

本資料のうち、枠囲みの内容は
商業機密の観点から公開できま
せん。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-08-0019_改3
提出年月日	2021年11月9日

VI-3-3-6-1-1-7 サプレッションチェンバの強度計算書

02 ③ VI-3-3-6-1-1-7 RO

2021年11月
東北電力株式会社

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 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 強度評価	9
4.1 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 荷重の組合せ及び許容応力状態	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 計算方法	14
4.3.1 応力評価点	14
4.3.2 解析モデル及び諸元	16
4.3.3 応力計算方法	21
4.4 計算条件	21
4.5 応力の評価	21
5. 評価結果	22
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	22
6. 参照図書	24

1. 概要

本計算書は、サプレッションチェンバの強度計算書である。

サプレッションチェンバは、設計基準対象施設のサプレッションチェンバを重大事故等クラス 2 容器として兼用する機器である。

以下、重大事故等クラス 2 容器として、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、サプレッションチェンバの強度評価を示す。

なお、本計算書においては、重大事故等時における荷重に対して、平成 2 年 5 月 24 日付け元資庁第 14466 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）（以下「既工認」という。）に示す手法に従い強度評価を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッションチェンバの構造計画を表 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>サプレッションチェンバは、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。</p> <p>サプレッションチェンバは、ドライウェルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管ベローズにより振動が伝達しない構造である。</p>	<p>サプレッションチェンバは、内部水を有した16セグメントの円筒筒で構成される円環状の構成構造物である。円筒筒内部に強め輪を備える。</p>	<p>サプレッションチェンバ</p> <p>↑ A</p> <p>ボックスサポート</p> <p>↑ A</p> <p>原子炉建屋</p> <p>強め輪</p> <p>B部</p> <p>A-Aから見る (単位: mm)</p> <p>B部詳細</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバの応力評価は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及び「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において重大事故等時における温度、圧力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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。

サブプレッションチェンバの強度評価フローを図 2-1 に示す。

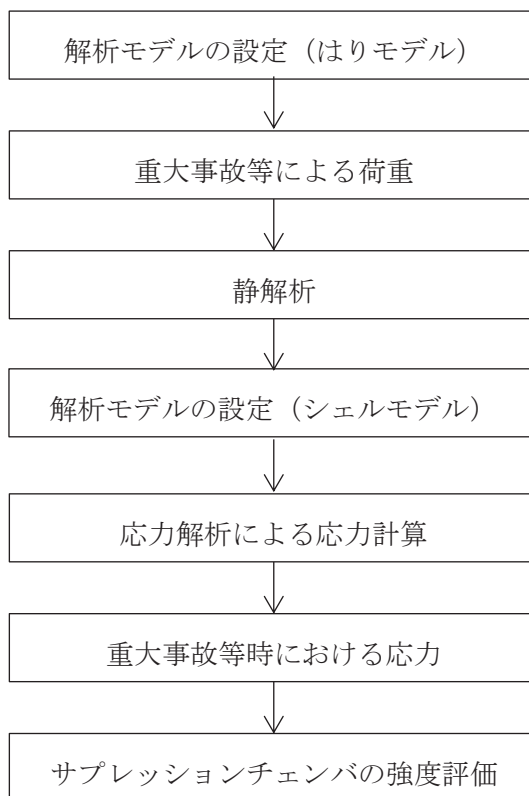


図 2-1 サブプレッションチェンバの強度評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
D_1	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
M_{SA}	機械的荷重 (SA 短期機械的荷重)	—
P_{SA}	圧力 (SA 短期圧力)	kPa
R_1	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_1	厚さ	mm
T	温度	°C
T_{SA}	温度 (SA 短期温度)	°C
θ_1	角度	°
ν	ポアソン比	—
ASS	オーステナイト系ステンレス鋼	—
HNA	高ニッケル合金	—

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。

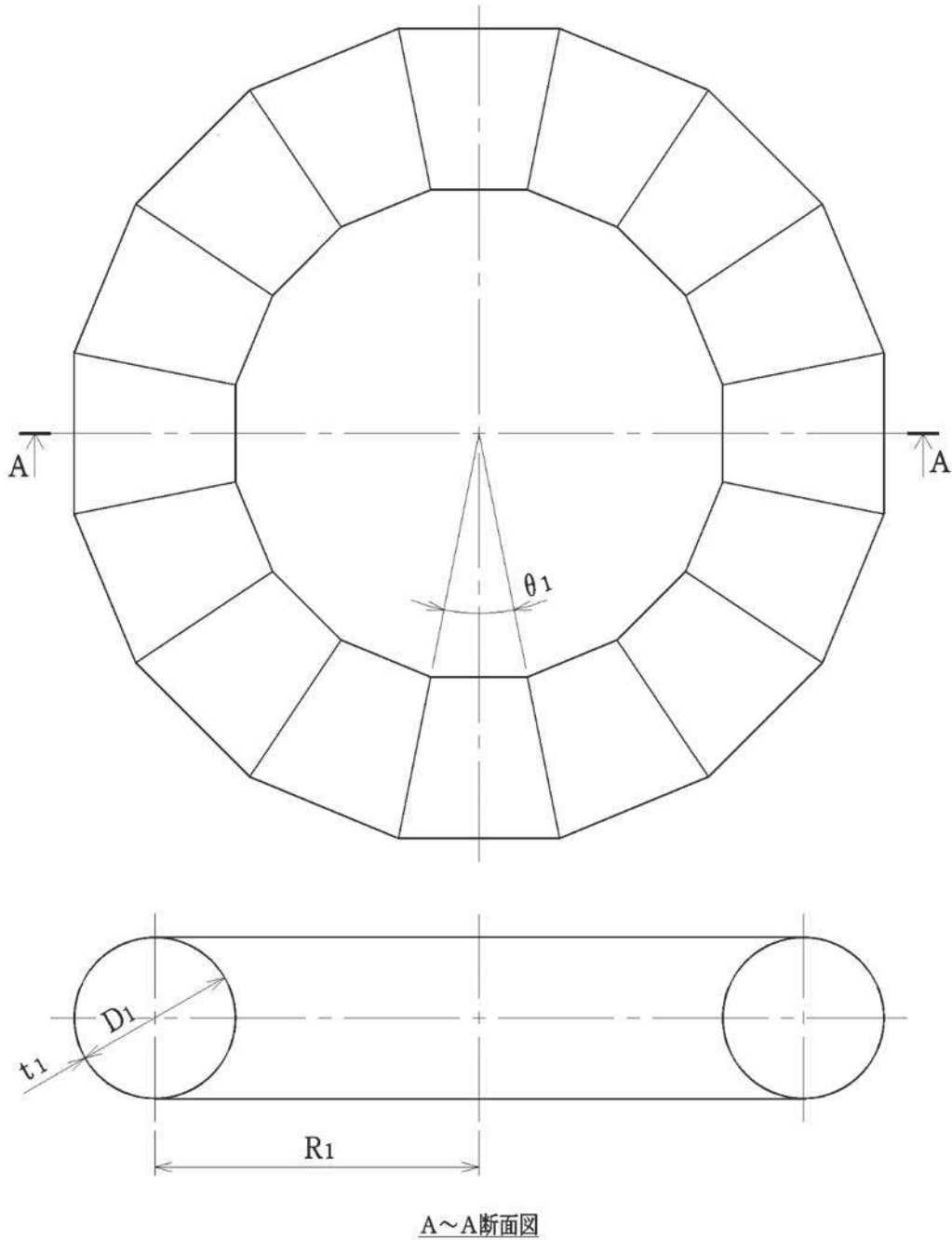
表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
最高使用圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位

注記*：告示第501号別表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て，小数点以下第1位までの値として算出する。得られた値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッションチェンバの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に、評価部位及び使用材料を表 3-1 に示す。

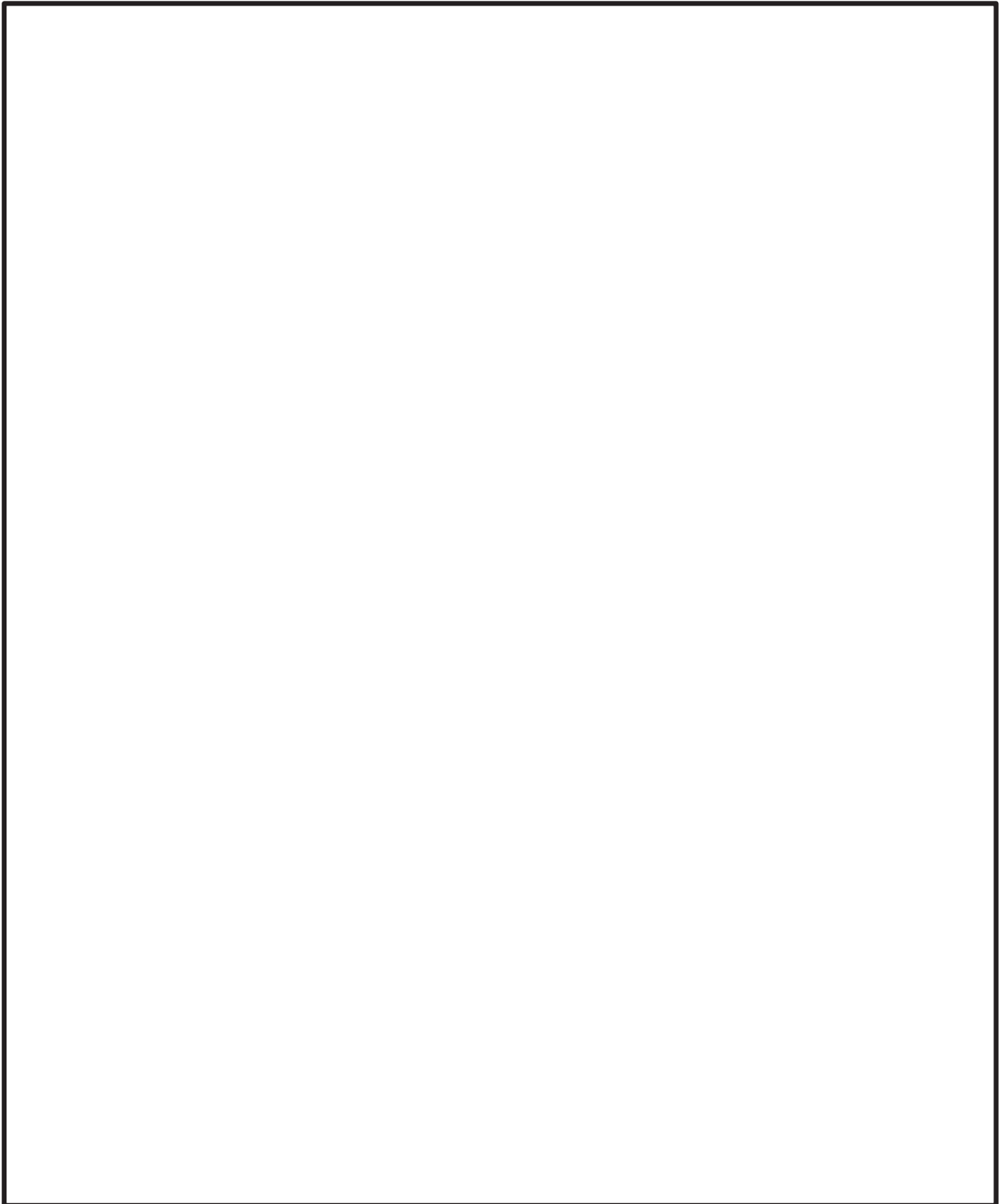


$D_1 = \square$ $R_1 = \square$ $t_1 = \square$ $\theta_1 = \square$

(単位：mm)

図 3-1 サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



- ① サプレッションチェンバ ② 強め輪 ③ 強め輪補強 ④ 連結板
- ⑤ 補強パッド ⑥ 補強リブ

$$l_1 = \boxed{} \quad l_2 = \boxed{} \quad l_3 = \boxed{} \quad t_1 = \boxed{}$$

(単位：mm)

図 3-2 サプレッションチェンバ強め輪の形状及び主要寸法

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 評価部位及び使用材料表

評価部位	使用材料	備考
サプレッションチェンバ	SGV49	

4. 強度評価

4.1 強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバは、ボックスサポートにより拘束支持された円環状の円筒構造であり、荷重はボックスサポートを介して原子炉建屋に伝達される。サプレッションチェンバは、ドライウェルとベント管を介して接続されているが、ベント管のベント管ベローズにより振動が伝達しない構造である。

サプレッションチェンバの強度評価として、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」において設定された荷重を用いて、「4.3 計算方法」に示す方法に従い強度評価を行う。

- (2) 強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッションチェンバの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

詳細な荷重の組合せは、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバの許容応力は、添付書類「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、表 4-2 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバの使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（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*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	(V(S)-1) (V(S)-2)	重大事故等時*2

注記*1：（ ）内は添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表3-7の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：重大事故等時としてIV_Aの許容限界を用いる。

表4-2 許容応力 (第2種容器)

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
重大事故等時*	運転状態IVの許容応力である $2/3 \cdot S_u$ とする。ただし、ASS及びHNAについては、 $2.4 \cdot S$ と $2/3 \cdot S_u$ の小さい方とする。	左欄の 1.5倍の値

注記*：重大事故等時としてIV_Aの許容限界を用いる。

表4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位 (応力評価対象)	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
サプレッションチェンバ	SGV49	周囲環境 温度	200	—	—	421	—

4.2.4 設計荷重

(1) 重大事故等対処設備としての設計荷重

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、以下のとおりとする。

内圧 P_{SA}	854kPa (SA 短期)
温度 T_{SA}	200°C (SA 短期)

b. 死荷重

サブプレッションチェンバ、ボックスサポート及びサブプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重	6.77×10^6 kg
-----	-----------------------

c. 水力的動的荷重

重大事故等対処設備としての水力的動的荷重は、以下のとおりとする。

(a) チャギング荷重

サブプレッションチェンバに対して、低流量蒸気凝縮時に以下に示す蒸気凝縮振動荷重が作用する。

最大正圧	<input type="text"/> kPa
最大負圧	<input type="text"/> kPa

(b) 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時、排気管内の気体が T-クエンチャからサブプレッションプール水中に放出される際、サブプレッションチェンバに圧力振動荷重が作用する。

最大正圧	<input type="text"/> kPa
最大負圧	<input type="text"/> kPa

d. 水位

重大事故等対処設備における水位は、以下のとおりとする。

水位	O.P.	-1514mm
----	------	---------

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

サプレッションチェンバの応力評価点は、サプレッションチェンバを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-4 及び図 4-1 に示す。

表 4-4 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	胴中央部外側
P2	胴中央部底部
P3	胴中央部内側
P4	胴中央部頂部
P5	胴エビ継手部外側
P6	胴エビ継手部底部
P7	胴エビ継手部内側
P8	胴エビ継手部頂部
P9	内側ボックスサポート取付部
P10	外側ボックスサポート取付部

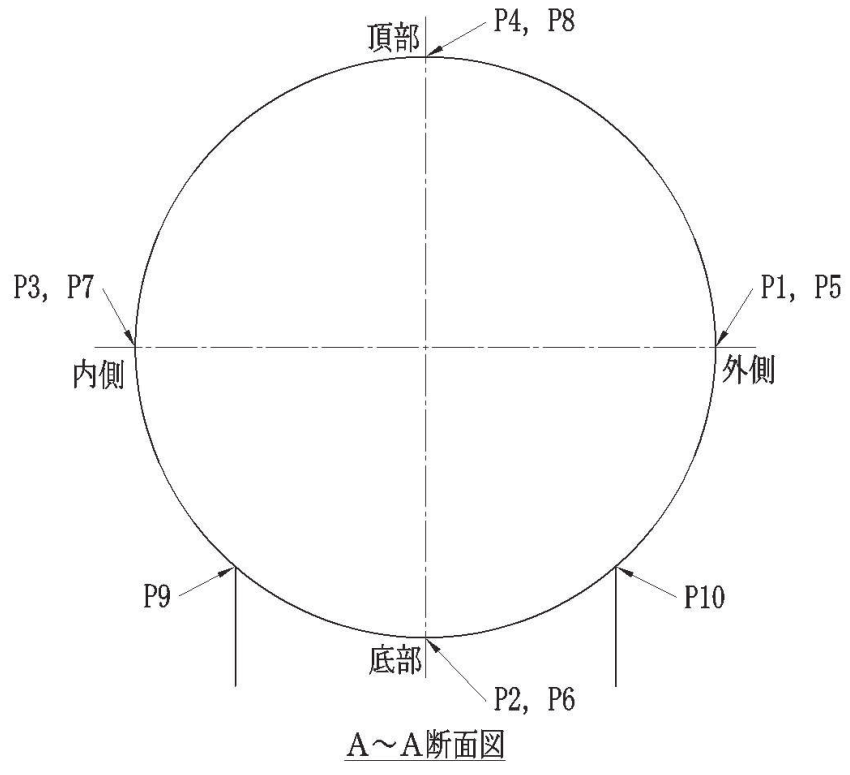
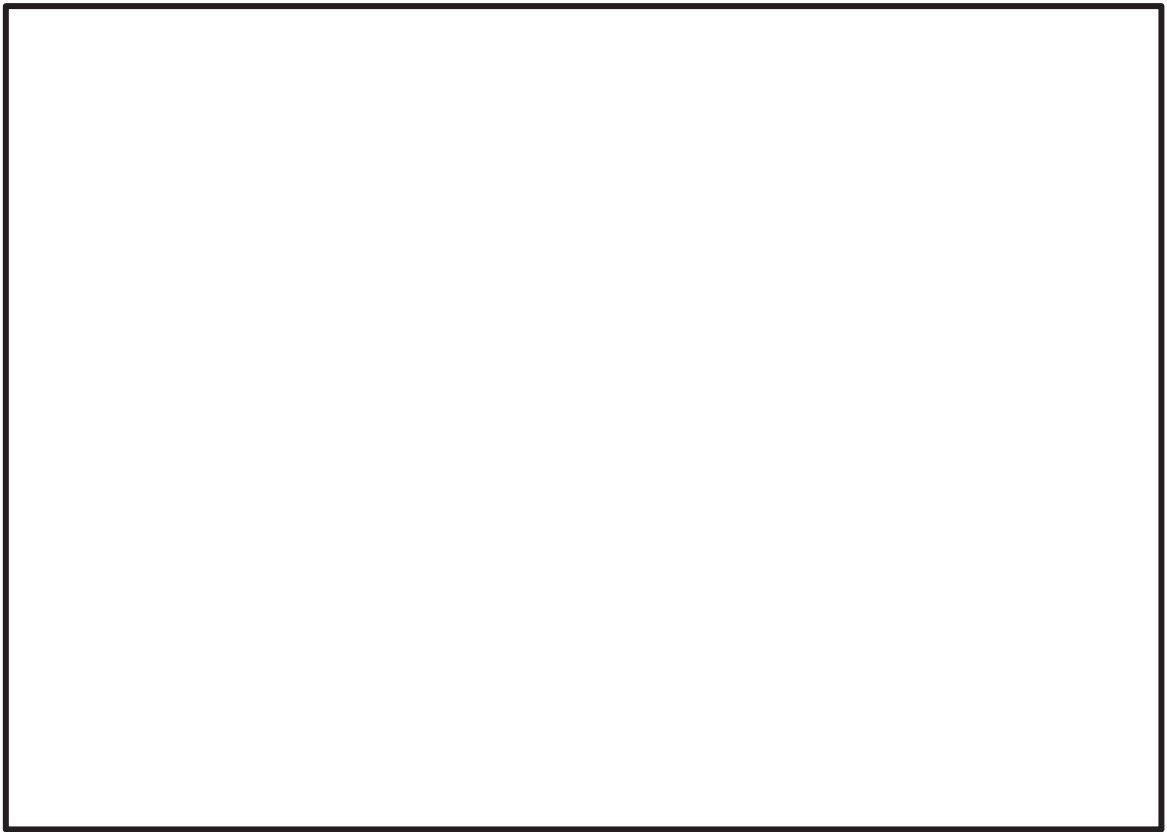


図 4-1 サプレッションチェンバの応力評価点

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3.2 解析モデル及び諸元

評価には、以下の 3 つの解析モデルを用いる。サプレッションチェンバ全体はりモデルとサプレッションチェンバ部分シェルモデルに大別され、前者は死荷重による変位の算出に用いるモデル、後者は応力解析に用いるモデルである。さらに、サプレッションチェンバ部分シェルモデルにおいては、拘束条件や境界条件を変更した 2 つの解析モデルを用いる。解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) サプレッションチェンバ部分シェルモデルに与える強制変位の計算は、サプレッションチェンバ全体をはり要素にモデル化したモデルを用いて行う。解析モデルを図 4-2 に、諸元を表 4-5 に示す。

サプレッションチェンバ、ボックスサポート、フランジプレート、基礎ボルトをモデル化する。なお、ボックスサポート等はサプレッションチェンバと一体構造であることから、サプレッションチェンバに加えてモデル化を行う。

サプレッションチェンバの内部水は、仮想質量法により算定し、NASTRAN の機能である Guyan 縮約法を用いて本モデルのサプレッションチェンバの各質点に縮約し、付加する。

ボックスサポート下端は、

[REDACTED]

[REDACTED]

- (2) 圧力による応力は、サプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-3、図 4-5 に、諸元を表 4-5 に示す。円筒部の端面を [REDACTED] また、ボックスサポート下端を、 [REDACTED]

- (3) 死荷重による応力は、サプレッションチェンバを構成する円筒のうち 2 個をシェル要素にモデル化した部分シェルモデルにより計算する。解析モデルを図 4-4、図 4-5 に、諸元を表 4-5 に示す。円筒部端面の各節点を [REDACTED]

[REDACTED]

また、ボックスサポート下端に対し、(1)

[REDACTED]

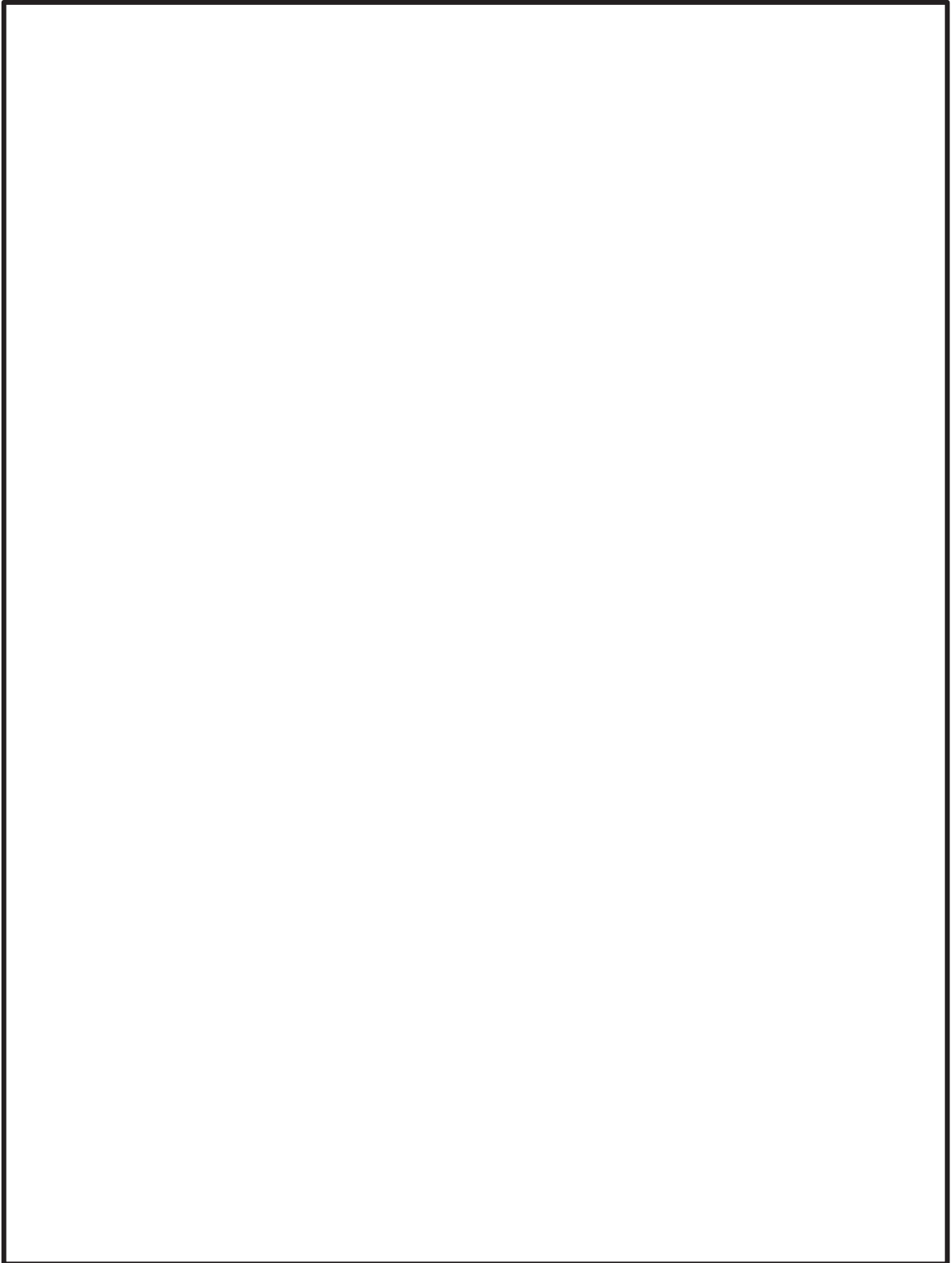


図 4-2 解析モデル サプレッションチェーン全体はりモデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

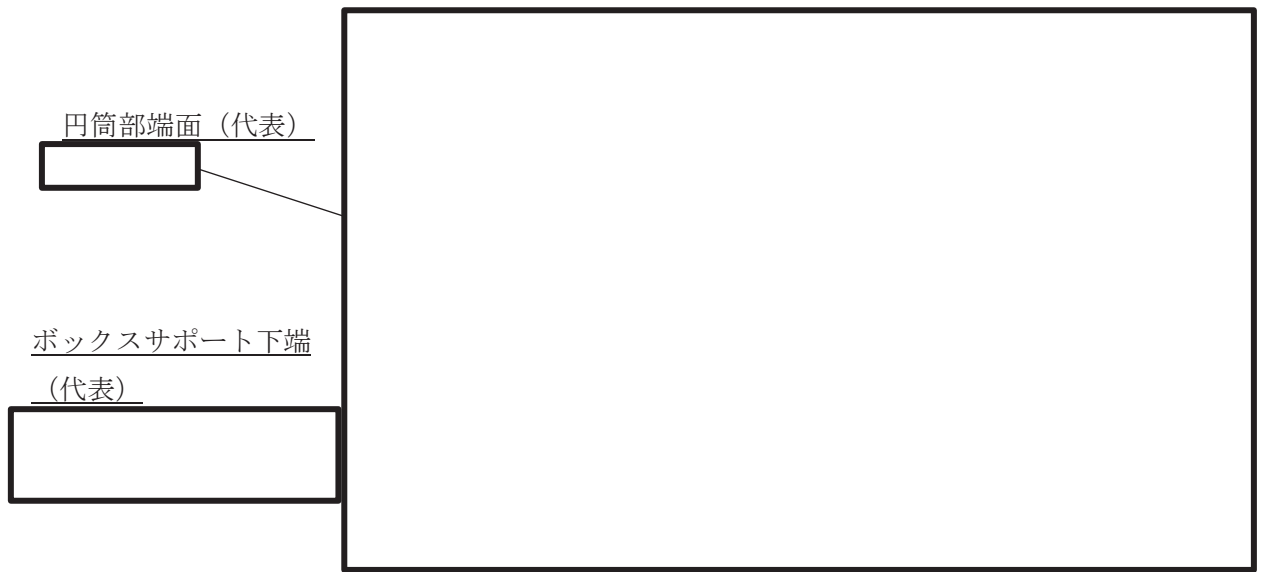


図 4-3 解析モデル サプレッションチェーン部分シェルモデル (圧力荷重)

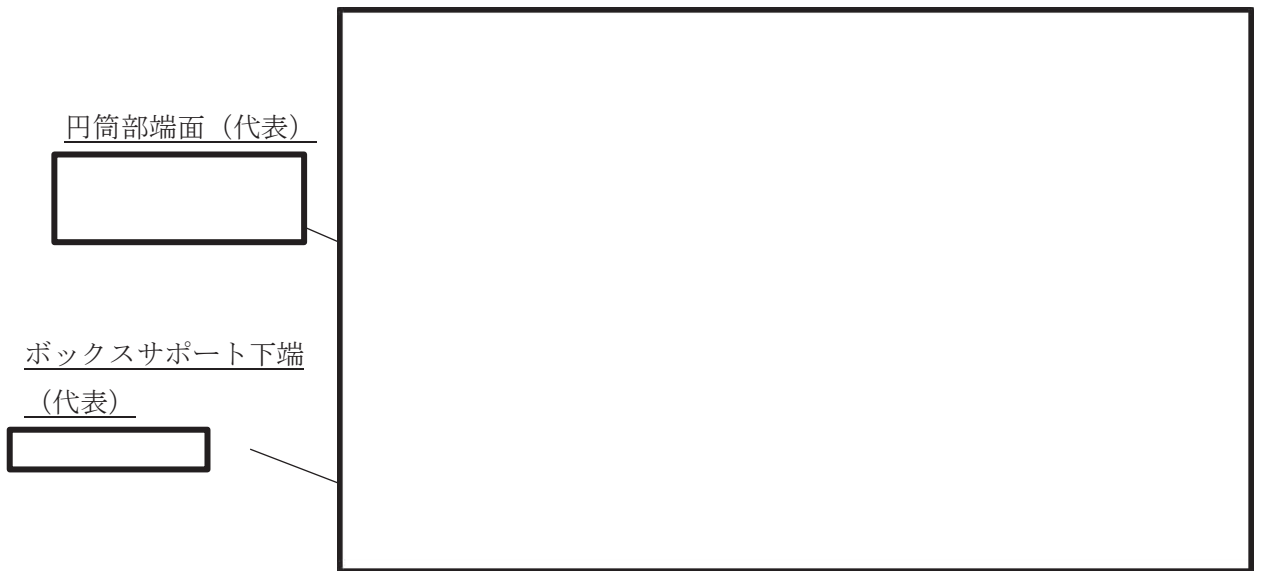


図 4-4 解析モデル サプレッションチェーン部分シェルモデル (強制変位荷重)

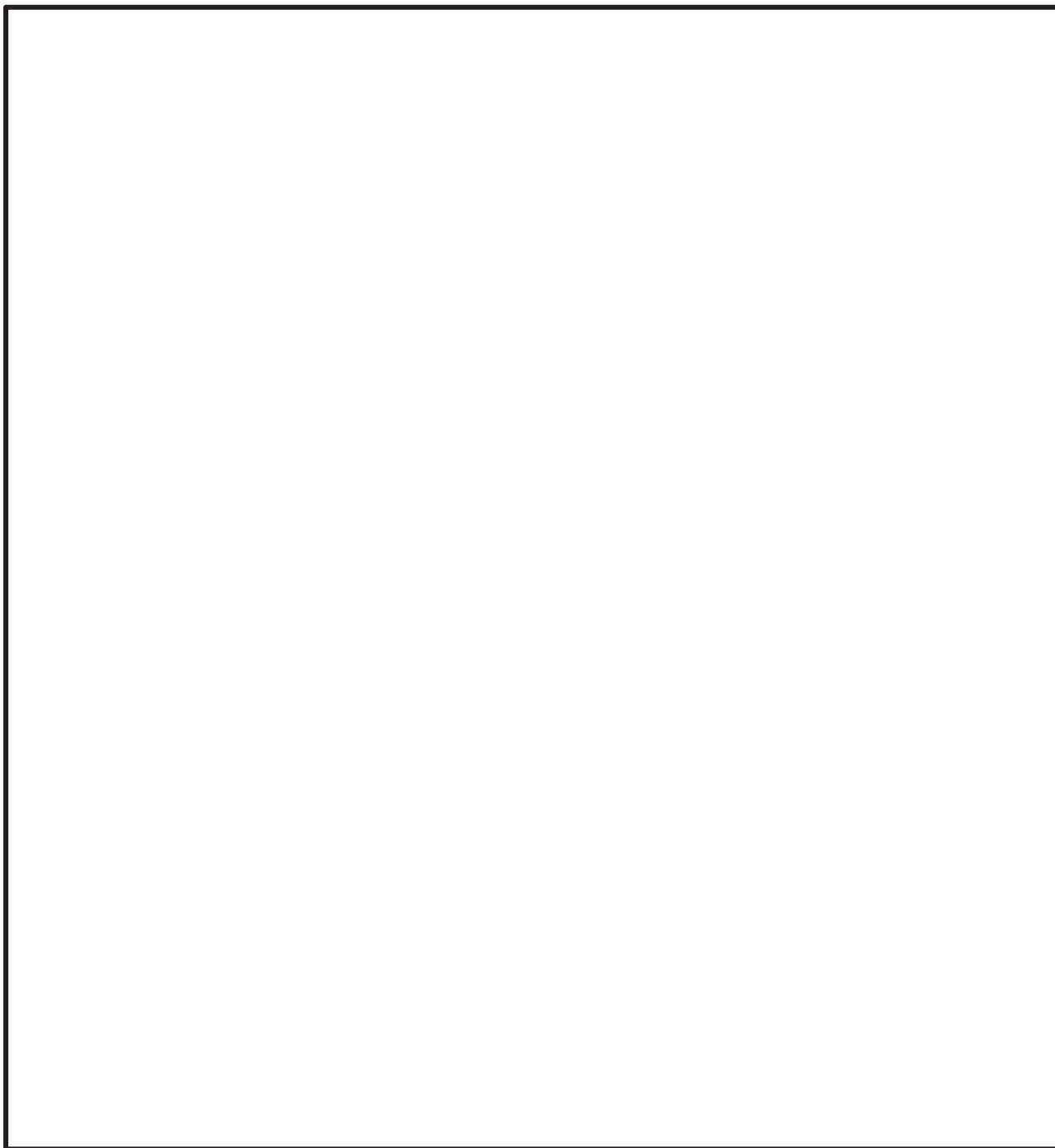


図 4-5 サプレッションチェーンバ部分シェルモデルの部材名称

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-5(1) 機器諸元 (その 1)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49
機器質量	—	Kg	
水密度	—	kg/m ³	
水位	—	mm	0. P. -1514
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	

注記* : 解析モデルの温度は、通常運転時温度と限界温度の平均温度とする。なお、許容応力は各運転状態の最高温度で算出する。

表 4-5(2) 機器諸元 (その 2)

項目	要素数	節点数
(1) サプレッションチェンバ全体はりモデル		
(2) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (圧力荷重)		
(3) サプレッションチェンバ部分シェルモデル (強制変位荷重)		

O 2 ③ VI-3-3-6-1-1-7 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3.3 応力計算方法

サブプレッションチェンバの応力計算方法について以下に示す。

(1) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備における応力は、応力評価点 P1～P10 に対し、「4.3.2 解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。水力学的動荷重は、参照図書(1)に示す水力学的動荷重による応力を応答倍して算出する。

4.4 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す。

4.5 応力の評価

「4.3 計算方法」で求めた応力が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

サブレッションチェンバ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) 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	応力評価点		応力分類	重大事故等時		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッション ンチェンバ	P1	胴中央部外側	一次一般膜応力	212	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	212	421	○	
	P2	胴中央部底部	一次一般膜応力	212	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	212	421	○	
	P3	胴中央部内側	一次一般膜応力	212	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	212	421	○	
	P4	胴中央部頂部	一次一般膜応力	211	281	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	211	421	○	
	P5	胴エビ継手部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	87	421	○	
	P6	胴エビ継手部底部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	421	○	
	P7	胴エビ継手部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	153	421	○	
	P8	胴エビ継手部頂部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	421	○	
P9	内側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	236	421	○		
P10	外側ボックスサポート取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	214	421	○		

6. 参照図書

- (1) 女川原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
添付書類「IV-3-1-1-13 サプレッションチェンバの強度計算書」