

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-009-03改01
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-3-7-1-3 サプレッションチェンバの強度計算書

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	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. 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
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 計算方法	16
4.5 計算条件	18
4.6 応力の評価	18
5. 評価結果	19
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19
6. 参照図書	21

1. 概要

本計算書は、サブプレッションチェンバの強度計算書である。

サブプレッションチェンバは、設計基準対象施設のサブ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、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、サブプレッションチェンバの構造強度評価を示す。

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、昭和59年9月17日付け59資庁第8283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。）に示す手法に従い構造強度評価を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブ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、補強板を介してサプレッションチェンバサポートに接合され、支持される。</p>	<p>サプレッションチェンバは、内部水を有した 16 セグメントの内径 <input type="text"/> mm, 厚さ <input type="text"/> mm の円筒胴で構成される中心径 <input type="text"/> mm の円環状の鋼製構造物である。円筒胴内部に補強リングを備える。</p>	<p>The diagram illustrates the structural design of a suppression chamber. It includes a central cross-sectional view showing the internal vertical structure and the chamber's connection to a support. A top view shows the circular chamber divided into 16 segments, with reinforcement rings and plates positioned around its circumference. A detailed view (B部詳細) shows the reinforcement ring and plate assembly. Labels include 'サプレッションチェンバ' (Suppression Chamber), '補強リング' (Reinforcement Ring), '補強板' (Reinforcement Plate), 'サプレッションチェンバサポート' (Suppression Chamber Support), 'A-A矢視' (A-A Section View), and 'B部詳細' (Detail of Part B). A note at the bottom right specifies '(単位: mm)' (Unit: mm).</p>

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计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. 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。

サブプレッションチェンバの構造強度評価フローを図2-1に示す。

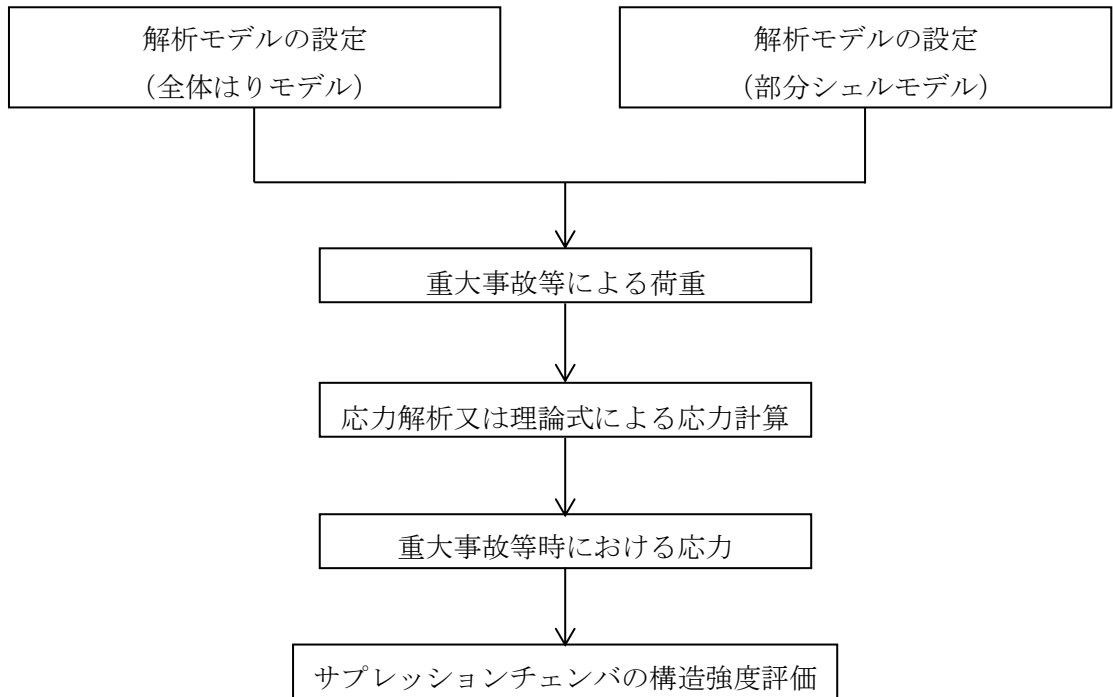


図2-1 サブプレッションチェンバの構造強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・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（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
D_1	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
l	長さ	mm
m_0	機器質量	kg
m_1	水質量	kg
M_{SA}	機械的荷重 (SA後機械的荷重)	—
P_{SA}	圧力 (SA後圧力)	—, kPa
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の 40°C における値	MPa
T	温度	°C
T_{SA}	温度 (SA後温度)	°C
t_i	厚さ ($i=1, 2, 3$)	mm
θ	角度	°
ν	ポアソン比	—

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	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
密度	kg/m ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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 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に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。

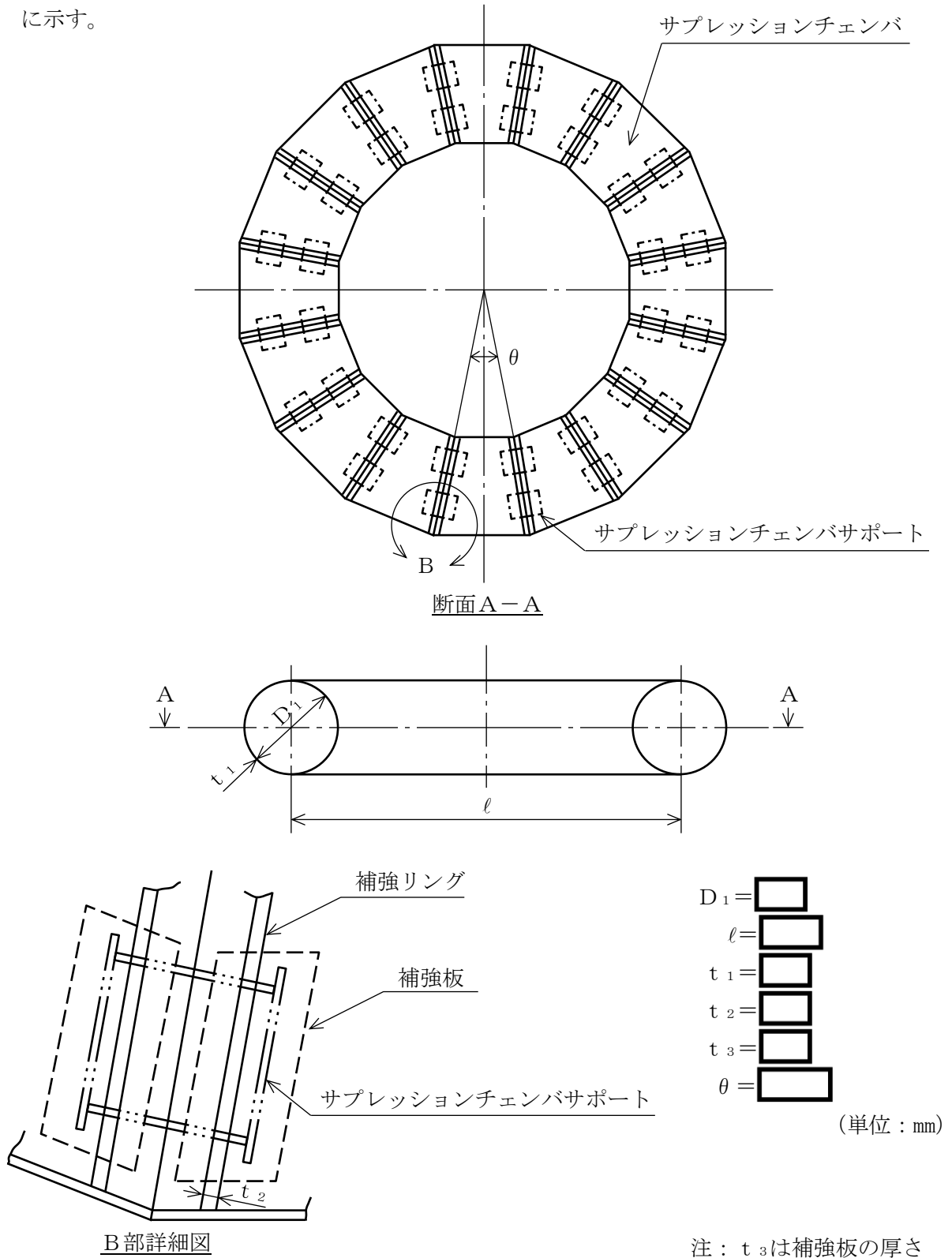


図3-1 サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

表 3-1 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	SPV50	SPV490 相当

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバの構造強度評価として、サプレッションチェンバに作用する死荷重、圧力荷重及び水力学的動荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。
- (2) 構造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 荷重の組合せ及び供用状態

サプレッションチェンバの荷重の組合せ及び供用状態のうち、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、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*1		供用状態
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5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4-2 重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 供用 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*	$2/3 \cdot S_u$	$1.5 \times 2/3 \cdot S_u$

注記*：重大事故等時として供用状態D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）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境 温度	200				
サプレッションチェンバ	SPV50*		200	—	—	545	—

注記*：SPV490 相当

4.2.4 設計荷重

(1) 重大事故等対処設備としての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，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SA}	853kPa (SA後)
温度 T_{SA}	200°C (SA後)

(2) 死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

N

重大事故等対処設備の評価における水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

水位	EL 7049mm
----	-----------

(3) 水力的動荷重

a. 逃がし安全弁作動時の荷重

重大事故等対処設備としての逃がし安全弁作動時の荷重は，参照図書(1)に示す荷重に原子炉停止機能喪失影響を考慮し，以下のとおりとする。

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

b. チャギング荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は，参照図書(1)より以下のとおりとする。

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

4.3 解析モデル及び諸元

サブプレッションチェンバの解析モデルの概要を以下に示す。

(1) サブプレッションチェンバ全体はりモデル

- a. サブプレッションチェンバ全体の解析モデルは、3次元はり要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造及び荷重の伝達経路を考慮し、サブプレッションチェンバ胴、補強リング、サブプレッションチェンバサポート、ストレーナ及びサブプレッションチェンバ内部水をモデル化する。補強リングについては、補強リングの質量分布を考慮するためにモデル化し、剛体として扱う。解析モデルを図 4-1 に、機器の諸元について表 4-4 に示す。

b.

c.

- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、荷重及び変位を求める。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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) サブプレッションチェンバ部分シェルモデル

- a. サブプレッションチェンバの部分解析モデルは、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造の対称性を考慮し、サブプレッションチェンバを構成する 16 セグメントの円筒胴のうち隣り合う 2 セグメントの 1/2 の範囲についてモデル化する。また、サブプレッションチェンバサポートは、内側及び外側各 1 個についてサブプレッションチェンバサポート下部のフランジまでをモデル化する。解析モデルを図 4-2 に、機器の諸元について表 4-5 に示す。

b.

c.

- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、応力を求める。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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

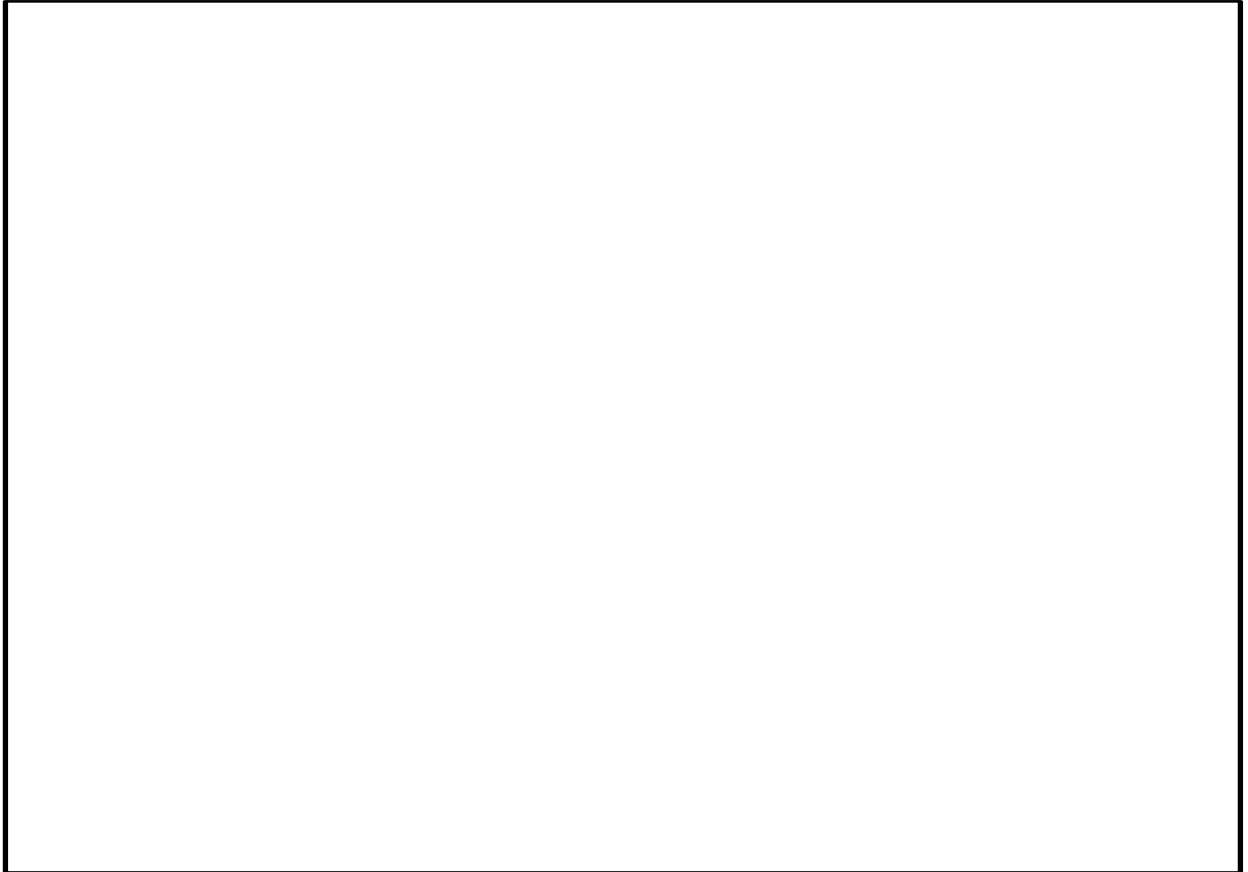


図 4-1 解析モデル (サプレッションチェンバ全体はりモデル)

表 4-4 機器諸元 (サプレッションチェンバ全体はりモデル)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ¹
	サプレッションチェンバ サポート, 補強リング	—	—	SGV49* ²
	ストレーナ	—	—	SUS304L, SUS304, STS42* ³ , SGV480
質量	機器質量	m_0	kg	<input type="text"/>
	水質量	m_1	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000 (SPV50* ¹ , SGV480, STS42* ³) 190000 (SUS304L, SUS304)
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

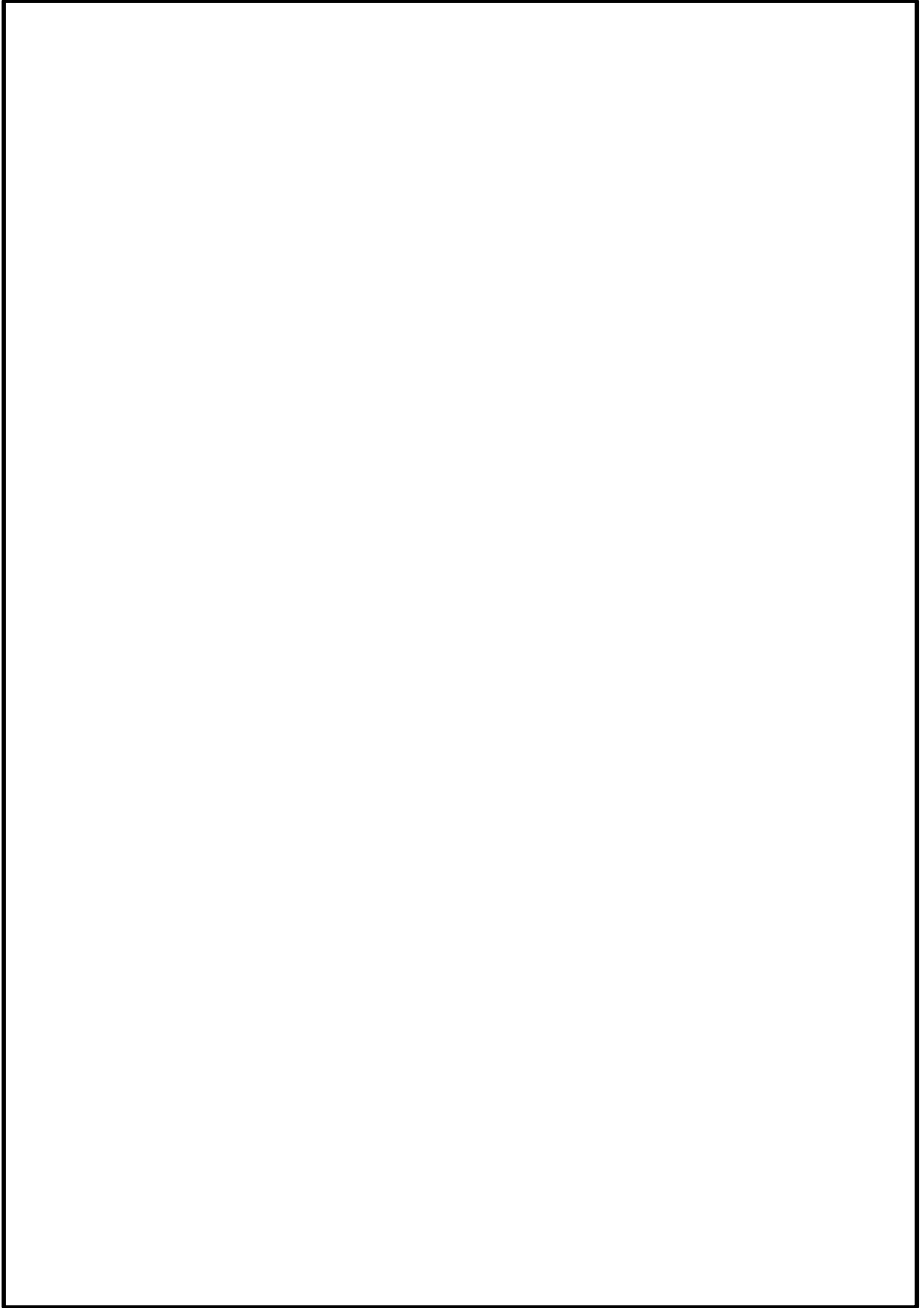


図 4-2 解析モデル (サプレッションチェンバ部分シェルモデル)

表 4-5 機器諸元 (サブプレッションチェンバ部分シェルモデル)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50* ¹ SGV49* ²
機器質量	m _o	kg	—* ³
温度条件	T	°C	104
縦弾性係数	E	MPa	198000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : 圧力荷重又は強制変位荷重による解析のため, 質量は定義不要

4.4 計算方法

4.4.1 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 4-6 及び図 4-3 に示す。

表 4-6 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	サプレッションチェンバ 洞 中央部上部
P 2	サプレッションチェンバ 洞 中央部下部
P 3	サプレッションチェンバ 洞 中央部内側
P 4	サプレッションチェンバ 洞 中央部外側
P 5	サプレッションチェンバ 洞 エビ継部上部
P 6	サプレッションチェンバ 洞 エビ継部下部
P 7	サプレッションチェンバ 洞 エビ継部内側
P 8	サプレッションチェンバ 洞 エビ継部外側
P 9	サプレッションチェンバ 洞 と内側サポート補強板との接合部
P 1 0	サプレッションチェンバ 洞 と外側サポート補強板との接合部

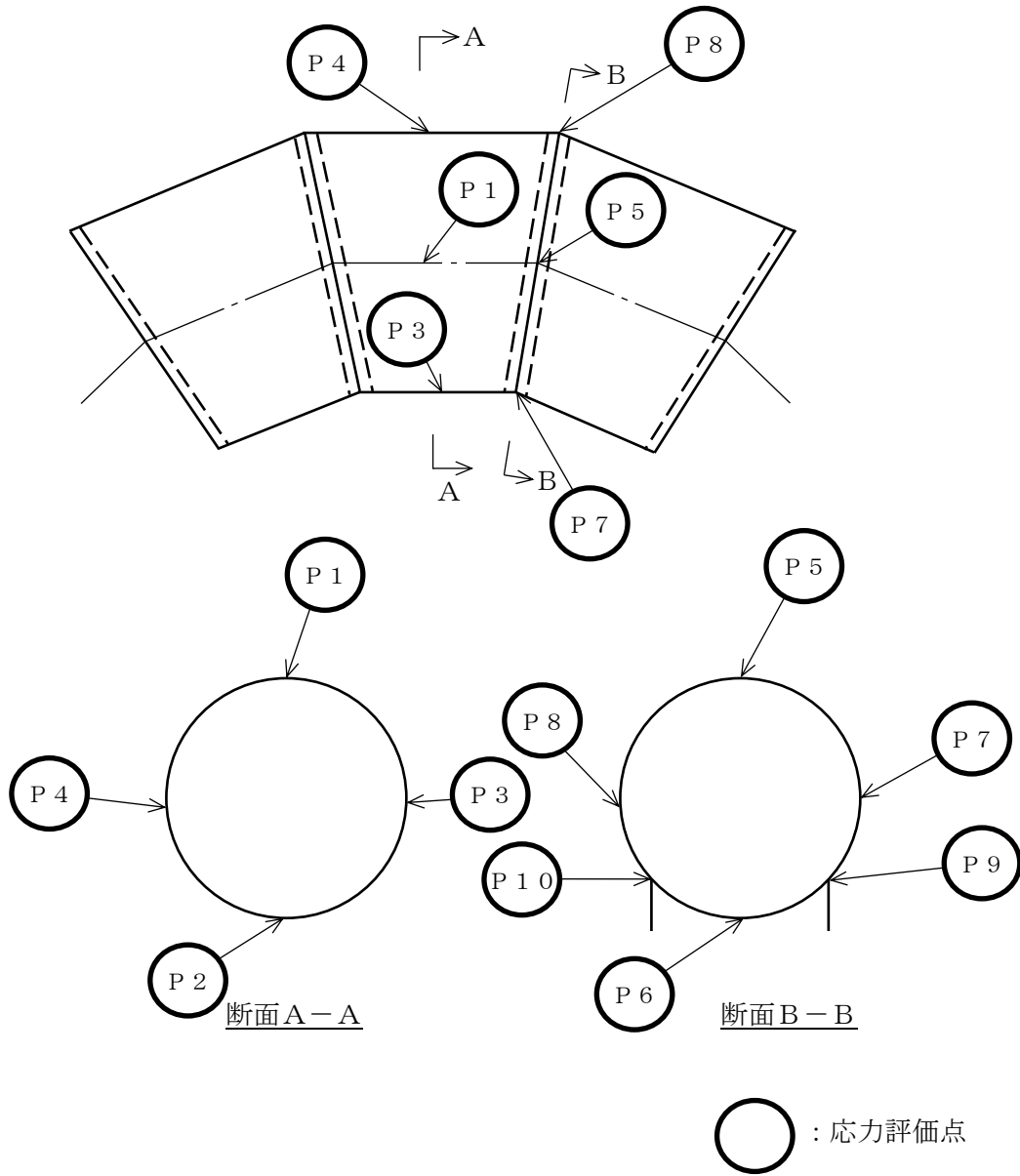


図 4-3 サプレッションチェンバの応力評価点

4.4.2 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

a. 応力評価点P 1～P 4に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

b. 応力評価点P 5～P 10に生じる応力

(a) サブプレッションチェンバに作用する圧力荷重による応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデル（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。

(b) サブプレッションチェンバに作用する死荷重による応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）により変位（並進 3 方向及び回転 3 方向）を算出し、その変位を強制変位として解析モデル（サブプレッションチェンバ部分シェルモデル）に与えることで応力を算出する。

(c) 水力的動的荷重による応力は、参照図書(1)に示す応力を基に、原子炉停止機能喪失影響を考慮した荷重による応力を算出する。

4.5 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。

4.6 応力の評価

「4.4 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構造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) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 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	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の 組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ	P 1	サプレッションチェンバ ^胴 中央部上部	一次一般膜応力	252	363	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	252	545	○	(V (S) -1)	
	P 2	サプレッションチェンバ ^胴 中央部下部	一次一般膜応力	253	363	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	253	545	○	(V (S) -1)	
	P 3	サプレッションチェンバ ^胴 中央部内側	一次一般膜応力	252	363	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	252	545	○	(V (S) -1)	
	P 4	サプレッションチェンバ ^胴 中央部外側	一次一般膜応力	252	363	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	252	545	○	(V (S) -1)	
	P 5	サプレッションチェンバ ^胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	489	545	○	(V (S) -1)	
	P 6	サプレッションチェンバ ^胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	286	545	○	(V (S) -1)	
P 7	サプレッションチェンバ ^胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	490	545	○	(V (S) -1)		
P 8	サプレッションチェンバ ^胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	291	545	○	(V (S) -1)		
P 9	サプレッションチェンバ ^胴 と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	368	545	○	(V (S) -1)		
P 10	サプレッションチェンバ ^胴 と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	227	545	○	(V (S) -1)		

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-13 「サプレッションチェンバの強度計算書」