

VI-3-2 強度計算方法

VI-3-2-1 強度計算方法の概要

目 次

1. 概要	1
2. 評価条件整理表	2

1. 概要

本資料は、VI-3-1「強度計算の基本方針」に基づき、クラス1機器、クラス2機器、クラス3機器、重大事故等クラス2機器、重大事故等クラス2支持構造物及び重大事故等クラス3機器が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものであり、以下の資料により構成する。

VI-3-2-2 クラス1管の強度計算方法

VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法

VI-3-2-4 クラス2管の強度計算方法

VI-3-2-5 クラス3容器の強度計算方法

VI-3-2-6 クラス3管の強度計算方法

VI-3-2-7 重大事故等クラス2容器の強度計算方法

VI-3-2-8 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法

VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法

VI-3-2-10 重大事故等クラス2弁の強度計算方法

VI-3-2-11 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法

VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法

VI-3-2-13 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

2. 評価条件整理表

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

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

(1) 新設又は既設の判定

当該設備が新設又は既設であることを記載する。

(2) 施設時の技術基準における規定の有無

表2-1 施設時の技術基準における規定の有無の判定区分*

項目	説明
有	施設時の技術基準が 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「昭和55年告示第501号」という。） 又は 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（平成6年7月21日 通商産業省告示第501号）（以下「平成6年告示第501号」という。） 又は 「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）」（以下「設計・建設規格」という。） である機器
無	「施設時の技術基準における規定がない機器」

注記*：「新設する機器（重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む。）」については「有」「無」に分類可能なものであっても「—」とする。

(3) 機器クラス

・クラスアップの有無

表2-2 クラスアップの有無の判定区分*1

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

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

*2: クラスアップする理由を評価条件整理表に注記として追加する。

・施設時機器クラス

表2-3 施設時機器クラスの判定区分*

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

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

- ・DBクラス：設計基準対象施設としての機器クラス

表2-4 DBクラスの判定区分

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

- ・SAクラス：重大事故等対処設備としての機器クラス

表2-5 SAクラスの判定区分

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

(4) 評価条件

- ・条件アップの有無

表2-6 条件アップの有無の判定区分*

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

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

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

(5) 既工認における評価結果の有無

表2-7 既工認における評価結果の有無の判定区分*

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

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

(6) 施設時の適用規格

表2-8 施設時の評価規格の判定区分*

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

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

(7) 評価区分

表2-9 評価区分

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

注記*1: 「告示第501号」とは昭和55年告示第501号を指す。

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

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

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

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

(8) 同等性評価区分

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式を用いた評価
 - (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価

- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス1容器の規定を準用した評価

(9) 評価クラス

- (1)～(8)の分類に基づき、評価クラスを判別する。

VI-3-2-2 クラス1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クラス1管の強度計算について説明するものである。

本書は、VI-3-1-2「クラス1機器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) クラス1管の基本板厚計算方法
- (2) クラス1管の応力計算方法

(1) クラス 1 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	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
1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法	6
2. クラス1管の強度計算方法	7
2.1 共通記号	7
2.2 管の強度計算	8
2.3 平板の強度計算	10
2.4 鏡板の強度計算	17
2.5 レジューサの強度計算	21
2.6 管の穴と補強計算	26
2.7 フランジの強度計算	38

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クラス1管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は表1-1に示すとおりである。

- (2) 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。

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

- (3) 強度計算書で計算するもの以外の管継手は、以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格 別表4に掲げるものとし、接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格 PPB-3415）
- a. J I S B 2 3 1 2 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
 - b. J I S B 2 3 1 3 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
 - c. J I S B 2 3 1 6 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
- (4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PPB-3414）
- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
 - b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」

(5) 管の接続

管と管を接続する場合は、設計・建設規格 PPB-3430(1)により溶接継手又はフランジ継手とする。

溶接継手とする場合は、設計・建設規格 PPB-3430(2)により主管に穴を設けて管台又は分岐管を取り付ける場合を除き、管の軸に垂直な断面で溶接することとする。

表 1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
PPB-3411 (直管) PPB-3411(1) PPB-3411(2) PPB-3411(3) PPB-3412 (曲げ管) PPB-3411 (直管) を準用する。	2.2 2.4 2.5	管の強度計算 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)
PPB-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPB-3414 (フランジ) PPB-3414(1) PPB-3414(2) PPB-3414(3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4)フランジ継手)
PPB-3415 (管継手) PPB-3415(1)		1.2(3)管継手
PPB-3415.1 (レジューサ) PPB-3415.1(1) PPB-3415.1(2) PPB-3415.1(3) 準用 PVC-3124.2(外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算 (円すい及びすその丸みの部分 (外面に圧力を受けるもの))

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
PPB-3415.2 (鏡板) PPB-3415.2(1) PPB-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPB-3420 (穴と補強) PPB-3421 PPB-3422 PPB-3423 PPB-3424 PPB-3422(3)	2.6 2.3	管の穴と補強計算 平板の強度計算
PPB-3551 (許容圧力)	2.2	管の強度計算 (管の許容圧力)
PPB-3561 (許容圧力)	2.2	管の強度計算 (管の許容圧力)

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「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	2.7	フランジの強度計算*
	3		
	4		
	5		

注記* : 設計・建設規格 PPB-3414(2)により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」という。) の附属書 3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は本書と各配管の強度計算書から成る。
- (2) 各配管の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本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 の 圧 力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	最高使用 圧 力	MPa	—	—	小数点以下第 2 位
	外面に受 ける最高 の 圧 力	MPa	—	—	小数点以下第2位*2
温 度		℃	—	—	整 数 位
許 容 応 力*1		MPa	小数点以下第 1 位	切 捨 て	整 数 位
算 出 応 力		MPa	小数点以下第 1 位	切 上 げ	整 数 位
長 さ	下記以外の の 長 さ	mm	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
	計算上必 要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切 上 げ	小数点以下第 2 位
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切 捨 て	小数点以下第 2 位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第 3 位
	ガスケット 厚 さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面 積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
角 度		°	小数点以下第 2 位 (小数点以下第1位)*4	四捨五入	小数点以下第 1 位 (整数位)*4

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

*2：必要に応じて小数点以下第 3 位を用いる。

*3：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*4：管の穴と補強計算の分岐管の中心線と主管の中心線との交角に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

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

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

(継目無管：S，溶接管：W)

- (3) 強度区分により設計応力強さ又は許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に J I S で定める強度区分を付記する。

(例)

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3 $\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の上段} \end{array} \right)$	SCMV3-1
SCMV3 $\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の下段} \end{array} \right)$	SCMV3-2

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

(例) SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

- (5) ガasket材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお、この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力


(y) は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3によりガasketメーカー推奨値を適用する。

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1) 管継手の表示方法

概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために、管継手のみの管番号に“*”を付け、概略系統図中に“注記*：管継手”と表示する。

(2) 管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中、管の途中において仕様変更が生じる場合は“”のように表示する。

2. クラス1管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス1管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	NO.	管, 平板, 鏡板, レジューサ, 管の穴及びフランジの番号 数字のみ: 管 B: 平板 C: 鏡板 R: レジューサ T: 管の穴 F: フランジ	—
P	P	最高使用圧力 (内圧)	MPa
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率 鏡板は設計・建設規格 PVE-3240による。 レジューサは, 設計・建設規格 PVC-3130及び設計・建設規格 PVC-3140による。	—

2.2 管の強度計算

管の強度計算は、設計・建設規格 PPB-3411，設計・建設規格 PPB-3551及び設計・建設規格 PPB-3561を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{op} となる。)	—
D_o	D_o	管の外径	mm
l	l	管の座屈の長さ	mm
	P_c	供用状態Cの最高圧力	MPa
	P_D	供用状態Dの最高圧力	MPa
	P_{ac}	供用状態Cの許容圧力	MPa
	P_{aD}	供用状態Dの許容圧力	MPa
S_m	S_m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	t_r として用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

- a. 管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

(a) 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPB-3411(1)の式PPB-1.1より求めた値：t

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

(b) 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPB-3411(2)の式PPB-1.2より求めた値：t_{op}

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

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPB-3411(3)の表PPB-3411-1より求めた値…… (C)

- b. 供用状態C

供用状態Cにおいて管の内面に受ける圧力は、次の値を超えてはならない。

(設計・建設規格 PPB-3551)

$$P_{ac} = 1.5 \cdot P$$

- c. 供用状態D

供用状態Dにおいて管の内面に受ける圧力は、次の値を超えてはならない。

(設計・建設規格 PPB-3561)

$$P_{ad} = 2 \cdot P$$

(3) 評価

t, t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ(t_s) ≥ 管に必要な厚さ(t_r)であり、かつ、供用状態Cの許容圧力(P_{ac}) ≥ 供用状態Cの最高圧力(P_c)及び供用状態Dの許容圧力(P_{ad}) ≥ 供用状態Dの最高圧力(P_d)ならば強度は十分である。

(4) 補足

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

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

2.3 平板の強度計算

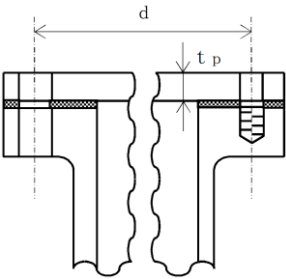
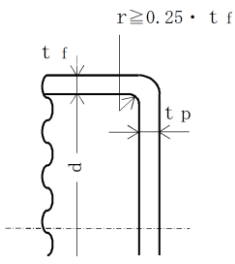
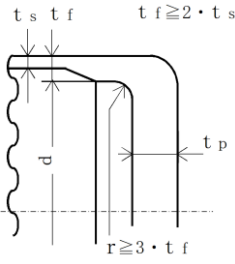
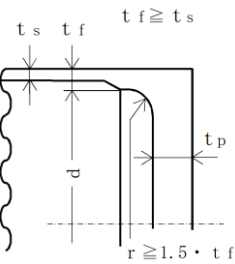
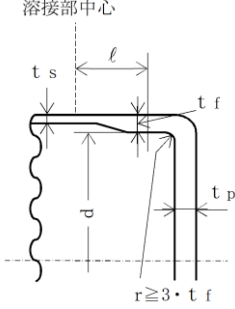
平板の強度計算は、設計・建設規格 PPB-3413及び設計・建設規格 PPB-3422(3)を適用する。

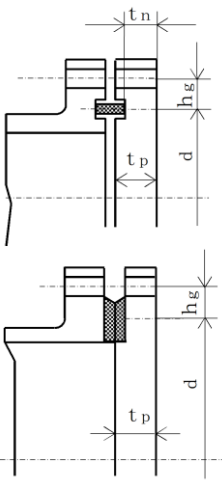
(1) 記号の説明

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

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _f , t	t _f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t _n	t _n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	平板の呼び厚さ	mm
t _s	t _s	管の最小厚さ	mm
t _r	t _r	継ぎ目のない管の計算上必要な厚さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m 1}	W _{m 1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—
	ガスケット座面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法 (設計・建設規格 PPB-3413 の表 PPB-3413-1 による。)	—
(a) ~ (g)	1A ~ 1G	取付け方法の表示区分	—

(2) 形状の制限

	取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
(a)		無し。
(b)		$d \leq 600\text{mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$ かつ $r \geq 0.25 \cdot t_f$ であること。
(c)		$t_f \geq 2 \cdot t_s$ かつ $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(d)		$t_f \geq t_s$ かつ $r \geq 1.5 \cdot t_f$ であること。
(e)		$r \geq 3 \cdot t_f$ であること。

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>無し。</p>
<p>(g)</p>	<p>その他の場合</p>
	<p>無し。</p>

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

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

Kの値は以下による。

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

注記*1：取付け方法（e）の場合

K=0.17 とする。ただし、t_fからt_sへ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり、かつ、以下の(a)又は(b)いずれかの場合、K=0.10 とできる。

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

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

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

*2：取付け方法（f）の場合のF，h_g，W及びdは以下による。

(a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

b_o ≤ 6.35 mm の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35 mm の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、 P は 2.7 項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket縮付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

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

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

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

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

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

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

- (4) 評価

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

- (5) 補足

取付け方法は設計・建設規格 PPB-3413の表PPB-3413-1の条件を満足するものとする。

2.4 鏡板の強度計算

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

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t となる。)	—
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D _o	D _o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径に同じ。)	mm
	D _{o c}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
K	K _K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPB-3415.2(2)f.の表PPB-3415.2-1による。	—
R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径 又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R _D	さら形鏡板の中央部の外半径又は全半球形鏡板の外半径 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
	S _m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{co}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	t として用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPB-3415.2(1)a.により以下とする。

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

設計・建設規格 PPB-3415.2(2)a.の式PPB-1.10又は設計・建設規格 PPB-3415.2(2)b.の式PPB-1.12より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし、

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格 PPB-3415.2(2)c.の式PPB-1.13又は設計・建設規格 PPB-3415.2(2)d.の式PPB-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPB-3415.2(1)c.により以下とする。

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

設計・建設規格 PPB-3415.2(2)e.の式PPB-1.15又は設計・建設規格 PPB-3415.2(2)f.より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし、

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPB-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 \dots\dots\dots (D)

(b) 外面に圧力を受ける管 \dots\dots\dots (D')

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

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3) 評価

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

(4) 補足

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

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は、設計・建設規格 PPB-3415.1（設計・建設規格 PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格 PPB-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_3 となる。)	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_o	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	D_{ol}	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格 PPB-3415.1(3)の図PPB-3415.1-1より求めた係数	—
r, r_o, r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 (円すいの丸みの外半径)	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格付録材料図表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍, 又は設計・建設規格付録材料図表 Part5 表8に定める値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
	S_m	最高使用温度における材料の設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1による。	MPa

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t ₁	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t ₂	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t ₃	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t _s	レジューサの最小厚さ	mm
	t _{sℓ}	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算 式	tとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	—
	端 部 記 号	大径端，小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

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

a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PPB-3415.1(1)a. の式PPB-1.6より求めた値

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

b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格 PPB-3415.1(1)b. の式PPB-1.7より求めた値

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

ただし、

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

小径端側

設計・建設規格 PPB-3415.1(3)の式PPB-1.9より求めた値

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

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

} (B)

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPB-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 (C)
 (b) 外面に圧力を受ける管 (C')
 (c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')
- (a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分 (外面に圧力を受けるもの)

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

- (a) 円すいの頂角の2分の1が
- 22.5°
- 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

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

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

ただし, $D_o = D_{ol}$, 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

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

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

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

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

(3) 評価

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

(4) 補足

- a. 計算書中, NO. (レジューサの番号) に*印の付いているものは, 偏心レジューサを示す。
- b. 偏心レジューサの場合の θ は, 円すいの頂角をそのまま使用する。
- c. 計算書中, 算式の項の文字は(2)a項, b項, c項及びd項の文字 A, B, C, C', C'', D, D', D'' 及び D''' に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

管の穴と補強計算は、設計・建設規格 PPB-3420を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	A	図 2-8 に示す。	mm
	A _o	有効範囲 L _A 内にある穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
	A _{oD}	有効範囲 L _{AD} 内にある穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
	A ₁	管台の厚さのうち管台の必要厚さ t _{br} を除いた部分で有効範囲 L _A 及び L _N 内にある面積	mm ²
	A _{1D}	図 2-9 に示す。	mm ²
	A ₃	主管の厚さのうち主管の必要厚さ t _{rr} を除いた部分で有効範囲 L _A 内にある面積	mm ²
	A _{D1}	管台の厚さのうち管台の必要厚さ t _{br} を除いた部分で有効範囲 L _{AD} 及び L _N 内にある面積	mm ²
	A _{D3}	主管の厚さのうち主管の必要厚さ t _{rr} を除いた部分で有効範囲 L _{AD} 内にある面積	mm ²
A _r	A _r	図 2-9 に示す。	mm ²
	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
	A _{r23}	穴の補強に必要な面積の 3 分の 2	mm ²
	B	図 2-8 に示す。	mm
	B _{xx}	設計応力強さによる補正係数	—
d _o	D _{ir}	主管の内径	mm
	D _{ob}	分岐管の外径	mm
	D _{or}	主管の外径	mm
d	d	断面に現われる穴の径	mm
		平板の径又は最小内のり	
d ₁ , d ₂	d ₁ , d ₂	隣接する 2 つの穴の各々の直径	mm
	d _{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
	L ₁	主管表面より垂直に測った管台肩口までの距離	mm
	L ₂	主管表面より垂直に測った分岐管から管台移行部までの距離	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	L A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
p	L A D	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
p	L N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
	Q b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
	Q b D	分岐管の厚さの負の許容差	%, mm
	Q r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
R	R	主管の平均半径 $\left(= \frac{D_o r - t r}{2} \right)$	mm
r	r	穴の半径 $\left(= \frac{d}{2} \right)$	mm
r 1	r 1	管台の内側のすみの丸みの半径	mm
r 2	r 2	管台と主管との移行部の半径	mm
r 3	r 3	管台と分岐管との移行部の半径	mm
r i	r i b	管台の内半径	mm
r m	r m	管台の平均半径 $\left(= r i b + \frac{t b}{2} \right)$	mm
	r p	管台の外半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	S m b	管台の材料の最高使用温度における設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1による。	MPa
	S m r	主管の材料の最高使用温度における設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1による。	MPa
t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
t	t b	管台の最小厚さ	mm
T s	t r	主管の最小厚さ	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
t_p	t_{bD}	分岐管の最小厚さ	mm
	t_{bDo}	分岐管の公称厚さ	mm
t_n	t_{bn}	$t_{bD} + 0.667 \cdot y$ (図2-5) , t_b (図2-6) *	mm
	t_{bo}	管台の公称厚さ	mm
	t_{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
x	y	傾斜面の食違い	mm
θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角 ただし, $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	°
θ	θ	傾斜面の傾き角	°
	θ_1	傾斜面の分岐管との傾き角	°
	θ_2	傾斜面の主管との傾き角	°
	π	円周率	—
	形 式	管台の形状 設計・建設規格 PPB-3424(1)a. の 図 PPB-3424-1 (1)～(6)に対応する番号を示す。	—

注記* : 図 2-5 及び図 2-6 中に記載のない記号については, 図 2-7 及び図 2-8 を参照

(2) 計算手順及び算式

a. 穴の形状

管に設ける穴は、設計・建設規格 PPB-3421により円形又はだ円形であること。

b. 管台の形状

管台の形状は、設計・建設規格 PPB-3424(1) a. に示す図2-1～図2-6のいずれかとする。

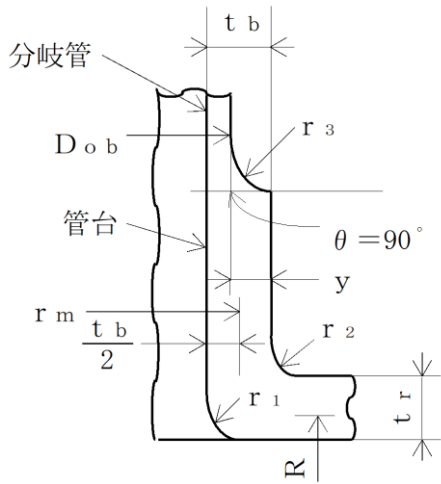


図 2-1

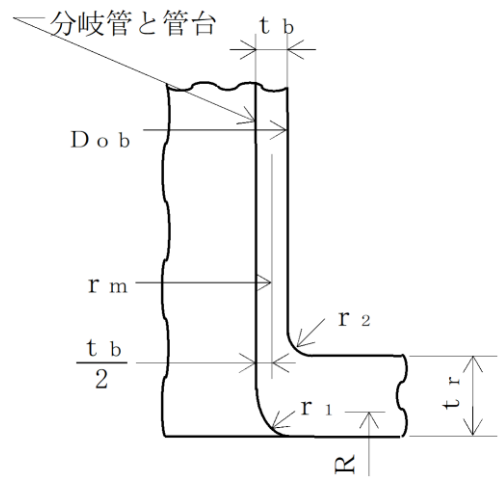


図 2-2

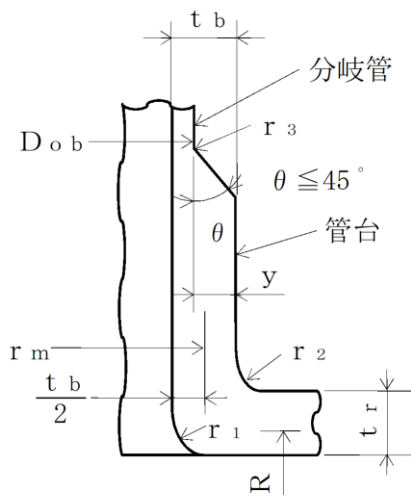


図 2-3

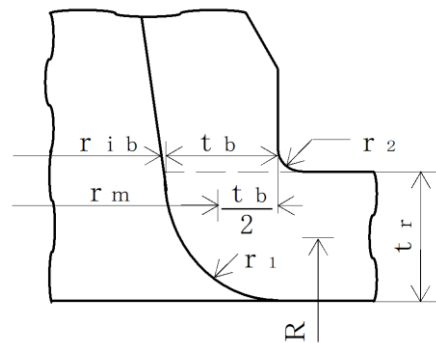


図 2-4

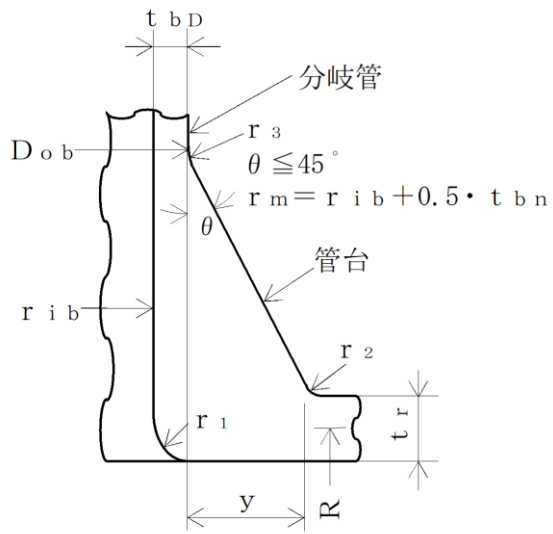


図 2-5

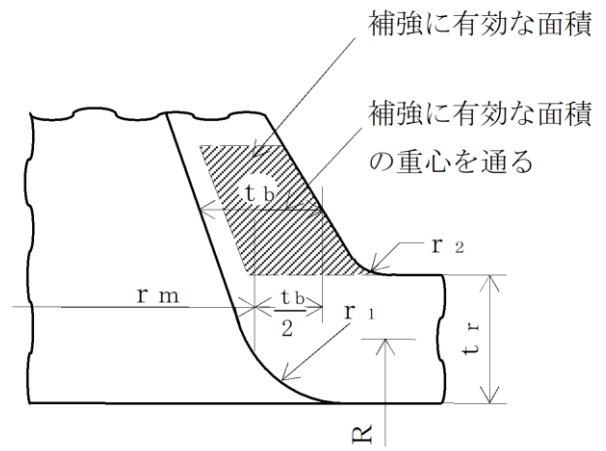


図 2-6

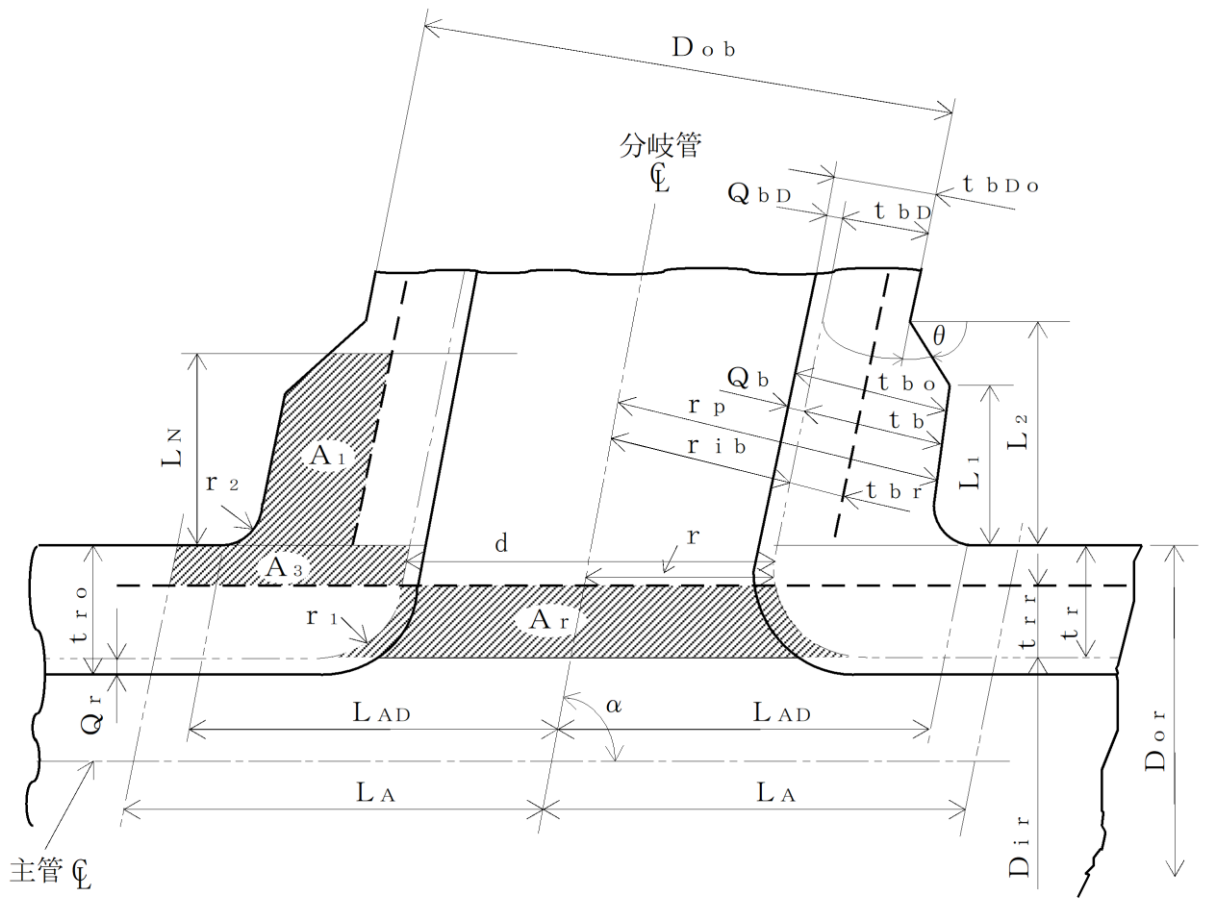
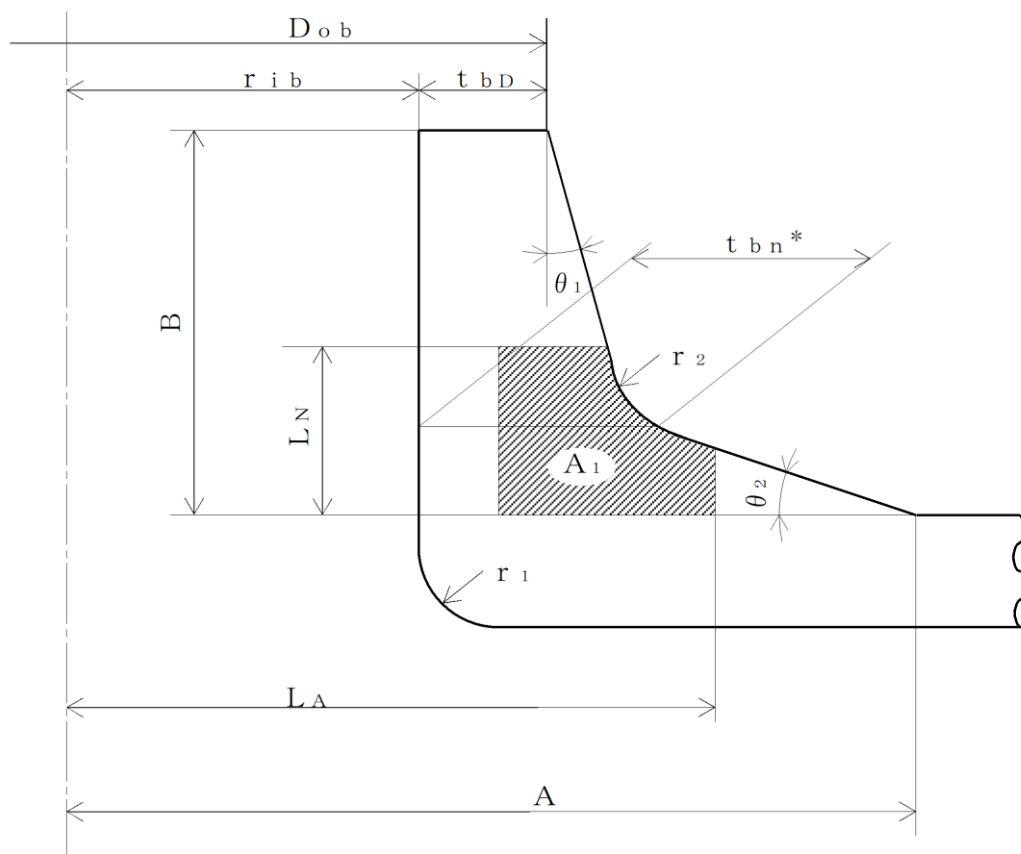


图 2-7



注記* : t_{bn} は補強面積 A_1 の重心点を通る管台肉厚

図 2-8

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPB-3422を適用する。

(a) 算式

イ. 平板以外の管に設ける円形の穴であって、次に適合する場合は穴の補強は不要である。

(イ) 穴の直径が $0.2 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$ 以下であること。

(ロ) 直径が $2.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$ の管内面に沿った円の中に2つ以上の穴がある場合において、それらの穴の直径の総和が $0.25 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$ 以下であること。

この場合において、それぞれの穴の中心間の管内面に沿った弧の長さは $1.5 \cdot (d_1 + d_2)$ 以上であること。

(ハ) 隣接する2つの穴の中心間の主管内面に沿った弧の長さが

$1.5 \cdot (d_1 + d_2)$ 又は $2.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r} + 0.5 \cdot (d_1 + d_2)$ のいずれか大きい方の値以上であること。

ただし、(ロ)の規定に適合する場合は、この限りではない。

(ニ) 穴の端と当該穴が存在する部分以外の局部応力発生箇所との距離は

$2.5 \cdot \sqrt{R \cdot t_r}$ 以上離れていること。

ロ. 平板に穴を設ける場合であって、平板の厚さが次の式により計算した値以上である場合は穴の補強は不要である。

(イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の2分の1以下の場合

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

ただし、 K の値は設計・建設規格 PPB-3413 の表 PPB-3413-1 中(f)の場合を除き、0.375以上とすることを要しない。

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

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

(b) 評価

不要な場合は、穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は d 項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は、設計・建設規格 PPB-3424(1)a. 及び設計・建設規格 PPB-3424(4)を適用する。

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

$$L_A = d$$

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

穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 L_{AD} は次の値（補強に必要な面積の3分の2に対応する補強に有効な範囲）

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

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

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 L_N は次の表の左欄に掲げる区分に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる計算式より計算した値

管台の形状	計 算 式
図 2-1, 図 2-2, 図 2-3 及び図 2-4	$L_N = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_b} + 0.5 \cdot r_2$
図 2-5 及び図 2-6	$L_N = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_{bn}}$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ t_{rr} は、設計・建設規格 PPB-3411(1)を適用する。

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_{mr} + 0.8 \cdot P}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ t_{br} は、設計・建設規格 PPB-3411(1)を適用する。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ob}}{2 \cdot S_{mb} + 0.8 \cdot P}$$

g. 穴の補強計算

(a) 補強に必要な面積

イ. 穴の補強に必要な面積 A_r は、設計・建設規格 PPB-3424(1)c.(c) を適用する。

$$A_r = d \cdot t_{rr} \cdot (2 - \sin \alpha) + 2 \cdot \left(r_1^2 - \frac{\pi \cdot r_1^2}{4} \right)$$

ロ. 穴の補強に必要な面積の3分の2 A_{r23} は、設計・建設規格 PPB-3424(4) を適用する。

$$A_{r23} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(b) 補強に有効な面積

穴の補強に有効な面積は、設計・建設規格 PPB-3424(1)b., 設計・建設規格 PPB-3424(4), 設計・建設規格 PPB-3424(6) 及び設計・建設規格 PPB-3424(7) を適用する。

イ. A_3 及び A_{D3}

$$A_3 = 2 \cdot (L_A - r) \cdot (t_r - t_{rr})$$

$$A_{D3} = 2 \cdot (L_{AD} - r) \cdot (t_r - t_{rr})$$

ロ. A_1 及び A_{D1}

$$A_1 = 2 \cdot \{A_{R2} + (A_{1D} - A_4 - A_5)\}$$

$$A_{D1} = 2 \cdot \{A_{R2} + (A_{1D} - A_4 - A_5)\}$$

ただし, A_{R2} , A_{1D} , A_4 及び A_5 は以下による。

$L_N \leq L_1$ の場合

$$A_{R2}^* = r_2^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)$$

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

$$A_4 = 0$$

$$A_5 = 0$$

$L_1 < L_N \leq L_2$ の場合

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

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

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

$$A_5 = 0$$

$L_N > L_2$ の場合

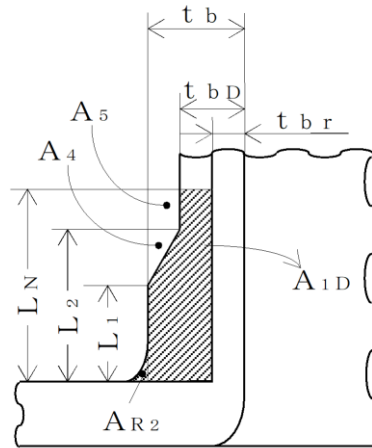
$$A_{R2}^* = r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

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

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

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

注記* : 補強に有効な範囲にない部分が生じる場合は $A_{R2} = 0$ とする。



注 : 図中の斜線部が A_1

図 2-9

ハ. A_0 及び A_{0D}

$$A_0 = A_3 + A_1 \cdot B_{xx}$$

$$A_{0D} = A_{D3} + A_1 \cdot B_{xx}^*$$

注記* : $A_1 \neq A_{D1}$ のときは $A_{0D} = A_{D3} + A_{D1} \cdot B_{xx}$

ただし, B_{xx} は設計応力強さによる補正係数で,

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

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

(3) 評価

- a. 穴の補強に有効な面積の総和 (A_0) $>$ 穴の補強に必要な面積 (A_r)
- b. 穴の補強に有効な面積の総和 (A_{0D}) \geq 穴の補強に必要な面積の3分の2 (A_{r23}) 以上の条件が満足されるならば穴の補強は十分である。

(4) 補足

- a. 補強に有効とみなす部分のうち, A_1 で示される部分 (図2-7参照) の熱膨張係数は, 主管のその0.85倍以上1.15倍以下であること。
- b. 補強に有効な部分は, 2つ以上の穴に重複して有効としてはならない。
- c. 図2-8に示す管台については図2-6に従い計算を行う。
- d. 隣接する2つの穴の中心間の距離は, これらの穴の径の平均値の1.5倍以上であり, かつ, これらの穴の間にある補強に有効な面積は, これらの穴の補強に必要な面積の50%以上であること。
- e. 補強に必要な面積の2分の1以上の補強に有効な面積は, 穴の中心線の両側にあること。本書は, α が 90° の場合での計算例を示す。

2.7 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPB-3414を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A m	A m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₁	A m ₁	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₂	A m ₂	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1 のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (一体形フランジで f の最小採用値は 1 であるが、J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 より求まる f が 1 未満となる場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 (\text{一体形フランジの場合}) \right)$	mm ³
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _i	穴あきボルトの内径	mm
e	e	係数 $\left(= \frac{F}{h_0} (\text{一体形フランジの場合}) \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 又は表 4 による。)	—

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
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 _D	H _D	内圧によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H _G , H _G	H _G	ガスケット荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h _D	h _D	ボルト穴の中心円からH _D 作用点までの半径方向の距離	mm
h _G	h _G	ボルト穴の中心円からH _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からH _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
M _D	M _D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M ₀	M ₀	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8265 附属書3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8265 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
M	M _e	フランジ部に作用するモーメント	N・mm
P _{F D}	P	設計圧力	MPa
P _{e q}	P _{e q}	応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力に P _{e q} を加えたものである。 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 $\left(= \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} \right)$	MPa
R	P _o R	最高使用圧力	MPa
T	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8265 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8265 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 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 _{m 1}	W _{m 1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N

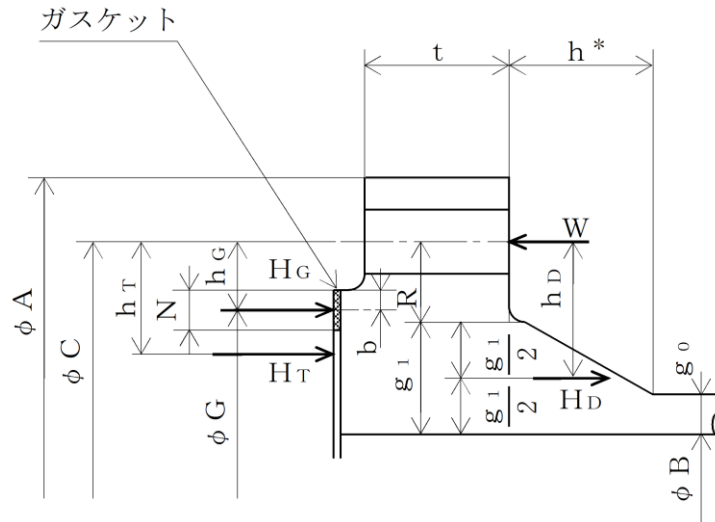
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
Z	Z	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—
σ _a	σ _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 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 _{f a}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
σ _f	σ _{f b}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 による。	MPa
σ _H	σ _{H g}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ _H	σ _{H o}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ _R	σ _{R g}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ _R	σ _{R o}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ _T	σ _{T g}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ _T	σ _{T o}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ス テンレス鋼）	—

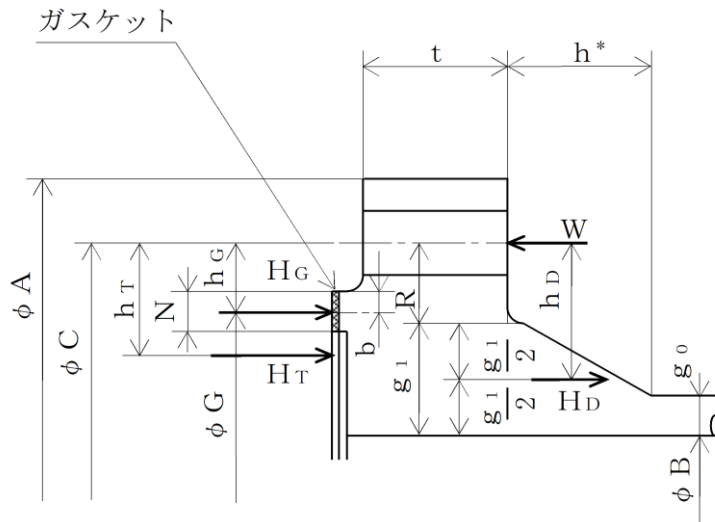
注記* : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格
に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 計算手順及び算式（フランジの内圧計算）

フランジの形式及び各部の記号は図 2-10 及び図 2-11 による。
ただし、 W は、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。



TYPE-1 JIS B 8265 附属書 3 図 2 b) 8)



TYPE-2 JIS B 8265 附属書 3 図 2 b) 8)

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

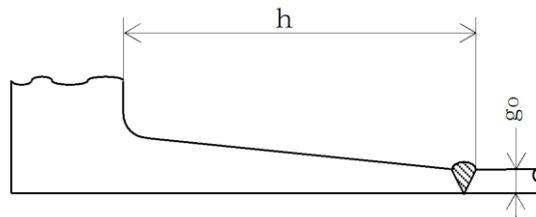
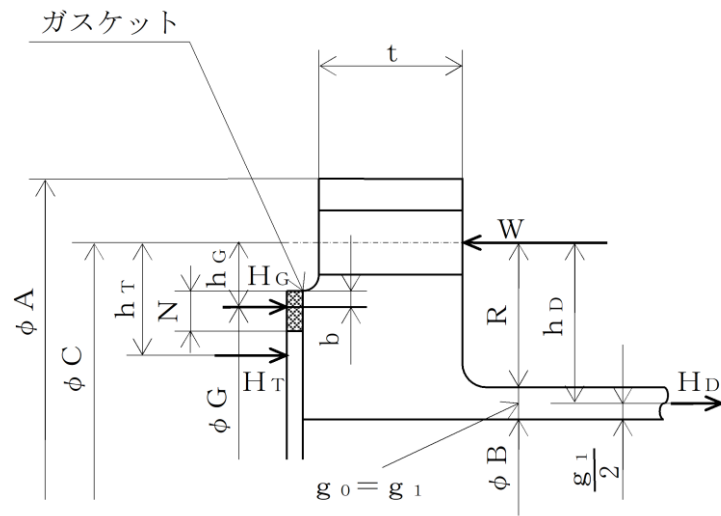


図 2-10 一体形フランジ



TYPE-3 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-11 一体形フランジ

- a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

- b. 計算上必要なボルト荷重

- (a) 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

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

- (b) ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

- c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

- d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

- f. 使用状態でフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

ただし,

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

- g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

- h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

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

i. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

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

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

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

ただし、

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

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

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

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

また、 B が $20 \cdot g_1$ より小さい場合は、ハブの軸方向の応力 σ_{H_o} 及び σ_{H_g} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- a. ボルトの総有効断面積 $A_m < A_b$
- b. ハブの軸方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- c. フランジの径方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- d. フランジの周方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

目 次

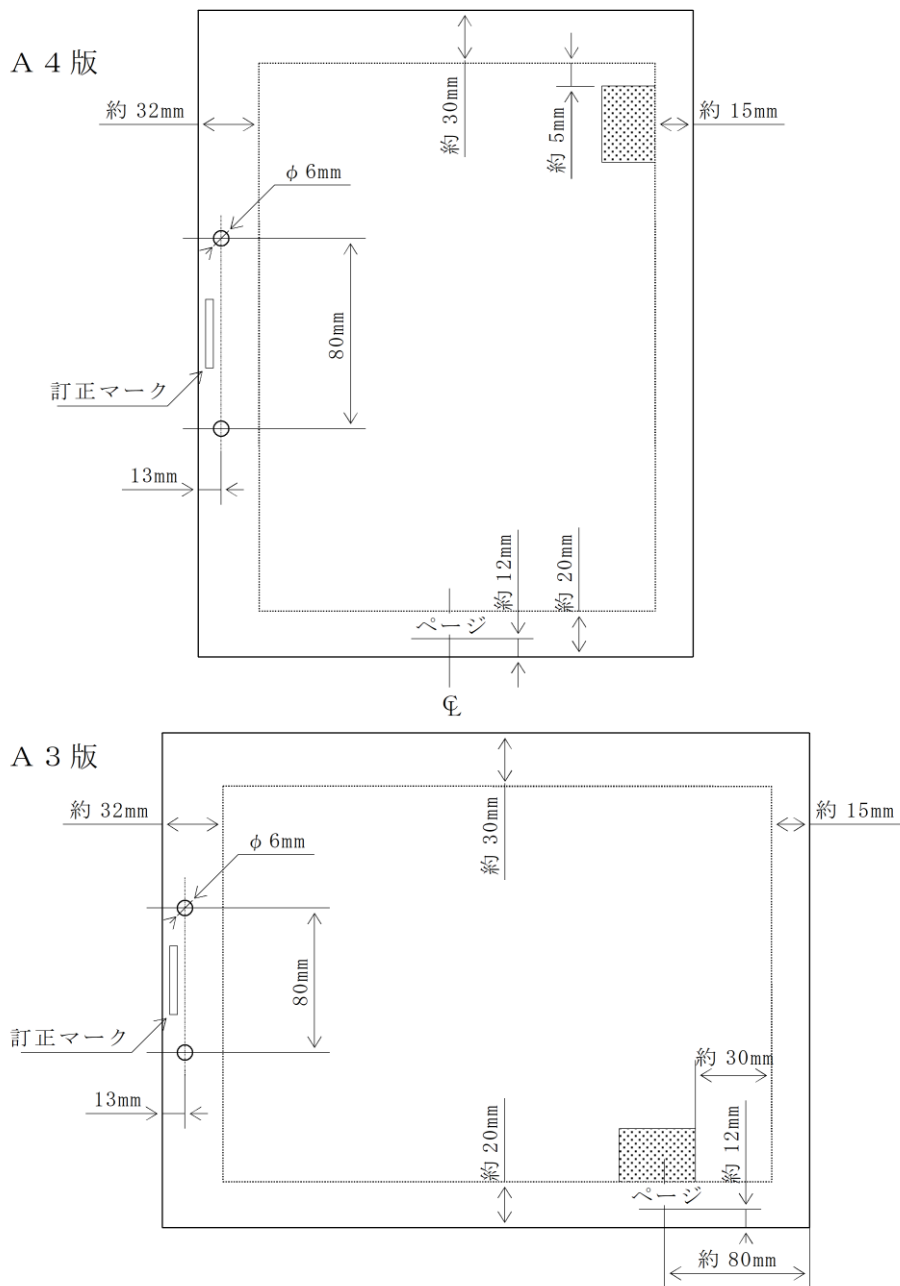
1. 適用範囲	1
2. 書式	1
3. 記載内容	3
4. 記載要領	4
4.1 配管	4
4.2 弁	13
4.3 スペシャルティ及び計装品	14
4.4 フランジ	16
4.5 機器	16
4.6 その他	17
5. 管番号及び継手番号	19
5.1 付番の原則	19
5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載	21
5.3 管番号表示の際に注意すべき事項	27

1. 適用範囲

本要領書は、管の基本板厚計算書中の概略系統図の作成方法に適用する。

2. 書式

- (1) 用紙はA4（又はA3）サイズとし、用紙の記載範囲については、下記を原則とする。



注 1：破線内は記載範囲である。

注 2：網かけ部に系統名を記載する。

（例）主蒸気系概略系統図

注 3：上記寸法は目安値である。

(2) 概略系統図に用いる線については、下記に従うものとする。

区 分	線の種類	線の太さ
<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事計画記載範囲のうち、当該計算書記載範囲の配管 	太い実線 (———)	0.8～1.0mm
<ul style="list-style-type: none"> ・ 当該申請回の機器*1、弁、スペシャリティ、レジューサ、キャップ、フランジ、平板、伸縮継手 ・ 建物区分 ・ 既認可図書を呼び出す配管 	細い実線 (———)	0.3～0.5mm
<ul style="list-style-type: none"> ・ 申請ラインのうち、別シートに記載されているか、若しくは別工認の概略系統図中に記載されているが、系統の接続を示すため記載するライン、機器、弁、スペシャリティ、レジューサ、キャップ、フランジ、平板、伸縮継手 ・ 他号機との取合い ・ 工事計画に記載される管継手で分岐部が申請対象外の場合にその管継手を表すために記載するライン ・ 申請範囲ではないが、系統の接続を示すために必要なライン*2 ・ 当該計算書記載範囲外の主配管 	細い破線 (-----)	0.3～0.5mm

注記*1：原子炉格納容器貫通部は、破線で記載する。

*2：φ61mm以下の穴で、穴の補強が不要なものについては表示不要とする。

3. 記載内容

	項 目	記 載 内 容
1	申請範囲	・ 工事計画記載範囲
2	分岐合流	・ 配管計装線図（以下「P & I D」という。）及び工認系統図に合わせる。
3	機器名称及び番号	・ 機器名称は、正式名称*で記載する。 ・ 機器番号は記載しない。 （例）〇〇ポンプ(C001A) → A-〇〇ポンプ
4	主要弁	・ 弁番号及び駆動方式（M, A）は、工事計画記載の弁について記載する。
5	フランジ	・ フランジについては、下記のものについて記載する。 （イ） 機器と配管の取合い部となるフランジ （ロ） 仕様変更（圧力、材料等）又は系統区分点となるフランジ （ハ） 強度計算対象となるフランジ（設計・建設規格対象外フランジ）

注1：概略系統図のレイアウトは、制約がない限り極力、工認系統図に合わせる。

注2：配管口径、配管番号、系統略称及びクラス区分は記載しない。また、スペシャリティ番号も記載しない。

注3：ドレン、ベント及びファンネルについては記載しない。

ただし、工事計画に記載される管継手により分岐される場合は、分岐部の位置を表す表示（破線表示）を行う。

注4：原子炉格納容器貫通部番号、原子炉压力容器ノズル番号は記載し、その他の機器ノズル番号は記載しない。

注5：系統の流れ表示は、系統の接続を示す部分のみ記載する。

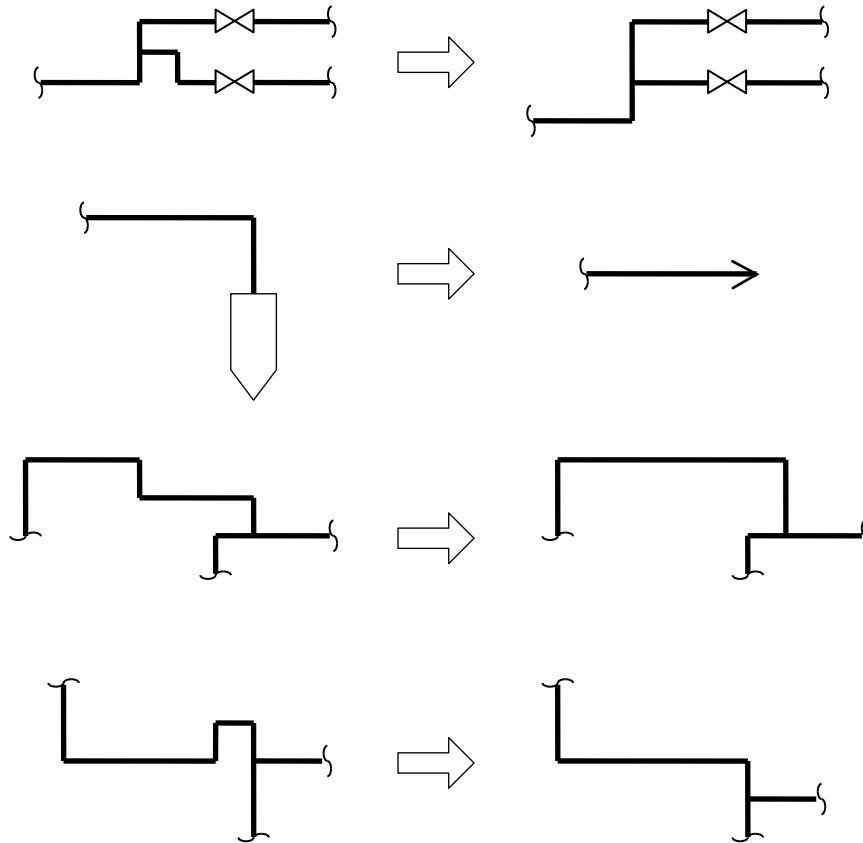
注6：ポンプの流れ方向表示は行わない。

注記*：島根原子力発電所第2号機で定められた名称とする。

4. 記載要領

4.1 配管

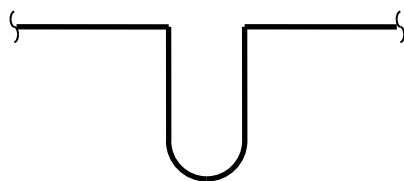
(1) P & I Dより概略系統図を作成する場合の表記（原則として）



また、概略系統図のシートNo.（その1，その2等）は、原則として流れの上流側から付番する。ただし、流れの方向が一定していないものは、工認系統図の順番に従い付番する。また、パッケージ分については、シートの最後にもってきてよいものとする。

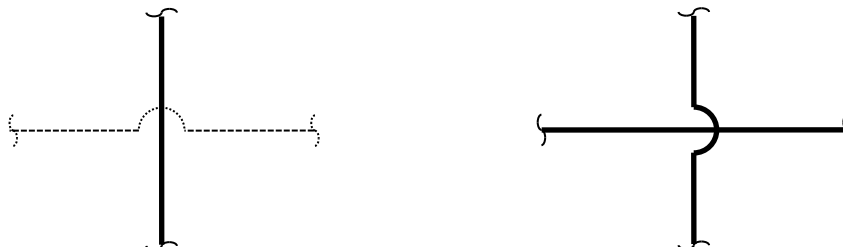
(2) Uシール部の表記

Uシール部は、Uシール部とわかるように概略系統図へ記入する。



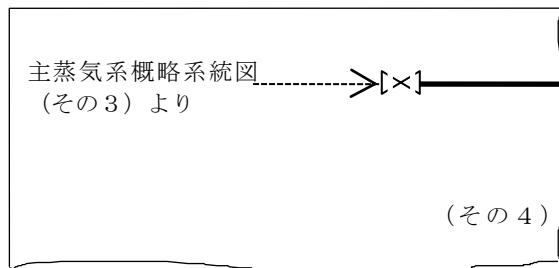
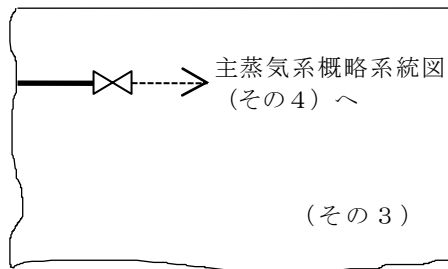
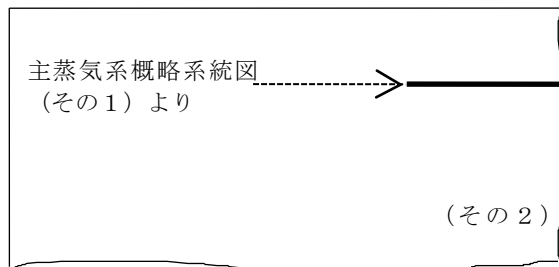
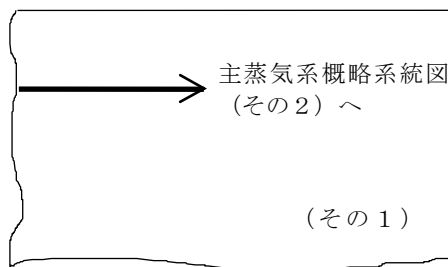
(3) 線の交差の表示

線が交差する場合は下記に従うものとする。ただし、線の優先順位は、太い実線、細い破線の順とし、同一線が交差する場合は横線を優先して記載する。

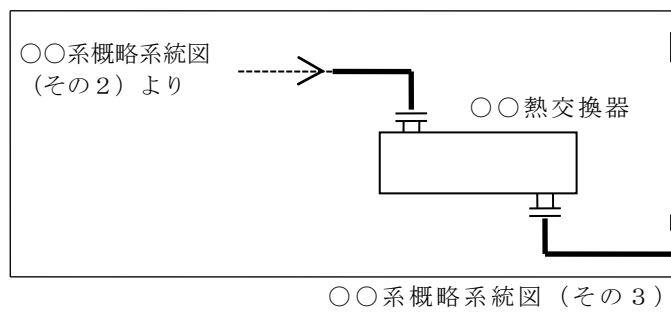
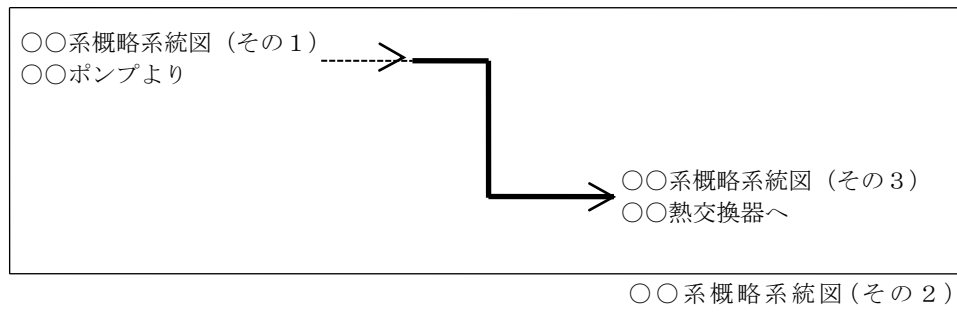
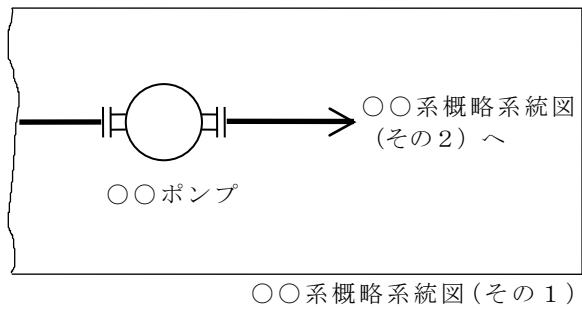


(4) 配管の接続先表示

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



概略系統図の構成が 3 枚となる場合の表記例



d. 他系統と取り合う場合は以下による。

- (a) 系統名は正式系統名称を記載するものとし、略称は使用しないものとする。
- (b) 当該申請回及び既申請回で申請されている系統と取り合う場合は、相手側の系統名称及び接続する機器名称を記載する*。ただし、機器名称の中にその機器の属する系統名称が表示されている場合は系統名称は記載しない。また、他系統の機器へ接続するまでに機器が属する系統以外の他系統を経由する場合は、最初に接続する系統の名称のみ記載する。

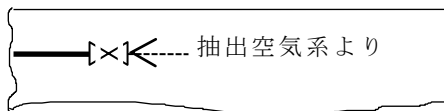
注記*：ユーティリティ系と接続する場合は系統名称のみとする。

ただし、系統機能上重要なものは機器名称も記載する。

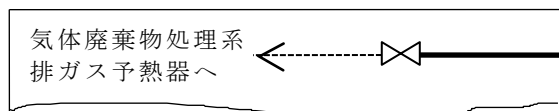
なお、同一申請回において廃棄設備と取り合う場合は、概略系統図名と機器名称を記載する。

また、将来申請の系統と取り合う場合は、相手側の系統名のみ記載する。

気体廃棄物処理系と抽出空気系との取合いがあり、気体廃棄物処理系が先の申請回で申請される場合

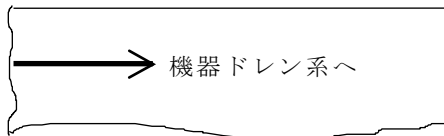


気体廃棄物処理系概略系統図
(抽出空気系は将来申請)

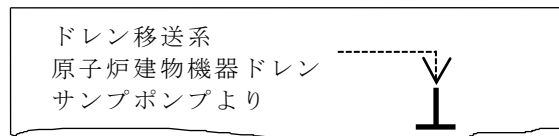


抽出空気系概略系統図
(気体廃棄物処理系は申請済)

ドレン移送系と機器ドレン系との取合いがあり、ドレン移送系が先の申請回で申請される場合



ドレン移送系概略系統図
(機器ドレン系は将来申請)

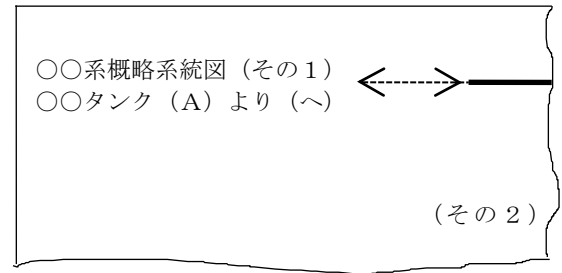
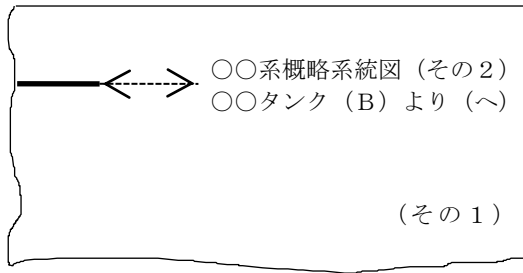


機器ドレン系概略系統図
(ドレン移送系は申請済)

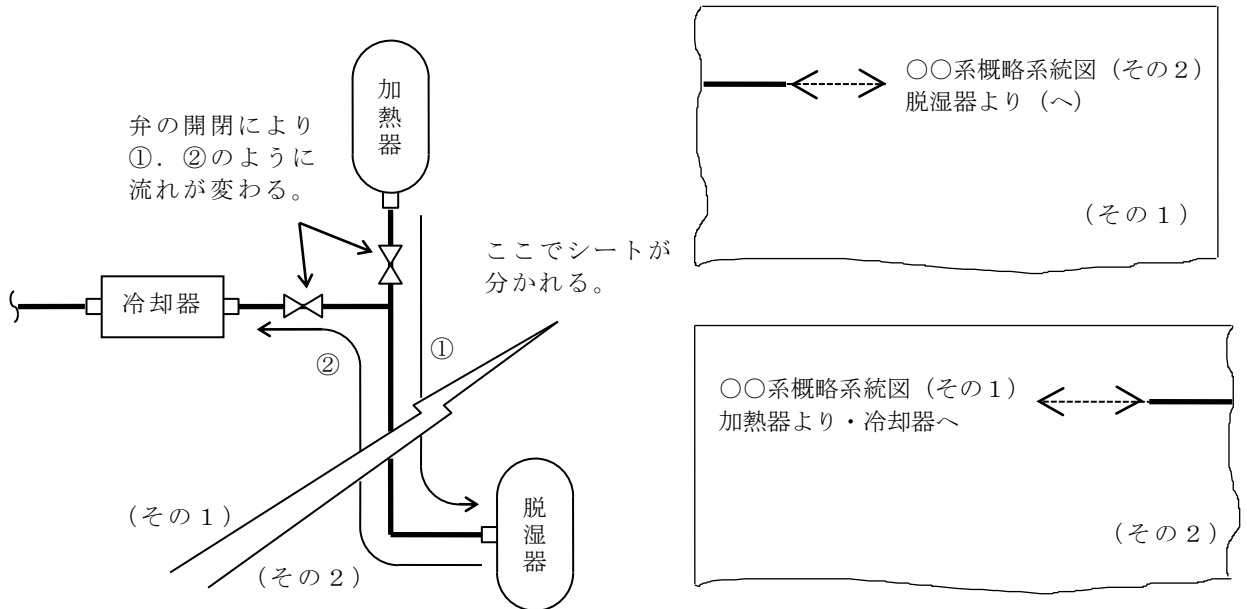
注：既申請回範囲の記載についてはh項に規定あり。

- (c) 弁取合いの場合の表記は、両系統に弁を記載し、弁が属する系統が申請される場合には実線で、他系統の申請時記載する場合には破線で記載し、上記(a)項又は(b)項に従った接続先表示をする。

- e. 流体が行き来するライン（タイライン等）にあつては、お互い「〇〇より（へ）」と呼び合うものとし、記載する事項は b 項， c 項又は d 項と同様とする。



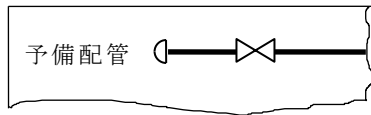
注：流体がモード等により行き先が変わる場合，下記の例に従う。



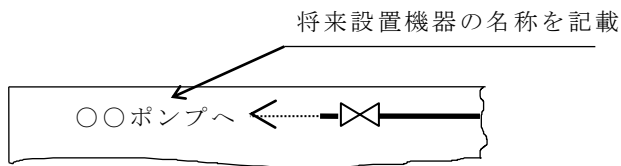
- f. 接続先の配管が工認対象外である場合は，表記する必要はない。ただし，工事計画に記載する管継手に係わる場合及び系統の接続を示すために必要なラインは，11 頁「(9) 分岐部の申請範囲の表記」に示す表記をする。

g. 将来増設プラントと取り合う場合は、予備配管と表記する。

また、申請対象設備が設置されるプラントの将来設置機器と取り合う場合には将来設置機器の名称を表記する。

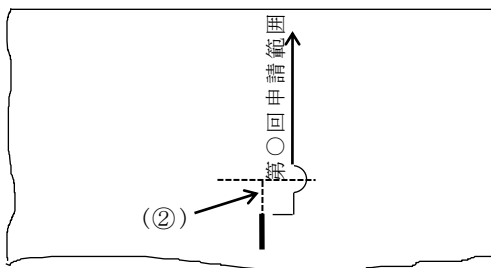


将来増設プラントと取り合う場合

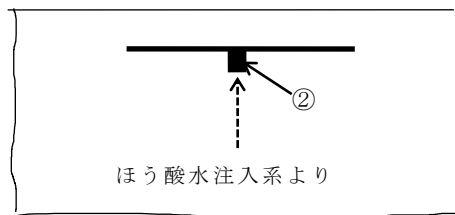


当該プラントの将来設置機器と取り合う場合

h. 既申請回（同一系統又は他系統）で申請されている系統と取り合う場合は、取合配管の申請回と既申請系統計算書の管番号を表記する。

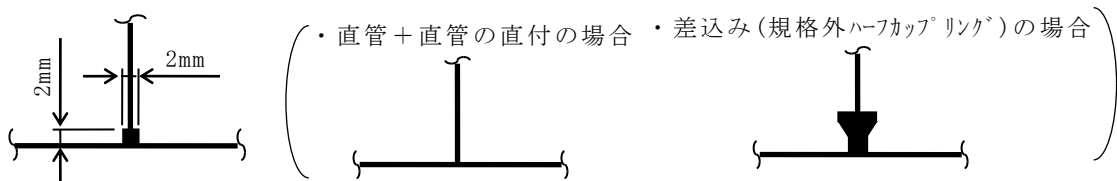


ほう酸水注入系概略系統図



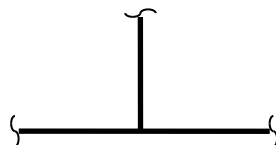
高圧炉心スプレイ系概略系統図
(既申請回)

(5) 管台の表記は下記に従うものとする。（寸法は目安値）

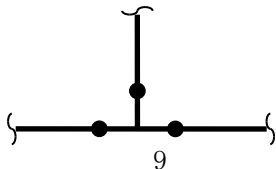


(6) 継手類の表記は下記に従うものとする。

a. ティー



ただし、材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は下記に示す仕様変更表示をする。



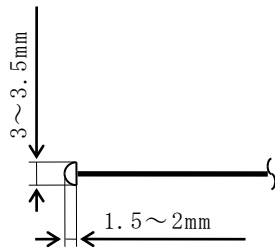
b. レジューサ

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



c. 鏡板, キャップ

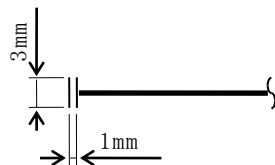
表記寸法 (目安値)



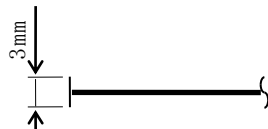
d. 平板

表記寸法 (目安値)

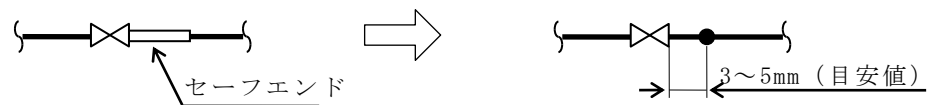
- (a) フランジにボルトで締め付けられるタイプ



- (b) (a)以外のタイプ



- (7) セーフエンド等の表記は下記に従うものとする。



- (8) 配管上で材料又は肉厚等が変更となる場合は下記の表示とする。



(9) 分岐部の申請範囲の表記

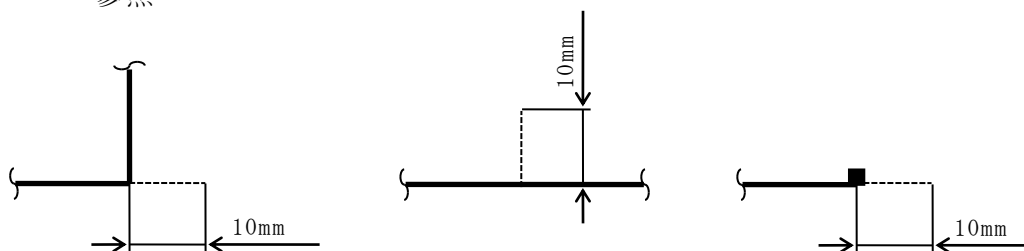
分岐部の種類	申請形態	クラス 1 及び クラス 2 管*1の表記	左記以外の表記
同径ティー (設計・建設 規格規定の J I S 規格 品)			
異径ティー (設計・建設 規格規定の J I S 規格 品)			
同径ティー (設計・建設 規格規定の J I S 規格 品以外)			
異径ティー (設計・建設 規格規定の J I S 規格 品以外)			

分岐部の種類	申請形態	クラス 1 及び クラス 2 管*1の表記	左記以外の表記
直管直付 (同径)			
直管直付 (異径)			
管台 (突合せ)*2			

注 1：分岐部破線及び管台の表記寸法（目安値）

注記*1：重大事故等クラス 2 管含む。

*2：差込み（規格外ハーフカップリング）の管台表示は、前記 4.1(5)項を参照



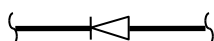
注2：クラス1及びクラス2管（重大事故等クラス2管含む。）以外であっても，工認系統図上の分岐，合流を明確にする必要がある場合にはクラス1及びクラス2管（重大事故等クラス2管含む。）の表記とする。

ただし，主流路を形成する分岐部を除き，φ61mm以下の穴で，穴の補強が不要なものについては分岐部破線表示又は管台表示は不要とする。

4.2 弁

(1) 弁の形式は下記記号にて表示する。

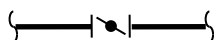
a. 逆止弁



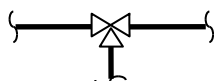
注：流れ方向の指示は表示しない。

ただし，弁の向きは工認系統図に合わせる。

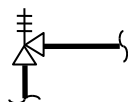
b. バタフライ弁



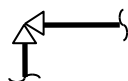
c. 三方弁



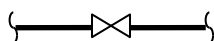
d. 安全弁，逃し弁



e. アングル弁



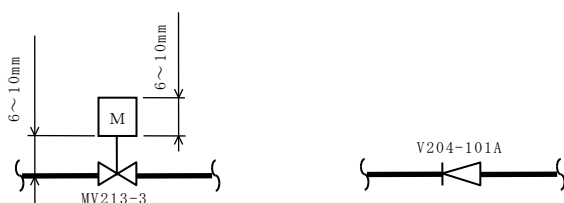
f. 上記以外の弁はすべてグローブ弁表示とする。



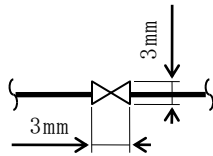
(2) 弁の開閉は表示しないものとし，すべて白抜きとする。

(3) 主要弁の表記は下記に示すように駆動方式及び弁番号を記載する。

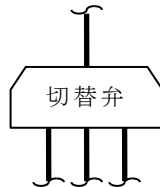
(寸法は目安値)



(4) 弁の記載寸法は下記を原則とする。(目安値)



(5) 前記(1)に係わらず、切替弁は下記表示とする。

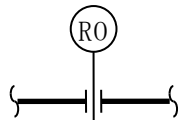


4.3 スペシャルティ及び計装品

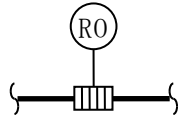
スペシャルティ及び計装品の表示は下記に従うものとする。

(1) オリフィス

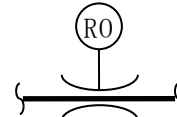
a. 単段減圧オリフィス



b. 多段減圧オリフィス

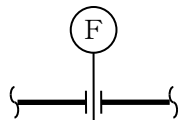


c. ベンチュリ形流量制限器

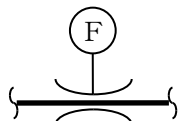


(2) 流量計

a. オリフィスプレート式



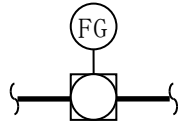
b. ベンチュリ式及びフローノズル式



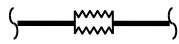
c. その他



(3) フローグラス

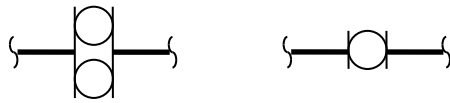


(4) 伸縮継手

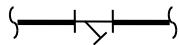


(5) ストレーナ

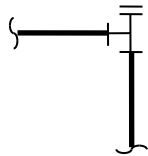
a. バスケットストレーナ



b. Y型ストレーナ



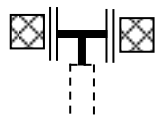
c. T型ストレーナ



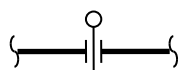
d. コーンストレーナ (仮設のものは除く。)



e. 円すい支持ディスク

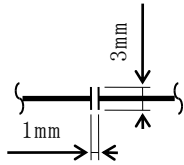


(6) スペクタクルフランジ



4.4 フランジ

フランジは下記表示とする。(寸法は目安値)



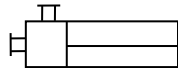
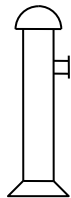
4.5 機器

(1) ポンプ

ポンプの形式の表示は下記に従うものとする。

(図はフランジ取合を示している。)

- a. サンプポンプ b. ほう酸水注入ポンプ c. その他すべてのポンプ



(2) その他の機器

当該配管が直接接続している機器の概略形状を記載する。

(形状は原則として工認系統図に合わせる。)

(3) 機器取合点表示

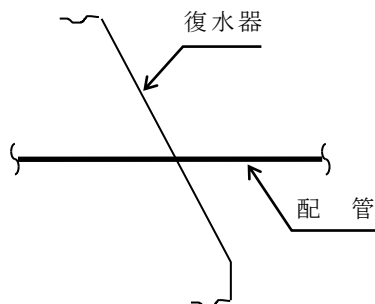
a. フランジ取合点



b. ノズル取合点



(4) 復水器貫通部表示

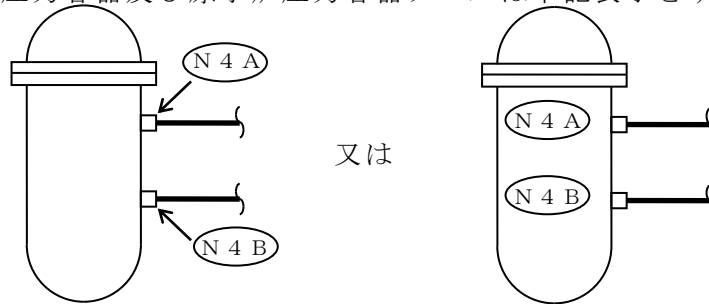


4.6 その他

(1) 原子炉格納容器及び原子炉格納容器貫通部は下記表示とする。



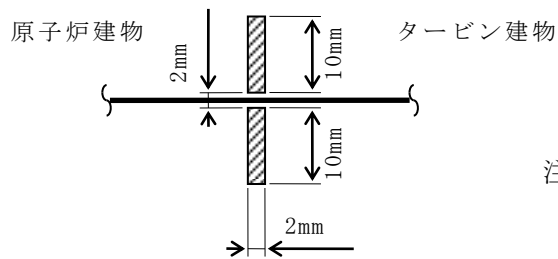
(2) 原子炉压力容器及び原子炉压力容器ノズルは下記表示とする。



注：N-4 Aと“-”は付記しない。

(3) 複数の建物に配管がまたがる場合の建物の区分は下記表示とする。

(寸法は目安値)

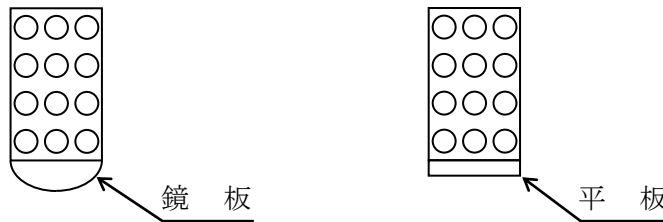


注1：R/B，T/B等の略称は使用しない。

注2：埋込部の表示は行わない。

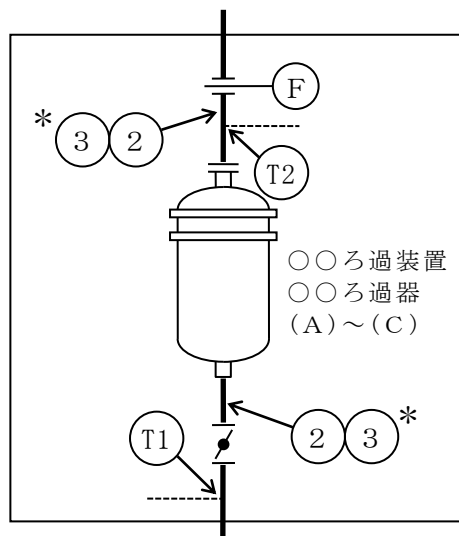
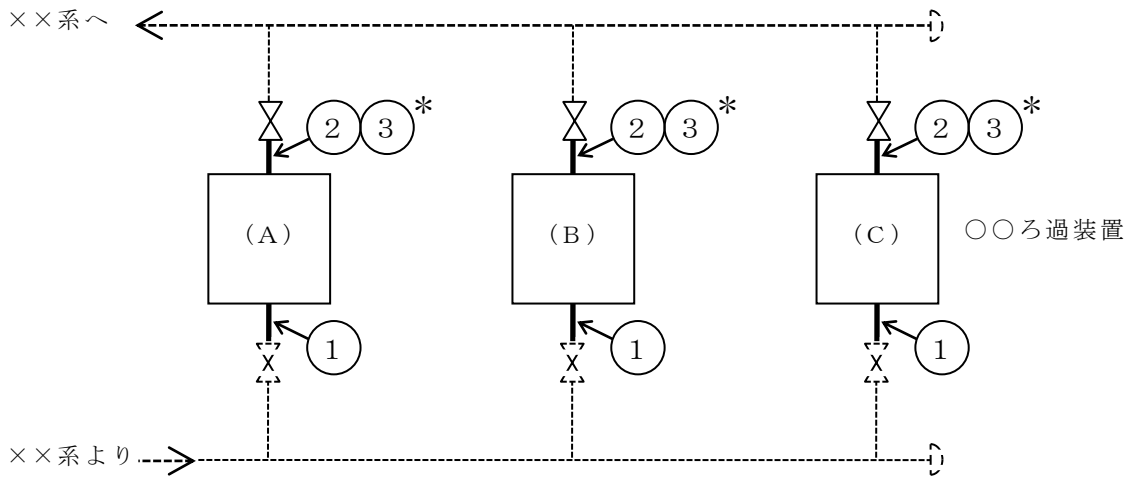
注3：建物外のダクトは「屋外ダクト」と呼称する。

(4) スパージャ、ディフューザ及びクエンチャは下記表示とする。



(5) 水面は表示しない。

(6) ユニットとして同一のものが多系列にわたっている場合の記載方法は、下記のよ
うに代表箇所のみ、配管構成及び計算箇所を表示する。



○○ろ過装置(A)~(C)付番

5. 管番号及び継手番号

5.1 付番の原則

- (1) 板厚計算を行うすべての管及び継手に対し番号を付番するものとし、同一仕様のものは同一番号とする。また、付番は原則として系統の上流側より主流路に沿って系統の終わりまで行う。

ただし、同一系統内に異なるクラスがある場合は、上位クラスを優先して付番する。

- (2) 管番号及び継手番号は下記条件の切換点で変更するものとする。

- ・ 最高使用圧力
- ・ 最高使用温度
- ・ 外径
- ・ 肉厚
- ・ 材料
- ・ 製法
- ・ クラス

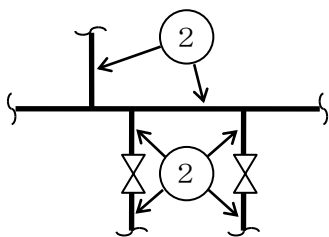
- (3) 管番号及び継手番号

- ・ 管（セーフエンド及び規格 ① ② ③
外エルボを含む。）
- ・ 管継手 ①* ②* ③*
（エルボ， レジューサ， ティー， 注記*：管継手
フルカップリング及びキャップ）
- ・ 規格外ティー， 管台， 枝管 ①T1 ②T2 ③T3
- ・ 規格外レジューサ ①R1 ②R2 ③R3
- ・ 鏡板（規格外キャップ） ①C1 ②C2 ③C3
- ・ 平板 ①B1 ②B2 ③B3
- ・ 規格外フランジ ①F1 ②F2 ③F3
- ・ 伸縮継手 ①E1 ②E2 ③E3
- ・ 穴あき管 ①SP1 ②SP2 ③SP3

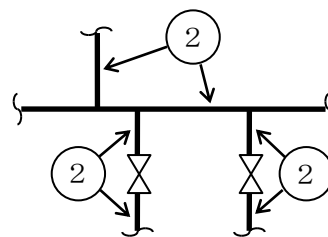
(4) 管番号の記入

a. 番号の矢印は2箇所以内とする。

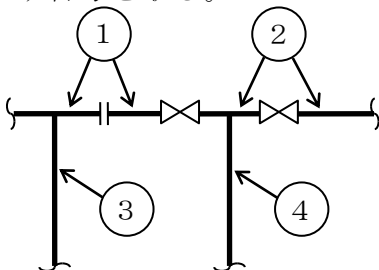
(誤)



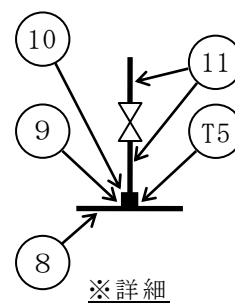
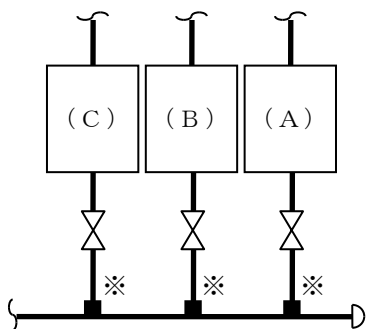
(正)



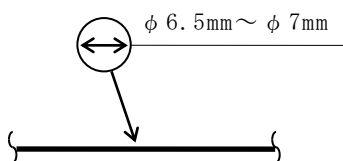
b. 同一仕様であっても、弁及びフランジ等により仕様変更か否か誤解を招くと思われる場合は必ず番号を取る。



c. 管番号を記入することによって、概略系統図が煩雑になる場合は下記のように表示する。



d. 寸法 (目安値)



5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載

(1) 一般原則

管の基本板厚計算書概略系統図における管番号の付番は、5.1 項を原則とし、各管番号にて示された範囲が、管継手のみにて構成される場合は、管と管継手を区別するため管番号に管継手マーク“*”を付ける。

(2) 管継手部の記載要領

管の基本板厚計算書概略系統図における管継手マークの記載は(1)項に従うが、管継手部における具体的な記載要領を下記に示す。

a. エルボ

エルボの両端にエルボと仕様の異なる管又は管以外の要素が接続される場合、エルボに管番号を付番し、管継手マーク“*”を付ける。

ただし、同一ライン上にある他に付番された管番号により当該エルボの仕様がわかる場合は、管番号を省略する。

注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のエルボについては、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

b. ティー

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

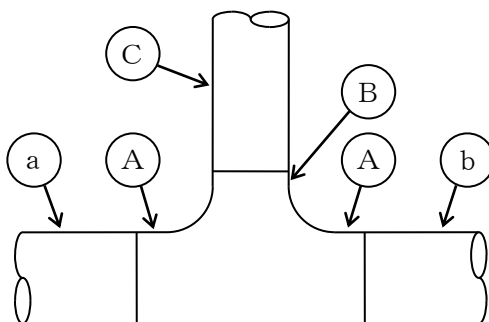
(b) ティーの主管側 (A) と接続される管 (b) が同一仕様である場合は、(b) に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上 (A) ((b) 側半分) に管番号を付番する場合もある。

(c) ティーの主管側 (A) の両端に仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は、(A) に管番号を付番し、管継手マーク“*”を付ける。ただし、管以外の要素が (A) と同一仕様の管継手であれば、管以外の要素側に付番する場合もある。

(d) ティーの分岐管側 (B) と接続される管 (C) が同一仕様である場合は、(C) に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上 (B) に管番号を付番する場合もある。

- (e) ティーの分岐管側 (B) に仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は、(B) に管番号を付番し、管継手マーク “*” を付ける。ただし、管以外の要素が (B) と同一仕様の管継手であれば、管以外の要素側に付番する場合もある。

注：主管側又は分岐管側において接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のティーについては、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。



c. レジューサ

レジューサに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合、又は管若しくは管継手以外の要素が接続される場合、レジューサ端部に管番号を付番し、管継手マーク “*” を付ける。

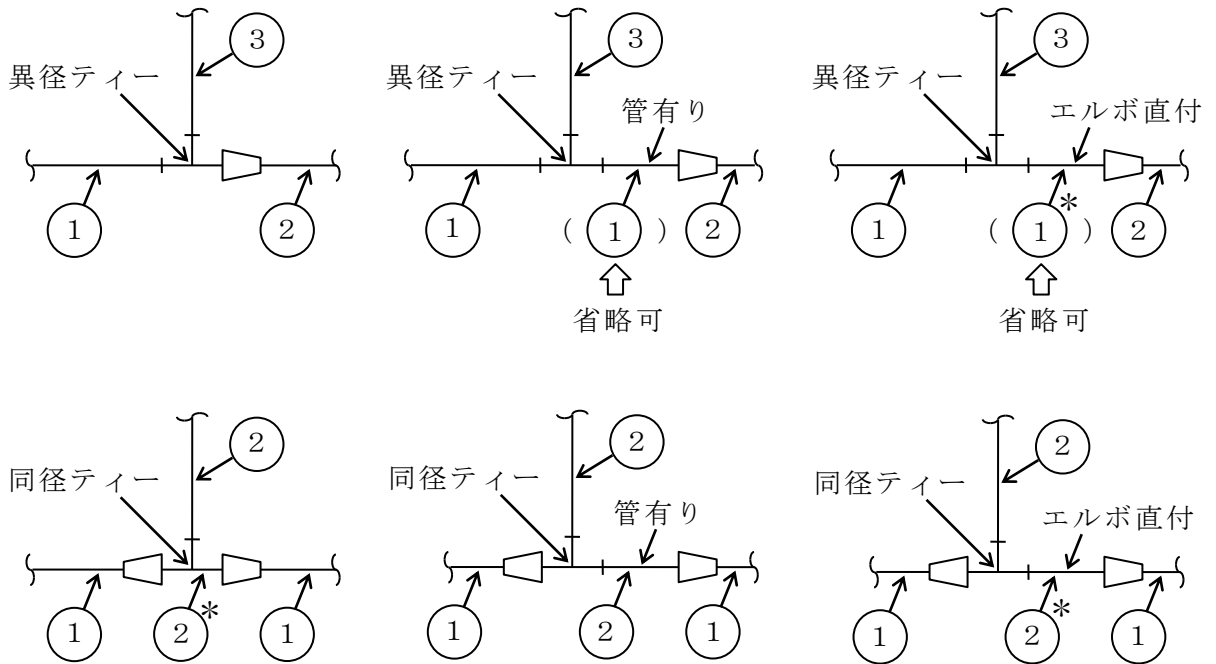
注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のレジューサについては、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

d. キャップ

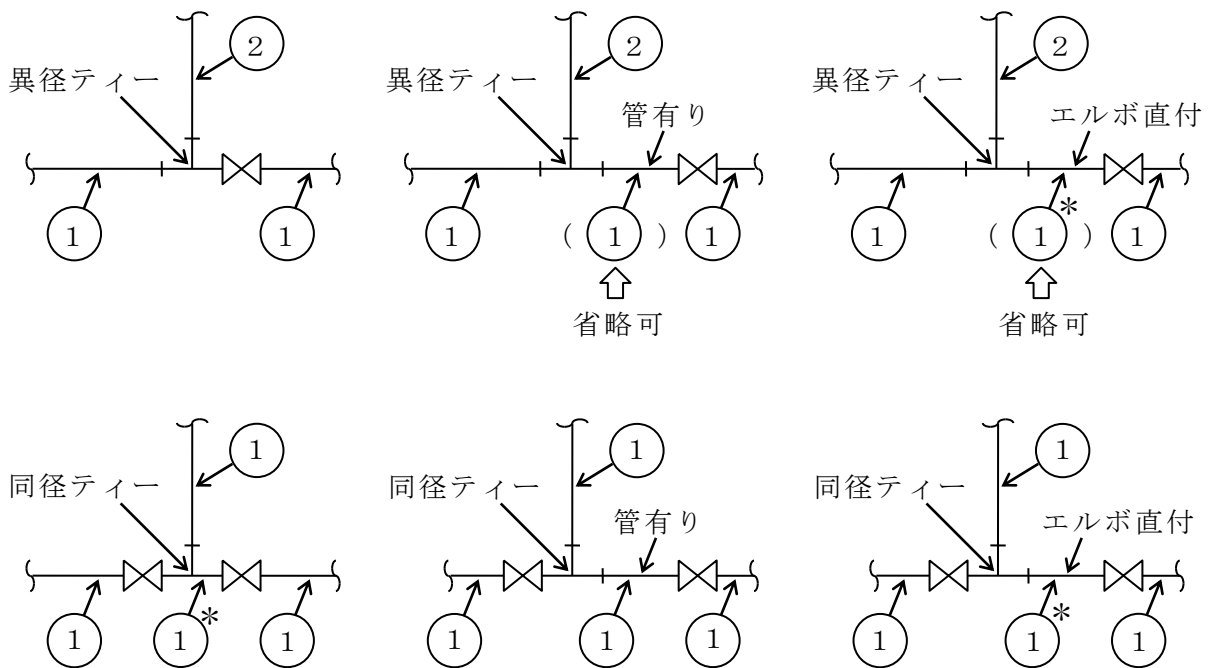
キャップに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合は、キャップ端部に管番号を付番し、管継手マーク “*” を付ける。

注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のキャップについては、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

(ティー主管側+レギュレーサ)

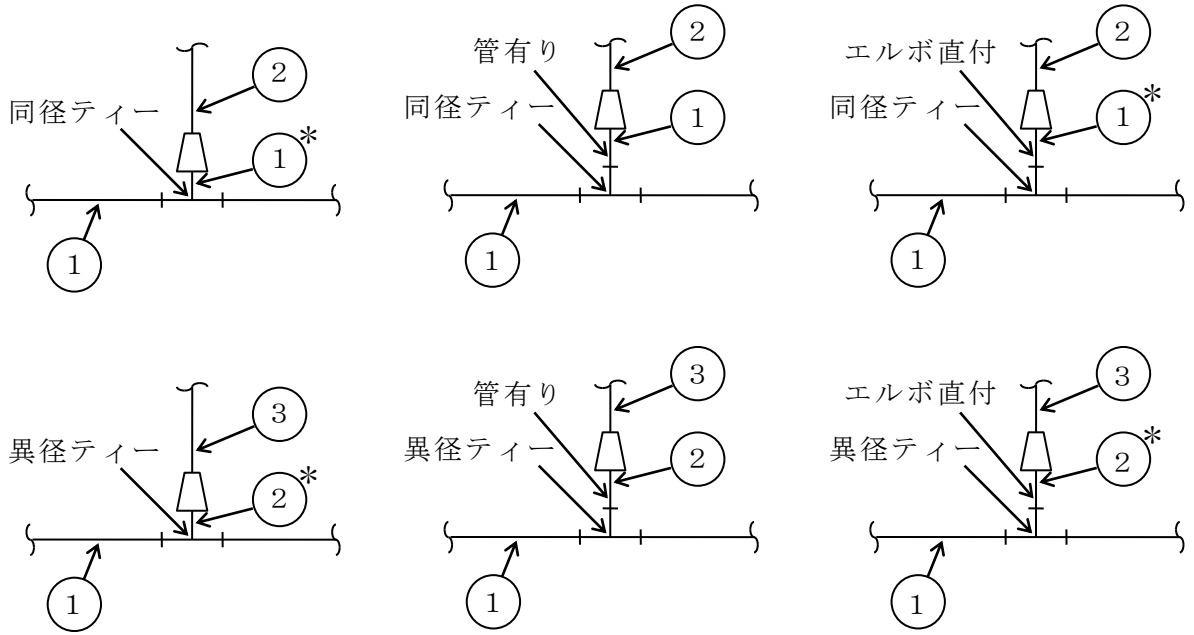


(ティー主管側+弁)

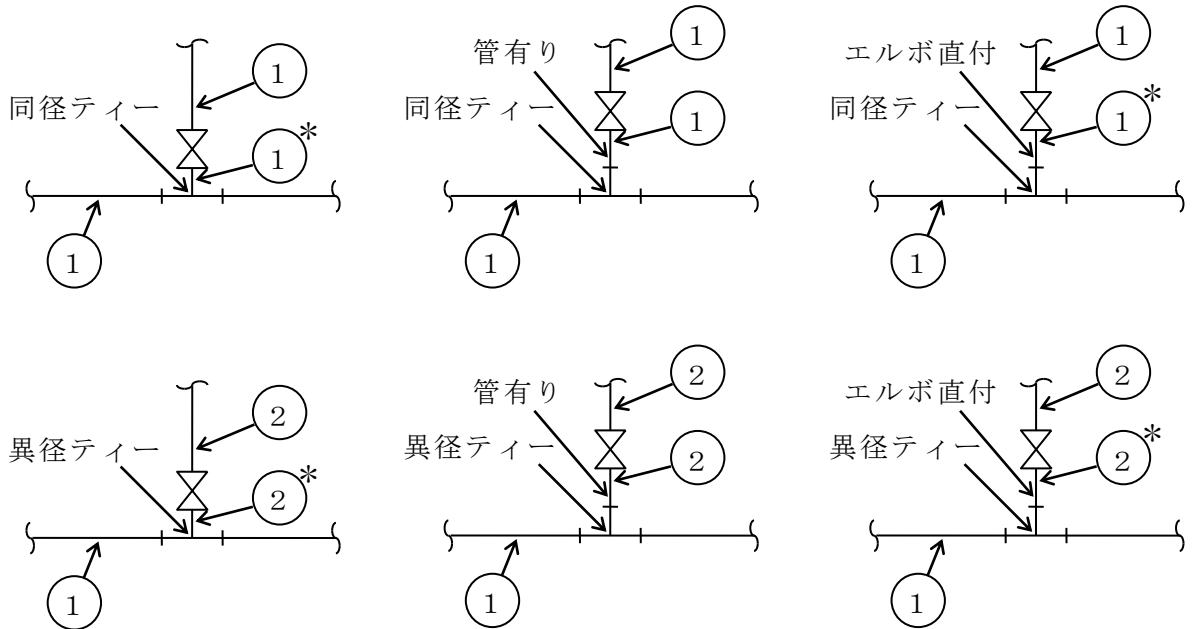


管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その1)

(ティー分岐管側+レギュレーサ)



(ティー分岐管側+弁)

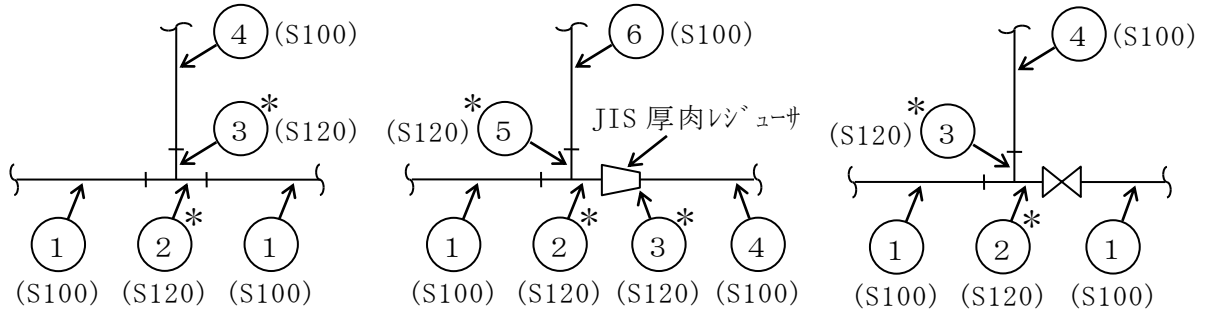


管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その2)

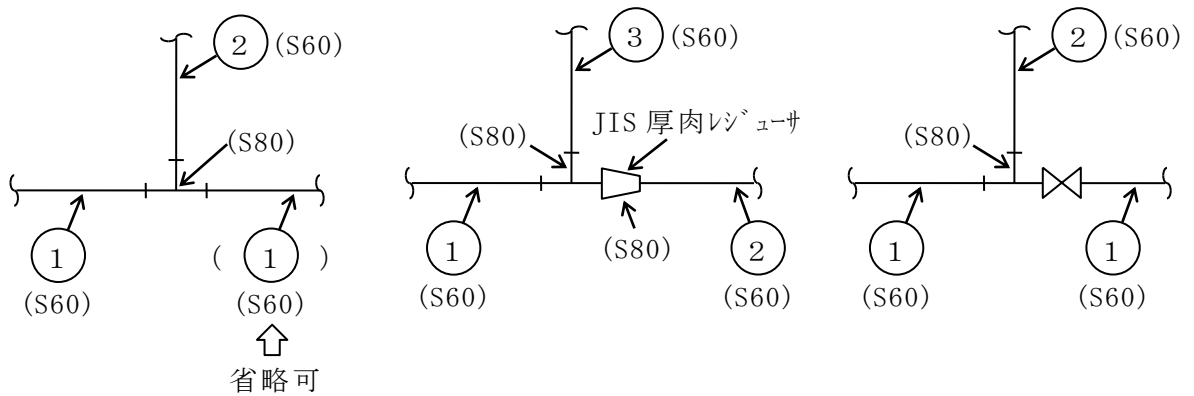
(J I S 厚肉ティー)

(ア) クラス 1 及びクラス 2 管 (重大事故等クラス 2 管含む。) …

……………同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



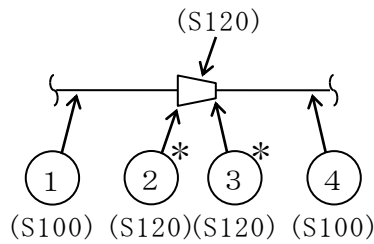
(イ) 上記以外……………同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



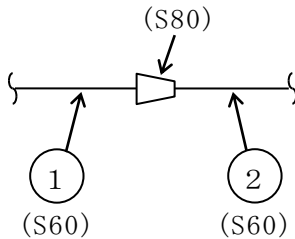
(J I S 厚肉レギュレーサ)

(ア) クラス 1 及びクラス 2 管 (重大事故等クラス 2 管含む。) …

……………同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



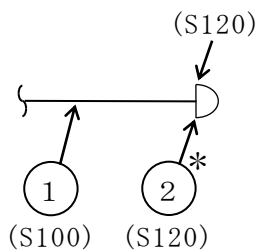
(イ) 上記以外……………同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



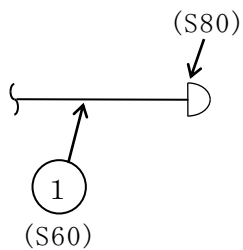
管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その 3)

(JIS厚肉キャップ)

(ア) クラス1及びクラス2管(重大事故等クラス2管含む。) …
……………同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



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



管番号及び管継手マーク記載原則の実例(その4)

5.3 管番号表示の際に注意すべき事項

(1) 管

曲げ管は直管と同等に考えるものとし、表示は行わないものとする。

(2) 管継手（ティー，エルボ，レジューサ，フルカップリング及びキャップ）

- a. 設計・建設規格規定の J I S 規格の継手であって、接続配管と同等以上の強度を有する場合は、板厚計算は不要である。したがって、管番号はとらないで管の基本板厚計算書中に以下の事項を明示する。ただし、接続配管と材料又は厚さが異なる管継手については、J I S 規格の管継手であっても直管相当として板厚計算を記載する。

規格外継手（設計・建設規格規定の J I S 規格以外の継手）には、管番号又は継手番号を付番するものとする。

注 1：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格の管継手については、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

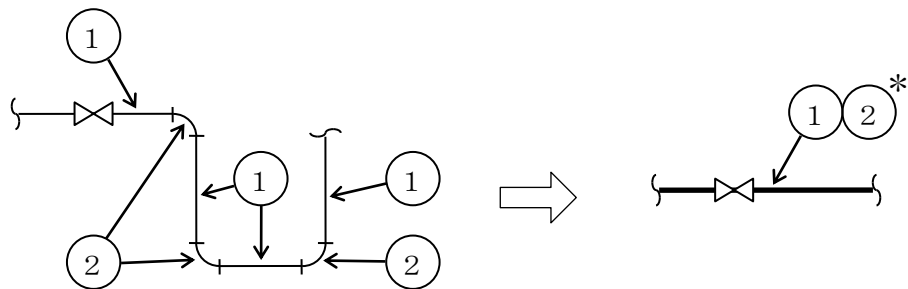
注 2：接続配管のスケジュール番号と同等以上、かつ、接続配管の材料と同等以上の強度を有する J I S 規格の差込み溶接式管継手については、クラス 1 及びクラス 2 管（重大事故等クラス 2 管含む。）を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

- b. a 項に係わらず下記に示す場合は管板厚計算を行うので管番号を付番する。

- (a) レジューサの多段直列接続の中間口径
 (b) 異径ティーで分岐部がレジューサ等に接続する場合、機器直結のレジューサのように溶接部における口径が表れない場合又は機器，エルボ，レジューサ直結で直管がない場合
 (c) 接続配管と同等以上の強度を有さない場合
 c. 分岐部分が強度計算対象外の配管に接続している場合は付番しない。

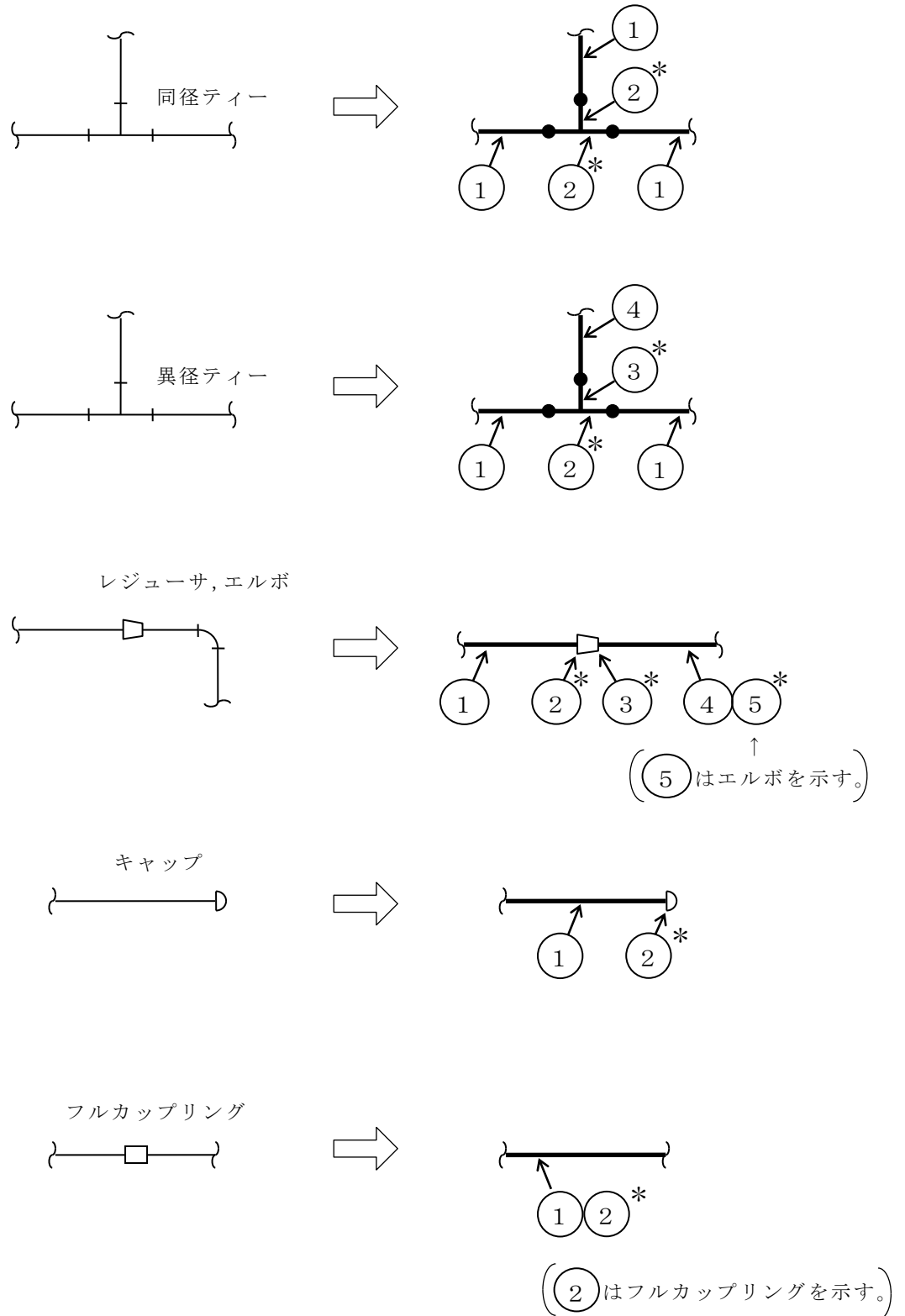
(3) 番号表示例

- a. エルボの強度計算を行う場合



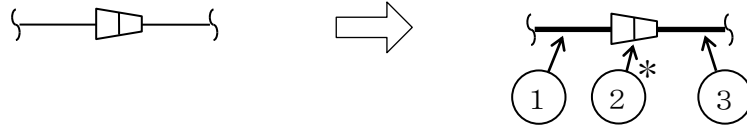
b. 設計・建設規格規定の J I S 規格品管継手を使用する場合

- (a) 管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は、すべて管番号を付番し、直管相当の計算を記載する。(クラス1及びクラス2管(重大事故等クラス2管含む。))の場合)

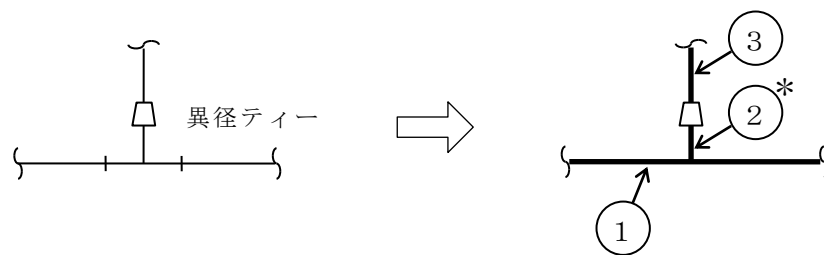


(b) レジューサの2段直列接続

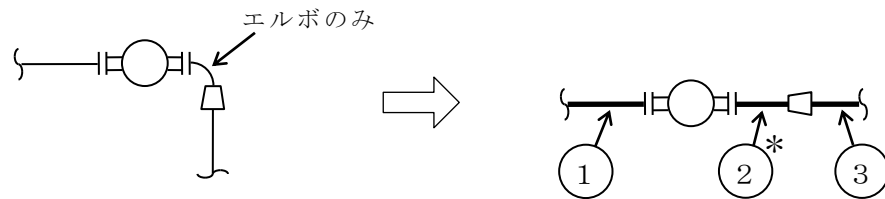
注：接続配管と同材，同肉厚の場合を示す。



(c) ティーとレジューサの直付等のように溶接部における口径が表示できない場合

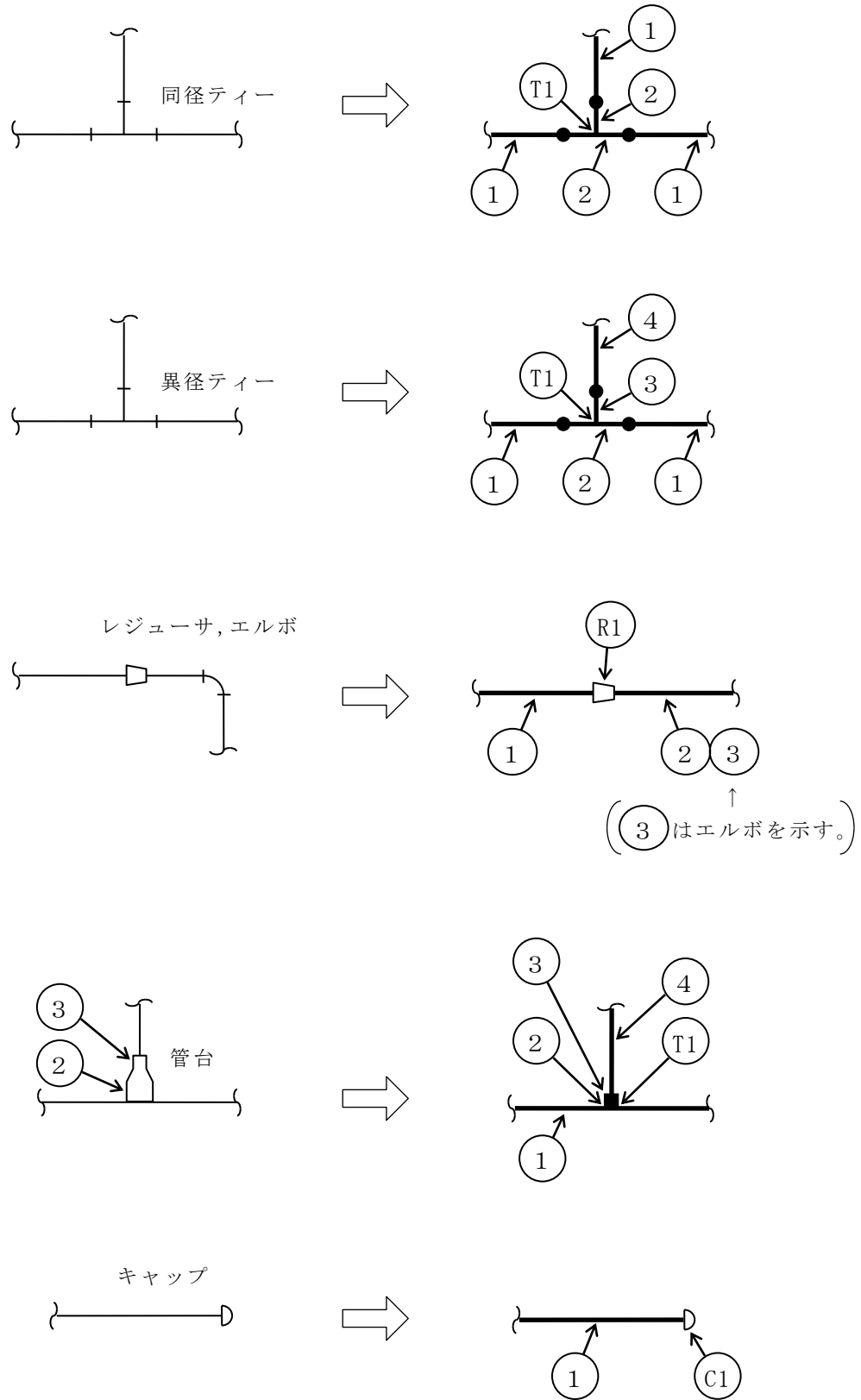


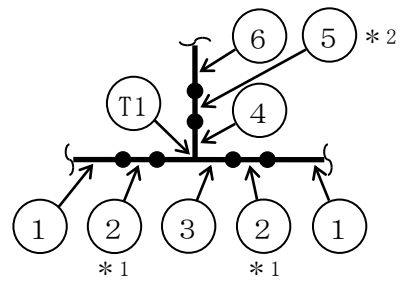
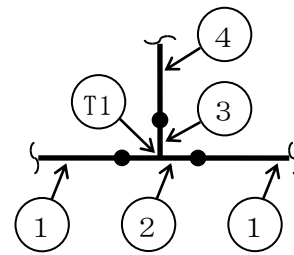
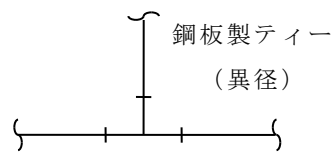
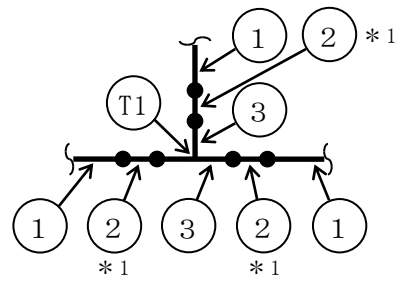
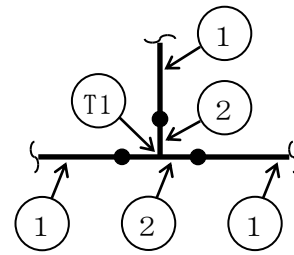
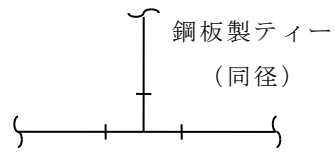
(d) エルボとレジューサが直付でエルボに接続配管がない場合



c. 設計・建設規格規定の J I S 規格品以外の管継手を使用する場合

(a) 管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合

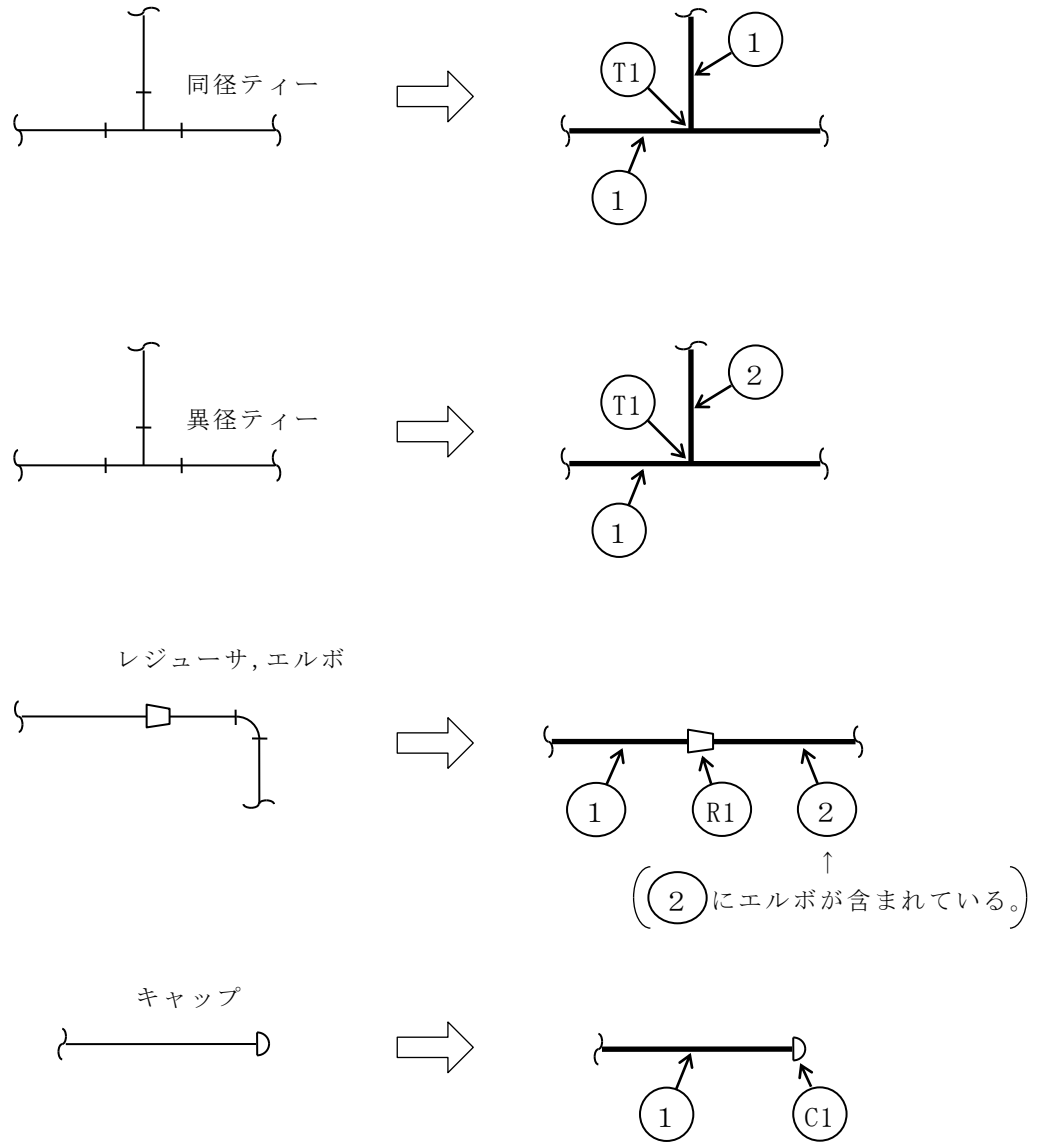




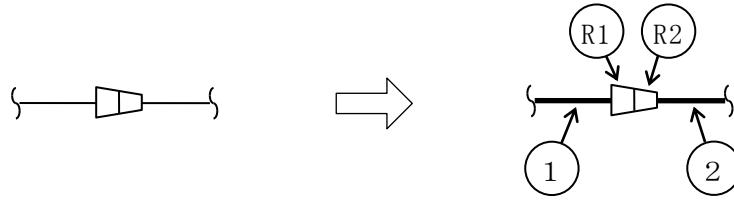
注記*1：仕様が①と異なる場合を示す。

*2：仕様が⑥と異なる場合を示す。

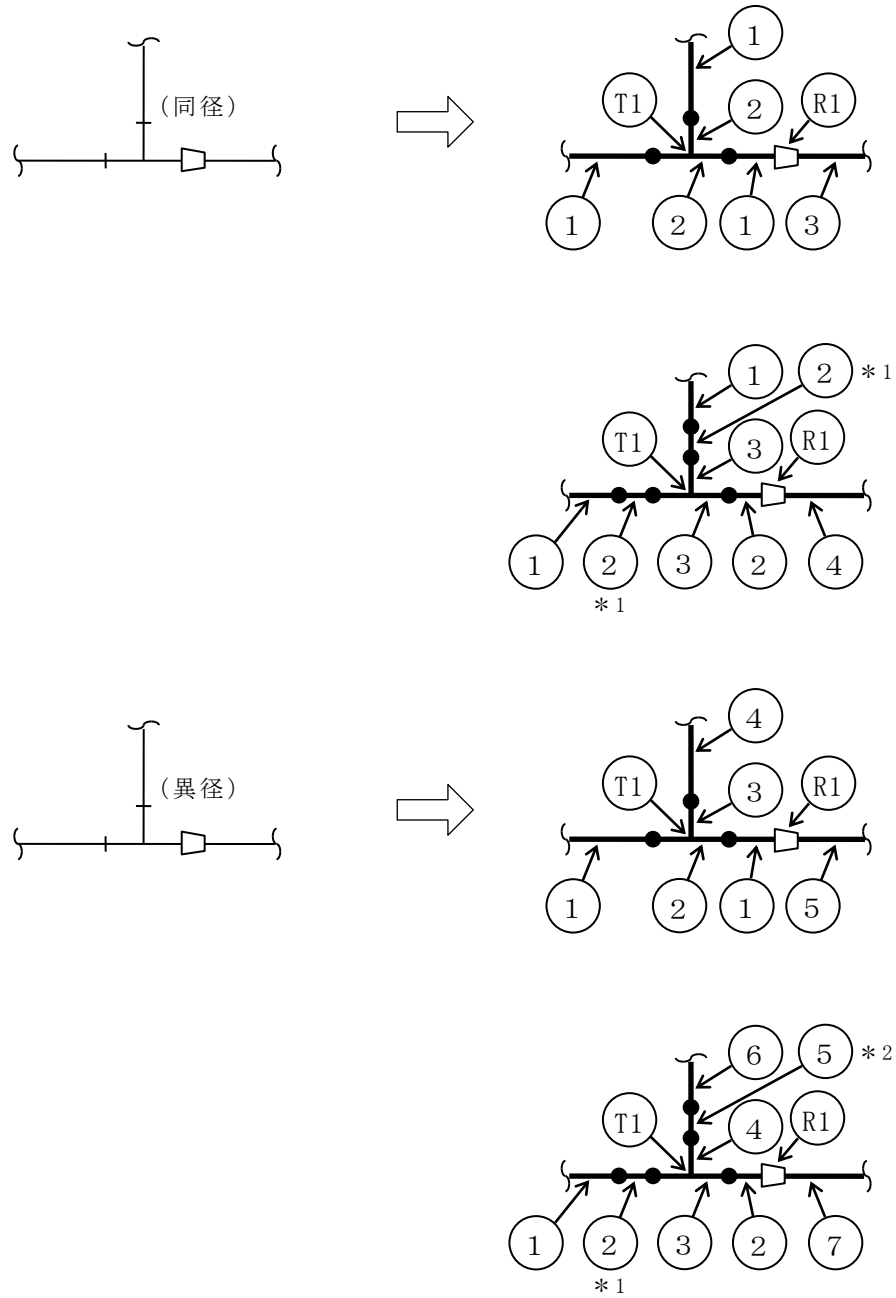
(b) 管継手の材料及び肉厚が接続配管と同じ場合



(c) レジューサが2段直列接続となる場合



(d) 鋼板製ティーとレジューサが直付の場合



注記*1：仕様が①と異なる場合を示す。

*2：仕様が⑥と異なる場合を示す。

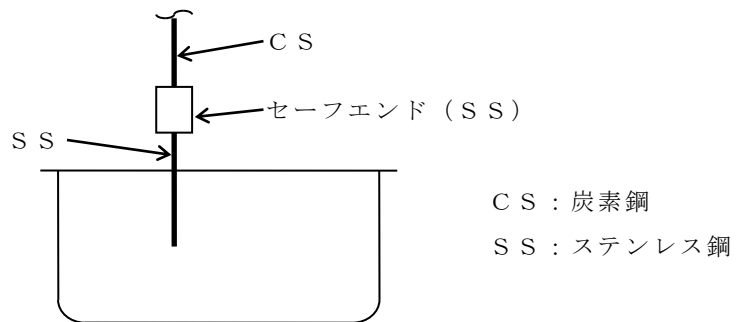
(4) フランジ

J I S B 2 2 3 8 又は 2 2 3 9 の規格に適合し、設計・建設規格 付録材料図表 Part1 に規定される材料を使用する場合、若しくは設計・建設規格 別表 2 に規定されるフランジを使用する場合以外は、継手番号を付番する。

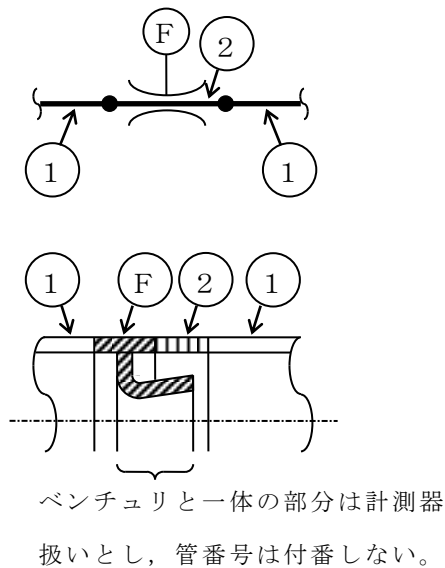
ただし、J I S 等の規格フランジに圧力検出用の穴をあけた場合、規格フランジとして扱う。

(5) その他

- a. 弁メーカーの工場で作られる弁の附属品としてのセーフエンドには、管番号を付番しないものとする。また、バタリング（異材肉盛溶接）についても管番号は付番しないものとする。
- b. 下記に示すセーフエンドは管として扱うものとする。



- c. ベンチュリ形流量制限器，ベンチュリ式流量計及びフローノズル式流量計について計算する場合は，下記のごとく管番号を付番する。



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。

VI-3-○-○-○ 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-○「クラス○機器の強度計算の基本方針」及びVI-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VI-3-2-○「クラス○管の強度計算方法」及びVI-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、VI-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																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																

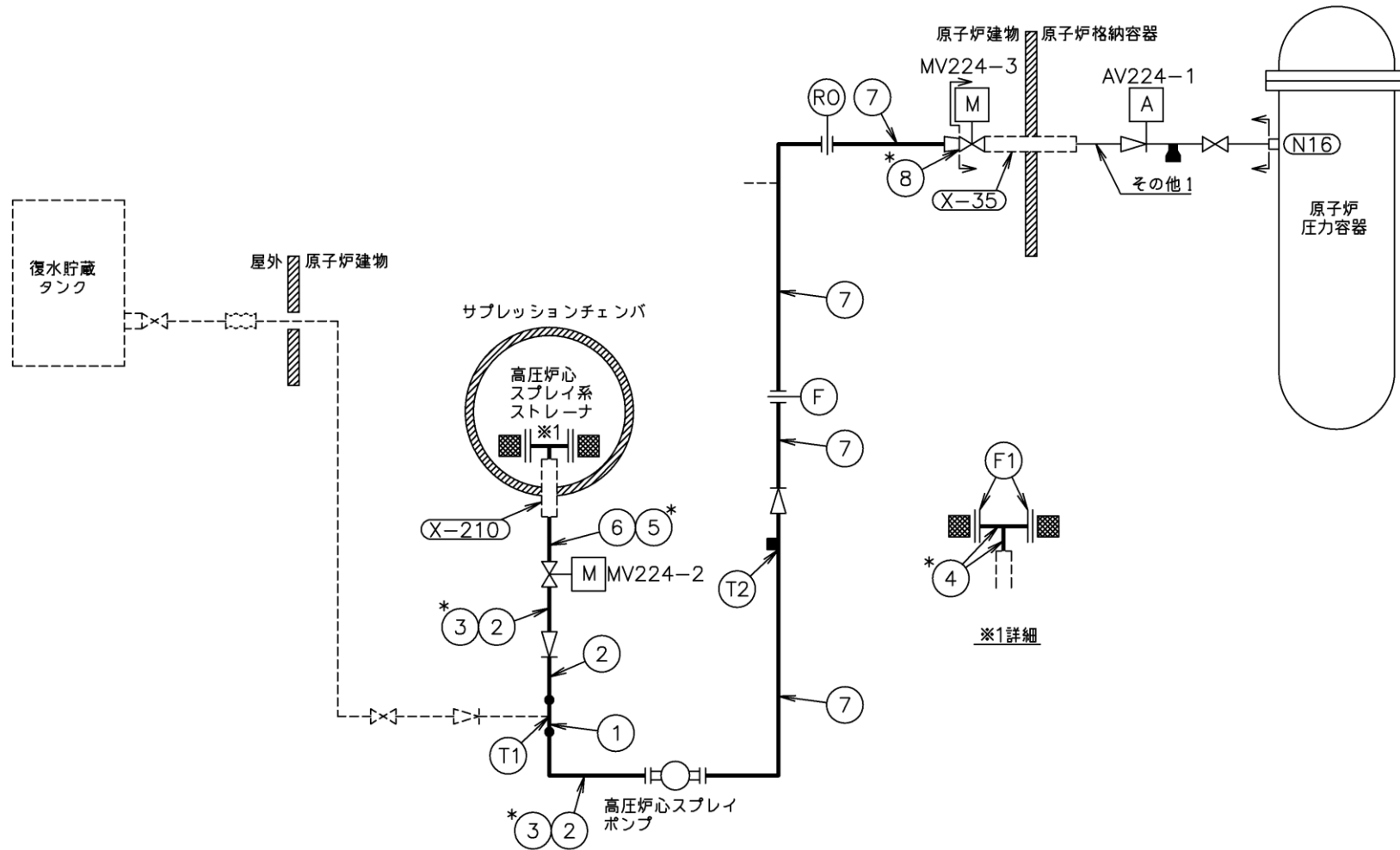
・適用規格の選定

NO.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1				
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. 管の穴と補強計算書
4. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

1. 概略系統図



本範囲の強度計算は、昭和60年4月27日付け 59資庁第17250号にて認可された工事計画の添付書類 IV-2-1-6-1-1「管の基本板厚計算書」による。

注記*：管継手
高圧炉心スプレィ系概略系統図

2. 管の強度計算書 (クラス〇管)

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 (°C)	外 径 D _o (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t _s (mm)	t (mm)	算 式	t _r (mm)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														

評価: $t_s \geq t_r$, よって十分である。

3. 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.		A_r (mm^2)	
形 式		A_0 (mm^2)	
最高使用圧力 P (MPa)		A_1 (mm^2)	
最高使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)		Λ_2 (mm^2)	
主管と管台の角度 α ($^{\circ}$)		A_3 (mm^2)	
		A_4 (mm^2)	
主管材料		評価： $A_0 > A_r$ よって十分である。	
S_r (MPa)			
D_{or} (mm)			
D_{ir} (mm)			
t_{ro} (mm)		d_{frD} (mm)	
Q_r		$L\Lambda D$ (mm)	
t_r (mm)		LND (mm)	
t_{rr} (mm)		$A_r D$ (mm^2)	
η		$A_0 D$ (mm^2)	
		$A_1 D$ (mm^2)	
管台材料		$A_2 D$ (mm^2)	
S_b (MPa)		$A_3 D$ (mm^2)	
D_{ob} (mm)		$\Lambda_4 D$ (mm^2)	
D_{ib} (mm)		評価： $A_0 D \geq A_r D$ よって十分である。	
t_{bn} (mm)			
Q_b			
t_b (mm)		W (N)	
t_{br} (mm)		F 1	
		F 2	
強め材材料		F 3	
S_e (MPa)		SW 1 (MPa)	
D_{oc} (mm)		SW 2 (MPa)	
t_e (mm)		SW 3 (MPa)	
		W _{e1} (N)	
穴の径 d (mm)		W _{e2} (N)	
K		W _{c3} (N)	
d_{fr} (mm)		W _{e4} (N)	
L Λ (mm)		W _{e5} (N)	
LN (mm)		W _{c b p 1} (N)	
L 1 (mm)		W _{e b p 2} (N)	
L 2 (mm)		W _{e b p 3} (N)	
		評価： $W \leq 0$ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

管の穴と補強計算書 (クラス 2 管)

補強を要しない穴の最大径

設計・建設規格 PPC-3422 準用

NO.		
形 式		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
主管と管台の角度	α	(°)
主 管	材 料	
	許容引張応力	S_r (MPa)
	外 径	D_{or} (mm)
	内 径	D_{ir} (mm)
	公称厚さ	t_{ro} (mm)
	厚さの負の許容差	Q_r
	最小厚さ	t_r (mm)
継手効率	η	
管 台	材 料	
	外 径	D_{ob} (mm)
	内 径	D_{ib} (mm)
	公称厚さ	t_{bn} (mm)
穴の径	d	(mm)
	$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)
	61, d_{r1} の小さい値	(mm)
	K	
	200, d_{r2} の小さい値	(mm)
補強不要な穴の最大径	d_{fr}	(mm)
<p>評価 : $d \leq d_{fr}$</p> <p>よって管の穴の補強計算は必要ない。</p>		

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

4. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

管NO. ○ (使用材料規格：J I S G ○○○○ △△△△) の評価結果

(比較材料：J I S G ○○○○ △△△△)

管NO. ○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	<p>Si, P, Sの成分規定に差異があるが、以下により、本設備の環境下での使用は問題ないとする。</p> <p>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的強度は同等以上であること。</p> <p>P：じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>S：じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p>									

(3) 評価結果

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

(材料記号を記載)

VI-3-○-○-○ 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、VI-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VI-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、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

既工認図書呼び出す例 (3/4)

・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	D B クラス	S A クラス	条件 アップ の有無	D B 条件		S A 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
その他1																
その他2																
その他3																
その他4																
その他5																
その他6																
その他7																
その他8																

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昭和〇〇年〇月〇〇日付け〇〇資庁第〇〇〇〇〇号にて認可された工事計画の添付書類IV-〇-〇-〇「管の基本板厚計算書」による。

(2) 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 適用規格及び基準	1
2. クラス1管の応力計算方法	1
2.1 計算方針	1
2.2 計算方法	1
3. 計算書の構成	17
3.1 管の応力計算書	17

1. 一般事項

1.1 概要

本書は、発電用原子力設備のうちクラス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 適用規格及び基準

適用規格及び基準を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (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. クラス1管の応力計算方法

2.1 計算方針

設計基準対象施設はそれぞれの施設の評価条件での設計・建設規格による評価を実施する。

技術基準規則解釈において、技術基準規則第17条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、設計・建設規格によることから、クラス1管は、設計・建設規格PPB-3500の規定に基づく評価を実施する。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条から第48条までの規定に基づく評価を実施する。

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、「H I S A P」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、VI-5「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し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - b. スナップ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮し、完全固定として扱う。
 - d. ガイド：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向固定として扱う。
 - e. ハンガ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
- (7) 配管系の質量は、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）
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力
 - e. 配管肉厚方向の温度勾配及び管軸に沿った構造上不連続部に生じる熱応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 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）
C_1, C_2, C_{2b} C_{2r}, C_3, C_3'	—	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＋二次応力の計算に使用するもの）
C_4	—	フェライト系材料に対し 1.1, オーステナイト系材料に対し 1.3
D_0	mm	管の外径
E	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 及び告示第 501 号別表第 11 に規定する縦弾性係数
E_{ab}	MPa	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 及び告示第 501 号別表第 11 に規定する縦弾性係数の平均値
$K_1, K_2, K_{2b},$ K_{2r}, K_3	—	設計・建設規格 PPB-3810 及び告示第 501 号第 48 条に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）
M_{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_{bs}	N・mm	（ S_n, S_p ）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱膨張，支持点の変位及び機械的荷重（自重を除く）により生じるモーメント （ S_n' ）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の支持点の変位（熱によるものを除く）及び機械的荷重（自重を除く）により生じるモーメント （ S_e ）：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント
M_{ip}	N・mm	管の機械的荷重により生じるモーメント

記号	単位	定義
$M_{i s}$	N・mm	<p>(S_n, S_p) : 管の熱膨張, 支持点の変位及び機械的荷重 (自重を除く) により生じるモーメント</p> <p>(S_n') : 管の支持点の変位 (熱によるものを除く) 及び機械的荷重 (自重を除く) により生じるモーメント</p> <p>(S_e) : 管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント</p>
$M_{r p}$	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
$M_{r s}$	N・mm	<p>(S_n, S_p) : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱膨張, 支持点の変位及び機械的荷重 (自重を除く) により生じるモーメント</p> <p>(S_n') : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の支持点の変位 (熱によるものを除く) 及び機械的荷重 (自重を除く) により生じるモーメント</p> <p>(S_e) : 管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント</p>
n_i	—	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数
N_i	—	繰返し荷重 i の許容繰返し回数
P	MPa	最高使用圧力
P_0	MPa	供用状態 A 及び B (運転状態 I 及び II) において生じる圧力
P_0'	MPa	供用状態における最大圧力

記号	単位	定義
S_c	MPa	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 及び告示第 5 0 1 号別表第 6 に規定する材料の許容引張応力
S_e	MPa	熱膨張応力
S_ℓ	MPa	繰返しピーク応力強さ
S_m	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 及び告示第 5 0 1 号別表第 2 に規定する材料の設計応力強さ
S_n	MPa	一次＋二次応力
S_n'	MPa	一次＋二次応力（熱によるものを除く）
S_p	MPa	ピーク応力
$S_{p r m}$	MPa	一次応力
S_y	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 及び告示第 5 0 1 号別表第 9 に規定する材料の設計降伏点
t	mm	管の厚さ
T_a, T_b	℃	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 l_a, l_b 内の平均温度 $l_a = \sqrt{(d_a \cdot t_a)}, l_b = \sqrt{(d_b \cdot t_b)}$ d_a 及び d_b : 構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径 (mm) t_a 及び t_b : l_a 及び l_b の範囲内における管の平均厚さ (mm)
ΔT	℃	温度差の変動範囲
ΔT_1	℃	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面温度差
ΔT_2	℃	管の内面又は外面において生じる温度とそれに対応する線形化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度（負の場合は 0 とする）
Z_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

記号	単位	定義
α	mm/mm $^{\circ}$ C	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 及び告示第 5 0 1 号第 12 に規定する熱膨張係数
α_a, α_b	mm/mm $^{\circ}$ C	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 及び告示第 5 0 1 号別表第 12 に規定する熱膨張係数
ε_e	—	<p>S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値</p> $\varepsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ <p>$\bar{\sigma}^*$: 弾性解析によるミーゼス相当応力</p>
ε_{ep}	—	<p>S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力-ひずみ関係として，降伏応力を S_m の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値</p> $\varepsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\varepsilon}^p$ <p>$\bar{\sigma}$: 弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\varepsilon}^p$: 弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ</p>

2.2.2.2 応力計算

(1) 設計・建設規格 PPB-3500 の規定に基づく評価

a. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3520)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ァ ー

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

(b) (a)以外の管

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

b. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3552)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ァ ー

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

(b) (a)以外の管

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

c. 一次応力 (設計・建設規格 PPB-3562)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ァ ー

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

(b) (a)以外の管

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

d. 一次+二次応力 (設計・建設規格 PPB-3531)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ァ ー

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

(b) (a)以外の管

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

e. ピーク応力 (設計・建設規格 PPB-3532)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ァ ー

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

(b) (a)以外の管

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

f. 繰返しピーク応力強さ (設計・建設規格 PPB-3533)

$$S_\ell = S_p / 2$$

g. 許容繰返し回数 (設計・建設規格 PPB-3534)

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

h. 疲労累積係数 (設計・建設規格 PPB-3535)

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

i. 簡易弾塑性解析 (設計・建設規格 PPB-3536)

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

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

イ. 低合金鋼, マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 370℃

ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 430℃

(c) 一次+二次応力(熱によるものを除く。)

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ. イ. 以外の管

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

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

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

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2$$

K_e : 次の計算式により計算した値

イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

ロ. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合

(イ) $K < B_0$ の場合

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

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

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

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

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

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

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

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

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

ここで,

$$K = S_p / S_n,$$

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

q, A_0, B_0 : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれ同表に掲げる値

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

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合, 2.2.2.2(1) i. (e) ロ. に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いても良い。

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

(f) 熱膨張応力

イ. 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

ロ. (イ) 以外の管

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

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

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

y : x の値に応じ下表に示す値

x	0.3	0.5	0.7	0.8
y	3.33	2.00	1.20	0.80

(備考) 表中の値の中間の値は、比例法によって計算する。

x : 次式により計算した値

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

(2) 告示第501号第46条から第48条までの規定に基づく評価

a. 一次応力 (第46条第1号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

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

(b) (a)以外の管

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

b. 一次応力 (第46条第2号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

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

(b) (a)以外の管

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

c. 一次応力 (第46条第3号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

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

(b) (a)以外の管

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

d. 一次+二次応力 (第46条第4号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_1 | / 1.4 + C_3 \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b | \leq 3 \cdot S_m$$

e. ピーク応力 (第46条第5号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィー

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

(b) (a)以外の管

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

f. 繰返しピーク応力強さ (第 46 条第 5 号)

$$S_\ell = S_p / 2$$

g. 許容繰返し回数 (第 46 条第 5 号)

別図第 1 及び別図第 2 を用いて、繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数 N_i を算出する。

h. 疲労累積係数 (第 46 条第 5 号)

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

i. 簡易弾塑性解析 (第 47 条)

(a) 別表第 2 に定める当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さとの比が 0.8 以下であること。

(b) 運転状態 I 及び II において生じる当該部分の温度は、次の値を超えないこと。

イ. 低合金鋼，マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 375℃

ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 425℃

(c) 一次＋二次応力 (熱によるものを除く。)

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ. イ. 以外の管

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

(d) 運転状態 I 及び II における第 46 条第 5 号の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとした値は、別図第 1 又は別図第 2 における 10 回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えないこと。

(e) 運転状態 I 及び II における次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとし、別図第 1 又は別図第 2 において、これに対応する許容繰返し回数が実際の繰返し回数以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が 2 種類以上ある場合は、疲労累積係数が 1 以下でなければならない。

イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$S_\ell = S_p / 2$$

ロ. $3 \cdot S_m \leq S_n \leq 3 \cdot m \cdot S_m$ の場合

$$S_\ell = \max[K_e \cdot S_p / 2, \{S_p + A_o \cdot S_n \cdot (S_p / 3 \cdot S_m - 1)\} / 2]$$

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

m, n, A_o : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれ同表に掲げる値

材料の種類	m	n	A_o
低合金鋼	2.0	0.2	1.0
マルテンサイト系ステンレス鋼	2.0	0.2	1.0
炭素鋼	3.0	0.2	0.66
オーステナイト系ステンレス鋼	1.7	0.3	0.7
高ニッケル合金	1.7	0.3	0.7

ハ. $S_n > 3 \cdot m \cdot S_m$ の場合

$$S_\ell = S_p / (2 \cdot n)$$

(f) 熱膨張応力

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ. イ. 以外の管

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

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表 2-1、表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

機器等の区分	荷重の組合せ	状態
クラス 1 管	P + M + D	設計条件
	P + M + T + O	供用状態 A, B 許容応力状態 I _A , II _A
	P + M + D	供用状態 C 許容応力状態 III _A
	P + M + D	供用状態 D 許容応力状態 IV _A

表 2-1 中の記号

P : 内圧による荷重

M : 機械的荷重 (自重を除く)

D : 管の自重による荷重

T : 管の熱膨張荷重 (支持点の熱膨張変位を含む)

O : 過渡熱による荷重

表 2-2 許容応力（設計・建設規格 PPB-3500）

状態	一次応力	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
供用状態 A, B	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
供用状態 C	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	—	—
供用状態 D	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	—	—

表 2-3 許容応力（告示第 501 号第 46 条から第 48 条）

状態	一次応力	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
許容応力状態 I _A , II _A	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
許容応力状態 III _A	$2.25 \cdot S_m$	—	—
許容応力状態 IV _A	$3 \cdot S_m$	—	—

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
	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
評価結果	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、告示第501号別表に記載された許容応力は、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示す旨を記載する。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を示す旨についても記載する。

(2) 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

(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 DB1-1～応 DB1-5 に示す。

なお，クラス 1 管の供用状態 A 及び B（運転状態 I 及び II）における一次＋二次応力評価及び疲労評価において考慮する運転条件については，既工認から変更がないことから，記載を省略する。

(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 DB1-6-1～応 DB1-6-2 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 DB1-7 に示す。

・FORMAT 応 DB1-1 :

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 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料

・FORMAT 応 DB1-2 :

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 DB1-3 :

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)

・FORMAT 応 DB1-4 :

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 DB1-5 :

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 (°C)	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 DB1-6-1 :

評価結果

下表に示すごとく最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 1 管

設計・建設規格 PPB-3500 の規定に基づく評価

鳥瞰図番号

供用 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)				熱応力評価 (°C)		疲労評価 疲労累積 係数 U
				一次応力 $S_{pr m}$	許容応力 $1.5 \cdot S_m$ $\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	一次+二次 応力 S_n	熱膨張 応力 S_e	熱を除いた 一次+二次 応力 S_n'	許容 応力 $3 \cdot S_m$	温度差の 変動範囲 ΔT	許容 温度差	
(A, B)			$S_{pr m}(1)$	Max	$1.5 \cdot S_m$	—	—	—	—	—	—	—
(A, B)			S_n	—	—	Max	—	—	$3 \cdot S_m$	ΔT	*	—
(A, B)			S_e	—	—	—	Max	—	$3 \cdot S_m$	ΔT	*	—
(A, B)			S_n'	—	—	—	—	Max	$3 \cdot S_m$	ΔT	*	—
(A, B)			U	—	—	—	—	—	—	—	—	Max
C			$S_{pr m}(2)$	Max	$\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$	—	—	—	—	—	—	—
D			$S_{pr m}(3)$	Max	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	—	—	—	—	—	—	—

注記* : 本書 2.2.2.2(1) i. (g) に基づき計算した値 $((1.4 \cdot y \cdot S_y / E \cdot \alpha) \cdot C_4)$ を記載する。

・FORMAT 応 DB1-6-2 :

評価結果

下表に示すごとく最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 1 管

告示第 5 0 1 号第 46 条から第 48 条までの規定に基づく評価

鳥瞰図番号

許容応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)			疲労評価	
				一次応力 S_{perm}	許容応力 $1.5 \cdot S_m$ $2.25 \cdot S_m$ $3 \cdot S_m$	一次+二次 応力 S_n	熱膨張 応力 S_e	熱を除いた 一次+二次 応力 S_n'	許容 応力 $3 \cdot S_m$	疲労累積 係数 U
I _A , II _A			$S_{perm}(イ)$	Max	$1.5 \cdot S_m$	—	—	—	—	—
I _A , II _A			S_n	—	—	Max	—	—	$3 \cdot S_m$	—
I _A , II _A			S_e	—	—	—	Max	—	$3 \cdot S_m$	—
I _A , II _A			S_n'	—	—	—	—	Max	$3 \cdot S_m$	—
I _A , II _A			U	—	—	—	—	—	—	Max
III _A			$S_{perm}(ロ)$	Max	$2.25 \cdot S_m$	—	—	—	—	—
IV _A			$S_{perm}(ハ)$	Max	$3 \cdot S_m$	—	—	—	—	—

・FORMAT 応 DB1-7 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス1管）

No.	配管 モデル	適用 規格	設計条件					供用状態A, B, 許容応力状態 I _A , II _A								
			一次応力					一次+二次応力(S _n)					疲労評価			
			評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表	
1		設計・建設規格														
		告示第501号														
2		設計・建設規格														
		告示第501号														

No.	配管 モデル	適用 規格	供用状態C, 許容応力状態III _A					供用状態D, 許容応力状態IV _A						
			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		設計・建設規格												
		告示第501号												
2		設計・建設規格												
		告示第501号												

VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	3
1.4 計算精度と数値の丸め方	4
1.5 材料の表示方法	5
2. クラス1弁の強度計算方法	6
2.1 弁箱に係るものの応力評価	6
2.2 弁体の一次応力	16
2.3 フランジの強度計算	22
2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算	30
2.5 弁箱の形状規定	32
2.6 管台の最小厚さの計算	33
3. 添付図	34

別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

本書は、VI-3-1-2「クラス1機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス1弁が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

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。

日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

表 1-1 告示第 5 0 1 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 5 0 1 号 条項 設計・建設規格 規格番号	本資料の計算式 (章節番号)	備考
第 81 条 材料の許容応力 VVB-3300 弁の応力評価 VVB-3320* ¹ VVB-3330* ¹ VVB-3340* ¹ VVB-3350* ¹ , * ² 第 1 項第 1 号ホ(イ)* ¹ VVB-3360* ¹ 第 1 項第 1 号ホ(ロ)* ¹ VVB-3370* ¹ VVB-3380* ¹ VVB-3390 VVB-3390(1) a * ¹ VVB-3390(1) b * ¹	2. 1 2. 1. 1 2. 1. 2 2. 1. 3 2. 1. 4 2. 1. 5 2. 1. 6 2. 2 2. 3 2. 3 2. 3	弁箱に係るものの応力評価 一次応力 配管反力による応力 一次+二次応力 一次局部応力 起動時及び停止時の繰返しピーク応力 強さ 繰返しピーク応力強さ 弁体の一次応力 フランジの強度計算 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
第 82 条 弁の形状等 VVB-3200 耐圧部の設計 第 1 項 VVB-3210 VVB-3220	 2. 4 2. 6	弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 管台の最小厚さの計算
VVB-3400 弁の形状 VVB-3410* ¹ VVB-3411(1)* ¹ VVB-3411(2)* ¹	2. 5 2. 5 2. 5 2. 5	弁箱の形状規定 弁箱のネック部内径と弁入口流路内径 の比 弁箱のネック部と流路部が交わる部分 の外表面の丸みの半径 弁箱の弁座挿入部のすみの丸みの半径

注記*1：告示第 5 0 1 号第 81 条第 1 項第 1 号ホ(イ)，(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3320，3330，3340，3350，3360，3370，3380，3390(1)a，3390(1)b，3410，3411(1)，3411(2)による計算は，接続管の外径が 115mm を超える弁について適用する。

*2：設計・建設規格 VVB-3350 に対する確認については，弁の最高使用圧力を決定する時点でその 1.1 倍を超えないよう安全弁等を設置するため，供用状態 C においても最高使用圧力の 1.2 倍を超えることはない。

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		本資料の計算式 (章節番号)	備考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 附属書 3 (規定)		2.3	フランジの強度計算*
	「圧力容器のボルト締めフランジ」			3 4

注記* : 設計・建設規格 VVB-3390 により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」という。) の附属書 3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、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。

J I S の改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合，設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し，最新の J I S による材料記号を表示する。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

(例 1) SM400A 相当（SMA400AP）

(例 2) SCS14A 相当（ASME SA351 Gr.CF8M）

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

(例) SNB7（径 \leq 63 mm）

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は，フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

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

2. クラス1弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス1弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に示す。

2.1 弁箱に係るものの応力評価

クラス1弁の強度計算において、告示第501号第81条第1項第1号ホ（イ）、（ロ）又は設計・建設規格 VVB-3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370 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
A ₀	A ₀	告示第501号第81条第1項第1号ホの表又は設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	—
m, n	m, n	告示第501号第81条第1項第1号ホの表より求めた値	—
A ₁	A ₁	接続管の断面積の2分の1	mm ²
A ₂	A ₂	図3-2に示すA～A断面における金属部の断面積	mm ²
A _f	A _f	図3-1に示す流体部面積	mm ²
(A _{f1} , A _{f2})	(A _{f1} , A _{f2})		
A _m	A _m	図3-1に示す金属部面積	mm ²
(A _{m1} , A _{m2})	(A _{m1} , A _{m2})		
B ₀	B ₀	設計・建設規格 PVB-3315 の表 PVB-3315-1 より求めた値	—
C ₂	C ₂	応力係数で設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-1 より求めた値	—
C ₃	C ₃	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホ 図1又は設計・建設規格 VVB-3360 の表 VVB-3360-1 より求めた値	—
C ₄	C ₄	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ハ 図3又は設計・建設規格 VVB-3340 の表 VVB-3340-2 より求めた値	—
C ₅	C ₅	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホの図又は設計・建設規格 VVB-3370 の表 VVB-3370-1 より求めた値	—
C _b	C _b	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ロ 図2又は設計・建設規格 VVB-3330 式(VVB-9) より求めた値	—
d	d	図3-1に示す寸法	mm

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
E	E	260°Cの温度における告示第501号別表第11又は設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	E_m	最高使用温度における告示第501号別表第11又は設計・建設規格 付録材料 Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数	MPa
	I_t	疲労累積係数	—
K	K	ネック部の角度による係数	—
K_e	K_e	設計・建設規格 PVB-3315(2)(3)より求まる係数	—
L_A	L_A	図3-1に示す A_f 及び A_m の範囲	mm
L_N	L_N	図3-1に示す A_f 及び A_m の範囲	mm
	N (1)	Sℓ(1)に対応する許容繰返し回数	—
	N (2)	Sℓ(2)に対応する許容繰返し回数	—
	N_i	実際の繰返し回数	—
	N_{r_i}	許容繰返し回数	—
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における告示第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
P_b	P_b	配管反力による弁箱の応力（告示第501号第81条第1項第1号ロ又は設計・建設規格 VVB-3330による。）	MPa
P_d	P_d	配管反力による弁箱の応力（告示第501号第81条第1項第1号ロ又は設計・建設規格 VVB-3330による。）	MPa
P_e	P_e	P_d 、 P_b 及び P_t の中の最大応力	MPa
P_{r1}	P_{r1}	260°Cの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

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_{r2}	P_{r2}	260°Cの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
P_s	P_s	260°Cにおける許容圧力	MPa
P_t	P_t	配管反力による弁箱の応力（告示第501号第81条第1項第1号ロ又は設計・建設規格 VVB-3330による。）	MPa
ΔP_{fm}	ΔP_{fm}	供用状態A及び供用状態B（供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁については、供用状態A、供用状態B及び供用状態C）において生じる圧力の段階的な変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	MPa
Q_T	Q_T	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力で告示第501号第81条第1項第1号ホ図2又は設計・建設規格 VVB-3360の表VVB-3360-2より求めた値	MPa
q	q	設計・建設規格 PVB-3315の表PVB-3315-1より求めた値	—
r	r	図3-2に示すA～A断面における平均半径 ($= r_i + t_e / 2$)	mm
r_1	r_1	図3-1に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_i	r_i	図3-2に示すA～A断面における内半径	mm
S	S	弁箱の一次応力又は一次局部応力	MPa
S_l	S_l	繰返しピーク応力強さ（告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(1)(2)又は設計・建設規格 VVB-3370による。）	MPa
S_l	$S_l (1)$	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（告示第501号第81条第1項第1号ホ(イ)又は設計・建設規格 VVB-3360式(VVB-14.1)による。）	MPa
S_l	$S_l (2)$	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ（告示第501号第81条第1項第1号ホ(イ)又は設計・建設規格 VVB-3360式(VVB-14.2)による。）	MPa

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
S_m	S_m	弁箱材料の260℃の温度における告示第501号別表第2又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	S_n	告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(1)(一)又は設計・建設規格 VVB-3370式(VVB-15)の計算式により求めた応力	MPa
S_n	S_n (1)	弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340式(VVB-10.1)による。)	MPa
S_n	S_n (2)	弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340式(VVB-10.2)による。)	MPa
S_p	S_p	告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(1)(二)又は設計・建設規格 VVB-3370式(VVB-17)の計算式により求めた応力	MPa
S_y	S_y	接続管の260℃の温度における告示第501号別表第9又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降伏点	MPa
T_b	T_b	図3-1に示す弁箱の厚さ	mm
t_e	t_e	図3-2に示すA~A断面における金属部の厚さ	mm
T_{e1}	T_{e1}	図3-3及び図3-4に示す寸法	mm
T_{e2}	T_{e2}	図3-3及び図3-4に示す寸法	mm
	T_m	最高使用温度	℃
T_r	T_r	図3-1に示す弁箱の厚さ	mm
Z_1	Z_1	接続管の断面係数	mm ³
Z_2	Z_2	図3-2に示すA~A断面における断面係数	mm ³
Z_p	Z_p	図3-2に示すA~A断面における極断面係数	mm ³
α	α	260℃の温度における告示第501号別表第12又は設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表2に規定する材料の熱膨張係数	mm/mm℃
ϵ_e	ϵ_e	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、弾性解析により計算したときのひずみ	—
ϵ_{ep}	ϵ_{ep}	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力-ひずみ関係として、降伏応力を S_m の1.5倍とした弾完全塑性体とした弾塑性解析より計算したときのひずみ	—
ϵ^p	ϵ^p	弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—

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	ネック部の中心線と流路中心線との交角	°
$\bar{\sigma}$		弾塑性解析によるミーゼス相当応力	MPa
$\bar{\sigma}^*$		弾性解析によるミーゼス相当応力	MPa
ΔT	ΔT	告示第501号第81条1項第1号ハ図2又は設計・建設規格 VVB-3340 式(VVB-12)より求めた値	°C
ΔT_f	ΔT_f	流体温度変動の振幅（運転条件図により求める。告示第501号の場合17°C以上又は設計・建設規格の場合、炭素鋼・低合金鋼は17°C以上、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は14°C以上のものに限る。）	°C
ΔT_{fm}	ΔT_{fm}	供用状態A及び供用状態B（供用状態Aにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては、供用状態A、供用状態B及び供用状態C）において生じる流体温度の段階的な温度変化の最大値と最小値との差（運転条件図により求める。起動時及び停止時を除く。）	°C

2.1.1 一次応力

設計・建設規格 VVB-3320 を適用する。

(1) 算式

弁箱の一次応力は次の式による。

$$S = P_s \cdot \left(\frac{A_f^*}{A_m} + 0.5 \right)$$

注記* : $\frac{A_f}{A_m}$ は図 3-1 の(4)の場合, $\frac{A_{f1}}{A_{m1}}$ と $\frac{A_{f2}}{A_{m2}}$ のいずれか大きい値を用いる。

ここで,

$$P_s = P_{r1} + \left(\frac{P - P_1}{P_2 - P_1} \right) \cdot (P_{r2} - P_{r1})$$

A_m 及び A_f を求める時に用いる L_A 及び L_N は次の式で求める。

$L_A = 0.5 \cdot d - T_b$, $L_A = T_r$ のいずれか大きい値を用いる。

$$L_N = 0.5 \cdot r_1 + 0.354 \cdot \sqrt{T_b \cdot (d + T_b)}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$S \leq S_m$$

2.1.2 配管反力による応力

設計・建設規格 VVB-3330 を適用する。

(1) 算式

配管反力による弁箱の応力は次の式による。

$$P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$$

$$P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$$

$$P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$P_d \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_b \leq 1.5 \cdot S_m$$

$$P_t \leq 1.5 \cdot S_m$$

2.1.3 一次＋二次応力

設計・建設規格 VVB-3340 を適用する。

(1) 算式

供用状態A及び供用状態B（供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては、供用状態A、供用状態B及び供用状態C）における弁箱の一次＋二次応力は次の式による。

$$S_n (1) = 3 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i + 0.5}{t_e} \right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot \Delta T$$

$$S_n (2) = 3 \cdot K \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i + 0.5}{t_e} \right) + \alpha \cdot E \cdot C_2 \cdot C_4 \cdot \Delta T_{fm}$$

ここで、

$$K = 0.2 + \frac{0.8}{\sin \theta}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

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

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

2.1.4 一次局部応力

設計・建設規格 VVB-3350 を適用する。

(1) 算式

供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁以外の弁については、弁箱の一次局部応力は次の式による。

$$S = 1.5 \cdot K \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i + 0.5}{t_e} \right) + 1.2 \cdot P_e$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$S \leq 2.25 \cdot S_m$$

2.1.5 起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ

告示第501号第81条第1項第1号ホ(イ)又は設計・建設規格 VVB-3360 を適用する。

(1) 算式

弁箱の起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S_l (1) = 2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i + 0.5}{t_e} \right) + \frac{P_e}{2} + \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T + 1.3 \cdot Q_T$$

$$S_l (2) = 1.2 \cdot P_s \cdot \left(\frac{r_i + 0.5}{t_e} \right) + P_e + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_3 \cdot \Delta T$$

(2) 評価

告示第501号別図第1又は第2, 設計・建設規格 添付4-2 3.1又は3.2において, S_l (1) 及び S_l (2) に対応する許容繰返し回数 N (1) 及び N (2) がそれぞれ2000回以上であること。

2.1.6 繰返しピーク応力強さ

告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3370を適用する。

(1) 算式

供用状態A及び供用状態B (供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては, 供用状態A, 供用状態B及び供用状態C) における弁箱の繰返しピーク応力強さは次の式による。

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

- a. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260°Cにおける告示第501号別表第2又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値 (S_m) の3倍未満の場合 ($S_n < 3 \cdot S_m$)

$$S_l = \frac{S_p}{2}$$

ここで,

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

- b. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260°Cにおける告示第501号別表第2に定める値 (S_m) の3倍以上で, 告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲げる m の値と上記 S_m の値を乗じた値の3倍以下の場合 ($3 \cdot S_m \leq S_n \leq 3 \cdot m \cdot S_m$)

$$S_l = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

$$S_l = \frac{1}{2} \cdot \left\{ S_p + A_o \cdot S_n \cdot \left[\frac{S_p}{3 \cdot S_m} - 1 \right] \right\}$$

上記2式のうちいずれか大きい方

ここで

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

$$K_e = 1 + \frac{1-n}{n \cdot (m-1)} \cdot \left[\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - 1 \right]$$

- c. (2.1.6.1) 式で計算した値が告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲げるmの値と弁箱材料の260°Cにおける告示第501号別表第2に定める値 (S_m) を乗じた値の3倍を超える場合 ($S_n > 3 \cdot m \cdot S_m$)

$$S_l = \frac{S_p}{2 \cdot n}$$

ここで

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5 \right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

- d. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260°Cにおける設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値 (S_m) の3倍以上の場合 ($S_n \geq 3 \cdot S_m$)

$$S_l = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$

- (a) $K < B_0$ (K_e 式(以下, A_0 式と呼ぶ)と K_e' 式が交わる場合)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- e. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260°Cにおける設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値 (S_m) を乗じた値の3倍以上の場合 ($S_n \geq 3 \cdot S_m$) d.項に係らず、次の計算式により計算した値を用いてもよい。

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

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

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

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

K_e は S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して安全側となるようにサイクルを設定してよい。

(2) 評価

告示第501号別図第1又は第2, 設計・建設規格 添付4-2 3.1又は3.2において、 S_ℓ に対応する許容繰返し回数 (N_{ri}) が実際の繰返し回数 (N_i) 以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2種類以上あるときは、疲労累積係数 (I_t) が1以下であること。

すなわち、

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

であること。

2.2 弁体の一次応力

クラス1弁の強度計算において、設計・建設規格 VVB-3380 を適用する。

具体的な計算方法は、VVB-3380 解説による。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位	
	A A' B B'	機械工学便覧新版A4 編表 26 (以下「便覧」という。) より求めた値 (添字の数字は、便覧の荷重状態のNo. を示す。)	—	
	a		円板の外周半径	mm
	a ₁		円板の外周半径 (形式G2 の場合)	mm
	b		円板の内周半径	mm
	h	弁体の厚さ	mm	
	(h ₁ , h ₂)	(h ₁ 及び h ₂ は形式G2 の場合)		
	P	最高使用圧力	MPa	
	P _c	機械的荷重を含む集中荷重	N	
	(P ₁ , P ₂)			
	S _m	弁体材料の最高使用温度における設計・建設規格付録材料図表 Part5 表1 に定める値	MPa	
	ν	ポアソン比 (=0.3)	—	
	π	円周率	—	
	σ _D σ _{D1} σ _{D2} σ _{D3}	弁体に発生する一次応力 (σ _{D1} , σ _{D2} 及び σ _{D3} は形式G2 の場合)	MPa*	
	σ, σ'		便覧より求めた応力 (添字の数字は、便覧の荷重状態のNo. を示す。)	MPa*

注記* : 便覧は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

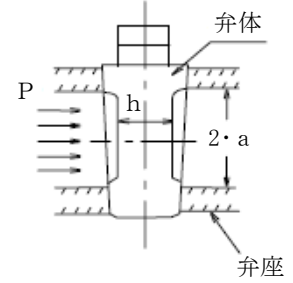
(2) 算式

弁体にかかる最高使用圧力及び機械的荷重により生じる荷重状態をモデル化し、円板の理論式により各弁体に応じて一次応力を計算する。

a. 形式W1

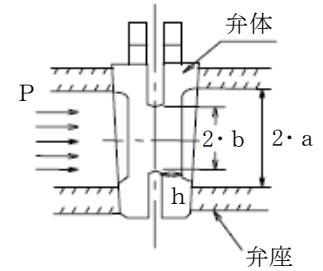
右図のような弁体形状のもの

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



b. 形式W2

右図のような弁体形状のもの



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

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

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

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

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

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

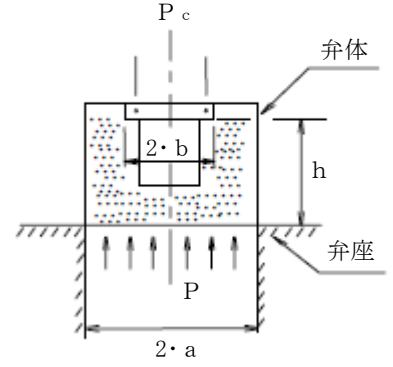
$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2}$$

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

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

c. 形式G1

右図のような弃体形状のもの



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

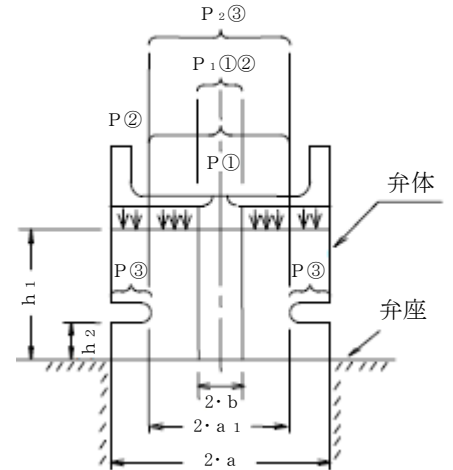
$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot P_c}{8 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 4 - (1 - \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}^{*4}$$

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

d. 形式G2

右図のような弃体形状のもの

σ_D は σ_{D1} , σ_{D2} 及び σ_{D3} の最大のもの



(a) 図の①の荷重状態の場合

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

$$\sigma_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1 + 3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(A_{13} + \ell_n \frac{a}{b} \right) \cdot \frac{b^2}{a^2} + (1 - \nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a^2} + B_{13} \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

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

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

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

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

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

(b) 図の②の荷重状態の場合

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

$$\sigma'_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a_1^2}{8 \cdot h_1^2} \cdot \left\{ (1+3 \cdot \nu) \cdot \frac{b^2}{a_1^2} + 4 \cdot (1+\nu) \cdot (A'_{13} + \ell_n \frac{a_1}{b}) \right. \\ \left. \cdot \frac{b^2}{a_1^2} + (1-\nu) \cdot \left(\frac{2 \cdot b^2}{a_1^2} + B'_{13} \cdot \frac{a_1^2}{b^2} \right) \right\}^{*6}$$

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

$$B'_{13} = \frac{1}{1-\nu} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+\nu) \cdot \frac{b^2}{a_1^2-b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b} - (3+\nu) \right\} \cdot \frac{b^2}{a_1^2}$$

$$\sigma'_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^2} \\ \cdot \left\{ 2 \cdot (1+\nu) \cdot (A'_9 + \ell_n \frac{a_1}{b}) + (1-\nu) \cdot (1-B'_9 \cdot \frac{a_1^2}{b^2}) \right\}^{*7}$$

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

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

(c) 図の③の荷重状態の場合

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

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

$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left[(3+\nu) \cdot \frac{a^2}{a_1^2} + (1-\nu) \cdot \left\{ (4 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 3) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} - 2 \right\} \right]$$

$$B_{15} = \frac{a_1^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left[(3+\nu) - \left\{ (5+\nu) + 4 \cdot (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right\} \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right]$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot P_2}{4 \cdot \pi \cdot h_2^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1+\nu) \cdot (A_{11} + \ell_n \frac{a}{a_1}) - (1-\nu) \cdot (1 - B_{11} \cdot \frac{a^2}{a_1^2}) \right\}^{*9}$$

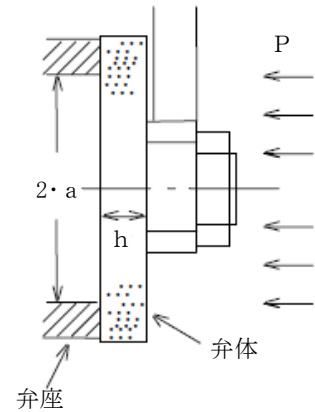
$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot a^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ 1 - (1+2 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1}) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}$$

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

e. 形式C1

右図のような弁体形状のもの

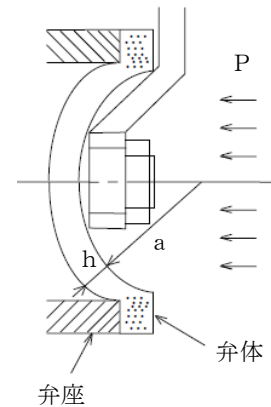
$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3+\nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *10$$



f. 形式C2

右図のような弁体形状のもの

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



(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

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

注記*1：便覧 No. 1 による。

*2：便覧 No. 11 による。

ただし、 $P_c = \pi \cdot b^2 \cdot P$ とする。

*3：便覧 No. 15 による。

*4：便覧 No. 5 による。

ただし、 $P = \frac{P_c}{\pi \cdot b^2}$ とする。

*5：便覧 No. 7 による。

ただし、 $P_c = \pi \cdot a^2 \cdot P$ とする。

*6：便覧 No. 13 による。

ただし、 $h = h_1$ とする。

*7：便覧 No. 9 による。

ただし、 $P_c = P_1$ 及び $h = h_1$ とする。

*8：便覧 No. 15 による。

ただし、 $h = h_2$ とする。

*9：便覧 No. 11 による。

ただし、 $P_c = P_2$ 及び $h = h_2$ とする。

*10：便覧 No. 1 による。

*11：設計・建設規格 PMC-3410(2)b. より応力値を求める式に変換した。

2.3 フランジの強度計算

クラス1弁の強度計算において、設計・建設規格 VVB-3390 を適用する。

(1) 記号の説明

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1 のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (f < 1 のときの一体形フランジの場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	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 $\left[= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{ (一体形フランジの場合)} \right]$	mm ³
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
e	e	係数 $\left[= \frac{F}{h_0} \text{ (一体形フランジの場合)} \right]$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
	F _e	フランジに作用する機械的鉛直荷重 (弁操作力による反力)	N
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 又は表 4 による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm

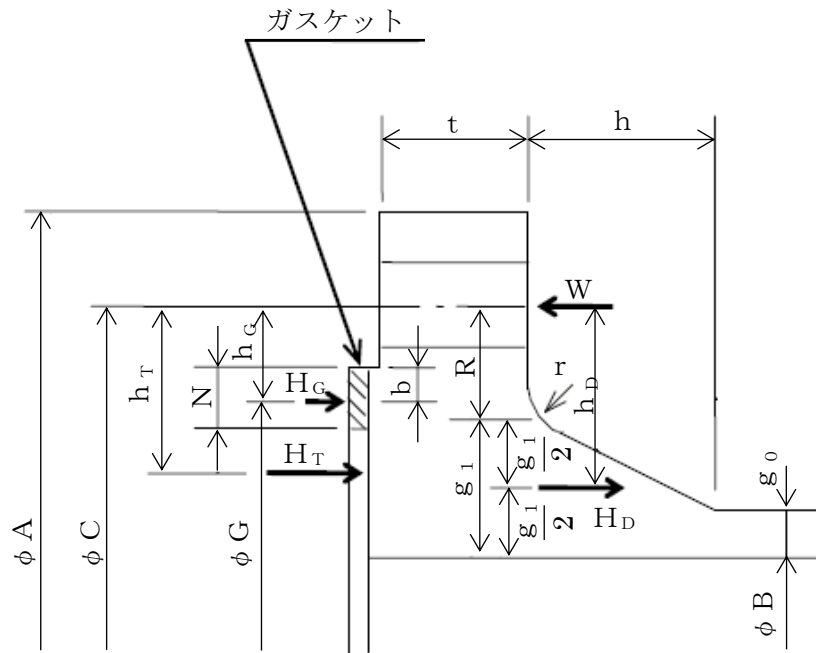
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_0	h_0	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	N
H_T	H_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h_T	h_T	ボルト穴の中心円から H_T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N・mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_0	M_0	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 3 による。)	mm

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	$P_{e q}$	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した等価圧力	MPa
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 8 又は表 4 による。)	—
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
Z	Z	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 2 に定める設計応力強さ	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 2 に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める設計応力強さ	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON- ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—

注記* : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 6 5 附 属 書 3 図 2 b) 7)

注 1 : ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

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

図 2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ここで、

$$b_o = N / 2$$

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

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

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g. 使用状態でフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

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

注記* : クラス 1 弁には, 一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

i. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_0} \quad *1, *2$$

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

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

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

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

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

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

ここで,

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

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

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

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

注記*1: 設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。J I S B 8 2 6 5 の計算式に一次膜応力を加えたものである。

*2: $B < 20 \cdot g_1$ のときは, σ_{Ho} 及び σ_{Hg} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. ハブの軸方向応力

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

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

- c. フランジの半径方向応力

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

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

- d. フランジの周方向応力

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

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

2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

クラス1弁の強度計算において、告示第501号第82条第1項又は設計・建設規格 VVB-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3-5に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図3-5に示すネック部の内径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における告示第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_m	最高使用温度	℃
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	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
	t_{ab}	弁箱の最小厚さ	mm
t_m	t_{af}	弁ふたの最小厚さ	mm
	t_m	ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t_{ma}	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

$$t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

- b. ネック部の計算上必要な厚さ

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

$$t_m = t$$

- (b)
- $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$
- の場合

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

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

- a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

- b. ネック部の最小厚さ

$$t_{ma} \geq t_m$$

2.5 弁箱の形状規定

クラス1弁の強度計算において、設計・建設規格 VVB-3410, 3411 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図3-5に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図3-5に示すネック部の内径	mm
h	h	図3-6に示す弁座挿入部の高さ	mm
r_1	r_1	図3-1に示すネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径	mm
r_2	r_2	図3-6に示す弁座挿入部のすみの丸みの半径	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ（設計・建設規格 VVB-3210 による。）	mm

(2) 評価

弁箱の形状は以下の条件を満足するものとする。

- a. ネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径

$$r_1 \geq 0.3 \cdot t$$

- b. 弁座挿入部のすみの丸みの半径

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

- c. ネック部の内径と弁入口流路内径の比

$$\frac{d_n}{d_m} < 2$$

2.6 管台の最小厚さの計算

クラス1弁の強度計算において、設計・建設規格 VVB-3220 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	No.	管台の番号	—
D _o	D _o	管台の外径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t _{br}	管台の最小厚さ	mm
	T _m	最高使用温度	°C
	t _{no}	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率（設計・建設規格 PVC-3130 の表 PVC-3130-1 より求めた値）	—

(2) 算式

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

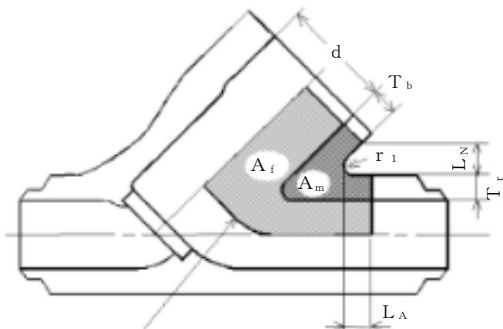
(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$t_{br} \geq t$$

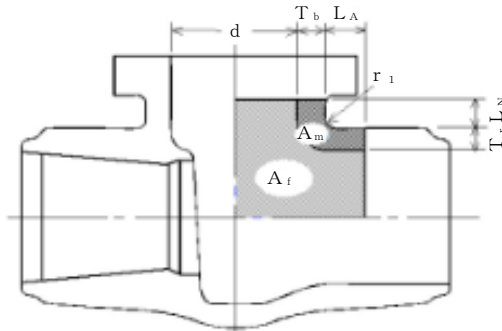
3. 添付図

(1)

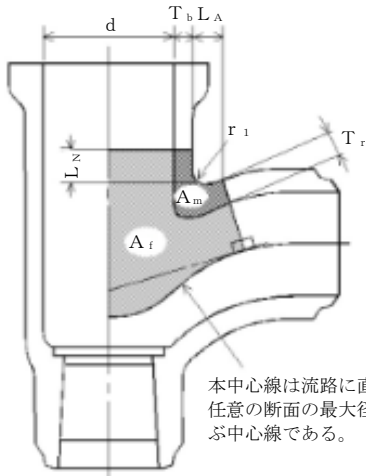


本中心線は流路に直角な任意の断面の最大径を結ぶ中心線である。

(2)

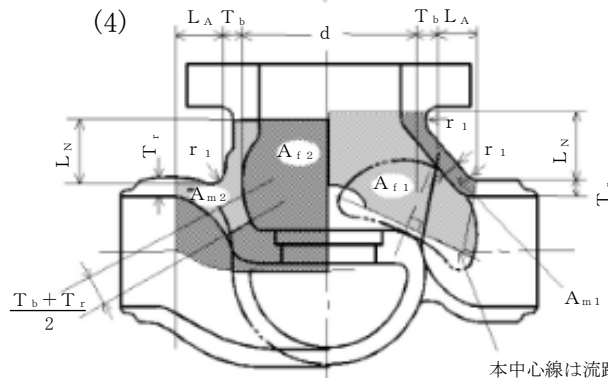


(3)



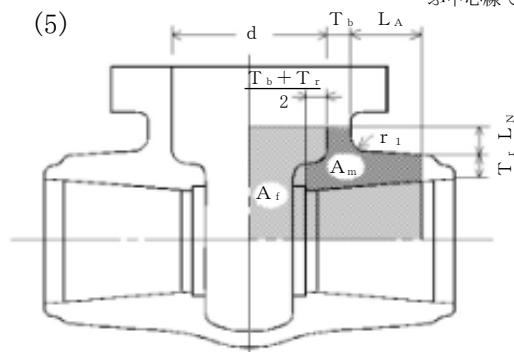
本中心線は流路に直角な任意の断面の最大径を結ぶ中心線である。

(4)



本中心線は流路に直角な任意の断面の最大径を結ぶ中心線である。

(5)

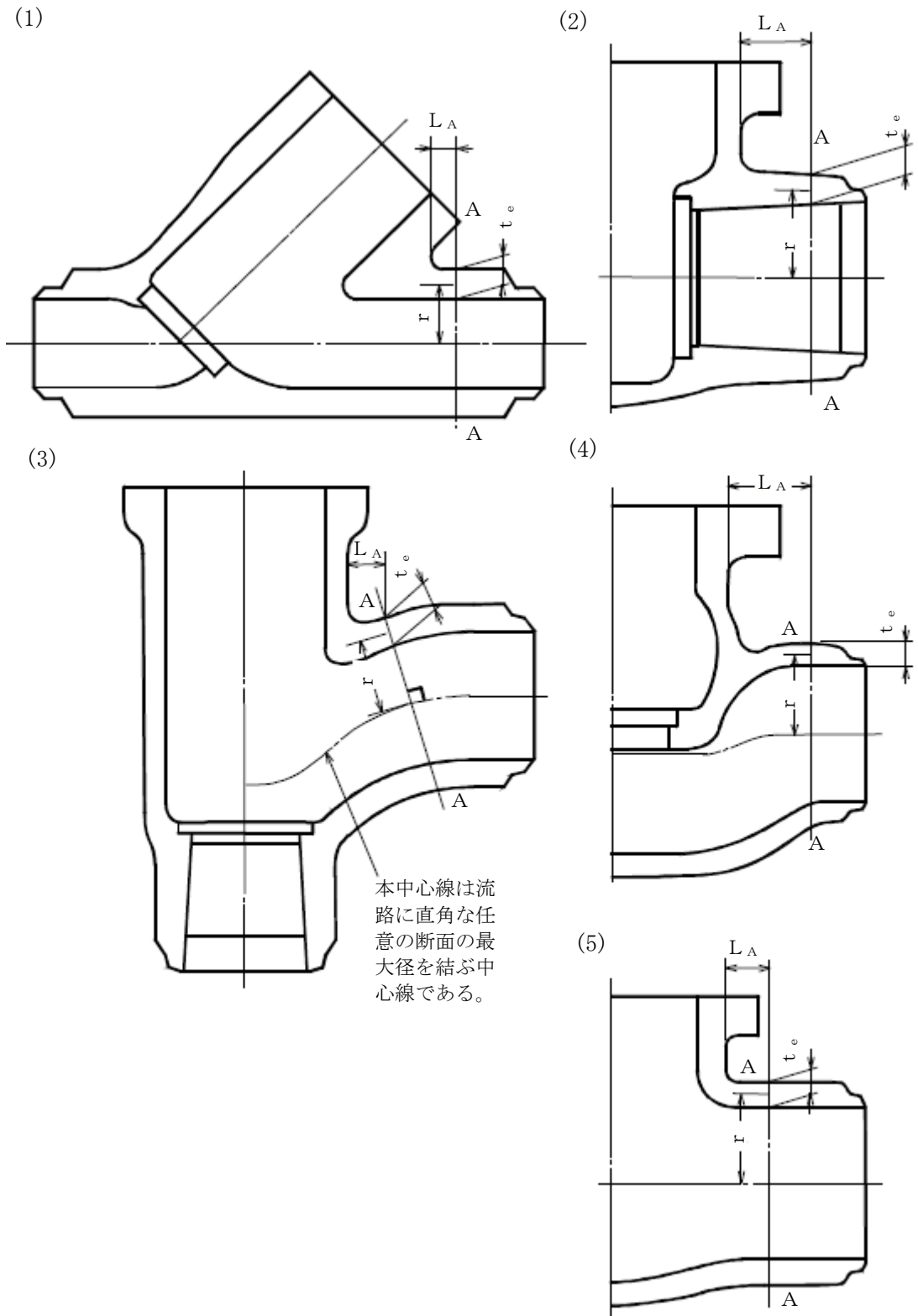


注1：本図は設計・建設規格 VVB-3320 の図 VVB-3320-1 と同じ。

注2：(4)の場合、 A_f 及び A_m の値は、図の A_{f1} 及び A_{f2} 並びに A_{m1} 及び A_{m2} のうち

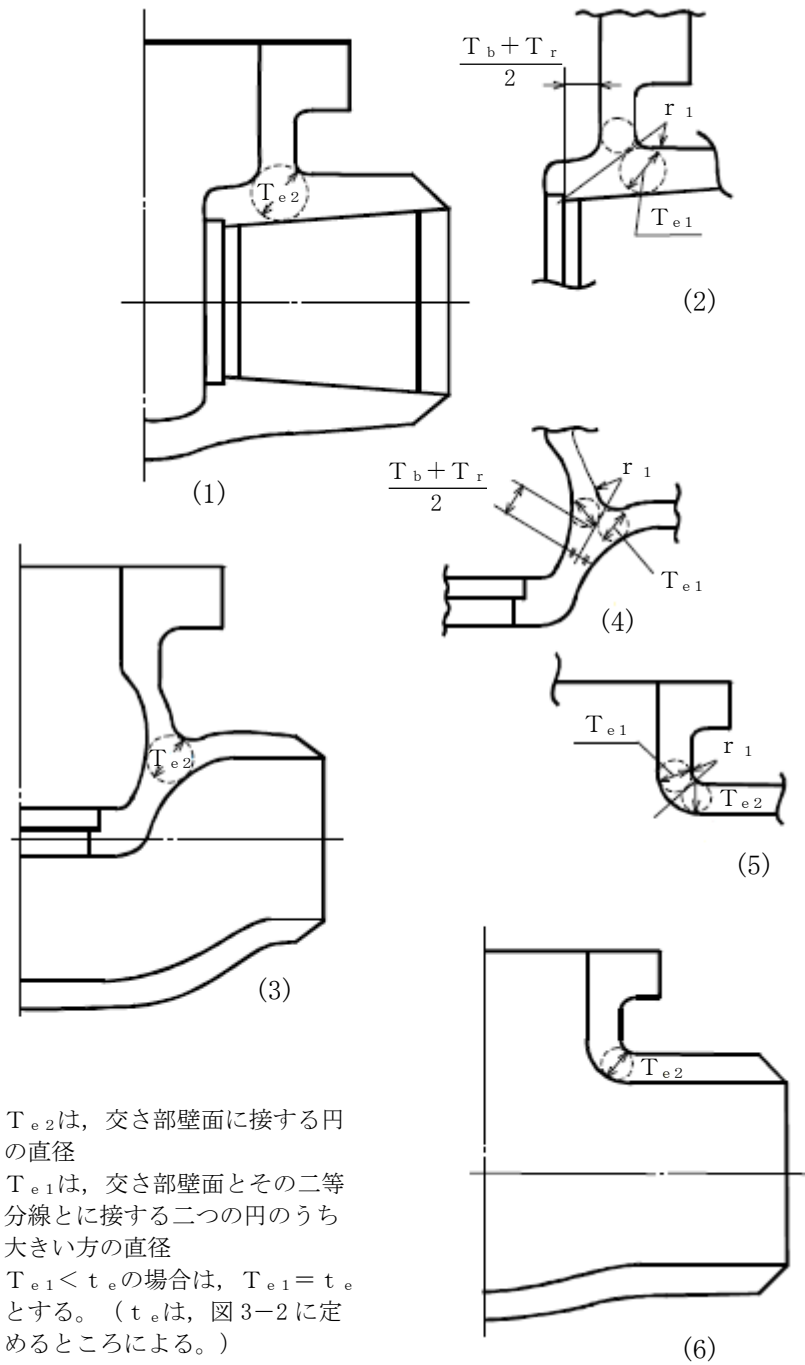
$$\frac{A_{f1}}{A_{m1}} \text{ と } \frac{A_{f2}}{A_{m2}} \text{ の値が大きい方の組合せを用いる。}$$

図3-1 A_f 及び A_m の範囲を明示した図



注：本図は告示第501号第81条第1項第1号口の図1又は設計・建設規格 VVB-3330 の図 VVB-3330-1 と同じ。

図3-2 t_e 及び r を明示した図



T_{e2} は、交さ部壁面に接する円の直径
 T_{e1} は、交さ部壁面とその二等分線とに接する二つの円のうち大きい方の直径
 $T_{e1} < t_e$ の場合は、 $T_{e1} = t_e$ とする。(t_e は、図 3-2 に定めるところによる。)

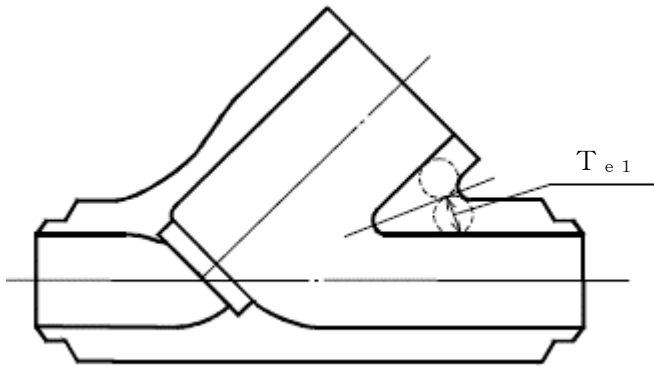
注：本図は設計・建設規格 VVB-3340 の図 VVB-3340-1 と同じ。

図 3-3 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図

T_{e1} は、交差部壁面とその二等分線とに接する二つの円のうち大きい方の直径

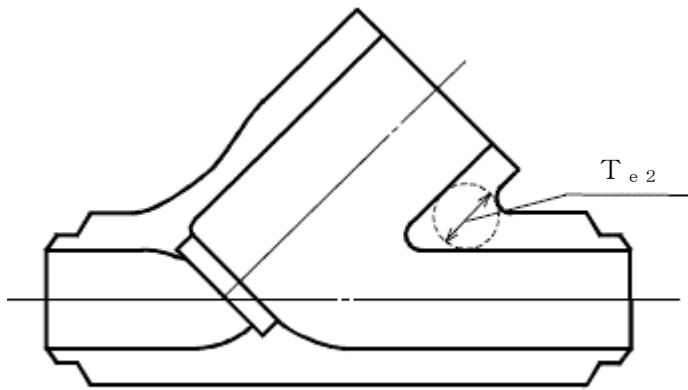
$T_{e1} < t_e$ の場合は、 $T_{e1} = t_e$ とする。

(t_e は、図3-2に定めるところによる。)



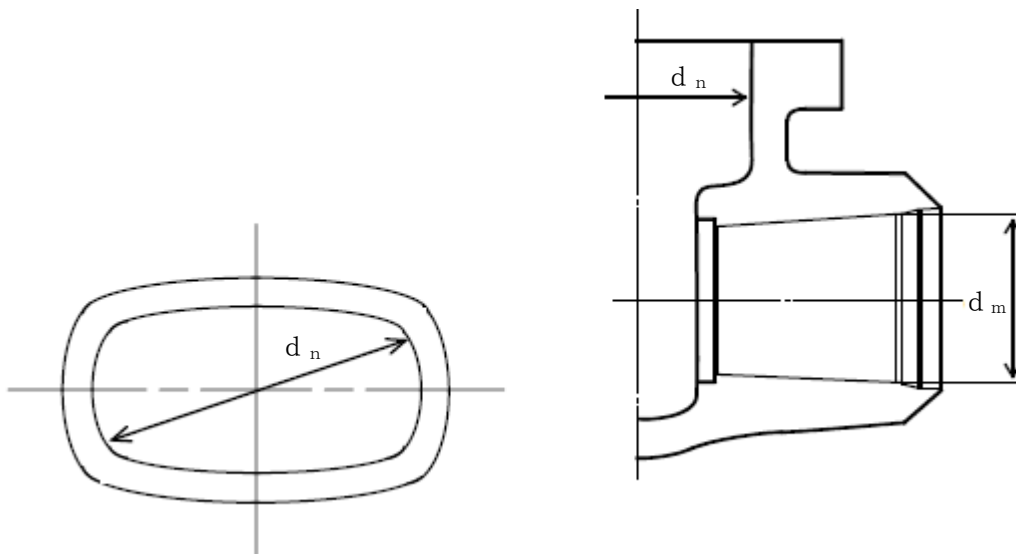
注：本図は図3-3の(4)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

T_{e2} は、交差部壁面に接する円の直径



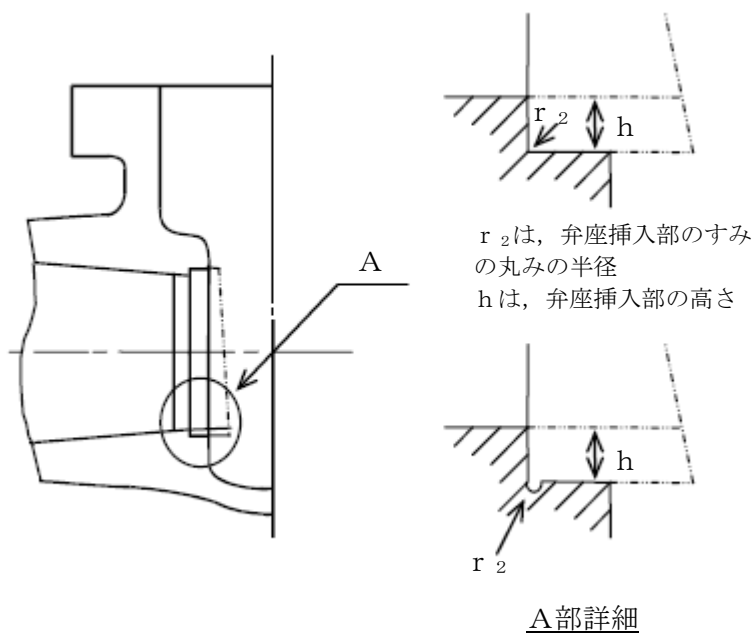
注：本図は図3-3の(3)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

図3-4 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図



注：本図は告示第501号第82条解説の図82.3又は
設計・建設規格 VVB-3210 解説図 VVB-3210-3 と同じ。

図3-5 d_m 及び d_n を明示した図



r_2 は、弁座挿入部のすみの丸みの半径
 h は、弁座挿入部の高さ

A部詳細

注：本図は設計・建設規格 VVB-3411 の図 VVB-3411-2 と同じ。

図3-6 h 及び r_2 を明示した図

別紙 クラス 1 弁の強度計算書のフォーマット

VI- - - - ○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-2「クラス1機器の強度計算の基本方針」及びVI-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VI-3-2-3「クラス1弁の強度計算方法」及びVI-3-2-10「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、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

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

目 次

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

1. クラス1 弁

1.1 設計仕様

系統：

機器の区分		クラス1弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

1.2 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件		設計・建設規格	告示第501号	弁箱の一次+二次応力評価	
最高使用圧力P (MPa)				t_e (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)				T_{e1} (mm)	
弁箱材料				T_{e2} (mm)	
接続管材料				r_i (mm)	
接続管外径 (mm)				θ (°)	
接続管内径 (mm)				K	
添付図番号				P_e (MPa)	
				$\alpha \times 10^{-6}$ (mm/mm°C)	
				E (MPa)	
内圧による弁箱の一次応力評価				C_2	
				ΔT (°C)	
P_1 (MPa)				C_4	
P_2 (MPa)				ΔP_{fm} (MPa)	
P_{r1} (MPa)				ΔT_{fm} (°C)	
P_{r2} (MPa)				$S_n(1)$ (MPa)	
P_s (MPa)				$S_n(2)$ (MPa)	
d (mm)				$3 \cdot S_m$ (MPa)	
T_b (mm)				評価 : $S_n(1) \leq 3 \cdot S_m$ $S_n(2) \leq 3 \cdot S_m$ よって十分である。	
T_r (mm)					
LA (mm)					
LN (mm)					
A_f (mm ²)				弁箱の局部一次応力評価	
A_m (mm ²)				S (MPa)	
r_1 (mm)				$2.25 \cdot S_m$ (MPa)	
S (MPa)				評価 : $S \leq 2.25 \cdot S_m$ よって十分である。	
S_m (MPa)				起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ	
評価 : $S \leq S_m$ よって十分である。				C_3	
配管反力による弁箱の二次応力評価				Q_T (MPa)	
A-A断面の弁外径 (mm)				$S\theta(1)$ (MPa)	
A_1 (mm ²)				$S\theta(2)$ (MPa)	
A_2 (mm ²)				E_m (MPa)	
C_b				$N(1)$	
Z_1 (mm ³)				$N(2)$	
Z_2 (mm ³)				評価 : $N(1) \geq 2000$ $N(2) \geq 2000$ よって十分である。	
Z_p (mm ³)					
S_y (MPa)					
P_d (MPa)					
P_b (MPa)					
P_t (MPa)					
$1.5 \cdot S_m$ (MPa)					
評価 : $P_d \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_b \leq 1.5 \cdot S_m$ $P_t \leq 1.5 \cdot S_m$ よって十分である。					

系統：_____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

繰返しピーク応力強さ(疲労累積係数) 告示第501号						
m	n	Ao	C ₅	Sn (MPa)	3・Sm (MPa)	3・m・Sm (MPa)
ΔTr (°C)	Sp (MPa)	Ke	Sℓ (MPa)	Ni	Nri	Ni/Nri
評価： 疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{ri}} = \leq 1$ よって十分である。						
弁箱の形状規定 設計・建設規格			弁体の一次応力 設計・建設規格			
r1	(mm)		材料			
r2	(mm)		形式			
0.3・t	(mm)		P	(MPa)		
0.05・t	(mm)		Pc(P1, P2)	(N)		
0.1・h	(mm)		h	(mm)		
dn/dm			a	(mm)		
評価： r1 ≥ 0.3・t r2 ≥ Max(0.05・t, 0.1・h) $\frac{dn}{dm} < 2$ よって十分である。			b	(mm)		
			σ D	(MPa)		
			1.5・Sm	(MPa)		
			評価： σ D ≤ 1.5・Sm よって十分である。			

S2 補 VI-3-2-3 別紙 R1

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

		設計・建設規格	告示第501号
弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ			
弁箱材料			
弁ふた材料			
d _m	(mm)		
t ₁	(mm)		
t ₂	(mm)		
t	(mm)		
d _n	(mm)		
d _n /d _m			
t _m	(mm)		
t _{ab}	(mm)		
t _{af}	(mm)		
t _{ma}	(mm)		
評価 : $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ $t_{ma} \geq t_m$ よって十分である。			

系統： _____

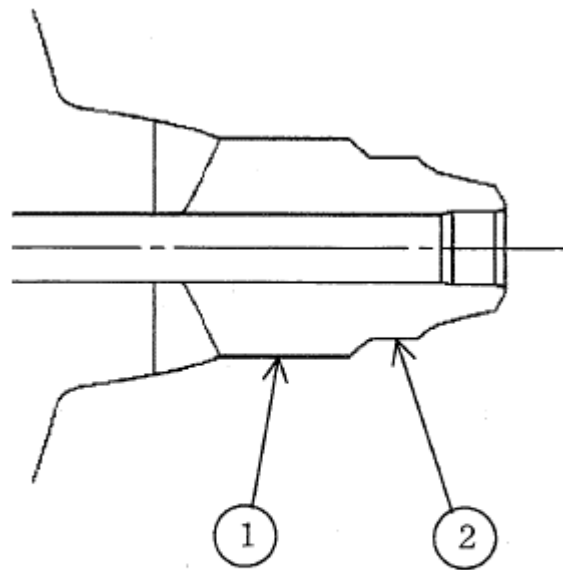
弁番号		シート	
-----	--	-----	--

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
PFD (MPa)		HD (N)	
P _{eq} (MPa)		hD (mm)	
T _m (°C)		MD (N・mm)	
M _e (N・mm)		HG (N)	
F _e (N)		hG (mm)	
フランジの形式	JIS B 8265附属書3 b7)(例)	MG (N・mm)	
フランジ		HT (N)	
材料		hT (mm)	
σ _{fa} (MPa) 常温(ガスケット締付時)(20°C)		MT (N・mm)	
σ _{fb} (MPa) 最高使用温度(使用状態)		Mo (N・mm)	
		Mg (N・mm)	
		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°C)		L	
σ _b (MPa) 最高使用温度(使用状態)		T	
		U	
		Y	
n		Z	
db (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ _{Ho} (MPa)	
材料		σ _{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ _{To} (MPa)	
G (mm)		σ _{Hg} (MPa)	
m		σ _{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ _{Tg} (MPa)	
b _o (mm)		応力の評価 : $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
G _s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)			
H _p (N)			
W _{m1} (N)			
W _{m2} (N)			
A _{m1} (mm ²)			
A _{m2} (mm ²)			
A _m (mm ²)			
A _b (mm ²)			
W _o (N)			
W _g (N)			
評価 : A _m < A _b			
よって十分である。			

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

管台の厚さ									
No.	最高使用 圧力 P (MPa)	最高使用 温度 T _m (°C)	外径 D _o (mm)	公称 厚さ t _{no} (mm)	材料	S (MPa)	η	t (mm)	t _{br} (mm)
1									
2									
評価： $t_{br} \geq t$ よって十分である。									



管台の形状

外径 115mm 以下の管に接続される弁のフォーマット

外径 115mm 以下の管に接続される弁は、以下の計算を省略する。

設計・建設規格 VVB-3010 による。

- ・弁箱の応力解析
- ・弁体の応力解析
- ・フランジの応力計算

1. 設計仕様

系統：

機器の区分		クラス1弁				
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料			
			弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

2. 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

		設計・建設規格	告示第501号
設計条件			
最高使用圧力 P	(MPa)		
最高使用温度 T _m	(°C)		
弁箱又は弁ふたの厚さ及びネック部の厚さ			
弁箱材料			
弁ふた材料			
P ₁	(MPa)		
P ₂	(MPa)		
d _m	(mm)		
t ₁	(mm)		
t ₂	(mm)		
t	(mm)		
d _n	(mm)		
d _n / d _m			
t _m	(mm)		
t _{a b}	(mm)		
t _{a f}	(mm)		
t _{m a}	(mm)		
評価： $t_{a b} \geq t$ $t_{a f} \geq t$ $t_{m a} \geq t_m$			よって十分である。

VI-3-2-4 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、VI-3-1-3「クラス2機器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) クラス2管の基本板厚計算方法
- (2) クラス2管の応力計算方法

(1) 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	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
1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法	6
2. クラス2管の強度計算方法	7
2.1 共通記号	7
2.2 管の板厚計算	8
2.3 平板の強度計算	10
2.4 鏡板の強度計算	21
2.5 レジューサの強度計算	25
2.6 管の穴と補強計算	29
2.7 フランジの強度計算	54
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クラス2管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

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

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

日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

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

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

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

（設計・建設規格 PPC-3414）

- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
- b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」
- c. J I S B 8 2 1 0 (1994) 「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

- (5) 管の接続

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

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
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)
PPC-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPC-3414 (フランジ) PPC-3414 (1) PPC-3414 (2) PPC-3414 (3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4) フランジ継手)
PPC-3415 (管継手) PPC-3415 (1)		1.2(3) 管継手
PPC-3415.1 (レジューサ) PPC-3415.1 (1) PPC-3415.1 (2) PPC-3415.1 (3) 準用 PVC-3124.2 (外面に圧力を受ける 円すい形の胴の厚さ)	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算 (円すい 及びすその丸みの部分 (外面に 圧力を受けるもの))

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
PPC-3415.2 (鏡板) PPC-3415.2(1) PPC-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPC-3416 (伸縮継手)	2.8	伸縮継手の強度計算
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 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003)	2	2.7	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造—一般事項」	3		
附属書3(規定)「圧力容器のボ	4		
ルト締めフランジ」	5		

注記* : 設計・建設規格 PPC-3414(2)により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」(以下「J I S B 8 2 6 5」という。)の附属書3(規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、本書と各配管の強度計算書からなる。
- (2) 各配管の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているため、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。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：管の穴と補強計算の分岐管の中心線と主管の中心線との交角に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1) SM400A 相当（SMA400AP）

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

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

(例) (継目無管：S, 溶接管：W)

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

(例)

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3 $\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の上段} \end{array} \right)$	SCMV3-1
SCMV3 $\left(\begin{array}{l} \text{付録材料図表} \\ \text{Part5 表5の許容} \\ \text{引張応力の下段} \end{array} \right)$	SCMV3-2

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

(例) SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

- (5) ガasket材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

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

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1) 管継手の表示方法

概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“*”を付け、概略系統図中に“注記*：管継手”と表示する。

(2) 管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中、管の途中において仕様変更が生じる場合は“—●—”のように表示する。

2. クラス 2 管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス 2 管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず，一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお，以下に示す記号のうち，各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	NO.	管，平板，鏡板，レジューサ，管の穴，フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ：管 B：平板 C：鏡板 R：レジューサ T：管の穴 F：フランジ E：伸縮継手 SP：穴あき管	—
P	P	最高使用圧力（内圧）	MPa
P _e	P _e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率 管及び鏡板は設計・建設規格 PVC-3130による。 レジューサは設計・建設規格 PVC-3130及び PVC-3140による。	—

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は、設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～ 図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{op} となる。)	—
D_o	D_o	管の外径	mm
l	l	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	t_r として用いる値の算式	—
	製 法		
	S	継目無管	—
	W	溶接管	—

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(1)の式より求めた値：t

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

b. 外面に圧力を受ける管

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

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

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPC-3411(3)の表PPC-3411-1より求めた値 …… (C)

(3) 評価

t, t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ(t_s) ≥ 管に必要な厚さ(t_r)ならば強度は十分である。

(4) 補足

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

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

2.3 平板の強度計算

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

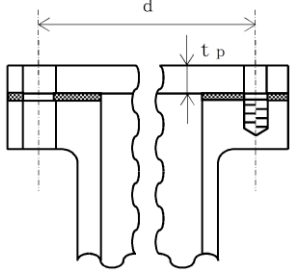
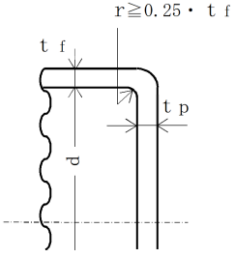
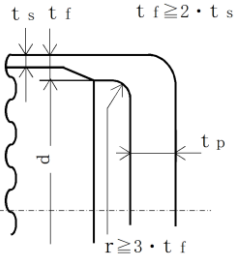
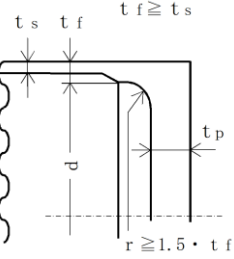
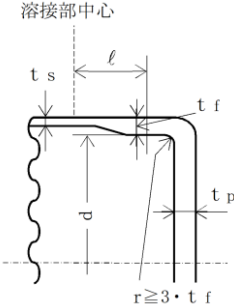
(1) 記号の説明

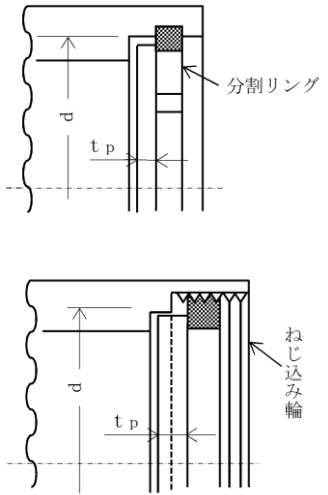
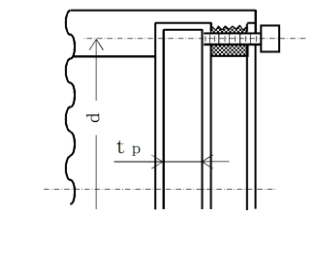
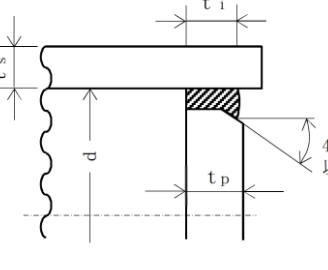
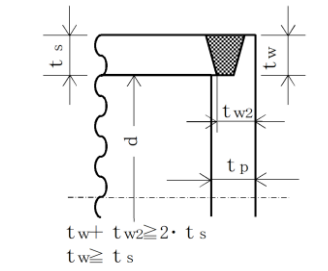
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPC-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h _g	h _g	ボルトのピッチ円の直径とdとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t _r / t _s	—
m	m _g	ガスケット係数（JIS B 8265 附属書3 表2による。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—

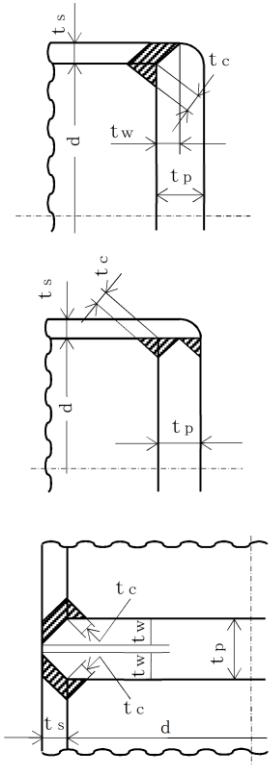
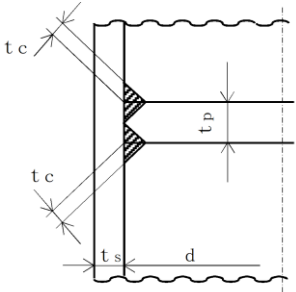
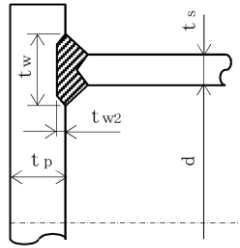
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S _x	ボルトの許容引張応力 (S _a 又はS _b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S ₁	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _c	t _c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t _f , t	t _f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t _w	t _i	平板ののど厚	mm
t _n	t _n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	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 _{w 1}	t _w	平板の溶接部の深さ	mm
t _{w 2}	t _{w 2}	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

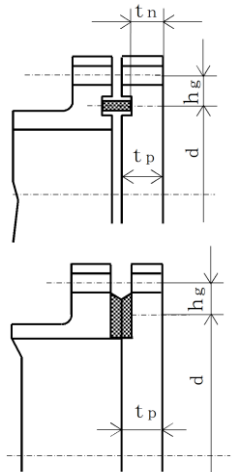
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—
	ガスケット座面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413 の表PPC-3413-1による。	—
(a)~(n)	2A~2N	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(a)</p> 	<p>無し</p>
<p>(b)</p> 	<p>$d \leq 600\text{mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$かつ, $r \geq 0.25 \cdot t_f$であること。</p>
<p>(c)</p> 	<p>$t_f \geq 2 \cdot t_s$かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>
<p>(d)</p> 	<p>$t_f \geq t_s$かつ, $r \geq 1.5 \cdot t_f$であること。</p>
<p>(e)</p>  <p>溶接部中心</p>	<p>$r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_1 \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_i \geq 2 \cdot t_r$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>
<p>(i)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_w \geq t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_w \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_r$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(j)</p> 	<p>(1) 平板が鍛造品で、かつ、平板の面からの開先角度が45°未満の場合 $t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p)$ かつ、$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p> <p>(2) (1)以外の場合 $t_w \geq \text{Min}(t_s, 0.5 \cdot t_p)$ かつ、 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(k)</p> 	<p>$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(l)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ であること。</p>

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

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

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

Kの値は以下による。

取付け方法	K の 値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(e)	0.17* ¹ 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20* ²
(h)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(i)	0.33
(j)	
(k)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(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 $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g^{*3}}{W \cdot d}$
(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) $l \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b) 管が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって
 $t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

*2：取付け方法（g）の場合のσ_pは以下による。

(a) ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

b_o ≤ 6.35mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mmの場合

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

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

ただし、b_oはJIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力

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

*3: 取付け方法 (m) の場合の F , h_g , W 及び d は以下による。

(a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、 P は2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

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

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

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

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

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

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

(4) 評価

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

(5) 補足

a. 取付け方法は、設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1の条件を満足するものとする。

b. スペクタクルフランジの取付け方法は (g) タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

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

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的にtとなる。)	—
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D _o	D _o	鏡板が取付けられる管の外径 (フランジ部の外径と同じ。)	mm
	D _{o c}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
K	K _K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.の表PPC-3415.2-1による。	—
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R _D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
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 _{c0}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	tとして用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)a. により以下とする。

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

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし、

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

b. 全半球形鏡板鏡部

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)c.により以下とする。

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

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし、

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 …………… (D)

(b) 外面に圧力を受ける管 …………… (D')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …………… (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3) 評価

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

(4) 補足

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

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3415.1（設計・建設規格 PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_3 となる。)	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_o	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の図PPC-3415.1-1より求めた係数	—
r, r_o, r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 (円すいの丸みの外半径)	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍、又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	t_{sl}	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算式	tとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	—
	端部記号	大径端，小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

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

a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

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

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

b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(1)b. の式PPC-1.9より求めた値

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

ただし、

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

小径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の式PPC-1.11より求めた値

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

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

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 …………… (C)
- (b) 外面に圧力を受ける管 …………… (C')
- (c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …………… (C'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

(a) 円すいの頂角の2分の1が22.5° 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

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

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

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

(b) 円すいの頂角の2分の1が22.5° を超え60° 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

ただし、 $D_o = D_{ol}$ 、 $t_s = t_{sl}$ 、長さは $(D_{ol} - 2 \cdot t_{sl})$ とする。

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

ただし、 $D_o = D_{ol}$ 、 $t_s = t_{sl}$ 、長さは $(D_{ol} - 2 \cdot t_{sl})$ とする。

(3) 評価

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

(4) 補足

- a. 計算書中、NO.（レジューサの番号）に*印の付いているものは、偏心レジューサを示す。
- b. 偏心レジューサの場合の θ は、円すいの頂角をそのまま使用する。
- c. 計算書中、算式の項の文字は(2)a項, b項, c項及びd項の文字A, B, C, C', C'', D, D', D''及びD'''に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

管の穴と補強計算は、設計・建設規格 PPC-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
直 管 又 は 曲 げ 管 の 記 号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1 ～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し 計算により最終的に t_{br} 及び t_{rr} となる。)	—	
	D	D_{or}	主管の外径	mm	
	d	d	断面に現れる穴の径	mm	
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm	
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—	
			Q_r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張 応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 による。	MPa	
			t_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 設計・建設規格 PVC-3130に規定する効率 (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) 1.00 (その他の場合)	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
鏡 板 の 記 号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径に同じ。)	mm
	d	d	断面に現れる穴の径	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	断面に現れる穴の径	mm
	K	K	平板の取付け方法による係数	—
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力	MPa
			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t _s	t _c	平板の最小厚さ	mm
		t _{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t _{sr} , t _{r2}	t _{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法	—
(a)~(n)	2A~2N	設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1による。 取付け方法の表示区分	—	

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
共通記号 (管の穴と補強計算)	A	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A ₁	穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A ₂	穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A ₄	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	A _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A _{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A _{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
	A _s	A _{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
		A _{s r}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm ²
		A _{s o}	2つの穴の間の主管の断面積	mm ²
		A _{r i}	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm ²
		A _{o i}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm ²
		A _{r s}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{2 s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A _{3 s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4 s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	D _i	D _{i b}	管台の内径	mm
		D _{i r}	主管の内径	mm
		D _{o b}	管台の外径	mm
		D _{o e}	強め材の外径	mm
		d _D	断面に現れる隣接する穴の径	mm
		d _{f r D}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d _{r 1}	補強を要しない穴の最大径	mm
d	d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm	
F	F	設計・建設規格 PPC-3424(1)b.により求められる係数	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共通記号 (管の穴と補強計算)		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	—
		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
	<i>ℓ</i>	L _s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L ₁	管台のすみ肉部の脚長（A形，B形）又は管台補強部の短辺長さ（C形）	mm
		L ₂	強め材のすみ肉部の脚長	mm
	P, P _e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q _b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S _b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 による。	MPa
	S	S _e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 による。	MPa
		S _{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S _{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
	S _{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa	
t _n	t _b	管台の最小厚さ	mm	
	t _{bn}	管台の公称厚さ	mm	
t _{nr}	t _{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm	

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)	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
	W_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
	W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
	W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
	W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
	θ	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角
	π	円周率	—
	形 式	管台の取付け形式	—

(2) 計算手順及び算式

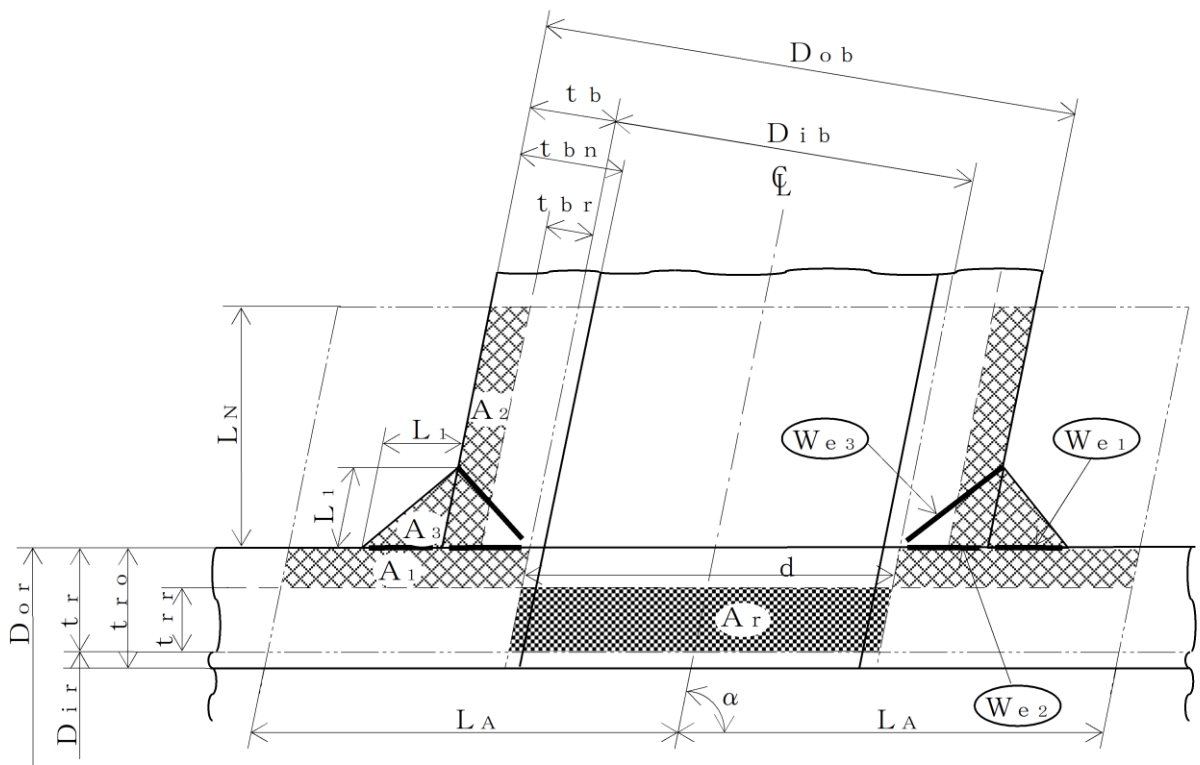
a. 穴の形状



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

b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

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



-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

予想される破断形式




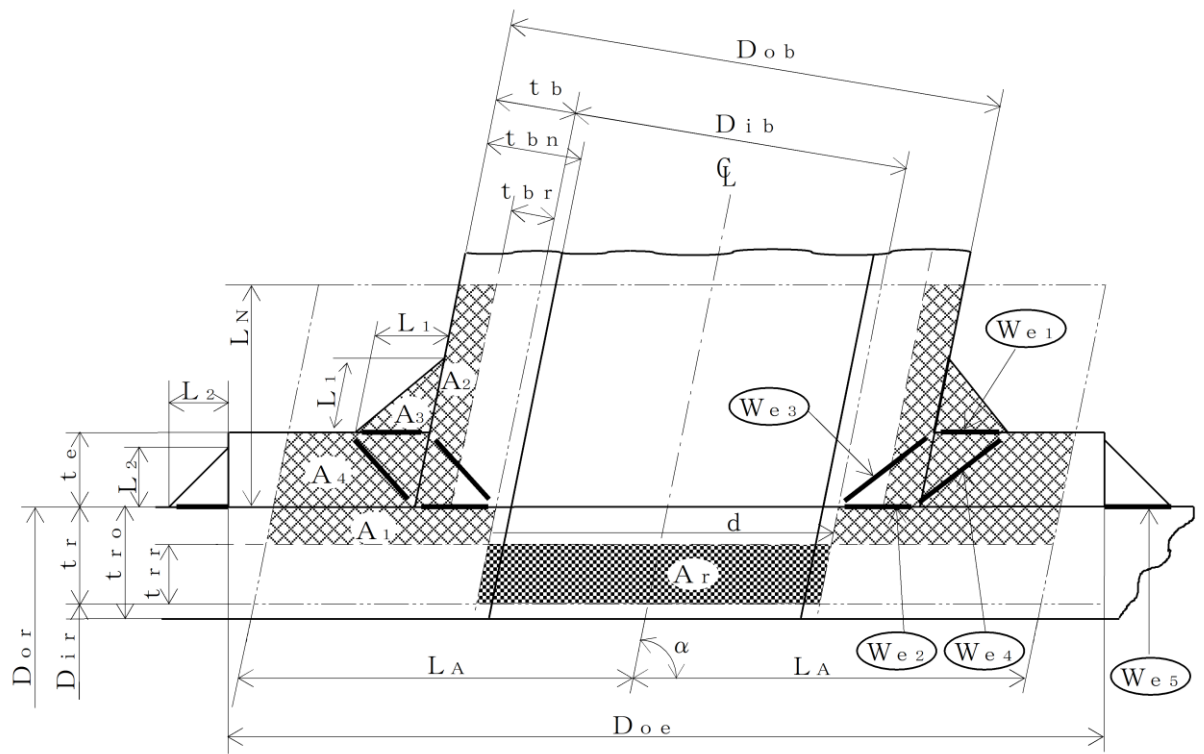


-  を通る破断
-   を通る破断

図2-1 A形（強め材のない場合）

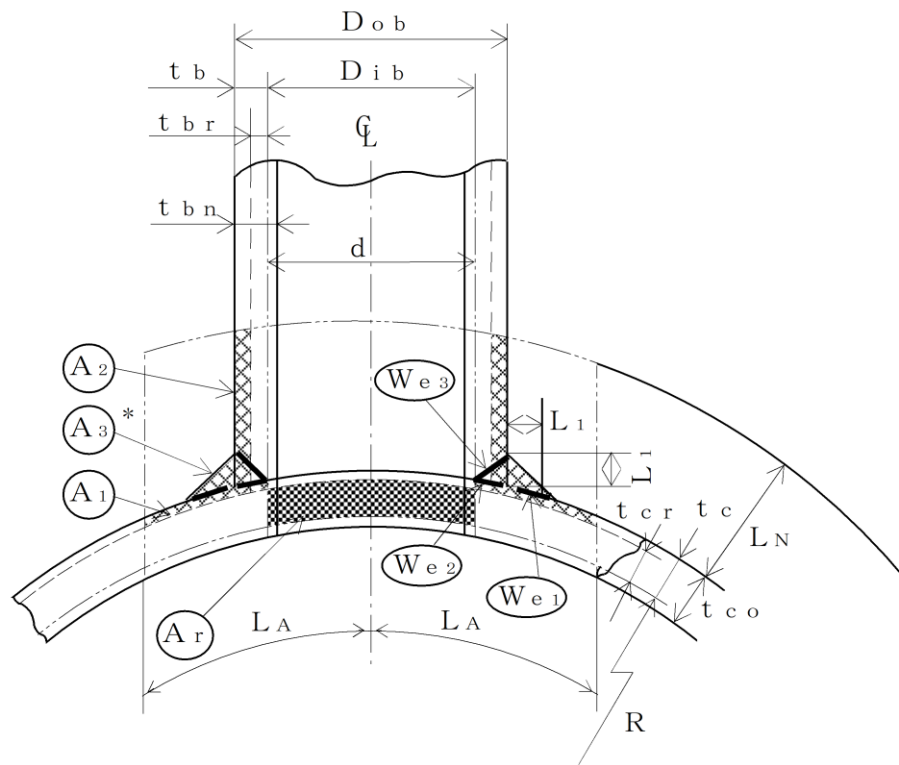




-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

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)



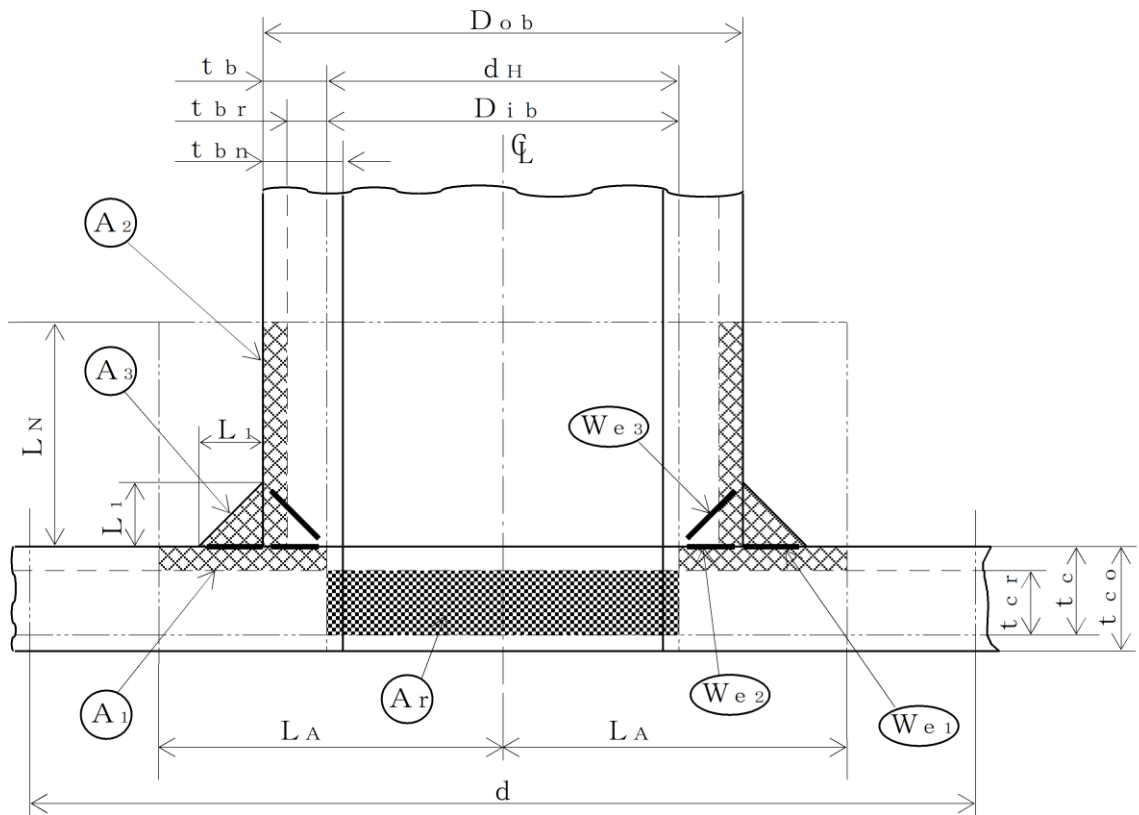
 補強に有効な面積
 補強に必要な面積



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）

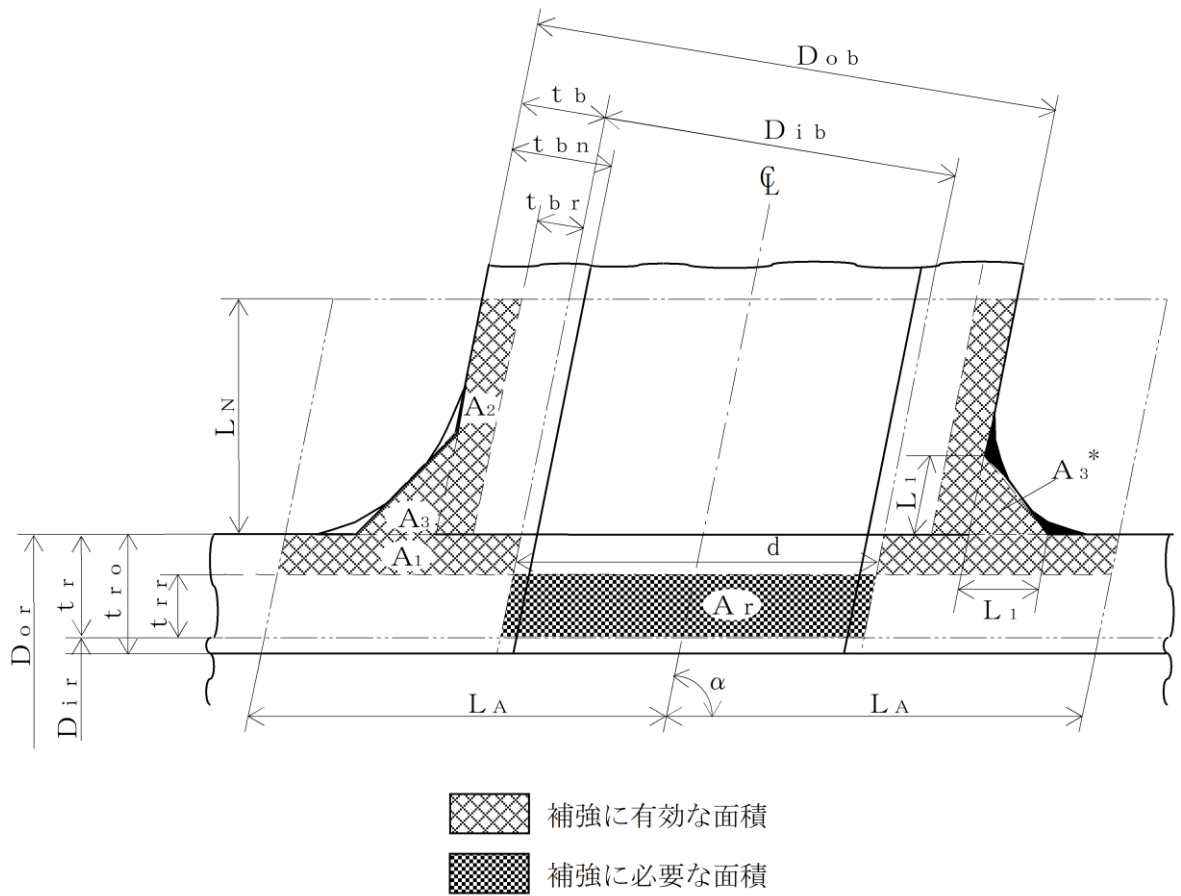


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

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、設計・建設規格 PPC-3422を適用する。

(a) 算式

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

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

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

直管又は曲げ管の場合

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

鏡板の場合

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

ただし、Kの値は次の算式による。

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) さらに形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

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

(ハ) 全半球形鏡板の場合

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

ただし、 $K > 0.99$ の場合は $K = 0.99$ とする。

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

(イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1以下の場合

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

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

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

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

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径 (d_{fr}) \geq 断面に現れる穴の径 (d) 又は平板の最小厚さ (t_c) \geq 補強を要しない平板の計算上必要な厚さ (t) ならば、穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は、 d 項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は、設計・建設規格 PPC-3424(1)a. を適用する。

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

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

イ. 直管又は曲げ管の場合

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

ロ. 鏡板の場合

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

ハ. 平板の場合

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

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 (L_N) は、次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

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

ロ. 鏡板の場合

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

ハ. 平板の場合

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

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ (t_{rr} 又は t_{cr}) は、設計・建設規格 PPC-3424(1)b. (a) を適用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

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

ただし, $\eta = 1.00$

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

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

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

ただし, $W = 1.00$ 及び $\eta = 1.00$

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

ロ. 半だ円形鏡板

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

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

ハ. 全半球形鏡板

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

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

(c) 平板の場合

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

f. 管台の厚さの計算

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

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

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

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

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

(ハ) 平板の場合

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

ロ. 補強に有効な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

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

(強め材が有効範囲 L_A の外までである場合)

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

(ロ) 鏡板の場合

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

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

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

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(ハ) 平板の場合

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

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

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

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b) 評価

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

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

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

必要な場合は、 i 項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

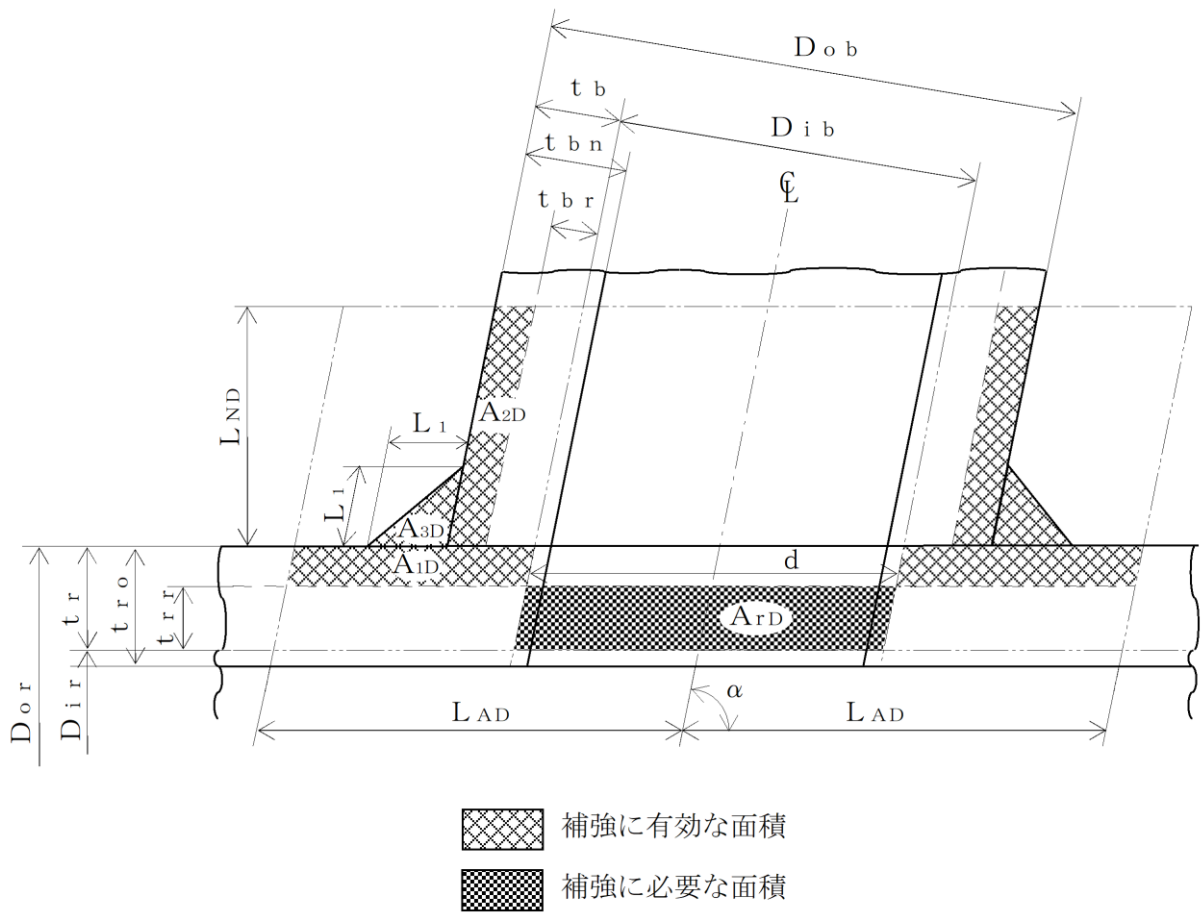


図2-6 A形（強め材のない場合）

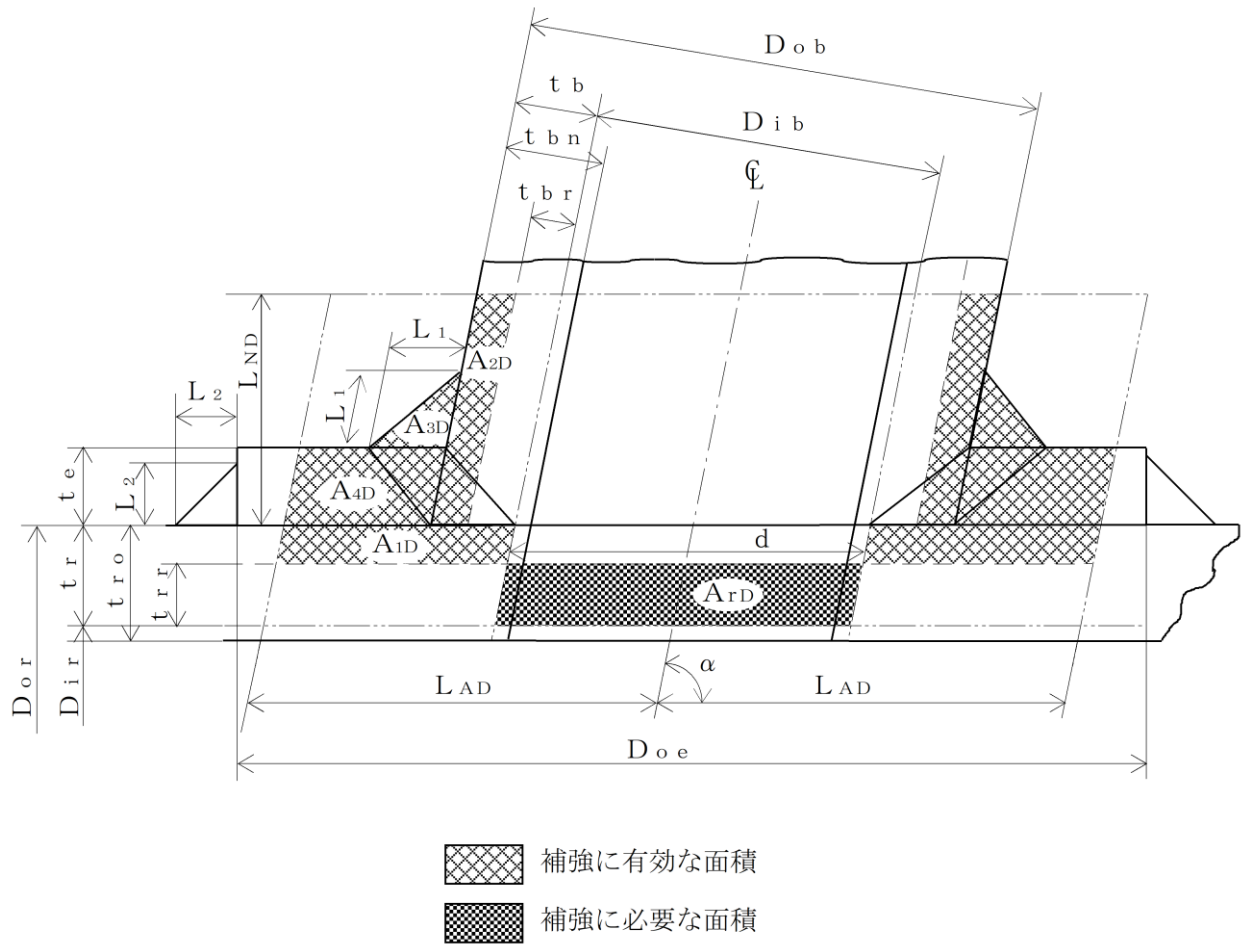
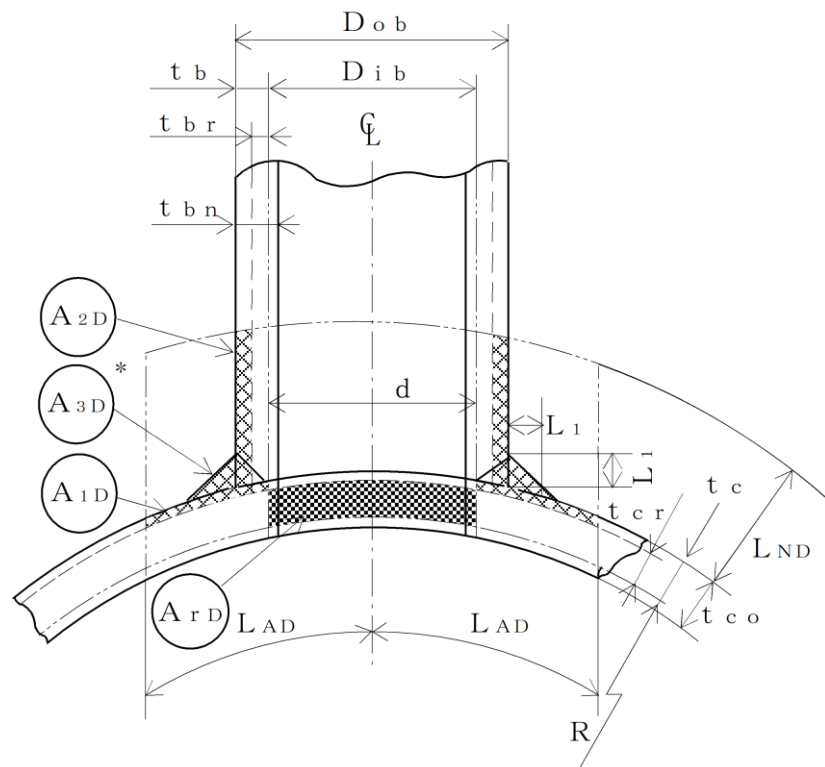


図2-7 B形（強め材のある場合）



- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

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

図2-8 A形（鏡板で強め材のない場合）

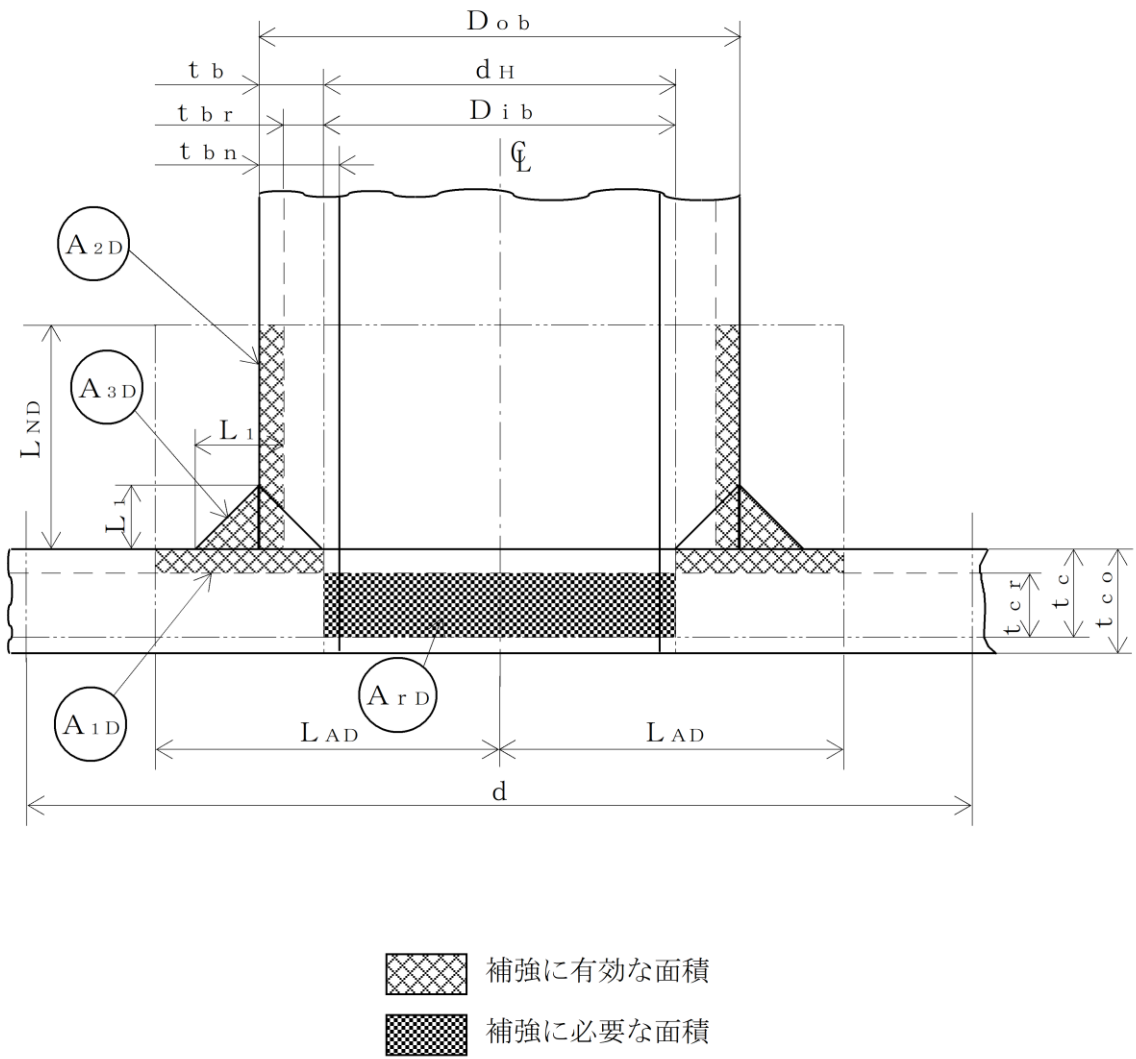
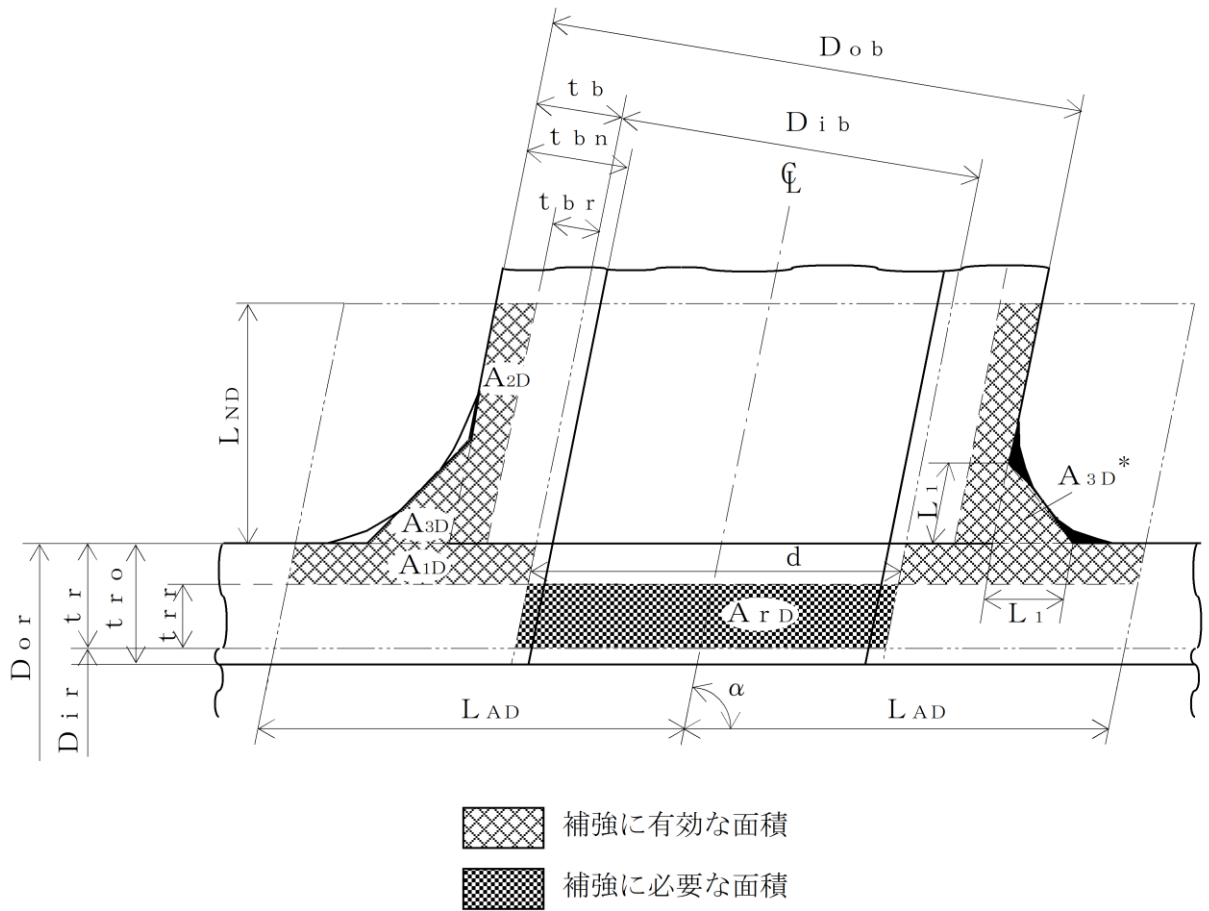


図2-9 A形（平板で強め材のない場合）



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

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

(b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

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

(c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

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

ロ. 大穴の補強に有効な面積

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

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

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

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{3D} = A_3$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{3D} = 0$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{4D} = A_4$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{4D} = \left(3 \cdot \frac{d}{2} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

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

(b) 評価

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

k. 2つ穴の補強計算

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

以下、直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

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

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

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

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

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

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

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

A_r 及び A_{rs} は1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

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

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

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

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

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

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

1. 溶接部の強度計算

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

ただし、C形に関しては評価すべき溶接部がないため、強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

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

(ハ) 平板の場合

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

ロ. 溶接部の許容応力

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

(ロ) 鏡板又は平板の場合

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

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

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

ハ. 溶接部の破断強さ

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

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

(ロ) 鏡板の場合

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

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

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

(ハ) 平板の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d_H}{2} + t_b \right) \cdot L_1 \cdot S_{w1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d_H \cdot t_b \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d_H \cdot t_b \cdot S_{w3} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

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

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

(ロ) B形の管台形式の場合

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

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

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

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし、溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0を超える場合

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

(3) 補足

a. 穴の補強計算, 大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をす

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

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは, 1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は, 本書では取付け角度が90°で1つ穴のものについての計算方法を示す。

2.7 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3414を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) 及び一体形フランジで f の最小採用値は1であるが, J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4より求まる f が1未満となる場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{(一体形フランジの場合)} \right)$ $\left(= \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{(ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の場合)} \right)$	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

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
e	e	係数 $\left(= \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジの場合}) \right)$ $\left(= \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の場合}) \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図5又は表4による。)	—
F _L	F _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図6又は表4による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4又は表4による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
g ₀	g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g ₁	g ₁	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H _D	H _D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H _G , H _G	H _G	ガスケット荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h _D	h _D	ボルト穴の中心円からH _D 作用点までの半径方向の距離	mm
h _G	h _G	ボルト穴の中心円からH _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h _o	h _o	$\sqrt{B \cdot g_o}$	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

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left[= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right]$	—
M _D	M _D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M _o	M _o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
M	M _e	フランジ部に作用するモーメント	N・mm
P _{F D}	P	設計圧力 (応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力に P _{e q} を加えたものである。)	MPa
P _{e q}	P _{e q}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $\left[= \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} \right]$	MPa
	P _o	最高使用圧力 (内圧)	MPa

設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
V _L	V _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図9又は表4による。)	—
W, W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W ₀	W ₀	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—

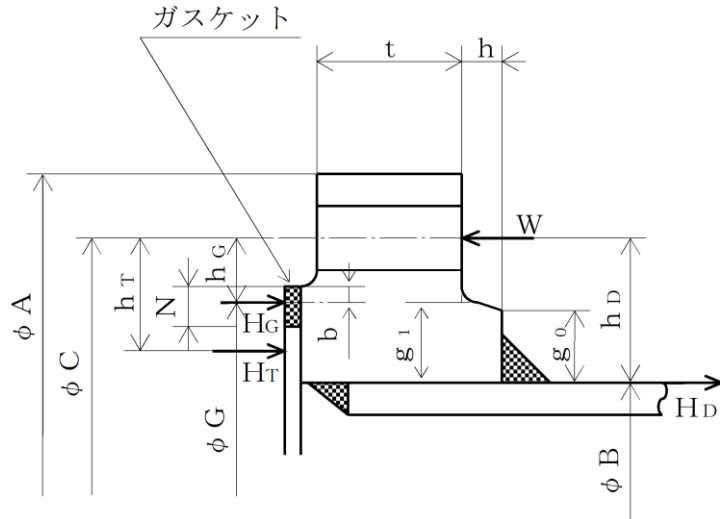
設計・建設 規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON- ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿） （ステンレス鋼）	—

注記*：J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) フランジの形式

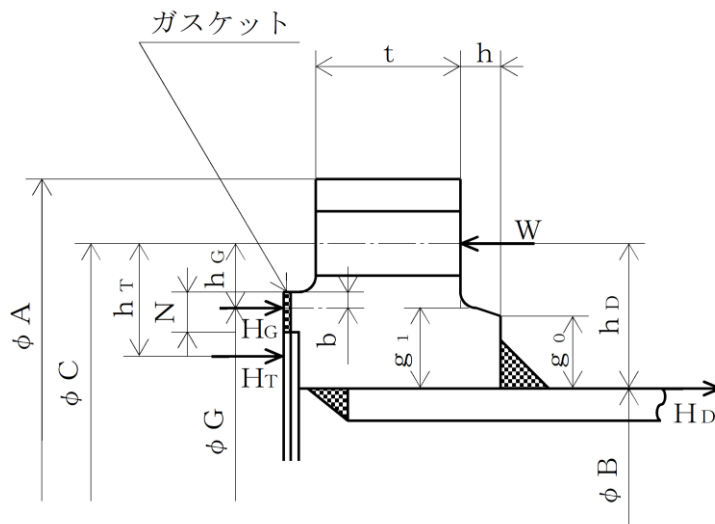
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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



注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

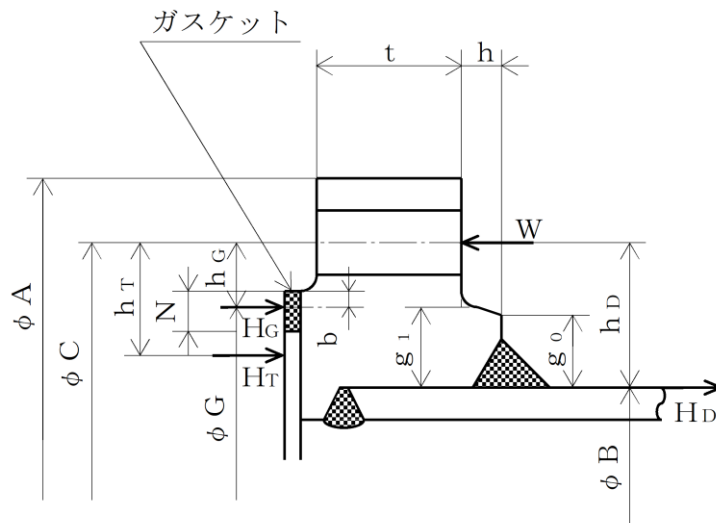
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

TYPE-2 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)

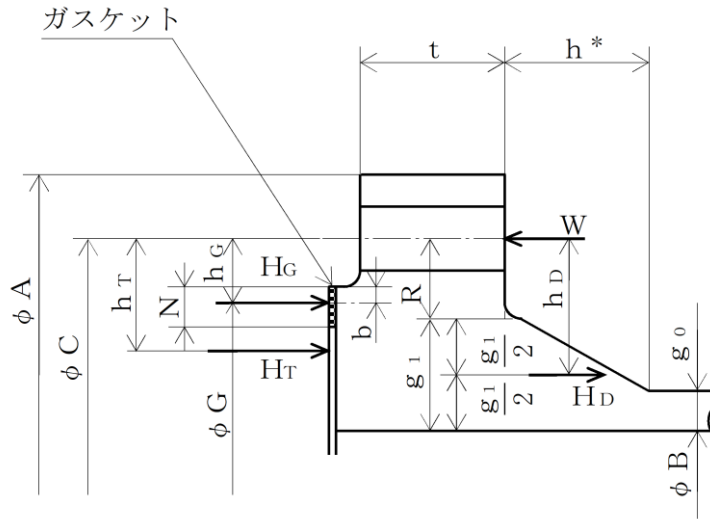
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



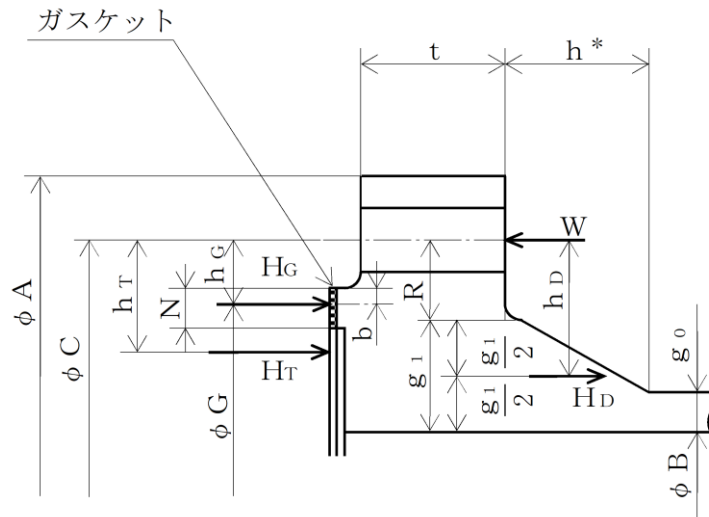
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは， $g_0 = g_1$ とする。

TYPE-3 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 5)

図2-12 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



TYPE-4 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)



TYPE-5 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)

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

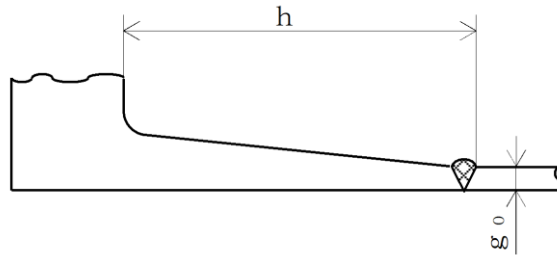
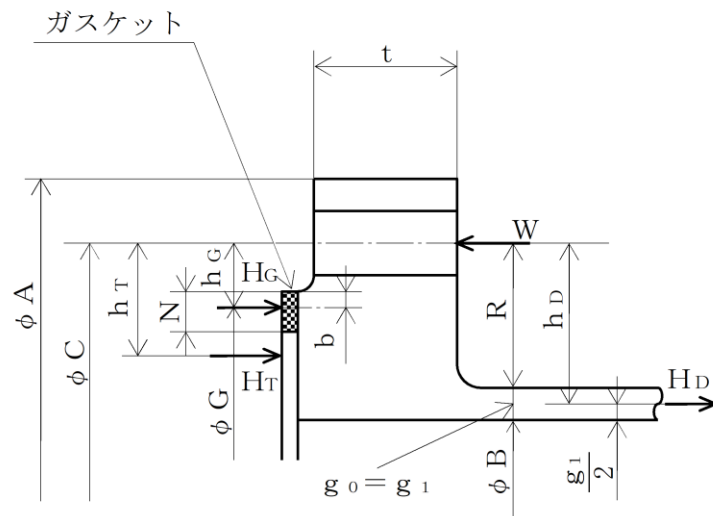
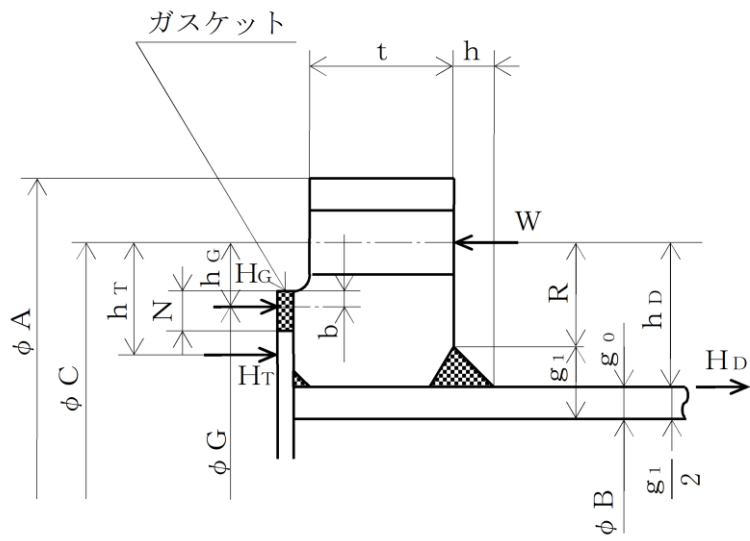


図2-13 一体形フランジ



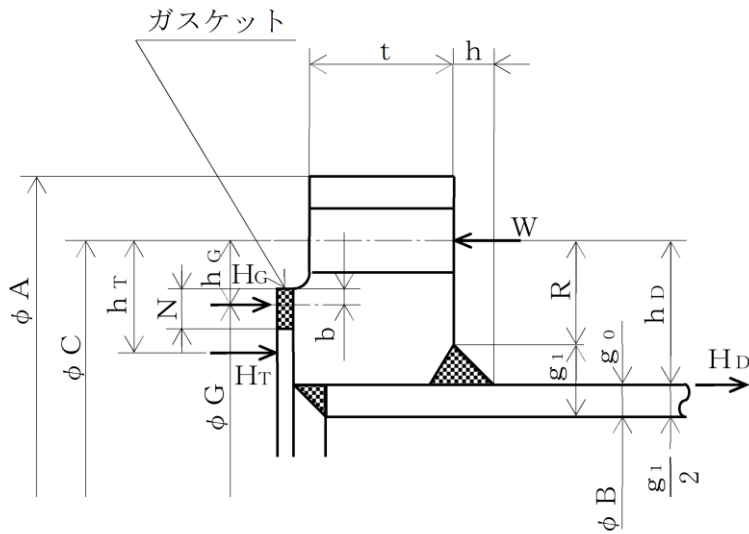
TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 c) 12)

(一体形フランジとして計算)



TYPE-8 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 c) 11)

(一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

(3) 内圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

b. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

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

(b) ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

- f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

ただし,

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

- g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

- h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

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

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

- (a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

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

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

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

ただし、

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

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

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

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

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

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

また、 B が $20 \cdot g_1$ より小さいときは、ハブの軸方向の応力 (σ_{Ho}) 及び σ_{Hg} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- (a) ボルトの総有効断面積 $A_m < A_b$
- (b) ハブの軸方向応力
 使用状態にあつては $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
 ガasket縮付時にあつては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (c) フランジの径方向応力
 使用状態にあつては $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
 ガasket縮付時にあつては $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (d) フランジの周方向応力
 使用状態にあつては $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
 ガasket縮付時にあつては $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

(4) 外圧計算手順及び算式

- a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

- b. 計算上必要なボルト荷重

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

- c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

- d. フランジの計算に用いるボルト荷重

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

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

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

$$H_T = H - H_D$$

- f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

ただし,

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

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

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

h. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

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

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

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

ただし,

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

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

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

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

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

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

また, B が $20 \cdot g_1$ より小さいときは, ハブの軸方向の応力 (σ_{Ho}) 及び σ_{Hg} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

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

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3416を適用する。

(1) 記号の説明

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

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

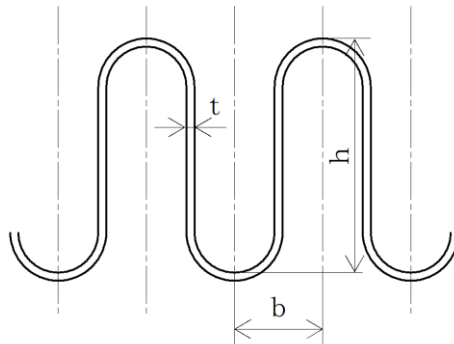


図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

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

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

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

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

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

(4) 評価

実際の繰返し回数 (N_r) と許容繰返し回数 (N) の比 ($U = N_r / N$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値 ($U = \sum_i (N_{r i} / N_i)$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

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

別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

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

(2) 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. クラス2管の応力計算方法	1
2.1 計算方針	1
2.2 計算方法	1
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。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2. クラス2管の応力計算方法

2.1 計算方針

設計基準対象施設はそれぞれの施設の評価条件での設計・建設規格による評価を実施する。技術基準規則解釈において、技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、設計・建設規格によることから、クラス2管は、設計・建設規格 PPC-3500 の規定に基づく評価を実施する。

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、「H I S A P」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、VI-5「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し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - b. スナップ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮し、完全固定として扱う。
 - d. ガイド：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向固定として扱う。
 - e. ハンガ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
- (7) 配管系の質量は、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）
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数
D_0	mm	管の外径
f	—	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力低減係数
i_1	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
i_2	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
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
M_c	N・mm	管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント
P	MPa	最高使用圧力
P_m	MPa	内面に受ける最高の圧力
S_a	MPa	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力
S_c	MPa	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
S_h	MPa	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_n	MPa	一次＋二次応力
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) 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

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

b. 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃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

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

(2) 一次+二次応力 (設計・建設規格 PPC-3530)

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

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

b. 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃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+二次応力

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

c. a. に対する許容応力

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

d. b. に対する許容応力

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

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

機器等の区分	荷重の組合せ	状態
クラス 2 管	P + D	設計条件
	P + M + D	
	P + M + T	供用状態 A, B
	P + M + D + T	

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反力その他の短期的荷重

D : 自重その他の長期的荷重

T : 熱による支持点の変位及び熱膨張による荷重

表 2-2 許容応力

状態	一次応力	一次+二次応力
設計条件	$1.5 \cdot S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$
供用状態 A, B	$1.8 \cdot S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$

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2-3に示すとおりである。

表2-3 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
	変位置	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
	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
評価結果	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」と表示する。

*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。

3. 計算書の構成

3.1 管の応力計算書

(1) 概要

本計算方法に基づき、管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。また、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示す旨を記載する。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を示す旨についても記載する。

(2) 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

(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 DB2-1～応 DB2-5 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 DB2-6 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 DB2-7 に示す。

- FORMAT 応 DB2-1 :

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 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料

- FORMAT 応 DB2-2 :

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 DB2-3 :

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)

- FORMAT 応 DB2-4 :

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 DB2-5 :

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 (°C)	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 DB2-6 :

評価結果

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。

クラス2管

設計・建設規格 PPC-3500 の規定に基づく評価

鳥瞰図 番号	供用 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)	
				計算応力 $S_{pr m}(1)^{*1}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$	計算応力 $S_n(a)^{*3}$	許容応力 $S_a(c)^{*5}$
				$S_{pr m}(2)^{*2}$	$1.8 \cdot S_h$	$S_n(b)^{*4}$	$S_a(d)^{*6}$
	(A, B)		$S_{pr m}(1)^{*1}$	Max	$1.5 \cdot S_h$	—	—
鳥瞰図	(A, B)		$S_n(a)^{*3}$	—	—	Max	$S_a(c)$
番号	(A, B)		$S_{pr m}(2)^{*2}$	Max	$1.8 \cdot S_h$	—	—
	(A, B)		$S_n(b)^{*4}$	—	—	Max	$S_a(d)$

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。

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

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

*5 : 設計・建設規格 PPC-3530 (1) c. に基づき計算した許容応力を示す。

*6 : 設計・建設規格 PPC-3530 (1) d. に基づき計算した許容応力を示す。

・FORMAT 応 DB2-7 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2管)

No.	配管 モデル	設計条件									
		一次応力 ($S_{pr m(1)}$)* ¹					一次応力 ($S_{pr m(2)}$)* ²				
		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											
2											

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

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

No.	配管 モデル	供用状態A, B									
		一次応力+二次応力 ($S_n(a)$)* ¹					一次応力+二次応力 ($S_n(b)$)* ²				
		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											
2											

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

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

VI-3-2-5 クラス 3 容器の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 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	3
1.5 材料の表示方法	4
2. クラス3容器の強度計算方法	5
2.1 共通記号	5
2.2 円形平板の計算	6
2.3 開放タンクの胴の計算	10
2.4 開放タンクの底板の計算	12
2.5 開放タンクの管台の計算	13
3. 穴の補強計算	14
3.1 記号の説明	14
3.2 容器の穴の補強計算	16
3.3 開放タンクの胴の穴の補強計算	19
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、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス3容器が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、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。））JISME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

また、消火設備用ポンベ及び消火器については、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に示すとおり、高圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用することとする。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は表1-1に示すとおりである。

- (2) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PVC-3700, PVD-3010）
- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
 - b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」

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ため、本書によるものとする。

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応（クラス3容器）

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の 計算式（章節番号）	備 考
PVD-3010（クラス2容器の規定を準用する項の規定） PVD-3100（容器の胴の規定） 準用 PVC-3160 PVD-3300（容器の平板についての規定） PVD-3310	 3.2 2.2	 容器の穴の補強計算 円形平板の計算
PVD-3500（開放タンクについての規定） 準用 PVC-3920 PVD-3510 準用 PVC-3950 PVC-3960 PVC-3970 PVC-3980	 2.3 3.3 2.4 2.5	 開放タンクの胴の計算 開放タンクの胴の穴の補強計算 開放タンクの底板の計算 開放タンクの管台の計算

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-2に示すとおりとする。

表1-2 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類	単 位	処 理 桁	処理方法	表 示 桁	
最 高 使 用 圧 力 (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	
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	
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}	
比 重	—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位	

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。

*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. 11Cl. 1)

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

(例) STPT410-S（継目無管の場合）

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

(例)

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

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

(例) S45C（直径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 J I S に定める熱処理記号を付記して表示する。

(例) SUS630 H1075（固溶化熱処理後570～590℃空冷の場合）

- (6) ガasket材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例) 非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガasket（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガasket（非石綿板）（ステンレス鋼）

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

2. クラス3容器の強度計算方法

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

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格 の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
P	P	最高使用圧力	MPa
η	η	継手の効率 クラス3容器については設計・建設規格PVD-3110に規定している継手の種類に応じた効率を使用する。	—
	継手の種類		
	継手無し	同左	—
	突合せ両側 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 JSME S NB 1-2001）（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	—

2.2 円形平板の計算

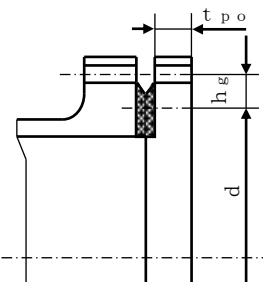
クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3310を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 又は J I Sの記号	計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b _o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d, G	d	クラス3容器は設計・建設規格 表PVD-3310-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内径のり (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
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ガスケット荷重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
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
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	—
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—

設計・建設規格 又は J I Sの記号	計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
S	S	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
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	平板の呼び厚さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
	ガスケット 座面の形状	J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。	—

(2) 形状の制限

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
(n)	 <p>無し</p>

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

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

Kの値は以下による。

取付け方法	K の 値
(n)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}^*$

注記* : F, h_g, W及びdは以下による。

(a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

b_o > 6.35mmの場合

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

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

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

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

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

$$W = H$$

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

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

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \text{ (使用状態)}$$

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

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

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g = (C - G) / 2$$

(4) 評価

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

2.3 開放タンクの胴の計算

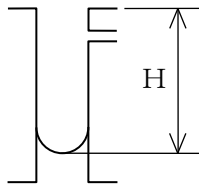
クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格 PVC-3920準用）を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭*	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
ρ	t_{s0}	胴の呼び厚さ	mm
	ρ	液体の比重。ただし、1.00未満の場合は1.00とする。	—

注記*：開放タンクの水頭の取り方は、強度評価上は以下とする。

- 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



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) \geq 胴に必要な厚さ (t) ならば十分である。

2.4 開放タンクの底板の計算

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3960及びPVC-3970準用）を適用する。

(1) 記号の説明

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

注：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、平板の項を参照のこと。

(2) 形状の制限

平板であること。

(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
クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010により3mm以上とする。
- b. 上記以外のものの底板に必要な厚さ：t
クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3970(2)準用）を適用する。
ここで、最高使用圧力Pは次の式による値とする。

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

(a) 平板

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3970(2)準用）より、設計・建設規格 PVC-3310を準用する。
2.2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。

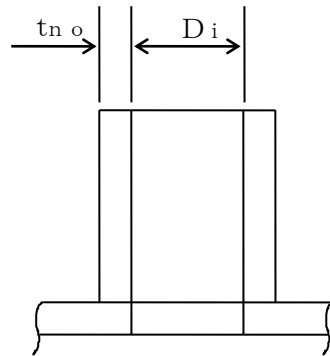
2.5 開放タンクの管台の計算

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格 PVC-3980準用）を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	管台の内径*	m
H	H	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	t	管台に必要な厚さ	mm
	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_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) \geq 管台に必要な厚さ (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	A ₀	補強に有効な総面積	mm ²
	A ₁	胴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 _r	A ₄	強め板の部分の補強に有効な面積	mm ²
	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
d	B _e	強め板の外径	mm
	d	胴の断面に現われる穴の径	mm
	d _j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
	d _w	管台の取り付く穴の径（完全溶込み溶接により溶接された管台については、 $d_w = D_{on} + \alpha$ （ α はルート間隔の2倍），それ以外の管台については、 $d_w = D_{on}$ ）	mm
D _i	D _i	円筒胴にあつては胴の内径	mm
	D _{on}	管台の外径	mm
F	F	係数	—
	L ₁	溶接の脚長*	mm
	L ₂	溶接の脚長*	mm
	L ₃	溶接の脚長*	mm
	S _e	強め板材の許容引張応力	MPa

設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。

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	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
	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 _s	胴の最小厚さ	mm
t _{sr}	t _{sr}	胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W ₁	$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N
	W ₂	$W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$	N
	WELD-	管台溶接形式 (図3-1を参照)	—
	X	補強の有効範囲 (胴の面に沿った方向)	mm
	X ₁	補強の有効範囲	mm
	X ₂	補強の有効範囲	mm
	Y ₁	補強の有効範囲 (胴より外側)	mm
	Y ₂	補強の有効範囲 (胴より内側)	mm
η	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	—

注記* : クラス3容器については設計・建設規格 図PVD-4112-3による。

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

クラス 3 容器については設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110（設計・建設規格 PVC-3160 準用）を適用する。

a. 管台の形式

図 3-1 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

クラス 3 容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3161.3 準用）を適用する。

イ. 円筒形の胴の場合

(イ) 管台の一部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

クラス 3 容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3161.1 準用）を適用する。

$$X = X_1 + X_2$$

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

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

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

ただし、構造上計算した有効範囲がとれない場合は、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

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格 PVC-3161.2準用）を適用する。

イ. 胴の部分の補強に有効な面積

(イ) 管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

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

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

(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

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

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

ホ. 補強に有効な総面積

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

c. 大きい穴の補強

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110（設計・建設規格 PVC-3164準用）を適用する。

(a) 大きい穴の補強を要する限界径

イ. D_i が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、 $d \leq d_j$ の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

d. 溶接部の強度

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010（設計・建設規格 PVC-3168及びPVC-3169準用）を適用する。

(a) 溶接部の負うべき荷重

次の2つの計算式 (W_1 及び W_2) により求めた荷重のうちいずれか小さい方

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

管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

よって、 $W = \text{Min}(W_1, W_2)$

ここで、 $W < 0$ の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

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。

$$A_o > A_r$$

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

3.3 開放タンクの胴の穴の補強計算

クラス3容器については設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110及びPVD-3510（設計・建設規格 PVC-3950準用）を適用する。

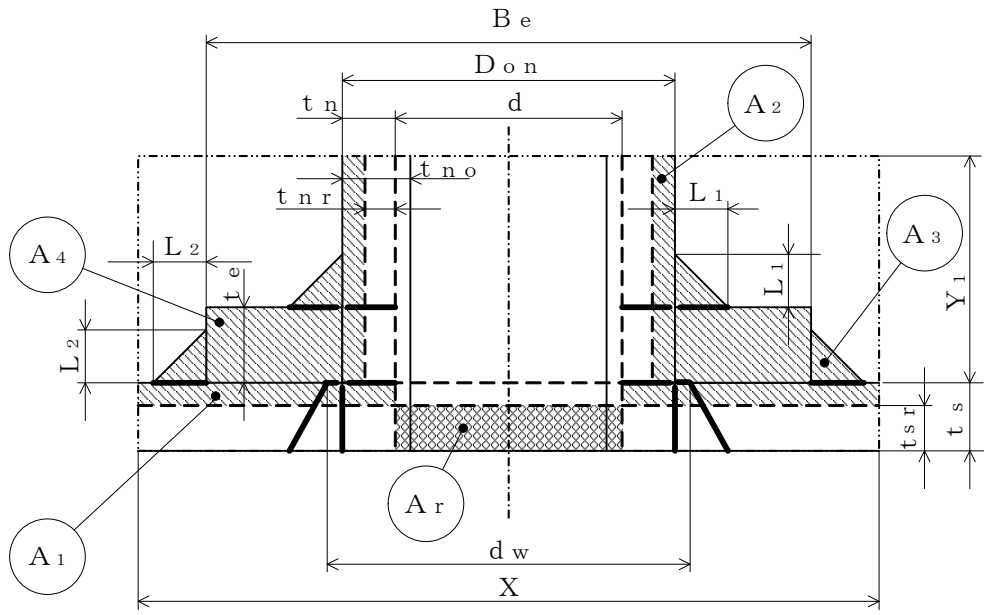
穴は、円形又はだ円形であることとする。

ただし、穴の径が85mm以下の場合は計算を行わない。

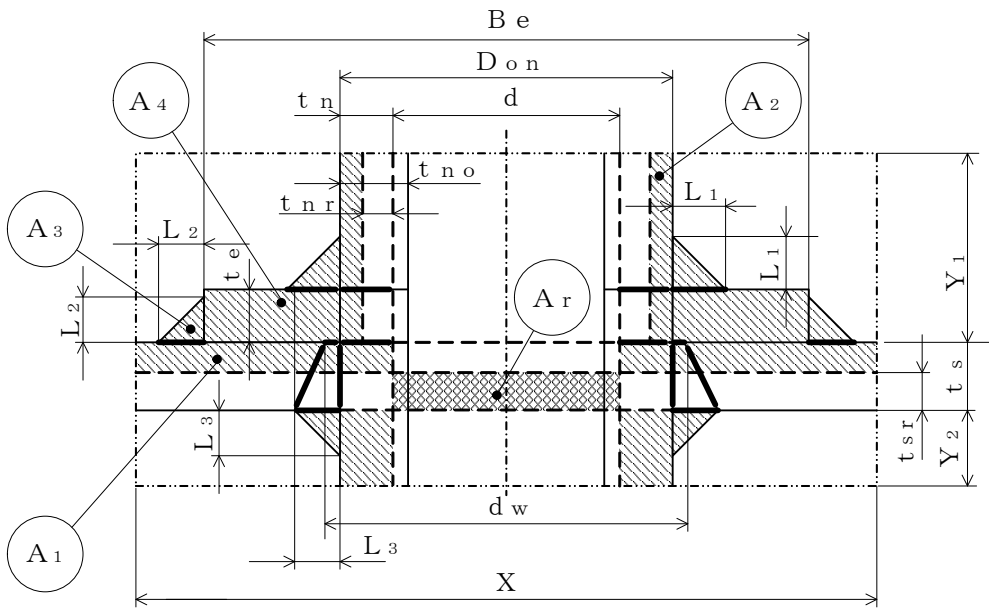
ここで、最高使用圧力Pは、次の式による値とする。

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

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。



WELD-12



WELD-18

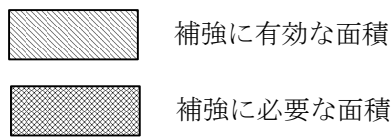


図3-1

別紙 容器の強度計算書のフォーマット

VI-3-○-○-○ ○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-5「クラス3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、VI-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 (℃)

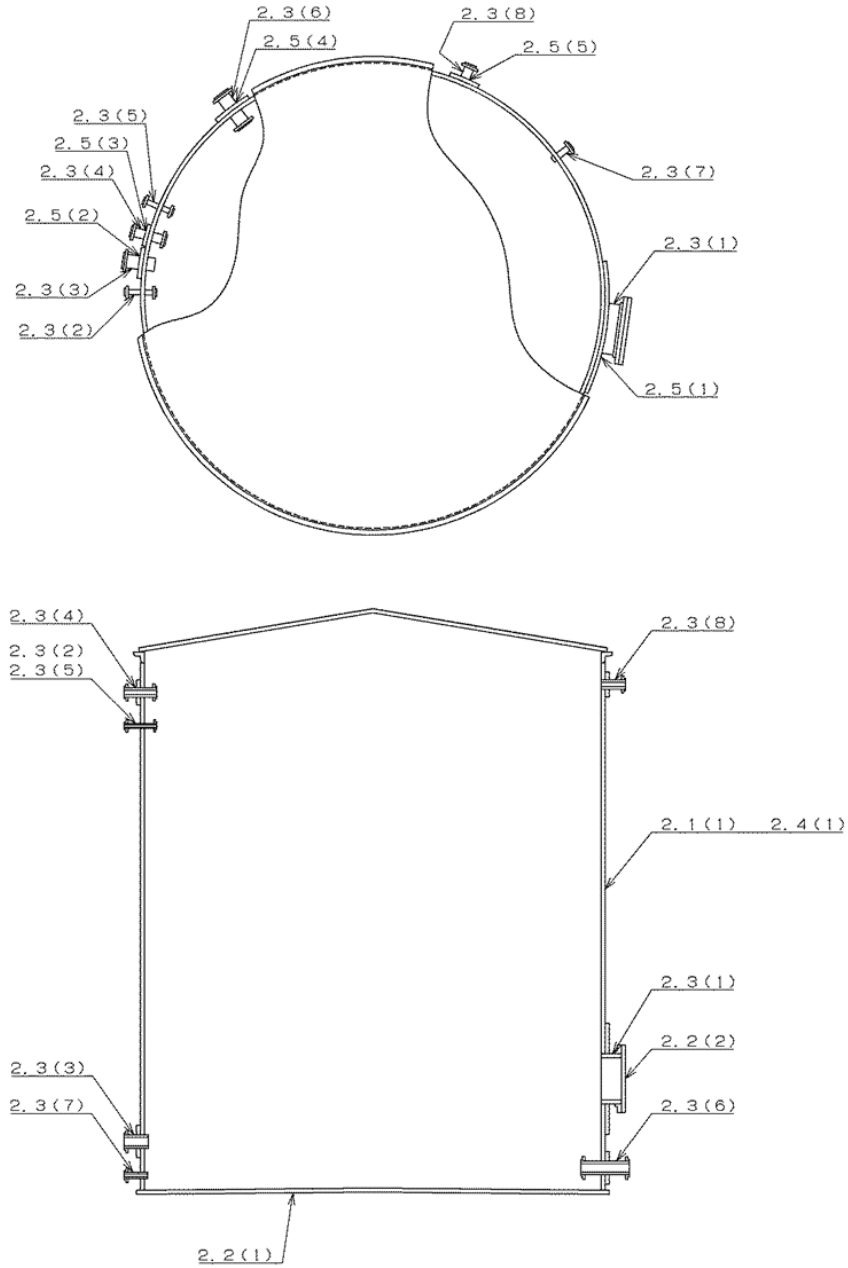
目 次

1. 計算条件	
1.1 計算部位	
1.2 設計条件	
2. 強度計算	
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算	
2.2 開放タンクの底板の厚さの計算	
2.3 開放タンクの管台の厚さの計算	
2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算	
2.5 開放タンクの穴の補強計算	

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の
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 (°C)	***

2. 強度計算

2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3920準用)

胴板名称	(1) 胴板	
材料		
水頭	H (m)	
最高使用温度	(°C)	
胴の内径	D_i (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)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
必要厚さ	t_3 (mm)	
t_1, t_2, t_3 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	
最小厚さ	t_s (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

2.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1)準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(1)準用)

底板の厚さ

底板名称		(1) 底板
材料		
必要厚さ	t (mm)	
呼び厚さ	t_{bo} (mm)	
最小厚さ	t_b (mm)	
評価： $t_b \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの底板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960(1)準用)

底板の形：平板

(ロ) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970(2)準用)

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 側マンホール平板
平板の取付け方法	(n)
平板の穴の有無	無し

(ハ) 設計・建設規格 PVD-3310 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 側マンホール平板	
平板材料		
ボルト材料		
ガスケット材料		
ガスケット厚さ	(mm)	
ガスケット座面の形状		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
平板の許容引張応力	S	(MPa)
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時) (20°C)	S _a (MPa)
	最高使用温度(使用状態)	S _b (MPa)
ボルト中心円の直径	C	(mm)
ボルト呼び		
ボルト本数	n	
ボルト谷径	d _b	(mm)
実際のボルト総有効断面積	A _b	(mm ²)
ガスケット接触面の外径	G _s	(mm)
ガスケット接触面の幅	N	(mm)
ガスケット係数	m	
最小設計締付圧力	y	(N/mm ²)
ガスケット座の基本幅	b _o	(mm)
ガスケット座の有効幅	b	(mm)
平板の径(ガスケット有効径)	d = G	(mm)
内圧による全荷重	W = H	(N)
使用状態での最小ボルト荷重	W _{m1}	(N)
ガスケット締付最小ボルト荷重	W _{m2}	(N)
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A _{m1} (mm ²)
	ガスケット締付時	A _{m2} (mm ²)
	いずれか大きい値	A _m (mm ²)
ボルト荷重	使用状態	W _o (N)
	ガスケット締付時	W _g (N)
	いずれか大きい値	F (N)
モーメントアーム	h _g	(mm)
取付け方法による係数	K	
必要厚さ	t	(mm)
呼び厚さ	t _{p o}	(mm)
最小厚さ	t _p	(mm)
評価：t _p ≥ t, よって十分である。		

2.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010及びPVD-3110 (PVC-3980準用)

管台名称	(1) ○○○入口	
材料		
水頭	H	(m)
最高使用温度		(°C)
管台の内径	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)
必要厚さ	t_2	(mm)
t_1, t_2 の大きい値	t	(mm)
呼び厚さ	t_{no}	(mm)
最小厚さ	t_n	(mm)
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

2.4 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板
評価：補強の計算を要する85mmを超える穴の名称	

2.5 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3110, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950準用)

参照附図 W E L D - 1 8

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

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： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	W_1	(N)
溶接部にかかる荷重	W_2	(N)
溶接部の負うべき荷重	W	(N)
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。		

VI-3-2-6 クラス 3 管の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	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. クラス3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	22
2.5 レジューサの強度計算	25
2.6 管の穴と補強計算	28
2.7 フランジの強度計算	53
2.8 伸縮継手の強度計算	68
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、VI-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、発電用原子力設備のうちクラス3管の基本板厚計算書（以下「強度計算書」という。）について説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

- (1) 強度計算は、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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

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

- (2) 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。
日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

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

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

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

- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
- b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鉄製管フランジ通則」
- c. J I S B 8 2 1 0 (1994) 「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

(5) 管の接続

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

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
PPD-3411 (直管) PPD-3411 (1) PPD-3411 (2) PPD-3411 (3) PPD-3412 (曲げ管) PPD-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)
PPD-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPD-3414 (フランジ) PPD-3414 (1) PPD-3414 (2) PPD-3414 (3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4) フランジ継手)
PPD-3415 (管継手) PPD-3415 (1)		1.2(3) 管継手
PPD-3415.1 (レジューサ) PPD-3415.1 (1) PPD-3415.1 (2) PPD-3415.1 (3) 準用 PVC-3124.2 (外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算 (円すい及びすその丸みの部分 (外面に圧力を受けるもの))

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
PPD-3415.2 (鏡板) PPD-3415.2(1) PPD-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPD-3416 (伸縮継手)	2.8	伸縮継手の強度計算
PPD-3420 (穴と補強) PPD-3421 PPD-3422 PPD-3423 PPD-3424 PPD-3422(3)	2.6 2.3	管の穴と補強計算 平板の強度計算

表1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「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	2.7	フランジの強度計算*
	3		
	4		
	5		

注記* : 設計・建設規格 PPC-3414(2)により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」という。) の附属書3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、本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ため、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	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
力	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：管の穴と補強計算の分岐管の中心線と主管の中心線との交角に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

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

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

(継目無管：S，溶接管：W)

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

(例)

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

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

(例) SS400 (16mm<径≤40mm)

- (5) ガasket材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお、この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力 (y) は、J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3によりガasketメーカ推奨値を適用する。

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1) 管継手の表示方法

概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“*”を付け、概略系統図中に“注記*：管継手”と表示する。

(2) 管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中、管の途中において仕様変更が生じる場合は“—●—”のように表示する。

2. クラス3管の強度計算方法

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

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	NO.	管, 平板, 鏡板, レジューサ, 管の穴, フランジ及び伸縮継手等の番号 数字のみ: 管 B: 平板 C: 鏡板 R: レジューサ T: 管の穴 F: フランジ E: 伸縮継手 SP: 穴あき管	—
P	P	最高使用圧力 (内圧)	MPa
P_e	P_e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率 管及び鏡板は設計・建設規格 PVD-3110による。 レジューサは設計・建設規格 PVC-3130による。	—

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は、設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{op} となる。)	—
D_o	D_o	管の外径	mm
l	l	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	t_r として用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPD-3411(1)の式より求めた値：t

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

b. 外面に圧力を受ける管

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

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

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPD-3411(3)の表PPD-3411-1より求めた値 …………… (C)

(3) 評価

t, t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ(t_s) ≥ 管に必要な厚さ(t_r)ならば強度は十分である。

(4) 補足

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

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

2.3 平板の強度計算

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

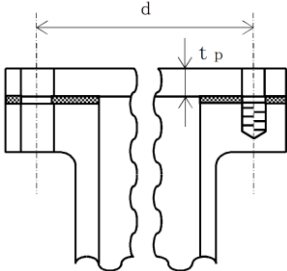
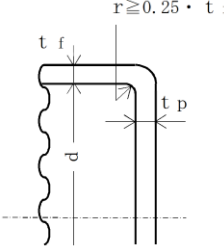
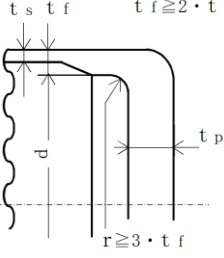
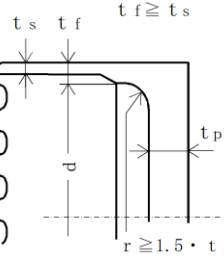
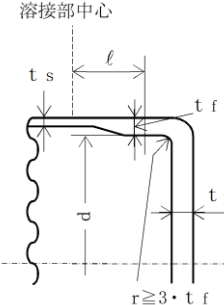
(1) 記号の説明

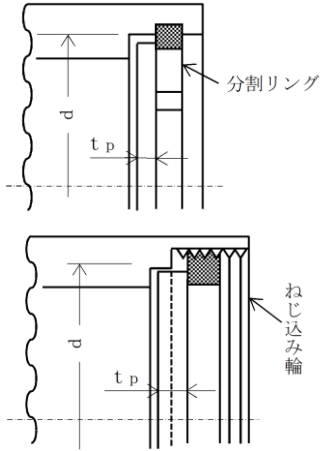
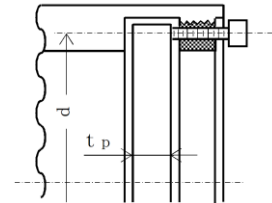
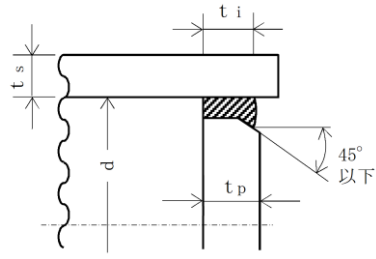
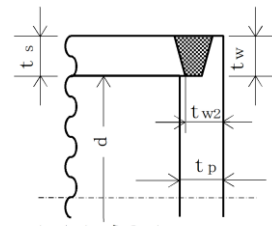
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPD-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h _g	h _g	ボルトのピッチ円の直径とdとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t _r /t _s	—
m	m _g	ガスケット係数（JIS B 8265 附属書3 表2による。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm

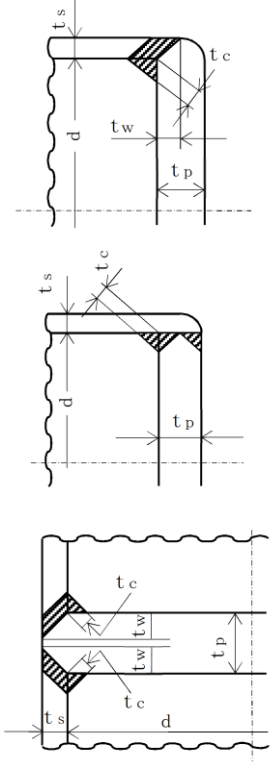
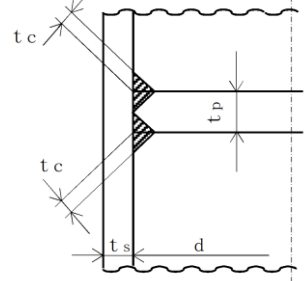
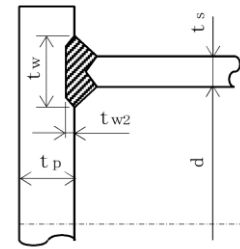
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S _x	ボルトの許容引張応力 (S _a 又はS _b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S ₁	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _c	t _c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t _f , t	t _f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t _w	t _i	平板ののど厚	mm
t _n	t _n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	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 _{w 1}	t _w	平板の溶接部の深さ	mm
t _{w 2}	t _{w 2}	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 _{m 1}	W _{m 1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	N/mm ²

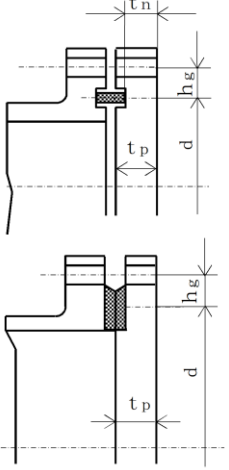
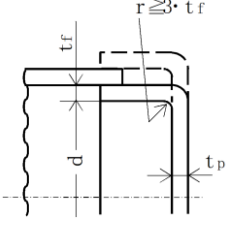
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)~(o)	π	円周率	—
	σ _p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—
	ガスケット座面の形状	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1による。	—
	3A~30	取付け方法の表示区分	—

(2) 形状の制限

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

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_1 \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_i \geq 2 \cdot t_r$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>
<p>(i)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_w \geq t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_w \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_r$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(j)</p> 	<p>(1) 平板が鍛造品で、かつ、平板の面からの開先角度が45°未満の場合 $t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p)$ かつ、 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p> <p>(2) (1)以外の場合 $t_w \geq \text{Min}(t_s, 0.5 \cdot t_p)$ かつ、 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(k)</p> 	<p>$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(l)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(m)</p> 	<p>無し</p>
<p>(n)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$, $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。</p>
<p>(o) その他の場合</p>	<p>無し</p>

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

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

Kの値は以下による。

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

注記*1：取付け方法（e）の場合

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

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

(b) 管が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにならって
 $t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記*2：取付け方法（g）の場合の σ_p は以下による。

(a) ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o はJIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力

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

注記*3：取付け方法 (m) の場合の F 、 h_g 、 W 及び d は以下による。

(a) ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、 P は2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

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

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

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

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

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

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

(4) 評価

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

(5) 補足

a. 取付け方法は、設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1の条件を満足するものとする。

b. スペクタクルフランジの取付け方法は (g) タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

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

(1) 記号の説明

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

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPD-3415.2(1)a. により以下とする。

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

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし、

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

b. 全半球形鏡板鏡部

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPD-3415.2(1)c.により以下とする。

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

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

ただし,

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

(b) 中高面に圧力を受けるもの

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

d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 …………… (D)

(b) 外面に圧力を受ける管 …………… (D')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …………… (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3) 評価

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

(4) 補足

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

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は、設計・建設規格 PPD-3415.1（設計・建設規格 PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算 により最終的に t_3 となる。)	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分 の軸に垂直な断面の内径	mm
D_o	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	D_{ol}	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格 PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1 より求めた係数	—
r, r_o, r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 (円すいの丸みの外半径)	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表 6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図 表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍、又は設 計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める 値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	t_{sl}	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算 式	tとして用いる値の算式(計算上必要な厚さが最大 となる算式)	—
	端部記号	大径端, 小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

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

- a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

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

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

- b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格 PPD-3415.1(1)b. の式PPD-1.9より求めた値

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

ただし、

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

小径端側

設計・建設規格 PPD-3415.1(3)の式PPD-1.11より求めた値

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

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

- c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 (C)

(b) 外面に圧力を受ける管 (C')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

} (B)

- d. 円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

- (a) 円すいの頂角の2分の1が 22.5° 以下のもの

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

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

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

- ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

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

- (b) 円すいの頂角の2分の1が 22.5° を超え 60° 以下のもの

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

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

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

- ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

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

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

- (3) 評価

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

- (4) 補足

- 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、設計・建設規格 PPD-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
直管 又は 曲げ 管の 記号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{rr} となる。)	—
	D	D_{or}	主管の外径	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
η	η	継手の効率 継手の効率 設計・建設規格 PVC-3130に規定する効率 (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) 1.00 (その他の場合)	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径と同じ)	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPD-3424(1)の表PPD-3424-1及び表PPD-3424-2による。	—
	K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f.の表PPD-3415.2-1による。	—
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
		t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{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 _{c o}	平板の呼び厚さ	mm
	t _{s r} , t _{r 2}	t _{c r}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表 PPD-3413-1による。	—
	(a)~(o)	3A~30	取付け方法の表示区分	—

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共 通 記 号 (管 の 穴 と 補 強 計 算)	A	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A ₁	穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A ₂	穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A ₄	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	A _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A _{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A _{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
	A _s	A _{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
		A _{s r}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm ²
		A _{s o}	2つの穴の間の主管の断面積	mm ²
		A _{r i}	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm ²
		A _{o i}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm ²
		A _{r s}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{2 s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A _{3 s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4 s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	D _i	D _{i b}	管台の内径	mm
		D _{i r}	主管の内径	mm
		D _{o b}	管台の外径	mm
		D _{o e}	強め材の外径	mm
		d _D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d _{f r D}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d _{r 1}	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格 PPD-3424(1)b. により求められる係数	—
		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数	—
F ₂		突合せ溶接の引張応力係数	—	
F ₃		突合せ溶接のせん断応力係数	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
共通記号 (管の穴と補強計算)		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値	mm	
		L _A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm	
		L _{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm	
		L _N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm	
		L _{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm	
		ℓ	L _s	2つの穴の中心間の距離	mm
			L ₁	管台のすみ肉部の脚長 (A形, B形) 又は管台補強部の短辺長さ (C形) *	mm
			L ₂	強め材のすみ肉部の脚長*	mm
		P, P _e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
			Q _b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
		S	S _b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
		S	S _e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
			S _{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
			S _{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
			S _{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
		t _n	t _b	管台の最小厚さ	mm
			t _{bn}	管台の公称厚さ	mm
		t _{nr}	t _{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
			t _e	強め材の最小厚さ	mm
			W	溶接部の負うべき荷重	N
		W _{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N	
		W _{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N	

注記* : 設計・建設規格の図PPD-4000-4による。

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共通記号 (管の穴と補強計算)	θ	W e 3	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W e 4	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W e 5	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W e b p 1	予想される破断箇所の強さ	N
		W e b p 2	予想される破断箇所の強さ	N
		W e b p 3	予想される破断箇所の強さ	N
		α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	—
		形 式	管台の取付け形式	—

(2) 計算手順及び算式

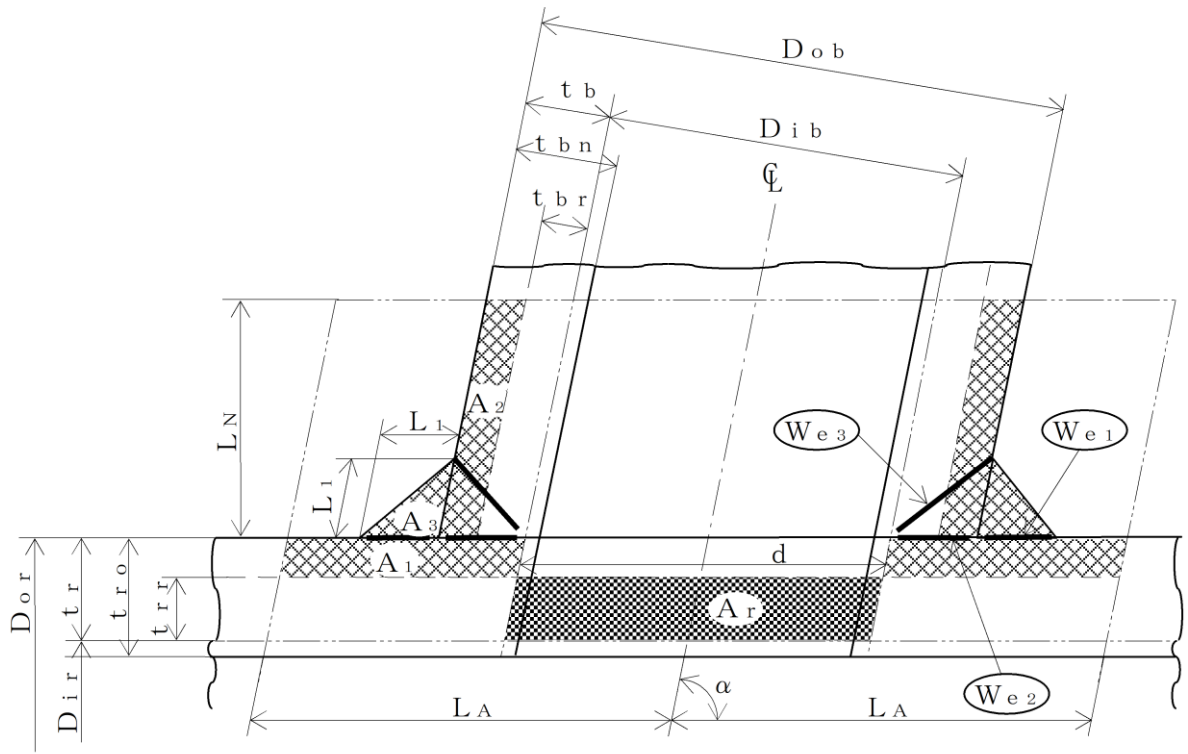
a. 穴の形状


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


b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

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



 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




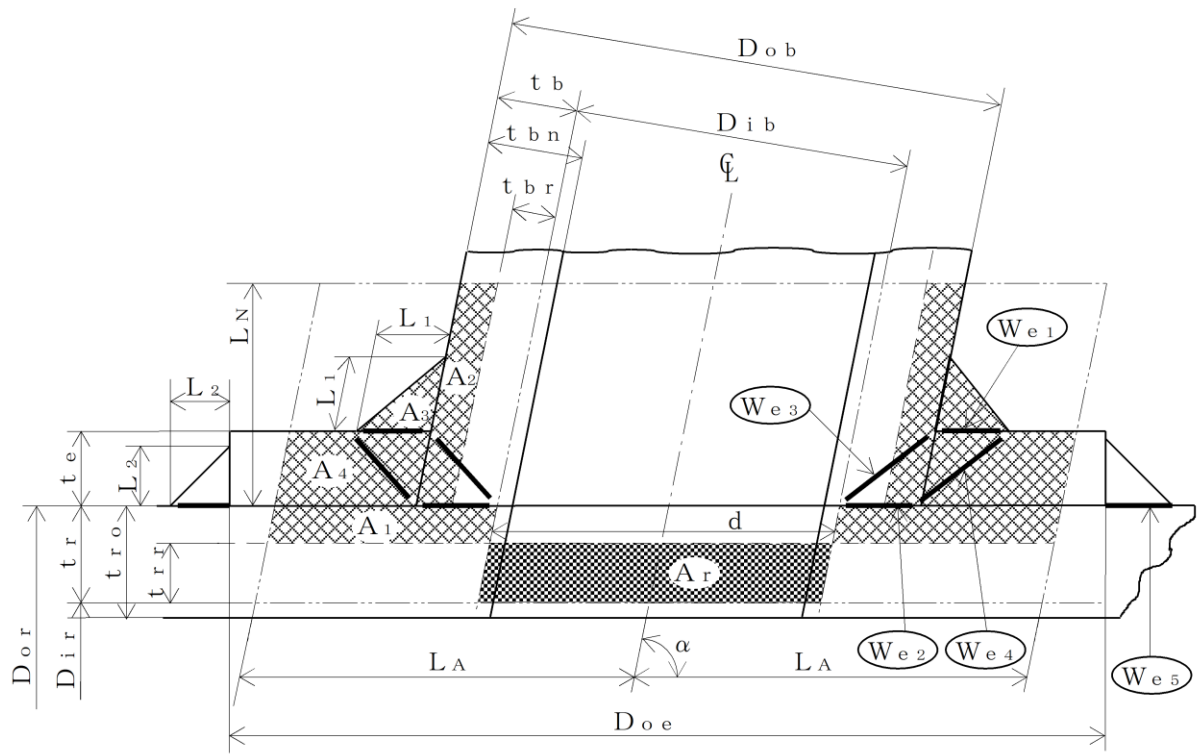


-  を通る破断
-   を通る破断

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







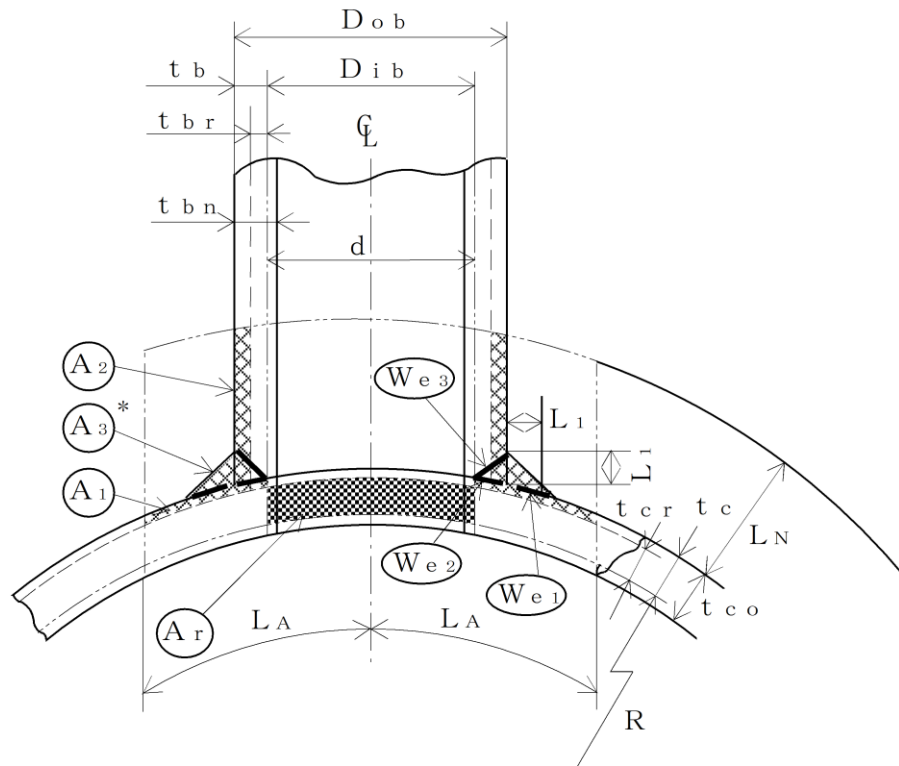


-   を通る破断
-   を通る破断
-   を通る破断

図2-2 B形 (強め材のある場合)



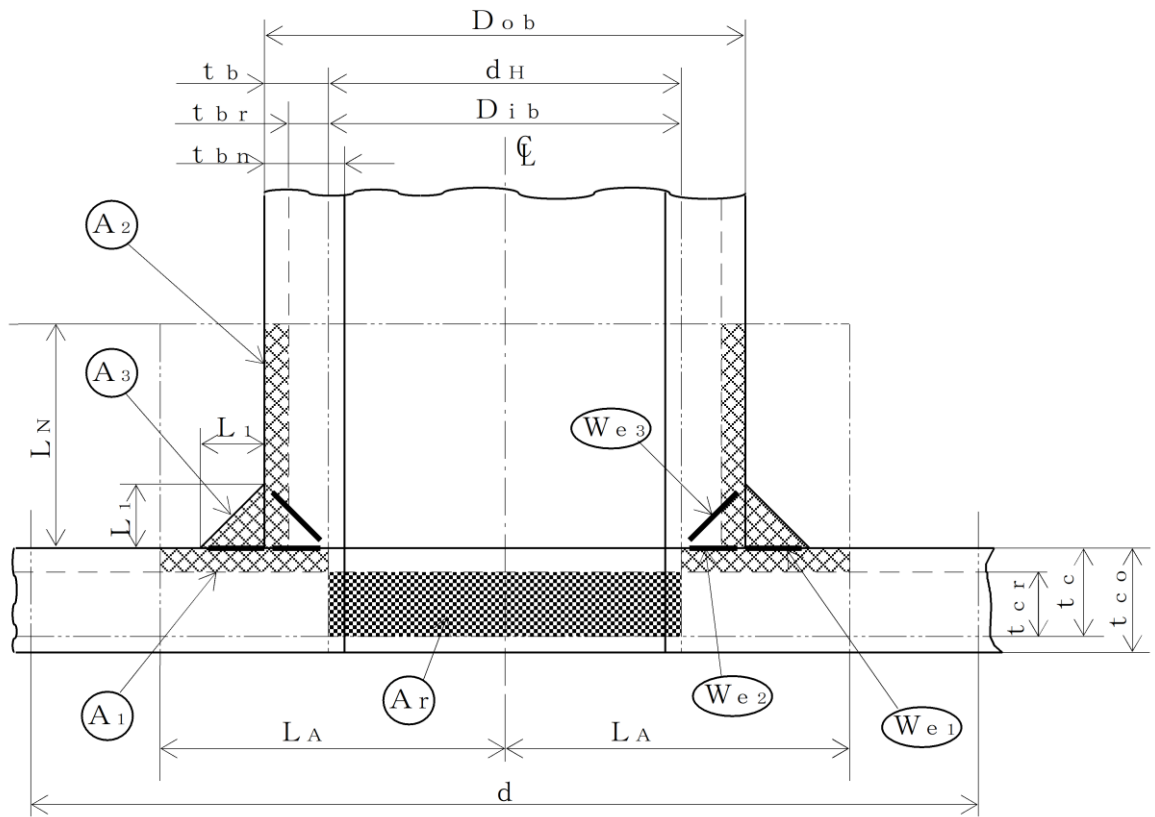
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積



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、
補強面積計算上は考慮しない。

図2-3 A形 (鏡板で強め材のない場合)

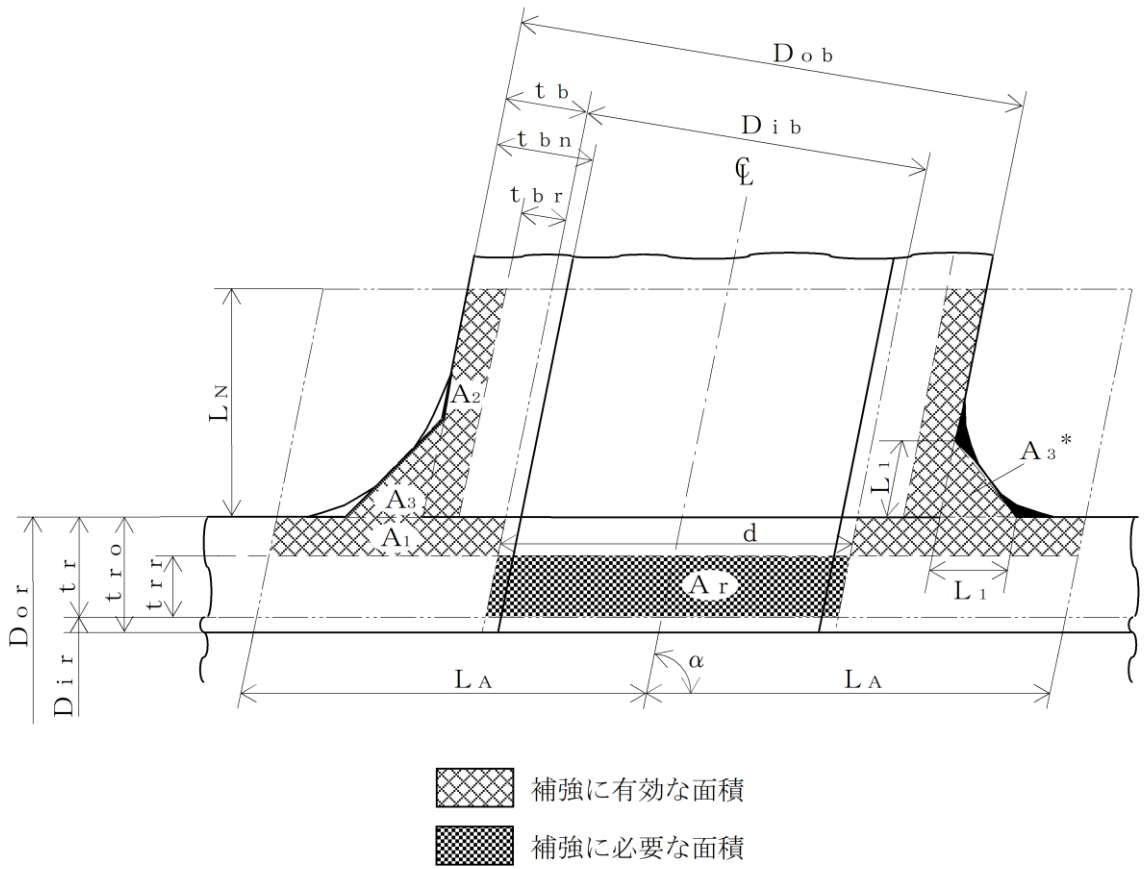


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

図2-4 A形（平板で強め材のない場合）



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

図2-5 C形 (一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPD-3422を適用する。

(a) 算式

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

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

ロ. 平板以外の管に設ける穴であって、イ項に掲げるものを除き、穴の径が200mm以下で、かつ、設計・建設規格の図PPD-3422-1及び図PPD-3422-2により求めた値以下の穴 (d_{r2})

直管又は曲げ管の場合

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

鏡板の場合

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

ただし、Kの値は次の算式による。

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) さらに形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

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

(ハ) 全半球形鏡板の場合

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

ただし、 $K > 0.99$ の場合は $K = 0.99$ とする。

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

(イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の2分の1以下の場合

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

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

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

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

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径 (d_{fr}) \geq 断面に現われる穴の径 (d) 又は平板の最小厚さ (t_c) \geq 補強を要しない平板の計算上必要な厚さ (t) ならば, 穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は, d項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)a. を適用する。

ただし, 構造上計算した有効範囲が取れない場合は, 構造上取り得る範囲とする。

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

イ. 直管又は曲げ管の場合

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

ロ. 鏡板の場合

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

ハ. 平板の場合

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

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 (L_N) は, 次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

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

ロ. 鏡板の場合

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

ハ. 平板の場合

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

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ (t_{rr} 又は t_{cr}) は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)b. (a)を適用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

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

ただし, $\eta = 1.00$

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

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

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

ただし, $W=1.00$ 及び $\eta=1.00$

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

ロ. 半だ円形鏡板

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

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

ハ. 全半球形鏡板

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

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

(c) 平板の場合

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

f. 管台の厚さの計算

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

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

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

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

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

(ハ) 平板の場合

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

ロ. 補強に有効な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

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

(強め材が有効範囲 L_A の外までである場合)

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

(ロ) 鏡板の場合

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

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

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

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(ハ) 平板の場合

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

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

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

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b) 評価

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

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径 (d_{frD})

イ. D_{ir} が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}) \geq 断面に現われる穴の径 (d) ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は、 i 項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は，設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

ただし，構造上計算した有効範囲が取れない場合は，構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

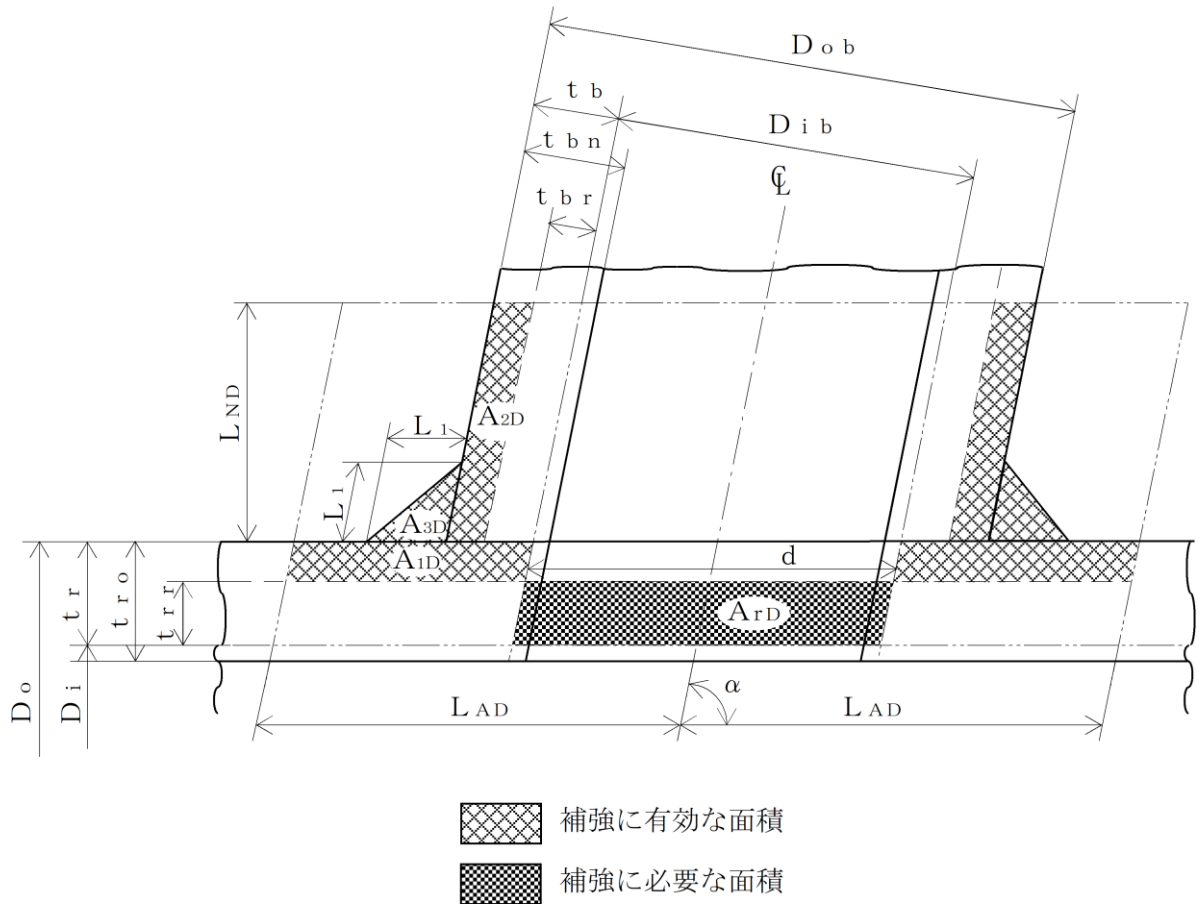


図2-6 A形 (強め材のない場合)

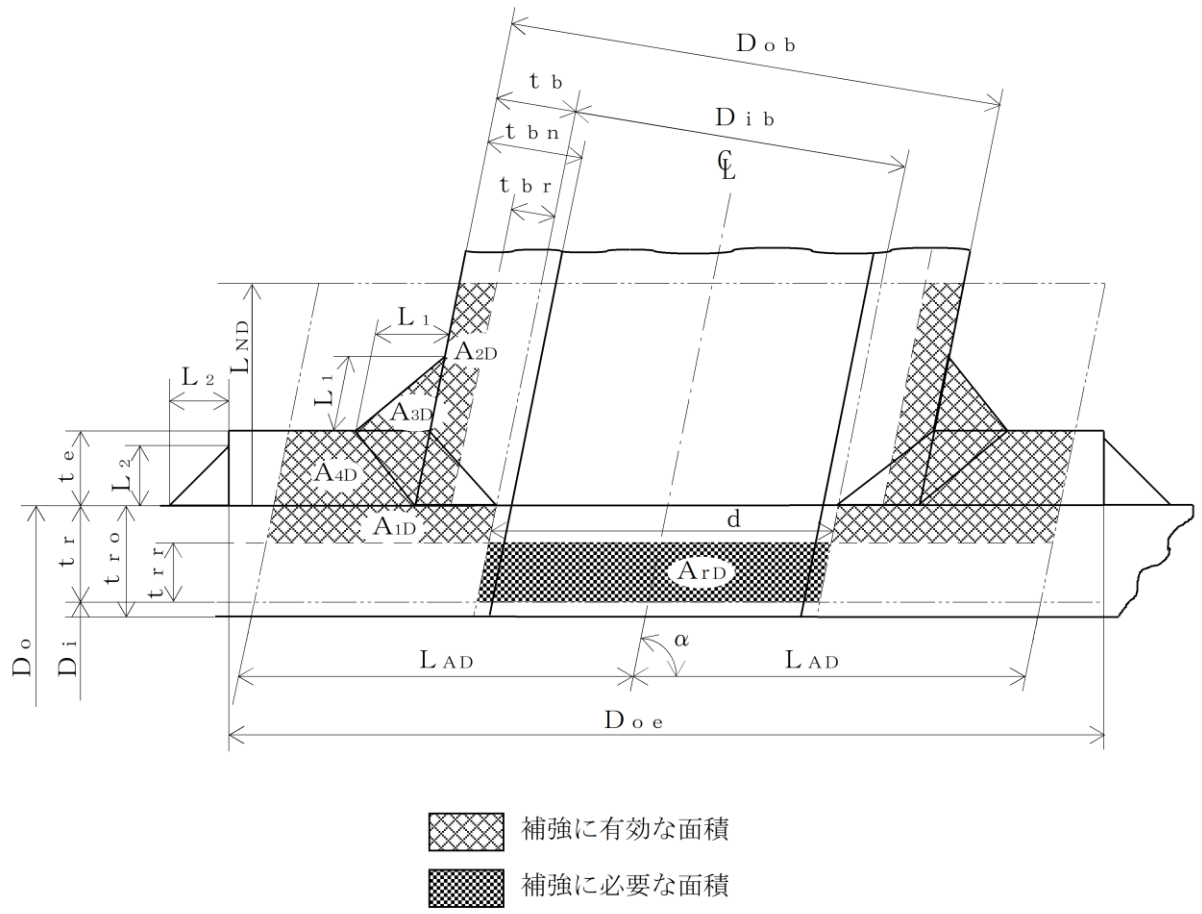


図2-7 B形 (強め材のある場合)

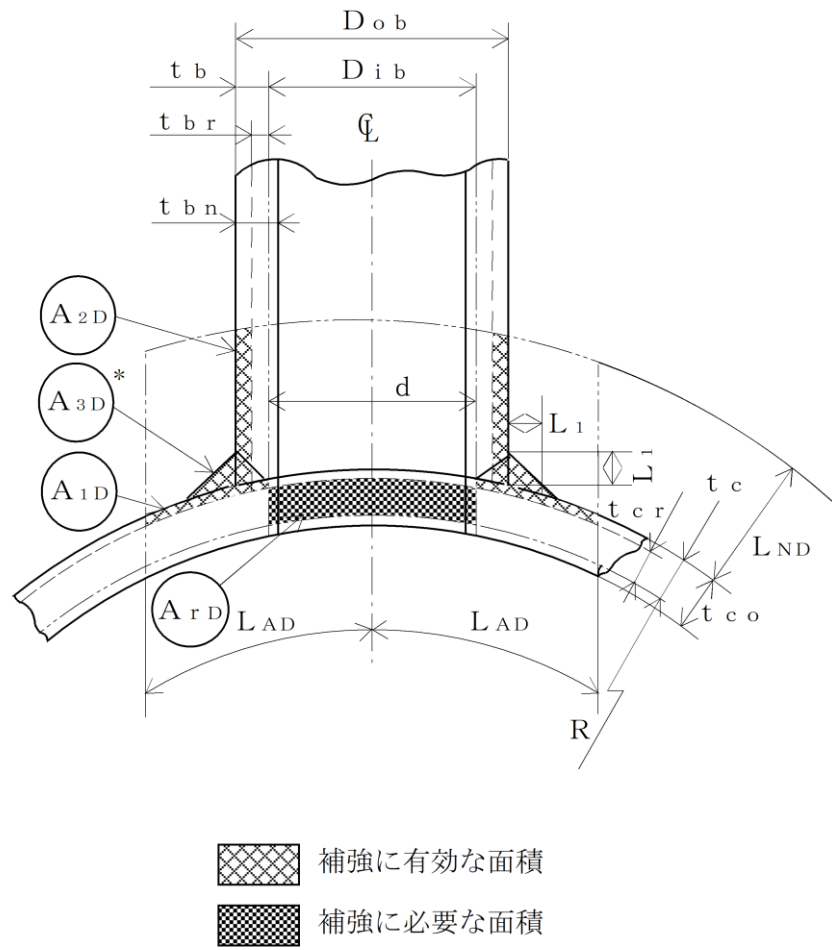


図2-8 A形（鏡板で強め材のない場合）

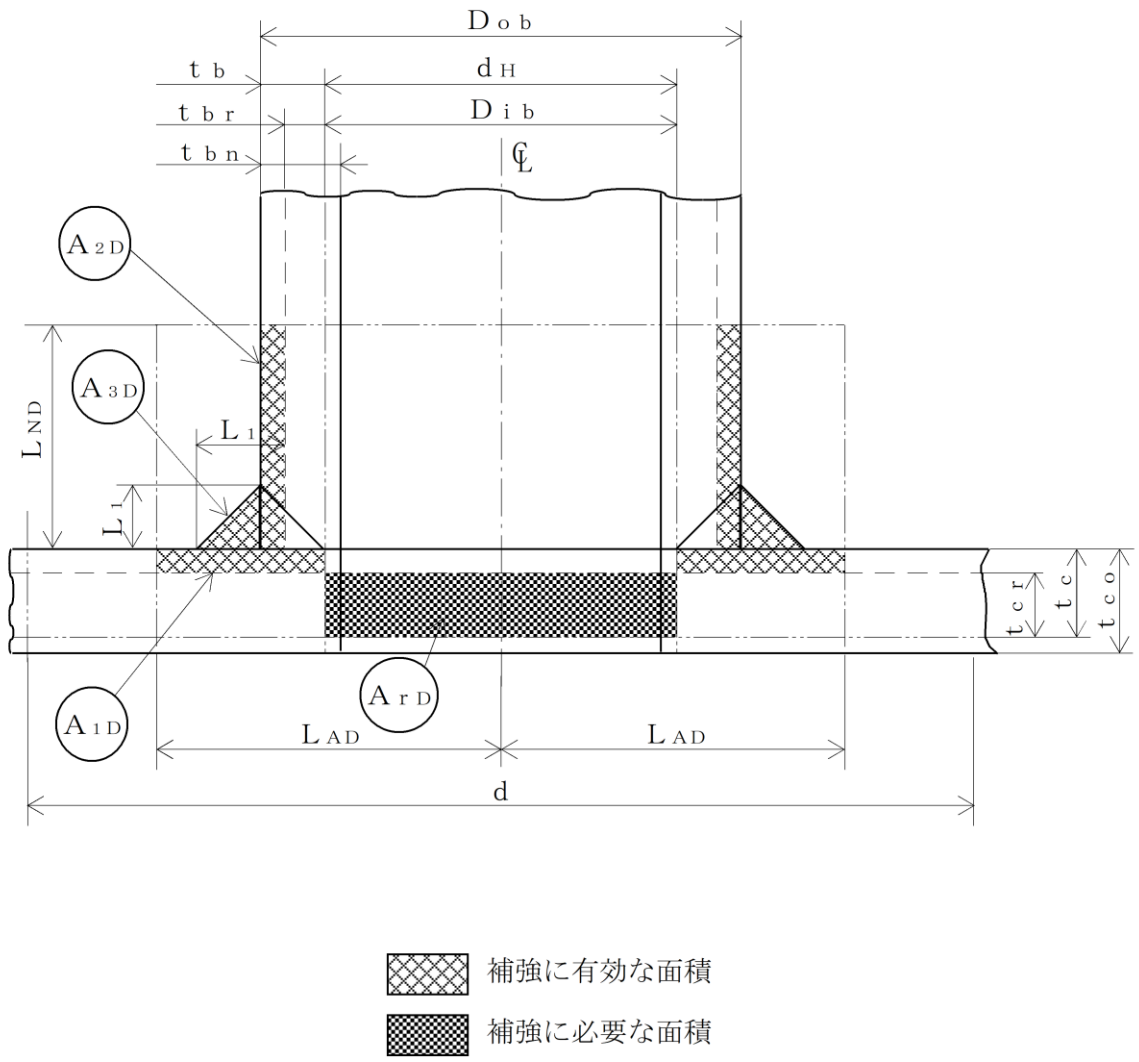
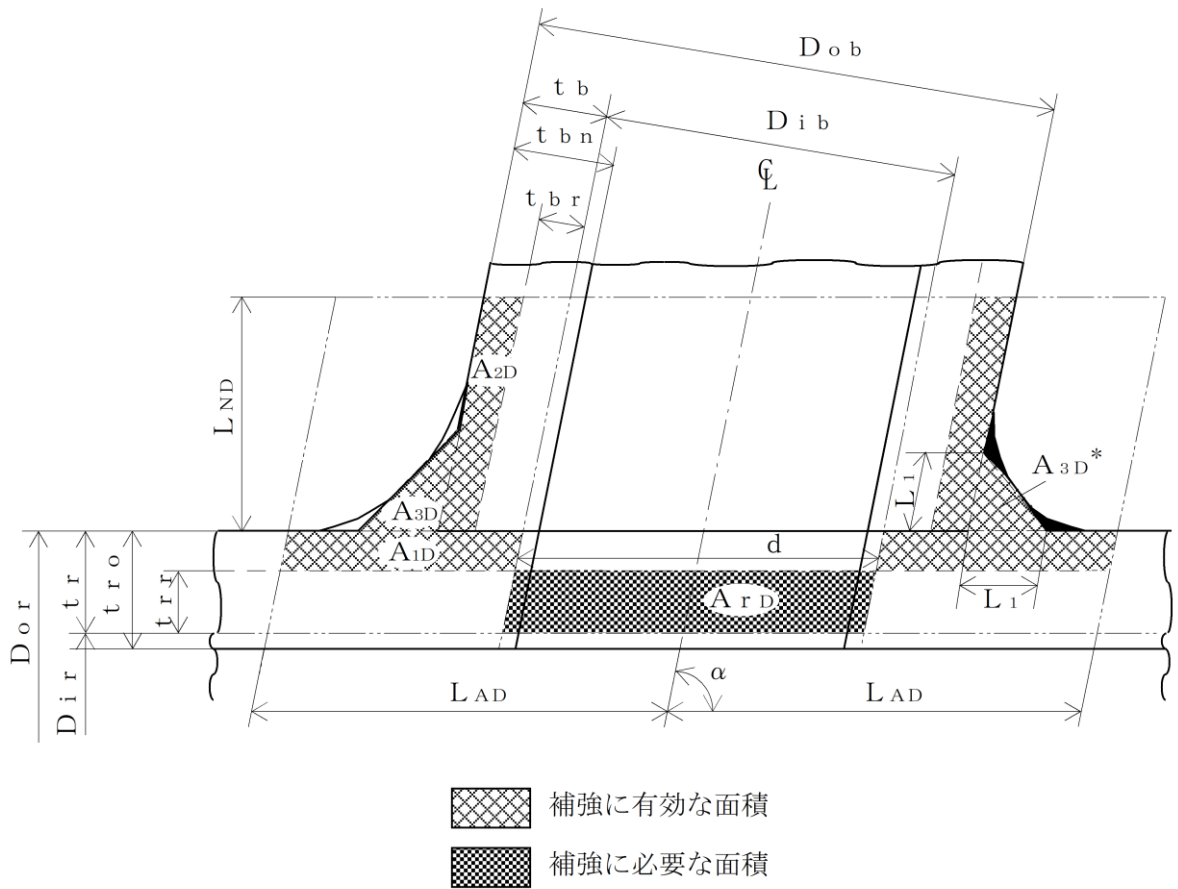


図2-9 A形 (平板で強め材のない場合)



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

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

- (b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

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

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

- j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

- (a) 算式

- イ. 大穴の補強に必要な面積

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

- ロ. 大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_{r1} - F \cdot t_{r2}) \cdot (2 \cdot L_{AD} - d)$$

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

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

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{3D} = A_3$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{3D} = 0$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{4D} = A_4$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{4D} = \left(3 \cdot \frac{d}{2} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

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

- (b) 評価

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

k. 2つ穴の補強計算

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

以下、直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

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

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

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

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

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

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

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

A_r 及び A_{rs} は1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

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

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

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

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

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

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

1. 溶接部の強度計算

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

ただし、C形に関しては評価すべき溶接部がないため、強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

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

(ハ) 平板の場合

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

ロ. 溶接部の許容応力

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

(ロ) 鏡板又は平板の場合

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

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

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

ハ. 溶接部の破断強さ

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

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

(ロ) 鏡板の場合

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

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

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

(ハ) 平板の場合

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

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

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

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

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

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

(ロ) B形の管台形式の場合

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

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

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

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし、溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0を超える場合

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

(3) 補足

a. 穴の補強計算、大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際、

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

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは、1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は、本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 PPD-3414を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格又はJ I Sの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A m	A m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₁	A m ₁	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₂	A m ₂	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)及び一体形フランジで f の最小採用値は1であるが、J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4より求まる f が1未満となる場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{ (一体形フランジの場合)} \right)$ $\left(= \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{ (ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の場合)} \right)$	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 $\left(= \frac{F}{h_0} \text{ (一体形フランジの場合)} \right)$ $\left(= \frac{F_L}{h_0} \text{ (ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の場合)} \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図5又は表4による。)	—

設計・建設 規格又は 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
H _G , H _G	H _G	ガスケット荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h _D	h _D	ボルト穴の中心円からH _D 作用点までの半径方向の距離	mm
h _G	h _G	ボルト穴の中心円からH _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からH _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—
M _D	M _D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M ₀	M ₀	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm

設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
m	m _g	ガスケット係数 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (JIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
M	M _e	フランジに作用するモーメント	N・mm
P _{FD}	P	設計圧力 (応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力にP _{e q} を加えたものである。)	MPa
P _{e q}	P _{e q}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジに作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $\left(= \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} \right)$	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 (=A/B) 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 (=A/B) 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 _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (=A/B) の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	—

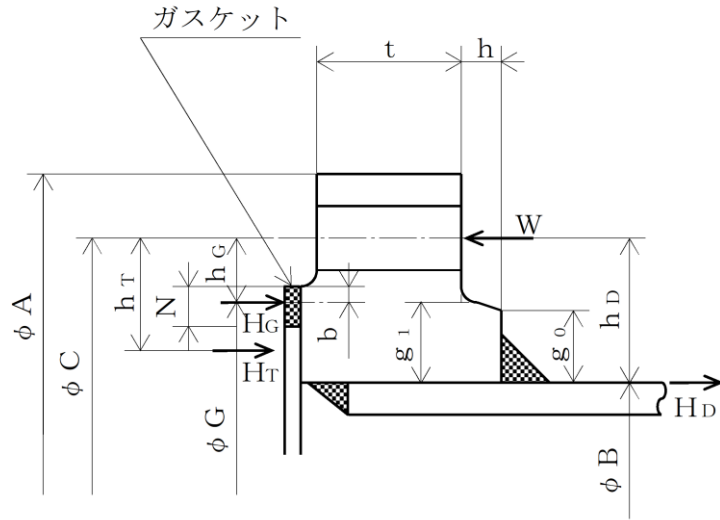
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	K (=A/B) の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—

注記* : JIS B 8265は「N/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

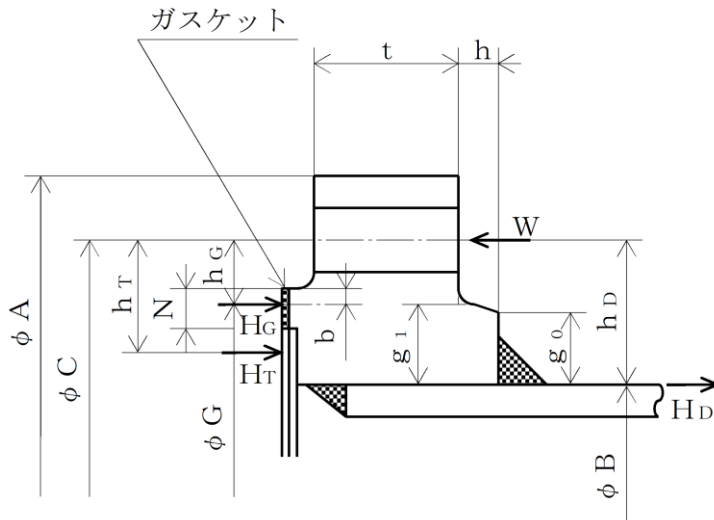
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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。

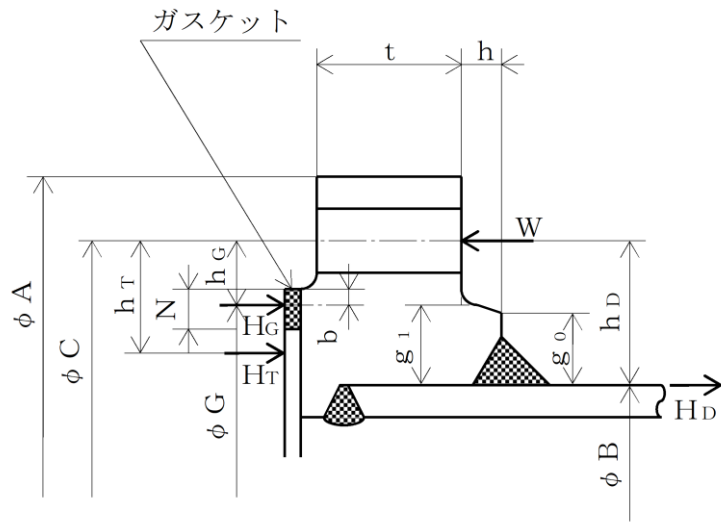
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



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)

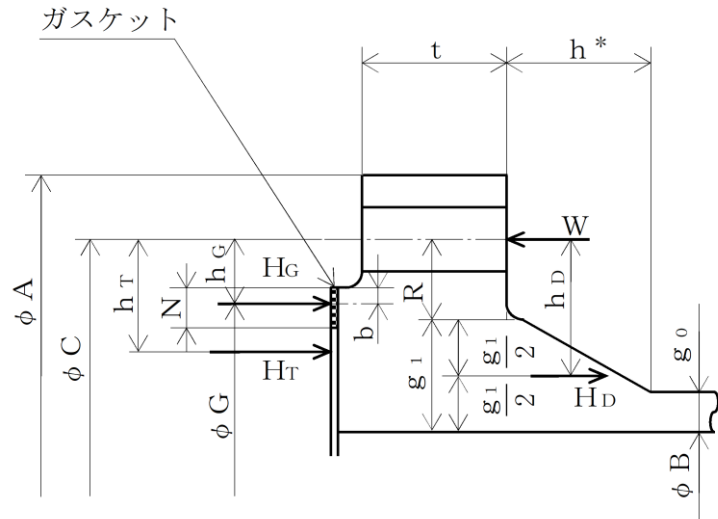
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



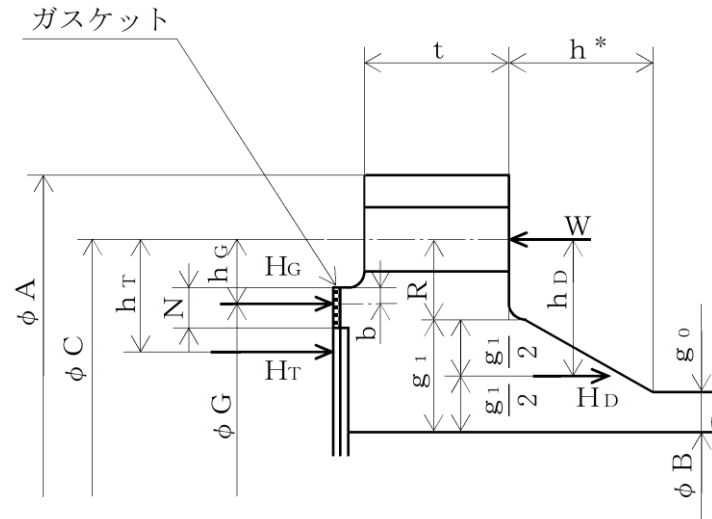
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

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）



TYPE-4 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)



TYPE-5 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)

注記* : フランジに近いハブのこう配が1/3以下の場合はhは下図に従う。

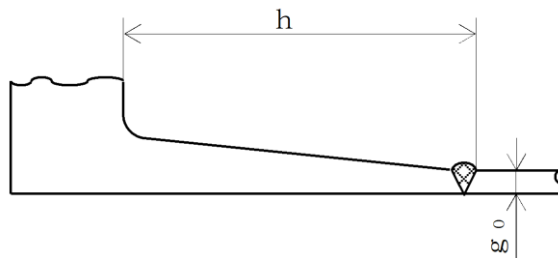
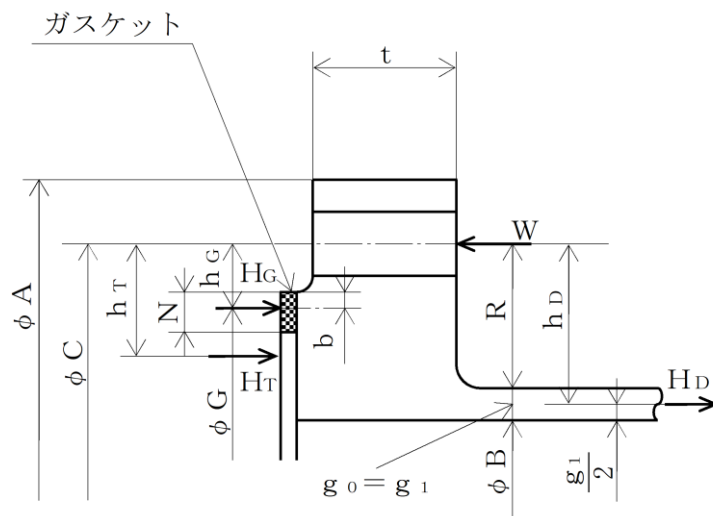
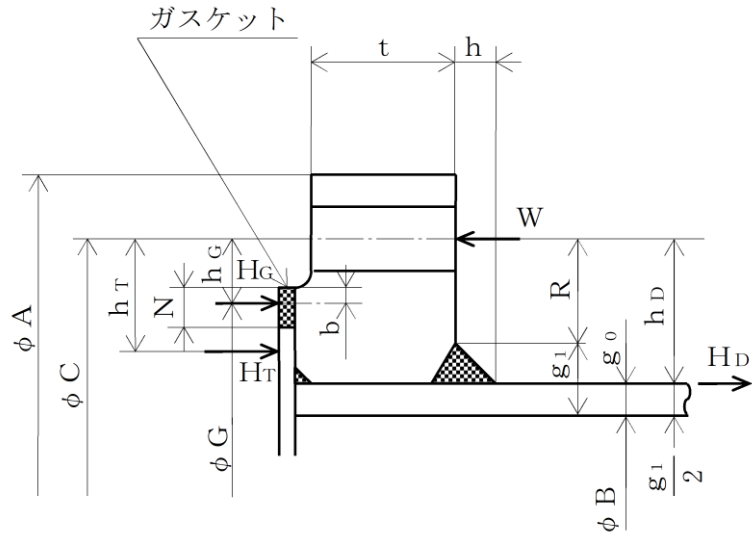


図2-13 一体形フランジ

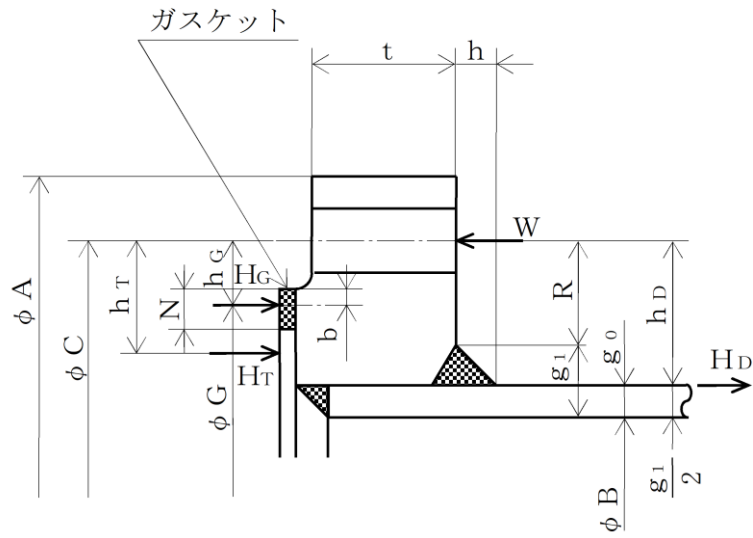


TYPE-6 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 12)
(一体形フランジとして計算)



TYPE-8 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 11)
(一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

(3) 内圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

b_o ≤ 6.35mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mm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

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

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

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

(b) ガasket締付時に必要なボルト荷重

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

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

- f. 使用状態でフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

ただし,

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

- g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

- h. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

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

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の応力

- (a) 使用状態でフランジの応力

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

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

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

(b) ガ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,

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

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

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

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

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

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

また、Bが $20 \cdot g_1$ より小さいときは、ハブの軸方向の応力 (σ_{Ho}) 及び σ_{Hg} の計算式のBの代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- | | |
|----------------|--|
| (a) ボルトの総有効断面積 | $A_m < A_b$ |
| (b) ハブの軸方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (c) フランジの径方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (d) フランジの周方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |

(4) 外圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

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

b_o ≤ 6.35mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mm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 · g ₁	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$

ただし、

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

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

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

h. ガasket締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(b) ガasket締付時のフランジの応力

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

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

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

ただし、

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

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

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

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

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

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

また、 B が $20 \cdot g_1$ より小さいときは、ハブの軸方向の応力（ σ_{Ho} ）及び σ_{Hg} の計算式の B の代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

外圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- (a) ボルトの総有効断面積 $A_{m2} < A_b$
- (b) ハブの軸方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (c) フランジの径方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (d) フランジの周方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、設計・建設規格 PPD-3416を適用する。

(1) 記号の説明

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

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

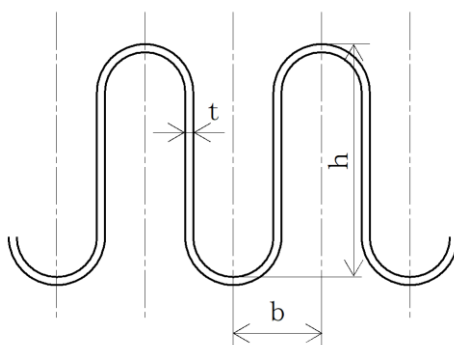


図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

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

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

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

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

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

(4) 評価

実際の繰返し回数 (N_r) と許容繰返し回数 (N) の比 ($U = N_r / N$) が $U \leq 1$ であれば伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値 ($U = \sum_i (N_{r i} / N_i)$) が $U \leq 1$ であれば伸縮継手の強度は十分である。

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

- 基本板厚計算書の概略系統図記載要領については、VI-3-2-2「クラス1管の強度計算方法 別紙
1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領」による。

別紙 2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、VI-3-2-2「クラス1管の強度計算方法 別紙2
管の基本板厚計算書のフォーマット」による。

VI-3-2-7 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	5
1.5 材料の表示方法	7
2. 重大事故等クラス2容器（クラス1容器又は原子炉格納容器を除く。）の強度計算方法	8
2.1 共通記号	8
2.2 円筒形の胴の計算	10
2.3 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算	11
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	40
2.14 開放タンクの管台の計算	42
2.15 熱交換器の伝熱管の計算	43
3. 穴の補強計算	44
3.1 記号の説明	44
3.2 容器の穴の補強計算	49
3.3 開放タンクの胴の穴の補強計算	75
3.4 開放タンクの鏡板の穴の補強計算	75
3.5 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算	76
4. フランジの強度計算	116
4.1 記号の説明	116
4.2 フランジの計算	120
5. 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、VI-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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

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。

日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は表1-2に示すとおりである。

- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）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. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
- b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」

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 PVC-3122(1) PVC-3150(2) PVC-3160 PVC-3162	2.2 2.3 3.2 3.5	円筒形の胴の計算 容器の胴の補強を要しない穴 の最大径の計算 容器の穴の補強計算 2つ以上の穴が接近している ときの補強計算
PVC-3200 (容器の鏡板についての規定) PVC-3210(1) PVC-3220 PVC-3221 PVC-3210(2) PVC-3223(1) PVC-3210(3) PVC-3220 PVC-3225 PVC-3230(2) PVC-3240	2.4 2.5 2.6 2.7 3.2	さら形鏡板の計算 全半球形鏡板の計算 半だ円形鏡板の計算 容器の鏡板の補強を要しない 穴の最大径の計算 容器の穴の補強計算

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34条 (容器の平板についての規定) 第1項 第2項	2.8	円形平板の計算
PVC-3300 (容器の平板についての規定) PVC-3310 PVC-3320 PVC-3320(2)	2.8 3.2	円形平板の計算 容器の穴の補強計算
PVC-3500 (容器の管板についての規定) PVC-3510	2.10	容器の管板の計算
PVC-3600 (管台についての規定) PVC-3610 PVC-3610(1) PVC-3610(2)	2.11 2.15	容器の管台の計算 熱交換器の伝熱管の計算
PVC-3900 (開放タンクについての規定) PVC-3920 PVC-3940 PVC-3950 PVC-3960 PVC-3970 PVC-3980	2.12 3.3(3.4) 2.13 2.14	開放タンクの胴の計算 開放タンクの胴の穴の補強計 算 (開放タンクの鏡板の穴の 補強計算) 開放タンクの底板の計算 開放タンクの管台の計算

表1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 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
J I S 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: J I S B 8201 (2005) 「陸用鋼製ボイラー構造」 (以下「J I S 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 J I S B 8265 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S 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. 11Cl. 1)

- (2) 管材の許容引張応力の値は継目無管，電気抵抗溶接管及び鍛接管等，製造方法により異なる場合があるため材料記号の後に“-”を入れ，その製法による記号を付記して表示する。

(例) STPT410-S（継目無管の場合）

- (3) 強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に J I S で定める強度区分を付記して表示する。

(例)

	設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 付録材料図表 Part5 表5 の許容引張応力の上段 </div>	SCMV3-1
SCMV3	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 付録材料図表 Part5 表5 の許容引張応力の下段 </div>	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 J I S に定める熱処理記号を付記して表示する。

(例) SUS630 H1075（固溶化熱処理後570～590℃空冷の場合）

- (6) ガasket材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例) 非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガasket（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガasket（非石綿板）（ステンレス鋼）

なお，この場合のガasket係数（m）及びガasketの最小設計締付圧力（y）は，J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3より，ガasketメーカー推奨値を適用する。

2. 重大事故等クラス2容器（クラス1容器又は原子炉格納容器を除く。）の強度計算方法
 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		
P _e	P _e	外面に受ける最高の圧力	MPa		
S _y	S _y	材料の設計降伏点	MPa		
η	η	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 による。	—		
		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 JSME S NB 1-2001）（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	—

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 S	D _i	胴の内径	mm
	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t ₁	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t ₂	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t _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：t₁

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては3mm, その他の材料で作られたものにあつては1.5mmとする。

- b. 内面に圧力を受ける胴：t₂

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

(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。	mm
	d_{r1}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
d	d_{r2}	補強を要しない穴の最大径（だ円穴の場合は長径）	mm
K	K	係数 ただし $K \leq 0.99$	—
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t_s	t_s	胴の最小厚さ	mm
η	η	穴が長手継手を通る場合はその継手の効率 その他の場合は1.00	—

(2) 算式

胴の補強を要しない穴の最大径は、次のa項及びb項で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

- a. 穴の径が61mm以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

- b. 穴の径が200mm以下で、かつ、クラス2容器は設計・建設規格 図PVC-3150-1及び図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

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_s}$$

(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

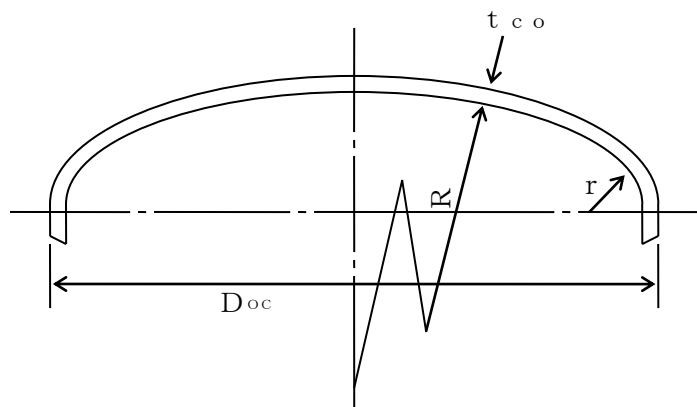


図2-1 さら形鏡板の形状

$D_{oc} \geq R$, $r \geq 3 \cdot t_{co}$, $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$, $r \geq 50\text{mm}$ であること。

(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

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

$$\text{ただし、} W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(4) 評価

鏡板の最小厚さ (t_c) \geq 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. 形状の制限

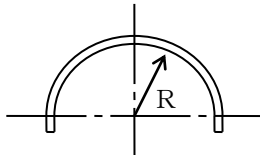


図2-2 全半球形鏡板の形状

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) \geq 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	t	鏡板に必要な厚さ	mm
	t ₁	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

b. 形状の制限

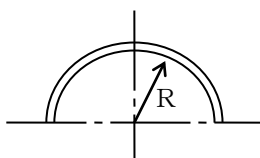


図2-3 全半球形鏡板の形状

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：t₁

$$t_1 = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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	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

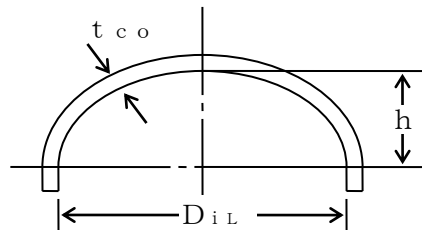


図2-4 半だ円形鏡板の形状

$$\frac{D_{iL}}{2 \cdot h} \leq 2 \text{ であること。}$$

(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

$$t_2 = \frac{P \cdot D_{iL} \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

$$\text{ただし、} K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D_{iL}}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(4) 評価

鏡板の最小厚さ (t_c) \geq 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	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) さらに形鏡板及び半だ円形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

- (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。

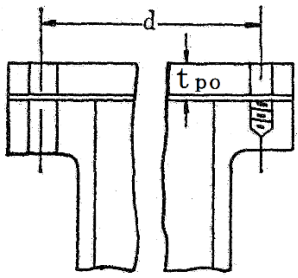
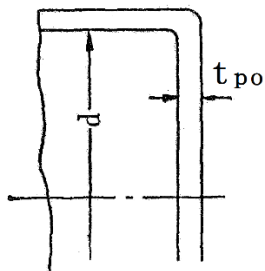
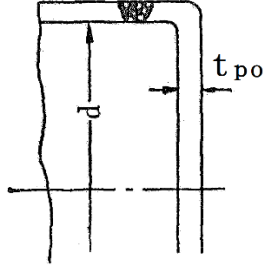
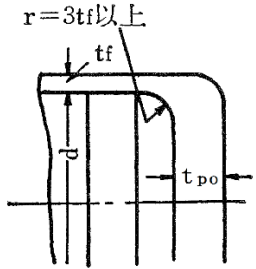
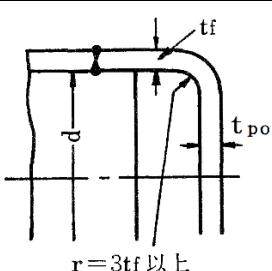
(1) 記号の説明

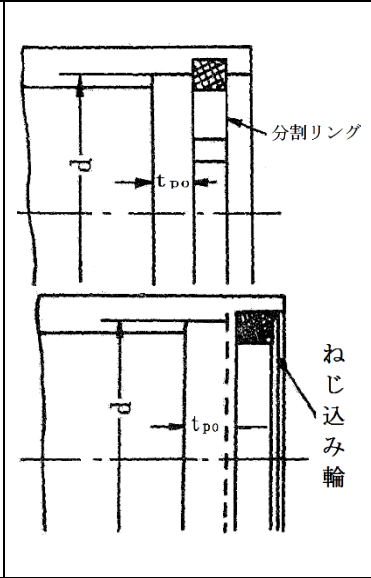
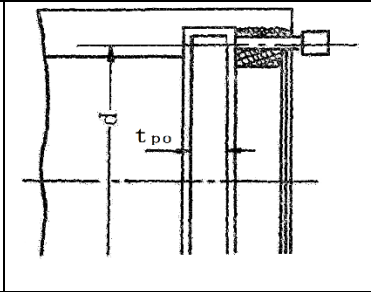
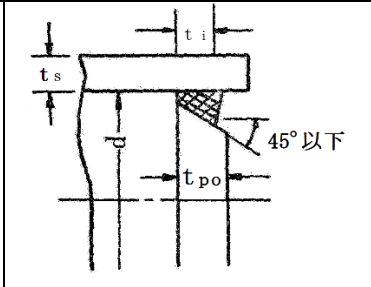
告示第501号 又は設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b _o	ガスケット座の基本幅 (JIS B 8243 附属書2 表1又はJIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d, G	d	クラス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	平板の断面に現われる穴の径 (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

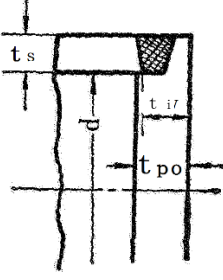
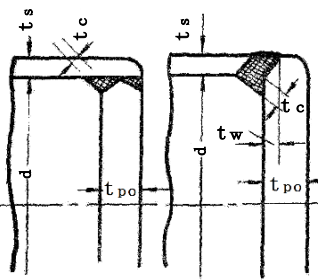
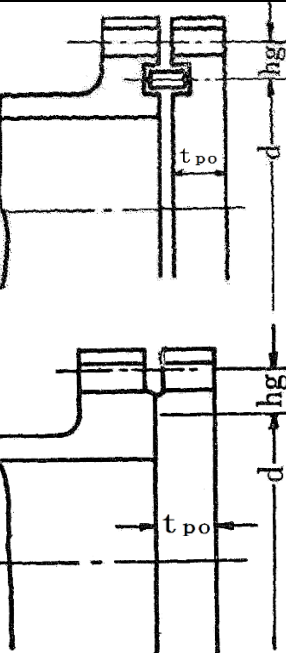
告示第501号 又は設計・建設 規格又は J I Sの記号	計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8243 附属書2 表2又は J I S B 8265 附属書3 表2によ る。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8243 附属書2 表1又は J I S B 8265 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応 力 告示第501号別表第6又は別表第7, 設計・建設 規格 付録材料図表 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 p o	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 s r	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 w 1	t w 1	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。)	—

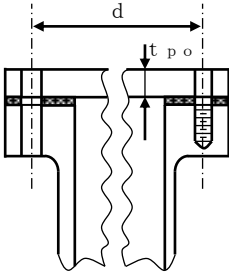
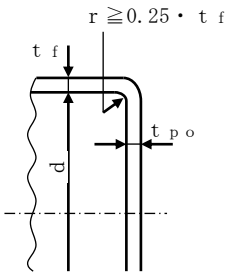
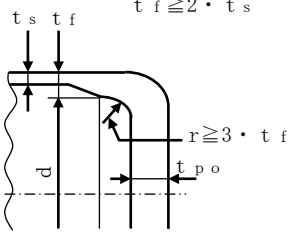
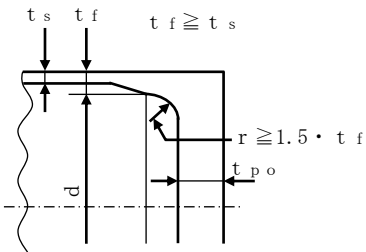
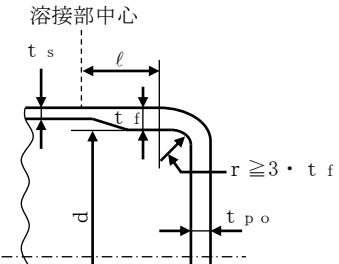
(2) 形状の制限 (告示第501号)

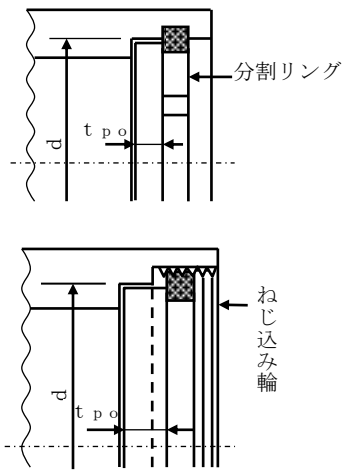
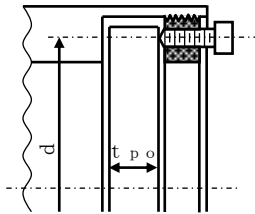
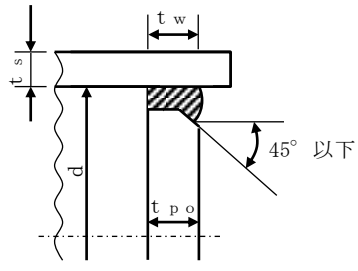
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(a)</p> 	<p>無し</p>
<p>(b)</p> 	<p>$d \leq 600\text{mm}$, $t_{po} \geq d/20$であること。</p>
<p>(c)</p> 	<p>$d \leq 600\text{mm}$, $t_{po} \geq d/20$であること。</p>
<p>(d)</p> 	<p>$r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>
<p>(e)</p> 	<p>$d \leq 600\text{mm}$, $t_{po} \geq d/20$, $r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>

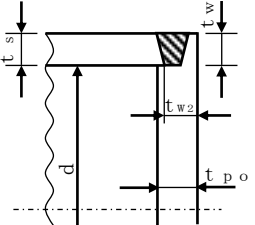
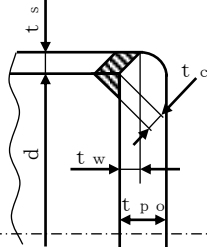
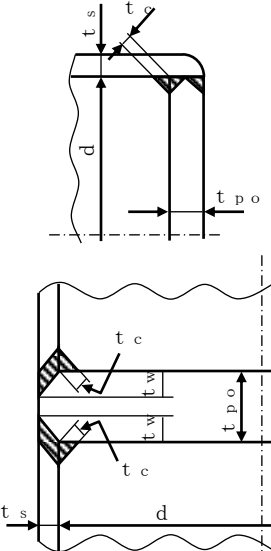
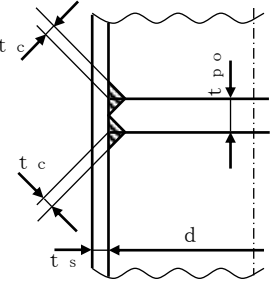
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_i \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>

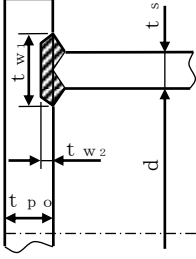
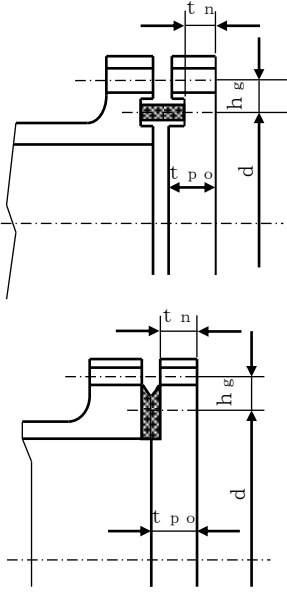
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限	形 状 の 制 限
(i)		$t_i \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。
(j)		$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。 かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。
(k)		無し
(l)	その他の場合	無し

形状の制限 (設計・建設規格)

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
(a)	 <p>無し</p>
(b)	 <p>$d \leq 600\text{mm}$, $d/4 > t_{po} \geq d/20$かつ $r \geq t_f/4$であること。</p>
(c)	 <p>$t_f \geq 2 \cdot t_s$かつ $r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>
(d)	 <p>$t_f \geq t_s$かつ $r \geq 1.5 \cdot t_f$であること。</p>
(e)	 <p>溶接部中心 $r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(i)</p>  <p>$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_{w1} \geq t_s$</p>	<p>$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_{w1} \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$ であること。</p>
<p>(j)(1)</p> 	<p>$t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_{po})$ かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(j)(2)</p> 	<p>$t_w \geq \text{Min}(1.0 \cdot t_s, 0.5 \cdot t_{po})$ かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(k)</p> 	<p>$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(ℓ)</p>  <p>$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ ($t_{w2}=0$を含む。)</p>	<p>$t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ ($t_{w2}=0$を含む。)</p>
<p>(m)</p> 	<p>無し</p>
<p>(o)</p>	<p>その他の場合</p>

(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)	$\text{Max}(0.2, 0.33 \cdot m) \quad m = \frac{t_s r}{t_s}$
(e)	0.17 0.10 ^{*1}
(f)	0.20
(g)	
(h)	$\text{Max}(0.2, 0.33 \cdot m) \quad m = \frac{t_s r}{t_s}$
(i)	0.33
(j)(1)	$\text{Max}(0.2, 0.33 \cdot m) \quad m = \frac{t_s r}{t_s}$
(j)(2)	
(k)	
(l)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、 t_n の厚さにあつては $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ^{*2}
(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。

$$(a) \quad l \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2} \right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f} \text{ の場合}$$

$$(b) \quad t_s \text{ が } 2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s} \text{ 以上の長さにわたって}$$

$$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}} \text{ の場合}$$

*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asketを用いる場合は D_g ）とする。

- b. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で容器の胴の穴の補強に準じて補強するものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

この場合において、平板の補強に用いる必要厚さ（ t_{pr} ）は t とし、かつ、補強に有効な面積は、補強に必要な面積の2分の1以上とする。

- c. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径（ d_h ）が d の2分の1以下で b 項以外のものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、平板の取付け方法が、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（ d_h ）が d の2分の1を超えるものの計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ（ t_p ） \geq 平板の計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.9 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J I S B 8 2 0 1 6.6.8項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

(1) 記号の説明

J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
a	a	穴の長径	mm
b	b	穴の短径	mm
c	c	穴の短径と長径との比によって定まる係数 (J I S B 8 2 0 1 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 _{p o}	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つては、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：t₁

$$t_1 = \frac{5 \cdot b}{c} \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_a}} + \alpha$$

- b. 規格上必要な最小厚さ：t₂

平板の中央部の厚さは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つては、胴の内径）	mm
	d _t	管の外径	mm
F	F	管及び管板の支え方による係数	—
L	L	面積Aの周のうち穴の径以外の部分の長さ	mm
P	P	計算上必要な厚さが大きい値の方の最高使用圧力	MPa
	P _t	管穴の中心間の距離	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	管板に必要な厚さ	mm
t	t ₁	管板の計算上必要な厚さ	mm
t	t ₂	管板の計算上必要な厚さ	mm
	t _b	管板の最小厚さ	mm
	t _{b o}	管板の呼び厚さ	mm
	t _s	胴と管板が一体となっている場合の胴の最小厚さ	mm
	z	管穴の中心間に必要な距離	mm
	伝熱管の形式		
	直 管	同左	—
	U 字 管	同左	—
	管板の支え方		
	管側胴と一体でない。	同左	—
	管側胴と一体である。	同左	—
	胴側胴と一体でない。	同左	—
	胴側胴と一体である。	同左	—

(2) 形状の制限

$P t \geq z$, $z = d t + 0.25 \cdot d t$ であること。

(3) 算式

管板の計算上必要な厚さは、次の式により計算したいずれか大きい方の値（10mm未満の場合は10mm）とする。

$$t_1 = \frac{F \cdot D}{2} \cdot \sqrt{\frac{P}{S}}$$

$$t_2 = \frac{P}{0.85 \cdot S} \cdot \left(\frac{A}{L} \right)_{\text{Max}}$$

ここで $\left(\frac{A}{L} \right)_{\text{Max}}$ は、 $\left(\frac{A}{L} \right)$ の最大値であり、通常一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形が最大値となる。

以下にA及びLの取り方の例を示す。

Aは、一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の面積（図2-5参照）

Lは、一番外側の管穴の中心を順次結んで得られる多角形の外周の長さから外周上の管穴の直径の合計を差し引いた長さ

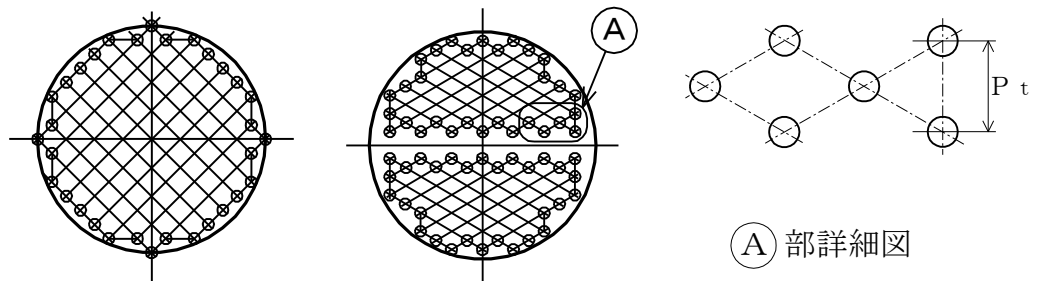


図2-5 管板の計算に用いる多角形

なお、計算は管側と胴側各々の条件に対して行い、計算上必要な厚さが大きい側の結果を強度計算書に記載する。

(4) 評価

管板の最小厚さ（ t_b ） \geq 管板に必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

2.11 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。

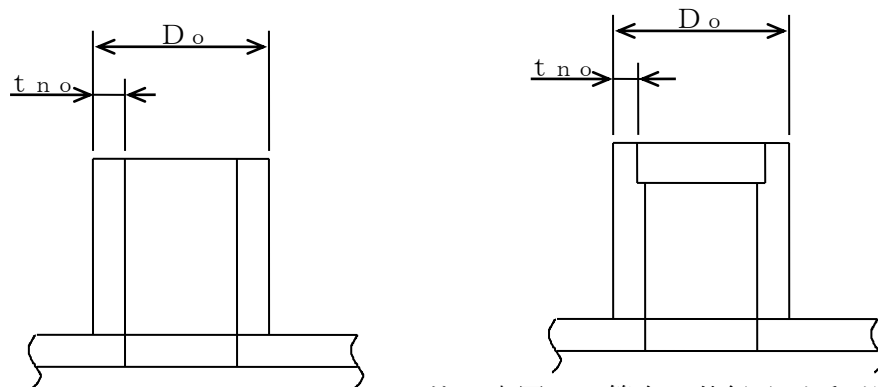
(1) 記号の説明

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	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	MPa
t	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つては、管台の外径に応じて設計・建設規格 表 PVC-3610-1より求めた管台の厚さとする。

(3) 評価

管台の最小厚さ (t_n) \geq 管台に必要な厚さ (t) ならば十分である。

2.12 開放タンクの胴の計算

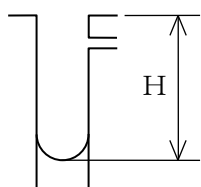
重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3920を適用する。

(1) 記号の説明

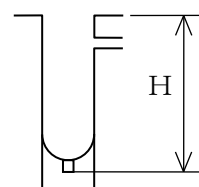
設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭*	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
ρ	t_{s0}	胴の呼び厚さ	mm
	ρ	液体の比重。ただし、1.00未満の場合は1.00とする。	—

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。

- 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
- 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。

- 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。

- 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) \geq 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、鏡板の計算にあつては、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。

さら形鏡板にあつては、2.4項「さら形鏡板の計算」による厚さとする。

全半球形鏡板にあつては、2.5項「全半球形鏡板の計算」による厚さとする。

半だ円形鏡板にあつては、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) \geq 底板に必要な厚さ (t) ならば十分である。

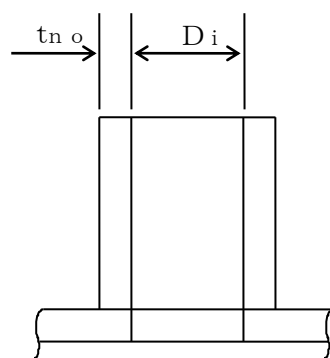
2.14 開放タンクの管台の計算

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	t	管台に必要な厚さ	mm
	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし、1.00未満の場合は1.00とする。	—

注記*：管台の内径及び呼び厚さは、下図参照



注：本図は、管台の内径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり、管台の取付け形式を示すものではない。

(2) 算式

開放タンクの管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 管台の計算上必要な厚さ： 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) \geq 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	t	伝熱管に必要な厚さ	mm
t_1	t_1	内圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t_2	t_2	外圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t_t	t_t	伝熱管の最小厚さ	mm
t_{t0}	t_{t0}	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) \geq 伝熱管に必要な厚さ (t) ならば十分である。

3. 穴の補強計算

3.1 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A ₀	補強に有効な総面積	mm ²
	A ₁	胴、鏡板又は平板の部分の補強に有効な面積	mm ²
	A ₂	管台の部分の補強に有効な面積	mm ²
	A ₃	すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積	mm ²
	A ₄	強め板の部分の補強に有効な面積	mm ²
	A _{0D}	X ₁ ≠ 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 ≠ 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 ≠ 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 ≠ 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 ≠ 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 _r	A _r	大きい穴の補強に有効な面積	mm ²
	A _{rD}	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、最小内径の断面に現われる穴の径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	d_h	平板の断面に現われる穴の径	mm
	d_j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
	d_w	管台の取り付く穴の径（完全溶込み溶接により溶接された管台については、 $d_w = D_{on} + \alpha$ （ α はルート間隔の2倍），それ以外の管台については、 $d_w = D_{on}$ ）	mm
Di	D_i	円筒胴にあつては胴の内径。さら形鏡板及び半だ円形鏡板にあつては鏡板のフランジ部の内径。全半球形鏡板にあつては鏡板の内径	mm
D	D_{iL}	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
	D_{iS}	半だ円形鏡板の内面における短径	mm
	D_{on}	管台の外径	mm
F	F	係数	—
	F_1	すみ肉溶接の許容せん断応力の係数	—
	F_2	突合せ溶接の許容せん断応力の係数	—
	F_3	突合せ溶接の許容引張応力の係数	—
	F_4	管台壁の許容せん断応力の係数	—
K ₁	K_1	半だ円形鏡板の長径と短径との比による係数	—
	L_1	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	L_2	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	L_3	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	L_4	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	L_5	溶接の脚長 ^{*1}	mm
	P	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	さら形鏡板にあつては鏡板の中央部における内面の半径。半だ円形鏡板にあつては $D_{iL} \cdot K_1$ 。全半球形鏡板にあつては鏡板の内半径	mm
	S_c	鏡板材の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
	S_e	強め板材の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa

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 _{s r}	t _{c r}	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 _{n o}	管台の呼び厚さ	mm
t _{n r}	t _{n r}	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 _{s r}	t _{p r}	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _s	t _s	胴の最小厚さ	mm
t _{s r}	t _{s r}	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	$W_2 = (d \cdot t_{s r} - A_1) \cdot S_s$ 又は $W_2 = (d_w \cdot t_{s r} - A_1) \cdot S_s$	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 e 5	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W e 5D	突合せ溶接部のせん断力（管台取付部）	N
	W e 6	突合せ溶接部の引張力（胴，鏡板又は平板の部分径D o nにおいて）	N
	W e 7	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 e 8	突合せ溶接部の引張力（強め板の部分径D o nにおいて）	N
	W e 9	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 e 10	管台のせん断力	N
	W e 11	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 e b p 1	予想される破断箇所の強さ	N
	W e b p 2	予想される破断箇所の強さ	N
	W e b p 3	予想される破断箇所の強さ	N
	W e b p 4	予想される破断箇所の強さ	N
	W e b p 5	予想される破断箇所の強さ	N
	W e b p 6	予想される破断箇所の強さ	N
	W E L D -	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 j 1	大きい穴の補強に有効な範囲	mm
	X j 2	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 S_s を S_c 、 t_{sr} を t_{cr} に読み替える。平板の場合は、 S_s を S_p 、 d を d_h 、 t_{sr} を t_{pr} に読み替える。

3.2 容器の穴の補強計算

容器に穴を設ける場合は以下の手順により補強計算を行う。

なお、穴の補強計算上必要のない強め板を取り付けるものもあるが、その場合は強め板があるものとして計算する。

(1) 胴の場合

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3160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. 円筒形の胴の場合

(イ) 管台の一部が胴の部分となっていない場合及びWELD-8，22の場合

$$A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F$$

(ロ) 管台の一部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。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d, d/2 + t_s + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_s, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし，構造上計算した有効範囲がとれない場合は，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

$$A_4 = \{ \text{Min} (B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_s$$

($S_e / S_s > 1$ の場合は $S_e / S_s = 1$ とする。以下胴の場合において同じ。)

ホ. 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

- (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

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d/2\}$$

管台の一部分が胴の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d/2\} \\ - (1 - S_n / S_s) \cdot (\eta \cdot t_s - F \cdot t_{sr}) \cdot t_n$$

- (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、 $d \leq d_j$ の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方、 $d > d_j$ の場合は補強に必要な面積の3分の2以上が穴の周囲から穴の径の4分の1の範囲内にある必要がある。

(b) 大きい穴の補強における管台の形式

図3-21～図3-39に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c) 大きい穴の補強に必要な面積

$$A_{jr} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(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

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{ \text{Min} (X_j, D_{on}) - d \} / 2 - t_{nr}] \cdot Y_1 \cdot S_n / S_s$$

(ロ) 管台が胴の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{ (\text{Min} (X_j, D_{on}) - d) / 2 - t_{nr} \} \cdot Y_1 + (\text{Min} (X_j, D_{on}) - d) / 2 \cdot Y_2] \cdot S_n / S_s$$

ハ. すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

$$A_{j3} = L_1 \cdot L_1 + L_2 \cdot L_2 + L_3 \cdot L_3$$

ただし、大きい穴の補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ. 強め板の部分の補強に有効な面積

$$A_{j4} = \{ \text{Min} (B_e, X_j) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_s$$

ホ. 大きい穴の補強に有効な総面積

$$A_{j0} = A_{j1} + A_{j2} + A_{j3} + A_{j4}$$

d. 溶接部の強度

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, $W = \text{Min} (W_1, W_2)$

ここで, $W < 0$ の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方, $W \geq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b) 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_s \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_s \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_s \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_s, S_n) \cdot F_4$$

(c) 継手部の強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_1 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e2} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1} / 2 \quad (\text{WELD-17以外の場合})$$

$$W_{e2} = \pi \cdot (d - 2 \cdot L_2) \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2 \quad (\text{WELD-17の場合})$$

$$W_{e3} = \pi \cdot B_e \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{d_w - D_{on}}{2} \right) \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e5} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-5, 6, 14以外の場合})$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-5, 6, 14の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-6以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-6の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-14以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-14の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(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

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-11の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヌ. WELD-12の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-13の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e5D}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}$$

ヲ. WELD-14の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ワ. WELD-15, 16, 22の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 8}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 8} + W_{e 6}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 9}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 9} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 6} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

カ. WELD-17の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 2}$$

コ. WELD-18の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

タ. WELD-19, 19' の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 8}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 8} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 9}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 9} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 6} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

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。

$$A_o > A_r$$

$$A_{oD} \geq A_{rD} \quad (\text{ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ})$$

$$A_{jo} \geq A_{jr} \quad (\text{ただし, 大きい穴の補強を要する場合のみ})$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

(2) 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, さらに形鏡板及び全半球形鏡板の場合

(イ) 管台の一部が鏡板の部分となっていない場合及び WELD-38 の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr} \cdot F$$

($F=1$ 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。

さらに形鏡板であって, 中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad (W=1.00, \eta=1.00 \text{ とする。})$$

半だ円形鏡板であって, 中低面に圧力を受けるものは

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_c \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

全半球形鏡板にあつて（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。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d, d/2 + t_c + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_c, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし、構造上計算した有効範囲がとれない場合は、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

$$A_4 = \{ \text{Min} (B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_c$$

($S_e / S_c > 1$ の場合は $S_e / S_c = 1$ とする。以下鏡板の場合において同じ。)

ホ. 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(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

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot \{ \text{Min} (X_1, X_2) - d / 2 \}$$

管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot \{ \text{Min} (X_1, X_2) - d / 2 \} \\ - (1 - S_n / S_c) \cdot (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot t_n$$

(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、 $d \leq d_j$ の場合は大きい穴の補強計算は必要ない。

一方、 $d > d_j$ の場合は補強に必要な面積の3分の2以上が穴の周囲から穴の径の4分の1の範囲内にある必要がある。

(b) 大きい穴の補強における管台の形式

図3-21～図3-39に大きい穴の補強における管台の形式を示す。

(c) 大きい穴の補強に必要な面積

$$A_{jr} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

(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

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{ \text{Min} (X_j, D_{on}) - d \} / 2 - t_{nr}] \cdot Y_1 \cdot S_n / S_c$$

(ロ) 管台が鏡板の内側に突出している場合

$$A_{j2} = 2 \cdot [\{ (\text{Min} (X_j, D_{on}) - d) / 2 - t_{nr} \} \cdot Y_1 + (\text{Min} (X_j, D_{on}) - d) / 2 \cdot Y_2] \cdot S_n / S_c$$

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

$$A_{j4} = \{ \text{Min} (B_e, X_j) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_c$$

ホ. 大きい穴の補強に有効な総面積

$$A_{j0} = A_{j1} + A_{j2} + A_{j3} + A_{j4}$$

d. 溶接部の強度

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、 $W = \text{Min} (W_1, W_2)$

ここで、 $W < 0$ の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方、 $W \geq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b) 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_c \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_c \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_c \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_c, S_n) \cdot F_4$$

(c) 継手部の強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_1 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e2} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot B_e \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{d_w - D_{on}}{2} \right) \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e5} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_c \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-35, 36, 44以外の場合})$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-35, 36, 44の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_c \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-36以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-36の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-44以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-44の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(d) 予想される破断箇所の強さ

イ. WELD-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

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-41の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヌ. WELD-42の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-43の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e5D}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}$$

ヲ. WELD-44の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ワ. WELD-45, 46の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 8}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 8} + W_{e 6}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 9}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 9} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 6} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

カ. WELD-48の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

ク. WELD-49の場合

$$W_{e b p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 8}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 8} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 2} = (W_{e 3}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 3} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e b p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e b p 5} = (W_{e 9}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 9} + W_{e 7}$$

$$W_{e b p 6} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

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。

$$A_o > A_r$$

$$A_{oD} \geq A_{rD} \text{ (ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ)}$$

$$A_{j_o} \geq A_{j_r} \text{ (ただし, 大きい穴の補強を要する場合のみ)}$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

(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。

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max} (d_h, d_h / 2 + t_p + t_n)$$

$$Y_1 = \text{Min} (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n + t_e)$$

$$Y_2 = \text{Min} (2.5 \cdot t_p, 2.5 \cdot t_n)$$

ただし, 構造上計算した有効範囲がとれない場合は, 構造上取り得る範囲とする。また, 強め板がない場合は $t_e = 0$ とする。

(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

$$A_4 = \{ \text{Min}(B_e, X) - D_{on} \} \cdot t_e \cdot S_e / S_p$$

($S_e / S_p > 1$ の場合は $S_e / S_p = 1$ とする。以下平板の場合において同じ。)

ホ. 補強に有効な総面積

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(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

$$A_{1D} = (t_p - t_{pr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d_h / 2\}$$

管台の一部分が平板の部分となっている場合

$$A_{1D} = (t_p - t_{pr}) \cdot \{\text{Min}(X_1, X_2) - d_h / 2\} \\ - (1 - S_n / S_p) \cdot (t_p - t_{pr}) \cdot t_n$$

(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, $W = \text{Min}(W_1, W_2)$

ここで, $W < 0$ の場合は溶接部の強度計算は必要ない。

一方, $W \geq 0$ の場合は以下の溶接部の強度計算を行う。

(b) 溶接部の単位面積当たりの強さ

$$S_{w1} = S_p \cdot F_1$$

$$S_{w2} = S_p \cdot F_2$$

$$S_{w3} = S_p \cdot F_3$$

$$S_{w4} = \text{Min}(S_p, S_n) \cdot F_4$$

(c) 継手部の強さ

$$W_{e1} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_1 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e2} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_3 \cdot S_{w1} / 2 \quad (\text{WELD-17以外の場合})$$

$$W_{e2} = \pi \cdot (d_h - 2 \cdot L_2) \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2 \quad (\text{WELD-17の場合})$$

$$W_{e3} = \pi \cdot B_e \cdot L_2 \cdot S_{w1} / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot D_{on} \cdot \left(\frac{d_w - D_{on}}{2} \right) \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e5} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d_h}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w2} / 2$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_p \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-5, 6, 14以外の場合})$$

$$W_{e6} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-5, 6, 14の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_p \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-6以外の場合})$$

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot L_4 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-6の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-14以外の場合})$$

$$W_{e8} = \pi \cdot D_{on} \cdot L_5 \cdot S_{w3} / 2 \quad (\text{WELD-14の場合})$$

$$W_{e9} = \pi \cdot d_w \cdot t_e \cdot S_{w3} / 2$$

$$W_{e10} = \pi \cdot \left(\frac{D_{on} + d_h}{2} \right) \cdot t_n \cdot S_{w4} / 2$$

$$W_{e11} = \pi \cdot d_w \cdot \left(\frac{D_{on} - d_w}{2} + L_1 \right) \cdot S_{w1} / 2$$

(d) 予想される破断箇所の強さ

イ. WELD-1の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e5})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e5}$

$$W_{ebp2} = (W_{e5D})$$

を通る強さ = W_{e5}

ロ. WELD-2の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e2})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e2}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

ハ. WELD-3の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e6}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

$$W_{ebp3} = (W_{e7})$$

を通る強さ = W_{e7}

ニ. WELD-4の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e6}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

$$W_{ebp3} = (W_{e11}) (W_{e7})$$

を通る強さ = $W_{e11} + W_{e7}$

ただし、 $D_{on} = d_w$ の場合は $W_{ebp1} = W_{ebp3}$ となるため W_{ebp3} を省略する。

ホ. WELD-5の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e6}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

ヘ. WELD-6の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

$$W_{ebp3} = (W_{e1}) (W_{e7})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e7}$

ト. WELD-8の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e2})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e2}$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e10}$

チ. WELD-9の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-11の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e2}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e4} + W_{e2}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヌ. WELD-12の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-13の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e5D}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e5}$$

ヲ. WELD-14の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ワ. WELD-15, 16, 22の場合

$$W_{\text{ebp}1} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6}$$

$$W_{\text{ebp}2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{\text{ebp}3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{\text{ebp}4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{\text{ebp}5} = (W_{e9}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$W_{\text{ebp}6} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

カ. WELD-17の場合

$$W_{\text{ebp}1} = (W_{e1}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

コ. WELD-18の場合

$$W_{\text{ebp}1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{\text{ebp}2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{\text{ebp}3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{\text{ebp}4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{\text{ebp}5} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

タ. WELD-19, 19' の場合

$$W_{\text{ebp}1} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{\text{ebp}2} = (W_{e3}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{\text{ebp}3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{\text{ebp}4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{\text{ebp}5} = (W_{e9}) (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$W_{\text{ebp}6} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

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。

$$A_o > A_r / 2$$

$$A_{oD} \geq A_{rD} \text{ (ただし, } X_1 \neq X_2 \text{ の場合のみ)}$$

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

3.3 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以下の場合には計算を行わない。
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以下の場合には計算を行わない。
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 _s	A ₁	2つの穴の間及び強め板の断面積の和	mm ²
	A ₂	2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	mm ²
	A _d	A ₁ とA ₂ の和	mm ²
	A _r	A _{r1} とA _{r2} の和の1/2	mm ²
	A _{r1} , A _{r2}	2つの穴のそれぞれの補強に必要な断面積	mm ²
	A _{r s}	2つの穴の間の強め材の断面積	mm ²
	A _s	2つの穴の間に必要な胴の断面積（胴板内に溶着された管壁を含む。）	mm ²
	d	2つの穴の中心間に必要な距離	mm
	d ₁ , d ₂	2つの穴のそれぞれの直径	mm
	F	F	係数
ℓ	ℓ	2つの穴の中心間の距離	mm
L _{1 i} , L _{2 i}	L _{1 i} , L _{2 i}	2つの穴のそれぞれの内側溶け込み深さ	mm
	L _{1 o} , L _{2 o}	2つの穴のそれぞれの外側溶け込み深さ	mm
t ₁ , t ₂	t ₁ , t ₂	2つの穴のそれぞれの管壁の厚さ	mm
	t _{s r}	胴の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t _{s r}	t _{c r}	鏡板の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t _{s r}	t _{p r}	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。

$$d = 1.5 \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$$

$$A_r = 0.5 \cdot (A_{r1} + A_{r2})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{sr} \cdot F \quad (\text{胴の補強計算の場合})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{cr} \cdot F \quad (\text{鏡板の補強計算の場合})$$

$$A_s = 0.7 \cdot \ell \cdot t_{pr} \cdot F \quad (\text{平板の補強計算の場合})$$

$$A_d = A_1 + A_2$$

(3) 評価

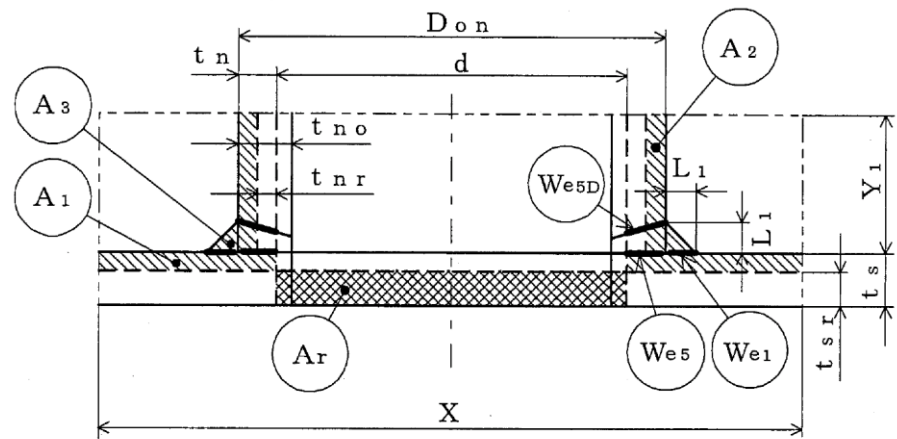
下記の条件を満足すれば十分である。

$$\ell \geq d, \quad A_{rs} \geq A_r, \quad A_d \geq A_s$$

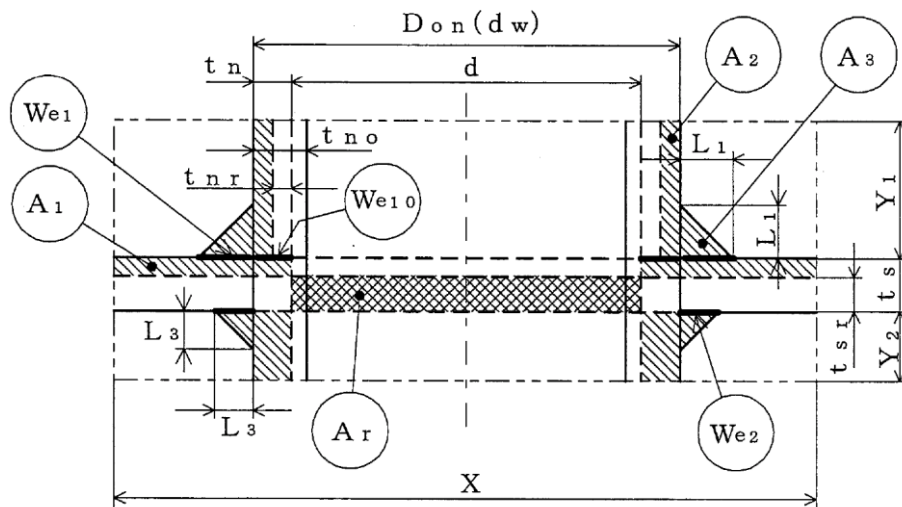
注1：各形式図（図3-1～図3-39）において，胴，鏡板又は平板の最小厚さ及び穴の補強計算に用いる計算上必要な厚さは，それぞれ胴の場合は t_s ， t_{sr} ，鏡板の場合は t_c ， t_{cr} ，平板の場合は t_p ， t_{pr} と読み替えを行う。

また，各形式図中の d は，平板の場合は d_h と読み替えを行う。

注2： W_{e1} 等で示される図中の太線は，予想される破断形式を示す。



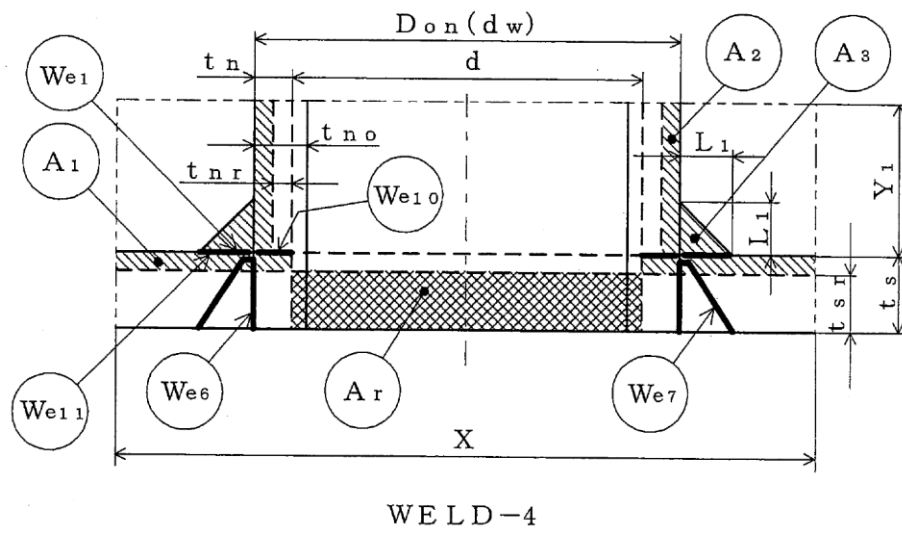
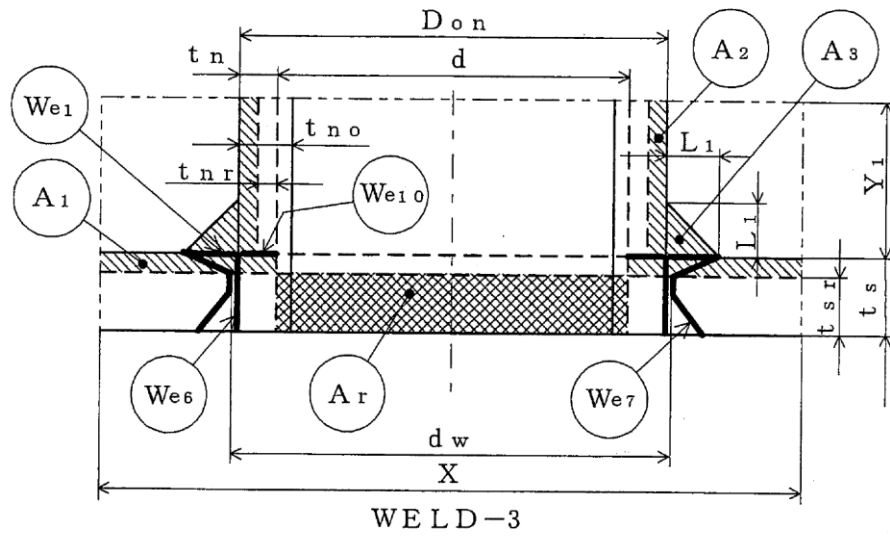
WELD-1



WELD-2

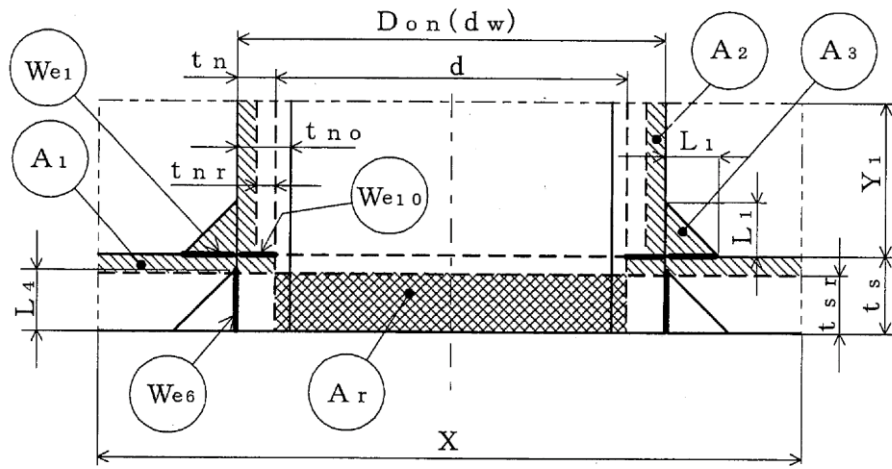
- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図3-1

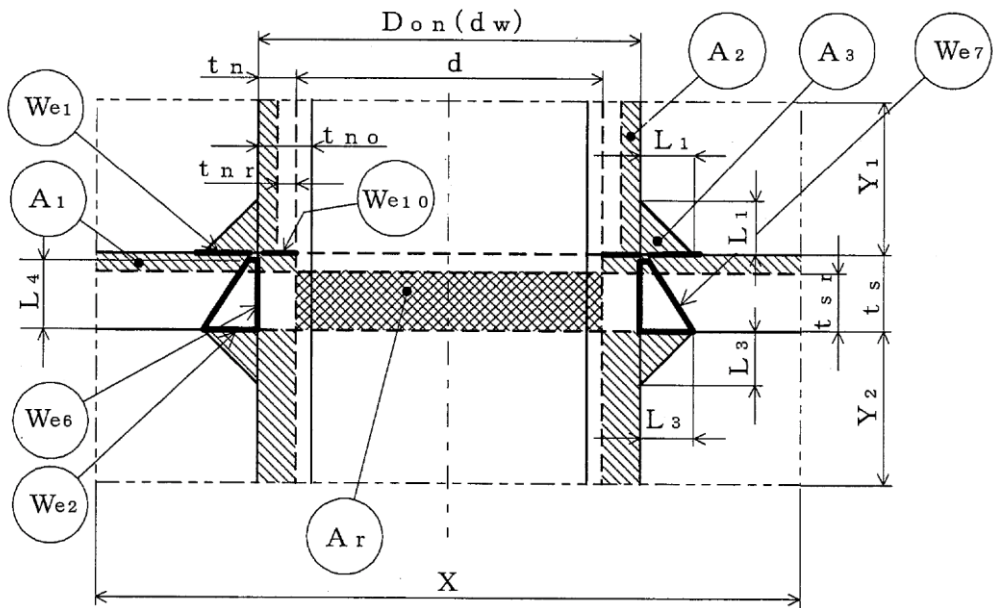


- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

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

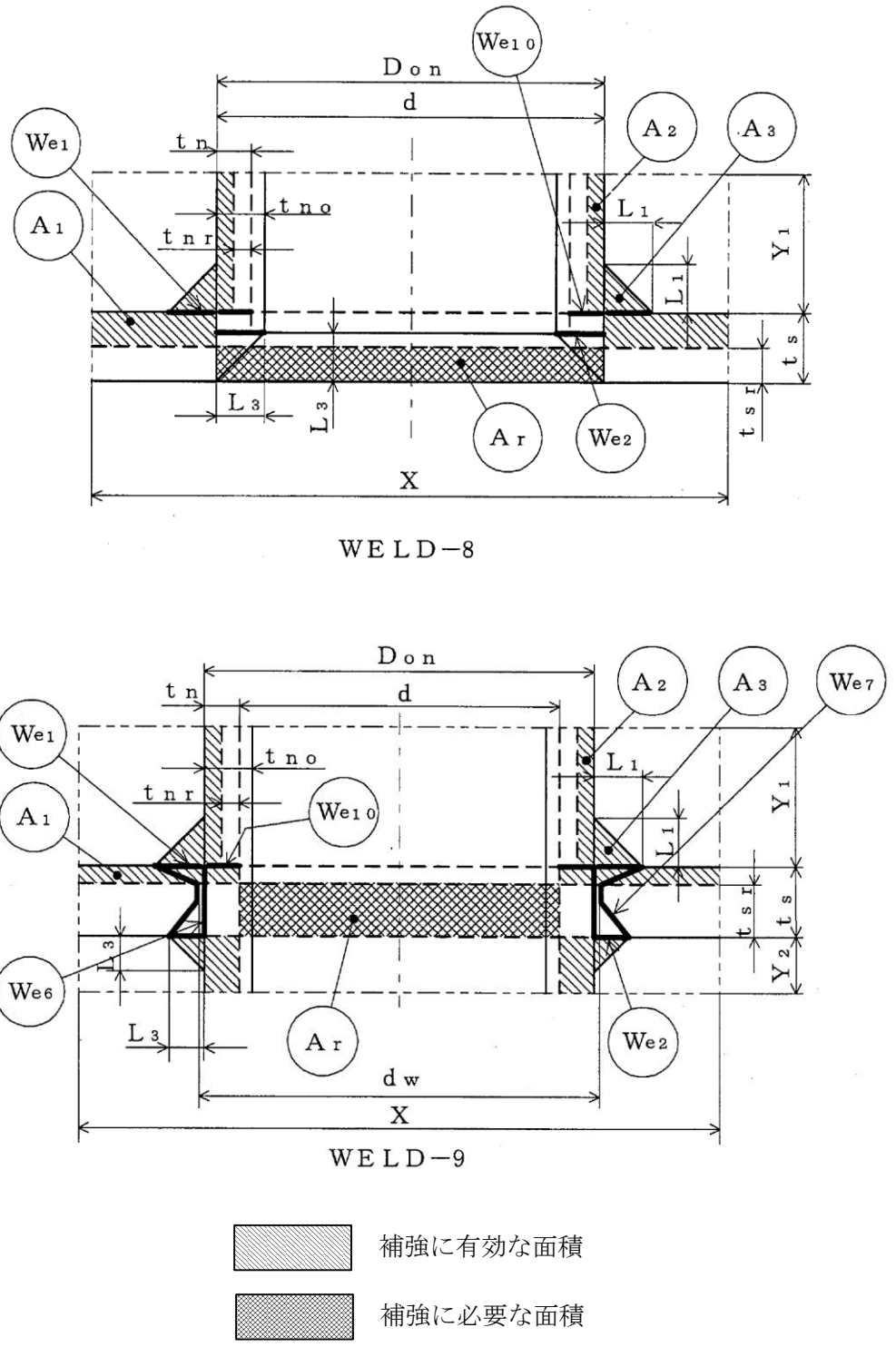
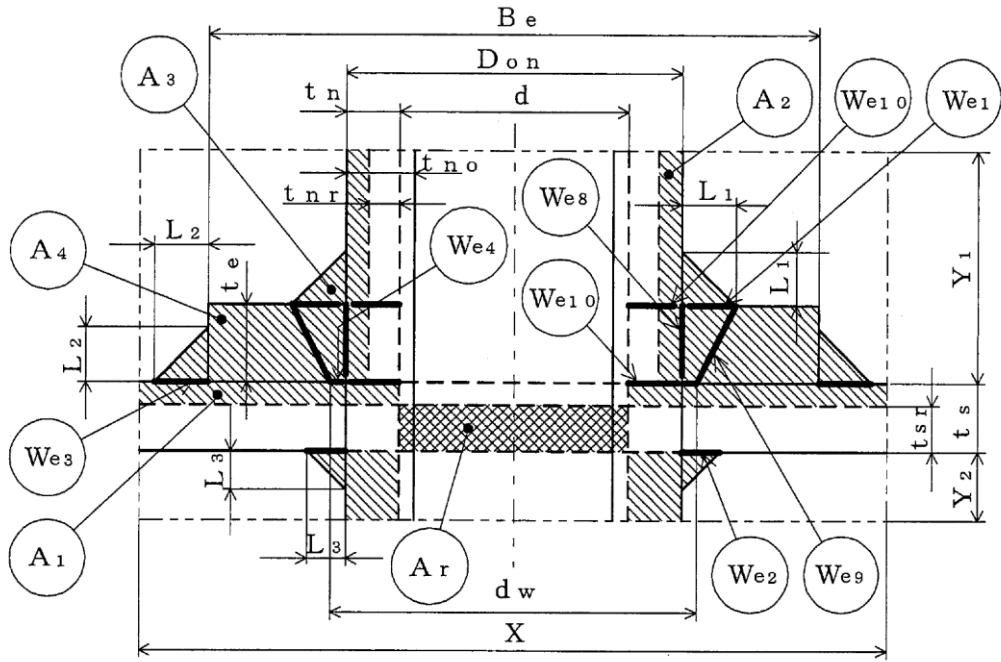
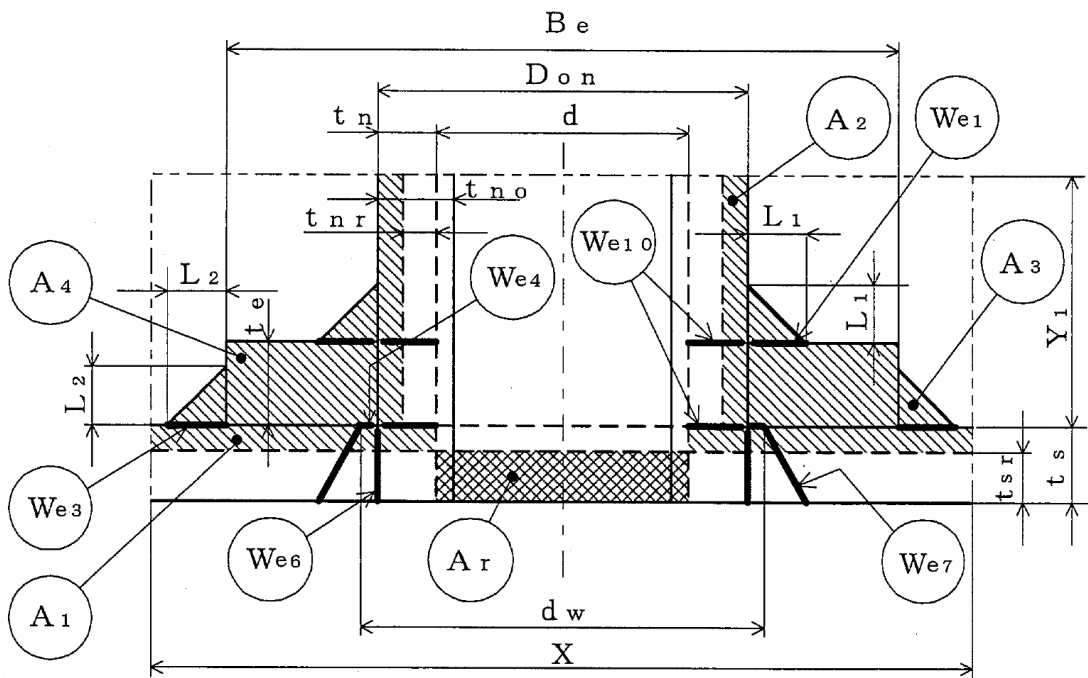


図3-4



WELD-11



WELD-12



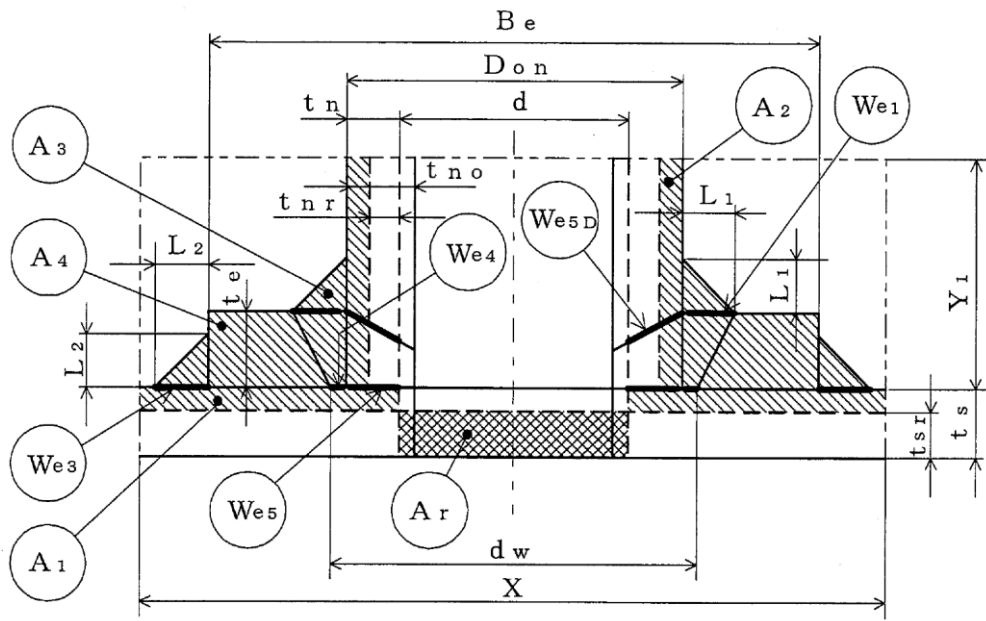
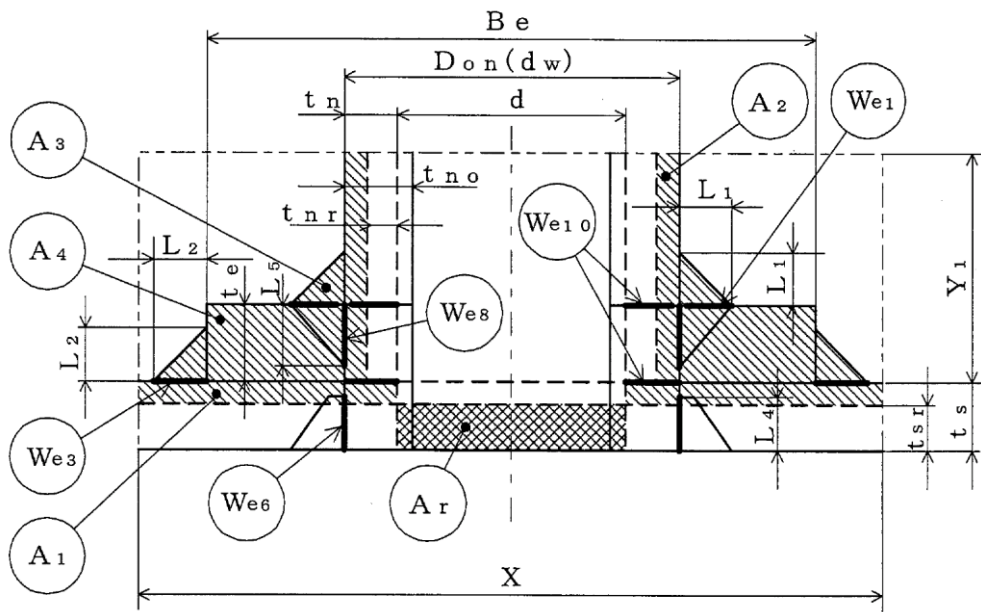
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-5



WELD-13



WELD-14



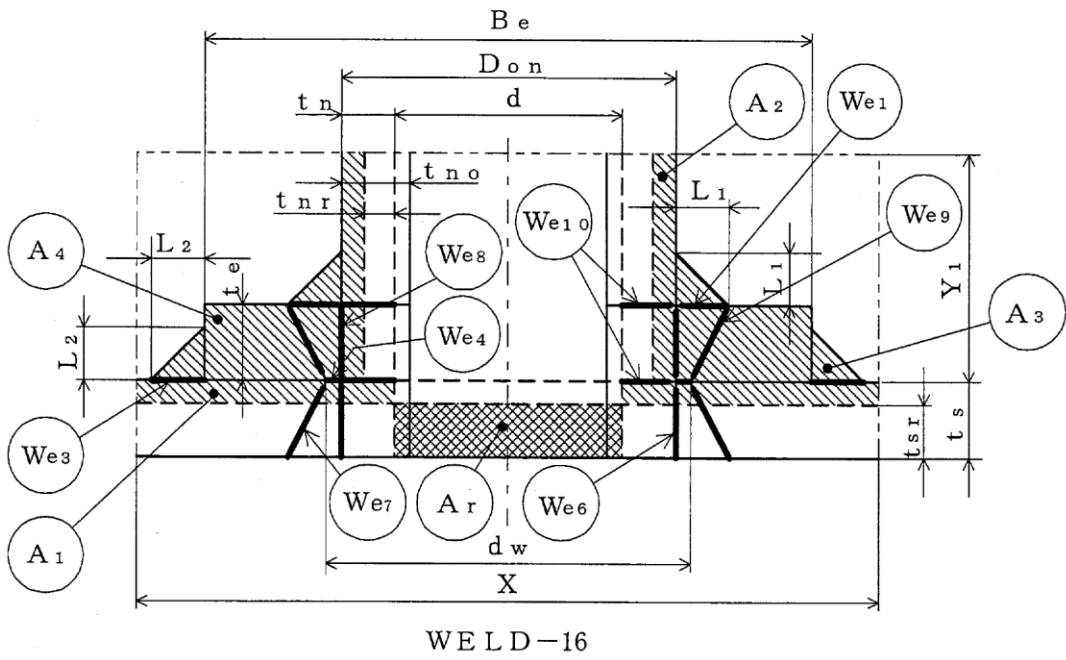
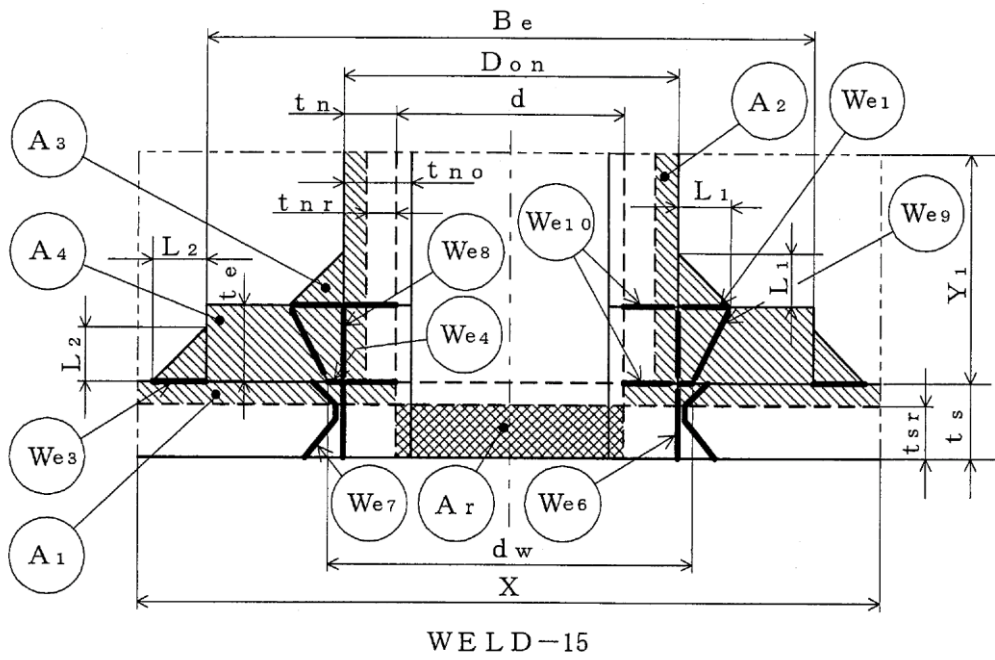
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-6





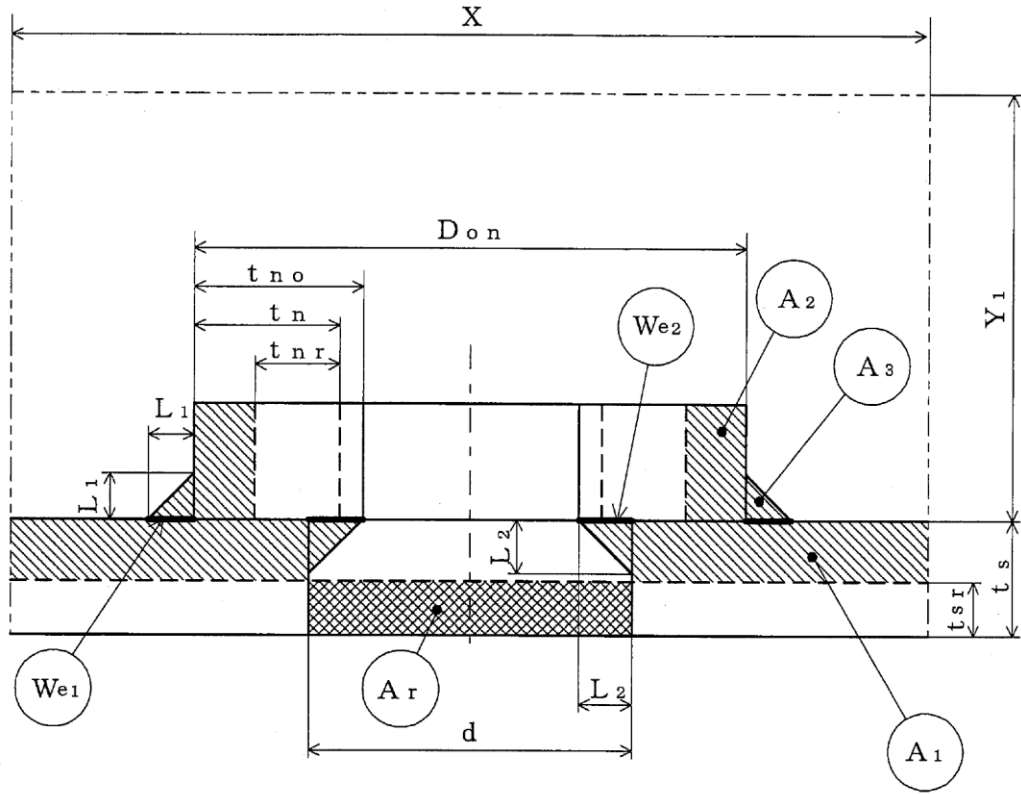
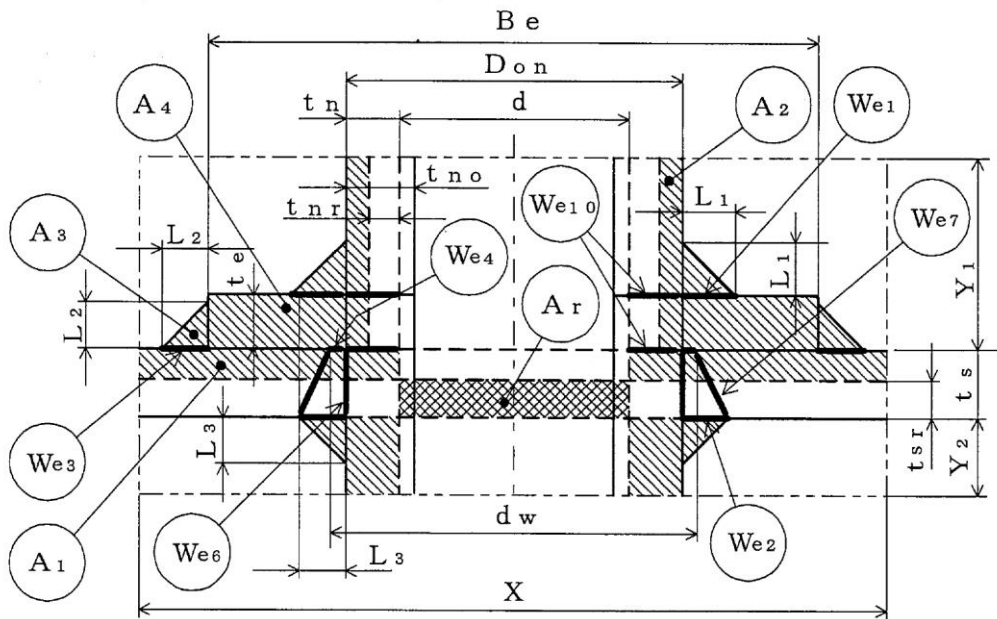
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-7



WELD-17



WELD-18


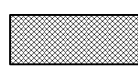
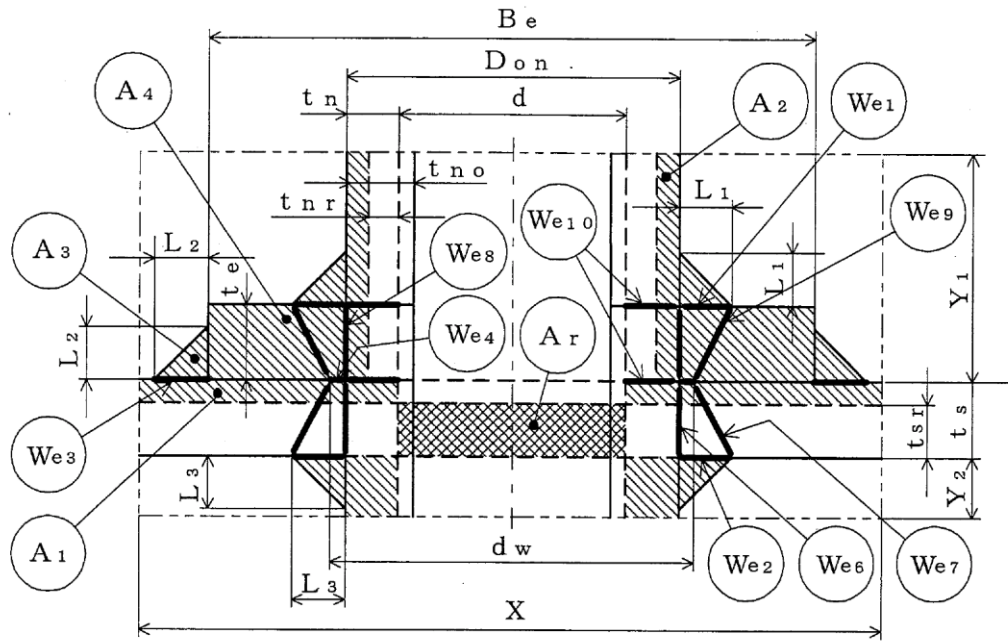
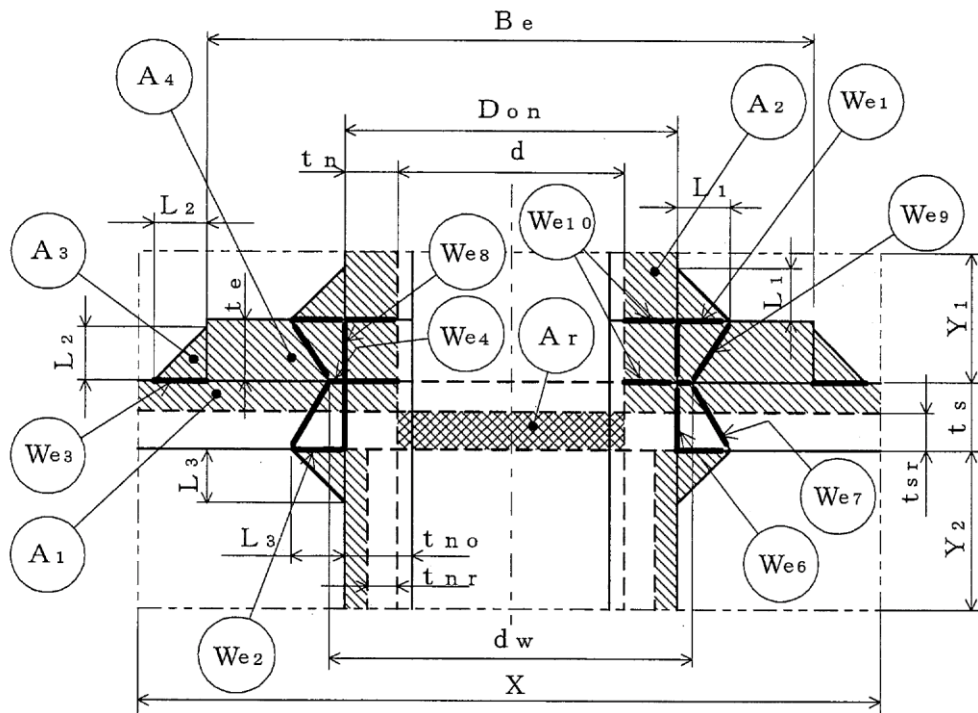
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-8



WELD-19



WELD-19'



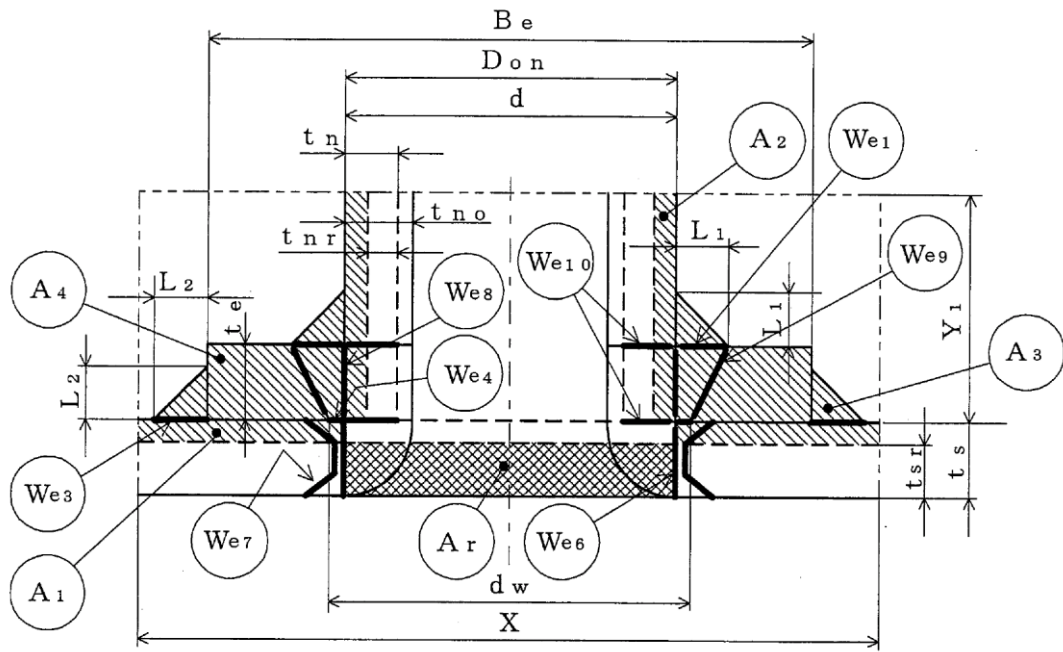
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-9



WELD-22


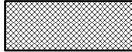
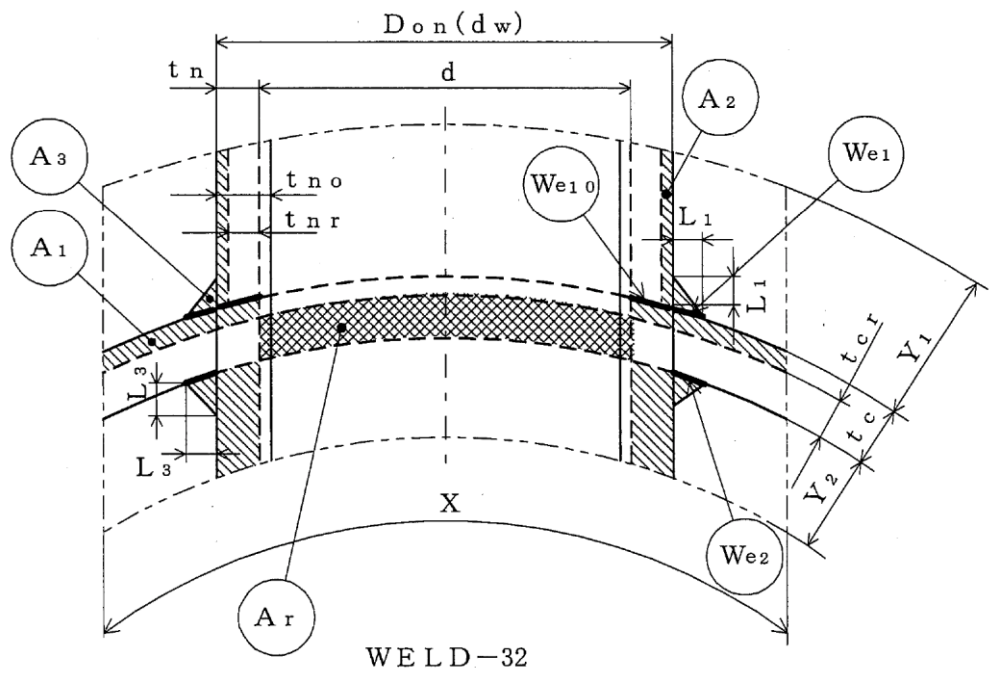
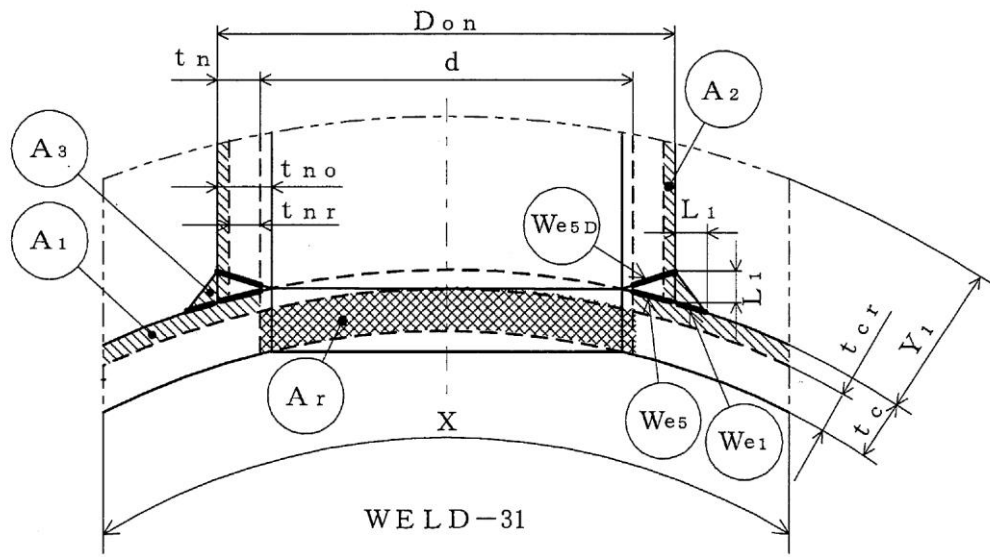
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-10





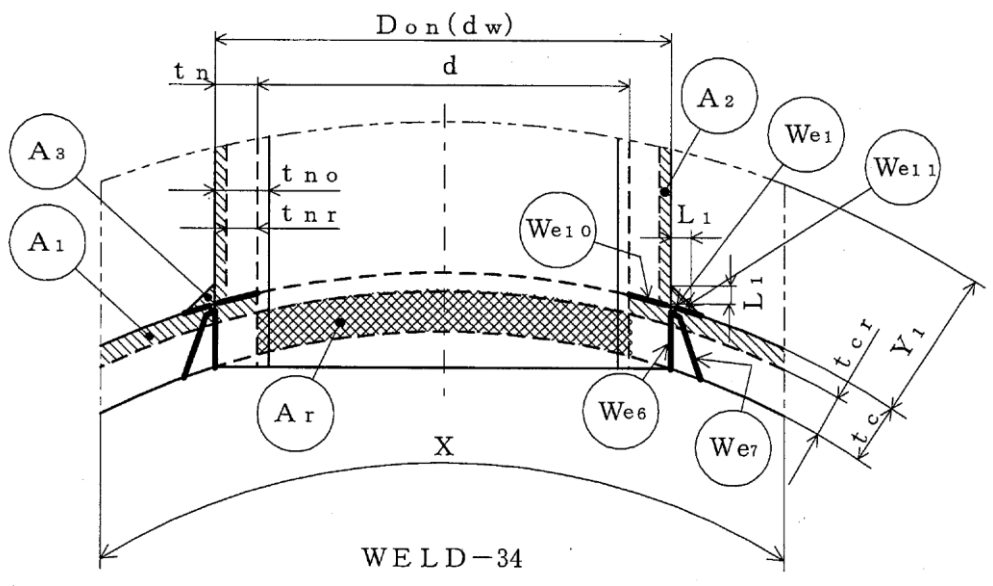
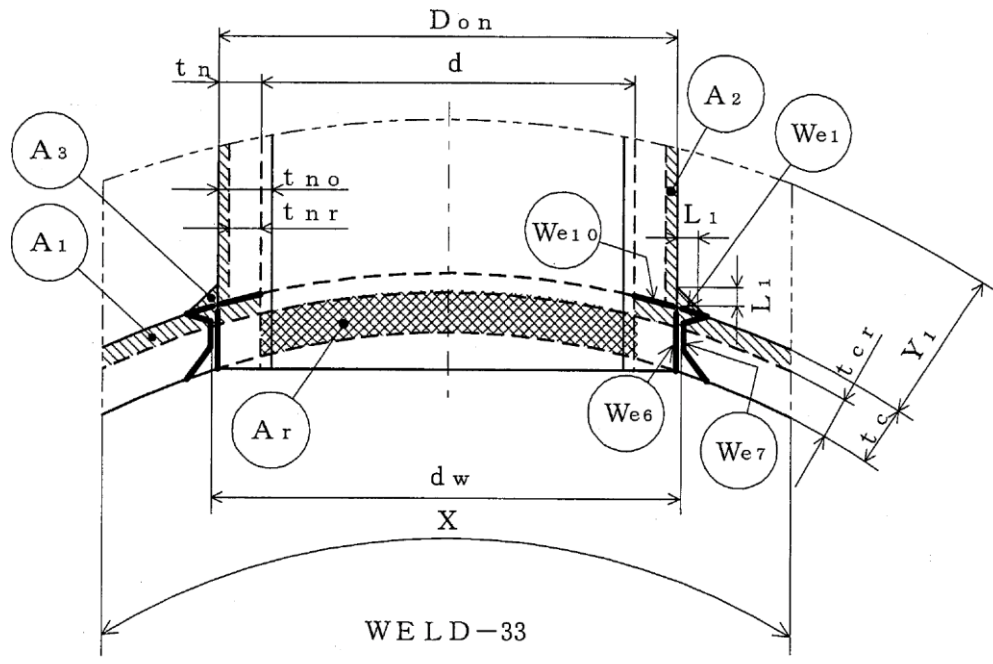
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-11



- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図3-12

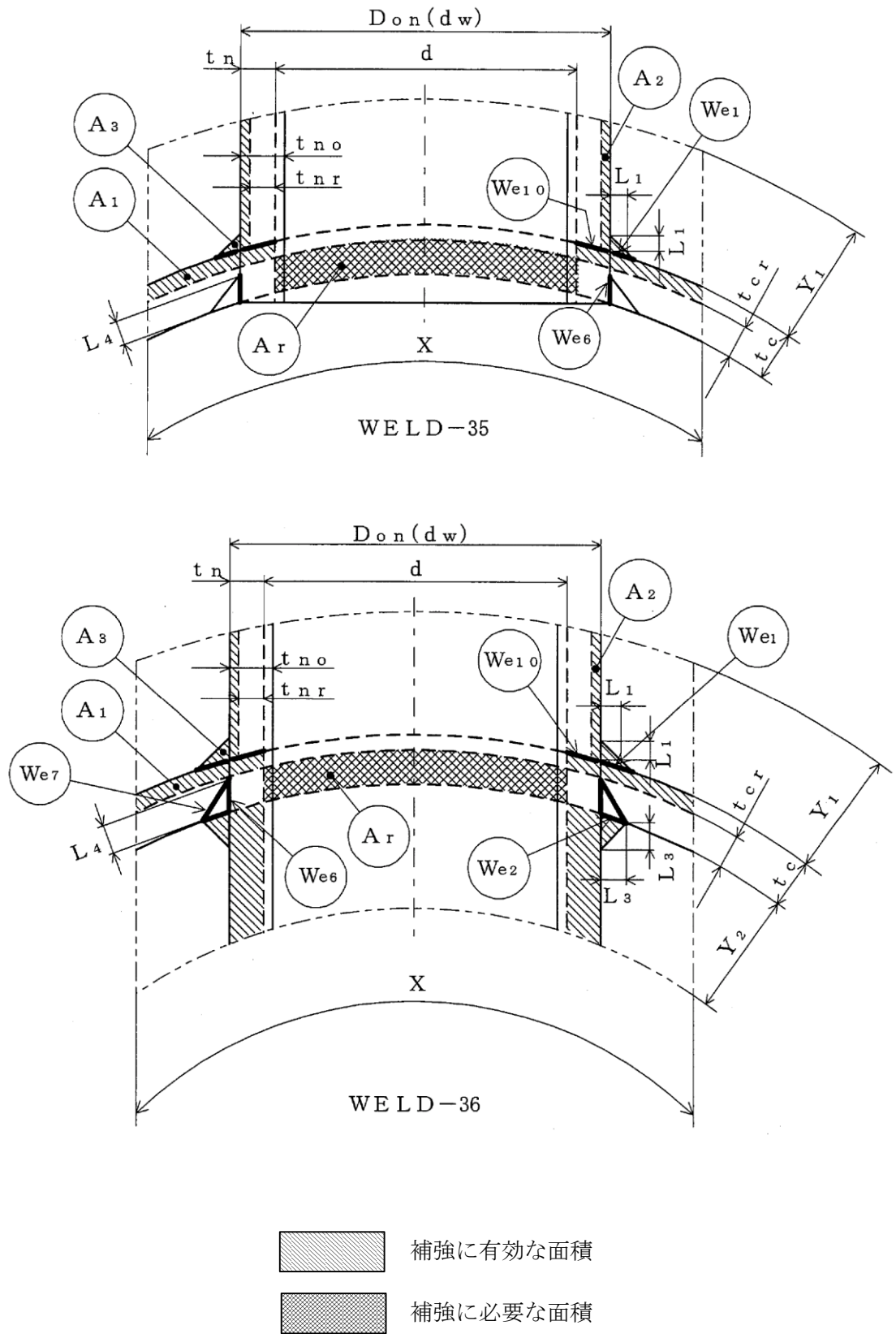


図3-13

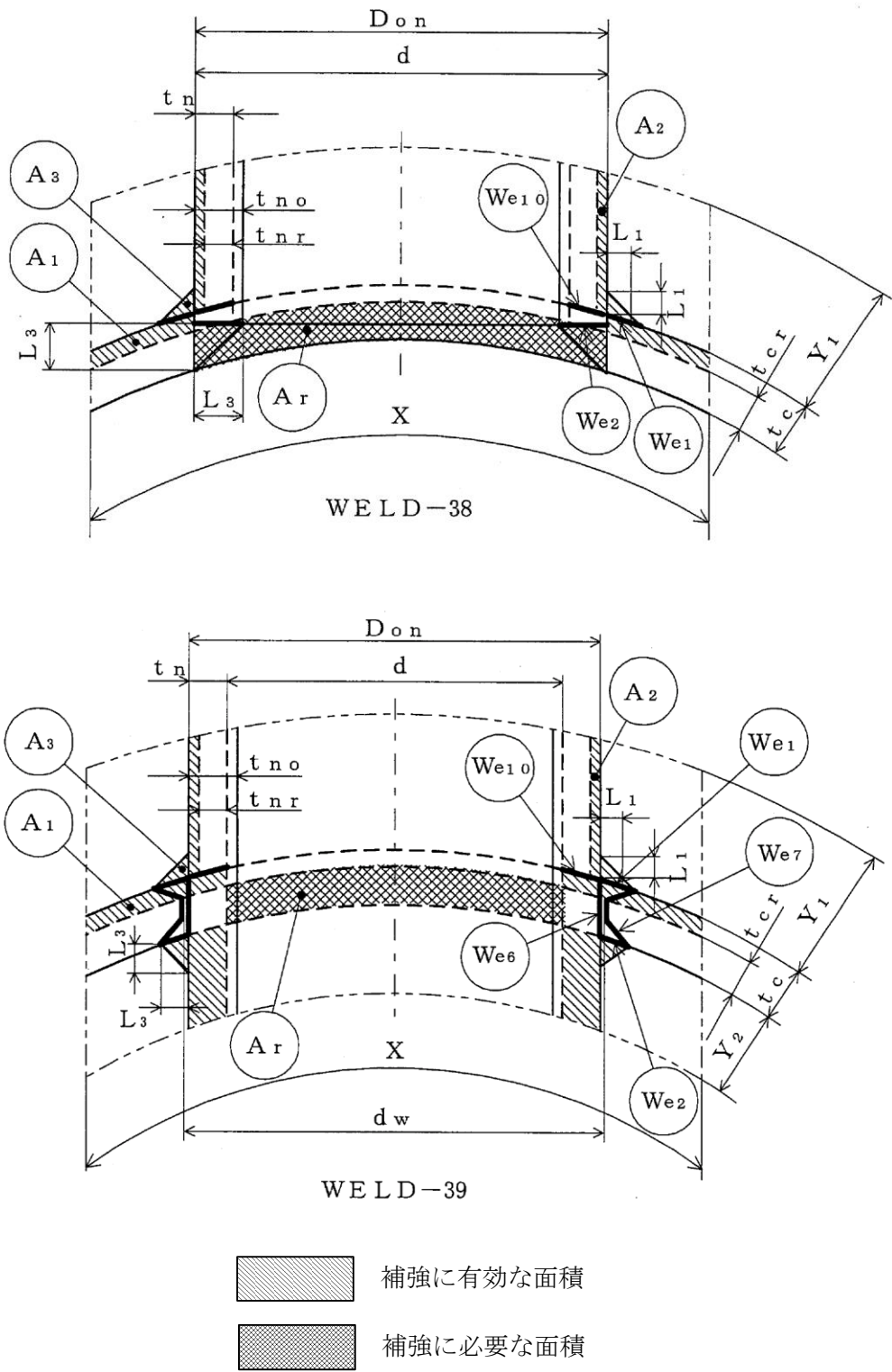
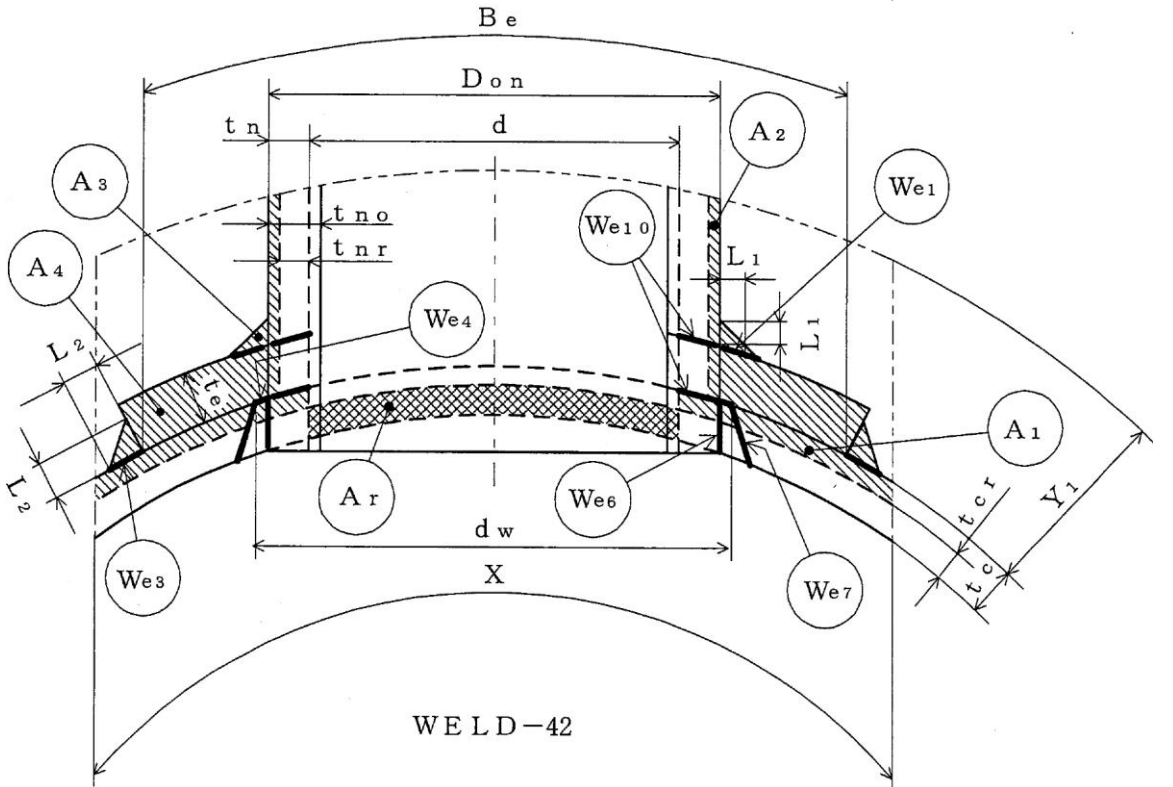
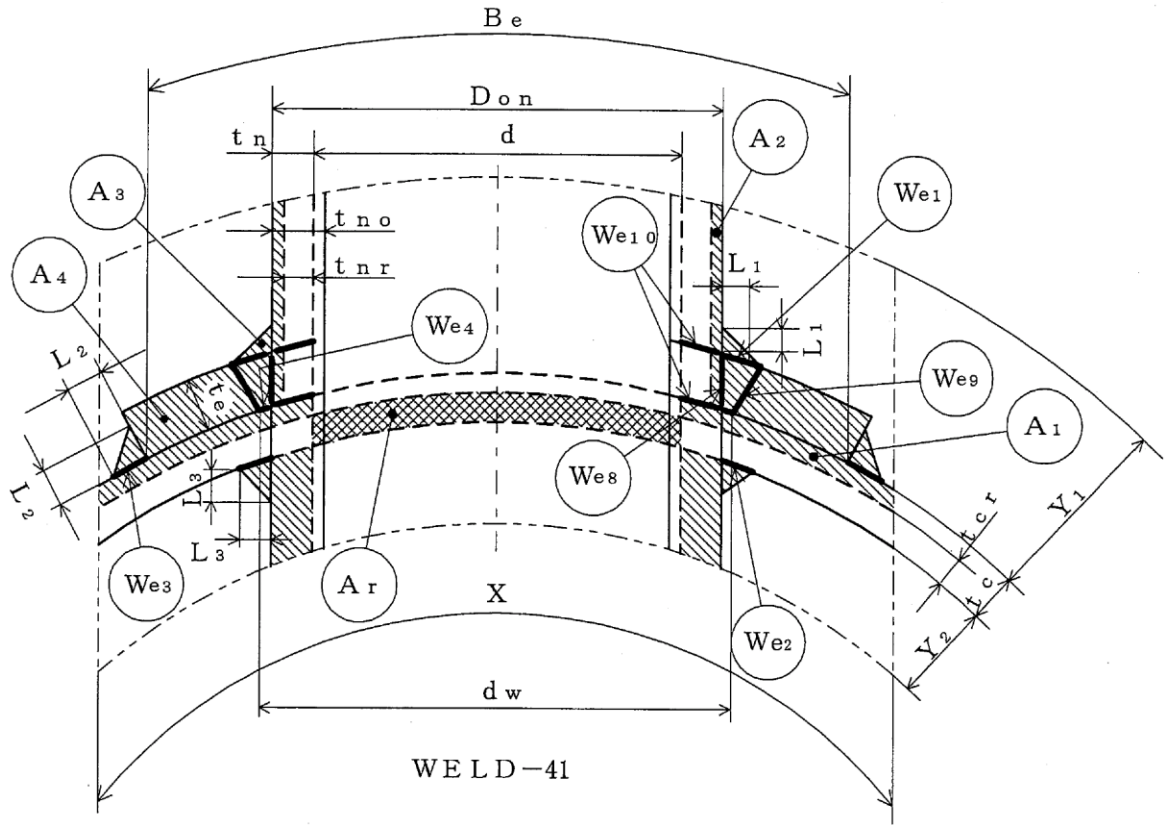


図3-14





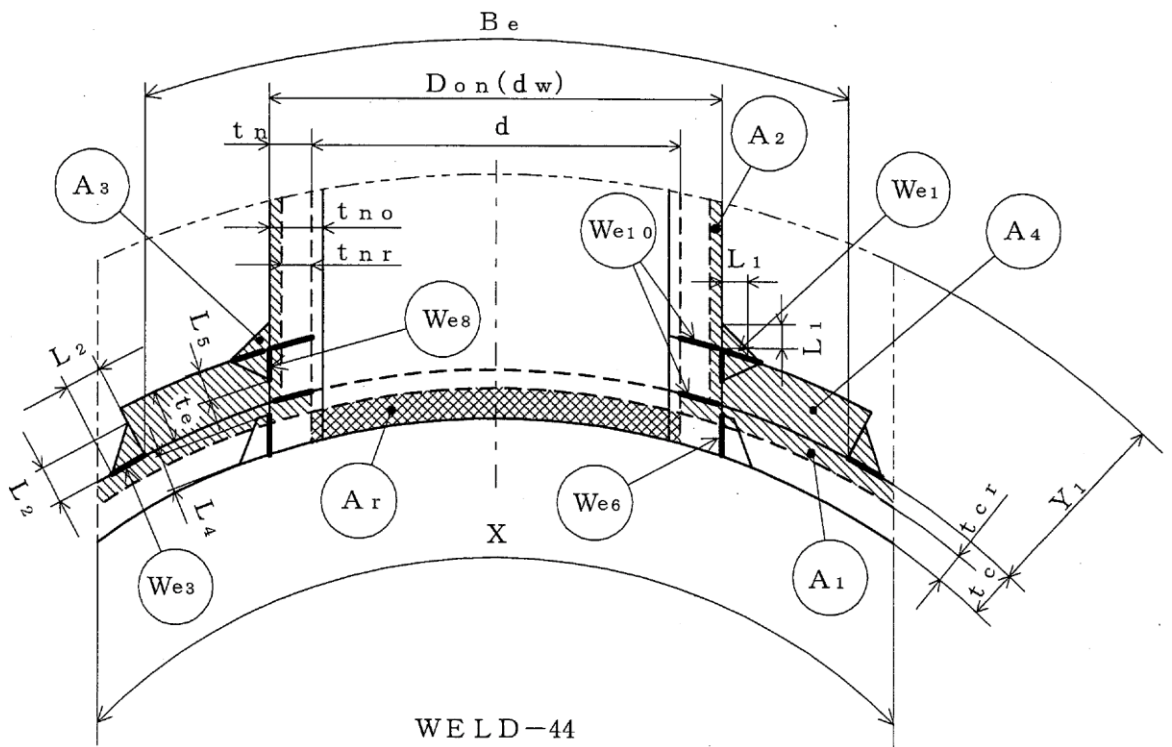
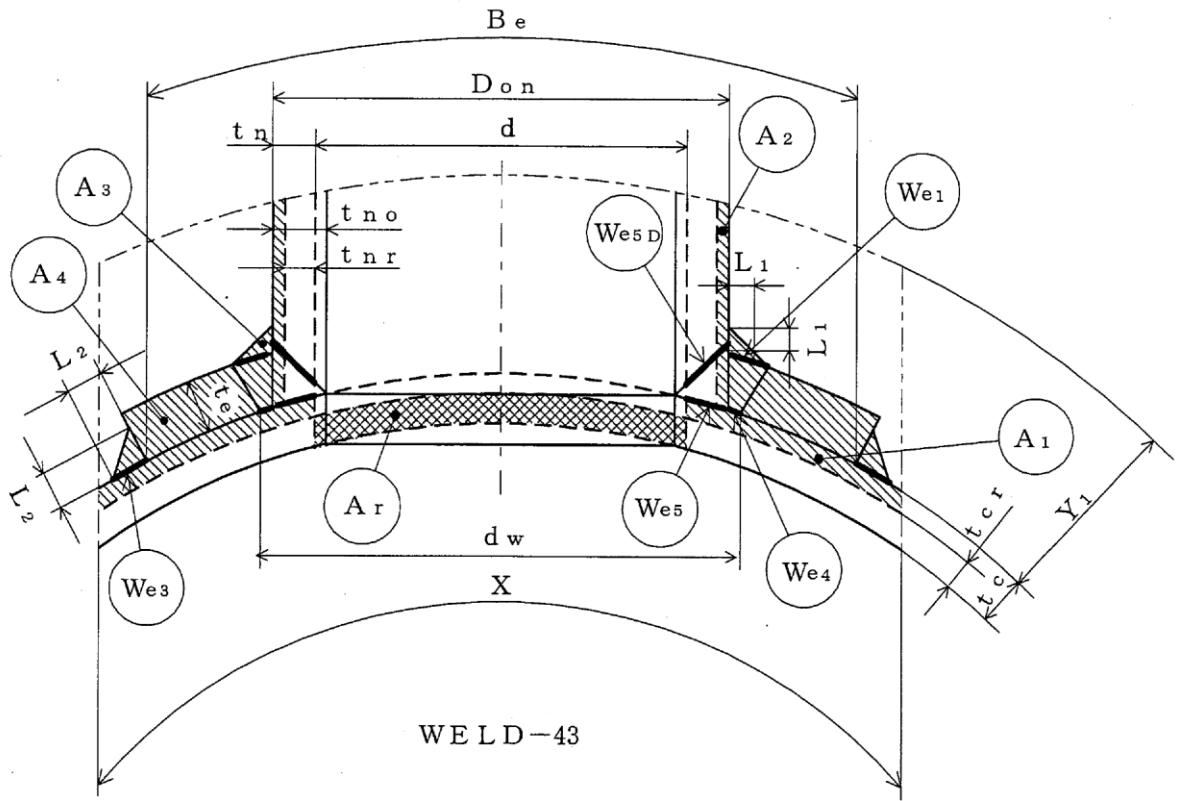
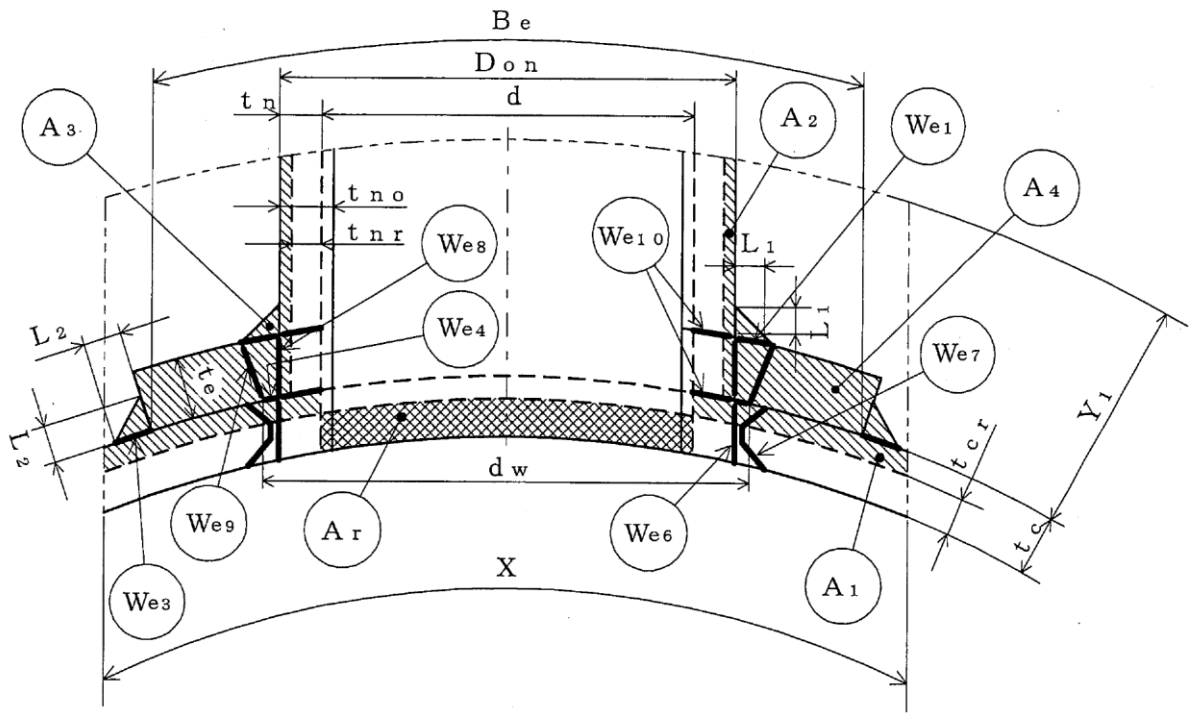
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-15

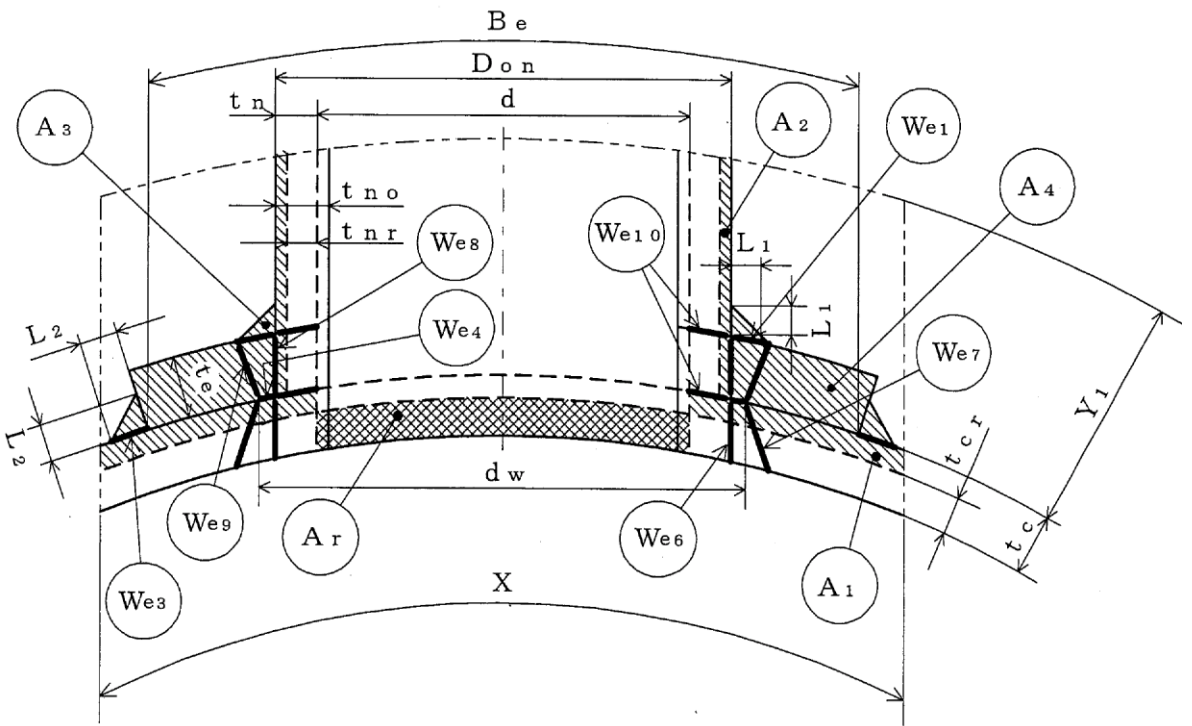


- WELD-44
- 補強に有効な面積
 - 補強に必要な面積

図3-16



WELD-45



WELD-46

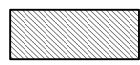

-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-17

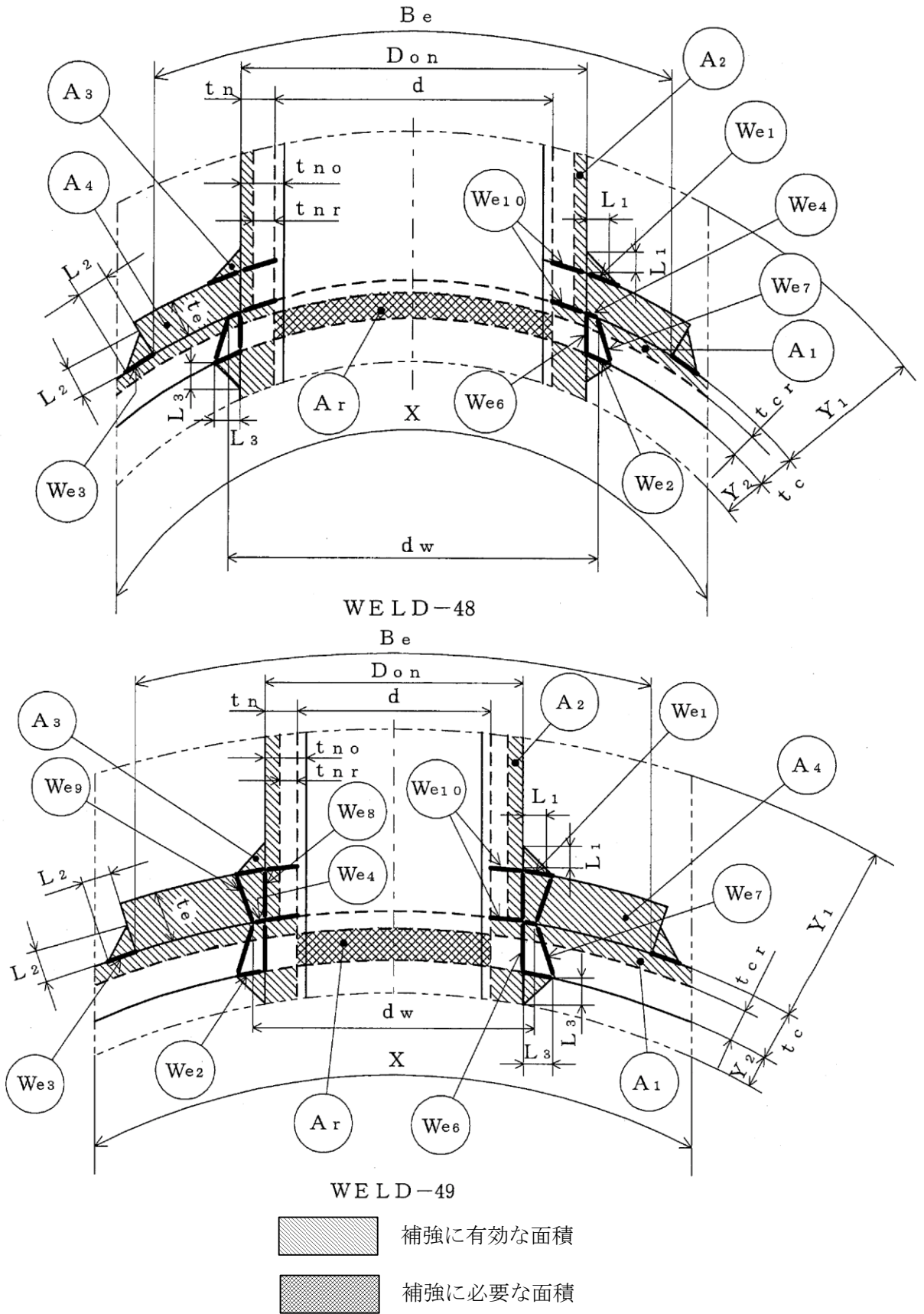


図3-18

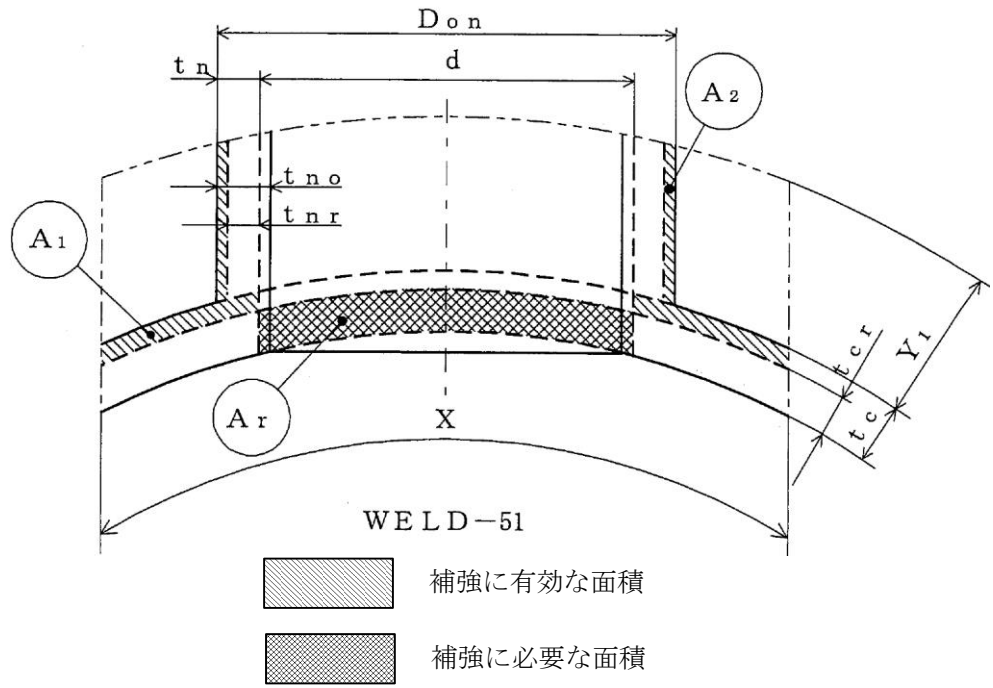


図3-19

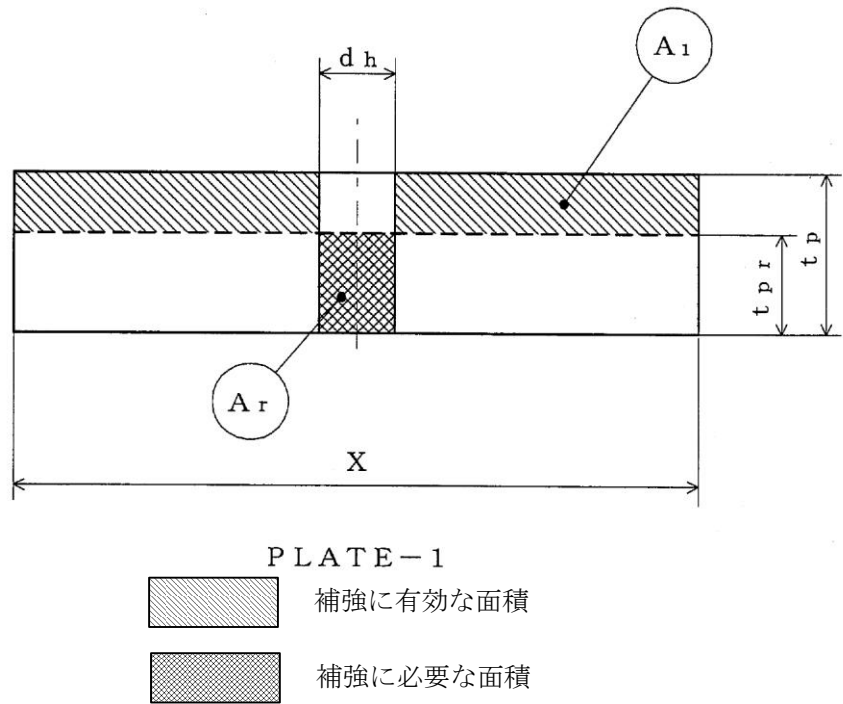
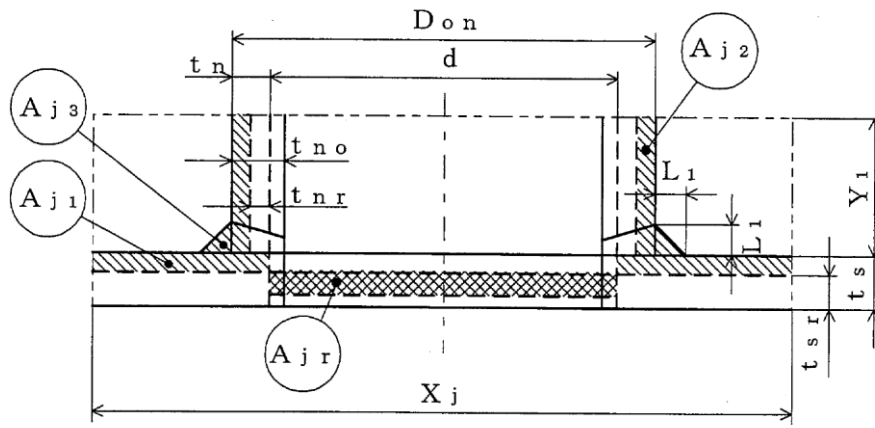
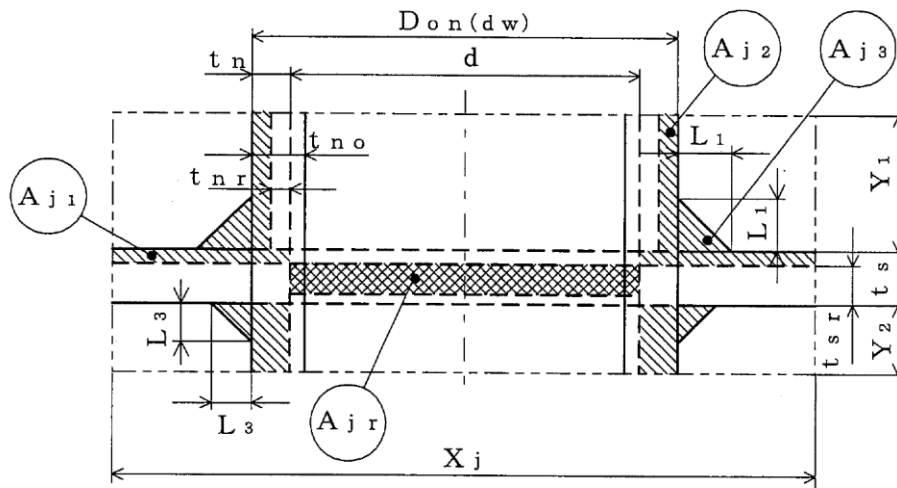


図3-20



WELD-1



WELD-2

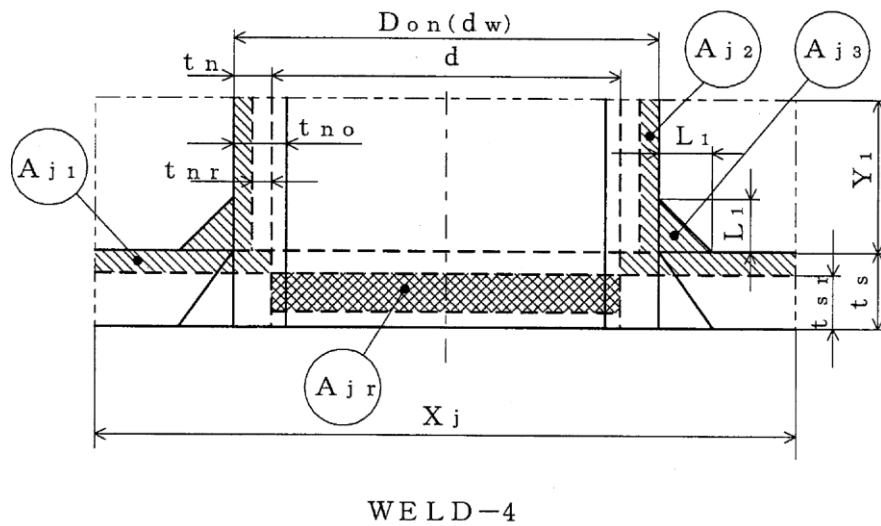
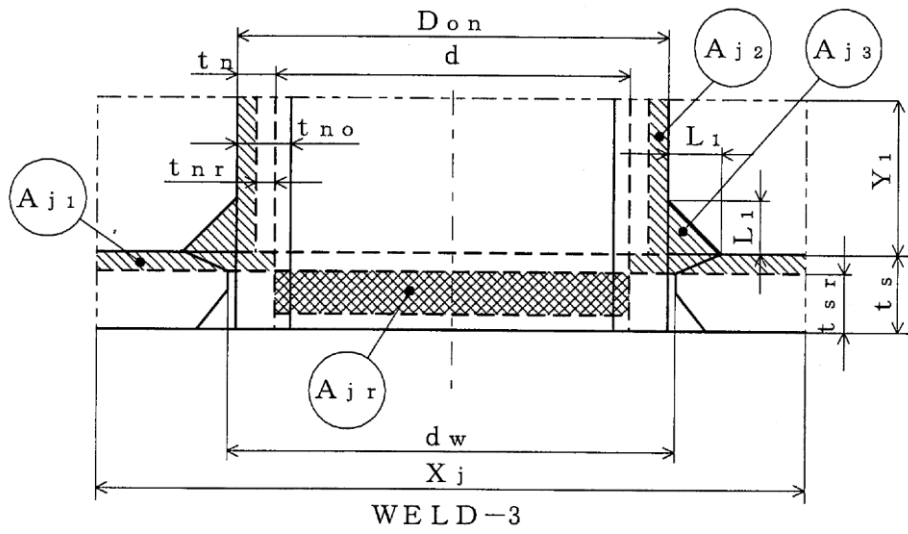


大きい穴の補強に有効な面積



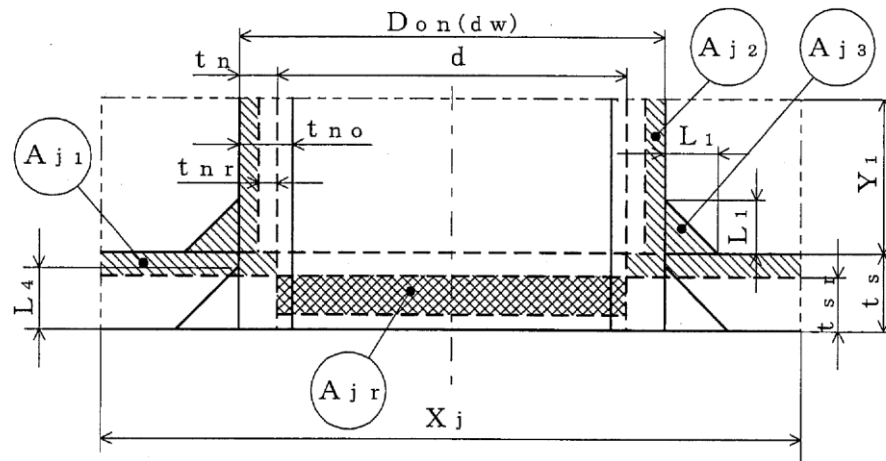
大きい穴の補強に必要な面積

図3-21

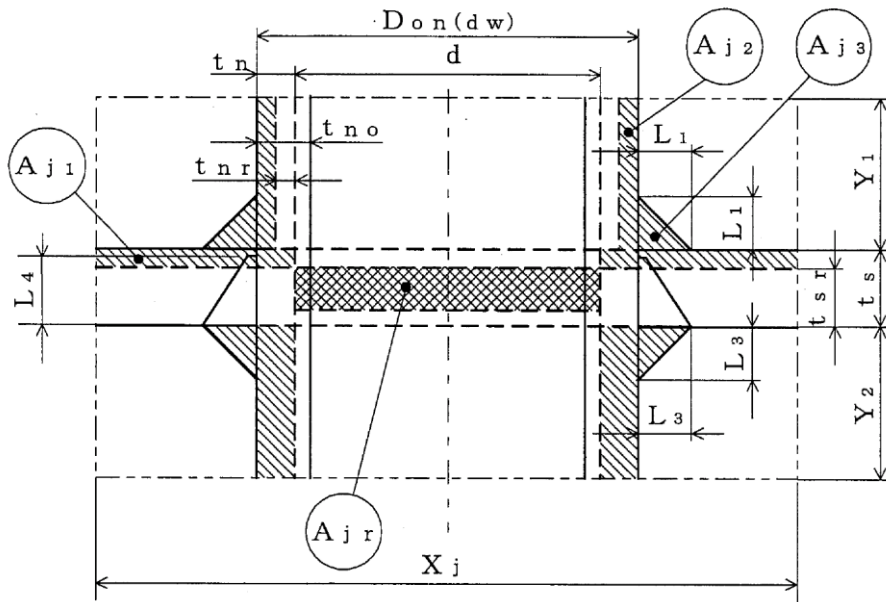


- 大きい穴の補強に有効な面積
- 大きい穴の補強に必要な面積

図3-22



WELD-5



WELD-6



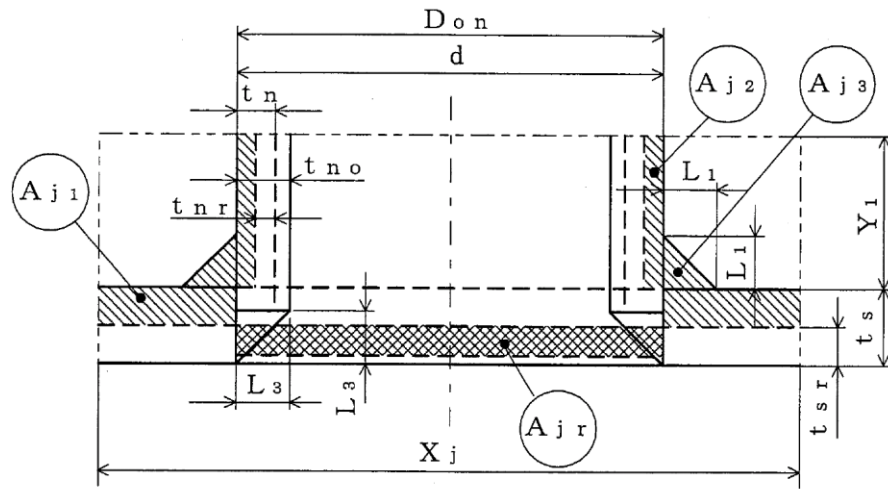
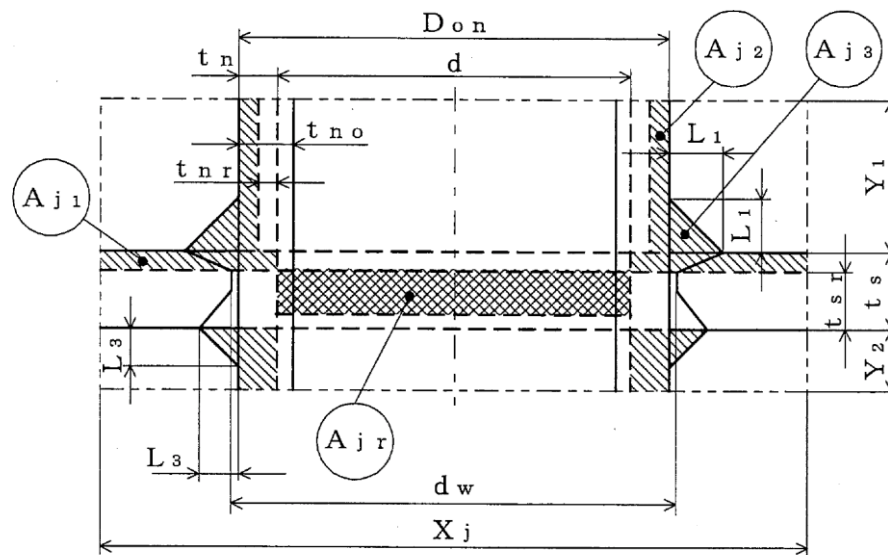
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

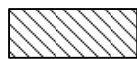
図3-23



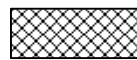
WELD-8



WELD-9

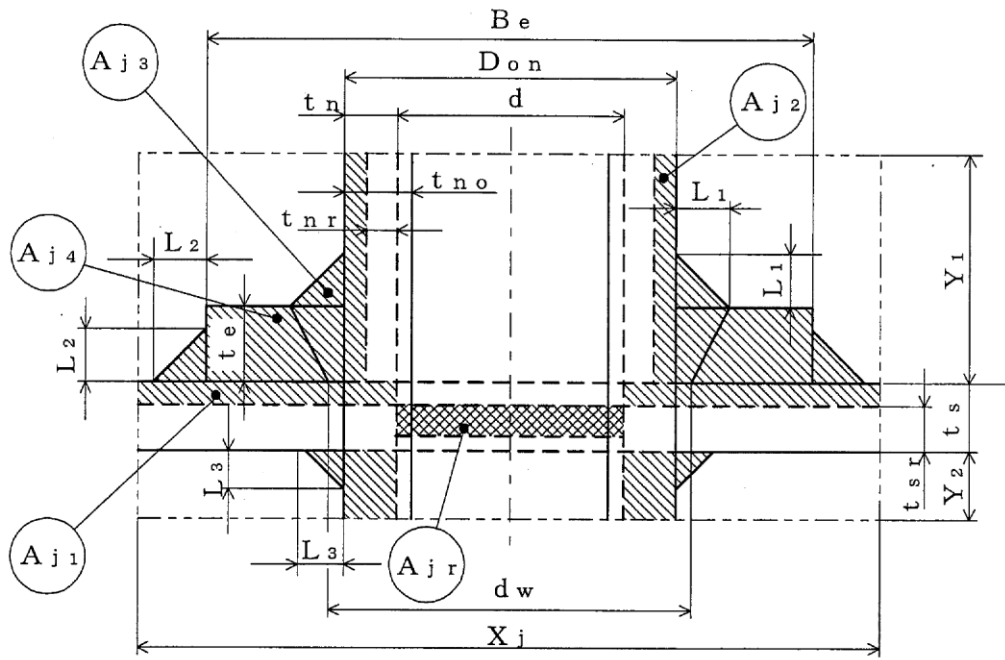


大きい穴の補強に有効な面積

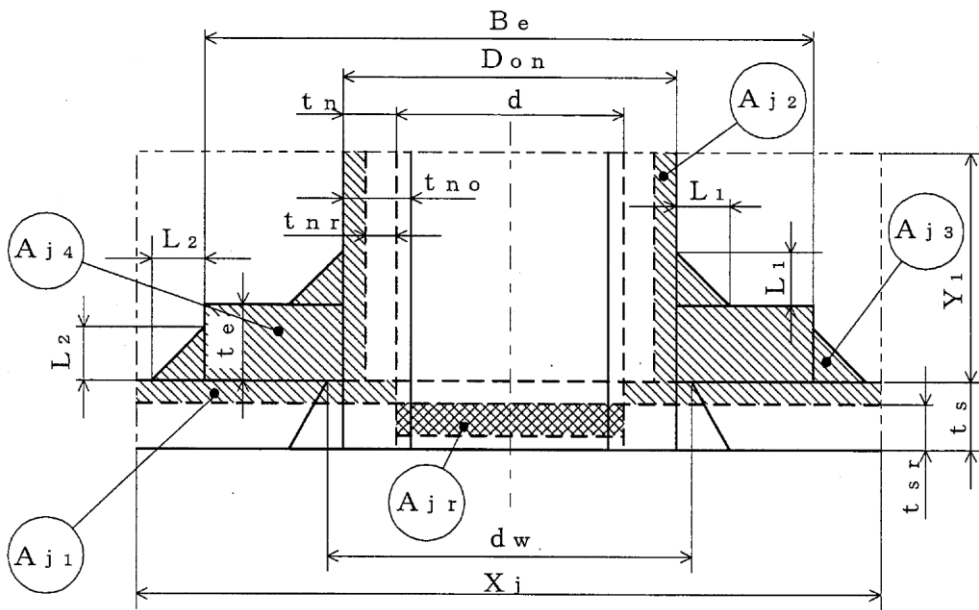


大きい穴の補強に必要な面積

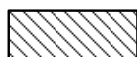
図3-24



WELD-11



WELD-12

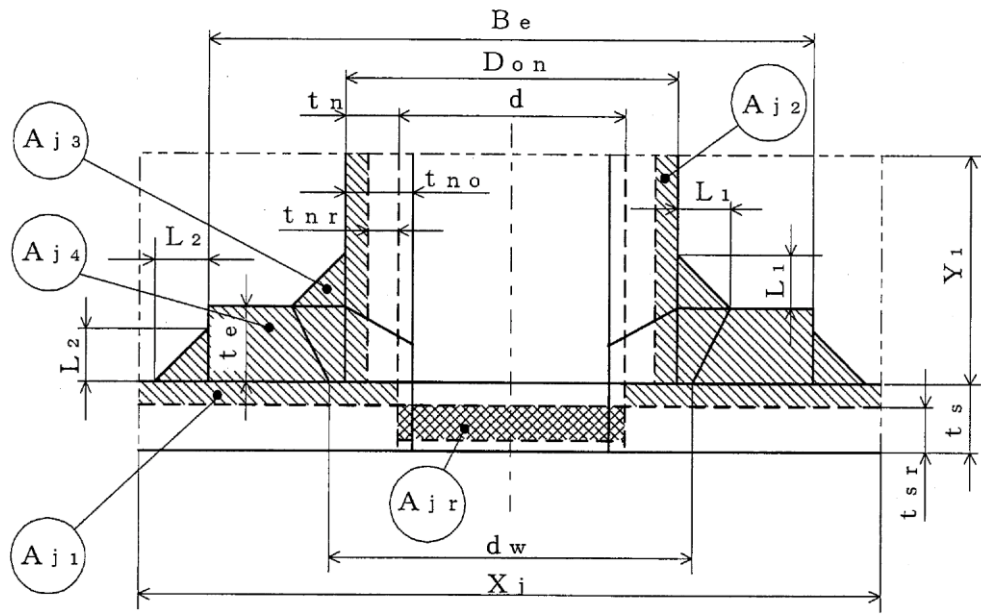


大きい穴の補強に有効な面積

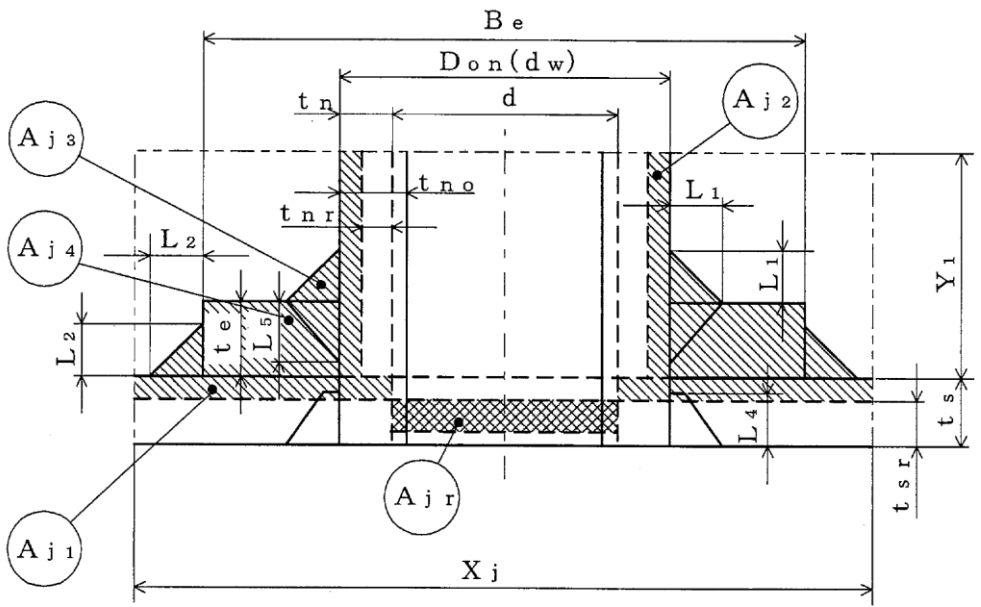


大きい穴の補強に必要な面積

図3-25



WELD-13



WELD-14



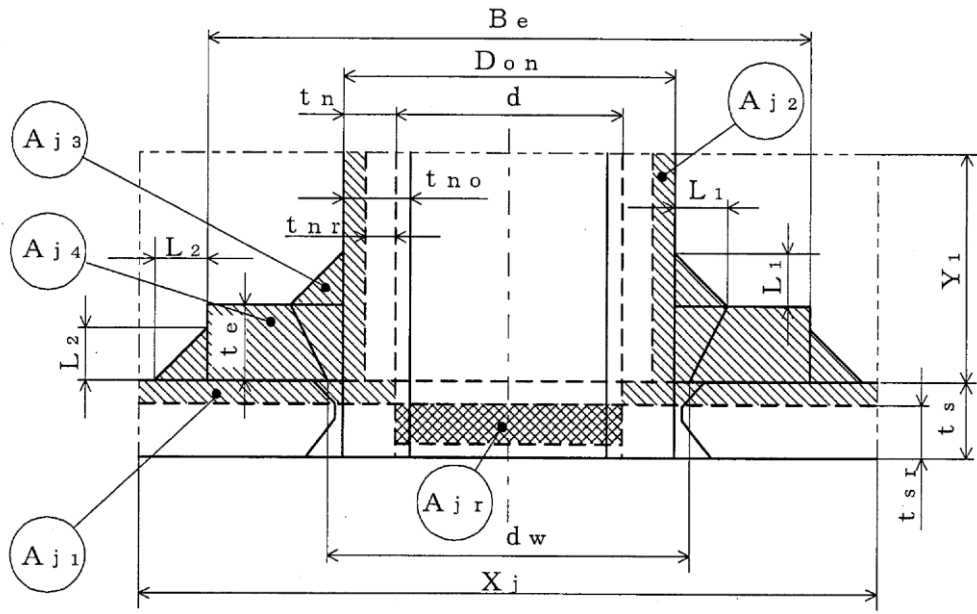
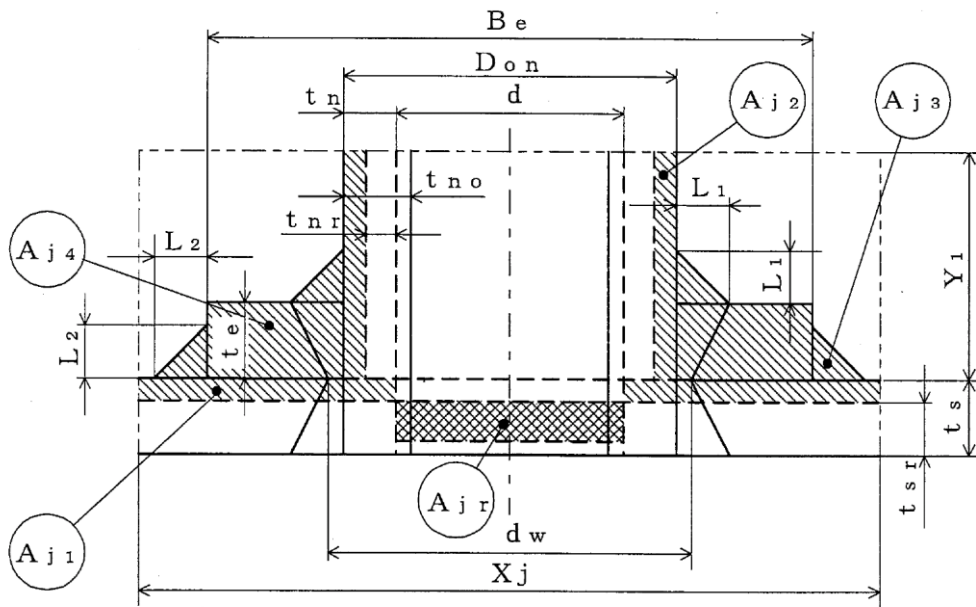
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-26



WELD-15



WELD-16



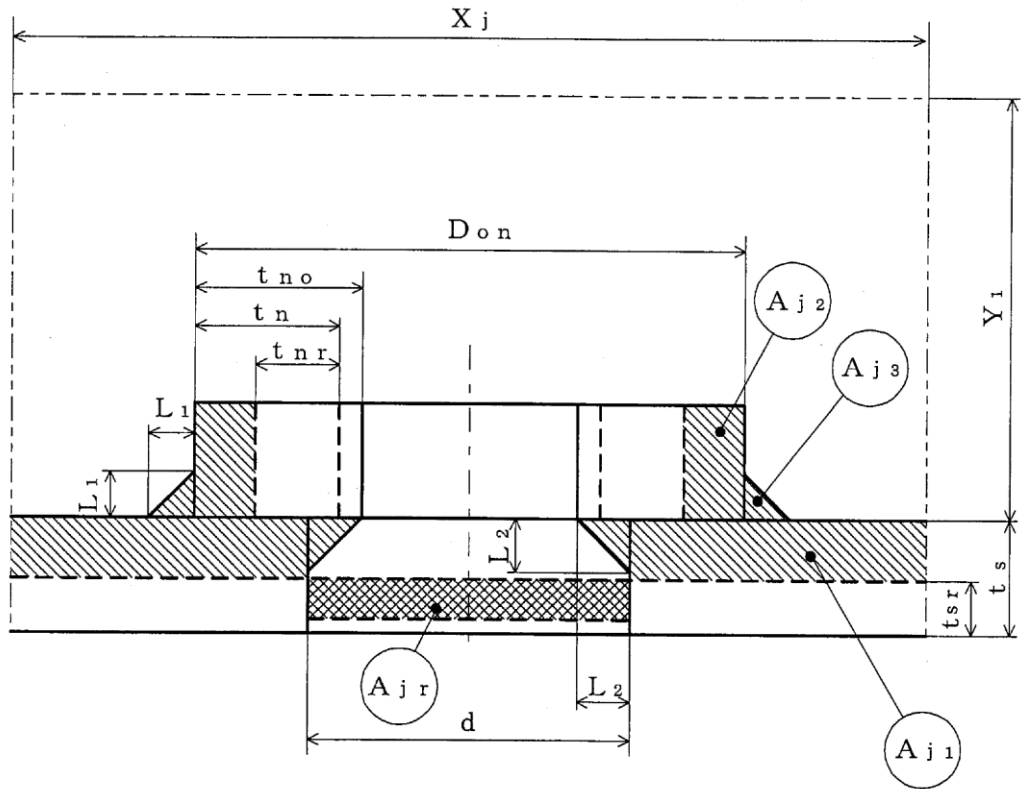
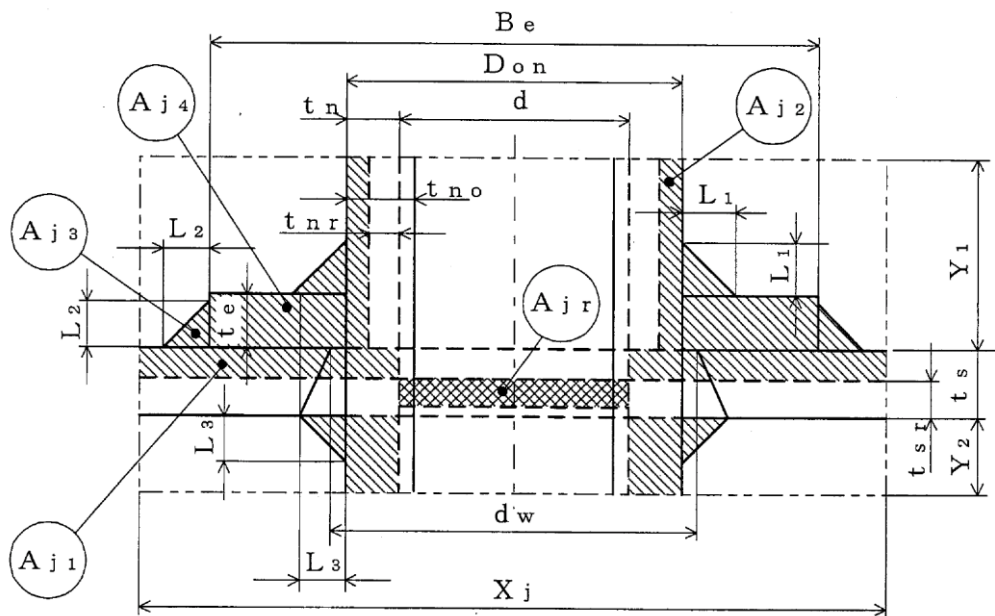
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

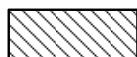
図3-27



WELD-17



WELD-18

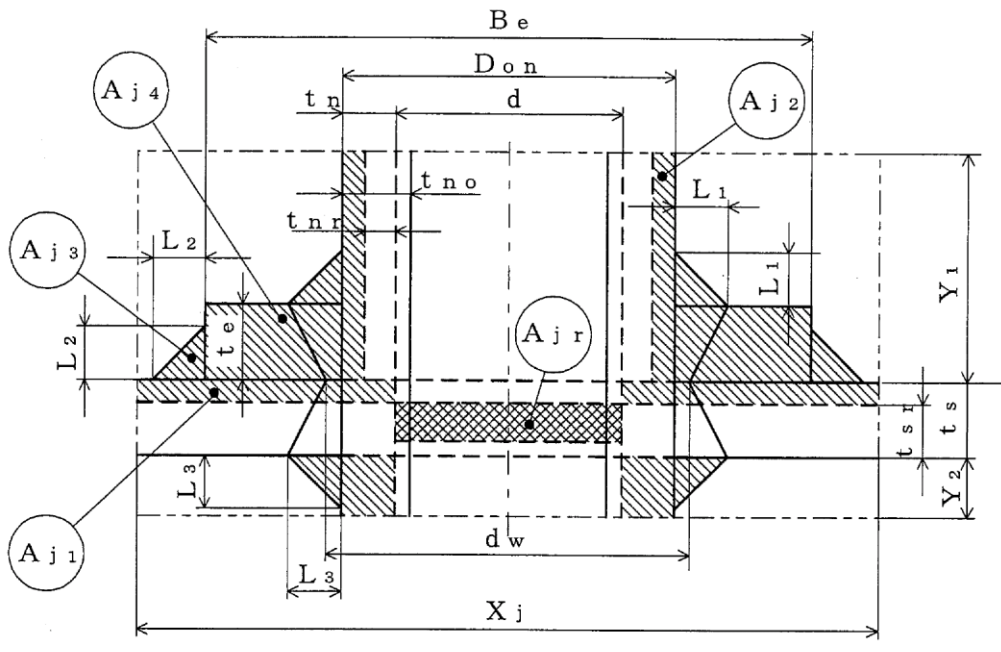


大きい穴の補強に有効な面積

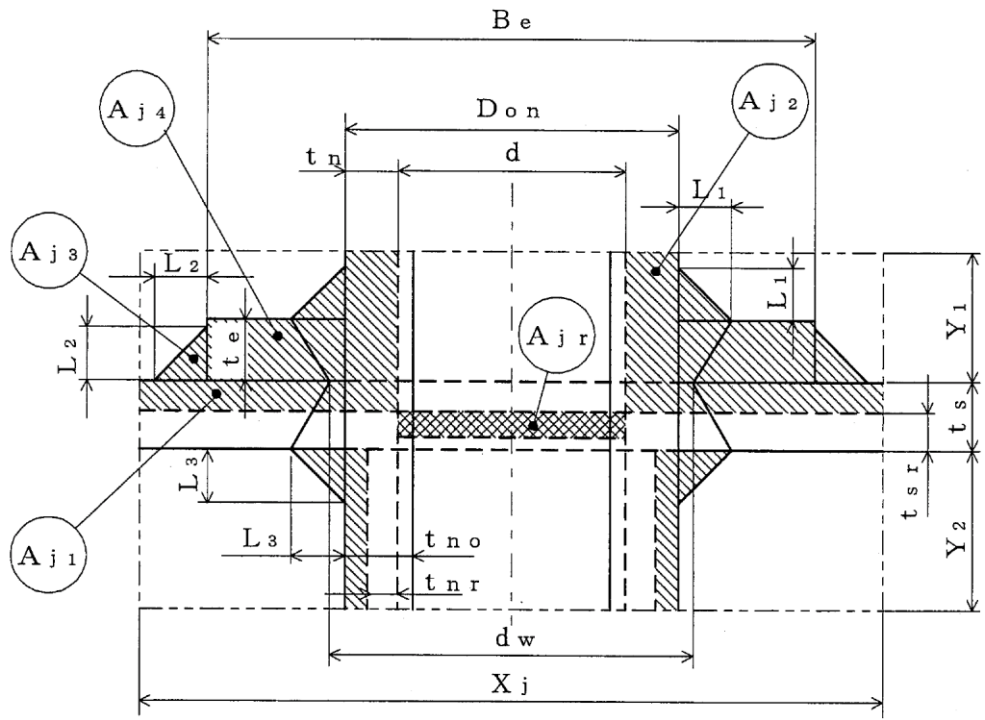


大きい穴の補強に必要な面積

図3-28



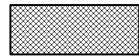
WELD-19



WELD-19'

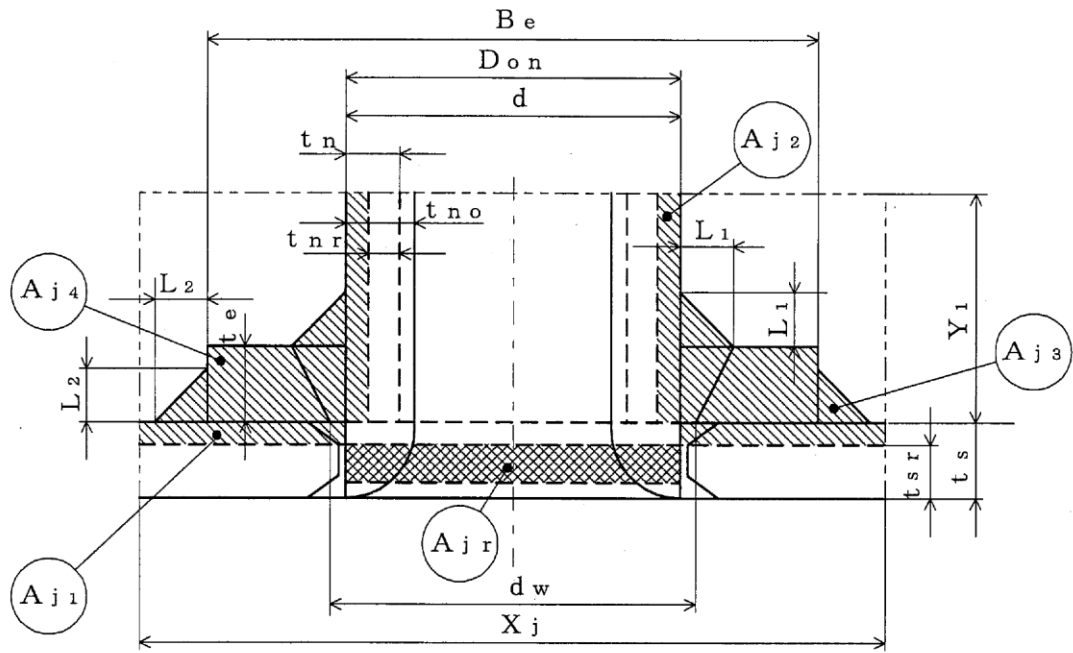


大きい穴の補強に有効な面積



大きい穴の補強に必要な面積

図3-29



WELD-22



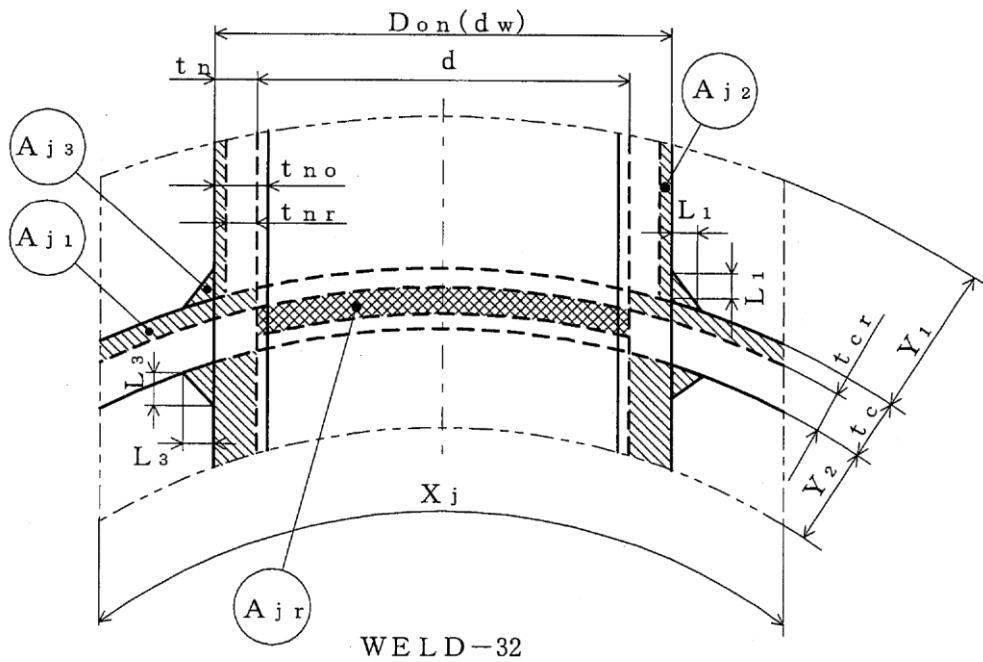
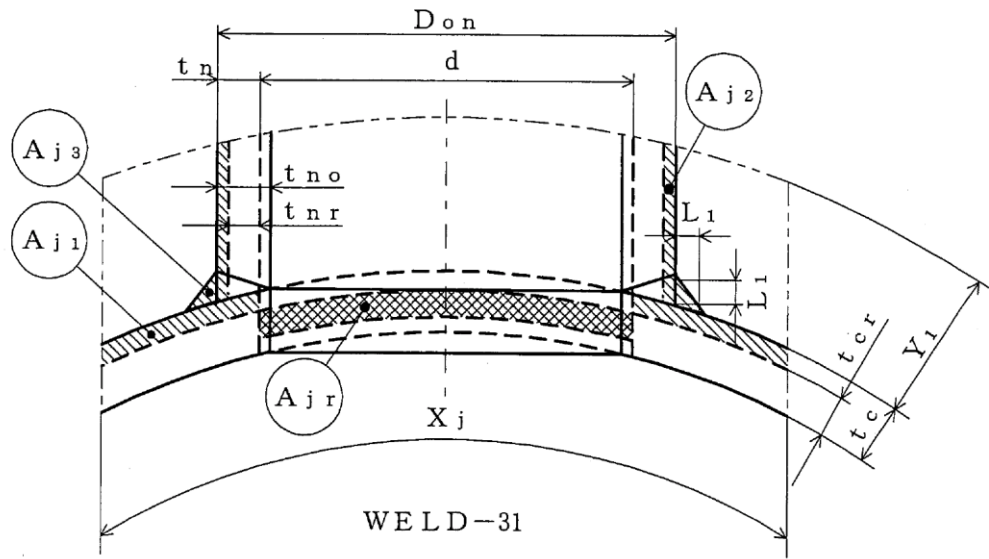
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-30

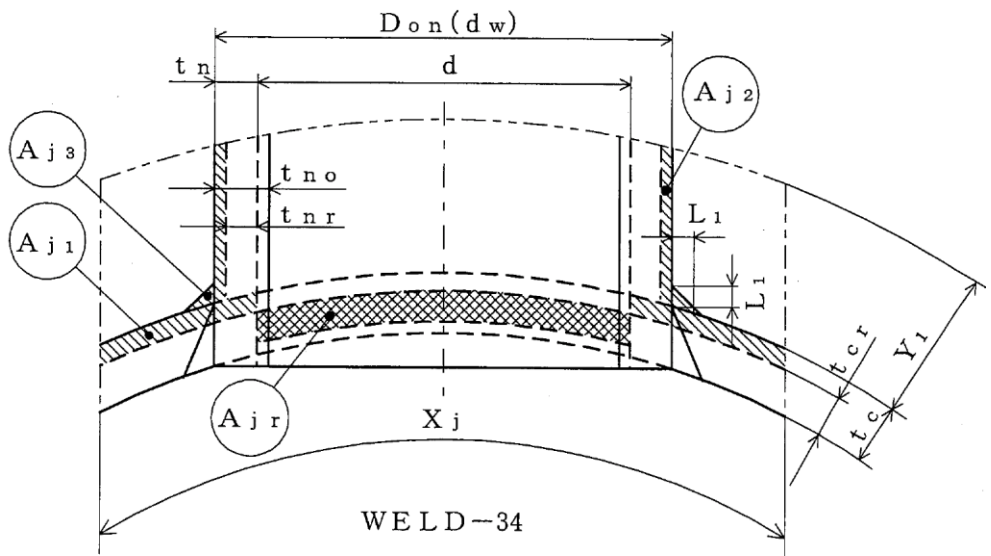
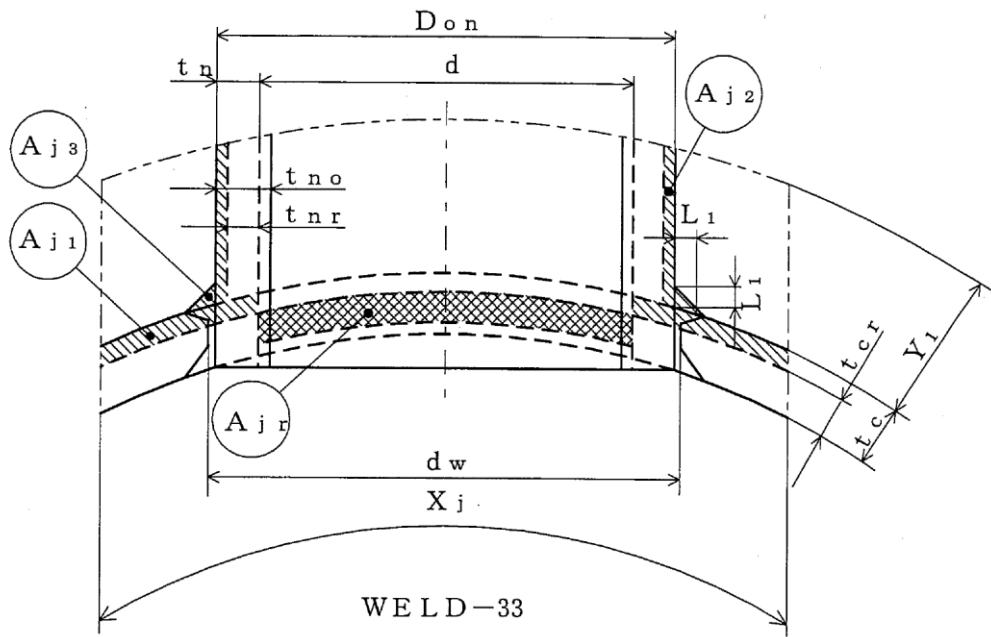


大きい穴の補強に有効な面積



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

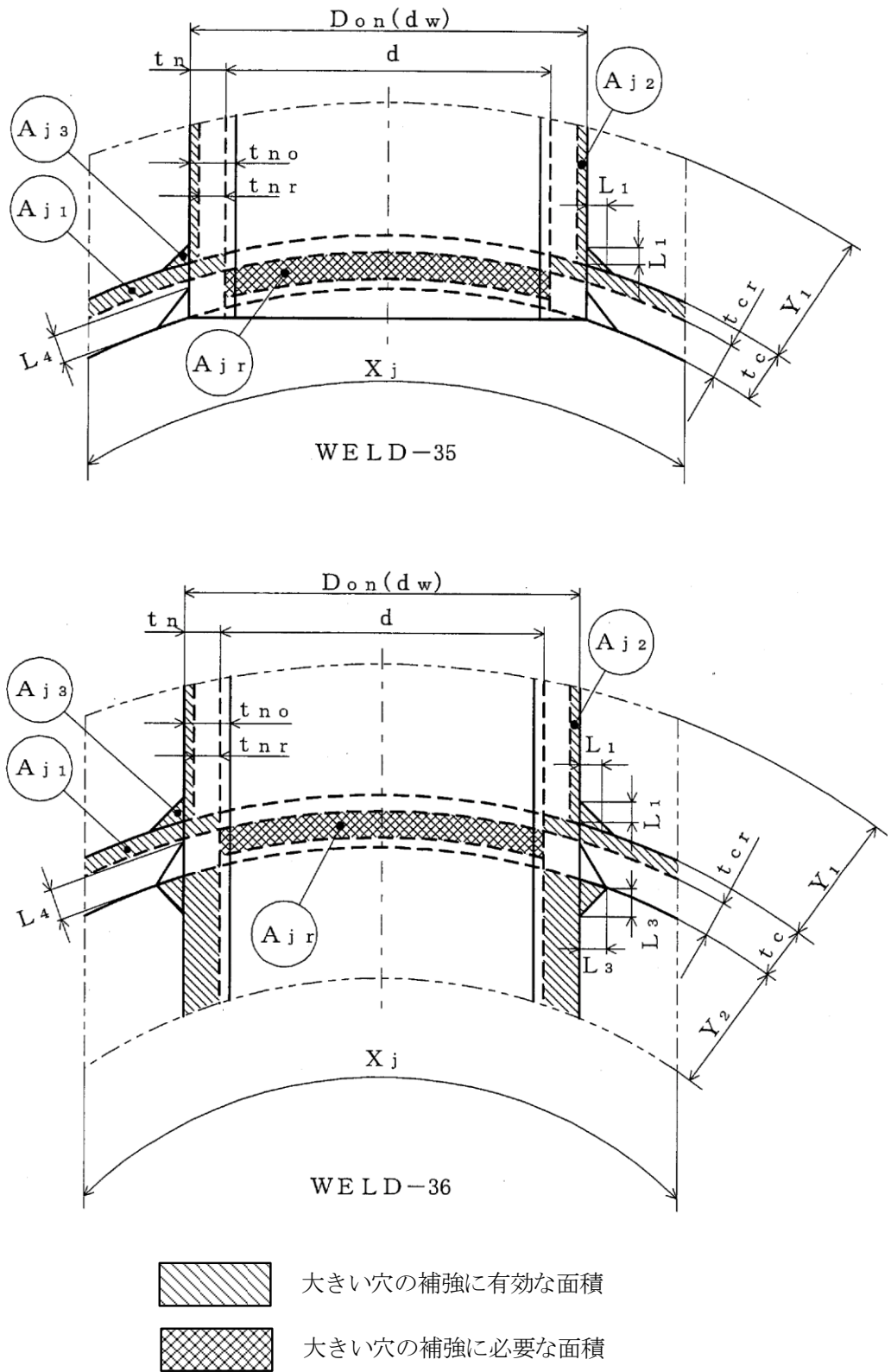
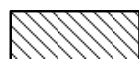
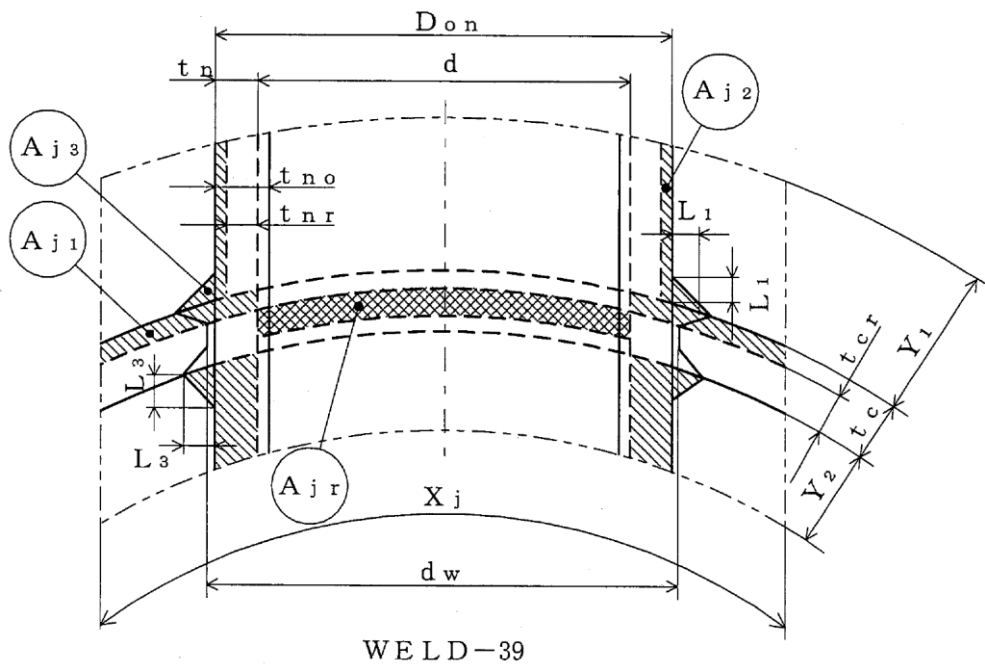
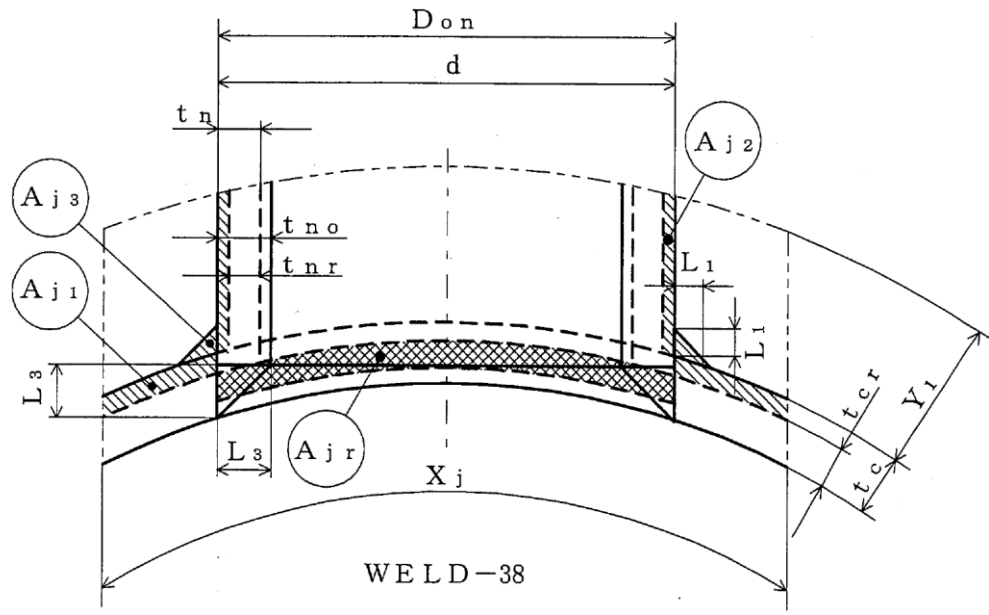


図3-33

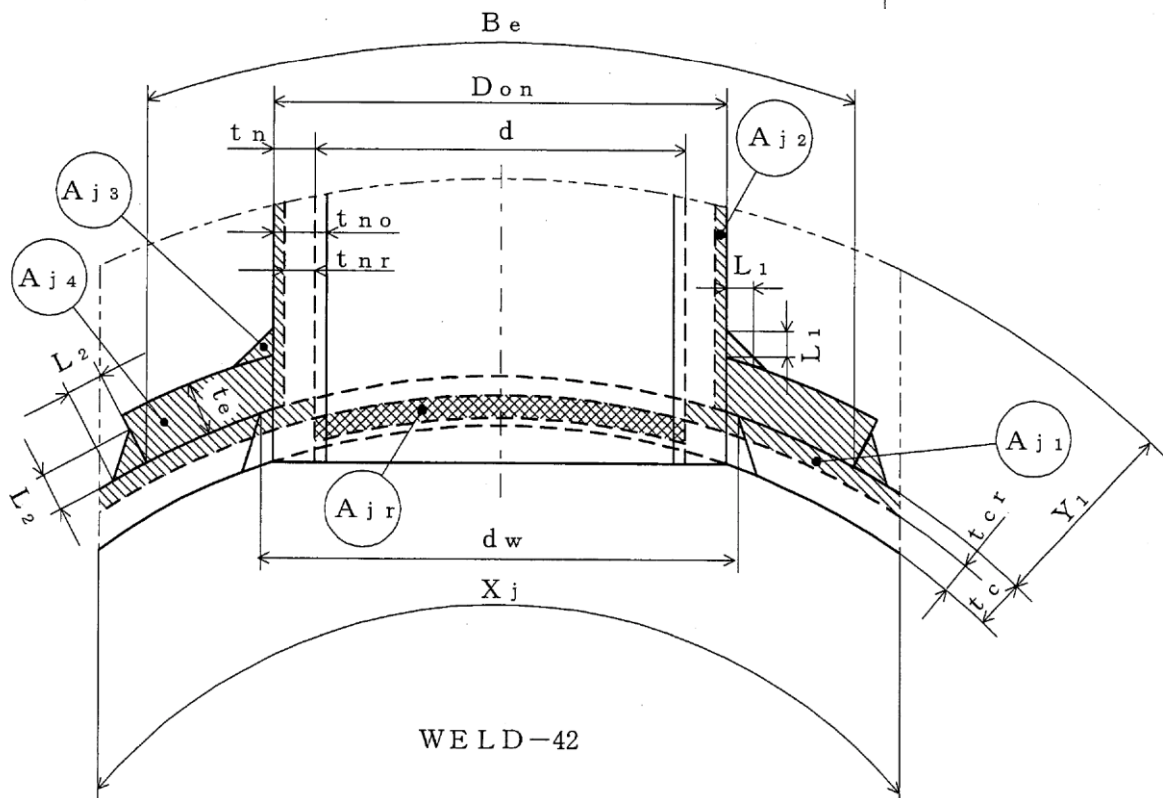
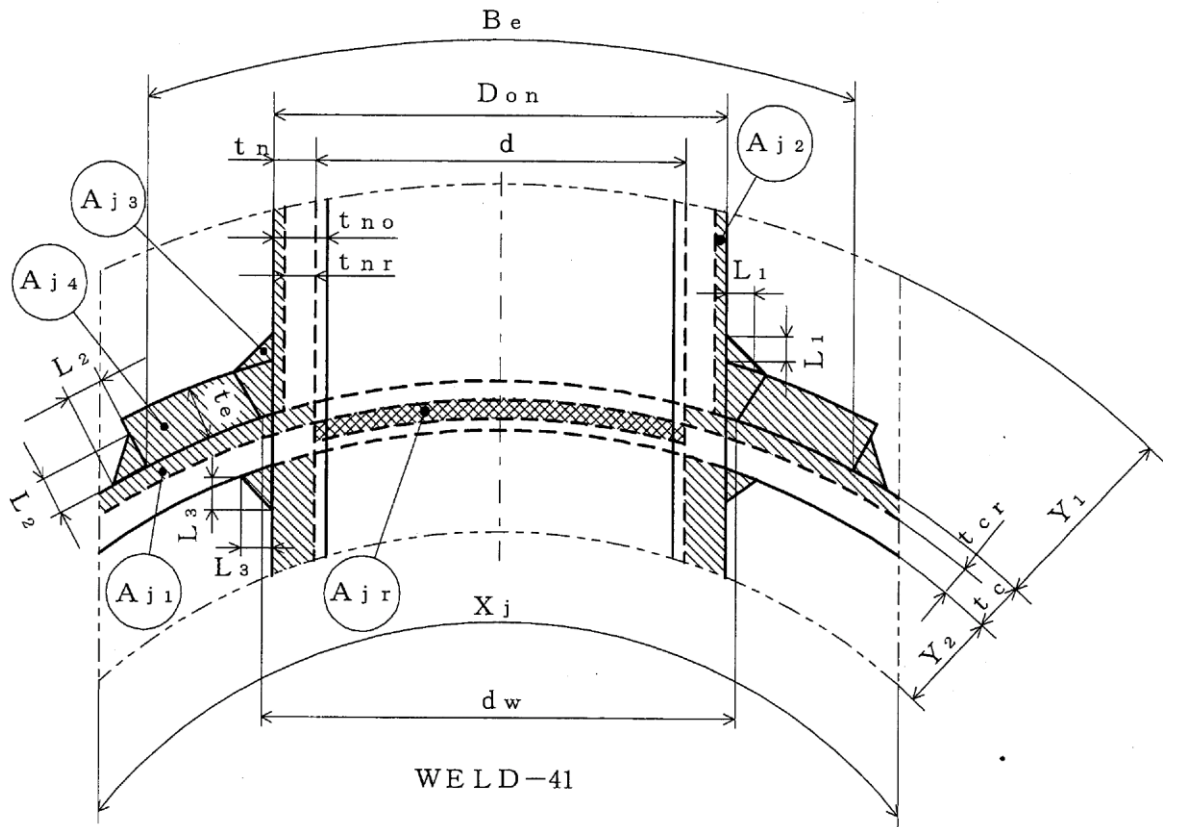


大きい穴の補強に有効な面積



大きい穴の補強に必要な面積

図3-34



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

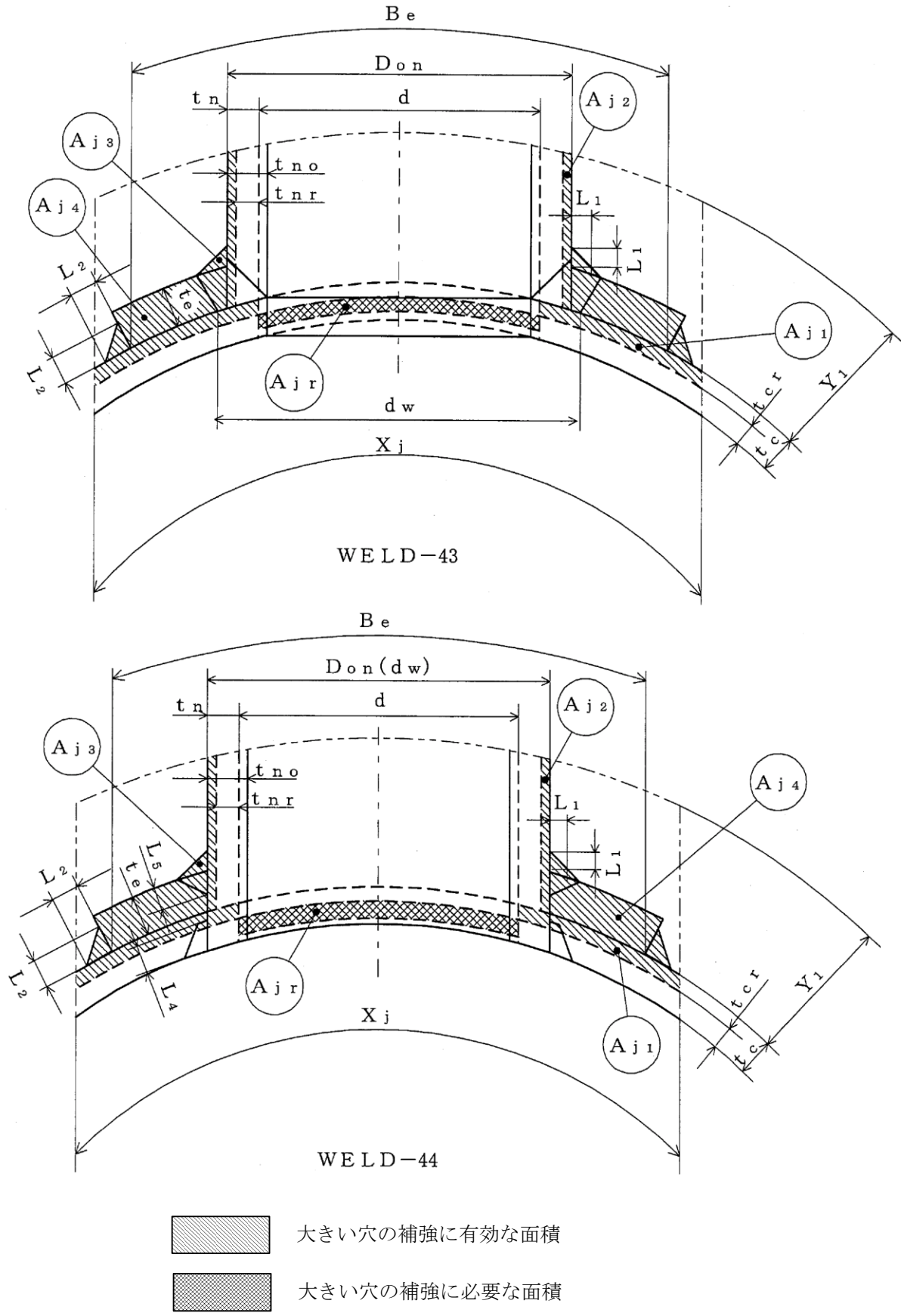


図3-36

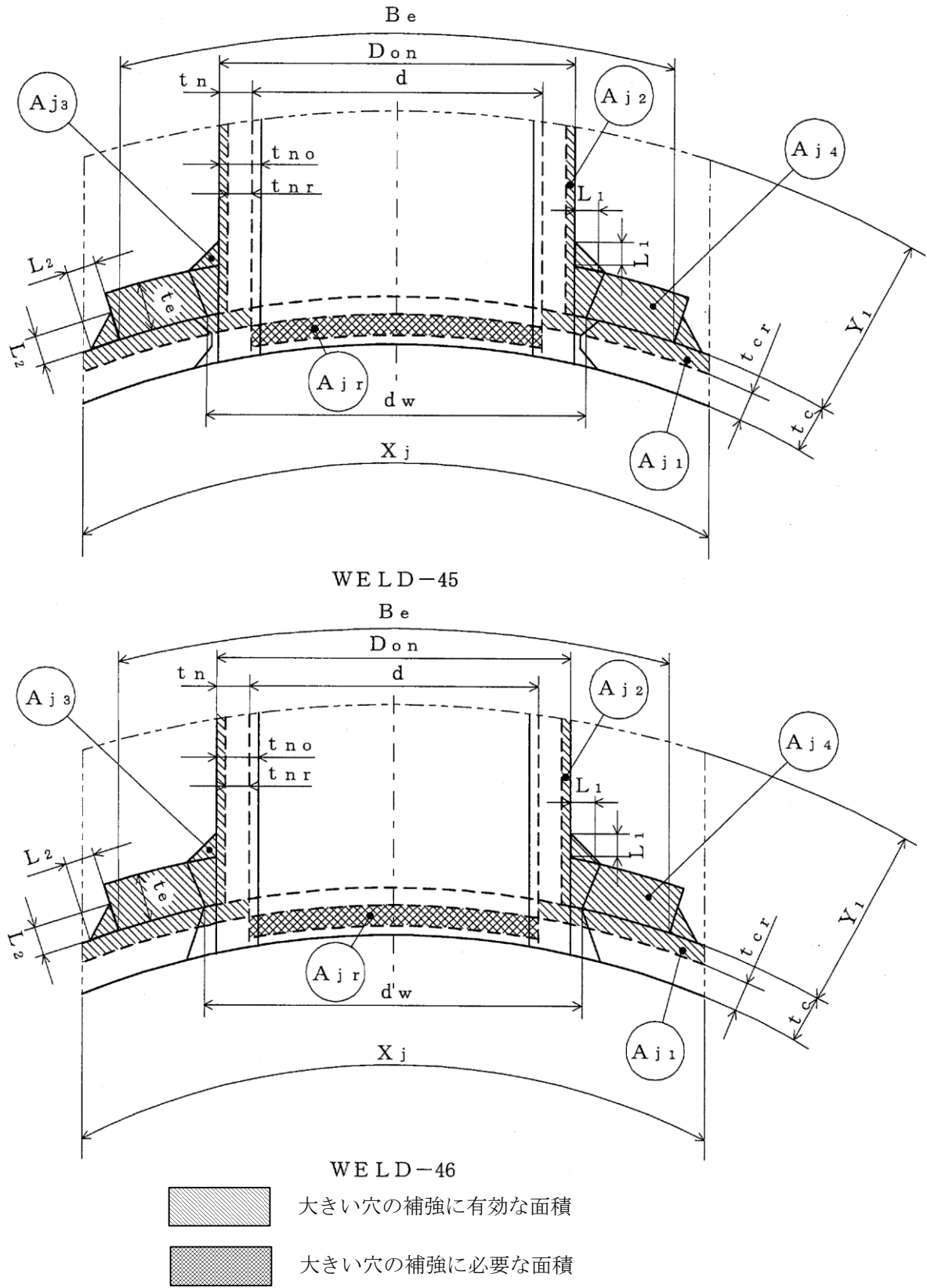
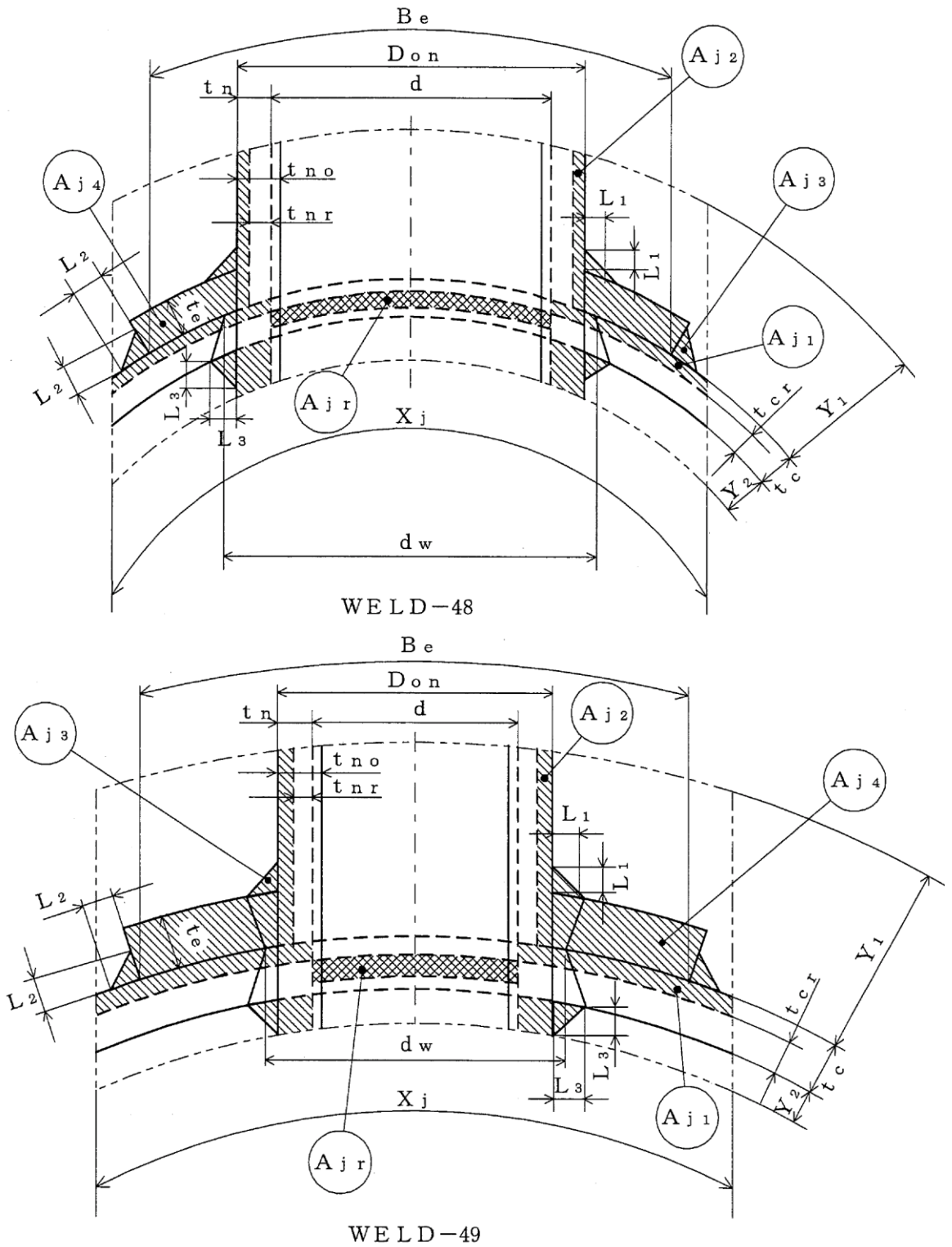


図3-37





-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-38

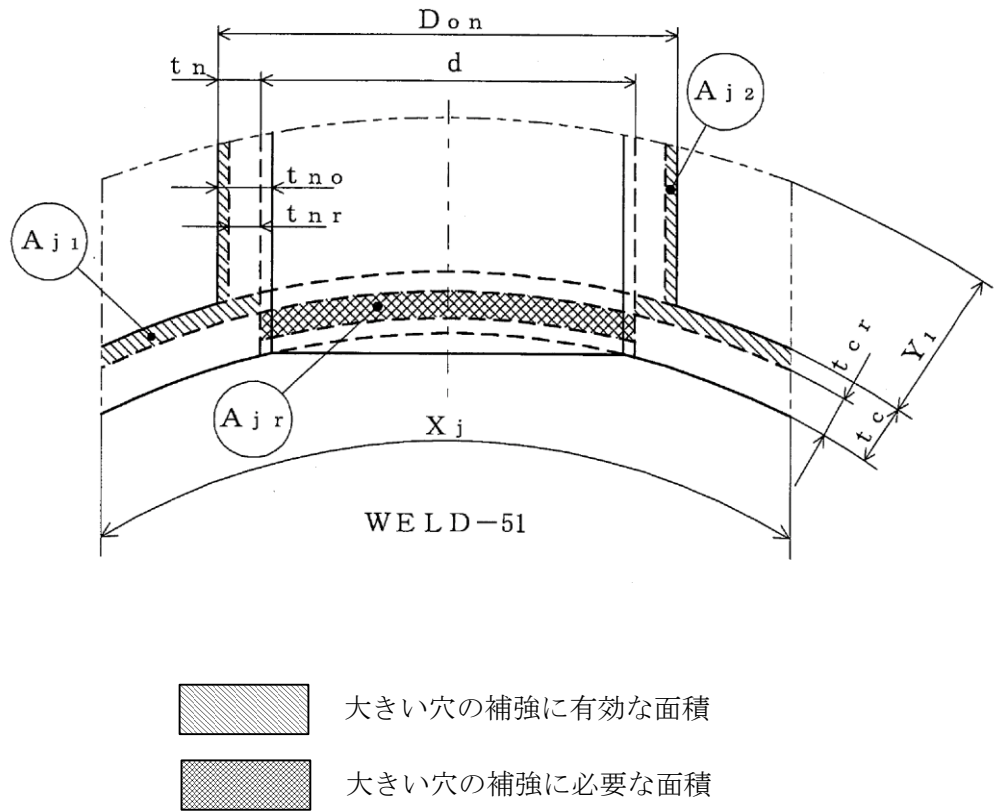


図3-39

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、J I S 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

J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A m	A m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₁	A m ₁	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₂	A m ₂	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b o	b o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 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 $\left\{ \begin{array}{l} (= \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \\ \text{(一体形フランジ及び一体形フランジと} \\ \text{して計算する任意形フランジの場合))} \\ \\ (= \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \\ \text{(ルーズ形フランジ及びルーズ形フラン} \\ \text{ジとして計算する任意形フランジの場} \\ \text{合))} \end{array} \right.$	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 $\left\{ \begin{array}{l} (= \frac{F}{h_o} \\ \text{(一体形フランジ及び一体形フランジと} \\ \text{して計算する任意形フランジの場合))} \\ \\ (= \frac{F_L}{h_o} \\ \text{(ルーズ形フランジ及びルーズ形フラン} \\ \text{ジとして計算する任意形フランジの場} \\ \text{合))} \end{array} \right.$	mm ⁻¹

J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
F	F	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図5又は附属書3 表4による。)	—
F _L	F _L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図6又は附属書3 表4による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4又は附属書3 表4による。)	—
	FLANGE-	フランジの形式 (J I S B 8 2 6 5 による。図4-1~図4-3参照)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
g ₀	g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g 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 (= A / B)	—
L	L	係数 $\left(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$	—

J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
M _D	M _D	内圧力によってフランジの内径面に加わる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 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7又は図中の算式による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7又は図中の算式による。)	—
V	V	一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は附属書3 表4による。)	—
V _L	V _L	ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図9又は附属書3 表4による。)	—
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N

J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
Y	Y	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7又は図中の算式による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	K (=A/B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7又は図中の算式による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 (設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。)	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 (設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。)	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 (設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。)	MPa
σ_f	σ_f	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 (設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。)	MPa
σ_n	σ_{na}	管台又は胴の材料の常温における許容引張応力 (設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。)	MPa
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 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	—

注記* : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせて「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。

$$g_o \leq 16\text{mm} \quad , \quad B / g_o \leq 300$$

$$P \leq 2\text{MPa} \quad , \quad \text{最高使用温度} \leq 370^\circ\text{C}$$

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅 b 及びガasket反力円の直径 G は、ガasket座の基本幅 b_o に従い以下のように求める。

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

b. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$$

- (b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

熱交換器の管板を挟む一对のフランジのように、フランジ又はガスケットが同一でない場合は、 W_{m1} 及び W_{m2} の値は、それぞれのフランジ又はガスケットについて計算した値のうちの大きい方とし、その値を両方のフランジの計算に用いる。

また、セルフシールガスケットを用いる場合は、

$$W_{m1}(=H) = \frac{\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot P$$

$$W_{m2} = 0$$

とする。

- c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = W_{m1} / \sigma_b \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = W_{m2} / \sigma_a \quad (\text{ガスケット締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

- d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = (A_m + A_b) \cdot \sigma_a / 2 \quad (\text{ガスケット締付時})$$

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

f. 使用状態で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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合})$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ及び一体形フランジとして計算する任意形フランジの場合})$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ及びルーズ形フランジとして計算する任意形フランジの場合})$$

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

使用状態にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_f, 1.5 \cdot \sigma_n)$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 1.5 \cdot \sigma_{na})$

図4-1 FLANGE-2に示すハブ付一体形フランジの場合

使用状態にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_f, 2.5 \cdot \sigma_n)$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 2.5 \cdot \sigma_{na})$

上記以外で鋳鉄以外の材料の場合

使用状態にあつては $\sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_f$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

ハ. フランジの径方向応力

使用状態にあつては $\sigma_R \leq \sigma_f$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_R \leq \sigma_{fa}$

ニ. フランジの周方向応力

使用状態にあつては $\sigma_T \leq \sigma_f$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_T \leq \sigma_{fa}$

ホ. 軸方向と径方向応力の平均

使用状態にあつては $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_f$

ガスケット締付時にあつては $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_{fa}$

へ. 軸方向と周方向応力の平均

$$\text{使用状態にあつては} \quad \frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては} \quad \frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leq \sigma_{fa}$$

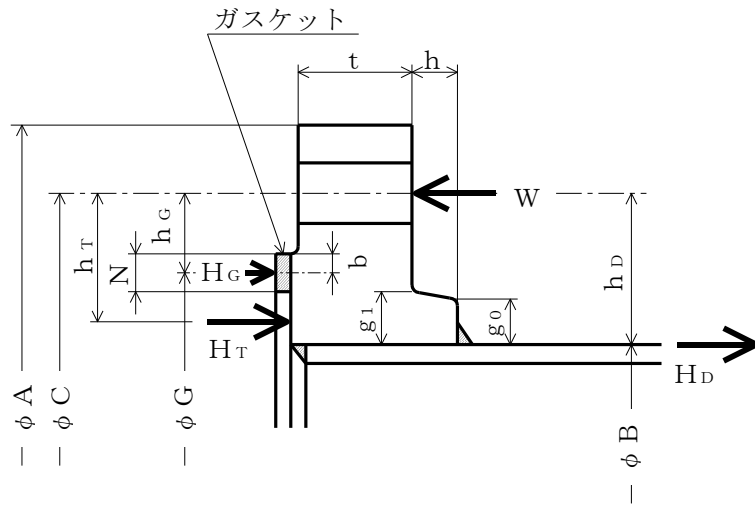
(b) ルーズ形フランジでハブがないもの, ハブを無視して計算するもの及びハブなし
ルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ

イ. ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

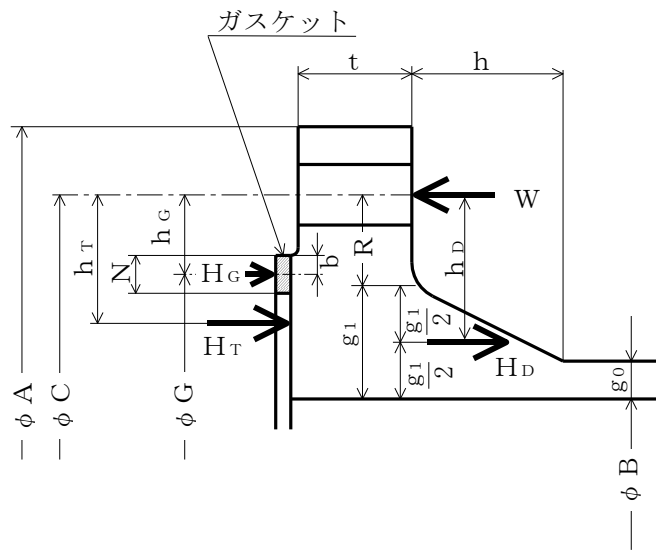
ロ. フランジの周方向応力

$$\text{使用状態にあつては} \quad \sigma_T \leq \sigma_f$$

$$\text{ガスケット締付時にあつては} \quad \sigma_T \leq \sigma_{fa}$$



FLANGE-1 (JIS B 8265 附属書3 図2 3), 4), 5)
 [ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)]

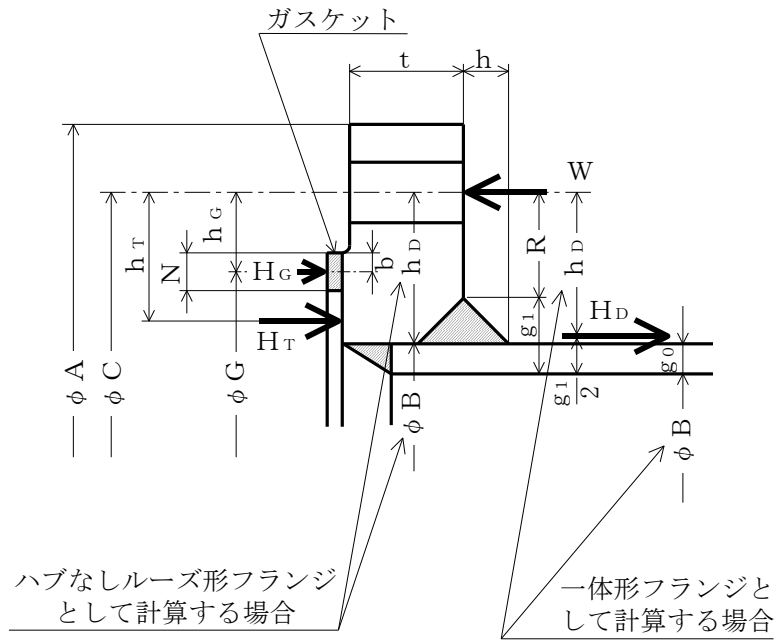


FLANGE-2 (JIS B 8265 附属書3 図2 7), 8), 9)
 [一体形フランジ]

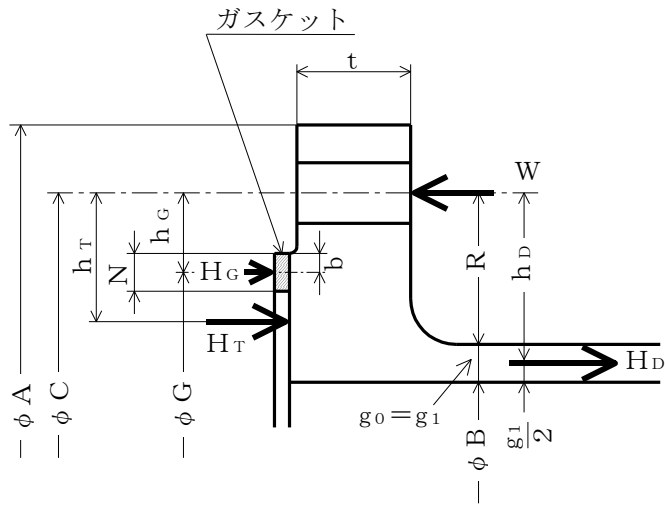
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2：Wは、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図4-1



FLANGE-3 (JIS B 8265 附属書3 図2 11), 12), 13), 14), 15))
〔任意形フランジ〕

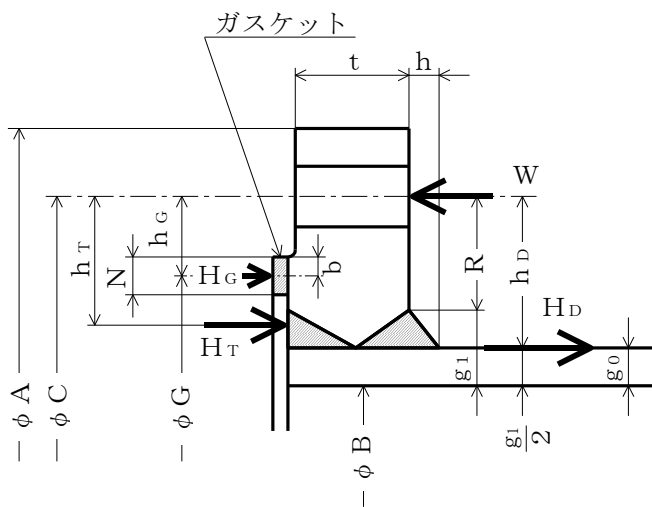


FLANGE-4 (JIS B 8265 附属書3 図2 6))
〔一体形フランジ〕

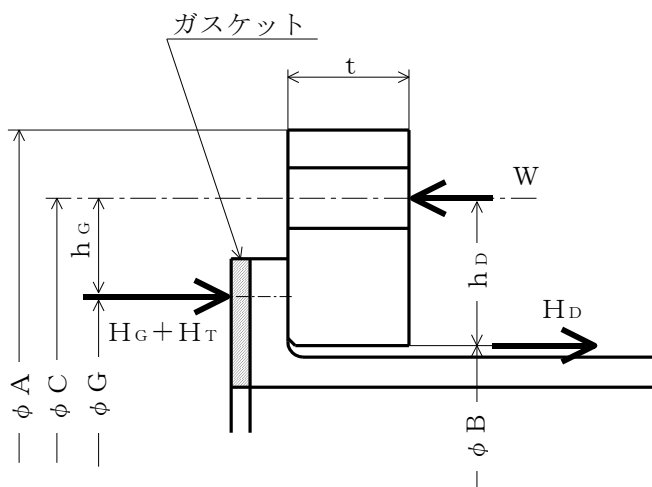
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2：Wは、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図4-2



FLANGE-5 (JIS B 8265 附属書3 図2 10))
 [一体形フランジ]



FLANGE-6 (JIS B 8265 附属書3 図2 1))
 [ルーズ形フランジ (ラップジョイント形フランジ)]

注1: ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

注2: Wは, W_g , W_{m1} , W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図4-3

5. 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項「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、VI-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、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力及び使用温度を上回る原子炉格納容器の健全性評価の評価条件に対して、供用状態Dの許容応力を目安とした設計・建設規格による評価を実施する。

対象となる添付書類を以下に示す。これら添付書類については、評価の対象となる機器の形状、設計条件により計算方法が異なることから、計算方法については各計算書に個別に示すこととする。

- VI-3-3-7-1-1 ドライウエルの強度計算書
- VI-3-3-7-1-2 ドライウエルの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-3 サプレッションチェンバの強度計算書
- VI-3-3-7-1-4 サプレッションチェンバの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-5 機器搬入口の強度計算書
- VI-3-3-7-1-6 機器搬入口の基本板厚計算書

- VI-3-3-7-1-7 逃がし安全弁搬出ハッチの強度計算書
- VI-3-3-7-1-8 逃がし安全弁搬出ハッチの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-9 制御棒駆動機構搬出ハッチの強度計算書
- VI-3-3-7-1-10 制御棒駆動機構搬出ハッチの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-11 サプレッションチェンバアクセスハッチの強度計算書
- VI-3-3-7-1-12 サプレッションチェンバアクセスハッチの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-13 所員用エアロックの強度計算書
- VI-3-3-7-1-14 所員用エアロックの基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-15 配管貫通部の強度計算書
- VI-3-3-7-1-16 配管貫通部の基本板厚計算書
- VI-3-3-7-1-17 配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの強度計算書
- VI-3-3-7-1-18 電気配線貫通部の強度計算書
- VI-3-3-7-1-19 電気配線貫通部の基本板厚計算書
- VI-3-3-7-2-1-3 ベント管の強度計算書
- VI-3-3-7-2-1-4 ベント管の基本板厚計算書

別紙 容器の強度計算書のフォーマット

VI-3-○-○-○ ○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-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VI-3-2-7「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、VI-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 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)

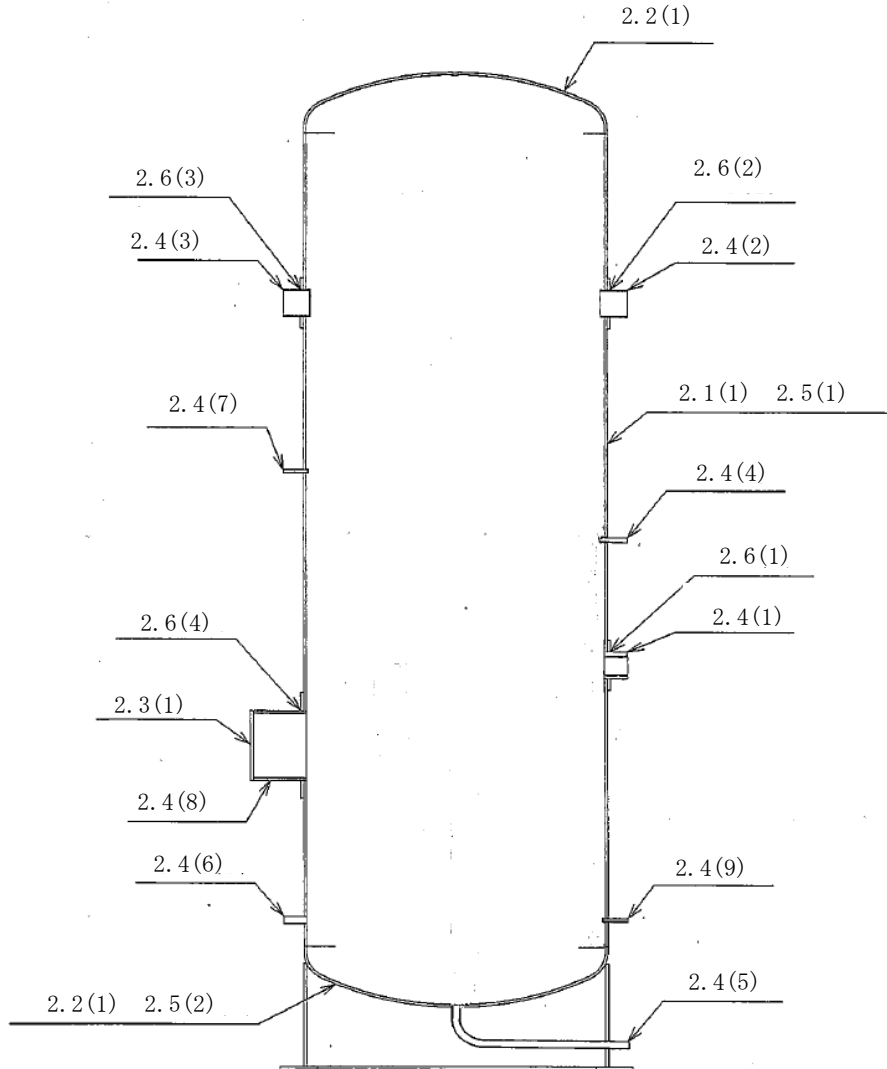
目 次

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 (°C)	***

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	(°C)	
胴の内径	D_i (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
t_1, t_2 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{so} (mm)	
最小厚さ	t_s (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の外径	D_{oc} (mm)	2240.00
鏡板の中央部における内面の半径	R (mm)	2200.00
鏡板のすみの丸みの内半径	r (mm)	220.00
$3 \cdot t_{co}$	(mm)	60.00
$0.06 \cdot D_{oc}$	(mm)	134.40
評価： $D_{oc} \geq R$, $r \geq 3 \cdot t_{co}$, $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$, $r \geq 50\text{mm}$, よってさら形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
胴の内径	D_i (mm)	
さら形鏡板の形状による係数	W	
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_2 (mm)	
t_1, t_2 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{co} (mm)	
最小厚さ	t_c (mm)	
評価： $t_c \geq t$, よって十分である。		

2.3 容器の平板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称		(1) マンホール平板
平板の取付け方法		(i)
平板の穴の有無		無し
溶接部の寸法	t_{w1} (mm)	
溶接部の寸法	t_{w2} (mm)	
胴又は管の計算上必要な厚さ	t_{sr} (mm)	
胴又は管の最小厚さ	t_s (mm)	
	$t_{w1} + t_{w2}$ (mm)	
	$2 \cdot t_s$ (mm)	
	$1.25 \cdot t_{sr}$ (mm)	
評価： $t_{w1} + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_{w1} \geq t_s$, $t_s \geq 1.25 \cdot t_{sr}$, 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： $t_i \geq 2 \cdot t_{sr}$, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$, 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			(°C)
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_{p0}	(mm)	
最小厚さ	t_p	(mm)	
評価: $t_p \geq t$, よって十分である。			

2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) ○○○入口
材料		SUS316LTP-S
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
管台の外径	D_o (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t_1 (mm)	
必要厚さ	t_3 (mm)	
t_1, t_3 の大きい値	t (mm)	
呼び厚さ	t_{no} (mm)	
最小厚さ	t_n (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算
 設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
胴の外径	D (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
胴板の最小厚さ	t_s (mm)	
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	
61, d_{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_s$	(mm ²)	
200, d_{r2} の小さい値	(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径	(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		○○○入口(3.6(1)) ○○○出口(3.6(2)) ○○○出口(3.6(3)) マンホール(3.6(4))

容器の補強を要しない穴の最大径の計算
 設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	P (MPa)	
最高使用温度	(°C)	
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	
許容引張応力	S (MPa)	107
鏡板の最小厚さ	t_c (mm)	
継手効率	η	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, d_{r1} の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm ²)	
200, d_{r2} の小さい値	(mm)	
補強を要しない穴の最大径	(mm)	
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 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			(°C)
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： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	W_1	(N)
溶接部にかかる荷重	W_2	(N)
溶接部の負うべき荷重	W	(N)
すみ肉溶接の許容せん断応力	S_{w1}	(MPa)
突合せ溶接の許容せん断応力	S_{w2}	(MPa)
突合せ溶接の許容引張応力	S_{w3}	(MPa)
管台壁の許容せん断応力	S_{w4}	(MPa)
応力除去の有無		
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	F_1	
突合せ溶接の許容せん断応力係数	F_2	
突合せ溶接の許容引張応力係数	F_3	
管台壁の許容せん断応力係数	F_4	
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e1}	(N)
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e2}	(N)
すみ肉溶接部のせん断力	W_{e3}	(N)
突合せ溶接部のせん断力	W_{e4}	(N)
突合せ溶接部の引張力	W_{e8}	(N)
突合せ溶接部の引張力	W_{e9}	(N)
管台のせん断力	W_{e10}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp1}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp2}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp3}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp4}	(N)
予想される破断箇所の強さ	W_{ebp5}	(N)
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ 以上より十分である。		

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

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：J I S G ○○○○ △△△△）の評価結果

（比較材料：J I S 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	<p>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。</p> <p>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的強度は同等以上であること。</p> <p>P：じん性に影響を与える成分であるが，設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>S：じん性に影響を与える成分であるが，設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p>									

(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）

VI-3-2-8 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 吸込み及び吐出フランジ	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、VI-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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。なお、設計基準対象施設のクラス3ポンプで重大事故等対処設備兼用となるポンプのうち、設計・建設規格のクラス2ポンプに規定がないものについては、クラス3ポンプの規定を準用する。

（例） 軸垂直割りケーシングをもった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。

日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PMC-3710）
 - a. J I S B 2 2 3 8（1996）「鋼製管フランジ通則」

表1-1 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 PMC-3320 PMC-3330 第77条第7項 PMC-3340 PMC-3350 第77条第5項 PMC-3410 第77条第6項 PMC-3510 PMC-3610 PMC-3710	2.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9	ポンプの形式判別 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ 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 ケーシング各部形状の規定 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 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 ボルトの平均引張応力 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 吸込み及び吐出フランジ

表1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S 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」		3.7 3.9	ボルトの平均引張応力 吸込み及び吐出フランジ*
J I S B 8265 (2003) *	3		
「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」	4		

注記* : 設計・建設規格 PMC-3710により J I S B 8265 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」(以下「J I S 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 \leq 63mm)

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例) 非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガasket (非石綿) (ステンレス鋼)

平形金属被覆ガasket (非石綿板) (ステンレス鋼)

なお、この場合のガasket係数 m 及びガasketの最小設計締付圧力 y は、J I S

B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3より、ガasketメーカー推奨値を適用する。

2. 計算条件

2.1 ポンプの形式判別

ポンプの形式が、設計・建設規格 PMC-3110 に掲げるもののうち、いずれかの形式に該当するかを判別する。

- (1) うず巻ポンプであって、ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの
- (2) ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるもの又は軸平行割りであるもの
- (3) 往復ポンプ

上記(1)及び(2)に掲げるポンプについては、設計・建設規格 PMC-3320 から PMC-3340 及び PMC-3400 から PMC-3700、(3)に掲げるポンプについては設計・建設規格 PMC-3350 から PMC-3700 の規定に従って計算を行う。

2.2 計算部位

設計・建設規格 PMC-3000において強度計算の対象となる部位を略図を用いて明らかにする。

2.3 設計条件

ポンプの強度計算は、最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

耐圧部(吸込口及び吐出口を除く。)の厚さを求める計算において、使用する最高使用圧力は、以下の(1)又は(2)による。

- (1) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で同一の場合は、その最高使用圧力を使用する。
- (2) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で相違している場合は、以下の条件のうちいずれかにする。
 - a. ケーシングの耐圧部(吸込口及び吐出口を除く。)を吸込側、吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。
(分けない場合は、吐出側のみの最高使用圧力を使用する。)
 - b. ピットバレル型(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、一般的に使用する共通記号を以下に示す。

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。

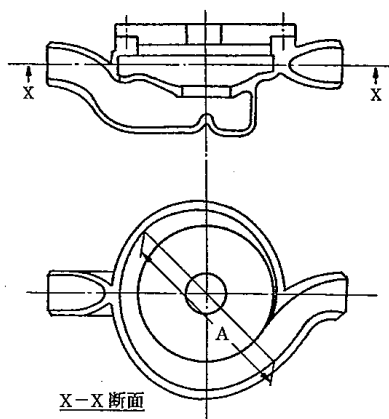


図3-1 1重うず巻ポンプの例
(設計・建設規格
図 PMC-3320-1)

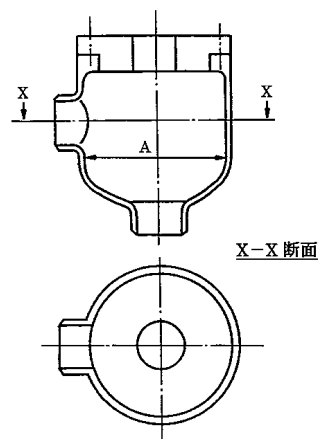


図3-2 ターボポンプの例
(設計・建設規格
図 PMC-3320-5)

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_{lo}	l の範囲の呼び厚さ	mm

(2) 算式

$$l = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t}$$

ただし、 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$

(3) 評価

l の範囲の最小厚さ（ t_l ） \geq 計算上必要な厚さ（ t ）*ならば十分である。

注記*：ピットバレル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。

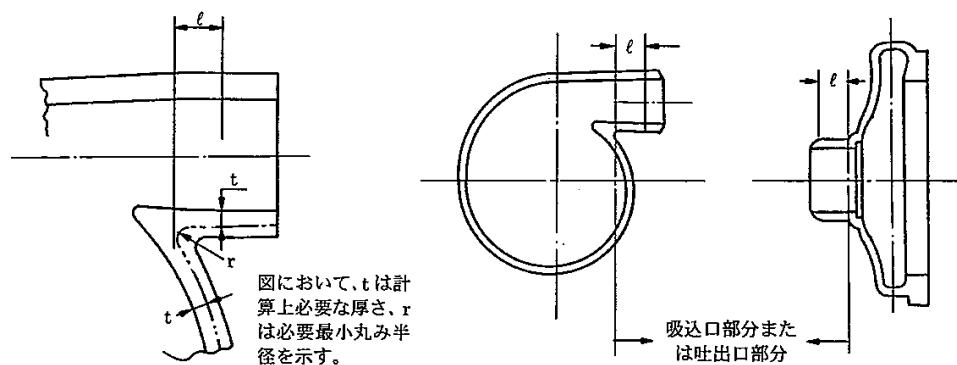


図3-3 吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例
 （設計・建設規格 図 PMC-3330-1）

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(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(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(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(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(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(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(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(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(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(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(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(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(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)) に示すポ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(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)) に示すポ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(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)) に示すポ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(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(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(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

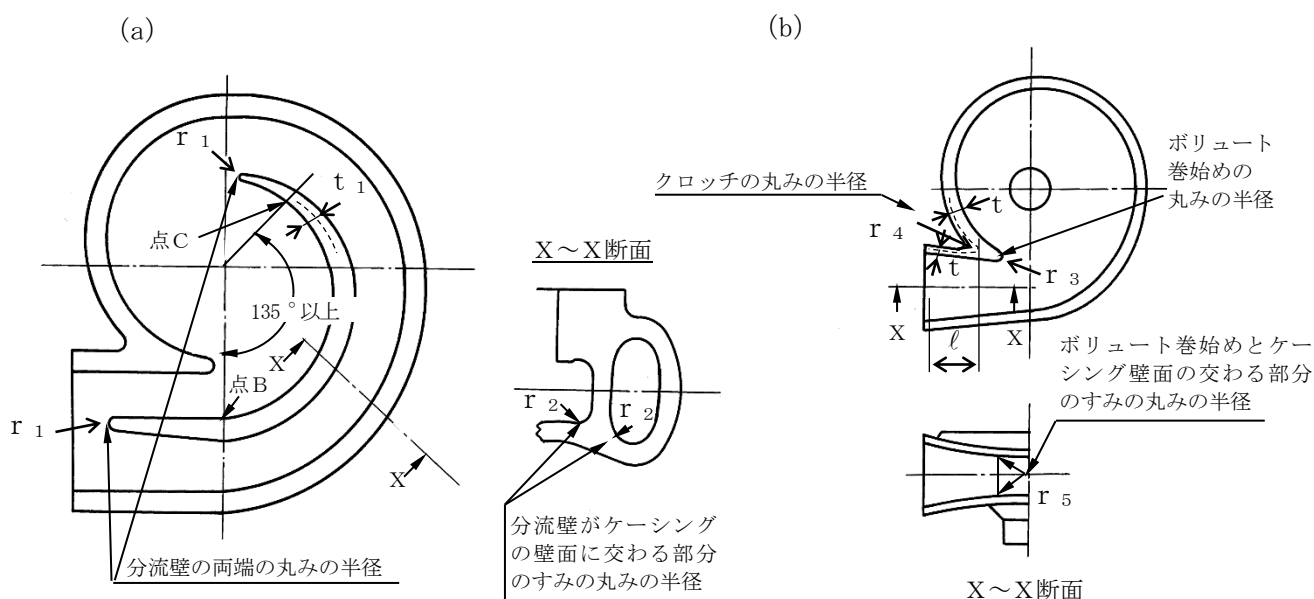


図3-4 うず巻ポンプのケーシング各部形状
(告示第501号第77条第7項図1, 図2又は設計・建設規格 図PMC-3340-1)

(2) 算式

- | | | | |
|----|---|---|-----------|
| a. | $t_1 = 0.7 \cdot t$ | } | 図 3-4(a)型 |
| b. | $r_1 = 0.05 \cdot t$ | | |
| c. | $r_2 = 0.1 \cdot t$ 又は 7mm のうちいずれか大きい値
(告示第 501号の場合) | | |
| d. | $r_3 = 0.05 \cdot t$ | } | 図 3-4(b)型 |
| e. | $r_4 = 0.3 \cdot t$ | | |
| f. | $r_5 = 0.1 \cdot t$ 又は 7mm のうちいずれか大きい値
(告示第 501号の場合) | | |

(3) 評価

- 最小厚さ (t_{1s}) \geq 計算上必要な厚さ (t_1) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{1s}) \geq 計算上必要な半径 (r_1) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{2s}) \geq 計算上必要な半径 (r_2) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{3s}) \geq 計算上必要な半径 (r_3) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{4s}) \geq 計算上必要な半径 (r_4) ならば十分である。
- 最小半径 (r_{5s}) \geq 計算上必要な半径 (r_5) ならば十分である。

3.4.2 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定

重大事故等クラス2ポンプにおける2.1項の(2)に掲げるポンプのうち、横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段ポンプのケーシングのボルト穴は、設計・建設規格PMC-3340(8)，(9)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
X	a	図3-5(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3-5(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 s o	図3-5(a) (設計・建設規格 図PMC-3340-3(a)) に示すケーシングボルト中心円上の隣り合うボルト穴の中心間の弧の呼び長さ	mm
	X	図3-5(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3-5(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 s o	図3-5(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 b m	ケーシングボルトの呼び径	mm

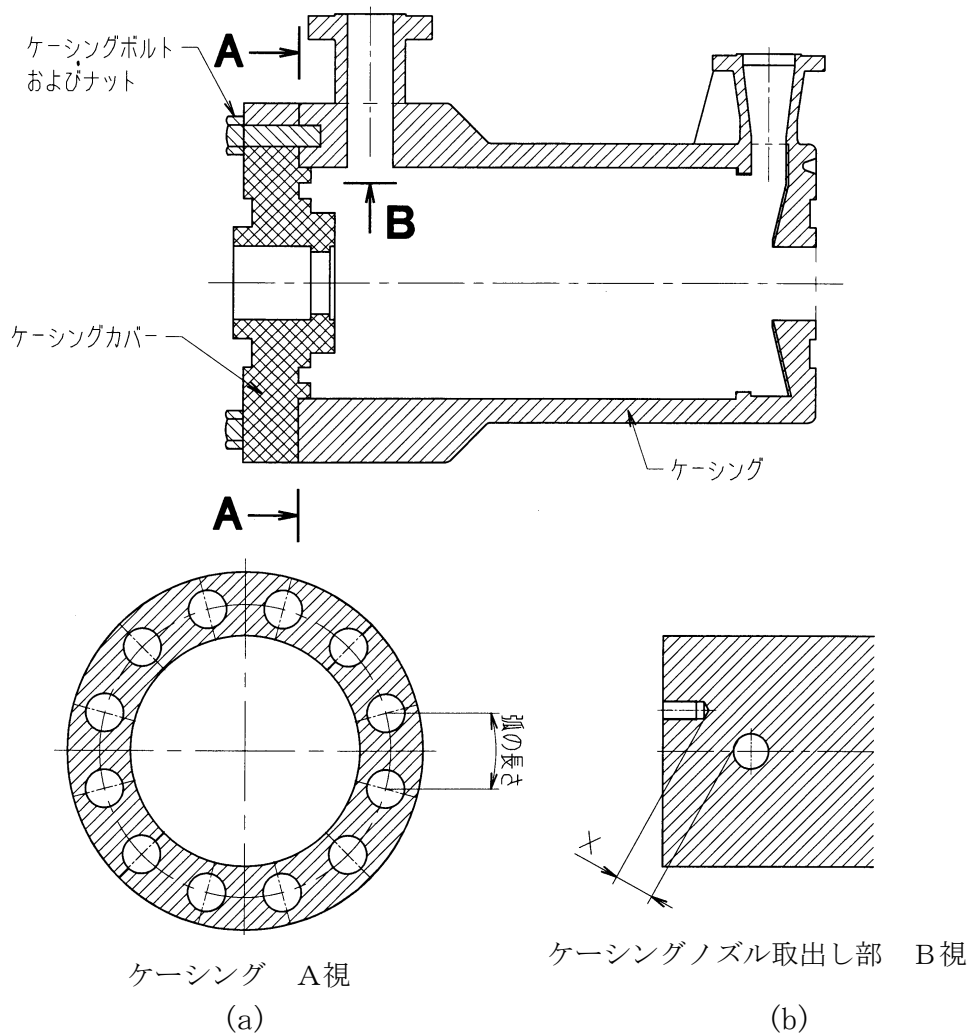


図3-5 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴回りの形状
(設計・建設規格 図 PMC-3340-3)

(2) 算式

- a. $a = 2 \cdot d_{bm}$
- b. $X = t$ 又は $0.5 \cdot d_{bm}$ のうちいずれか大きい値

(3) 評価

- a. 最小長さ (a_s) \geq 計算上必要な長さ (a) ならば十分である。
- b. 最小距離 (X_s) \geq 計算上必要な距離 (X) ならば十分である。

3.5 往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおける往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さは、設計・建設規格 PMC-3350 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
D _i	D _i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内径	mm
R _i	R _i	リキッドシリンダー又はマニホールドの内半径	mm
Z	Z	次式により計算された値 $Z = \frac{S \cdot \eta + P}{S \cdot \eta - P}$	—
	継手の種類		
	継手有り	同 左	—
	継手無し	同 左	—

(2) 算式

厚さが内半径の2分の1以下のもの

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

厚さが内半径の2分の1を超えるもの

$$t = R_i \cdot (\sqrt{Z} - 1)$$

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 ） \geq 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.6.2 往復ポンプのケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー及びマニホールドカバー）の厚さ

重大事故等クラス2ポンプにおける往復ポンプのケーシングカバー（リキッドシリンダーカバー及びマニホールドカバー）の厚さは、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（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 ） \geq 計算上必要な厚さ（ t ）ならば十分である。

3.7 ボルトの平均引張応力

重大事故等クラス2ポンプのボルトの平均引張応力は、告示第501号第77条第6項又は設計・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

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
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 8243 附属書2 表1又は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 8243 附属書 2 表2又は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 8243 附属書2 表1又は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

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
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 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	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付ける場合

JIS B 8243 附属書2 又は設計・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。

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$\text{ここで、 } H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$$

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

$b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

なお、セルフシールガスケットを使用する場合は、次式を用いる。

$$W_{m1} = H = \frac{\pi}{4} \cdot D_g^2 \cdot P$$

$$W_{m2} = 0$$

(3) 評価

ボルトの平均引張応力 (σ) \leq 許容引張応力 (S_b) ならば十分である。

3.8 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ

重大事故等クラス2ポンプについては設計・建設規格 PMC-3610 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表 示 内 容	単 位
D _o	D _o	管台の外径	mm
	継手の種類		
	継手有り	同 左	—
	継手無し	同 左	—

(2) 算式

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3) 評価

最小厚さ（t_s）≧計算上必要な厚さ（t）ならば十分である。

3.9 吸込み及び吐出フランジ

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（J I S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、J I S B 8 2 6 5 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 (t_s) \geq 計算上必要な厚さ (t) ならば十分である。

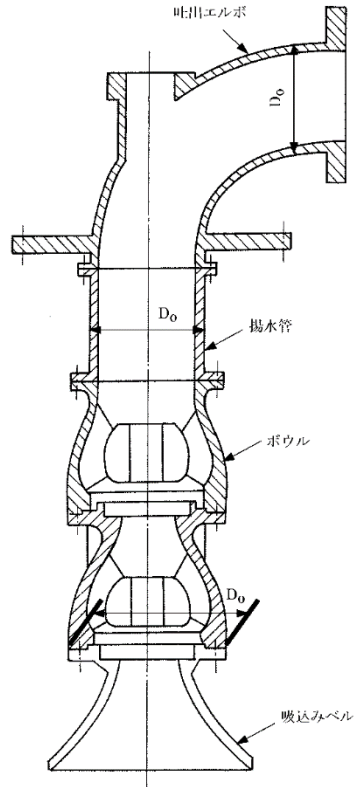


図 4-1 軸垂直割りケーシングをもった多段の立形ポンプの例
(設計・建設規格 図 PMD-3310-7)

別紙 ポンプの強度計算書のフォーマット

VI-○-○-○-○ ○○○ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-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VI-3-2-8「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、VI-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 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)

目 次

1. 計算条件	.....
1.1 ポンプ形式	.....
1.2 計算部位	.....
1.3 設計条件	.....
2. 強度計算	.....
2.1 ケーシングの厚さ	.....
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	.....
2.3 ケーシングのボルト穴	.....
2.4 ケーシングカバーの厚さ	.....
2.5 ボルトの平均引張応力	.....
2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	.....
2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	.....

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

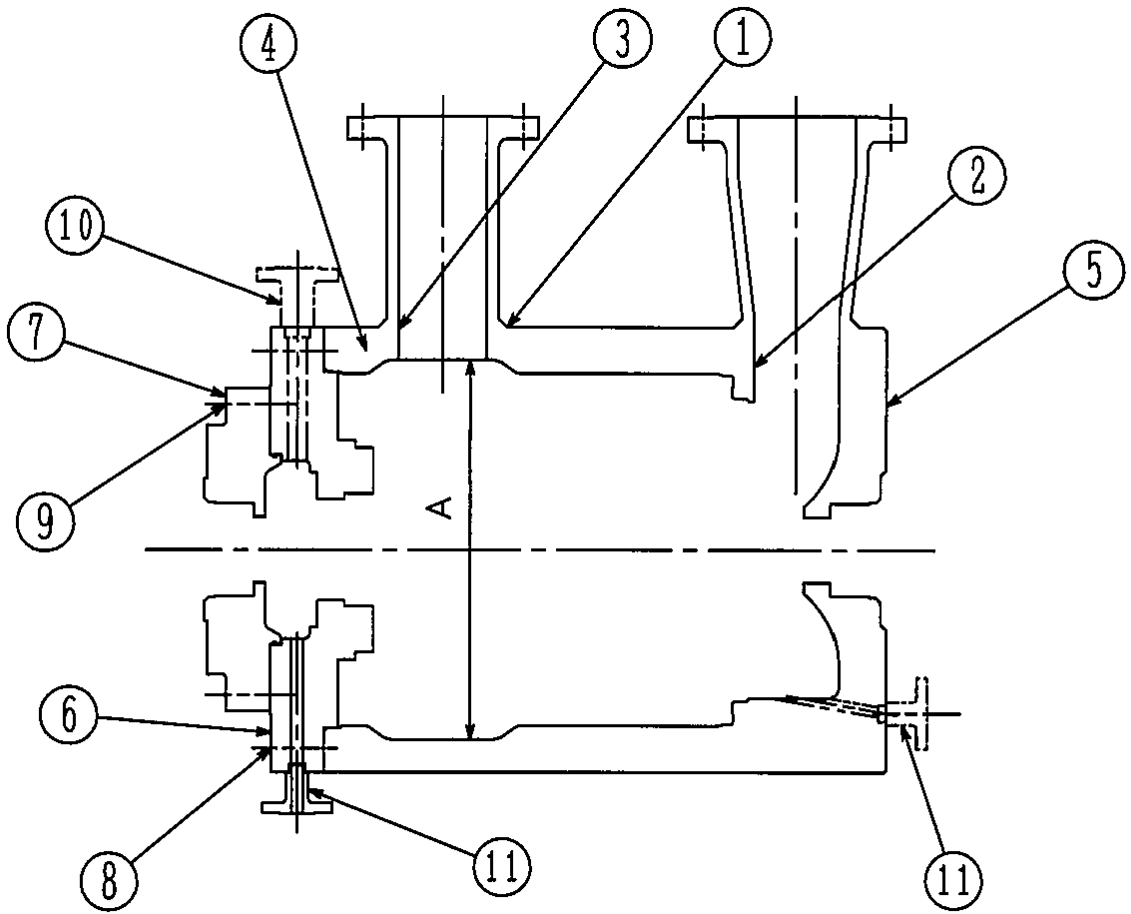


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①				

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	r _i	r _m	ℓ	t	t _{ℓo}	t _ℓ
②						
③						

評価： $t_\ell \geq t$ ， よって十分である。

2.3 ケーシングのボルト穴

設計・建設規格 PMC-3340 (告示第501号第77条第7項)

(単位: mm)

計算部位	d _{bm}	a	a _{so}	a _s	X	X _{so}	X _s
④							

評価: $a_s \geq a$, よって十分である。

評価: $X_s \geq X$, よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PMC-3410 (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
⑤					
⑥					
⑦					

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)

評価: $t_s \geq t$, よって十分である。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510 (告示第501号第77条第6項)

計算部位	材料	P (MPa)	S _b (MPa)	d _b (mm)	n	A _b (mm ²)
⑧						
⑨						

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G _s (mm)	G (mm)	D _g (mm)

H (N)	H _p (N)	W _{m1} (N)	W _{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)

評価：σ ≦ S_b， よって十分である。

2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D _o (mm)
⑩				
⑪				

継手の種類	放射線透過試験の有無	η

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価の評価結果例

2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

(材料記号を記載)

ケーシング (使用材料規格: J I S G ○○○○ △△△△) の評価結果

(比較材料: J I S G ○○○○ △△△△)

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	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	<p>Si, P, S の成分規定に差異があるが、以下により、本設備の環境下での使用は問題ないとする。</p> <p>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的強度は同等以上であること。</p> <p>P : じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス 2 の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>S : じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス 2 の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p>									

(3) 評価結果

(1), (2) の評価により、機械的強度、化学成分、いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本設備において、△△△△を重大事故等クラス 2 材料として使用することに問題ないとする。

(材料記号を記載)

VI-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、VI-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	22
2.5 レジューサの強度計算	25
2.6 管の穴と補強計算	28
2.7 フランジの強度計算	53
2.8 伸縮継手の強度計算	68
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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお、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。

新設・改造設備は設計・建設規格による評価を行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては、他の規格及び基準を適用して行う。
日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。
- (3) 強度計算書で計算するもの以外の管継手は、以下に掲げる規格（形状及び寸法に関する部分に限る。）又は設計・建設規格 別表4に掲げるものとし、接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。（設計・建設規格 PPC-3415）
- a. J I S B 2 3 1 2 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
 - b. J I S B 2 3 1 3 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
 - c. J I S B 2 3 1 6 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
- (4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格（材料に関する部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PPC-3414）
- a. J I S B 2 2 3 8 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
 - b. J I S B 2 2 3 9 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」
 - c. J I S B 8 2 1 0 (1994) 「蒸気用及びガス用ばね安全弁」
- (5) 管の接続
管と管を接続する場合は、設計・建設規格 PPC-3430により溶接継手又はフランジ継手とする。

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
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)
PPC-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPC-3414 (フランジ) PPC-3414(1) PPC-3414(2) PPC-3414(3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4) フランジ継手)
PPC-3415 (管継手) PPC-3415(1)		1.2(3)管継手
PPC-3415.1 (レジューサ) PPC-3415.1(1) PPC-3415.1(2) PPC-3415.1(3) 準用 PVC-3124.2 (外面に圧力を受ける円すい形の胴の厚さ)	2.5	レジューサの強度計算 レジューサの強度計算 (円すい及びその丸みの部分 (外面に圧力を受けるもの))

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
PPC-3415.2 (鏡板) PPC-3415.2(1) PPC-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
PPC-3416 (伸縮継手)	2.8	伸縮継手の強度計算
PPC-3420 (穴と補強) PPC-3421 PPC-3422 PPC-3423 PPC-3424 PPC-3422(3)	2.6 2.3	管の穴と補強計算 平板の強度計算

表1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の 計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「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	2.7	フランジの強度計算*
	3		
	4		
	5		

注記* : 設計・建設規格 PPC-3414(2)により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」という。) の附属書3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、本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	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* ¹
力	外面に受ける最高の圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位* ²
温度		℃	—	—	整数位
許容応力* ³		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* ⁴
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ⁴
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ⁴
角度		°	小数点以下第2位 (小数点以下第1位)* ⁵	四捨五入	小数点以下第1位 (整数位)* ⁵

注記*1：最高使用圧力が小数点以下第3位，第4位で表示されている場合はその値を用いる。

*2：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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。

*4：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*5：管の穴と補強計算の分岐管の中心線と主管の中心線との交角に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)

- (2) 管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので、材料表示としては、製造方法の区別を特に表示しない。

(例) (継目無管 : S, 溶接管 : W)

- (3) 強度区分により許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に J I S で定める強度区分を付記する。

(例)

設計・建設規格の表示	計算書の表示
SCMV3 (付録材料図表 Part5 表5の許容引張応力の上段)	SCMV3-1
SCMV3 (付録材料図表 Part5 表5の許容引張応力の下段)	SCMV3-2

- (4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

- (5) ガasket材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお、この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力 (y) は、J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3によりガasketメーカー推奨値を適用する。

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1) 管継手の表示方法

概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号に“*”を付け、概略系統図中に“注記*：管継手”と表示する。

(2) 管の仕様変更点の表示方法

概略系統図中、管の途中において仕様変更が生じる場合は“—●—”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。

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 管及び鏡板は設計・建設規格 PVC-3130による。 レジューサは設計・建設規格 PVC-3130及びPVC-3140による。	—

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は、設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～ 図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計 算により最終的に t_{op} となる。)	—
D_o	D_o	管の外径	mm
l	l	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に よる。	MPa
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_{op}	管の計算上必要な厚さ	mm
	t_r	管に必要な厚さ	mm
	t_s	管の最小厚さ	mm
	t_t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	t_r として用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(1)の式より求めた値：t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(2)の図PPC-3411-1より求めた値。ただし、図から求められない場合は次の式より求めた値：t_{op}

$$t_{op} = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (B)$$

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPC-3411(3)の表PPC-3411-1より求めた値 …………… (C)

(3) 評価

t, t_{op}又はt_tのいずれか大きい方の値をt_rとする。

管の最小厚さ(t_s) ≥ 管に必要な厚さ(t_r)ならば強度は十分である。

(4) 補足

a. 計算書中、算式の項の文字は(2)a項, b項及びc項の文字A, B及びCに対応する。

b. 曲げ管は、管に必要な厚さが確保されている場合は、直管と同等に考えるものとし、表示はしないものとする。

2.3 平板の強度計算

平板の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3413及び設計・建設規格 PPC-3422(3)を適用する。

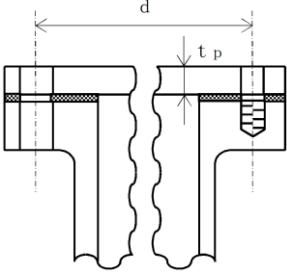
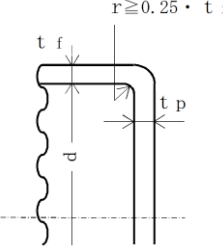
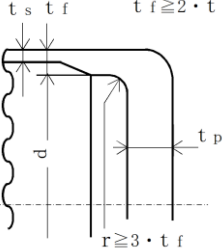
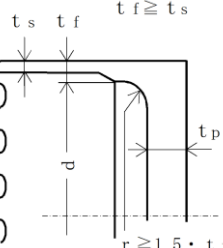
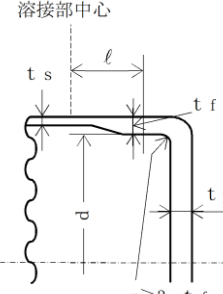
(1) 記号の説明

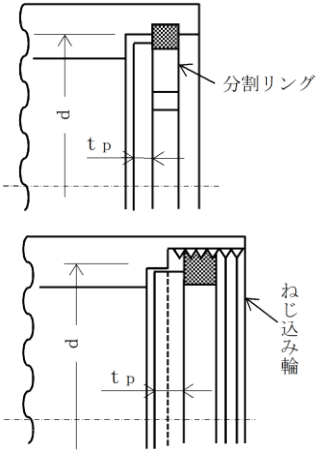
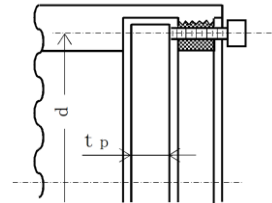
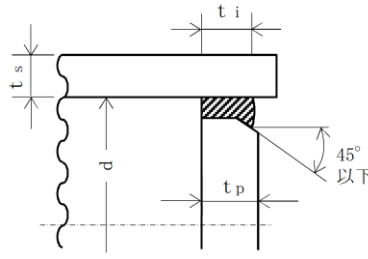
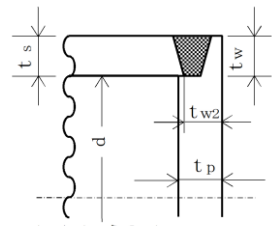
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPC-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h _g	h _g	ボルトのピッチ円の直径とdとの差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t _r / t _s	—
m	m _g	ガスケット係数（JIS B 8265 附属書3 表2による。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（JIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm

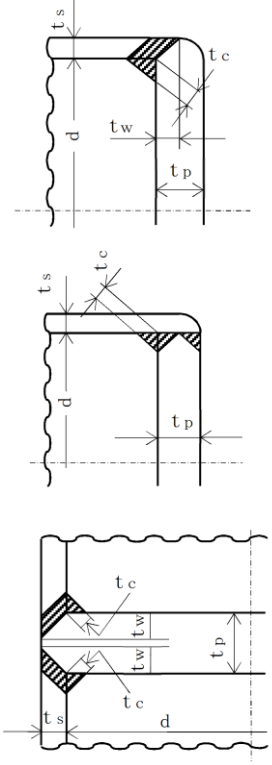
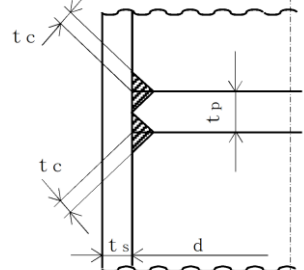
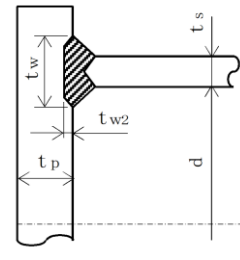
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S _x	ボルトの許容引張応力 (S _a 又はS _b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S ₁	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _c	t _c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t _f , t	t _f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t _w	t _i	平板ののど厚	mm
t _n	t _n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{p o}	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 _{w 1}	t _w	平板の溶接部の深さ	mm
t _{w 2}	t _{w 2}	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 _{m 1}	W _{m 1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	N/mm ²

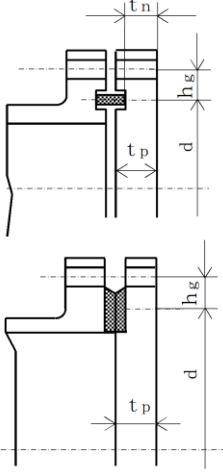
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)~(n)	π	円周率	—
	σ _p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—
	ガスケット座面の形状	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1による。	—
	2A~2N	取付け方法の表示区分	—

(2) 形状の制限

取付け方法	形状の制限
(a)	 <p>無し</p>
(b)	 <p>$d \leq 600\text{mm}$, $d/20 \leq t_p < d/4$かつ, $r \geq 0.25 \cdot t_f$であること。</p>
(c)	 <p>$t_f \geq 2 \cdot t_s$かつ, $r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>
(d)	 <p>$t_f \geq t_s$かつ, $r \geq 1.5 \cdot t_f$であること。</p>
(e)	 <p>$r \geq 3 \cdot t_f$であること。</p>

取付け方法	形状の制限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_i \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_x \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_i \geq 2 \cdot t_r$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>
<p>(i)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ $t_w \geq t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$, $t_w \geq t_s$ かつ, $t_s \geq 1.25 \cdot t_r$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(j)</p> 	<p>(1) 平板が鍛造品で、かつ、平板の面からの開先角度が45°未満の場合 $t_w \geq \text{Min}(0.5 \cdot t_s, 0.25 \cdot t_p)$ かつ、 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p> <p>(2) (1)以外の場合 $t_w \geq \text{Min}(t_s, 0.5 \cdot t_p)$ かつ、 $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(k)</p> 	<p>$t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。</p>
<p>(l)</p>  <p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$</p>	<p>$t_w + t_{w2} \geq 2 \cdot t_s$ であること。</p>

取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(m)</p> 	<p>無し</p>
<p>(n)</p> <p>その他の場合</p>	<p>無し</p>

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	K の 値
(a)	0.17
(b)	0.13
(c)	0.17
(d)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(e)	0.17* ¹ 0.10
(f)	0.20
(g)	0.20* ²
(h)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(i)	0.33
(j)	Max (0.33 · m, 0.2) m = t _r / t _s
(k)	
(l)	
(m)	0.20 + $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ ただし、t _n の厚さの場合は $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$ * ³
(n)	0.50

注記*1：取付け方法（e）の場合

t_fからt_sへ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり、かつ、以下の
(a)又は(b)いずれかの場合、K=0.10とできる。

(a) $l \geq \left(1.1 - 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合

(b) 管が $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって

$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記*2：取付け方法（g）の場合の σ_p は以下による。

(a) ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅（b）及びガasket反力円の直径（G）は、ガasket座の基本幅（ b_o ）に従い以下のように求める。

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、 b_o はJIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$F = \text{Max}(W_o, W_g)$$

(e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力

$$\sigma_p = \frac{F}{A_b}$$

注記*3：取付け方法 (m) の場合の F, h_g, W及び d は以下による。

(a) ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅 (b) 及びガasket反力円の直径 (G) は, ガasket座の基本幅 (b_o) に従い以下のように求める。

b_o ≤ 6.35 mm の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35 mm の場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし, b_o は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし, P は 2.7 項 (1) のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガasket締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max}(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$F = \text{Max}(W_o, W_g)$$

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

$$h_g = \frac{C - G}{2}$$

b. 平板に穴を設ける場合は、設計・建設規格 PPC-3422(3)により平板の計算上必要な厚さを、次の式より計算した値とする。

(a) 穴の径 (d_h) が平板の径又は最小内のり (d) の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、 K の値は (m) の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。

(b) 穴の径 (d_h) が平板の径又は最小内のり (d) の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ (t_p) \geq 平板の計算上必要な厚さ (t) ならば強度は十分である。

(5) 補足

a. 取付け方法は、設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1の条件を満足するものとする。

b. スペクタクルフランジの取付け方法は (g) タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3415.2及び設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t となる。)	—
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
D _o	D _o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径に同じ。)	mm
	D _{o c}	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ円形鏡板の形状による係数	—
K	K _K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.の表 PPC-3415.2-1による。	—
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
R	R _D	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径 (= R + (最小厚さ))	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 (= D + 2・(最小厚さ))	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{c o}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	tとして用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)a.により以下とする。

$$\begin{aligned} D_{oc} &\geq R \\ r &\geq 3 \cdot t_{co} \\ r &\geq 0.06 \cdot D_{oc} \\ r &\geq 50\text{mm} \end{aligned}$$

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)a.の式PPC-1.12又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)b.の式PPC-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

ただし、

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (A')$$

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)c.の式PPC-1.15又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)d.の式PPC-1.16より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (B)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot R_D}{B} \dots\dots\dots (B')$$

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)c.により以下とする。

$$2 \geq \frac{D}{2 \cdot h}$$

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)e.の式PPC-1.17又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.

より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (C)$$

ただし、

$$K = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2 \cdot h} \right)^2 \right\}$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P_e \cdot K_K \cdot R_R}{B} \dots\dots\dots (C')$$

d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 …………… (D)

(b) 外面に圧力を受ける管 …………… (D')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …………… (D'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

(3) 評価

鏡板の最小厚さ (t_c) ≥ 鏡部 (上段) 及びフランジ部 (下段) の計算上必要な厚さ (t) ならば強度は十分である。

(4) 補足

計算書中、算式の項の文字は(2)a項, b項, c項及びd項の文字A, A', B, B', C, C', D, D'及びD''に対応する。

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3415.1（設計・建設規格 PVC-3124.2準用）及び設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_3 となる。)	—
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_o	D_o	レジューサのフランジ部の外径	mm
	D_{ol}	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の図PPC-3415.1-1より求めた係数	—
r, r_o, r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 (円すいの丸みの外半径)	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍、又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	t_{sl}	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算 式	tとして用いる値の算式（計算上必要な厚さが最大となる算式）	—
	端部記号	大径端、小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは、次に掲げる値とし、大径端側及び小径端側のそれぞれについて計算を行う。

- a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PPC-3415.1(1)a. の式PPC-1.8より求めた値

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)} \dots\dots\dots (A)$$

- b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(1)b. の式PPC-1.9より求めた値

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i \cdot W}{4 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.1 \cdot P)} \dots\dots\dots$$

ただし、

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{D_i}{2 \cdot r \cdot \cos \theta}} \right)$$

小径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の式PPC-1.11より求めた値

$$t_2 = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots$$

ただし、Kは設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の図PPC-3415.1-1より求めた値

- c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 (C)
(b) 外面に圧力を受ける管 (C')
(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')
(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

(a) 円すいの頂角の2分の1が22.5° 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (D)$$

ただし、 $D_o = D_{o\ell}$ 、長さは円すい部の軸方向の長さとする。

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{D_o \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D')$$

ただし、 $D_o = D_{o\ell}$ 、長さは円すい部の軸方向の長さとする。

(b) 円すいの頂角の2分の1が22.5° を超え60° 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot (D_o - 2 \cdot t_s)}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (D'')$$

ただし、 $D_o = D_{o\ell}$ 、 $t_s = t_{s\ell}$ 、長さは $(D_{o\ell} - 2 \cdot t_{s\ell})$ とする。

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$\left. \begin{aligned} t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s) \cdot (P_e / B + 0.0833)}{2.167} \\ t_3 &= \frac{(D_o - 2 \cdot t_s)}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_e}{S_1}} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (D''')$$

ただし、 $D_o = D_{o\ell}$ 、 $t_s = t_{s\ell}$ 、長さは $(D_{o\ell} - 2 \cdot t_{s\ell})$ とする。

(3) 評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて、レジューサの最小厚さ (t_s) \geq レジューサの計算上必要な厚さ (t) ならば強度は十分である。

(4) 補足

- 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、設計・建設規格 PPC-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
直 管 又 は 曲 げ 管 の 記 号	B	B	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{rr} となる。)	—	
	D	D_{or}	主管の外径	mm	
	d	d	断面に現われる穴の径	mm	
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm	
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—	
			Q_r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa	
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm	
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm	
	t_{sr}, t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm	
η	η	継手の効率 設計・建設規格 PVC-3130に規定する効率 (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) 1.00 (その他の場合)	—		

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
	D	D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径に同じ。)	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPC-3424(1)の表PPC-3424-1及び表PPC-3424-2による。	—
	K	K_K	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.の表PPC-3415.2-1による。	—
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t_s	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
		t_{co}	鏡板の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r1}	t_{cr}	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	W	W	さら形鏡板の形状による係数	—

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
平板の記号	d	d	平板の径又は最小内のり	mm
	d	d _H	断面に現われる穴の径	mm
	K	K	平板の取付け方法による係数	—
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
	t _s	t _c	平板の最小厚さ	mm
		t _{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t _{sr} , t _{r2}	t _{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1による。	—
(a)~(n)	2A~2N	取付け方法の表示区分	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共 通 記 号 (管 の 穴 と 補 強 計 算)	A	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A ₁	穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A ₂	穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A ₄	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	A _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A _{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A _{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
	A _s	A _{3D}	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
		A _{s r}	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm ²
		A _{s o}	2つの穴の間の主管の断面積	mm ²
		A _{r i}	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm ²
		A _{o i}	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm ²
		A _{r s}	隣接する穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{2 s}	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A _{3 s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A _{4 s}	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	D _i	D _{i b}	管台の内径	mm
		D _{i r}	主管の内径	mm
		D _{o b}	管台の外径	mm
		D _{o e}	強め材の外径	mm
		d _D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d _{f r D}	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d _{r 1}	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d _{r 2}	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格 PPC-3424(1)b. により求められる係数	—
		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数	—
F ₂		突合せ溶接の引張応力係数	—	
F ₃		突合せ溶接のせん断応力係数	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共通記号 (管の穴と補強計算)		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値	mm
		L _A	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L _{AD}	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
		L _N	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲	mm
		L _{ND}	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲	mm
	ℓ	L _s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L ₁	管台のすみ肉部の脚長 (A形, B形) 又は管台補強部の短辺長さ (C形) *	mm
		L ₂	強め材のすみ肉部の脚長*	mm
	P, P _e	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		Q _b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S _b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	S	S _e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
		S _{w1}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
		S _{w2}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
		S _{w3}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	t _n	t _b	管台の最小厚さ	mm
		t _{bn}	管台の公称厚さ	mm
	t _{nr}	t _{br}	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t _e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	N
	W _{e1}	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N	
	W _{e2}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N	

注記* : 設計・建設規格の図PPC-4010-4による。

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共通記号 (管の穴と補強計算)	θ	W e 3	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W e 4	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W e 5	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W e b p 1	予想される破断箇所の強さ	N
		W e b p 2 W e b	予想される破断箇所の強さ	N
		p 3	予想される破断箇所の強さ	N
		α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	—
	形 式	管台の取付け形式	—	

(2) 計算手順及び算式

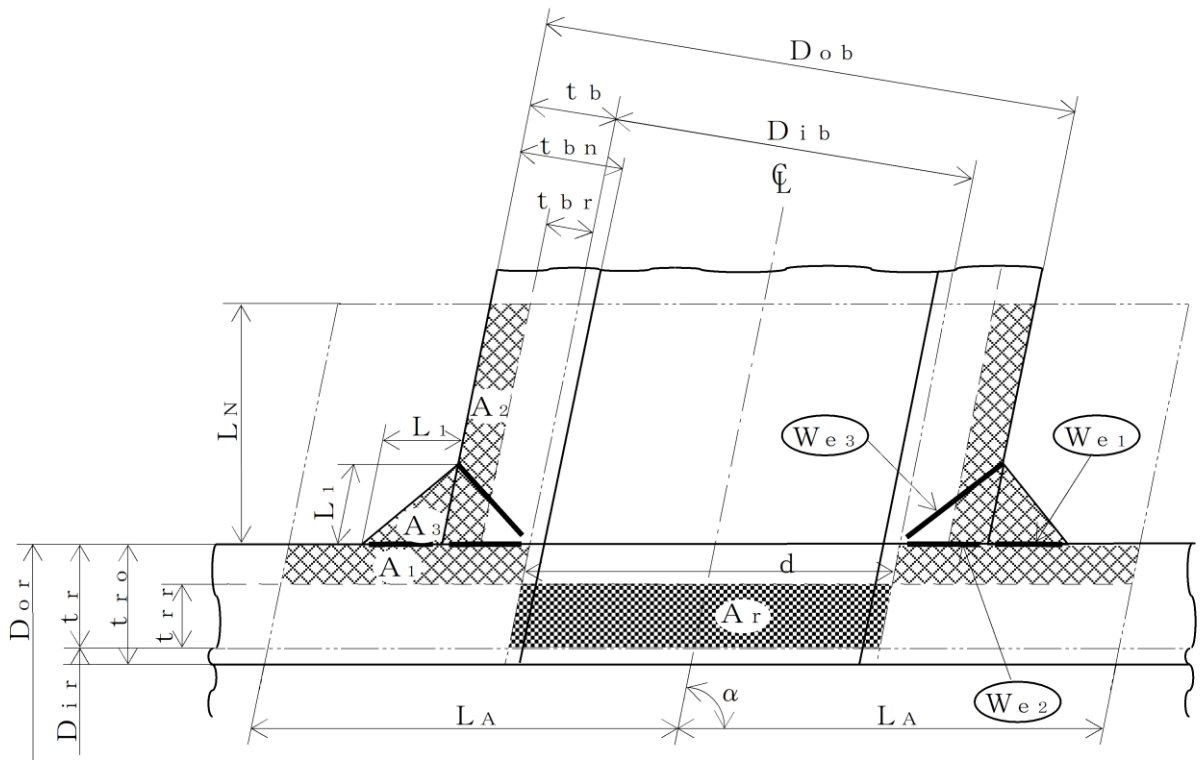
a. 穴の形状


管に設ける穴は、設計・建設規格 PPC-3421(2)により円形又はだ円形であること。


b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし、すみ肉溶接部分の破断箇所については、両方の脚長が等しいため、片側の脚長の破断形式のみを図示する。



 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




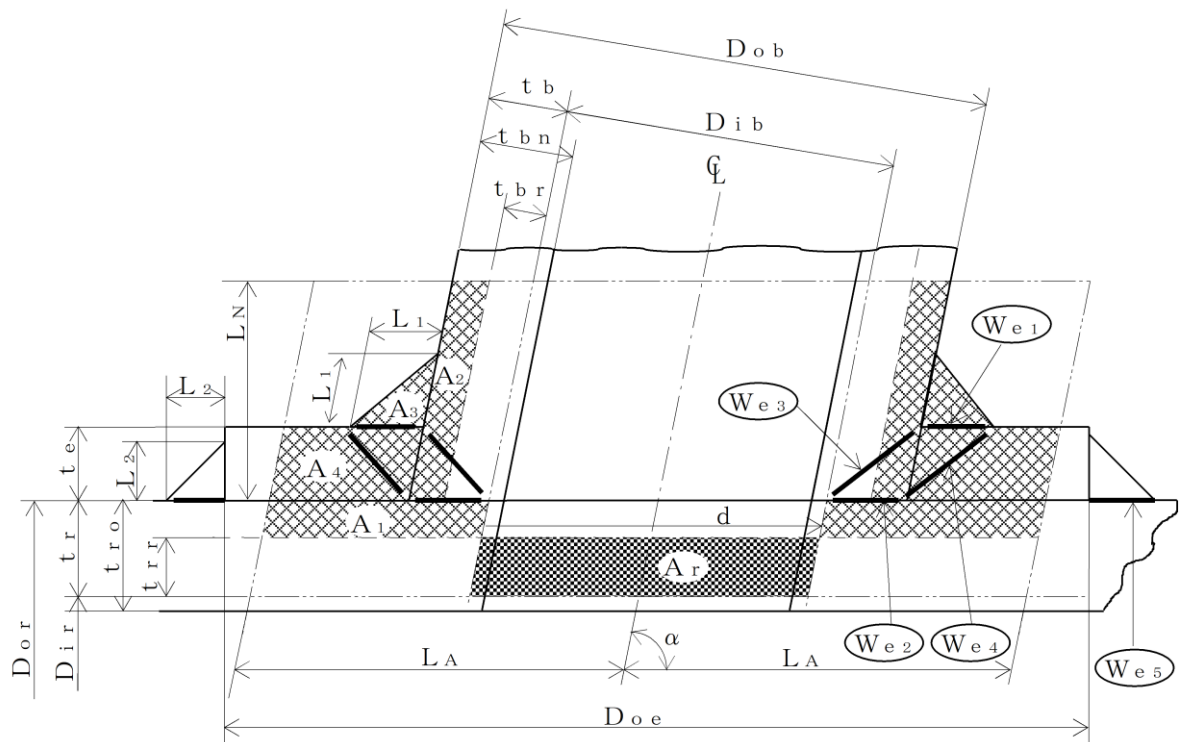
-  を通る破断
-   を通る破断

図2-1 A形（強め材のない場合）

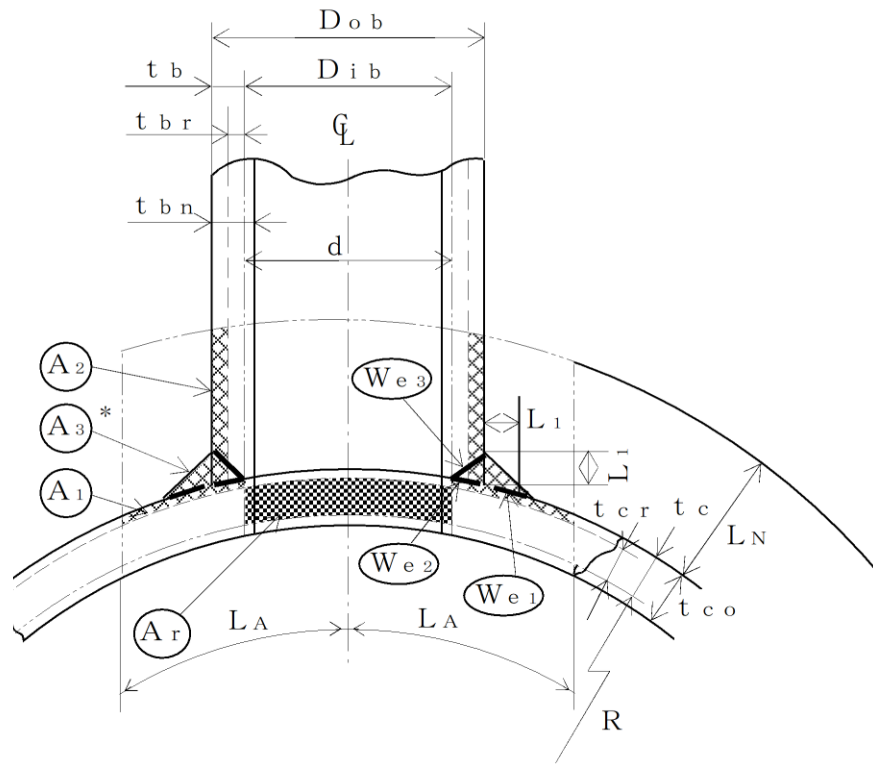




- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

予想される破断形式

- (We_1) (We_3) を通る破断
- (We_2) (We_4) を通る破断
- (We_2) (We_5) を通る破断

図2-2 B形 (強め材のある場合)



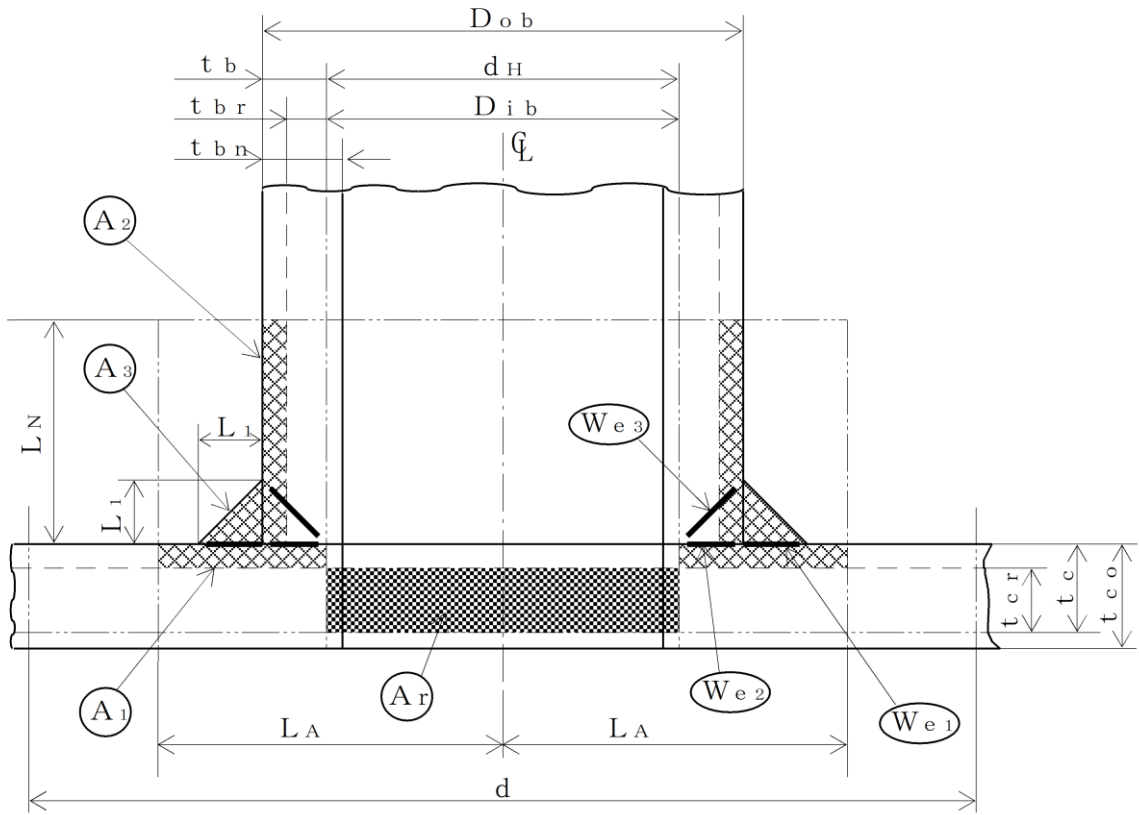
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積



予想される破断形式

- (We_3) を通る破断
- (We_1) (We_2) を通る破断

注記* : A_3 の面積で $(L_1)^2$ 以外の部分は、
補強面積評価上は考慮しない。

図2-3 A形 (鏡板で強め材のない場合)

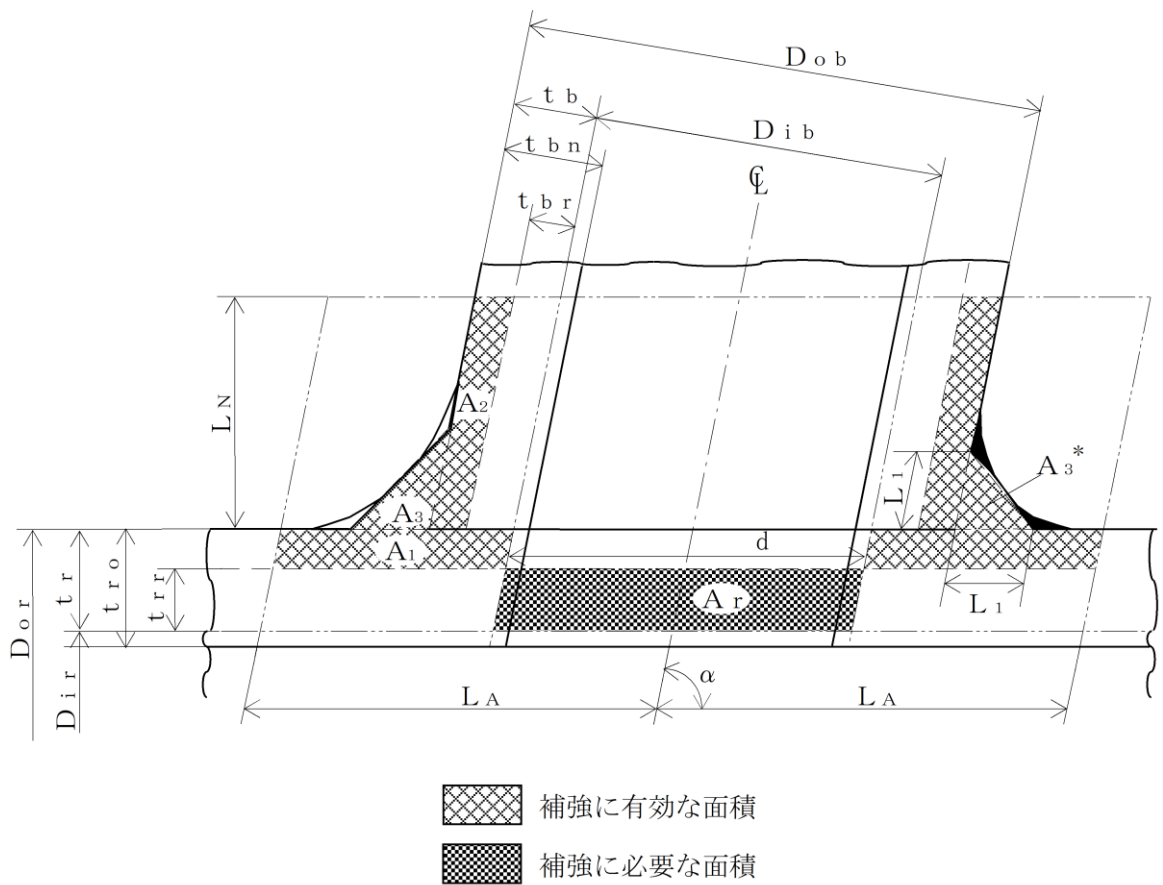


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

予想される破断形式

- W_{e3} を通る破断
- W_{e1} W_{e2} を通る破断

図2-4 A形（平板で強め材のない場合）



注記*：本形式における補強に有効な面積 A_3 はA形及びB形と同様に $A_3=(L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ （上記 部）として算出するものとし、同補強部外側の余肉部（上記 部）は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-5 C形（一体形で強め材のない場合）

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3422を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は、次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値 (d_{fr}) とする。

イ. 平板以外の管に設ける穴であって、穴の径が61mm以下で、かつ、管の内径の4分の1以下の穴 (d_{r1})

ロ. 平板以外の管に設ける穴であって、イ項に掲げるものを除き、穴の径が200mm以下で、かつ、設計・建設規格の図PPC-3422-1及び図PPC-3422-2により求めた値以下の穴 (d_{r2})

直管又は曲げ管の場合

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_{or} \cdot t_r \cdot (1-K)}$$

鏡板の場合

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_o \cdot t_c \cdot (1-K)}$$

ただし、Kの値は次の算式による。

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$K = \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r}$$

(ロ) さらに形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D_o}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

(ハ) 全半球形鏡板の場合

$$K = \frac{P \cdot D_o}{3.64 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

ただし、 $K > 0.99$ の場合は $K = 0.99$ とする。

ハ. 平板に穴を設ける場合であって、平板の最小厚さ (t_c) が次の式により計算した値以上のもの

(イ) 穴の径が平板の径又は最小内径である d の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし、Kの値は設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1中で(m)の取付け方法を除き、0.375以上とすることを要しない。

(ロ) 穴の径が平板の径又は最小内径である d の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径 (d_{fr}) \geq 断面に現われる穴の径 (d) 又は平板の最小厚さ (t_c) \geq 補強を要しない平板の計算上必要な厚さ (t) ならば、穴の補強計算及び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は、d項以降による。

d. 穴の補強に有効な範囲

穴の補強に有効な範囲は、設計・建設規格 PPC-3424(1)a. を適用する。

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

(a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 (L_A) は、次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$$

ロ. 鏡板の場合

$$L_A = d \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$$

ハ. 平板の場合

$$L_A = d_H \quad \text{又は} \quad L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$$

(b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲 (L_N) は、次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値

イ. 直管又は曲げ管の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_r \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$$

ロ. 鏡板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

ハ. 平板の場合

$$L_N = 2.5 \cdot t_c \quad \text{又は} \quad L_N = 2.5 \cdot t_b$$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ (t_{rr} 又は t_{cr}) は、設計・建設規格 PPC-3424(1)b. (a)を適用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

$$t_{rr} = \frac{P \cdot D_{or}}{2 \cdot S_r \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \quad \dots\dots\dots \text{(内圧)}$$

ただし、 $\eta = 1.00$

$$t_{rr} = \frac{3 \cdot P \cdot D_{or}}{4 \cdot B} \quad \dots\dots\dots \text{(外圧)}$$

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (中低面)$$

ただし、 $W=1.00$ 及び $\eta=1.00$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{B} \dots\dots\dots (中高面)$$

ロ. 半だ円形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_1 \cdot D}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (中低面)$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_K \cdot (D + 2 \cdot t_c)}{B} \dots\dots\dots (中高面)$$

ハ. 全半球形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \dots\dots\dots (中低面)$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{B} \dots\dots\dots (中高面)$$

(c) 平板の場合

$$t_{cr} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ (t_{br}) は、設計・建設規格 PPC-3424(1)b. (b)を適用する。

$$t_{br} = \frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_b - 1.2 \cdot P} \dots\dots\dots (内圧)$$

$$t_{br} = \frac{3 \cdot P \cdot D_{ob}}{4 \cdot B} \dots\dots\dots (外圧)$$

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$A_r = 1.07 \cdot d \cdot t_{rr} \cdot (2 - \sin \alpha)$$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_r = d \cdot t_{cr}$$

(ハ) 平板の場合

$$A_r = 0.5 \cdot d_H \cdot t_{cr}$$

ロ. 補強に有効な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot \operatorname{cosec} \alpha \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

$$A_4 = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r} + (L_2)^2 \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

$$A_4 = (2 \cdot L_A - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_A の外までである場合)

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(ハ) 平板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$$

$$A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(b) 評価

穴の補強に有効な面積 (A_0) > 穴の補強に必要な面積 (A_r) ならば穴の補強は十分である。

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径 (d_{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}) \geq 断面に現われる穴の径 (d) ならば大穴の補強計算は必要ない。

必要な場合は、 i 項以降による。

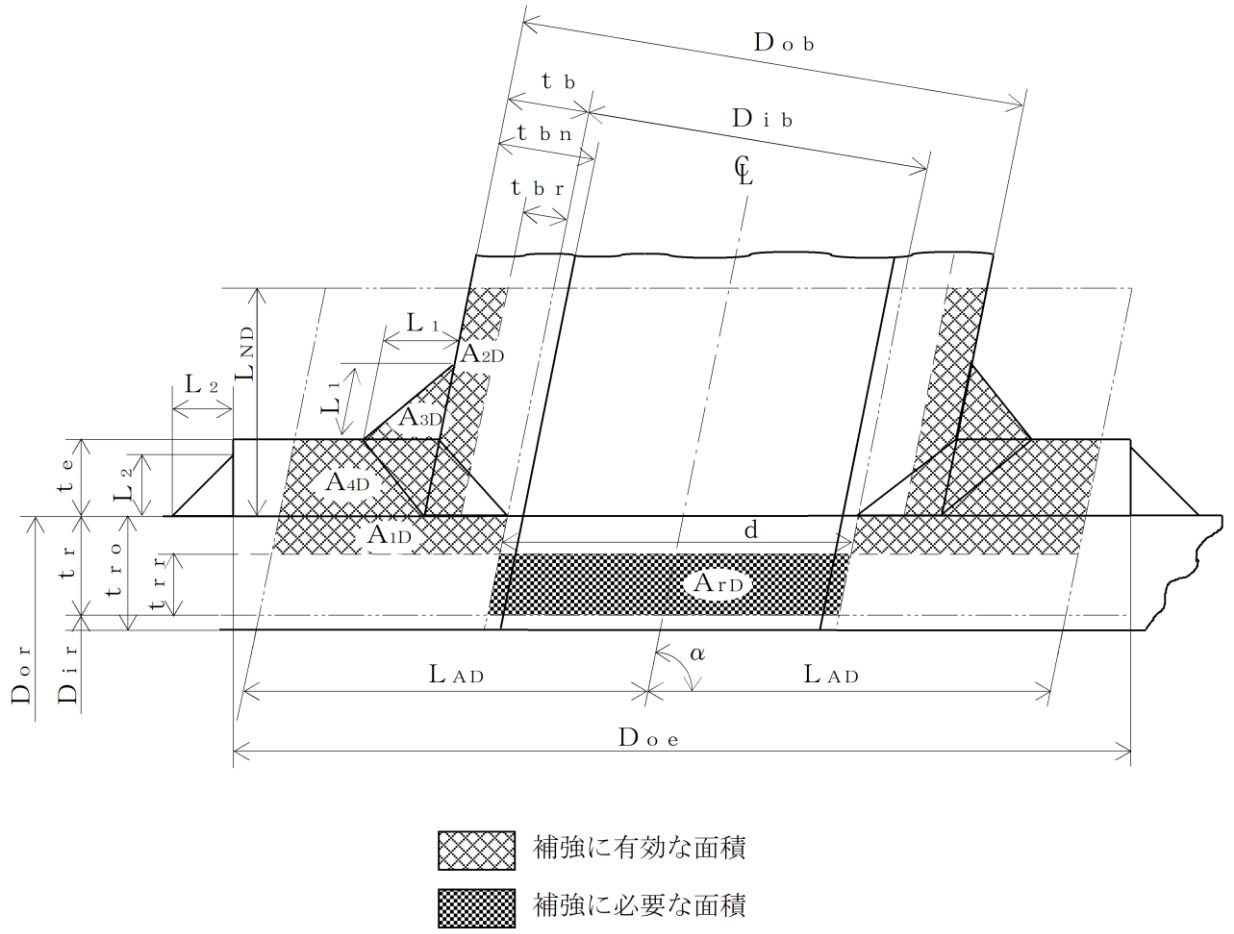
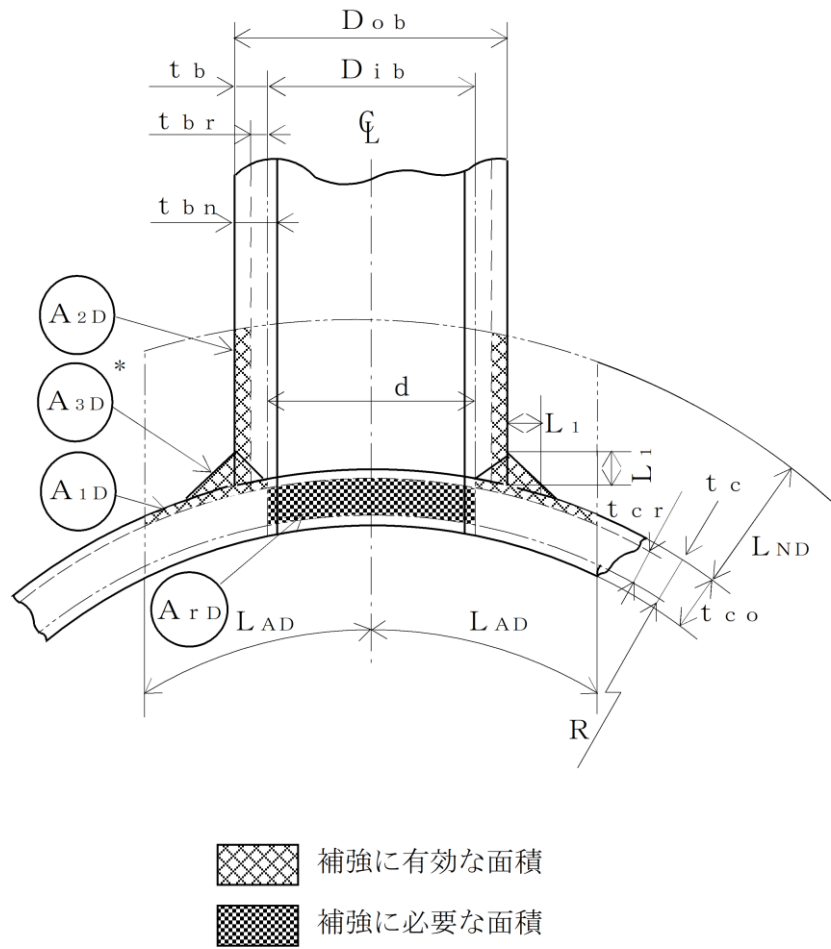


図2-7 B形（強め材のある場合）



注記* : A_{3D} の面積で $(L_1)^2$ 以外の部分は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-8 A形 (鏡板で強め材のない場合)

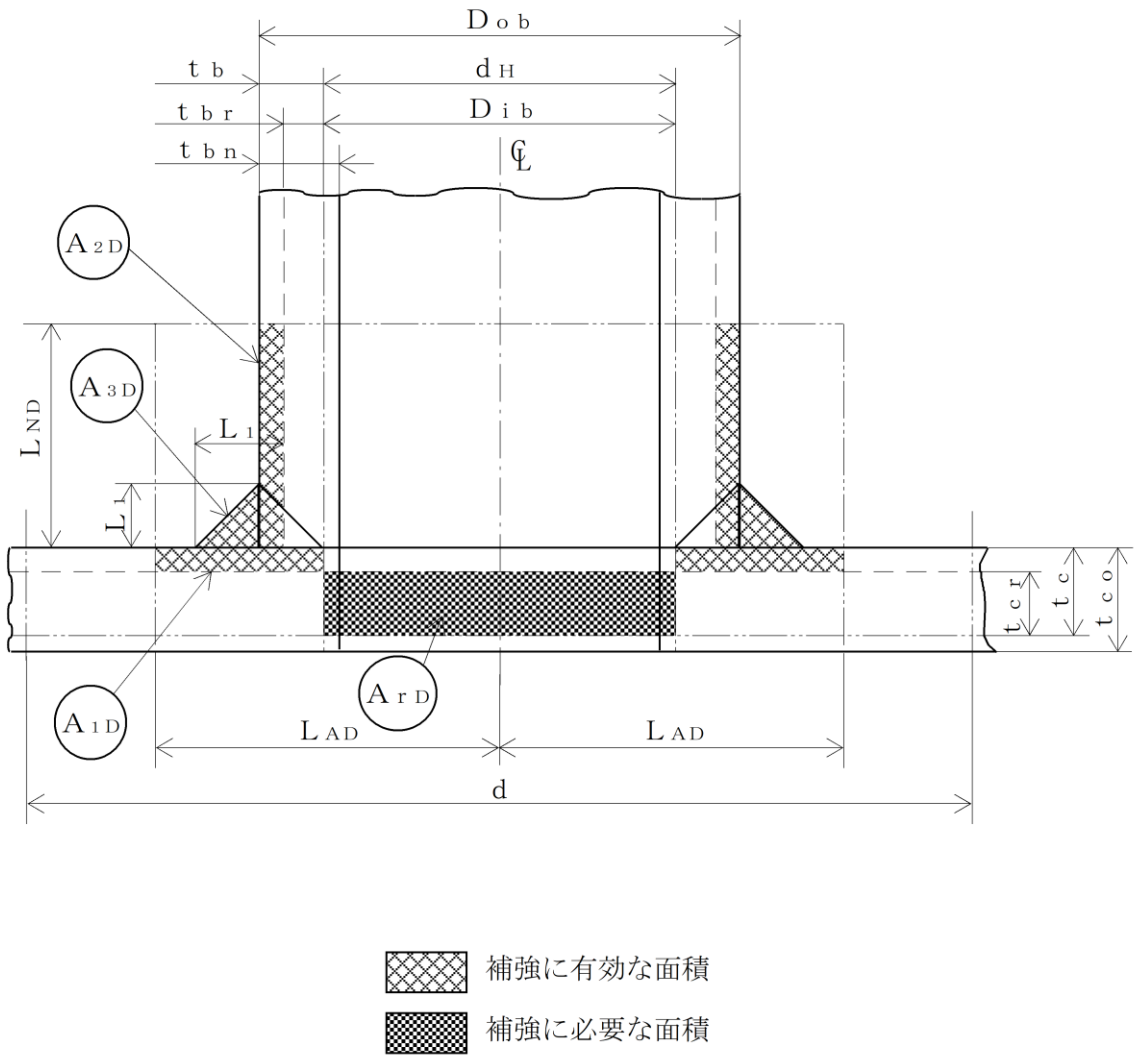
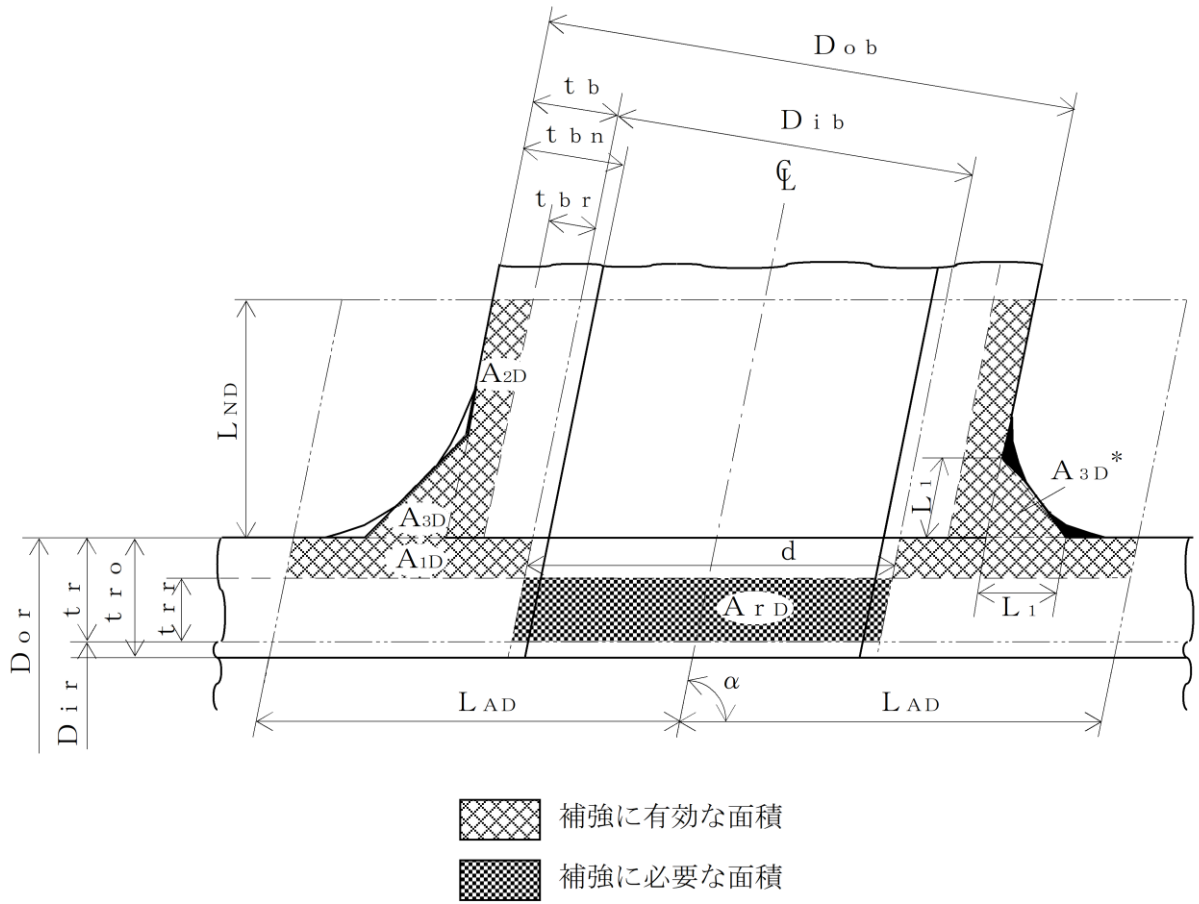


図2-9 A形 (平板で強め材のない場合)



注記*：本形式における補強に有効な面積 A_{3D} はA形及びB形と同様に
 $A_{3D} = (L_1)^2 \cdot \sin \alpha \cdot S_b / S_r$ (上記 部) として算出
 するものとし、同補強部外側の余肉部 (上記 部) は、補強
 面積評価上は考慮しない。

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

- (b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD} = \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$$

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

- (a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

$$A_{rD} = \frac{2}{3} \cdot A_r$$

ロ. 大穴の補強に有効な面積

$$A_{1D} = (\eta \cdot t_{r1} - F \cdot t_{r2}) \cdot (2 \cdot L_{AD} - d)$$

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{2D} = 2 \cdot \left(\frac{d}{4} - t_{br} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_{ND} \cdot \frac{S_b}{S_r}$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{3D} = A_3$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{3D} = 0$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{4D} = A_4$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{4D} = \left(3 \cdot \frac{d}{2} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot \frac{S_e}{S_r}$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{0D} = A_{1D} + A_{2D} + A_{3D} + A_{4D}$$

- (b) 評価

大穴の補強に有効な面積 (A_{0D}) \geq 大穴の補強に必要な面積 (A_{rD}) ならば大穴の補強は十分である。

k. 2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(2)a., b. 及びc. を適用する。

以下、直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

$$A_{sr} = 0.7 \cdot L_s \cdot t_{rr} \cdot F$$

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot t_r$$

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L = 1.5 \cdot \left(\frac{d + d_D}{2} \right)$$

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{ri} = \frac{A_r + A_{rs}}{2}$$

A_r 及び A_{rs} は1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

$$A_{oi} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot (t_r - t_{rr}) + \frac{A_2 + A_{2s}}{2} + \frac{A_3 + A_{3s}}{2} + \frac{A_4 + A_{4s}}{2}$$

$A_2, A_{2s}, A_3, A_{3s}, A_4$ 及び A_{4s} は、1つの穴の計算に準じる。

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

- イ. 2つの穴の間にある主管の断面積 (A_{so}) \geq 2つの穴の間にある主管の必要な断面積 (A_{sr})
- ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積 (A_{oi}) \geq 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1 (A_{ri})
- ハ. 2つの穴の中心間の距離 (L_s) \geq 2つの穴の径の平均値の1.5倍 (L)

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3424(8)及び(9)を適用する。

ただし、C形に関しては評価すべき溶接部がないため、強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$W = d \cdot t_{r r} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{r r}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$$

(ロ) 鏡板の場合

$$W = d \cdot t_{c r} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{c r}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S$$

(ハ) 平板の場合

$$W = d_H \cdot t_{c r} \cdot S - (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{c r}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H) \cdot S$$

ロ. 溶接部の許容応力

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$S_{W1} = S_r \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S_r \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S_r \cdot F_3$$

(ロ) 鏡板又は平板の場合

$$S_{W1} = S \cdot F_1$$

$$S_{W2} = S \cdot F_2$$

$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

ハ. 溶接部の破断強さ

(イ) 直管又は曲げ管の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} \cdot \operatorname{cosec} \alpha / 2$$

$$W_{e4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \cdot \operatorname{cosec} \alpha \right) \cdot t_e \cdot S_{W2}$$

$$W_{e5} = \pi \cdot D_{oe} \cdot L_2 \cdot S_{W1} / 2$$

(ロ) 鏡板の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t_b \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

(ハ) 平板の場合

$$W_{e1} = \pi \cdot \left(\frac{d_H}{2} + t_b \right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

$$W_{e2} = \pi \cdot d_H \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

$$W_{e3} = \pi \cdot d_H \cdot t_b \cdot S_{W3} / 2$$

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = W_{e3} \quad \text{を通る強さ} = W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = W_{e1} + W_{e2} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

(ロ) B形の管台形式の場合

$$W_{ebp1} = W_{e1} + W_{e3} \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e3}$$

$$W_{ebp2} = W_{e2} + W_{e4} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e4}$$

$$W_{ebp3} = W_{e2} + W_{e5} \quad \text{を通る強さ} = W_{e2} + W_{e5}$$

(b) 評価

イ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0以下の場合

溶接部の強度は十分とみなし、溶接部の強度計算は行わない。

ロ. 溶接部の負うべき荷重 (W) が0を超える場合

溶接部の負うべき荷重 (W) \leq 予想される破断箇所の強さ (W_{ebp1} , W_{ebp2} , W_{ebp3}) ならば溶接部の強度は十分である。

(3) 補足

a. 穴の補強計算、大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際、

$$\frac{S_b}{S_r}, \frac{S_b}{S} \text{ 又は } \frac{S_e}{S_r} \text{ が1を超える場合は、値を1として計算する。}$$

b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは、1として計算する。

c. 鏡板及び平板の補強計算は、本書では取付け角度が90°で1つ穴のものについての計算方法を示す。

2.7 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3414を適用する。

計算は、J I S B 8 2 6 5 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≥ 1のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) 及び一体形フランジで f の最小採用値は1であるが、J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4より求まる f が1未満となる場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left(= \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{(一体形フランジの場合)} \right)$ $\left(= \frac{U}{V_L} \cdot h_0 \cdot g_0^2 \text{(ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の場合)} \right)$	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 $\left(= \frac{F}{h_0} \text{(一体形フランジの場合)} \right)$ $\left(= \frac{F_L}{h_0} \text{(ルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の場合)} \right)$	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図5又は表4による。)	—

設計・建設規格又は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
H _G , H _G	H _G	ガスケット荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h _D	h _D	ボルト穴の中心円からH _D 作用点までの半径方向の距離	mm
h _G	h _G	ボルト穴の中心円からH _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からH _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left[= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right]$	—
M _D	M _D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M ₀	M ₀	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm

設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
M	M _e	フランジ部に作用するモーメント	N・mm
P _{F D}	P	設計圧力 (応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力に P _{e q} を加えたものである。)	MPa
P _{e q}	P _{e q}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $\left[= \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} \right]$	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 (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
V _L	V _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図9又は表4による。)	—
W, W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (= A / B) の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²

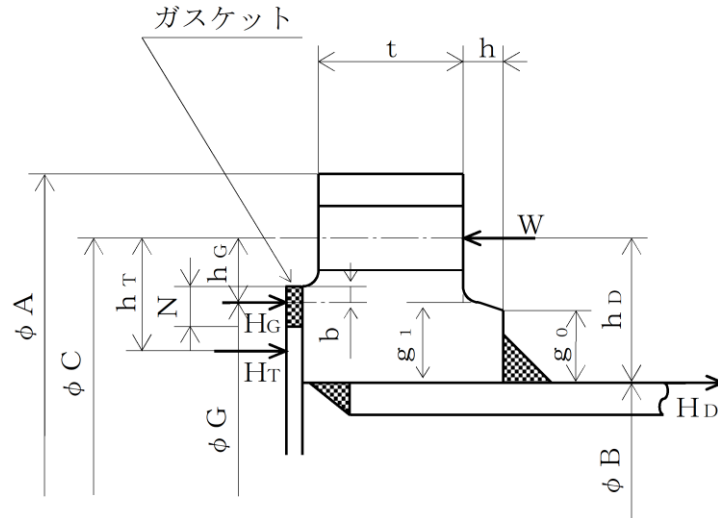
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
Z	Z	K (=A/B) の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—

注記* : JIS B 8265は「N/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

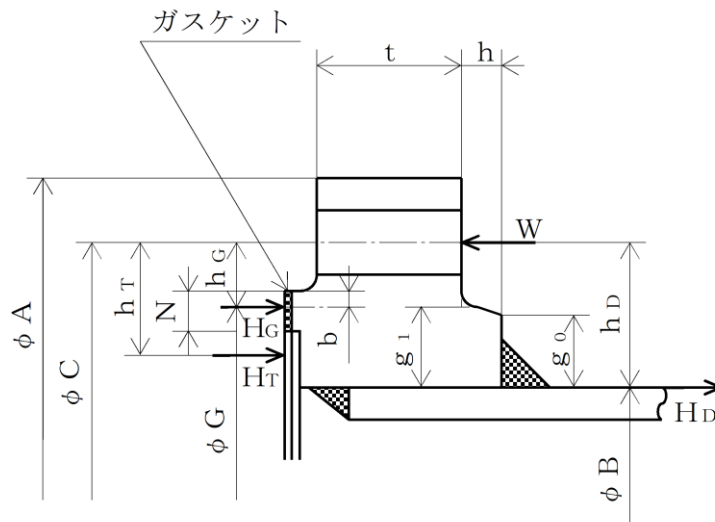
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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。

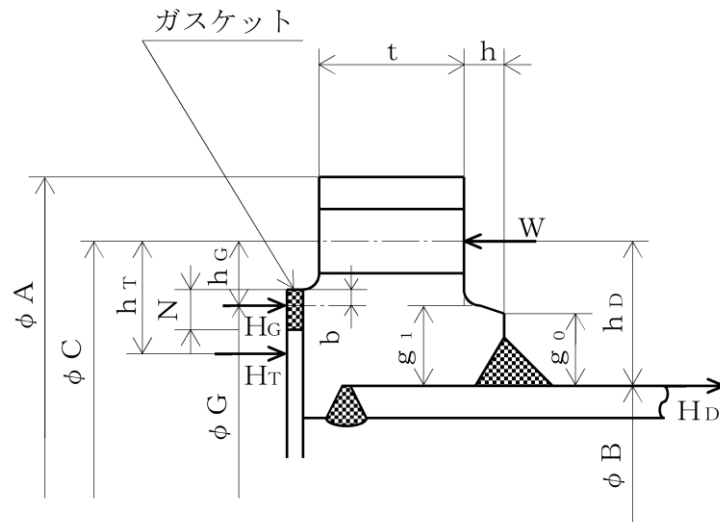
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



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)

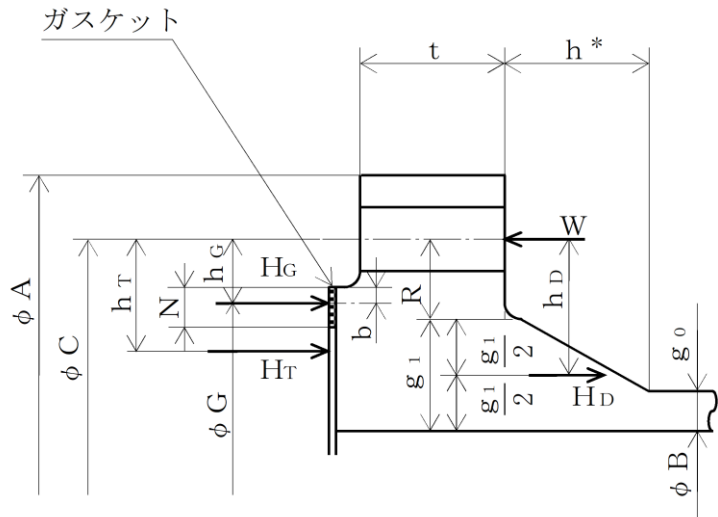
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



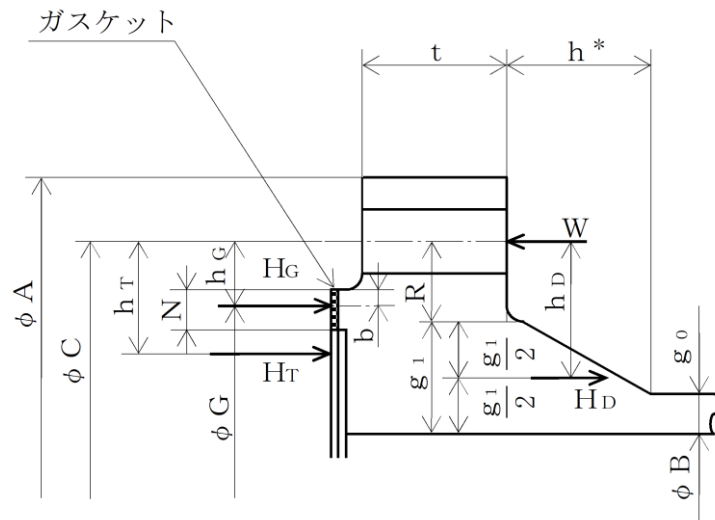
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

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）



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、hは下図に従う。

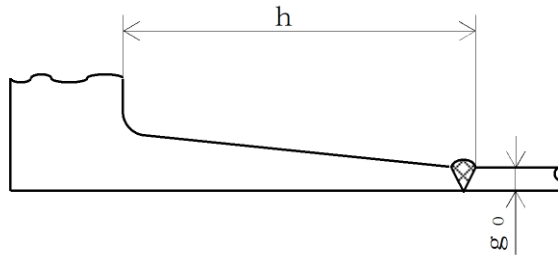
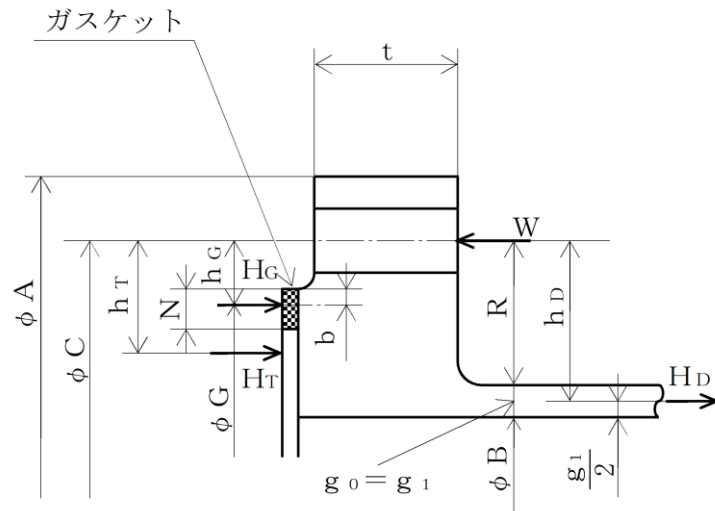
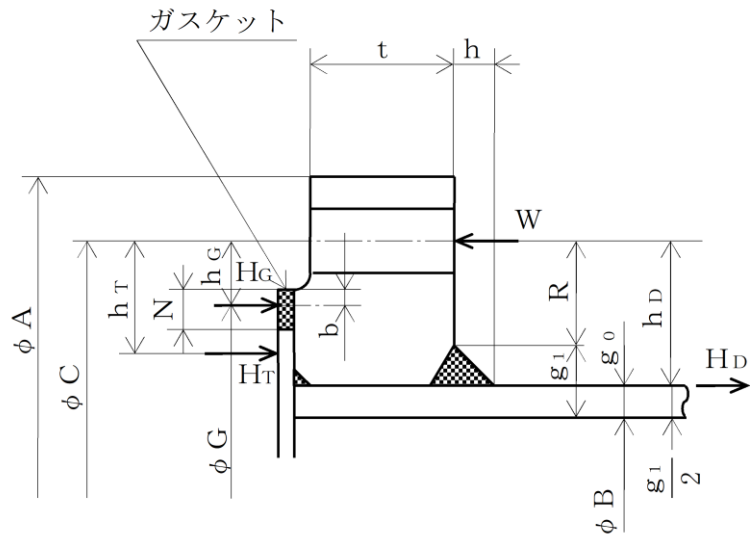


図2-13 一体形フランジ

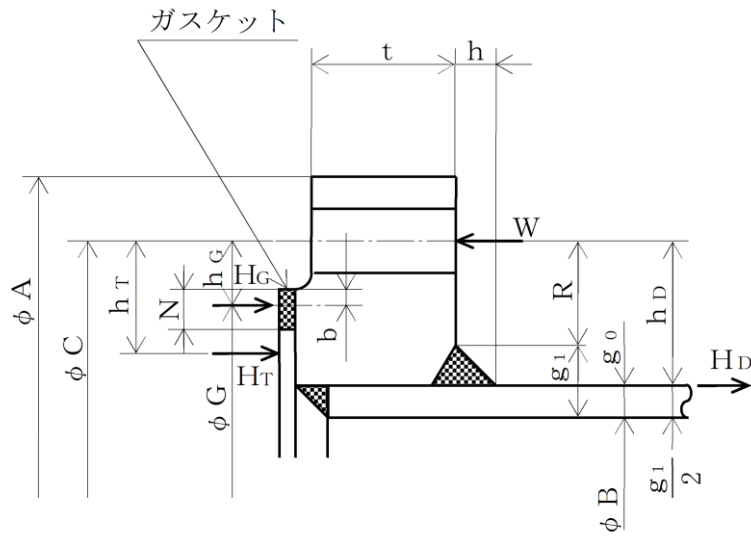


TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 c) 12)
(一体形フランジとして計算)



TYPE-8 J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 c) 11)
(一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

(3) 内圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅 (b) 及びガasket反力円の直径 (G) は、ガasket座の基本幅 (b_o) に従い以下のように求める。

b_o ≤ 6.35mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mmの場合

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

ただし、b_oはJ I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。

b. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

(b) ガasket締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket締付時})$$

$$A_m = \text{Max} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket締付時})$$

- e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

- f. 使用状態でフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$

ただし,

$$R = \left(\frac{C - B}{2} \right) - g_1$$

- g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_D = H_D \cdot h_D$$

$$M_G = H_G \cdot h_G$$

$$M_T = H_T \cdot h_T$$

$$M_o = M_D + M_G + M_T$$

- h. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ (差込み形フランジ) の応力

- (a) 使用状態でフランジの応力

$$\sigma_{H_o} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_o}$$

$$\sigma_{R_o} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{T_o} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_o}$$

(b) ガ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,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

また、Bが $20 \cdot g_1$ より小さいときは、ハブの軸方向の応力 (σ_{Ho}) 及び σ_{Hg} の計算式のBの代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- | | |
|----------------|--|
| (a) ボルトの総有効断面積 | $A_m < A_b$ |
| (b) ハブの軸方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (c) フランジの径方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |
| (d) フランジの周方向応力 | |
| 使用状態にあつては | $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ |
| ガスケット締付時にあつては | $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ |

(4) 外圧計算手順及び算式

a. ガasket座の有効幅及びガasket反力円の直径

ガasket座の有効幅 (b) 及びガasket反力円の直径 (G) は、ガasket座の基本幅 (b_o) に従い以下のように求める。

b_o ≤ 6.35mmの場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mm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 · g ₁	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C - B}{2}$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{h_D + h_G}{2}$

ただし、

$$R = \left(\frac{C - B}{2} \right) - g_1$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_o = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

h. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_e \cdot B}{4 \cdot g_o}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

ただし、

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

$$e = \frac{F}{h_o} \quad (\text{一体形フランジ})$$

$$e = \frac{F_L}{h_o} \quad (\text{ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)})$$

また、Bが $20 \cdot g_1$ より小さいときは、ハブの軸方向の応力（ σ_{Ho} ）及び σ_{Hg} の計算式のBの代わりに B_1 を用いる。

j. 評価

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 $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (c) フランジの径方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
- (d) フランジの周方向応力
使用状態にあっては $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3416を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
c	c	継手部の層数	—
E	E	材料の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1による。	MPa
h	h	継手部の波の高さ	mm
N	N	許容繰返し回数	—
	N_r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の2倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数 (N_r) / 許容繰返し回数 (N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算 式		
	A	調整リング無しの場合	—
	B	調整リング付きの場合	—

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。

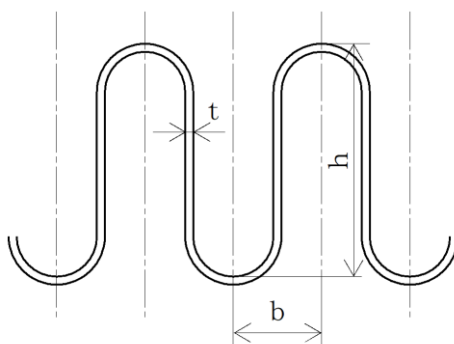


図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b} \cdot h^3} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c} \dots\dots\dots (A)$$

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b} \cdot h^3} + \frac{P \cdot h}{t \cdot c} \dots\dots\dots (B)$$

(4) 評価

実際の繰返し回数 (N_r) と許容繰返し回数 (N) の比 ($U = N_r / N$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた値 ($U = \sum_i (N_{r i} / N_i)$) が $U \leq 1$ であれば、伸縮継手の強度は十分である。

別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

- 基本板厚計算書の概略系統図記載要領については、VI-3-2-2「クラス1管の強度計算方法 別紙
1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領」による。

別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、VI-3-2-2「クラス1管の強度計算方法 別紙2
管の基本板厚計算書のフォーマット」による。

(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管の応力計算方法.....	1
2.1 計算方針	1
2.2 計算方法	1
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。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (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 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2. 重大事故等クラス2管であってクラス2管の応力計算方法

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 5 0 1 号の範囲については、告示第 5 0 1 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 又は告示第 5 0 1 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。

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、「H I S A P」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、VI-5「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し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - b. スナップ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮し、完全固定として扱う。
 - d. ガイド：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向固定として扱う。
 - e. ハンガ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
- (7) 配管系の質量は、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

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
D_0	mm	管の外径
i_1	—	応力係数で告示第 501 号第 57 条に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
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	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 の規定に基づく評価

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

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2 b} \cdot M_{a b} / Z_b + B_{2 r} \cdot M_{a r} / Z_r \leq 1.5 \cdot S_h$$

ロ. イ. 以外の管

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_a / Z \leq 1.5 \cdot S_h$$

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃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

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2 b} \cdot (M_{a b} + M_{b b}) / Z_b + B_{2 r} \cdot (M_{a r} + M_{b r}) / Z_r \leq 1.8 \cdot S_h$$

ロ. イ. 以外の管

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq 1.8 \cdot S_h$$

(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的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る) による一次応力

$$S_{p r m} = P \cdot D_0 / (4 \cdot t) + 0.75 \cdot i_1 \cdot M_a / Z \leq S_h$$

(b) 内圧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

$$S_{p r m} = P_m \cdot D_0 / (4 \cdot t) + 0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq 1.2 \cdot S_h$$

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表 2-1, 表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

機器等の区分	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 _A
	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
供用状態 E *	$1.5 \cdot S_h$
	$1.8 \cdot S_h$

注記* : 重大事故等時の状態。設計・建設規格の設計条件での許容応力を用いる。

表 2-3 許容応力 (告示第 5 0 1 号第 56 条)

状態	一次応力
許容応力状態 V _A *	S_h
	$1.2 \cdot S_h$

注記* : 重大事故等時の状態。告示第 5 0 1 号の設計条件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
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
	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
評価結果	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、告示第501号別表に記載された許容応力は、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。また、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示す旨を記載する。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を示す旨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 SA2-1～応 SA2-5 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 SA2-6-1～応 SA2-6-2 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 SA2-7 に示す。

• FORMAT 応 SA2-1 :

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 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料

• FORMAT 応 SA2-2 :

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 SA2-3 :

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

• FORMAT 応 SA2-4 :

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 SA2-5 :

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 (°C)	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 SA2-6-1 :

評価結果

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 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
		$S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	Max Max	$1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$

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 SA2-6-2 :

評価結果

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 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
		$S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	Max Max	S_h $1.2 \cdot S_h$

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 SA2-7 :

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	適用 規格	供用状態E，許容応力状態V _A * ¹									
			一次応力(1)* ²					一次応力(2)* ³				
			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		設計・建設規格										
		告示第501号										
2		設計・建設規格										
		告示第501号										

注記*1：設計・建設規格の規定に基づく評価のみが要求される配管モデルにおける告示第501号の評価結果については「—」と記載する。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*3：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

- (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	1
1.2 計算精度と数値の丸め方	2
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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）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、「日本産業規格」（以下「J I S」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*2
ヤング率		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*2
許容応力*3		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*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
角度		°	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位

注記*1：必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における許容引張応力及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

*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 $5/8 S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし、 S_y 、 S_u 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 $5/8 S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし， S_y ， S_u 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
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_o	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	$\text{N}\cdot\text{mm}$	フランジ部に作用するモーメント
M_o	$\text{N}\cdot\text{mm}$	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
$P_{e q}$	MPa	管の自重及びその他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
P_{FD}	MPa	フランジ応力算定用圧力
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

ダクトのフランジ・ボルトの応力計算に使用するもの

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	N・mm	フランジ部に作用するモーメント
	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
	P _{e q}	MPa	管の自重及びその他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
	P _{F D}	MPa	フランジ応力算定用圧力
	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	

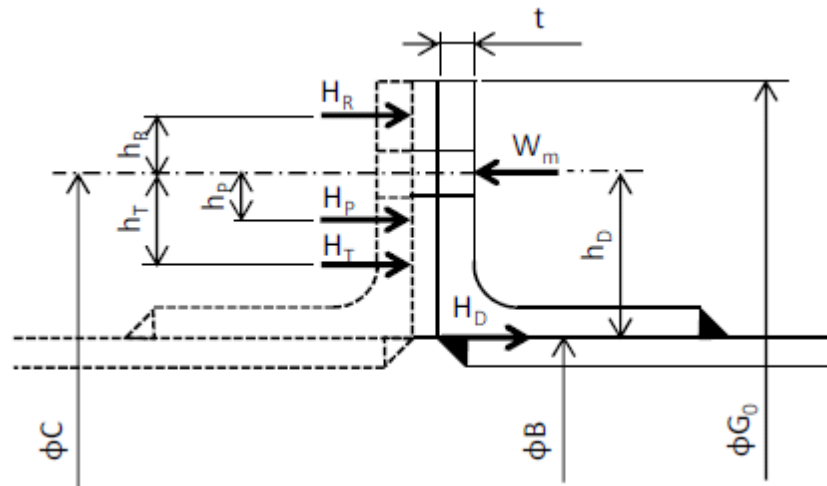


図2-1 フランジの寸法 (円形ダクト)

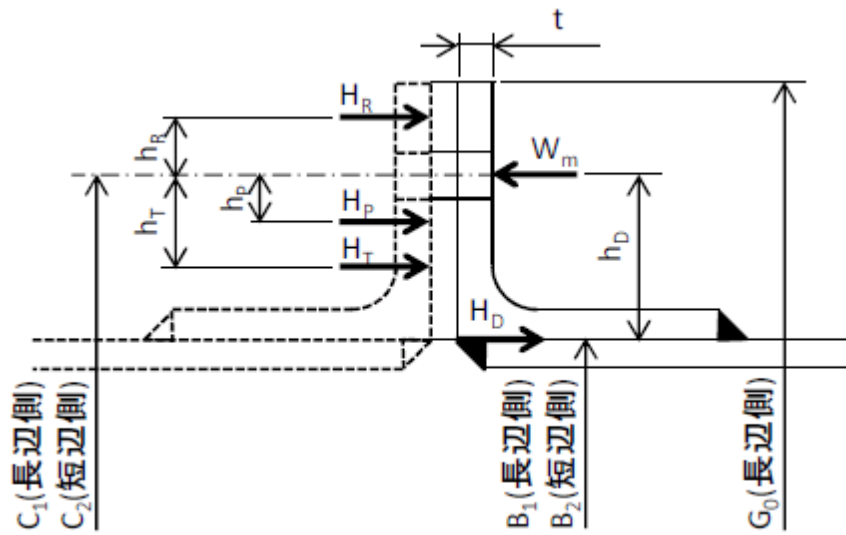


図2-2 フランジの寸法 (矩形ダクト)

(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 _o	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 _{p r m}	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 $5/8 S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし、 S_y 、 S_u はJ I S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 _{p r m}	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 $5/8 S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし、 S_y 、 S_u はJ I S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の規定にしたがって行う。

(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つては，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	$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$
外圧を受けるダクト	設計・建設規格 PPC-3411(2)準用	$t = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_0}{4 \cdot B}$

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增強されている。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）

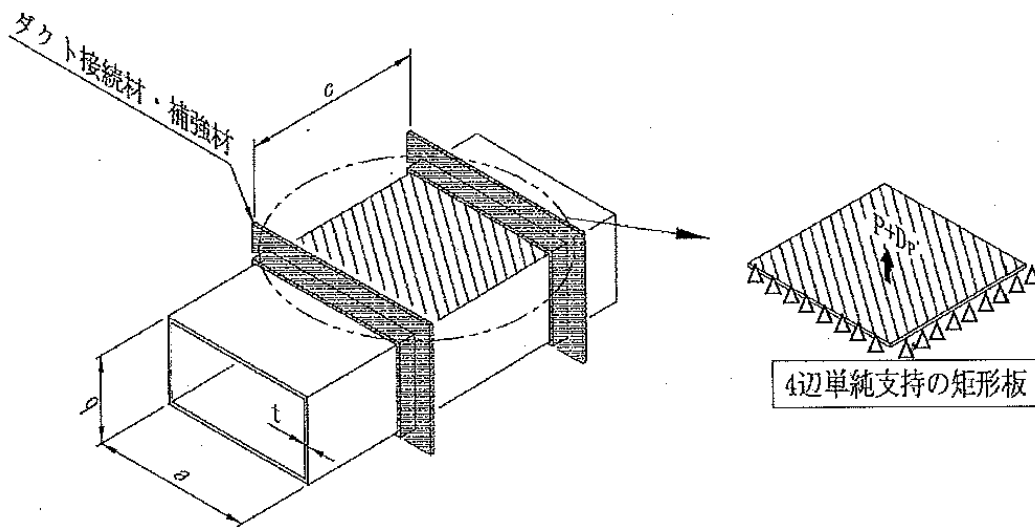


図2-3 板材の面外荷重に対する評価モデル

区分	適用規格番号	計算式
矩形のダクト	<p>機械工学便覧 設計・建設規格 PPC-3411(1) 参考</p>	$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} (P + gD_p) = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right) \frac{\delta_{max}}{t} + \left(\frac{4\nu}{a^2 c^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right) \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3 \quad \dots (2.1)$ $S = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left(\frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c^2} \right) \quad \dots (2.2)$

(2.1) 式及び (2.2) 式を解いて、両式を満足する δ_{max} 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

円形のアンゲルフランジ構造であり，J I S B 8 2 6 5（2003）「压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，J I S B 8 2 6 5（2003）「压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。

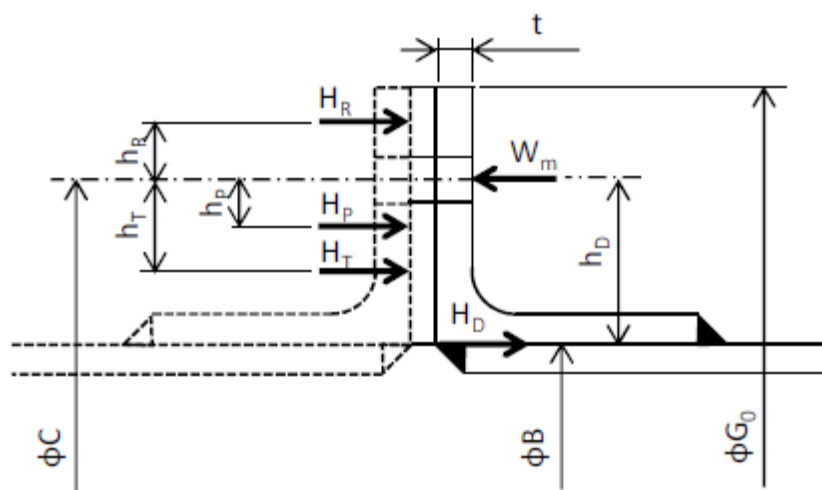


図2-4 フランジ型式（円形アンゲルフランジ）

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	$b'' = \frac{5}{2}$
	ガスケット反力円直径	$G = C - (d_h + 2 \cdot b'')$
	管の自重及びその他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	$P_{eq} = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot G^3}$
	フランジ応力算定用圧力	$P_{FD} = P + P_{eq}$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重	$H = \frac{\pi}{4} (C - d_h)^2 \cdot P_{FD}$
	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$
	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	$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 \cdot P_{FD}$
	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

矩形のアンゲルフランジ構造であり，J I S B 8 2 6 5 (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，J I S B 8 2 6 5 (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。

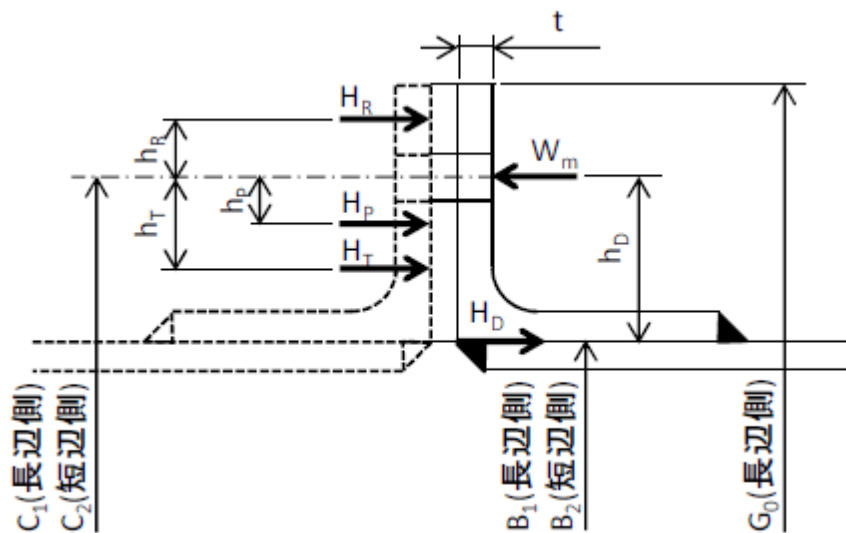


図2-5 フランジ型式 (矩形アンゲルフランジ)

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）	$G_2 = C_2 - (d_h + 2 \cdot b'')$
	管の自重及びその他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	$P_{eq} = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot G_2^3}$
	フランジ応力算定用圧力	$P_{FD} = P + P_{eq}$
	内圧力によってフランジに加わる全荷重	$H = (C_1 - d_h) \cdot (C_2 - d_h) \cdot P_{FD}$
	内圧力によってフランジ内面に加わる荷重	$H_D = B_1 \cdot B_2 \cdot P_{FD}$
	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	$H_P = 4 \cdot (G_1 + G_2) \cdot b'' \cdot m \cdot P_{FD}$
	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	$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot M_0}{t^2 \cdot (2 \cdot (C_1 + C_2) - n \cdot d_h)}$
	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。

中央制御室空調換気系ダクトの圧力は最も高くなる箇所でも0.003MPa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、中央制御室空調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）を生じる逃が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ーパー以外の管 $S_{p r m} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2t} + \frac{B_2 \cdot M_a}{Z}$	1.5 S h

(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。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	$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} (P+gD_p) = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \frac{\delta_{max}}{t}$ $+ \left(\frac{4\nu}{a^2 c^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right) \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3 \quad \dots (2.3)$ $S_{p r m} = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left(\frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c^2} \right) \quad \dots (2.4)$	1.5 S h

(2.3) 式及び (2.4) 式を解いて、両式を満足する δ_{max} 及び $S_{p r m}$ を求める。このときの $S_{p r m}$ 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

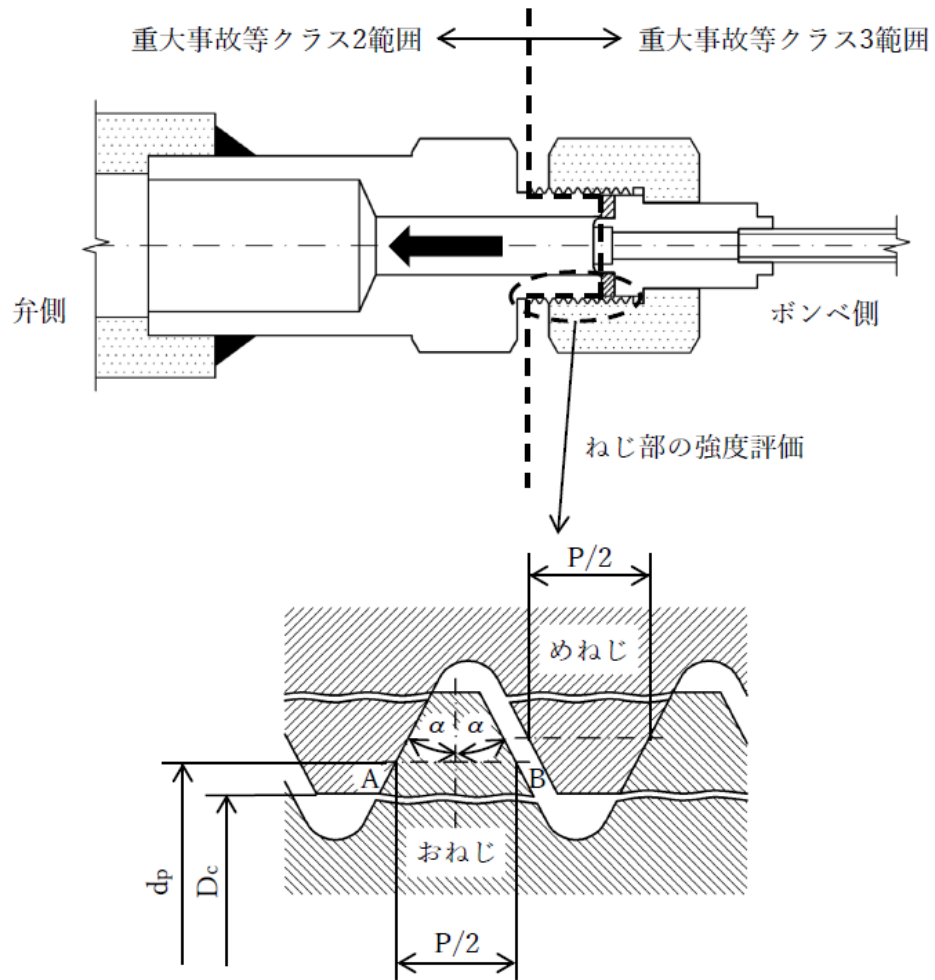
ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価に用いる記号については、次のとおりである。

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 (= (L - 0.5 · 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 J I S B 8 2 4 6 (2004) 「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを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管の応力計算方法.....	1
2.1 計算方針	1
2.2 計算方法	1
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。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (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 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）

2. 重大事故等クラス2管であってクラス1管の応力計算方法

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 5 0 1 号の範囲については、告示第 5 0 1 号第 46 条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、「H I S A P」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、VI-5「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し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - b. スナップ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮し、完全固定として扱う。
 - d. ガイド：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向固定として扱う。
 - e. ハンガ：拘束方向の剛性を考慮し、並進方向固定及び回転方向自由として扱う。
- (7) 配管系の質量は、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

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
D_o	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
$S_{pr m}$	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ーパー

$$S_{pr m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \\ \leq \text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq \text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$$

(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ーパー

$$S_{pr m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{bp} / Z_b + B_{2r} \cdot M_{rp} / Z_r \leq 3 \cdot S_m$$

(b) (a)以外の管

$$S_{pr m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$$

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表 2-1、表 2-2 及び表 2-3 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 _A

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 での許容応力を用いる。

表 2-3 許容応力（告示第 5 0 1 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 _A *	3・S _m	—	—

注記*：重大事故等時の状態。告示第 5 0 1 号の許容応力状態 IV_A 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
	変位置	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、告示第501号別表に記載された許容応力は、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示す旨を記載する。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を示す旨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 (°C)	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 (°C)	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 :

評価結果

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 $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$
		S_{prm}	Max	$\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$

・FORMAT 応-6-2 :

評価結果

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 $3 \cdot S_m$
		S_{prm}	Max	$3 \cdot S_m$

・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	適用 規格	供用状態E，許容応力状態V _A *				
			一次応力				
			評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1		設計・建設規格					
		告示第501号					
2		設計・建設規格					
		告示第501号					

注記*：設計・建設規格の規定に基づく評価のみが要求される配管モデルにおける告示第501号の評価結果については「—」と記載する。

VI-3-2-10 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、VI-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。））J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

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。

日本産業規格（以下「J I S」という。）と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 VVC-3410）

- a. J I S B 2 2 3 8 (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 第1項 VVC-3200 耐圧部の設計	2.1	弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3220	2.2	2.1項の規定に適合しない場合の計算
VVC-3230	2.3	管台の最小厚さの計算
第85条 弁の形状等 第4項*	2.4	フランジの強度計算 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。

表1-2 J I Sと強度計算書との対応

J I S		強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
No.	項		
J I S B 8 2 4 3 (1981) 「圧力容器の構造」 附属書2 「フランジの応力計算方法」		2.4	フランジの強度計算*
J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 附属書3 (規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
附属書4 (規定)	3		
「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」	4		

注記*：告示第501号第85条第4項によりJ I S B 8 2 4 3 (1981)「圧力容器の構造」(以下「J I S B 8 2 4 3」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 WVC-3310によりJ I S B 8 2 6 5 (2003)「圧力容器の構造—一般事項」(以下「J I S B 8 2 6 5」という。)の附属書3 (規定)「圧力容器のボルト締めフランジ」及び附属書4 (規定)「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、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。

J I Sの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合、設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し、最新のJ I Sによる材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)

- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合、材料記号の後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7 (径 \leq 63mm)

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は、フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお、この場合のガasket係数 (m) 及びガasketの最小設計締付圧力 (y) は、J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2 備考3よりガasketメーカー推奨値を適用する。

2. 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	$\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合、図3-2に示すネック部の厚さが t 以上必要な部分の範囲	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における告示第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 a b	弁箱の最小厚さ	mm
	t a f	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。

- b. ネック部の計算上必要な厚さ

- (a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合

- イ. 弁箱流路方向の外径から，ネック方向に沿って次の式で計算したℓの範囲の必要厚さ

$$t_{m1} = t$$

$$\ell = 1.1 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

ロ. イ.以外のネック部の必要厚さ

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。ただし、弁箱（ネック部を含む。）で2.2項に掲げる規定（設計・建設規格 VVC-3220）を満足する場合については、この限りではない。

a. 弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの最小厚さ

$$t_{ab} \geq t$$

$$t_{af} \geq t$$

b. ネック部の最小厚さ

(a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合

$$t_{ma1} \geq t_{m1}$$

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5$ の場合

$$t_{ma2} \geq t_{m2}$$

2.2 2.1項の規定に適合しない場合の計算
 設計・建設規格 VVC-3220 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の直径の許容範囲	mm
	D'	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の実際の直径	mm
d_1, d_2	d_1, d_2	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の、それぞれの部分を囲んだ円の直径	mm
d_m	d_m	図3-1に示す弁入口流路内径	mm
ℓ	ℓ	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の、それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間距離の許容範囲	mm
	ℓ'	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が2箇所以上ある場合の、それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の実際の距離	mm
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ （設計・建設規格 VVC-3210(1)による。）	mm
	t'	t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分の最小厚さ	mm
t_m	t_{m1}, t_{m2}	ネック部の計算上必要な厚さ （設計・建設規格 VVC-3210(2)による。）	mm

(2) 評価

2.1 項の規定（設計・建設規格 VVC-3210）に適合しない部分がある弁箱であっても、当該部分が以下の条件を満足すれば十分である。

- a. t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分を囲んだ円の直径

$$D' \leq D$$

$$D = 0.35 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

- b. t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分の厚さ

$$t' \geq \frac{3}{4} \cdot t$$

- c. t 又は t_{m1} 若しくは t_{m2} を満足しない部分が 2 箇所以上ある場合の、それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の距離

$$l' \geq l$$

$$l = 1.75 \cdot \sqrt{d_m \cdot t} + 0.5 \cdot (d_1 + d_2)$$

2.3 管台の最小厚さの計算

設計・建設規格 VVC-3230 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	No.	管台の番号	—
D _o	D _o	管台の外径	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格 付録材料 図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t _{br}	管台の最小厚さ	mm
	T _m	最高使用温度	°C
	t _{no}	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率（設計・建設規格 PVC-3130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。

$$t_{br} \geq t$$

2.4 フランジの強度計算

2.4.1 ボルト締めフランジ

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

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A m	A m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₁	A m ₁	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A m ₂	A m ₂	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 (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 ₀	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 (= $\frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$ (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 (= $\frac{F}{h_0}$ (一体形フランジの場合))	mm ⁻¹
F	F	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図3又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図5又は表4による。)	—

J I S 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
<i>f</i>	f	ハブ応力修正係数 （J I S B 8 2 4 3 附属書2 図2又はJ I S B 8 2 6 5 附属書3 図4又は表4による。）	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
g ₀	g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g ₁	g ₁	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	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 ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H _P	H _P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	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

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からH _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(=\frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}\right)$	—
m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 表2又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
M _D	M _D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N・mm
	M _e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M _o	M _o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 表1又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	P _{e q}	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

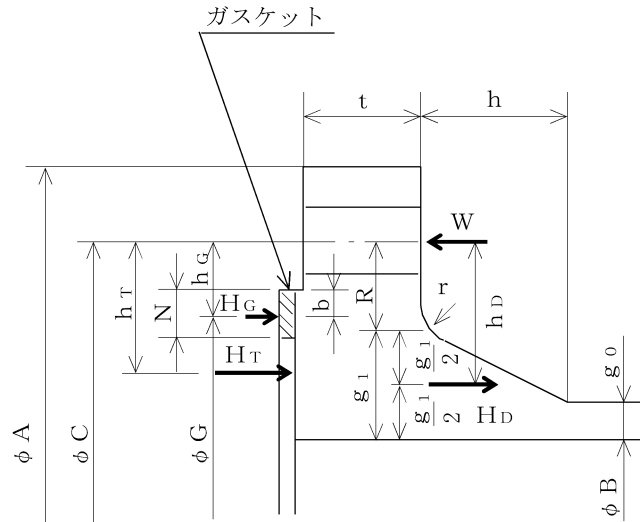
J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
P	P _{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径 方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図6又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 表2又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の告示第 5 0 1 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 5 0 1 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 5 0 1 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 5 0 1 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*

J I S 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*： J I S B 8 2 4 3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， J I S B 8 2 6 5は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 4 3 附属書2 図1 (g) 又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 7))

注1 : ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注2 : Wは、 W_g 、 W_{m1} 、 W_{m2} 及び W_o のボルト荷重を表す。

図2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

$$G = G_s - 2 \cdot b$$

$$b = 2.52 \cdot \sqrt{b_o}$$

ここで、

$$b_o = N / 2$$

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$

$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{MAX} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a \quad (\text{ガasket縮付時})$$

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h_D	h_G	h_T
一体形フランジ*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

$$\text{ただし, } R = \frac{C - B}{2} - g_1$$

注記* : クラス2弁には、一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$\begin{aligned}M_D &= H_D \cdot h_D \\M_G &= H_G \cdot h_G \\M_T &= H_T \cdot h_T \\M_o &= M_D + M_G + M_T\end{aligned}$$

i. ガasket縮付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\begin{aligned}\sigma_{H_o} &= \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_o} \quad *1, *2 \\ \sigma_{R_o} &= \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} \\ \sigma_{T_o} &= \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_o}\end{aligned}$$

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

$$\begin{aligned}\sigma_{H_g} &= \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} \quad *2 \\ \sigma_{R_g} &= \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} \\ \sigma_{T_g} &= \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_g}\end{aligned}$$

ここで,

$$\begin{aligned}L &= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \\ h_o &= \sqrt{B \cdot g_o} \\ d &= \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \\ e &= \frac{F}{h_o}\end{aligned}$$

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。

J I S B 8243又はJ I S 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_{H_o} 及び σ_{H_g} の計算式のBの代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. ハブの軸方向応力

使用状態にあつては $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

- c. フランジの半径方向応力

使用状態にあつては $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

- d. フランジの周方向応力

使用状態にあつては $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$

ガスケット締付時にあつては $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.4.2 全面座フランジ

設計・建設規格 VVC-3310を適用する。

(1) 記号の説明

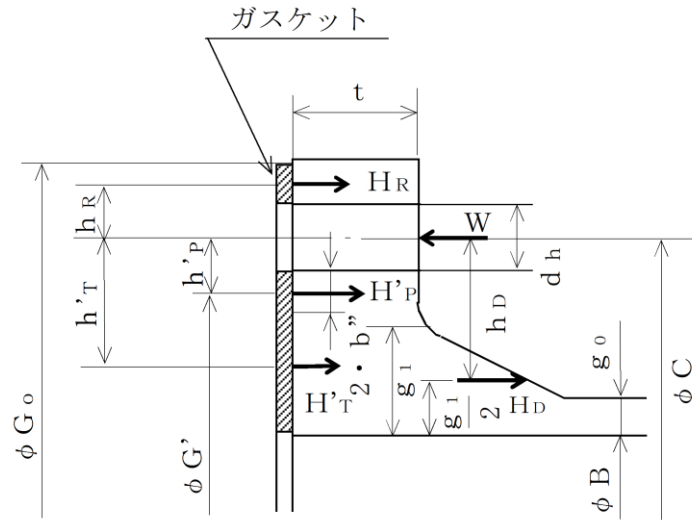
J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの所要総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
b'₀	b'₀	G₀-C, ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
b'	b'	$4 \cdot \sqrt{b'₀}$, ガスケット締付時におけるガスケット座の有効幅	mm
2b''	2・b''	使用状態に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
G₀	G₀	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

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
M_0	M_0	$H_R \cdot h_R$, 使用状態でフランジに作用する全モーメント	N・mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
t	t_{fl}	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm

J I S 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 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録 材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa*

注記* : J I S B 8 2 6 5 は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(JIS B 8265 附属書4 図1)

注1: ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注2: Wは, W_{m1} 及び W_{m2} のボルト荷重を表す。

図2-2 全面座フランジ

a. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H'P + H_R$$

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_h)^2 \cdot P_{FD}$$

$$H'P = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G' \cdot m \cdot P_{FD}$$

$$H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H'T \cdot h'T + H'P \cdot h'P}{h_R}$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P_{FD}$$

$$h_D = \frac{(C - B)}{2} - 0.5 \cdot g_1$$

$$H'T = H' - H_D$$

$$h'T = \frac{(C + d_h + 2 \cdot b'') - B}{4}$$

$$h'P = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$$

$$h_R = \frac{G_0 - (C + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$$

- (b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$$

- b. ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} \quad (\text{使用状態})$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} \quad (\text{ガasket縮付時})$$

$$A_m = \text{MAX} (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \cdot n$$

- c. フランジの計算厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_o}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot d_h)}}$$

- (3) 評価

全面座フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

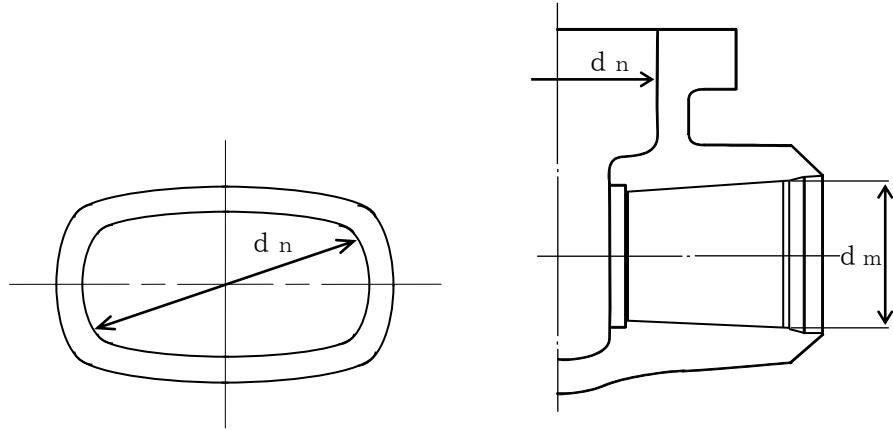
- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. フランジの厚さ

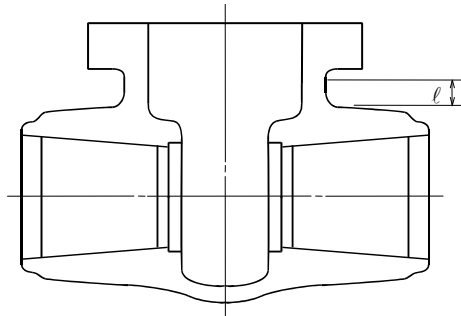
$$t_{fl} \geq t$$

3. 添付図



注：本図は告示第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 d_m 及び d_n を明示した図



l の範囲は、ネック部と流路部の
交わる部分を基点としてネック部
方向にとるものとする。

注：本図は告示第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

VI- - - - ○○○○○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-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VI-3-2-10「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、VI-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 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)

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

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 (°C)				d_n / d_m			
弁箱又は弁ふたの厚さ				\varnothing (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： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。			
t_1 (mm)							
t_2 (mm)							
t (mm)							
t_{ab} (mm)							
t_{af} (mm)							
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。							

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 (°C)		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°C)		M_T (N·mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		M_o (N·mm)	$\times 10^7$
		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_o (mm)		f	
g_1 (mm)		F	
h (mm)		V	
ボルト		e (mm ⁻¹)	
材料		d (mm ³)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		L	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		T	
		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
b (mm)			
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$		
H_p (N)	$\times 10^5$		
W_{m1} (N)	$\times 10^6$		
W_{m2} (N)	$\times 10^5$		
A_{m1} (mm ²)	$\times 10^3$		
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_g (N)	$\times 10^6$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	
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MV○○○-○（使用材料規格：J I S G ○○○○ △△△△）の評価結果

（比較材料：J I S G ○○○○ △△△△）

弁番号MV○○○-○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	<p>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を考える。</p> <p>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的強度は同等以上であること。</p> <p>P：じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>S：じん性に影響を与える成分であるが、設計・建設規格クラス2の規定でも破壊じん性試験が要求されない範囲であること。</p>									

(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を考える。

(材料記号を記載)

VI-3-2-11 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、VI-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。))J S M E S N C 1 -2005/2007)(日本機械学会 2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)により行う。

なお、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 _{s f}	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型断面のウェブ軸まわりの断面二次半径	
I _{s f}	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, $M_1 \geq M_2$ ）
	M_2	N・mm	座屈端部における曲げモーメント（小さい方, $M_1 \geq M_2$ ）
	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）

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) スカートの部の応力計算 (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	—	$F_c = m_0 g$ $\sigma_c = \frac{F_c}{A}$
許容圧縮応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	<p>(1) 圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合 ($\lambda \leq \Lambda$ の場合)</p> $f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \quad *1, *2, *3$ <p>(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)</p> $f_c = 0.277 F \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad *1, *2$ <p>(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。</p>

注記*1: λ は、圧縮材の有効細長比で、 $\lambda = l_k / i$ 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、 $i = \sqrt{I/A}$ 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。

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t - \frac{1}{4} (D_i + t)^2 t Y$$

A は、支持構造物の断面積で、次式により求める。

$$A = \left\{ \pi (D_i + t) - Y \right\} t$$

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。

$$Y = \sum_{j=1}^N \left\{ (D_i + t) \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_i + t} \right) \right\}$$

*2: Λ は、限界細長比で、 $\Lambda = \sqrt{\pi^2 E / 0.6 F}$ 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、 $\nu = 1.5 + 2/3 \cdot (\lambda / \Lambda)^2$ 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	—	$M = \frac{m_0 g l_c}{2 \cdot N} \quad \text{壁からの支持の場合 } M = \frac{m_0 g l_1}{N}$ $\sigma_b = \frac{M}{Z}$
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	<p>(1) 圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合 ($\lambda \leq \Lambda$ の場合)</p> $f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{v} \quad *1, *2, *3$ <p>(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)</p> $f_c = 0.277 F \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad *1, *2$ <p>(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。</p>
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 $f_b = \left\{ 1 - 0.4 \frac{\ell^2}{C \Lambda^2 i_f^2} \right\} f_t \quad *2, *4$ $f_b = \frac{0.433 E A_f}{\ell h}$ (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 $f_b = \frac{0.433 E A_f}{\ell h}$
組合せ評価	設計・建設規格 SSC-3121.1	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$ $\sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \leq f_t$

注記*1: λ は、圧縮材の有効細長比で、 $\lambda = \ell_k / i$ 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、 $i = \sqrt{I/A}$ 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。

$$I = \frac{1}{12} \left\{ b h^3 - (h - 2 t_1)^3 (b - t_2) \right\}$$

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。

$$A = 2 t_1 (b - t_2) + h t_2$$

*2: Λ は、限界細長比で、 $\Lambda = \sqrt{\pi^2 E / 0.6 F}$ 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、 $\nu = 1.5 + 2/3 \cdot (\lambda / \Lambda)^2$ 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型断面のウェブ軸まわり

の断面二次半径で、 $i_f = \sqrt{I_{sf} / A_{sf}}$ 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。)

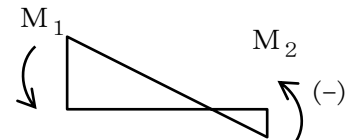
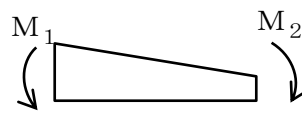
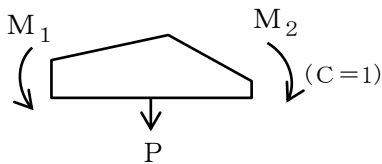
$$C = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2$$

ここで、 $M_1 \geq M_2$ であり、 $(M_2/M_1) \leq 1$ 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

3. 支持構造物の強度計算書

(1) 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	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

〇〇容器 支持構造物の強度計算説明図

FORMAT-2

3. 支持構造物の強度計算書

(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 (°C)	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 $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$	評価

〇〇容器 支持構造物の強度計算説明図

FORMAT-3

3. 支持構造物の強度計算書

(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 (°C)	F 値 (MPa)	せん断荷重 F _s (N)	せん断断面積 A _s (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 f _s (MPa)	一次曲げ応力 σ _b (MPa)	許容曲げ応力 f _b (MPa)	組合せ応力 $\sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$	許容引張応力 f _t (MPa)	評価

○○容器 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-2-12 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

1. 概要

本書はVI-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。））J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。

なお、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 c 1	N	取付ラグ1個にかかる最大の鉛直荷重
	F c 2	N	鉛直荷重
	f s	MPa	許容せん断応力
	h	mm	はりのせい（又は板厚）
	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
一次応力計算に使用するもの	β_{12}	—	機械工学便覧 $\alpha 3$ 編 材料力学の図 5.7 に規定する応力係数
	R	mm	円輪板の外半径
	r	mm	円輪板の内半径
	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	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), d)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), d)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。

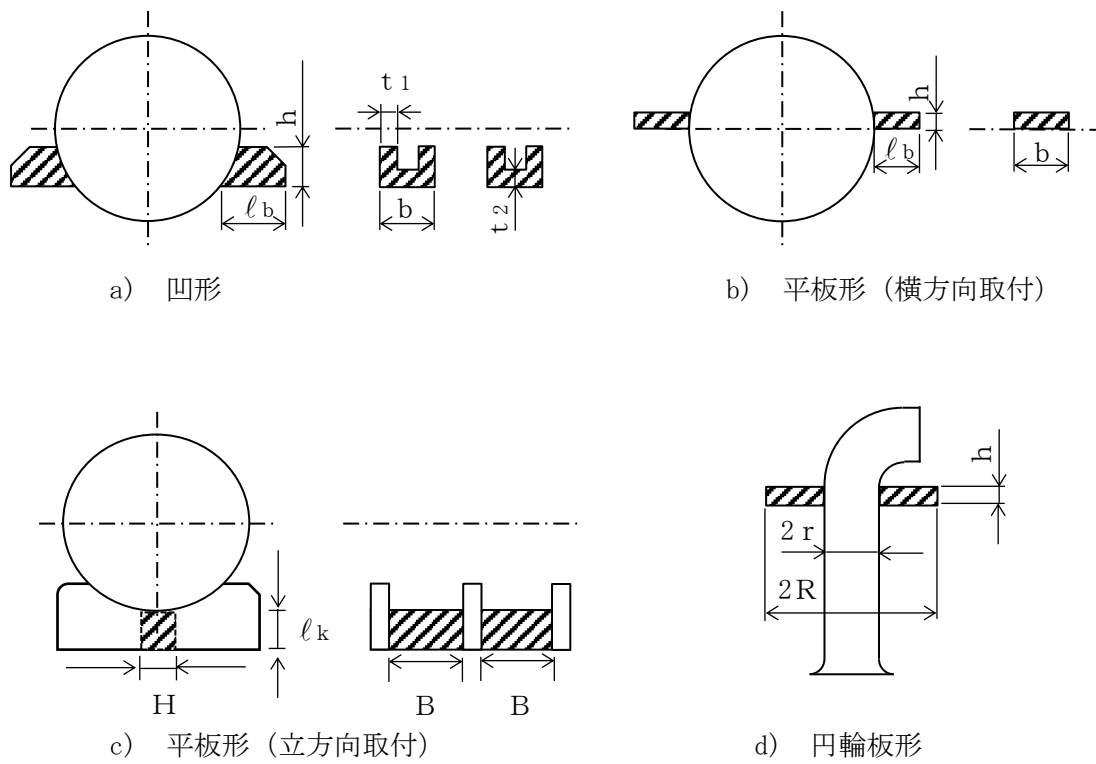


図 2-1 支持構造物の形状例

(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	—	$\sigma_s = \frac{F_{c1}}{A_{s1}} \quad *1, *2$
許容せん断応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	$f_s = \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$
一次圧縮応力	—	$\sigma_c = \frac{F_{c2}}{A_{s2}} \quad *3$
許容圧縮応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu}$ <p>ここで，</p> $\lambda = \frac{\ell_k}{i} \quad *4$ $\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}}$ $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$
一次曲げ応力	—	$M = F_{c1} \cdot \ell_b$ $\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad *5$ $\sigma_b = \beta_{12} \frac{F_{c1}}{h^2} \quad *6$
許容曲げ応力	設計・建設規格 SSC-3121.1	$f_b = \frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{\ell_b \cdot h} \quad *7$ $f_t = \frac{F}{1.5}$ <p>いずれか小さい方の値を用いる。</p>

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 $A_{s1} = b \cdot h$ 、円輪板は $A_{s1} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$ より求める。

*3: A_{s2} は、支持構造物の全断面積で、平板形は $A_{s2} = n \cdot B \cdot H$ 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 $i = \sqrt{H^2/12}$ より求める。

*5: 【凹形】 Z は、取付ラグの断面係数で、 $Z_1 = I/e_1$ と $Z_2 = I/e_2$ 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。

$$I = \frac{1}{3} \cdot \{2 \cdot t_1 \cdot e_1^3 + b \cdot e_2^3 - (b - 2 \cdot t_1) \cdot (e_2 - t_2)^3\}$$

$$\text{【平板形】 } Z = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

*6: 【円輪板形】 機械工学便覧 α3 編 材料力学（日本機械学会編）に記載の、表 5.1 の No. 12（円輪板、外周固定、内周固定片に荷重）の曲げ応力の表式により求める。

*7: 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

3. 支持構造物の強度計算書

「〇〇ポンプ 支持構造物（平板形（〇方向取付）」

(1) 一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	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 (°C)	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 (°C)	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

〇〇ポンプ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-2-13 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	1
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	1
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、VI-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。））J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）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

対象となる重大事故等クラス3機器のうち、設計・建設規格に定められたクラス3機器の規定を準用して強度計算を実施する管については、設計・建設規格 PPD-1000クラス3管に準拠した重大事故等クラス3管の強度計算を実施する。ここでは、その方法及び計算式について説明する。

耐圧試験による強度評価を実施する管継手については、設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ、実条件を踏まえた耐圧試験を実施し、その結果の確認により強度評価を実施する。

(1) 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2-1に示すとおりとする。

表2-1 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	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
温度		℃	—	—	整数位
許容応力*		MPa	小数点以下第1位	切捨て	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

注記*：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。

(2) 記号の説明

管の板厚計算は、設計・建設規格 PPD-3411 を適用する。

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
P	NO.	管の番号	—
	P	最高使用圧力（内圧）	MPa
η	Q	厚さの負の許容差	%, mm
	η	継手の効率 設計・建設規格 PVD-3110による。	—
D _o	D _o	管の外径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 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 _r	管に必要な厚さ	mm
	t _s	管の最小厚さ	mm
	t _t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	t _r として用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(3) 強度評価方法

a. 管

(a) 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。

イ. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPD-3411(1)の式より求めた値：t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P} \dots\dots\dots (A)$$

ロ. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_t

設計・建設規格 PPD-3411(3)の表PPD-3411-1より求めた値 …… (B)

(b) 評価

t 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。

(c) 補足

イ. 計算書中、算式の項の文字は(a)イ項及びロ項の文字A及びBに対応する。

ロ. 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。

b. 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VI-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ー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) メーカー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，使用環境とメーカー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) メーカー規格及び基準に基づく機器（非常用発電装置（可搬型）を除く）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。
 - ・日本産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ー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、メーカー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）の容量がメーカー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

重大事故等クラス3機器のうち、設計・建設規格に基づく強度計算を実施した機器については、耐圧部分を構成する部材について計算に必要な条件及び結果を記載したフォーマットとする。

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) FORMAT-1 設計・建設規格に定められたクラス3管の規定を準用した強度計算結果
- (2) FORMAT-2 設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にした、実条件を踏まえた耐圧試験結果
- (3) 完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果
 - FORMAT-3 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-4 一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果
(メーカー規格及び基準)
 - FORMAT-5 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) FORMAT-1 設計・建設規格に定められたクラス3管の規定を準用した強度計算結果

管の強度計算書 (重大事故等クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D _o (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t _s (mm)	t (mm)	算 式	t _r (mm)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														

評価 : $t_s \geq t_r$, よって十分である。

(2) FORMAT-2 設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にした、実条件を踏まえた耐圧試験結果
継手類耐圧試験結果（重大事故等クラス3管）

名称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験倍率	耐圧試験結果	評価

(3) 完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

FORMAT-3

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 (°C)

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 (°C)	規格及び基準に基づく試験

∞

III. メーカー仕様

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 (°C)	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-4

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）

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 (°C)

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

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 (°C)	規格及び基準に基づく試験

6

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-5

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. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量(kVA/個)	メーカー許容値(°C)	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