

VI-3-3-3-3 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書

VI-3-3-3-3-1 高圧炉心注水系の強度計算書

VI-3-3-3-3-1-1 高圧炉心注水系ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-10「重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
高圧炉心注水系ポンプ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	100	11.77	120	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

目 次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	3
2.3 ケーシングカバーの厚さ	3
2.4 ボルトの平均引張応力	4
2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	5

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

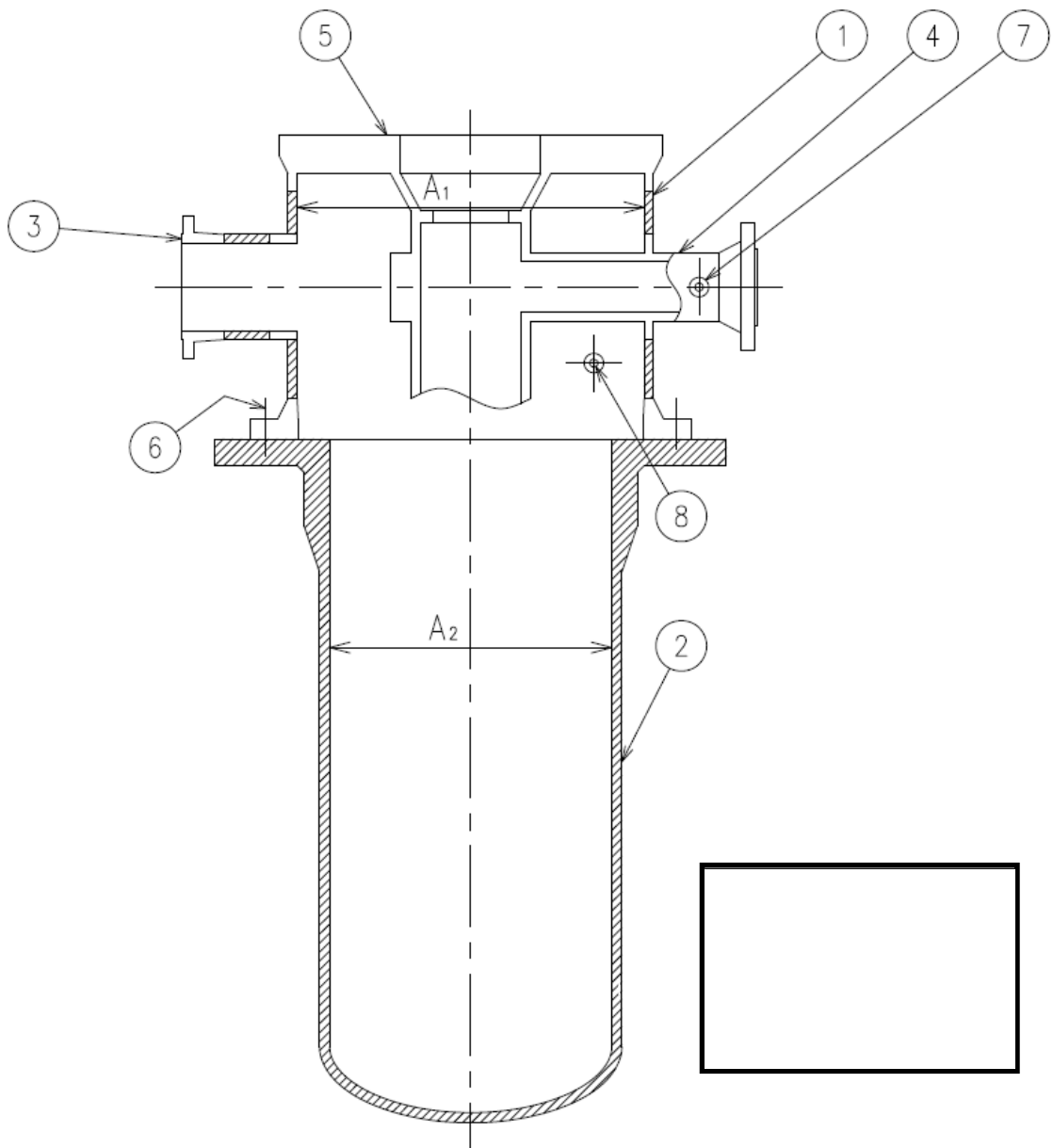


図1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	11.77	1.37
最高使用温度 (°C)	120	120

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 ₁ (mm)	A ₂ (mm)
①	<input type="text"/> *	1.37	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
②	<input type="text"/>	1.37	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
9.8	40.0	<input type="text"/>
9.7	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記* :

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
③	193.7	198.6	22.1	9.8		
④	112.3	118.8	19.6	12.9		

評価： $t_l \geq t$ ，よって十分である。

2.3 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤		1.37			

t (mm)	t_{so} (mm)	t_s (mm)
136.1		

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

2.4 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S _b (MPa)	d _b (mm)	n	A _b (mm ²)
⑥		1.37				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G _s (mm)	G (mm)	D _g (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	

H (N)	H _p (N)	W _{m1} (N)	W _{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)
	—		0		35

評価：σ ≦ S_b，よって十分である。

2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D _o (mm)
⑦		11.77		
⑧		1.37		

継手の種類	放射線透過試験の有無	η
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
1.2		
0.2		

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

VI-3-3-3-3-1-2 高圧炉心注水系ストレナの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「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

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	S A クラス	条件 アップ の有無	DB条件		S A条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
高圧炉心注水系 ストレーナ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.310]*1	104*2	— [0.310]*1	120	—	H6 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

注記*1: 高圧炉心注水系ストレーナは、その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため、最高使用圧力を設定しないが、ここでは、サブプレッションチェンバの最高使用圧力を [] 内に示す。

*2: サプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	構造強度評価	12
4.1	構造強度評価方法	12
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	12
4.2.1	荷重の組合せ及び供用状態	12
4.2.2	許容応力	12
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	12
4.2.4	設計荷重	16
4.3	解析モデル及び諸元	19
4.4	計算方法	21
4.4.1	応力評価	21
4.4.2	応力評価点	21
4.4.3	応力計算方法	21
4.5	各応力評価部位に加わる最大荷重	24
4.5.1	組合せ荷重の計算	24
4.5.2	多孔プレートに加わる荷重	27
4.5.3	コアチューブに加わる荷重	31
4.5.4	アウターリム及びインナーギャップからエンドディスク面に加わる荷重	38
4.5.5	アウターリム及びインナーギャップから中間ディスク面に加わる荷重	41
4.6	応力の計算	44
4.6.1	多孔プレートの評価方法	44
4.6.2	エンドコアの多孔プレートに発生する応力	45
4.6.3	エンドディスクの多孔プレートに発生する応力	48
4.6.4	中間ディスクの多孔プレートに発生する応力	52
4.6.5	アウターリムの多孔プレートに発生する応力	55
4.6.6	インナーギャップの多孔プレートに発生する応力	58
4.6.7	コアチューブの評価部位に発生する応力	61
4.6.8	フランジに発生する応力	62

目 次 (続き)

4.6.9	ストレーナ取付部ボルトに発生する応力	64
4.7	計算条件	67
4.8	応力の評価	67
4.9	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	67
4.9.1	コアチューブ材料の評価結果	67
4.9.2	多孔プレート・フランジ材料の評価結果	68
4.9.3	ストレーナ取付部ボルト材料の評価結果	69
5.	評価結果	70
6.	引用文献	73
	添付資料	74
1.	ラジアル補剛材の配置諸元	74
1.1	ラジアル補剛材の配置角度	74
1.2	ラジアル補剛材の等価受圧長さ	74
2.	アウターリム部の等価受圧長さとコアチューブ部の等価受圧長さ	75
2.1	アウターリム部の等価受圧長さ	75
2.2	コアチューブ部の等価受圧長さ	75
3.	内面からの荷重の評価エリア	76

1. 概要

本計算書は、重大事故等クラス2機器として兼用される高圧炉心注水系ストレーナについて、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、材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は、「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（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4において「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））に適合することと規定されている。

本計算書は、高圧炉心注水系ストレーナがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

以下、重大事故等クラス2管としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注水系ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナはサブプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及びストレーナ取付部ボルトにより据え付けられる。</p>	<p>外径 <input type="text"/> 長さ <input type="text"/> の多孔プレートと鋼管で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>高圧炉心注水系ストレーナ</p> <p>高圧炉心注水系ストレーナ</p> <p>原子炉格納容器壁</p> <p>原子炉格納容器底部</p> <p>T.M.S.L.</p> <p>(水平方向)</p> <p>(軸方向)</p> <p>(鉛直方向)</p> <p>(水平方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心注水系ストレナの応力評価は、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心注水系ストレナの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」にて示す解析モデルを用いて、設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

高圧炉心注水系ストレナの応力評価フローを図 2-1 に示す。

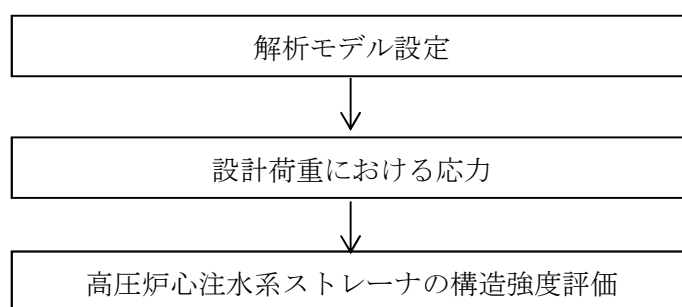


図 2-1 高圧炉心注水系ストレナの応力評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用基準等を以下に示す。

- (1) 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) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（平成6年通商産業省告示第501号）
（以下「告示第501号」という。）
- (3) 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））

2.4 記号の説明

計算書の記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a. back	計算に使用する矩形平板の短辺の長さ	mm
Aproj	実効面積	mm ²
b. back	計算に使用する矩形平板の長辺の長さ	mm
B2	応力係数	—
C	組合せ等価圧力荷重	kPa
Crivet	リベット頭部の半径	mm
CG	重心位置	mm
CH	チャギング荷重	N/m ²
CHring	チャギング時の圧力荷重	N/m ²
CHpu	チャギング時の圧力パルス荷重	N/m ²
CO	蒸気凝縮振動荷重	N/m ³
d	孔径	mm
DP	ストレーナ差圧荷重	kPa
Eecc	コアチューブとディスクの中心間距離	mm
Eeff	等価縦弾性係数	MPa
F	荷重	N
Ft	ストレーナ取付部ボルトに発生する軸力	N
Fi. tube. 1	コアチューブ最終列位置に作用する荷重 (i=x, y, z)	N
Fi. tube. 2	コアチューブ第一列位置に作用する荷重 (i=x, y, z)	N
Fi. tube. 3	コアチューブフランジ接触面に作用する荷重 (i=x, y, z)	N
h	孔の間の最小間隙	mm
IR	内半径	mm
Kpp	応力増倍率	—
ℓ	ストレーナ取付部ボルトにかかるモーメントアーム長さ	mm
L	長さ	mm
LAB	気泡形成時の荷重	N/m ³
LABA	気泡形成時の加速度ドラッグ荷重	N/m ³
LABD	気泡形成時の定常ドラッグ荷重	N/m ³
Ls	補剛材長さ	mm
M	モーメント	N・mm
MASS	水力学的質量	N

計算書の記号	記号の説明	単位
Mi. tube. 1	コアチューブ最終列位置にかかるモーメント (i=x, y, z)	N・mm
Mi. tube. 2	コアチューブ第一列位置にかかるモーメント (i=x, y, z)	N・mm
Mi. tube. 3	コアチューブフランジ接触面にかかるモーメント (i=x, y, z)	N・mm
Mback	多孔プレート内面にかかる単位長さ当りのモーメント	N・mm/mm
Mxback	多孔プレート内面にかかる単位長さ当りのモーメント (x 方向)	N・mm/mm
Myback	多孔プレート内面にかかる単位長さ当りのモーメント (y 方向)	N・mm/mm
OD	外径	mm
P	孔間のピッチ	mm
q	等価圧力	kPa
S2	補剛材有効断面係数	mm ³
SAtot	ストレーナの有効表面積	mm ²
Sct	コアチューブの断面係数	mm ³
SRV	逃がし安全弁作動時荷重	N/m ²
SRVdrag	逃がし安全弁作動時定常ドラッグ荷重	N/m ²
SRVP	逃がし安全弁作動時圧力荷重	N/m ²
t	多孔プレートの厚さ	mm
t _{flan}	フランジ板厚	mm
u	計算上の変数	—
U	計算上の変数	—
Vdrag	加速度ドラッグ体積	m ³
W	ディスク幅	mm
WD	異物の自重による異物荷重	N
WT	ストレーナの自重による荷重	N
Wt	質量	N
ν eff	等価ポアソン比	—
α	係数	—
β	係数	—
γ	水の比重量	N/m ³
π	円周率	—
σ b	一次一般膜+曲げ応力	MPa
σ bolt	ストレーナ取付部ボルトの引張応力	MPa
σ ct	コアチューブに発生する応力	MPa
σ m	一次一般膜応力	MPa
σ back	内面より加わる荷重による応力	MPa
σ front	外面より加わる荷重による応力	MPa
σ pl	多孔プレート表面の応力	MPa

計算書の記号	記号の説明	単位
σ_r	フランジ部曲げ応力	MPa
Ψ	計算上の変数	—
bolt	ストレーナ取付部ボルト	—
disk	エンドディスク及び中間ディスク	—
endcore	エンドコア	—
enddisk/end	エンドディスク	—
face	多孔プレート面	—
flan	フランジ	—
G2	重大事故等時の状態	—
gap	インナーギャップ	—
int	中間補剛材	—
lat	軸直角方向	—
middisk/mid	中間ディスク	—
rad. stfnr	ラジアル補剛材	—
rim	アウターリム	—
strnr	ストレーナディスク部	—
stub	コアチューブスタブ	—
total	ストレーナ部全体	—
tube/ct/per. tube	コアチューブ	—
wire	ワイヤー	—
x	水平方向	—
y	鉛直方向	—
z	軸方向	—

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 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
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	MPa/kPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	小数点以下第2位	—	小数点以下第1位*2
面積	mm ²	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
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。また、告示第501号別表に記載された許容引張応力は、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行い、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心注水系ストレーナの強度評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品であるエンドコア、エンドディスク、中間ディスク、アウターリム、インナーギャップ、コアチューブ、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

高圧炉心注水系ストレーナの取付け状況、形状及び主要寸法、構造概要を図 3-1、図 3-2 及び図 3-3 に示す。

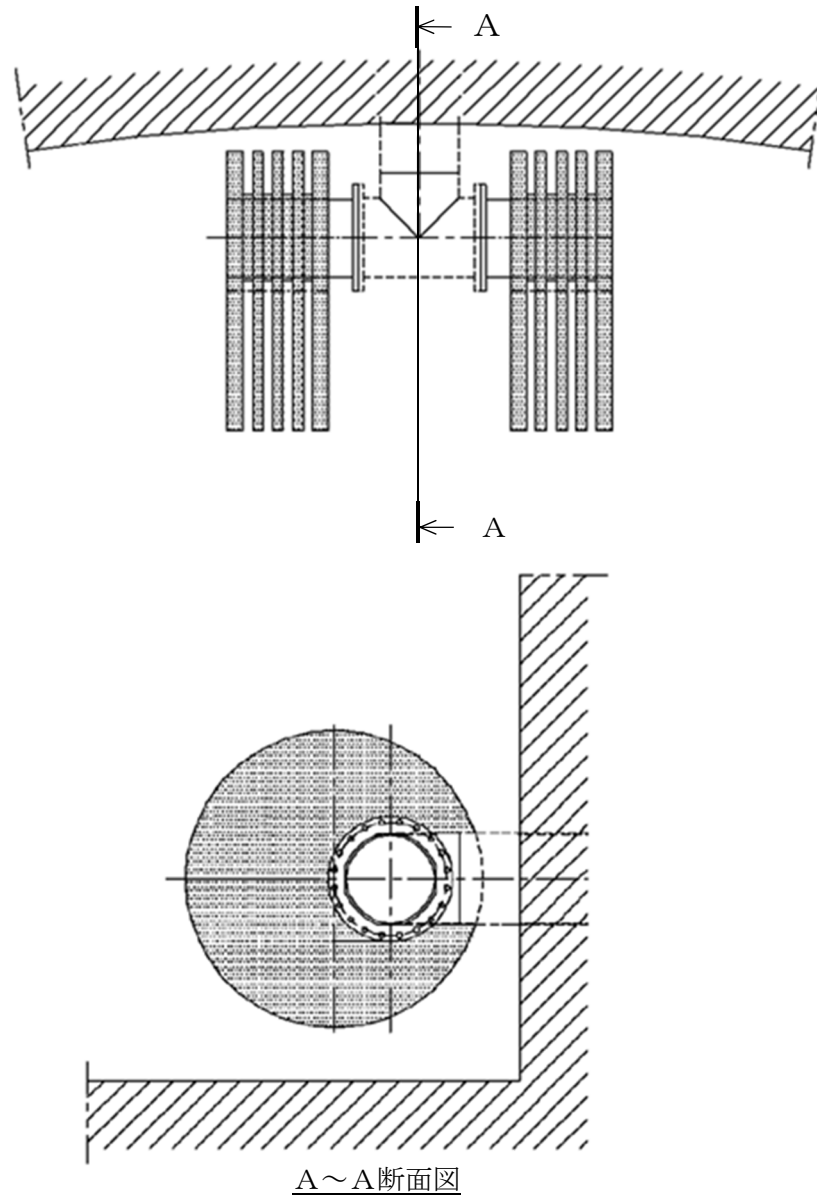
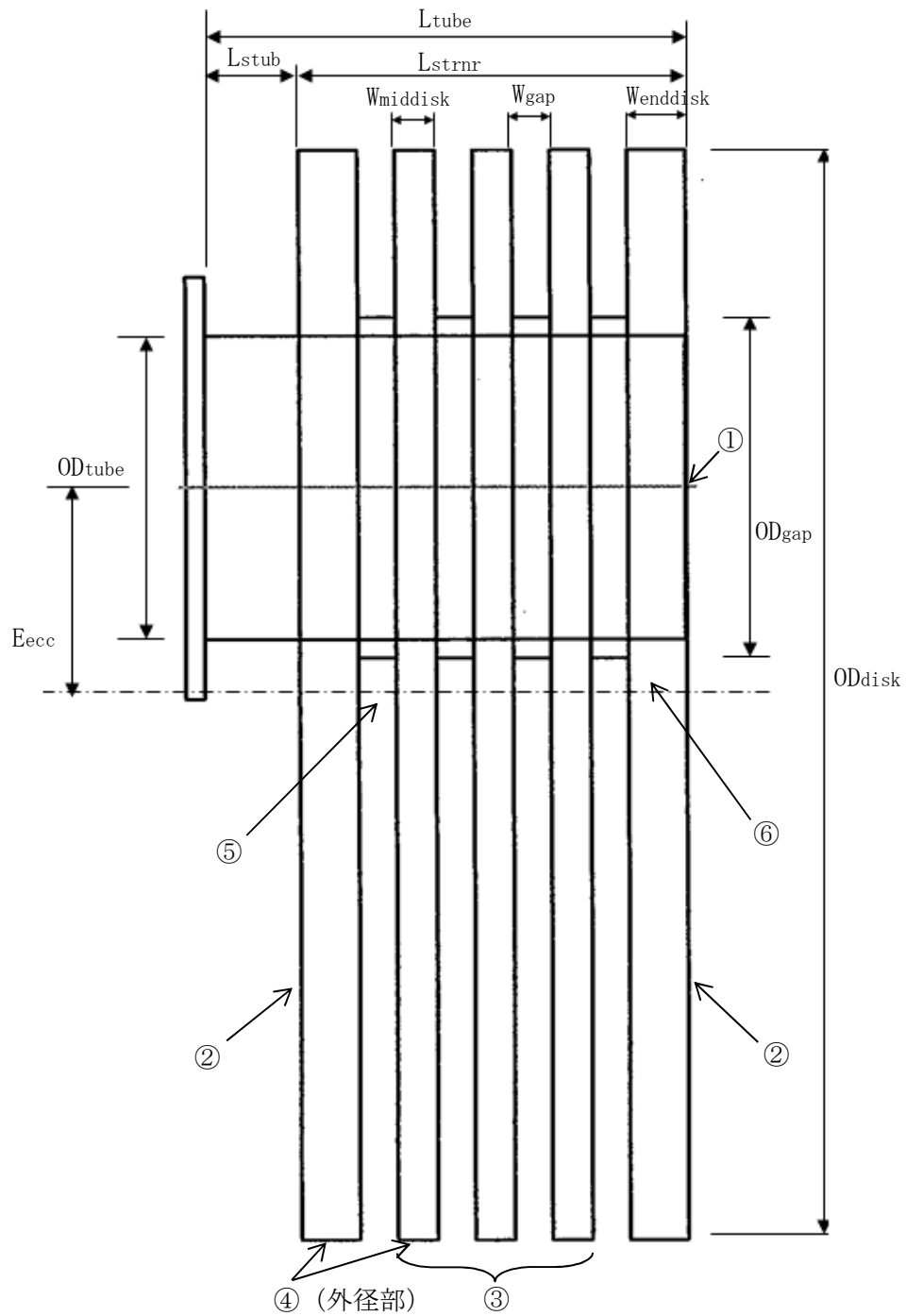


図 3-1 高圧炉心注水系ストレーナの取付け状況



- ① エンドコア, ② エンドディスク, ③ 中間ディスク
 ④ アウターリム, ⑤ インナーギャップ, ⑥ コアチューブ
 (①, ②, ③, ④, ⑤は多孔プレート形状である。)

図 3-2 高圧炉心注水系ストレーナの形状及び主要寸法 (単位: mm)

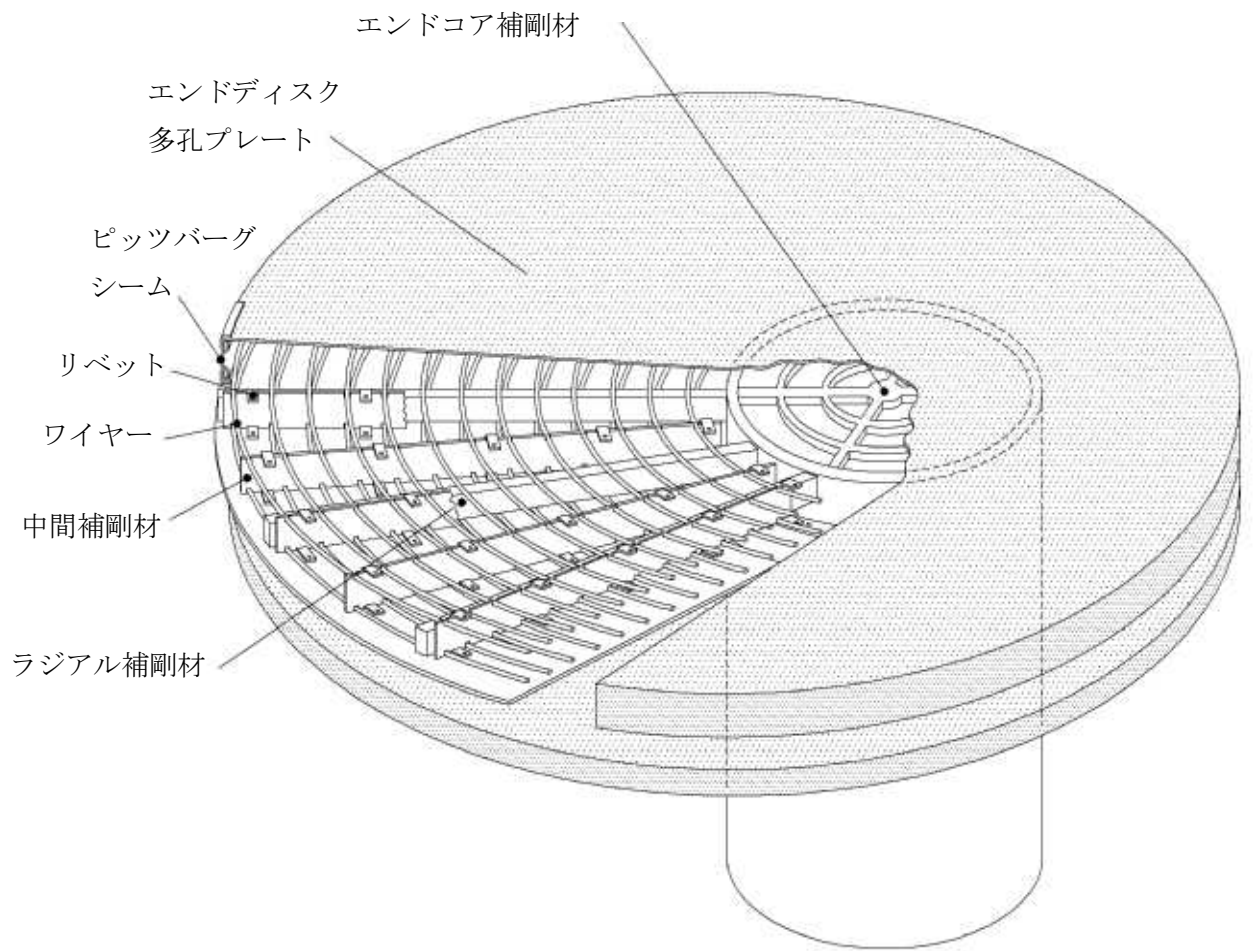


図 3-3 高圧炉心注水系ストレーナの構造概要

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心注水系ストレーナの質量には、ストレーナに付着する異物量を考慮し、荷重の算出において組み合わせるものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

高圧炉心注水系ストレーナの荷重の組合せ及び供用状態を表 4-1 に、荷重の組合せ整理表を表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心注水系ストレーナの許容応力を表 4-3(1)及び表 4-3(2)に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心注水系ストレーナの許容応力評価条件を表 4-4 及び表 4-5 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

コアチューブ
多孔プレート
フランジ
ストレーナ取付部ボルト



表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系 ストレーナ	重大事故等クラス 2	D + P _{SAD} + M _{SAD}	重大事故等時*

注記*：重大事故等時として運転状態V(L)は供用状態A，運転状態V(S)は供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-2 荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧 荷重	SRV荷重		LOCA荷重			供用状態	
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気凝縮 振動 (CO)	チャギング (CH)		
SA	SA-1	運転状態V(L)	○	○	○						重大事故等時*
	SA-2	運転状態V(S)	○	○	○				○		重大事故等時*
	SA-3	運転状態V(S)	○	○	○		○			○	重大事故等時*
	SA-4	運転状態V(S)	○					○			重大事故等時*

注記*：重大事故等時として運転状態V(L)は供用状態A，運転状態V(S)は供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-3(1) 許容応力（重大事故等クラス 2 管）

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
重大事故等時* ¹	運転状態 V (L)	S	1.5・S
	運転状態 V (S)	S	1.8・S

表 4-3(2) 許容応力（重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト）*²

状態	運転状態	許容限界
重大事故等時* ¹	運転状態 V (L)	2・S
	運転状態 V (S)	2.4・S と $2/3 \cdot S_u$ の 小さい方

注記*1：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態 V (L) は供用状態 A，運転状態 V (S) は供用状態 D の許容限界を用い，告示第 5 0 1 号に規定の応力計算では運転状態 V (L) は許容応力状態 I_A，運転状態 V (S) は許容応力状態 IV_A の許容限界を用いる。

*2：クラス MC（第 2 種）耐圧部テンションボルトの許容限界を用いる。

表 4-4 使用材料の設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	120				
コアチューブ		最高使用温度	120				
多孔プレート		最高使用温度	120				
フランジ		最高使用温度	120				
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	120				

表4-5 使用材料の告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	120				
コアチューブ		最高使用温度	120				
多孔プレート		最高使用温度	120				
フランジ		最高使用温度	120				
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	120				

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

高圧炉心注水系ストレーナの自重 (W_T) による荷重及び高圧炉心注水系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重 (W_D) の2つの死荷重を考慮する。

$$\text{高圧炉心注水系ストレーナの自重 } (W_T) = \boxed{\quad} \text{ N}$$

$$\text{異物荷重 } (W_D) = \boxed{\quad} \text{ N}$$

(2) 差圧荷重

ストレーナ差圧による荷重は、異物付着時の高圧炉心注水系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

$$\text{ストレーナ差圧荷重 (DP)} = \boxed{\quad} \text{ kPa}$$

(3) 水力的動荷重

逃がし安全弁作動時及び原子炉冷却材喪失には、サブプレッションチェンバ内の水中構造物に水力的動荷重が作用する。この荷重については、原子力安全委員会が策定した評価指針「BWR, MARK-II型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」(以下「MARK-II動荷重指針」という。)に準じて荷重の評価を実施する。

水力的動荷重は下記の典型的な型で表される。

- ① 定常ドラッグ荷重
- ② 加速度ドラッグ荷重
- ③ 圧力荷重, 圧力パルス荷重

a. 逃がし安全弁作動時荷重

MARK-II動荷重指針に基づき、高圧炉心注水系ストレーナに加わる逃がし安全弁作動時荷重(以下「SRV荷重」という。)を算出した結果を表4-6に示す。表4-6に示した荷重は、考慮すべきSRV荷重が最大となる位置を選定して算出した値である。また、高圧炉心注水系ストレーナは、SRV荷重のうち、水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。

なお、最終的な荷重はそれぞれ下記となる。

$$\text{定常ドラッグ荷重 (N)} = \text{SRV荷重 (N/m}^2\text{)} \times \text{実効面積 (m}^2\text{)} \times \text{定常ドラッグ係数 } C_D$$

$$\text{圧力荷重 (N)} = \text{SRV荷重 (N/m}^2\text{)} \times \text{実効面積 (m}^2\text{)}$$

軸方向の圧力荷重は、各ディスクの前列ディスクと後列ディスクで軸方向荷重の 1/2 ずつを受け持つとし、この荷重を前列と後列のディスクの投影面積で除算し、軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向（水平／鉛直方向）の圧力荷重は、ストレーナ前面で正圧の荷重を、後面で負圧の荷重を 1/2 ずつを受け持つとし、ストレーナの全面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し、軸直角方向（水平／鉛直方向）の圧力荷重として作用させる。

表4-6 水力的動的荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

荷重名称	軸方向	鉛直方向	水平方向	備考
逃がし安全弁 作動時荷重 (運転時)				定常ドラッグ荷重 (SRV_{drag})
				圧力荷重 (SRV_p)

注：SRV荷重が作用する方向は図4-1を参照

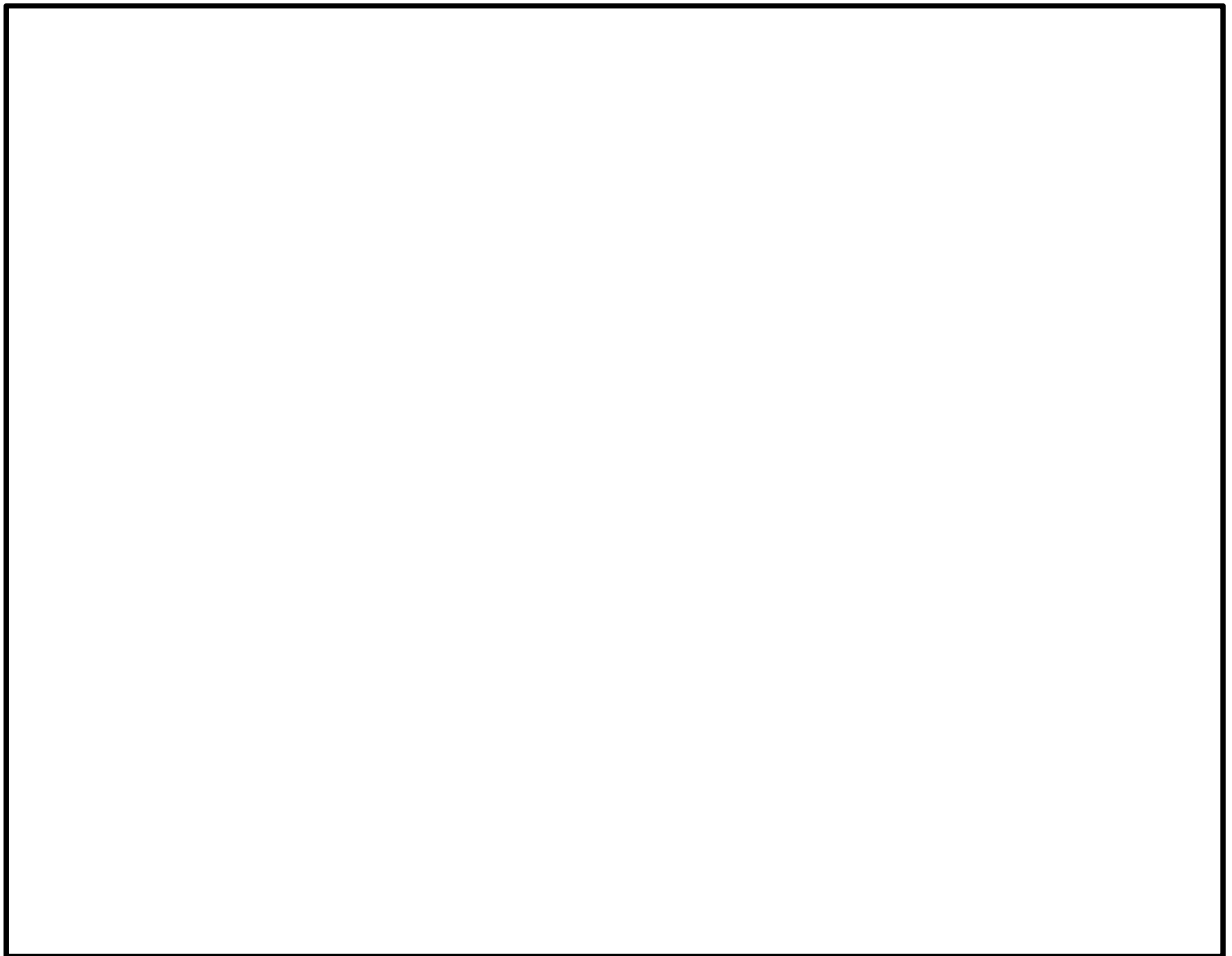


図4-1 SRV荷重の作用方向

b. 原子炉冷却材喪失時荷重

前項と同様にMARK II動荷重指針に基づき、高圧炉心注水系ストレーナに加わる原子炉冷却材喪失時荷重（以下「LOCA荷重」という。）を算出した結果を表4-7に示す。

プールスウェル荷重のうち、ベントクリアリングは作用範囲外であるため評価対象としない。また、高圧炉心注水系ストレーナは、水平ベント管から遠方かつ下方に設定されており、プールスウェル及びフォールバック荷重は十分小さいため評価対象としない。なお、最終的な荷重はそれぞれ下記となる。

$$\text{加速度ドラッグ荷重 (N)} = \text{LOCA荷重 (N/m}^3\text{)} \times \text{加速度ドラッグ体積 (m}^3\text{)}$$

$$\text{定常ドラッグ荷重 (N)} = \text{LOCA荷重 (N/m}^2\text{)} \times \text{実効面積 (m}^2\text{)} \times \text{定常ドラッグ係数 } C_D$$

$$\text{圧力パルス及び圧力荷重 (N)} = \text{LOCA荷重 (N/m}^2\text{)} \times \text{実効面積 (m}^2\text{)}$$

表4-7 LOCA荷重

荷重名称	軸方向	鉛直方向	水平方向	備考
プールスウェル (気泡形成) *1				加速度ドラッグ荷重 (LAB _A)
				定常ドラッグ荷重 (LAB _D)
蒸気凝縮振動 (CO)				加速度ドラッグ荷重
チャギング *2 (CH)				圧力パルス荷重 (CH _{pu})
	圧力荷重 (CH _{ring})			

注記*1：プールスウェル荷重（気泡形成）のうち、定常ドラッグ荷重については荷重が小さいため以降の計算では無視する。

*2：チャギングについては、圧力パルス荷重と圧力荷重の代数和とする。

4.3 解析モデル及び諸元

高圧炉心注水系ストレーナの応答解析及び応力評価は、はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお、ストレーナ本体の応力計算に用いた三次元シェルモデルについては、「4.6.5 アウターリムの多孔プレートに発生する応力」及び「4.6.6 インナーギャップの多孔プレートに発生する応力」で説明する。本項においては、ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析モデル」という。）について説明する。

高圧炉心注水系ストレーナの応答解析用モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-8 に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各質量は、ストレーナ部ティー及び原子炉格納容器貫通部については分布荷重として与え、ストレーナについてはディスクの図 4-2 の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサブプレッションプールに水没している機器であるため、応答解析では内包水の影響を加味し、質量に含める。また、異物の質量も応答解析において考慮する。
- (5) 解析コードは「I S A P」及び「M S C N A S T R A N」を使用し、荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

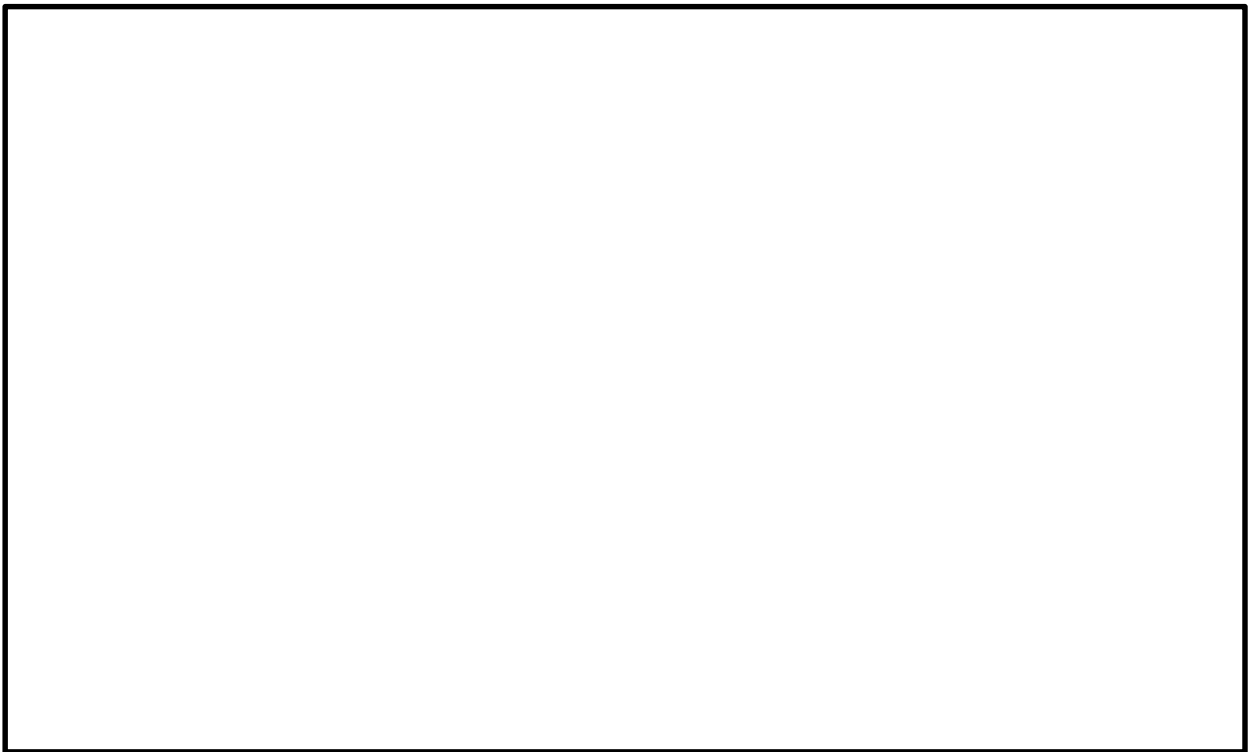


図 4-2 応答解析モデル

表 4-8 機器諸元 (応答解析モデル)

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナの質量	kg/個	
高圧炉心注水系ストレーナの 内包水の質量	kg/個	
ストレーナ付着の異物質量	kg/個	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	0.30
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

注記* : 設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の規定の応力評価に用いる縦弾性係数。

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価

設置されている2系統の高圧炉心注水系ストレーナは、形状、設置レベルが同一であること、考慮すべき水力的動荷重（SRV荷重等）として最大となる位置の値を使用して計算することから、応力評価は代表して1つの系統の高圧炉心注水系ストレーナにつき実施する。

4.4.2 応力評価点

高圧炉心注水系ストレーナの構造は、図3-2及び図3-3に示すように、コアチューブが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートを配し、ろ過装置としての機能を有している。4.2項で設定した設計荷重の大部分は、ワイヤー、補剛材等により支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり、最終的にはコアチューブに伝達される。ワイヤー、補剛材等多孔プレートを支持する補助部材については、荷重を適切に伝達させるよう、十分な強度を持つように設計する。従って、ストレーナの主要構成部材である多孔プレート、コアチューブ及びフランジにつき構造、形状を考慮した応力評価部位を選定し、評価を実施する。

応力評価点を表4-9、図4-3及び図4-4に示す。

4.4.3 応力計算方法

高圧炉心注水系ストレーナに考慮すべき荷重の組合せ（4.2.1項）より、各応力評価点におけるこれらの荷重の組合せの中で、最大となる荷重を用いて評価を実施する。また、計算は荷重により各応力評価点に生じる応力を、引用文献に基づく計算と解析コード「ANSYS」を使用した計算の組合せにより実施する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

表 4-9 応力評価点

名称	応力評価点番号	応力評価点
エンドコア	P1	コアチューブ端の多孔プレート
エンドディスク	P2	エンドディスクの多孔プレート
中間ディスク	P3	中間ディスクの多孔プレート
アウターリム	P4	ディスク外径部リムの曲り多孔プレート
インナーギャップ	P5	ディスク間インナーギャップの曲り多孔プレート
最終列位置	P6	コアチューブの最終列ディスク位置
第一列位置	P7	コアチューブの第一列ディスク位置
フランジ接触面	P8	コアチューブのフランジ接触面位置
フランジ	P9	フランジ
ストレーナ取付部ボルト	P10	ボルト

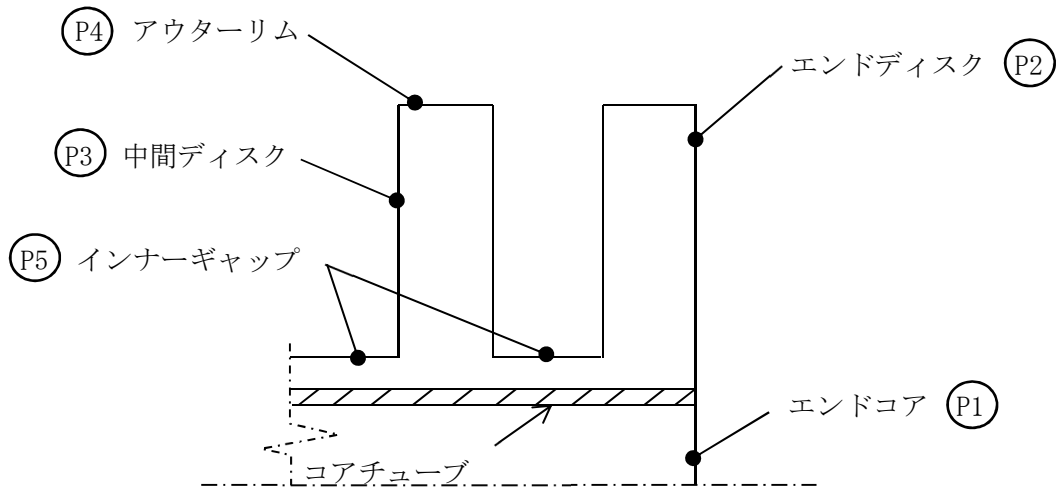


図 4-3 多孔プレートの応力評価点

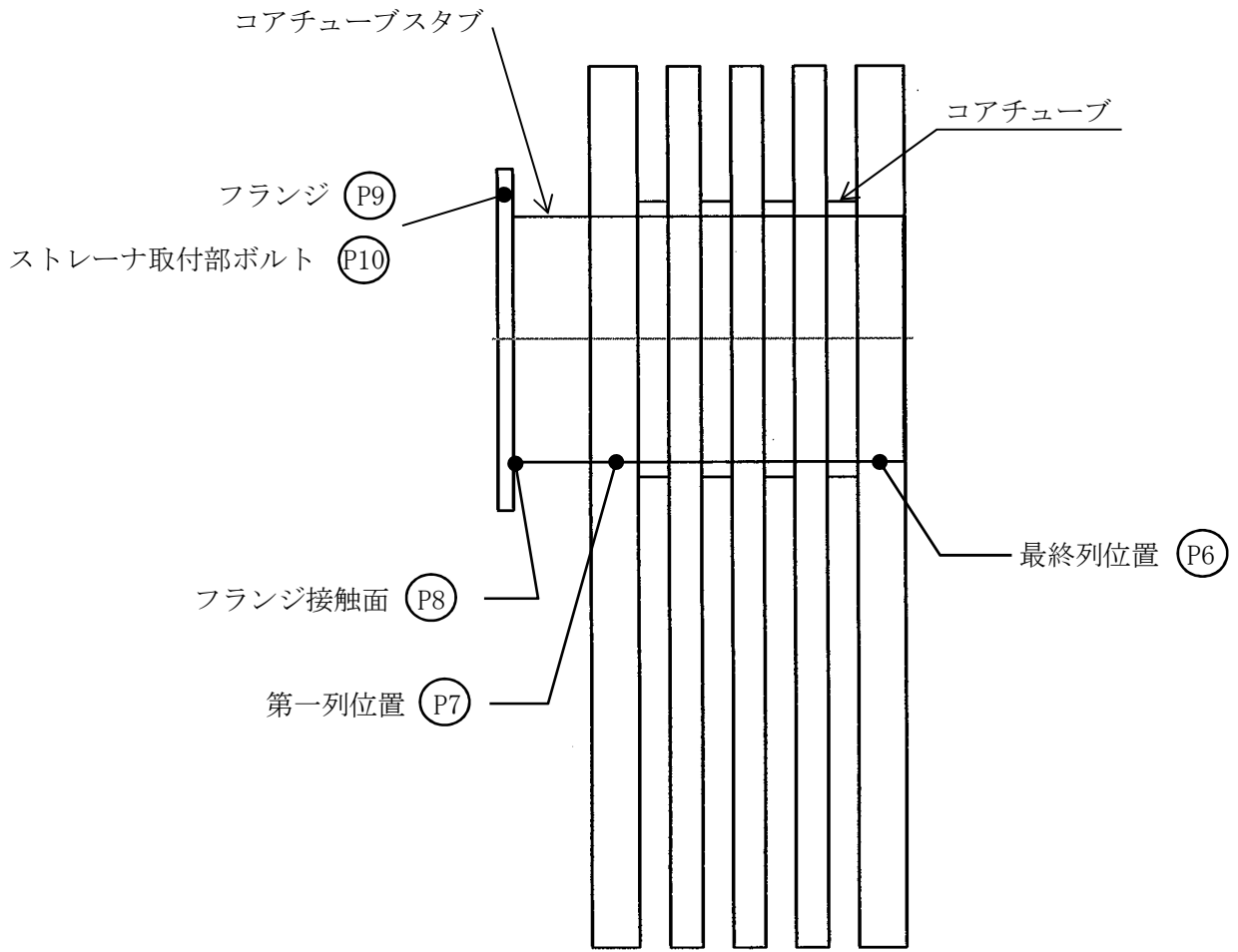


図 4-4 コアチューブ及びフランジ部の応力評価部位

4.5 各応力評価部位に加わる最大荷重

プールスウェル（気泡形成）荷重と蒸気凝縮振動荷重（C0）の加速度ドラッグ荷重は、ストレーナ各要素に働く水力学的質量の寄与分に比例して加わる荷重である。

逃がし安全弁作動時定常ドラッグ荷重（SRV_{drag}）は、流れの中のストレーナ各要素の実効面積に比例して加わる荷重である。また、圧力パルス荷重である逃がし安全弁作動時圧力荷重（SRV_p）は、ストレーナ各構成要素の実効面積に比例、若しくは横切る差圧として加わる荷重である。従って、これらの荷重は実効面積の関数として扱うことができる。

なお、ストレーナ差圧荷重（DP）は多孔プレートに加わり、ストレーナをつぶす方向に作用する。

以上より、各荷重により高圧炉心注水系ストレーナに加わる荷重はストレーナ各構成要素に加わる荷重に分割することができ、多孔プレートに対しては表面荷重（等価圧力）として与えられる。

4.5.1 組合せ荷重の計算

4.2.1 項に示した重大事故等時の各組合せ荷重を算出し、最大荷重算出の一次スクリーニングを行う。ただし、ストレーナ差圧荷重（DP）については多孔プレート面に対して加わるため、多孔プレート面の位置により座標軸が変わる。従って、ストレーナ差圧荷重（DP）については4.5.2 項 多孔プレートに加わる荷重で考慮する。

(1) 荷重組合せ No. SA-1 ($W_T + W_D + DP$)

荷重組合せ No. SA-1 ($W_T + W_D + DP$) にて、ストレーナに加わる荷重は、

$$\begin{aligned}
 C_{SA-1} &= (W_T + W_D + DP) \\
 &= [W_T + W_D] \\
 &= \boxed{} + \boxed{} = \begin{pmatrix} 0 \\ 5273 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで、 $\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$ はそれぞれ、A：軸方向、B：鉛直方向、C：水平方向を表す。

また、

$$\begin{aligned}
 W_T &: \text{ストレーナの鉛直方向死荷重} = \boxed{} \text{ N} \\
 W_D &: \text{ストレーナのデブリ質量} = \boxed{} \text{ N}
 \end{aligned}$$

(2) 荷重組合せ No. SA-2 ($W_T + W_D + DP + CO$)

荷重組合せ No. SA-2 ($W_T + W_D + DP + CO$) にて、ストレーナに加わる荷重は、

$$\begin{aligned}
 C_{SA-2} &= (W_T + W_D + DP + CO) \\
 &= [W_T + W_D + CO \times V_{drag}] \\
 &= \boxed{} + \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} = \begin{pmatrix} 2053 \\ 6457 \\ 7061 \end{pmatrix} \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで、

CO : 蒸気凝縮振動荷重 (加速度ドラッグ荷重)

V_{drag} : 加速度ドラッグ体積 (m^3)

(流体中の物体の運動に伴って移動する周囲の流体 (付加質量) も考慮した物体の体積で、ストレーナ形状より決定)

$$V_{drag} = \boxed{} \text{ m}^3$$

(3) 荷重組合せ No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)

荷重組合せ No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$) にてストレーナに加わる荷重は、

$$\begin{aligned}
 C_{SA-3} &= (W_T + W_D + SRV + CH) \\
 &= [W_T + W_D + (SRV_{drag} \times C_D + SRV_p) \times A_{proj} + (CH_{PU} + CH_{ring}) \times A_{proj}] \\
 &= \boxed{} + \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} \\
 &\quad + \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} = \begin{pmatrix} 8782 \\ 38546 \\ 11424 \end{pmatrix} \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで、

SRV_p : 逃がし安全弁作動時圧力荷重

SRV_{drag} : 逃がし安全弁作動時定常ドラッグ荷重

CH_{PU} : チャギング荷重 (圧力パルス荷重)

CH_{ring} : チャギング荷重 (圧力荷重)

A_{proj} : 実効面積 (m^2)

(物体の流れに垂直な面に対する投影面積、あるいは圧力の加わる面積で、ストレーナの形状より決定)

$$A_{proj} = \boxed{} \text{ m}^2$$

C_D : ドラッグ係数

(水平/鉛直方向 = $\boxed{}$ (メーカー実験値), 軸方向 = $\boxed{}$ (引用文献(1)より, 類似形状の安全側数値を設定)

(4) 荷重組合せ No. SA-4 ($W_T + LAB$)

荷重組合せ No. SA-4 ($W_T + LAB$) にてストレーナに加わる荷重は,

$$\begin{aligned}
 C_{SA-4} &= (W_T + LAB) \\
 &= [W_T + 2 \times LAB_A \times V_{drag}] \\
 &= \boxed{} + 2 \times \boxed{} \times \boxed{} = \begin{pmatrix} 508 \\ 4411 \\ 1514 \end{pmatrix} \text{N}
 \end{aligned}$$

ここで,

LAB_A : プールスウェル (気泡形成) 荷重 (加速度ドラッグ荷重)

以上をまとめると, 表 4-10 のとおりとなり, 重大事故等時のクリティカルな荷重条件として SA-3 を選出し, 以下の検討を行う。

表 4-10 組合せ荷重

荷重 組合せ No.	荷重の組合せ	許容応力 状態	軸方向荷重 (N)	鉛直方向荷重 (N)	水平方向荷重 (N)	代表性
SA-1	$W_T + W_D + DP$	I_A	0.000	5273	0.000	SA-3 に包絡
SA-2	$W_T + W_D + DP + CO$	IV_A	2053	6457	7061	SA-3 に包絡
SA-3	$W_T + W_D + DP$ + $SRV + CH$	IV_A	8782	38546	11424	重大事故等時のク リティカル条件
SA-4	$W_T + LAB$	IV_A	508	4411	1514	SA-3 に包絡

4.5.2 多孔プレートに加わる荷重

ストレーナの多孔プレートの各応力評価部位に加わる最大荷重を、4.5.1項で選定したクリティカル条件（荷重組合せ No. SA-3）を基に算出する。

- (1) エンドコアに加わる軸方向荷重 : No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
 エンドコアに軸方向外面から加わる荷重は、

$$\begin{aligned} q_{SA-3.endcore} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= DP + (SRV_{P,z} + CH_{PU,z}) \cdot \frac{W_{enddisk}}{L_{strnr}} + SRV_{drag,z} \cdot C_D \\ &= 11.57 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ここで、

- DP : ストレーナ差圧荷重 = kPa
 $SRV_{P,z}$: 軸方向に加わる逃がし安全弁作動時圧力荷重
 $SRV_{drag,z}$: 軸方向に加わる逃がし安全弁作動時定常ドラッグ荷重
 $CH_{PU,z}$: 軸方向に加わるチャギング荷重（圧力パルス荷重）

エンドコアに軸方向外面より加わる最大荷重は、重大事故等時で 11.57 kPa となる。

- (2) エンドディスクに加わる軸方向荷重 : No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
 エンドディスクに軸方向外面から加わる荷重は、

$$\begin{aligned} q_{SA-3.enddisk} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= DP + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P,z} + CH_{PU,z}) \cdot \frac{W_{enddisk}}{L_{strnr}} + SRV_{drag,z} \cdot C_D \\ &= 11.18 \text{ kPa} \end{aligned}$$

エンドディスクに軸方向外面より加わる最大荷重は、重大事故等時で 11.18 kPa となる。

- (3) 中間ディスクに加わる軸方向荷重 : No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
 中間ディスクに軸方向外面から加わる荷重は、

$$\begin{aligned} q_{SA-3.midisk} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= DP + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P,z} + CH_{PU,z}) \cdot \frac{W_{midisk}}{L_{strnr}} \\ &= 11.05 \text{ kPa} \end{aligned}$$

中間ディスクに軸方向外面より加わる最大荷重は、重大事故等時で 11.05 kPa となる。

- (4) アウターリムに加わる水平方向と鉛直方向荷重 : No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
アウターリムに水平方向と鉛直方向に加わる荷重を計算する。

$$\begin{aligned} q_{SA-3.rim.x} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.x} + SRV_{drag.x} \cdot C_D + CH_{PU.x} + CH_{ring.x}) \\ &= 10.21 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{SA-3.rim.y} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{W_{t_{rim}}}{2 \cdot L_{disk} \cdot OD_{disk}} + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.y} + CH_{PU.y} + CH_{ring.y}) + \frac{W_D}{SA_{tot}} \\ &= 29.94 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ここで、

- L_{disk} : エンドディスク幅と中間ディスク幅の合計 = mm
- $SRV_{P.x}$: 水平方向に加わる逃がし安全弁作動時圧力荷重
- $SRV_{P.y}$: 鉛直方向に加わる逃がし安全弁作動時圧力荷重
- $SRV_{drag.x}$: 水平方向に加わる逃がし安全弁作動時定常ドラッグ荷重
- $CH_{PU.x}$: 水平方向に加わるチャギング荷重 (圧力パルス荷重)
- $CH_{PU.y}$: 鉛直方向に加わるチャギング荷重 (圧力パルス荷重)
- $CH_{ring.x}$: 水平方向に加わるチャギング荷重 (圧力荷重)
- $CH_{ring.y}$: 鉛直方向に加わるチャギング荷重 (圧力荷重)
- $W_{t_{rim}}$: アウターリム部の質量 = N

よって、水平方向と鉛直方向の合成荷重及びストレーナ差圧荷重 (DP) の合計荷重 $q_{SA-3.rim.lat}$ は、

$$\begin{aligned} q_{SA-3.rim.lat} &= \sqrt{q_{SA-3.rim.x}^2 + q_{SA-3.rim.y}^2 + DP} \\ &= 42.42 \text{ kPa} \end{aligned}$$

アウターリムに軸直角方向外面より加わる最大荷重は、重大事故等時で 42.42 kPa となる。

- (5) インナーギャップに加わる水平方向と鉛直方向荷重: No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
 インナーギャップに水平方向と鉛直方向に加わる荷重を計算する。

$$\begin{aligned} q_{SA-3.gap.x} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.x} + SRV_{drag.x} \cdot C_D + CH_{PU.x} + CH_{ring.x}) \\ &= 10.21 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{SA-3.gap.y} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{Wt_{gap}}{2 \cdot L_{gap} \cdot OD_{gap}} + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.y} + CH_{PU.y} + CH_{ring.y}) + \frac{W_D}{SA_{tot}} \\ &= 29.90 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ここで,

L_{gap} : インナーギャップ幅の合計 = mm

Wt_{gap} : インナーギャップ部の質量 = N

よって、水平方向と鉛直方向の合成荷重及びストレーナ差圧荷重 (DP) の合計荷重 $q_{SA-3.gap.lat}$ は,

$$\begin{aligned} q_{SA-3.gap.lat} &= \sqrt{q_{SA-3.gap.x}^2 + q_{SA-3.gap.y}^2 + DP} \\ &= 42.39 \text{ kPa} \end{aligned}$$

インナーギャップに軸直角方向外面より加わる最大荷重は、重大事故等時で 42.39 kPa となる。

(1)項から(5)項までの結果より、ストレーナ多孔プレートの各応力評価部位に加わる表面荷重（等価圧力）の位置を図4-5、荷重を表4-11にまとめる。

表4-11 多孔プレートの各応力評価部位に加わる表面荷重（等価圧力）

No.	名称	各応力評価部位に加わる表面荷重	
		重大事故等時	
		表面荷重 (kPa)	荷重方向
①	エンドコア	11.57 ^{*1}	軸方向
②	エンドディスク	11.18 ^{*1}	軸方向
③	中間ディスク	11.05 ^{*1}	軸方向
④	アウターリム	10.21	水平方向
		29.94	鉛直方向
		42.42 ^{*1}	軸直角方向 ^{*2}
⑤	インナーギャップ	10.21	水平方向
		29.90	鉛直方向
		42.39 ^{*1}	軸直角方向 ^{*2}

注記*1：ストレーナ差圧荷重（10.79 kPa）を含む。

*2：水平方向荷重と鉛直方向荷重をSRSS法にて合成した。

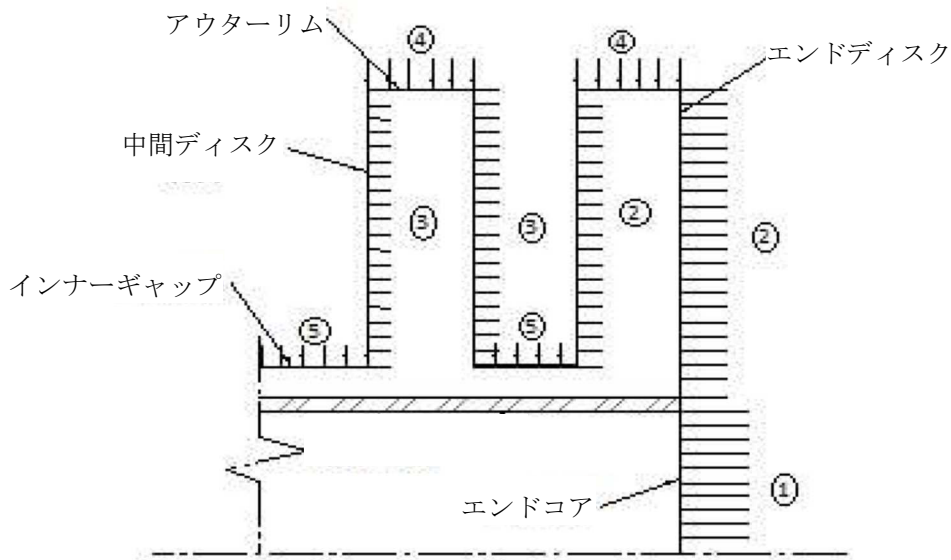


図4-5 多孔プレートの各応力評価部位

4.5.3 コアチューブに加わる荷重

ストレーナの多孔プレート部に加えられた荷重は、ディスクの内部補強材によりコアチューブに伝達され、これらの荷重によりコアチューブには異なる位置で異なる応力が発生する。従って、4.5.2項と同様に4.5.1項で選定したクリティカル条件（荷重組合せNo. SA-3）を基に、構造上厳しい条件となる第一列ディスク位置、最終列ディスク位置及びフランジ接触面の3つの位置での荷重を算出する。

- (1) コアチューブスタブ部の荷重（等価圧力）： No. SA-3 ($W_T + W_D + DP + SRV + CH$)
 コアチューブスタブ部に加わる荷重（等価圧力）を算出する。

$$\begin{aligned} q_{SA-3.stub.x} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.x} + CH_{PU.x}) \cdot \frac{OD_{tube}}{OD_{disk}} + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{drag.x} \cdot C_D + CH_{ring.x}) \\ &= 2.93 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{SA-3.stub.y} &= (W_T + W_D + DP + SRV + CH) \\ &= \frac{W_{t_{stub}}}{2 \cdot L_{stub} \cdot OD_{tube}} + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{P.y} + CH_{PU.y}) \cdot \frac{OD_{tube}}{OD_{disk}} \\ &\quad + \frac{1}{2} \cdot (SRV_{drag.y} \cdot C_D + CH_{ring.y}) \\ &= 26.07 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ここで、

$$W_{t_{stub}} : \text{コアチューブスタブ部の質量} = \boxed{\quad} \text{ N}$$

なお、ストレーナ差圧荷重（DP）と異物荷重（ W_D ）はコアチューブのスタブ部には加わらない。

コアチューブのスタブ部に加わる最大表面荷重（等価圧力）を表4-12にまとめる。

表4-12 コアチューブスタブ部に加わる最大表面荷重（等価圧力）

名称	重大事故等時	
	表面荷重 (kPa)	荷重方向
コアチューブスタブ部	2.93	水平方向
	26.07	鉛直方向

(2) コアチューブに加わる水平方向荷重 (F_x)

コアチューブに加わる水平方向荷重を評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$F_{x.tube.G2.1} = 2 \cdot (q_{rim.x.G2} \cdot W_{enddisk} \cdot OD_{disk}) + (q_{gap.x.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap})$$

$$= 2601 \text{ N}$$

ここで,

$q_{rim.x.G2}$: アウターリムに水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

$q_{gap.x.G2}$: インナーギャップに水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

b. 第一列位置

$$F_{x.tube.G2.2} = 2 \cdot F_{x.tube.G2.1}$$

$$+ 6 \cdot (q_{rim.x.G2} \cdot W_{middisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.x.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap})$$

$$= 11424 \text{ N}$$

c. フランジ接触面

$$F_{x.tube.G2.3} = F_{x.tube.G2.2} + 2 \cdot (q_{stub.x.G2} \cdot OD_{tube} \cdot L_{stub})$$

$$= 11787 \text{ N}$$

ここで,

$q_{stub.x.G2}$: コアチューブスタブ部に水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-12 参照)

(3) コアチューブに加わる鉛直方向荷重 (F_y)

コアチューブに加わる鉛直方向荷重を評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$F_{y.tube.G2.1} = 2 \cdot (q_{rim.y.G2} \cdot W_{enddisk} \cdot OD_{disk}) + (q_{gap.y.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap})$$

$$= 7627 \text{ N}$$

ここで,

$q_{rim.y.G2}$: アウターリムに鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

$q_{gap.y.G2}$: インナーギャップに鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

b. 第一列位置

$$\begin{aligned}
 F_{y.tube.G2.2} &= 2 \cdot F_{y.tube.G2.1} \\
 &\quad + 6 \cdot (q_{rim.y.G2} \cdot W_{middisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.y.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap}) \\
 &\quad + (W_{tstrnr} - W_{trim} - W_{tgap}) \\
 &= 36692 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで,

$$W_{tstrnr} : \text{ ストレーナディスク部質量} = \boxed{\quad} \text{ N}$$

また、アウターリム部質量 (W_{trim}) とインナーギャップ部質量 (W_{tgap}) は、アウターリム部鉛直方向荷重 ($q_{rim.y.G2}$) 及びインナーギャップ部鉛直方向荷重 ($q_{gap.y.G2}$) で考慮されているため、減じる。

c. フランジ接触面

$$\begin{aligned}
 F_{y.tube.G2.3} &= F_{y.tube.G2.2} + 2 \cdot (q_{stube.y.G2} \cdot OD_{tube} \cdot L_{stube}) - W_{tstube} \\
 &= 39737 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで,

$$q_{stube.y.G2} : \text{ コアチューブスタブ部に鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-12 参照)}$$

また、コアチューブスタブ部質量 (W_{tstube}) は、コアチューブスタブ部鉛直荷重 ($q_{stube.y.G2}$) で考慮されているため、減じる。

(4) コアチューブに加わる軸方向荷重 (F_z)

コアチューブに加わる軸方向荷重を評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$\begin{aligned}
 F_{z.tube.G2.1} &= q_{endcore.z.G2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot OD_{tube}^2 \\
 &\quad + 2 \cdot (q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_{disk}^2 - OD_{tube}^2) \\
 &= 2727 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで,

$$q_{endcore.z.G2} : \text{ エンドコアに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)}$$

$$q_{enddisk.z.G2} : \text{ エンドディスクに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照, ストレーナ差圧荷重を含む)}$$

$$DP : \text{ ストレーナ差圧荷重} = \boxed{\quad} \text{ kPa}$$

b. 第一列位置

$$\begin{aligned}
 F_{z.tube.G2.2} &= F_{z.tube.G2.1} + 2 \cdot (q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_{disk}^2 - OD_{tube}^2) \\
 &\quad + 6 \cdot (q_{middisk.z.G2} - DP) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_{disk}^2 - OD_{tube}^2) \\
 &= 6443 \text{ N}
 \end{aligned}$$

c. フランジ接触面

$$\begin{aligned}
 F_{z.tube.G2.3} &= F_{z.tube.G2.2} \\
 &= 6443 \text{ N}
 \end{aligned}$$

(5) コアチューブに加わる鉛直方向曲げモーメント (M_x)

コアチューブに加わる鉛直方向曲げモーメントを評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$M_{x.tube.G2.1} = 0.000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

最終列の鉛直曲げモーメントは小さく、無視できる。

b. 第一列位置

$$\begin{aligned}
 M_{x.tube.G2.2} &= (F_{y.tube.G2.2} - Wt_{strnr}) \cdot \frac{L_{strnr}}{2} + Wt_{strnr} \cdot (CG_{strnr.z} - L_{stub}) \\
 &= 9.545 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで、

Wt_{strnr} : ストレーナディスク部質量 = N

$CG_{strnr.z}$: フランジ面とストレーナディスク部の軸方向重心位置との距離 = mm

c. フランジ接触面

$$\begin{aligned}
 M_{x.tube.G2.3} &= (F_{y.tube.G2.2} - W_{tstrnr}) \cdot \left(\frac{L_{strnr}}{2} + L_{stub} \right) \\
 &\quad + (2 \cdot q_{stub.y.G2} \cdot OD_{tube} \cdot L_{stub} - W_{tstub}) \cdot \frac{L_{strnr}}{2} + W_T \cdot CG_{total.z} \\
 &= 1.539 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで、

$q_{stub.y.G2}$: スタブ部に鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-12 参照)

W_T : ストレーナ全体の質量 = N

$CG_{total.z}$: フランジ面とストレーナ軸方向重心位置との距離 = mm

(6) コアチューブに加わる水平曲げモーメント (M_y)

コアチューブに加わる水平曲げモーメントを評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$M_{y.tube.G2.1} = 0.000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

最終列の水平曲げモーメントは小さく、無視できる。

b. 第一列位置

$$\begin{aligned}
 M_{y.tube.G2.2} &= F_{x.tube.G2.2} \cdot \frac{L_{strnr}}{2} + F_{z.tube.G2.2} \cdot E_{ecc} \\
 &= 4.771 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで、

E_{ecc} : コアチューブとディスクの中心間距離 = mm

c. フランジ接触面

$$\begin{aligned}
 M_{y.tube.G2.3} &= F_{x.tube.G2.2} \cdot \left(\frac{L_{strnr}}{2} + L_{stub} \right) \\
 &\quad + 2 \cdot (q_{stub.x.G2} \cdot OD_{tube} \cdot L_{stub}) \cdot \frac{L_{stub}}{2} + F_{z.tube.G2.2} \cdot E_{ecc} \\
 &= 6.540 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで、

$q_{stub.x.G2}$: コアチューブスタブ部に水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-12 参照)

(7) コアチューブに加わるねじりモーメント (M_z)

コアチューブに加わるねじりモーメントを評価部位毎に算出する。

a. 最終列位置

$$\begin{aligned}
 M_{z.tube.G2.1} &= 2 \cdot (q_{rim.y.G2} \cdot W_{enddisk} \cdot OD_{disk}) \cdot E_{ecc} \\
 &\quad + \frac{1}{5} \cdot (Wt_{face} \cdot CG_{face.x} + Wt_{rim} \cdot CG_{rim.x} + Wt_{rad.stfnr} \cdot CG_{stfnr.x} \\
 &\quad \quad \quad + Wt_{wire} \cdot CG_{wire.x} + Wt_{int} \cdot CG_{int.x}) \\
 &= 2.121 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで,

- Wt_{face} : ディスク面の質量 = N
- $CG_{face.x}$: コアチューブ中心線とディスク面の水平方向重心位置との距離 = mm
- Wt_{rim} : アウターリムの質量 = N
- $CG_{rim.x}$: コアチューブ中心線とアウターリムの水平方向重心位置との距離 = mm
- $Wt_{rad.stfnr}$: ラジアル補剛材の質量 = N
- $CG_{stfnr.x}$: コアチューブ中心線とラジアル補剛材の水平方向重心位置との距離 = mm
- Wt_{wire} : ワイヤの質量 = N
- $CG_{wire.x}$: コアチューブ中心線とワイヤの水平方向重心位置との距離 = mm
- Wt_{int} : 中間補剛材の質量 = N
- $CG_{int.x}$: コアチューブ中心線と中間補剛材の水平方向重心位置との距離 = mm

b. 第一列位置

$$\begin{aligned}
 M_{z.tube.G2.2} &= 2 \cdot (q_{rim.y.G2} \cdot OD_{disk} \cdot L_{disk}) \cdot E_{ecc} + Wt_{strnr} \cdot CG_{strnr.x} \\
 &= 8.699 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

ここで,

- L_{disk} : エンドディスク幅と中間ディスク幅の合計 = mm
- Wt_{strnr} : ストレーナディスク部質量 = N
- $CG_{strnr.x}$: コアチューブ中心線とストレーナディスク部との水平方向重心位置との距離 = mm

c. フランジ接触面

$$M_{z,tube.G2.3} = M_{z,tube.G2.2} = 8.699 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

以上より，重大事故等時においてコアチューブの3つの異なる位置に加わる荷重は表4-13に示すとおりとなる。

表 4-13 重大事故等時荷重とモーメント

名称	荷重		モーメント	
	荷重値 (N)	方向	モーメント (N・mm)	方向
最終列位置	2601	水平 (x)	0.000	鉛直曲げ (Mx)
	7627	鉛直 (y)	0.000	水平曲げ (My)
	2727	軸 (z)	2.121×10^6	ねじり (Mz)
一列位置	11424	水平 (x)	9.545×10^6	鉛直曲げ (Mx)
	36692	鉛直 (y)	4.771×10^6	水平曲げ (My)
	6443	軸 (z)	8.699×10^6	ねじり (Mz)
フランジ接触面	11787	水平 (x)	1.539×10^7	鉛直曲げ (Mx)
	39737	鉛直 (y)	6.540×10^6	水平曲げ (My)
	6443	軸 (z)	8.699×10^6	ねじり (Mz)

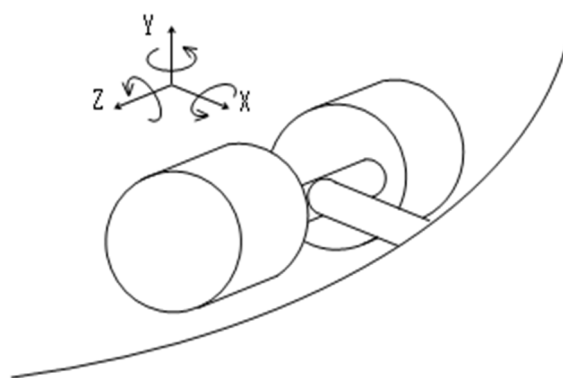


図 4-6 ストレーナに加わる荷重方向

4.5.4 アウターリム及びインナーギャップからエンドディスク面に加わる荷重

アウターリム及びインナーギャップに水平及び鉛直方向より受けた荷重は、ラジアル補剛材からエンドディスクに伝達され、リベット接合されたエンドディスクの多孔プレート面に面内荷重とモーメントが加わる。

従って、4.5.1項で選定したクリティカル条件（荷重組合せ No. SA-3）を基に、配置位置が異なる 6 本のラジアル補剛材からエンドディスク面に加わる荷重を算出する。

(1) ラジアル補剛材からエンドディスク面に加わる面内荷重 (P_{end})

アウターリム及びインナーギャップからラジアル補剛材に加わる合計の水平方向荷重 $F_{end.x.G2}$ と鉛直方向荷重 $F_{end.y.G2}$ は、

$$\begin{aligned}
 F_{end.x.G2} &= q_{rim.x.G2} \cdot W_{enddisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.x.G2} \cdot \frac{W_{gap}}{2} \cdot OD_{gap} \\
 &= 1300 \text{ N} \\
 F_{end.y.G2} &= q_{rim.y.G2} \cdot W_{enddisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.y.G2} \cdot \frac{W_{gap}}{2} \cdot OD_{gap} \\
 &= 3814 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで、

$q_{rim.x.G2}$: アウターリムに水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

$q_{rim.y.G2}$: アウターリムに鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

$q_{gap.x.G2}$: インナーギャップに水平方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

$q_{gap.y.G2}$: インナーギャップに鉛直方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力
(表 4-11 参照)

各々のラジアル補剛材に加わる曲げ荷重は、ラジアル補剛材の配置回転角を考慮して以下となる。

$$\begin{aligned}
 P_{end.G2.k} &= F_{end.x.G2} \cdot \frac{Wx_k}{OD_{disk}} \cdot |\cos(\theta_k)| + F_{end.y.G2} \cdot \frac{Wy_k}{OD_{disk}} \cdot |\sin(\theta_k)| \quad (k = 1,6) \\
 &= \begin{pmatrix} 424 \\ 1014 \\ 1386 \\ 709 \\ 373 \\ 279 \end{pmatrix} \text{ N}
 \end{aligned}$$

ここで、

θ_k : 各ラジアル補剛材の回転角

Wx_k, Wy_k : 各ラジアル補剛材の水平方向受圧長さ及び鉛直方向受圧長さラジアル補剛材の配置詳細と受圧長さは添付資料に記載する。

(2) ラジアル補剛材からエンドディスク面に加わるモーメント (M_{end})

エンドディスクからラジアル補剛材に加わる軸方向荷重によりラジアル補剛材に発生する曲げモーメントは、アウターリム側の荷重 $w1_{rad.end.G2}$ からコアチューブ側の荷重 $w2_{rad.end.G2}$ までの台形分布荷重から求める。

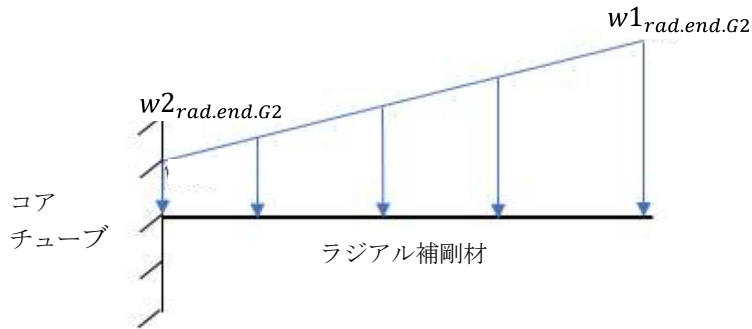


図 4-7 ラジアル補剛材に加わるエンドディスクからの荷重状態

各ラジアル補剛材にエンドディスクから加わるアウターリム側の荷重 $w1_{rad.end.G2.k}$ コアチューブ側の荷重 $w2_{rad.end.G2.k}$ は、

$$w1_{rad.end.G2.k} = (q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot L_{ark.max_k} \quad (k = 1, 6)$$

$$w2_{rad.end.G2.k} = (q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot L_{ark.min_k} \quad (k = 1, 6)$$

ここで、

$q_{enddisk.z.G2}$: エンドディスクに軸方向より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照, ストレーナ差圧荷重を含む)

DP : ストレーナ差圧荷重 = kPa

$L_{ark.max_k}$: 各ラジアル補剛材のアウターリム部の等価受圧長さ

$L_{ark.min_k}$: 各ラジアル補剛材のコアチューブ部の等価受圧長さ

なお、ラジアル補剛材の配置詳細と等価受圧長さは添付資料に記載する。

$$w1_{rad.end.G2.k} = \begin{pmatrix} 0.191 \\ 0.214 \\ 0.202 \\ 0.150 \\ 0.124 \\ 0.116 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}$$

$$w2_{rad.end.G2.k} = \begin{pmatrix} 0.115 \\ 0.107 \\ 0.078 \\ 0.048 \\ 0.037 \\ 0.034 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}$$

ラジアル補剛材からエンドディスク面に加わるモーメント $M_{end.G2}$ は、

$$M_{end.G2.k} = \frac{1}{2} \cdot w_{2rad.end.G2.k} \cdot L_{stf.k}^2 + \frac{1}{3} \cdot (w_{1rad.end.G2.k} - w_{2rad.end.G2.k}) \cdot L_{stf.k}^2$$

$$= \begin{pmatrix} 2.552 \times 10^3 \\ 6.718 \times 10^3 \\ 2.111 \times 10^4 \\ 2.449 \times 10^4 \\ 2.430 \times 10^4 \\ 2.392 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

$L_{stf.k}$: 各ラジアル補剛材のアウターリム側の荷重 $w_{1rad.end.G2.k}$ とコアチューブ側の荷重 $w_{2rad.end.G2.k}$ の作用点間距離

$$L_{stf.k} = \begin{pmatrix} 175.4 \\ 274.2 \\ 512.4 \\ 650.7 \\ 715.5 \\ 734.2 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

4.5.5 アウターリム及びインナーギャップから中間ディスク面に加わる荷重

4.5.4 項と同様に、アウターリム及びインナーギャップに水平及び鉛直方向より受けた荷重は、ラジアル補剛材から中間ディスクに伝達され、リベット接合された中間ディスクの多孔プレート面に面内荷重とモーメントが加わる。

従って、4.5.1 項で選定したクリティカル条件（荷重組合せ No. SA-3）を基に、配置位置が異なる 6 本のラジアル補剛材から中間ディスク面に加わる荷重を算出する。

(1) ラジアル補剛材から中間ディスクに加わる面内荷重 (P_{mid})

アウターリム及びインナーギャップからラジアル補剛材に加わる合計の水平方向荷重 $F_{mid.x.G2}$ と鉛直方向荷重 $F_{mid.y.G2}$ は、

$$\begin{aligned} F_{mid.x.G2} &= q_{rim.x.G2} \cdot W_{middisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.x.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap} \\ &= 1037 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{mid.y.G2} &= q_{rim.y.G2} \cdot W_{middisk} \cdot OD_{disk} + q_{gap.y.G2} \cdot W_{gap} \cdot OD_{gap} \\ &= 3041 \text{ N} \end{aligned}$$

各々のラジアル補剛材に加わる曲げ荷重は、ラジアル補剛材の配置回転角を考慮して以下となる。

$$\begin{aligned} P_{mid.G2.k} &= F_{mid.x.G2} \cdot \frac{Wx_k}{OD_{disk}} \cdot |\cos(\theta_k)| + F_{mid.y.G2} \cdot \frac{Wy_k}{OD_{disk}} \cdot |\sin(\theta_k)| \quad (k = 1,6) \\ &= \begin{pmatrix} 338 \\ 808 \\ 1105 \\ 565 \\ 297 \\ 223 \end{pmatrix} \text{ N} \end{aligned}$$

(2) ラジアル補剛材から中間ディスク面に加わるモーメント (M_{mid})

4.5.4 項と同様に、中間ディスクからラジアル補剛材に加わる軸方向荷重によりラジアル補剛材に発生する曲げモーメントは、アウターリム側の荷重 $w1_{rad.mid.G2}$ からコアチューブ側の荷重 $w2_{rad.mid.G2}$ までの台形分布荷重から求める。

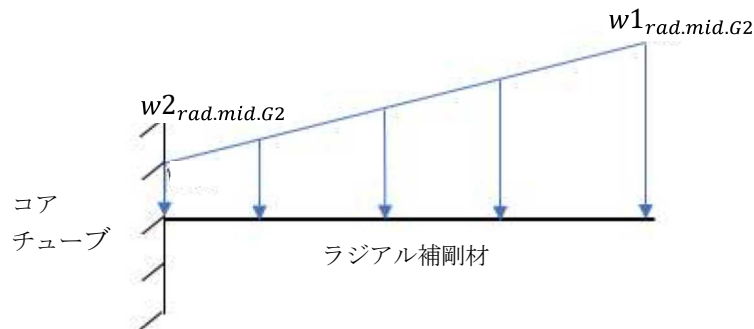


図 4-8 ラジアル補剛材に加わる中間ディスクからの荷重状態

各ラジアル補剛材に中間ディスクから加わるアウターリム側の荷重 $w1_{rad.mid.G2.k}$ コアチューブ側の荷重 $w2_{rad.mid.G2.k}$ は、

$$w1_{rad.mid.G2.k} = (q_{middisk.z.G2} - DP) \cdot L_{ark.max_k} \quad (k = 1, 6)$$

$$w2_{rad.mid.G2.k} = (q_{middisk.z.G2} - DP) \cdot L_{ark.min_k} \quad (k = 1, 6)$$

ここで、

$q_{middisk.z.G2}$: 中間ディスクに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照, ストレーナ差圧荷重を含む)

DP : ストレーナ差圧荷重 = kPa

$$w1_{rad.mid.G2.k} = \begin{pmatrix} 0.129 \\ 0.145 \\ 0.137 \\ 0.101 \\ 0.084 \\ 0.078 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}$$

$$w2_{rad.mid.G2.k} = \begin{pmatrix} 0.078 \\ 0.073 \\ 0.052 \\ 0.032 \\ 0.025 \\ 0.023 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}$$

ラジアル補剛材から中間ディスク面に加わるモーメント $M_{mid.G2}$ は,

$$M_{mid.G2.k} = \frac{1}{2} \cdot w_{2rad.mid.G2.k} \cdot L_{stf.k}^2 + \frac{1}{3} \cdot (w_{1rad.mid.G2.k} - w_{2rad.mid.G2.k}) \cdot L_{stf.k}^2$$

$$= \begin{pmatrix} 1.727 \times 10^3 \\ 4.547 \times 10^3 \\ 1.429 \times 10^4 \\ 1.658 \times 10^4 \\ 1.645 \times 10^4 \\ 1.619 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

ここで,

$L_{stf.k}$: 各ラジアル補剛材のアウターリム側の荷重 $w_{1rad.mid.G2.k}$ とコアチューブ側の荷重 $w_{2rad.mid.G2.k}$ の作用点間距離

以上より, 重大事故等時において, ラジアル補剛材からエンドディスク面及び中間ディスク面に加わる最大荷重と最大モーメントは表 4-14 に示すとおりとなる。

表 4-14 ラジアル補剛材に加わる最大荷重と最大モーメント

	荷重		モーメント	
	荷重値 (N)	種類	モーメント (N・mm)	種類
エンド ディスク	1386	面内	2.449×10^4	曲げ
中間 ディスク	1105	面内	1.658×10^4	曲げ

4.6 応力の計算

4.6.1 多孔プレートの評価方法

多孔プレートの応力計算は、中身がつまった等価な平板として計算する。板の厚さとしては実肉厚を使用し、孔の欠損部を補った材料物性値として引用文献(2)及び(3)で示される等価縦弾性係数及び等価ポアソン比を使用する。

多孔プレートのリガメント効率 h/P は、

$$\frac{h}{P} = 0.37$$

ここで、

h : 孔の間の最小間隙 = mm

P : 孔のピッチ = mm

また、板厚と孔ピッチの比 t/P は

$$\frac{t}{P} = 0.38$$

ここで、

t : ディスク部多孔プレートの板厚 = mm

従って、引用文献(2) Fig. A-8131-1 の値を引用文献(3) Fig. 8 と Fig. 9 にて補正して、

ν_{eff} : 等価ポアソン比 = 0.27

E_{eff} : 等価縦弾性係数 = MPa

(設計・建設規格評及び告示第501号評価 @120℃)

また、多孔プレートの応力倍率 K_{PP} (等価平板に乗じる応力拡大係数) は、多孔プレートの孔径とピッチから決定され、

$$K_{PP} = \frac{P}{h} = 2.72$$

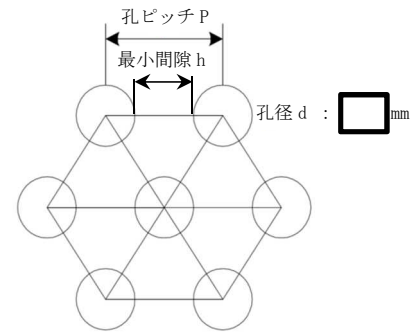


図 4-9 多孔プレートの孔寸法

4.6.2 エンドコアの多孔プレートに発生する応力

(1) 外面より加わる荷重で発生する応力

多孔プレートを補剛材により支持された両端支持はりとして、引用文献(4)のChapter 1, Section 3に示す方法にて計算する。

引用文献(4)の(15)式(下式)を解くことによりパラメータ u を求め、(16)式及び(17)式から発生応力を算出する。

$$\left\{ \frac{E_{eff} \cdot u^2}{(1 - \nu_{eff}^2) \cdot q} \cdot \left(\frac{t}{Ls} \right)^4 \right\}^2 = -\frac{81}{16 \cdot u^7 \cdot \tanh(u)} - \frac{27}{16 \cdot u^6 \cdot \sinh(u)^2} + \frac{27}{4 \cdot u^8} + \frac{9}{8 \cdot u^6} \quad \dots \quad (15)$$

$$\sigma_m = \frac{E_{eff} \cdot u^2}{3 \cdot (1 - \nu_{eff}^2)} \cdot \left(\frac{t}{Ls} \right)^2 \cdot K_{pp} \quad : \text{一次局部膜応力 (MPa)} \quad \dots \quad (16)$$

$$\sigma_b = \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{Ls}{t} \right)^2 \cdot \psi \cdot K_{pp} \quad : \text{曲げ応力 (MPa)} \quad \dots \quad (17)$$

$$\psi = \frac{3 \cdot (u - \tanh(u))}{u^2 \cdot \tanh(u)}$$

ここで、 q は外荷重、 t は多孔プレートの板厚及び Ls は補剛材長さ

(15)式の左辺に、エンドコアに加わる軸方向荷重、板厚及び補剛材寸法を入れて、 $(u_{endcore.G2})^4$ に乗じる係数 $U_{endcore.G2}$ を計算すると、

$$U_{endcore.G2} = \left\{ \frac{E_{eff}}{(1 - \nu_{eff}^2) \cdot q_{endcore.z.G2}} \cdot \left(\frac{t}{Ls_{endcore}} \right)^4 \right\}^2 = 0.189$$

ここで、

$q_{endcore.z.G2}$: エンドコアに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)

t : ディスク部多孔プレートの板厚 = mm

$Ls_{endcore}$: エンドコア補剛材の長さ = mm

(15)式をパラメータ $u_{endcore.G2}$ について解くと、

$$u_{endcore.G2} = 0.194$$

(17)式のパラメータ $\psi_{endcore.G2}$ は、

$$\psi_{endcore.G2} = 0.9975$$

エンドコアに軸方向外面から加わる荷重により発生する一次局部膜応力は、

$$\sigma_{m_{endcore.G2}} = \frac{E_{eff} \cdot u_{endcore.G2}^2}{3 \cdot (1 - \nu_{eff}^2)} \cdot \left(\frac{t}{L_{S_{endcore}}} \right)^2 \cdot K_{pp} = 1 \text{ MPa}$$

エンドコアに軸方向外面から加わる荷重により発生する曲げ応力は、

$$\sigma_{b_{endcore.G2}} = \frac{q_{endcore.z.G2}}{2} \cdot \left(\frac{L_{S_{endcore}}}{t} \right)^2 \cdot \Psi_{endcore.G2} \cdot K_{pp} = 63 \text{ MPa}$$

一次局部膜応力と曲げ応力の合計 $\sigma_{front.endcore.G2}$ は、

$$\sigma_{front.endcore.G2} = \sigma_{m_{endcore.G2}} + \sigma_{b_{endcore.G2}} = 64 \text{ MPa}$$

(2) 内面からの荷重で発生する応力

多孔プレートが等間隔でリベットにより支持された連続平板として、引用文献(4)の Chapter 7, Section 54 に示す方法にて計算する。

エンドコア部のリベット位置よりリベット間隔寸法を図 4-10 に示す。

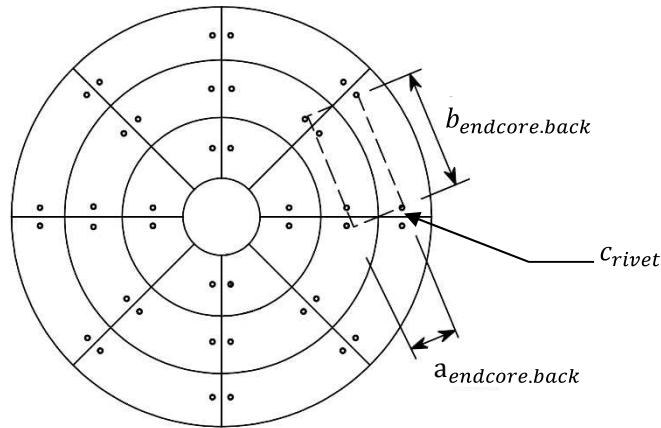


図 4-10 エンドコア部リベット間隔寸法

- $a_{endcore.back}$: 計算に使用する矩形平板の短辺寸法 = mm
 - $b_{endcore.back}$: 計算に使用する矩形平板の長辺寸法 = mm
 - $Crivet$: リベット頭部半径 = mm
- $$\frac{b_{endcore.back}}{a_{endcore.back}} = 2.09$$

従って、引用文献(4)の Table 58 よりパラメータ $\alpha_{endcore}$, $\beta_{endcore}$ は、

$$\alpha_{endcore} = 0.846, \quad \beta_{endcore} = -0.356$$

連続平板に発生する荷重 $M_{x_{back.endcore.G2}}$, $M_{y_{back.endcore.G2}}$ は,

$$M_{x_{back.endcore.G2}} = \frac{-(q_{endcore.z.G2} - DP) \cdot a_{endcore.back} \cdot b_{endcore.back}}{4\pi} \cdot \left[(1 + \nu_{eff}) \cdot \ln\left(\frac{a_{endcore.back}}{c_{rivet}}\right) - (\alpha_{endcore} + \beta_{endcore} \cdot \nu_{eff}) \right]$$

$$= -1.240 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

$$M_{y_{back.endcore.G2}} = \frac{-(q_{endcore.z.G2} - DP) \cdot a_{endcore.back} \cdot b_{endcore.back}}{4\pi} \cdot \left[(1 + \nu_{eff}) \cdot \ln\left(\frac{a_{endcore.back}}{c_{rivet}}\right) - (\beta_{endcore} + \alpha_{endcore} \cdot \nu_{eff}) \right]$$

$$= -1.612 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

ここで,

$q_{endcore.z.G2}$: エンドコアに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)

連続平板に発生する最大荷重 $M_{back.endcore.G2}$ は,

$$M_{back.endcore.G2} = \max(|M_{x_{back.endcore.G2}}|, |M_{y_{back.endcore.G2}}|) = 1.612 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

多孔プレート面の応力は,

$$\sigma_{back.endcore.G2} = \frac{6 \cdot M_{back.endcore.G2}}{t^2} \cdot K_{pp}$$

$$= 18 \text{ MPa}$$

- (3) エンドコアの多孔プレートに発生する最大応力
 エンドコアの多孔プレートに発生する最大応力は, 4.6.2 (1) 項及び(2) 項より,

$$\sigma_{endcore.G2} = \max(\sigma_{front.endcore.G2}, \sigma_{back.endcore.G2})$$

$$= 64 \text{ MPa}$$

4.6.3 エンドディスクの多孔プレートに発生する応力

(1) 外面より加わる荷重で発生する応力

4.6.2 項と同様に、多孔プレートを補剛材により支持された両端支持はりとして、引用文献(4)の Chapter 1, Section 3 に示す方法にて計算する。

引用文献(4)の(15)式を解くことによりパラメータ $u_{enddisk.G2}$ を求め、引用文献(4)の(16)式及び(17)式から発生応力を算出する。

(15)式の左辺に、エンドディスクに加わる軸方向荷重、板厚及び補剛材寸法を入れて、 $(u_{enddisk.G2})^4$ に乗じる係数 $U_{enddisk.G2}$ を計算すると、

$$U_{enddisk.G2} = \left\{ \frac{E_{eff}}{(1 - \nu_{eff}^2) \cdot q_{enddisk.z.G2}} \cdot \left(\frac{t}{L_{S_{enddisk}}} \right)^4 \right\}^2$$

$$= 1.985$$

ここで、

$q_{enddisk.z.G2}$: エンドディスクに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)

t : ディスク部多孔プレートの板厚 = mm

$L_{S_{enddisk}}$: エンドディスク補剛材の長さ = mm

(15)式をパラメータ $u_{enddisk.G2}$ について解くと、

$$u_{enddisk.G2} = 0.060$$

(17)式のパラメータ $\Psi_{enddisk.G2}$ は、

$$\Psi_{enddisk.G2} = 0.9998$$

エンドディスクに軸方向外面から加わる荷重により発生する一次局部膜応力は、

$$\sigma_{m_{enddisk.G2}} = \frac{E_{eff} \cdot u_{enddisk.G2}^2}{3 \cdot (1 - \nu_{eff}^2)} \cdot \left(\frac{t}{L_{S_{enddisk}}} \right)^2 \cdot K_{pp} = 1 \text{ MPa}$$

エンドディスクに軸方向外面から加わる荷重により発生する曲げ応力は、

$$\sigma_{b_{enddisk.G2}} = \frac{q_{enddisk.z.G2}}{2} \cdot \left(\frac{L_{S_{enddisk}}}{t} \right)^2 \cdot \Psi_{enddisk.G2} \cdot K_{pp} = 34 \text{ MPa}$$

一次局部膜応力と曲げ応力の合計 $\sigma_{front.enddisk.G2}$ は、

$$\sigma_{front.enddisk.G2} = \sigma_{m_{enddisk.G2}} + \sigma_{b_{enddisk.G2}} = 35 \text{ MPa}$$

(2) 内面からの荷重で発生する応力

多孔プレートが等間隔でリベットにより支持された連続平板として、引用文献(4)の Chapter 7, Section 54 に示す方法にて計算する。

エンドディスク部リベット位置の間隔寸法より、

$$\begin{aligned} a_{enddisk.back} &: \text{計算に使用する矩形平板の短辺寸法} = \boxed{} \text{ mm} \\ b_{enddisk.back} &: \text{計算に使用する矩形平板の長辺寸法} = \boxed{} \text{ mm} \\ c_{rivet} &: \text{リベット頭部半径} = \boxed{} \text{ mm} \\ \frac{b_{enddisk.back}}{a_{enddisk.back}} &= 1.08 \end{aligned}$$

従って、引用文献(4)の Table 58 よりパラメータ $\alpha_{enddisk}$, $\beta_{enddisk}$ は、

$$\alpha_{enddisk} = 0.8198, \quad \beta_{enddisk} = 0.7206$$

連続平板に発生する荷重 $M_{x_{back.enddisk.G2}}$, $M_{y_{back.enddisk.G2}}$ は、

$$\begin{aligned} M_{x_{back.enddisk.G2}} &= \frac{-(q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot a_{enddisk.back} \cdot b_{enddisk.back}}{4\pi} \\ &\quad \cdot \left[(1 + \nu_{eff}) \cdot \ln \left(\frac{a_{enddisk.back}}{c_{rivet}} \right) - (\alpha_{enddisk} + \beta_{enddisk} \cdot \nu_{eff}) \right] \\ &= -3.369 \text{ N} \cdot \text{mm/mm} \\ M_{y_{back.enddisk.G2}} &= \frac{-(q_{enddisk.z.G2} - DP) \cdot a_{enddisk.back} \cdot b_{enddisk.back}}{4\pi} \\ &\quad \cdot \left[(1 + \nu_{eff}) \cdot \ln \left(\frac{a_{enddisk.back}}{c_{rivet}} \right) - (\beta_{enddisk} + \alpha_{enddisk} \cdot \nu_{eff}) \right] \\ &= -3.431 \text{ N} \cdot \text{mm/mm} \end{aligned}$$

ここで、

$q_{enddisk.z.G2}$: エンドディスクに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)

連続平板に発生する最大荷重 $M_{back.enddisk.G2}$ は、

$$M_{back.enddisk.G2} = \max(|M_{x_{back.enddisk.G2}}|, |M_{y_{back.enddisk.G2}}|) = 3.431 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

多孔プレート面の応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_{back.enddisk.G2} &= \frac{6 \cdot M_{back.enddisk.G2}}{t^2} \cdot K_{pp} \\ &= 39 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(3) ラジアル補剛材から加わる荷重で発生する応力

各ラジアル補剛材からエンドディスクに加わるせん断力 $P_{end.G2.k}$ 及び曲げモーメント $M_{end.G2.k}$ により、多孔プレートに発生する応力を計算する。エンドディスクの多孔プレートに発生する応力 $\sigma_{pl.enddisk.G2.k}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma_{pl.enddisk.G2.k} &= \left(\frac{P_{end.G2.k}}{A_{stf.end.k}} + \frac{M_{end.G2.k}}{S2_{stf.end.k}} \right) \cdot K_{pp} \quad (k = 1, 6) \\ &= \begin{pmatrix} 3 \\ 7 \\ 12 \\ 10 \\ 8 \\ 7 \end{pmatrix} \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、

$P_{end.G2.k}$: 各ラジアル補剛材からエンドディスクに加わるせん断力
(4.5.4 (1)項参照)

$M_{end.G2.k}$: 各ラジアル補剛材からエンドディスクに加わるモーメント
(4.5.4 (2)項参照)

$A_{stf.end.k}$: 各ラジアル補剛材の有効断面積*

$$A_{stf.end.k} = \begin{pmatrix} 474.2 \\ 474.0 \\ 473.1 \\ 471.2 \\ 469.7 \\ 469.2 \end{pmatrix} \text{ mm}^2$$

$S2_{stf.end.k}$: 各ラジアル補剛材の有効断面係数*

$$S2_{stf.end.k} = \begin{pmatrix} 12517 \\ 12493 \\ 12358 \\ 12057 \\ 11834 \\ 11750 \end{pmatrix} \text{ mm}^3$$

ラジアル補剛材からエンドディスクに加わるせん断力 $P_{end.G2.k}$ 及び曲げモーメント $M_{end.G2.k}$ により、多孔プレートに発生する最大応力は、

$$\sigma_{pl.enddisk.G2} = \max(\sigma_{pl.enddisk.G2.k}) = 12 \text{ MPa}$$

注記* : 引用文献(5) Section B2 に従い、ラジアル補剛材と薄肉平板の相互効果による曲げ荷重に対する鋼材の有効幅を補正して、有効断面積及び有効断面係数を算出した。

(4) エンドディスクの多孔プレートに発生する最大応力

エンドディスク多孔プレートに発生する最大応力は、4.6.3 (1)項, (2)項及び(3)項より, エンドディスクの外面より加わる荷重で発生する応力と内面からの荷重で発生する応力の大きい応力にラジアル補剛材より加わる荷重で発生する応力を加えて計算する。

エンドディスク多孔プレートにラジアル補剛材から受ける荷重で発生する応力との合成応力の最大値 $\sigma_{enddisk.com.G2}$ は,

$$\begin{aligned}\sigma_{enddisk.com.G2} &= \sigma_{pl.enddisk.G2} \\ &+ \max\left(\sigma_{front.enddisk.G2} \cdot \frac{(q_{enddisk.G2} - DP)}{q_{enddisk.G2}}, \sigma_{back.enddisk.G2}\right) \\ &= 51 \text{ MPa}\end{aligned}$$

エンドディスクの多孔プレートに発生する最大応力 $\sigma_{enddisk.G2}$ は,

$$\begin{aligned}\sigma_{enddisk.G2} &= \max\left(\sigma_{front.enddisk.G2}, \sigma_{back.enddisk.G2}, \sigma_{enddisk.com.G2}\right) \\ &= 51 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4.6.4 中間ディスクの多孔プレートに発生する応力

(1) 外面より加わる荷重で発生する応力

中間ディスクの多孔プレートに発生する応力 $\sigma_{front.middisk.G2}$ はエンドディスクの多孔プレートに発生する応力 $\sigma_{front.enddisk.G2}$ より、プレートに外面より加わる等価圧力の比で計算する。

$$\begin{aligned}\sigma_{front.middisk.G2} &= \frac{q_{middisk.z.G2}}{q_{enddisk.z.G2}} \cdot \sigma_{enddisk.G2} \\ &= 35 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(2) 内面からの荷重で発生する応力

多孔プレートが等間隔でリベットにより支持された連続平板として、引用文献(4)の Chapter 7, Section 54 に示す方法にて計算する。

中間ディスク部リベット位置の間隔寸法より、

$$\begin{aligned}a_{middisk.back} &: \text{計算に使用する矩形平板の短辺寸法} = \boxed{} \text{ mm} \\ b_{middisk.back} &: \text{計算に使用する矩形平板の長辺寸法} = \boxed{} \text{ mm} \\ c_{rivet} &: \text{リベット頭部半径} = \boxed{} \text{ mm} \\ \frac{b_{middisk.back}}{a_{middisk.back}} &= 1.08\end{aligned}$$

従って、引用文献(4)の Table 58 よりパラメータ $\alpha_{middisk}$, $\beta_{middisk}$ は、

$$\alpha_{middisk} = 0.8198, \quad \beta_{middisk} = 0.7206$$

連続平板に発生する荷重 $Mx_{back.middisk.G2}$, $My_{back.middisk.G2}$ は、

$$\begin{aligned}Mx_{back.middisk.G2} &= \frac{-(q_{middisk.z.G2} - DP) \cdot a_{middisk.back} \cdot b_{middisk.back}}{4\pi} \\ &\quad \cdot \left[(1 + v_{eff}) \cdot \ln\left(\frac{a_{middisk.back}}{c_{rivet}}\right) - (\alpha_{middisk} + \beta_{middisk} \cdot v_{eff}) \right] \\ &= -2.242 \text{ N} \cdot \text{mm/mm} \\ My_{back.middisk.G2} &= \frac{-(q_{middisk.z.G2} - DP) \cdot a_{middisk.back} \cdot b_{middisk.back}}{4\pi} \\ &\quad \cdot \left[(1 + v_{eff}) \cdot \ln\left(\frac{a_{middisk.back}}{c_{rivet}}\right) - (\beta_{middisk} + \alpha_{middisk} \cdot v_{eff}) \right] \\ &= -2.285 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}\end{aligned}$$

ここで、

$q_{middisk.z.G2}$: エンドコアに軸方向外面より加わる重大事故等時での最大等価圧力 (表 4-11 参照)

連続平板に発生する最大荷重 $M_{back.middisk.G2}$ は、

$$M_{back.middisk.G2} = \max(|M_{x_{back.middisk.G2}}|, |M_{y_{back.middisk.G2}}|) = 2.285 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

多孔プレート面の応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_{back.middisk.G2} &= \frac{6 \cdot M_{back.middisk.G2}}{t^2} \cdot K_{pp} \\ &= 26 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(3) ラジアル補剛材から加わる荷重で発生する応力

各ラジアル補剛材から中間ディスクに加わるせん断力 $P_{mid.G2.k}$ 及び曲げモーメント $M_{mid.G2.k}$ により、多孔プレートに発生する応力を計算する。中間ディスクの多孔プレートに発生する応力 $\sigma_{pl.middisk.G2.k}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma_{pl.middisk.G2.k} &= \left(\frac{P_{mid.G2.k}}{A_{stf.mid.k}} + \frac{M_{mid.G2.k}}{S2_{stf.mid.k}} \right) \cdot K_{pp} \quad (k = 1, 6) \\ &= \begin{pmatrix} 4 \\ 9 \\ 15 \\ 11 \\ 9 \\ 9 \end{pmatrix} \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、

$P_{mid.G2.k}$: 各ラジアル補剛材から中間ディスクに加わるせん断力
(4.5.5 (1)項参照)

$M_{mid.G2.k}$: 各ラジアル補剛材から中間ディスクに加わるモーメント
(4.5.5 (2)項参照)

$A_{stf.mid.k}$: 各ラジアル補剛材の有効断面積*

$$A_{stf.mid.k} = \begin{pmatrix} 312.9 \\ 312.7 \\ 311.9 \\ 309.9 \\ 308.4 \\ 307.9 \end{pmatrix} \text{ mm}^2$$

$S2_{stf.mid.k}$: 各ラジアル補剛材の有効断面係数*

$$S2_{stf.mid.k} = \begin{pmatrix} 7103 \\ 7087 \\ 6998 \\ 6796 \\ 6648 \\ 6592 \end{pmatrix} \text{ mm}^3$$

注記* : 引用文献(5) Section B2 に従い、ラジアル補剛材と薄肉平板の相互効果による曲げ荷重に対する鋼材の有効幅を補正して、有効断面積及び有効断面係数を算出した。

ラジアル補剛材から中間ディスクに加わるせん断力 $P_{mid.G2.k}$ 及び曲げモーメント $M_{mid.G2.k}$ により、多孔プレートに発生する最大応力は、

$$\sigma_{pl.middisk.G2} = \max(\sigma_{pl.middisk.G2.k}) = 15 \text{ MPa}$$

(4) 中間ディスクの多孔プレートに発生する最大応力

中間ディスク多孔プレートに発生する最大応力は、4.6.4 (1)項、(2)項及び(3)項より、中間ディスクの外面より加わる荷重で発生する応力と内面からの荷重で発生する応力の大きい応力にラジアル補剛材より加わる荷重で発生する応力を加えて計算する。

中間ディスク多孔プレートにラジアル補剛材から受ける荷重で発生する応力との合成応力の最大値 $\sigma_{middisk.com.G2}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma_{middisk.com.G2} &= \sigma_{pl.middisk.G2} \\ &+ \max\left(\sigma_{front.middisk.G2} \cdot \frac{(q_{middisk.G2} - DP)}{q_{middisk.G2}}, \sigma_{back.middisk.G2}\right) \\ &= 41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

中間ディスクの多孔プレートに発生する最大応力 $\sigma_{middisk.G2}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma_{middisk.G2} &= \max(\sigma_{front.middisk.G2}, \sigma_{back.middisk.G2}, \sigma_{middisk.com.G2}) \\ &= 41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.6.5 アウターリムの多孔プレートに発生する応力

(1) 応力計算方法

アウターリムの多孔プレートに発生する応力計算には、アウターリム取付部含み三次元シェル要素でモデル化し、解析コード「ANSYS」を使用した有限要素解析手法を適用する。

アウターリムの多孔プレートの三次元シェルモデル（以下「アウターリム応力解析モデル」という。）を図4-11及び図4-12に、解析モデルの概要を以下に示す。また、解析モデルの諸元を表4-15に示す。

- a. アウターリム応力解析モデルでは、アウターリムの多孔プレートと取付部をシェル要素でモデル化して解析を行う。
- b. アウターリム応力解析モデルは、鉛直面に対称境界を与え、鉛直軸を境界として片側半分をモデル化する。
- c. 多孔プレートの等価縦弾性係数、等価ポアソン比及び応力倍率は表4-15に記載した数値を使用する。
- d. 各部の質量は、各シェル要素に密度として与える。

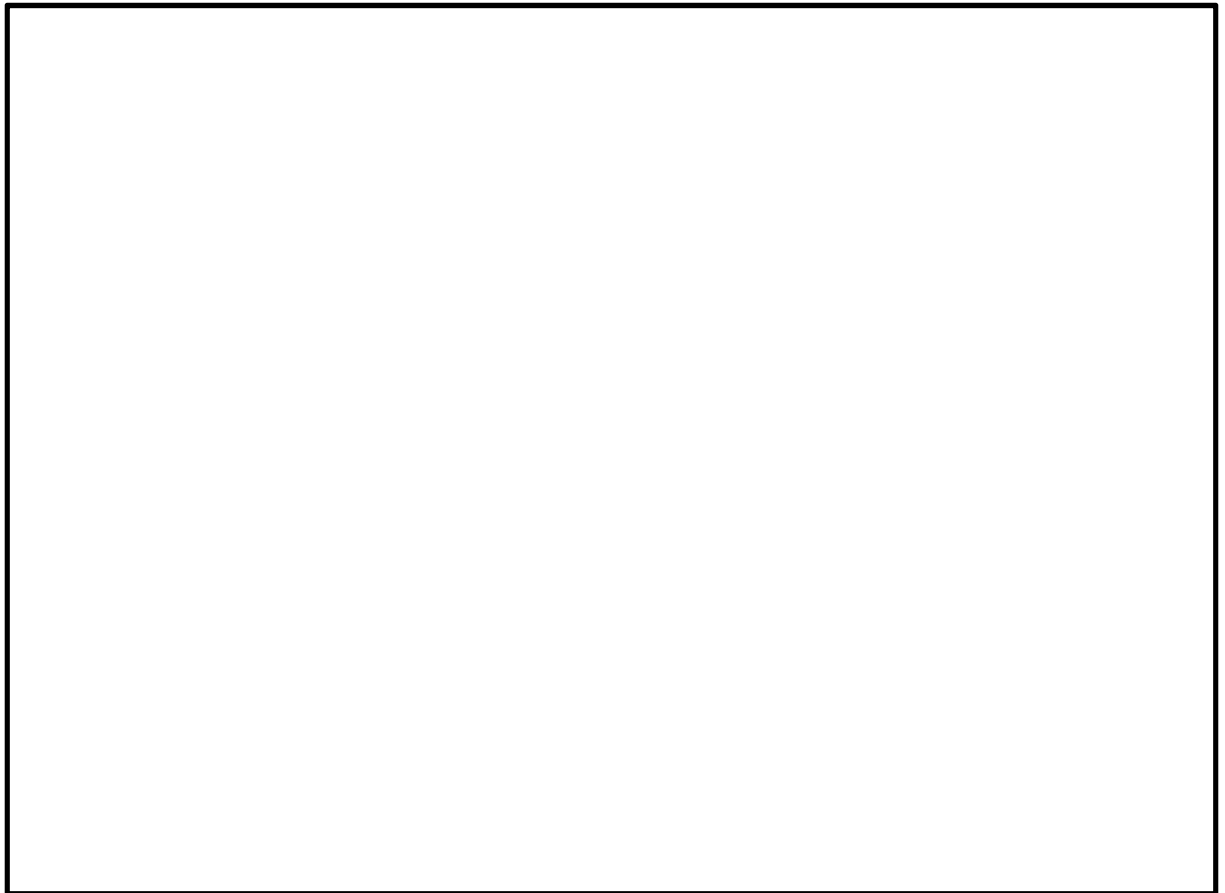


図4-11 アウターリムの多孔プレートの有限要素

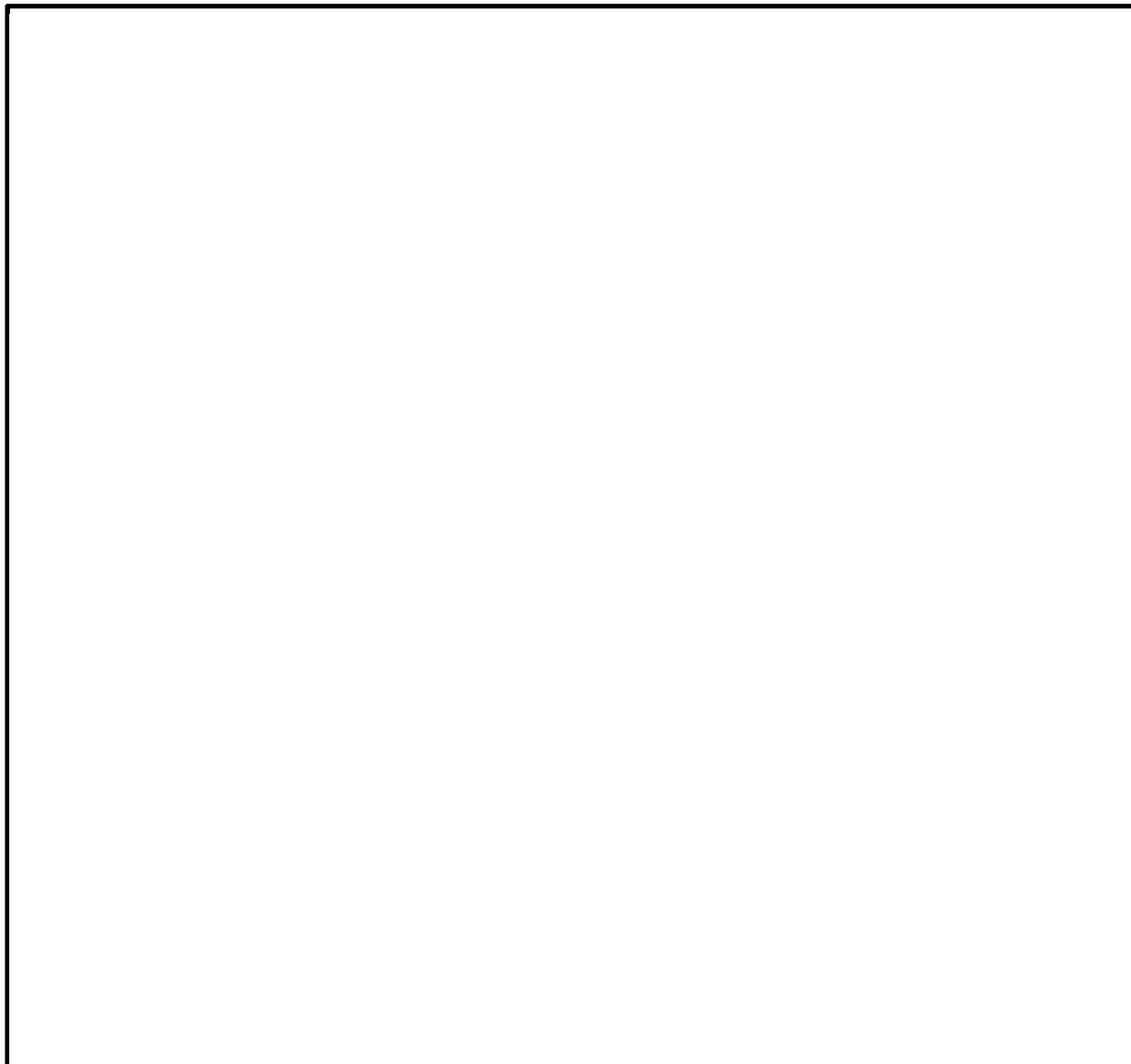


図 4-12 アウターリム応力解析モデル

表 4-15 アウターリム応力解析モデルの諸元

項目	単位	入力値
アウターリムの材質	—	
アウターリムの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	0.25
多孔プレートの応力増倍率	—	2.58
アウターリムのモデル要素数	個	
アウターリムのモデル節点数	個	

(2) アウターリムの多孔プレートの発生応力

アウターリムの多孔プレートに発生する応力を表 4-16 にまとめる。

表 4-16 アウターリムの多孔プレートに発生する応力

許容応力状態	一次応力 (MPa)	
	一般膜応力	一般膜応力+曲げ
重大事故等時	115	126

4.6.6 インナーギャップの多孔プレートに発生する応力

(1) 応力計算方法

インナーギャップの多孔プレートに発生する応力計算には、4.6.5項と同様に、インナーギャップ取付け部含み三次元シェル要素でモデル化し、計算機コードANSYSを使用した有限要素解析手法を適用する。

インナーギャップの多孔プレートの三次元シェルモデル（以下「インナーギャップ応力解析モデル」という。）を図4-13及び図4-14に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-17に示す。

- a. インナーギャップ応力解析モデルでは、インナーギャップの多孔プレートと取付け部をシェル要素でモデル化して解析を行う。
- b. インナーギャップ応力解析モデルは、鉛直面に対称境界を与え、鉛直軸を境界として片側半分をモデル化する。
- c. インナーギャップの多孔プレートは両サイドのディスクプレートにリベットにて固定されており、 30° ピッチでリベット間隔を定め固定端としてモデル化する。
- d. 多孔プレートの等価縦弾性係数、等価ポアソン比及び応力倍率は表4-17に記載した数値を使用する。
- e. 各部の質量は、各シェル要素に密度として与える。

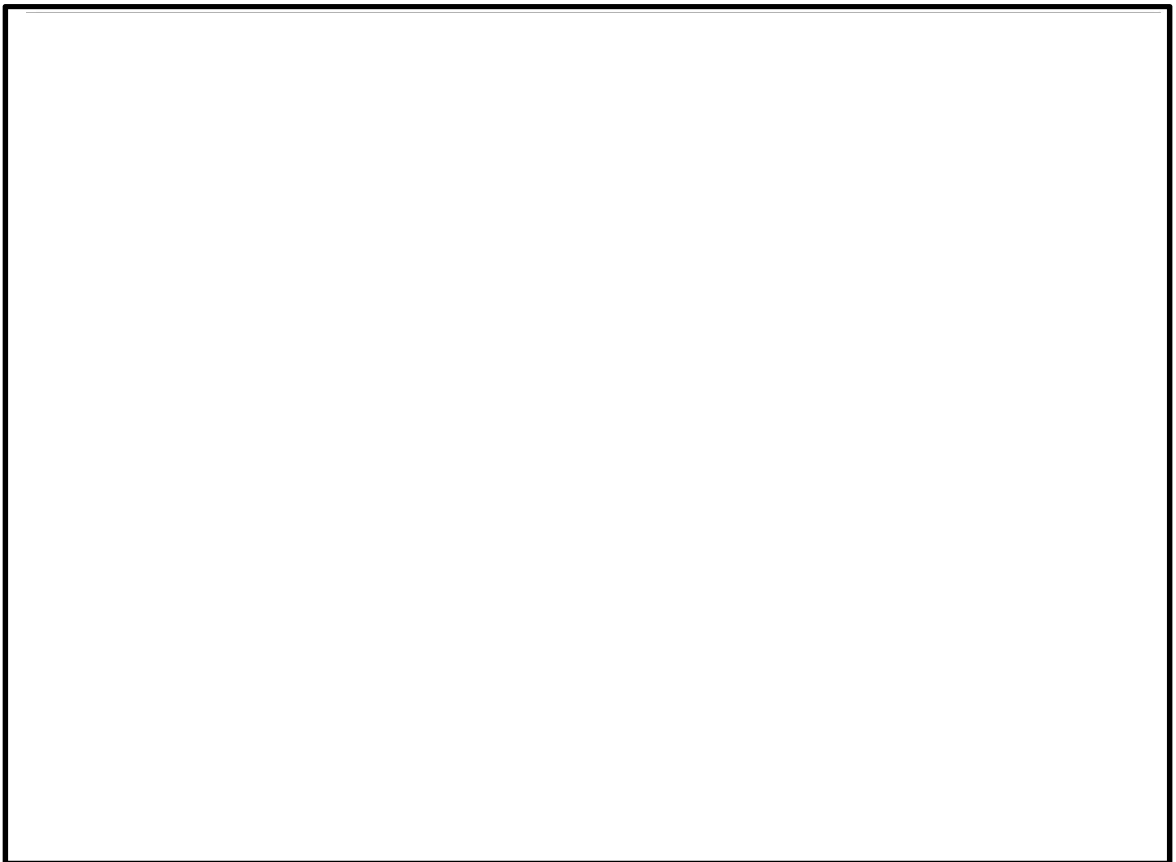


図4-13 インナーギャップの多孔プレートの有限要素

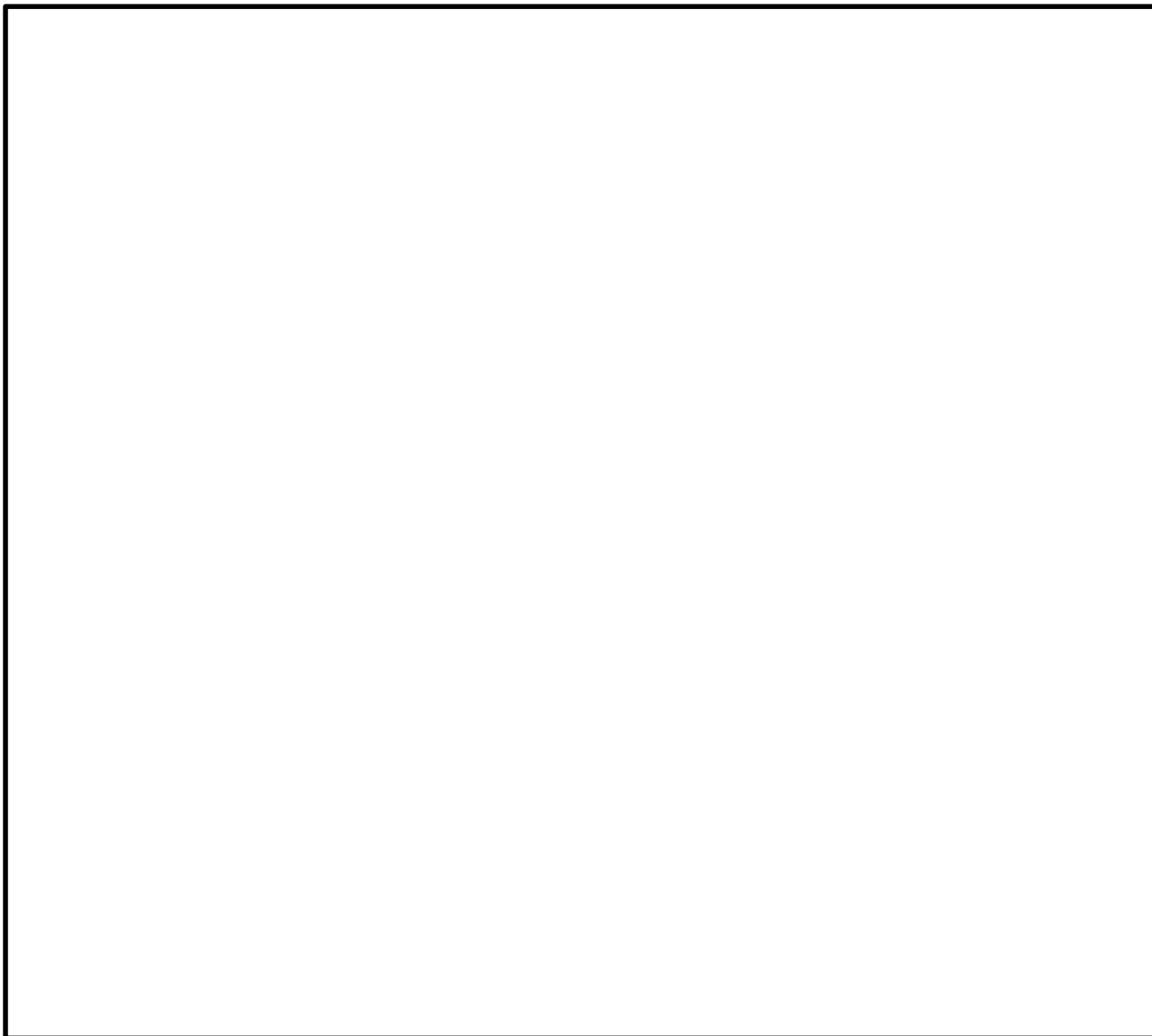


図 4-14 インナーギャップ応力解析モデル

表 4-17 インナーギャップ応力解析モデル諸元（応力解析用）

項目	単位	入力値
インナーギャップの材質	—	
インナーギャップの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	0.25
多孔プレートの応力増倍率	—	2.58
インナーギャップのモデル要素数	個	
インナーギャップのモデル節点数	個	

- (2) インナーギャップの多孔プレートの発生応力
インナーギャップの多孔プレートに発生する応力を表 4-18 にまとめる。

表 4-18 インナーギャップの多孔プレートに発生する応力

許容応力状態	一次応力 (MPa)	
	一般膜応力	一般膜応力+曲げ
重大事故等時	41	47

4.6.7 コアチューブの評価部位に発生する応力

コアチューブに発生する応力は、以下の式で計算する。

$$\begin{aligned}\sigma_{ct.G2.l} &= \frac{F_{z.tube.G2.l}}{A_{ct.l}} + \frac{B2}{S_{ct.l}} \cdot \sqrt{M_{x.tube.G2.l}^2 + M_{y.tube.G2.l}^2 + M_{z.tube.G2.l}^2} \quad (l = 1, 3) \\ &= \begin{pmatrix} 14 \\ 70 \\ 57 \end{pmatrix} \quad (\text{MPa})\end{aligned}$$

ここで、

$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$ はそれぞれ、A：最終列位置、B：第一列位置、C：フランジ面を表す。

$F_{z.tube.G2.l}$: コアチューブに作用する各評価点の重大事故等時の軸方向荷重

$M_{x.tube.G2.l}$

$M_{y.tube.G2.l}$: コアチューブに作用する各評価点の重大事故等時のモーメント

$M_{z.tube.G2.l}$

$A_{ct.l}$: コアチューブの各評価点の断面積

$$= \begin{pmatrix} 11575 \\ 12563 \\ 15708 \end{pmatrix} \quad (\text{mm}^2)$$

$S_{ct.l}$: コアチューブの各評価点の断面係数

$$= \begin{pmatrix} 7.11 \times 10^5 \\ 9.00 \times 10^5 \\ 1.50 \times 10^6 \end{pmatrix} \quad (\text{mm}^3)$$

$B2$: 応力係数 = 4.5

4.6.8 フランジに発生する応力

(1) 応力計算方法

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部のフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え、表 4-13 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(6)より、図 4-15 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta_{flan} \cdot M_{f,max}}{IR_{bolt} \cdot (t_{flan})^2}$$

ここで、

- σ_r : 曲げ応力 (MPa)
- $M_{f,max}$: 考慮すべき最大モーメント (N・mm)
- IR_{bolt} : ボルト穴中心円半径 = mm
- IR_{flan} : フランジ内半径 = mm
- t_{flan} : フランジ板厚 = mm
- β_{flan} : $IR_{flan}/IR_{bolt} =$ から決まる計算上の係数 =

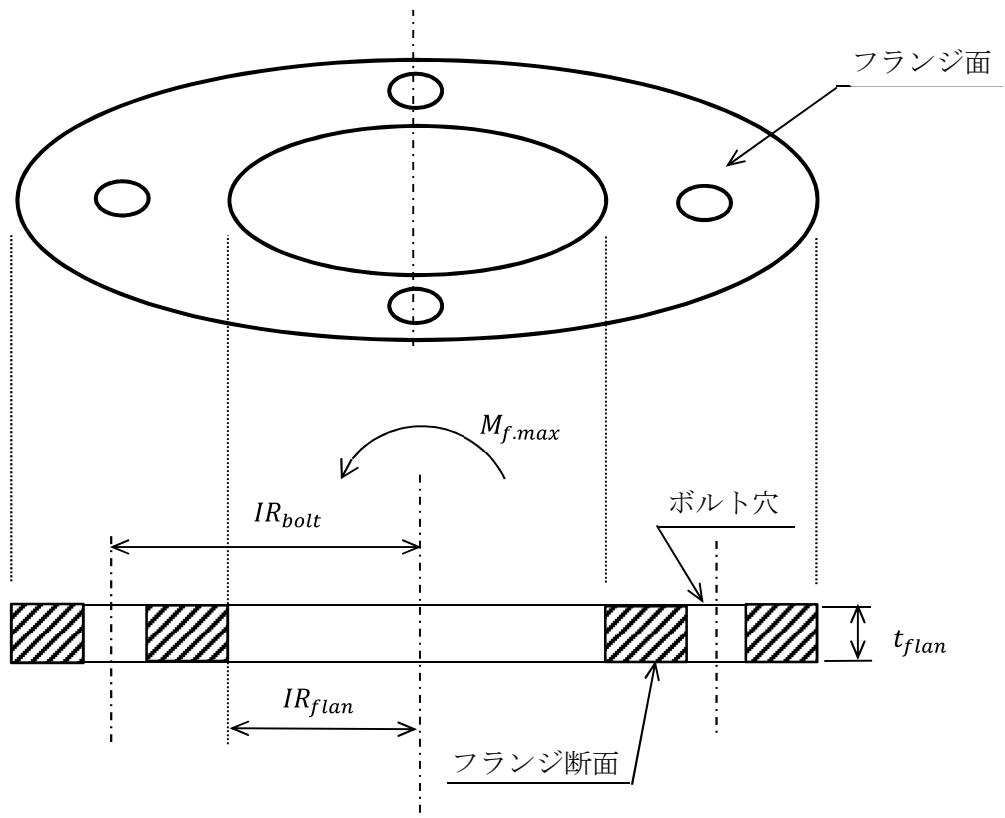


図 4-15 フランジ断面の計算モデル

(2) モーメントの設定

フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から 4.3 項に示す「応答解析」により算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントは，図 4-16 に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したフランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）を考慮する。

フランジの設計荷重を表 4-19 に示す。

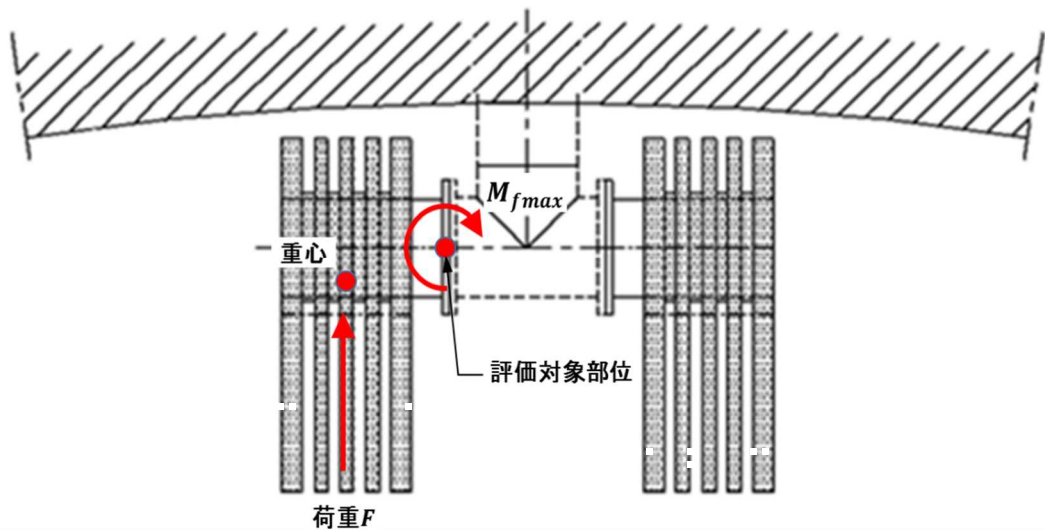


図 4-16 フランジに作用するモーメント

表 4-19 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント $M_{f,max}$
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧荷重	
4	S R V 荷重	
5	プールのウェル（気泡形成）	
6	蒸気凝縮振動（CO）	
7	チャギング（CH）	

4.6.9 ストレーナ取付部ボルトに発生する応力

(1) 応力計算方法

ストレーナ取付部ボルト（以下「ボルト」という。）には、表 4-19 に示すモーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトに軸方向荷重が発生する。

フランジに作用する中立軸まわりのモーメントにより、ボルトに生じる軸力は、以下のように算出する。

図 4-17 に示すフランジの中心を通る中立軸（X 軸又は Y 軸）まわりのモーメントを考える。このとき、中立軸まわりのモーメントは、各ボルトに発生する軸力とボルトの中立軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで、軸方向荷重によって中立軸が移動するが、軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため、軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって、X 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_x = \sum_{k=1}^n Ft_k \cdot \ell_k$$

ここで、

M_x : X 軸まわりのモーメント (N・mm)

Ft_k : 各ボルトに発生する軸力 (N)

ℓ_k : 任意のボルト k における X 軸からの距離 (mm)

n : ボルトの本数 = 本

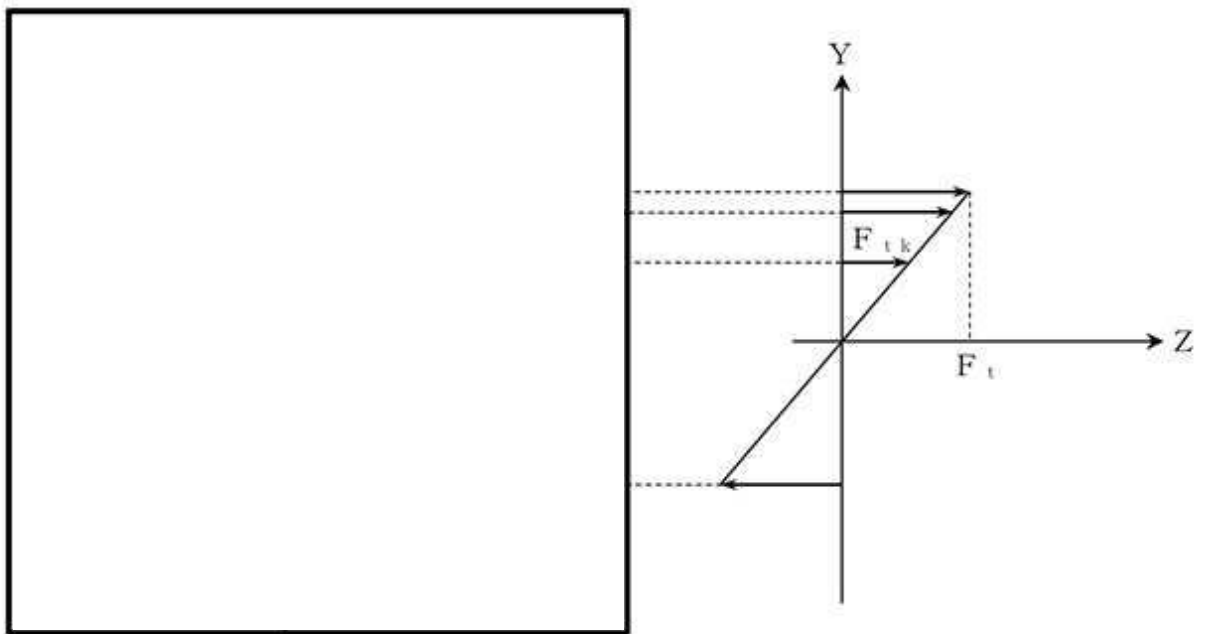


図 4-17 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また、ボルト軸力のX軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図 4-17 に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を Ft とすると、各ボルトに発生する軸力 Ft_k は以下となる。

$$Ft_k = Ft \cdot \frac{\ell_k}{Ds/2}$$

ここで、

Ft : 最大の軸力が発生する軸方向荷重 (N)

Ft_k : 各ボルトに発生する軸力 (N)

Ds : ボルト孔中心円直径 = mm

以上より、 n が偶数の場合、X軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_x = \frac{2 \cdot Ft}{Ds} \cdot \sum_{k=1}^n \ell_k^2 = \frac{Ft \cdot Ds \cdot n}{4}$$

ただし、

$$\ell_k = \frac{Ds}{2} \cdot \sin \left\{ \frac{2\pi}{n} \cdot (k-1) \right\}$$

よって、表 4-19 に示す面外方向の曲げモーメント (2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値) から、ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$Ft = \frac{4}{Ds \cdot n} \cdot M_{f.max}$$

(2) ボルトに発生する応力

ボルトの設計荷重は、4.6.8 (2)項に示すフランジに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算した軸方向荷重を引張方向の荷重として応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。ボルトに加わる設計荷重を表 4-20 に示す。

ボルトに発生する引張応力 σ_{bolt} は下記となる。

$$\sigma_{bolt} = \frac{F_z}{A_{bolt} \cdot n} + \frac{Ft}{A_{bolt}}$$

ここで、

σ_{bolt} : ボルトの発生応力 (MPa)

A_{bolt} : ボルトの有効断面積 (mm^2)

$$A_{bolt} = \frac{\pi}{4} d_b^2$$

d_b : ボルトのねじ部谷径 = mm

F_z : 表 4-20 に示す軸方向荷重 (N)

表 4-20 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧荷重	
4	S R V 荷重	
5	プールスウェル (気泡形成)	
6	蒸気凝縮振動 (C O)	
7	チャギング (C H)	

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 計算方法」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 応力の計算」で求めた応力が表 4-3、表 4-4 及び表 4-5 を用いて算出した許容応力以下であること。なお、二次応力は発生しないため、一次+二次応力評価は実施していない。

4.9 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

4.9.1 コアチューブ材料の評価結果

コアチューブに使用している は、クラス 2 管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから、クラス 2 管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料 と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点 又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等と考えられる。
比較材料			

(2) 化学成分

	化学的成分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
使用材料									
比較材料									
比較結果	化学的成分比較では、違いがなく同等と考える。								

注：「—」は規定無しを示す。

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本機器において [] をクラス2材料として使用することに問題ないとする。

4.9.2 多孔プレート・フランジ材料の評価結果

多孔プレート・フランジに使用している [] は、クラス2管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから、クラス2管の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料 [] と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点 又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等と考えられる。
比較材料			

(2) 化学成分

	化学的成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
使用材料										
比較材料										
比較結果	C, Si 及び Cr の含有率に若干の違いがあるが、以下により同等と考える。 C, Si 及び Cr の含有量は JIS の要求範囲内であるが、機械的強度に影響を与える可能性がある。しかしながら、(1)の評価結果から機械的強度は同等である。									

注：「—」は規定無しを示す。

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本機器において [] をクラス2材料として使用することに問題ないとする。

4.9.3 ストレーナ取付部ボルト材料の評価結果

ストレーナ取付部ボルトに使用している [] は、ボルトの使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから、ボルトの使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料 [] と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点 又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等以上と考える。
比較材料			

(2) 化学成分

	化学的成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
使用材料										
比較材料										
比較結果	化学的成分比較では、違いがなく同等と考える。									

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、比較材料と比べ機械的強度は同等以上、化学的成分は同等であることを確認したため、本機器において [] をボルト材料として使用することに問題ないと考えます。

5. 評価結果

高圧炉心注水系ストレナの重大事故等時の状態を考慮した場合の強度評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、発生値が高い方の評価を記載している。

表 5-1 設計・建設規格に基づく重大事故等時に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		
				算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
高圧炉心注水系 ストレーナ	P1	エンドコア	一次膜応力+ 一次曲げ応力	64		SA-3
	P2	エンドディスク	一次膜応力+ 一次曲げ応力	51		SA-3
	P3	中間ディスク	一次膜応力+ 一次曲げ応力	41		SA-3
	P4	アウターリム	一次膜応力	115		SA-3
			一次膜応力+ 一次曲げ応力	126		
	P5	インナーギャップ	一次膜応力	41		SA-3
			一次膜応力+ 一次曲げ応力	47		
	P6	最終列位置	一次膜応力+ 一次曲げ応力	14		SA-3
	P7	第一列位置	一次膜応力+ 一次曲げ応力	70		SA-3
	P8	フランジ接触面	一次膜応力+ 一次曲げ応力	57		SA-3
P9	フランジ	曲げ応力	55	SA-3		
P10	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	27	SA-3		

表 5-2 告示第 5 0 1 号に基づく重大事故等時に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		
				算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
高圧炉心注水系 ストレーナ	P1	エンドコア	一次膜応力+ 一次曲げ応力	64		SA-3
	P2	エンドディスク	一次膜応力+ 一次曲げ応力	51		SA-3
	P3	中間ディスク	一次膜応力+ 一次曲げ応力	41		SA-3
	P4	アウターリム	一次膜応力	115		SA-3
			一次膜応力+ 一次曲げ応力	126		
	P5	インナーギャップ	一次膜応力	41		SA-3
			一次膜応力+ 一次曲げ応力	47		
	P6	最終列位置	一次膜応力+ 一次曲げ応力	14		SA-3
	P7	第一列位置	一次膜応力+ 一次曲げ応力	70		SA-3
	P8	フランジ接触面	一次膜応力+ 一次曲げ応力	57		SA-3
P9	フランジ	曲げ応力	55	SA-3		
P10	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	27	SA-3		

6. 引用文献

- (1) John A. Roberson and Clayton T. Crowe, "Engineering Fluid Mechanics" 2nd Edition, Library of Congress Catalog No 79-87855, Rudolf Steiner Press, 1969
- (2) ASME B&PV CODE, Section III, Division 1, Appendix, Article A-8000, "Stresses in Perforated Flat Plates" 1989 Edition, NO Addenda.
- (3) W. J. O'Donnell, "Effective Elastic Constants for the Bending of Thin Perforated Plates with Triangular and Square Penetration Patterns", Journal of Engineering for Industry, February 1973
- (4) Steohen P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plates and Shells" 2nd Edition, McGraw-Hill, 1959
- (5) AISI Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 1996 Edition
- (6) Warren C. Young and Richard G. Budynas, "Roark's Formulas for Stress and Strain" 7th Edition, McGraw-Hill

添付資料

1. ラジアル補剛材の配置諸元

1.1 ラジアル補剛材の配置角度

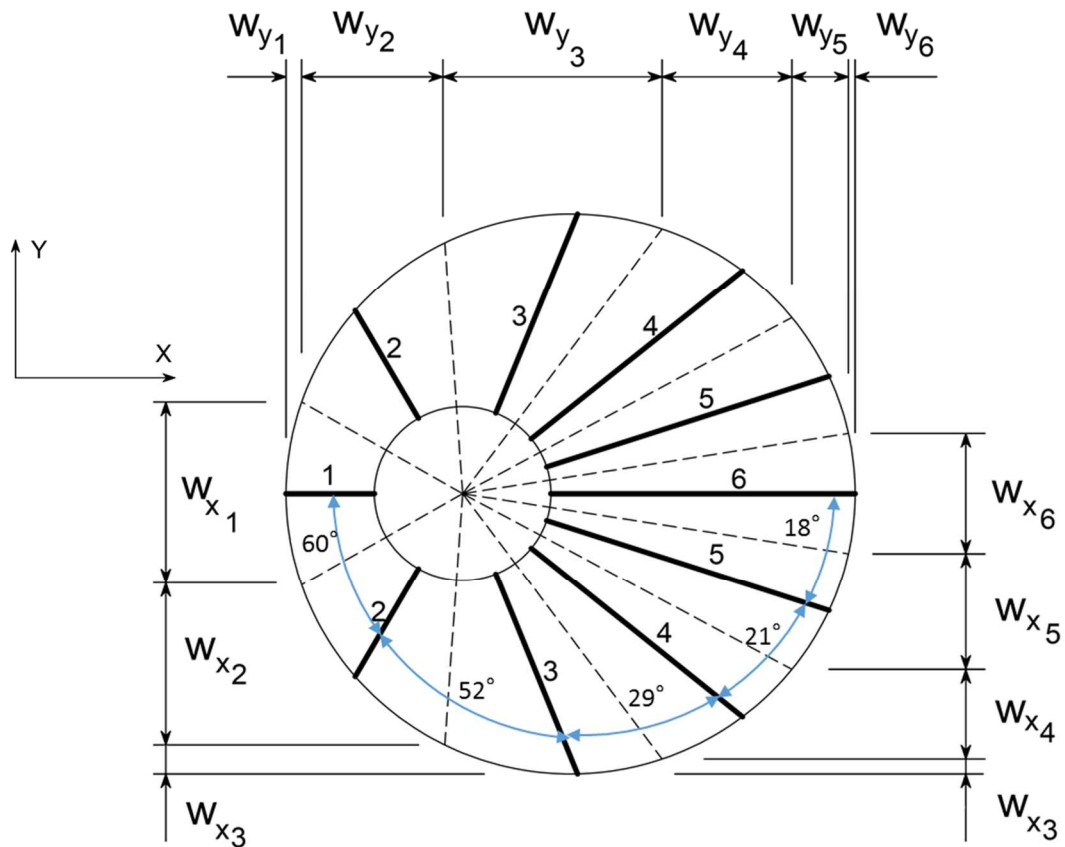
ラジアル補剛材の配置は添付図 1 に示すように x 軸より以下の角度で配置されている。

$$\theta_k = \begin{pmatrix} 0 \\ 60 \\ 112 \\ 141 \\ 162 \\ 180 \end{pmatrix} \quad (k = 1, 6) \quad \text{度}$$

1.2 ラジアル補剛材の等価受圧長さ

ラジアル補剛材の x 方向（水平）と y 方向（鉛直）の等価受圧長さは添付図 1 に示すように以下となる。

$$W_{x_k} = \begin{pmatrix} 480.3 \\ 416.5 \\ 121.0 \\ 233.1 \\ 304.2 \\ 316.4 \end{pmatrix} \text{ mm} \quad W_{y_k} = \begin{pmatrix} 41.2 \\ 370.1 \\ 560.6 \\ 337.0 \\ 147.0 \\ 17.3 \end{pmatrix} \text{ mm}$$



添付図 1 ラジアル補剛材の配置諸元

2. アウターリム部の等価受圧長さとかコアチューブ部の等価受圧長さ

2.1 アウターリム部の等価受圧長さ

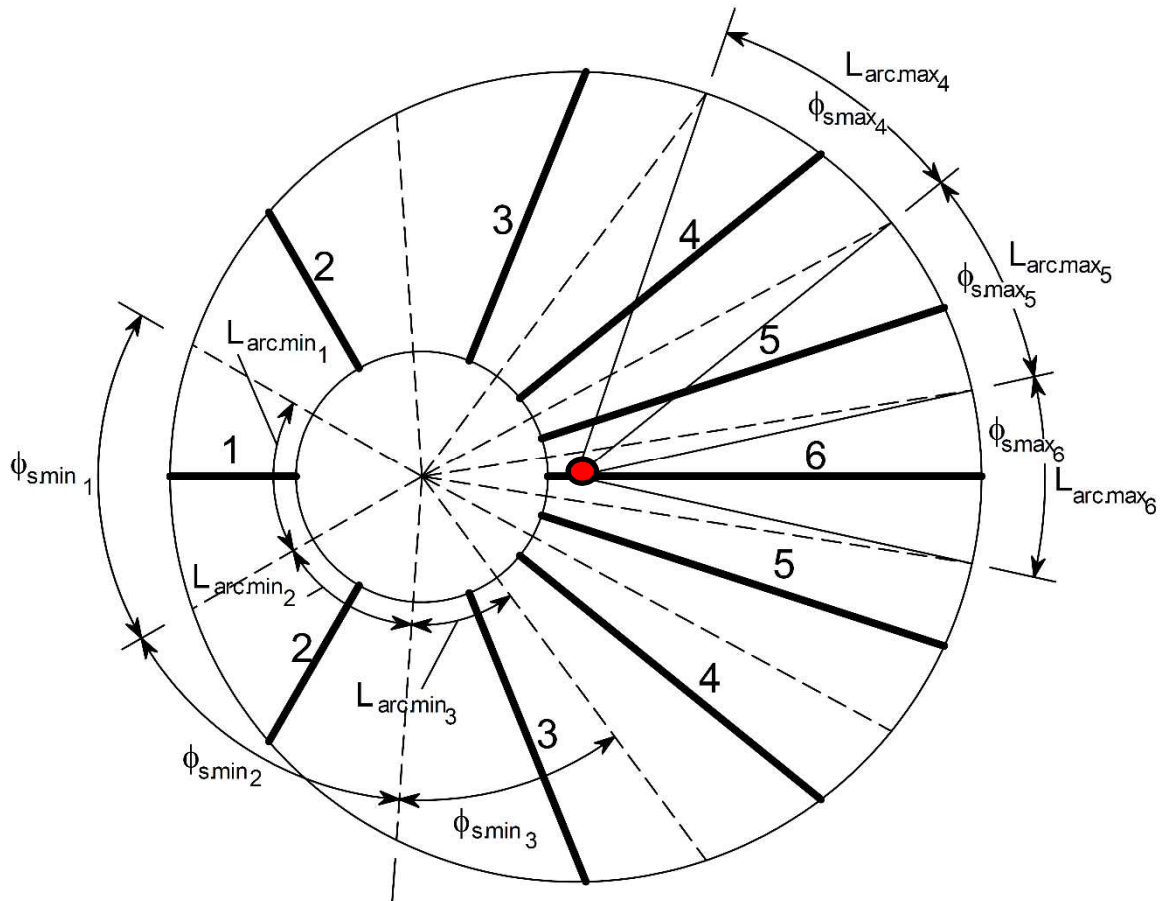
アウターリム部の等価受圧長さ L_{arcmax_k} は、添付図 2 より以下となる。

$$L_{arcmax_k} = \begin{pmatrix} 491.45 \\ 550.23 \\ 519.87 \\ 384.39 \\ 317.88 \\ 297.73 \end{pmatrix} \text{ mm, ここで, 配置角度 } \phi_{smax_k} = \begin{pmatrix} 40.82 \\ 45.70 \\ 43.18 \\ 31.93 \\ 26.41 \\ 24.73 \end{pmatrix} \text{ (} k = 1, 6 \text{) 度}$$

2.2 コアチューブ部の等価受圧長さ

コアチューブ部の等価受圧長さ L_{arcmin_k} は、添付図 2 より以下となる。

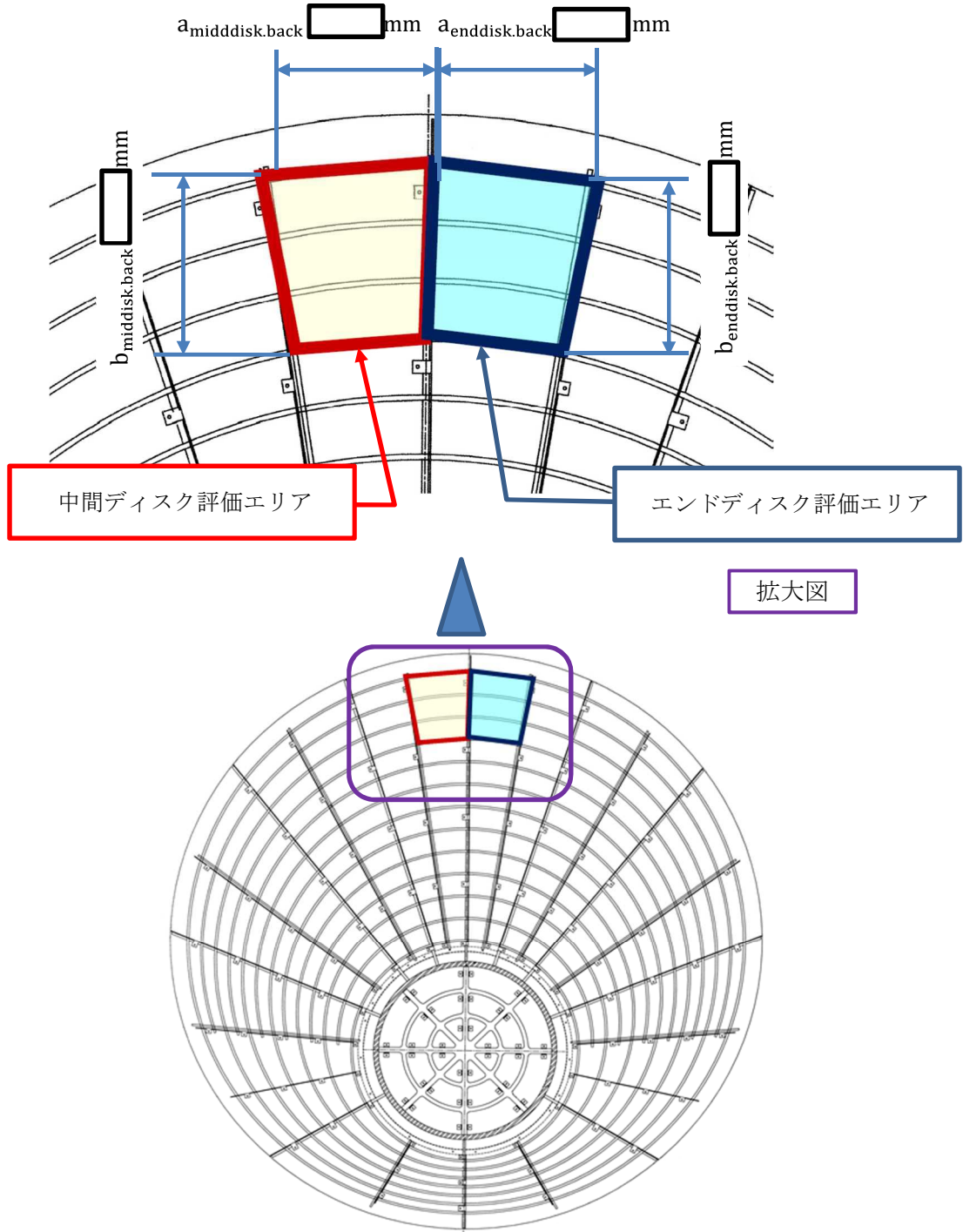
$$L_{arcmin_k} = \begin{pmatrix} 295.08 \\ 275.41 \\ 199.18 \\ 122.95 \\ 95.90 \\ 88.52 \end{pmatrix} \text{ mm, ここで, 配置角度 } \phi_{smin_k} = \begin{pmatrix} 60.00 \\ 56.00 \\ 40.50 \\ 25.00 \\ 19.50 \\ 18.00 \end{pmatrix} \text{ (} k = 1, 6 \text{) 度}$$



添付図 2 アウターリム部の等価受圧長さとかコアチューブ部の等価受圧長さ

3. 内面からの荷重の評価エリア

エンドディスク及び中間ディスクについて、内面からの荷重に対する評価エリアとその寸法を添付図3に示す。



添付図3 エンドディスク及び中間ディスクの内面からの荷重評価エリア

VI-3-3-3-3-1-3 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「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

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)
高圧炉心注水系 ストレーナ (ティー)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.310]*1	104*2	— [0.310]*1	120	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

注記*1：高圧炉心注水系ストレーナ（ティー）は、その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため、最高使用圧力を設定しないが、ここでは、原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を [] 内に示す。

*2：サブプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	12
4.3 解析モデル及び諸元	13
4.4 計算方法	15
4.4.1 ティーの計算方法	15
4.5 計算条件	16
4.5.1 応力解析に用いるモーメント	16
4.6 応力の評価	17
5. 評価結果	18
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、重大事故等クラス2機器として兼用される高圧炉心注水系ストレーナ部ティーについて、VI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は、「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（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4において「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））に適合することと規定されている。

本計算書は、高圧炉心注水系ストレーナ部ティーがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

以下、重大事故等クラス2管としての応力評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナ部ティーは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。</p>	<p>ティー形の管継手</p>	<p>原子炉格納容器貫通部 (X-210B, 210C)</p> <p>高圧炉心注水系ストレーナ部ティー (B系及びC系ストレーナ)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心注水系ストレナ部ティーの応力評価は、「2.1 構造計画」にて示すストレナ部ティーの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて、設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

高圧炉心注水系ストレナ部ティーの応力評価フローを図 2-1 に示す。

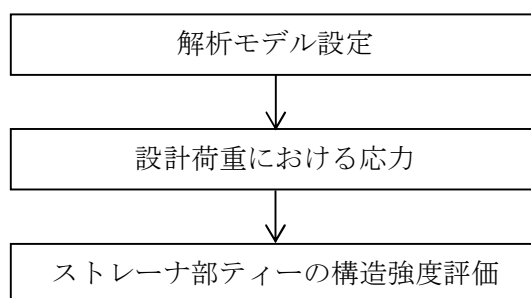


図 2-1 高圧炉心注水系ストレナ部ティーの応力評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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。）
- ・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））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$S_{pr m}^{*1*2}$	発生応力	MPa
P_m^{*1*2}	内面に受ける最高の圧力	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1^{*1}	設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (= <input type="text"/>)	—
B_{2b}^{*1}	設計・建設規格 式 PPB-4. 29 により計算した分岐管の応力係数 $= 0.4 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
R_m^{*1}	主管の平均半径	mm
T_r^{*1}	主管の厚さ	mm
B_{2r}^{*1}	設計・建設規格 式 PPB-4. 30 により計算した主管の応力係数 $= 0.5 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
M_{ab}^{*1}	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	N・mm
M_{ar}^{*1}	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	N・mm
M_{bb}^{*1}	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	N・mm
M_{br}^{*1}	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	N・mm
Z_b^{*1}	分岐管の断面係数	mm ³
Z_r^{*1}	主管の断面係数	mm ³
i_1^{*2}	告示第 5 0 1 号第 57 条に規定する応力係数又は 1.33 のいずれか大きい方の値 $= \frac{0.9}{h^{2/3}}$ (= <input type="text"/>)	—
h^{*2}	i_1 算出に必要な値 $= 4.4 \cdot \frac{t}{r}$	—
r^{*2}	h 算出に必要な値, 管断面の平均半径 $= \frac{D_o - t}{2}$	mm

記号	記号の説明	単位
M_a^{*2}	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	N・mm
M_b^{*2}	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	N・mm
Z^{*2}	管の断面係数	mm ³

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

注記*1：設計・建設規格に規定の応力計算に用いる記号

*2：告示第501号に規定の応力計算に用いる記号

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*2
面積	mm ²	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
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
計算応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第3位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。また、告示第501号別表に記載された許容引張応力は、各温度の値をSI単位に換算し、SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 評価部位

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応力評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ストレーナ部ティーについて実施する。なお、高圧炉心注水系ストレーナ部ティーのフランジの評価は、ストレーナ側フランジより板厚を大きく設計しており（ティー側フランジ厚さ mm，ストレーナ側フランジ厚さ mm），ティー側フランジにかかる荷重はストレーナ側フランジと同じであり，VI-3-3-3-3-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの強度計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に示す。

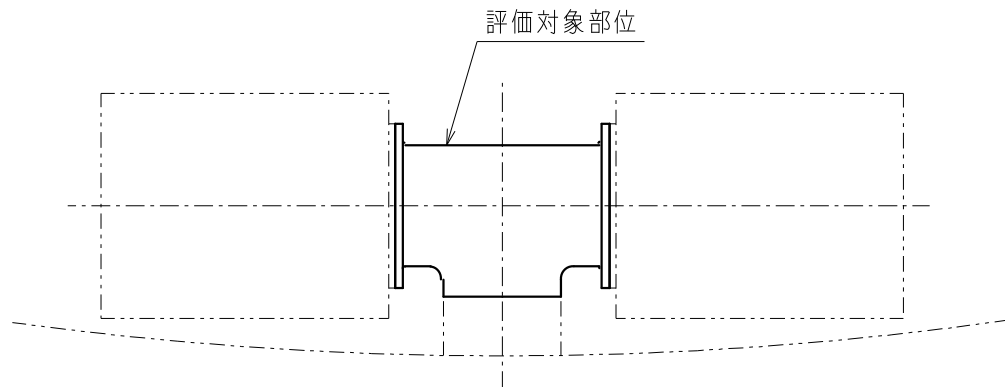


図 3-1 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの形状（B 系及び C 系ストレーナ）

表 3-1 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの主要寸法

（単位：mm）

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-210B, 210C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ストレーナ部ティーは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態を表 4-1 に、荷重の組合せ整理表を表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの許容応力を表 4-3 及び表 4-4 に示す。なお、評価対象は、基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの許容応力評価条件を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー



表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力状態)
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	高圧炉心注水系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス 2	D + P _{SAD} + M _{SAD}	重大事故等時*

注記* : 重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態 V(L) は供用状態 A, 運転状態 V(S) は供用状態 D の許容限界を用い、
告示第 501 号に規定の応力計算では運転状態 V(L) は許容応力状態 I_A, 運転状態 V(S) は許容応力状態 IV_A の許容限界を用いる。

表 4-2 荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			供用状態 (許容応力状態)
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気 凝縮 (CO)	チャギング (CH)	
SA-1	運転状態 V(L)	○	○	○						重大事故等時*
SA-2	運転状態 V(S)	○	○	○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態 V(S)	○	○	○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態 V(S)	○					○			重大事故等時*

注記* : 重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態 V(L) は供用状態 A, 運転状態 V(S) は供用状態 D の許容限界を用い、
告示第 501 号に規定の応力計算では運転状態 V(L) は許容応力状態 I_A, 運転状態 V(S) は許容応力状態 IV_A の許容限界を用いる。

表 4-3 設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力 (重大事故等クラス 2 管 (クラス 2, 3 管))

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
重大事故等時*	運転状態 V (L)	S	1.5・S
	運転状態 V (S)	S	1.8・S

注記* : 重大事故等時として運転状態 V (L) は供用状態 A, 運転状態 V (S) は供用状態 D の許容限界を用いる。

表 4-4 告示第 5 0 1 号に規定の応力計算に用いる許容応力 (重大事故等クラス 2 管 (第 3 種管))

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
許容応力状態 V *	運転状態 V (L)	S	S
	運転状態 V (S)	S	1.2・S

注記* : 重大事故等時として運転状態 V (L) は許容応力状態 I A, 運転状態 V (S) は許容応力状態 IV A の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)
		ティー		

表 4-6 使用材料の告示第 5 0 1 号に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)
		ティー		

4.2.4 設計荷重

ストレナ部に作用する荷重（死荷重，水力的動荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，ストレナ部に作用する伝達荷重を考慮する。

(1) 死荷重

ティーの評価点の死荷重を表 4-7 に示す。

表 4-7 死荷重

(単位：N)

部位	高压炉心注水系
ティー	<input type="text"/>

(2) 内圧

原子炉格納容器の最高使用圧力 MPa を内圧として考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはVI-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また、機器の諸元を表 4-8 (1) 及び表 4-8 (2) に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナ部から原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各部の質量は、ティー及び原子炉格納容器貫通部については各節点に分布荷重として与え、ストレーナ部については図 4-1 の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、応答解析では内包水の影響を加味し、質量に含める。また、異物の質量も応答解析において考慮する。
- (5) 解析コードは「I S A P」及び「M S C N A S T R A N」を使用し、荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

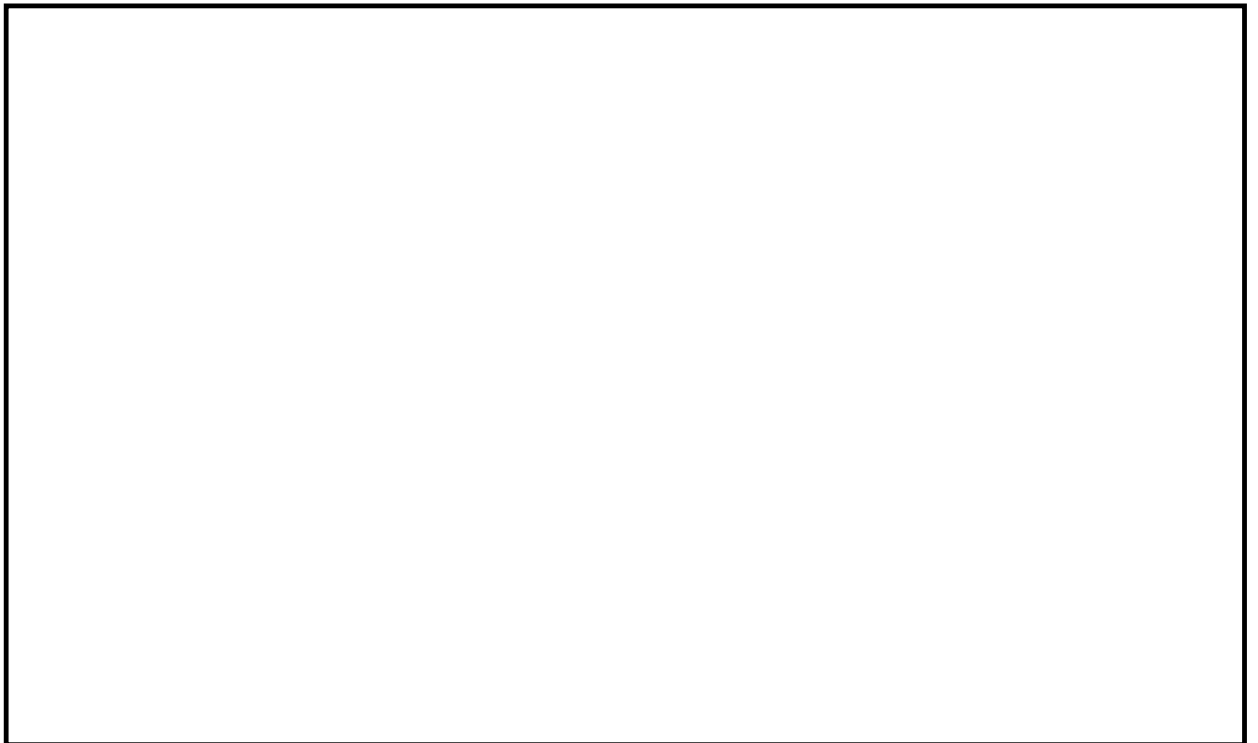


図 4-1 応答解析用モデル

表 4-8 (1) 機器諸元 (設計・建設規格)

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティーの材質	—	
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティーの質量	kg	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの 内包水の質量	kg	
ストレーナ 1 個あたりの異物の質量	Kg/個	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

表 4-8 (2) 機器諸元 (告示第 5 0 1 号)

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティーの材質	—	
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティーの質量	kg	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの 内包水の質量	kg	
ストレーナ 1 個あたりの異物の質量	Kg/個	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

4.4 計算方法

4.4.1 ティーの計算方法

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 及び告示第 5 0 1 号第 56 条に従い算出する。

設計・建設規格 PPC-3520 に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{\text{prm}} = \frac{B_1 \cdot P_m \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b}(M_{ab} + M_{bb})}{Z_b} + \frac{B_{2r}(M_{ar} + M_{br})}{Z_r}$$

また、告示第 5 0 1 号第 56 条に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{\text{prm}} = \frac{P_m \cdot D_0}{4 \cdot t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

4.5 計算条件

4.5.1 応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは、主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは「4.2.4 設計荷重」に示したようにストレナ部から伝達される荷重を考慮し、分岐管のモーメントはストレナ部からの伝達荷重に加え、ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4-9 (1) 及び表 4-9 (2) に示す。ここでのモーメントとは、原子力発電所耐震設計技術指針の考え方に基づいて設定した 3 方向それぞれのモーメントである。

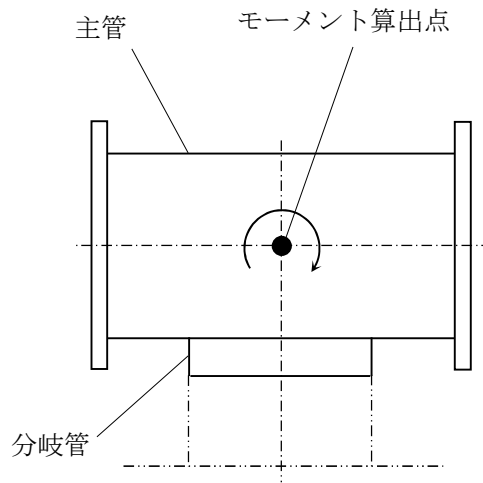


図 4-2 ティーのモーメント算出点

表 4-9 (1) ティーの設計荷重 (設計・建設規格)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	死荷重+異物荷重		
3	差圧		
4	SRV荷重		
5	プールスウェル(気泡形成)		
6	蒸気凝縮(CO)		
7	チャギング(CH)		

表 4-9 (2) ティーの設計荷重 (告示第 5 0 1 号)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	死荷重+異物荷重		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	プールスウェル (気泡形成)		
6	蒸気凝縮 (C O)		
7	チャギング (C H)		

4.6 応力の評価

「4.5 計算条件」で求めた応力が表 4-3, 表 4-4, 表 4-5 及び表 4-6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足していることを確認した。

(1) 重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

なお、各評価点における計算応力は表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、発生値が最も高い評価を記載している。

表 5-1 設計・建設規格に基づく重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティー	ティー	V(S)	一次応力	135	190	SA-3

表 5-2 告示第 501 号に基づく重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	許容応力状態 V		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティー	ティー	V(S)	一次応力	75	128	SA-3

VI-3-3-3-3-1-4 弁の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-11「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 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
E22-F003B, C	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	無	11.77	302	11.77	302	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

目 次

1. 重大事故等クラス2弁	1
1.1 設計仕様	2
1.2 強度計算書	3

1. 重大事故等クラス2 弁

1.1 設計仕様

系統： 高圧炉心注水系

機器の区分		重大事故等クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
F003B, C	止め弁	200	SCPH2	SCPH2	<input type="text"/>

1.2 強度計算書

系統： 高圧炉心注水系

弁番号	F003B, C	シート	1
-----	----------	-----	---

		設計・ 建設規格	告示 第501号			設計・ 建設規格	告示 第501号
設計条件				ネック部の厚さ			
最高使用圧力P (MPa)	11.77		d_n (mm)	<input type="text"/>			
最高使用温度 T_m (°C)	302		d_n / d_m	<input type="text"/>			
弁箱又は弁ふたの厚さ				ℓ (mm)	—		
弁箱材料	SCPH2		t_{m1} (mm)	—			
弁ふた材料	SCPH2		t_{m2} (mm)	17.2	—		
P_1 (MPa)	—	9.95	t_{ma1} (mm)	—			
P_2 (MPa)	—	14.94	t_{ma2} (mm)	<input type="text"/>			
d_m (mm)	<input type="text"/>		評価： $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。				
t_1 (mm)	—	14.3					
t_2 (mm)	—	20.6					
t (mm)	—	16.7					
t_{ab} (mm)	<input type="text"/>						
t_{af} (mm)	<input type="text"/>						
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。							

K6 ① VI-3-3-3-1-4 R0

K6 ① VI-3-3-3-1-4 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)	15.46	H_D	(N) 8.850×10^5	
P_{eq}	(MPa)	3.69	h_D	(mm) 40.0	
T_m	(°C)	302	M_D	(N・mm) 3.540×10^7	
M_e	(N・mm)		H_G	(N) 6.848×10^5	
F_e	(N)		h_G	(mm) 49.6	
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 3 図 2(b) (7)		M_G	(N・mm) 3.394×10^7	
フランジ			H_T	(N) 2.883×10^5	
材料	SCPH2		h_T	(mm) 59.8	
σ_{fa}	(MPa)	120	M_T	(N・mm) 1.723×10^7	
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			M_o	(N・mm) 8.657×10^7	
σ_{fb}	(MPa)	117	M_g	(N・mm) 1.155×10^8	
最高使用温度 (使用状態)			フランジの厚さと係数		
A	(mm)		t	(mm) <input type="text"/>	
B	(mm)		K	1.82	
C	(mm)		h_o	(mm) <input type="text"/>	
g_o	(mm)		f	1.00	
g_1	(mm)		F	0.828	
h	(mm)		V	0.305	
ボルト			e	(mm ⁻¹) 0.00768	
材料			d	(mm ³) 2443991	
σ_a	(MPa)	173	L	1.58	
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			T	1.58	
σ_b	(MPa)	173	U	3.74	
最高使用温度 (使用状態)			Y	3.41	
n		<input type="text"/>	Z	1.86	
d_b	(mm)		応力の計算		
ガスケット			σ_{Ho}	(MPa) 70	
材料			σ_{Ro}	(MPa) 40	
ガスケット厚さ	(mm)	<input type="text"/>	σ_{To}	(MPa) 30	
G	(mm)		σ_{Hg}	(MPa) 65	
m			σ_{Rg}	(MPa) 53	
y	(N/mm ²)		σ_{Tg}	(MPa) 40	
b_o	(mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$		
b	(mm)				
N	(mm)				
G_s	(mm)				
ボルトの計算					
H	(N)				1.173×10^6
H_p	(N)	6.848×10^5			
W_{m1}	(N)	1.858×10^6			
W_{m2}	(N)	5.087×10^5			
A_{m1}	(mm ²)	1.074×10^4			
A_{m2}	(mm ²)	2.941×10^3			
A_m	(mm ²)	1.074×10^4			
A_b	(mm ²)	<input type="text"/>			
W_o	(N)	1.858×10^6			
W_g	(N)	2.330×10^6			
評価： $A_m < A_b$			よって十分である。		
			よって十分である。		

VI-3-3-3-3-1-5 管の強度計算書

VI-3-3-3-3-1-5-1 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・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	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
2	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
3	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
5	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	100	1.37	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
7	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
8	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
9	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	100	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
10	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	100	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

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)
その他 1	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
その他 2	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	100	1.37	100	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
その他 3	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

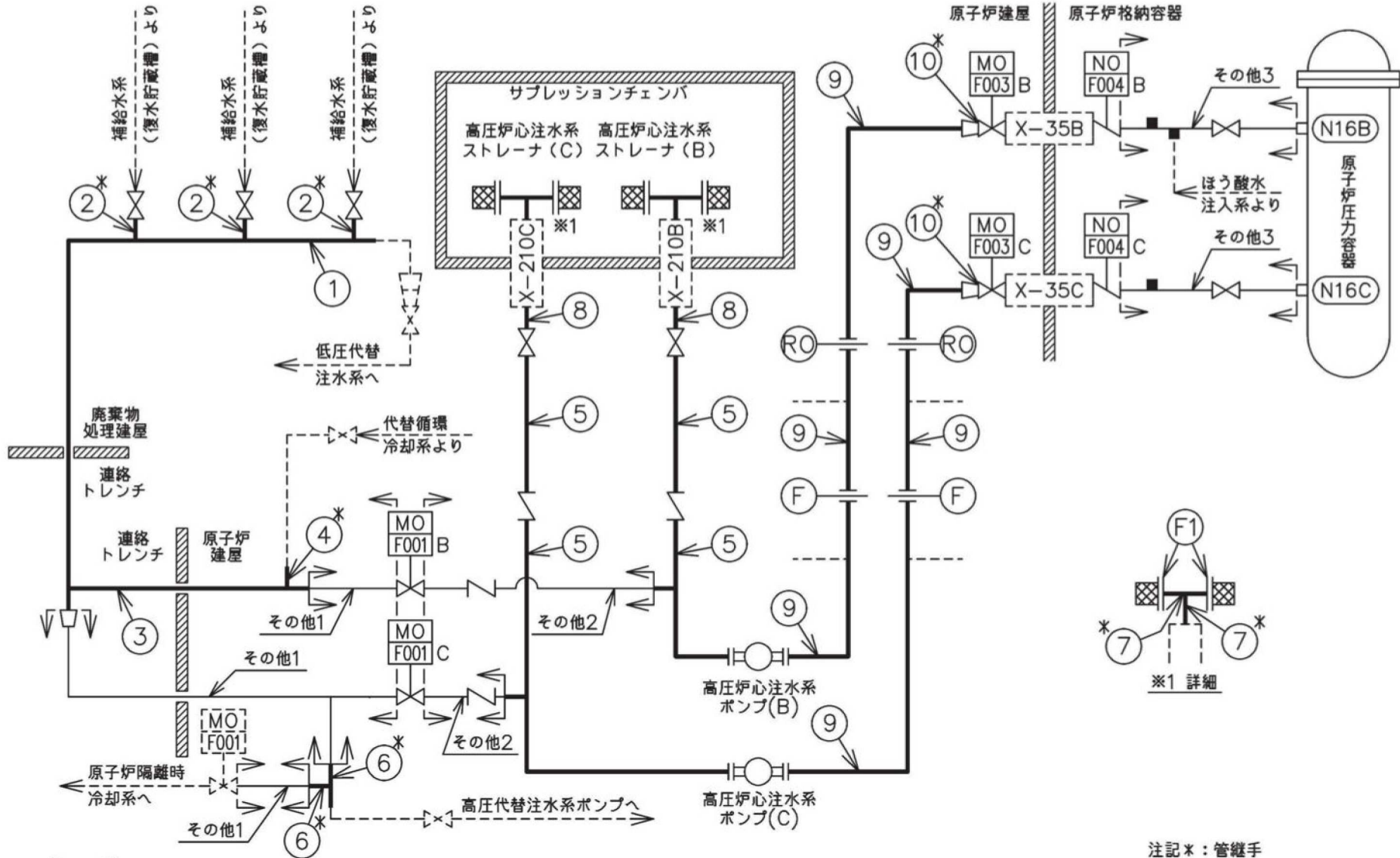
・適用規格の選定

管 No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
2	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
3	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
4	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
5	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
6	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
7	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
8	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
9	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
10	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格

目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. フランジの強度計算書	3

1. 概略系統図



注記*: 管継手
高圧炉心注水系概略系統図

本範囲の強度計算は、平成4年3月27日付け 3資庁第13033号にて認可された工事計画のIV-3-1-5-1-1「管の基本板厚計算書」による。

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	1.37	85	508.00	9.50	SUS304	W	2	124	1.00			2.80	A	2.80
2	1.37	85	318.50	10.30	SUS304	W	2	124	1.00			1.76	A	1.76
3	1.37	85	406.40	9.50	SUS304	W	2	124	1.00			2.24	A	2.24
4	1.37	85	216.30	8.20	SUS304	W	2	124	1.00			1.19	A	1.19
5	1.37	120	406.40	9.50	SGV410	W	2	103	1.00			2.69	C	3.80
6	1.37	66	216.30	8.20	SUS304TP	S	2	126	1.00	12.5%	7.17	1.17	A	1.17
7	0.31	120				W	2	106	1.00			0.60	A	0.60
8	0.31	120	406.40	9.50	SGV42	W	2	103	1.00			0.61	C	3.80
9	11.77	120	267.40	21.40	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	18.72	14.61	A	14.61
10	11.77	120	216.30	18.20	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	15.92	11.82	A	11.82

評価：t s \geq t r，よって十分である。

3. フランジの強度計算書

(高圧炉心注水系ストレーナ取付部ティー側フランジ：NO. F1)

ティー側フランジの強度計算はVI-3-3-3-1-3「高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの強度計算書」で説明するため、ここでは記載を省略する。

VI-3-3-3-3-1-5-2 管の応力計算書

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書の基本方針」並びにVI-3-2-2「クラス1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

応力計算 モデル No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
HPCF-001	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	有	8.62	302	9.22	306	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-001	既設	有	有 ^{*1}	DB-2	DB-1	SA-2	有	8.62	302	9.22	306	無 ^{*2}	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	DB-1 SA-2
HPCF-002	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	有	8.62	302	9.22	306	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-003	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-003	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-003	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	3.43	182	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
HPCF-003	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
HPCF-004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	100	1.37	100	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	100	1.37	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

・評価条件整理表

応力計算 モデル No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
HPCF-005	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	100	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-006	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-006	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	100	1.37	100	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-006	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	100	1.37	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-006	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-007	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	100	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCF-008	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	静水頭	66	静水頭	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
HPCF-008	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	66	1.37	85	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

注記*1：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲の拡大によるクラスアップ。

*2：既工認において第1種管として評価を実施しており、かつ使用条件に変更はないことから、供用状態A、Bの評価結果については平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画のIV-3-1-5-1-2「管の応力計算書」による。

設計基準対象施設

目 次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	4
3.	計算条件	7
3.1	設計条件	7
3.2	材料及び許容応力	11
4.	評価結果	13
5.	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	15

1. 概要

本計算書は、原子炉冷却材圧力バウンダリに対して、VI-3-1-2「クラス1機器の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-2「クラス1管の強度計算方法」に基づき、高圧炉心注水系の管の応力計算を実施した結果を示したものである。ただし、既工認において第1種管として供用状態A、Bの評価を実施しており、かつ使用条件に変更がないことから、供用状態A、Bの評価結果については平成4年3月27日付け3資庁第13033号にて認可された工事計画のIV-3-1-5-1-2「管の応力計算書」による。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。



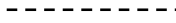
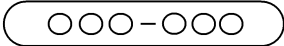

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、最大応力評価点の許容値/発生値(裕度)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

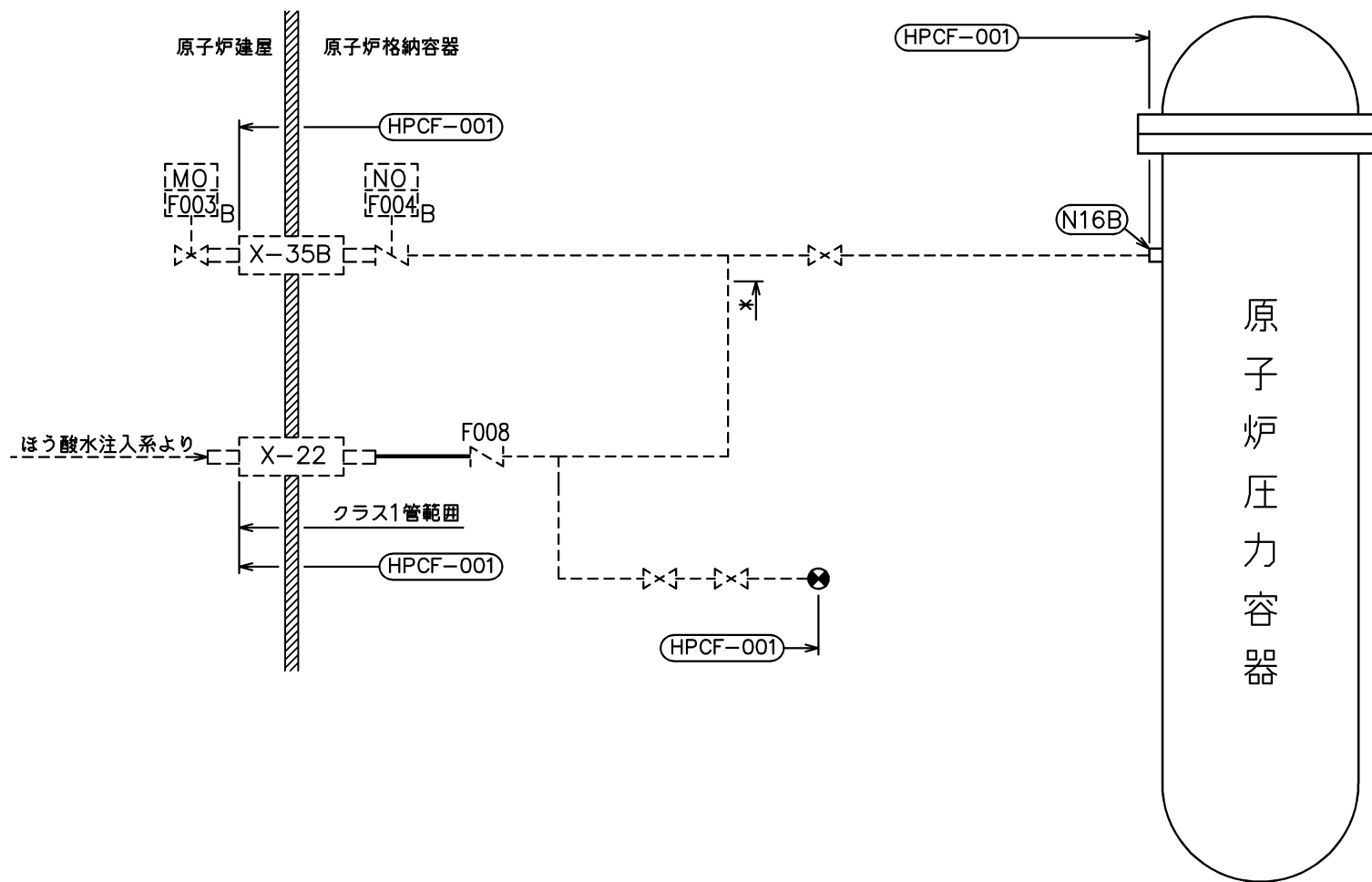
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	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、本計算書記載範囲の管
 (細線)	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、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は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、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ


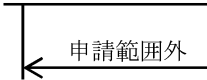



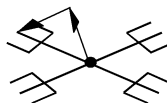
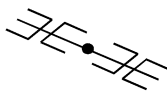

注記 * : ほう酸水注入系
解析モデル上本系統に含める。



高压炉心注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>

5

鳥瞰図	HPCF-001-1/2
-----	--------------

9

3. 計算条件

3.1 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 H P C F - 0 0 1

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
1	8.62	302	48.6	5.1	SUS316LTP
2	8.62	302	48.6	5.1	SUS316LTP

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 H P C F - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点				
1	30	31	32	33	341
2	32	33			

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 H P C F - 0 0 1

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)
30		31		32		33		341	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 1

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
31						
** 31 **						

--

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力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
SUS316LTP	302	94	104	—	—

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
SUS316LTP	302	94	—	—	—

4. 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1管

設計・建設規格 PPB-3500の規定に基づく評価

鳥瞰図

HPCF-001

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)	
				計算応力 $S_{pr m(2)}^{*1}$ $S_{pr m(3)}^{*2}$	許容応力 $\text{Min}(2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$ $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$
C	341	BUTT WELD	$S_{pr m(2)}^{*1}$	36	187
D	341	BUTT WELD	$S_{pr m(3)}^{*2}$	36	208

注記*1：設計・建設規格 PPB-3552に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPB-3562に基づき計算した一次応力を示す。

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1管

告示第501号第46条の規定に基づく評価

鳥瞰図

HPCF-001

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)	
				計算応力 $S_{pr m}(\square)^{*1}$ $S_{pr m}(\wedge)^{*2}$	許容応力 $2.25 \cdot S_m$ $3 \cdot S_m$
III	341	BUTT WELD	$S_{pr m}(\square)^{*1}$	36	211
IV	341	BUTT WELD	$S_{pr m}(\wedge)^{*2}$	36	282

注記*1：告示第501号第46条第2号に基づき計算した一次応力を示す。

*2：告示第501号第46条第3号に基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管 モデル	供用状態C* ¹					供用状態D* ²				
		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	HPCF-001	341	36	187	5.19	○	341	36	208	5.77	○

注記*1：設計・建設規格 PPB-3552 に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPB-3562 に基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管)

No.	配管 モデル	許容応力状態Ⅲ* ¹					許容応力状態Ⅳ* ²				
		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	HPCF-001	341	36	211	5.86	○	341	36	282	7.83	○

注記*1：告示第501号第46条第2号に基づき計算した一次応力を示す。

*2：告示第501号第46条第3号に基づき計算した一次応力を示す。

重大事故等対処設備

目 次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	6
3.	計算条件	13
3.1	設計条件	13
3.2	材料及び許容応力	31
4.	評価結果	33
5.	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、高圧炉心注水系の管の応力計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。



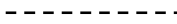
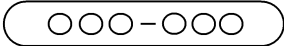

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

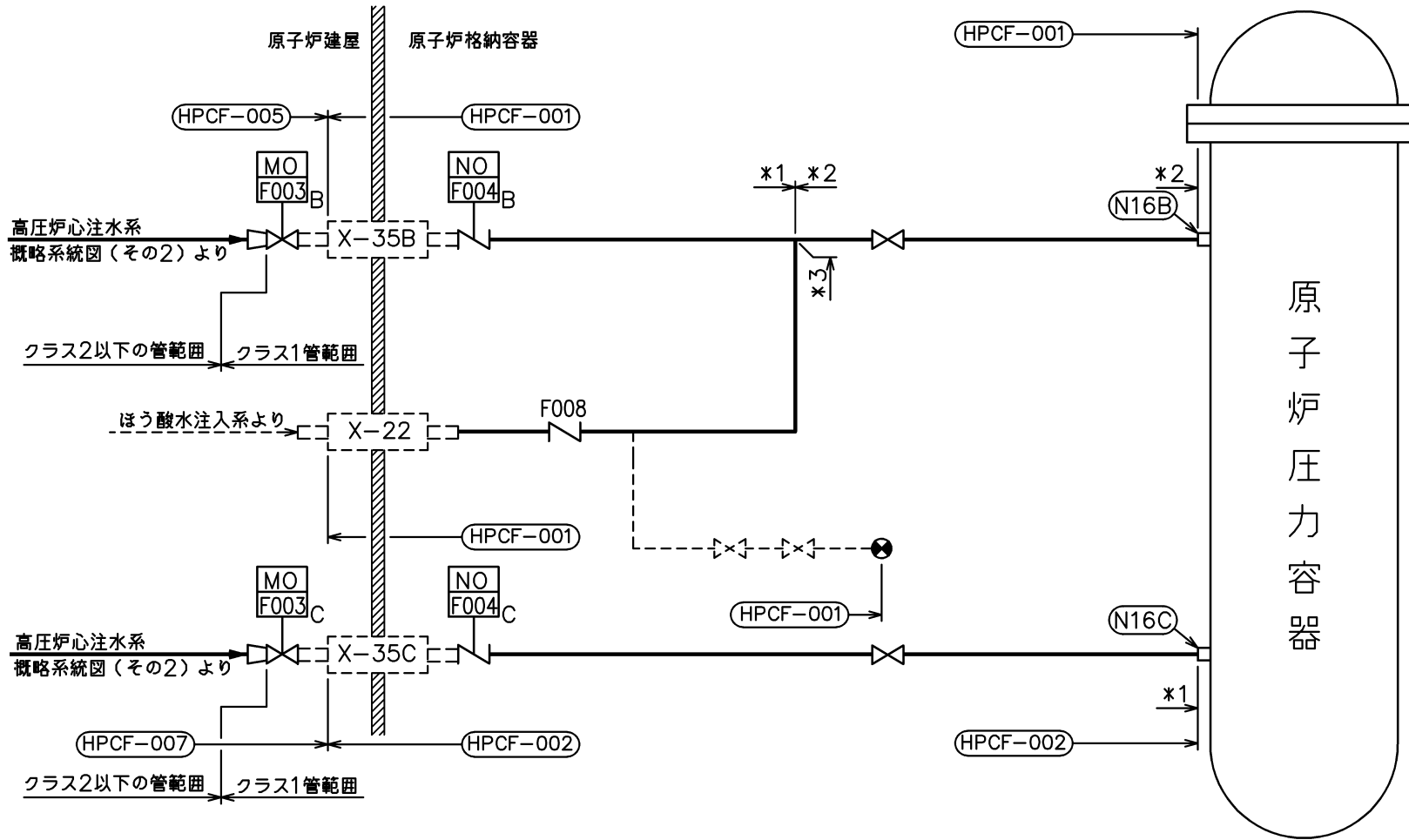
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

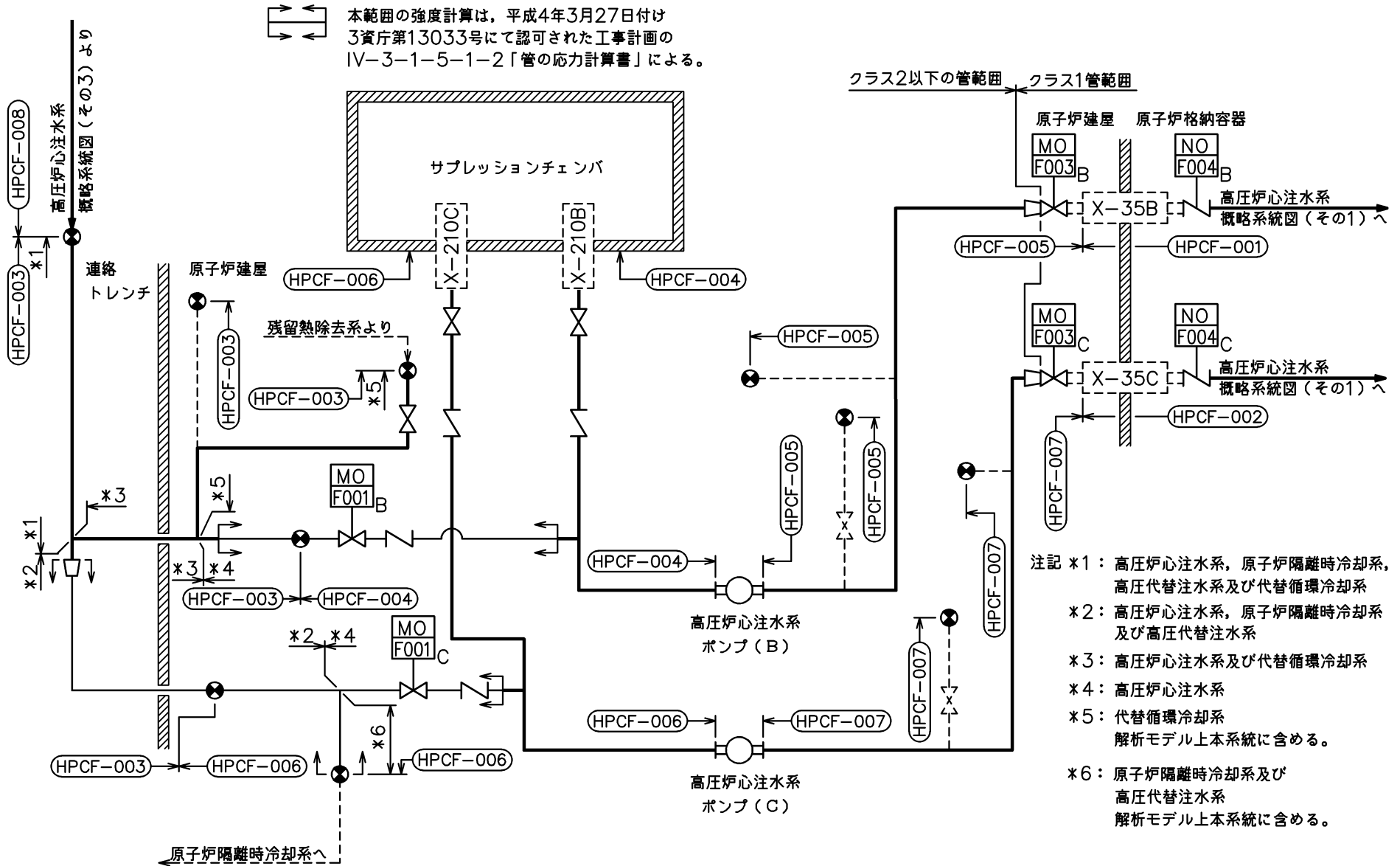
概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	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、本計算書記載範囲の管
 (細線)	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、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は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、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

注記 *1: 高压炉心注水系
 *2: 高压炉心注水系及びほう酸水注入系
 *3: ほう酸水注入系
 解析モデル上本系統に含める。

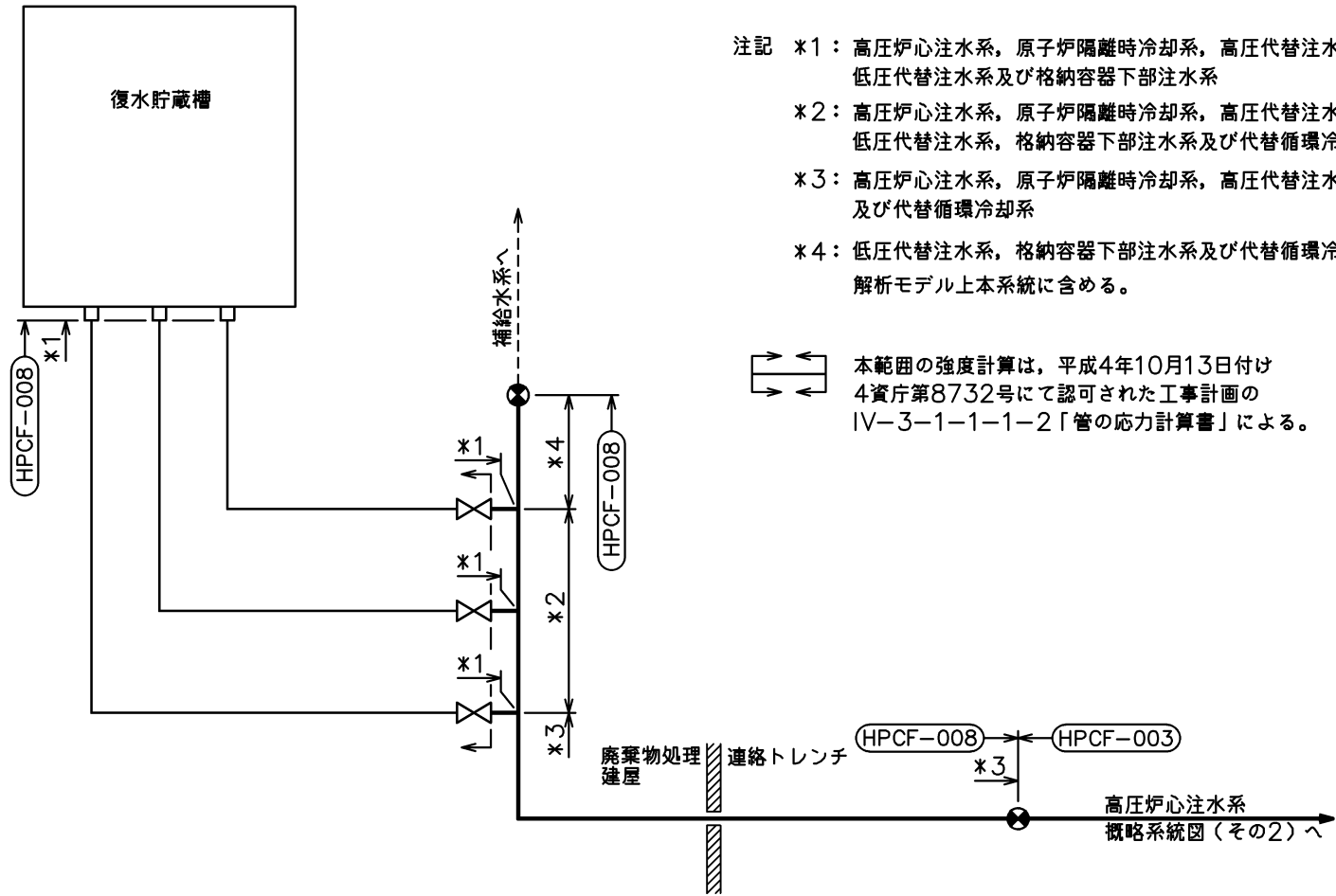


高压炉心注水系概略系統図 (その1)



- 注記 *1： 高圧炉心注水系，原子炉隔離時冷却系，
高圧代替注水系及び代替循環冷却系
- *2： 高圧炉心注水系，原子炉隔離時冷却系
及び高圧代替注水系
- *3： 高圧炉心注水系及び代替循環冷却系
- *4： 高圧炉心注水系
- *5： 代替循環冷却系
解析モデル上本系統に含める。
- *6： 原子炉隔離時冷却系及び
高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。


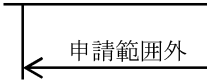
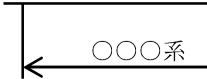


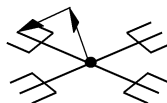
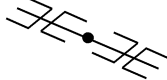

高圧炉心注水系概略系統図(その2)



高圧炉心注水系概略系統図(その3)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>

7

鳥瞰図

HPCF-002

8

鳥瞰図	HPCF-003-1/2
-----	--------------

6

鳥瞰図	HPCF-003-2/2
-----	--------------

10

11

3. 計算条件

3.1 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 H P C F - 0 0 2

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
1	9.22	306	216.3	15.1	STS410

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 H P C F - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26										

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 H P C F - 0 0 2

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)
7		14		18		22		26	
11		15		19		23			
12		16		20		24			
13		17		21		25			

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 2

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)
4		8	
5		9	
6		10	

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 2

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)
弁1	5			
弁2	9			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 2

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
7	[Redacted]					
** 7 **						
17						

[Redacted]

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 H P C F - 0 0 3

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
1	1.37	85	508.0	9.5	SUS304
2	1.37	85	406.4	9.5	SUS304
3	1.37	85	216.3	8.2	SUS304
4	1.37	85	216.3	8.2	SUS304TP
5	1.37	85	165.2	7.1	SUS304TP
6	3.43	182	165.2	7.1	STS410
7	1.37	85	165.2	7.1	STS410
8	1.37	85	165.2	7.1	SUS304TP

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 H P C F - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	801													
2	2	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
	802	805	811	814												
3	48	56														
4	56	57	58	59	60	61	214	215	219	220						
5	212	213	214													
6	201	202	203	204												
7	206	207														
8	207	208	209	210	211	212										

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 H P C F - 0 0 3

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)
1		42		58		209		801	
2		43		59		210		802	
35		44		60		211		805	
36		45		61		212		811	
37		46		201		213		814	
38		47		202		214			
39		48		203		215			
40		56		207		219			
41		57		208		220			

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 3

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
204	
205	
206	
217	
218	

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 3

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)
弁1	205			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 3

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
1						
37						
40						
43						
46						
58						
201						
212						
** 218 **						

--

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 H P C F - 0 0 7

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
1	11.77	120	267.4	21.4	STS410
2	11.77	120	216.3	18.2	STS410

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 H P C F - 0 0 7

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	103	200	201	203	204						
2	34	35													

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 H P C F - 0 0 7

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)
1		9		17		25		33	
2		10		18		26		34	
3		11		19		27		103	
4		12		20		28		200	
5		13		21		29		201	
6		14		22		30		203	
7		15		23		31		204	
8		16		24		32			

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 7

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
35	
36	
37	
62	
63	

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 7

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)
弁1	36			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 H P C F - 0 0 7

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
1						
6						
11						
13						
16						
23						
26						
** 26 **						
30						



K6 ① VI-3-3-3-3-1-5-2 (重) R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力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
STS410	306	122	181	—	—
	85	—	—	—	103
	182	—	—	—	103
SUS304	85	—	—	—	124
SUS304TP	85	—	—	—	124

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
STS410	306	122	—	—	—
	120	—	—	—	103

4. 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。

重大事故等クラス2管であってクラス1管
設計・建設規格 PPB-3562の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}$	許容応力 $\text{Min}(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$
HPCF-002	7	$S_{pr m}$	55	362

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。

重大事故等クラス2管であってクラス1管
告示第501号第46条第3号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
HPCF-002	7	$S_{pr m}$	55	366

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
 設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
HPCF-003	201	$S_{pr m}^{*1}$	62	154
	201	$S_{pr m}^{*2}$	65	185

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

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

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
HPCF-007	26	$S_{pr m}^{*1}$	49	103
	26	$S_{pr m}^{*2}$	53	123

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス1管)

No.	配管 モデル	重大事故等時 *				
		一次応力				
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	HPCF-001	25	54	362	6.70	—
2	HPCF-002	7	55	362	6.58	○

注記* : 設計・建設規格 PPB-3562 に基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス1管)

No.	配管 モデル	許容応力状態V*				
		一次応力				
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表
1	HPCF-001	25	54	366	6.77	—
2	HPCF-002	7	55	366	6.65	○

注記* : 告示501号第46条第3号に基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	重大事故等時 *1					重大事故等時 *2				
		一次応力					一次応力				
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表
1	HPCF-003	201	62	154	2.48	○	201	65	185	2.84	○
2	HPCF-004	13	33	154	4.66	—	13	35	185	5.28	—
3	HPCF-005	16	59	154	2.61	—	16	64	185	2.89	—
4	HPCF-006	32	25	154	6.16	—	32	27	185	6.85	—
5	HPCF-007	16	59	154	2.61	—	16	64	185	2.89	—
6	HPCF-008	20	42	186	4.42	—	20	46	223	4.84	—

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

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態V *1					許容応力状態V *2				
		一次応力					一次応力				
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表
1	HPCF-003	2	31	124	4.00	—	2	33	148	4.48	—
2	HPCF-004	13	24	103	4.29	—	13	26	123	4.73	—
3	HPCF-005	26	48	103	2.14	—	26	52	123	2.36	—
4	HPCF-006	43	20	103	5.15	—	43	22	123	5.59	—
5	HPCF-007	26	49	103	2.10	○	26	53	123	2.32	○
6	HPCF-008	55	36	124	3.44	—	55	38	148	3.89	—

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-3-3-3-2 原子炉隔離時冷却系の強度計算書

VI-3-3-3-3-2-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」、VI-3-2-10「重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」及び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」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
原子炉隔離時冷却系 ポンプ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	77	11.77	120	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

目 次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	2
2.3 ケーシングのボルト穴	3
2.4 ケーシングカバーの厚さ	3
2.5 ボルトの平均引張応力	4
2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	5
3. 支持構造物の強度計算書	6

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。

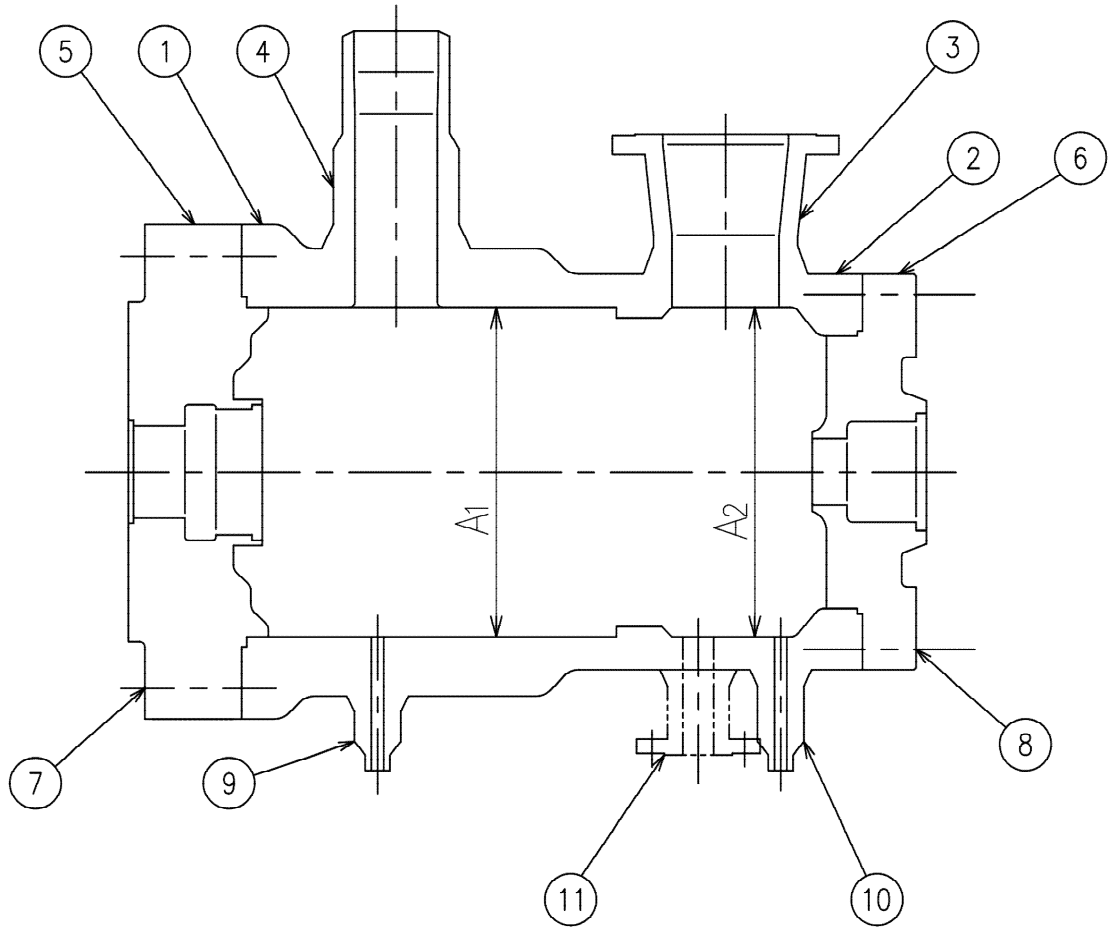


図1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	11.77	1.37
最高使用温度 (°C)	120	120

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 ₁ (mm)	A ₂ (mm)
①		11.77			
②		1.37			

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
25.6	44.6	
3.0		

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
③		71.5	7.3	3.0		
④		75.3	22.0	25.6		

評価： $t_l \geq t$ ， 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
①	56	112.0			28.0		
②	32	64.0			16.0		

評価：a_s ≥ a，よって十分である。

評価：X_s ≥ X，よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤		11.77			
⑥		1.37			

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
89.0		
25.8		

評価：t_s ≥ 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)
⑦		11.77				
⑧		1.37				

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)
渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	4.8	1 a			—
渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	4.8	1 a			—

H (N)	H _p (N)	W _{m1} (N)	W _{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)
					135
					56

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)
⑨		11.77		
⑩		1.37		
⑪		1.37		

継手の種類	放射線透過試験の有無	η
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
2.6		
0.3		
0.5		

評価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。

3. 支持構造物の強度計算書

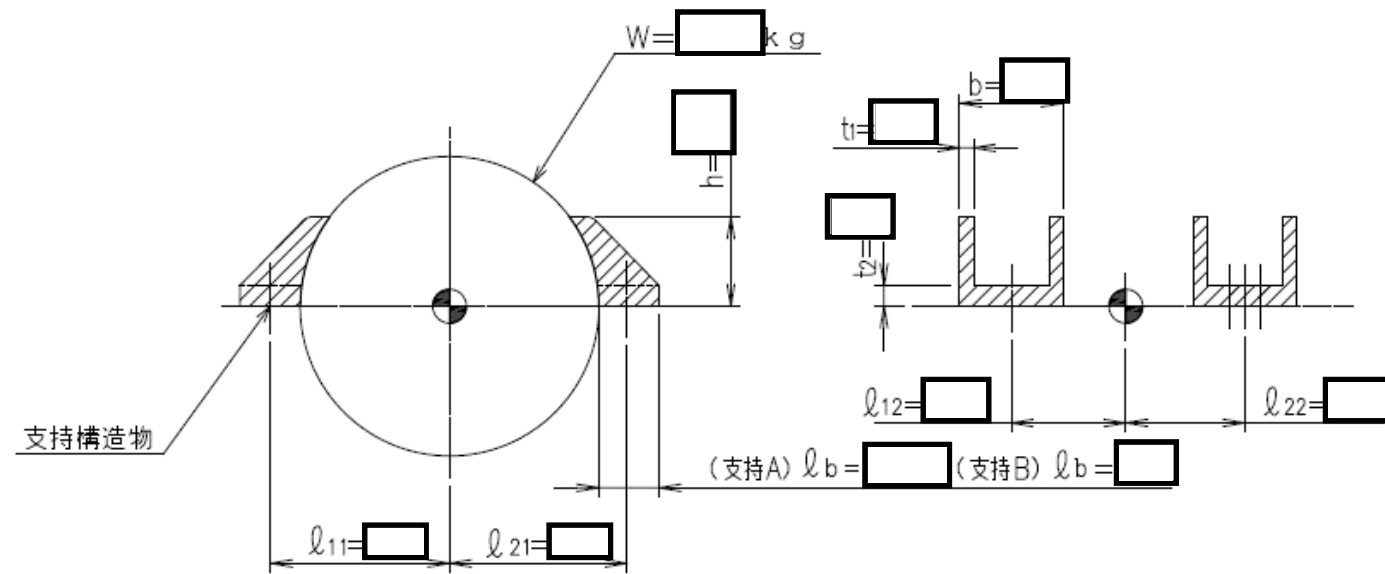
「原子炉隔離時冷却系ポンプ 支持構造物(凹形)」

(1) 一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F _c (N)	断面積 A _s (mm ²)	一次せん断応力 σ _s (MPa)	許容せん断応力 f _s (MPa)	評価
取付ラグ	4	<input type="text"/>	120	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1	<input type="text"/>	計算応力は、許容応力以下であるため、取付ラグの強度は問題ない。

(2) 一次曲げ応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F _c (N)	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm ³)	一次曲げ応力 σ _b (MPa)	許容曲げ応力 f _b (MPa)	評価
取付ラグ	4	<input type="text"/>	120	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>	計算応力は、許容応力以下であるため、取付ラグの強度は問題ない。



(単位 : mm)

原子炉隔離時冷却系ポンプ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-3-2-2 原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「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

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)
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.310]*1	104*2	— [0.310]*1	120	—	S55告示	設計・建設 規格又は告示	—	SA-2

注記*1：原子炉隔離時冷却系ストレーナは、その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため、最高使用圧力を設定しないが、ここでは、原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を [] 内に示す。

*2：サブプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 計算方法	17
4.4.1 応力評価点	17
4.4.2 応力計算方法	18
4.5 計算条件	25
4.6 応力の評価	25
5. 評価結果	25
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	25
6. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、重大事故等クラス2機器として兼用される原子炉隔離時冷却系ストレーナについて、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、材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は、「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（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4において「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））に適合することと規定されている。

本計算書は、原子炉隔離時冷却系ストレーナがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

以下、重大事故等クラス2管としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナはサプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及びストレーナ取付部ボルトにより据え付けられる。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒形の鋼製構造物である。</p>	mm above the strainer."/>

(単位 : mm)

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価は、「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて、設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価フローを図 2-1 に示す。

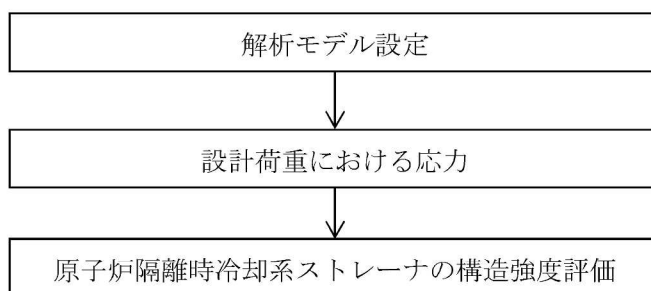


図 2-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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。）
- ・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））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D _i	各部位の直径 (i = 0, 1)	mm
d	孔径, ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f _t	ボルトの発生応力	MPa
L	長さ	mm
ℓ	ディスク間ギャップ, ボルトのZ軸からの距離	mm
M	モーメント	N・mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔 (中心間)	mm
t	板厚	mm
W	ストレーナに作用する荷重	—
X	軸直角方向 (水平)	—
Y	軸直角方向 (鉛直)	—
Z	軸方向	—
β	形状係数	—
σ _r	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 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
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位 ^{*1}
温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
面積	mm ²	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}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
縦弾性係数	MPa	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。また、告示第 501 号別表に記載された許容引張応力は、各温度の値を SI 単位に換算し、SI 単位に換算した値の小数点以下第 1 位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品であるこし筒、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況、形状及び主要寸法を図3-1及び図3-2に示す。

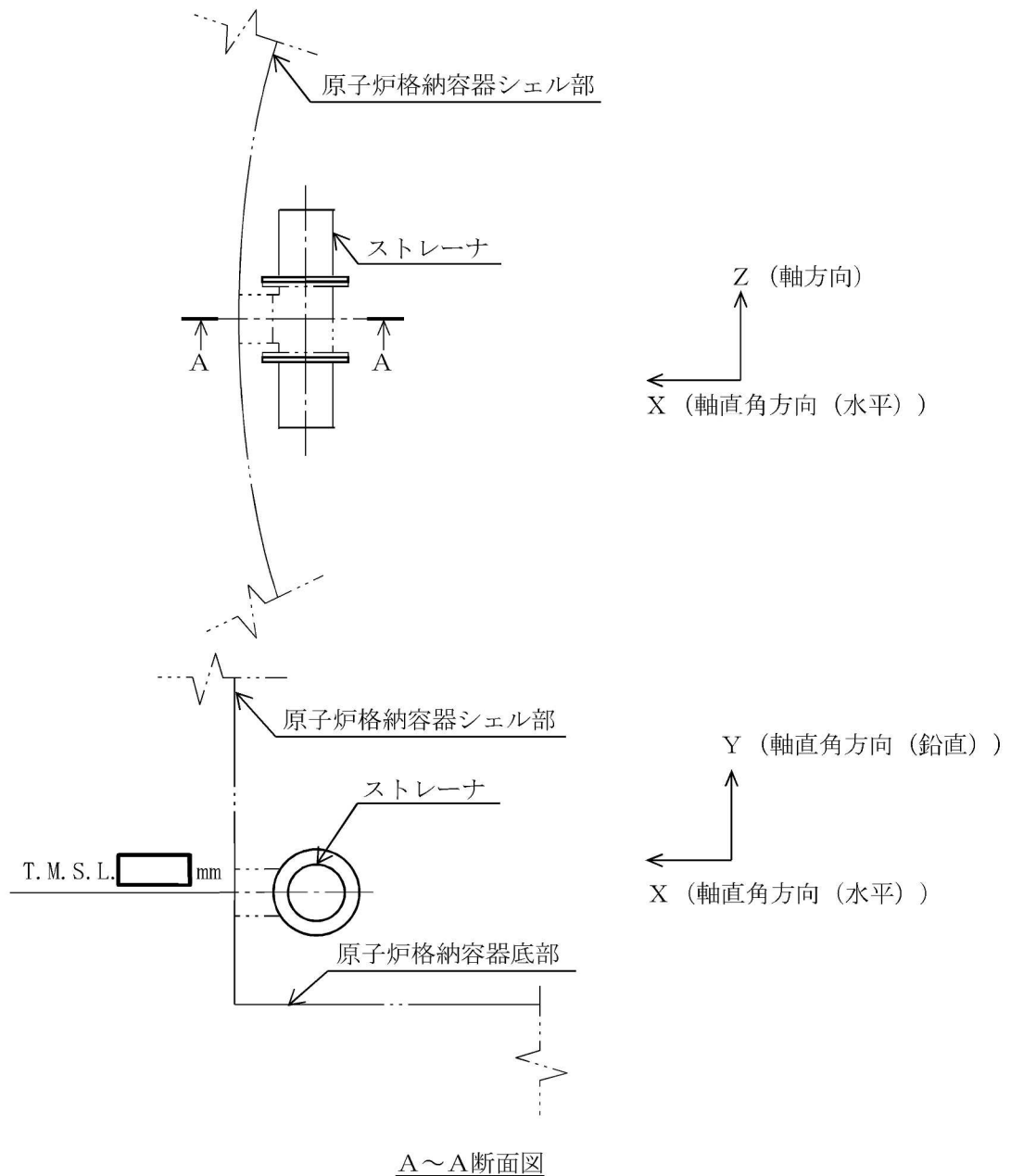
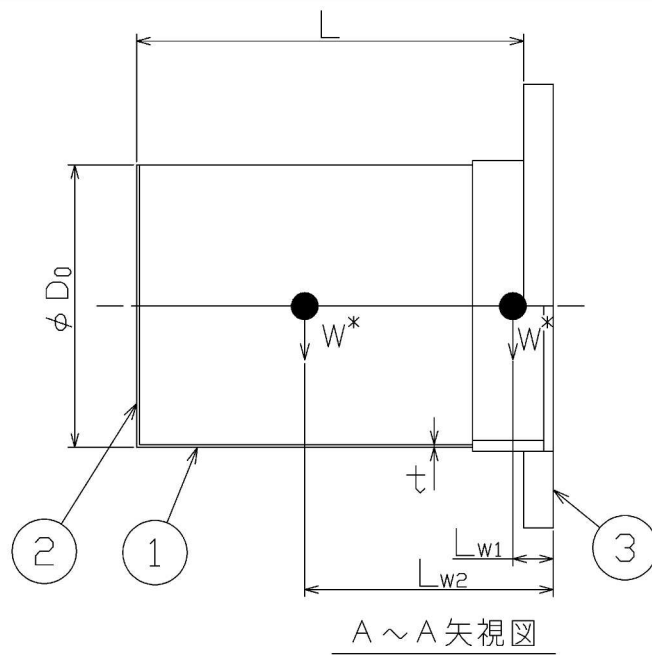
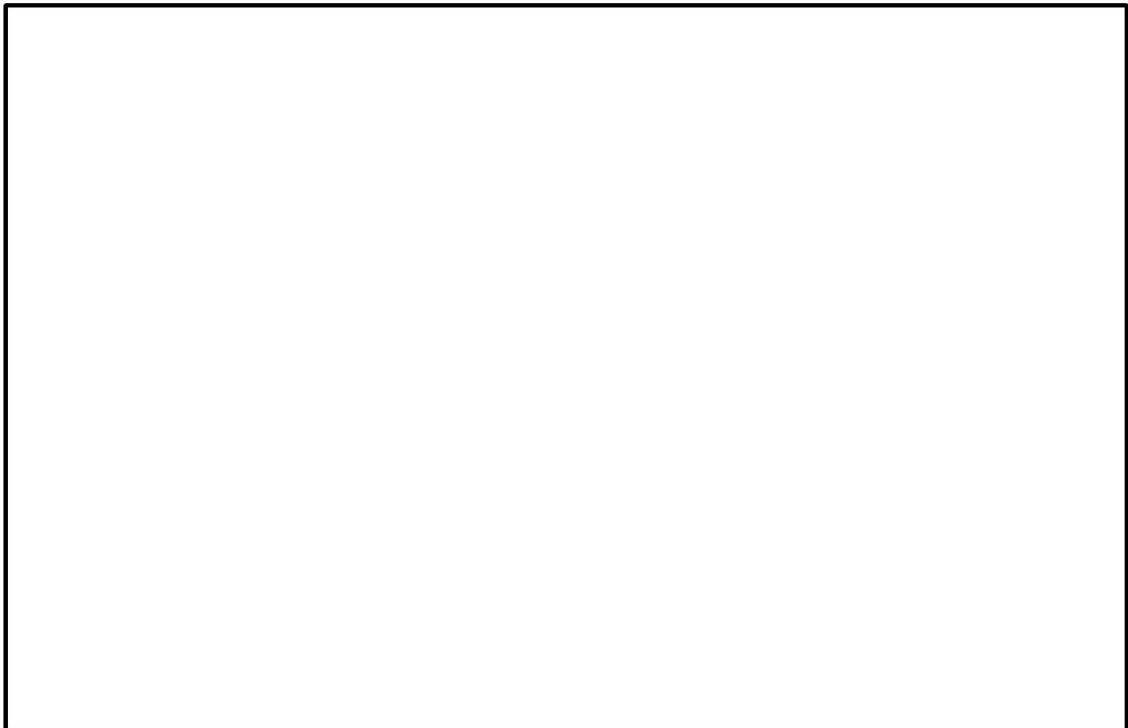


図3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況



$D_0 =$ $L =$ $L_{w1} =$ $L_{w2} =$ $t =$
 $d =$ $P =$
 ① こし筒 ② 多孔プレート ③ フランジ (厚さ mm)

注記* : W (ストレーナに作用する荷重) の作用点を示す。

図 3-2 原子炉隔離時冷却系ストレーナの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーに据付部材を介さずに、ストレーナ取付部ボルトにて直接接続されるものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナの荷重の組合せ及び供用状態を表 4-1 に、荷重の組合せ整理表を表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力を表 4-3(1)及び表 4-3(2)に示す。なお、評価対象は、構造又は形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分小さいため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力評価条件を表 4-4 及び表 4-5 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

こし筒

フランジ

ストレーナ取付部ボルト

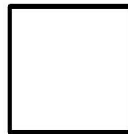


表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力状態)
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	重大事故等クラス 2	$D + P_{SAD} + M_{SAD}$	重大事故等時*

注記*：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態V（L）は供用状態A，運転状態V（S）は供用状態Dの許容限界を用い，告示第501号に規定の応力計算では運転状態V（L）は許容応力状態I_A，運転状態V（S）は許容応力状態IV_Aの許容限界を用いる。

表 4-2 荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧 荷重	SRV荷重		LOCA荷重			供用状態 (許容応力状態)
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気 凝縮振動 (CO)	チャギング (CH)	
SA-1	運転状態V (L)	○		○						重大事故等時*
SA-2	運転状態V (S)	○		○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態V (S)	○		○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態V (S)	○					○			重大事故等時*

注記*：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態V（L）は供用状態A，運転状態V（S）は供用状態Dの許容限界を用い，告示第501号に規定の応力計算では運転状態V（L）は許容応力状態I_A，運転状態V（S）は許容応力状態IV_Aの許容限界を用いる。

表 4-3(1) 許容応力 (重大事故等クラス 2 管)

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
重大事故等時 ^{*1}	運転状態 V (L)	$S^{*2, *3}$	$1.5 \cdot S^{*2}$ S^{*3}
	運転状態 V (S)	$S^{*2, *3}$	$1.8 \cdot S^{*2}$ $1.2 \cdot S^{*3}$

表 4-3(2) 許容応力 (重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト) ^{*4}

状態	運転状態	許容限界
重大事故等時 ^{*1}	運転状態 V (L)	$2 \cdot S^{*2, *3}$
	運転状態 V (S)	$2.4 \cdot S$ と $2/3 S_u$ の 小さい方 ^{*2, *3}

注記*1：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態 V (L) は供用状態 A，運転状態 V (S) は供用状態 D の許容限界を用い，告示第 501 号に規定の応力計算では運転状態 V (L) は許容応力状態 I A，運転状態 V (S) は許容応力状態 IV A の許容限界を用いる。

*2：設計・建設規格に規定の応力評価に用いる許容応力。

*3：告示第 501 号の規定の応力評価に用いる許容応力。

*4：クラス MC (第 2 種) 耐圧部テンションボルトの許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
こし筒	□	最高使用温度	120	□	—	—	—
フランジ		最高使用温度	120		—	—	—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	120		—	□	—

表4-5 使用材料の告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
こし筒	□	最高使用温度	120	□	—	—	—
フランジ		最高使用温度	120		—	—	—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	120		—	□	—

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重による荷重を考慮する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナに付着する異物は想定しない。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 $W_1 = \square$ N

内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 $W_2 = \square$ N

(2) 差圧荷重

ストレーナ差圧による荷重は、原子炉隔離時冷却系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

差圧荷重 $P_{\text{dif}} = \square$ MPa

(3) 水学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）

逃がし安全弁作動時及び原子炉冷却材喪失時には、サブプレッションチェンバ内の水中構造物には様々な荷重が水学的動荷重として作用する。これらの荷重については、原子力安全委員会が策定した評価指針「BWR, MARK-II型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（以下「MARK-II動荷重指針」という。）に準じて荷重の評価を実施する。

MARK-II動荷重指針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナに加わる水学的動荷重を算出した結果を表4-6(1)及び表4-6(2)に示す。表4-6(1)及び表4-6(2)に示した荷重は、考慮すべき水学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値である。

なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナは、水平ベント管から遠方かつ下方に設置されているため、プールスウェル及びフォールバック荷重は十分小さく評価対象としない。

また、逃がし安全弁作動時荷重（以下「SRV荷重」という。）のうち、水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重についても十分小さいため評価対象としない。

表4-6 (1) 水力学的動荷重

(逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重) (設計・建設規格)

荷重名称		軸方向荷重 (N)	軸直角方向荷重 (N)
L O C A後の荷重	プールスウェル (気泡形成) *1		
	蒸気凝縮振動 (C O) *1		
	チャギング (C H) *2		
S R V荷重 (中小破断時) *3			

表4-6 (2) 水力学的動荷重

(逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重) (告示第501号)

荷重名称		軸方向荷重 (N)	軸直角方向荷重 (N)
L O C A後の荷重	プールスウェル (気泡形成) *1		
	蒸気凝縮振動 (C O) *1		
	チャギング (C H) *2		
S R V荷重 (中小破断時) *3			

注：方向は図3-1参照。ただし、軸直角方向（水平方向X及び鉛直方向Y）については、二乗和平方根としている。

注記*1：加速度ドラッグ荷重と定常ドラッグ荷重との代数和とする。

*2：圧力パルス荷重とそのリングアウト荷重の代数和とする。

*3：定常ドラッグ荷重と圧力荷重は方向毎に足し合わせるものとする。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応答解析に用いる、ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。原子炉隔離時冷却系ストレーナの解析モデルを図 4-1 に、応答解析用モデルの概要を以下に示す。解析モデルはVI-2-5-4-2-3「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また、機器の諸元を表 4-7 (1) 及び表 4-7 (2) に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各部の質量は、ティー及び原子炉格納容器貫通部については各節点に分布荷重として与え、ストレーナについては図 4-1 の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、内包水の影響を加味し、質量に含める。
- (5) 解析コードは「I SAP」及び「MSC NASTRAN」を使用し、荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

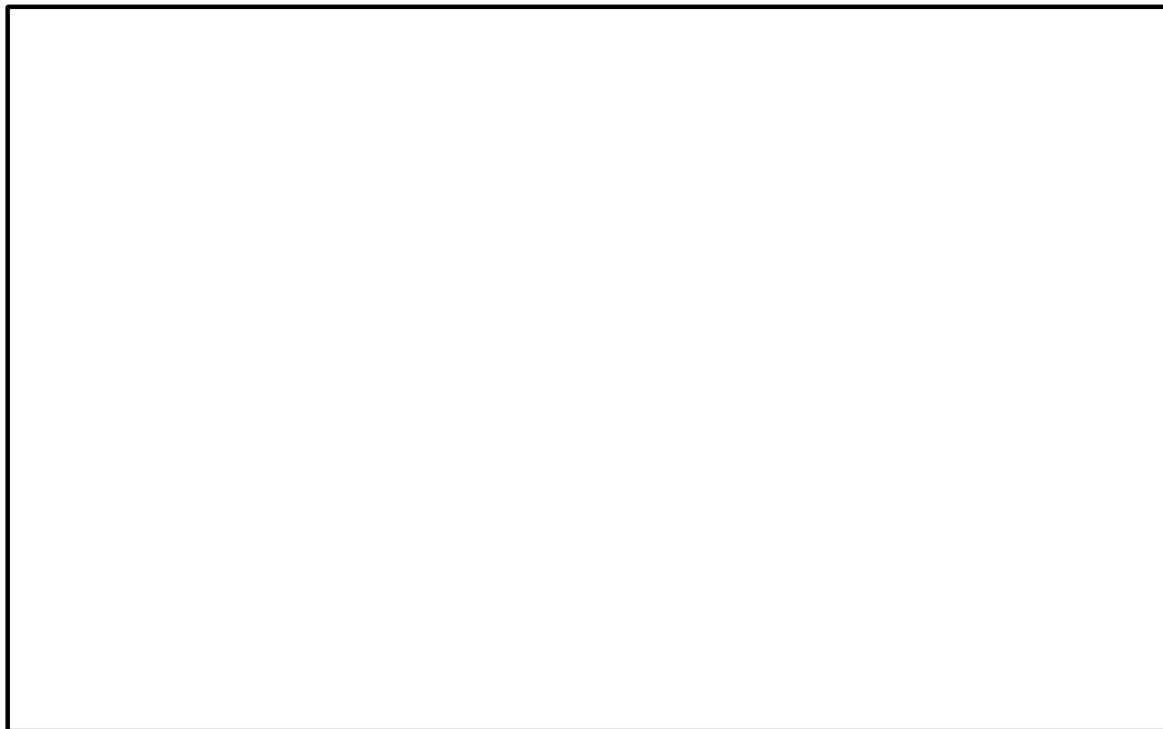


図 4-1 応答解析用モデル

表 4-7 (1) 機器諸元 (設計・建設規格)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系 ストレナの材質	—	
原子炉隔離時冷却系 ストレナの質量	kg/個	
原子炉隔離時冷却系 ストレナの内包水の質量	kg/個	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

表 4-7 (2) 機器諸元 (告示第 5 0 1 号)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系 ストレナの材質	—	
原子炉隔離時冷却系 ストレナの質量	kg/個	
原子炉隔離時冷却系 ストレナの内包水の質量	kg/個	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、フランジに円筒型のこし筒が取付く構造となっている。ここでは、こし筒とフランジの取付部、フランジ及びストレーナ取付部ボルトを応力評価点として選定し、評価を実施する。

応力評価点を表 4-8 及び図 4-2 に示す。

表 4-8 応力評価点

名称	応力評価点 番号	応力評価点
こし筒	P1	こし筒とフランジの取付部
フランジ	P2	フランジ
ストレーナ取付部ボルト	P3	ストレーナ取付部ボルト

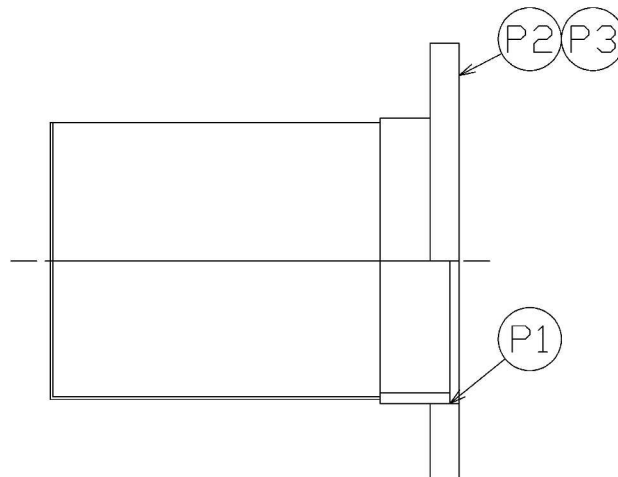


図 4-2 応力評価点

4.4.2 応力計算方法

応力計算方法について、以下に示す。なお、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1) こし筒（応力評価点 P1）

a. 差圧荷重による応力

円周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{2 \cdot t'}$$

ここに、

P_{dif} : 4.2.4 (2) に示す差圧荷重

D_0 : ストレーナ直径 = mm

t' : こし筒の等価板厚（設計・建設規格 PVE-3251 準用）

$$t' = \frac{P-d}{P} \cdot t$$

P : 孔の間隔（中心間） = mm

d : 孔径 = mm

t : 板厚 = mm

軸方向応力

$$\sigma_\ell = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{4 \cdot t'}$$

b. ストレーナに作用する荷重による応力

(a) 死荷重による荷重

軸直角方向荷重

$$F_{YX} = W_1$$

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{YX} = W_1 \cdot L_w$$

ここに、

W_1 : 4.2.4 (1) に示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 (N)

L_w : モーメントアーム = mm

(b) 水力学的動荷重

軸方向荷重

F_z : 表 4-6 に示す軸方向荷重 (N)

軸直角方向荷重

F_{yx} : 表 4-6 に示す軸直角方向荷重 (N)

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{yx} = F_{yx} \cdot L_w$$

ここに,

L_w : モーメントアーム = mm

(c) 各荷重による応力

軸方向荷重による応力

$$\sigma = \frac{F_z}{A}$$

ここに,

A : ストレーナ取付部円筒胴の断面積

$$A = \frac{\pi \cdot \{D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot t')^2\}}{4}$$

モーメントによる応力

$$\sigma_b = \frac{M_{yx}}{Z}$$

ここに,

Z : ストレーナ取付部円筒胴の断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot \{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t')^4\}}{32 \cdot D_0}$$

軸直角方向荷重による応力

$$\tau = \frac{F_{yx}}{A}$$

ここに,

A : ストレーナ取付部円筒胴の断面積 (mm^2)

(2) フランジ (応力評価点 P2)

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部フランジは、一般的なフランジと異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

フランジを外周 (ボルト穴中心円直径) が固定された平板と考え、表 4-9 (1) 及び表 4-9 (2) に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献 (1) より、図 4-3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、

σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-9 (1) 及び表 4-9 (2) に示すモーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = mm

b : フランジ内半径 = mm

t : フランジ板厚 = mm

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

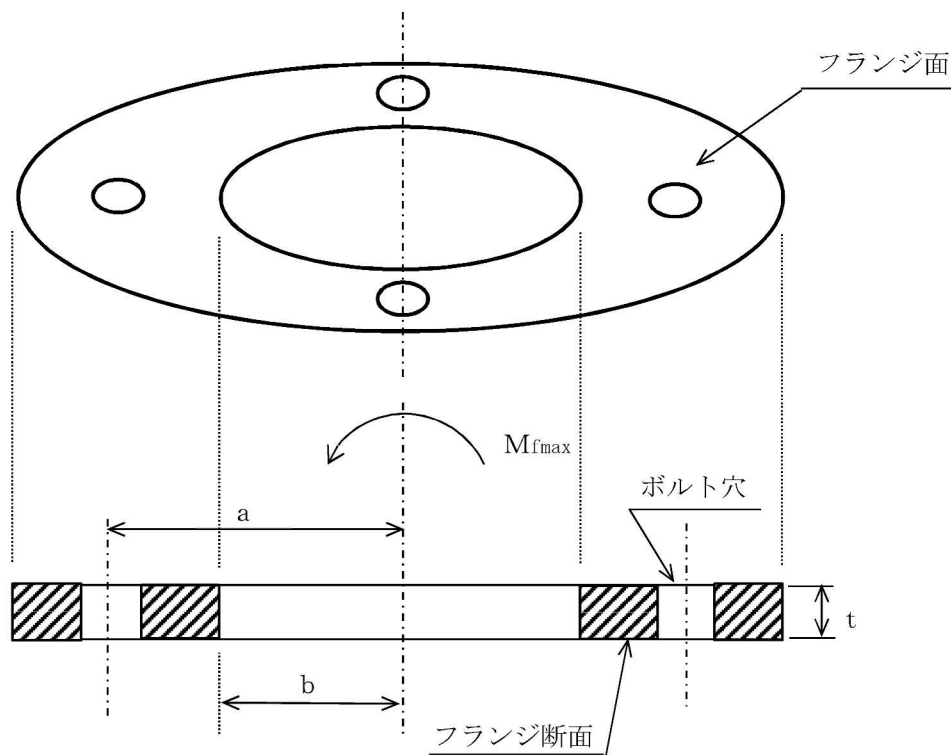


図 4-3 フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は、ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは、図4-4に示すように、ストレーナに作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり、フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。なお、プールのスウェル荷重、蒸気凝縮振動荷重及びチャッキング荷重については、応答解析より得られた、フランジに対する面外方向の曲げモーメントを用いる。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表4-9 (1) 及び表4-9 (2) に示す。

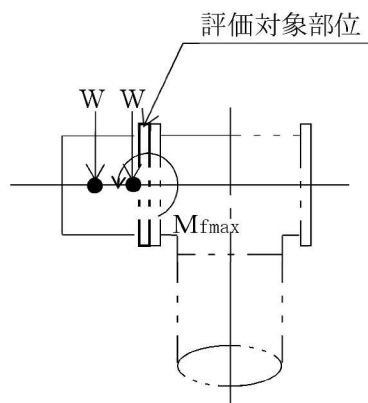


図4-4 フランジに作用するモーメント

表4-9 (1) フランジの設計荷重 (設計・建設規格)
(単位：N・mm)

荷重		モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	プールのスウェル (気泡形成)	
5	蒸気凝縮振動 (C O)	
6	チャッキング (C H)	

表 4-9 (2) フランジの設計荷重 (告示第 5 0 1 号)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント M _{fmax}
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	プールのウェル (気泡形成)	
5	蒸気凝縮振動 (C O)	
6	チャギング (C H)	

(3) ストレーナ取付部ボルト (応力評価点 P3)

ストレーナ取付部ボルト (以下「ボルト」という。) には、表 4-9 (1) 及び表 4-9 (2) に示すモーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する荷重により軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより、ボルトに生じる軸力は、以下のように算出する。

図 4-5 に示すフランジの中心を通る中立軸 (Z 軸) まわりのモーメントを考える。このとき、Z 軸まわりのモーメントは、各ボルトに発生する軸力とボルトの Z 軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで、軸方向荷重によって中立軸が移動するが、軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため、軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって、Z 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_z = \sum_{k=1}^n F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに、

M_z : Z 軸まわりのモーメント (N・mm)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

ℓ_k : 任意のボルト k における Z 軸からの距離 (mm)

n : ボルトの本数 =

なお、ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント (ねじりモーメント) は発生しないため、ここでは評価対象としない。

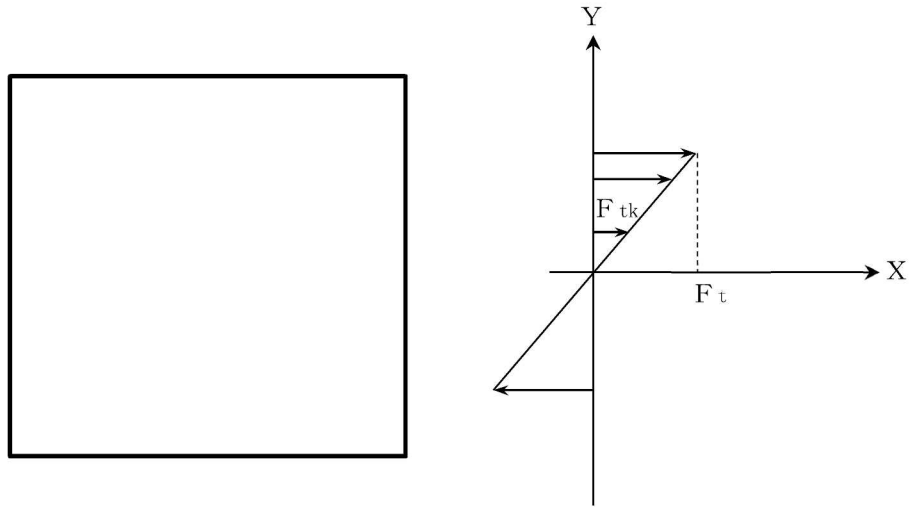


図 4-5 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また、ボルト軸力の Z 軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図 4-5 に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を F_t とすると、各ボルトに発生する軸力 F_{tk} は下記となる。

$$F_{tk} = F_t \cdot \frac{\ell_k}{D_1/2}$$

ここに、

F_t : 最大の軸力が発生するボルトの軸力 (N)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

D_1 : ボルト孔中心円直径 = mm

以上より、 n が偶数の場合、Z 軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_z = \frac{2 \cdot F_t}{D_1} \cdot \sum_{k=1}^n \ell_k^2 = \frac{F_t \cdot D_1 \cdot n}{4}$$

ただし、

$$\ell_k = \frac{D_1}{2} \cdot \sin\left\{\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot (k-1)\right\}$$

よって、表 4-9 (1) 及び表 4-9 (2) に示すモーメントから、ボルトの軸力は以下のよう
に算出できる。

$$F_t = \frac{4 \cdot M_{fmax}}{D_1 \cdot n}$$

したがって、ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_s} + \frac{F_{axl}}{A_s \cdot n}$$

ここに、

f_t : ボルトの発生応力 (MPa)

A_s : ボルトの有効断面積 = $\frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$ (mm²)

d_b : ボルトのねじ部谷径 = mm

F_{axl} : 表 4-10 (1) 及び表 4-10 (2) に示す軸方向荷重 (N)

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は、4.4.2 項 (2) に示すフランジに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。

ボルトの設計荷重を表 4-10 (1) 及び表 4-10 (2) に示す。

表 4-10 (1) ボルトの設計荷重 (設計・建設規格)

(単位 : N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	プールスウェル (気泡形成)	
5	蒸気凝縮振動 (C O)	
6	チャギング (C H)	

表 4-10 (2) ボルトの設計荷重 (告示第 5 0 1 号)

(単位 : N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	プールスウェル (気泡形成)	
5	蒸気凝縮振動 (C O)	
6	チャギング (C H)	

4.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 計算方法」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力が表 4-3, 表 4-4 及び表 4-5 を用いて算出される許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足している。

(1) 重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表 5-1, 表 5-2 に示す。

なお、各評価点における計算応力は表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、発生値が最も高い評価を記載している。

表 5-1 設計・建設規格の規定に基づく重大事故等時に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		荷重組合せ
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
原子炉隔離時 冷却系ストレーナ	P1	こし筒とフランジの取付部	一次膜応力 +一次曲げ応力	29		SA-3
	P2	フランジ	曲げ応力	2		SA-3
	P3	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	2		SA-3

表 5-2 告示第 501 号の規定に基づく重大事故等時に対する応力評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位		応力分類	許容応力状態 V		荷重組合せ
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
原子炉隔離時 冷却系ストレーナ	P1	こし筒とフランジの取付部	一次膜応力 +一次曲げ応力	29		SA-3
	P2	フランジ	曲げ応力	2		SA-3
	P3	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	2		SA-3

6. 引用文献

- (1) WARREN C. YOUNG, “ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 8th Edition,
McGraw-Hill Professional Pub (2011/12)

VI-3-3-3-2-3 原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの
強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「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

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)
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ (ティー)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.310]*1	104*2	— [0.310]*1	120	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

注記*1：原子炉隔離時冷却系ストレーナ（ティー）は、その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため、最高使用圧力を設定しないが、ここでは、原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を [] 内に示す。

*2：サブプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	12
4.3 解析モデル及び諸元	13
4.4 計算方法	15
4.4.1 ティーの計算方法	15
4.5 計算条件	16
4.5.1 応力解析に用いるモーメント	16
4.6 応力の評価	17
5. 評価結果	18
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、重大事故等クラス2機器として兼用される原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーについて、VI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は、「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（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4において「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））に適合することと規定されている。

本計算書は、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

以下、重大事故等クラス2管としての応力評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナ部ティーは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。</p>	<p>ティー形の管継手</p>	<p>原子炉格納容器シェル部</p> <p>原子炉格納容器貫通部 (X-214)</p> <p>原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティー</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの応力評価は、「2.1 構造計画」にて示すストレナ部ティーの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて、設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの応力評価フローを図2-1に示す。

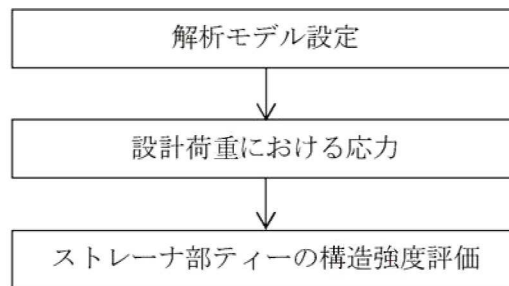


図2-1 原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの応力評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（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。）
- ・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））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$S_{pr m}^{*1*2}$	発生応力	MPa
P_m^{*1*2}	内面に受ける最高の圧力	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1^{*1}	設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (= <input type="text"/>)	—
B_{2b}^{*1}	設計・建設規格 式 PPB-4. 29 により計算した分岐管の応力係数 $= 0.4 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
R_m^{*1}	主管の平均半径	mm
T_r^{*1}	主管の厚さ	mm
B_{2r}^{*1}	設計・建設規格 式 PPB-4. 30 により計算した主管の応力係数 $= 0.5 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
M_{ab}^{*1}	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	N・mm
M_{ar}^{*1}	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	N・mm
M_{bb}^{*1}	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	N・mm
M_{br}^{*1}	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	N・mm
Z_b^{*1}	分岐管の断面係数	mm ³
Z_r^{*1}	主管の断面係数	mm ³
i_i^{*2}	告示第 501 号第 57 条に規定する応力係数又は 1.33 のいずれか大きい方の値 $= \frac{0.9}{h^{2/3}}$ (= <input type="text"/>)	—
h^{*2}	i_i 算出に必要な値 $= 4.4 \cdot \frac{t}{r}$	—
r^{*2}	h 算出に必要な値, 管断面の平均半径 $= \frac{D_o - t}{2}$	mm

記号	記号の説明	単位
M_a^{*2}	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	N・mm
M_b^{*2}	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	N・mm
Z^{*2}	管の断面係数	mm ³

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

注記*1：設計・建設規格に規定の応力計算に用いる記号

*2：告示第501号に規定の応力計算に用いる記号

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*2
面積	mm ²	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
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
計算応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第3位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。また、告示第501号別表に記載された許容引張応力は、各温度の値をSI単位に換算し、SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ストレーナ部ティーについて実施する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーのフランジの評価は、ストレーナ側フランジと同じ板厚で設計しており（ティー側フランジ厚さ□mm、ストレーナ側フランジ厚さ□mm）、ティー側フランジにかかる荷重はストレーナ側フランジと同じであり、VI-3-3-3-2-2「原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため、ここでは記載を省略する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

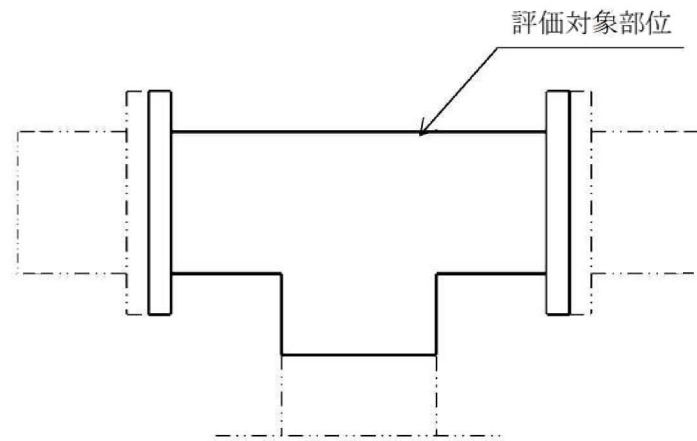


図3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状

表3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-214			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ストレーナ部ティーは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態を表 4-1 に、荷重の組合せ整理表を表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力を表 4-3 及び表 4-4 に示す。なお、評価対象は、基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力評価条件を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー



表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力状態)
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティ	重大事故等クラス 2	$D + P_{SAD} + M_{SAD}$	重大事故等時*

注記*：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態V(L)は供用状態A，運転状態V(S)は供用状態Dの許容限界を用い，
告示第501号に規定の応力計算では運転状態V(L)は許容応力状態I_A，運転状態V(S)は許容応力状態IV_Aの許容限界を用いる。

表 4-2 荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			供用状態 (許容応力状態)
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気 凝縮 (CO)	チャギング (CH)	
SA-1	運転状態V(L)	○		○						重大事故等時*
SA-2	運転状態V(S)	○		○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態V(S)	○		○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態V(S)	○					○			重大事故等時*

注記*：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態V(L)は供用状態A，運転状態V(S)は供用状態Dの許容限界を用い，
告示第501号に規定の応力計算では運転状態V(L)は許容応力状態I_A，運転状態V(S)は許容応力状態IV_Aの許容限界を用いる。

表 4-3 設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力（重大事故等クラス2管（クラス2，3管））

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
重大事故等時*	運転状態V(L)	S	1.5・S
	運転状態V(S)	S	1.8・S

注記*：重大事故等時として運転状態V(L)は供用状態A，運転状態V(S)は供用状態Dの許容限界を用いる。

表 4-4 告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力（重大事故等クラス2管（第3種管））

状態	運転状態	許容限界	
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)
許容応力状態V*	運転状態V(L)	S	S
	運転状態V(S)	S	1.2・S

注記*：重大事故等時として運転状態V(L)は許容応力状態I_A，運転状態V(S)は許容応力状態IV_Aの許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)
		ティー	<input type="text"/>	

表 4-6 使用材料の告示第 5 0 1 号に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)
		ティー	<input type="text"/>	

4.2.4 設計荷重

ストレーナ部に作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，ストレーナ部に作用する伝達荷重を考慮する。なお，原子炉隔離時冷却系ストレーナ部に付着する異物は想定しない。

(1) 死荷重

ティーの評価点の死荷重を表 4-7 に示す。

表 4-7 死荷重

(単位：N)

部位	原子炉隔離時冷却系
ティー	<input type="text"/>

(2) 内圧

原子炉格納容器の最高使用圧力 MPa を内圧として考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはVI-2-5-4-2-3「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また、機器の諸元を表4-8(1)及び表4-8(2)に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナ部から原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各部の質量は、ティー及び原子炉格納容器貫通部については各節点に分布荷重として与え、ストレーナについては図4-1の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、応答解析では内包水の影響を加味し、質量に含める。
- (5) 解析コードは「ISAP」及び「MSC NASTRAN」を使用し、荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

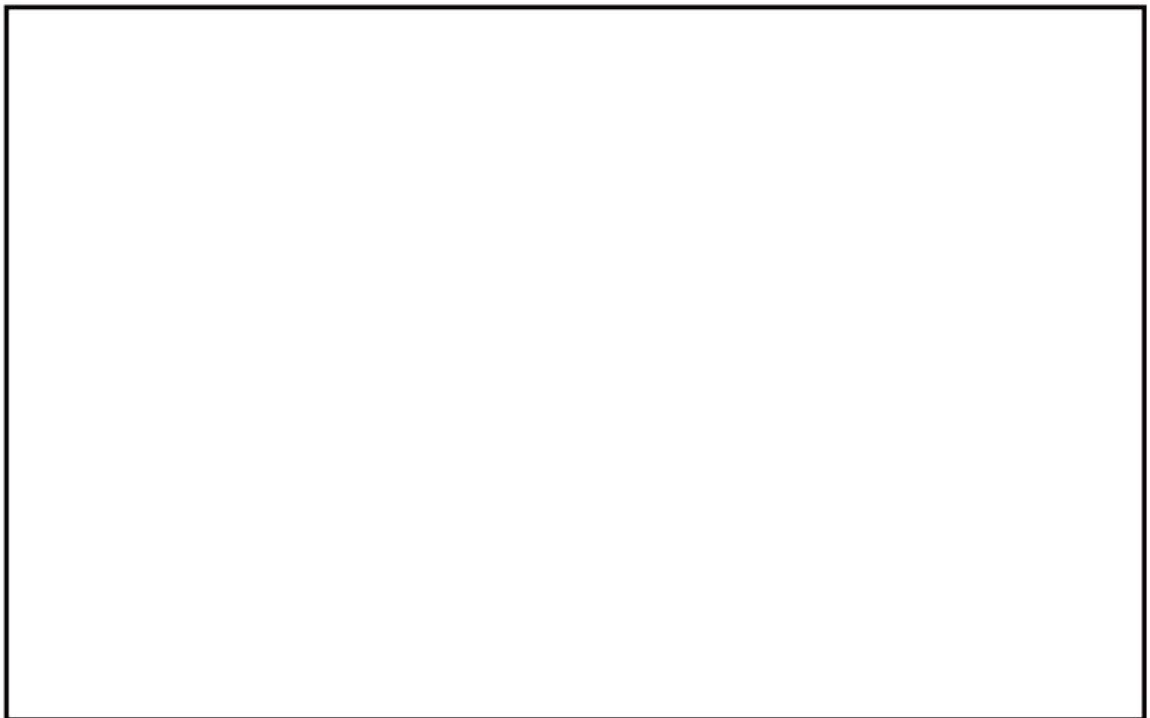


図4-1 応答解析用モデル

表 4-8(1) 機器諸元 (設計・建設規格)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの 内包水の質量	kg	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

表 4-8(2) 機器諸元 (告示第 5 0 1 号)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部ティーの 内包水の質量	kg	
温度	℃	120
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

4.4 計算方法

4.4.1 ティーの計算方法

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 及び告示第 501 号第 56 条に従い算出する。

設計・建設規格 PPC-3520 に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prn} = \frac{B_1 \cdot P_m \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b}(M_{ab} + M_{bb})}{Z_b} + \frac{B_{2r}(M_{ar} + M_{br})}{Z_r}$$

また、告示第 501 号第 56 条に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prn} = \frac{P_m \cdot D_0}{4 \cdot t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

4.5 計算条件

4.5.1 応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは、主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは「4.2.4 設計荷重」に示したようにストレナ部から伝達される荷重を考慮し、分岐管のモーメントはストレナ部からの伝達荷重に加え、ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表4-9 (1) 及び表4-9 (2) に示す。ここでのモーメントとは、原子力発電所耐震設計技術指針の考え方に基づいて設定した3方向それぞれのモーメントである。

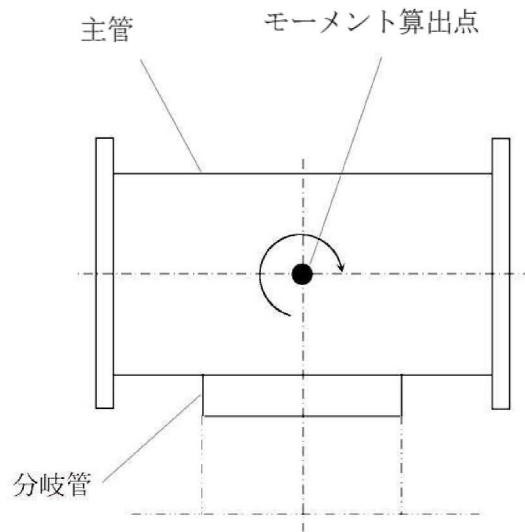


図4-2 ティーのモーメント算出点

表4-9 (1) ティーの設計荷重 (設計・建設規格)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	SRV荷重		
5	プールスウェル (気泡形成)		
6	蒸気凝縮 (CO)		
7	チャギング (CH)		

表 4-9 (2) ティーの設計荷重 (告示第 501 号)

(単位: N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	SRV 荷重		
5	プールスウェル (気泡形成)		
6	蒸気凝縮 (CO)		
7	チャギング (CH)		

4.6 応力の評価

「4.5 計算条件」で求めた応力が表 4-3, 表 4-4, 表 4-5 及び表 4-6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足していることを確認した。

(1) 重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

なお、各評価点における計算応力は表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、発生値が最も高い評価を記載している。

表 5-1 設計・建設規格に基づく重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	ティー	V(S)	一次応力	8	190	SA-3

表 5-2 告示第 501 号に基づく重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD})

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	許容応力状態 V		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	ティー	V(S)	一次応力	5	128	SA-3

VI-3-3-3-3-2-4 弁の強度計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-11「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 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
E51-F004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	11.77	302	11.77	302	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
E51-F037	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	無	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

目 次

1. 重大事故等クラス2弁	1
1.1 設計仕様	2
1.2 強度計算書	3

1. 重大事故等クラス2 弁

1.1 設計仕様

系統： 原子炉隔離時冷却系

機器の区分		重大事故等クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
F004	止め弁	150	SCPH2	SCPH2	
F037	止め弁	150	SCPH2	SCPH2	

1.2 強度計算書

系統： 原子炉隔離時冷却系

弁番号	F004	シート	1
-----	------	-----	---

		設計・ 建設規格	告示 第501号			設計・ 建設規格	告示 第501号
設計条件				ネック部の厚さ			
最高使用圧力P (MPa)	11.77			d_n (mm)	<input type="text"/>		
最高使用温度 T_m (°C)	302			d_n / d_m	<input type="text"/>		
弁箱又は弁ふたの厚さ				ℓ (mm)	<input type="text"/>	—	
弁箱材料	SCPH2			t_{m1} (mm)	12.8	—	
弁ふた材料	SCPH2			t_{m2} (mm)	12.3	—	
P_1 (MPa)	9.95	—		t_{ma1} (mm)	<input type="text"/>		
P_2 (MPa)	14.95	—		t_{ma2} (mm)	<input type="text"/>		
d_m (mm)	<input type="text"/>			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。			
t_1 (mm)	11.1	—					
t_2 (mm)	15.7	—					
t (mm)	12.8	—					
t_{ab} (mm)	<input type="text"/>						
t_{af} (mm)	<input type="text"/>						
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。							

K6 ① VI-3-3-3-2-4 R0

K6 ① VI-3-3-3-2-4 R0

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)	23.04	H_D	(N) 5.862×10^5
P_{eq}	(MPa)	11.27	h_D	(mm) 50.0
T_m	(°C)	302	M_D	(N・mm) 2.931×10^7
M_e	(N・mm)		H_G	(N) 5.925×10^5
F_e	(N)		h_G	(mm) 62.7
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 3 図 2(b) (7)		M_G	(N・mm) 3.713×10^7
フランジ			H_T	(N) 1.716×10^5
材料	SCPH2		h_T	(mm) 68.8
σ_{fa}	(MPa)	120	M_T	(N・mm) 1.182×10^7
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			M_o	(N・mm) 7.825×10^7
σ_{fb}	(MPa)	117	M_g	(N・mm) 1.178×10^8
最高使用温度 (使用状態)			フランジの厚さと係数	
A	(mm)		t	(mm) <input type="text"/>
B	(mm)		K	2.26
C	(mm)		h_o	(mm) <input type="text"/>
g_o	(mm)		f	1.00
g_1	(mm)		F	0.806
h	(mm)		V	0.272
ボルト			e	(mm ⁻¹) 0.01022
材料			d	(mm ³) 962107
σ_a	(MPa)	173	L	2.35
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			T	1.42
σ_b	(MPa)	173	U	2.79
最高使用温度 (使用状態)			Y	2.53
n			Z	1.49
d_b	(mm)		応力の計算	
ガスケット			σ_{Ho}	(MPa) 81
材料			σ_{Ro}	(MPa) 46
ガスケット厚さ	(mm)		σ_{To}	(MPa) 50
G	(mm)		σ_{Hg}	(MPa) 94
m			σ_{Rg}	(MPa) 69
y	(N/mm ²)		σ_{Tg}	(MPa) 75
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)	7.578×10^5		
H_p	(N)	5.925×10^5		
W_{m1}	(N)	1.350×10^6		
W_{m2}	(N)	2.954×10^5		
A_{m1}	(mm ²)	7.805×10^3		
A_{m2}	(mm ²)	1.707×10^3		
A_m	(mm ²)	7.805×10^3		
A_b	(mm ²)	<input type="text"/>		
W_o	(N)	1.350×10^6		
W_g	(N)	1.880×10^6		
評価： $A_m < A_b$			よって十分である。	

系統： 原子炉隔離時冷却系

弁番号	F037	シート	1
-----	------	-----	---

		設計・ 建設規格	告示 第501号			設計・ 建設規格	告示 第501号
設計条件				ネック部の厚さ			
最高使用圧力P (MPa)		8.62		d_n (mm)	<input type="text"/>		
最高使用温度 T_m (°C)		302		d_n / d_m	<input type="text"/>		
弁箱又は弁ふたの厚さ				ℓ (mm)	—		
弁箱材料		SCPH2		t_{m1} (mm)	—		
弁ふた材料		SCPH2		t_{m2} (mm)	—	12.4	
P_1 (MPa)	6.64	—		t_{ma1} (mm)	—		
P_2 (MPa)	9.95	—		t_{ma2} (mm)	<input type="text"/>		
d_m (mm)	<input type="text"/>			評価： $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。			
t_1 (mm)	11.2	—					
t_2 (mm)	12.6	—					
t (mm)	12.1	—					
t_{ab} (mm)	<input type="text"/>						
t_{af} (mm)	<input type="text"/>						
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。							

K6 ① VI-3-3-3-2-4 R0

K6 ① VI-3-3-3-2-4 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)	14.96	H_D	(N) 3.976×10^5
P_{eq}	(MPa)	6.34	h_D	(mm) 69.0
T_m	(°C)	302	M_D	(N・mm) 2.743×10^7
M_e	(N・mm)		H_G	(N) 4.977×10^5
F_e	(N)		h_G	(mm) 66.1
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 3 図 2(b) (7)		M_G	(N・mm) 3.291×10^7
フランジ			H_T	(N) 3.232×10^5
材料	SCPH2		h_T	(mm) 82.1
σ_{fa}	(MPa)	120	M_T	(N・mm) 2.652×10^7
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			M_o	(N・mm) 8.687×10^7
σ_{fb}	(MPa)	117	M_g	(N・mm) 1.082×10^8
最高使用温度 (使用状態)			フランジの厚さと係数	
A	(mm)		t	(mm) <input type="text"/>
B	(mm)		K	2.45
C	(mm)		h_o	(mm) <input type="text"/>
g_o	(mm)		f	1.00
g_1	(mm)		F	0.763
h	(mm)		V	0.174
ボルト			e	(mm ⁻¹) 0.01027
材料	<input type="text"/>		d	(mm ³) 975270
σ_a	(MPa)	173	L	1.92
常温 (ガスケット締付時) (20°C)			T	1.36
σ_b	(MPa)	173	U	2.53
最高使用温度 (使用状態)			Y	2.31
n		<input type="text"/>	Z	1.40
d_b	(mm)	<input type="text"/>	応力の計算	
ガスケット			σ_{Ho}	(MPa) 78
材料	<input type="text"/>		σ_{Ro}	(MPa) 78
ガスケット厚さ	(mm)	<input type="text"/>	σ_{To}	(MPa) 54
G	(mm)	<input type="text"/>	σ_{Hg}	(MPa) 79
m		<input type="text"/>	σ_{Rg}	(MPa) 97
y	(N/mm ²)	<input type="text"/>	σ_{Tg}	(MPa) 67
b_o	(mm)	<input type="text"/>	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)	<input type="text"/>		
N	(mm)	<input type="text"/>		
G_s	(mm)	<input type="text"/>		
ボルトの計算				
H	(N)	7.208×10^5		
H_p	(N)	4.977×10^5		
W_{m1}	(N)	1.218×10^6		
W_{m2}	(N)	3.822×10^5		
A_{m1}	(mm ²)	7.043×10^3		
A_{m2}	(mm ²)	2.209×10^3		
A_m	(mm ²)	7.043×10^3		
A_b	(mm ²)	<input type="text"/>		
W_o	(N)	1.218×10^6		
W_g	(N)	1.637×10^6		
評価： $A_m < A_b$			よって十分である。	

VI-3-3-3-3-2-5 管の強度計算書

VI-3-3-3-3-2-5-1 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・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	S A クラス	条件 アップ の有無	DB条件		S A条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	184	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	77	1.37	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
5	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
6	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
7	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	77	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
その他 1	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
その他 2	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
その他 3	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	0.98	184	0.98	184	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
その他 4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	77	1.37	77	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

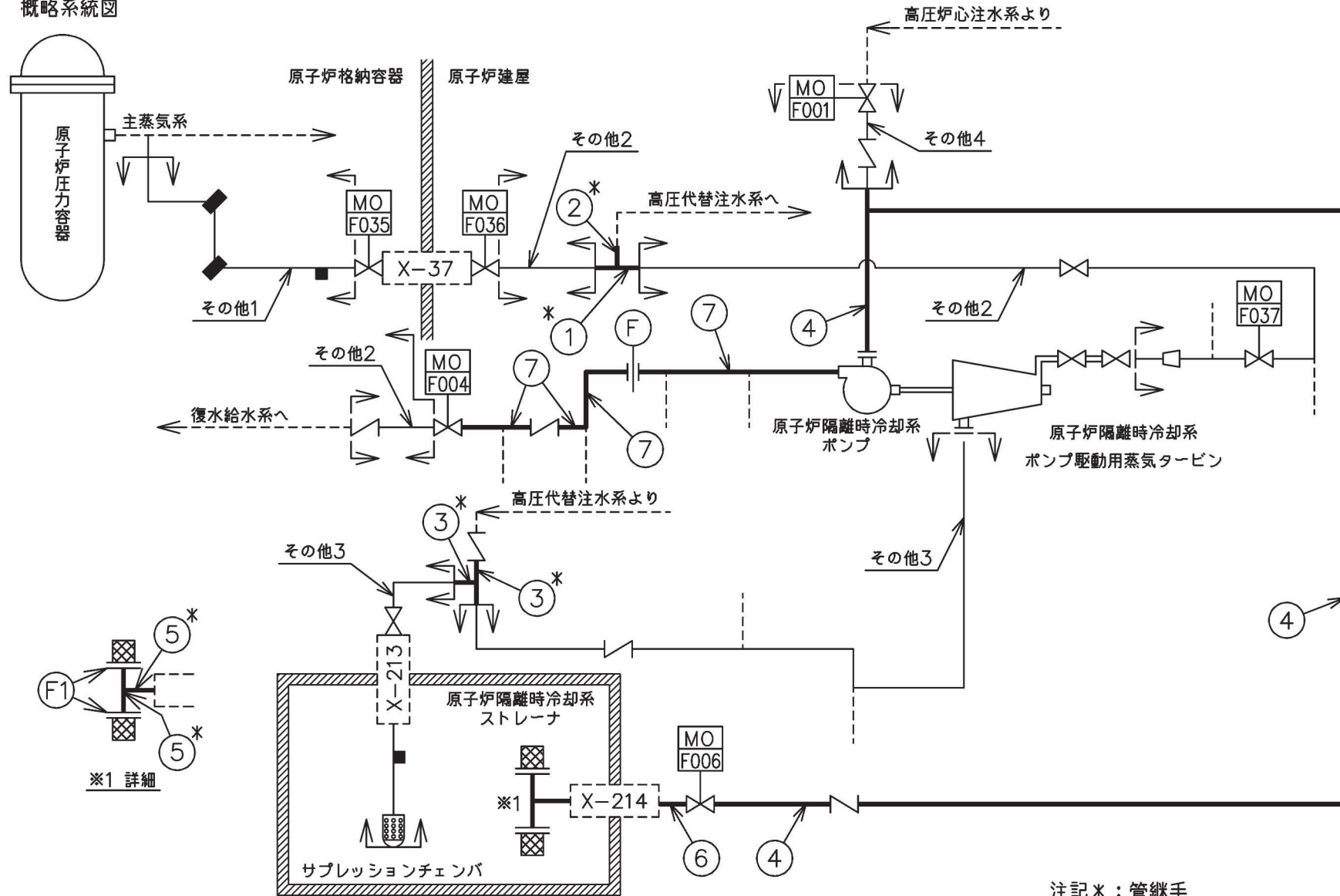
・適用規格の選定

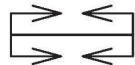
管 No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
2	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
3	管の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
4	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
5	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
6	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
7	管の強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格

目 次

1. 概略系統図	1
2. 管の強度計算書	2
3. フランジの強度計算書	3

1. 概略系統図




 本範囲の強度計算は、平成4年3月27日付け 3資庁第13033号にて
 認可された工事計画のIV-3-1-4-1-1「管の基本板厚計算書」による。

注記*：管継手
 原子炉隔離時冷却系概略系統図

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	8.62	302	165.20	14.30	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	12.51	6.69	A	6.69
2	8.62	302	114.30	11.10	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	9.71	4.63	A	4.63
3	0.98	184	355.60	11.10	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	9.71	1.69	C	3.80
4	1.37	120	216.30	8.20	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	7.17	1.43	C	3.80
5	0.31	120				S	2	106	1.00	12.5%	7.17	0.32	A	0.32
6	0.31	120	216.30	8.20	STS42	S	2	103	1.00	12.5%	7.17	0.33	C	3.80
7	11.77	120	165.20	18.20	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	15.92	9.03	A	9.03

評価：t s \geq t r, よって十分である。

3. フランジの強度計算書

(原子炉隔離時冷却系ストレーナ取付部ティー側フランジ：NO. F 1)

ティー側フランジの強度計算はVI-3-3-3-2-3「原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの強度計算書」で説明するため、ここでは記載を省略する。

VI-3-3-3-3-2-5-2 管の応力計算書

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

応力計算 モデル No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RCIC-001	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	77	1.37	77	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
RCIC-001	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	77	1.37	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCIC-001	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.31	104	0.31	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCIC-001	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
RCIC-001	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCIC-002	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	77	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCIC-003	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	11.77	77	11.77	120	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCIC-003	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

・評価条件整理表

応力計算 モデル No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
RCIC-004	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
RCIC-004	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	8.62	302	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCIC-005	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	8.62	302	8.62	302	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
RCIC-006	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	0.98	184	0.98	184	有	S55 告示	既工認	—	SA-2
RCIC-006	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	184	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCIC-007	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	0.98	184	0.98	184	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

目 次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	9
3.	計算条件	17
3.1	設計条件	17
3.2	材料及び許容応力	27
4.	評価結果	29
5.	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、原子炉隔離時冷却系の管の応力計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。




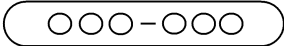

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、設計条件あるいは管クラスに変更がある管における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全5モデルのうち、最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

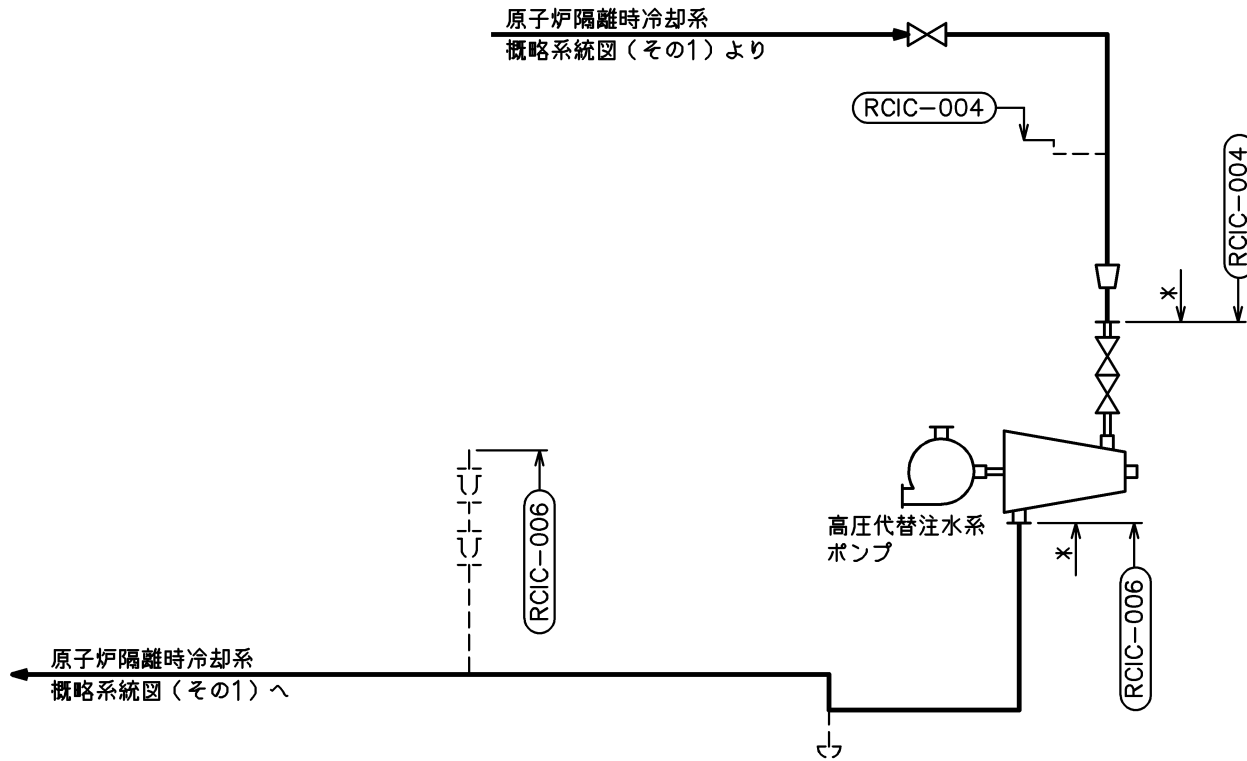
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	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、本計算書記載範囲の管
 (細線)	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、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は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、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

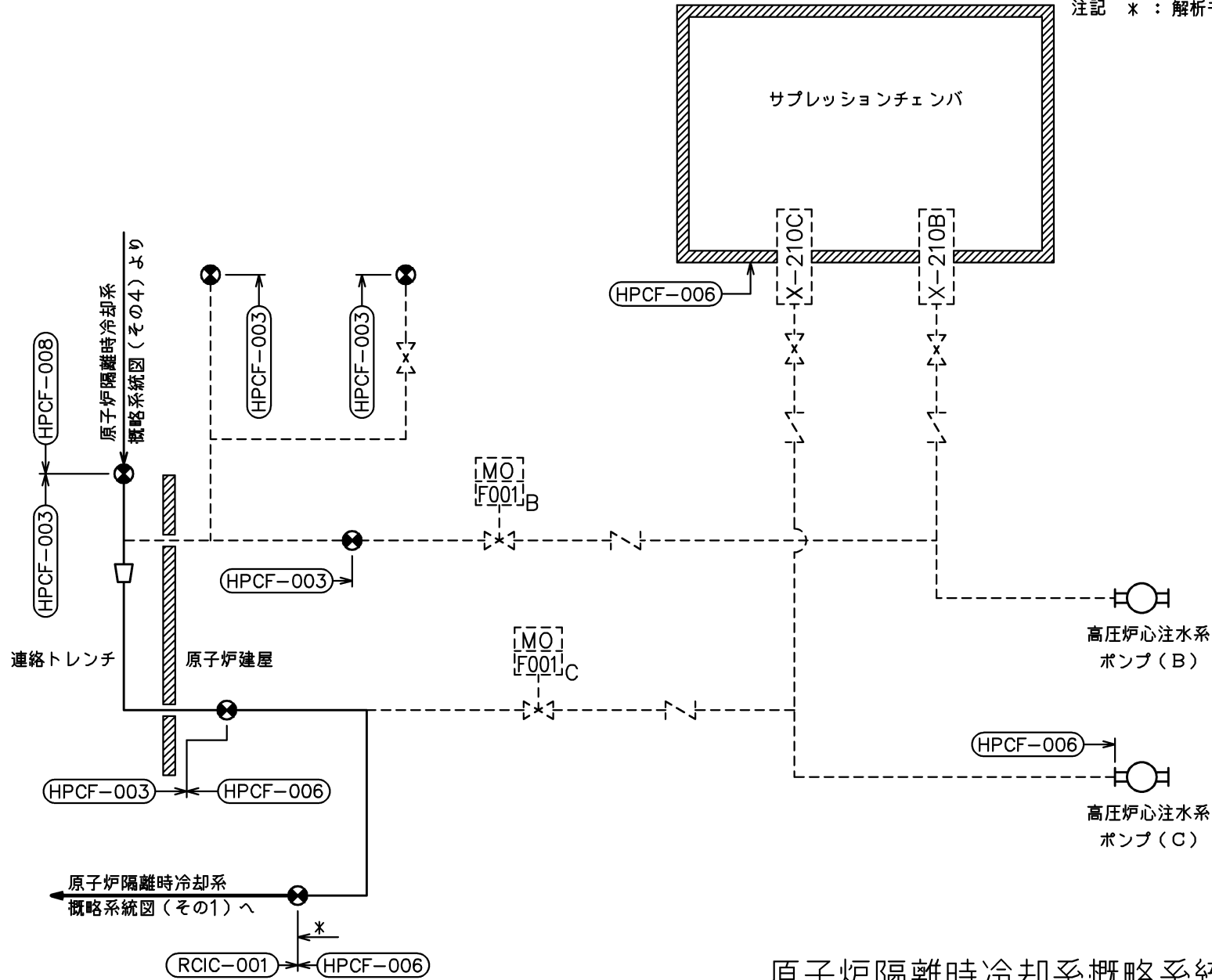
注記 * : 高压代替注水系
解析モデル上本系統に含める。



原子炉隔離時冷却系概略系統図(その2)

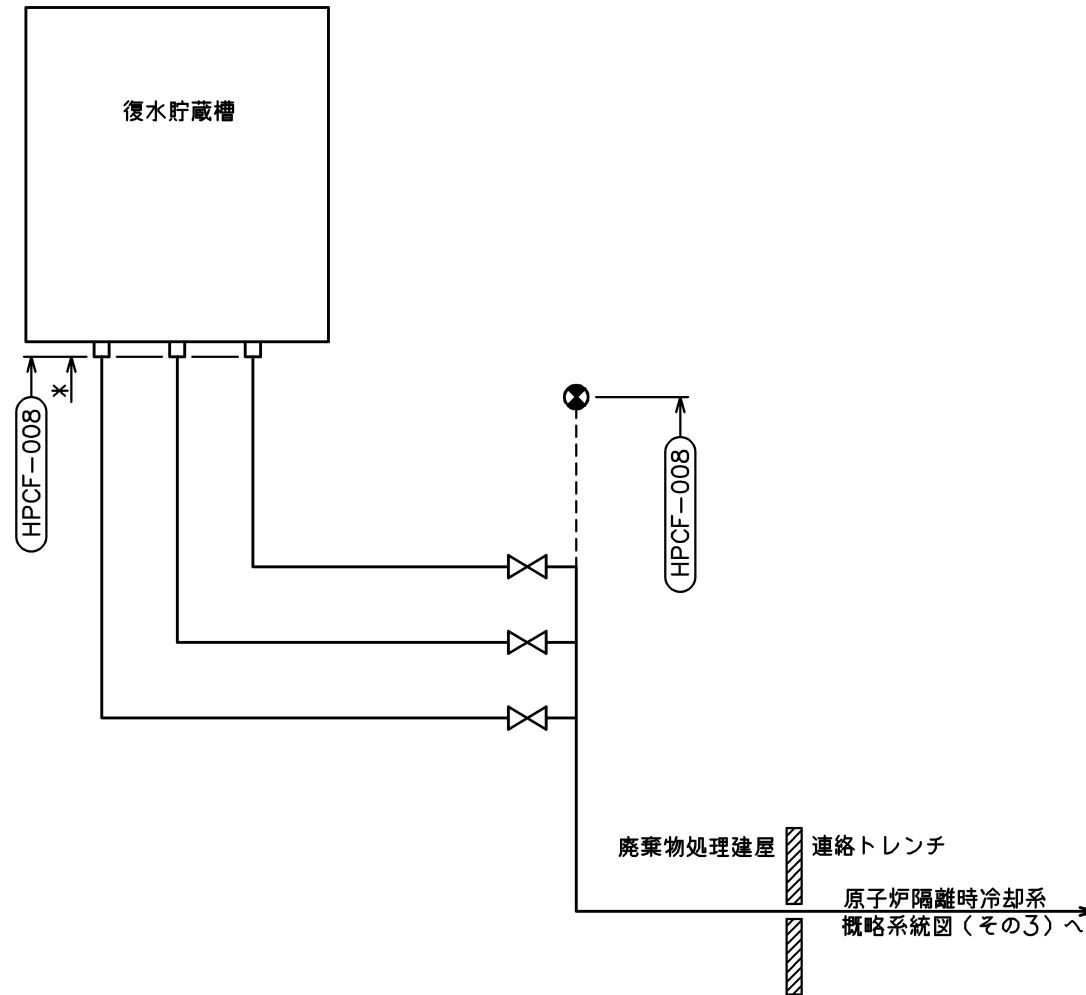
注記 * : 解析モデル上高圧炉心注水に含める。

5

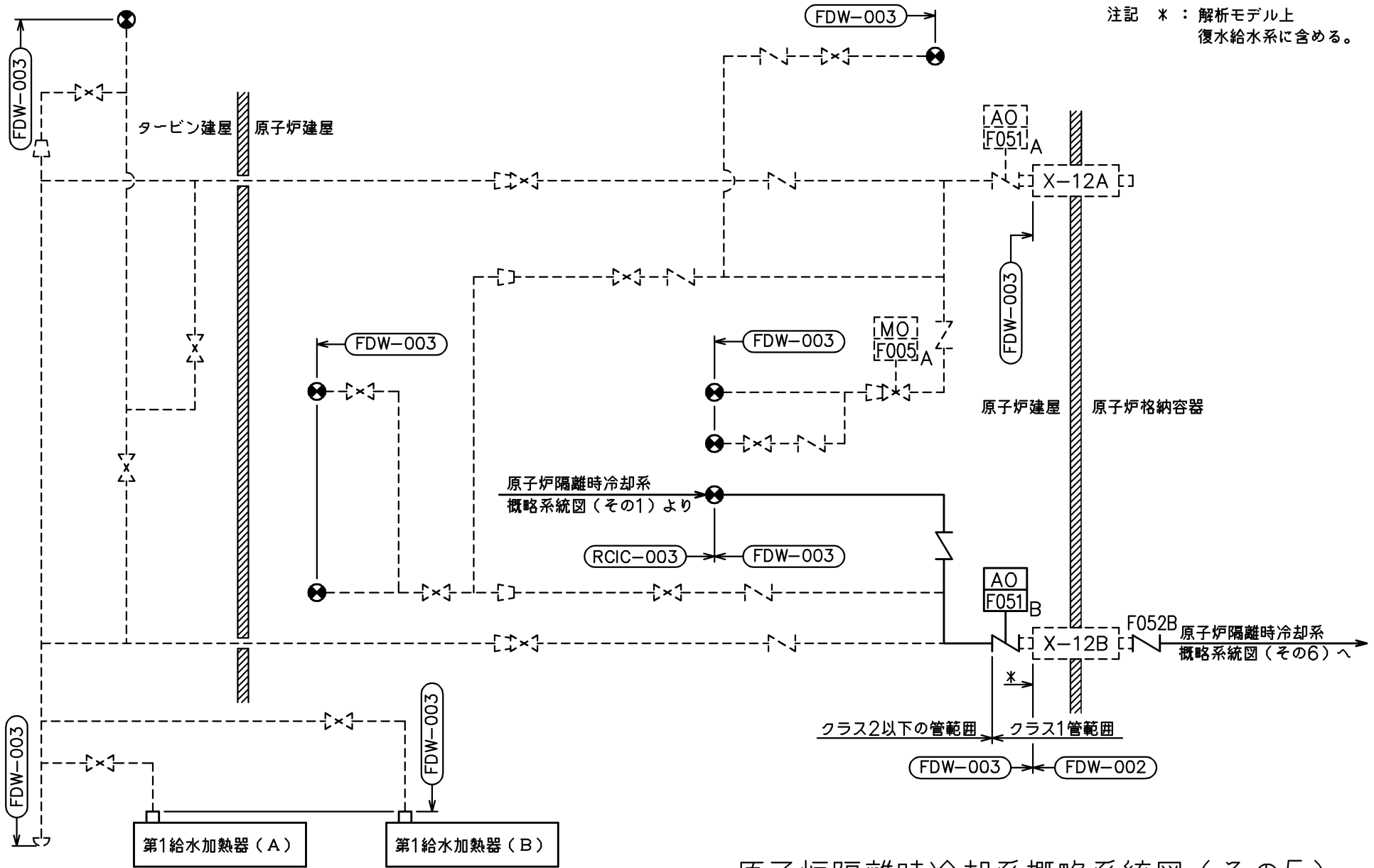


原子炉隔離時冷却系概略系統図(その3)

注記 * : 解析モデル上高圧炉心注水系に含める。



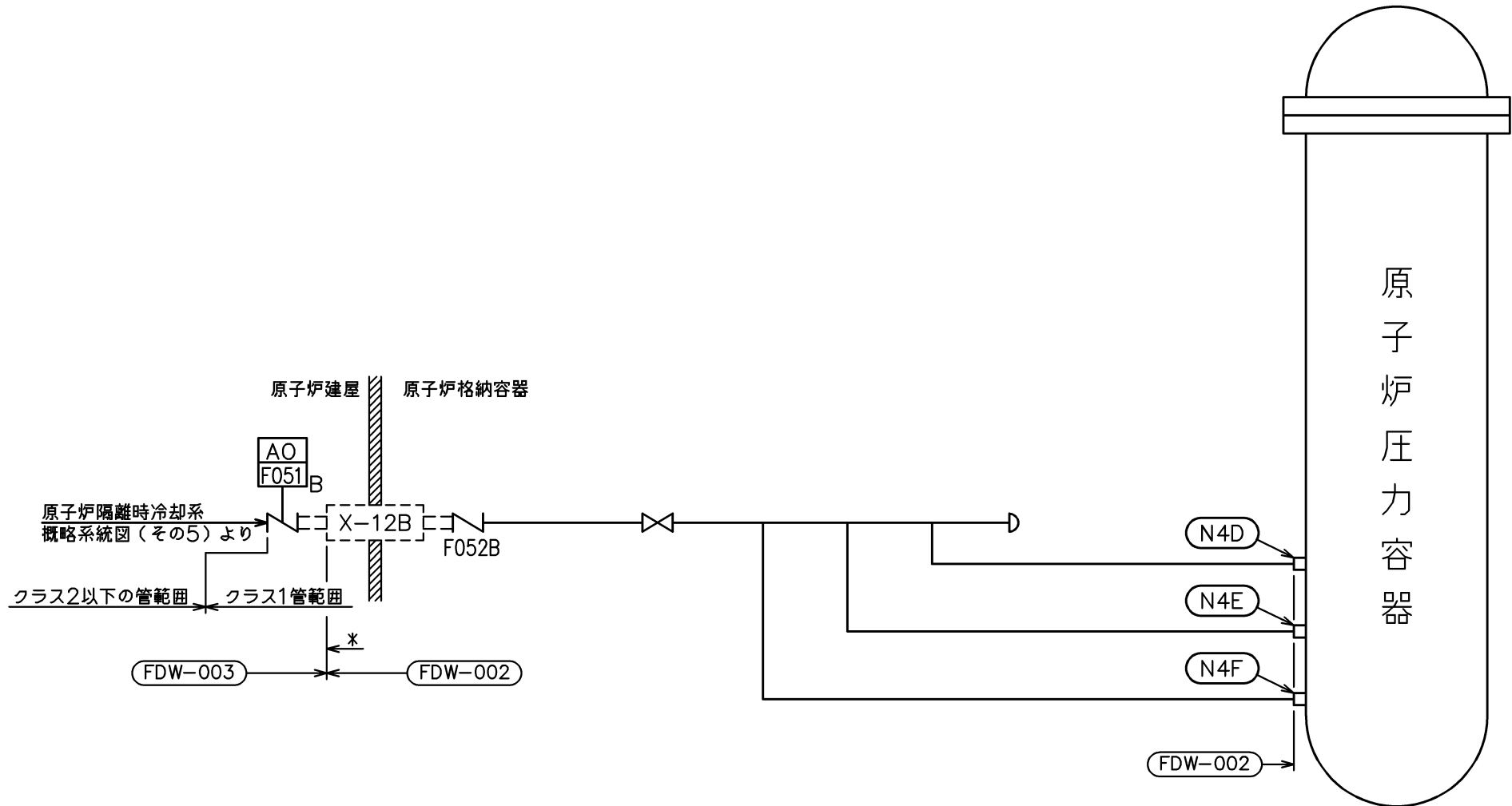
原子炉隔離時冷却系概略系統図(その4)



注記 * : 解析モデル上
復水給水系に含める。

原子炉隔離時冷却系概略系統図(その5)


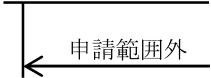
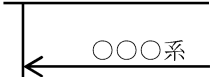


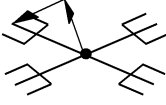
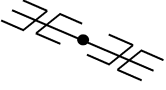

注記 *：解析モデル上復水給水系に含める。



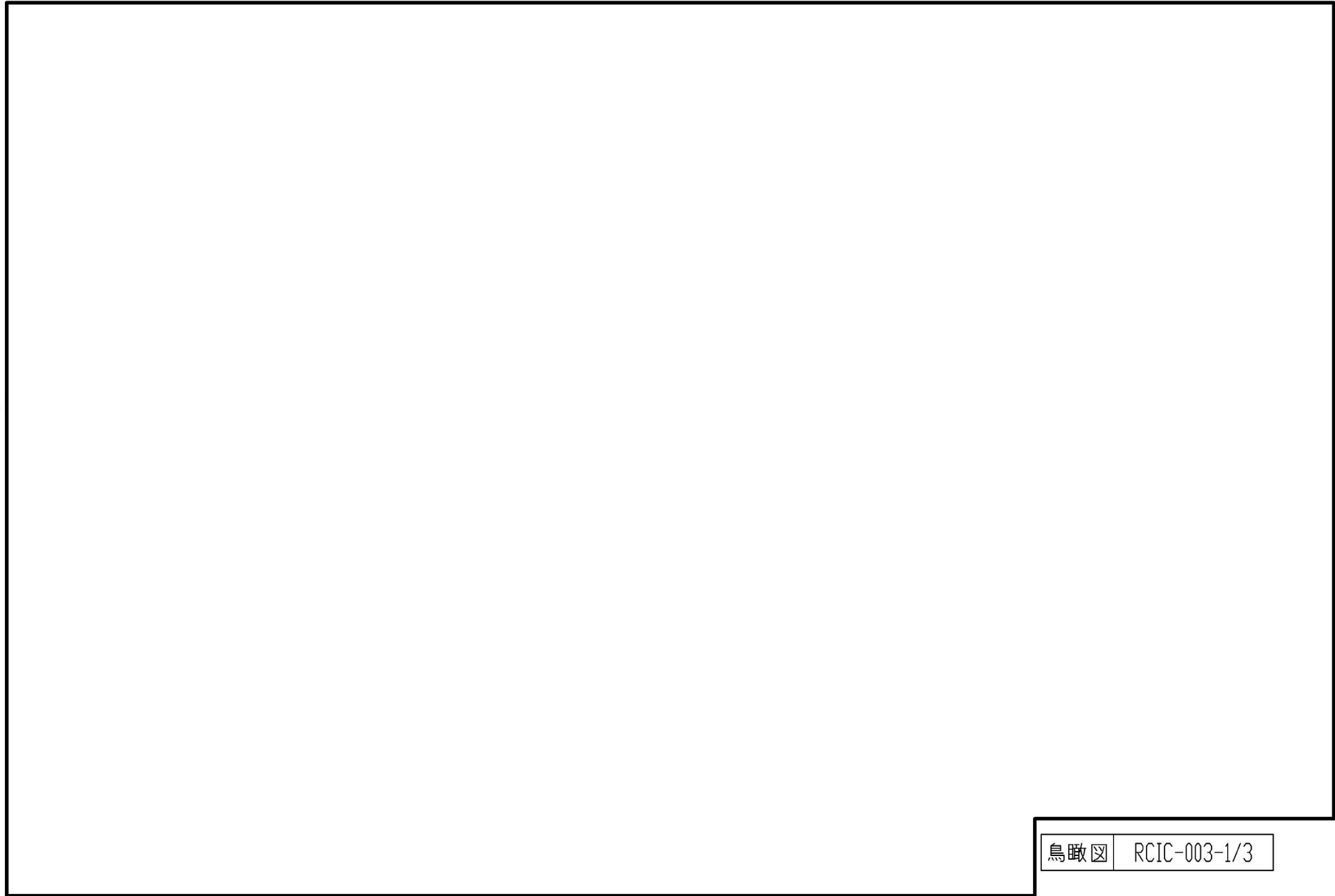
原子炉隔離時冷却系概略系統図（その6）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

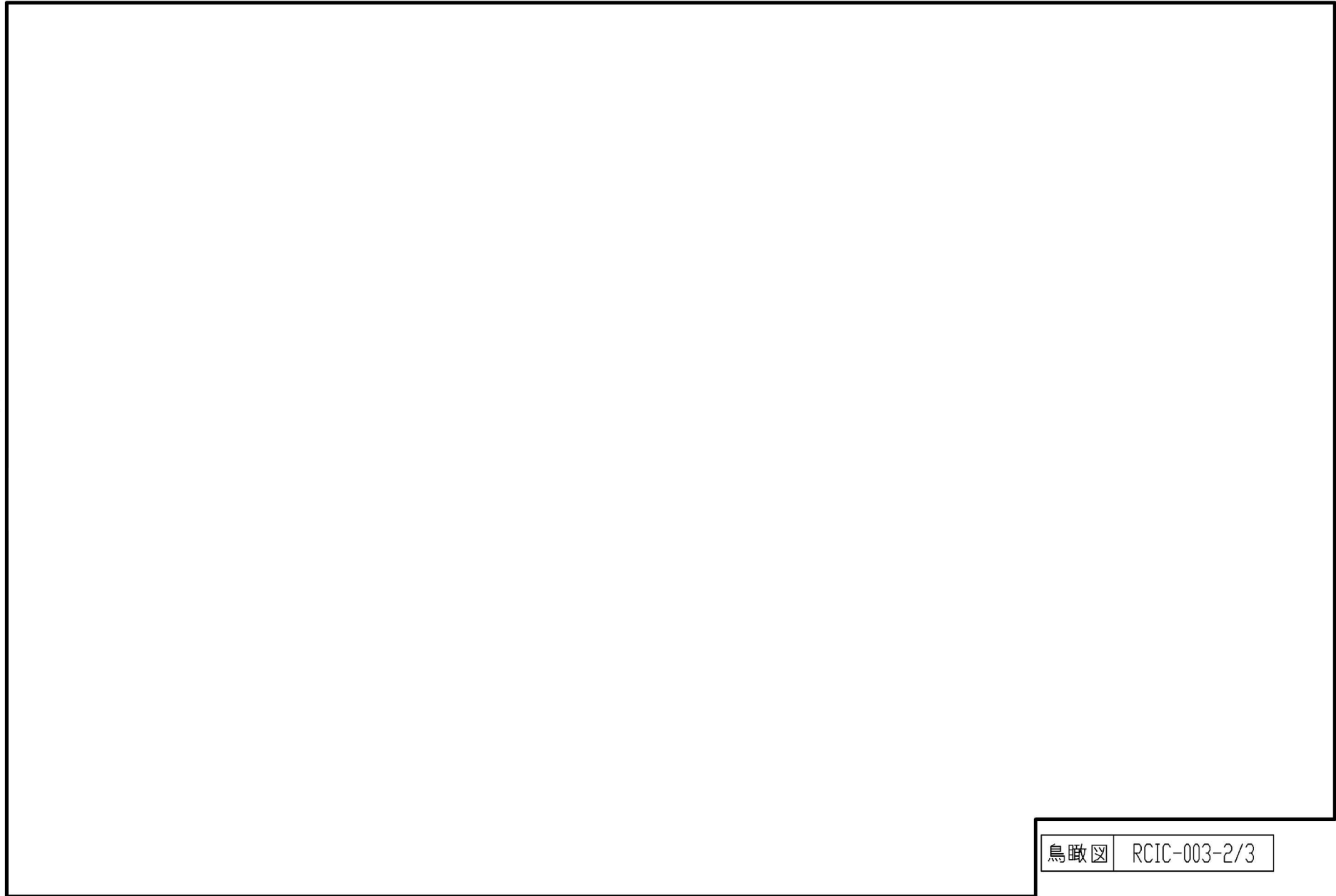
記号例	内容
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	設計及び工事の計画書記載範囲外の管
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ

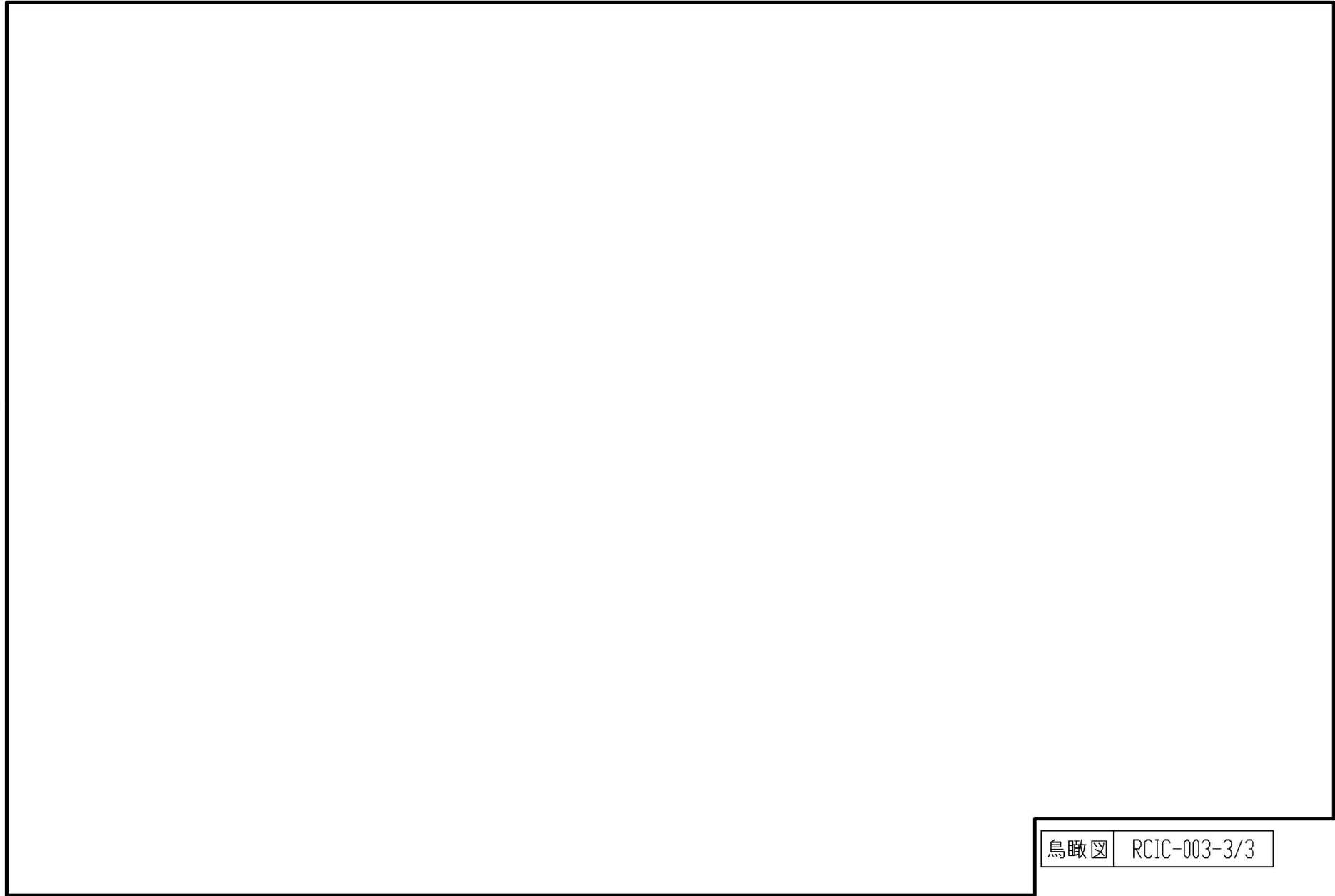
10



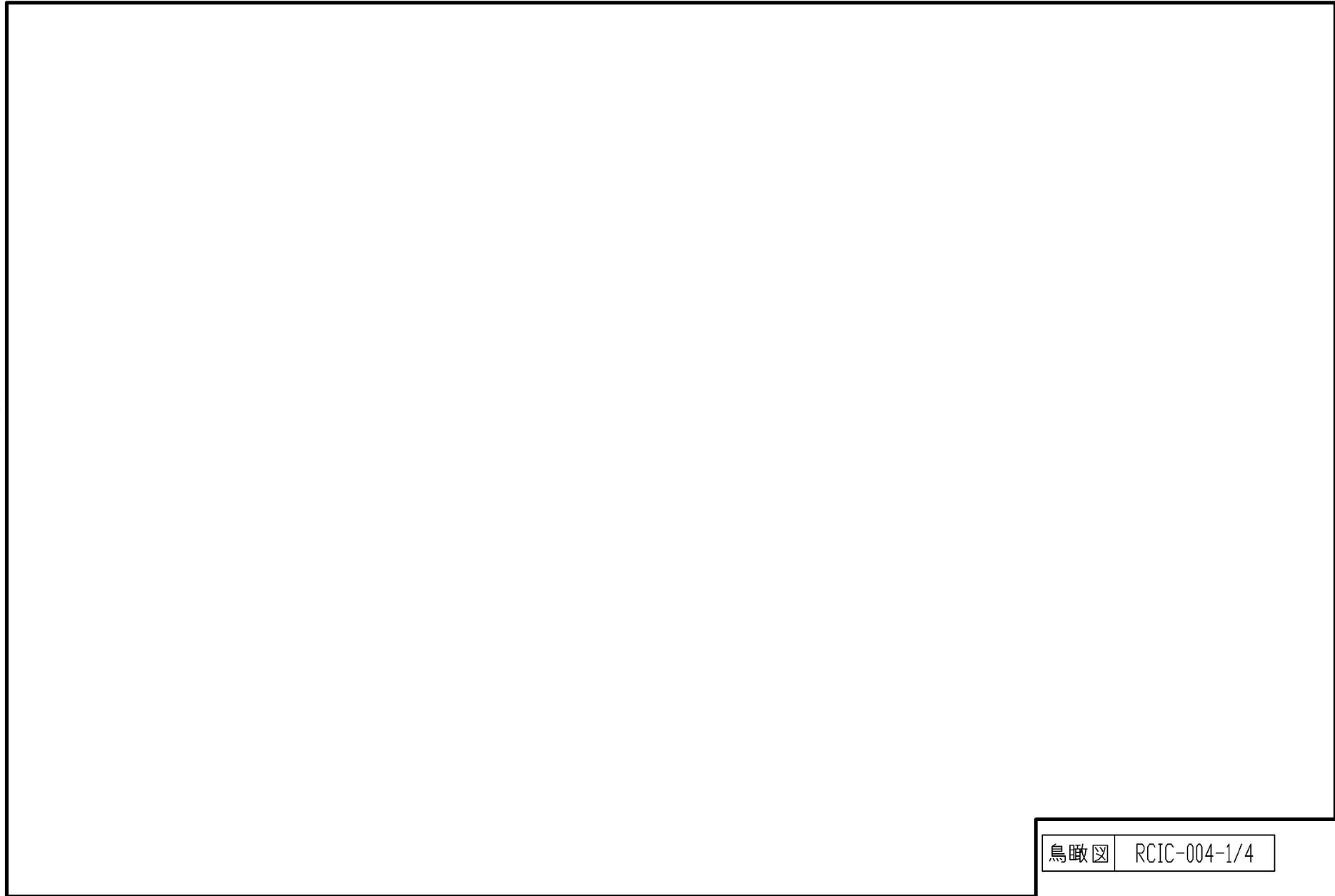
鳥瞰図	RCIC-003-1/3
-----	--------------

11

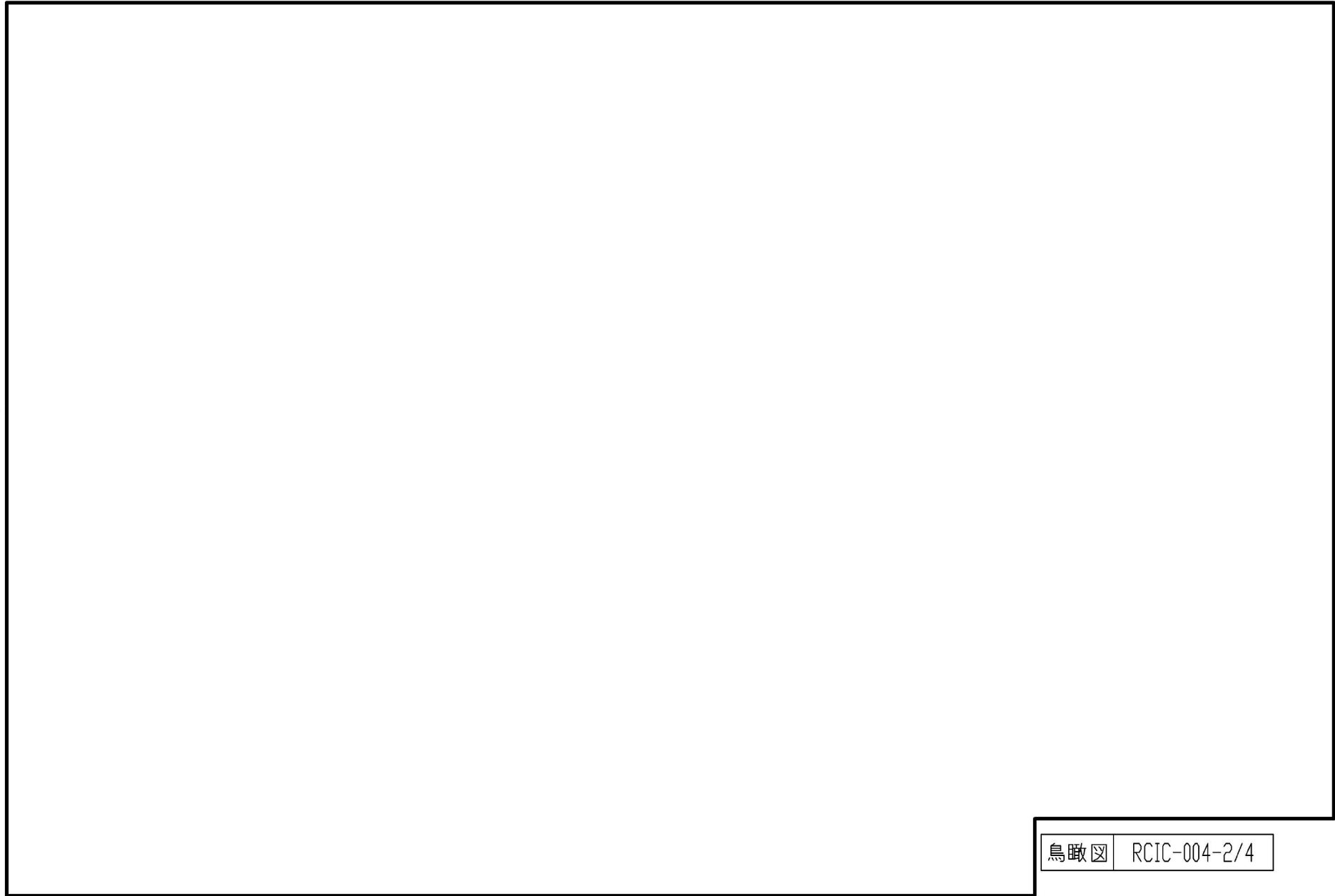




13

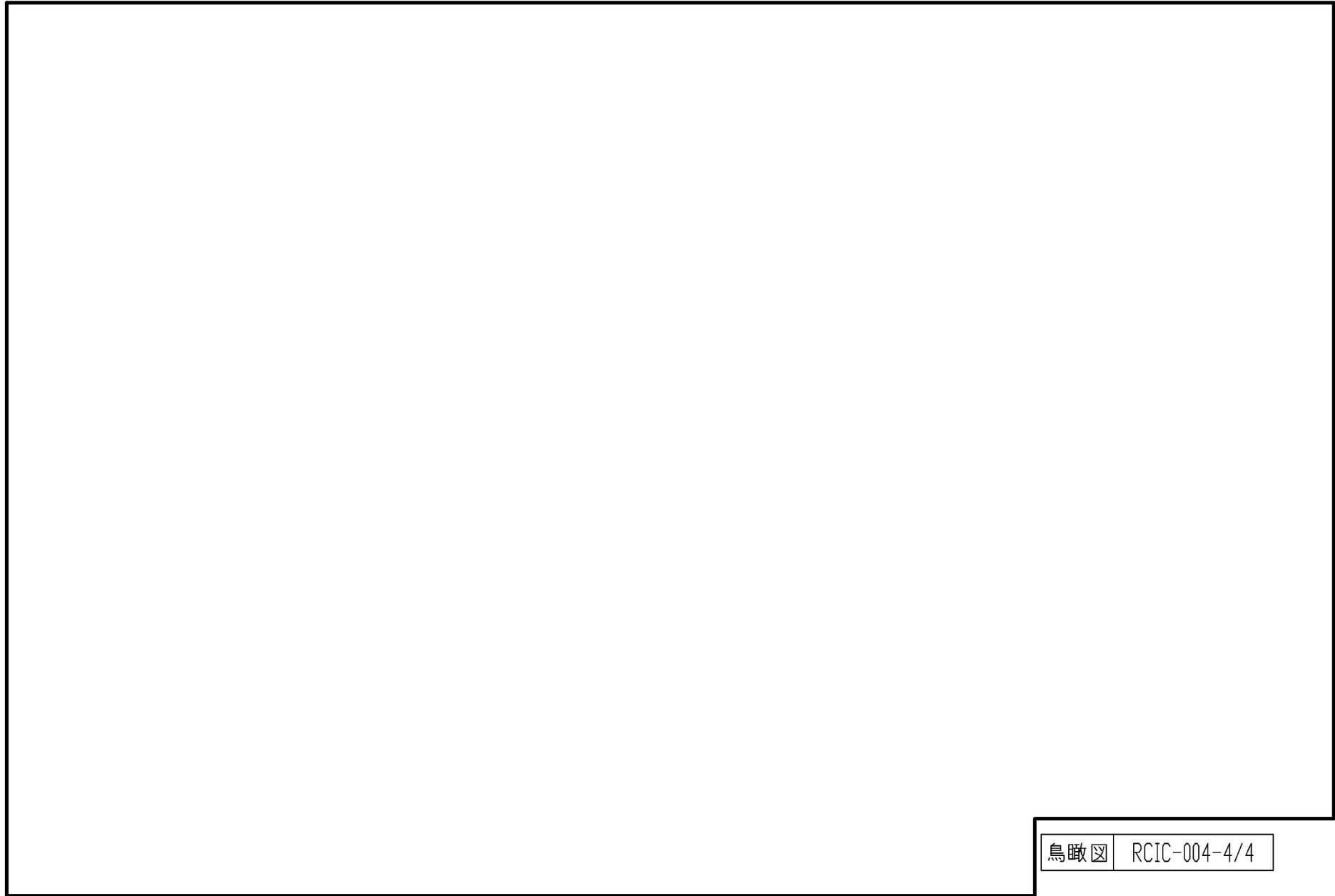


鳥瞰図	RCIC-004-1/4
-----	--------------



15

鳥瞰図	RCIC-004-3/4
-----	--------------



3. 計算条件

3.1 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 R C I C - 0 0 3

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
1	11.77	120	165.2	18.2	STS410

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 R C I C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点					
1	1	2	3	4	5	6

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 R C I C - 0 0 3

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)
1		3		5	
2		4		6	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

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
1						
4						
** 4 **						

--

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 R C I C - 0 0 4

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
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410
2	8.62	302	89.1	11.1	STS410

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 R C I C - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	103	105	106	107	108	109	110	112	115	116	117	118	119	120	121
	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
	167	802	904	906											
2	167	168	169	170	171	172	905								

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 R C I C - 0 0 4

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)
103		123		137		151		165	
105		124		138		152		166	
106		125		139		153		167	
107		126		140		154		168	
108		127		141		155		169	
109		128		142		156		170	
115		129		143		157		171	
116		130		144		158		172	
117		131		145		159		802	
118		132		146		160		904	
119		133		147		161		905	
120		134		148		162		906	
121		135		149		163			
122		136		150		164			

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
110	
111	
112	
174	
175	

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

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)
弁1	111			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

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
** 108 **						
115						
117						
126						
133						
139						
142						
147						
152						
155						
161						
165						
172						
** 175 **						
904						
905						
** 906 **						



K6 ① VI-3-3-3-2-5-2 R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力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
STS410	302	—	—	—	103

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力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
STS410	120	—	—	—	103

4. 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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
R C I C - 0 0 4	110	$S_{pr m}^{*1}$	72	154
	110	$S_{pr m}^{*2}$	74	185

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

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

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。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管
告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
RCIC-003	5	$S_{pr m}^{*1}$	38	103
	5	$S_{pr m}^{*2}$	40	123

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管 モデル	重大事故等時 *1					重大事故等時 *2				
		一次応力					一次応力				
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表
1	RCIC-001	18	34	154	4.52	—	18	35	185	5.28	—
2	RCIC-002	33	42	154	3.66	—	33	46	185	4.02	—
3	RCIC-003	1	45	154	3.42	—	1	49	185	3.77	—
4	RCIC-004	110	72	154	2.13	○	110	74	185	2.50	○
5	RCIC-006	234	58	154	2.65	—	234	59	185	3.13	—

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

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管）

No.	配管 モデル	許容応力状態V *1					許容応力状態V *2				
		一次応力					一次応力				
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表
1	RCIC-001	18	22	103	4.68	—	18	23	123	5.34	—
2	RCIC-002	4	33	103	3.12	—	2	36	123	3.41	—
3	RCIC-003	5	38	103	2.71	○	5	40	123	3.07	○

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。