

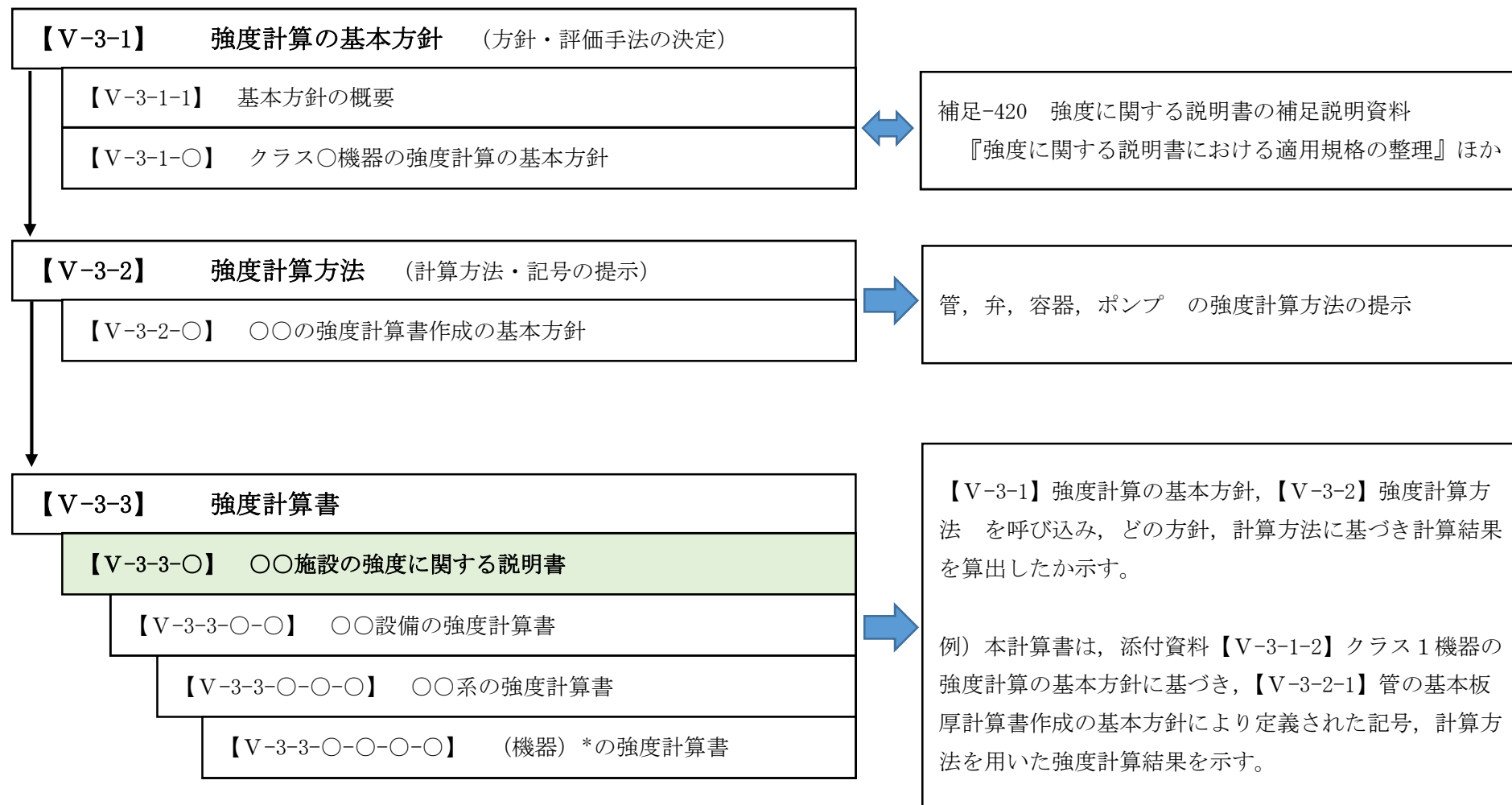
TK-1-050 改0

平成30年1月30日
日本原子力発電株

強度に関する説明書の資料構成について（詳細例）

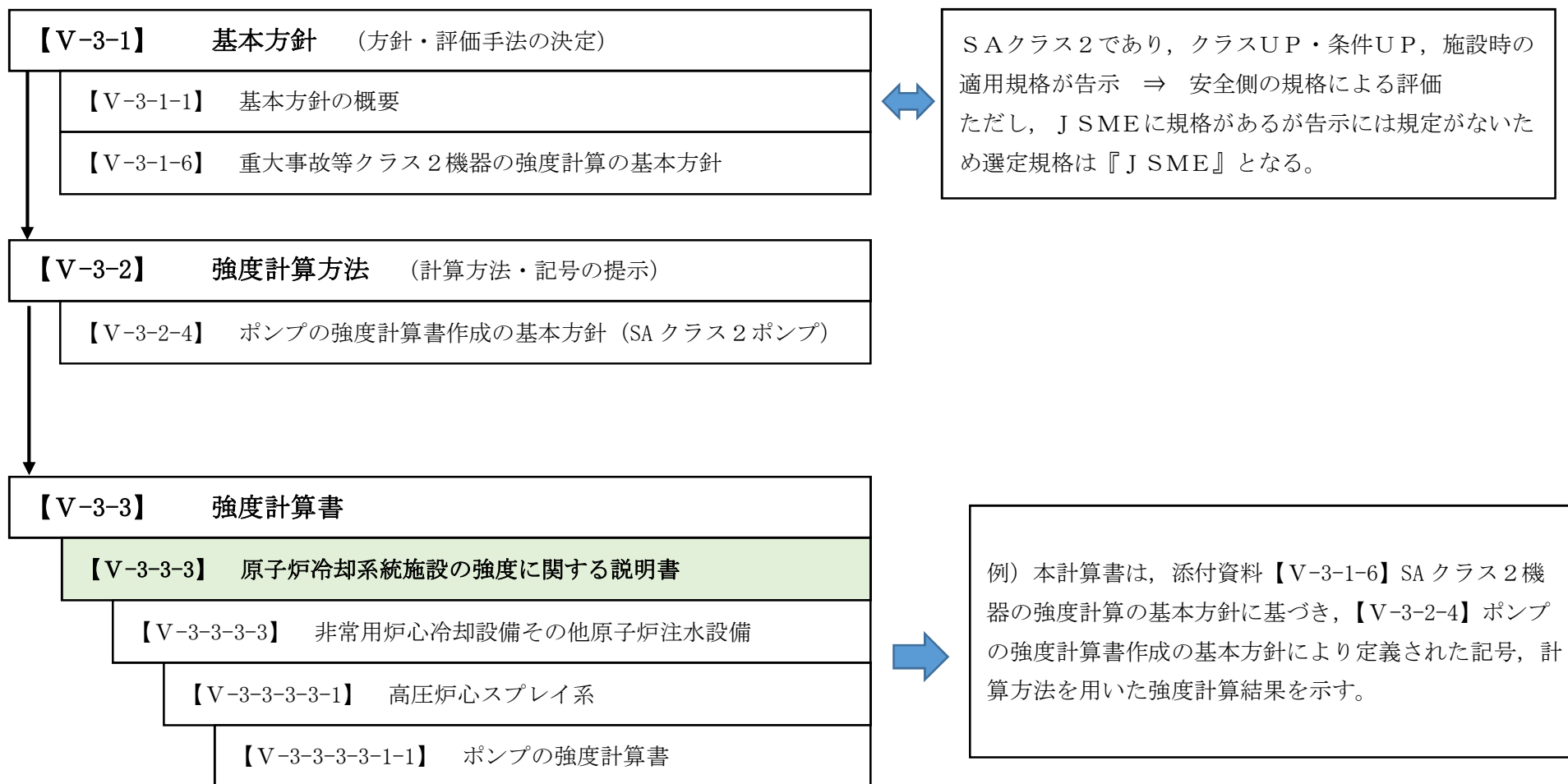
1. 強度計算における評価までの例

『V-3-1 基本方針』⇒『V-3-2 計算方法』⇒『V-3-3 計算書』



* : (機器) : 管, 弁, 容器, ポンプ 等

2. 高圧炉心スプレイ系ポンプの例



東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-045 改1
提出年月日	平成30年1月29日

V-3-1 強度計算の基本方針の概要

抜粋

1. 概要

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

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

今回、新たに材料及び構造の要求が追加又は変更となる機器であって、クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲並びに残留熱除去設備及び非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の改造に伴い強度評価が必要な範囲、クラス2機器のうち原子炉格納容器調気設備の改造に伴い強度評価が必要な範囲、クラス3機器のうちその他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）、**重大事故等クラス2機器（支持構造物含む）**及び重大事故等クラス3機器について、強度計算及び強度評価の基本方針については、以下の資料により構成する。

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

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

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

- ① クラス1機器の強度計算の基本方針
 - ② クラス2機器の強度計算の基本方針
 - ③ クラス3機器の強度計算の基本方針
 - ④ **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**
 - ⑤ 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針
- ~~付録10~~ 管の基本板厚計算書作成の基本方針
- ~~付録11~~ 弁の強度計算書作成の基本方針

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-048 改1
提出年月日	平成30年1月29日

V-3-1-6

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針

抜粋

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 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	4
2.2 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	11
2.2.1 クラス2機器の規定に基づく評価	13
2.2.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価	18
2.3 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	28
2.4 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	29

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6号）（以下「技術基準規則」という。）第55条第1項第2号及び第5号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

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

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

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

また、技術基準規則の解釈第17条10において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第1編軽水炉規格＞ 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、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される 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）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）**の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和45年9月3日 通商産業省告示第501号又は昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定として既に技術評価が行われていた JSME S NC 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。施設時の適用規格が設計・建設規格の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。

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。）における評価結果又は既に実施された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、その評価結果を用いた評価ができることを確認し、その評価結果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、既工認における評価又は既に実施された評価又は添付書類「クラス1機器の強度計算の基本方針」に基づいた評価において、重大事故等時の起因となる運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの評価結果がある場合は、それらの評価結果を用いた評価ができることを確認し、それらの評価結果の確認による評価を実施する。

また、上述の評価結果がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の評価は、原子炉格納容器の既工事計画書の実績において重大事故等時の評価ができるものにあつては、その評価結果を用いた評価ができることを確認し、評価結果の確認による評価を実施する。また、上記を除いたものについては、添付書類「V-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において重大事故等時における原子炉格納容器の放射性物質の閉じ込め機能評価として、重大事故等時の使用条件に十分余裕を持った評価条件に対して実施された結果があることから、それら評価結果を用いた評価ができることを確認し、評価結果の確認による評価を実施する。

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、技術基準規則施工前に工事に着手又は完成したものであつて設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合は、使用条件に対して適切であることを確認した材料を使用する設計とする。

2.2 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、既工事計画書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）。上述する機器又は支持構造物以外については、施設時の適用規格に応じて、設計・建設規格又は告示第501号による評価を実施する（評価区分③、④）。

図2-1において、「②、④設計・建設規格による評価」又は「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うち、設計・建設規格又は告示第501号に評価式が規定されていない場合、又は、より精緻な評価が必要な場合は、同等性を示す評価方法により十分な強度を有することを確認する。

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

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

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

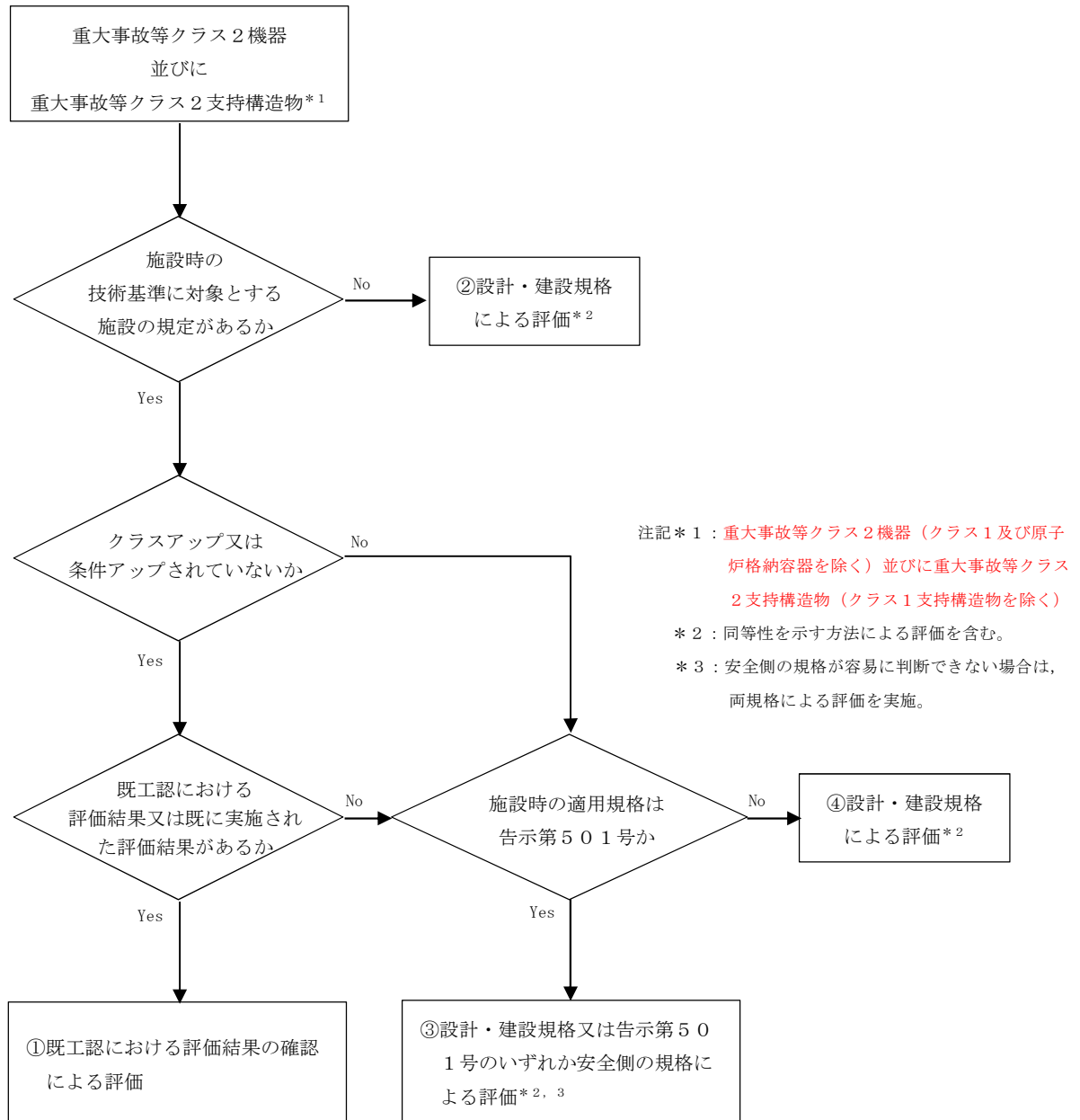


図2-1 評価区分の整理フロー

2.2.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価

ここでは、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」又は「②④設計・建設規格による評価」に区分された機器のうち、設計・建設規格又は告示第501号に評価式*¹が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

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

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

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式*²を用いた評価
 - (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ダクティル管継手の評価

- 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種容器、第4容器及び第2種管の評価式を示す。

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

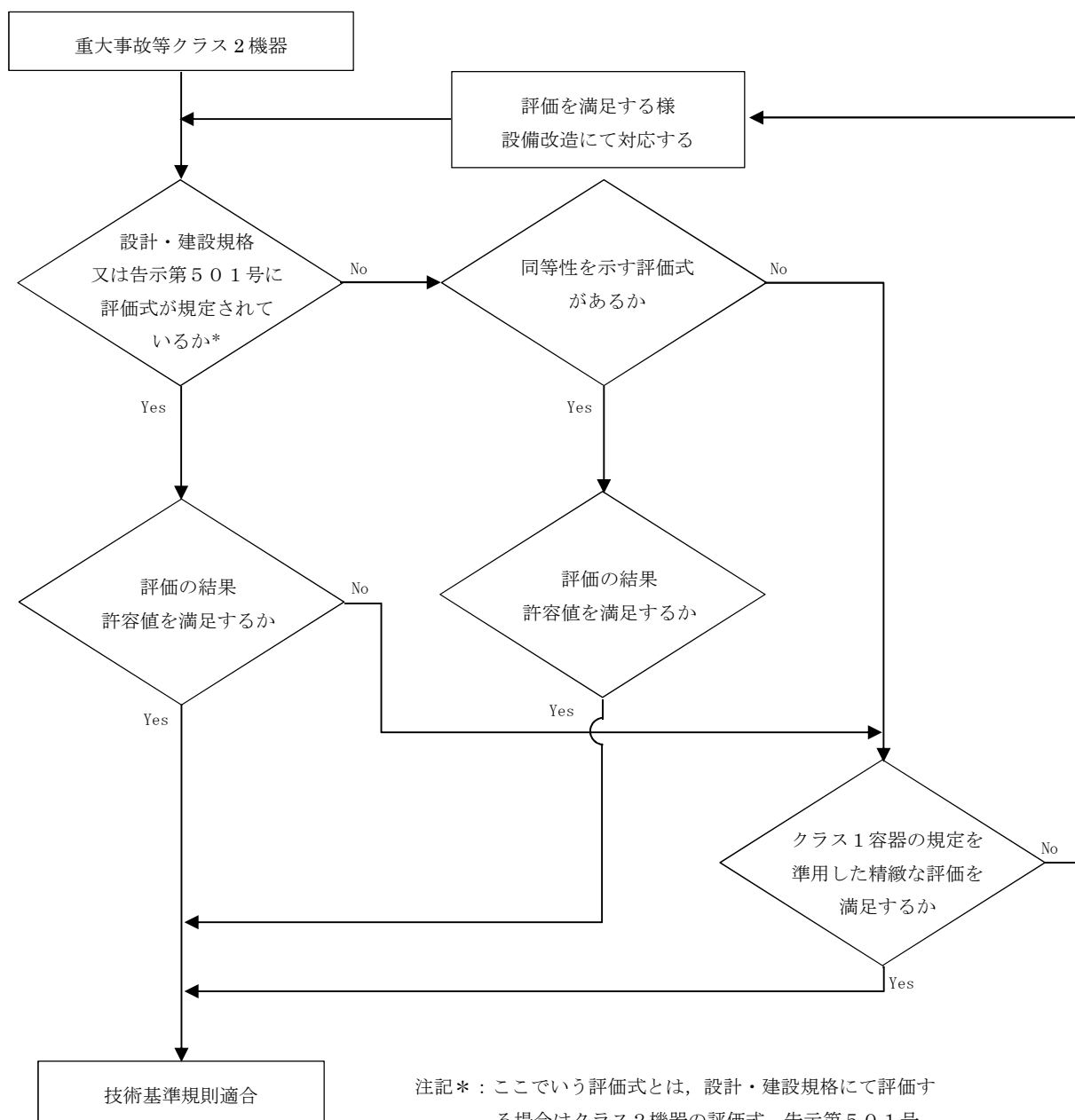


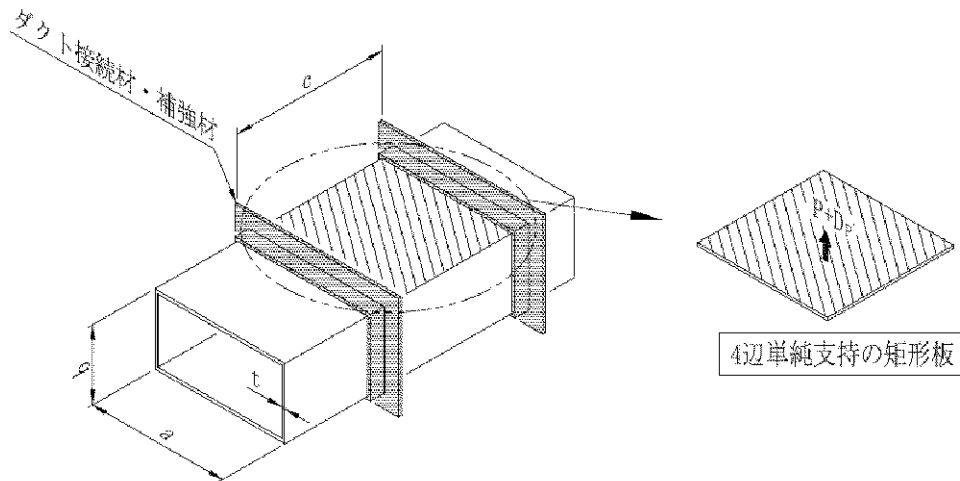
図2-2 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

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

a. 評価式

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



(2) 立形ポンプの評価

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

a. 評価式

クラス2ポンプ及びクラス3ポンプのケーシングの強度評価式を表2-3に示す。

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

表2-3 設計建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ型式	設計・建設規格強度評価式		備考
	クラス2	クラス3	
横形ポンプ	$t = \frac{P A}{2 S}$	$t = \frac{P A}{2 S}$	・同じ式である ・内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく
立形ポンプ	—	$t = \frac{P D_o}{2(S \eta + P y)}$	・内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。
配管 (参考)	$t = \frac{P D_o}{2 S \eta + 0.8 P}$	$t = \frac{P D_o}{2 S \eta + 0.8 P}$	・内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。

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

b. 判断基準

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

(3) ダクタイト管継手の評価

重大事故等クラス2管のうちダクタイト管継手についてはクラス2管継手として規定されていない。ダクタイト管継手については、JIS B 5527 (1998)「ダクタイト鋳鉄異形管」に適合した継手であり、設計・建設規格に適合した継手としてクラス3管に規定されている。設計・建設規格に規定されている管継手への強度要求としては下表のとおりクラス2管継手とクラス3管継手で同一であり、技術的に同一の強度を有することから、クラス3管継手として規定されているダクタイト管継手については、クラス2管継手として適用可能である。

設計・建設規格 管継手に対する要求		備考
クラス2管 PPC-3415 管継手	クラス3管 PPD-3415 管継手	
<p>当該継手に接続される管のPPC-3411の規定により必要とされる厚さ以上でなければならない。</p> <p>【PPC-3411】 直管の厚さに関する規定</p> $t = \frac{PD_o}{2S\eta + 0.8P}$	<p>当該継手に接続される管のPPD-3411の規定により必要とされる厚さ以上でなければならない。</p> <p>【PPD-3411】 直管の厚さに関する規定</p> $t = \frac{PD_o}{2S\eta + 0.8P}$	継手の強度に関する要求は同じである。

(4) クラス1容器（第1種容器）の規定を準用又は参考とした評価

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

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

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

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

(a) クラス 2 機器の公式による評価

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

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

(b) 解析による評価

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

(c) 評価対象部位間の相互影響

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

イ. 一体構造体

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

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

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

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

ロ. 一体でない構造体

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

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

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

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

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の適用規格である告示第501号による評価を基本とし、設計上定められる条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び事故時荷重を上回る運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの評価条件に対して、供用状態Dの許容応力*を目安とした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。

2.4 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度

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

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

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

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

V-3-2-4

~~付録13~~ ポンプの強度計算書作成の基本方針

抜粋

まえがき

本基本方針は、工事計画認可申請書に添付するポンプの強度計算書について説明するものである。

本書は、以下により構成される。

第一部 重大事故等クラス2ポンプの強度計算書作成の基本方針

第二部 クラス3ポンプの強度計算書作成の基本方針

第一部 重大事故等クラス 2 ポンプの強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項	1-1
1.1 概要	1-1
1.2 適用規格及び基準との適合性	1-1
1.3 強度計算書の構成とその見方	1-3
1.4 計算精度と数値の丸め方	1-3
1.5 材料の表示方法	1-4
2. 計算条件	1-5
2.1 ポンプの形式判別	1-5
2.2 計算部位	1-5
2.3 設計条件	1-5
3. 強度計算書の計算式と記号	1-6
3.1 共通記号	1-6
3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ	1-7
3.3 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	1-8
3.4 横軸であって軸垂直割り軸対称ケーシングをもつ多段のターボポンプのケーシングのボルト穴の規定	1-9
3.5 往復ポンプのリキッドシリンダー及びマニホールドに関するものの厚さ	1-11
3.6 うず巻ポンプ、ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ	1-12
3.7 ボルトの平均引張応力	1-14
3.8 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ	1-16
3.9 吸込及び吐出フランジ	1-16
4. 支持構造物の強度計算	1-16
5. 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	1-17

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は、発電用原子力設備のうち重大事故等クラス 2 ポンプの強度計算書（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）（以下「設計・建設規格」という。）により行う。なお、設計基準対象施設のクラス 3 ポンプで重大事故等対処設備兼用となるポンプのうち、設計・建設規格のクラス 2 ポンプに規定がないものについては、クラス 3 ポンプの規定を準用する。

（例）軸垂直割りケーシングを持った 1 段あるいは多段の立型ポンプ

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

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

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

- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PMC-3710）
 - a. J I S B 2 2 3 8（1996）「鋼製管フランジ通則」

第二部 クラス 3 ポンプの強度計算書作成の基本方針

目次

1. 一般事項	2-1
1.1 概要	2-1
1.2 適用規格及び基準との適合性	2-1
1.3 強度計算書の構成とその見方	2-3
1.4 計算精度と数値の丸め方	2-3
1.5 材料の表示方法	2-4
2. 計算条件	2-5
2.1 ポンプの形式判別	2-5
2.2 計算部位	2-5
2.3 設計条件	2-5
3. 強度計算書の計算式と記号	2-6
3.1 共通記号	2-6
3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ	2-7
3.3 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	2-9
3.4 うず巻ポンプのケーシング各部形状	2-10
3.5 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ	2-13
3.6 ボルトの平均引張応力	2-14
3.7 耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ	2-16
3.8 吸込及び吐出フランジ	2-16

1. 一般事項

1.1 概要

本基本方針は、発電用原子力設備のうちクラス3ポンプの強度計算書（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）（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。

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

- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格（材料に係る部分を除く。）又は設計・建設規格 別表 2 に掲げるものを使用する。（設計・建設規格 PMD-3710）
 - a. J I S B 2 2 3 8 （1996）「鋼製管フランジ通則」

表 1-1 建設・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
(クラス 3 ポンプ)		
PMD-3110	2.1	ポンプの形式判別
PMD-3310	3.2	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ
PMD-3320	3.3	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ
PMD-3330	3.4	うず巻ポンプのケーシング各部形状
PMD-3410	3.5	うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ
PMD-3510	3.6	ボルトの平均引張応力
PMD-3610	3.7	耐圧部分等のうち管台に係るもの（ケーシングの吸込口部分及び吐出口部分を除く。）の厚さ
PMD-3710	3.8	吸込及び吐出フランジ

表 1-2 J I S と強度計算書との対応

J I S		強度計算書の 計算式 (章節番号)	備考
No.	項		
J I S B 8 2 6 5 (2003) * 「圧力容器の構造—一般事項」 附属書 3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」	3	3.6	ボルトの平均引張応力 吸込及び吐出フランジ*
	4	3.8	

注記 * : 設計・建設規格 PMD-3710 により J I S B 8 2 6 5 (2003) 「圧力容器の構造—一般事項」 (以下「J I S B 8 2 6 5」という。) の附属書 3 (規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

1.3 強度計算書の構成とその見方

- (1) 強度計算書は、本基本方針とポンプの強度計算書からなる。
- (2) 各ポンプの強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているため、本基本方針によるものとする。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3 表示する数値の丸め方

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

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

*² : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

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

相当材記号 相当（当該材記号）

(例 1) SM400A 相当（SMA400AP）

(例 2) SCS14 相当（ASME SA351 Gr. CF8M）

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

(例) SNB7（径 \leq 63mm）

- (3) ガasket材料で非石綿の場合の表示は以下とする。

(例) 非石綿ジョイントシート

渦巻形金属ガasket（非石綿）（ステンレス鋼）

平形金属被覆ガasket（非石綿板）（ステンレス鋼）

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

2. 計算条件

2.1 ポンプの形式判別

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

- (1) うず巻ポンプであって、ケーシングが軸垂直割り又は軸平行割りであるもの
- (2) ターボポンプ（うず巻ポンプを除く。以下同じ）であって、次に掲げるもの
 - a. ケーシングが軸垂直割りであるもの
 - b. ケーシングが軸平行割りであるもの
 - c. キャンドモータ又は固定子浸水形モータで駆動される密封式ポンプであって、モータケーシングが軸垂直割り軸対称であるもの
- (3) 往復ポンプ

上記(1)及び(2)に掲げるポンプについては、設計・建設規格 PMD-3310 から PMD-3330 及び PMD-3400 から PMD-3700 の規定に従って計算を行う。

なお、本項に掲げるポンプについては該当するポンプがない。

2.2 計算部位

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

2.3 設計条件

ポンプの強度計算は、最高使用圧力及び最高使用温度に対して行う。

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

- (1) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で同一の場合は、その最高使用圧力を使用する。
- (2) 最高使用圧力がポンプの吐出側、吸込側で相違している場合は、ケーシングの耐圧部（吸込口及び吐出口を除く。）を吸込側、吐出側に分けそれぞれの最高使用圧力を使用する。（分けない場合は、吐出側のみの最高使用圧力を使用する。）

3. 強度計算書の計算式と記号

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

3.1 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。

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
P	P	最高使用圧力	MPa
S	S	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図 表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	ケーシングの計算上必要な厚さ	mm
	t_s	最小厚さ	mm
	t_{s0}	呼び厚さ	mm
η	η	長手継手の効率で、設計・建設規格 PVD-3110 を適 用する。	—

3.2 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMD-3310 を適用する。

3.2.1 2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった1段あるいは多段の立形ポンプを除くポンプケーシングの厚さ

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
A	A	図 3-1~3 (設計・建設規格 図 PMD-3310-1, 2, 5) に示す寸法	mm

(2) 算式

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

ただし、片吸込み1重うず巻ポンプについては、

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

(3) 評価

最小厚さ (t_s) ≥ 計算上必要な厚さ (t) ならば十分である。

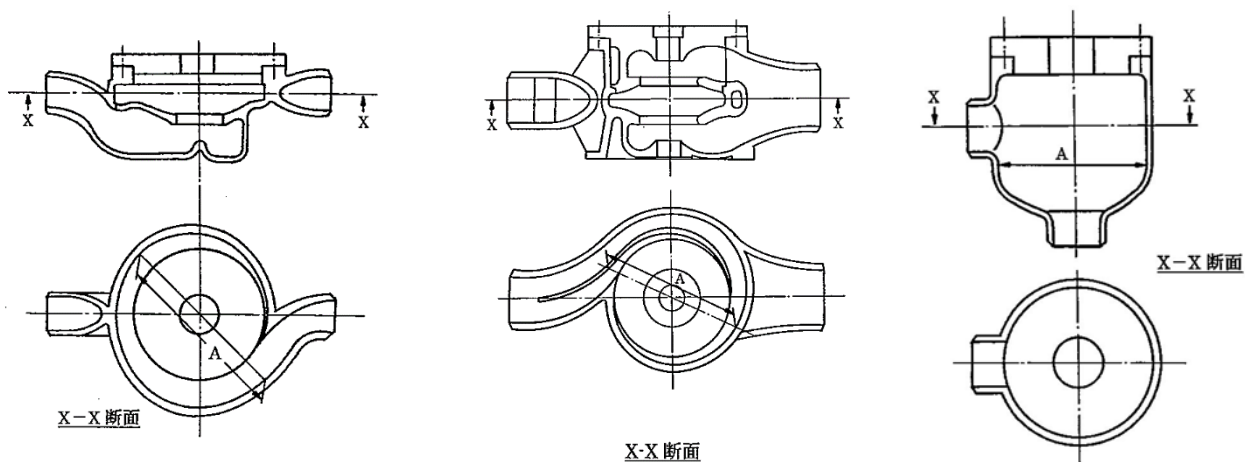


図 3-1 1重うず巻ポンプの例
(設計・建設規格
図 PMD-3310-1)

図 3-2 2重うず巻ポンプの例
(設計・建設規格
図 PMD-3310-2)

図 3-3 ターボポンプの例
(設計・建設規格
図 PMD-3310-5)

3.2.2 2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった1段あるいは多段の立形ポンプの吐出エルボ、揚水管及びボウルの厚み

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
D _o	D _o	図 3-4 (設計・建設規格 図 PMD-3310-7) に示す吐出エルボの外径寸法, 揚水管の外径寸法又は個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法	mm
d	d	吐出エルボ, 揚水管又はボウルの内径寸法	mm
y	y	0.4 (D _o /t ≥ 6.0 の場合) d / (d + D _o) (D _o /t < 6.0 の場合)	—

(2) 算式

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

(3) 評価

最小厚さ (t_s) ≥ 計算上必要な厚さ (t) ならば十分である。

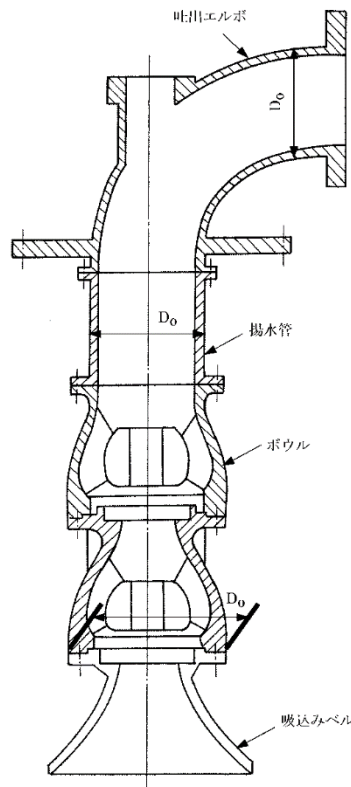


図 3-4 軸垂直割りケーシングをもった多段の立形ポンプの例
(設計・建設規格 図 PMD-3310-7)

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

2.1 項の(1)又は(2)のポンプ形式のうち軸垂直割りケーシングをもった1段あるいは多段の立形ポンプを除くポンプのケーシングについては、設計・建設規格 PMD-3320 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
l	l	図 3-5 (設計・建設規格 図 PMD-3320-1) に示す 範囲	mm
r_i	r_i	吸込口部分又は吐出口部分の内半径	mm
r_m	r_m	次式により計算した値 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$	mm
	t_ℓ	l の範囲の最小厚さ	mm
	$t_{\ell o}$	l の範囲の呼び厚さ	mm

(2) 算式

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

ただし、 $r_m = r_i + 0.5 \cdot t$

(3) 評価

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

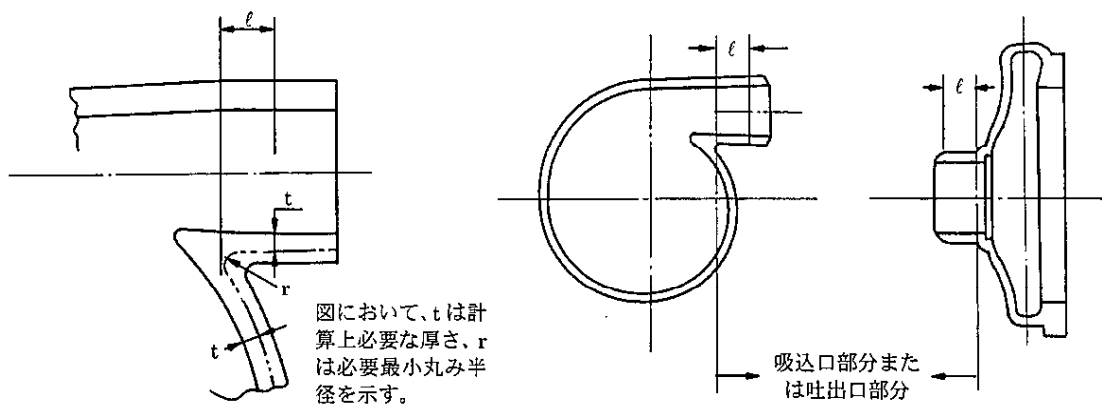


図 3-5 吸込み及び吐出口部分の厚さの規定範囲の例
(設計・建設規格 図 PMD-3320-1)

3.4 うず巻ポンプのケーシング各部形状

2.1 項の(1)に掲げるポンプの形状は、設計・建設規格 PMD-3330 によるものとする。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
	r_1	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の両端の丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{1s}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の両端の丸みの最小半径	mm
	r_{1so}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の両端の丸みの呼び半径	mm
	r_2	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの 丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{2s}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの 丸みの最小半径	mm
	r_{2so}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの 丸みの呼び半径	mm
	r_3	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリユート巻始めの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{3s}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリユート巻始めの丸みの最小半径	mm
	r_{3so}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリユート巻始めの丸みの呼び半径	mm
	r_4	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すクロッチの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{4s}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すクロッチの丸みの最小半径	mm
	r_{4so}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すクロッチの丸みの呼び半径	mm

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
	r_5	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリウレタン巻始めとケーシング壁面の交わる 部分のすみの丸みの計算上必要な半径	mm
	r_{5s}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリウレタン巻始めとケーシング壁面の交わる 部分のすみの丸みの最小半径	mm
	r_{5so}	図 3-6 (b) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (b)) に示すポリウレタン巻始めとケーシング壁面の交わる 部分のすみの丸みの呼び半径	mm
	t_1	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の点 B から点 C までの範囲の計算上必 要な厚さ	mm
	t_{1s}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の点 B から点 C までの範囲の最小厚さ	mm
	t_{1so}	図 3-6 (a) (設計・建設規格 図 PMD-3330-1 (a)) に示す分流壁の点 B から点 C までの範囲の呼び厚さ	mm

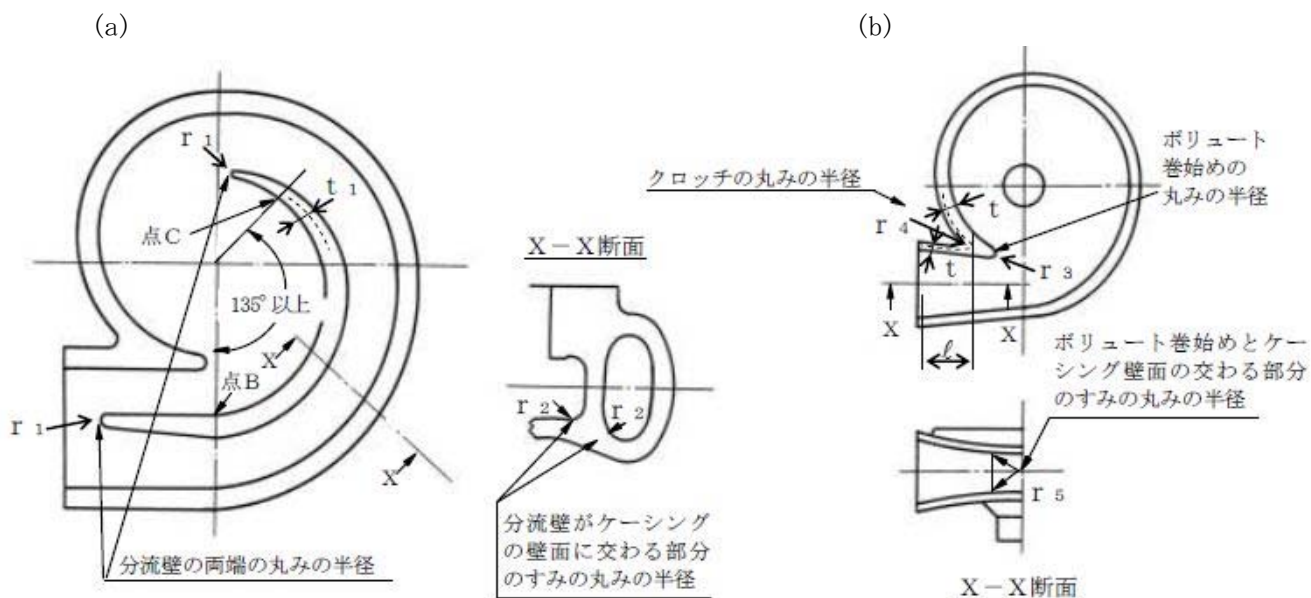


図 3-6 うず巻ポンプのケーシング各部形状
(設計・建設規格 図 PMD-3330-1)

(2) 算式

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

(3) 評価

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

3.5 うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバーの厚さ

うず巻ポンプ又はターボポンプのケーシングカバー（軸封部を除く。）の厚さについては、設計・建設規格 PMD-3410(1)を適用する。

(1) 記号の説明

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

(2) 算式

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

(3) 評価

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

3.6 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMD-3510 を適用し、ボルトの平均引張応力は、以下の方法により求める。

(1) 記号の説明

設計・建設規格 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
A _b	A _b	ボルト1本当たりの最小軸断面積 $A_b = (\pi/4) \cdot d_b^2$	mm ²
	A _v	軸平行割りケーシングで、ポンプ中心線の片側において内圧が加わる面積でセルフシールガスケット外周の線とポンプ中心線とで囲まれた部分の面積	mm ²
	b	ガスケット座の有効幅	mm
	b _o	ガスケット座の基本幅 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表3による。)	mm
	d _b	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径	mm
	D _g	セルフシールガスケットの外径	mm
	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G _s	ガスケット接触面の外径	mm
	H	圧力によってフランジに加わる全荷重	N
	H _p	気密を十分に保つために、ガスケット又は継手接触面に加える圧縮力	N
	m	m	ガスケット係数 (J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)
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		ボルトの本数	—
n	n _i	ポンプ中心線の片側にあるボルトの本数	—
	S _b	最高使用温度における 設計・建設規格 付録材料 図表 Part5 表7に規定する材料の許容引張応力	MPa
W	W	ボルトに作用する引張荷重	N
W _{m1}	W _{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	N
W _{m2}	W _{m2}	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	N
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 (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 の記号	強度計算書の 表示	表示内容	単位
S _b	π	円周率	—
	σ	耐圧部分等のうちボルト等に係るものの最高使用圧力又はガスケット締付時のボルト荷重と釣り合う場合に生じる平均引張応力	MPa

(2) 算式

a. 円形フランジをボルト等により締め付ける場合

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

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

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

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

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

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

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

b_o ≤ 6.35mm の場合

$$b = b_o$$

$$G = G_s - N$$

b_o > 6.35mm の場合

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

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

なお、セルフシールガスケットを使用する場合は、次式を用いる。

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

b. 軸平行割りケーシングの場合、上下ケーシングの締付けボルトの平均引張応力は、次の方法により計算する。

合わせ面に、平面座でセルフシールガスケットを使用する場合

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

ただし、Wは次式により求める。

$$W = A_v \cdot P$$

(3) 評価

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

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

設計・建設規格 PMD-3610 を適用する。

(1) 記号の説明

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

(2) 算式

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

(3) 評価

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

3.8 吸込及び吐出フランジ

設計・建設規格 PMD-3710 に規定されるフランジ（J I S規格（材料に係る部分を除く。）又は、設計・建設規格 別表 2 のいずれか）を用いる。

これ以外のフランジを用いる場合は、J I S B 8 2 6 5 附属書 3 により応力計算を行い、必要な強度を有することを確認する。

別添 1 ポンプの強度計算書のフォーマット

V-○-○-○-○ ○○○ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、「付録 13 ポンプの強度計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づいて計算を行う。

なお、本計算書においては、基本方針で定義された記号を使用する。

目次

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

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

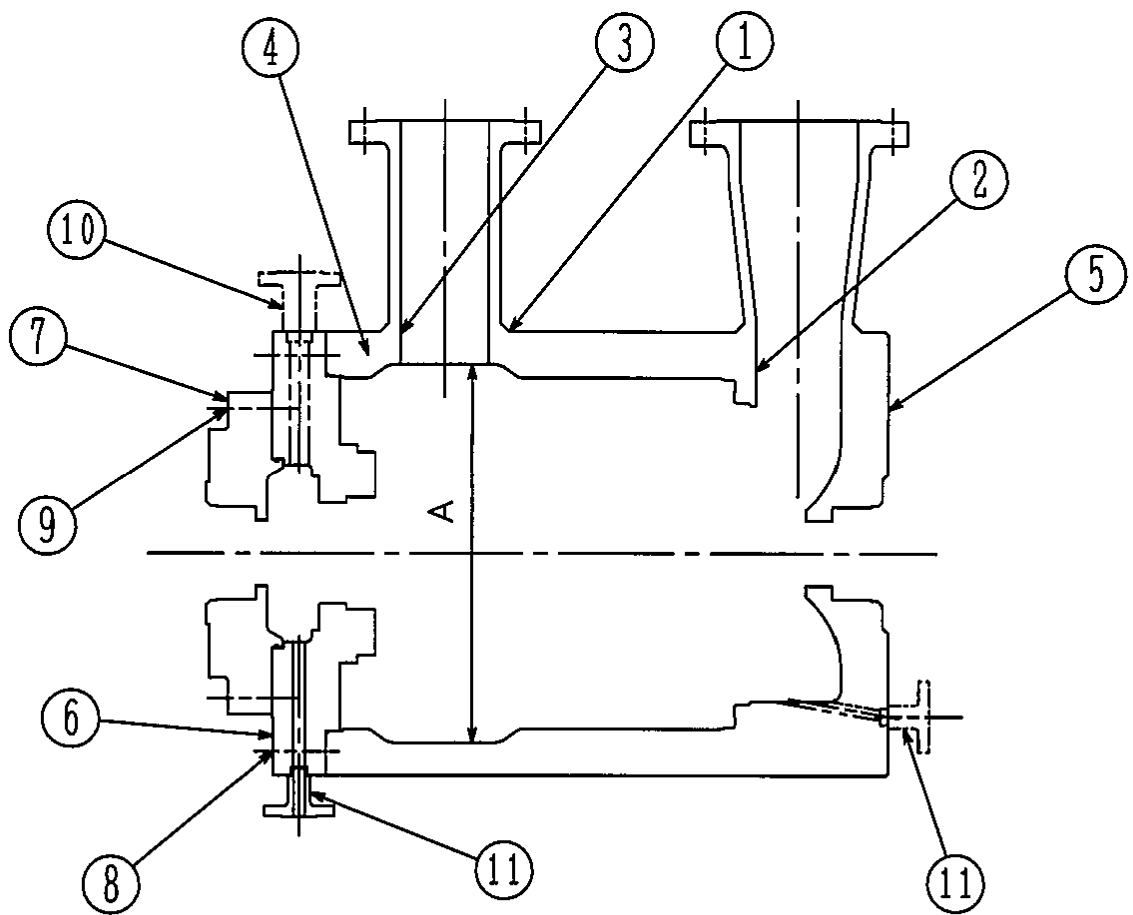


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	
最高使用圧力 (MPa)	
最高使用温度 (°C)	

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①				

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

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

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

評価： $t_\ell \geq t$ ， よって十分である。

2.3 ケーシングのボルト穴

設計・建設規格 PMC-3340

(単位：mm)

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

評価： $a_s \geq a$ ，よって十分である。

評価： $X_s \geq X$ ，よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PMC-3410

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

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

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

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

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

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

評価：σ ≤ S_b，よって十分である。

2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

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

継手の種類	放射線透過試験の有無	η

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

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。