

VI-3 強度に関する説明書

目 次

VI-3-1 強度計算の基本方針

VI-3-2 強度計算方法

VI-3-3 強度計算書

VI-3-3-1 原子炉本体の強度に関する説明書

VI-3-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書

VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

VI-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書

VI-3-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書

VI-3-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書

VI-3-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書

VI-3-別添 5 非常用発電装置（可搬型）の強度に関する説明書

VI-3-別添 6 炉心支持構造物の強度計算書

VI-3-別添 7 原子炉圧力容器内部構造物の強度計算書

VI-3-別添 8 原子炉圧力容器スカートの強度計算書

VI-3-1 強度計算の基本方針

目 次

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
- VI-3-1-2 クラス 1 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針
- 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
- 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
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条に規定されている設計基準対象施設又は第 55 条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器、管、ポンプ、弁若しくはこれらの支持構造物又は設計基準対象施設に属する炉心支持構造物の材料及び構造について、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

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

今回、新たに材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを説明するものである。

- ・クラス 1 機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲
- ・クラス 2 機器のうち「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス 3 機器のうち「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス 3 機器のうち「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」
- ・クラス 3 機器のうち「その他発電用原子炉の附属施設（浸水防護施設）」
- ・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
- ・重大事故等クラス 3 機器
- ・原子炉格納容器のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲

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

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

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

強度計算及び強度評価の基本方針については以下の資料により構成する。

VI-3-1 強度計算の基本方針

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
- VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針
- 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
- 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
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-2 強度計算方法

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

VI-3-1-2 クラス 1 機器の強度計算の基本方針

目 次

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

1. 概要

クラス1機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第1号及び第8号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス1機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲となる弁及び管

2. クラス1機器の強度計算の基本方針

クラス1機器の材料及び構造については、技術基準規則第17条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）第17条11において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第1編軽水炉規格＞J S M E S N C 1 -2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 -2012」（日本機械学会）によることとされているが、施設時にJ S M E S N C 1 -2005/2007又はJ S M E S N C 1 -2012が適用されていない設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されるJ S M E S N C 1 -2005/2007及びJ S M E S N C 1 -2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉冷却材圧力バウンダリの拡大範囲は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）であることから、J S M E S N C 1 -2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

2.1 クラス1機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス1管及び弁については、施設時の適用規格は告示第501号である。よって、設計・建設規格と告示第501号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

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

a. 公式による評価の比較

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

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

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

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。その結果、クラス1弁の弁箱の疲労評価において両規格に相違があることを確認した。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格により評価を実施する。

クラス1機器の計算書に記載する強度評価結果については、安全側の規格による評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針

目 次

1. 概要 1
2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針 1

1. 概要

クラス 2 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 2 号及び第 9 号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス 2 機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

- ・「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い強度評価が必要となる管

2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針

クラス 2 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）第 17 条 11 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 -2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 -2012」（日本機械学会）によることとされているが、施設時に J S M E S N C 1 -2005/2007 又は J S M E S N C 1 -2012 が適用されていない設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 -2005/2007 及び J S M E S N C 1 -2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 2 機器のうち「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造を実施する機器の評価は J S M E S N C 1 -2005/2007 による評価を実施する。

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

VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. クラス3機器の強度計算の基本方針	2
2.1 クラス3機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度	3
2.2 クラス3機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器の構造及び強度	4

1. 概要

クラス3機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第17条第1項第3号及び第10号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は、クラス3機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを確認するための強度評価の基本方針について説明するものである。

- ・「放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備」の改造に伴い強度評価が必要となる管
- ・「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」の容器及び管
- ・「その他発電用原子炉の附属施設（浸水防護設備）」の管

2. クラス 3 機器の強度計算の基本方針

クラス 3 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第 17 条 11 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編 軽水炉規格＞ JSME S NC 1-2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編軽水炉規格＞ JSME S NC 1-2012」（日本機械学会）によることとされているが、施設時に JSME S NC 1-2005/2007 又は JSME S NC 1-2012 が適用されていない設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されている JSME S NC 1-2005/2007 及び JSME S NC 1-2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 3 機器（火災防護設備のハロンボンベ及び二酸化炭素ボンベ（以下「消火設備用ボンベ」という。）並びに消火器を除く。）の評価は、基本的に JSME S NC 1-2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）による評価を実施する。ただし、施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 501 号）（以下「告示第 501 号」という。）の場合は、設計・建設規格と告示第 501 号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

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

クラス 3 容器のうち完成品としてそれぞれ高圧ガス保安法及び消防法の規制を受ける消火設備用ボンベ及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」に基づき火災区域又は火災区画に配備する消火器（以下「消火器」という。）については、技術基準規則第 17 条第 1 項第 3 号及び第 10 号におけるクラス 3 容器の材料、構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で、高圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用する設計とする。

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

2.1 クラス3機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス3機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く。）のうち改造を実施する機器又は施設時の適用規格が設計・建設規格の機器の場合は設計・建設規格による評価を実施する。

クラス3機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く。）のうち施設時の適用規格が告示第501号の場合は、設計・建設規格と告示第501号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、クラス3機器において解析による評価は行わないため、公式による評価について実施する。

a. 公式による評価の比較

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

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。

ただし、許容値のSI単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとはみなさない。

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

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施した結果、両規格に相違がないことを確認した。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、両規格に相違がないことが確認できたことから設計・建設規格に基づき評価を実施する。

2.2 クラス3機器のうち消火設備用ボンベ及び消火器の構造及び強度

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

(1) 技術基準規則第17条第1項第3号、第10号及び第15号の要求事項

a. 材料

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

b. 構造及び強度

- ・設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えること。
- ・クラス3容器に属する伸縮継手については、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊が生じないこと。(消火設備用ボンベ及び消火器に対して伸縮継手を使用していないため対象外)
- ・設計上定める条件において、座屈が生じないこと。(消火設備用ボンベ及び消火器の外面には圧力が加わらないことから対象外)

c. 主要な耐圧部の溶接部

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

(2) 技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の規定の比較

a. 材料

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

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

(圧力)

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

(温度)

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

(荷重)

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

(その他の使用条件)

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

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

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、「溶接容器（ハロンボンベ）及び一般継目なし容器（二酸化炭素ボンベ）の必要肉厚を材料の許容応力より算出すること」が要求されており、材料の降伏点を越えることのないよう許容応力を規定していることから、要求する保安水準は同等である。

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

(3) 技術基準規則第 17 条と消防法の規定の比較

a. 材料

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

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

(圧力)

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

(温度)

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

(荷重)

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

(その他の使用条件)

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

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

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では，設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方，消防法では，使用材料に応じた消火器の本体容器の板厚を規定しており，消火器内部に受ける最高の圧力（調整圧力，閉そく圧力及び使用圧力の上限值）を超える圧力（設計上定める最高の圧力の 1.3～2.0 倍）で耐圧試験を実施し，強度上支障のある永久ひずみ（円筒部分にあっては，円周長の 0.5%以上の永久ひずみ）を生じないことが要求されている。これは，設計上定める条件に対して十分な裕度を持って，全体的な変形を弾性域に抑えることができる水準であることから，要求する保安水準は同等である。

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

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

目 次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針	2
2.1 重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物を除く）の構造及び強度	4
2.1.1 クラス2機器の規定に基づく評価	7
2.1.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価	11
2.2 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の構造及び強度	26
2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度	28
2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価	30

1. 概要

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第55条第1項第2号及び第5号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

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

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

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造については、技術基準規則第55条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い、設計基準施設の規定を準用する。

また、技術基準規則の解釈第17条11において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第1編軽水炉規格＞ JSME S NC 1-2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第1編軽水炉規格＞ JSME S NC 1-2012」（日本機械学会）によることとされているが、施設時にJSME S NC 1-2005/2007又はJSME S NC 1-2012が適用されていない設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されるJSME S NC 1-2005/2007及びJSME S NC 1-2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物を除く）の評価は、基本的にJSME S NC 1-2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）による評価とする。ただし、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

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

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の評価は、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、既工認における評価結果がある場合は、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。また、上述の評価条件がない場合は、設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

原子炉格納容器のうちコンクリート製格納容器の評価は「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」（平成2年10月22日 通商産業省告示第452号）（以下「告示第452号」という。）による評価を実施する。ただし、コンクリート製

格納容器のうち改造を実施する設備は「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE 1-2003」（日本機械学会）（以下「CCV規格」という。）による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器（コンクリート製原子炉格納容器を除く。）の評価は、告示第501号による評価を実施する。ただし、原子炉格納容器のうち改造を実施する設備は設計・建設規格による評価を実施する。

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

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

また、原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器の材料については、告示第452号に規定された材料を使用する設計とする。

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

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

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

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

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

設計・建設規格又は告示第501号に評価式*2が規定されていない場合、同等性を示す評価方法により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は、クラス1容器の規定を準用した評価方法により十分な強度を有することを確認する。

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

ただし、重大事故等クラス2管の疲労評価については、重大事故等時は運転状態Ⅳを超える事象であり、発生回数が少なく疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力は発生しないこと、また、設計基準対象施設と機能を兼用している設備については、設計基準対象施設に対する要求事項に基づき疲労評価を実施していることから、評価を省略する。

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

されないものをいう。

*2：評価式とは設計・建設規格にて評価する場合，クラス2機器の評価式，告示第501号にて評価する場合，第3種機器の評価式を示す。

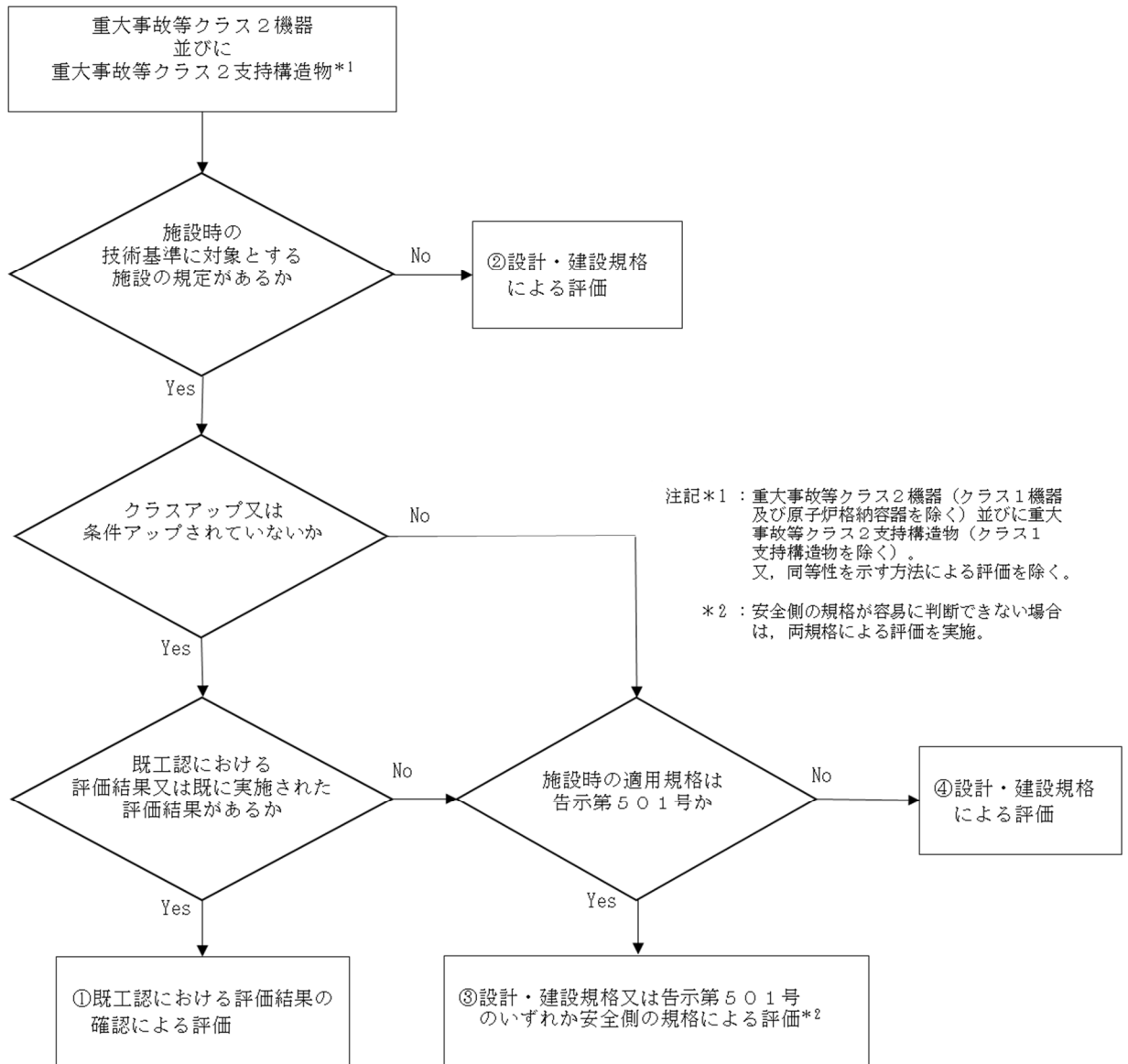


図 2-1 評価区分の整理フロー

2.1.1 クラス2機器の規定に基づく評価

(1) 強度計算における適用規格の選定

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

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

a. 公式による評価

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

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

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

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

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

a. 評価式

(a) 容器*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
平板の板厚計算における係数	[PVC-3310] 取付方法(i)の場合 K=0.33 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第34条第1項] 取付方法(g)の場合 K=0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第501号	*2

注記*1：評価式に記載の記号は、VI-3-2-8「重大事故等クラス2容器の強度計算方法」による。

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

(b) ポンプ*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
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の厚さの規定	[PMC-3310(片吸込み1重うず巻きポンプ)] $t = \frac{P \cdot A}{S}$	[第77条第2項] $t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	設計・建設規格	*2
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各部形状の規定	[PMC-3340(3)] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は、式 PMC-3 により計算した値の 0.1 倍の値または 6mm のうちいずれか大きい値以上であること。	[第77条第7項3] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は、第二項の計算式により計算した値の 0.1 倍の値または 7mm のうちいずれか大きい値以上であること。	告示第501号	*3
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計算における係数(平板形)	[PMC-3410] 取付方法(a)の場合 $K = 0.17$ 取付方法(その他)の場合 $K = 0.50$ (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第77条第5項] 取付方法(a)の場合 $K = 0.20$ 取付方法(その他)の場合 $K = 0.75$ (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第501号	*3

注記*1：評価式に記載の記号は、VI-3-2-10「重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」による。

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

*3：すみの丸み半径及びケーシングカバー厚さは告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第501号の評価式を適用する。

b. 許容値

(a) 弁*1

評価項目	許容 圧力 P ₁ (MPa)	許容 圧力 P ₂ (MPa)	P ₁ , P ₂ に基づく 最少厚さ(mm) *2				適用する 規格
			設計・建設 規格		告示 第501号		
			t ₁	t ₂	t ₁	t ₂	
弁箱又は弁ふたの厚さ $t=t_1+\frac{(P-P_1)\cdot(t_2-t_1)}{(P_2-P_1)}$ (残留熱除去系 004A)	1.83	4.79	9.5	14.2	9.5	14.5	告示 第501号

注記*1：評価式に記載の記号は，VI-3-2-11「重大事故等クラス2弁の強度計算方法」による。

*2：設計・建設規格 別表3及び告示第501号 別表15による。

(3) 選定規格

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

2.1.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価

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

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

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

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式*²を用いた評価
 - (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式*³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（第1種容器）の規定を準用した評価

注記*1：評価式とは設計・建設規格にて評価する場合は、クラス2機器の評価式、告示第501号にて評価する場合は、第3種機器の評価式を示す。

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

*3：機械工学便覧に記載されているねじ山のせん断破壊荷重評価式

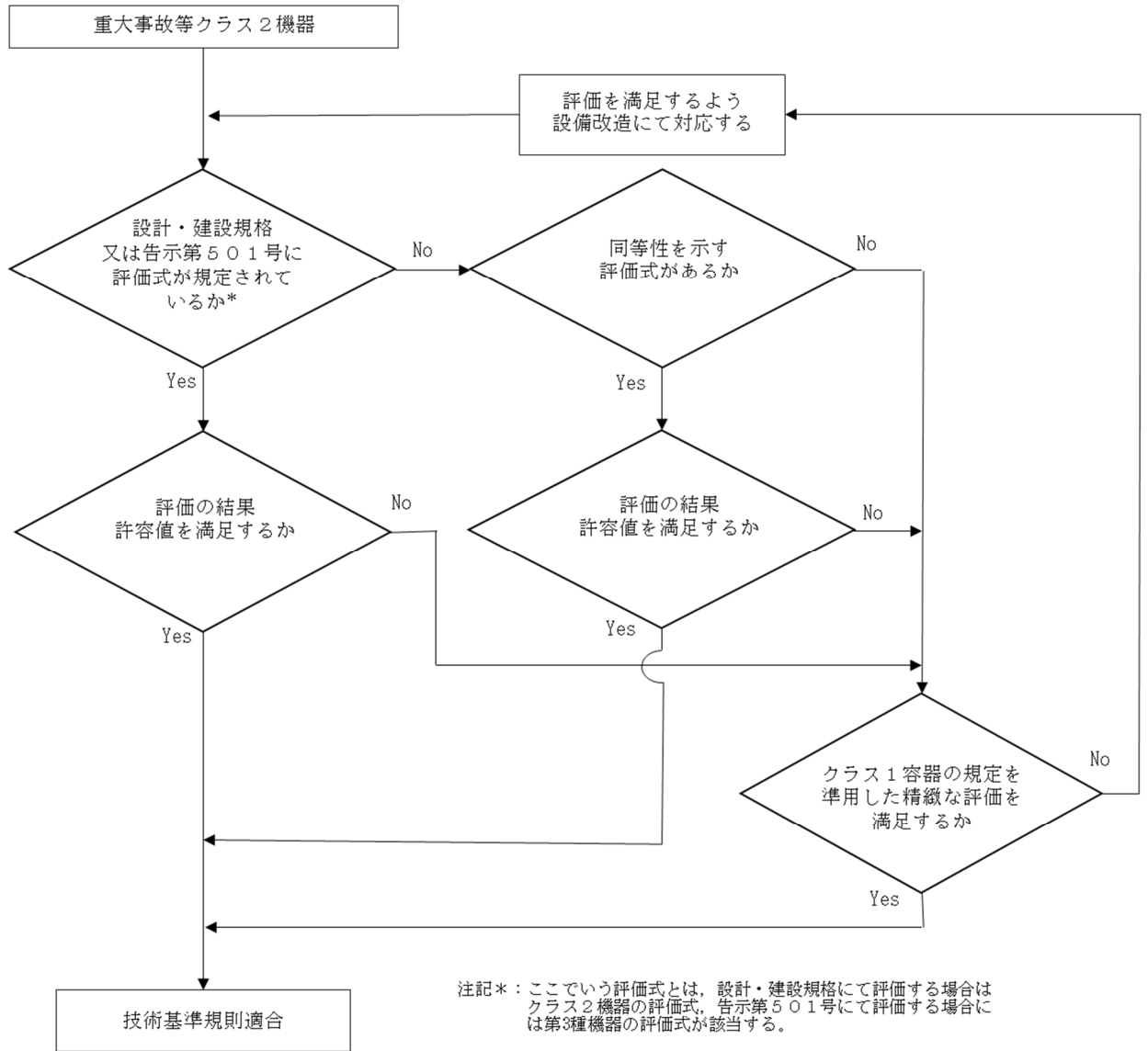


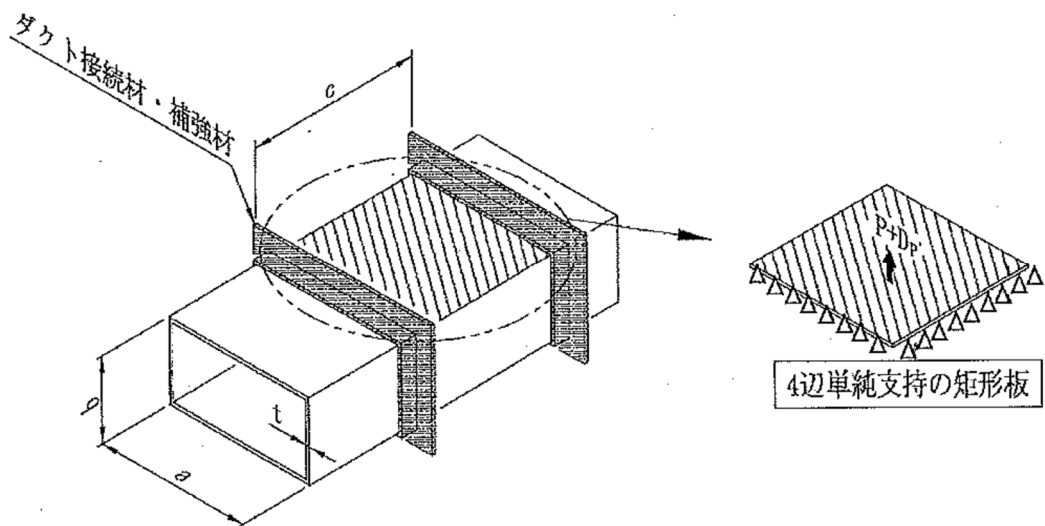
図 2-2 重大事故等クラス 2 機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形板の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

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

a. 評価式

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



計算に使う記号

記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
a	mm	ダクト長辺寸法
b	mm	ダクト短辺寸法
c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
P	MPa	最高使用圧力
g	m/s ²	重力加速度
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
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算式

$$\frac{256 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} \cdot (P + g \cdot D_p) = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{a^2 \cdot c^2} + (3 - \nu^2) \cdot \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \cdot \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3$$

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

b. 判断基準

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

(a) 厚さ計算

最小板厚を求める場合は，面外荷重による一次応力 σ_{max} を許容引張応力S値に置換えて，2式を解き，両辺を満足する δ_{max} 及び t を求める。この時の t を矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し，ダクトの実際使用厚さが計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

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

(2) クラス3ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価

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

a. 評価式

クラス2ポンプ及びクラス3ポンプのケーシングの強度評価式を表2-1に示す。

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

表 2-1 設計・建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ型式	設計・建設規格 強度評価式		備考
	クラス 2	クラス 3	
横形ポンプ	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同じ式である。 ・ 内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく。
立形ポンプ	—	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (S \cdot \eta + P \cdot y)}$	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内圧をうける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づく。
配管 (参考)	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同じ式である。 ・ 内圧をうける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づく。

t : ケーシング及び吐出エルボ, 揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 A : 設計・建設規格 図 PMC-3320-1 から図 PMC-3320-6 又は設計・建設規格 図 PMD-3310-1 から図 PMD-3310-6 までに示す寸法 (mm)
 S : 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 (MPa)
 D_o : 設計・建設規格 図 PMD-3310-7 に示す吐出エルボの外径寸法, 揚水管の外径寸法, 個々のボウルの吸い込み側の最大外径寸法 (mm)
 η : 長手継手の効率で, 設計・建設規格 PVD-3110 に定めるところによる
 y : 0.4 ($D_o / t \geq 6.0$ の場合)
 $d / (d + D_o)$ ($D_o / t < 6.0$ の場合)

b. 判断基準

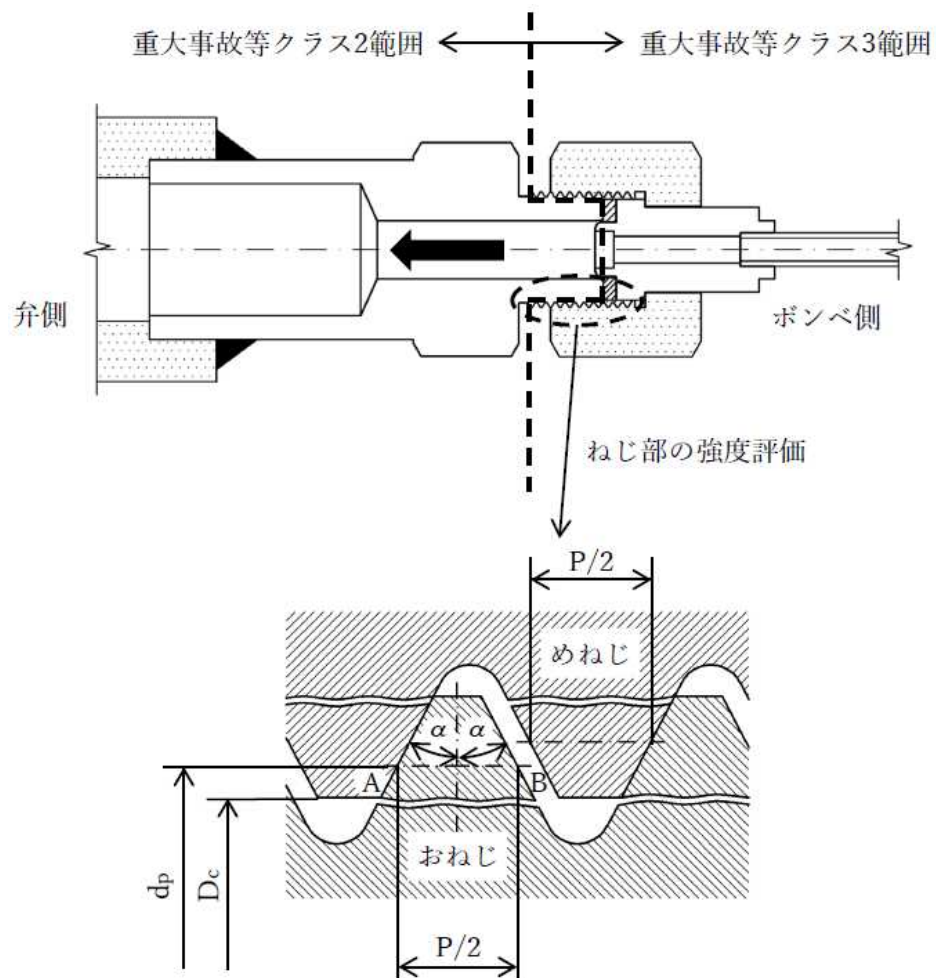
立形ポンプのケーシングの強度評価は, クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが, 裕度については設計・建設規格のクラス 2 ポンプのケーシングの規定における許容引張応力 S 値を適用する。

(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

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

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用するねじはJIS B 8246 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また、継手部の厚さ計算については設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。



計算に使う記号

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

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

b. 許容値

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

(4) クラス1容器の規定を準用又は参考とした評価

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

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

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

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

(a) クラス2機器の公式による評価

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

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

(b) 解析による評価

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

(c) 評価対象部位間の相互影響

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

イ. 一体構造体

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

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については、設計・建設規格解説にその考え方が示されており、設計・建設規格 解説 PVB-3513（補強面積の設置条件）及び設計・建設規格 解説 PVB-3530（補強をしない穴の適合条件）では、殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲につ

いて示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513には「 $0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t}$ 内に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから、主配管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する構造不連続部等の局所の評価について、局部応力が及ぼす影響範囲

$0.5 \cdot \sqrt{R \cdot t}$ を網羅するように適切にモデル化することで、一体構造体として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

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

b. ボルトの応力計算

重大事故等クラス 2 機器の評価において公式による評価を満足しない耐圧部ボルトについては、設計・建設規格 解説 PMC-3510 及び設計・建設規格 PMB-3210 の規定に従った、クラス 1 容器のボルト等の応力評価の規定である、設計・建設規格 PVB-3121 を満足しないものもあることから、今回の評価においては、当該規定を参考とした以下の評価を実施する。

設計・建設規格 PVB-3121 では、最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付時のボルト荷重により生じる平均引張応力を設計応力強さ (S_m) 以下に抑えることが規定されている。また、供用状態に応じた機能に対して必要な強度を確保するよう、供用状態ごとに許容値が設定されている。

重大事故等時のボルトの評価においては、設計・建設規格 PVB-3121 を参考とし、重大事故等時の評価であることから供用状態ごとに規定されている許容値のうち平均引張応力に対して $2S_m$ 、最大応力に対して $3S_m$ を用いて評価を行うこととし、許容値に対応した評価を行うため、重大事故等時において確実に機能を発揮するよう、設計・建設規格のボルト評価において規定されている荷重に加え、重大事故等時の使用環境等を踏まえ規格では想定していない荷重を考慮しても、弾性域に抑えられ、シール性能を確保できることを確認する。

(a) 技術基準規則における要求事項

耐圧部ボルトはシール性能を確保する機能を有することから、重大事故等時において想定される荷重に対して、耐圧部ボルトが技術基準規則第 55 条の要求を満たした弾性状態であることを確認し、シール性能を確保できることを確認する。

(b) ボルト評価において考慮する荷重

表 2-2 に、今回の評価において考慮する荷重を示す。

今回の耐圧部ボルトの評価においては、(c)項で後述するよう、設計条件における平均引張応力に対する許容値 S_m を用いる代わりに、最大応力(平均引張応力と曲げ応力との和)を $3S_m$ に抑え、平均引張応力は $2S_m$ に設定することから、重大事故等時において確実にボルトに求められる機能を発揮できるよう、設計・建設規格のボルト評価において規定されている荷重と設計・建設規格においては規定されていないが重大事故等時に想定される荷重を保守的に設定した荷重とを考慮する方針とする。

設計・建設規格で規定されている荷重については、設計・建設規格 PVB-3121 において初期締付力とそれに付加される荷重があり、初期締付力とし

ては、最高使用圧力におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重を考慮し、初期締付力に付加される荷重として、熱サイクルや内圧の影響を考慮することと規定されている。

設計・建設規格においては規定されていないが保守的に設定する荷重については、ケーシング外部から発生する荷重とケーシング内部に発生する荷重とに分けて述べる。

ケーシング外部から発生する荷重として、重大事故等時において想定される荷重は、地震を含む自然現象の影響によるケーシング外部からの荷重が想定されるが、耐震評価についてはVI-2「耐震性に関する説明書」において耐震クラスに応じた評価を実施しており、自然現象等特殊な荷重を考慮した強度評価については、屋内に設置された原子炉補機冷却水ポンプについては自然現象等特殊な荷重による影響は受けない。

ケーシング内部に発生する荷重として、対象機器がポンプの場合は回転体による影響が想定されるが、評価対象ボルトは上下のケーシングを締結するケーシングボルトであり、ケーシングと一体で振動するとみなすことができることから、振動による影響は十分小さい。また、出口弁締切運転による内部圧力の上昇及びポンプキャビテーションによる内部圧力の変動が考えられる。それら内部圧力については、機器の設計において、最高使用圧力により包絡されるよう設定されている。そのため、重大事故等時の短期的な内圧による仮想荷重は発生しないものとし、考慮不要とする。一方で、締切運転やポンプキャビテーションの影響も包絡できるように、保守的に内圧により初期締付圧力に付加される荷重として、最高使用圧力の影響を考慮した評価を実施する。

以上のことから、結果的に、今回の耐圧部ボルト評価において考慮する荷重は、保守性を見込んだうえで、設計・建設規格 PVB-3121 に規定される荷重を考慮し強度評価を実施する。

(c) ボルト評価における許容値

設計・建設規格 PVB-3121 の規定は、設計条件及び各供用状態におけるボルトの許容応力について定めたものであり、設計条件の評価である設計・建設規格 PVB-3121(1)においては、初期締付力である最高使用圧力におけるボルト荷重及びガスケット締付時のボルト荷重により生じる平均引張応力を設計応力強さ $S_m (=1/3 S_y)$ 以下に抑えることが規定されている。また、供用状態の評価である設計・建設規格 PVB-3121(2)においては、初期締付力に付加される荷重により生じる最大応力(平均引張応力と曲げ応力との和)を許容値 $3 S_m (= S_y)$ に抑え、平均引張応力を許容値 $2 S_m (=2/3 S_y)$ に抑える

ことにより、ボルトによるシール機能が要求される状態において弾性域に抑えることを要求している。また、設計・建設規格 PVB-3121(3)は弾性域を超えた塑性域での評価であることから、今回省略する。

今回の評価において、本規定を重大事故等クラス2機器のボルト評価に適用する場合、許容応力については、重大事故等時において確実にボルトに求められる機能を発揮するように、設計・建設規格 PVB-3121 に規定される荷重として、保守的に初期締付圧力に付加される内圧の影響として、最高使用圧力を考慮した上で、ボルトに求められる機能要求に対する必要な強度を確保する観点から、各供用状態の評価である設計・建設規格 PVB-3121(2)「供用状態 A, 供用状態 B および供用状態 C」の評価を適用し、塑性変形しないことを確認する。

(d) まとめ

今回の評価において、重大事故等クラス2機器のうち、クラス1容器を参考としたボルト評価を実施する場合は、前述する(b)項の荷重を考慮して算出した平均引張応力が許容値 $2S_m (=2/3S_y)$ に収まること、また、平均引張応力と曲げ応力との和が許容値 $3S_m (=S_y)$ に収まることを確認し、耐圧部ボルトに求められるシール性能を確保できることを確認する。

表 2-2 ボルト評価において考慮する荷重

No.	荷重	考慮 有無	備考
1	使用状態での荷重 (W_{m1})	○	設計・建設規格 解説 PVB-3121(1)a. に規定される最高使用圧力によるボルト荷重を考慮
2	ガスケット締付による荷重 (W_{m2})	○	設計・建設規格 解説 PVB-3121(1)b. に規定されるガスケット締付による荷重を考慮
3	内圧により付加される荷重	○	内圧(最高使用圧力)により付加される荷重を考慮
4	熱により付加される荷重	○	熱により付加される荷重を考慮
5	回転体振動による加速度	×	ケーシングボルトはポンプ上下のケーシングを締結するものであり、基礎・架台と締結する固定点ではなく、回転体振動による加速度はケーシングボルトに発生しない。
6	内圧により付加される荷重に短期的な内圧による荷重(仮想)を考慮	×	最高使用圧力はポンプの全ての運転領域を考慮した保守的な値であるため、考慮しない。

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

重大事故等クラス2機器は、技術基準規則第55条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

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

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を基本とし、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び事故時荷重に対して、供用状態Dの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、流路としての十分な機能が保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

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

注記*：供用状態Dの許容応力は、設計・建設規格 解説 PVB-3111において、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力 (P_m)は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力 (P_L) + 一次曲げ応力 (P_b)は $1.5 \times 2/3 S_u (= S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。設計・建設規格に規定されている供用状態Dの許容応力は、耐圧

機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保障を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を持った設計となる。

2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、技術基準規則第55条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

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

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器の強度評価に当たっては、告示第452号による評価を基本とし（コンクリート製原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たっては、CCV規格による評価とする。）、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に対して、荷重状態Ⅳの許容値*1を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においてもコンクリート製原子炉格納容器の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認する。

また、重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器（コンクリート製原子炉格納容器を除く。）の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の適用規格である告示第501号による評価を基本とし（原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たっては、設計・建設規格による評価とする。）、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の評価条件に対して、運転状態Ⅳの許容応力*2を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能が保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

注記*1：荷重状態Ⅳの許容値は、告示第452号において、コンクリート製原子炉格納容器の安全設計上想定する限界状態において、コンクリートの圧縮ひずみの最大値を0.003、鉄筋の引張ひずみの最大値を0.005と定め、さらに、コンクリートの圧縮応力度をコンクリートの設計基準強度の0.85倍の値に制限して、部材全体の終局耐力を確保し、かつ、コンクリート製原子炉格納容器の機能を維持するものであることが定義されている。

また、告示第452号において、気密性を確保するためにコンクリート部に内張りされた鋼板であるライナープレートは、荷重状態Ⅳにおいて、コンクリート部分の変形およびコンクリートとの温度差により強制

されるような自己制御的ひずみに対して漏えいを生じることなく追従できる変形性能を有する許容ひずみ量が規定されている。

また、ライナープレートに強制的にひずみを発生させるコンクリート部分の変形は、上述のとおり、荷重状態Ⅳの許容値を適用することから、ライナープレートについては強制ひずみに対して追従できる変形性能を確保することが可能である。

したがって、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を持った設計となる。

ただし、コンクリート製原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たっては、CCV規格による評価となるため、告示第452号をCCV規格と読み替える。

注記*2：運転状態Ⅳの許容応力は、告示第501号第13条解説において、鋼材の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力 (P_m)は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力 (P_L) + 一次曲げ応力 (P_b)は $1.5 \times 2/3 S_u (= S_u)$ と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。告示第501号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保障を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を持った設計となる。

ただし、原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たっては、設計・建設規格による評価となるため、告示第501号を設計・建設規格、第13条解説を解説 PVB-3111 と読み替える。

2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料について、技術基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針に従って、重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格又は告示第501号に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は、機械的強度及び化学的成分について、使用材料とクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力，温度，荷重その他の使用条件に対して適切であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については、使用材料と比較対象となるクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である日本産業規格（以下「JIS」という。）等に規定されている機械的性質のうち機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。選定結果を表2-3「機械的強度における評価項目の選定結果」に示す。

表 2-3 機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
降伏点 又は耐力		
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス2機器の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス2機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス2機器については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工などの成形性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス2機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工等の成形性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス2機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料のじん性の評価に用いられる値であるが，じん性については「(2) 破壊じん性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐摩耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記*：J I S等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について、使用材料と設計・建設規格においてクラス2機器に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は、使用材料と比較対象となるクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格であるJIS等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として選定された化学的成分について、使用材料と設計・建設規格においてクラス2機器に使用可能な材料として規定された材料との比較を行い、化学的成分規定値に差異があった場合は、化学的成分ごとの影響を確認し、使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは、求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお、各化学的成分の影響については、表2-4「化学的成分が材料に及ぼす影響整理表」のとおり整理する。

表 2-4 化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	W	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	—	向上	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、材料の機械的強度である引張強さ、降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	—	—	—	—	—	—	—	向上	—	—	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、高温域（設計・建設規格 PVB-3312）で使用されていないことを確認する。
溶接性		低下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、溶接規格*にて定められた数値 0.35%以下であることを確認する。
じん性		低下	—	向上	低下	低下	—	向上	—	—	—	—	じん性については、「(2) 破壊じん性」において確認する。なお、じん性に影響を及ぼす不純物である P, S の化学的成分に差異がある場合は、成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	—	—	—	—	—	向上	向上	—	—	—	耐食性のうち、応力腐食割れに影響を与える化学的成分には C, Ni, Cr があるが、Ni, Cr については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから、悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える成分に差異がある場合は、悪影響を与える差異がないことを確認する。なお、耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	—	—	—	—	—	向上	向上	向上	向上	向上	—	

注記*：「発電用原子力設備規格 溶接規格（2007年版）J SME S NB1-2007」（日本機械学会）を示す。なお、施設時の適用規格である電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和 45 年通商産業省令第 81 号）も同値である。

(2) 破壊じん性

a. 破壊じん性試験不要となる材料の規定

破壊じん性については、設計・建設規格に規定されている破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊じん性試験不要となる材料の規定*

- ・厚さが 16mm 未満の材料
- ・断面積が 625mm² 未満の棒の材料
- ・呼び径が 25mm 未満のボルト等の材料
- ・外径が 169mm 未満の管の材料
- ・厚さが 16mm, 又は外径が 169mm 未満の管に接続されるフランジの材料及び管継手の材料
- ・オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金
- ・非鉄金属

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

b. 破壊じん性の確認

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

(a) 施設時に破壊じん性が要求されていた設備

該当施設は、施設時の規格の要求に基づき十分な破壊じん性を有していることを確認している。また、材料の破壊じん性値は、一般的に温度が低くなるにつれて低下することから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊じん性が要求されていなかった設備

対象設備は、機器クラスがクラス 3 機器（工学的安全施設を除く）、クラス 4 管及び Non クラス*に該当する設備であり、施設時における破壊じん性に対する要求がないことから、材料のじん性は確認されていないが、設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで、使用条件下での脆性破壊に対するじん性は同じであるとみなせることから、脆

性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記*：技術基準規則第2条第2項第28号，第32号，第33号，第34号及び第35号に規定する「原子炉格納容器」，「クラス1容器」，「クラス1管」，「クラス1ポンプ」，「クラス1弁」，「クラス2容器」，「クラス2管」，「クラス2ポンプ」，「クラス2弁」，及びこれらを支持する構造物，「クラス3容器」，「クラス3管」，「クラス4管」，炉心支持構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の容器，管，ポンプ，弁又は支持構造物。

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は屋外に施設される機器においては新潟地方気象台の最低気温を基に年超過確率評価により算出した -15.2°C （建設段階は -13°C ），原子炉格納容器の最低使用温度は 0°C ，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器及び屋内に設置されている機器においては建屋内雰囲気温度の最低温度である 10°C ，海水と接する設備は海水最低温度 5.2°C を考慮し 0°C がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器及び屋外に施設される機器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定された値を下回ることはない。屋内に施設される機器のうち，重大事故時において通水される内部流体が高温流体の場合は設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10°C を下回ることはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器については，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10°C を下回ることはない。また，屋内に施設される機器のうち，重大事故等時において通水される内部流体のうち最も温度が低い海水においても最低海水温度が 5.2°C であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10°C を有意に下回ることはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていた機器において，材料の破壊じん性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない機器については，施設時に確認した破壊じん性が重大事故等対処設備としての材料要求される破壊じん性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対

処設備としての値が下回る機器については、使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていなかった機器において、設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し、使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実績確認

重大事故等クラス2機器に属する鋳造品については、非破壊試験の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に、非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで、材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

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

目 次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス 3 機器の強度計算の基本方針	2
2.1 完成品を除く重大事故等クラス 3 機器の構造及び強度	3
2.2 重大事故等クラス 3 機器のうち完成品の構造及び強度	4

1. 概要

重大事故等クラス 3 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 3 号及び第 6 号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、重大事故等クラス 3 機器である容器、管及びポンプが十分な強度を有することを確認するための強度評価の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針

重大事故等クラス3機器の材料及び構造については、技術基準規則第55条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）により完成品として一般産業品の規格及び基準へ適合している場合は技術基準規則の規定を満足するものとされている。

よって、重大事故等クラス3機器の技術基準規則第55条への適合性については、技術基準規則の解釈第55条6において同解釈第17条7を準用していることから、17条において技術基準規則を満たす仕様規定としている「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第1編軽水炉規格＞J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）のクラス3機器を参考にして評価を実施する、又は完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認することで評価を実施する。

完成品を除く重大事故等クラス3機器の材料については設計・建設規格を参考にして適切な材料を使用する設計とする。また、重大事故等クラス3機器のうち完成品の材料については、完成品として一般産業品の規格及び基準に適合するものを使用する設計とする。

2.1 完成品を除く重大事故等クラス3機器の構造及び強度

(1) フランジ

管のフランジは、設計・建設規格 PPD-3414 に適合するものを使用する設計とする。

(2) 管継手

管継手の強度評価は、以下のいずれかによる。

- ・設計・建設規格 PPD-3415 に適合するものを使用する設計とする。
 - ・設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ、実条件を踏まえた耐圧試験により裕度を有することが確認された型式のものを使用する設計とする。
- なお、設計・建設規格のクラス3機器の規定では、設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求めており、設計許容応力は降伏点に対して8分の5を基準にしていることから、降伏点に対する安全率は1.6となる。また、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍（気圧の場合は1.25倍）の106%を超えないこととしている。

2.2 重大事故等クラス3機器のうち完成品の構造及び強度

完成品は、一般産業品の規格及び基準への適合性を確認することにより材料及び構造の要求を満たしていると評価することから、適用される規格及び基準を、その規格基準に応じて、「法令*¹又は公的な規格*²」、「メーカー規格及び基準」の2つの区分に分類し、適用される規格及び基準が妥当であること、対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度を確認する。

また、使用条件が一般産業品としての評価条件を超える場合は、使用条件を考慮して評価を行う。

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製作されているため、内燃機関を有する可搬型ポンプ又は非常用発電装置（可搬型）が一般産業品の規格及び基準へ適合していることを確認することで、それらの附属機器である燃料タンク又は冷却水ポンプが重大事故等時の使用条件に対する強度を有することを確認する。

注記*1：例えば、高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則等

*2：例えば、日本産業規格

VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

目 次

1. 概要 1
2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針 1

1. 概要

原子炉格納容器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 5 号及び第 12 号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

原子炉格納容器（コンクリート製原子炉格納容器を除く。）の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第 17 条 11 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 -2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 -2012」（日本機械学会）によることとされているが、施設時に J S M E S N C 1 -2005/2007 又は J S M E S N C 1 -2012 が適用されていない設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 -2005/2007 及び J S M E S N C 1 -2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部の評価は J S M E S N C 1 -2005/2007 による評価を実施する。

原子炉格納容器のうちコンクリート製格納容器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、技術基準に関する規則の解釈第 17 条 15 において「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 J S M E S N E 1 -2003」（日本機械学会）（以下「C C V 規格」という。）によることとされているが、規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。

よって、コンクリート製格納容器のうち改造を実施する設備の評価は C C V 規格による評価を実施する。

なお、原子炉格納容器の強度計算方法については計算書で個別に示すこととする。

VI-3-2 強度計算方法

目 次

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

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2弁の強度計算方法
- VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- VI-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- 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ポンプの強度計算方法
- VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法
- VI-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- VI-3-2-14 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
- ・ 消火設備用ボンベ又は消火器
- ・ 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。））＜第1編軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。） 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を含む）」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を含む）」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を含む）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を含む）」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を含む）」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を含む）」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

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格・基準等	1
2. クラス1管の強度計算方法	2
2.1 計算方針	2
2.2 計算方法	2
2.2.1 解析による計算	2
2.2.2 計算式	4
2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力	13
2.2.4 計算精度と数値の丸め方	15
3. 計算書の構成	16
3.1 管の応力計算書	16

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・基準等

適用規格及び基準を以下に示す。

- ・ 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。）
- ・ 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。）
- ・ 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。）
- ・ 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. クラス1管の強度計算方法

2.1 計算方針

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

技術基準規則解釈において、技術基準規則第17条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、設計・建設規格によることから、クラス1管は、設計・建設規格 PPB-3500 による評価を実施する。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、「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-3 別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向を固定と扱う。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量（フランジ部含む。）の他に弁等の集中質量、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_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
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	(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 (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 (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
$M_{r p}$	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	(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 (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 (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
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
$S_{pr m}$	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	°C	構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の計算式により計算した範囲 l_a, l_b 内の平均温度 $l_a = \sqrt{(d_a t_a)}, l_b = \sqrt{(d_b t_b)}$ d_a 及び d_b : 構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点を境とするそれぞれの側における管の内径(mm) t_a 及び t_b : l_a 及び l_b の範囲内における管の平均厚さ(mm)
ΔT	°C	温度差の変動範囲
ΔT_1	°C	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	°C	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, Z_i	mm ³	管の断面係数
Z_b	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
α	mm/mm°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°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

記号	単位	定義
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 による評価

a. 一次応力（設計・建設規格 PPB-3520）

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

b. 一次応力（設計・建設規格 PPB-3552）

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

c. 一次応力（設計・建設規格 PPB-3562）

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

d. 一次+二次応力（設計・建設規格 PPB-3531）

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

e. ピーク応力（設計・建設規格 PPB-3532）

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

f. 繰返しピーク応力強さ（設計・建設規格 PPB-3533）

$$S_\theta = S_p / 2$$

- 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°C
 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
- (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. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ 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, A₀, B₀ : 下表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合、2.2.2.2(1)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ィー

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

ロ. (イ)以外の管

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

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

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

y : xの値に応じ下表に示す値

x	0.3	0.5	0.7	0.8
y	3.33	2.00	1.20	0.80

(備考) 表中の値の中間の値は、比例法によって計算する。

x : 次式により計算した値

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

(2) 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ーパー

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

(b) (a)以外の管

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

b. 一次応力 (第46条第2号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

c. 一次応力 (第46条第3号)

(a) 管台及び突合せ溶接式テーパー

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

(b) (a)以外の管

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

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ーパー

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

(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ーパー

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

(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°C

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

(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

$$S_0 = S_p / 2$$

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

$$S_0 = \max [K_e \cdot S_p / 2, \{S_p + A_o \cdot S_n \cdot (S_p / 3 \cdot S_m - 1)\} / 2]$$

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

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

$$S_0 = S_p / (2 \cdot n)$$

(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

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

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

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

表 2-1 中の記号

P : 内圧による荷重

M : 機械荷重 (自重除く。)

D : 配管の自重による荷重

T : 配管の熱膨張荷重 (支持点の熱膨張変位を含む。)

O : 過渡熱による荷重

表 2-2 許容応力 (設計・建設規格 PPB-3500)

状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
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 5 0 1 号第 46 条から第 48 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
設計条件	$1.5 \cdot S_m$	—	—
許容応力状態 I, II	—	$3 \cdot S_m$	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
許容応力状態III	$2.25 \cdot S_m$	—	—
許容応力状態IV	$3 \cdot S_m$	—	—

2.2.4 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2-4に示すとおりである。

表2-4 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
計算条件	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1
	温度	℃	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦	—	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
解析結果及び評価	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点第1位表示若しくは小数点第3位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。また、告示別表に記載された許容引張応力は、各温度の値をSI単位に換算し、SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 計算書の構成

3.1 管の応力計算書

(1) 概要

本計算方法に基づき、管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(2) 概略系統図

設計及び工事の計画書に記載されている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-7-2 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) 評価結果

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-8-1～応-8-2 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-9 に示す。

・FORMAT 応-1 :

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号

管名称	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 :

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥瞰図番号

管名称	対応する評価点

・FORMAT 応-3 :

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥瞰図番号

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

・FORMAT 応-4 :

鳥瞰図番号

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

・FORMAT 応-5 :

鳥瞰図番号

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応-6 :

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点部のばね定数を下表に示す。

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-7-1 :

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力評価に用いる許容応力

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-7-2 :

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力評価に用いる許容応力

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-8-1 :

評価結果

下表に示すとおり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・S _m Min(2.25・S _m , 1.8・S _y) Min(3・S _m , 2・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・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・S _m	—	—	—	—	—	—	—
(A, B)			S _n	—	—	Max	—	—	3・S _m	—	—	—
(A, B)			S _e	—	—	—	Max	—	3・S _m	—	—	—
(A, B)			S _n '	—	—	—	—	Max	3・S _m	—	—	—
(A, B)			ΔT	—	—	—	—	—	—	Max	*	—
(A, B)			U	—	—	—	—	—	—	—	—	Max
C			S _{pr m} (2)	Max	Min(2.25・S _m , 1.8・S _y)	—	—	—	—	—	—	—
D			S _{pr m} (3)	Max	Min(3・S _m , 2・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-8-2 :

評価結果

下表に示すとおり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

運転 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 $S_{pr,m}$	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, II			$S_{pr,m}$ (イ)	Max	$1.5 \cdot S_m$	—	—	—	—	—
I, II			S_n	—	—	Max	—	—	$3 \cdot S_m$	—
I, II			S_e	—	—	—	Max	—	$3 \cdot S_m$	—
I, II			S_n'	—	—	—	—	Max	$3 \cdot S_m$	—
I, II			U	—	—	—	—	—	—	Max
III			$S_{pr,m}$ (ロ)	Max	$2.25 \cdot S_m$	—	—	—	—	—
IV			$S_{pr,m}$ (ハ)	Max	$3 \cdot S_m$	—	—	—	—	—

・FORMAT 応-9 :

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 供用状態A, B)

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

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

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

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
2.1.1 一次応力	11
2.1.2 配管反力による応力	11
2.1.3 一次＋二次応力	12
2.1.4 一次局部応力	12
2.1.5 起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ	12
2.1.6 繰返しピーク応力強さ	13
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	2. 1	弁箱に係るものの応力評価
VVB-3300 弁の応力評価		
VVB-3320 ^{*1}	2. 1. 1	一次応力
VVB-3330 ^{*1}	2. 1. 2	配管反力による応力
VVB-3340 ^{*1}	2. 1. 3	一次+二次応力
VVB-3350 ^{*1, *2}	2. 1. 4	一次局部応力
第 1 項第 1 号ホ(イ) ^{*1}	2. 1. 5	起動時及び停止時の繰返しピーク応力 強さ
VVB-3360 ^{*1}		
第 1 項第 1 号ホ(ロ) ^{*1}	2. 1. 6	繰返しピーク応力強さ
VVB-3370 ^{*1}		
VVB-3380 ^{*1}	2. 2	弁体の一次応力
VVB-3390	2. 3	フランジの強度計算
VVB-3390(1) ^{*1 a}	2. 3	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVB-3390(1) ^{*1 b}	2. 3	フランジボルトの応力解析
第 82 条 弁の形状等		
第 1 項	2. 4	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
VVB-3200 耐圧部の設計		
VVB-3210		
VVB-3220	2. 6	管台の最小厚さの計算
VVB-3400 弁の形状	2. 5	弁箱の形状規定
VVB-3410 ^{*1}	2. 5	弁箱のネック部内径と弁入口流路内径 の比
VVB-3411(1) ^{*1}	2. 5	弁箱のネック部と流路部が交わる部分 の外表面の丸みの半径
VVB-3411(2) ^{*1}	2. 5	弁箱の弁座挿入部のすみの丸みの半径

注記*1：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」		

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 5 0 1 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 5 0 1 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 5 0 1 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℃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 付録材料図表 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
$P_{r 1}$	$P_{r 1}$	260℃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 $r = r_i + t_e / 2$	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	—
${}^{-p}\epsilon$	${}^{-p}\epsilon$	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条第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。

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

- 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,

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

- 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

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

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

- 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)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 ($S_n > 3 \cdot m \cdot S_m$)

$$S \ell = \frac{S_p}{2 \cdot n}$$

ここで

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

- 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 ($S_n \geq 3 \cdot S_m$)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 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。

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

$$K_e = \frac{\varepsilon_{e,p}}{\varepsilon_e}$$

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

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

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 ($N_{r,i}$) 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、

$$I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r,i}} \leq 1$$

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。

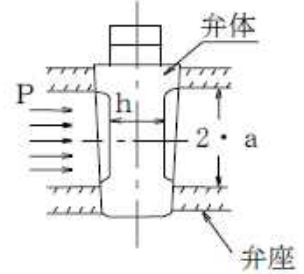
(2) 算式

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

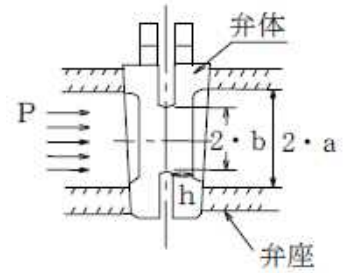
右図のような弁体形状のもの

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



b. 形式W2

右図のような弁体形状のもの



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

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

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

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

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

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

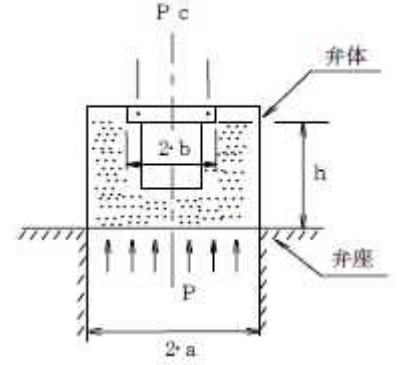
$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot b^2}$$

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

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

c. 形式G1

右図のような弁体形状のもの



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

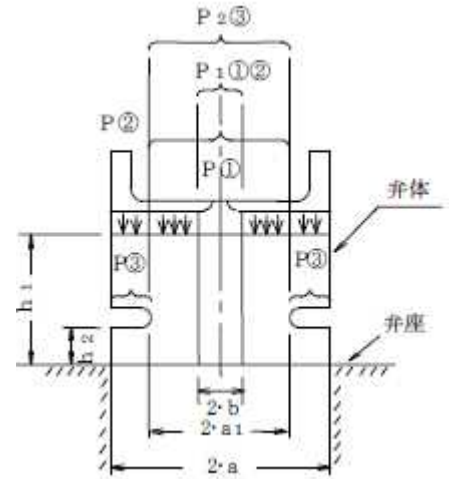
$$\sigma_5 = \frac{3 \cdot P_c}{8 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left\{ 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \ell_n \frac{a}{b} + 4 - (1 - \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \right\}^{*4}$$

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

d. 形式G2

右図のような弁体形状のもの

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



(a) 図の①の荷重状態の場合

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

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

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

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

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

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

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

(b) 図の②の荷重状態の場合

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

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

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

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

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

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

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

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

(c) 図の③の荷重状態の場合

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

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

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

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

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

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

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

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

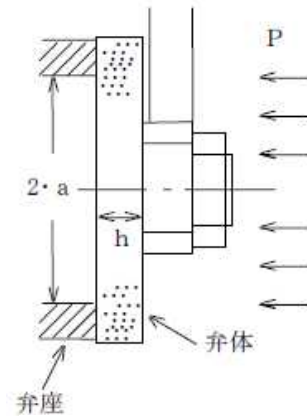
$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot a^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ 1 - (1+2 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1}) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}$$

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

e. 形式C1

右図のような弁体形状のもの

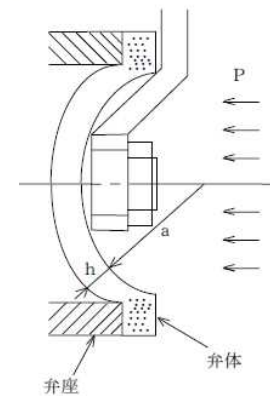
$$\sigma_D = \frac{3 \cdot (3+\nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2} \quad *10$$



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 (= $\frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2$ (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)) 一体形フランジの係数	mm ⁻¹
F	F	(J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 5 又は表 4 による。)	—
	F _e	フランジに作用する機械的鉛直荷重 (弁操作力による反力)	N
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 4 又は表 4 による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm

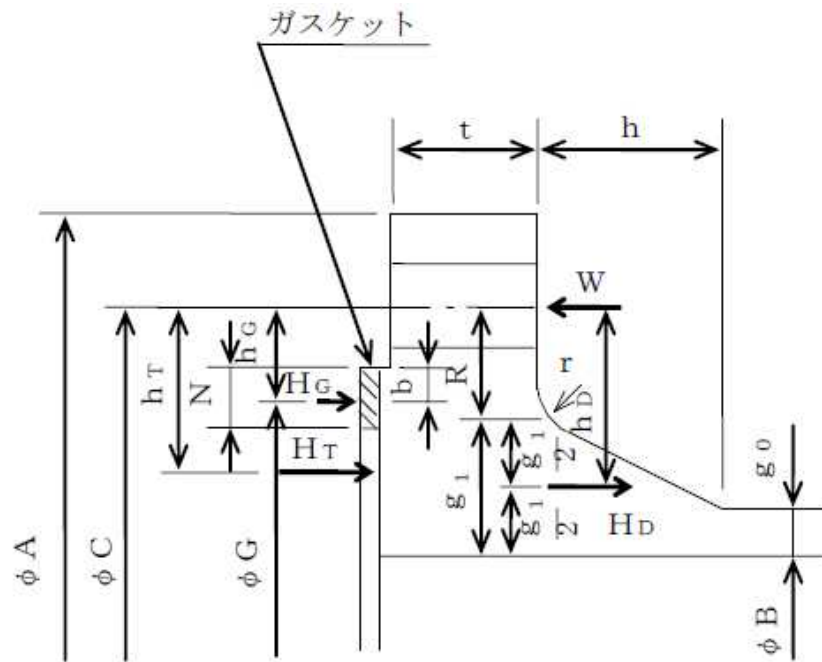
J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
g_0	g_0	ハブ先端の厚さ	mm
g_1	g_1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H_D	H_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h_D	h_D	ボルト穴の中心円から H_D 作用点までの半径方向の距離	mm
H_G	H_G	ガスケット荷重	N
h_G	h_G	ボルト穴の中心円から H_G 作用点までの半径方向の距離	mm
h_o	h_o	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H_P	H_P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力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

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	$P_{e q}$	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	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 8 又は表 4 による。)	—
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 表 2 による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書 3 図 7 による。)	—
π	π	円周率	—

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 2 に定める設計応力強さ	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 2 に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める設計応力強さ	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める設計応力強さ	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	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



(JIS B 8265 附属書3 図2 b) 7)

注1: ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

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

図2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35\text{mm}$ 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*	$R + 0.5 \cdot g_1$	$\frac{C - G}{2}$	$\frac{R + g_1 + h_G}{2}$

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

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

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

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

(b) ガasket縮付時のフランジの応力

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

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

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

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_{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 $\sigma_{H_o} \leq 1.5 \cdot \sigma_{f b}$

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

- c. フランジの半径方向応力

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

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

- d. フランジの周方向応力

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

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

2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

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

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	℃
	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

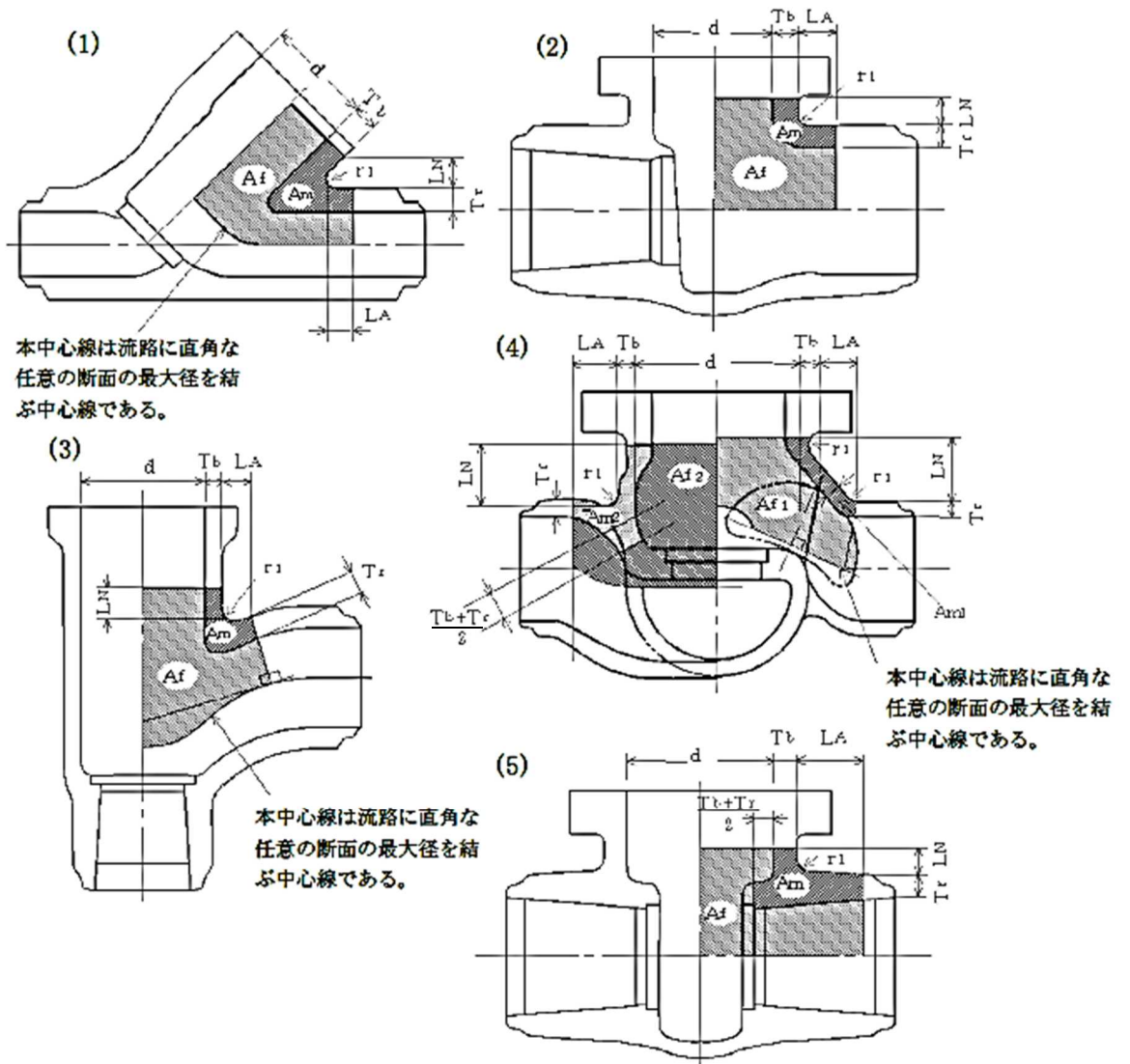
$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(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

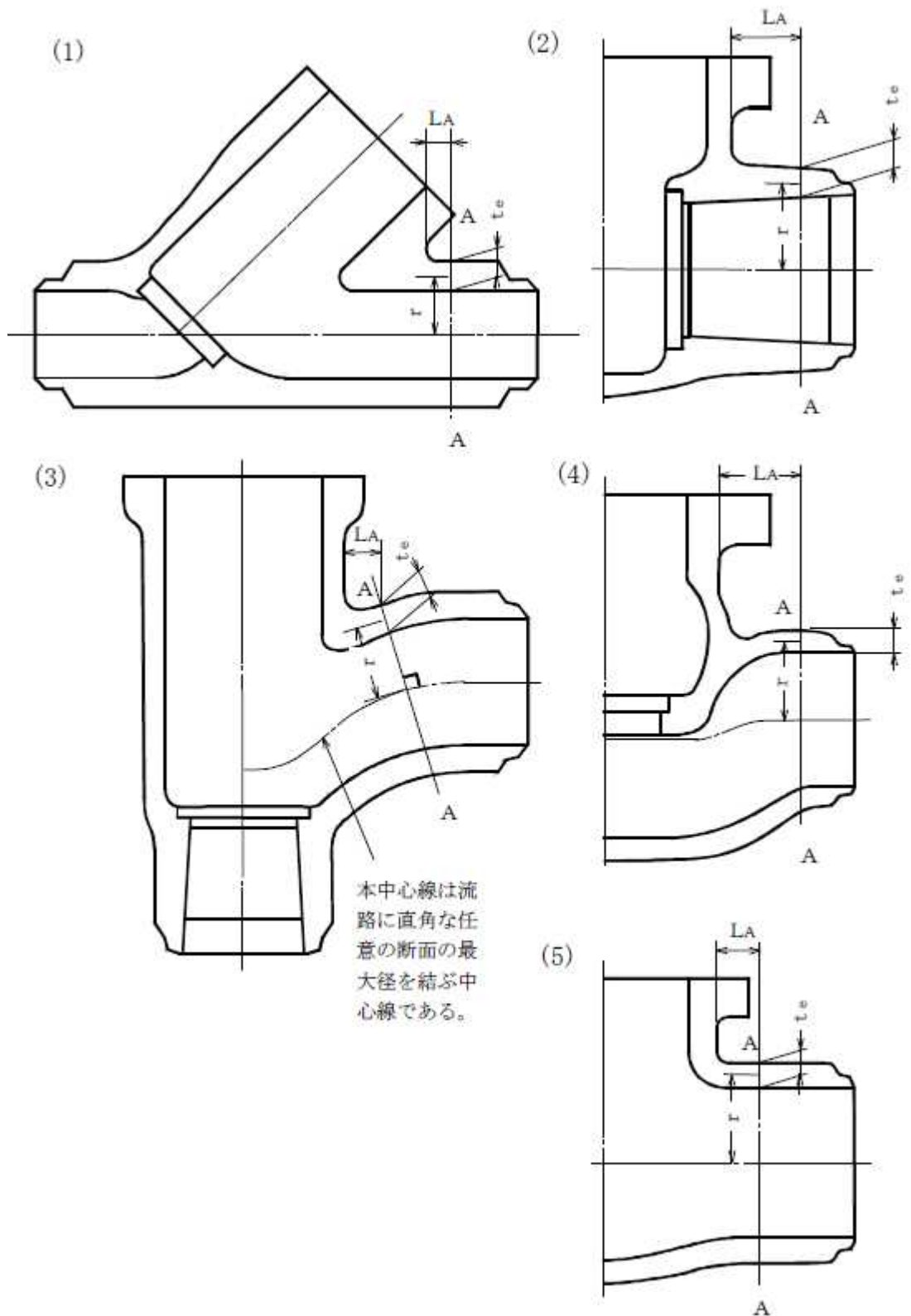


注1：本図は設計・建設規格 VVB-3320 の図 VVB-3320-1 と同じ。

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

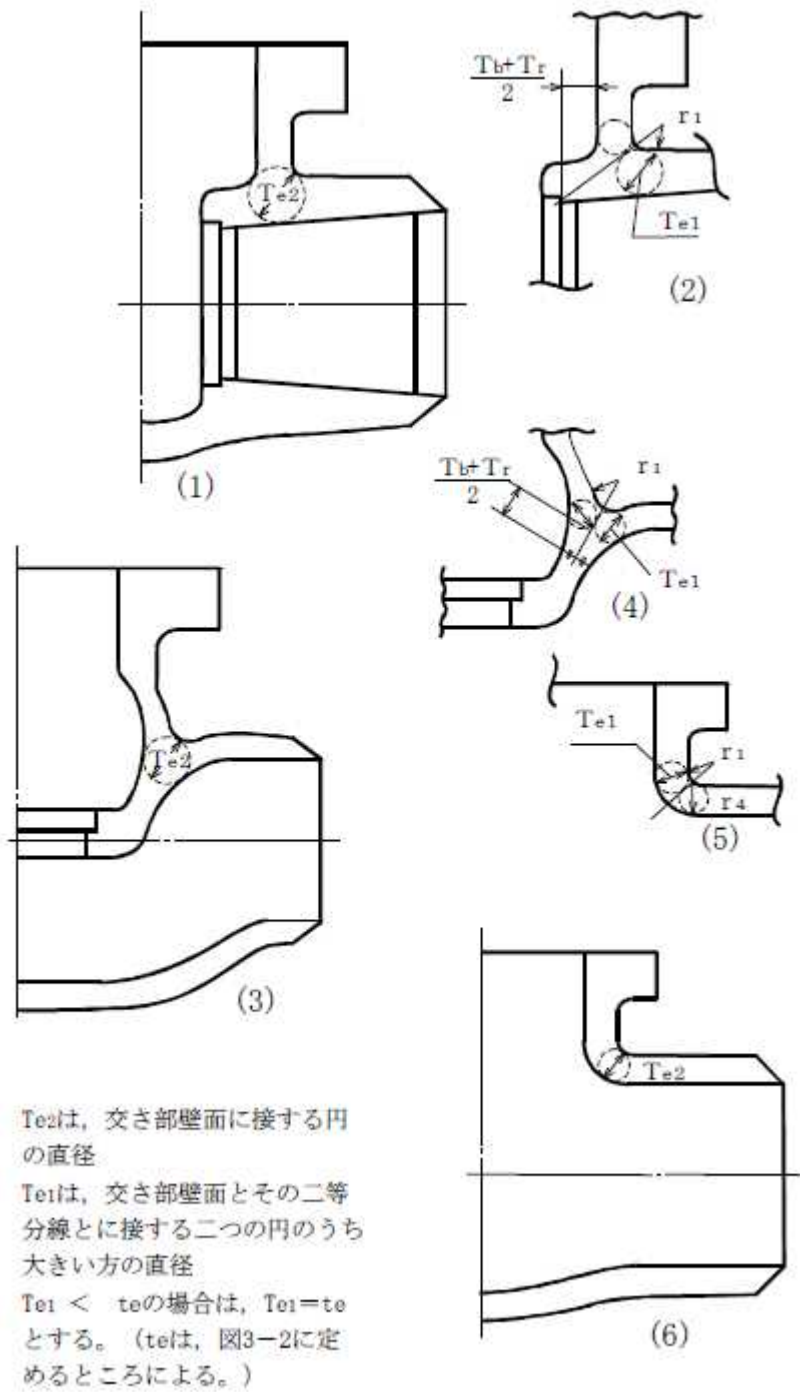
$$\frac{A_{f1}}{A_{m1}} \text{と} \frac{A_{f2}}{A_{m2}} \text{の値が大きい方の組合せを用いる。}$$

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号ロの図1又は設計・建設規格 VVB-3330 の図 VVB-3330-1 と同じ。

図3-2 t₀及びrを明示した図



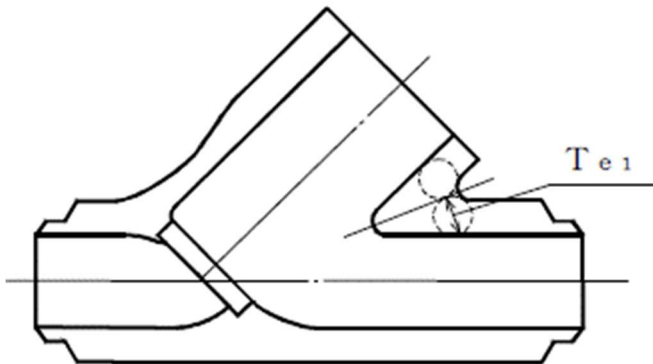
注：本図は設計・建設規格 VVB-3340 の図 VVB-3340-1 と同じ。

図 3-3 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図

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

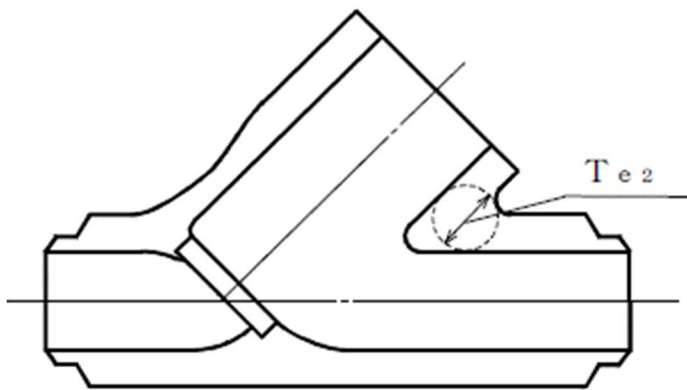
$T_{e1} < t_e$ の場合は、 $T_{e1} = t_e$ とする。

(t_e は、図3-2に定めるところによる。)



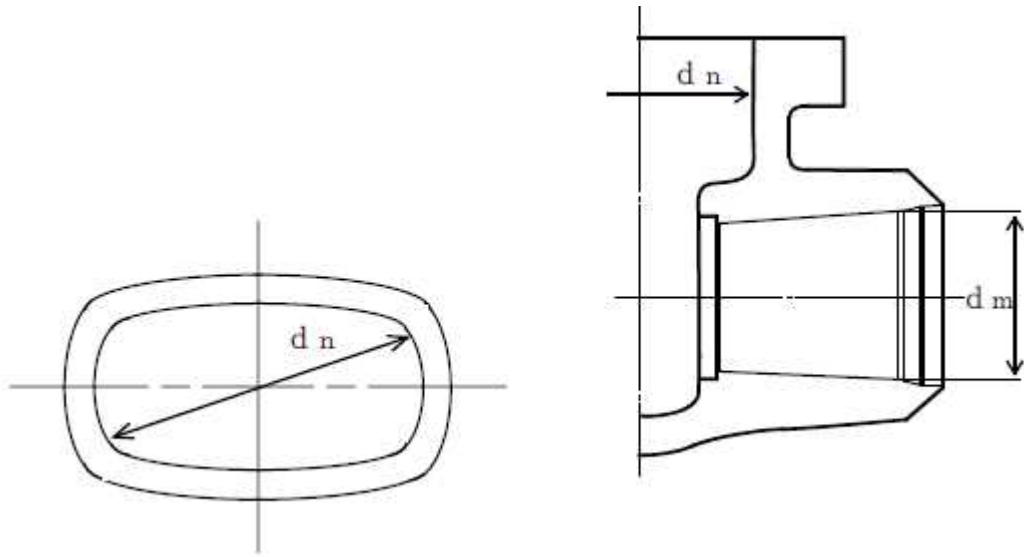
注：本図は図3-3の(4)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

T_{e2} は、交差部壁面に接する円の直径



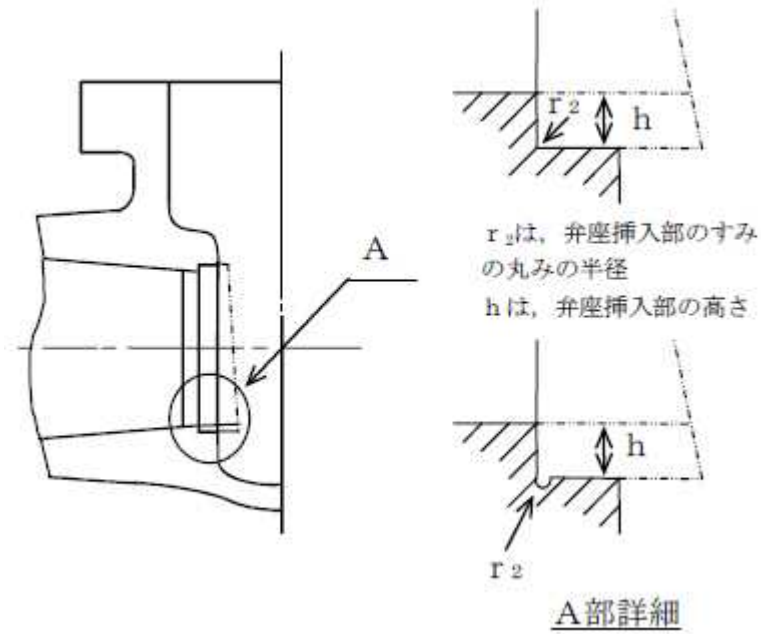
注：本図は図3-3の(3)の内容を図3-2(1)の構造に適用したもの

図3-4 T_{e1} 及び T_{e2} を明示した図



注：本図は設計・建設規格 VVB-3210 解説図 VVB-3210-3 と同じ。

図 3-5 d_m 及び d_n を明示した図



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

図 3-6 h 及び r_2 を明示した図

別紙 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-3-2-11「重大事故等クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、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. 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・建設規格	告示第501号			設計・建設規格	告示第501号
設計条件				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				r_i	(mm)		
接続管材料				θ	(°)		
接続管外径	(mm)			K			
接続管内径	(mm)			P_e	(MPa)		
添付図番号				$\alpha \times 10^{-6}$	(mm/mm°C)		
	図3-3	(2)	(一例)	E	(MPa)		
				C_2			
内圧による弁箱の一次応力評価				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)						
L_A	(mm)						
L_N	(mm)						
A_f	(mm ²)		$\times 10^4$				
A_m	(mm ²)		$\times 10^4$	弁箱の局部一次応力評価			
r_1	(mm)			S	(MPa)		
S	(MPa)			$2.25 \cdot S_m$	(MPa)		
S_m	(MPa)			評価： $S \leq 2.25 \cdot S_m$ よって十分である。			
評価： $S \leq S_m$ よって十分である。							
配管反力による弁箱の二次応力評価				起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ			
A-A断面の弁外径	(mm)			C_3			
A_1	(mm ²)		$\times 10^3$	Q_T	(MPa)		
A_2	(mm ²)		$\times 10^4$	$S_l(1)$	(MPa)		
C_b				$S_l(2)$	(MPa)		
Z_1	(mm ³)		$\times 10^5$	E_m	(MPa)		
Z_2	(mm ³)		$\times 10^6$	N(1)			
Z_p	(mm ³)		$\times 10^6$	N(2)			
S_y	(MPa)			評価： $N(1) \geq 2000$ $N(2) \geq 2000$ よって十分である。			
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。							

K6 ① VI-3-2-3 別紙 R0

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	A _o	C ₅	S _n (MPa)	3・S _m (MPa)	3・m・S _m (MPa)
ΔT _f (°C)	S _p (MPa)	K _e	S _l (MPa)	N _i	N _{r i}	N _i /N _{r i}
<p>評価：疲労累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r i}} = \leq 1$</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>						
弁箱の形状規定 設計・建設規格				弁体の一次応力評価 設計・建設規格		
r ₁	(mm)			材料		
r ₂	(mm)			形式		
0.3・t	(mm)			P (MPa)		
0.05・t	(mm)			P _c (P ₁ , P ₂) (N)		
0.1・h	(mm)			h (mm)		
d _n /d _m				a (mm)		
<p>評価： r₁ ≥ 0.3・t</p> <p> r₂ ≥ Max (0.05・t, 0.1・h)</p> <p> $\frac{d_n}{d_m} < 2$</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>				b (mm)		
				σ _D (MPa)		
				1.5・S _m (MPa)		
				<p>評価： σ_D ≤ 1.5・S_m</p> <p style="text-align: right;">よって十分である。</p>		

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。			

K6 ① VI-3-2-3 別紙 R0

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)		H_D (N)	$\times 10^5$
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	J I S B 8 2 6 5 附属書 3 b)7) (例)	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)	$\times 10^7$
		M_o (N・mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		M_g (N・mm)	$\times 10^8$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	
C (mm)		h_o (mm)	
g_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	
		T	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$		
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。	

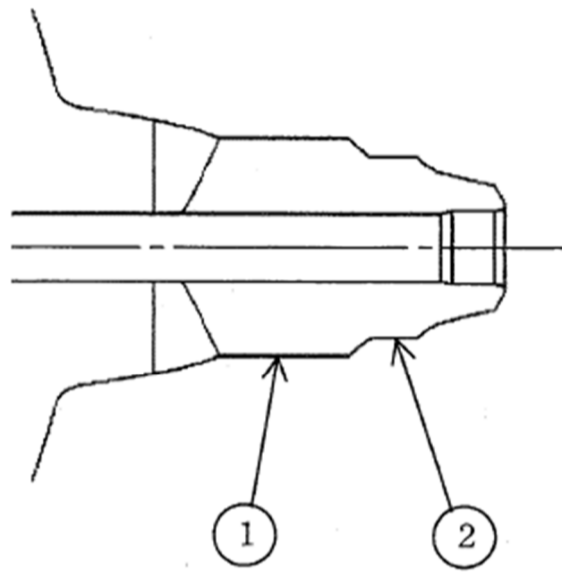
K6 ① VI-3-2-3 別紙 R0

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、設計及び工事の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	24
2.6 管の穴と補強計算	27
2.7 フランジの強度計算	52
2.8 伸縮継手の強度計算	67

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) 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 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
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主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
 設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCM3-1 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メーカー推奨値を適用する。

1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法

(1) 管継手の表示方法

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

(2) 管の仕様変更点の表示方法

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

2. クラス2管の強度計算方法

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

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	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。

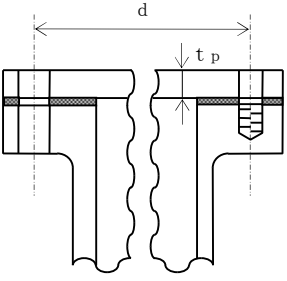
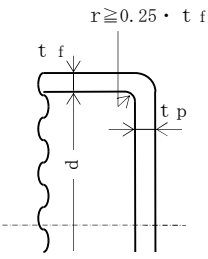
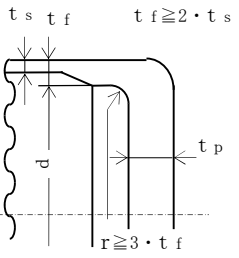
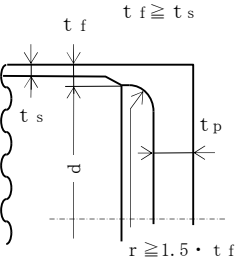
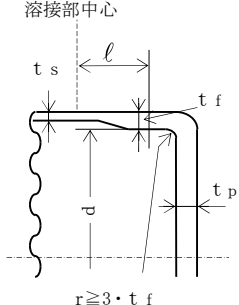
(1) 記号の説明

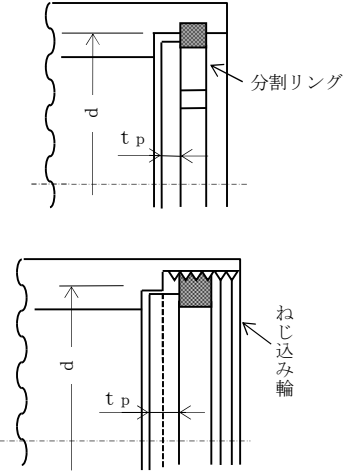
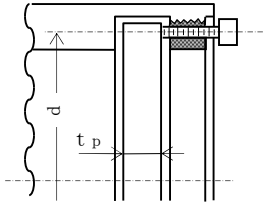
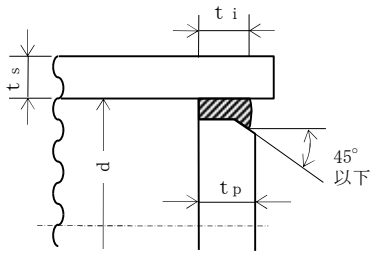
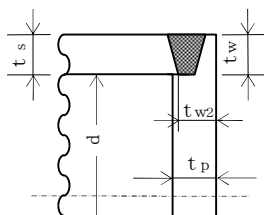
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (JIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPC-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	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

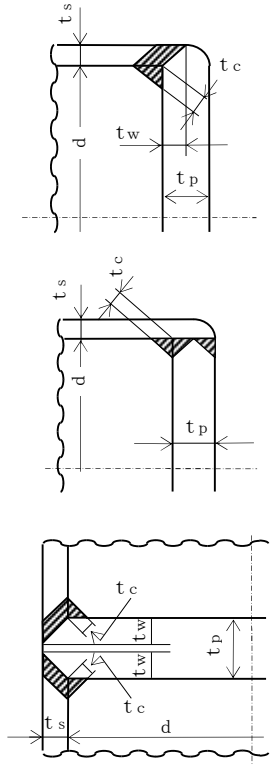
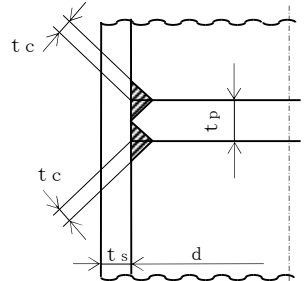
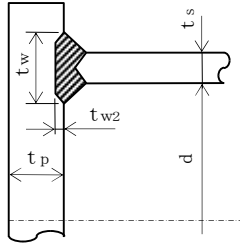
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S _x	ボルトの許容引張応力 (S _a 又はS _b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S ₁	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 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荷重	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

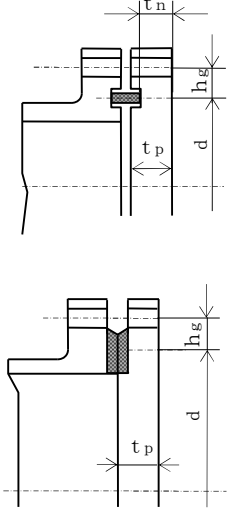
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—
	ガスケット座面の形状	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1による。	—
(a)～(n)	2A～2N	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限

取付け方法	形状の制限
<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>$0.8 \cdot S_i \geq \sigma_p$ 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 $2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにあたって

$t_s \geq 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - l / \sqrt{d \cdot t_f}}$ 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JIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、 P は2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力

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

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

(a) ガ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 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{c o}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	tとして用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)a.により以下とする。

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

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

(a) 中低面に圧力を受けるもの

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

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 \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 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、

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

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	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数 $\left(= \frac{P \cdot D_{or}}{1.82 \cdot S_r \cdot \eta \cdot t_r} \right)$	—
		Q_r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S_r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t_s	t_r	主管の最小厚さ	mm
		t_{ro}	主管の公称厚さ	mm
	t_{sr}, t_{r3}	t_{rr}	主管の計算上必要な厚さ	mm
η	η	継手の効率 穴が管の長手継手を通る場合、穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る場合、穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合は設計・建設規格 PVC-3130に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	—	

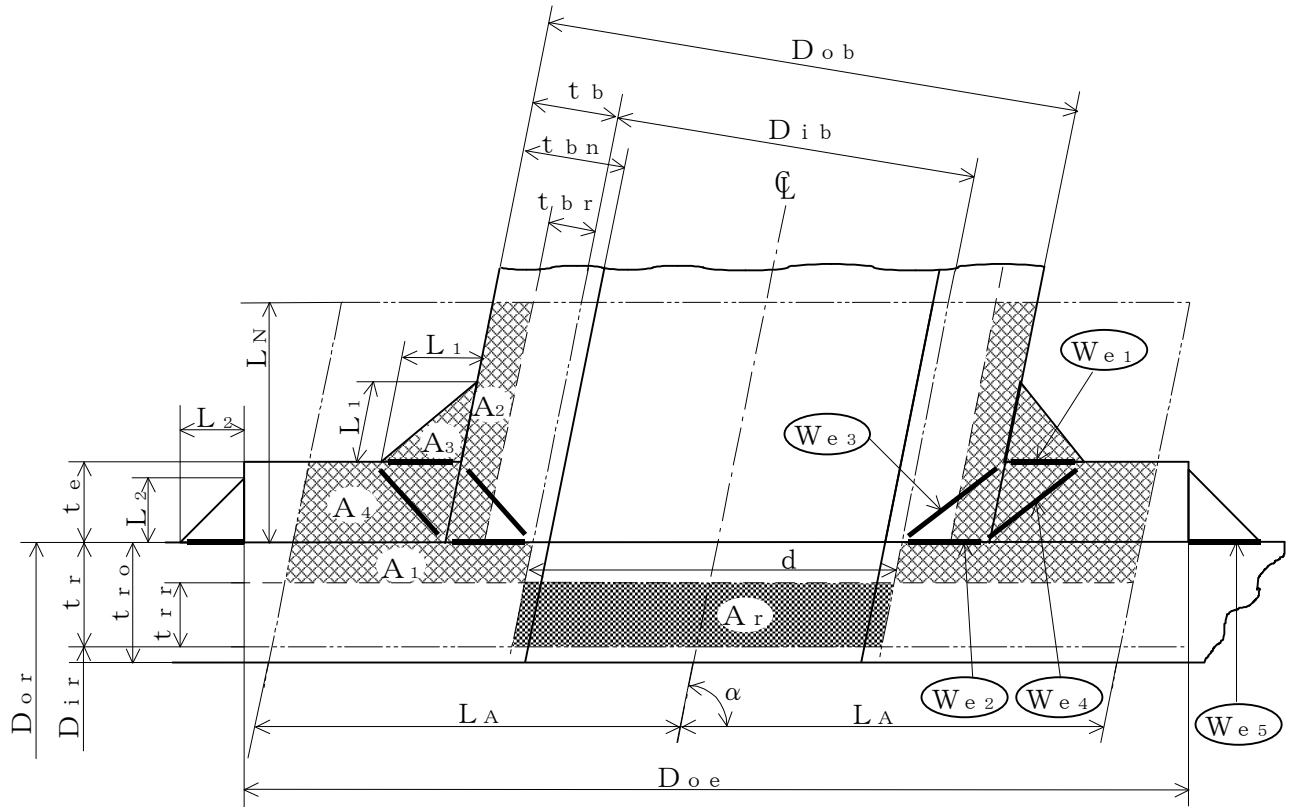
	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	D_o	鏡板が取り付けられる管の外径 (フランジ部の外径と同じ。)	mm
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
	d	d_{fr}	補強を要しない穴の最大径	mm
	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K_1	K_1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 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	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	

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



-  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


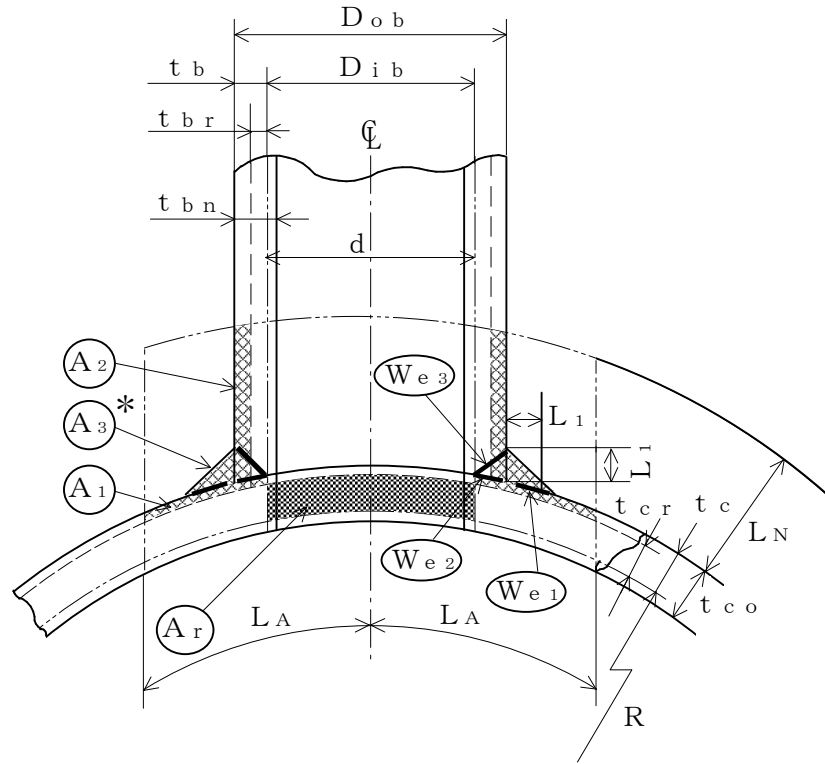


-   を通る破断
-   を通る破断
-   を通る破断

図2-2 B形（強め材のある場合）



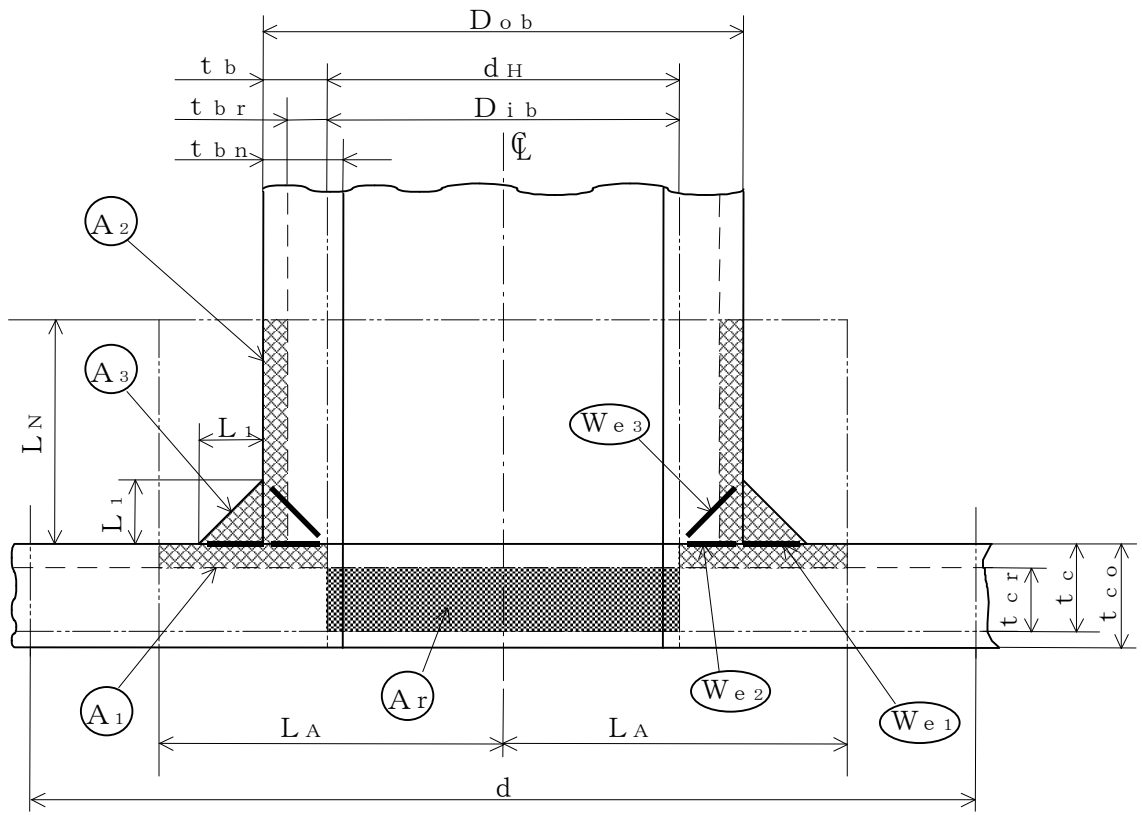
 補強に有効な面積
 補強に必要な面積



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)

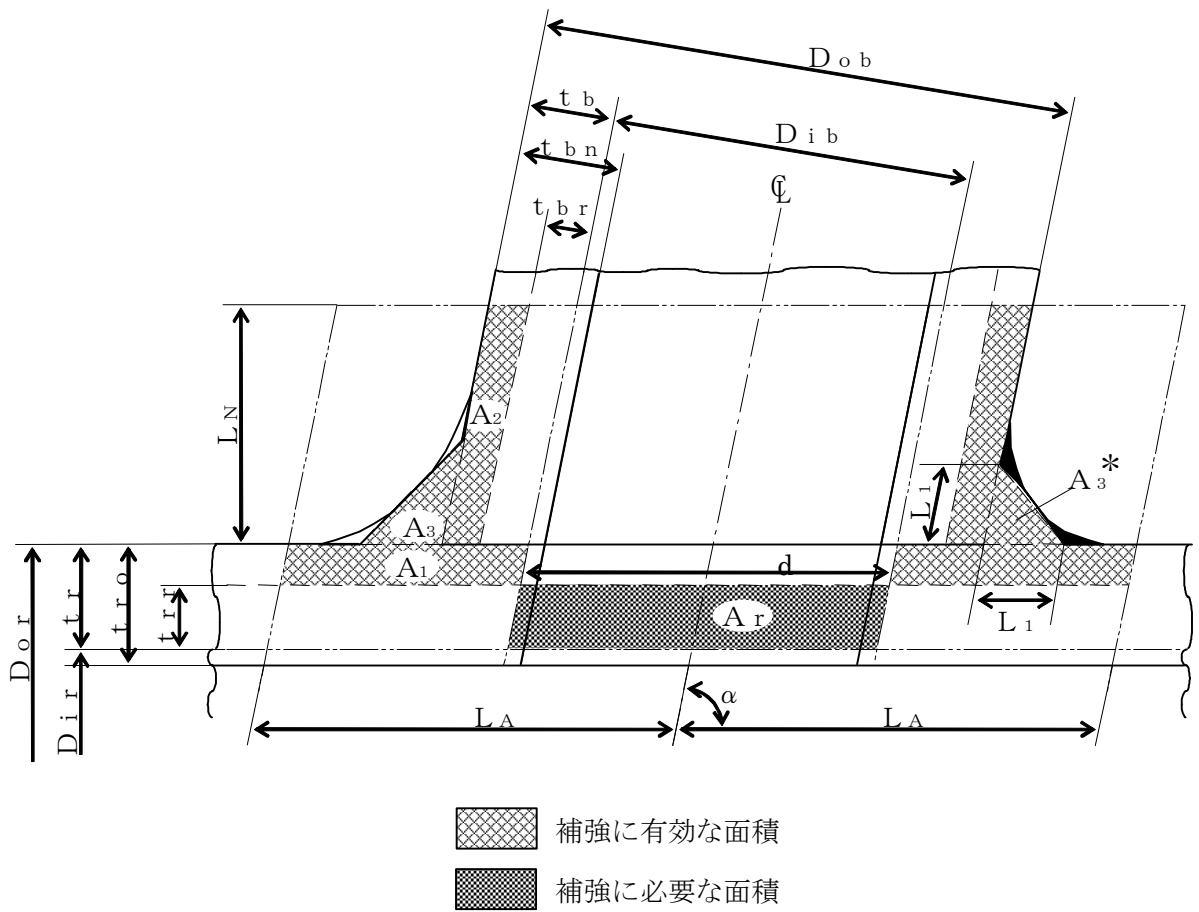


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

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

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

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

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

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

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

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

(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。

i. 大穴の補強に有効な範囲

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

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6～図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。

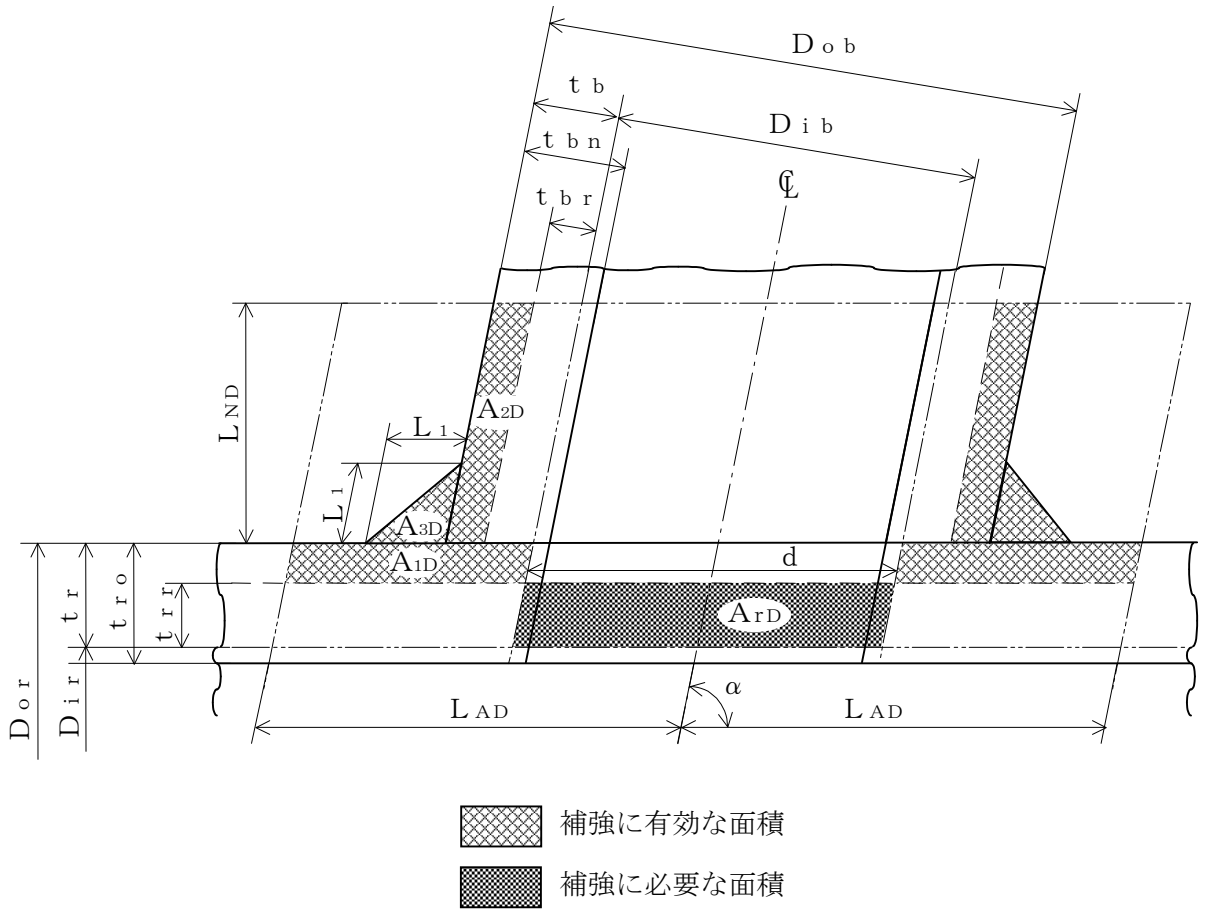


図2-6 A形（強め材のない場合）

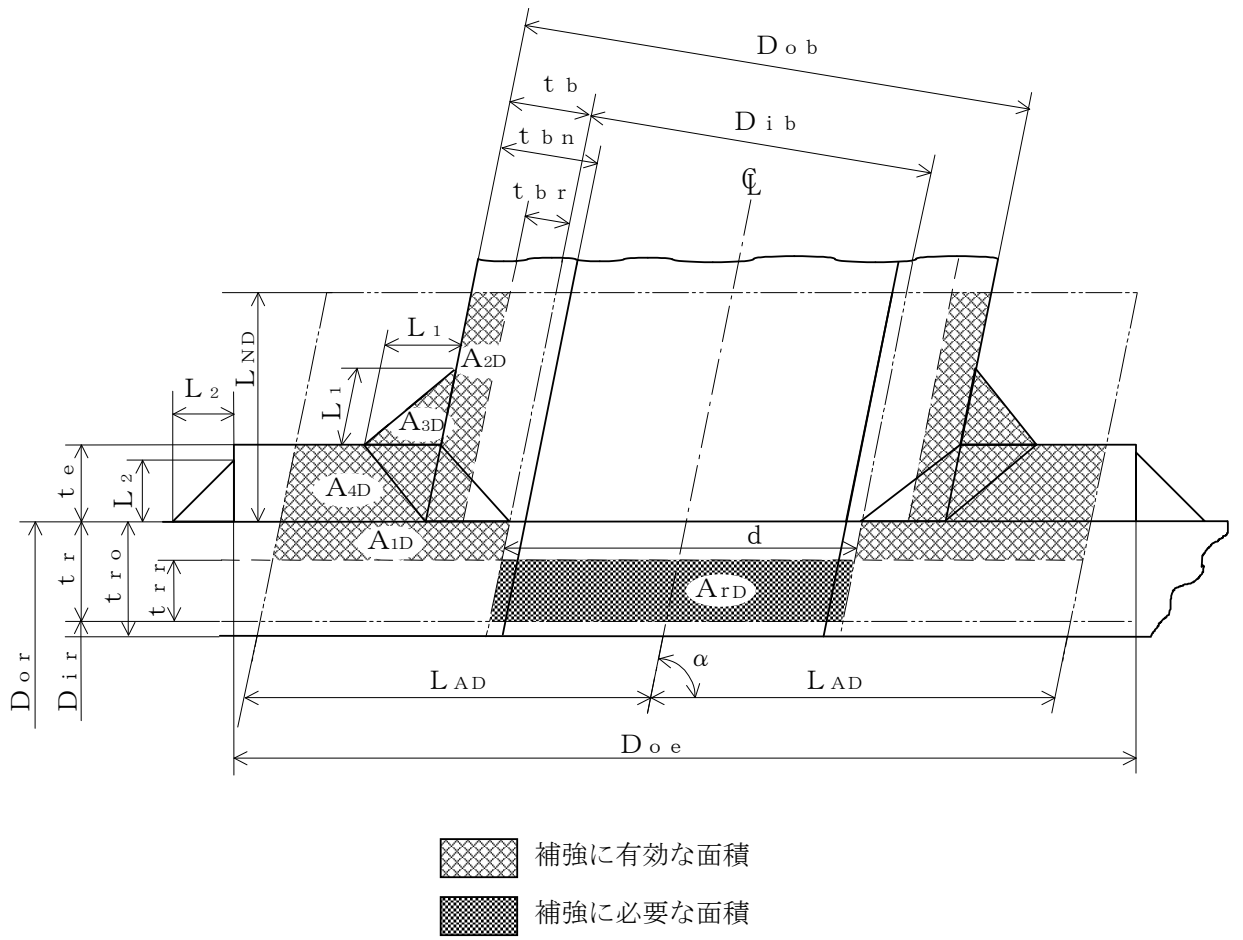
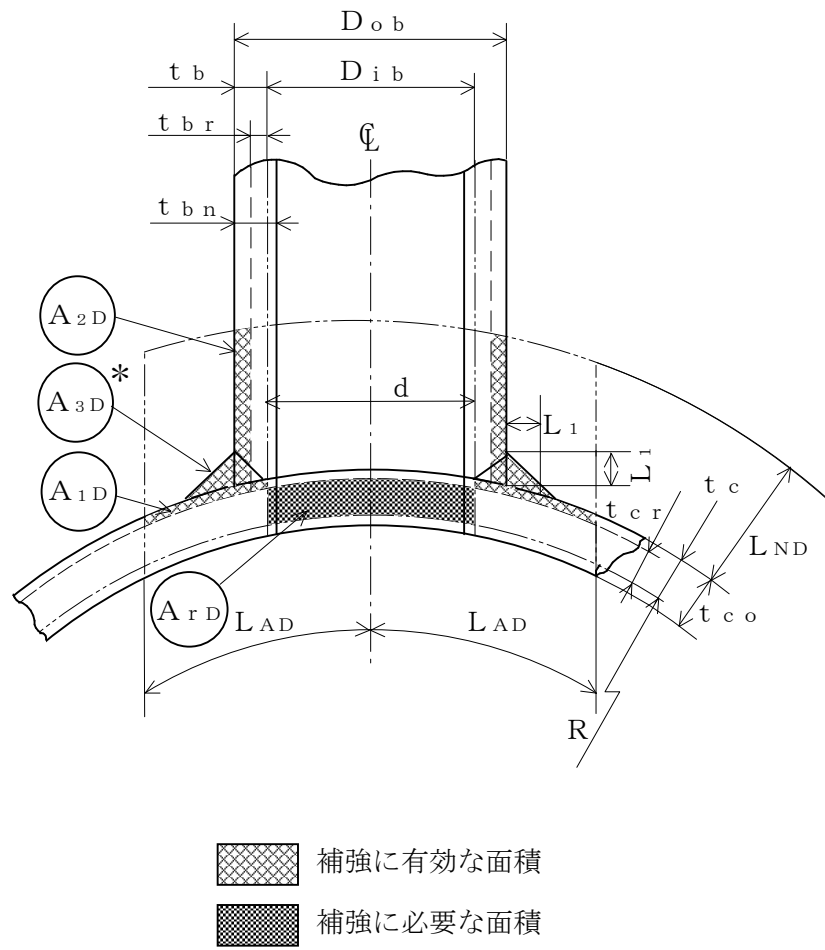
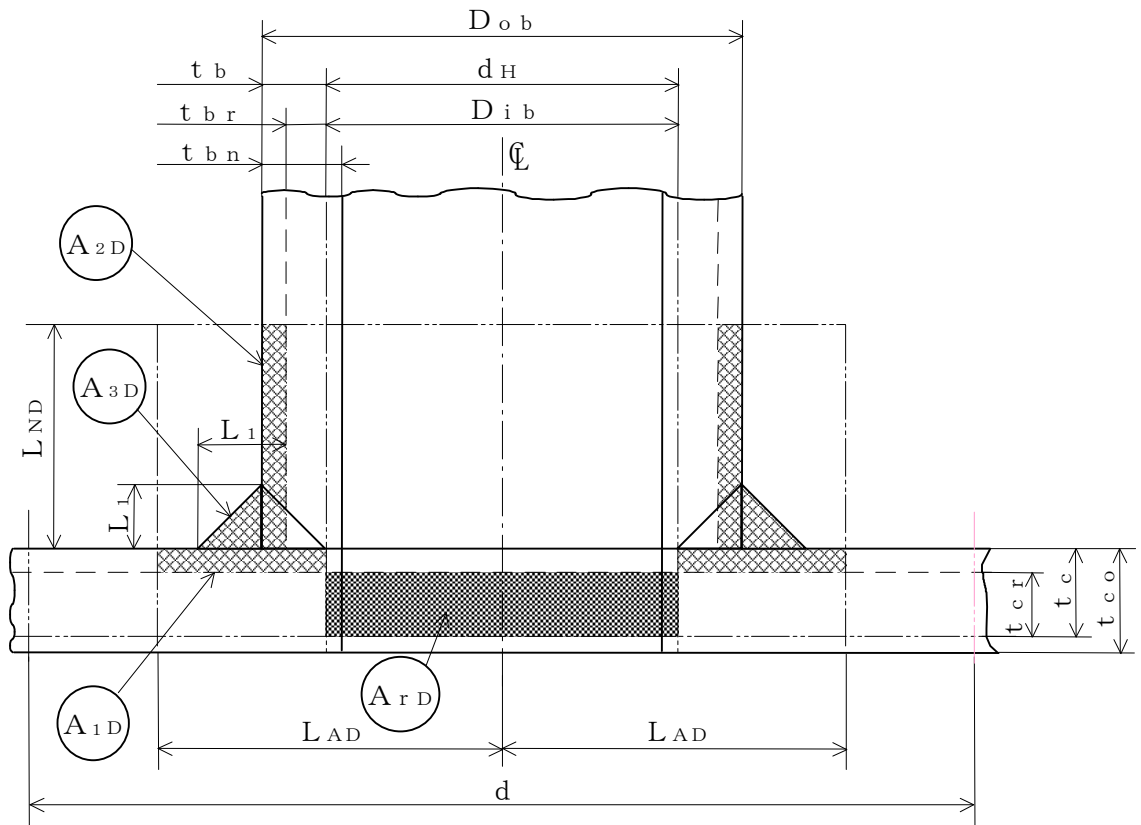


図2-7 B形（強め材のある場合）



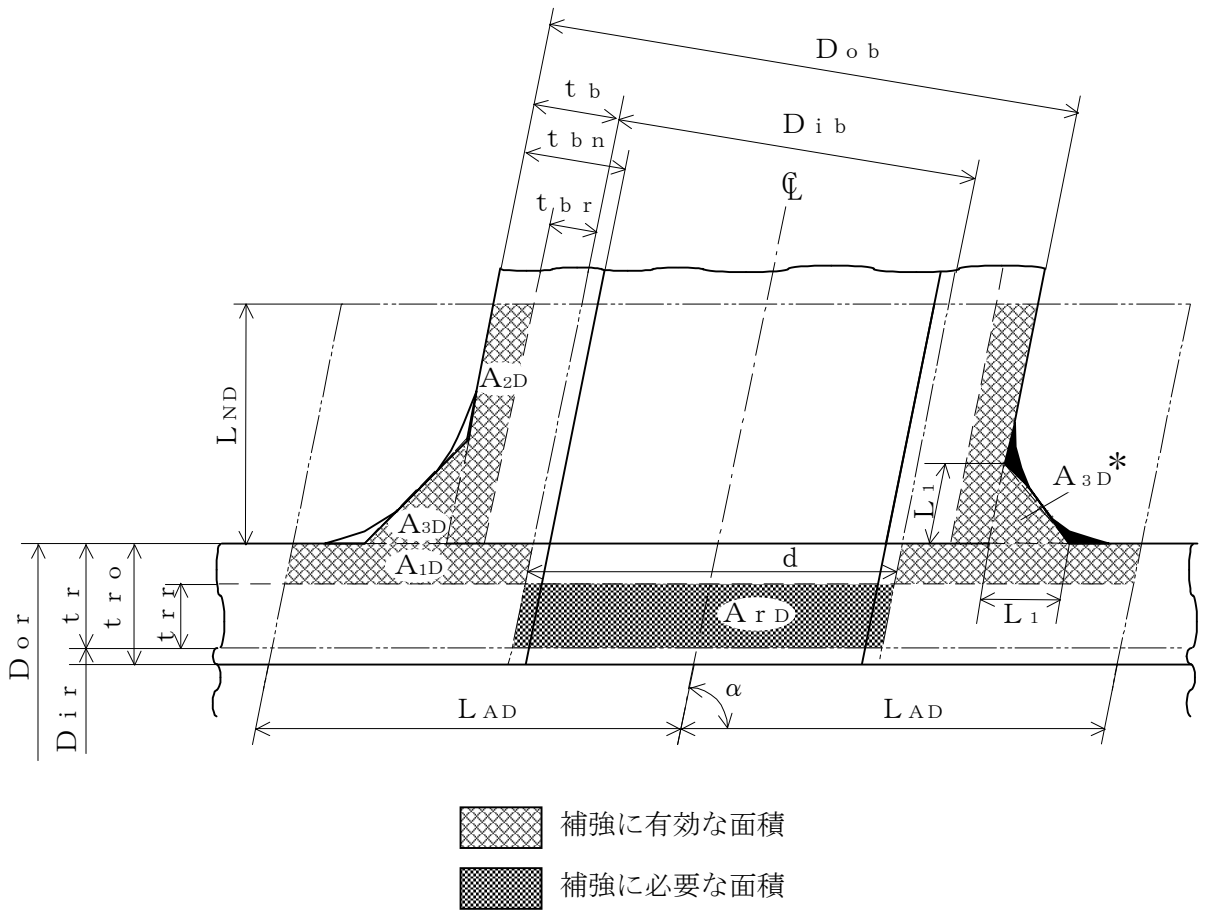
注記* : A_{3D} の面積で $(L_1)^2$ 以外の部分は、補強面積評価上は考慮しない。

図2-8 A形 (鏡板で強め材のない場合)



- 補強に有効な面積
- 補強に必要な面積

図2-9 A形（平板で強め材のない場合）



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

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

- (b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

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

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

- j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

- (a) 算式

- イ. 大穴の補強に必要な面積

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

- ロ. 大穴の補強に有効な面積

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

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

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

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{3D} = A_3$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

$$A_{3D} = 0$$

(すみ肉部の脚長が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

$$A_{4D} = A_4$$

(強め材が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

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

(強め材が有効範囲 L_{AD} の外までである場合)

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

- (b) 評価

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

k. 2つ穴の補強計算

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

以下、直管の2つ穴の計算方法を示す。

(a) 算式

イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

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

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

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

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

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

(c) 算式

イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

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

A_r 及び A_{rs} は1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

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

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

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

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

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

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

1. 溶接部の強度計算

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

ただし、C形に関しては評価すべき溶接部がないため、強度計算は行わない。

(a) 算式

イ. 溶接部の負うべき荷重

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

(ロ) 鏡板の場合

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

(ハ) 平板の場合

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

ロ. 溶接部の許容応力

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

(ロ) 鏡板又は平板の場合

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

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

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

ハ. 溶接部の破断強さ

(イ) 直管又は曲げ管の場合

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

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

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

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

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

(ロ) 鏡板の場合

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

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

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

(ハ) 平板の場合

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

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

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

ニ. 予想される破断箇所の強さ

(イ) A形の管台形式の場合

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

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

(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 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 J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
F _L	F _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図6又は表4による。)	—
f	f	ハブ応力修正係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4又は表4による。)	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
g ₀	g ₀	ハブ先端の厚さ	mm
g ₁	g ₁	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H _D	H _D	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H _G , H _G	H _G	ガスケット荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h	h	ハブの長さ	mm
h _D	h _D	ボルト穴の中心円から H _D 作用点までの半径方向の距離	mm
h _G	h _G	ボルト穴の中心円から H _G 作用点までの半径方向の距離	mm
h ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
h _T	h _T	ボルト穴の中心円から H _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $(= \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d})$	—
M _D	M _D	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント	N・mm
M _G	M _G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M _g	M _g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M ₀	M ₀	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M _T	M _T	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—

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
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
M	M _e	フランジ部に作用するモーメント	N・mm
P _{FD}	P	設計圧力 応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力に P _{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 $P_{e q} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3}$	MPa
	P _o	最高使用圧力 (内圧)	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
V _L	V _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図9又は表4による。)	—
W, W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²

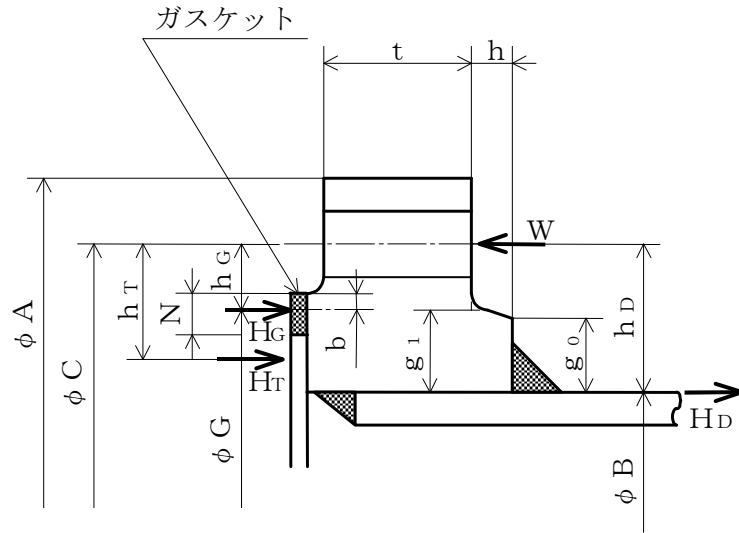
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
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

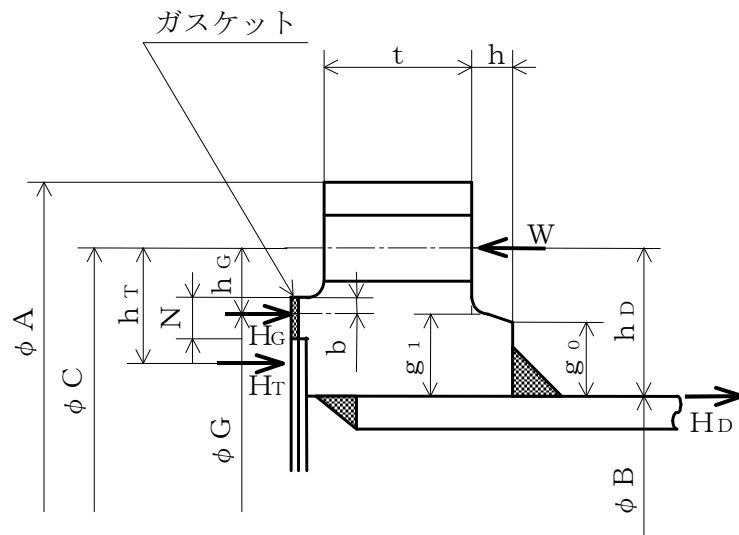
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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。

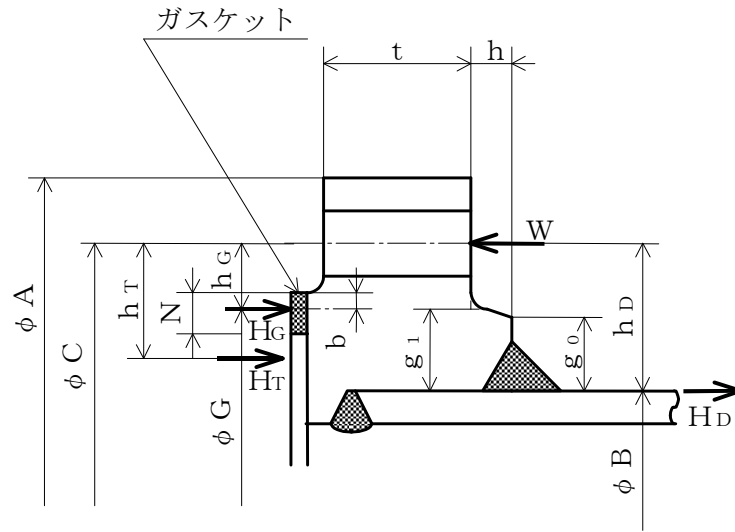
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



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)

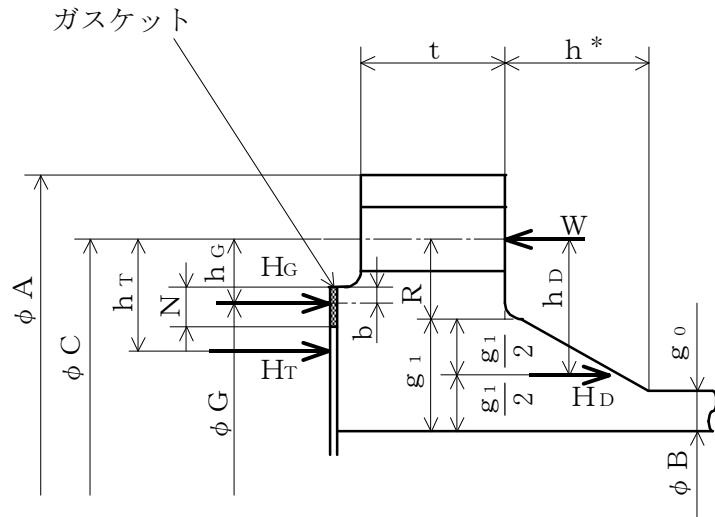
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



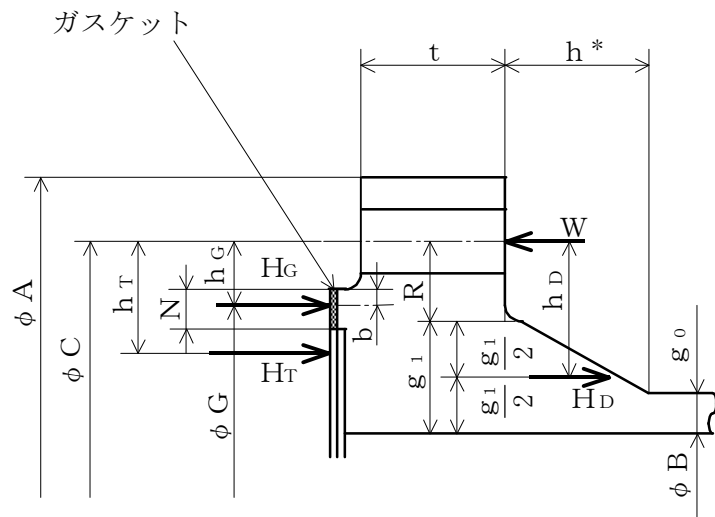
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは， $g_0 = g_1$ とする。

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。

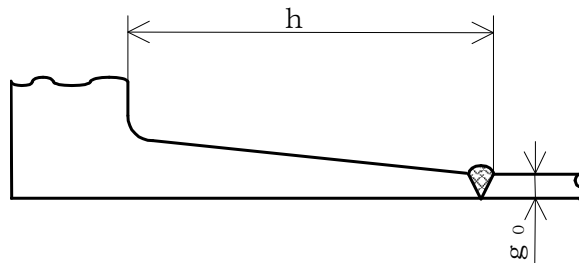
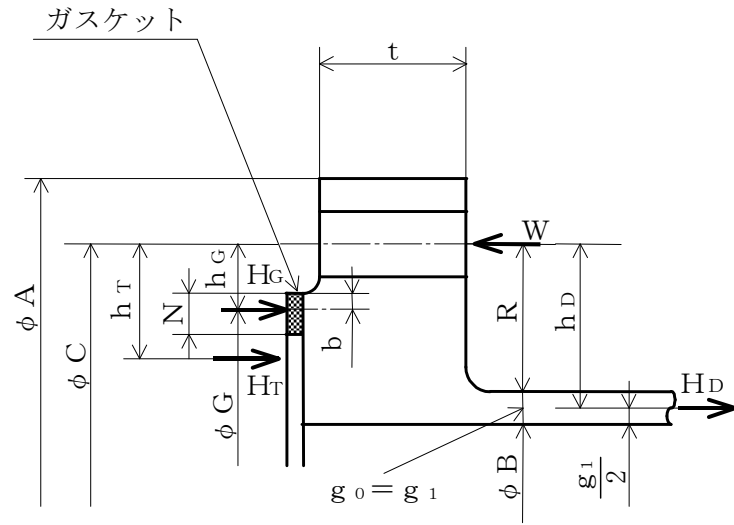
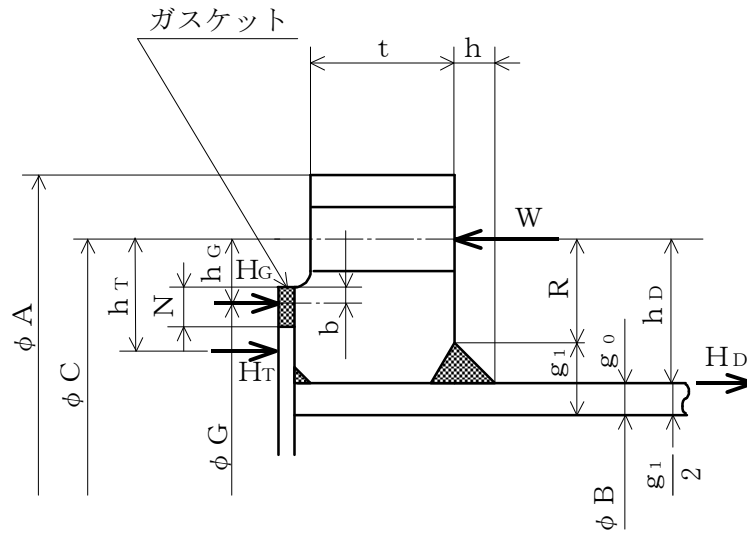


図2-13 一体形フランジ

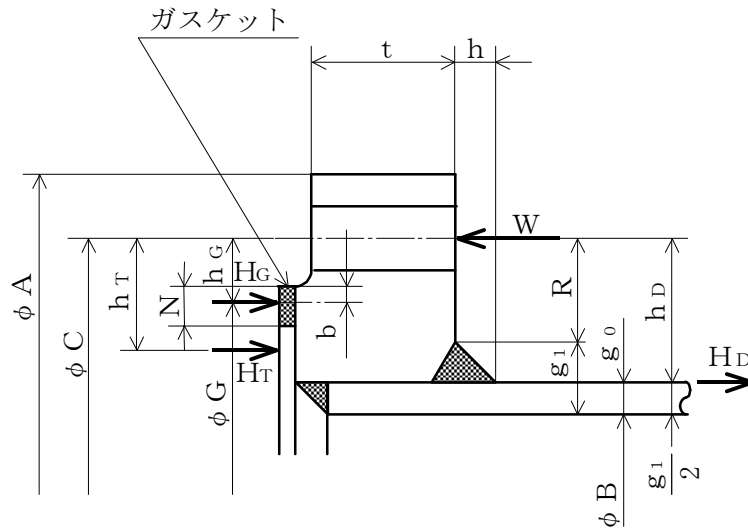


TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 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

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

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

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

(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. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ（差込み形フランジ）の応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

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

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

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

(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・g₁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B₁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。

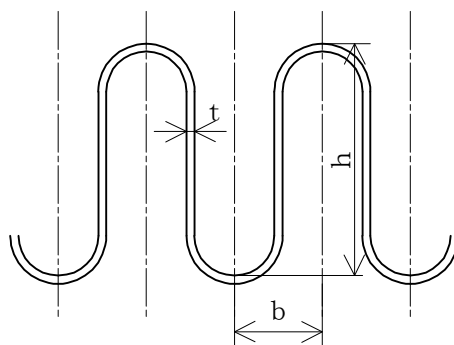


図2-16 継手部の形状

(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

目 次

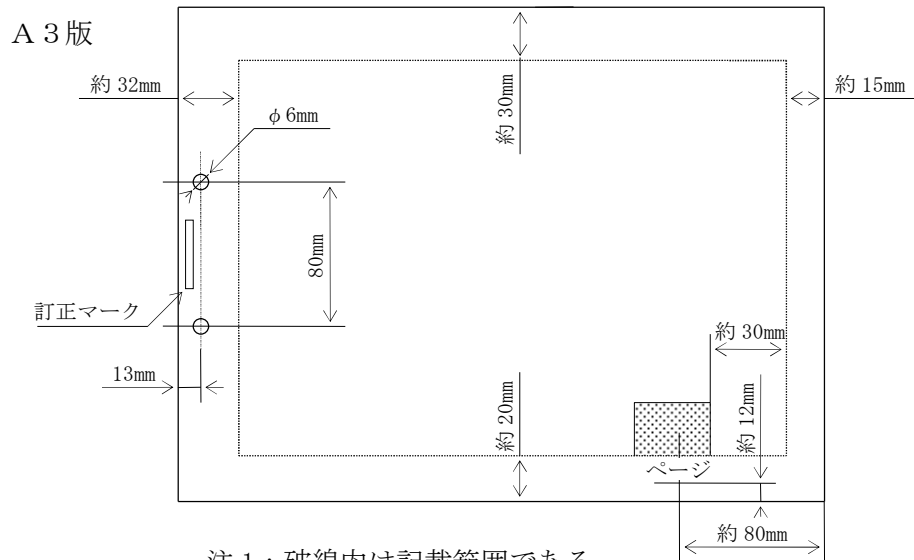
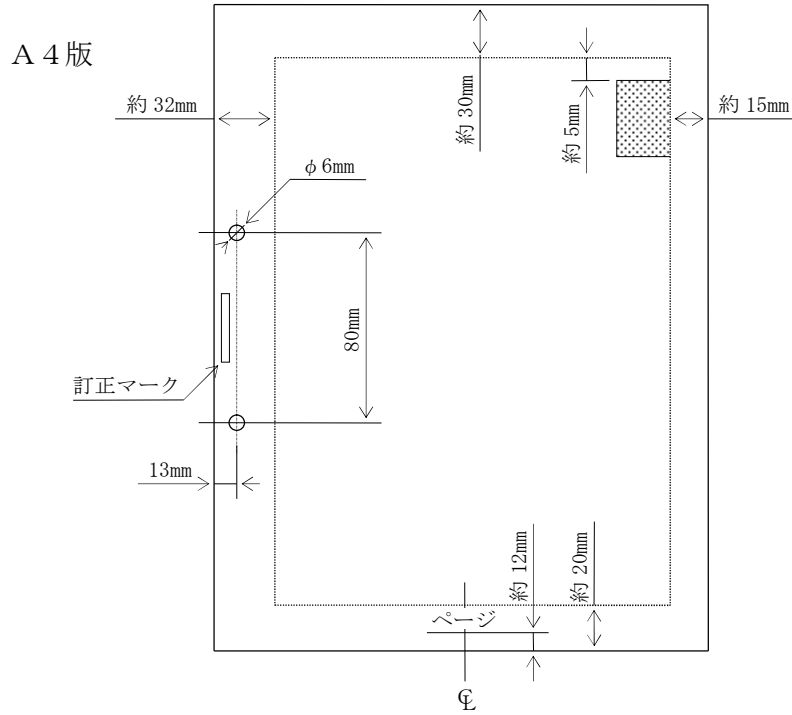
1. 適用範囲	1
2. 書式	1
3. 記載内容	3
4. 記載要領	4
4.1 配管	4
4.2 弁	13
4.3 スペシャルティ及び計装品	14
4.4 フランジ	16
4.5 機器	16
4.6 その他	17
5. 管番号及び継手番号	19
5.1 付番の原則	19
5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載	21
5.3 管番号表示の際に注意すべき事項	27

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。
 詳細については、総括編に従うものとする。



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"> 設計及び工事の計画書に記載されている範囲のうち、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, スペシャルティ, レジューサ, キャップ, フランジ, 平板, 伸縮継手 建屋区分 既認可図書と呼び出す配管 	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, 若しくは別設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, スペシャルティ, 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 設計及び工事の計画書に記載される管継手で分岐部が申請対象外の場合にその管継手を表すために記載するライン 申請範囲ではないが, 系統の接続を示すために必要なライン*2 当該計算書記載範囲外の主配管 	細い破線 (- - - - -)	0.3～0.5mm

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	・設計及び工事の計画書記載範囲
2	分岐合流	・配管計装線図（以下「P & I D」という。）及び設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) → 〇〇ポンプ(A)
4	主 要 弁	・弁番号及び駆動方式（MO，AO）は、設計及び工事の計画書記載の弁について記載する。
5	フランジ	・フランジについては、下記のものについて記載する。 （イ） 機器と配管の取合い部となるフランジ （ロ） 仕様変更（圧力，材料等）又は系統区分点となるフランジ （ハ） 強度計算対象となるフランジ（設計・建設規格対象外フランジ）

注1：概略系統図のレイアウトは、制約がない限り極力、設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，設計及び工事の計画書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。

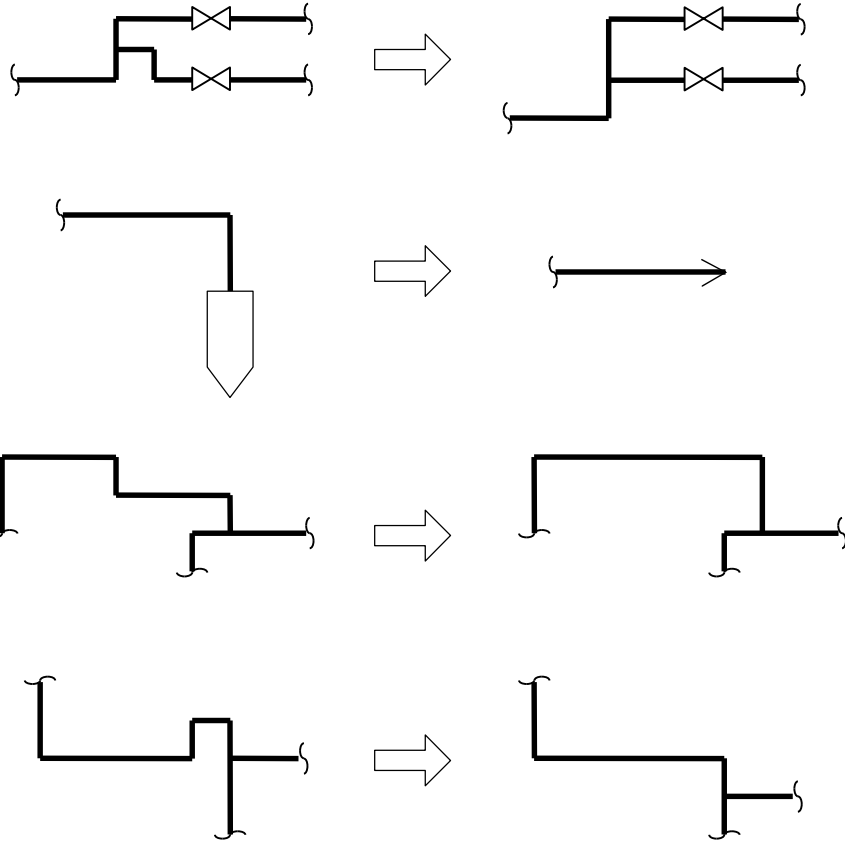
注6：ポンプの流れ方向表示は行わない。

注記*：各プラントで定められた名称とする。

4. 記載要領

4.1 配管

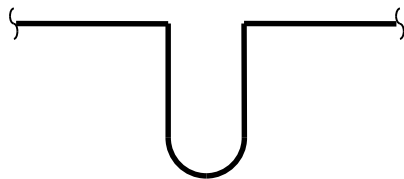
(1) P & I Dより概略系統図を作成する場合の表記（原則として）



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、設工認系統図の順番に従い付番する。また、パッケージ分については、シートの最後にもってきてもよいものとする。

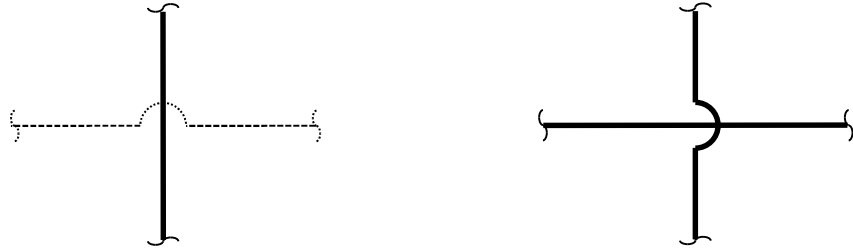
(2) Uシール部の表記

Uシール部は、Uシール部とわかるように概略系統図へ記入する。



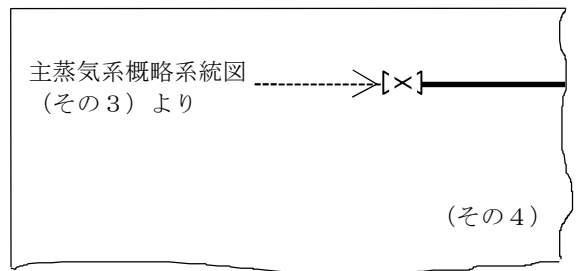
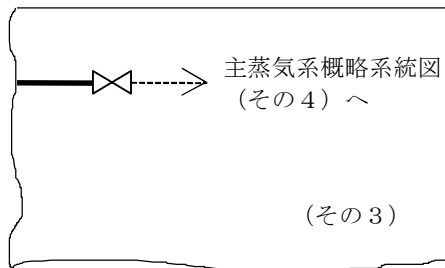
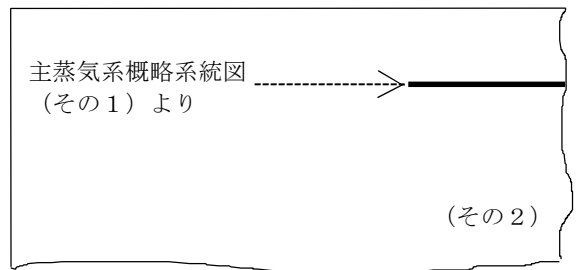
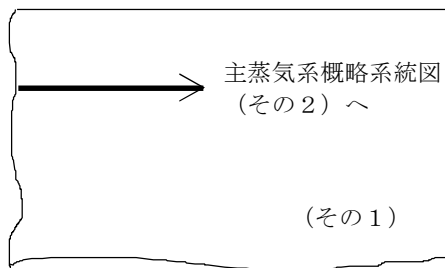
(3) 線の交差の表示

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

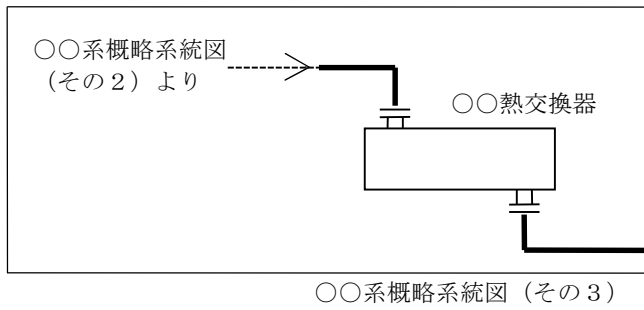
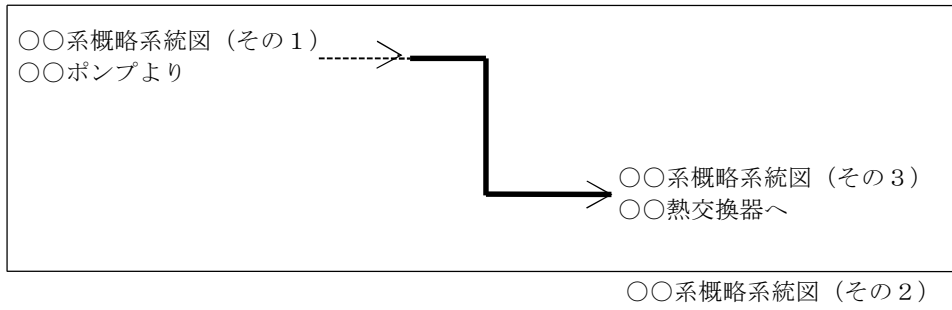
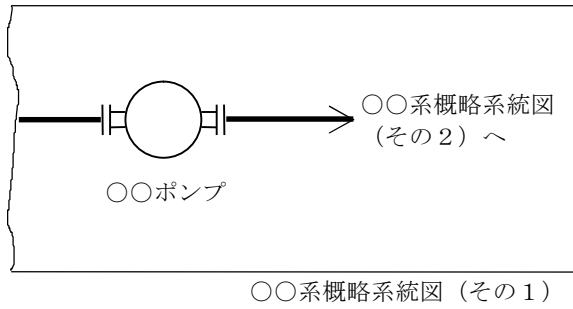


(4) 配管の接続先表示

- a. 表記上概略系統図では、原則として設工認系統図に合わせ「……………」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。

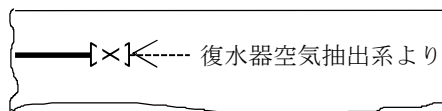
注記*：ユーティリティ系と接続する場合は系統名称のみとする。

ただし、系統機能上重要なものは機器名称も記載する。

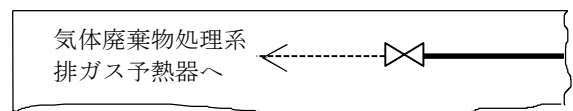
なお、同一申請回において廃棄設備と取り合う場合は、概略系統図名と機器名称を記載する。

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復水器空気抽出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

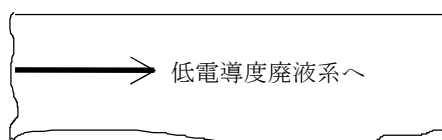


気体廃棄物処理系概略系統図
(復水器空気抽出系は将来申請)

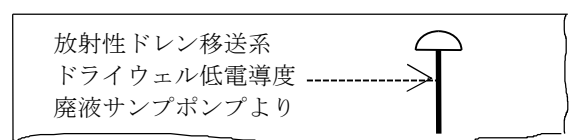


復水器空気抽出系概略系統図
(気体廃棄物処理系は申請済)

放射性ドレン移送系と低電導度廃液系との取合いがあり、放射性ドレン移送系が先の申請回で申請される場合



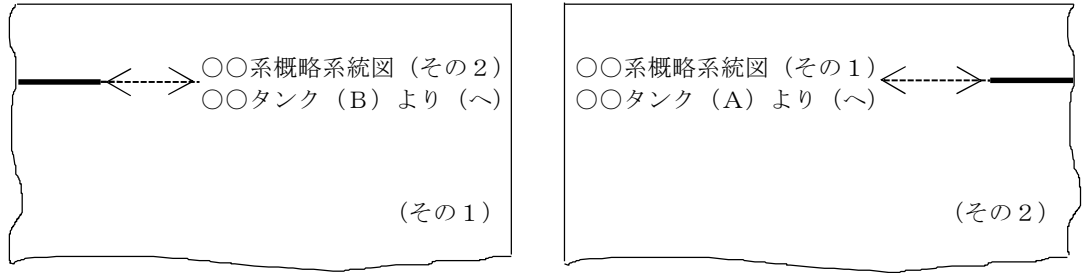
放射性ドレン移送系概略系統図
(低電導度廃液系は将来申請)



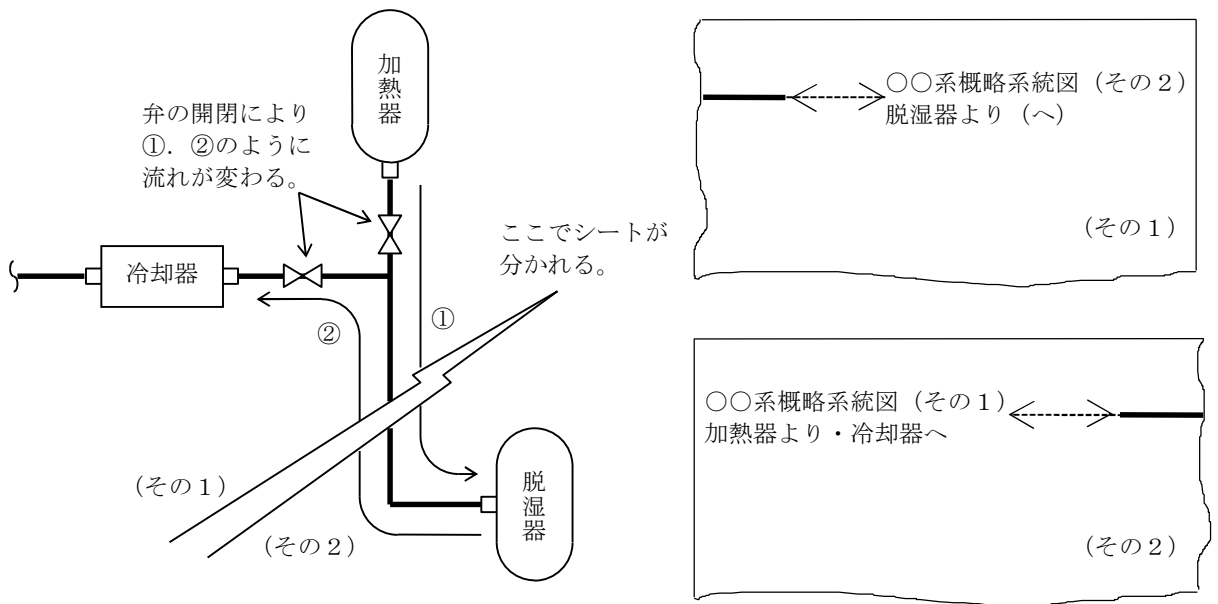
低電導度廃液系概略系統図
(放射性ドレン移送系は申請済)

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

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

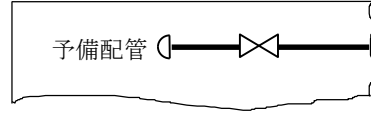


注：流体がモード等により行き先が変わる場合，下記の例に従う。

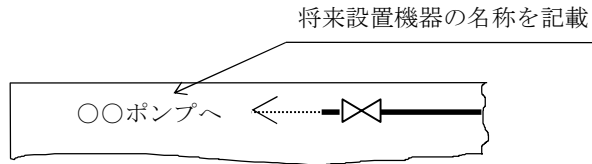


- f. 接続先の配管が設工認対象外である場合は、表記する必要はない。ただし、設計及び工事の計画書に記載する管継手に係わる場合及び系統の接続を示すために必要なラインは、11頁「(9) 分岐部の申請範囲の表記」に示す表記をする。

- 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。

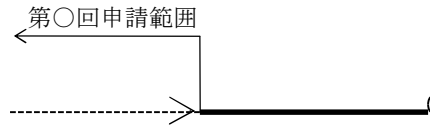


将来増設プラントと取り合う場合

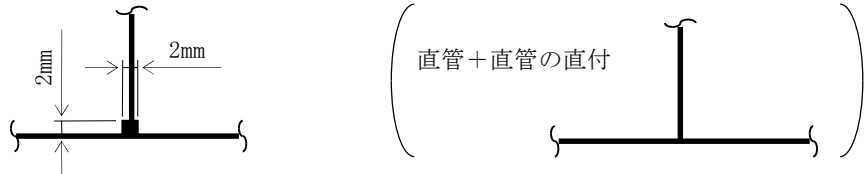


当該プラントの将来設置機器と取り合う場合

- 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、取合配管の申請回を表記する。

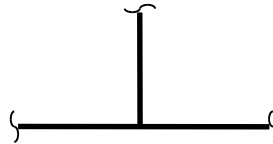


- (5) 管台の表記は下記に従うものとする。（寸法は目安値）

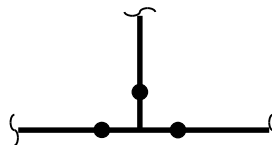


- (6) 継手類の表記は下記に従うものとする。

- a. ティー



ただし、材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は下記に示す仕様変更表示をする。



b. レジューサ

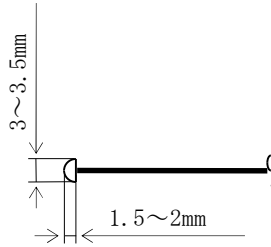
(a) 偏心又は同心の区別は行わない。また、径違いソケットについてはレジューサ表記とする。

(b) 表記寸法 (目安値)



c. 鏡板, キャップ

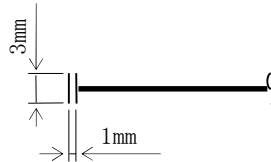
表記寸法 (目安値)



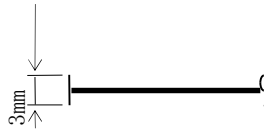
d. 平板

表記寸法 (目安値)

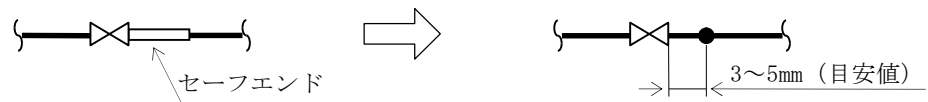
(a) フランジにボルトで締め付けられるタイプ



(b) (a)以外のタイプ



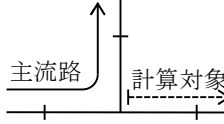
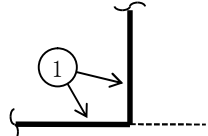
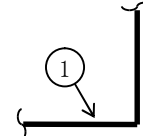
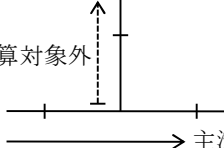
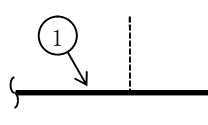
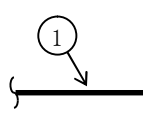

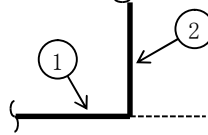
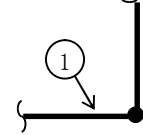
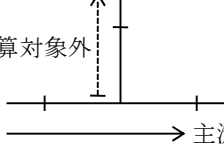
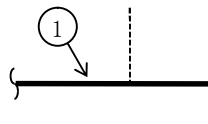
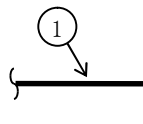

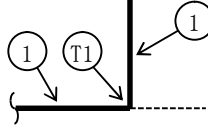
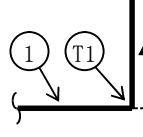
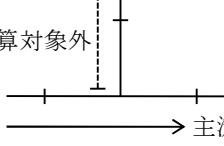
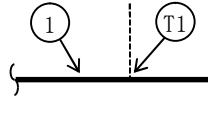
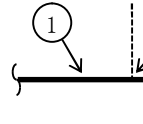

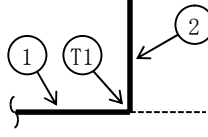
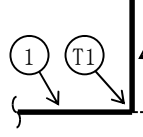
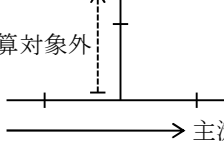
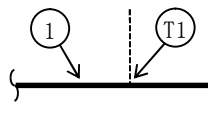
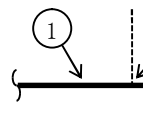
(7) セーフエンド等の表記は下記に従うものとする。



(8) 配管上で材料又は肉厚等が変更となる場合は下記の表示とする。

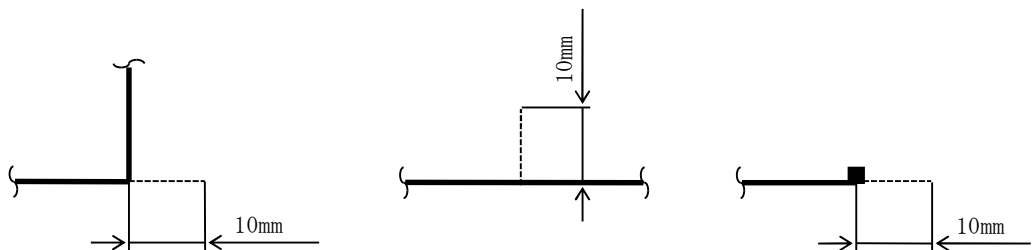


(9) 分岐部の申請範囲の表記

分岐部の種類	申請形態	クラス 1 配管及び クラス 2 配管の表記	左記以外の表記
同径ティー (設計・建設規格規定の J I S 規格品)			
			
異径ティー 及び管台 (設計・建設規格規定の J I S 規格品)			
			
同径ティー (設計・建設規格規定の J I S 規格品以外)			
			
異径ティー (設計・建設規格規定の J I S 規格品以外)			
			

分岐部の種類	申請形態	クラス 1 配管及び クラス 2 配管の表記	左記以外の表記
直管直付 (同径)			
直管直付 (異径)			
管 台 (設計・建設規 格規定の J I S 規格品以外)			

注 1：分岐部破線及び管台の表記寸法（目安値）

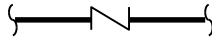


注2：クラス1配管及びクラス2配管以外であっても，設工認系統図上の分岐，合流を明確にする必要がある場合にはクラス1配管及びクラス2配管の表記とする。
 ただし，主流路を形成する分岐部を除き，φ61mm以下の穴で，穴の補強が不要なものについては分岐部破線表示又は管台表示は不要とする。

4.2 弁

(1) 弁の形式は下記記号にて表示する。

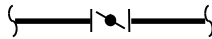
a. 逆止弁



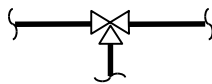
注：流れ方向の指示は表示しない。

ただし，弁の向きは設工認系統図に合わせる。

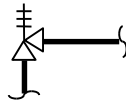
b. バタフライ弁



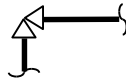
c. 三方弁



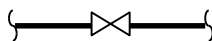
d. 安全弁，逃し弁



e. アングル弁



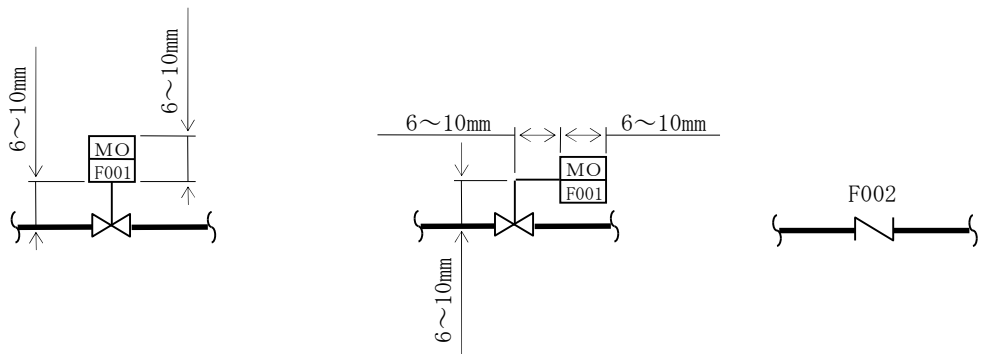
f. 上記以外の弁はすべてゲート弁表示とする。



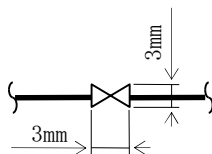
(2) 弁の開閉は表示しないものとし，すべて白抜きとする。

(3) 主要弁の表記は下記に示すように駆動方式及び弁番号を記載する。

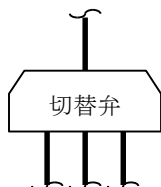
(寸法は目安値)



(4) 弁の記載寸法は下記を原則とする。(目安値)



(5) 前記(1)に係わらず，切替弁は下記表示とする。

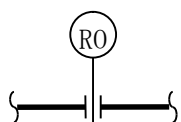


4.3 スペシャルティ及び計装品

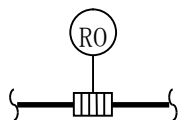
スペシャルティ及び計装品の表示は下記に従うものとする。

(1) オリフィス

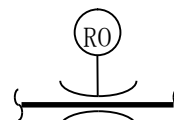
a. 単段減圧オリフィス



b. 多段減圧オリフィス

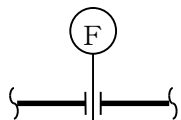


c. ベンチュリ形流量制限器

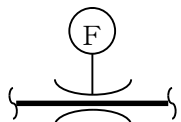


(2) 流量計

a. オリフィスプレート式



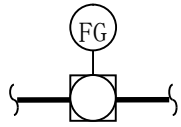
b. ベンチュリ式及びフローノズル式



c. その他



(3) フローグラス



(4) 伸縮継手

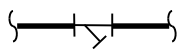


(5) ストレーナ

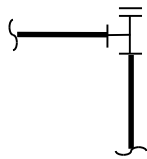
a. バスケットストレーナ



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。)

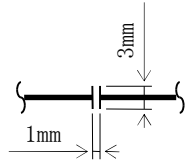


(6) スペクタクルフランジ



4.4 フランジ

フランジは下記表示とする。(寸法は目安値)



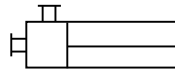
4.5 機器

(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



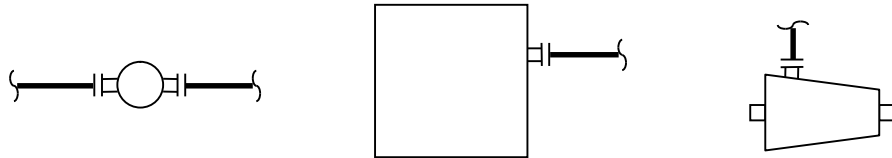
(2) その他の機器

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。

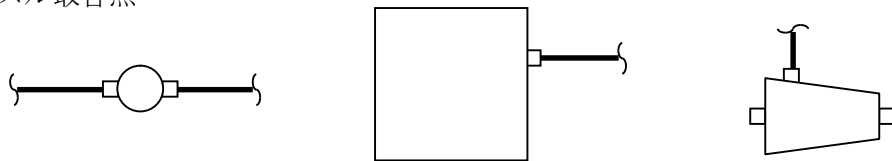
(形状は原則として設工認系統図に合わせる。)

(3) 機器取合点表示

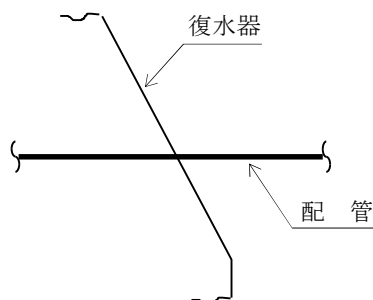
- a. フランジ取合点



- b. ノズル取合点



(4) 復水器貫通部表示

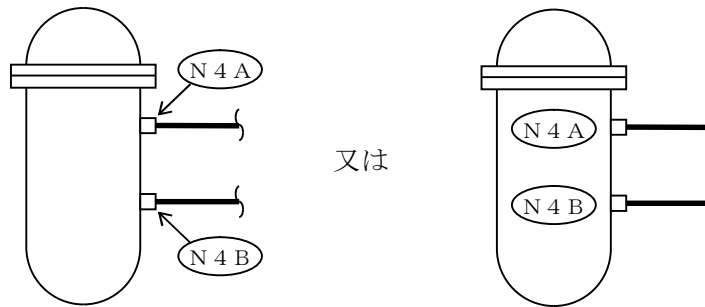


4.6 その他

- (1) 原子炉格納容器及び原子炉格納容器貫通部は下記表示とする。



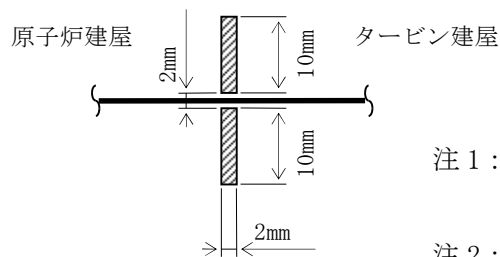
- (2) 原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器ノズルは下記表示とする。



注：N-4 Aと“-”は付記しない。

- (3) 複数の建屋に配管がまたがる場合の建屋の区分は下記表示とする。

(寸法は目安値)

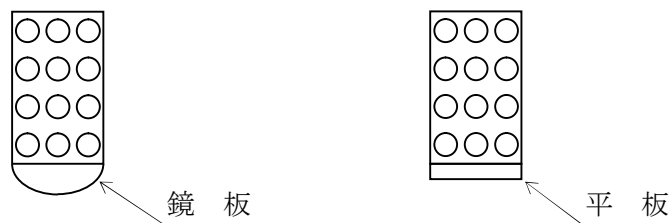


注1：R/B、T/B等の略称は使用しない。

注2：埋込部の表示は行わない。

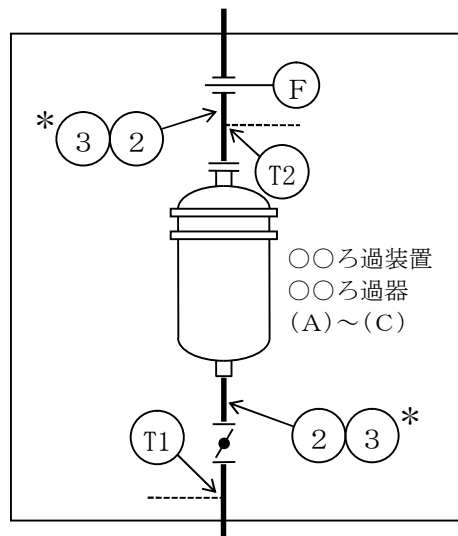
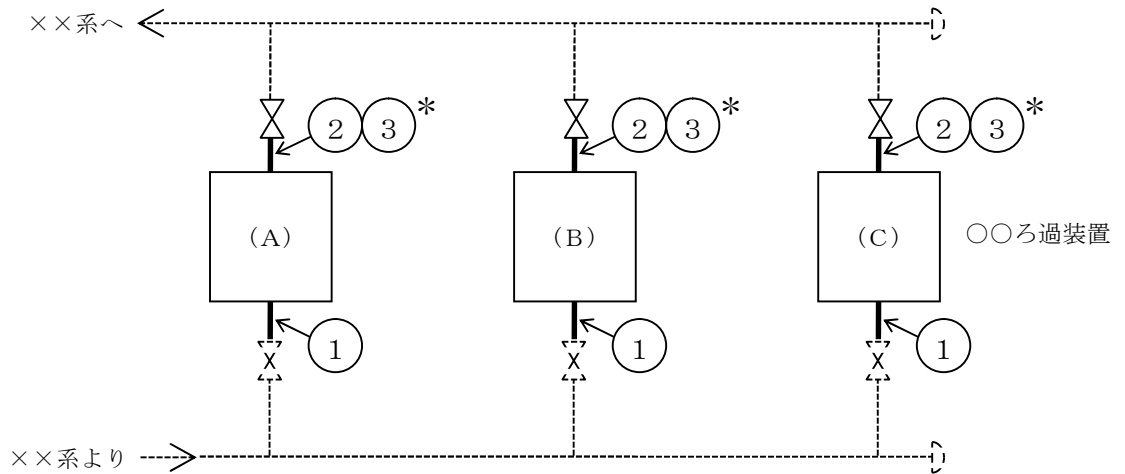
注3：建屋外のダクトは「屋外」と、2mギャップは「連絡トレンチ」と呼称する。

- (4) スパージャ、ディフ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。



〇〇ろ過装置(A)~(C)付番

5. 管番号及び継手番号

5.1 付番の原則

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

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

(2) 管番号及び継手番号は下記条件の切換点で変更するものとする。

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

(3) 管番号及び継手番号

・管（セーフエンド及び規格外エルボを含む。）

① ② ③

・管継手

①* ②* ③*

注記*：管継手

・ティー，管台，枝管等の穴

①T1 ②T2 ③T3 ……（規格外継手に適用）

・レジューサ

①R1 ②R2 ③R3 ……（同 上）

・鏡板，キャップ

①C1 ②C2 ③C3 ……（同 上）

・平板，閉止フランジ

①B1 ②B2 ③B3 ……（同 上）

・フランジ

①F1 ②F2 ③F3 ……（同 上）

・伸縮継手

①E1 ②E2 ③E3 ……（同 上）

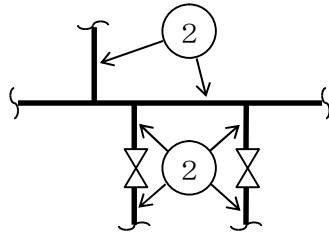
・穴あき管

①SP1 ②SP2 ③SP3 ……（同 上）

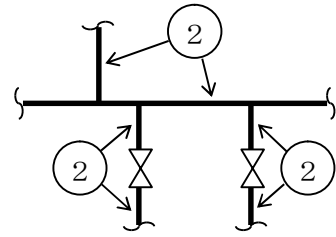
(4) 管番号の記入

a. 番号の矢印は2箇所以内とする。

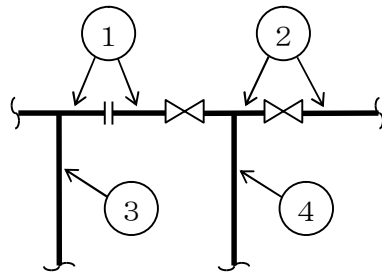
(誤)



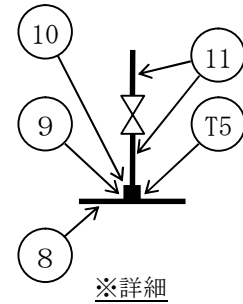
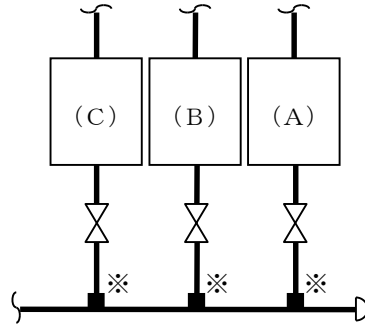
(正)



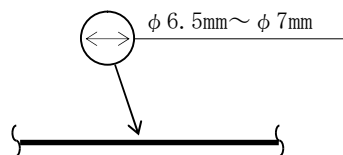
b. 同一仕様であっても、弁及びフランジ等により仕様変更か否か誤解を招くと思われる場合は必ず番号を取る。



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



d. 寸法 (目安値)



5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載

(1) 一般原則

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

(2) 管継手部の記載要領

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

a. エルボ

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

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

注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くしたJ I S規格のエルボについては、クラス1配管及びクラス2配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

b. ティー

(a) ティーの主管側(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。

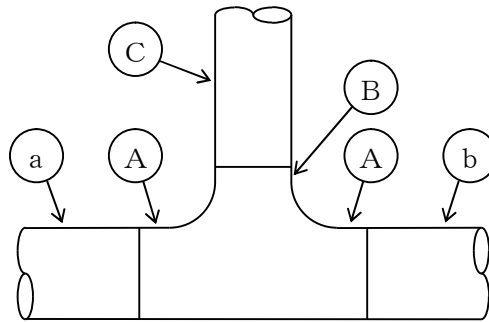
(b) ティーの主管側(A)と接続される管(b)が同一仕様である場合は、(b)に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上(A) ((b)側半分)に管番号を付番する場合もある。

(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 配管及びクラス 2 配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。



c. レジューサ

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

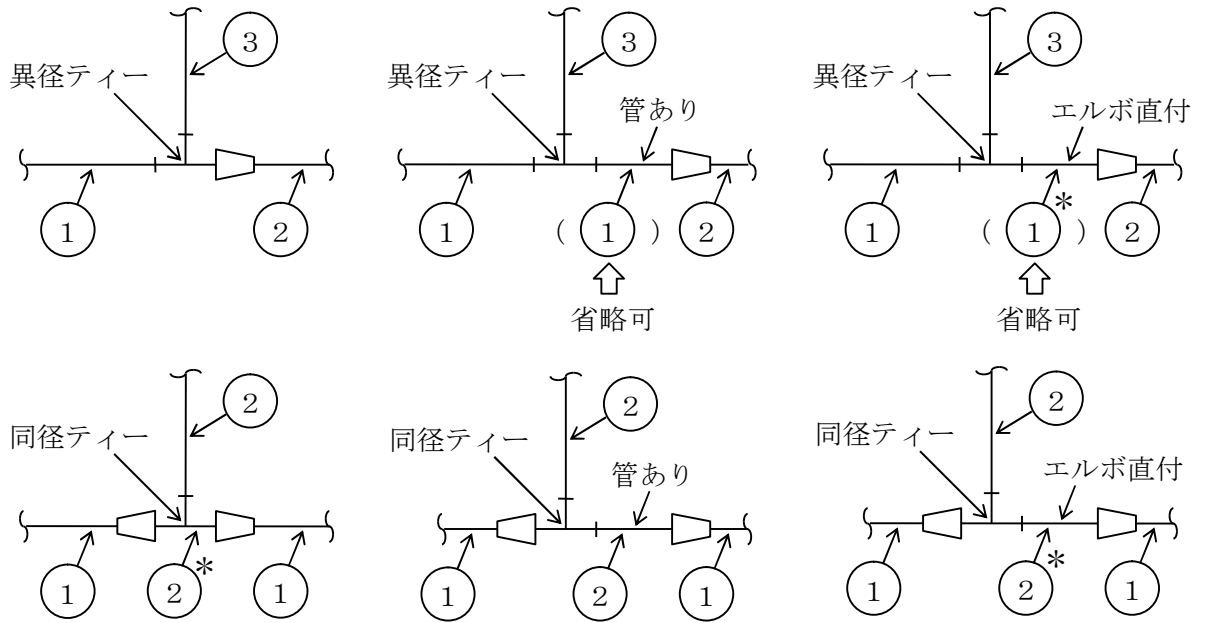
注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のレジューサについては、クラス 1 配管及びクラス 2 配管並びに汽力設備を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

d. キャップ

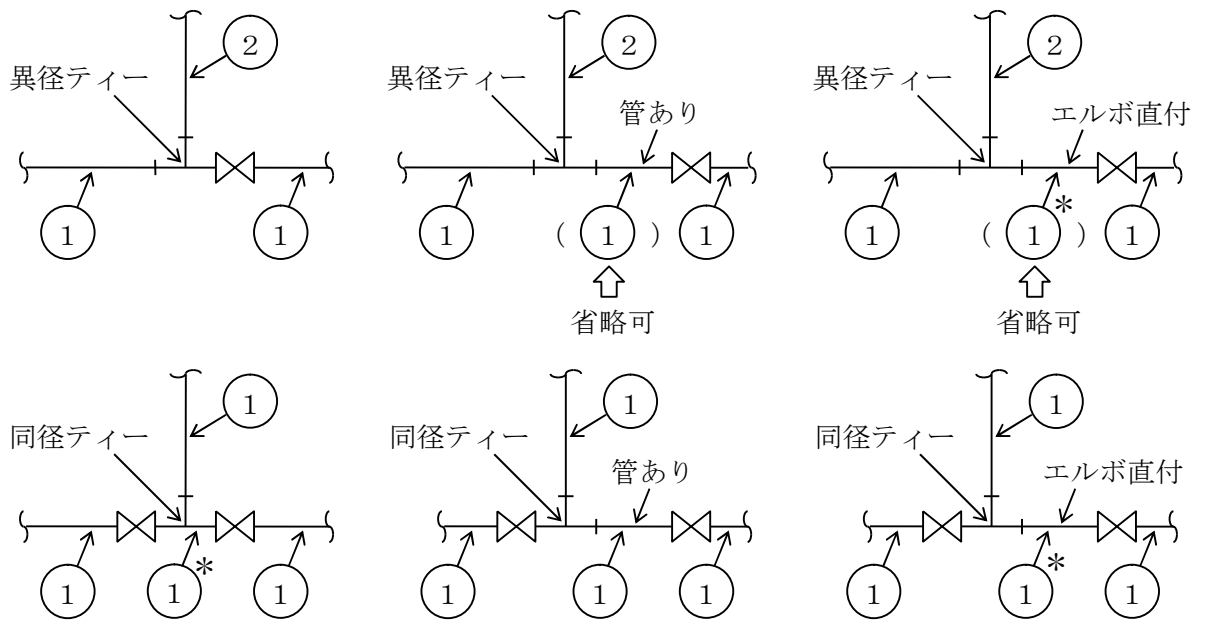
キャップに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合は、キャップ端部に管番号を付番し、管継手マーク “*” を付ける。

注：接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くした J I S 規格のキャップについては、クラス 1 配管及びクラス 2 配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

(ティー主管側+レギュレーサ)

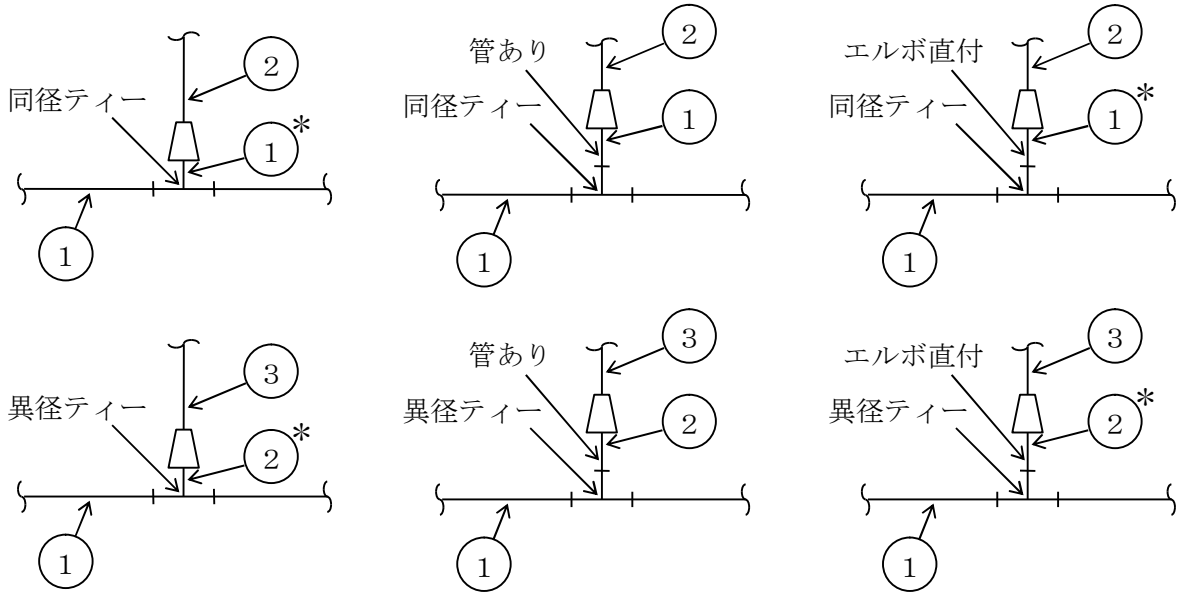


(ティー主管側+弁)

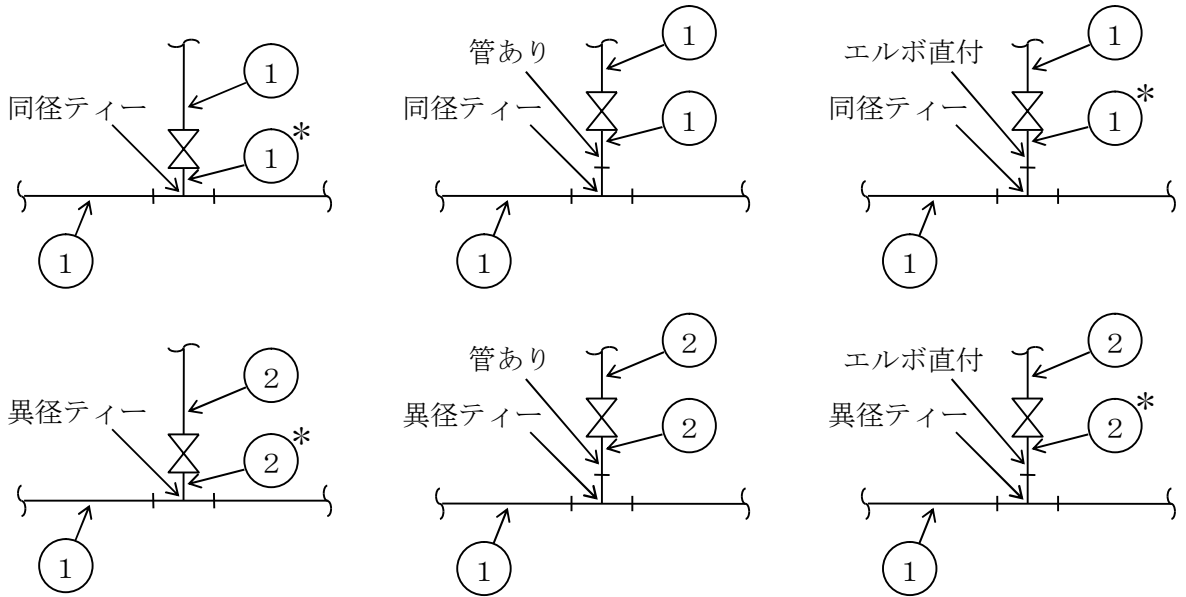


管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その1)

(ティー分岐管側+レギュレーサ)



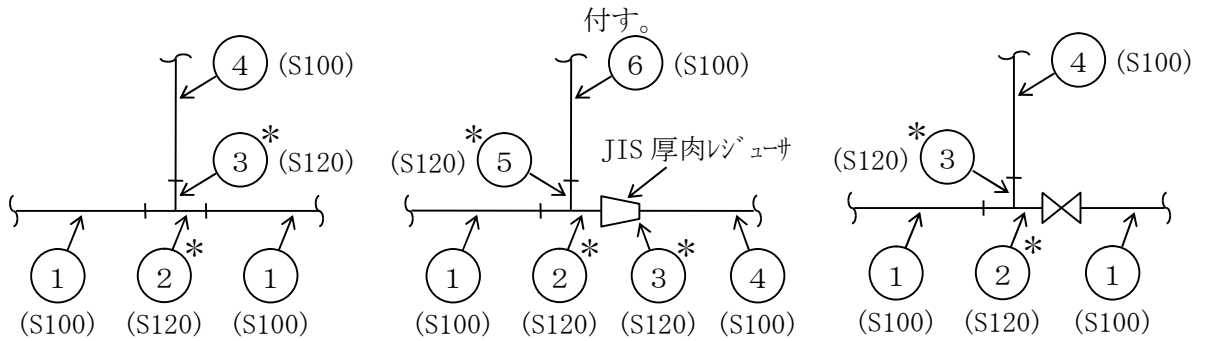
(ティー分岐管側+弁)



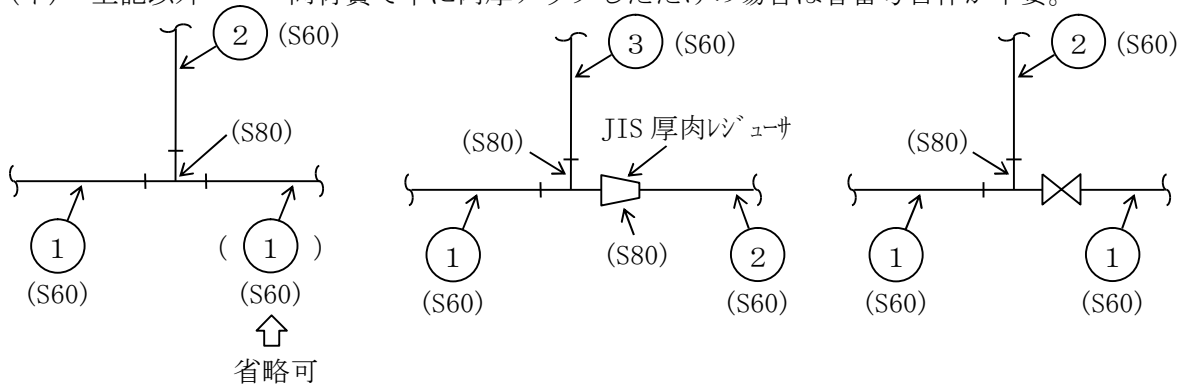
管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その2)

(J I S 厚肉ティー)

(ア) クラス 1 配管及びクラス 2 配管……同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。

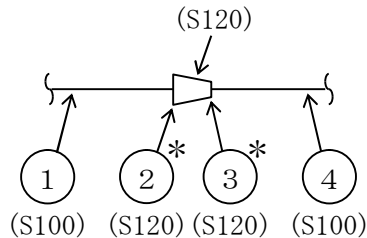


(イ) 上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。

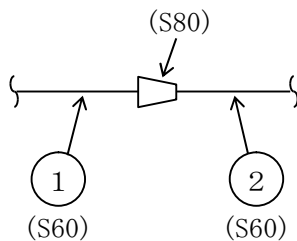


(J I S 厚肉レギュサ)

(ア) クラス 1 配管及びクラス 2 配管並びに汽力設備……同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



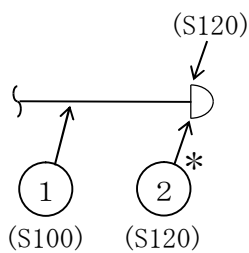
(イ) 上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



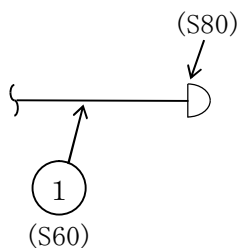
管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その 3)

(J I S 厚肉キャップ)

(ア) クラス 1 配管及びクラス 2 配管……………同材質で単に肉厚アップしている場合も管番号を付す。



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



管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その 4)

5.3 管番号表示の際に注意すべき事項

(1) 管

曲げ管は直管と同等に考えるものとし、表示は行わないものとする。

(2) 管継手 (ティー, エルボ, レジューサ, キャップ)

- a. 設計・建設規格規定の J I S 規格の継手であって、接続配管と同等以上の強度を有する場合は、板厚計算は不要である。したがって、管番号は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 配管及びクラス 2 配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。

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

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

(a) レジューサの多段直列接続の場合

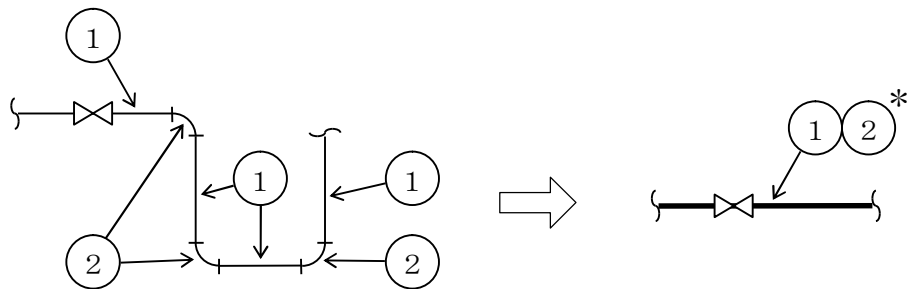
(b) 異径ティーで分岐部がレジューサ等に接続する場合、機器直結のレジューサのように溶接部における口径が表れない場合又は機器、エルボ、レジューサ直結で直管がない場合

(c) 接続配管と同等以上の強度を有さない場合

- c. 分岐部分が強度計算対象外の配管に接続している場合は付番しない。

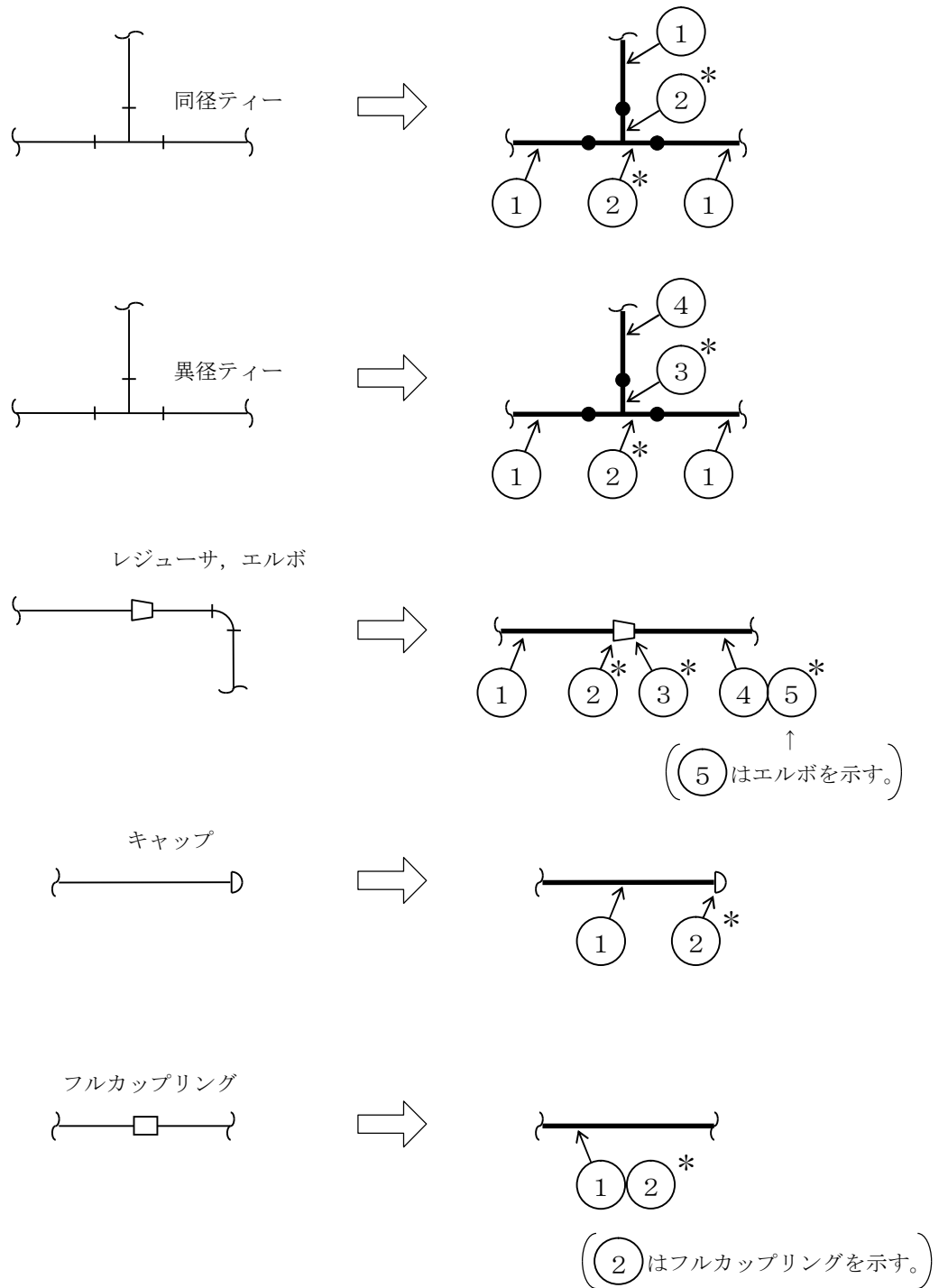
(3) 番号表示例

- a. エルボの強度計算を行う場合



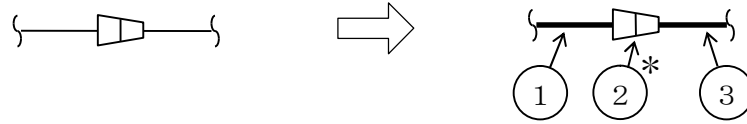
b. 設計・建設規格規定の J I S 規格品管継手を使用する場合

(a) 管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は、すべて管番号を付番し、直管相当の計算を記載する。(クラス 1 配管及びクラス 2 配管 (レジャーサについては、汽力設備も含む。)) の場合)

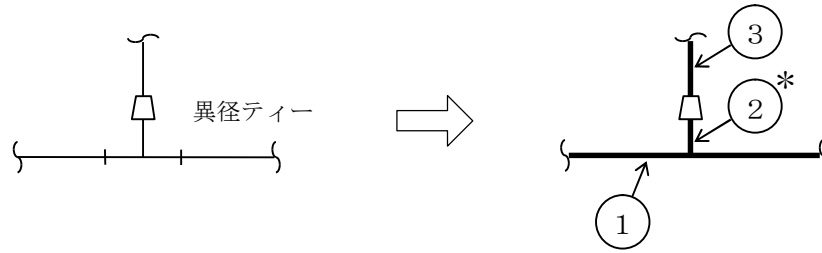


(b) レジューサの2段直列接続

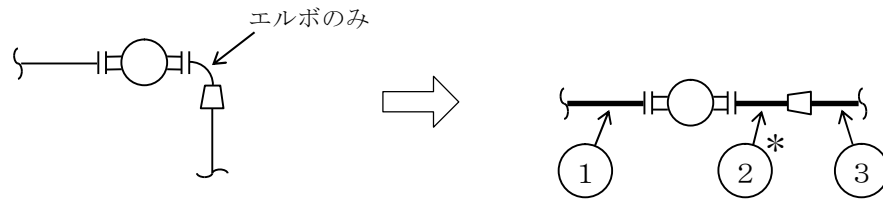
注：接続配管と同材，同肉厚の場合を示す。



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

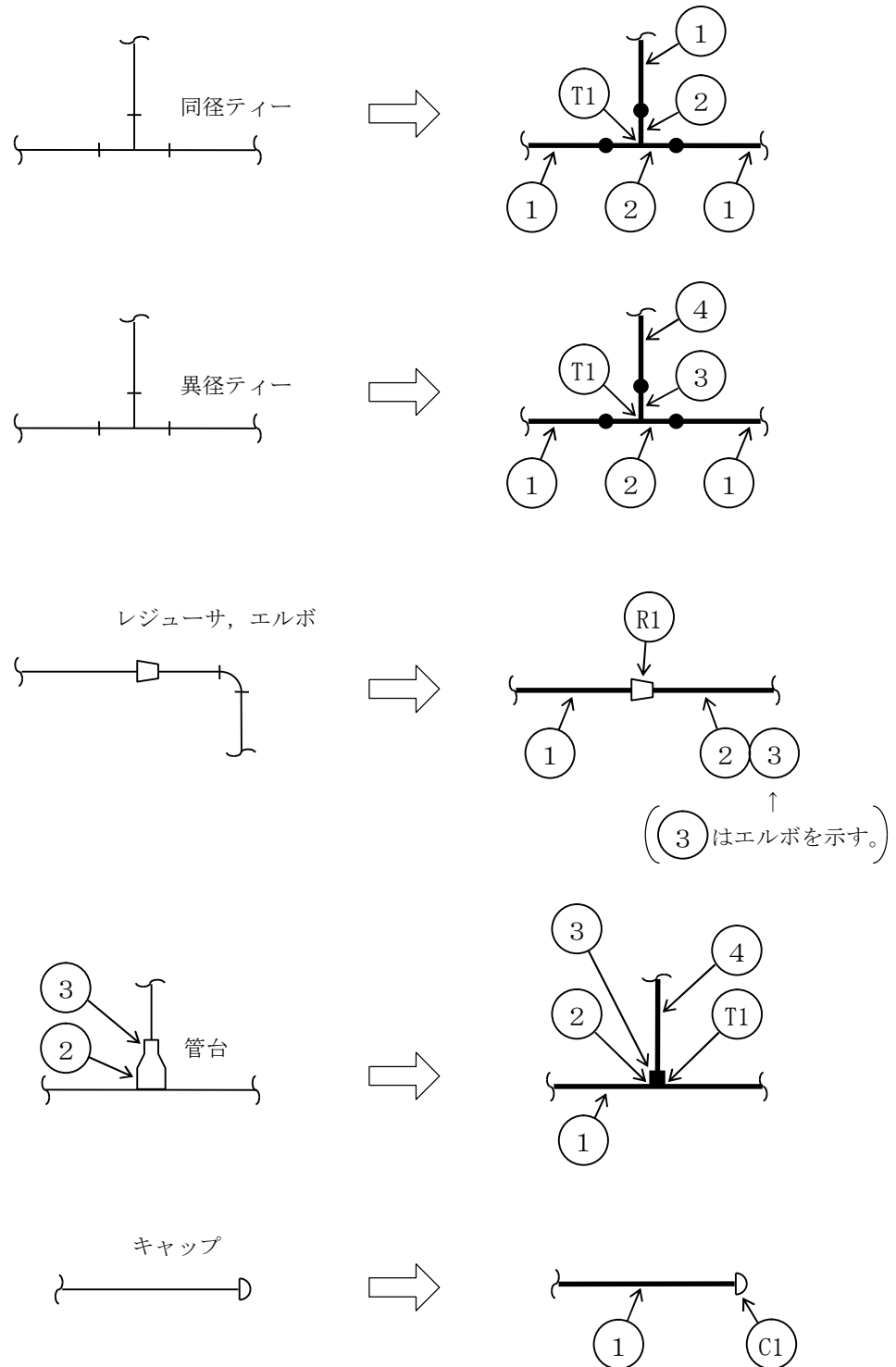


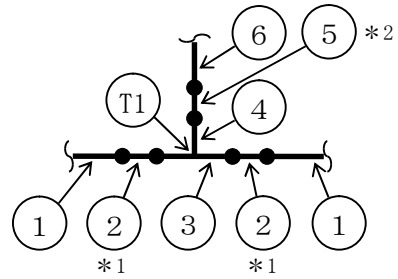
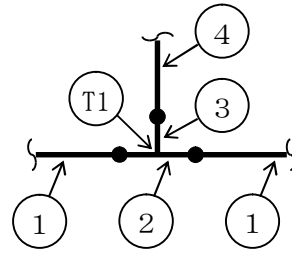
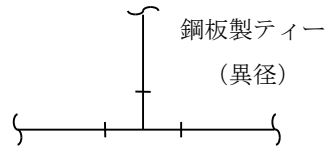
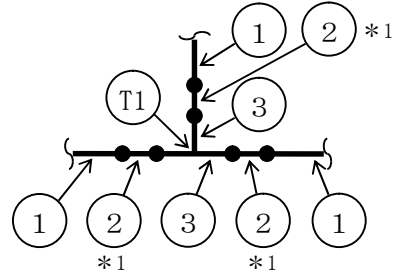
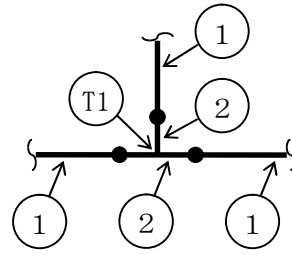
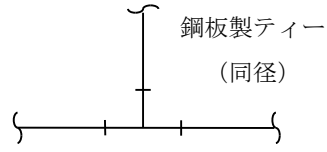
(d) エルボとレジューサが直付でエルボに接続配管がない場合



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

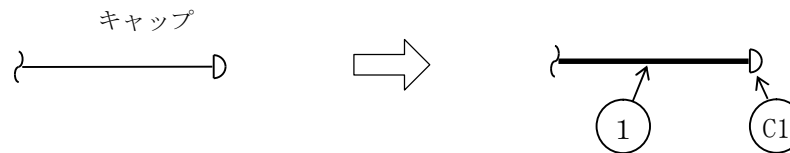
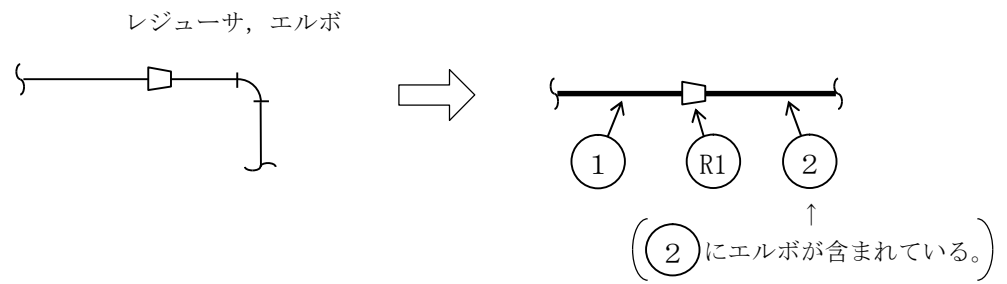
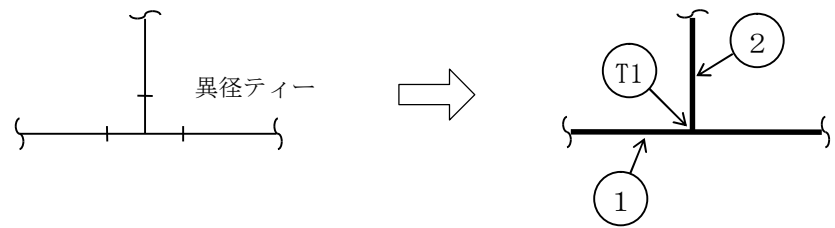
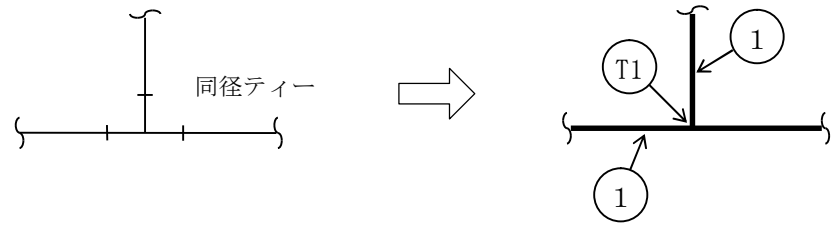




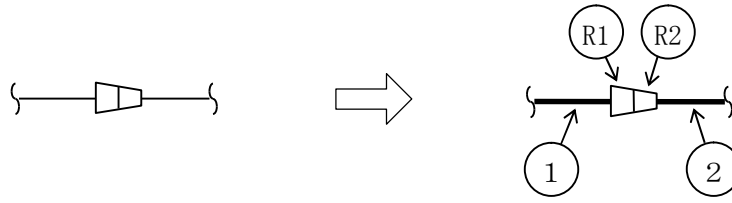
注記*1：仕様が①と異なる場合を示す。

*2：仕様が⑥と異なる場合を示す。

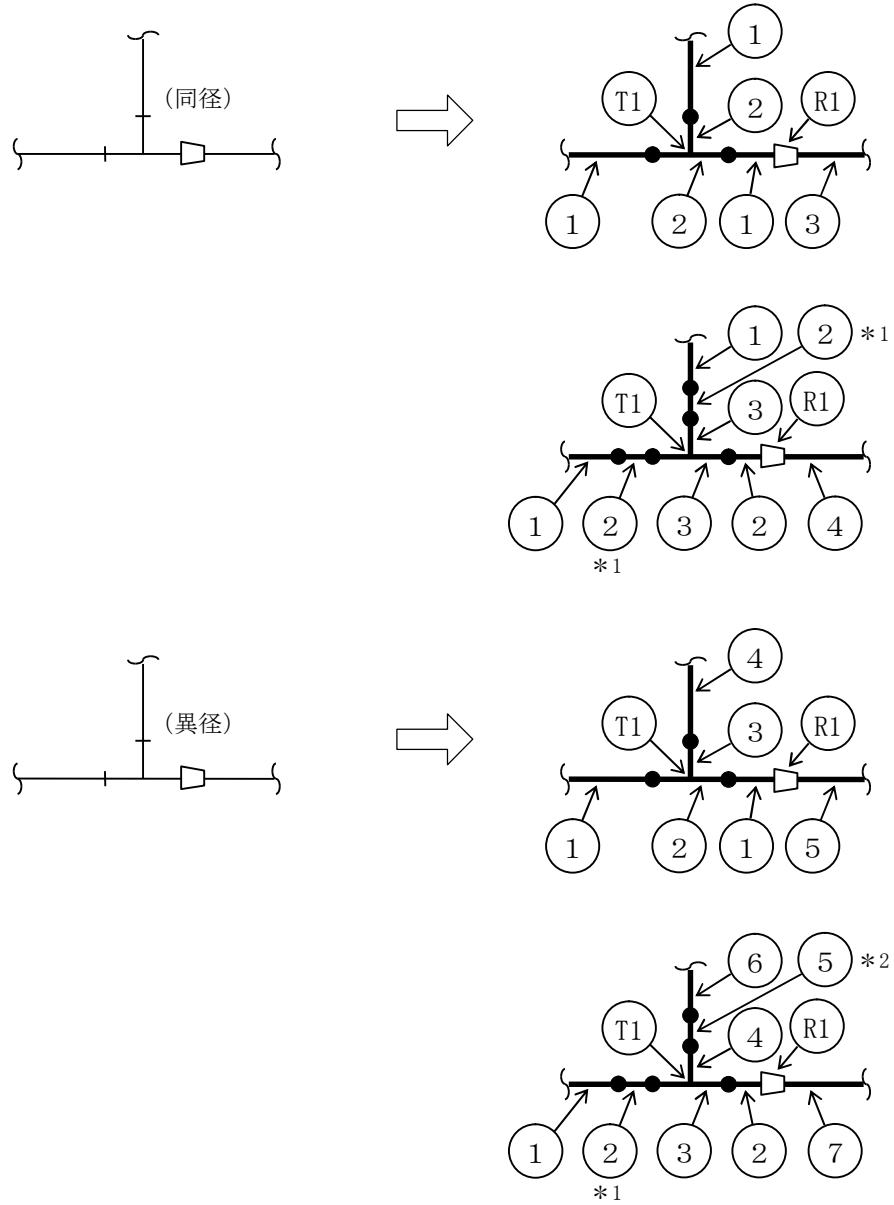
(b) 管継手の材料及び肉厚が接続配管と同じ場合



(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。

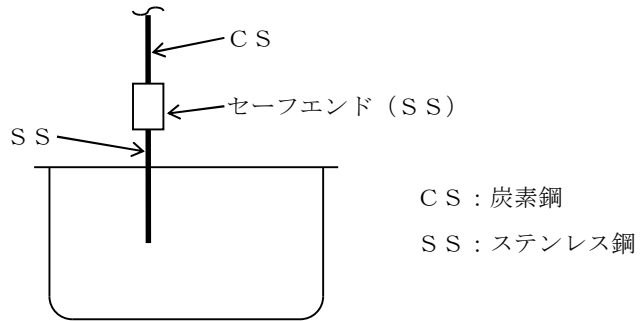
(4) フランジ

J I S B 2 2 3 8, 2 2 3 9 又は 2 2 4 0 の規格に適合し, 設計・建設規格 付録材料図表 Part1 に規定される材料を使用する場合, 若しくは設計・建設規格 別表 2 に規定されるフランジを使用する場合以外は, 継手番号を付番する。

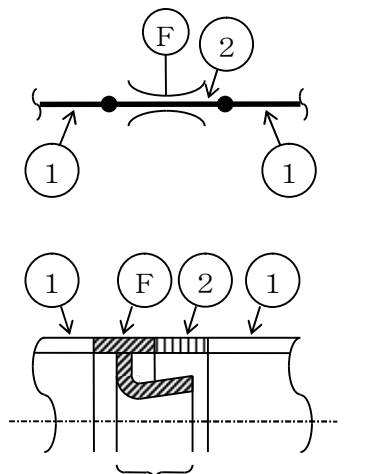
ただし, J I S 等の規格フランジに圧力検出用の穴をあけた場合, 規格フランジとして扱う。

(5) その他

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



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



ベンチュリと一体の部分は計測器扱いとし, 管番号は付番しない。

別紙 2 管の基本板厚計算書のフォーマット

1. 管の基本板厚計算書の書式例
書式例を次頁以降に示す。

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

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																

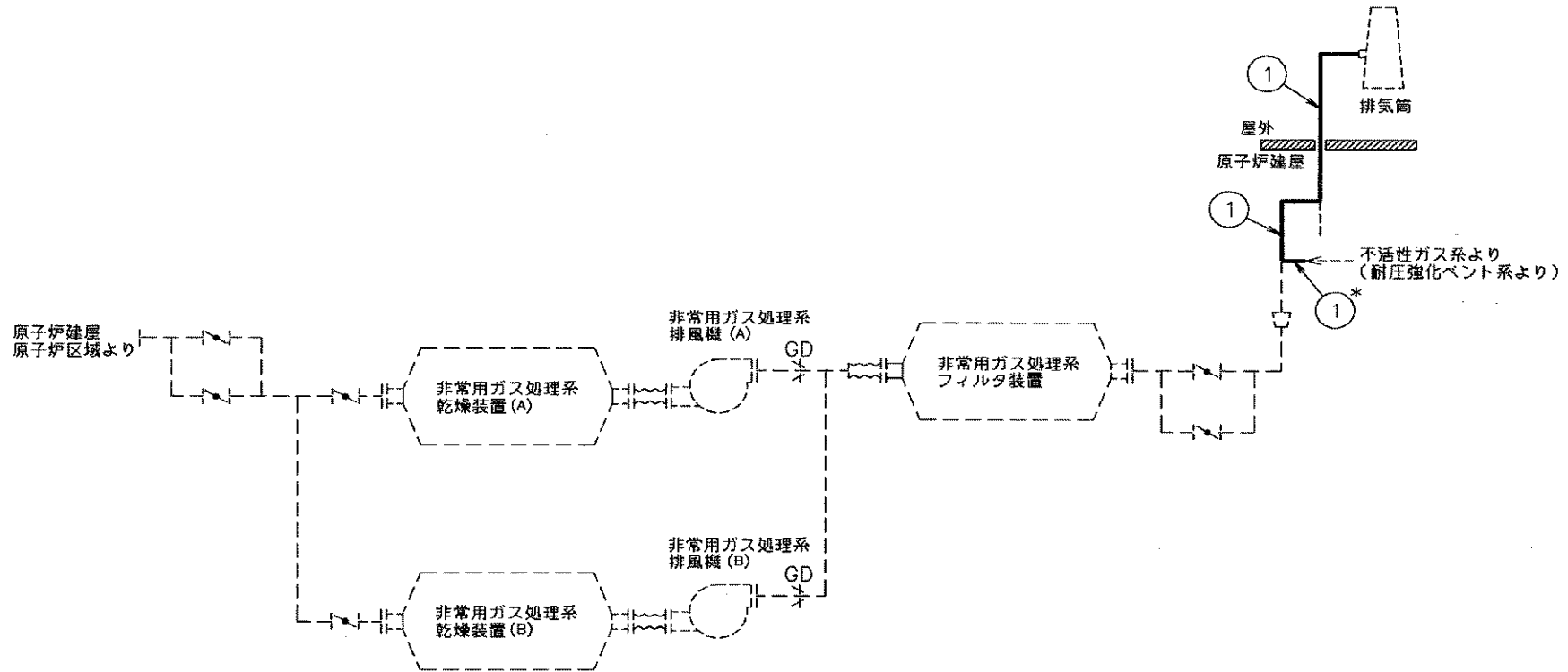
・適用規格の選定

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

目 次

1. 概略系統図
2. 管の強度計算書

1. 概略系統図



注記*：管継手
非常用ガス処理系概略系統図

2. 管の強度計算書（重大事故等クラス2管）

設計・建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°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														
11														

評価：t_s ≥ t_r, よって十分である。

管の穴と補強計算書（重大事故等クラス2管）

設計・建設規格 PPC-3420 準用

NO.	T2	A_r (mm ²)	
形 式		A_0 (mm ²)	
最高使用圧力 (MPa)		A_1 (mm ²)	
最高使用温度 (°C)		A_2 (mm ²)	
主管と管台の角度 (°)		A_3 (mm ²)	
		A_4 (mm ²)	
主管材料		評価： $A_0 > A_r$ よって十分である。	
S_r (MPa)			
D_{or} (mm)			
D_{ir} (mm)			
t_{ro} (mm)		$d_{f r D}$ (mm)	
Q_r		L_{AD} (mm)	
t_r (mm)		L_{ND} (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)		$A_{4 D}$ (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)			
t_{br} (mm)		F_1	—
		F_2	—
強め材材料		F_3	—
S_e (MPa)		S_{W1} (MPa)	—
D_{oe} (mm)		S_{W2} (MPa)	—
t_e (mm)		S_{W3} (MPa)	—
		W_{e1} (N)	—
穴の径 d (mm)		W_{e2} (N)	—
K		W_{e3} (N)	—
$d_{f r}$ (mm)		W_{e4} (N)	—
L_A (mm)		W_{e5} (N)	—
L_N (mm)		$W_{e b p}$ (N)	—
L_1 (mm)		$W_{e b p}$ (N)	—
L_2 (mm)		$W_{e b p}$ (N)	—
		評価： $W \leq 0$ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

管の穴と補強計算書 (クラス 3 配管)

設計・建設規格 PPD-3420

NO.	T3	A_r (mm^2)	
形 式		A_0 (mm^2)	
最高使用圧力 (MPa)		A_1 (mm^2)	
最高使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)		A_2 (mm^2)	
主管と管台の角度 ($^{\circ}$)		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_{AD} (mm)	
t_r (mm)		L_{ND} (mm)	
t_{rr} (mm)		A_rD (mm^2)	
η		A_0D (mm^2)	
		A_1D (mm^2)	
管台材料		A_2D (mm^2)	
S_b (MPa)		A_3D (mm^2)	
D_{ob} (mm)		A_4D (mm^2)	
D_{ib} (mm)		評価: $A_0D \geq A_rD$ よって十分である。	
t_{bn} (mm)			
Q_b			
t_b (mm)		W (N)	
t_{br} (mm)		F_1	—
		F_2	—
強め材材料		F_3	—
S_e (MPa)		SW_1 (MPa)	—
D_{oe} (mm)		SW_2 (MPa)	—
t_e (mm)		SW_3 (MPa)	—
		W_{e1} (N)	—
穴の径 d (mm)		W_{e2} (N)	—
K		W_{e3} (N)	—
d_{fr} (mm)		W_{e4} (N)	—
L_A (mm)		W_{e5} (N)	—
L_N (mm)		W_{ebp} (N)	—
L_1 (mm)		W_{ebp} (N)	—
L_2 (mm)		W_{ebp} (N)	—
		評価: $W \leq 0$ よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

VI-3-○-○-○ 管の基本板厚計算書

1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については平成**年**月**日付け**資庁第****号にて認可された工事計画のIV-**-**「管の基本板厚計算書」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・基準等	1
2. クラス2管の強度計算方法	2
2.1 計算方針	2
2.2 計算方法	2
2.2.1 解析による計算	2
2.2.2 計算式	4
2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力	6
2.2.4 計算精度と丸め方	7
3. 計算書の構成	8
3.1 管の応力計算書	8

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・基準等

適用規格及び基準を以下に示す。

- ・ 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。）
- ・ 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。）
- ・ 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管の強度計算方法

2.1 計算方針

技術基準規則解釈において、技術基準規則第17条に規定の要求に適合する材料及び構造とは、設計・建設規格によることから、クラス2管は、設計・建設規格 PPC-3500 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、「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-3 別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向を固定と扱う。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量（フランジ部含む。）の他に弁等の集中質量、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

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r}	—	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）
D_0	mm	管の外径
f	—	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力低減係数
i_1	—	設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
i_2	—	設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント
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, Z_i	mm ³	管の断面係数
Z_b	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Z_r	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数

2.2.2.2 応力計算

(1) 設計・建設規格 PPC-3500 による評価

a. 一次応力 (設計・建設規格 PPC-3520)

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

イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

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

ロ. イ. 以外の管

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

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃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

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

ロ. イ. 以外の管

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

b. 一次+二次応力 (設計・建設規格 PPC-3530)

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

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

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重 (自重その他の長期的荷重及び逃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

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

(c) (a) に対する許容応力

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

(d) (b) に対する許容応力

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

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態
クラス 2 管	原子炉格納容器 バウンダリ	P + D	供用状態 A, B
		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-3500)

状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次応力
供用状態 A, B	$1.5 \cdot S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$
	$1.8 \cdot S_h$	$S_a = 1.25 \cdot f \cdot S_c + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_h$

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2-3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
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
計算条件	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位 ^{*1}
	温度	℃	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦	—	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力 ^{*2}	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
解析結果	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
及び評価	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1位表示若しくは小数点第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。設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、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点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

(2) 概略系統図

設計及び工事の計画書に記載されている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-7 に示す。

(5) 評価結果

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-8 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-9 に示す。

・FORMAT 応-1 :

設計条件

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

鳥瞰図番号

管名称	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 :

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥瞰図番号

管名称	対応する評価点

・FORMAT 応-3 :

配管の質量(配管の付加質量及びフランジの質量を含む)

鳥瞰図番号

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

・FORMAT 応-4 :

鳥瞰図番号

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

・FORMAT 応-5 :

鳥瞰図番号

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応-6 :

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点部のばね定数を下表に示す。

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-7 :

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力評価に用いる許容応力

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-8 :

評価結果

下表に示すとおり最大応力はすべて許容応力以下である。

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	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 $S_{p r m}(1)^{*1}$ $S_{p r m}(2)^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$	計算応力 $S_n(a)^{*3}$ $S_n(b)^{*4}$	許容応力 $S_a(c)^{*5}$ $S_a(d)^{*6}$
鳥瞰図 番号	(A, B)		$S_{p r m}(1)^{*1}$	Max	$1.5 \cdot S_h$	—	—
	(A, B)		$S_n(a)^{*3}$	—	—	Max	$S_a(c)$
	(A, B)		$S_{p r m}(2)^{*2}$	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-9 :

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	供用状態(A, B) ^{*1}					供用状態(A, B) ^{*2}				
		一次応力					一次応力				
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表
1	***-1	1	**	***	*.**	—	9	**	***	*.**	—
2	***-2	2	**	***	*.**	○	10	**	***	*.**	○
3	***-3	3	**	***	*.**	—	11	**	***	*.**	—
4	***-4	4	**	***	*.**	—	12	**	***	*.**	—
5	***-5	5	**	***	*.**	—	13	**	***	*.**	—
6	***-6	6	**	***	*.**	—	14	**	***	*.**	—
7	***-7	7	**	***	*.**	—	15	**	***	*.**	—
8	***-8	8	**	***	*.**	—	16	**	***	*.**	—

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

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

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

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

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

VI-3-2-5 クラス 2 弁の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	2
1.4 計算精度と数値の丸め方	3
1.5 材料の表示方法	4
2. クラス2弁の強度計算方法	5
2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算	5
2.2 2.1項の規定に適合しない場合の計算	8
2.3 管台の最小厚さの計算	10
2.4 フランジの強度計算	11
2.4.1 ボルト締めフランジ	11
2.4.2 全面座フランジ	21
3. 添付図	26

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット

1. 一般事項

1.1 概要

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

1.2 適用規格及び基準との適合性

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

設計・建設規格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 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
VVC-3200 耐圧部の設計		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3220	2.2	2.1項の規定に適合しない場合の計算
VVC-3230	2.3	管台の最小厚さの計算
VVC-3300 弁の応力評価		フランジの強度計算
VVC-3310 (a)*	2.4	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVC-3310 (b)*	2.4	フランジボルトの応力解析

注記*：設計・建設規格 VVC-3310による計算は、接続管の外径が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 6 5 (2003)		2.4	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造一般事項」			
附属書3 (規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
附属書4 (規定)	3		
「全面形非金属ガスケットを用いる全面座フランジ」	4		

注記* : 設計・建設規格 W C - 3 3 1 0 により J I S B 8 2 6 5 (2 0 0 3) 「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
	設計・建設規格別表1-1に規定する許容圧力	MPa	—*1 (小数点以下第3位)	—*1 (四捨五入)	小数点以下第2位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
応力	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
長さ	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
	実際の長さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	ボルト谷径	mm	—	—	小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面積	総断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	実際の断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	弁操作力による反力	N	—	—	整数位
	上記以外の力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		°	—	—	小数点以下第1位

注記*1：設計・建設規格 別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法により補間して求める場合は、()内を適用する。

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

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

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

相当材記号 相当（当該材記号）

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)

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

(例) SNB7 (径 \leq 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. クラス2弁の強度計算方法

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

2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

設計・建設規格 VVC-3210を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d_m	d_m	図3-1に示す弁入口流路内径	mm
d_n	d_n	図3-1に示すネック部の内径	mm
l	l	$\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ の場合、図3-2に示すネック部の厚さが t 以上必要な部分の範囲	mm
P	P	最高使用圧力	MPa
P_1	P_1	最高使用温度における設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
P_2	P_2	最高使用温度における設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	MPa
t	t	弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ	mm
t_1	t_1	設計・建設規格 別表3の呼び圧力（設計・建設規格 別表1-1において P_1 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm
t_2	t_2	設計・建設規格 別表3の呼び圧力（設計・建設規格 別表1-1において P_2 に対応する呼び圧力をいう。）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	mm

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

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

注記：最高使用圧力が最高使用温度における設計・建設規格 別表1-1に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合は，弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの計算上必要な厚さ t は，設計・建設規格 別表3の呼び圧力（1.03MPa）の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。

- b. ネック部の計算上必要な厚さ

- (a) $\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5$ 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	℃
	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

設計・建設規格 VVC-3310を適用する。

(1) 記号の説明

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
A	A	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g 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 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
f	f	ハブ応力修正係数 （J I S B 8 2 6 5 附属書3 図4又は表4による。）	—
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G s	ガスケット接触面の外径	mm
g o	g o	ハブ先端の厚さ	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	H	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
h	h	ハブの長さ	mm
H D	H D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
h D	h D	ボルト穴の中心円から H D 作用点までの半径方向の距離	mm
H G	H G	ガスケット荷重	N
h G	h G	ボルト穴の中心円から H G 作用点までの半径方向の距離	mm
h o	h o	$\sqrt{B \cdot g o}$	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 8265 附属書3 表2による。)	—
M_D	M_D	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメント	N・mm
	M_e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N・mm
M_G	M_G	ガスケット荷重によるモーメント	N・mm
M_g	M_g	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N・mm
M_o	M_o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N・mm
M_T	M_T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント	N・mm
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8265 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
	P	最高使用圧力	MPa
	$P_{e q}$	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

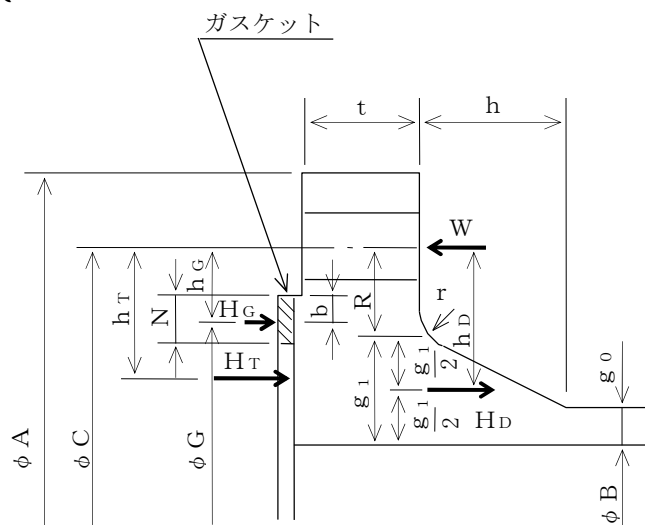
J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
P	P _{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径 方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*

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 6 5は「N/mm²」を使用しているが，設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式



(J I S B 8 2 6 5 附属書3 図2 b) 7)

注1：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

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

図2-1 一体形フランジ

a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) $b_o \leq 6.35\text{mm}$ の場合

$$G = G_s - N$$

$$b = b_o$$

(b) $b_o > 6.35\text{mm}$ の場合

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

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

ここで、

$$b_o = N / 2$$

b. フランジ設計圧力

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

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

c. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

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

(b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

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

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

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

$$H_G = W_o - H$$

$$H_T = H - H_D$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

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

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

注記* : クラス2弁には、一体形フランジを採用する。

h. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$\begin{aligned} M_D &= H_D \cdot h_D \\ M_G &= H_G \cdot h_G \\ M_T &= H_T \cdot h_T \\ M_o &= M_D + M_G + M_T \end{aligned}$$

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: 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_{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

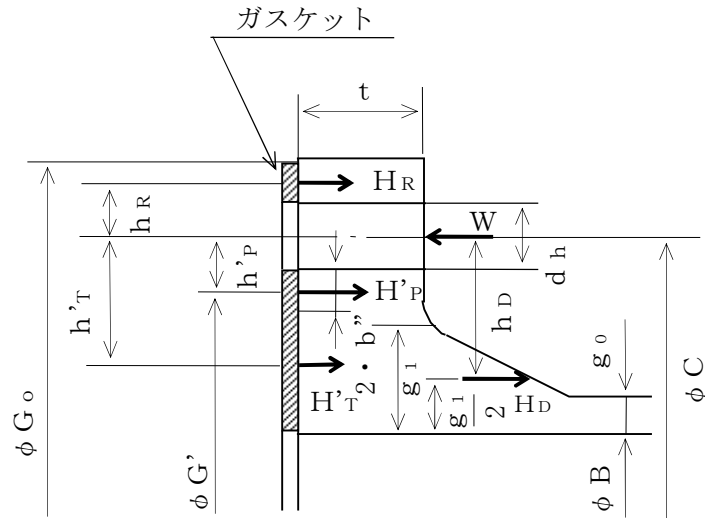
J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの所要総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
b'°	b'°	G _o -C, ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
b'	b'	$4 \cdot \sqrt{b'°}$, ガスケット締付時におけるガスケット座の有効幅	mm
2b''	2・b''	使用状態におけるガスケット座の有効幅。2・b''=5mm	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d _h	d _h	ボルト穴の直径	mm
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
G'	G'	$C - (d_h + 2 \cdot b'')$, ガスケット圧縮力H' _P の位置の直径	mm
G _o	G _o	ガスケット外径とフランジ外径の小さい方の値	mm
g ₁	g ₁	フランジ背面のハブの厚さ	mm

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_o	M_o	$H_R \cdot h_R$, 使用状態でフランジに作用する全モーメント	N・mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
t	t_{fl}	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm

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



(J I S B 8 2 6 5 附属書4 図1)

注1：ここに示すフランジ形式は基本形式とする。

注2：Wは、 W_{m1} 及び W_{m2} のボルト荷重を表す。

図2-2 全面座フランジ

a. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H'_P + H_R$$

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_h)^2 \cdot P_{FD}$$

$$H'_P = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G' \cdot m \cdot P_{FD}$$

$$H_R = \frac{H_D \cdot h_D + H'_T \cdot h'_T + H'_P \cdot h'_P}{h_R}$$

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

$$h_D = \frac{(C - B)}{2} - 0.5 \cdot g_1$$

$$H'_T = H' - H_D$$

$$h'_T = \frac{(C + d_h + 2 \cdot b'') - B}{4}$$

$$h'_P = \frac{d_h + 2 \cdot b''}{2}$$

$$h_R = \frac{G_0 - (C + d_h)}{4} + \frac{d_h}{2}$$

- (b) ガasket縮付時に必要なボルト荷重

$$W_{m2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$$

- b. ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

- c. フランジの計算厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_o}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot d_h)}}$$

- (3) 評価

全面座フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

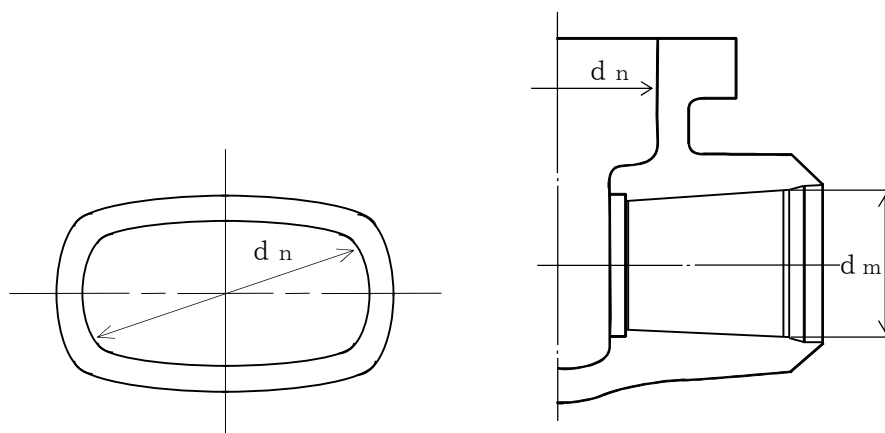
- a. ボルトの総有効断面積

$$A_b > A_m$$

- b. フランジの厚さ

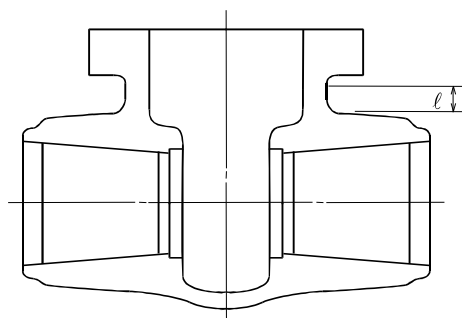
$$t_{fl} \geq t$$

3. 添付図



注：本図は設計・建設規格 VVB-3210の解説図VVB-3210-3と同じ。

図3-1 d_m 及び d_n を明示した図



l の範囲は、ネック部と流路部の
交わる部分を基点としてネック部
方向にとるものとする。

注：本図は設計・建設規格 VVC-3210の図VVC-3210-1と同じ。

図3-2 ネック部の l の範囲

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット

VI- - - - ○○○○○○○○○○○○○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-3「クラス2機器の強度計算の基本方針」並びにVI-3-2-5「クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、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. クラス2弁
1.1 設計仕様
1.2 強度計算書

1. クラス2 弁

1.1 設計仕様

系統：

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

1.2 強度計算書

系統： _____

弁番号		シート	
-----	--	-----	--

設計条件		ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)		d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ		ℓ (mm)	
弁箱材料		t_{m1} (mm)	
弁ふた材料		t_{m2} (mm)	
P_1 (MPa)		t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)		t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ 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	
-----	--	-----	--

K6 ① VI-3-2-5 別紙 ROE

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
P_{FD} (MPa)		H_D (N)	$\times 10^5$
P_{eq} (MPa)		h_D (mm)	
T_m (°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)	$\times 10^7$
		M_o (N・mm)	$\times 10^7$
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		M_g (N・mm)	$\times 10^8$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	
C (mm)		h_o (mm)	
g_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	
		T	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		U	
		Y	
n		Z	
d_b (mm)		応力の計算	
ガスケット		σ_{Ho} (MPa)	
材料		σ_{Ro} (MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ_{To} (MPa)	
G (mm)		σ_{Hg} (MPa)	
m		σ_{Rg} (MPa)	
y (N/mm ²)		σ_{Tg} (MPa)	
b_o (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
G_s (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$\times 10^6$		
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_s (N)	$\times 10^6$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

VI-3-2-6 クラス 3 容器の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準とその適合性	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 開放タンクの構造及び強度	6
2.2.1 開放タンクの胴の計算	6
2.2.2 開放タンクの底板の計算	7
2.2.3 開放タンクの管台の計算	9
2.2.4 開放タンクの胴の穴の補強計算	10
別紙 クラス3容器の強度計算書フォーマット	

1. 一般事項

1.1 概要

本資料は、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) クラス3容器の強度計算は、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。

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

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-3000 (クラス 3 容器の設計) PVD-3010 (PVC-3920 準用)	2.2.1	開放タンクの胴の計算
PVD-3010 (PVC-3950, PVC-3160 準用) PVD-3510	2.2.4	開放タンクの胴の穴の補強計算 開放タンクに穴を設ける場合の規定および補強不要となる穴の規定
PVD-3010 (PVC-3960, PVC-3970 準用)	2.2.2	開放タンクの底板の計算
PVD-3010 (PVC-3980 準用)	2.2.3	開放タンクの管台の計算

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	切り捨て	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	切り上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切り捨て	小数点以下第2位
高さ	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
	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。

*2：開放タンクの胴内径

*3：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当 (当該材記号)

(例1) SM400A 相当 (SMA400AP)

(例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11C1.1)

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

(例) STPT410-S (継目無管の場合)

- (3) 強度区分により許容引張応力が異なる場合，材料記号の後に 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

クラス3容器の強度計算において、特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

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 J S M E S N B 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 開放タンクの構造及び強度

2.2.1 開放タンクの胴の計算

ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (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 (呼び厚さ - JIS 公差) 又は胴 の実際の厚さ (検査記録)	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。	—

(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。

2.2.2 開放タンクの底板の計算

ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (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 b o	底板の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし、1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

下記(3)b項の場合で上記以外の記号については、設計・建設規格 PVC-3220 及び PVC-3310 によるものとする。

(2) 形状の制限

次のいずれかであること。

- a. 平板
- b. 設計・建設規格 PVC-3210 に規定されている鏡板

(3) 算式

開放タンクの底板に必要な厚さは次によるものとする。

- a. 地面、基礎等に直接接触するものの厚さ：t
「設計・建設規格」PVD-3010 により 3mm 以上とする。
- b. 上記以外のものの底板に必要な厚さ：t
設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3970(2)準用) を適用する。
ここで、最高使用圧力 P は次の式による値とする。

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

(a) 鏡板

設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3970(2)準用) により、設計・建設規格 PVC-3220 を準用する。

(b) 平板

設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3970(2)準用) により、設計・建設規格 PVC-3310 を準用する。

(4) 評価

底板の最小厚さ (t_b) \geq 底板の規格上必要な厚さ (t) ならば十分である。

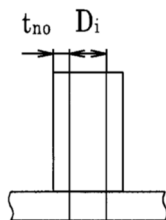
2.2.3 開放タンクの管台の計算

ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (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	管台に必要な厚さ	mm
t	t_1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_n	管台の最小厚さ	mm
	t_{no}	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし 1.00 未満の場合は 1.00 とする。	—

注記*: 管台の内径及び呼び厚さは、下図を参照。



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。

2.2.4 開放タンクの胴の穴の補強計算

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

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

(PVD-3511, PVD-3512 適用)

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

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
A	A ₀	補強に有効な総面積	mm ²
	A ₁	胴板の有効補強面積	mm ²
	A ₂	管台の有効補強面積	mm ²
	A ₃	すみ肉溶接部の有効補強面積	mm ²
	A ₄	強め板の有効補強面積	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 _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
	A _{rD}	片側断面についての穴の補強に必要な面積	mm ²
B	B _e	強め板の外径	mm
	d	胴の断面に現れる穴の径	mm
d	d _j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
	d _w	管台に取付く穴の径 (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} + α (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	胴の内径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D _{o n}	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係数	—
	F ₂	突合せ溶接の許容せん断応力係数	—
	F ₃	突合せ溶接の許容引張応力係数	—
	F ₄	管台壁の許容せん断応力係数	—
	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
	P	$P = 9.80665 \times 10^{-3} \cdot H \cdot \rho$	MPa
	S _e	強め板の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
S	S _n	管台の許容引張応力 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}	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
	S _{w2}	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
	S _{w3}	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
	S _{w4}	管台壁の許容せん断応力	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 _{n r}	t _{n r}	管台の計算上必要な厚さ	mm
t _s	t _s	胴板の最小厚さ	mm
t _{s r}	t _{s r}	胴板の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm
	W	溶接部の負うべき荷重	N
	W ₁	$W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N
	W ₂	$W_2 = (d \cdot t_{s r} - A_1) \cdot S_s$ 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：胴の外側)	N

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	W_{e2}	すみ肉溶接部のせん断力（管台取付部：胴の内側）	N
	W_{e3}	すみ肉溶接部のせん断力（強め板取付部）	N
	W_{e4}	突合せ溶接部のせん断力（胴と強め板との突合せ部）	N
	W_{e6}	突合せ溶接部の引張力（胴の部分径 D_{on} において）	N
	W_{e7}	突合せ溶接部の引張力（胴の部分径 d_w において）	N
	W_{e10}	管台のせん断力	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
	W_{ebp4}	予想される破断箇所の強さ	N
	W_{ebp5}	予想される破断箇所の強さ	N
	WELD-	管台溶接形式（図2-1，図2-2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	胴板の継手効率 穴が長手継手又は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。	—

注記*1：設計・建設規格 図 PVD-4112-3 による。

(2) 胴の補強計算

a. 管台の形状

図 2-1, 図 2-2 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示す。

b. 穴の補強

(a) 補強に必要な面積

設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3161.3 準用) を適用する。

イ. 円筒形の胴の場合

(イ) 管台の一部が胴の部分となっていない場合

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

(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

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取れない場合は, 構造上とりえる範囲とする。
また, 強め板がない場合には $t_e = 0$ とする。

(c) 補強に有効な面積

設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110 (設計・建設規格 PVC-3161.2 準用) を適用する。

イ. 胴の部分の補強に有効な面積

(イ) 管台の一部が胴の部分となっていない場合

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

(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

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

(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
設計・建設規格 PVD-3010 及び PVD-3110 (設計・建設規格 PVC-3165 準用) を適用する。

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

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

- イ. 補強に必要な面積の 2 分の 1

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

- ロ. X_1 又は X_2 のいずれか小さい方の断面における補強に有効な面積

- (イ) 胴の部分の補強に有効な面積

管台の一部が胴の部分となっていない場合

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

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

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 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。

d. 溶接部の強度

設計・建設規格 PVD-3010 (設計・建設規格 PVC-3168 及び PVC-3169 準用) を適用する。

(a) 溶接部の負うべき荷重

次の2つの計算式 (W_1 及び W_2) により求めた荷重のうちいずれか小さい方

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

管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{e7} = \pi \cdot d_w \cdot t_s \cdot S_{w3} / 2$$

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

(d) 予想される破断箇所の強さ

イ. WELD-12 の場合

$$W_{e_{bp1}} \leftarrow \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{e_{bp2}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{e_{bp3}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6}$$

$$W_{e_{bp4}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{e_{bp5}} \leftarrow \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ロ. WELD-18 の場合

$$W_{e_{bp1}} \leftarrow \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{e_{bp2}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e7}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{e_{bp3}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e6}} \textcircled{W_{e2}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$\cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$W_{e_{bp4}} \leftarrow \textcircled{W_{e3}} \textcircled{W_{e4}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$W_{e_{bp5}} \leftarrow \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e10}} \cdots \cdots \cdots \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

(3) 評価

胴の穴の補強は、下記の条件を満足すれば十分である。

$$A_0 > A_r$$

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

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

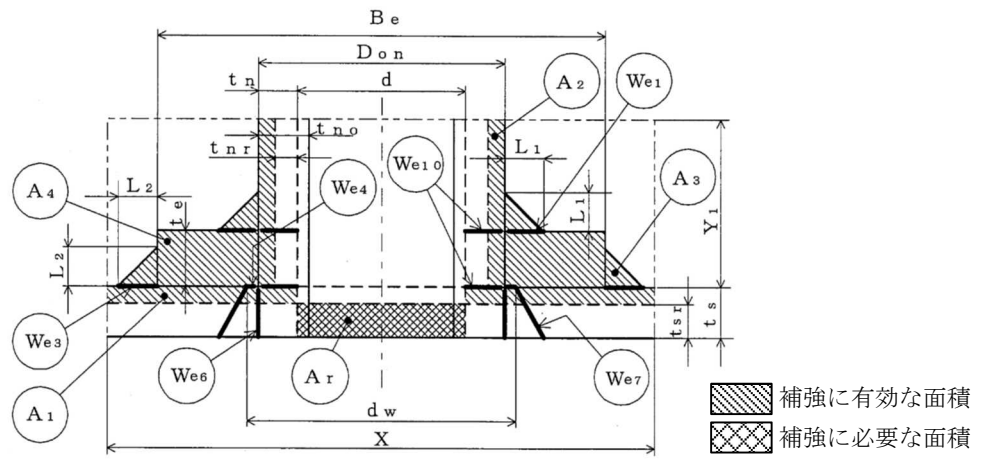


図 2-1 管台接続形状図 (WELD-12)

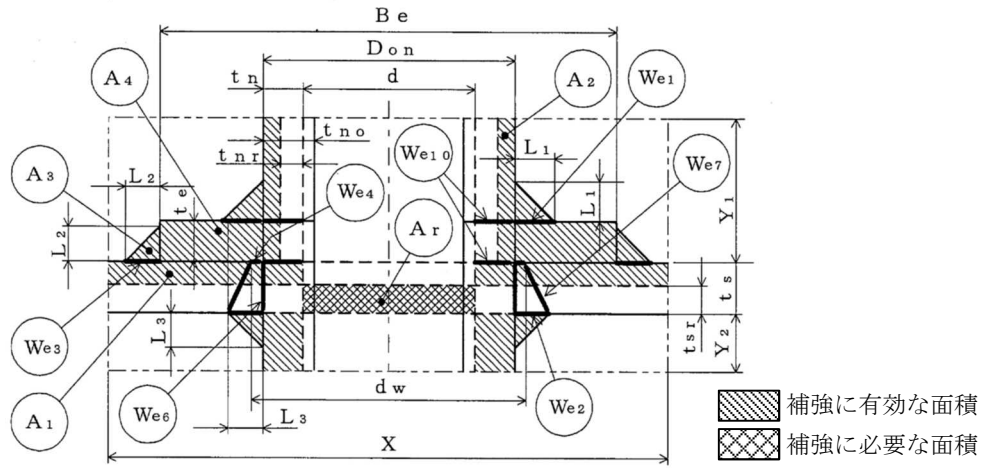


図 2-2 管台接続形状図 (WELD-18)

別紙 クラス 3 容器の強度計算書フォーマット

VI-3-*-*-*-* 〇〇〇の強度計算書

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-3-2-6「クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

目 次

1. 計算条件.....

1.1 計算部位

1.2 設計条件.....

2. 強度計算.....

2.1 ○○○○○○○○の強度計算.....

2.2 △△△△△△△△の強度計算.....

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

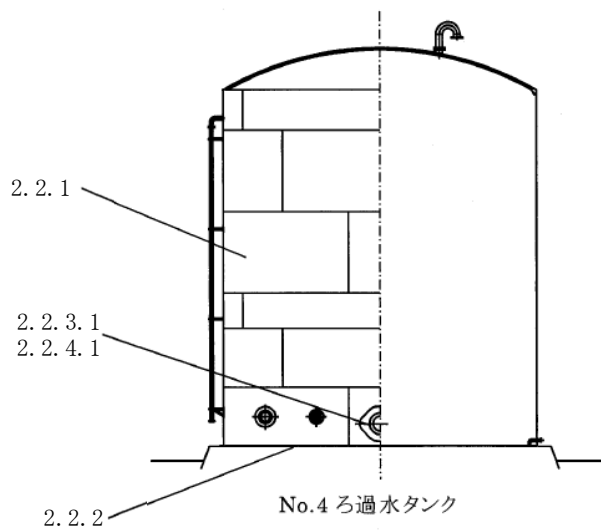
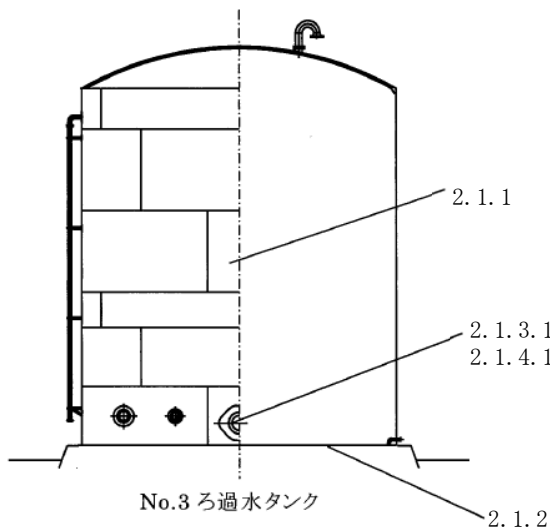
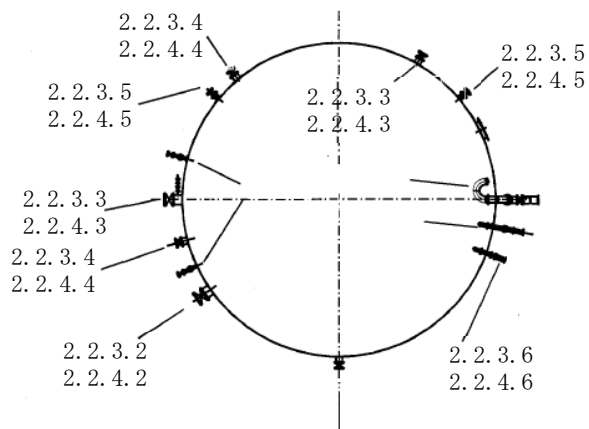
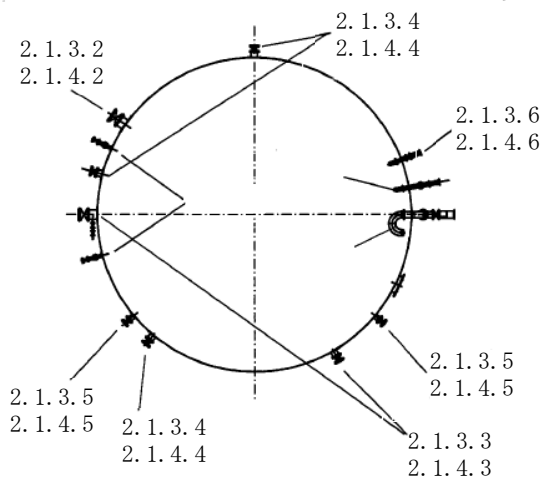


図 1-1 No. 3 ろ過水タンク 概要図

図 1-2 No. 4 ろ過水タンク 概要図

図中の番号は次ページ以降の
計算項目番号を示す。

1.2 設計条件

表 1-1 設計条件

最高使用压力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 開放タンクの強度計算

2.1.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		
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 _{so}	(mm)
最小厚さ (t _{so} - JIS 公差) 又は実際の厚さ (検査記録)	t _s	(mm)
評価: t _s ≥ t, よって十分である。		

2.1.2 開放タンクの底板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960, PVC-3970 準用)

(1) 設計・建設規格 PVC-3960

底板の形状	
-------	--

(2) 設計・建設規格 PVC-3970

底板名称	
材料	
必要厚さ	t (mm)
呼び厚さ	t _{b o} (mm)
最小厚さ	t _b (mm)
評価	: t _b ≥ t, よって十分である。

2.1.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

2.1.3.1 側マンホール

管台名称		
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 ≥ t, よって十分である。		

2.1.4 開放タンクの胴の穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

2.1.4.1 側マンホール

参照附図 WELD-18

管台名称		
胴板材料		
管台材料		
強め板材料		
最高使用圧力	P	(MPa)
最高使用温度		(°C)
胴板の許容引張応力	S_s	(MPa)
管台の許容引張応力	S_n	(MPa)
強め板の許容引張応力	S_e	(MPa)
穴の径	d	(mm)
管台が取付く穴の径	d _w	(mm)
胴板の最小厚さ	t _s	(mm)
管台の最小厚さ	t _n	(mm)
胴板の継手効率	η	
係数	F	
胴の内径	D _i	(mm)
胴板の計算上必要な厚さ	t _{s r}	(mm)
管台の計算上必要な厚さ	t _{n r}	(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 _{o n}	(mm)
溶接寸法	L ₁	(mm)
溶接寸法	L ₂	(mm)
溶接寸法	L ₃	(mm)

管台名称			
胴板の有効補強面積	A_1	(mm^2)	
管台の有効補強面積	A_2	(mm^2)	
すみ肉溶接部の有効補強面積	A_3	(mm^2)	
強め板の有効補強面積	A_4	(mm^2)	
補強に有効な総面積	A_0	(mm^2)	
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

管台名称		
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_{e6}	(N)
突合せ溶接部の引張力	W_{e7}	(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。		

VI-3-2-7 クラス 3 管の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	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。

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) 「ねじ込み式可鍛铸铁製管継手」
- 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) 「ダクタイル铸铁異形管」

- (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) 「铸铁製管フランジ通則」
- 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って当該継手が十分な強度を有する機械的な締付けにより行われ、かつ、漏えいを防止する方法によるものに限る。）とする。ただし、継手部に著しい配管反力が生じる場合は、ねじ込み継手又は機械的継手としない。

表1-1 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 各条項 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
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))

告示第501号 各条項 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
PPD-3415.2 (鏡板) PPD-3415.2(1) PPD-3415.2(2)	2.4	鏡板の強度計算
第64条第7項 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 8265 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 附属書3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」	2	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 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 付録材料図表及び告示第501号 別表に記載された温度の間における許容引張応力及び設計降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。（告示第501号は非SI単位をSI単位に換算する。）

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
 設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当 (当該材記号)

- (例1) SM400A 相当 (SMA400AP)
 (例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)

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

(継目無管：S，溶接管：W)

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

(例)

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

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

(例) SS400 (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た場合は“—●—”のように表示する。

2. クラス3管の強度計算方法

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

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設規格の記号	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。

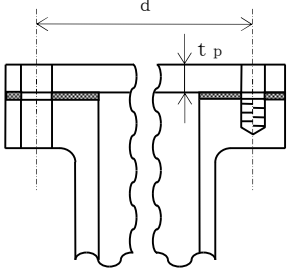
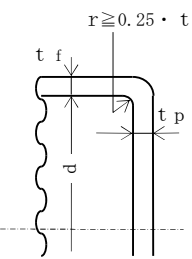
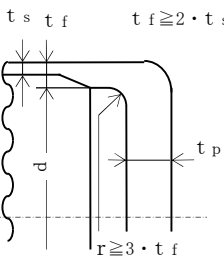
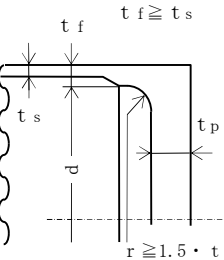
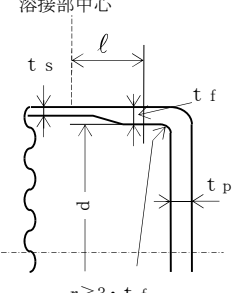
(1) 記号の説明

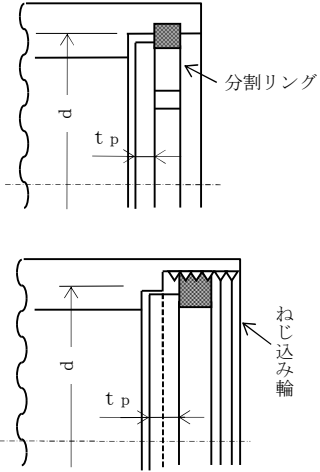
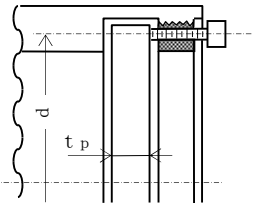
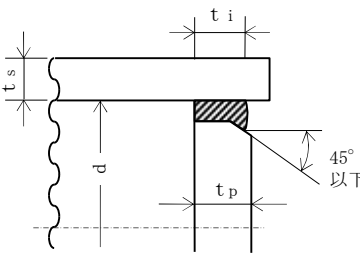
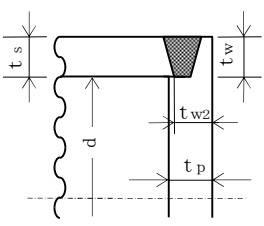
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b ₀	b ₀	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPD-3413-1に規定する方法によって測った平板の径又は最小内のり	mm
d _b	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
	d _h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
H _P	H _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
h _g	h _g	ボルトのピッチ円の直径と d との差の2分の1	mm
K	K	平板の取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	t _r / t _s	—
m	m _g	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	—
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm

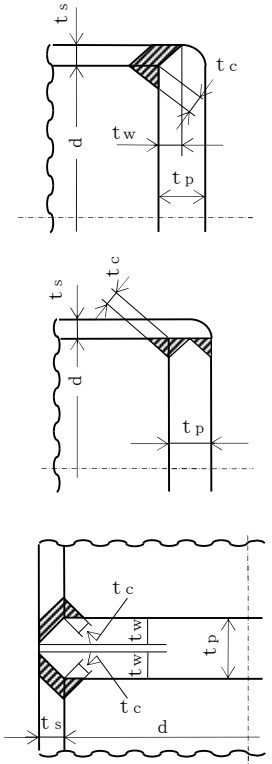
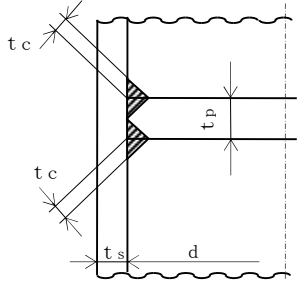
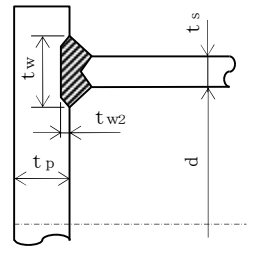
設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_a	S _a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	S _b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
	S _x	ボルトの許容引張応力 (S _a 又は S _b のいずれか小さい方の値)	MPa
	S ₁	最高使用温度におけるねじ込み輪, 分割リング等の機械的装置の材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t _c	t _c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t _f , t	t _f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t _w	t _i	平板ののど厚	mm
t _n	t _n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t _p	平板の最小厚さ	mm
	t _{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 ₀	W ₀	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm ²

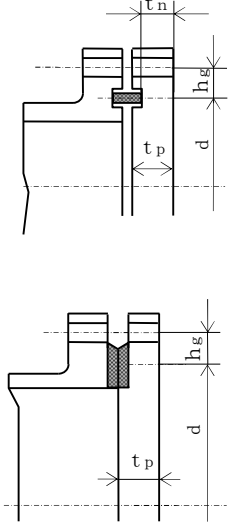
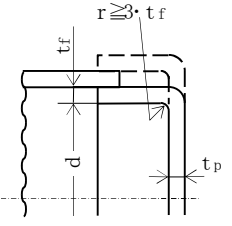
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
π (a)~(o)	π	円周率	—
	σ _p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット（非石綿）（ステンレス鋼）	—
	ガスケット座面の形状	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	平板の取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1による。	—
	3A~30	取付け方法の表示区分	

(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JIS B 8265 附属書3 表3による。

$$d = G$$

(b) 計算上必要なボルト荷重

イ. 使用状態で必要なボルト荷重

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

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

$$W = H$$

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

ただし、 P は2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

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

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

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

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

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

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

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_o = W_{m1} \quad (\text{使用状態})$$

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

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

(e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力

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

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

(a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

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

$b_o \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

$b_o > 6.35 \text{ mm}$ の場合

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

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

ただし、 b_o は J I S B 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 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 $R_D = R + (\text{最小厚さ})$	mm
R	R _R	半だ円形鏡板の外面の長径 $R_R = D + 2 \cdot (\text{最小厚さ})$	mm
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t _c	鏡板の最小厚さ	mm
	t _{c o}	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	tとして用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 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
	$D_{o\ell}$	大径端側の外径	mm
K	K	設計・建設規格 PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1 より求めた係数	—
r, r_o, r_s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径 (円すいの丸みの外半径)	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表 6による。	MPa
S	S_1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図 表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍、又は設 計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める 値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	MPa
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t_1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	レジューサの最小厚さ	mm
	$t_{s\ell}$	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
	算 式	tとして用いる値の算式(計算上必要な厚さが最大 となる算式)	—
	端部記号	大径端, 小径端及びフランジ部を示す名称	—

(2) 算式

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

- a. 円すいの部分（内面に圧力を受けるもの）

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

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

- b. すその丸みの部分（内面に圧力を受けるもの）

大径端側

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

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

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 PPD-3415.1(3)の式PPD-1.11より求めた値

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

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

- c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPD-3411により求めた値

(a) 内面に圧力を受ける管 (C)

(b) 外面に圧力を受ける管 (C')

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')

(a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分（外面に圧力を受けるもの）

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

(a) 円すいの頂角の2分の1が22.5° 以下のもの

イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

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

ただし、 $D_o = D_{ol}$ 、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 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 穴が管の長手継手を通る場合 穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る場合 穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場合 設計・建設規格 PVD-3110に規定する効率 その他の場合は1.00とする。	—	

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
鏡板の記号	B	B	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20 により求めた値 (Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t_{br} 及び t_{cr} となる。)	—
		D	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 _{co}	平板の呼び厚さ	mm
	t _{sr} , t _{r2}	t _{cr}	平板の計算上必要な厚さ	mm
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表 PPD-3413-1による。	—
(a)~(o)	3A~30	取付け方法の表示区分		

	設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共通記号 (管の穴と補強計算)	A	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A ₁	穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A ₂	穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm ²
		A ₄	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm ²
	A _r	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{rD}	大穴の補強に必要な面積	mm ²
		A _{0D}	大穴の補強に有効な面積の総和	mm ²
		A _{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm ²
		A _{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm ²
	A _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_{e3}	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	N
		W_{e4}	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	N
		W_{e5}	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	N
		W_{ebp1}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp2}	予想される破断箇所の強さ	N
		W_{ebp3}	予想される破断箇所の強さ	N
		α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	°
		π	円周率	—
		形 式	管台の取付け形式	—

(2) 計算手順及び算式

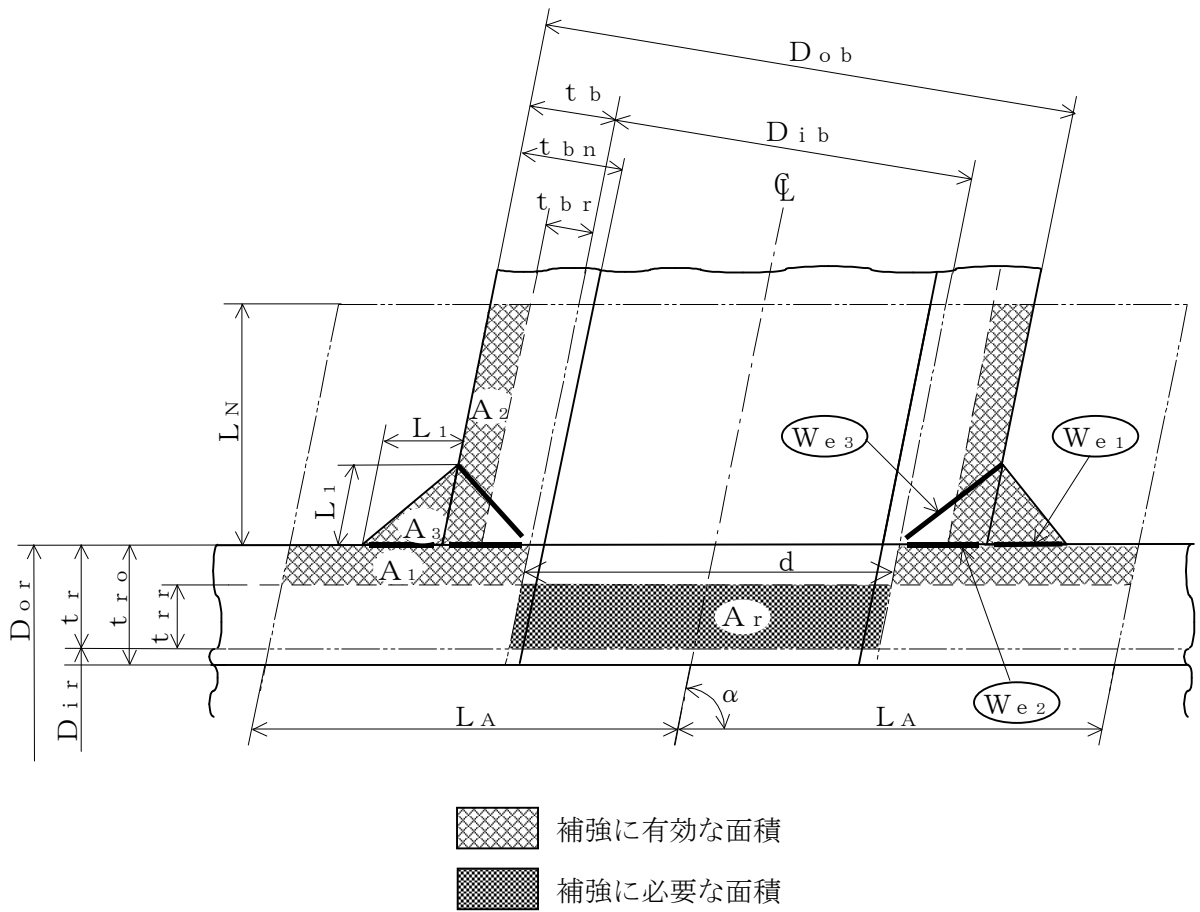
a. 穴の形状

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

b. 管台の取付け形式

図2-1～図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

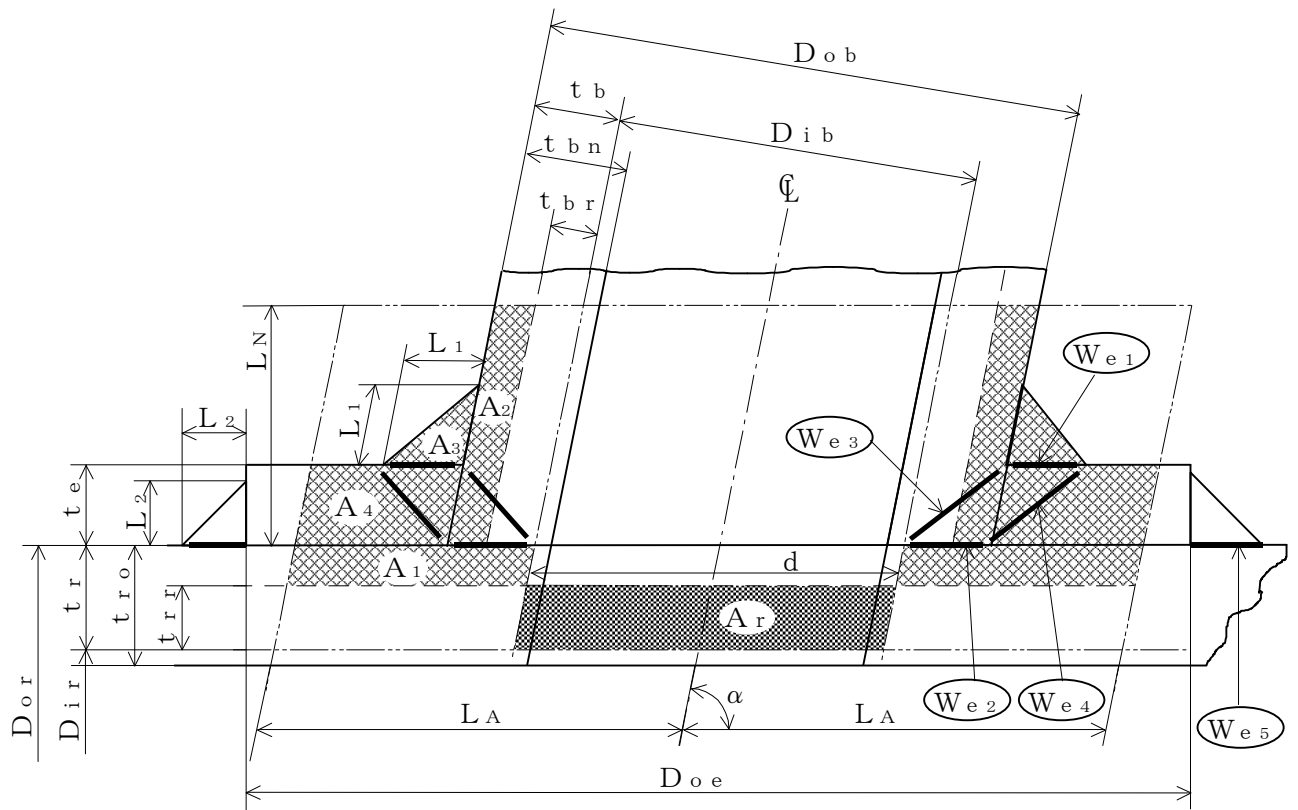
ただし、すみ肉溶接部分の破断箇所については、両方の脚長が等しいため、片側の脚長の破断形式のみを図示する。





予想される破断形式

- We₃ を通る破断
- We₁ We₂ を通る破断

図2-1 A形 (強め材のない場合)



-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

予想される破断形式







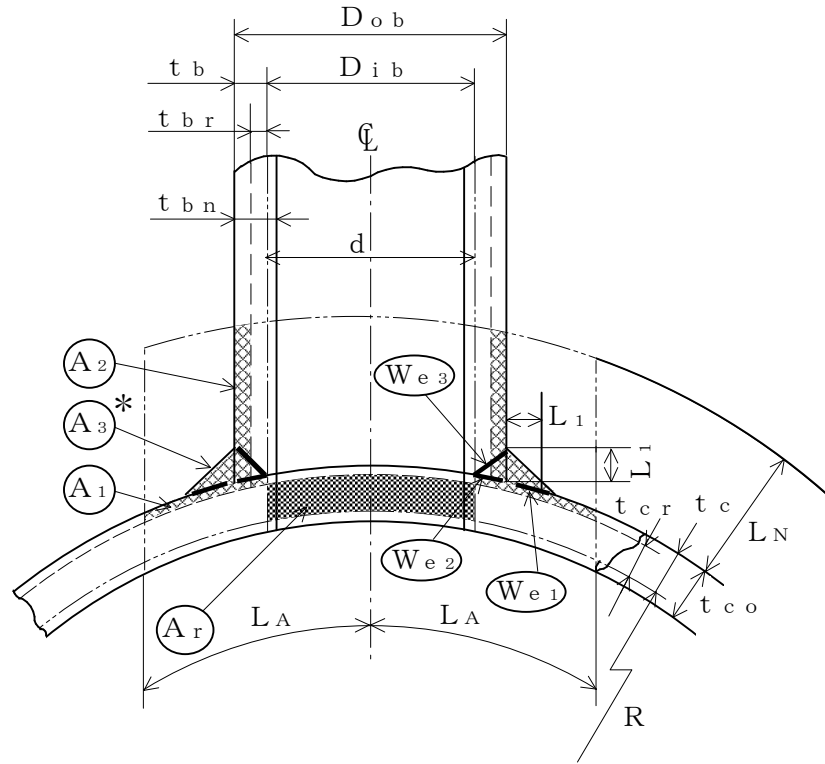


-   を通る破断
-   を通る破断
-   を通る破断

図2-2 B形 (強め材のある場合)



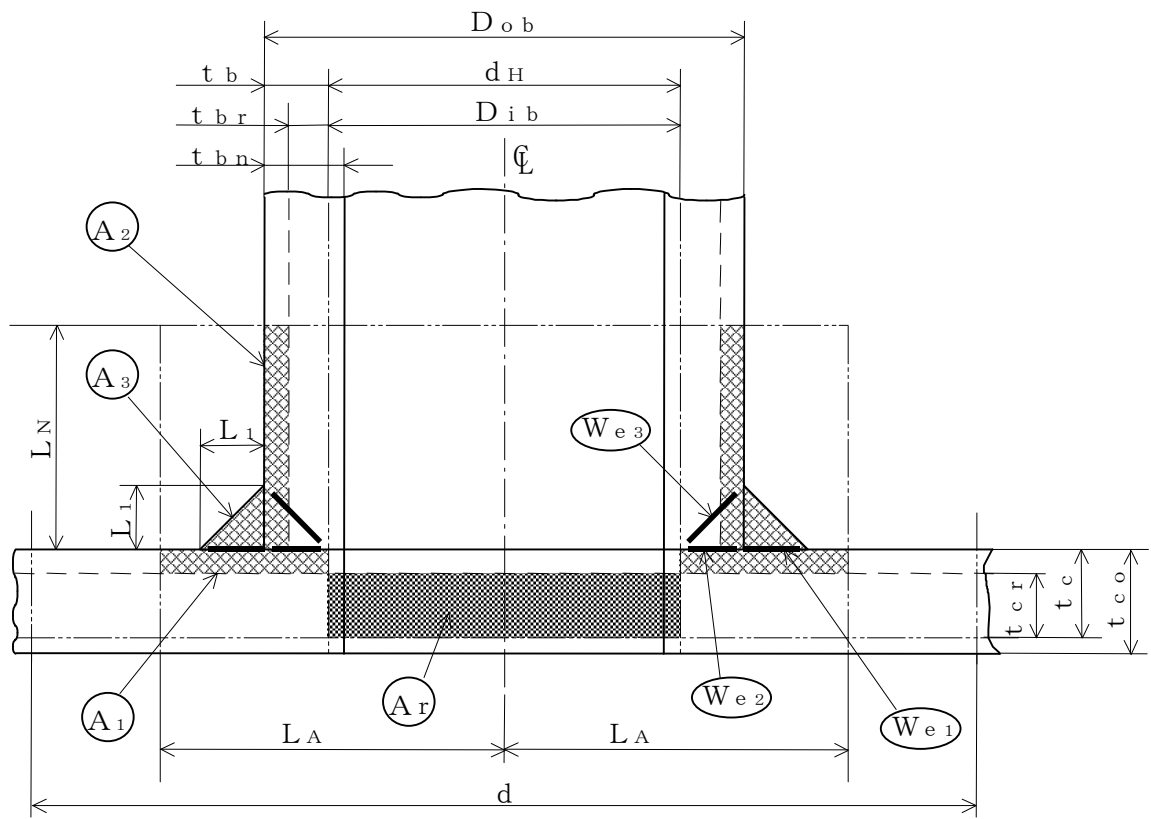
 補強に有効な面積
 補強に必要な面積



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)

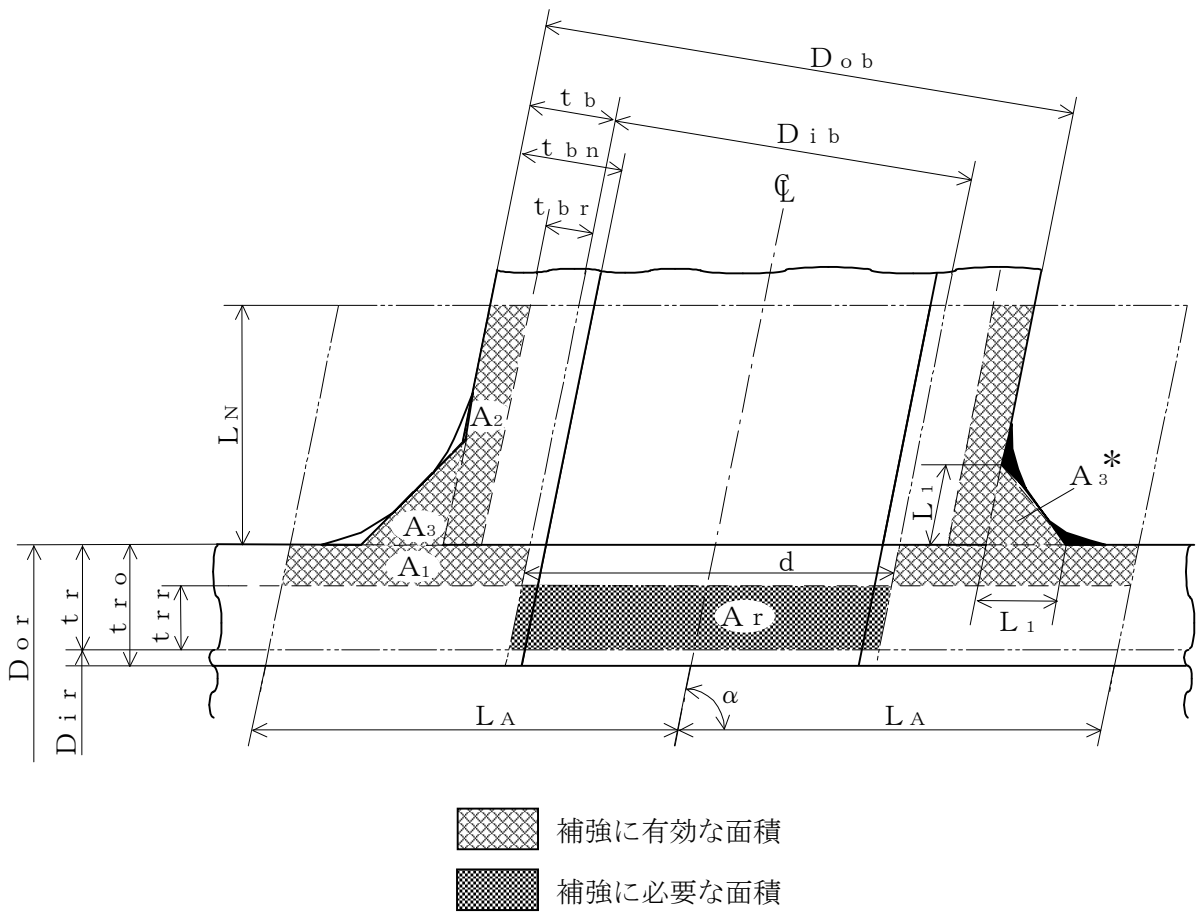


 補強に有効な面積
 補強に必要な面積

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 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 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

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

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

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

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

(強め材が有効範囲 L_A 内にある場合)

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

(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。

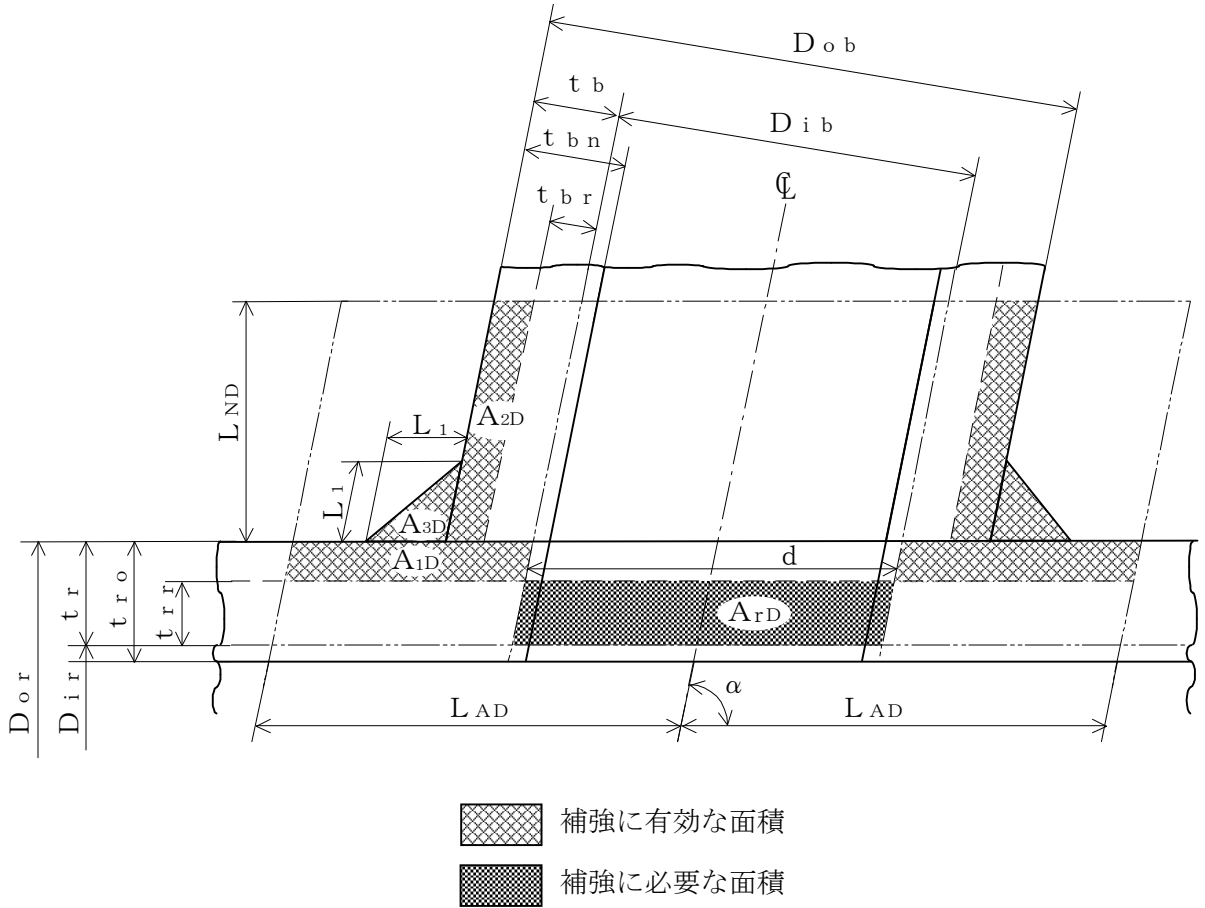


図2-6 A形 (強め材のない場合)

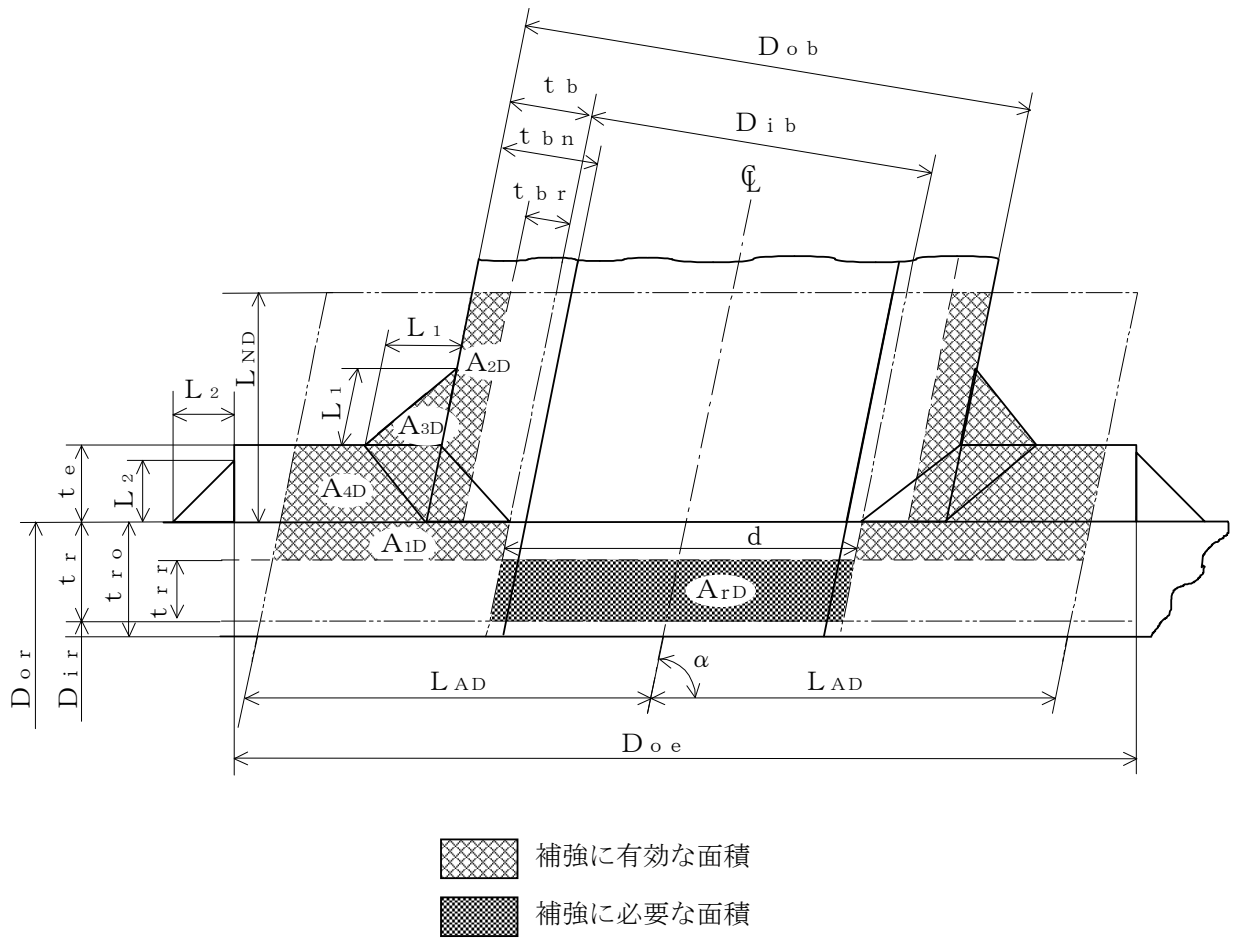
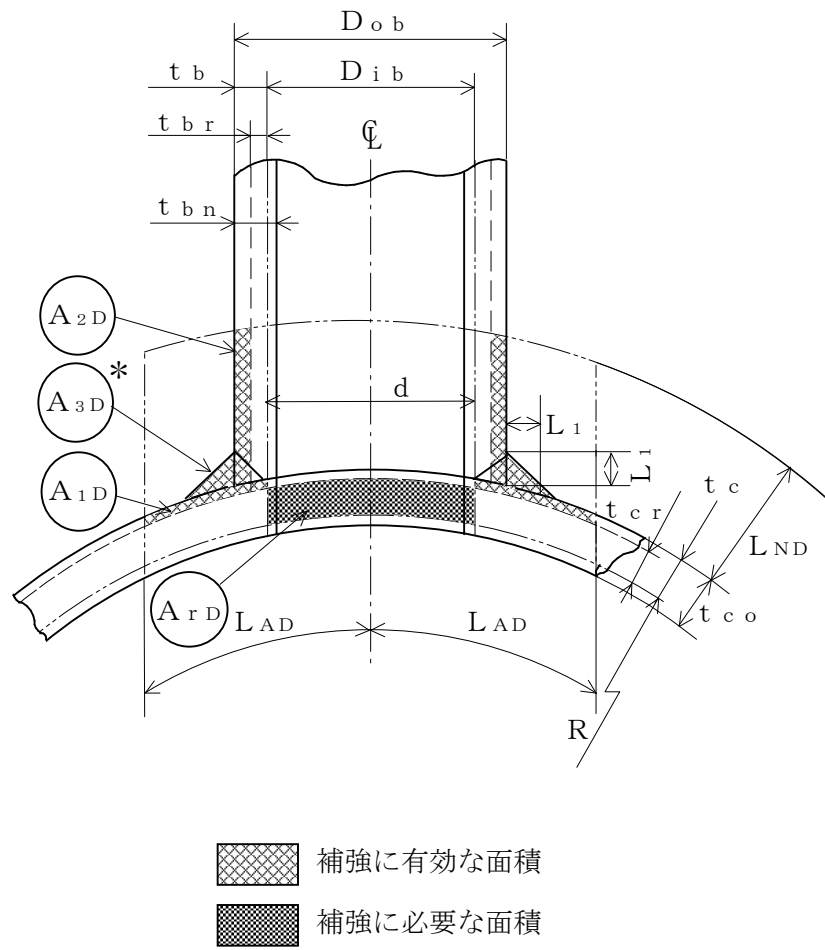


図2-7 B形（強め材のある場合）



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

図2-8 A形（鏡板で強め材のない場合）

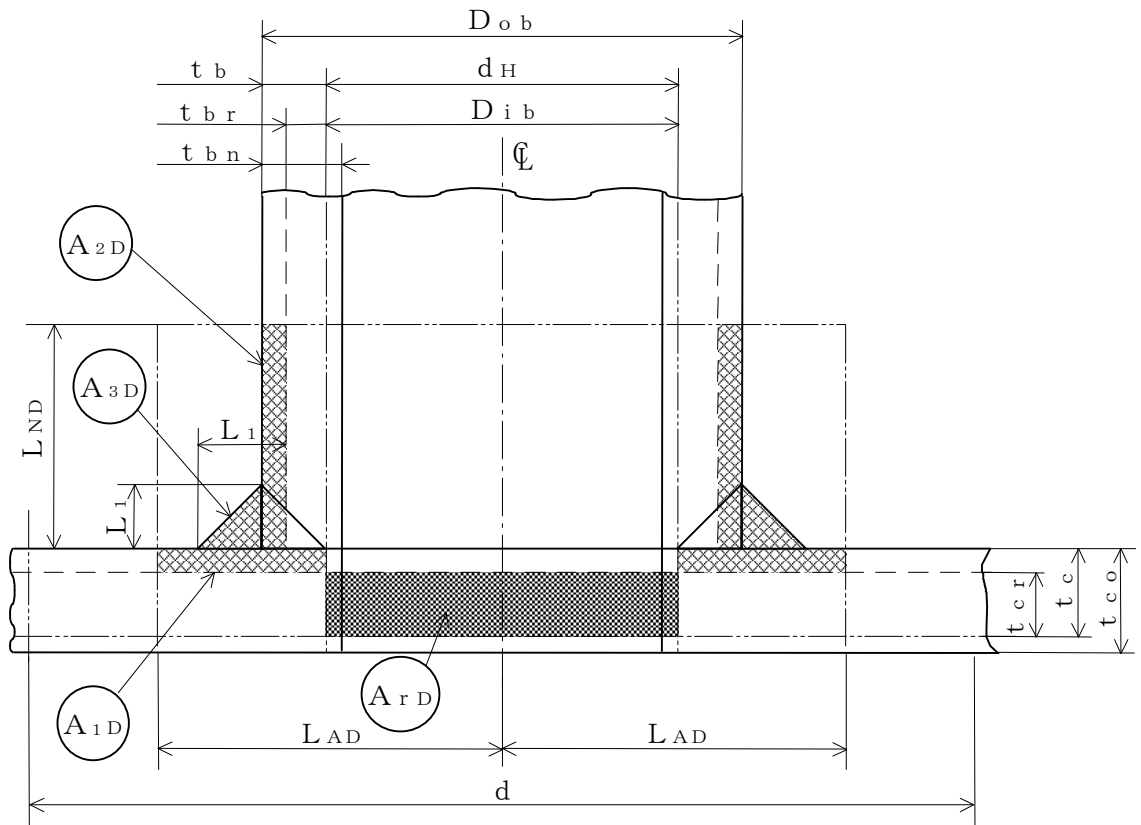
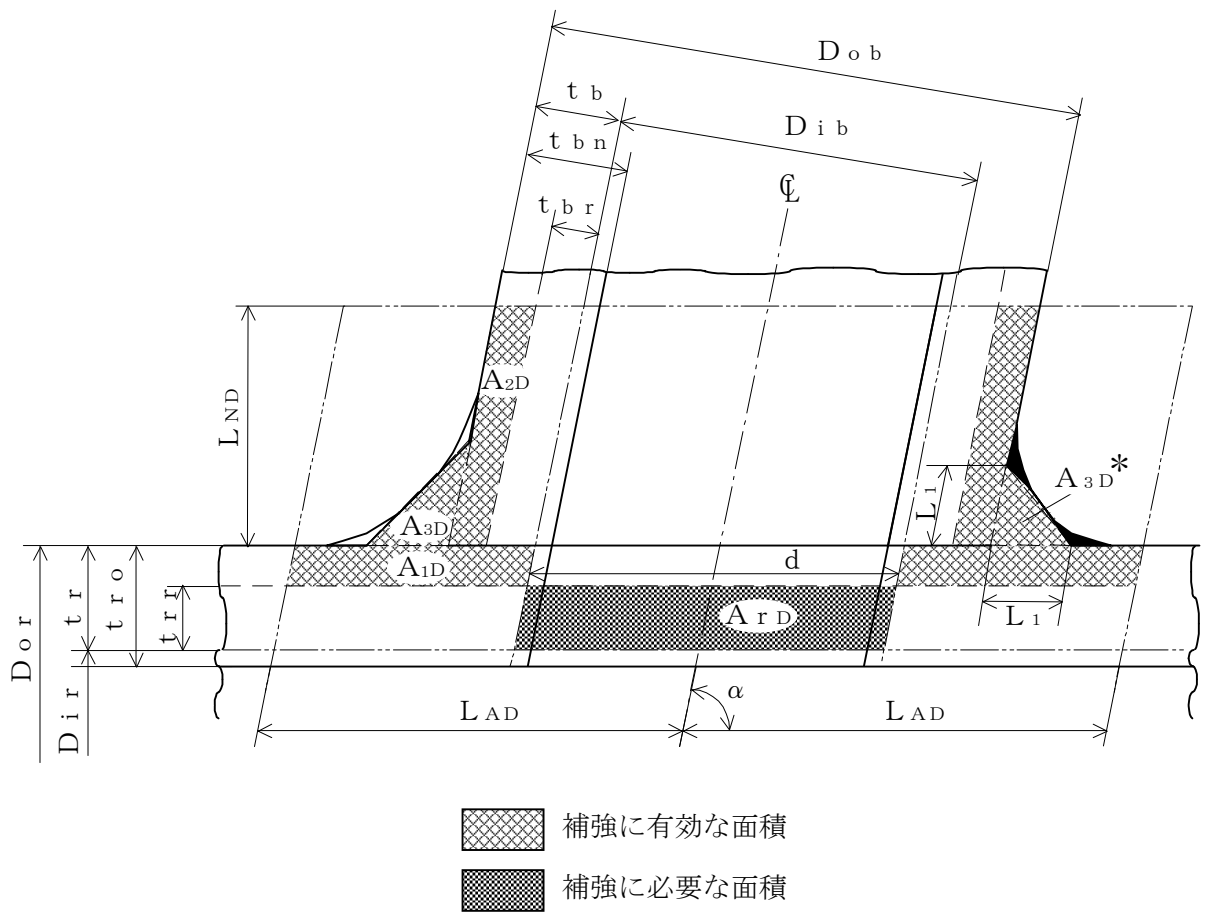


図2-9 A形 (平板で強め材のない場合)



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

図2-10 C形 (一体形で強め材のない場合)

(b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

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

(c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{ND} = L_N$$

j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は、設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

(a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

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

ロ. 大穴の補強に有効な面積

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

$$A_{2D} = A_2$$

(管台の外径が有効範囲 L_{AD} 内にある場合)

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

(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 _{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
m	m _g	ガスケット係数（JIS B 8265 附属書3 表2による。）	—

設計・建設規格又は J I S の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
N	N	ガスケットの接触面の幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	—
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	MPa
		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。	
P _{e q}	P _{e q}	管の自重及びその他の機械的荷重によりフランジに作用する曲げモーメントを圧力に換算した値 $P_{e q} = \frac{16 \cdot M_e}{\pi \cdot G^3}$	MPa
	P _o	最高使用圧力 (内圧)	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径方向の距離	mm
T	T	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
V _L	V _L	ルーズ形フランジの係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図9又は表4による。)	—
W, W _g	W _g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W _o	W _o	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B} \right)$ の値によって定まる係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—

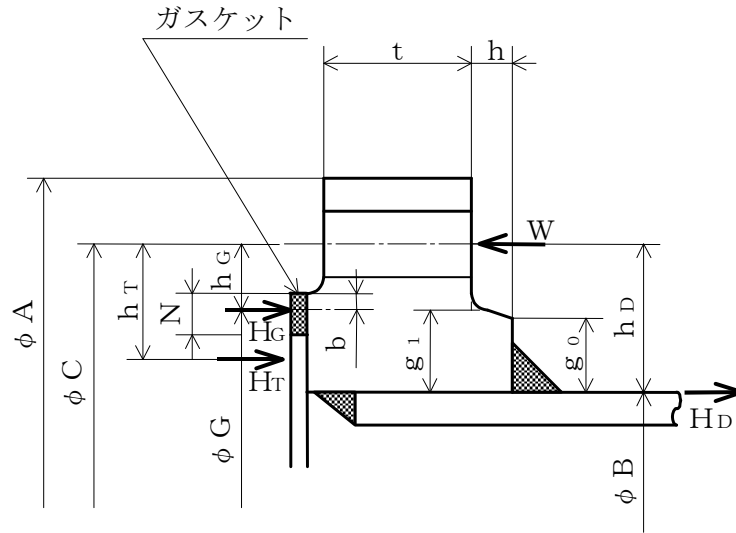
設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	N/mm ²
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	—
π	π	円周率	—
σ_a	σ_a	常温におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_b	σ_b	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7による。	MPa
σ_f	σ_{fa}	常温におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_f	σ_{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
σ_H	σ_{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ_H	σ_{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Rg}	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σ_R	σ_{Ro}	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σ_T	σ_{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σ_T	σ_{To}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBESTOS	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	—

注記* : JIS B 8265は「N/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

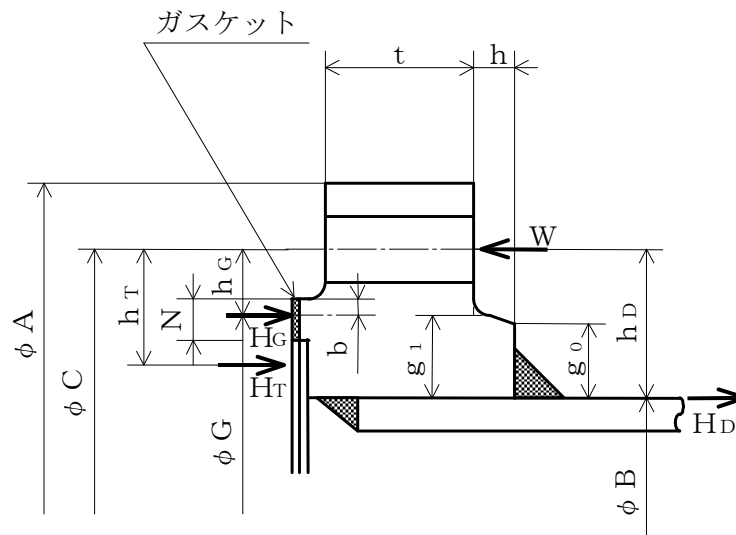
フランジの形式及び各部の記号は、図2-11～図2-15による。

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。

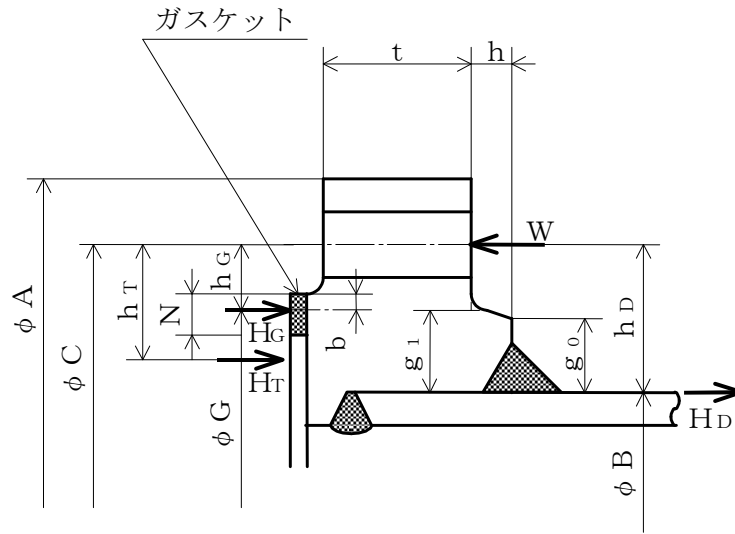
TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



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)

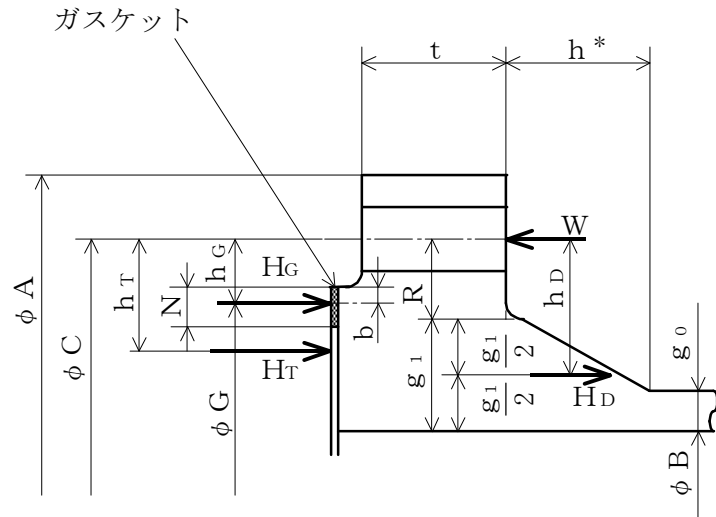
図2-11 ルーズ形フランジ（差込み形フランジ）



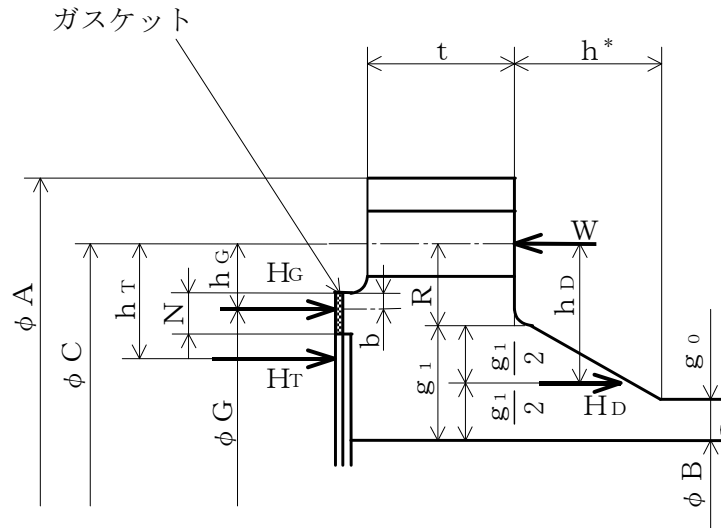
注：ハブのテーパが 6° 以下のときは、 $g_0 = g_1$ とする。

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。

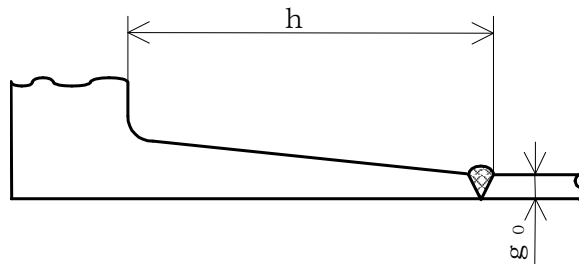
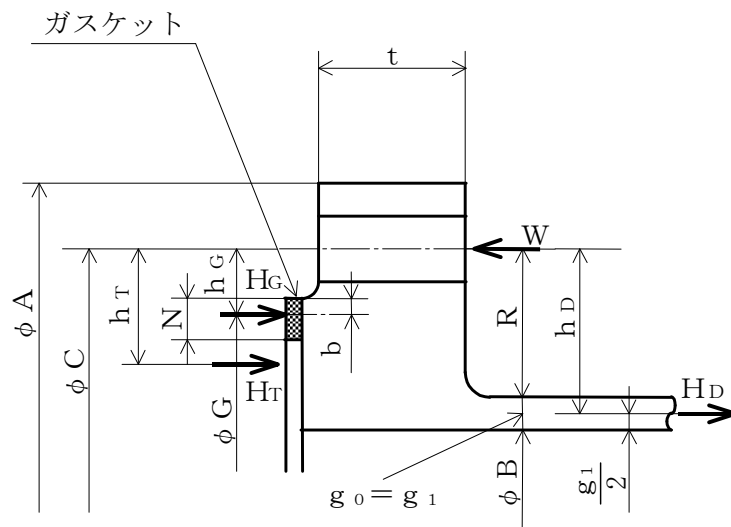
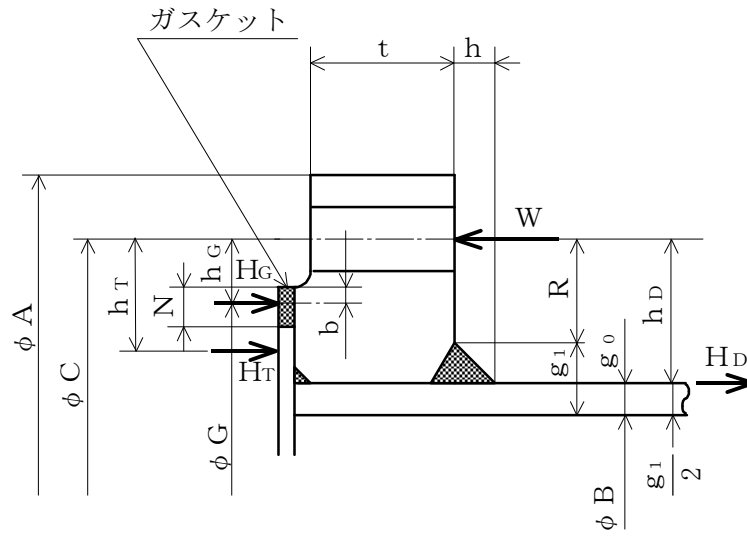


図2-13 一体形フランジ

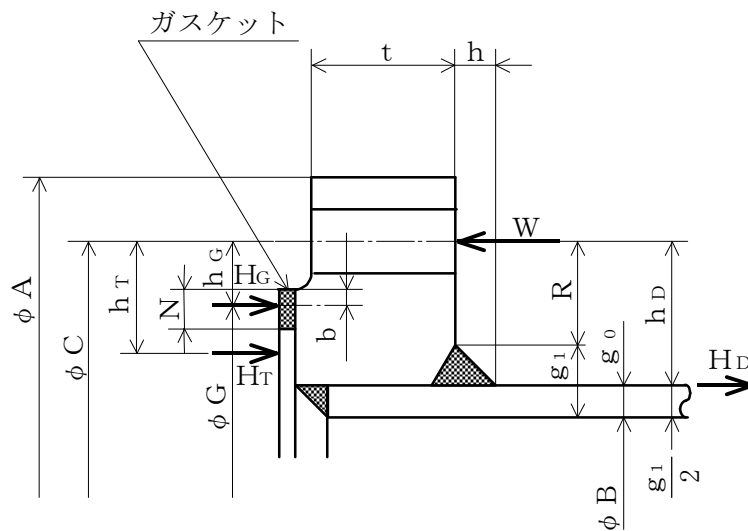


TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 12)
(一体形フランジとして計算)



TYPE-8 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 11)
(一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

(3) 内圧計算手順及び算式

a. ガ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 ≤ 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、告示第501号第64条又は、設計・建設規格 PPD-3416を適用する。

(1) 記号の説明

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
b	b	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 告示第501号 別表11 又は設計・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。

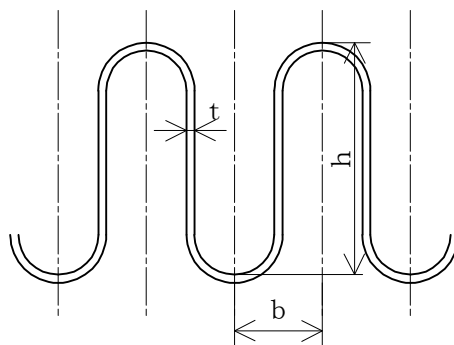


図2-16 継手部の形状

(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-3-2-4「クラス2管の強度計算方法 別紙」による。
- 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

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、VI-3-2-4「クラス2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-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1
1.3 強度計算書の構成とその見方	1
1.4 計算精度と数値の丸め方	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	13
2.5 全半球形鏡板の計算	15
2.6 半だ円形鏡板の計算	17
2.7 容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算	19
2.8 円形平板の計算	21
2.9 だ円形マンホール平板の計算	34
2.10 容器の管板の計算	35
2.11 容器の管台の計算	37
2.12 開放タンクの胴の計算	39
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
2.16 円すい形の胴の計算	44
2.17 内面に圧力を受ける円すい形の胴と円筒形の胴との接続による強め輪の計算	47
3. 穴の補強計算	51
3.1 記号の説明	51
3.2 容器の穴の補強計算	56
3.3 開放タンクの胴の穴の補強計算	81
3.4 開放タンクの鏡板の穴の補強計算	81
3.5 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算	82
4. フランジの強度計算	122
4.1 記号の説明	122
4.2 フランジの計算	126
5. 既工認における評価結果の確認による強度評価方法	134
5.1 確認内容	134
5.2 強度評価方法	134

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	134
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	134

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。

また、重大事故等クラス2容器であって原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器の強度計算は通商産業省告示第452号「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」（以下「告示第452号」という。）又は「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 J S M E S N E 1-2003」（日本機械学会）（以下「CCV規格」という。）により行う。

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

- (2) 告示第501号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本産業規格（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ため、本書によるものとする。

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

告示第501号 条項 設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備 考
PVC-3100 (容器の胴の規定)		
PVC-3121	2.2	円筒形の胴の計算
PVC-3122(1)		
PVC-3111	2.16	円すい形の胴の計算
PVC-3121		
PVC-3124.1		
PVC-3150(2)	2.3	容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3160	3.2	容器の穴の補強計算
PVC-3162	3.5	2つ以上の穴が接近しているときの補強計算
PVC-3171	2.17	内面に圧力を受ける円すい形の胴と円筒形の胴との接続による強め輪の計算
PVC-3172		
PVC-3173(1)		
PVC-3173(3)		
PVC-3174		
PVC-3175(1)		
PVC-3175(3)		
PVC-3200 (容器の鏡板についての規定)		
PVC-3210(1)	2.4	さら形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3221		
PVC-3210(2)	2.5	全半球形鏡板の計算
PVC-3223(1)		
PVC-3210(3)	2.6	半だ円形鏡板の計算
PVC-3220		
PVC-3225		
PVC-3230(2)	2.7	容器の鏡板の補強を要しない穴の最大径の計算
PVC-3240	3.2	容器の穴の補強計算

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) SCM3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11C1. 1)

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

(例) STPT410-S (継目無管の場合)

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

(例)

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

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

(例) S45C (直径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 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8による。	MPa
η	η	継手の効率 クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3130に規定している継手の種類に応じた効率を使用する。設計・建設規格 PVC-3140に規定している連続した穴がある場合における当該部分の効率については該当するものがないので強度計算書には記載しない。	—
	継手の種類		
	継手無し	同左	—
	突合せ両側溶接	同左	—
	裏当金（取り除く。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る。）並びにこれと同等以上の効果が得られる方法による溶接	—
	裏当金（取り除かず。）を使用した突合せ片側溶接	裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものを除く。）	—

告示第501号又は設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	裏当金を使用しない突合せ片側溶接	同左	—
	両側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	同左	—
	放射線検査の有無		
	有り	発電用原子力設備規格（溶接規格 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	D_i	胴の内径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	t_{s0}	胴の呼び厚さ	mm

(2) 算式

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては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： t_2

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

(3) 評価

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

2.3 容器の胴の補強を要しない穴の最大径の計算

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

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D	D	穴の中心における胴の外径。ただし、円すい形の胴にあつては、円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の外径	mm
	d_{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	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°

(2) 算式

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

- a. 穴の径が61mm以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴

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

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

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

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

- (a) 円筒形の場合

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

(b) 円すい形の場合

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

(3) 評価

穴の径 > 補強を要しない穴の最大径となる穴を判別する。

穴の補強が不要な場合は、穴の補強計算を行わない。

2.4 さら形鏡板の計算

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

(1) 記号の説明

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

(2) 形状の制限

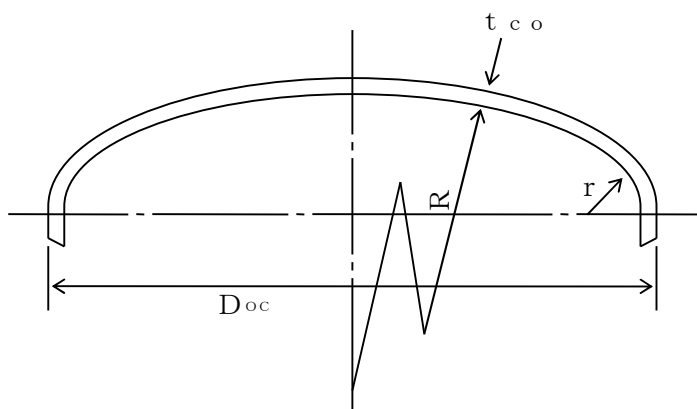


図2-1 さら形鏡板の形状

$D_{oc} \geq R$, $r \geq 3 \cdot t_{co}$, $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$, $r \geq 50\text{mm}$ 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	t	鏡板に必要な厚さ	mm
t	t_1	鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	t_c	鏡板の最小厚さ	mm
	t_{co}	鏡板の呼び厚さ	mm

b. 形状

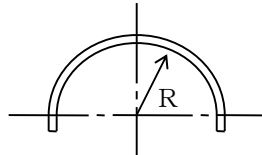


図2-2 全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c. 算式

全半球形鏡板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a) 中低面に圧力を受ける鏡板： t_1 , t_2

イ. フランジ部： t_1

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

ロ. 鏡板： t_2

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

d. 評価

鏡板の最小厚さ (t_c) \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

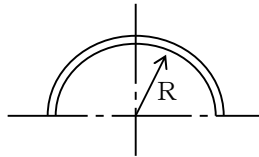


図2-3 全半球形鏡板の形状

全半球形であること。

c. 算式

全半球形鏡板に必要な厚さは、次に掲げる値とする。

(a) 中低面に圧力を受ける鏡板 : t_1

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

d. 評価

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

2.6 半だ円形鏡板の計算

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

(1) 記号の説明

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

(2) 形状の制限

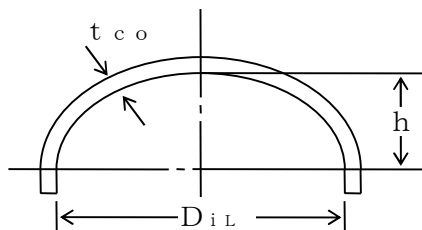


図2-4 半だ円形鏡板の形状

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

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

(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。

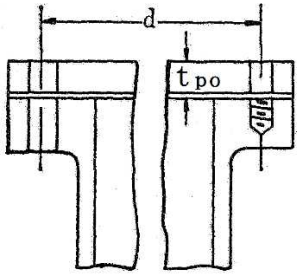
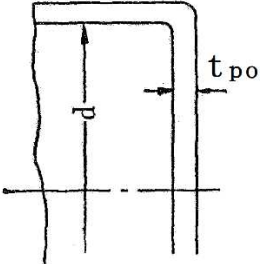
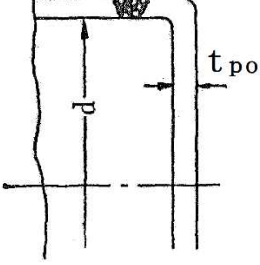
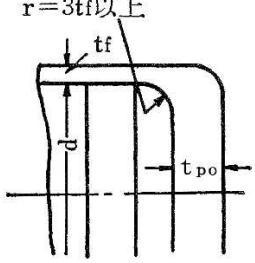
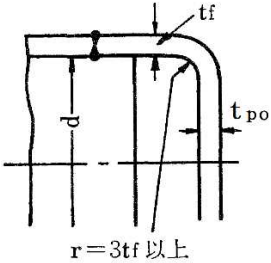
(1) 記号の説明

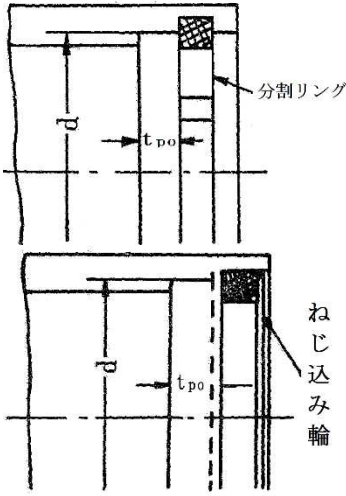
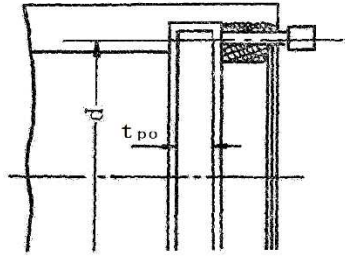
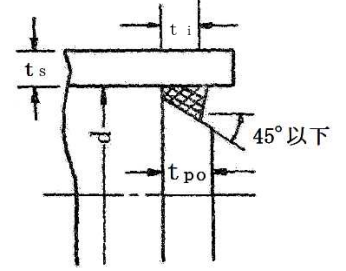
告示第501号 又は設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の 表示	表示内容	単位
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm ²
A _m	A _m	ボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b _o	ガスケット座の基本幅 (JIS B 8243 附属書2 表1又はJIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d, G	d	クラス2容器は告示第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	平板の断面に現れる穴の径 (だ円穴の場合は長 径)	mm
D _g	D _g	セルフシールガスケットの外径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	N
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
H	H	内圧によってフランジに加わる全荷重	N
h _g	h _g	ボルト穴の中心円からH _g 作用点までの半径方向の 距離	mm
h _g	h _g	モーメントアームでボルトのピッチ円の直径と d との差の2分の1	mm
K	K	平板の厚さ計算における取付け方法による係数	—
ℓ	ℓ	フランジ部の長さ	mm

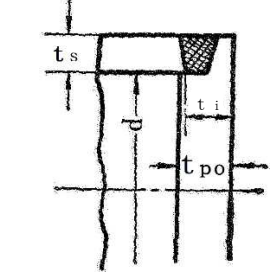
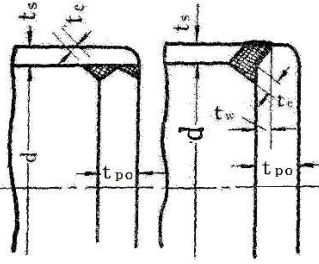
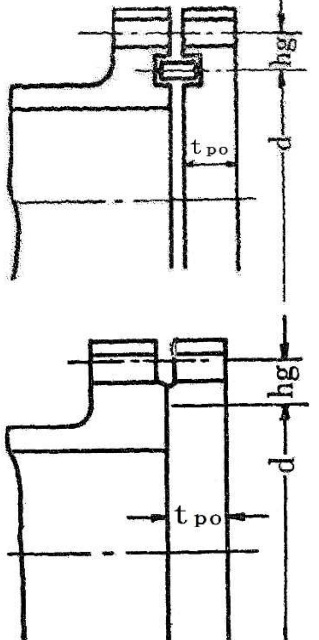
告示第501号 又は設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
m	m	ガスケット係数（JIS B 8243 附属書2 表2又はJIS B 8265 附属書3 表2によ る。）	—
N	N	ガスケットの接触面の幅（JIS B 8243 附属書2 表1又はJIS B 8265 附属書3 表3による。）	mm
n	n	ボルトの本数	—
P	P	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
r	r	すみの丸みの内半径	mm
S	S	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応 力 告示第501号別表第6又は別表第7，設計・建設 規格 付録材料図表 Part5 表5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

告示第501号 又は設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
t_{w2}	t_{w2}	設計・建設規格 表PVC-3310-1による。	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	N
W_g	W_g	ガスケット締付時のボルト荷重	N
W_{m1}	W_{m1}	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W_o	W_o	使用状態でのボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (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
π	π	円周率	—
	σ_p	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	ガスケット 座面の形状	ガスケット座面の形状 (J I S B 8 2 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。)	—

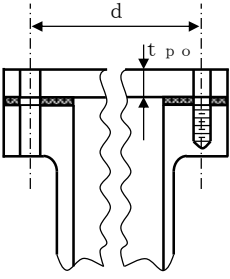
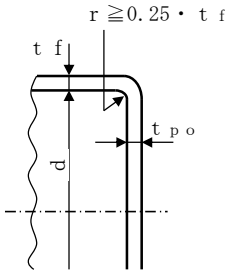
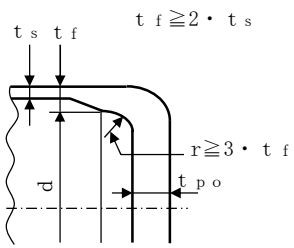
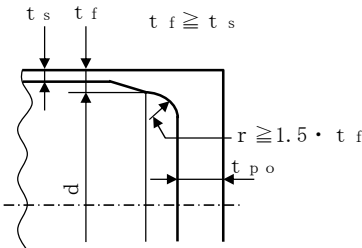
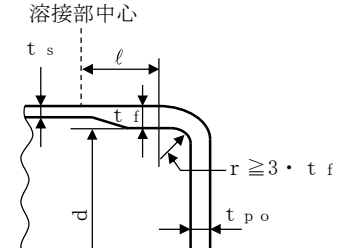
(2) 形状の制限 (告示第501号)

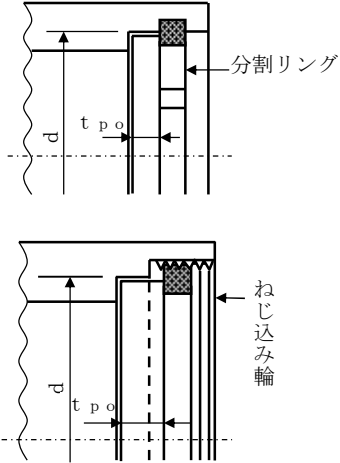
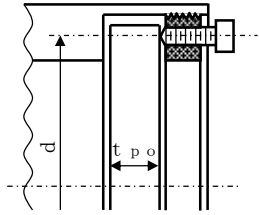
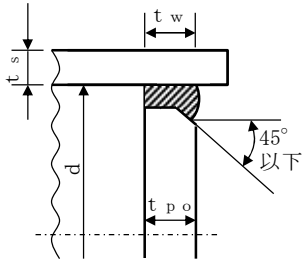
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限	形 状 の 制 限
(a)		無し
(b)		$d \leq 600 \text{ mm},$ $t_{po} \geq d/20$ であること。
(c)		$d \leq 600 \text{ mm},$ $t_{po} \geq d/20$ であること。
(d)	$r = 3t_f$ 以上 	$r \geq 3 \cdot t_f$ であること。
(e)	 $r = 3t_f$ 以上	$d \leq 600 \text{ mm},$ $t_{po} \geq d/20,$ $r \geq 3 \cdot t_f$ であること。

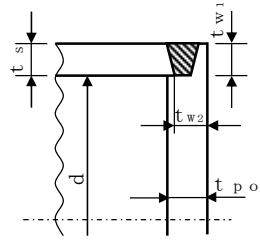
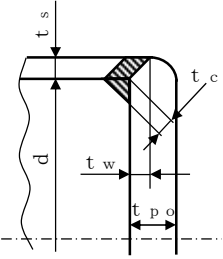
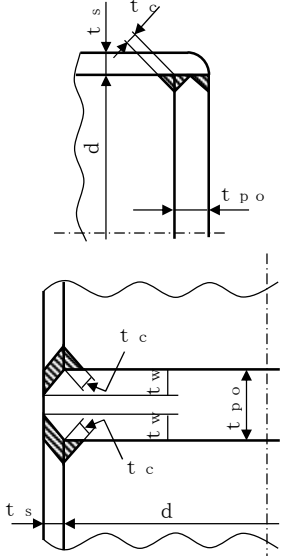
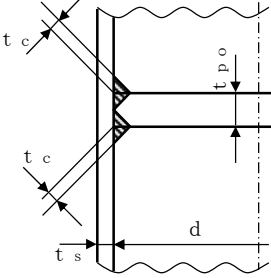
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限
<p>(f)</p> 	<p>$0.8 \cdot S \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(g)</p> 	<p>$0.8 \cdot S_b \geq \sigma_p$ であること。</p>
<p>(h)</p> 	<p>$t_i \geq 2 \cdot t_{s_r}$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。</p>

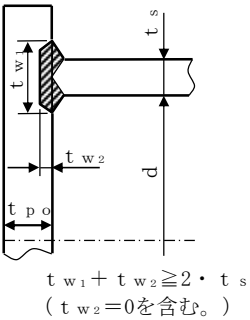
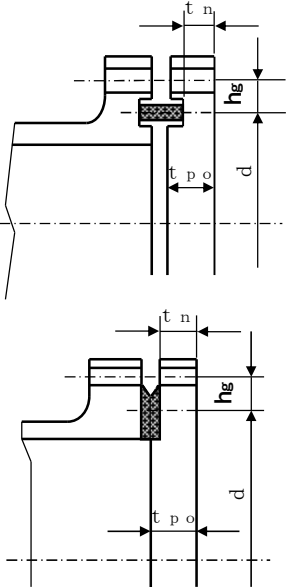
取 付 け 方 法	形 状 の 制 限	形 状 の 制 限
(i)		$t_i \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。
(j)		$t_w \geq 2 \cdot t_{sr}$ かつ, $t_w \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。 かつ, $t_c \geq \text{Min}(0.7 \cdot t_s, 6\text{mm})$ であること。
(k)		無し
(l)	その他の場合	無し

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>$r \geq 3 \cdot t_f$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>
	<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。(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)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d} \quad *2$ ただし、 t_n の厚さにあつては $\frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d} \quad *2$
(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。

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

$$(b) \quad t_s \text{ が } 2 \cdot \sqrt{d \cdot t_s} \text{ 以上の長さにあつて}$$

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

*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 8201 6.6.8項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

(1) 記号の説明

J I Sの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
a	a	穴の長径	mm
b	b	穴の短径	mm
c	c	穴の短径と長径との比によって定まる係数 (J I S B 8201 図6.20による。)	—
t	t	マンホール平板に必要な厚さ	mm
t	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 _{p0}	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 _{bo}	管板の呼び厚さ	mm
	t _s	胴と管板が一体となっている場合の胴の最小厚さ	mm
	z	管穴の中心間に必要な距離	mm
	伝熱管の形式		
	直 管	同左	—
	U 字 管	同左	—
	管板の支え方		
	管側胴と一体でない。	同左	—
	管側胴と一体である。	同左	—
	胴側胴と一体でない。	同左	—
	胴側胴と一体である。	同左	—

(2) 形状の制限

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

(3) 算式

管板の計算上必要な厚さは、次の式により計算したいずれか大きい方の値（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

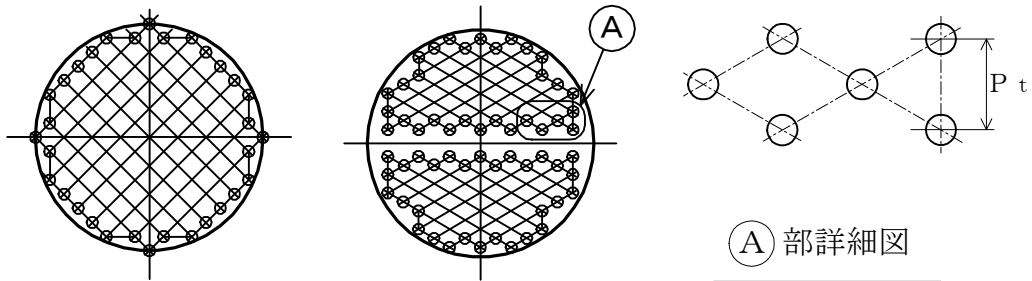


図2-5 管板の計算に用いる多角形

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。

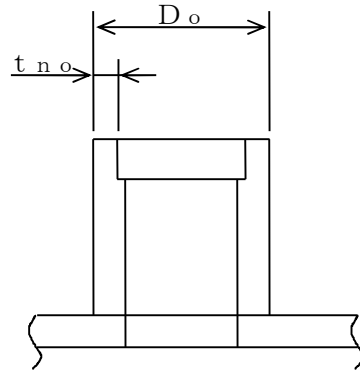
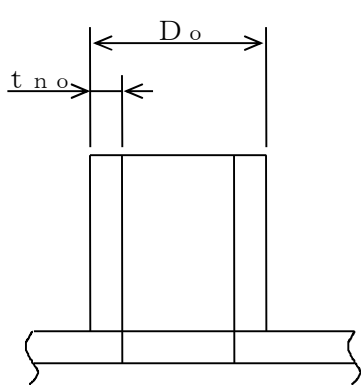
(1) 記号の説明

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 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
S	S_2	外圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	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

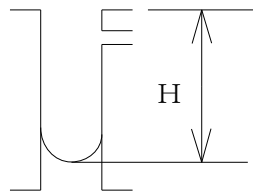
重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3920を適用する。

(1) 記号の説明

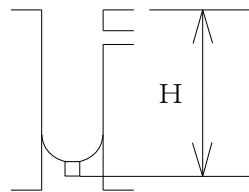
設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D_i	D_i	胴の内径	m
H	H	水頭*	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
t	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_3	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
ρ	t_{s0}	胴の呼び厚さ	mm
	ρ	液体の比重。ただし、1.00未満の場合は1.00とする。	—

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け付く場合は、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。

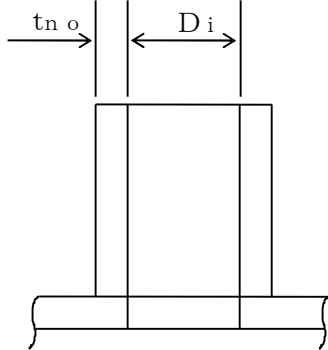
2.14 開放タンクの管台の計算

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	伝熱管に必要な厚さ	mm
t	t_1	内圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
t	t_2	外圧時の伝熱管の計算上必要な厚さ	mm
	t_t	伝熱管の最小厚さ	mm
	t_{t_o}	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。

2.16 円すい形の胴の計算

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

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
D_i	D_i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径	mm
D_o	D_o	胴の大径端側の内径	mm
D_s	D_s	胴の小径端側の内径	mm
r	r	円すいのすその丸みの部分の内半径	mm
r_o	r_o	胴の大径端側のすその丸みの部分の内半径	mm
r_s	r_s	胴の小径端側のすその丸みの部分の内半径	mm
S	$S [S_1] *$	内圧時の最高使用温度における材料の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6による。	MPa
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t_1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t_2	胴の計算上必要な厚さ	mm
t	t_3	胴の計算上必要な厚さ	mm
	t_s	胴の最小厚さ	mm
	$t_{s o}$	胴の呼び厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°

注記* : $S [S_1]$ は内圧時の計算のみの場合は S を、内圧時及び外圧時の計算の場合は S_1 を用いる。

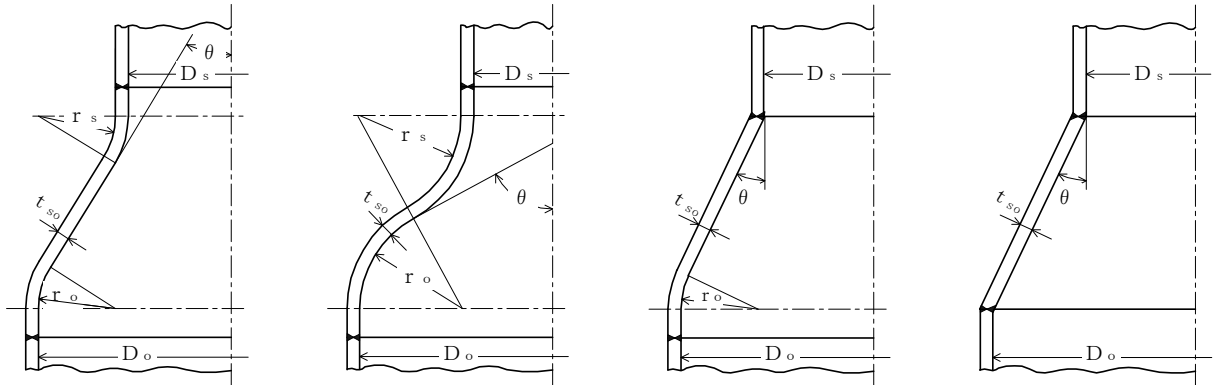
(2) 形状の制限

(設計・建設規格形状図(a))

(設計・建設規格形状図(b))

(設計・建設規格形状図(c))

(設計・建設規格形状図(d))



注：設計・建設規格 図PVC-3111-1による。

図2-6 円すい形の胴の形状

設計・建設規格形状図(a)及び設計・建設規格形状図(b)の形状にあつては

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

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

$$r_2 = 3 \cdot t_{so}$$

設計・建設規格形状図(c)の形状にあつては

$$r_o \geq \text{Max}(r_1, r_2) \text{ 及び } \theta \leq 30^\circ \text{ であること。}$$

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

$$r_2 = 3 \cdot t_{so}$$

設計・建設規格形状図(d)の形状にあつては

$$\theta \leq 30^\circ \text{ であること。}$$

(3) 算式

円すい形の胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては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

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

イ. 円すい部： t_2

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

ロ. すその丸みの部分： t_3

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

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

(b) 設計・建設規格形状図(d)の形状にあつては、次の式による値とする。

イ. 円すい部： t_2

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

(4) 評価

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

2.17 内面に圧力を受ける円すい形の胴と円筒形の胴との接続による強め輪の計算

(1) 大径端側について

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3171, PVC-3172, PVC-3173(1)及びPVC-3173(3)を適用する。

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
A	A	強め輪に必要な断面積	mm ²
a	a	円すい形の胴と円筒形の胴との接続部からそれぞれの胴の厚さの中心に沿った距離	mm
	A _e	実際の強め輪の断面積	mm ²
	b _e	強め輪の接続部から端部までの距離	mm
	b _{e d}	強め輪の有効な長さで b _e と a の小さい値	mm
D _o	D _o	円すい形の胴の大径端に接続する円筒形の胴の内径	mm
S	S	最高使用温度における円すい形の胴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	円すい形の胴の厚さ	mm
t'	t'	円すい形の胴と円筒形の胴との接続部における円筒形の胴の計算上必要な厚さ	mm
t _e	t _e	t _{e1} , t _{e2} のいずれか小さい値	mm
t _e	t _{e1}	円筒形の胴の余肉厚さ	mm
t _e	t _{e2}	円すい形の胴の余肉厚さ	mm
	t _i	強め輪の厚さ	mm
t _o	t _o	円すい形の胴の大径端に接続する円筒形の胴の厚さ	mm
η	η	円すい形の胴の継手効率	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
θ ₁	θ ₁	設計・建設規格 表PVC-3172-1より求めた角度	°

b. 算式

(a) 強め輪の要否の計算

$\theta_1 \geq \theta$ であれば強め輪は不要である。

$\theta_1 < \theta$ であれば (b) 項の強め輪の計算を行う。

(b) 強め輪の計算

イ. 強め輪に必要な断面積

$$A = \frac{P \cdot D_o^2}{8 \cdot S \cdot \eta} \cdot \left(1 - \frac{\theta_1}{\theta}\right) \cdot \tan \theta$$

ロ. 実際の強め輪の断面積

$$A_e = 4 \cdot t_e \cdot \sqrt{\frac{D_o \cdot t_o}{2}} + 2 \cdot b_{ed} \cdot t_i$$

ただし、胴の余肉のみで強め輪とする場合は、次の式による値とする。

$$A_e = 4 \cdot t_e \cdot \sqrt{\frac{D_o \cdot t_o}{2}}$$

ここで、

$$b_{ed} = \text{Min}(a, b_e)$$

$$a = \sqrt{\frac{D_o \cdot t_o}{2}}$$

$$t_e = \text{Min}(t_{e1}, t_{e2})$$

$$t_{e1} = t_o - t'$$

$$t_{e2} = t - \frac{t'}{\cos \theta}$$

c. 評価

実際の強め輪の断面積 (A_e) \geq 強め輪に必要な断面積 (A) ならば十分である。

(2) 小径端側

重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 PVC-3171, PVC-3174, PVC-3175(1)及びPVC-3175(3)を適用する。

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
A	A	強め輪に必要な断面積	mm ²
a	a	円すい形の胴と円筒形の胴との接続部からそれぞれの胴の厚さの中心に沿った距離	mm
	A _e	実際の強め輪の断面積	mm ²
	b _e	強め輪の接続部から端部までの距離	mm
	b _e d	強め輪の有効な長さでb _e とaの小さい値	mm
D _s	D _s	円すい形の胴の小径端に接続する円筒形の胴の内径	mm
m	m	m ₁ , m ₂ のいずれか小さい値	—
m	m ₁	円筒形の胴の余肉の割合	—
m	m ₂	円すい形の胴の余肉の割合	—
S	S	最高使用温度における円すい形の胴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	円すい形の胴の厚さ	mm
t'	t'	円すい形の胴と円筒形の胴との接続部における円筒形の胴の計算上必要な厚さ	mm
	t _i	強め輪の厚さ	mm
t _s	t _s	円すい形の胴の小径端に接続する円筒形の胴の厚さ	mm
η	η	円すい形の胴の継手効率	—
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	°
θ ₂	θ ₂	設計・建設規格 表PVC-3174-1より求めた角度	°

b. 算式

(a) 強め輪の要否の計算

$\theta_2 \geq \theta$ であれば強め輪は不要である。

$\theta_2 < \theta$ であれば (b) 項の強め輪の計算を行う。

(b) 強め輪の計算

イ. 強め輪に必要な断面積

$$A = \frac{P \cdot D_s^2}{8 \cdot S \cdot \eta} \cdot \left(1 - \frac{\theta_2}{\theta}\right) \cdot \tan \theta$$

ロ. 実際の強め輪の断面積

$$A_e = m \cdot \sqrt{\frac{D_s \cdot t_s}{2}} \cdot \left\{ \left(t - \frac{t'}{\cos \theta} \right) + (t_s - t') \right\} + 2 \cdot b_{ed} \cdot t_i$$

ただし、胴の余肉のみで強め輪とする場合は、次の式による値とする。

$$A_e = m \cdot \sqrt{\frac{D_s \cdot t_s}{2}} \cdot \left\{ \left(t - \frac{t'}{\cos \theta} \right) + (t_s - t') \right\}$$

ここで、

$$b_{ed} = \text{Min}(a, b_e)$$

$$a = \sqrt{\frac{D_s \cdot t_s}{2}}$$

$$m = \text{Min}(m_1, m_2)$$

$$m_1 = t_s \cdot \frac{\cos(\theta - \theta_2)}{t'}$$

$$m_2 = t \cdot \frac{\cos \theta \cdot \cos(\theta - \theta_2)}{t'}$$

c. 評価

実際の強め輪の断面積 (A_e) \geq 強め輪に必要な断面積 (A) 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 _{j r}	大きい穴の補強に有効な面積	mm ²
	A _r	穴の補強に必要な面積	mm ²
	A _{rD}	片側断面についての穴の補強に必要な面積	mm ²
B	B	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20より求めた値（Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算により最終的に t _{nr} となる。）	—
	B _e	強め板の外径	mm
d	d	胴又は鏡板の断面に現われる穴の径 平板の場合は設計・建設規格の表中に規定する方法によって測った平板の径又は，最小内のり断面に現われる穴の径	mm

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	d _h	平板の断面に現われる穴の径	mm
	d _j	大きい穴の補強を要する限界径	mm
D _i	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	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 D _{iS} 半だ円形鏡板の内面における短径 D _{on} 管台の外径	mm mm 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
P L A T E -	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
	R	管台のない平板形式（図3-20参照）	—
	S _c	鏡板材の許容引張応力	MPa
	S _e	強め板材の許容引張応力	MPa
		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 $D_{iL} \cdot K_1$	mm
		全半球形鏡板にあつては鏡板の内半径	
		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 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	
		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 _p	平板材の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
S	S _s	胴板材の許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表6による。	MPa
	S _{w1}	すみ肉溶接部の許容せん断応力	MPa
	S _{w2}	突合せ溶接部の許容せん断応力	MPa
	S _{w3}	突合せ溶接部の許容引張応力	MPa
	S _{w4}	管台壁の許容せん断応力	MPa
	t _s	t _c 鏡板の最小厚さ	mm
	t _{sr}	t _{cr} 穴の補強計算に用いる鏡板の計算上必要な厚さ	mm
		t _e 強め板の最小厚さ	mm
	t _n	t _n 管台の最小厚さ	mm
		t _{no} 管台の呼び厚さ	mm
	t _{nr}	t _{nr} 管台の計算上必要な厚さ	mm
	t _s	t _p 平板の最小厚さ	mm
	t _{sr}	t _{pr} 平板の計算上必要な厚さ	mm
t _s	t _s 胴の最小厚さ	mm	
t _{sr}	t _{sr} 胴の継目がない場合の計算上必要な厚さ	mm	
	W 溶接部の負うべき荷重	N	
	W ₁ ^{*2} $W_1 = (A_2 + A_3 + A_4) \cdot S_s$	N	
	W ₂ ^{*2} $W_2 = (d \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$ 又は $W_2 = (d_w \cdot t_{sr} - A_1) \cdot S_s$	N	
	W _{e1} すみ肉溶接部のせん断力 (管台取付部：胴，鏡板又は平板の外側)	N	
	W _{e2} すみ肉溶接部のせん断力 (管台取付部：胴，鏡板又は平板の内側)	N	
	W _{e3} すみ肉溶接部のせん断力 (強め板取付部)	N	
	W _{e4} 突合せ溶接部のせん断力 (胴，鏡板又は平板と強め板との突合せ部)	N	

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

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

注記*1：重大事故等クラス2容器については設計・建設規格 図PVC-4212-3による。

*2：本記号の表示内容は胴の場合を示す。

なお、鏡板の場合は 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. 円筒形又は円すい形の胴の場合

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

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

(ロ) 管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

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

(b) 補強に有効な範囲

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

$$X = X_1 + X_2$$

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

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

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

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) 管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びWELD-8, 22の場合

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

(ロ) 管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

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) 管台の一部分が胴の部分となっていない場合及びWELD-8, 22の場合

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

(ロ) 管台の一部分が胴の部分となっている場合

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

ロ. 管台の部分の補強に有効な面積

(イ) 管台が胴の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22の場合

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

(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

$$W_{bp1} = (W_{e1}) (W_{e5}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{bp2} = (W_{e5D}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e5}$$

ロ. WELD-2の場合

$$W_{bp1} = (W_{e1}) (W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{bp2} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ハ. WELD-3の場合

$$W_{bp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{bp2} = (W_{e1}) (W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{bp3} = (W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e7}$$

ニ. WELD-4の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

$$W_{e p 3} = (W_{e 11}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 11} + W_{e 7}$$

ただし、Don = dwの場合は $W_{e p 1} = W_{e p 3}$ となるため $W_{e p 3}$ を省略する。

ホ. WELD-5の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

ヘ. WELD-6の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

$$W_{e p 3} = (W_{e 1}) (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 7}$$

ト. WELD-8の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

チ. WELD-9の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 1}) (W_{e 6}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 6} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

$$W_{e p 3} = (W_{e 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 7}$$

リ. WELD-11の場合

$$W_{e p 1} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 2} = (W_{e 1}) (W_{e 8}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 8} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 3} = (W_{e 9}) (W_{e 4}) (W_{e 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 9} + W_{e 4} + W_{e 2}$$

$$W_{e p 4} = (W_{e 3}) (W_{e 4}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 3} + W_{e 4} + W_{e 10}$$

$$W_{e p 5} = (W_{e 1}) (W_{e 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e 1} + W_{e 10}$$

ヌ. WELD-12の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-13の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e5D})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5})$$

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

ヲ. WELD-14の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e3}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$W_{ebp4} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヲ. WELD-15, 16, 22の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$W_{ebp5} = (W_{e9}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$W_{ebp6} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

カ. WELD-17の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e2})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

ヨ. WELD-18の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$W_{ebp2} = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$W_{ebp4} = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$W_{ebp5} = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

タ. WELD-19, 19' の場合

$$W_{e\ p\ 1} = (W_{e\ 1}) (W_{e\ 8}) (W_{e\ 6}) (W_{e\ 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 1} + W_{e\ 8} + W_{e\ 6} + W_{e\ 2}$$

$$W_{e\ p\ 2} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 7}$$

$$W_{e\ p\ 3} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 4}) (W_{e\ 6}) (W_{e\ 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 4} + W_{e\ 6} + W_{e\ 2}$$

$$W_{e\ p\ 4} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 4}) (W_{e\ 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 4} + W_{e\ 10}$$

$$W_{e\ p\ 5} = (W_{e\ 9}) (W_{e\ 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 9} + W_{e\ 7}$$

$$W_{e\ p\ 6} = (W_{e\ 1}) (W_{e\ 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 1} + W_{e\ 10}$$

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。

$$A_o > A_r$$

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

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

$$\text{すべての破断箇所} \text{の強さ} \geq W \quad (\text{ただし, } W \text{ が正の場合のみ})$$

(2) 鏡板の場合

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

a. 管台の形式

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

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

b. 穴の補強

(a) 補強に必要な面積

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

イ. 半だ円形鏡板，さら形鏡板及び全半球形鏡板の場合

(イ) 管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びWELD-38の場合

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

($F=1$ とする。以下鏡板の場合において同じ)

(ロ) 管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

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

同じ)

ただし， t_{cr} は次による。

さら形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

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

半だ円形鏡板であって，中低面に圧力を受けるものは

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

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

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

(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) 管台の一部分が鏡板の部分となっていない場合及びWELD-38の場合

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

(ロ) 管台の一部分が鏡板の部分となっている場合

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

ロ. 管台の部分の補強に有効な面積

(イ) 管台が鏡板の内側に突出していない場合及びWELD-38の場合

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

(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

$$W_{ebp1} = \textcircled{W_{e1}} \textcircled{W_{e5}}$$

を通る強さ = $W_{e1} + W_{e5}$

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e5D}}$$

を通る強さ = W_{e5}

ロ. WELD-32の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e2})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ハ. WELD-33の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e7}$$

ニ. WELD-34の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e11})(W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e11} + W_{e7}$$

ただし、Don = dw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

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヘ. WELD-36の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e6})(W_{e2})$$

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

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e1})(W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e7}$$

ト. WELD-38の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e2})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

チ. WELD-39の場合

$$W_{ebp1} = (W_{e1})(W_{e6})(W_{e2})$$

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

$$W_{ebp2} = (W_{e1})(W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$W_{ebp3} = (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-41の場合

$$Webp1 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2})$$

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

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2})$$

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

$$Webp3 = (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヌ. WELD-42の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-43の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e5D})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5})$$

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

ヲ. WELD-44の場合

$$Webp1 = (W_{e3}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$Webp4 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヲ. WELD-45, 46の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e9}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$Webp6 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

カ. WELD-48の場合

$$Webp1 = (W_{e1})(W_{e6})(W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$Webp2 = (W_{e3})(W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3})(W_{e4})(W_{e6})(W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$Webp4 = (W_{e3})(W_{e4})(W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$Webp5 = (W_{e1})(W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

コ. WELD-49の場合

$$Webp1 = (W_{e1})(W_{e8})(W_{e6})(W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e8} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$Webp2 = (W_{e3})(W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3})(W_{e4})(W_{e6})(W_{e2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e6} + W_{e2}$$

$$Webp4 = (W_{e3})(W_{e4})(W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e4} + W_{e10}$$

$$Webp5 = (W_{e9})(W_{e7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$Webp6 = (W_{e1})(W_{e10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

e. 評価

鏡板の穴の補強は下記の条件を満足すれば十分である。

$$A_o > A_r$$

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

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

$$\text{すべての破断箇所の強さ} \geq W \quad (\text{ただし, } W \text{ が正の場合のみ})$$

(3) 平板の場合

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

a. 管台の形式

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

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

b. 穴の補強

(a) 補強に必要な面積

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

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

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

ロ. 管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

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

(b) 補強に有効な範囲

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

$$X = X_1 + X_2$$

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

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

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

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) 管台の一部分が平板の部分となっていない場合及びWELD-8，22の場合

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

(ロ) 管台の一部分が平板の部分となっている場合

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

ロ. 管台の部分の補強に有効な面積

(イ) 管台が平板の内側に突出していない場合及びWELD-8, 22の場合

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

(ロ) 管台が平板の内側に突出している場合

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

ただし,

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

ハ. すみ肉溶接の部分の補強に有効な面積

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

ただし, 補強の有効範囲にないすみ肉溶接の部分は除く。

ニ. 強め板の部分の補強に有効な面積

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

($S_e / S_p > 1$ 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

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

$$W_{ebp2} = \textcircled{W_{e5D}} \quad \text{を通る強さ} = W_{e5}$$

ロ. WELD-2の場合

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

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

ハ. WELD-3の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$Webp3 = (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e7}$$

ニ. WELD-4の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$Webp3 = (W_{e11}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e11} + W_{e7}$$

ただし, Don=dwの場合はWebp1=Webp3となるためWebp3を省略する。

ホ. WELD-5の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヘ. WELD-6の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$Webp3 = (W_{e1}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e7}$$

ト. WELD-8の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e2})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

チ. WELD-9の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

$$Webp3 = (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e7}$$

リ. WELD-11の場合

$$Webp1 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e2})$$

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

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e2})$$

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

$$Webp3 = (W_{e9}) (W_{e4}) (W_{e2})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ヌ. WELD-12の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ル. WELD-13の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e5D})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e5}$$

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e5})$$

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

ヲ. WELD-14の場合

$$Webp1 = (W_{e3}) (W_{e6})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e6}$$

$$Webp2 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e10}$$

$$Webp4 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

ワ. WELD-15, 16, 22の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e8}) (W_{e6})$$

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

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e9}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e9} + W_{e7}$$

$$Webp6 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

カ. WELD-17の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e2})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e2}$$

コ. WELD-18の場合

$$Webp1 = (W_{e1}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$Webp2 = (W_{e3}) (W_{e7})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e3} + W_{e7}$$

$$Webp3 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e6}) (W_{e2})$$

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

$$Webp4 = (W_{e3}) (W_{e4}) (W_{e10})$$

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

$$Webp5 = (W_{e1}) (W_{e10})$$

$$\text{を通る強さ} = W_{e1} + W_{e10}$$

タ. WELD-19, 19' の場合

$$W_{e\ p\ 1} = (W_{e\ 1}) (W_{e\ 8}) (W_{e\ 6}) (W_{e\ 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 1} + W_{e\ 8} + W_{e\ 6} + W_{e\ 2}$$

$$W_{e\ p\ 2} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 7}$$

$$W_{e\ p\ 3} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 4}) (W_{e\ 6}) (W_{e\ 2}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 4} + W_{e\ 6} + W_{e\ 2}$$

$$W_{e\ p\ 4} = (W_{e\ 3}) (W_{e\ 4}) (W_{e\ 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 3} + W_{e\ 4} + W_{e\ 10}$$

$$W_{e\ p\ 5} = (W_{e\ 9}) (W_{e\ 7}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 9} + W_{e\ 7}$$

$$W_{e\ p\ 6} = (W_{e\ 1}) (W_{e\ 10}) \quad \text{を通る強さ} = W_{e\ 1} + W_{e\ 10}$$

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。

$$A_o > A_r / 2$$

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

すべての破断箇所の強さ $\geq W$ (ただし, W が正の場合のみ)

3.3 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_1	2つの穴の間及び強め板の断面積の和	mm^2
	A_2	2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	mm^2
	A_d	A_1 と A_2 の和	mm^2
	A_r	A_{r1} と A_{r2} の和の1/2	mm^2
	A_{r1}, A_{r2}	2つの穴のそれぞれの補強に必要な断面積	mm^2
	A_{rs}	2つの穴の間の強め材の断面積	mm^2
A_s	A_s	2つの穴の間に必要な胴の断面積（胴板内に溶着された管壁を含む。）	mm^2
	d	2つの穴の中心間に必要な距離	mm
	d_1, d_2	2つの穴のそれぞれの直径	mm
F	F	係数	—
l	l	2つの穴の中心間の距離	mm
	L_{1i}, L_{2i}	2つの穴のそれぞれの内側溶け込み深さ	mm
	L_{1o}, L_{2o}	2つの穴のそれぞれの外側溶け込み深さ	mm
	t_1, t_2	2つの穴のそれぞれの管壁の厚さ	mm
t_{sr}	t_{sr}	胴の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{cr}	鏡板の継手がない場合の計算上必要な厚さ	mm
t_{sr}	t_{pr}	平板の計算上必要な厚さ	mm

(2) 算式

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

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

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

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

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

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

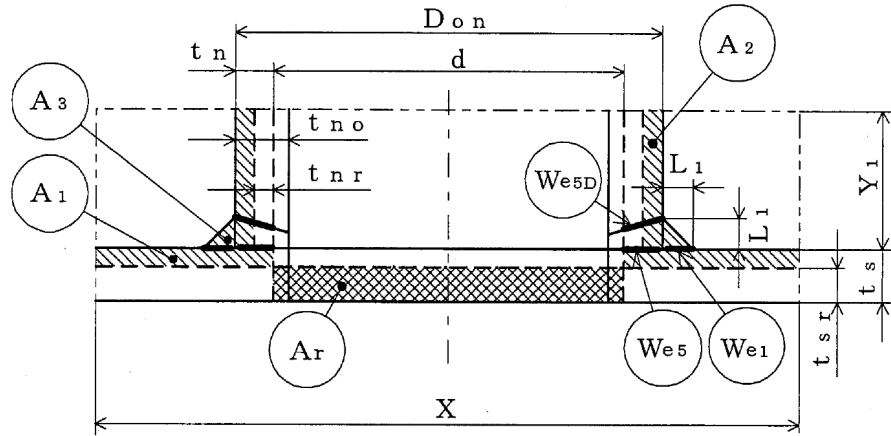
$$A_d = A_1 + A_2$$

(3) 評価

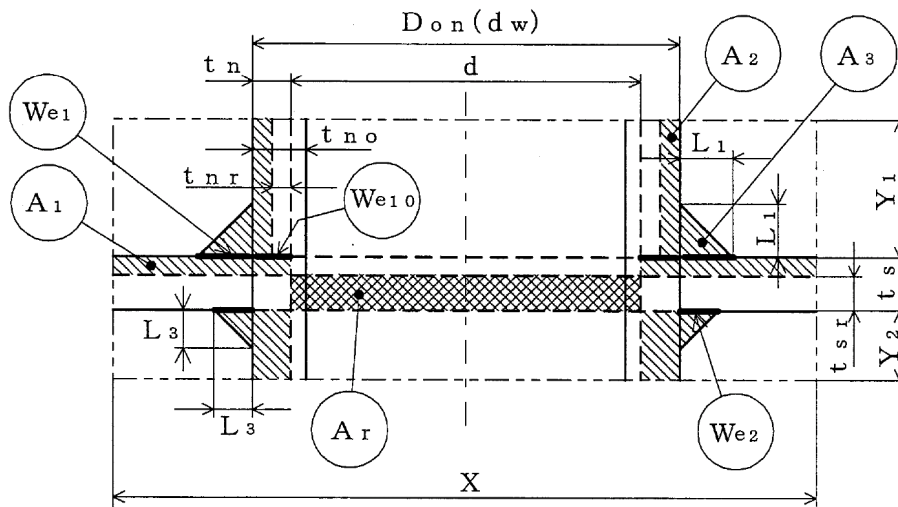
下記の条件を満足すれば十分である。

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

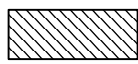
注：各形式図（図3-1～図3-39）において，胴，鏡板又は平板の最小厚さ及び穴の補強計算に用いる計算上必要な厚さは，それぞれ胴の場合は t_s ， t_{sr} ，鏡板の場合は t_c ， t_{cr} ，平板の場合は t_p ， t_{pr} と読み替えを行う。
 また，各形式図中の d は，平板の場合は d_h と読み替えを行う。



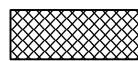
WELD-1



WELD-2



補強に有効な面積



補強に必要な面積

図3-1

(注) We_1 等で示される図中の太線は，予想される破断形式を示す。(以降，同様)

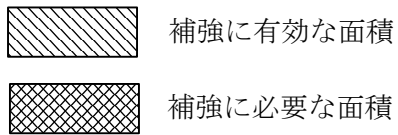
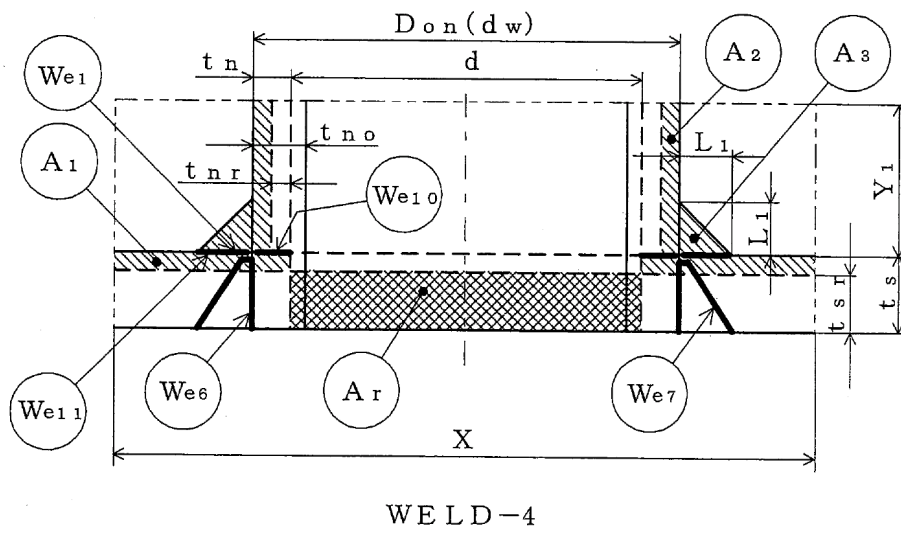
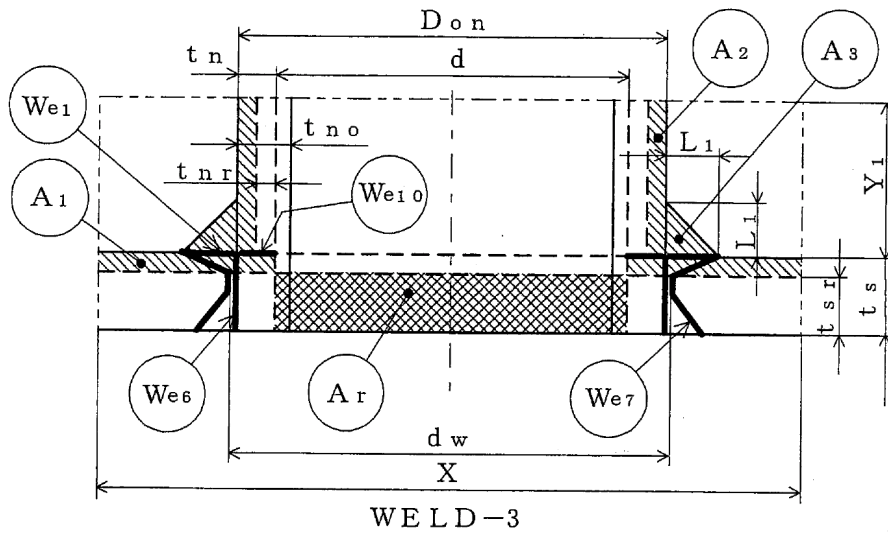
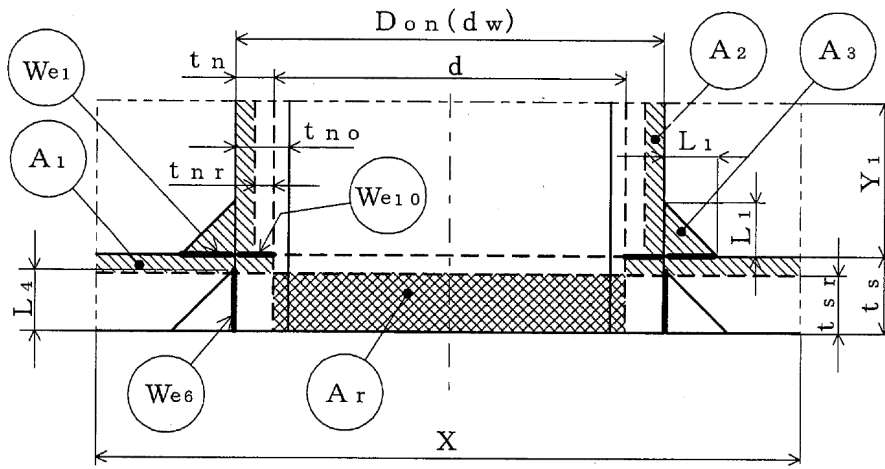
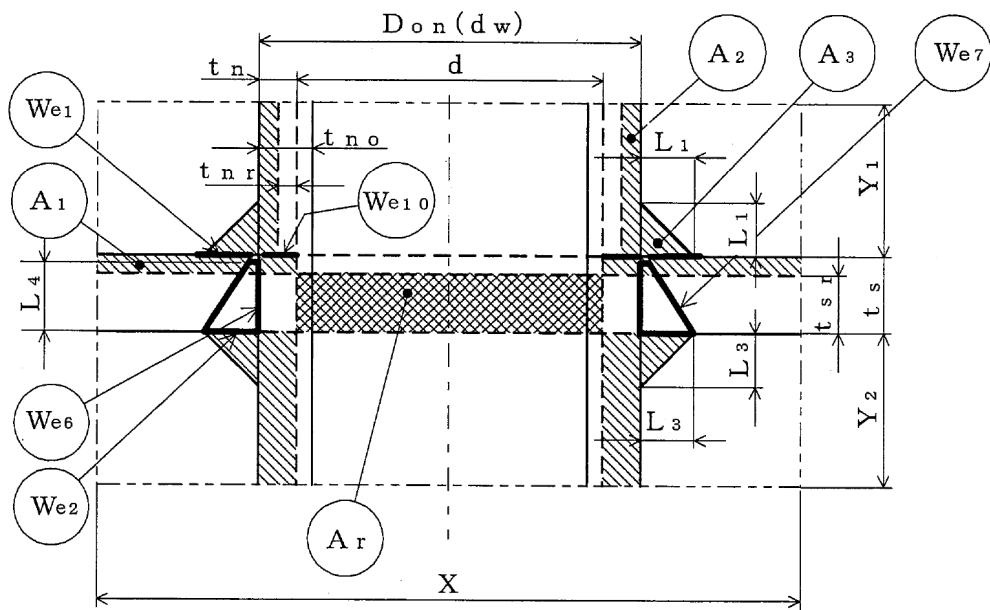


図3-2



WELD-5



WELD-6

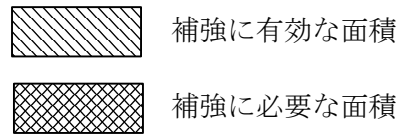
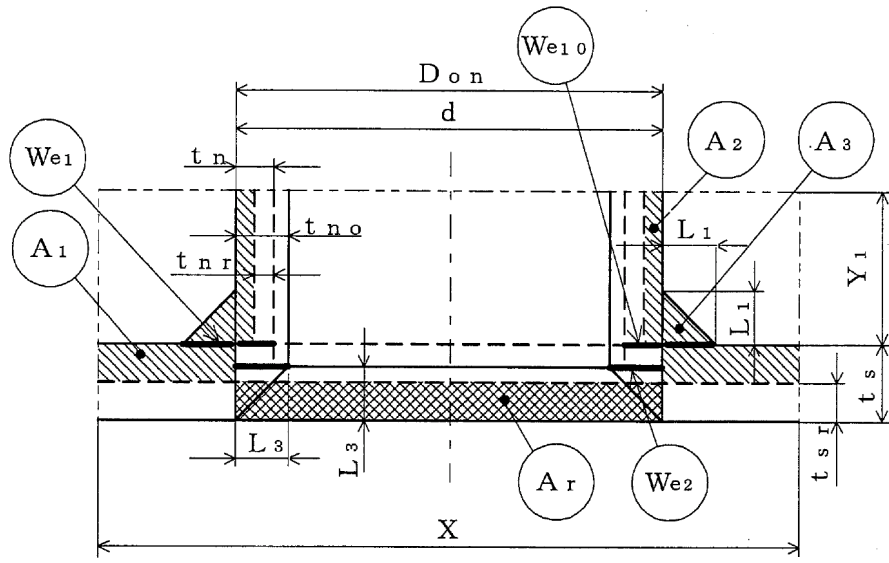
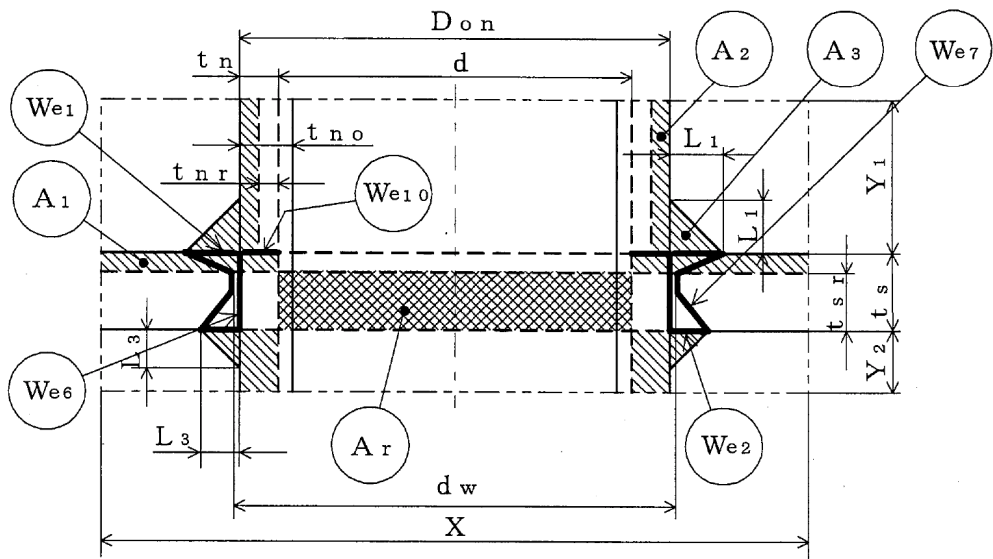


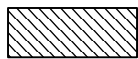
図3-3



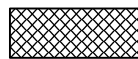
WELD-8



WELD-9

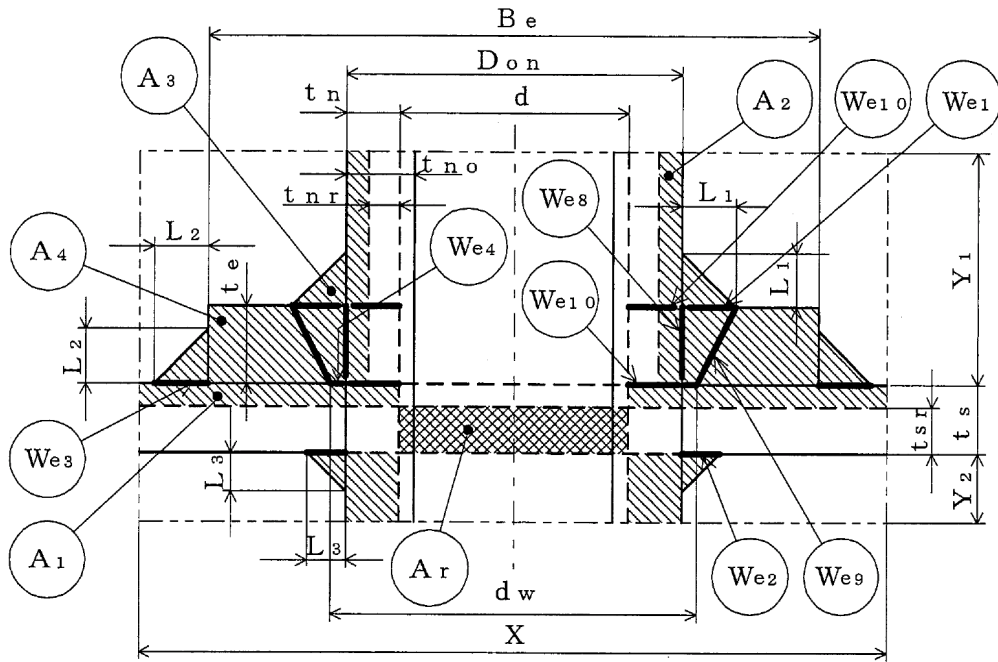


補強に有効な面積

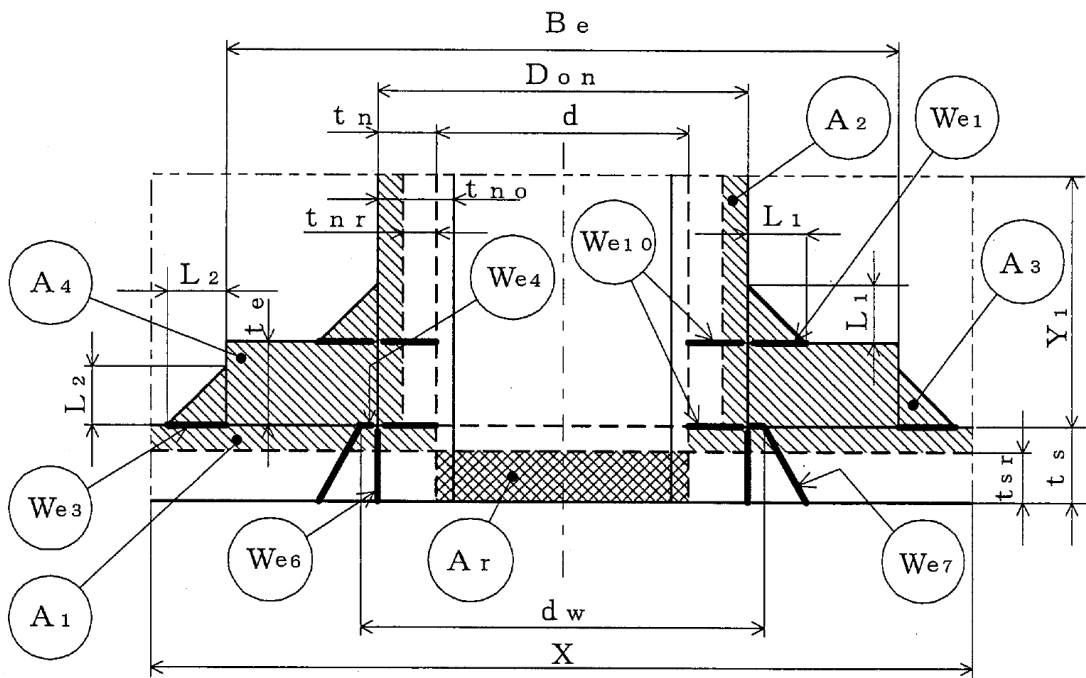


補強に必要な面積

図3-4



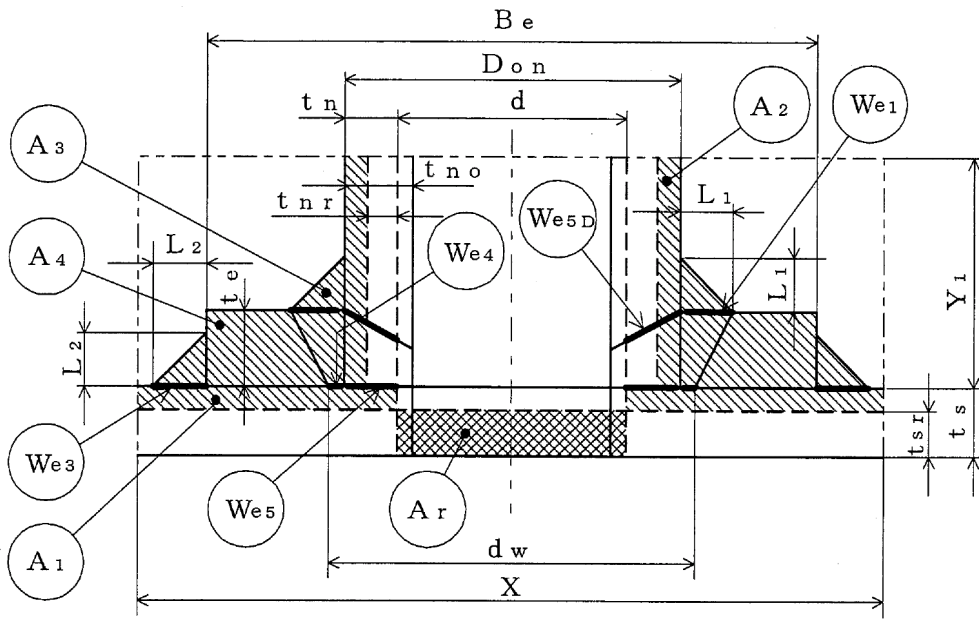
WELD-11



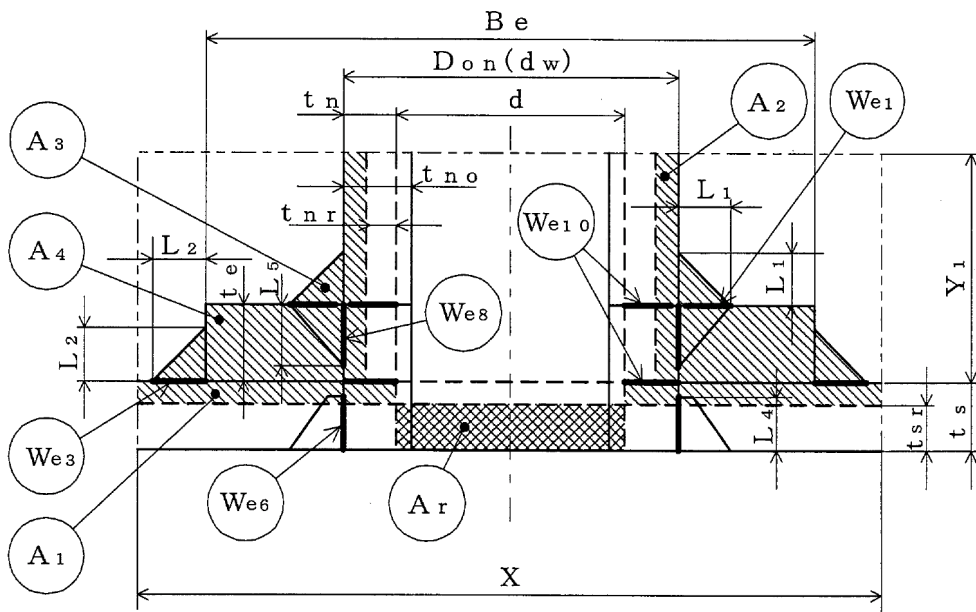
WELD-12



図3-5



WELD-13



WELD-14


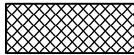
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-6

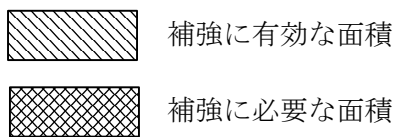
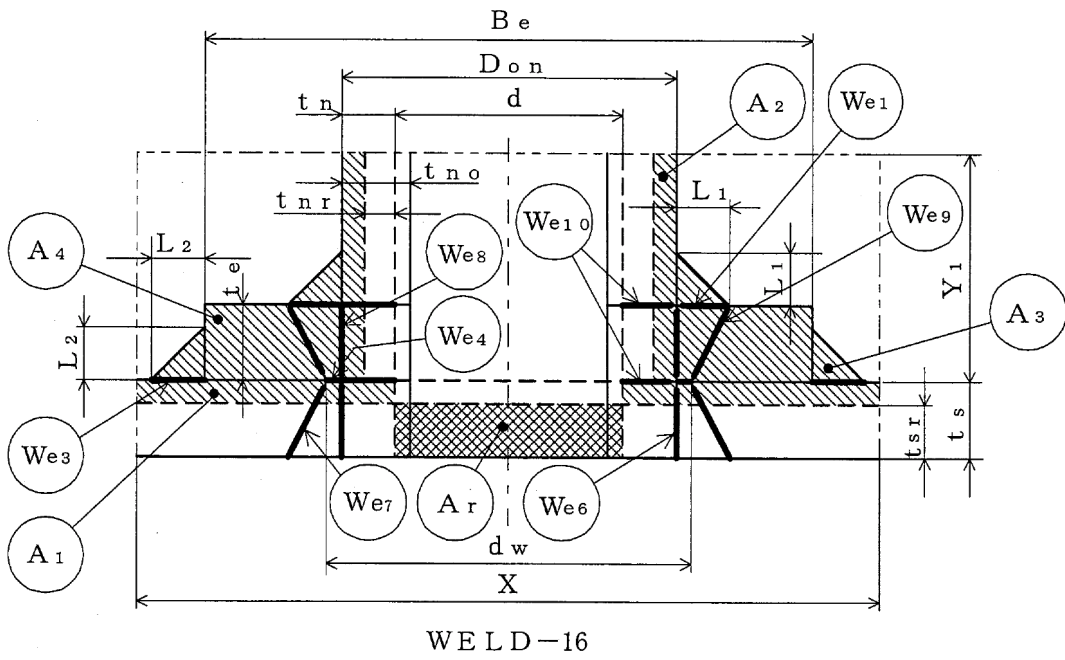
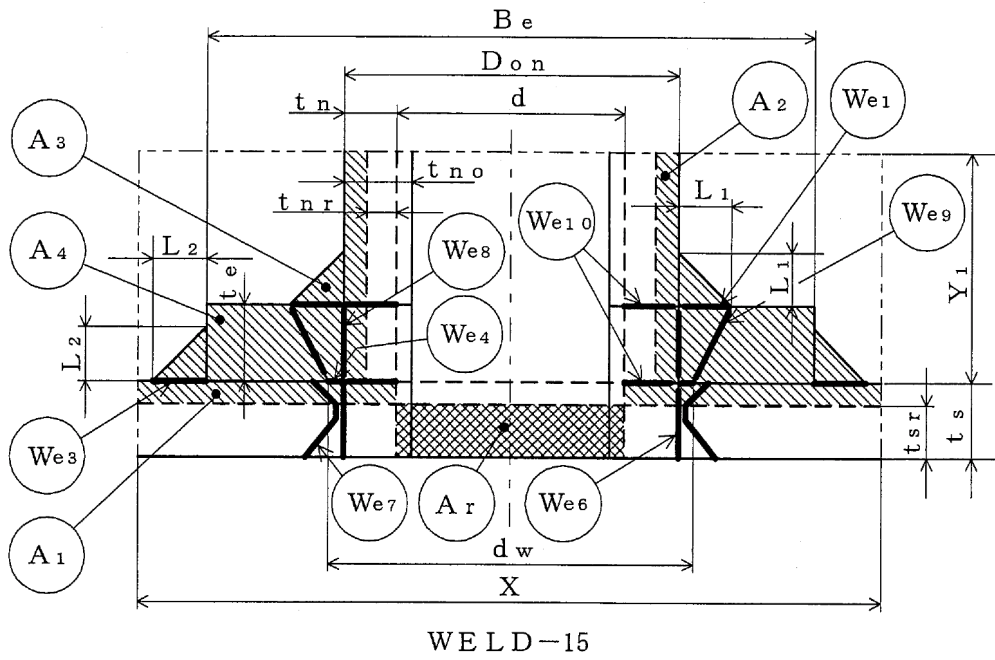
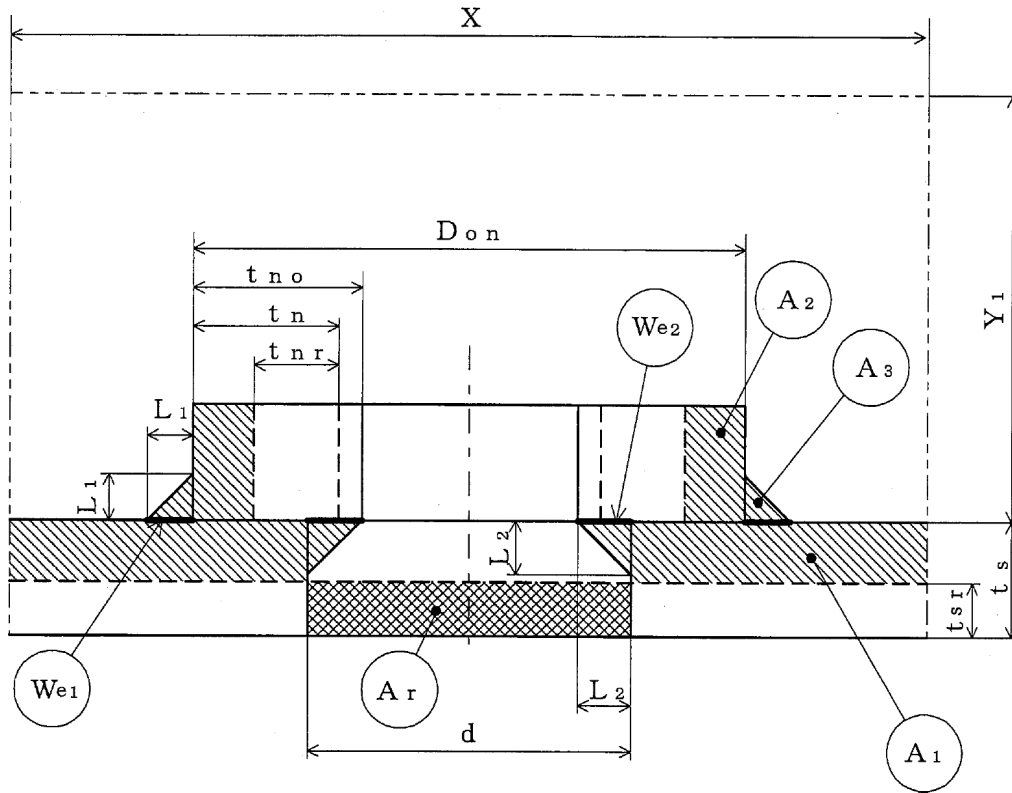
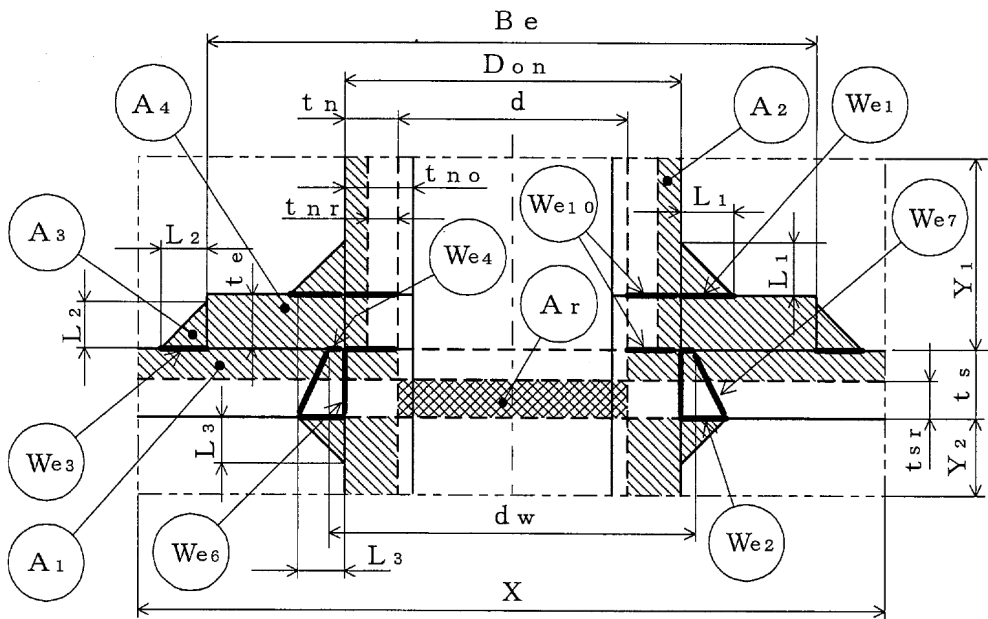


図3-7



WELD-17



WELD-18

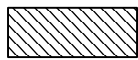

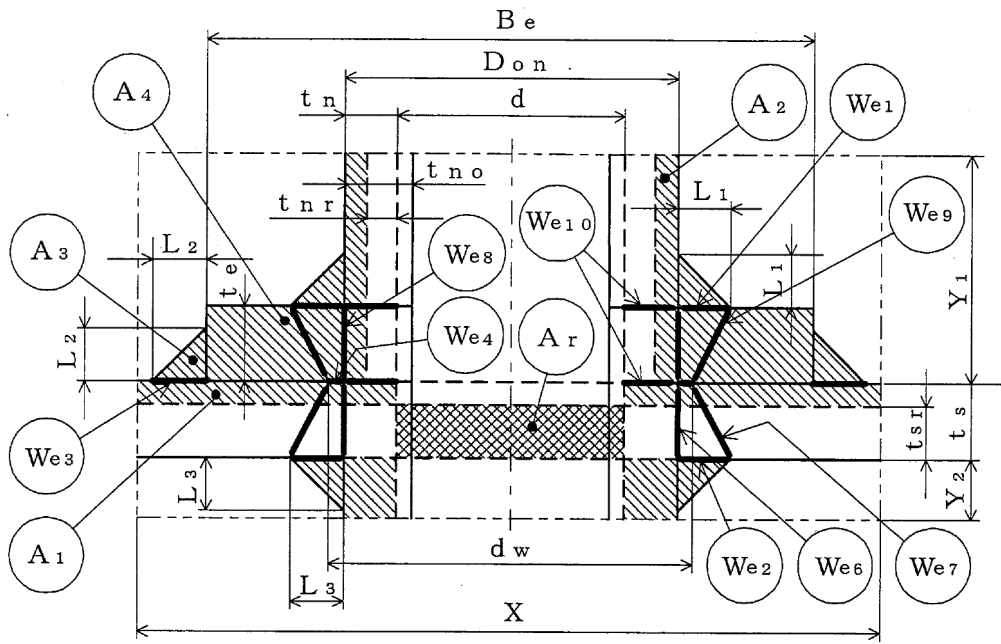
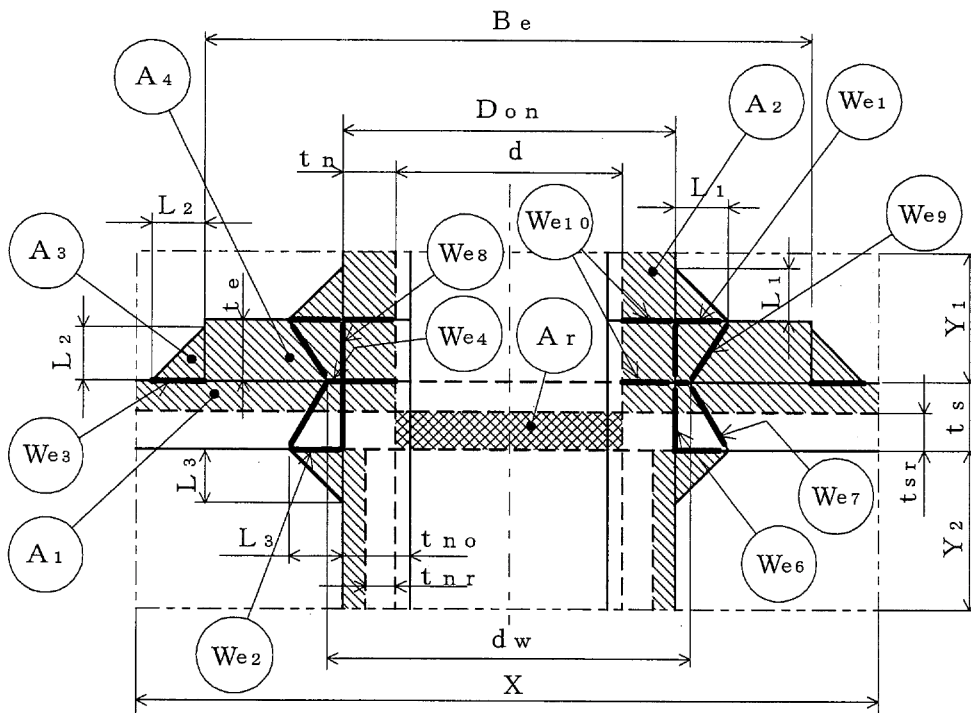
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-8



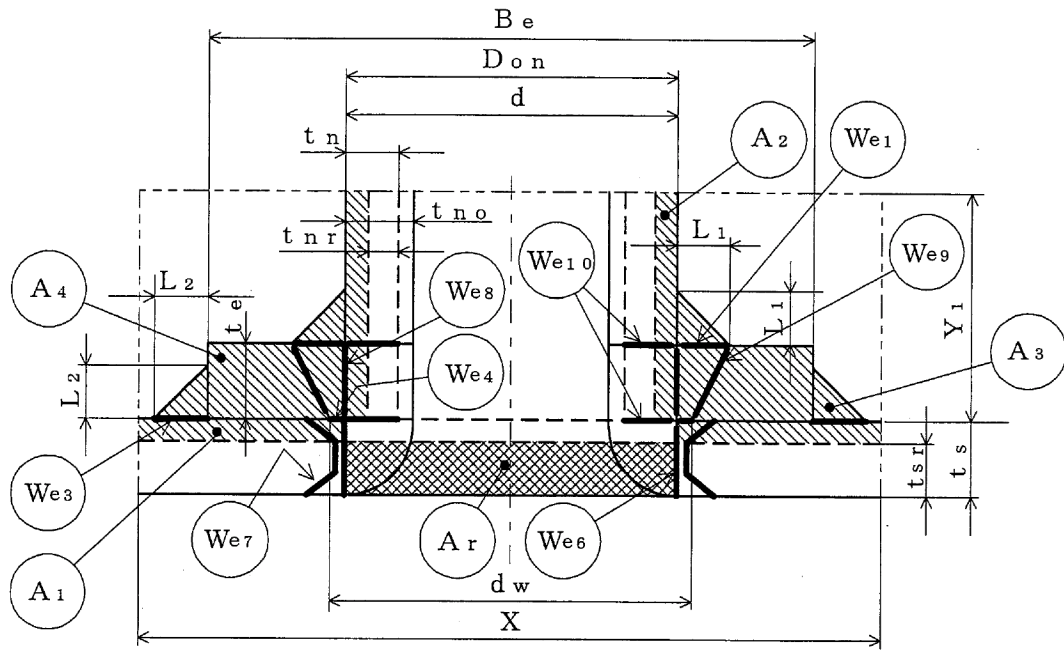
WELD-19



WELD-19'

-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

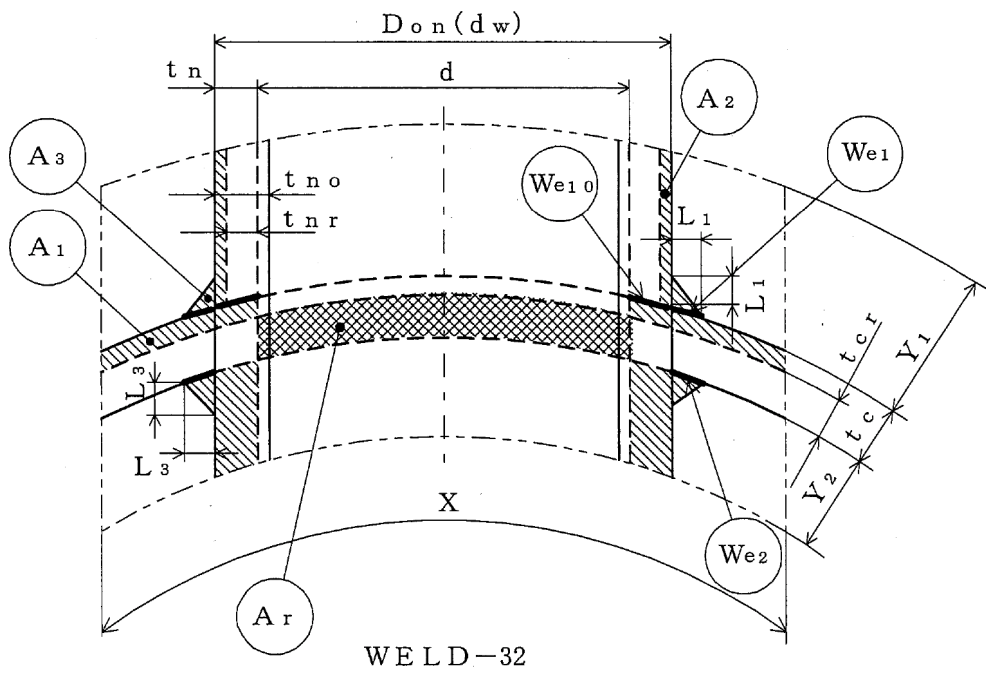
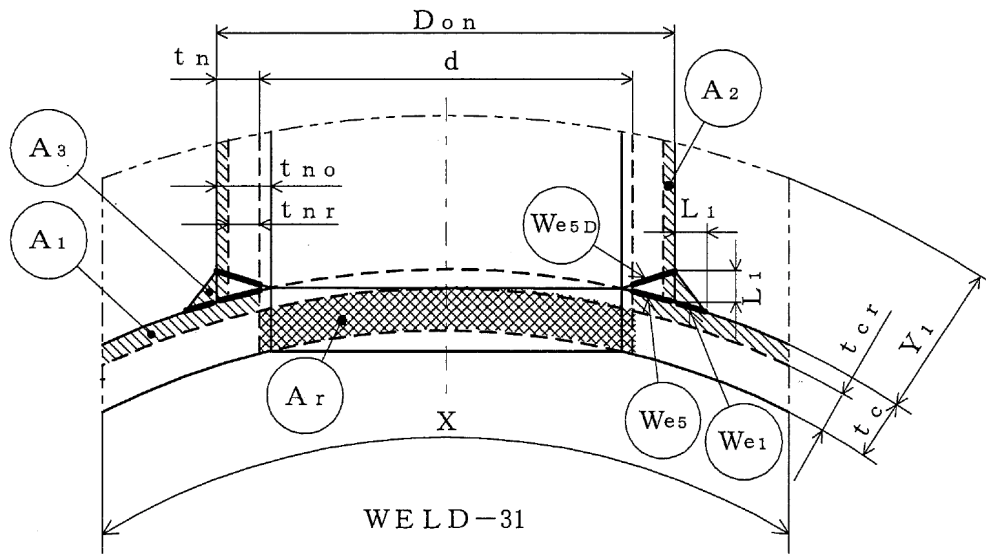
図3-9



WELD-22

-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-10




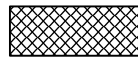
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-11

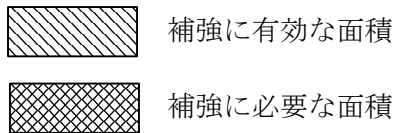
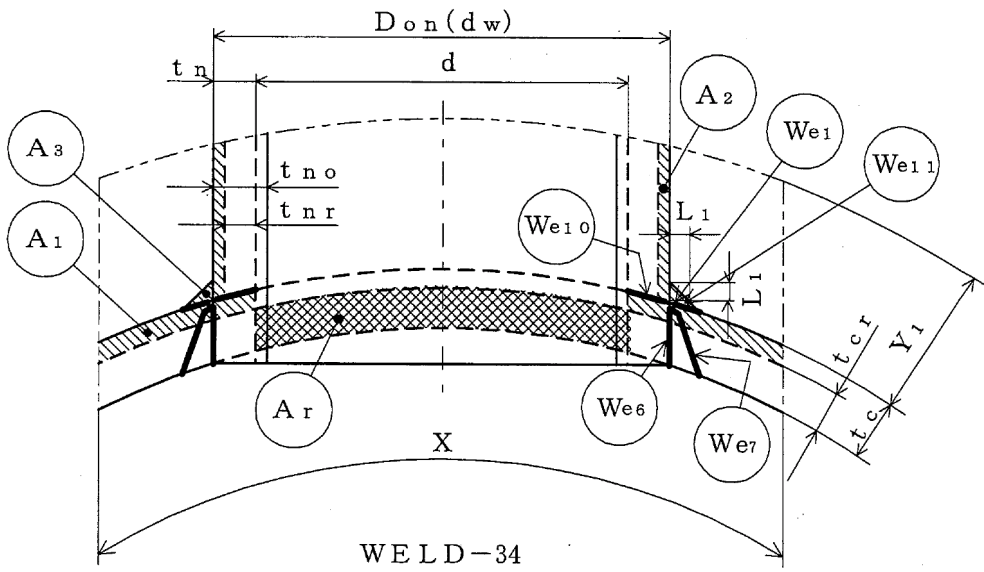
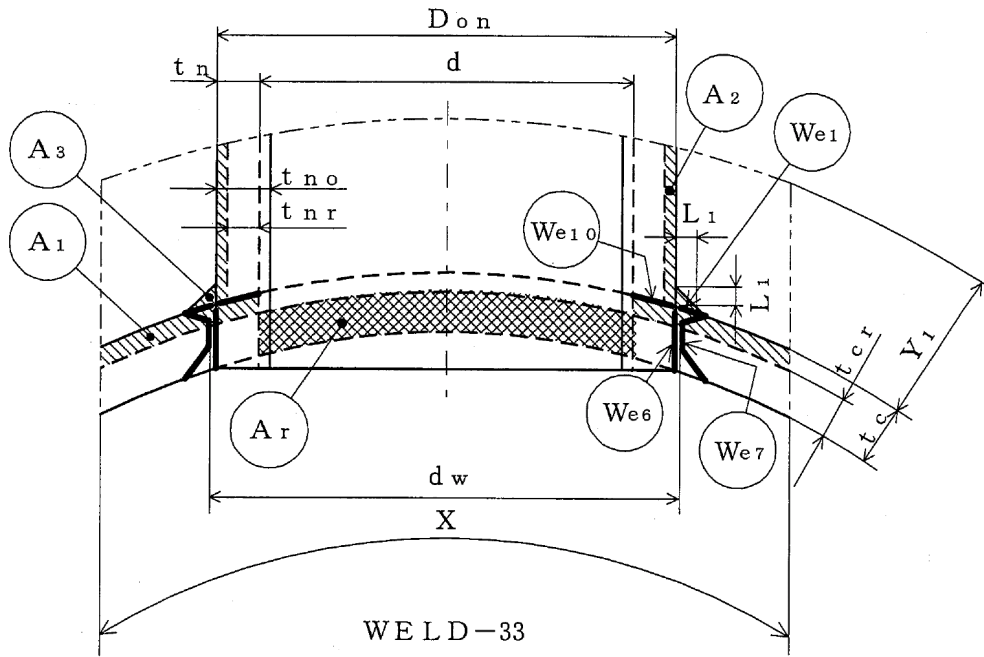


図3-12

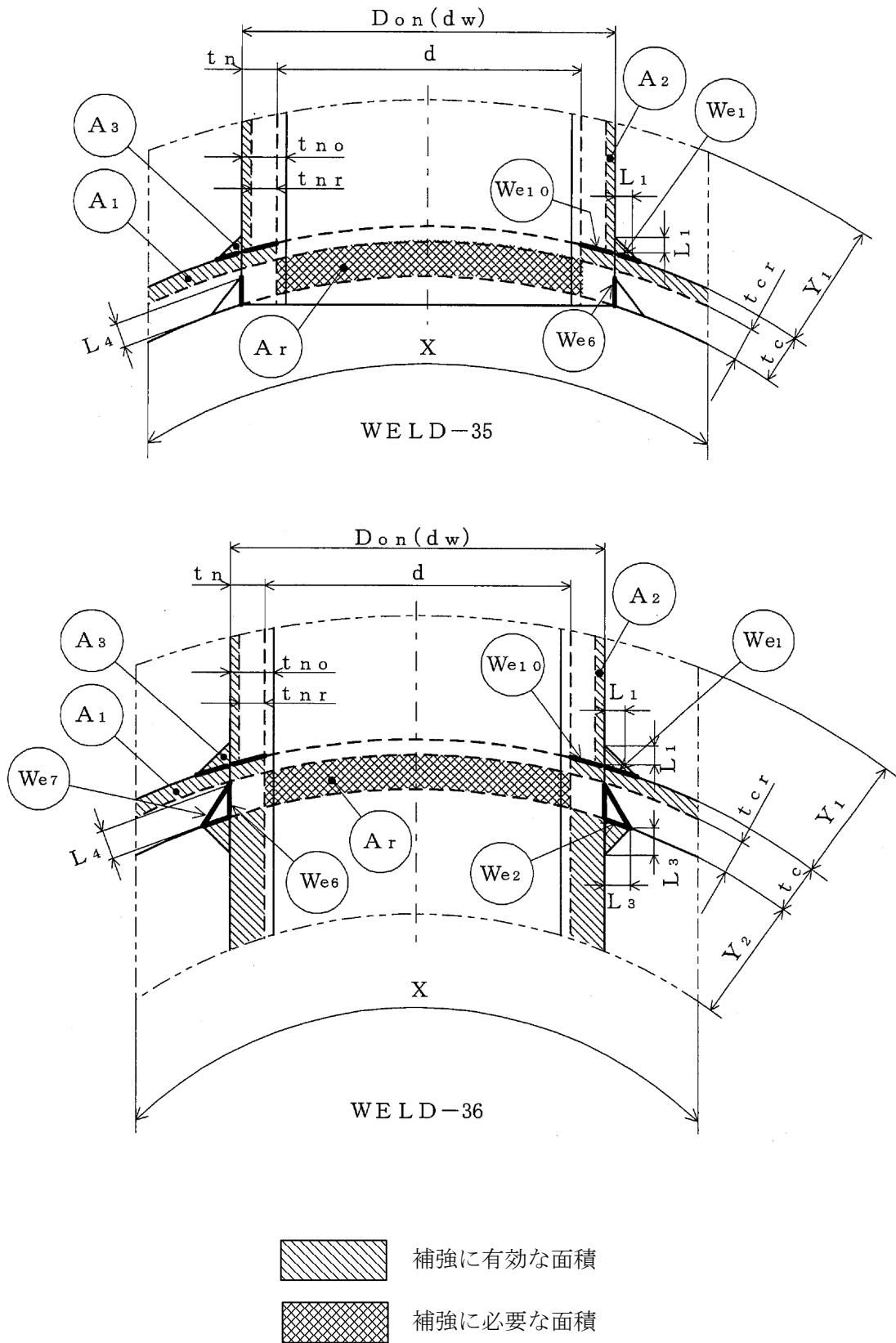
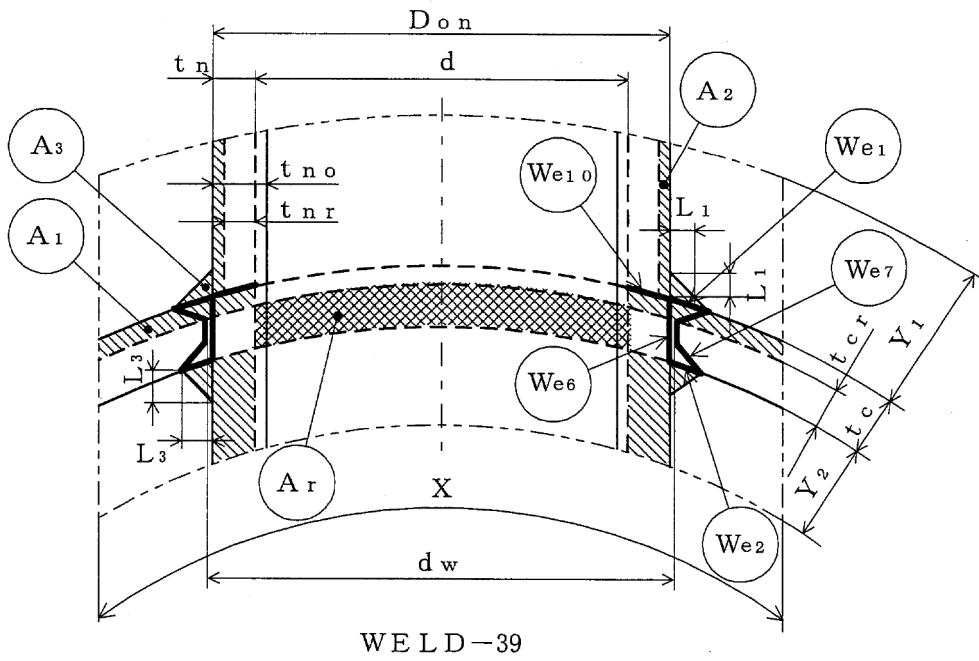
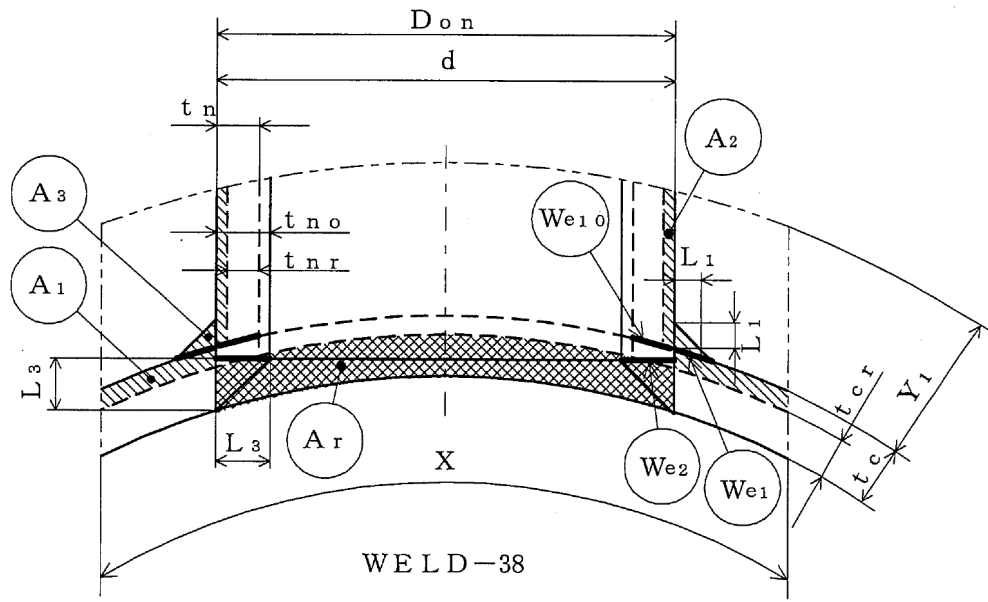
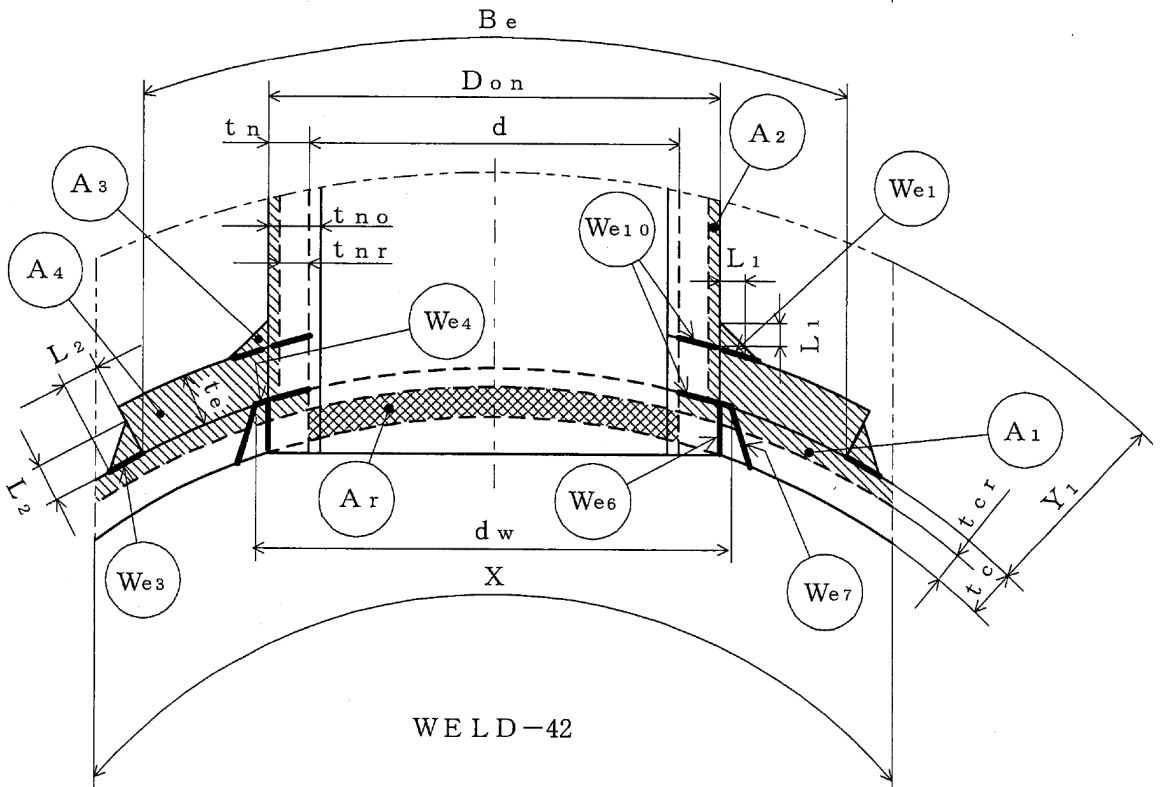
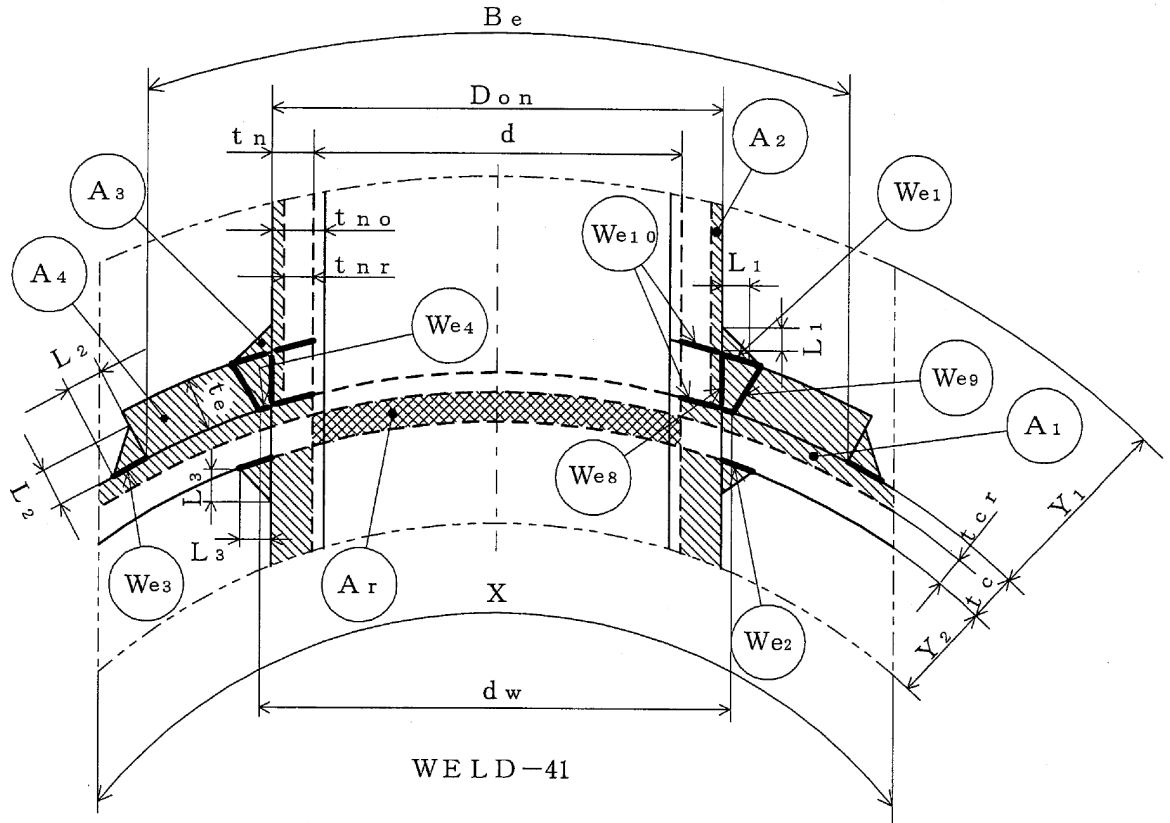


図3-13



-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-14



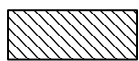

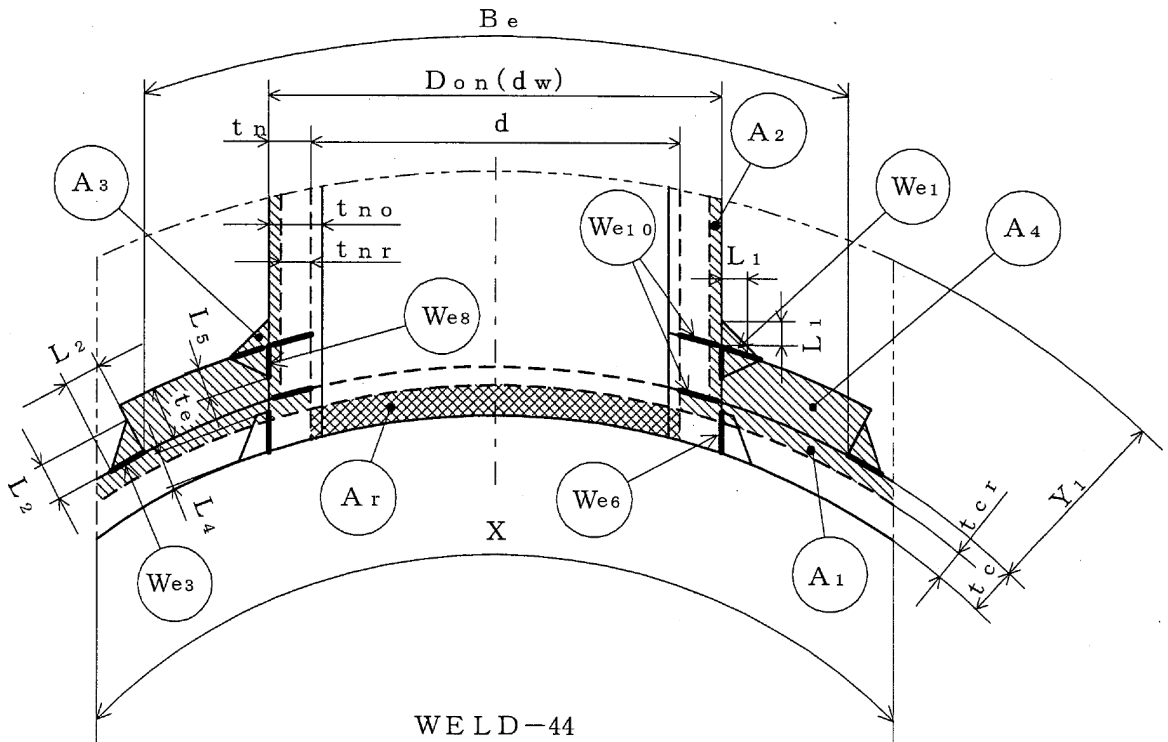
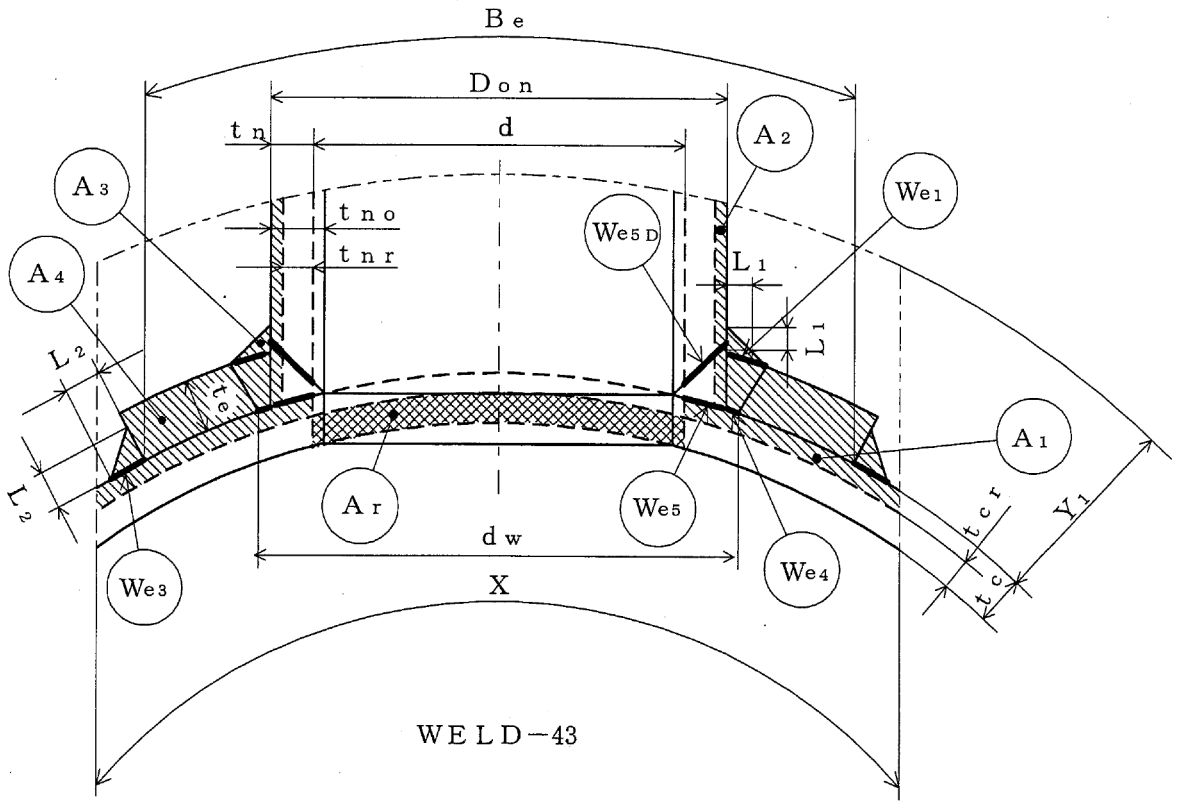
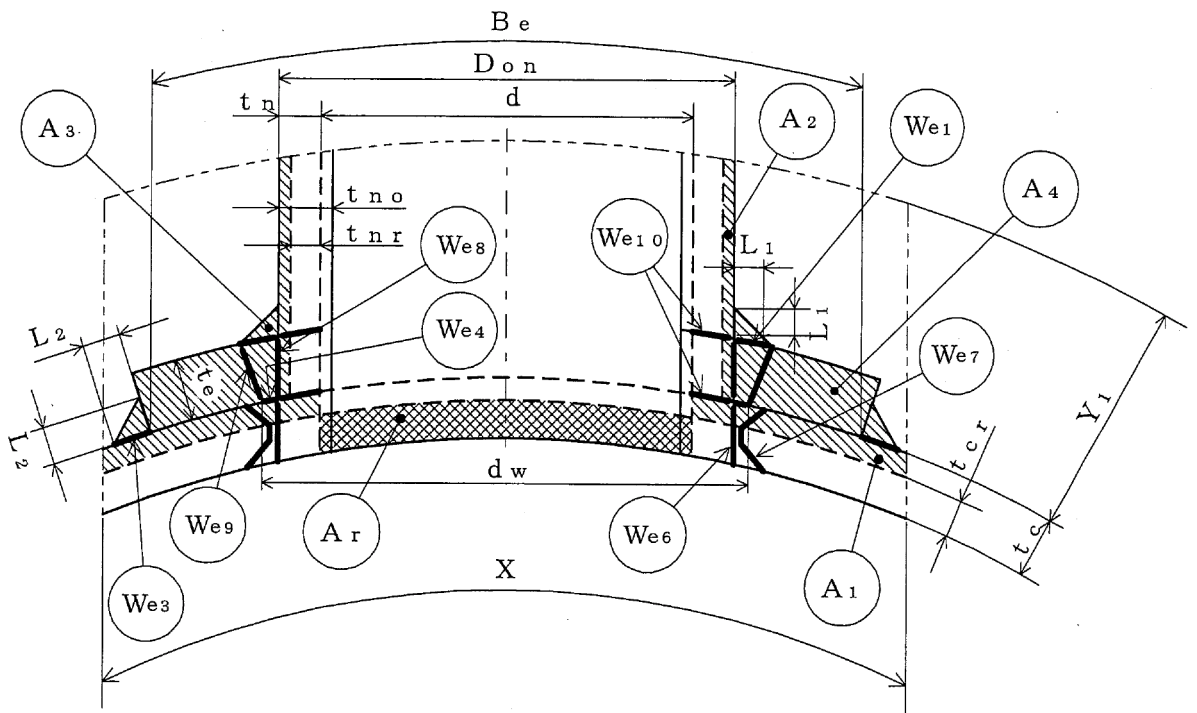
-  補強に有効な面積
-  補強に必要な面積

図3-15

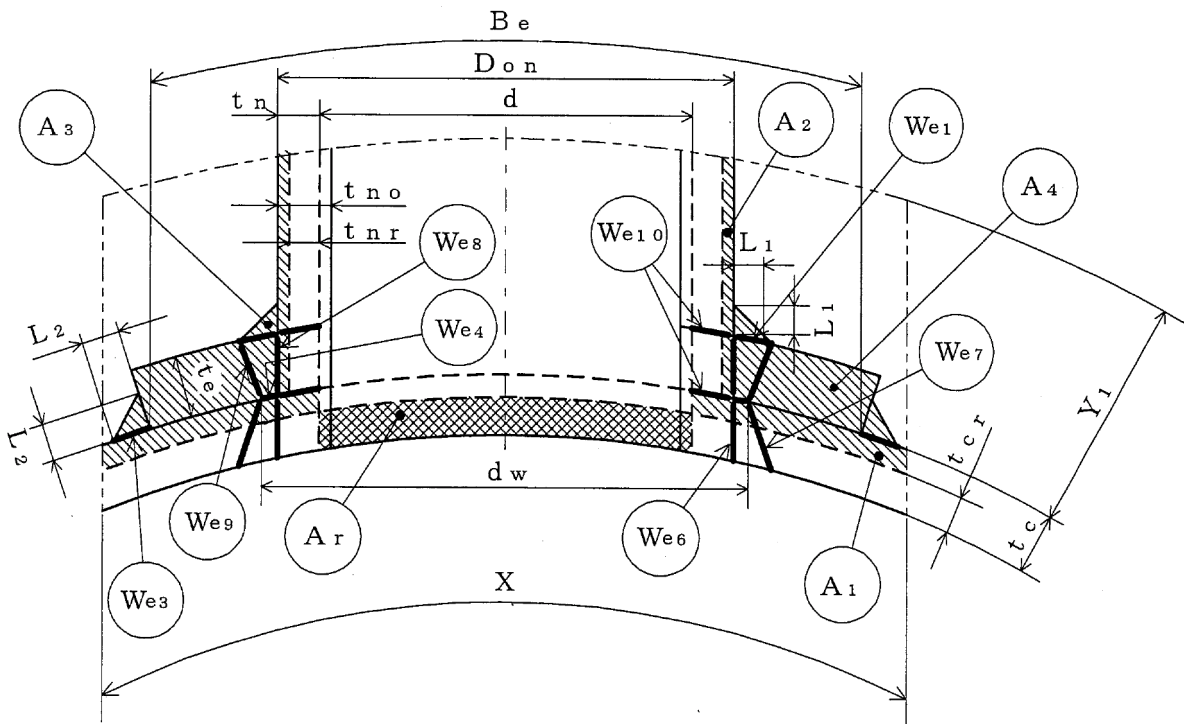


- WELD-44
-  補強に有効な面積
 -  補強に必要な面積

図3-16



WELD-45



WELD-46



図3-17

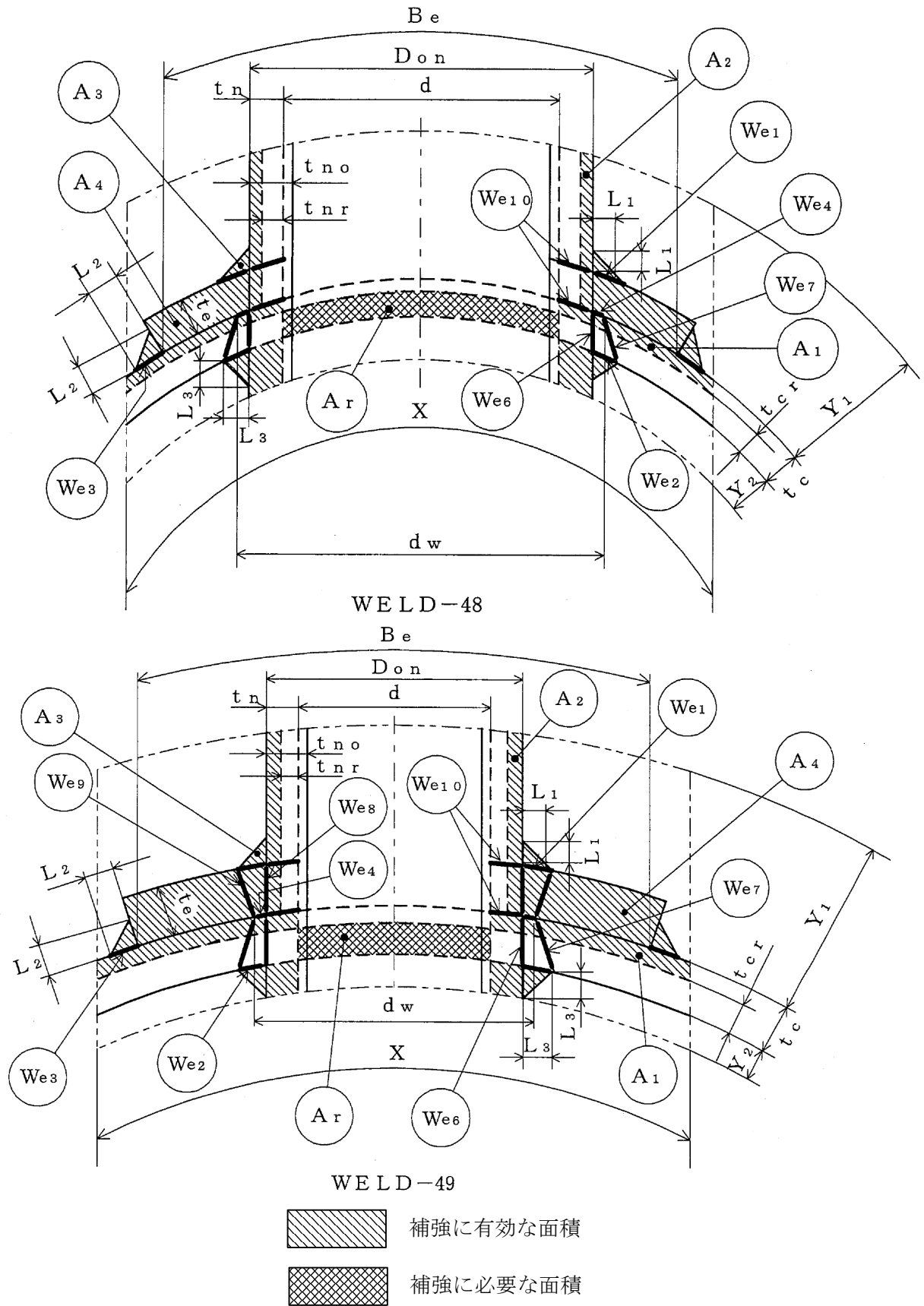


図3-18

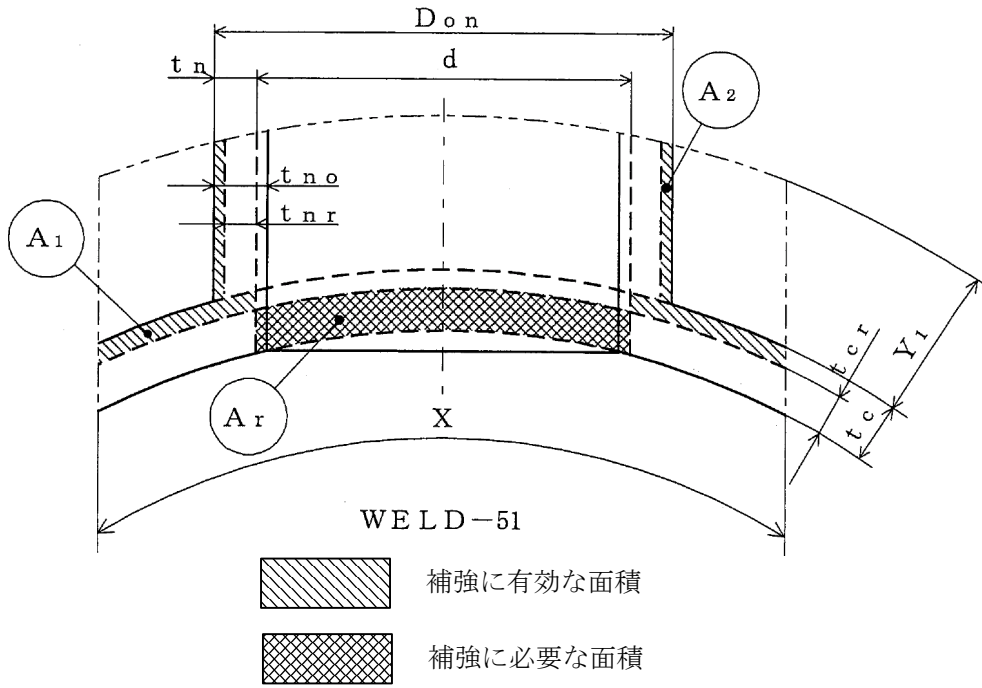


図3-19

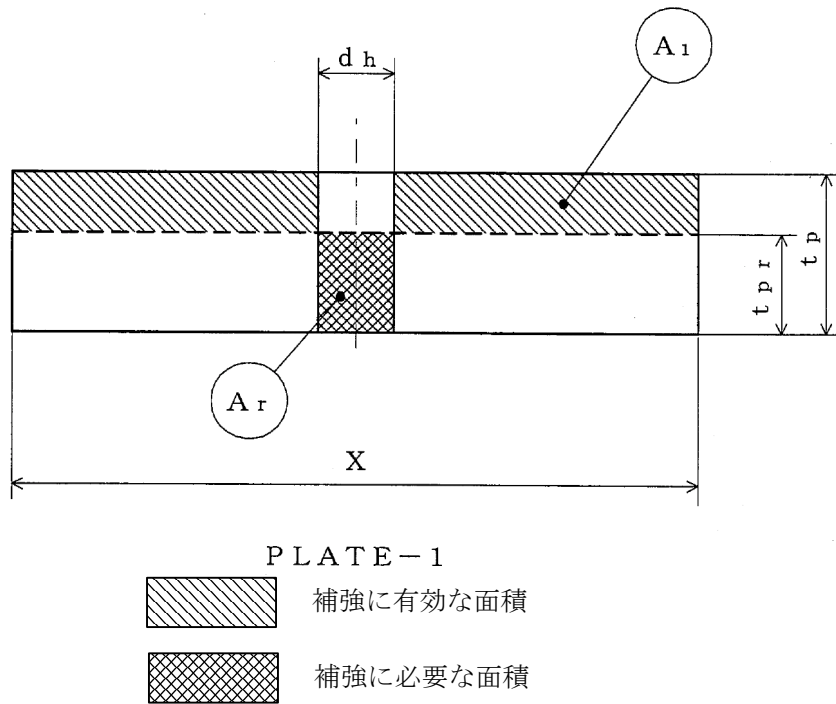
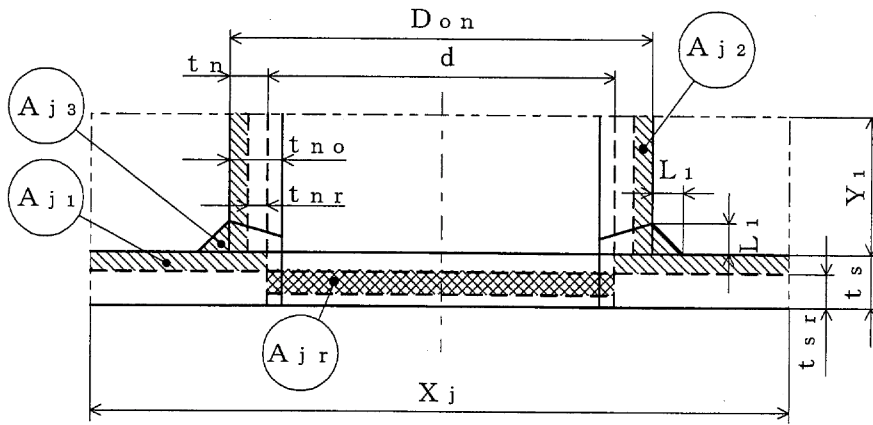
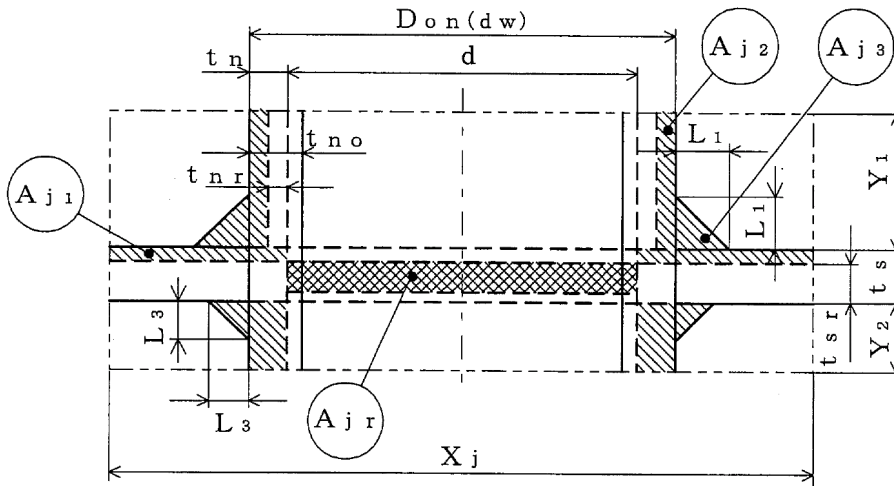


図3-20



WELD-1



WELD-2



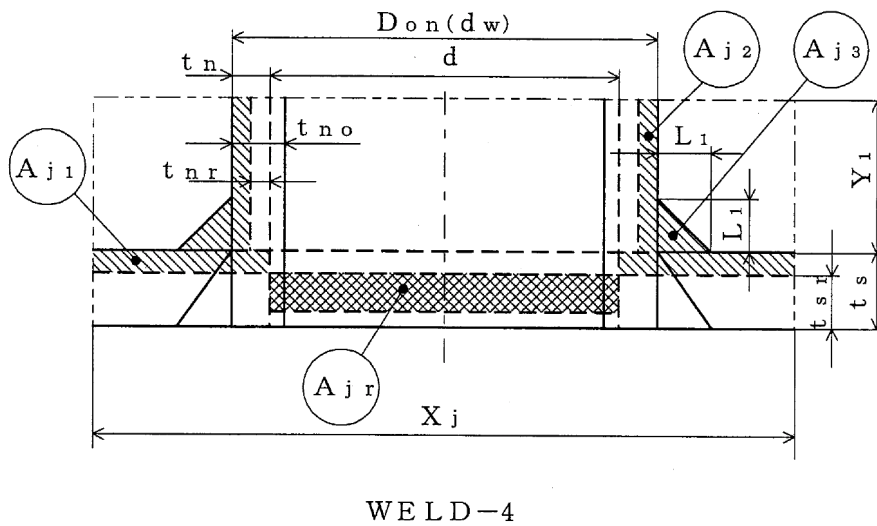
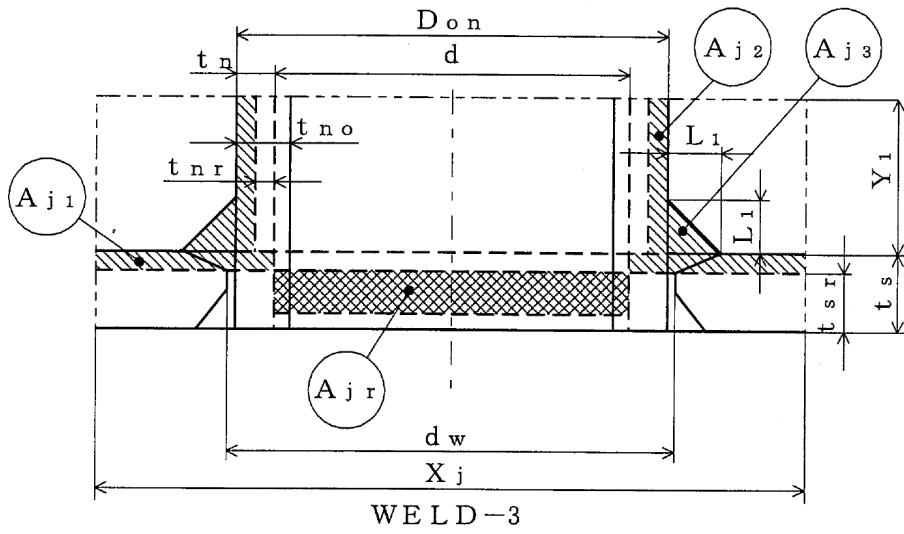
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-21



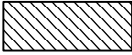
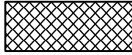
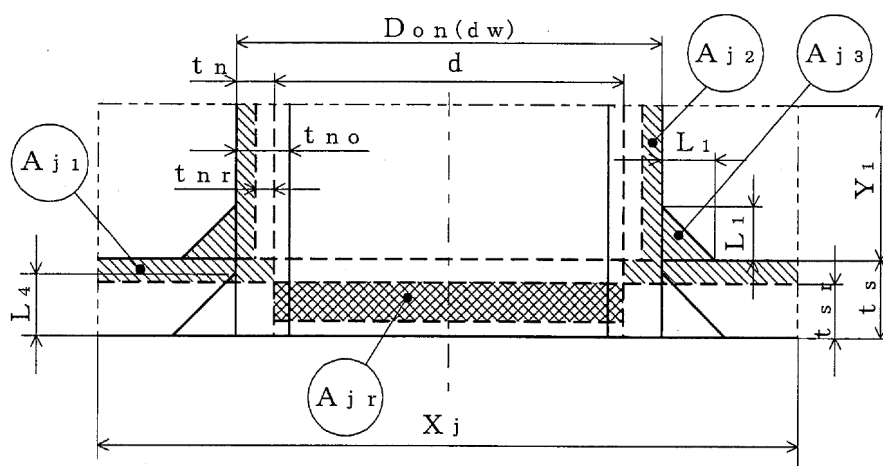
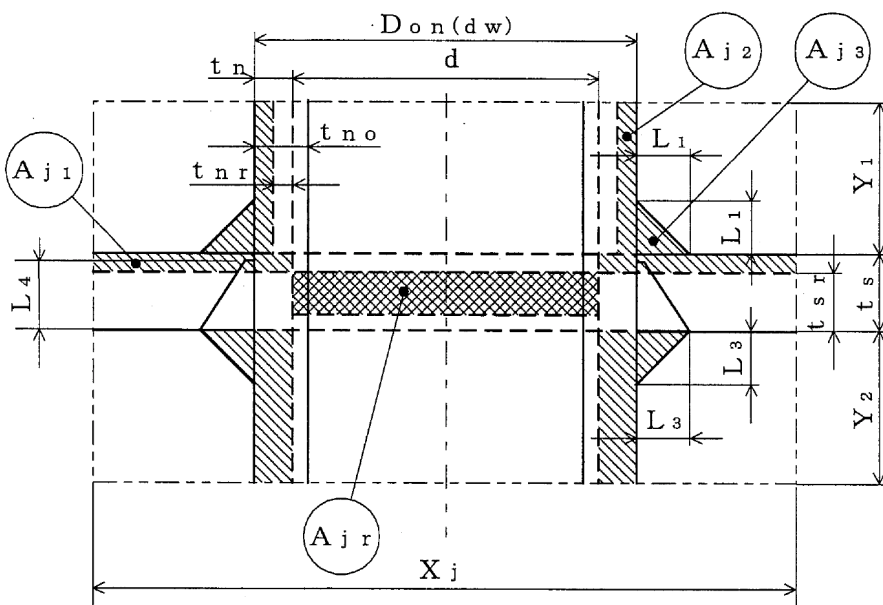
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-22



WELD-5



WELD-6



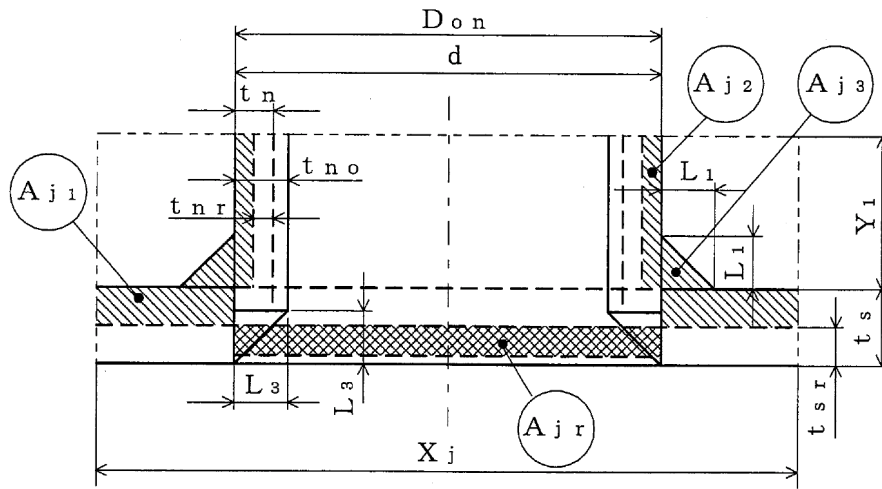
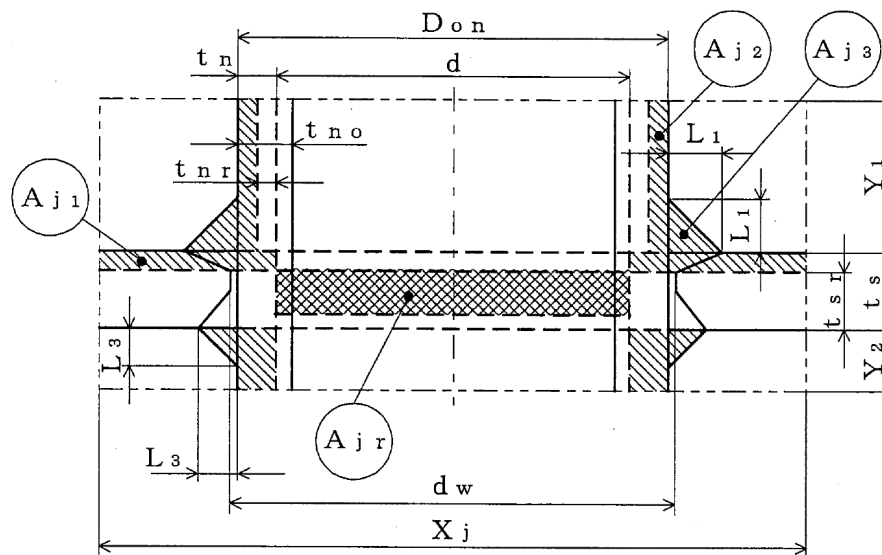
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-23



WELD-8



WELD-9


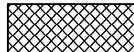
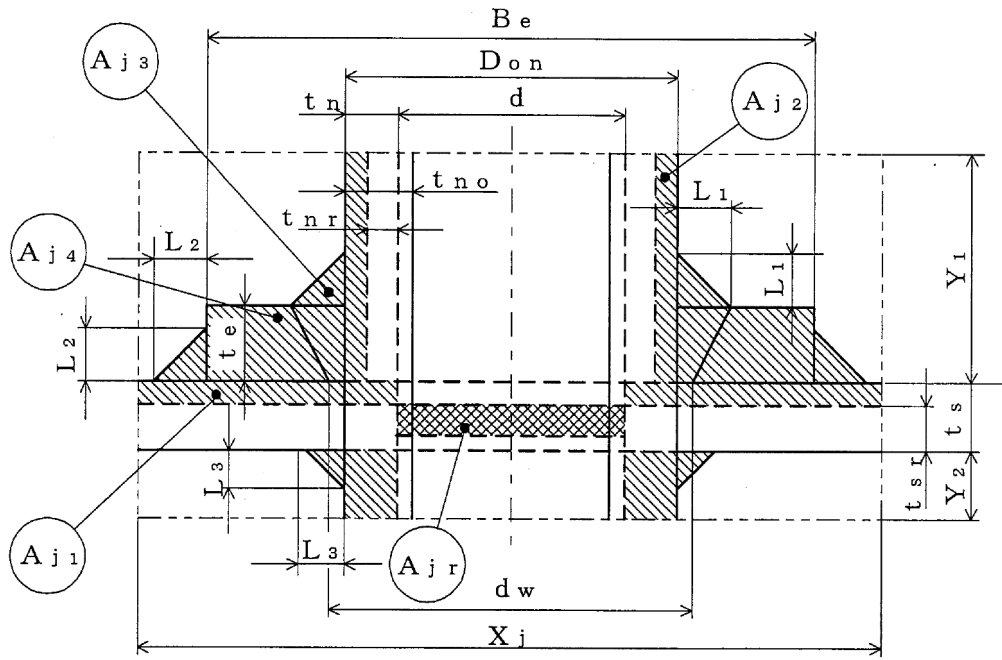
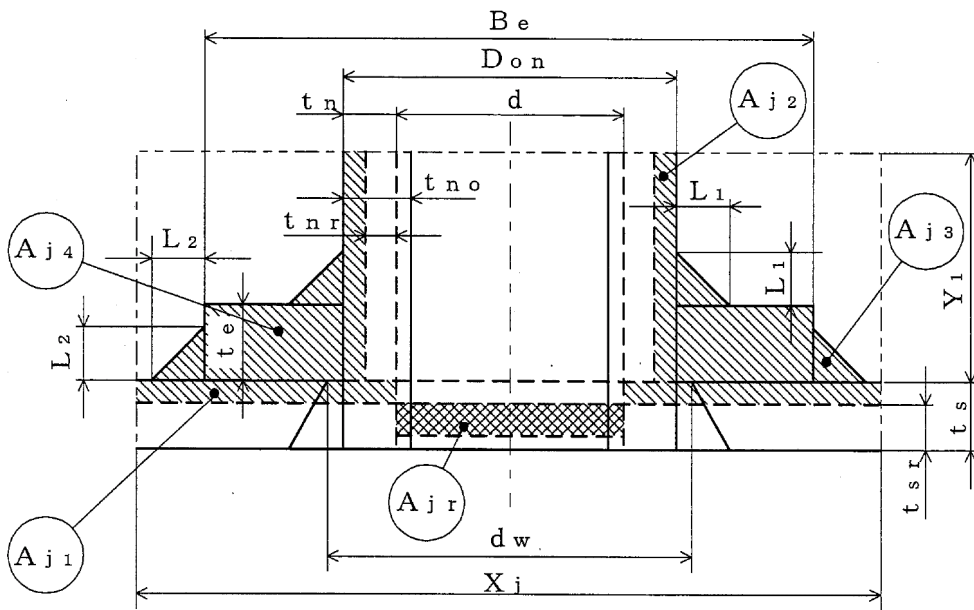
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-24



WELD-11



WELD-12

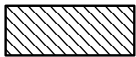
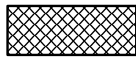
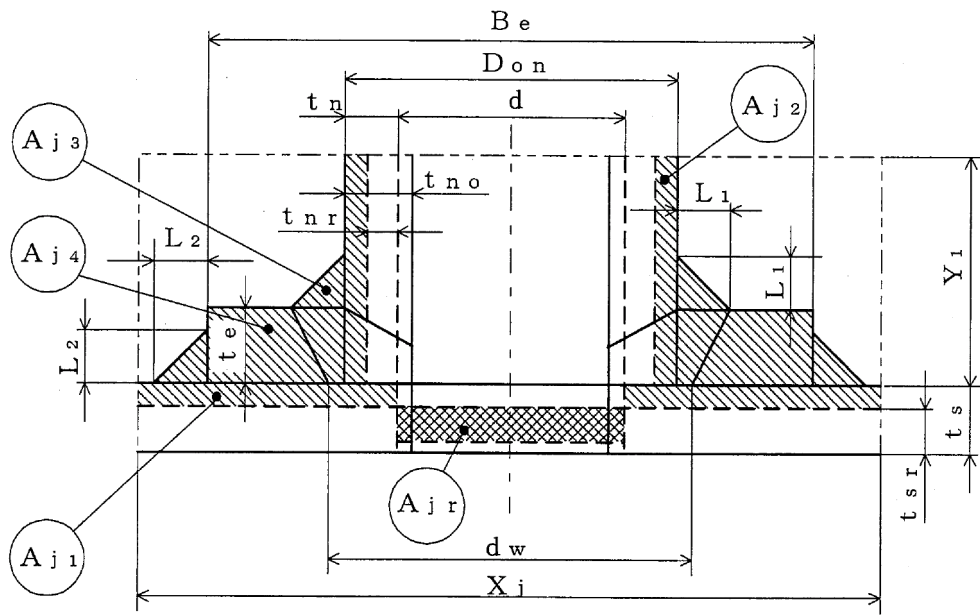
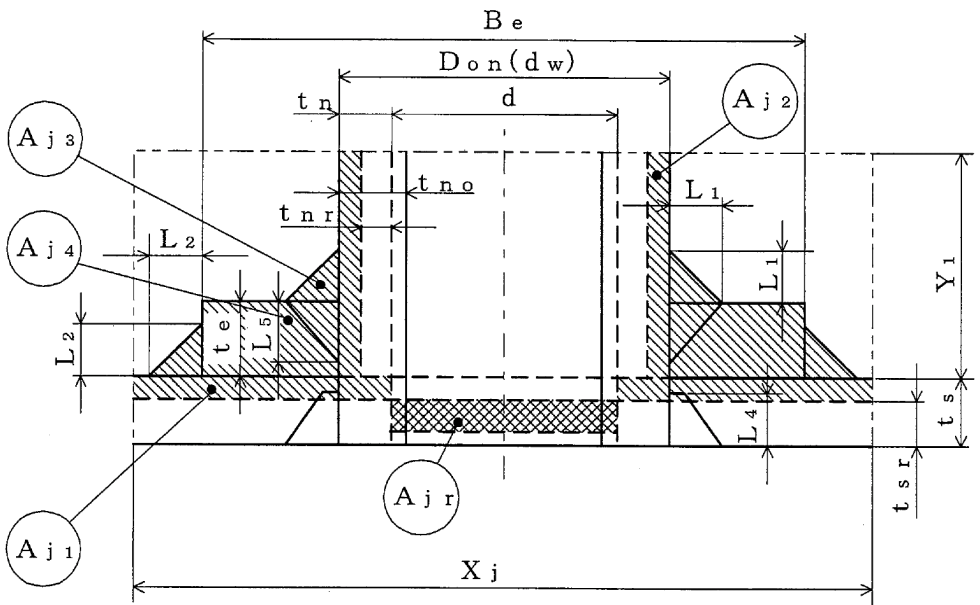
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

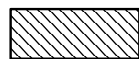
図3-25



WELD-13



WELD-14

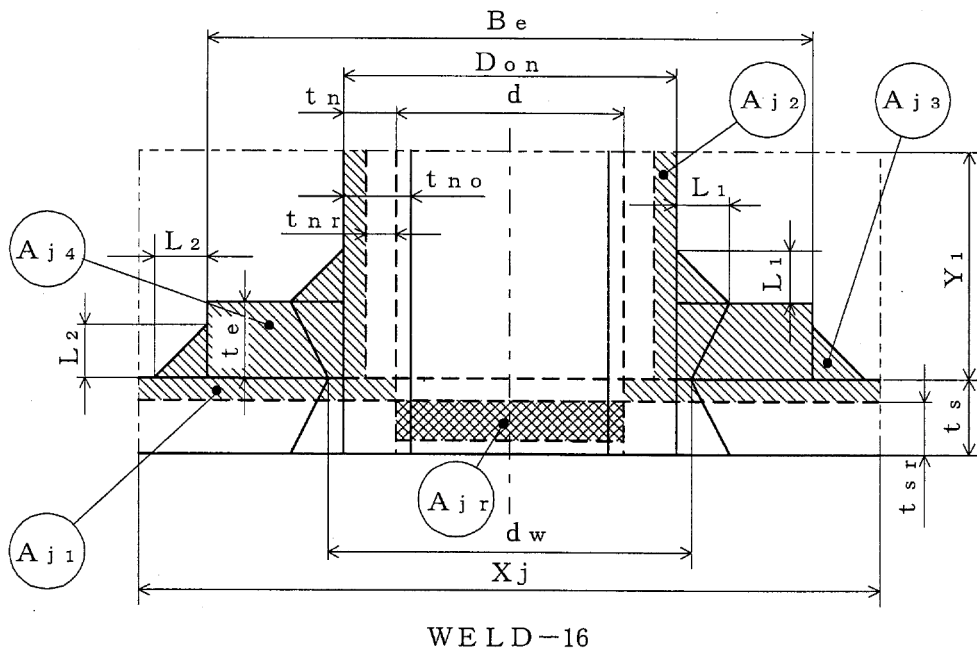
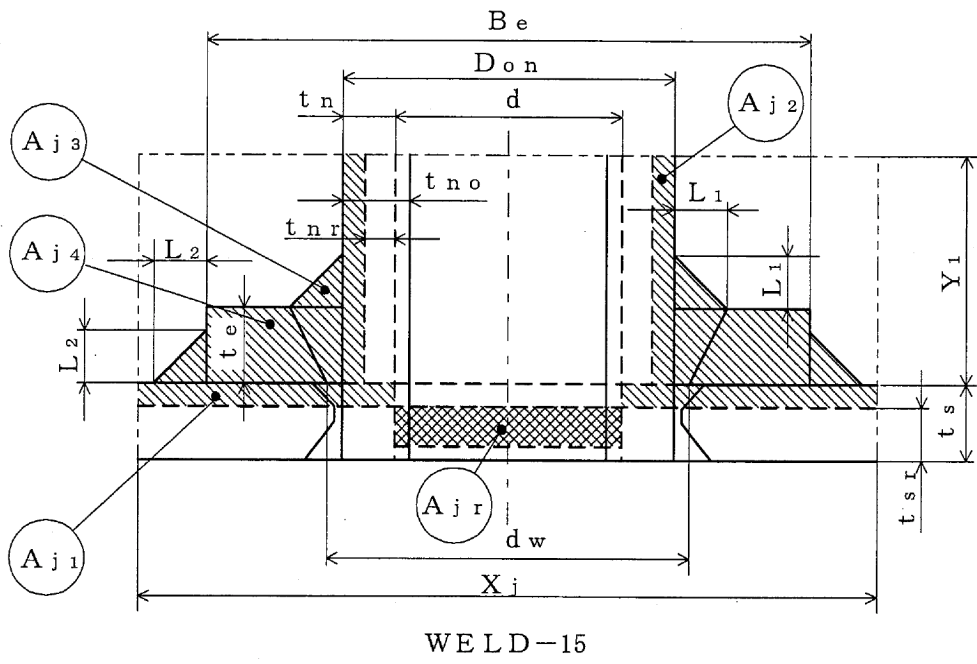


大きい穴の補強に有効な面積



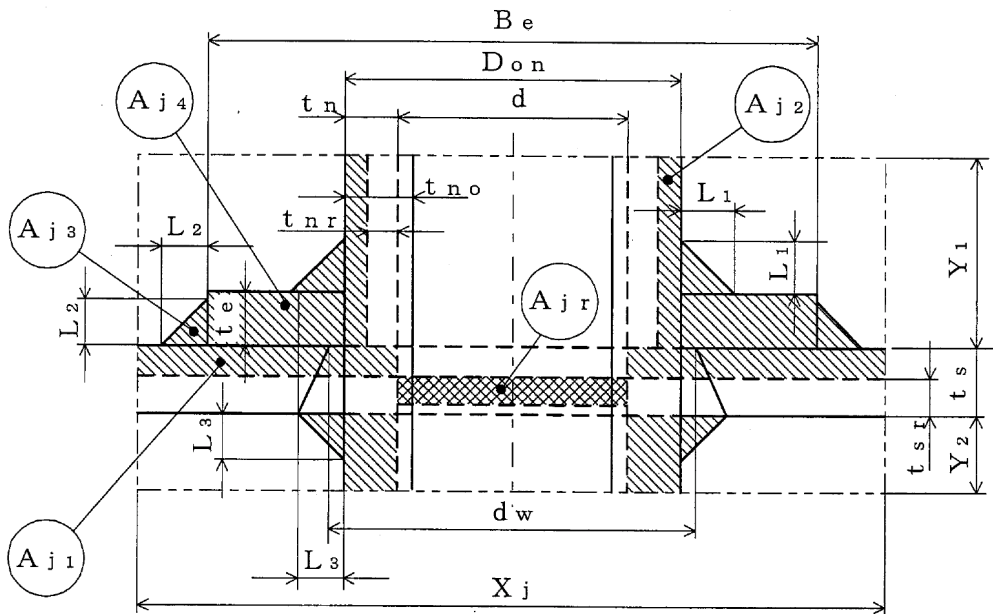
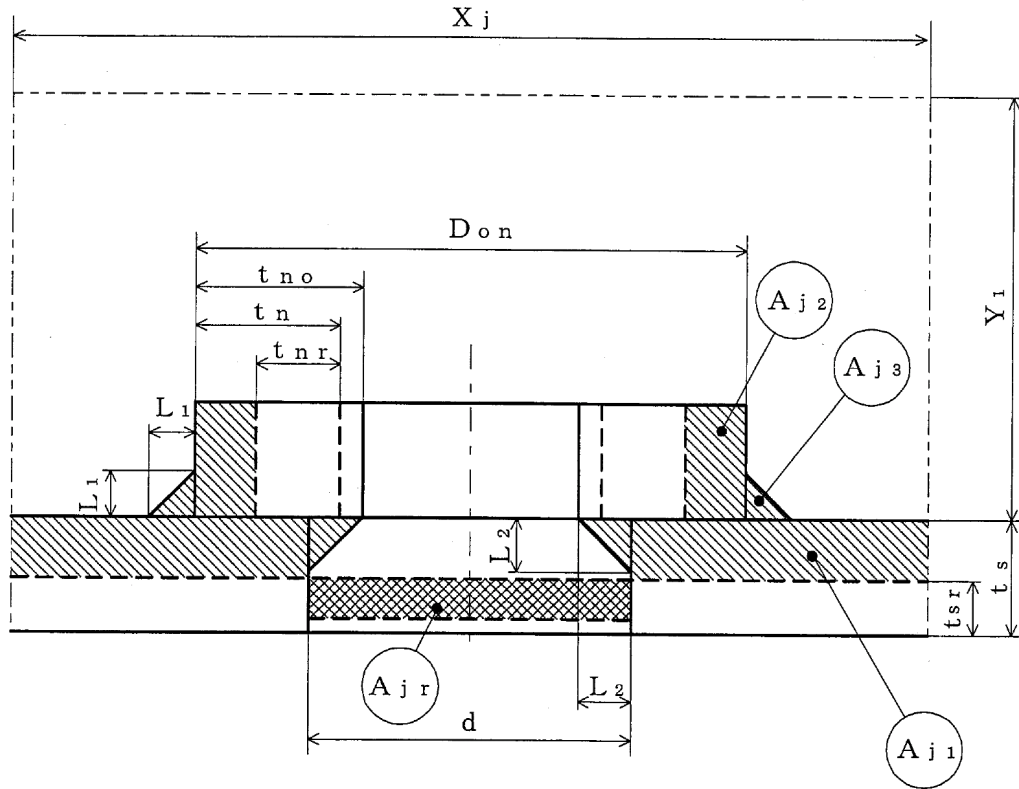
大きい穴の補強に必要な面積

図3-26



- 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

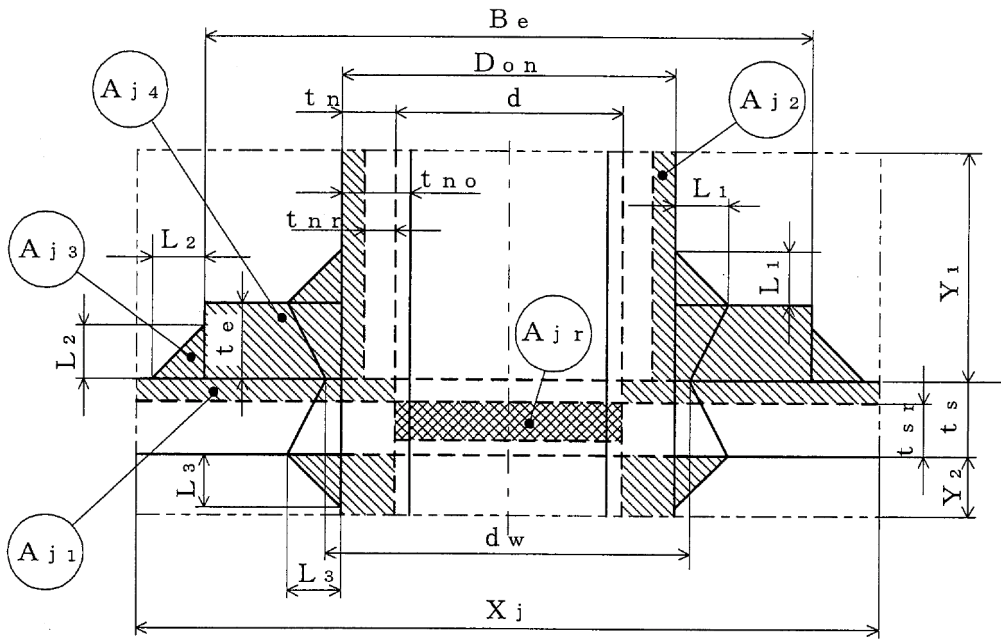


大きい穴の補強に有効な面積

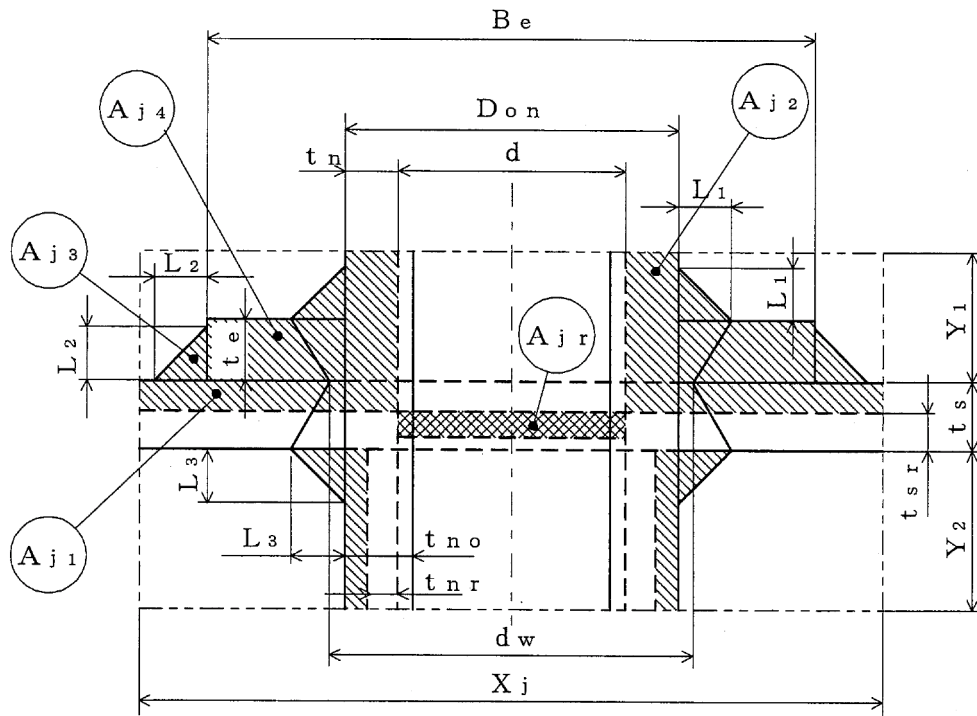


大きい穴の補強に必要な面積

図3-28



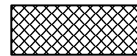
WELD-19



WELD-19'

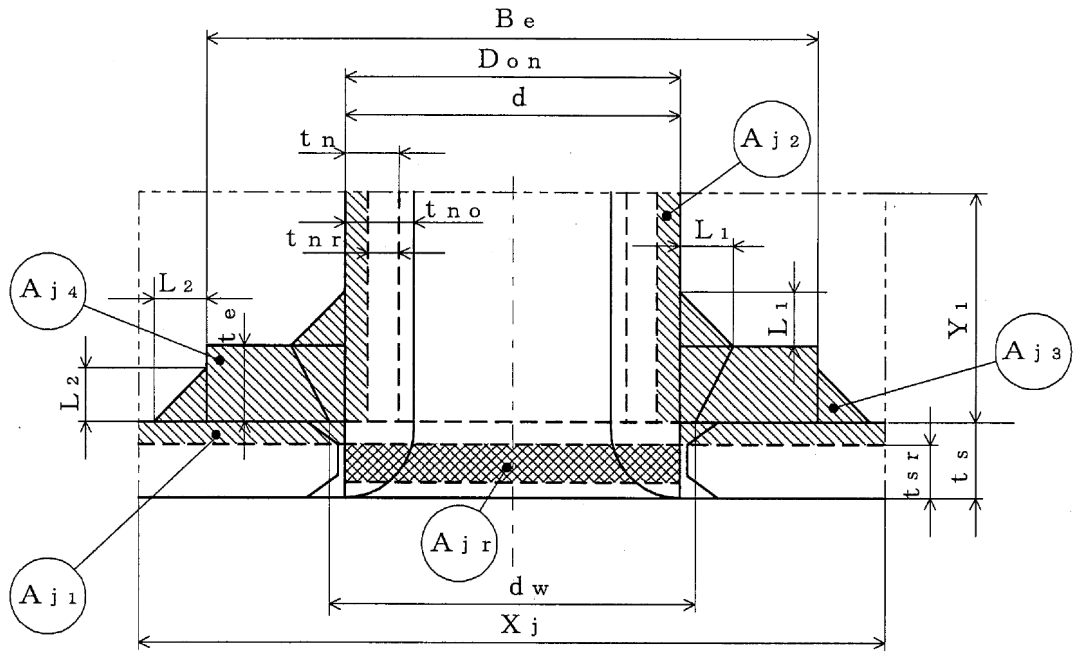


大きい穴の補強に有効な面積



大きい穴の補強に必要な面積

図3-29



WELD-22


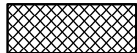
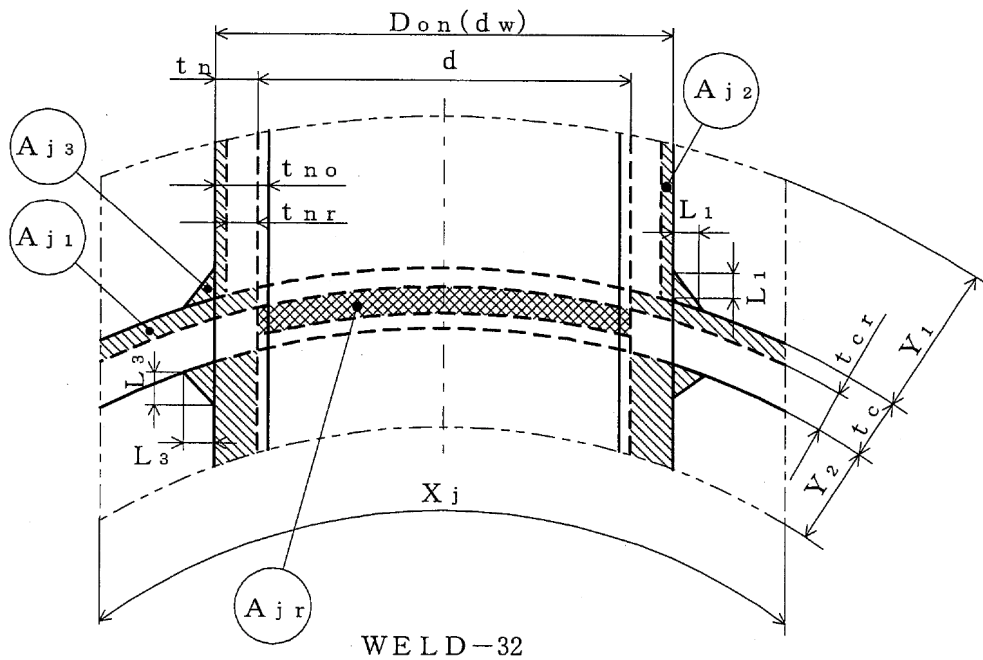
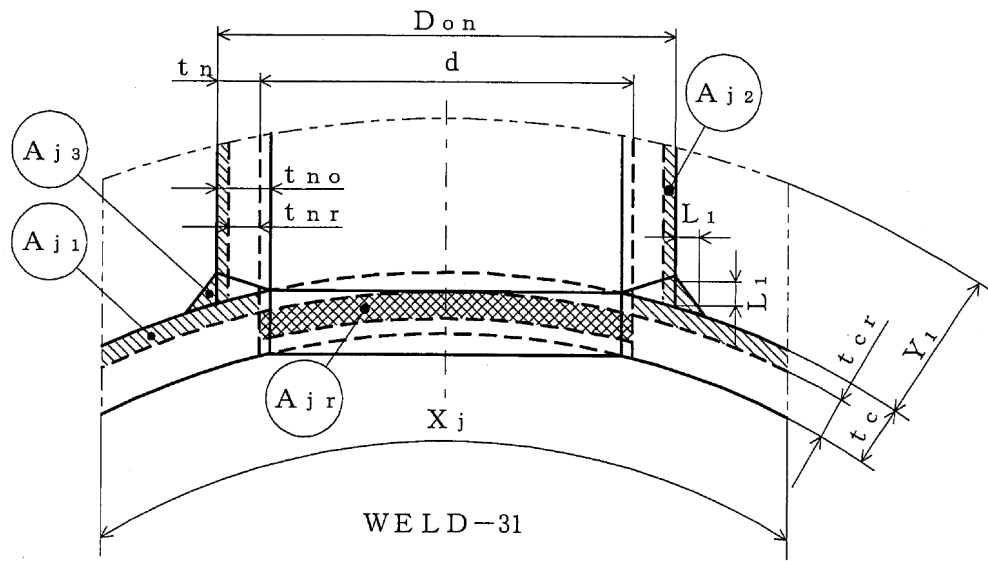
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-30



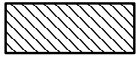
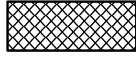
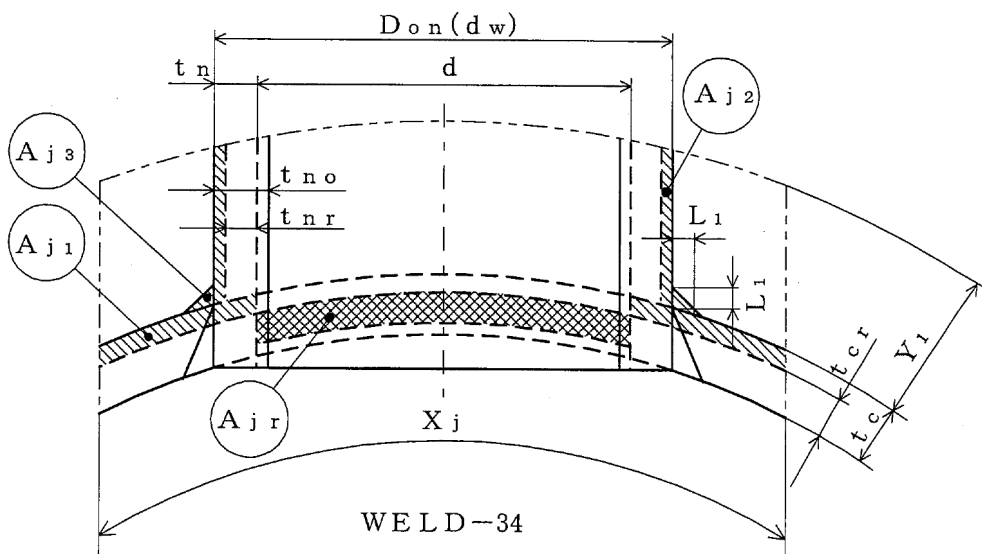
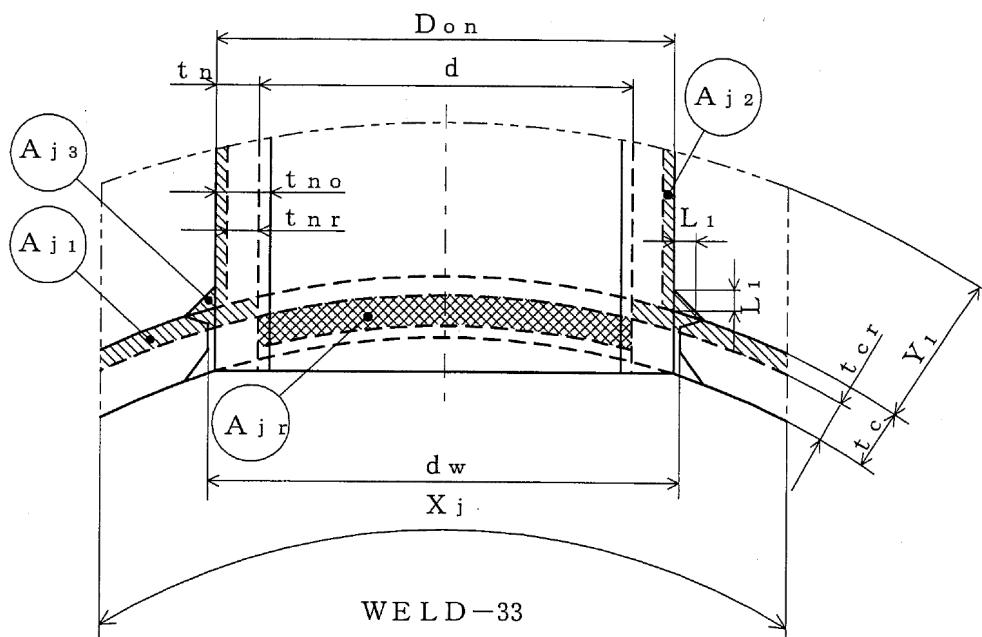
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-31




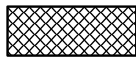
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-32

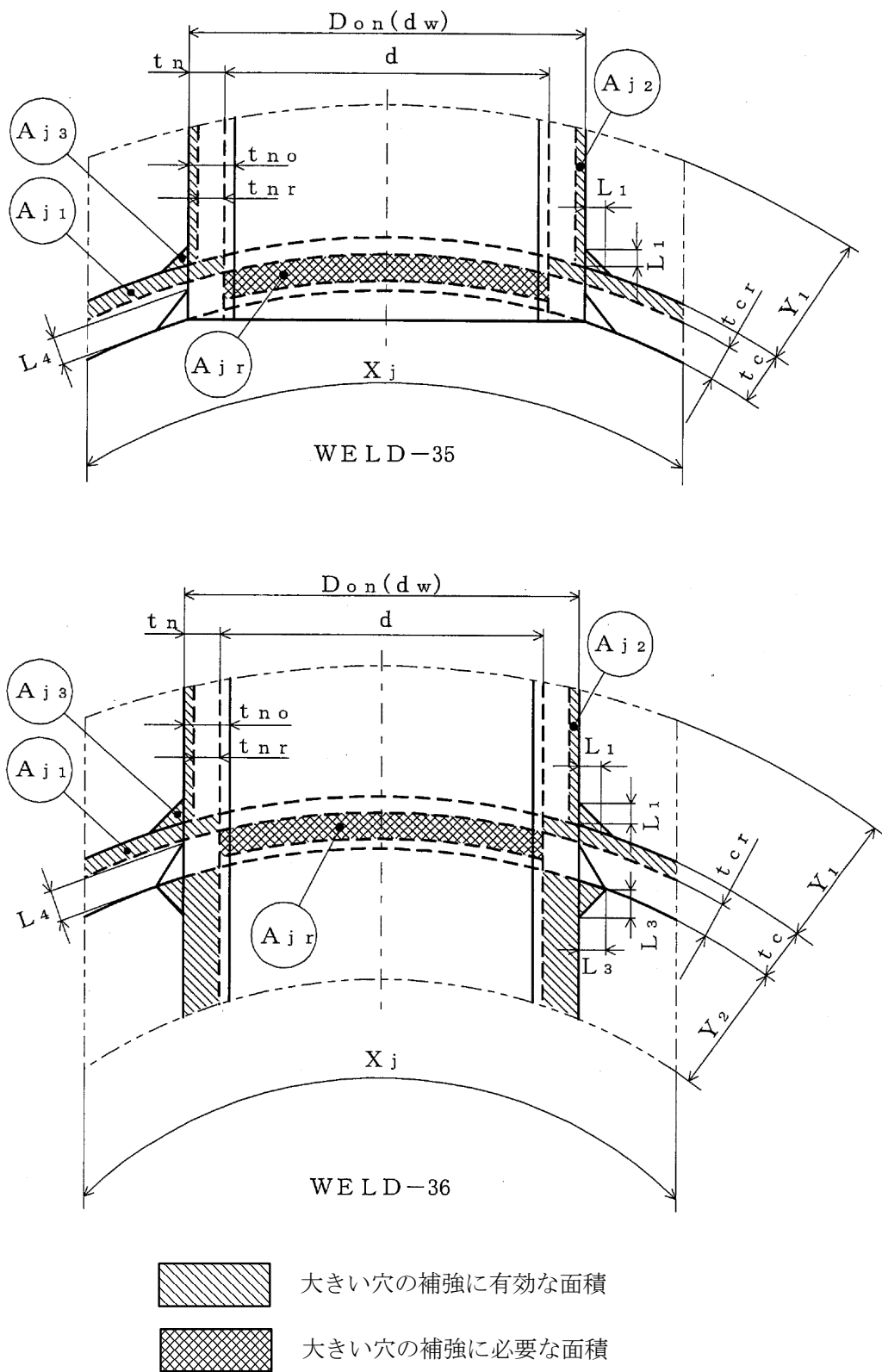
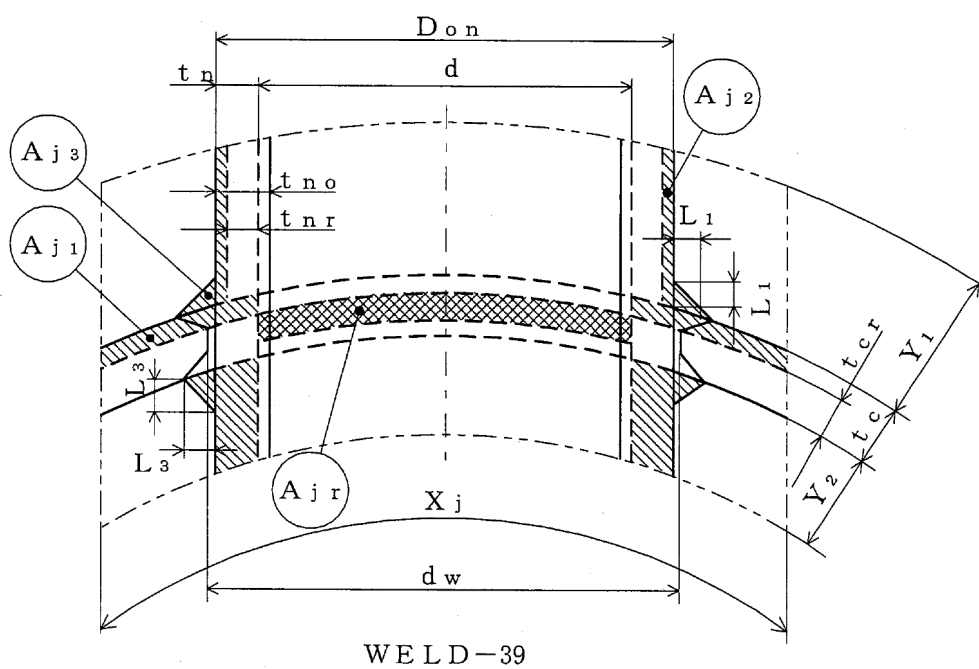
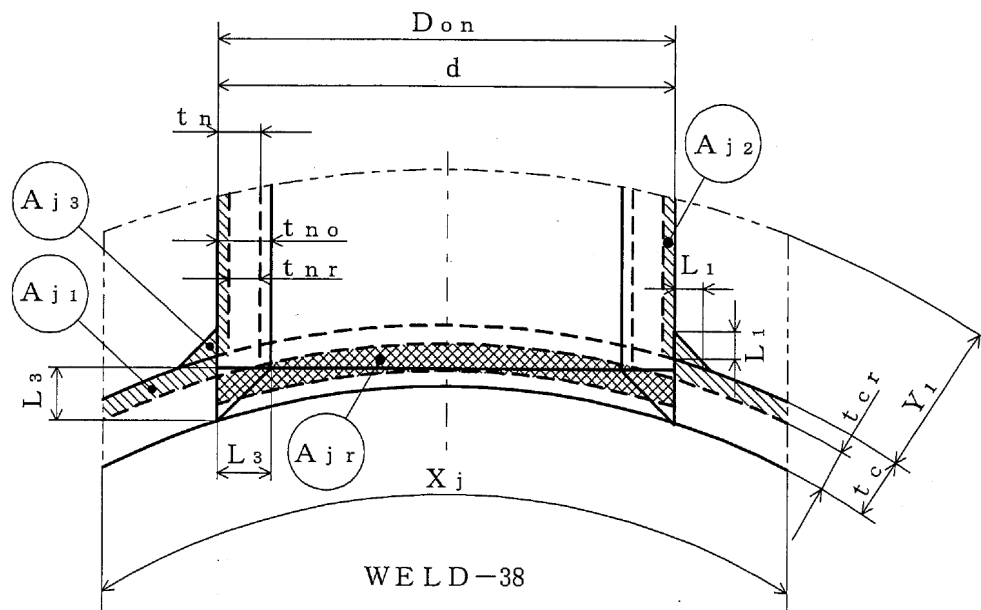


図3-33



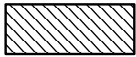
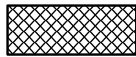
-  大きい穴の補強に有効な面積
-  大きい穴の補強に必要な面積

図3-34

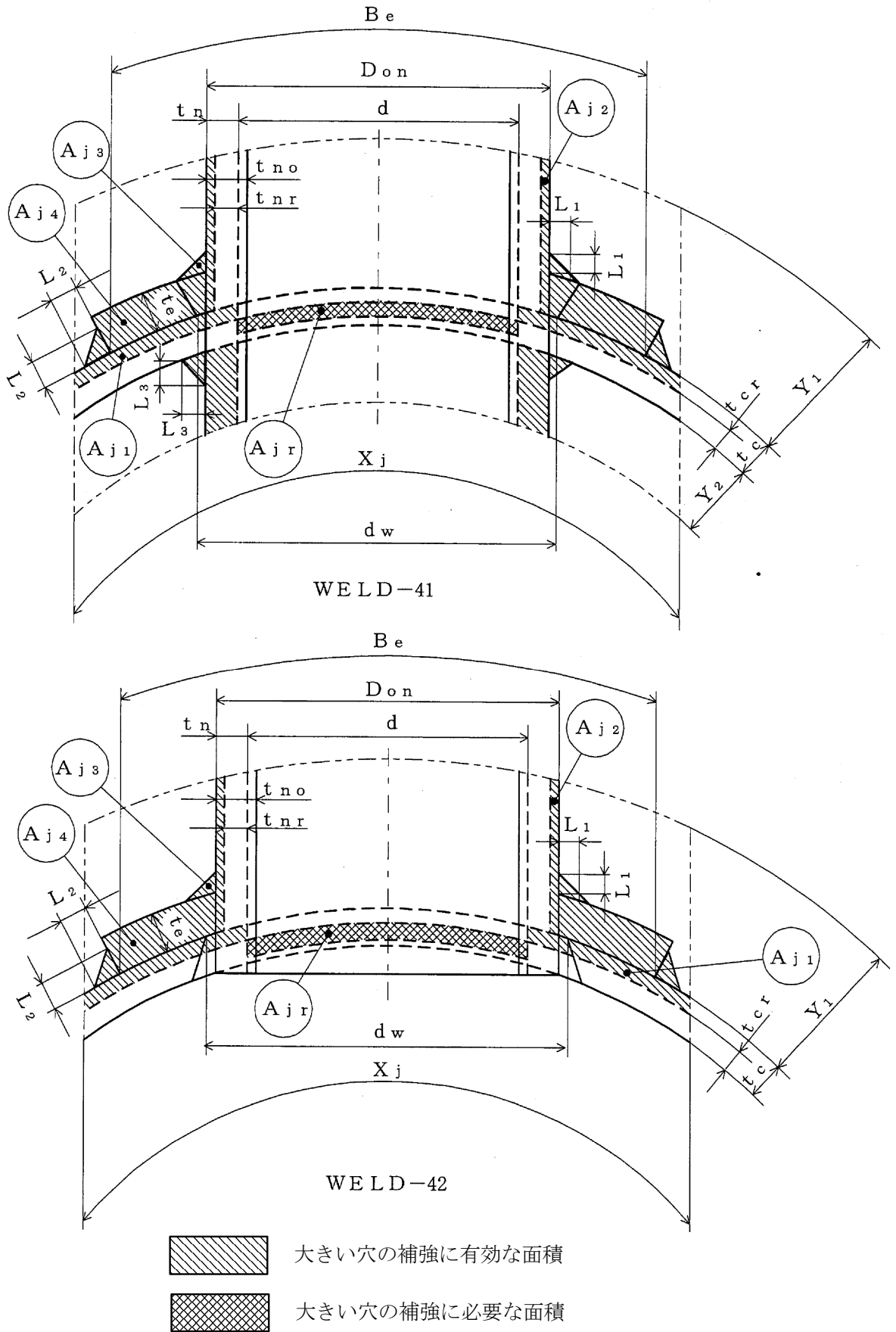


図3-35

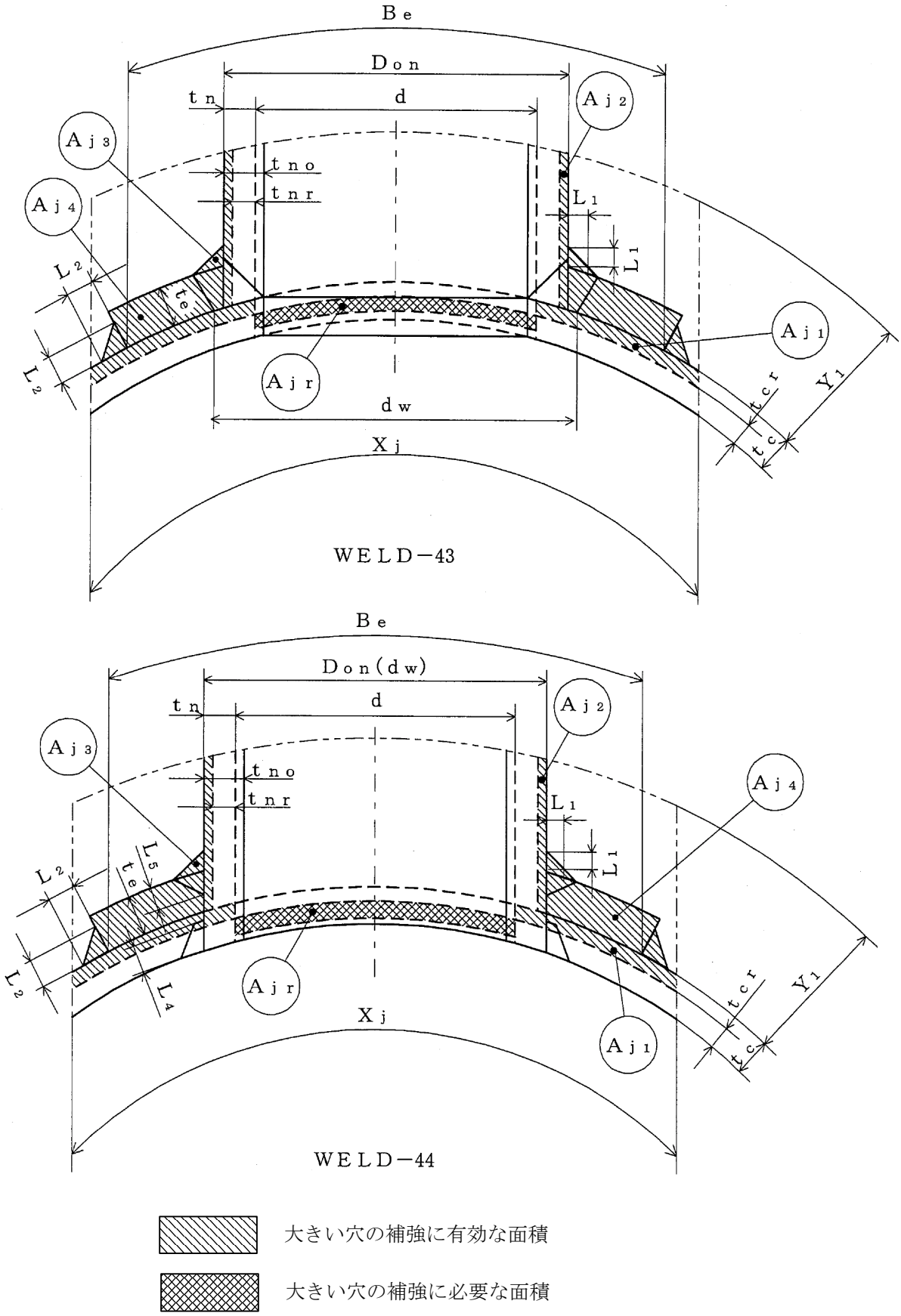
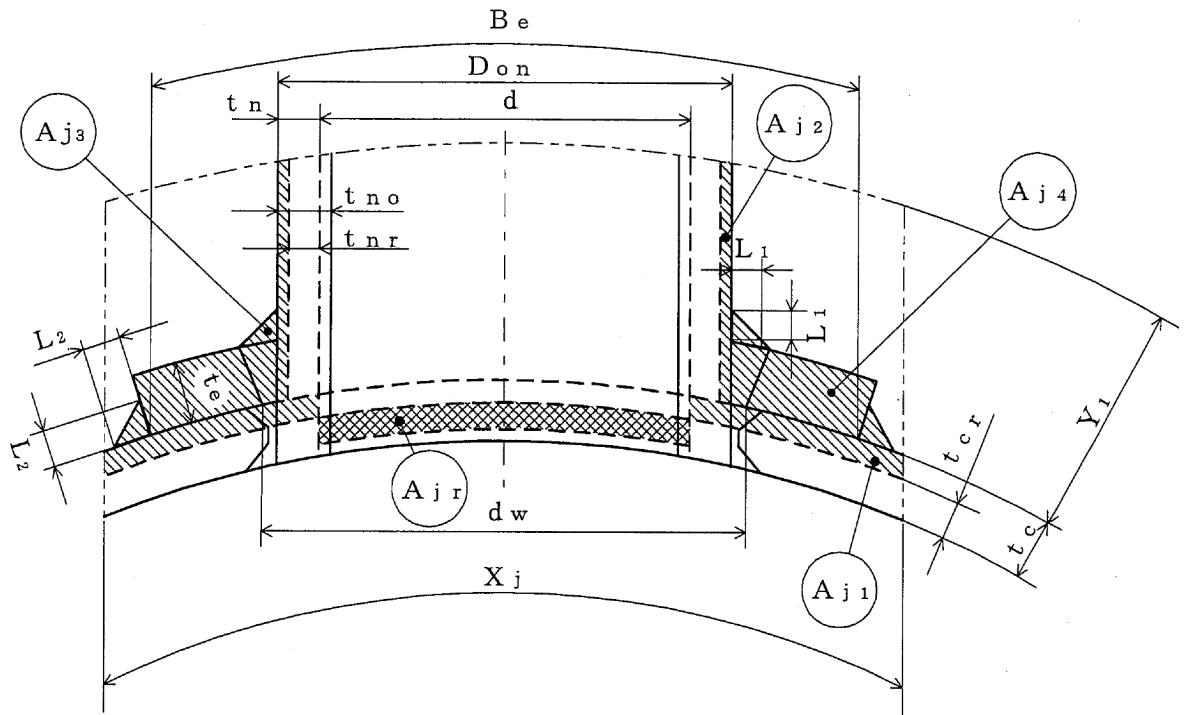
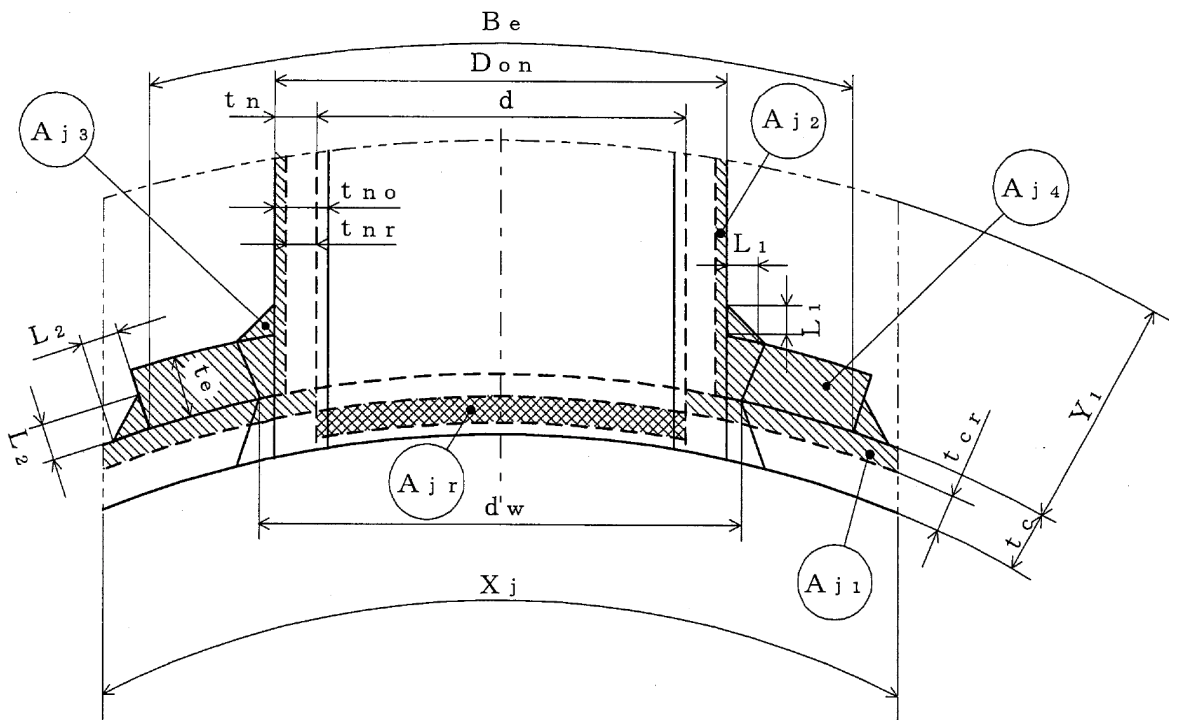


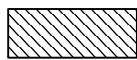
図3-36



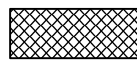
WELD-45



WELD-46

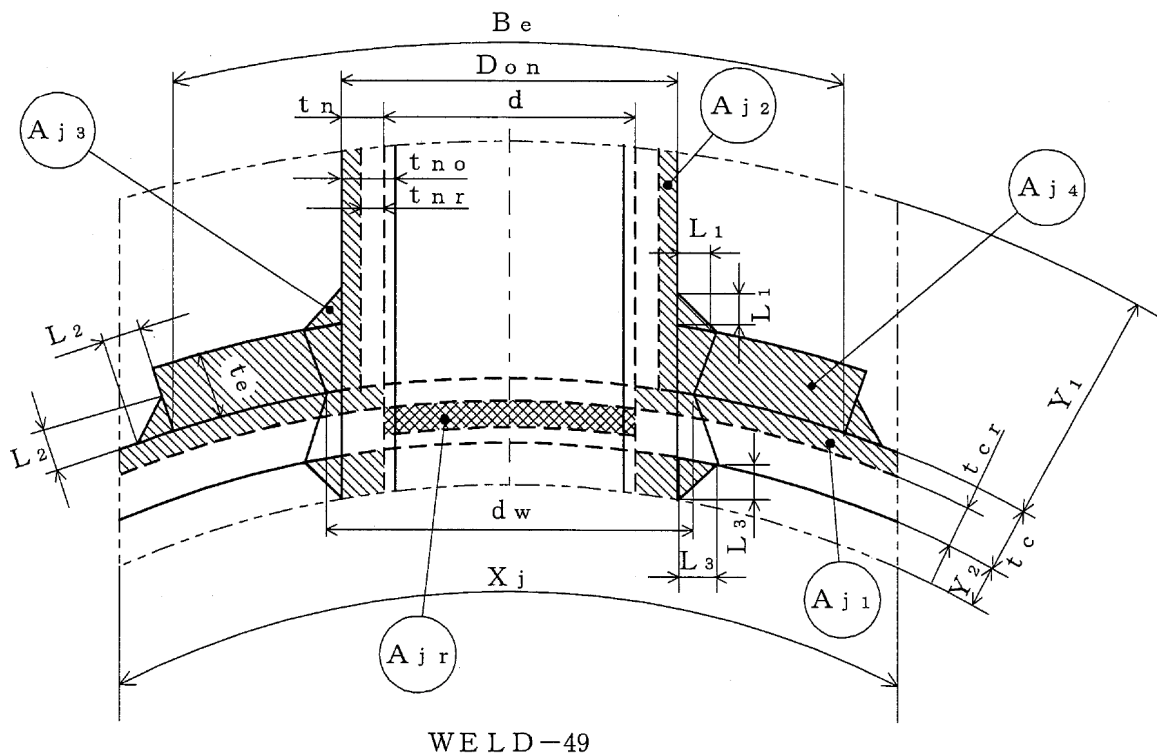
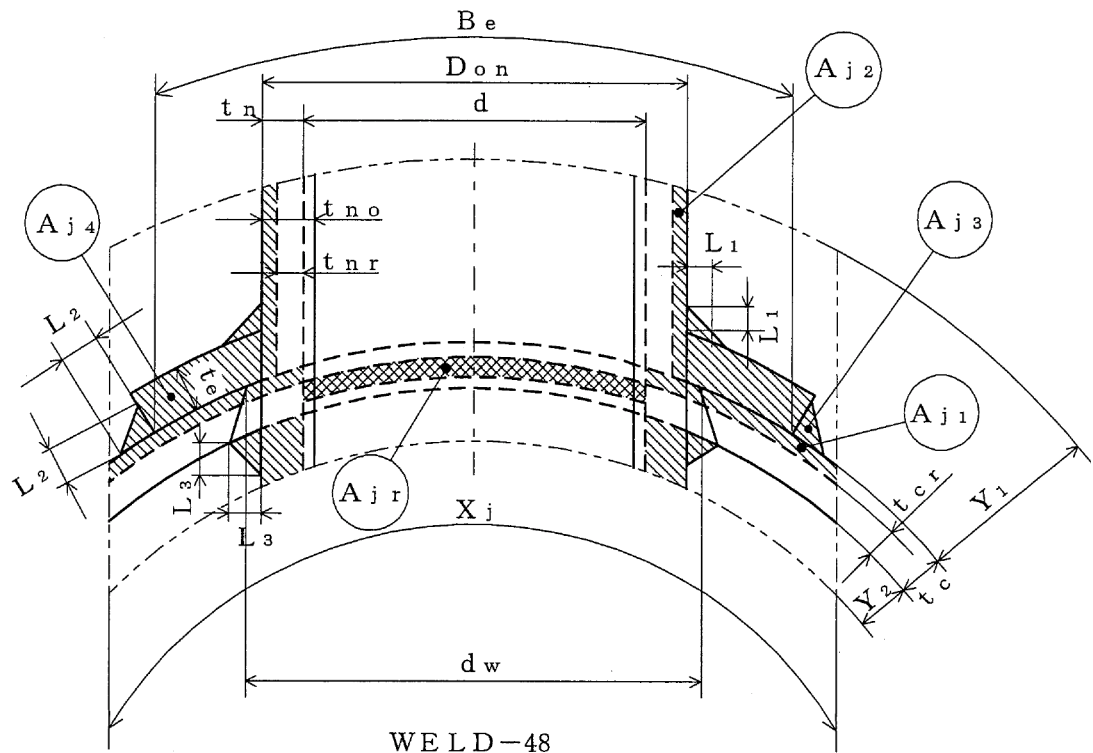


大きい穴の補強に有効な面積

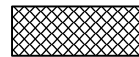


大きい穴の補強に必要な面積

図3-37



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

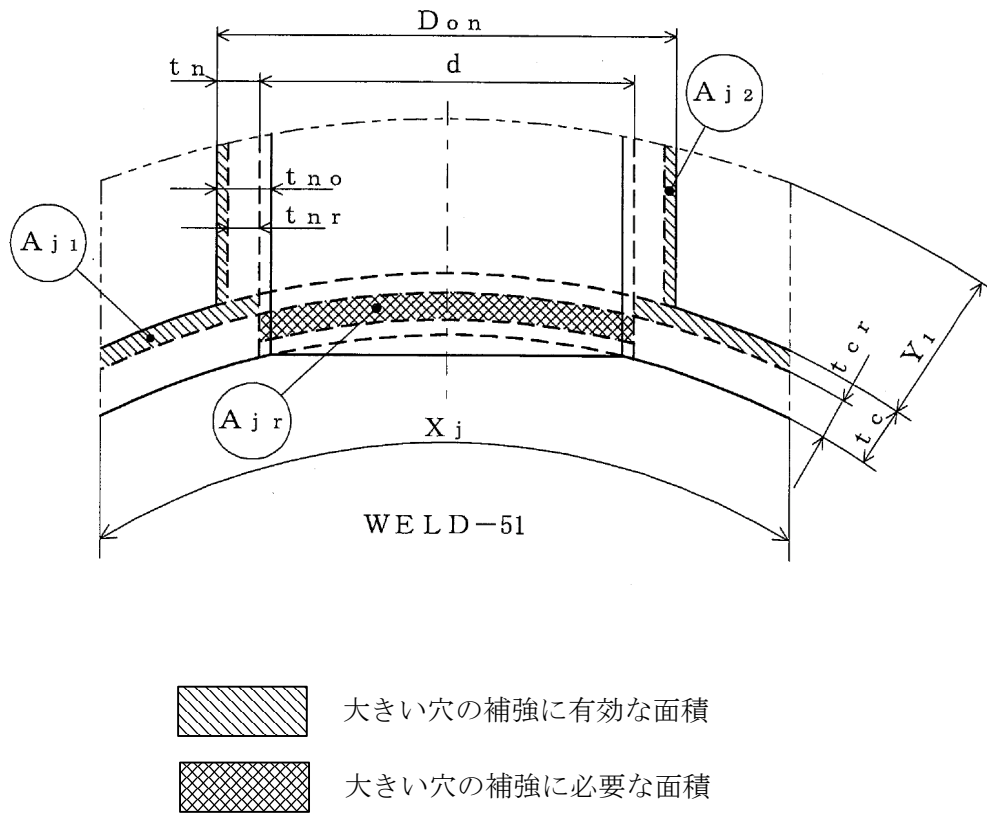


図3-39

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 8 2 6 5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 _{m1}	A _{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm ²
A _{m2}	A _{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm ²
B	B	フランジの内径	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b _o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
C	C	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数 $\left\{ \begin{array}{l} (= \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \\ \text{(一体形フランジ及び一体形フランジと} \\ \text{して計算する任意形フランジの場合))} \\ \\ (= \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \\ \text{(ルーズ形フランジ及びルーズ形フラン} \\ \text{ジとして計算する任意形フランジの場} \\ \text{合))} \end{array} \right.$	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 ₀	h ₀	$\sqrt{B \cdot g_0}$	mm
H _P	H _P	気密を十分に保つために、ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
H _T	H _T	圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	N
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からH _T 作用点までの半径方向の距離	mm
K	K	フランジの内外径の比, $\frac{A}{B}$	—
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	$K = (\frac{A}{B})$ 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	$K = (\frac{A}{B})$ 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	$K = (\frac{A}{B})$ 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	$K = (\frac{A}{B})$ 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「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asket締付時に必要なボルト荷重

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

熱交換器の管板を挟む一对のフランジのように、フランジ又はガasketが同一でない場合は、 W_{m1} 及び W_{m2} の値は、それぞれのフランジ又はガasketについて計算した値のうちの大きい方とし、その値を両方のフランジの計算に用いる。

また、セルフシールガasketを用いる場合は、

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

$$W_{m2} = 0$$

とする。

- 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，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asket縮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asket縮付時のフランジの応力

$$\sigma_H = 0$$

$$\sigma_R = 0$$

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

k. 評価

内圧を受けるフランジは，下記の条件を満足すれば十分である。

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

イ. ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

ロ. ハブの軸方向応力

一体形フランジとして計算するものの場合

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asket縮付時にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 1.5 \cdot \sigma_{na})$

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asket縮付時にあつては $\sigma_H \leq \text{Min}(1.5 \cdot \sigma_{fa}, 2.5 \cdot \sigma_{na})$

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asket縮付時にあつては $\sigma_H \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

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asket縮付時にあつては $\sigma_R \leq \sigma_{fa}$

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 $\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leq \sigma_{fa}$

ヘ. 軸方向と周方向応力の平均

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

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

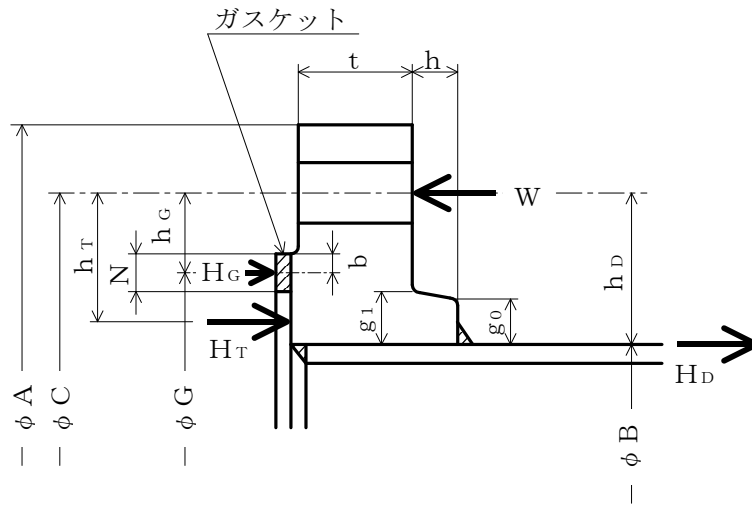
(b) ルーズ形フランジでハブがないもの、ハブを無視して計算するもの及びハブなしルーズ形フランジとして計算する任意形フランジ

イ. ボルトの総有効断面積 $A_b > A_m$

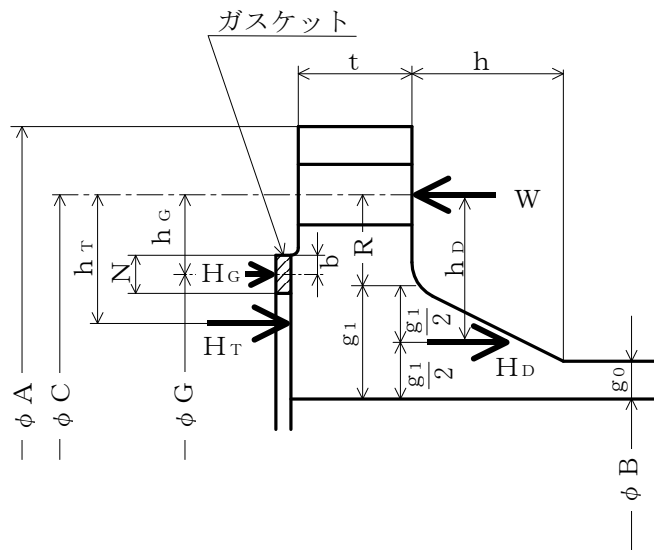
ロ. フランジの周方向応力

使用状態にあつては $\sigma_T \leq \sigma_f$

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



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

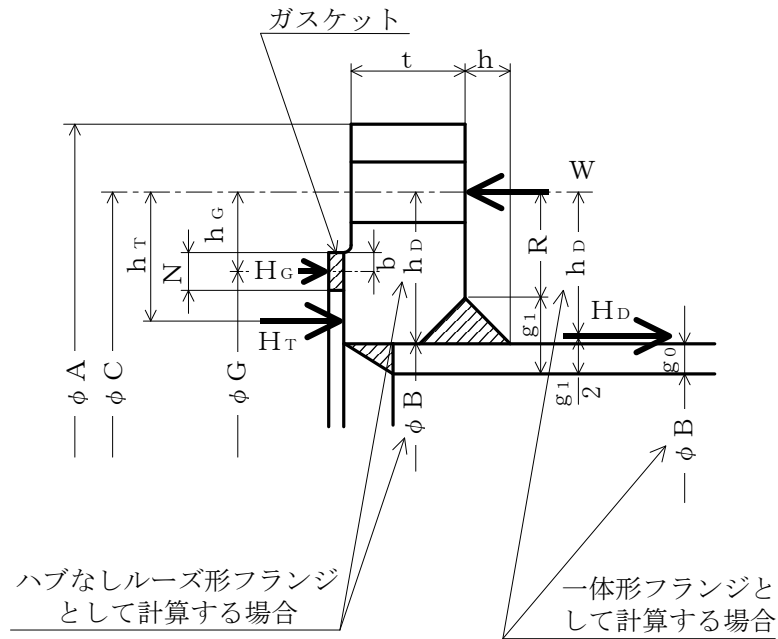


FLANGE-2 (JIS B 8265 附属書3 図2 7), 8), 9)
 [一体形フランジ]

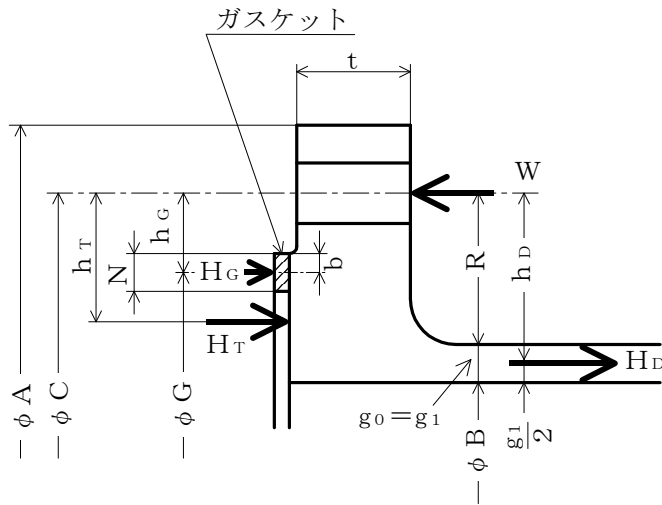
注1: ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

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

図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〕

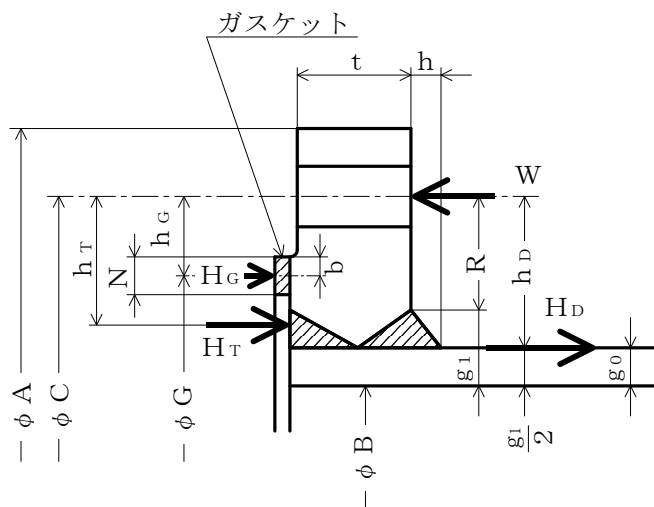


FLANGE-4 (JIS B 8265 附属書3 図2 6))
〔一体形フランジ〕

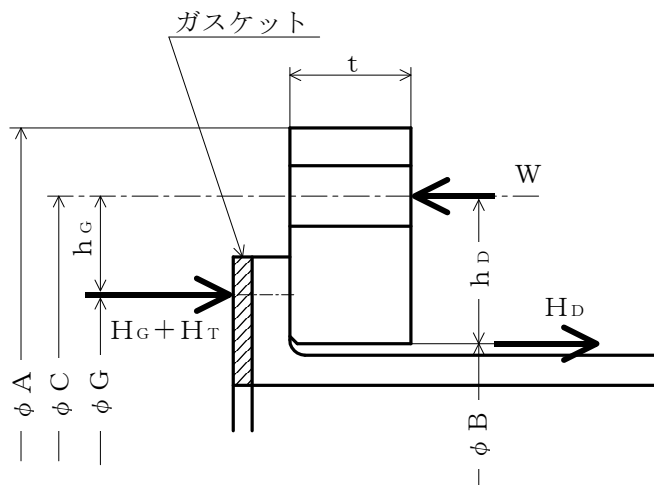
注1：ここに示すフランジ形状は基本形式とする。

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. 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、告示第501号又は告示第452号による評価を実施する。ただし、改造を行う設備については、設計・建設規格又はCCV規格による評価を実施する。

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

- VI-3-3-6-1-1-1 原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書
- VI-3-3-6-1-1-2 原子炉格納容器ライナ部の強度計算書
- VI-3-3-6-1-1-3 原子炉格納容器胴の基本板厚計算書
- VI-3-3-6-1-1-4 ドライウェル上鏡の強度計算書
- VI-3-3-6-1-1-5 ドライウェル主フランジの強度計算書
- VI-3-3-6-1-1-6 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）の強度計算書

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