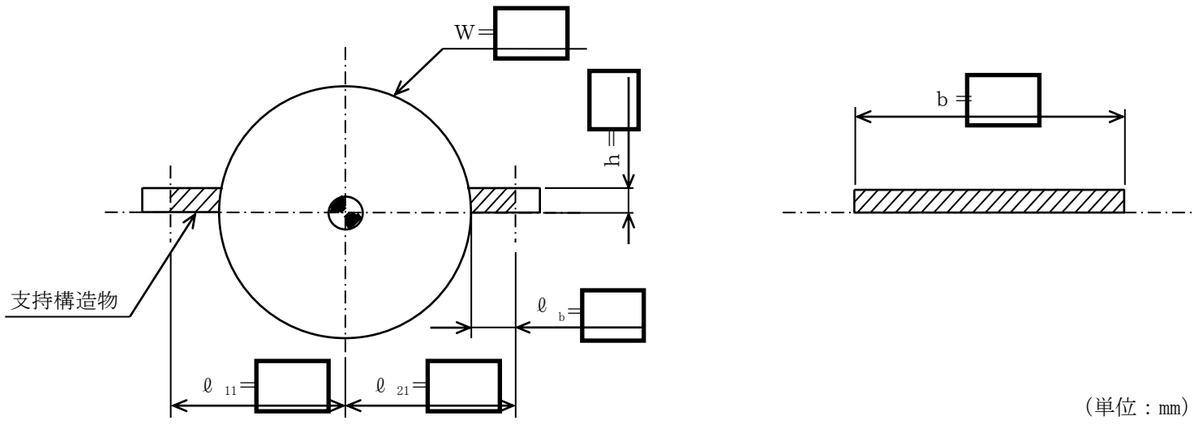
「燃料プール冷却浄化系ポンプ　支持構造物(平板形(横方向取付))」

(1)　一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最　高 使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	断面積 A_s (mm^2)	一次せん断応力 σ_s (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)	評価
取付ラグ	2		77				1		計算応力は，許容応力以下であるため，取付ラグの強度は問題ない。

(2)　一次曲げ応力評価

種類	脚本数	材料	最　高 使用温度 (℃)	F値 (MPa)	鉛直荷重 F_c (N)	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm^3)	一次曲げ応力 σ_b (MPa)	許容曲げ応力 f_b (MPa)	評価
取付ラグ	2		77					5		計算応力は，許容応力以下であるため， 取付ラグの強度は問題ない。



燃料プール冷却浄化系ポンプ　支持構造物の強度計算説明図

K7 ① V-3-3-2-2-1-2 R1E

Ⅴ-3-3-2-2-1-3　スキマサージタンクの強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-2-1-3 R1

まえがき

本計算書は，Ⅴ-3-1-5「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-3-2-8「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，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(℃)					
スキマサージタンク	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	静水頭	66	静水頭	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

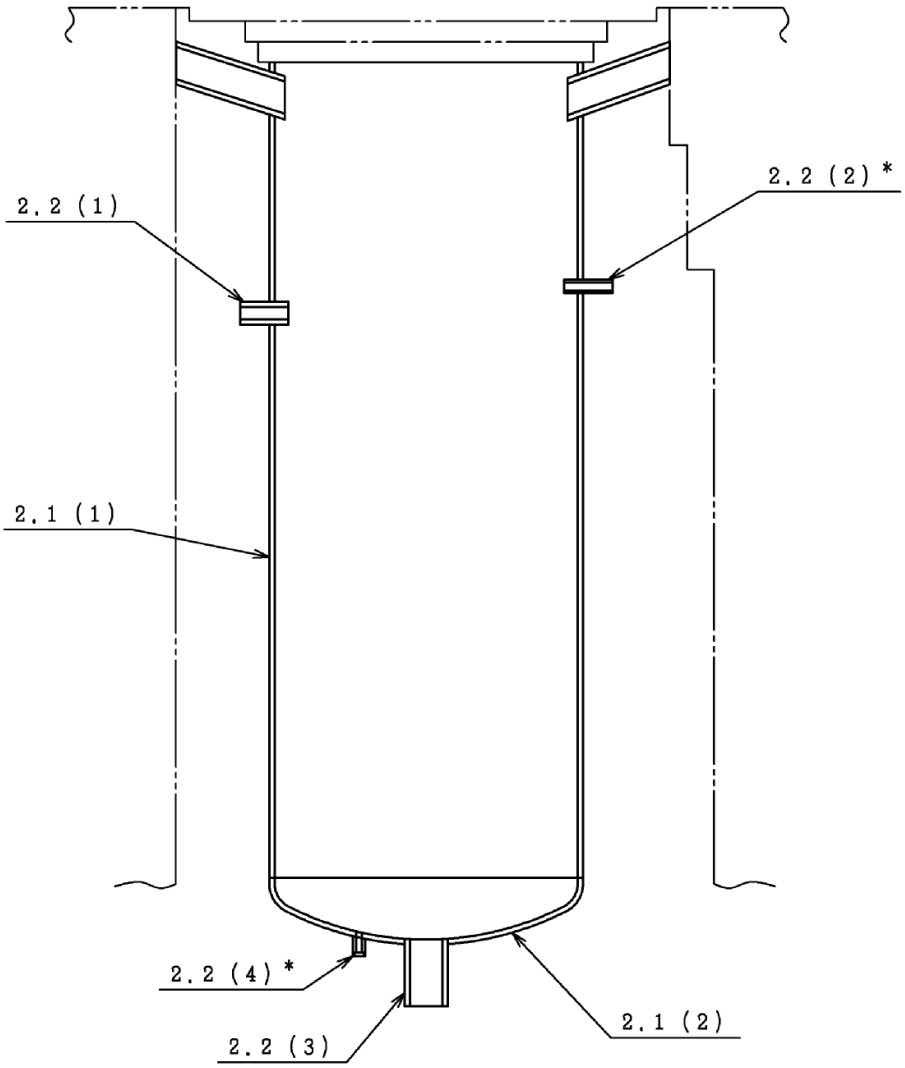
目　　次

1.　計算条件 ･･･ 1
1.1　計算部位 ･･･ 1
1.2　設計条件 ･･･ 1
2.　強度計算 ･･･ 2
2.1　開放タンクの胴の厚さの計算 ･･･ 2
2.2　開放タンクの管台の厚さの計算 ･････････････････････････････････････ 4

1.　計算条件

1.1　計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



注記＊：本管台はＢタンクのみ設置

図中の番号は次頁以降の計算項目番号を示す。

図1－1　概要図

1.2　設計条件

最高使用圧力(MPa)	静水頭
最高使用温度(℃)	77

K7 ① V-3-3-2-2-1-3 R1

2.　強度計算

2.1　開放タンクの胴の厚さの計算*

設計・建設規格　PVC-3920(1)

胴板名称			(1)　ライニング材
材料			SUS304
水頭	H	(m)	—
最高使用温度		(℃)	—
胴の内径	D_i	(m)	—
液体の比重	ρ		—
許容引張応力	S	(MPa)	—
継手効率	η		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	—
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_2，t_3の大きい値	t	(mm)	1.50
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	6.00
最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

注記＊：スキマサージタンクはコンクリート躯体にステンレス鋼板を内張りしたものであり，水頭による荷重は，内張りの下のコンクリート躯体で強度を保持しているため，内張り材の最小厚さが設計・建設規格　PVC-3920(1)で規定する値以上であることを確認する。

開放タンクの胴の厚さの計算*

設計・建設規格　PVC-3920(1)

胴板名称			(2)　底板
材料			SUS304
水頭	H	(m)	—
最高使用温度		(℃)	—
胴の内径	D_i	(m)	—
液体の比重	ρ		—
許容引張応力	S	(MPa)	—
継手効率	η		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t_1	(mm)	1.50
必要厚さ	t_2	(mm)	—
必要厚さ	t_3	(mm)	—
t_1，t_2，t_3の大きい値	t	(mm)	1.50
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	6.00
最小厚さ	t_s	(mm)	[redacted]
評価：$t_s \geqq t$，よって十分である。			

注記＊：スキマサージタンクはコンクリート躯体にステンレス鋼板を内張りしたものであり，水頭による荷重は，内張りの下のコンクリート躯体で強度を保持しているため，内張り材の最小厚さが設計・建設規格　PVC-3920(1)で規定する値以上であることを確認する。

2.2　開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3980

管台名称			(1)　スカッパドレン流体入口
材料			[redacted]
水頭	H	(m)	[redacted]
最高使用温度		(℃)	77
管台の内径	D_i	(m)	[redacted]
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	[redacted]
継手効率	η		[redacted]
継手の種類			[redacted]
放射線検査の有無			[redacted]
必要厚さ	t_1	(mm)	0.04
必要厚さ	t_2	(mm)	3.50
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	[redacted]
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-3 R1

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3980

管台名称			(2)　補給水入口
材料			[redacted]
水頭	H	(m)	[redacted]
最高使用温度		(℃)	77
管台の内径	D_i	(m)	[redacted]
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	[redacted]
継手効率	η		[redacted]
継手の種類			[redacted]
放射線検査の有無			[redacted]
必要厚さ	t_1	(mm)	0.03
必要厚さ	t_2	(mm)	3.50
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	[redacted]
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-3 R1

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3980

管台名称			(3)　流体出口
材料			[redacted]
水頭	H	(m)	[redacted]
最高使用温度		(℃)	77
管台の内径	D_i	(m)	[redacted]
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	[redacted]
継手効率	η		[redacted]
継手の種類			[redacted]
放射線検査の有無			[redacted]
必要厚さ	t_1	(mm)	0.08
必要厚さ	t_2	(mm)	3.50
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	[redacted]
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-1-3 R1

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格　PVC-3980

管台名称			(4)　水位計
材料			[redacted]
水頭	H	(m)	[redacted]
最高使用温度		(℃)	77
管台の内径	D_i	(m)	[redacted]
液体の比重	ρ		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	[redacted]
継手効率	η		[redacted]
継手の種類			[redacted]
放射線検査の有無			[redacted]
必要厚さ	t_1	(mm)	0.01
必要厚さ	t_2	(mm)	1.70
t_1，t_2の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	t_{no}	(mm)	[redacted]
最小厚さ	t_n	(mm)	[redacted]
評価：$t_n \geqq t$，よって十分である。			

K7 ① V-3-3-2-2-1-3 R1E

Ⅴ-3-3-2-2-1-4　管の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-2-1-4 R1

Ｖ-3-3-2-2-1-4-1　管の基本板厚計算書

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-1 R1

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-5「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管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，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

ＮＯ.	既設 or 新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	ＤＢクラス	ＳＡクラス	条件アップの有無	ＤＢ条件		ＳＡ条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	静水頭	66	静水頭	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
5	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
6	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
7	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
SP1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
F1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

・適用規格の選定

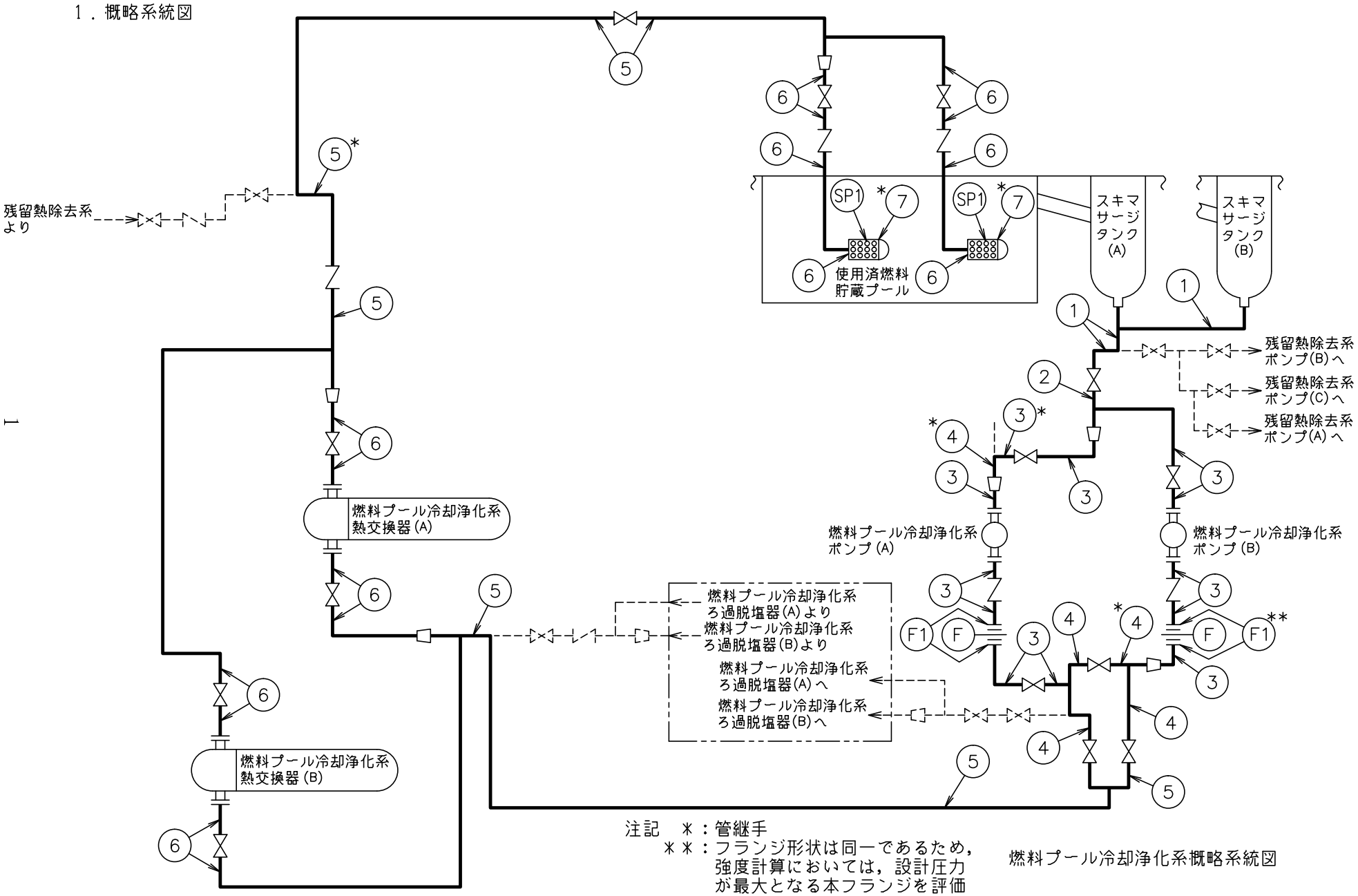
ＮＯ.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
2	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
3	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
4	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
5	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
6	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
7	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
SP1	管の穴と補強計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
F1	フランジの強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格

目　　次

1.　概略系統図 ･････････････････････････････････ 1
2.　管の強度計算書 ･････････････････････････････ 2
3.　管の穴と補強計算書 ･････････････････････････ 3
4.　フランジの強度計算書 ･･････････････････････ 5

K7 ① V-3-3-2-1-4-1 R1

1．概略系統図



注記　＊：管継手
　　＊＊：フランジ形状は同一であるため，強度計算においては，設計圧力が最大となる本フランジを評価した。

燃料プール冷却浄化系概略系統図

2. 管の強度計算書（重大事故等クラス２管）

設計・建設規格　PPC-3411　準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 Do (mm)	公称厚さ (mm)	材料	製法	クラス	S (MPa)	η	Q	ts (mm)	t (mm)	算式	tr (mm)
1	静水頭	77	318.50	10.30	SUS304TP	S	2	──	──	12.5 %	9.01	──	──	──
2	1.57	77	318.50	10.30	STPT410	S	2	103	1.00	12.5 %	9.01	2.42	C	3.80
3	1.57	77	216.30	8.20	STPT410	S	2	103	1.00	12.5 %	7.17	1.64	C	3.80
4	1.57	77	267.40	9.30	STPT410	S	2	103	1.00	12.5 %	8.13	2.03	C	3.80
5	1.57	77	267.40	9.30	SUS304TP	S	2	125	1.00	12.5 %	8.13	1.67	A	1.67
6	1.57	77	216.30	8.20	SUS304TP	S	2	125	1.00	12.5 %	7.17	1.36	A	1.36
7	1.57	77	216.30	8.20	SUS304	S	2	125	1.00	12.5 %	7.17	1.36	A	1.36

評価：ｔｓ ≧ ｔｒ，よって十分である。

3.　管の穴と補強計算書

ディフューザの穴の強度計算書（重大事故等クラス２管）

ＮＯ.　ＳＰ１

穴部詳細　　穴部断面

図３－１　穴部詳細及び穴部断面

(1)　設計・建設規格　PPC-3424(1) により，穴の補強計算を行う。

a.　主管の計算上必要な厚さ

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_r \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

$$= \frac{1.57 \times 216.30}{2 \times 125 \times 1.00 + 0.8 \times 1.57}$$

$$= 1.36 \text{ mm}$$

ここで

P	：最高使用圧力	1.57	(MPa)
	最高使用温度	77	(℃)
D_{or}	：主管の外径	216.30	(mm)
S_r	：主管の材料の許容引張応力	125	(MPa)
	主管材料	SUS304TP	
η	：長手継手の効率	1.00	

b.　穴の補強に必要な面積

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

$= 1.07 \times$ [redacted] $\times 1.36 \times (2 -$ [redacted] $)$

$= 29.25$ (mm^2)

ここで

d　：断面に現われる穴の径　[redacted] (mm)

（＝公称穴径 [redacted] ＋穴径公差 [redacted] ）

α　：主管と穴の中心線との交角　[redacted] (°)

K7 ① V-3-3-2-1-4-1 R1

c.　穴の補強に有効な面積

$A_0 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$

$= (1.00 \times 7.17 - 1.0 \times 1.36) \times (2 \times$ [redacted] $-$ [redacted] $)$

$= 116.8$ (mm^2)

ここで

t_{ro}：主管の公称厚さ　8.20　(mm)

Q_r　：主管の厚さの負の許容差　12.5　(%)

t_r　：主管の最小厚さ　7.17　(mm)

$$t_r = t_{ro} \cdot \left(1 - \frac{Q_r}{100}\right)$$

F　：設計・建設規格　PPC-3424(1)b.より求めた値　1.0

L_A　：補強に有効な範囲（次の２つの式より計算したいずれか大きい方の値）

$L_A = d =$ [redacted] mm

$L_A = d / 2 + t_r + t_b =$ [redacted] mm

（管台無し　t_b：管台の最小厚さ＝0 mm）

よって　$L_A =$ [redacted] (mm)

d.　評価

$A_0 > A_r$，よって穴の補強は十分である。

(2)　設計・建設規格　PPC-3424(4) により，大穴の補強の要否の判定を行う。

a.　大穴の補強を要しない限界径

$$d_{frD} = \frac{D_{or} - 2 \cdot t_r}{2}$$

$$= \frac{216.30 - 2 \times 7.17}{2}$$

$= 100.98$ (mm)

b.　評価

$d \leqq d_{frD}$，よって大穴の補強計算は必要ない。

以上より十分である。

4.　フランジの強度計算書（重大事故等クラス２管）

設計・建設規格　PPC-3414　準用
（ＪＩＳ　Ｂ　８２６５　附属書3適用）

設計条件		
ＮＯ．		F1
形　　式		一体形(TYPE-4)
設計圧力　　P	(MPa)	1.88
最高使用圧力　Po	(MPa)	1.57
最高使用温度	(℃)	77
フランジ		
材　　料		SF440A
σfa 常温(ガスケット締付時)(20℃)	(MPa)	110
σfb 最高使用温度(使用状態)	(MPa)	110
A	(mm)	
B	(mm)	
C	(mm)	
go	(mm)	
g1	(mm)	
h	(mm)	
ボルト		
材　　料		SNB7(径≦63mm)
σa 常温(ガスケット締付時)(20℃)	(MPa)	173
σb 最高使用温度(使用状態)	(MPa)	173
db	(mm)	19.294
di	(mm)	——
n		12
ガスケット		
材　　料		SUS-ASBESTOS
ガスケット厚さ	(mm)	
G	(mm)	
Gs	(mm)	
N	(mm)	
mg		3.00
y	(N/mm²)	68.9
bo	(mm)	
b	(mm)	

ボルトの計算		
H	(N)	9.285×10^{4}
HP	(N)	6.335×10^{4}
Wm1	(N)	1.562×10^{5}
Wm2	(N)	3.869×10^{5}
Am1	(mm²)	902.9
Am2	(mm²)	2.236×10^{3}
Am	(mm²)	2.236×10^{3}
Ab	(mm²)	3.508×10^{3}
Wo	(N)	1.562×10^{5}
Wg	(N)	4.969×10^{5}

評価：　Am　＜　Ab
よって十分である。

モーメントの計算		
HD	(N)	5.901×10^{4}
hD	(mm)	39.53
MD	(N･mm)	2.333×10^{6}
HG	(N)	6.335×10^{4}
hG	(mm)	27.13
MG	(N･mm)	1.718×10^{6}
HT	(N)	3.384×10^{4}
hT	(mm)	39.84
MT	(N･mm)	1.348×10^{6}
Mo	(N･mm)	5.399×10^{6}
Mg	(N･mm)	1.348×10^{7}
フランジの厚さと係数		
ho	(mm)	40.487
f		1.000
F		0.595
V		0.050
K		1.751
T		1.604
U		3.999
Y		3.639
Z		1.968
d	(mm³)	219780
e	(mm⁻¹)	0.01468
t	(mm)	48.00
L		
応力の計算		
σHo	(MPa)	34
σRo	(MPa)	15
σTo	(MPa)	15
σHg	(MPa)	57
σRg	(MPa)	37
σTg	(MPa)	36

応力の評価

$\sigma_{Ho} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$
$\sigma_{Hg} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$
$\sigma_{Ro} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$
$\sigma_{Rg} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$
$\sigma_{To} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fb}$
$\sigma_{Tg} \leqq 1.5\cdot\sigma_{fa}$

以上より十分である。

K7 ① V-3-3-2-1-4-1 R1E

Ｖ-3-3-2-2-1-4-2　管の応力計算書

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1

まえがき

本計算書は，Ｖ-3-1-5「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管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，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

応力計算モデルNo.	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				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(℃)					
FPC-R-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-5	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-9	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	静水頭	66	静水頭	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-9	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-10	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
FPC-R-11	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	1.57	66	1.57	77	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

目　　次

1.　概要 ・・・

1.　概要

本計算書は，Ｖ-3-1-5「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管の強度計算方法」に基づき，管の応力計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全８モデルのうち，最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

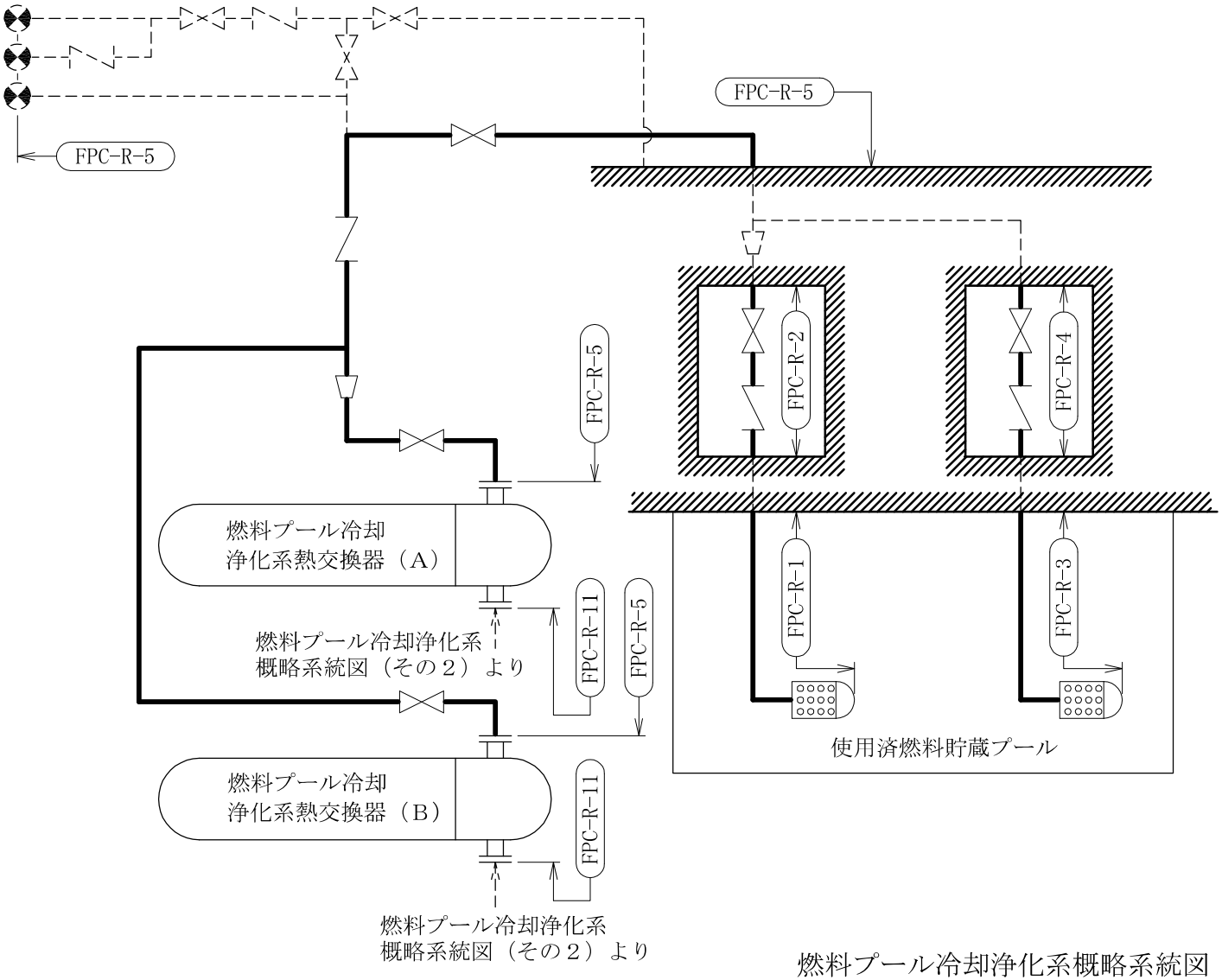
2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

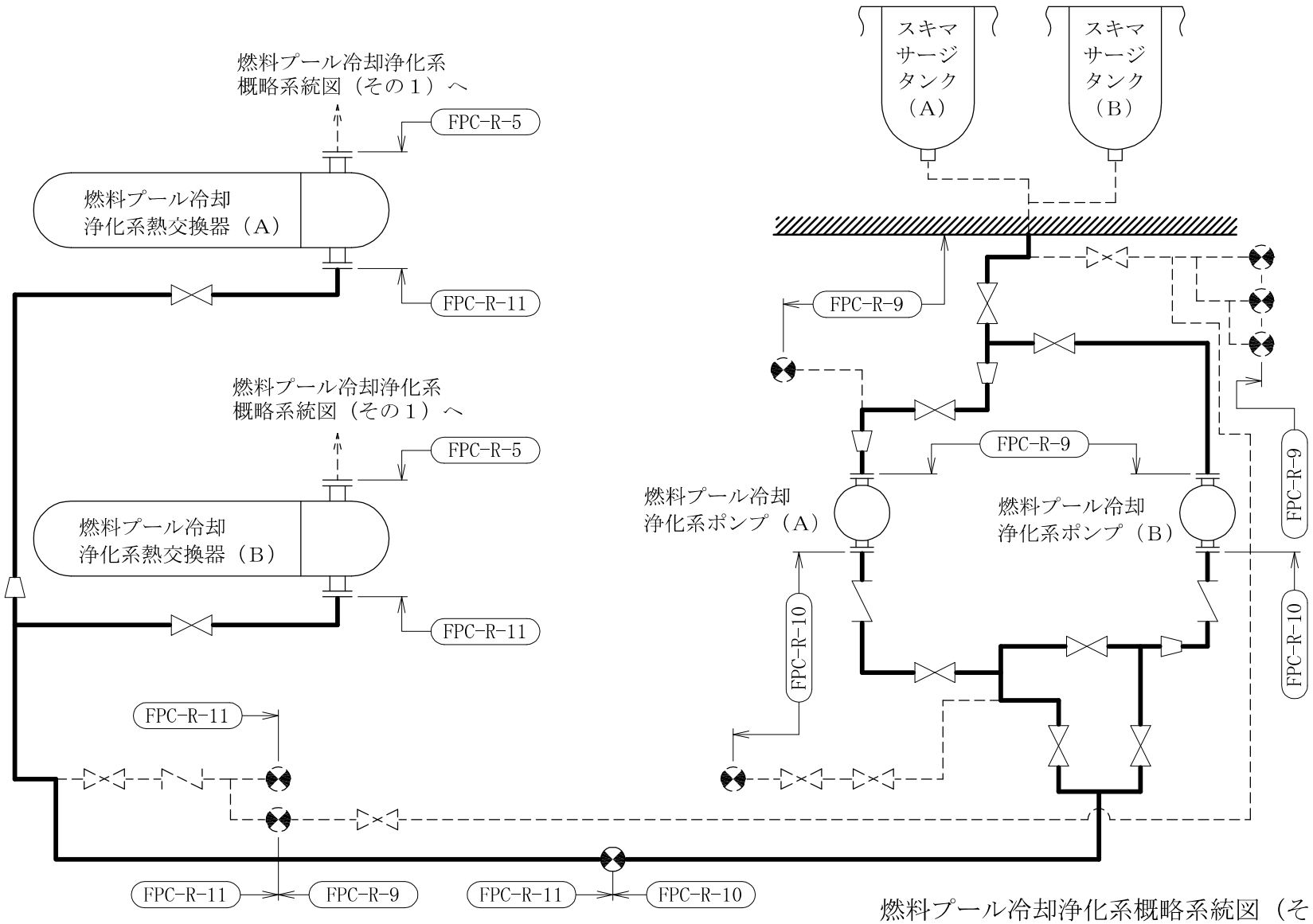
概略系統図記号凡例

記号	内容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号
⊗	アンカ

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1



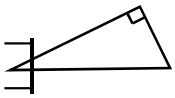
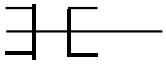
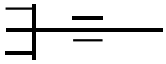
燃料プール冷却浄化系概略系統図（その１）



燃料プール冷却浄化系概略系統図（その２）

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質点
⊗	アンカ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	FPC-R-9(1/4)

鳥瞰図	FPC-R-9(2/4)

鳥瞰図	FPC-R-9(3/4)

鳥瞰図	FPC-R-9(4/4)

3. 計算条件

3.1 計算条件

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

鳥瞰図 FPC-R-9

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	42～106,42～46A	静水頭	77	318.5	10.3	SUS304TP
2	108～122	1.57	77	318.5	10.3	STPT410
3	123～126S,121～161S	1.57	77	216.3	8.2	STPT410
4	126S～132,134～135 179～187N,161S～167 169～177N	1.57	77	216.3	8.2	STPT410
5	135～178	1.57	77	267.4	9.3	STPT410

配管の付加質量

鳥瞰図　FPC-R-9

質量	対応する評価点
[redacted]	42～106, 108～112S, 42～46A
	113S～122
	123～126S, 121～161S
	127S～132, 134～135, 179～187N, 162S～167, 169～177N
	135～178

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1

フランジ部の質量

鳥瞰図　FPC-R-9

質量	対応する評価点
[redacted]	183, 173
	187N, 177N

弁部の寸法

鳥瞰図　FPC-R-9

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
106～108				132～134			
167～169							

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1

弁部の質量

鳥瞰図　FPC-R-9

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	106～108	[redacted]	132～134, 167～169

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　FPC-R-9

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N･mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1041						
111						
1191						
182						
187N						
172						
177N						
46A						

K7 ① V-3-3-2-2-1-4-2 R1

3.2　材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	77	—	—	—	125
STPT410	77	—	—	—	103

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第５０１号に規定の応力計算に用いる許容応力

材料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	77	—	—	—	125
STPT410	77	—	—	—	103

4. 計算結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

設計・建設規格　PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm} *1 S_{prm} *2	許容応力 1.5・S_h 1.8・S_h
FPC-R-9	117	S_{prm} *1	56	154
FPC-R-9	117	S_{prm} *2	59	185

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

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

計算結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管

告示第５０１号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm} *1 S_{prm} *2	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
FPC-R-9	119	S_{prm} *1	33	103
FPC-R-9	119	S_{prm} *2	33	123

注記＊1：告示第５０１号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。
なお，保守的な評価となる告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

＊2：告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し，応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管）

No.	配管モデル	重大事故等時*1					重大事故等時*2				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	FPC-R-1	1	33	187	5.66	—	1	34	225	6.61	—
2	FPC-R-2	1	15	187	12.46	—	1	16	225	14.06	—
3	FPC-R-3	1	33	187	5.66	—	1	34	225	6.61	—
4	FPC-R-4	1	15	187	12.46	—	1	16	225	14.06	—
5	FPC-R-5	37	39	187	4.79	—	37	41	225	5.48	—
6	FPC-R-9	117	56	154	2.75	○	117	59	185	3.13	○
7	FPC-R-10	135	35	154	4.40	—	135	36	185	5.13	—
8	FPC-R-11	58	41	187	4.56	—	58	42	225	5.35	—

注記＊1：設計・建設規格　PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。
　　＊2：設計・建設規格　PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２管であってクラス２以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態Ⅴ*1					許容応力状態Ⅴ*2				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	FPC-R-1	1	34	125	3.67	—	1	34	150	4.41	—
2	FPC-R-2	1	16	125	7.81	—	1	16	150	9.37	—
3	FPC-R-3	1	34	125	3.67	—	1	34	150	4.41	—
4	FPC-R-4	1	16	125	7.81	—	1	16	150	9.37	—
5	FPC-R-5	37	25	125	5.00	—	37	25	150	6.00	—
6	FPC-R-9	119	33	103	3.12	○	119	33	123	3.72	○
7	FPC-R-10	135	25	103	4.12	—	135	25	123	4.92	—
8	FPC-R-11	58	28	125	4.46	—	58	28	150	5.35	—

注記＊1：告示第５０１号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。
　　＊2：告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

Ⅴ-3-3-2-2-2　燃料プール代替注水系の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-2-2 R1

Ⅴ-3-3-2-2-2-1　可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）の強度計算書

K7 ① Ⅴ-3-3-2-2-2-1 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）　（可搬型代替注水ポンプ（A-1 級））

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)
うず巻形	代替淡水源又は海を水源として，可搬型ホース等を介して使用済燃料貯蔵プール内燃料体等に送水するポンプとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水する。	[redacted]		

注記　＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	規格及び基準に基づく試験
V3000	動力消防ポンプのうち，水利（河川・海・防火水槽等の自然水，消火栓などの有圧水）より得た水を，その自動車の機関を用いて自己のポンプにより放水に使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水することを想定している。	[redacted]			

Ⅲ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンプは，重大事故等時に淡水又は海水を送水するために屋外で使用する内燃機関（燃料系含む）を有するポンプである。一方，本メーカ規格及び基準は，内燃機関等を駆動源として遠距離に大量送水する可搬消防ポンプとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，当該ポンプは屋外で大量の淡水又は海水を送水することを想定している。重大事故等時における当該ポンプの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

当該ポンプの型式については，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に適合するものとして承認されており，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に従った適切な材料が使用されていることを型式評価の結果により確認できる。

当該ポンプの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカ仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：ポンプ圧力最大値×1.5，試験保持時間：3 分間）に合格していることを型式評価の結果により確認でき，当該ポンプの附属機器である燃料タンクについても，鋼製であり最高使用圧力が [redacted] であり，その値に対して水張試験を実施している。よって，当該ポンプは完成品として要求される強度を有している。

Ⅳ．　評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，燃料タンクを含めた一体構造品の完成品として重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

Ⅴ-3-3-2-2-2-2　可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）の強度計算書

K7 ① V-3-3-2-2-2-2 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）　（可搬型代替注水ポンプ（A-2 級））

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)
うず巻形	代替淡水源又は海を水源として，可搬型ホースを介して原子炉圧力容器等に送水するポンプとして使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水する。	[redacted]		

注記 ＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	規格及び基準に基づく試験
R3	動力消防ポンプのうち，水利（河川・海・防火水槽等の自然水，消火栓などの有圧水）より得た水を，その自動車の機関を用いて自己のポンプにより放水に使用することを目的とする。使用環境として，屋外で淡水又は海水を送水することを想定している。	[redacted]			

Ⅲ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該ポンプは，重大事故等時に淡水又は海水を送水するために屋外で使用する内燃機関（燃料系含む）を有するポンプである。一方，本メーカ規格及び基準は，内燃機関等を駆動源として遠距離に大量送水する可搬消防ポンプとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，当該ポンプは屋外で大量の淡水又は海水を送水することを想定している。重大事故等時における当該ポンプの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

当該ポンプの型式については，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に適合するものとして承認されており，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」に従った適切な材料が使用されていることを型式評価の結果により確認できる。

当該ポンプの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカ仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：ポンプ圧力最大値×1.5，試験保持時間：3 分間）を上回る条件で合格していることを型式評価の結果により確認でき，当該ポンプの附属機器である燃料タンクについても，鋼製であり最高使用圧力が[redacted]であり，その値に対して水張試験を実施している。よって，当該ポンプは完成品として要求される強度を有している。

Ⅳ．　評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，燃料タンクを含めた一体構造品の完成品として重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

Ｖ-3-3-2-2-2-3　可搬型Ｙ型ストレーナの強度計算書

K7 ① V-3-3-2-2-2-3 R1

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカ規格及び基準）　（可搬型Ｙ型ストレーナ）

Ⅰ．　重大事故等クラス３機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)
Ｙ型ストレーナ	可搬型代替注水ポンプ（A-1 級）及び可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）使用時の淡水又は海水の異物除去に使用することを目的とする。使用環境として，屋外で使用する。	STPG370	2.0*	40*

注記 ＊：重大事故等時における使用時の値を示す。

Ⅱ．　メーカ規格及び基準に規定されている事項（メーカ仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	規格及び基準に基づく試験
YS-100	水消火設備及び泡消火設備の配管中に設け，消火用水のごみ等を捕捉する目的とする。使用環境として，屋内外で淡水又は海水を通水することを想定している。	STPG370	2.0	40	耐圧試験（試験圧力：3.0MPa，試験保持時間:30 分間）を実施。

Ⅲ．　確認項目

(a)　：規格及び基準が妥当であることの確認（ⅠとⅡの使用目的及び使用環境の比較）

当該ストレーナは，重大事故等時に海水系の異物除去のために屋外で使用するストレーナである。一方，本メーカ規格及び基準は，水消火設備及び泡消火設備の配管中に設け，消火用水のごみ等を捕捉することを目的とした一般産業品に対する規格であり，淡水又は海水での使用を想定している。重大事故等時における当該ストレーナの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（Ⅱと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，ⅠとⅡの使用条件の比較）

当該ストレーナに使用されている材料は設計・建設規格のクラス３容器に使用可能であると規定されている炭素鋼と同種類の材料である。

当該ストレーナの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカ仕様の範囲内であり，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5 倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（設計・建設規格 解説 PHT-4000）により確認している。なお，設計・建設規格のクラス３機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており，耐圧試験の規定では，耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.5 倍の 106%を超えないこととしている。一方，設計・建設規格のクラス３機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は，最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカ規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を持っているものとみなせるため，当該ストレーナは要求される強度を有している。

Ⅳ．　評価結果

上記の重大事故等クラス３機器は，一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。