

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-補-E-19-0600-11_改3
提出年月日	2021年3月25日

補足-600-11 サプレッションチェンバの耐震評価における内部水質の考え方の変更等についての  
補足説明資料

## 目次

1. はじめに	1
2. サプレッションチェンバ及びボックスサポートについて	4
2.1 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造	4
2.2 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策	8
2.2.1 耐震補強対策の目的	8
2.2.2 耐震補強対策の内容	8
3. サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価	13
3.1 評価手順	13
3.2 地震応答解析	16
3.2.1 基本方針	16
3.2.2 地震応答解析モデル	16
3.3 応力解析	19
3.3.1 基本方針	19
3.3.2 応力評価点	19
3.3.3 応力解析方法	23
3.4 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違	24
4. 地震応答解析の詳細	28
4.1 地震応答解析モデル	28
4.1.1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量算定	28
4.1.2 地震応答解析モデルにおける有効質量の設定	31
4.1.3 サプレッションチェンバ本体のモデル化	35
4.1.4 ボックスサポート取付部のばね剛性の算定	36
4.1.5 ボックスサポートのモデル化	39
4.2 地震応答解析モデル（3次元はりモデル）の妥当性確認	45
4.2.1 妥当性の確認方針（妥当性確認の着眼点）	45
4.2.2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）	47
4.2.3 妥当性確認結果	48
4.3 地震応答解析に係る検討	62
4.4 スロッシング荷重	66
5. 応力解析の詳細	68
5.1 応力評価フロー	68
5.2 応力評価点	69
5.2.1 サプレッションチェンバの応力評価点	69
5.2.2 ボックスサポートの応力評価点	71

5.3	応力解析モデル.....	73
5.3.1	サプレッションチェンバの応力解析モデル.....	73
5.3.2	フランジプレート（外側）の応力解析モデル.....	74
5.4	応力評価.....	75
5.4.1	サプレッションチェンバの応力評価.....	75
5.4.2	ボックスサポートの応力評価.....	76
6.	サプレッションチェンバ等の耐震評価における不確かさの考慮及び保守性.....	77
7.	サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価結果.....	79
8.	まとめ.....	83

別紙1 有効質量の適用およびその妥当性検証

別紙2 サプレッションチェンバ内部水の地震応答解析モデルへの設定方法

別紙3 地震応答解析モデルに対するバルジングの影響検討

別紙4 ばね要素の設定

別紙5 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の設定

別紙6 スロッシング荷重の算定方法

別紙7 計算機コードの概要

別紙8 有効質量の概要

別紙9 規格類における有効質量の適用例

別紙10 サプレッションチェンバの水位条件

別紙11 地震時におけるトーラス型容器内部水の有効質量に係る研究の概要

別紙12 有効質量比に対するスロッシング影響

別紙13 振動試験の振動試験の有効質量比

別紙14 有効質量比に対する入力地震動の影響

別紙15 サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重及び有効質量の影響評価

別紙16 規格基準における有効質量比との比較

別紙17 原子炉建屋基礎版上における地震応答を用いる妥当性

別紙18 ボックスサポートの耐震評価における応力算出方法の考え方

別紙19 サプレッションチェンバ内の耐震補強対策等による有効性評価等への影響

   : 今回提出資料

## 1. はじめに

本書は、女川原子力発電所第2号機（以下、女川2号機という。）の工事計画認可申請書添付資料「VI-2-9-2-1-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」及び「VI-2-9-2-1-5 ボックスサポートの耐震性についての計算書」における耐震評価手法についてまとめた資料である。

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価では、サプレッションチェンバ本体とそれを支持するボックスサポートを模擬した地震応答解析モデルを用いて地震荷重を算定し、それらに基づき、各部の構造強度評価を行うことで、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を評価するものである。

女川2号機の既工認及び今回工認における動的地震力及び静的地震力に対する耐震評価フローを図1-1, 1-2, 1-3, 1-4に示す。

女川2号機の既工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価は、簡便な扱いとして、サプレッションチェンバ内部水を含めたサプレッションチェンバ全体を剛と見做し、3次元はりモデルを用いた静的解析によりサプレッションチェンバの地震応答解析を実施していた。

今回工認においては、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細な地震応答解析を実施するため、より現実に近いサプレッションチェンバの内部水の挙動を考慮して内部水質量を従来の固定質量から有効質量へ変更すること\*、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析については、既工認における解析モデルの精緻化及び詳細化を図り、サプレッションチェンバ本体に加えてボックスサポート等を考慮した3次元はりモデルによる動的解析（スペクトルモーダル解析）を適用することとした。なお、サプレッションチェンバ内部水質量の扱いを有効質量としたことに伴い、サプレッションチェンバ内部水によるスロッシング荷重を流体解析にて算定することとした。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価にあたっては、サプレッションチェンバとボックスサポートの取付部にばね剛性を模擬し考慮すること等に加えて、耐震性の向上を目的としたサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容を反映し、より詳細に評価を実施する。

なお、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に3次元はりモデルを適用するにあたっては、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による地震応答解析結果との比較検討を行い、耐震評価において考慮すべき振動モードが3次元はりモデルにて表現できていること等を確認している。

注記\*：女川原子力発電所第2号炉審査資料「女川原子力発電所2号炉 設計基準対象施設について

4条 地震による損傷の防止 別紙-4 サプレッションチェンバ内部水質量の考え方の変更について」（02-NP-0272(改114)（令和2年2月7日））参照

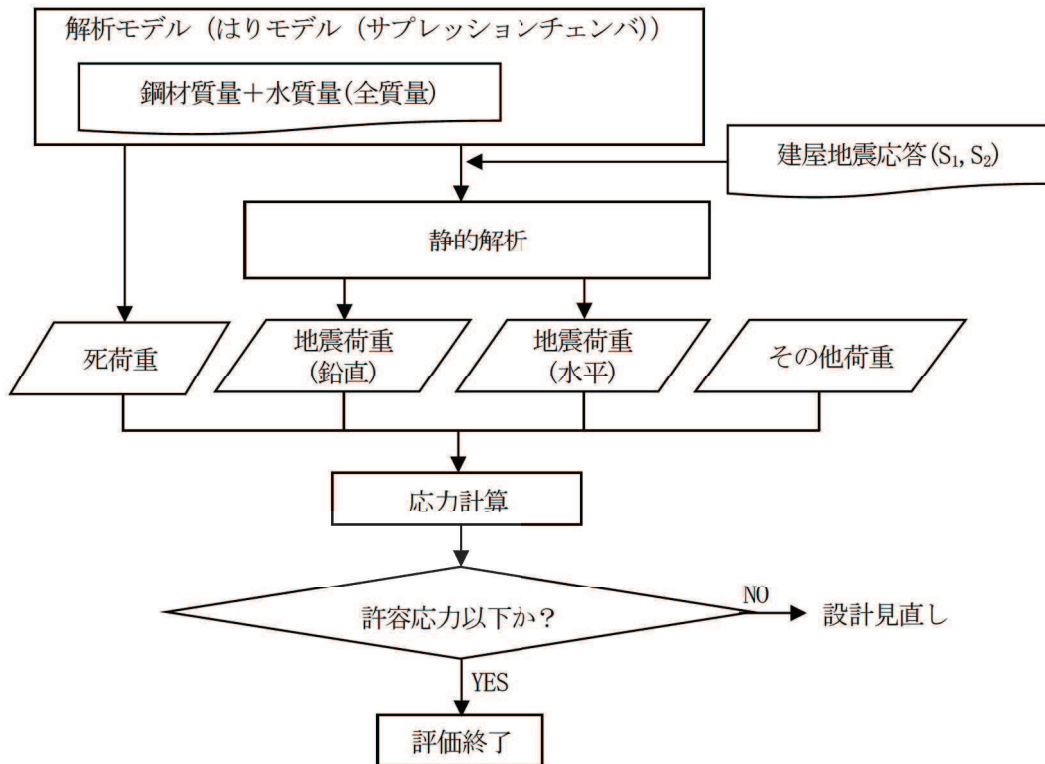


図 1-1 既工認におけるサブプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フロー

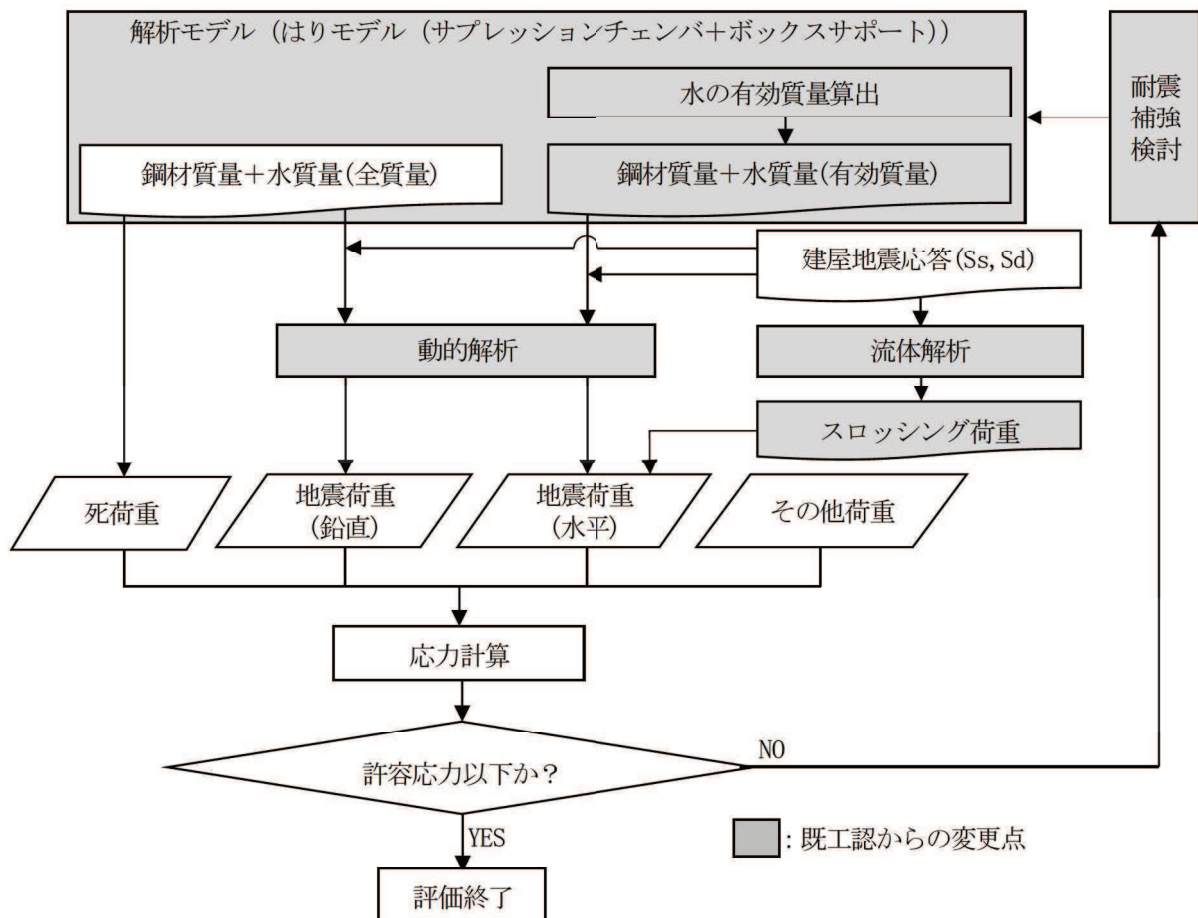


図 1-2 今回工認におけるサブプレッションチェンバの動的地震力による耐震評価フロー

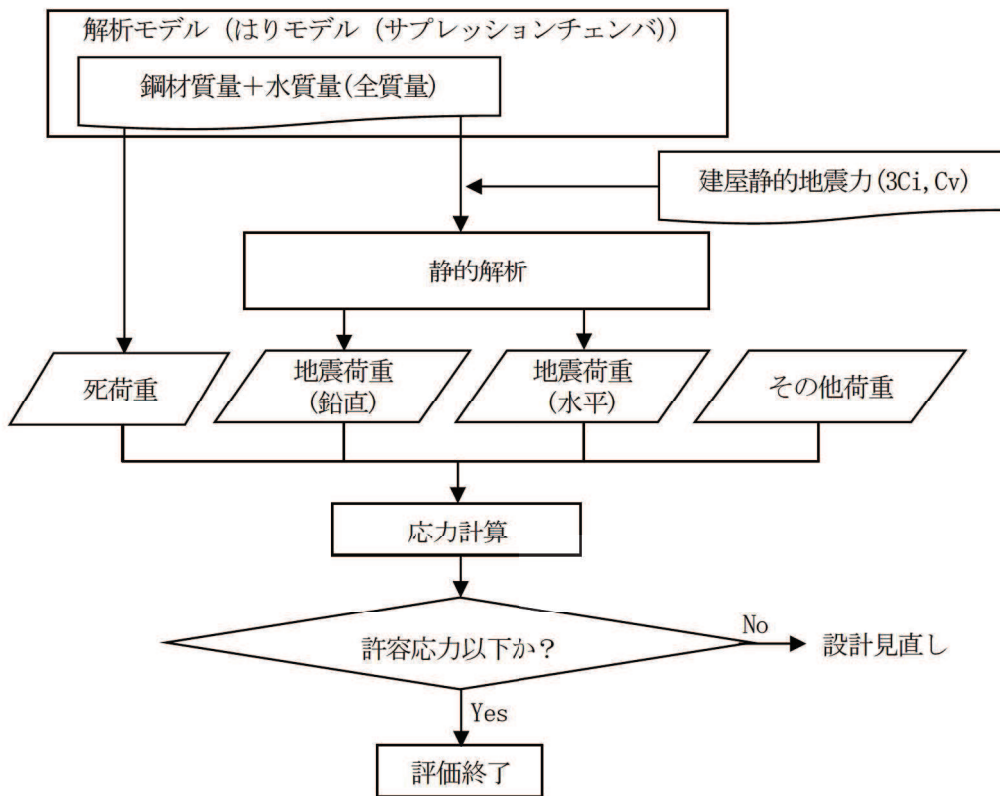


図 1-3 既工認におけるサプレッションチェンバの静的地震力による耐震評価フロー

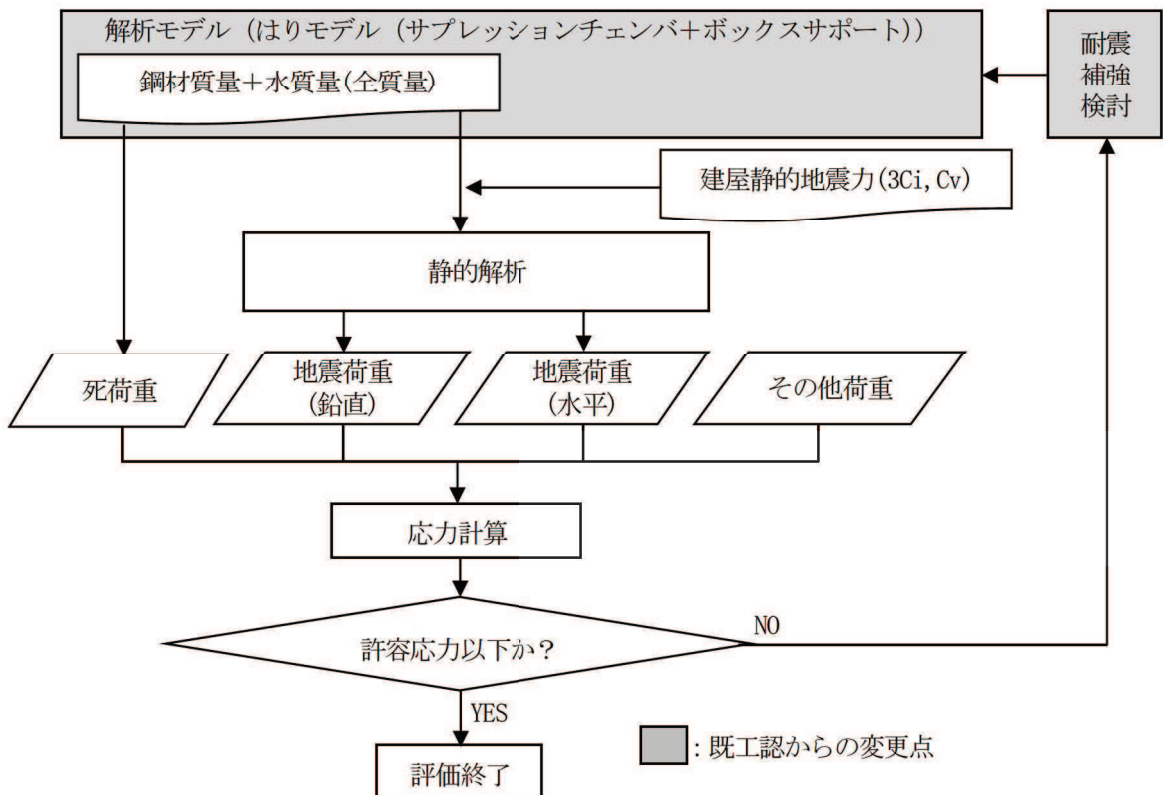


図 1-4 今回工認におけるサプレッションチェンバの静的地震力による耐震評価フロー

## 2. サプレッションチェンバ及びボックスサポートについて

### 2.1 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造

女川2号機のサプレッションチェンバ及びボックスサポート構造概要図を図2.1-1に、ボックスサポート構造詳細図を図2.1-2に、サプレッションチェンバ断面概要図を図2.1-3に、サプレッションチェンバ諸元を表2.1-1に示す。

サプレッションチェンバは、大円が直径 $\square$  mm、小円が直径 $\square$  mm、板厚 $\square$  mm、16セグメントの円筒を繋ぎ合わせた円環形状（トーラス状）の構造物である。また、各セグメントの継ぎ目部（以下、「胴エビ継手部」という）には箱状の支持構造物であるボックスサポートが大円の内側及び外側それぞれに16箇所の計32箇所に取り付けられており、それらが基礎ボルトを介して原子炉建屋基礎版上（O.P.-8, 100mm）に自立している。ボックスサポートは、サプレッションチェンバ（大円）の半径方向の熱膨張を吸収する目的で可動し、周方向に地震荷重を原子炉建屋基礎版に伝達させる構造となっている。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としており、地震による揺れは、原子建屋基礎版上からボックスサポートを介しサプレッションチェンバに入力される（別紙17）。

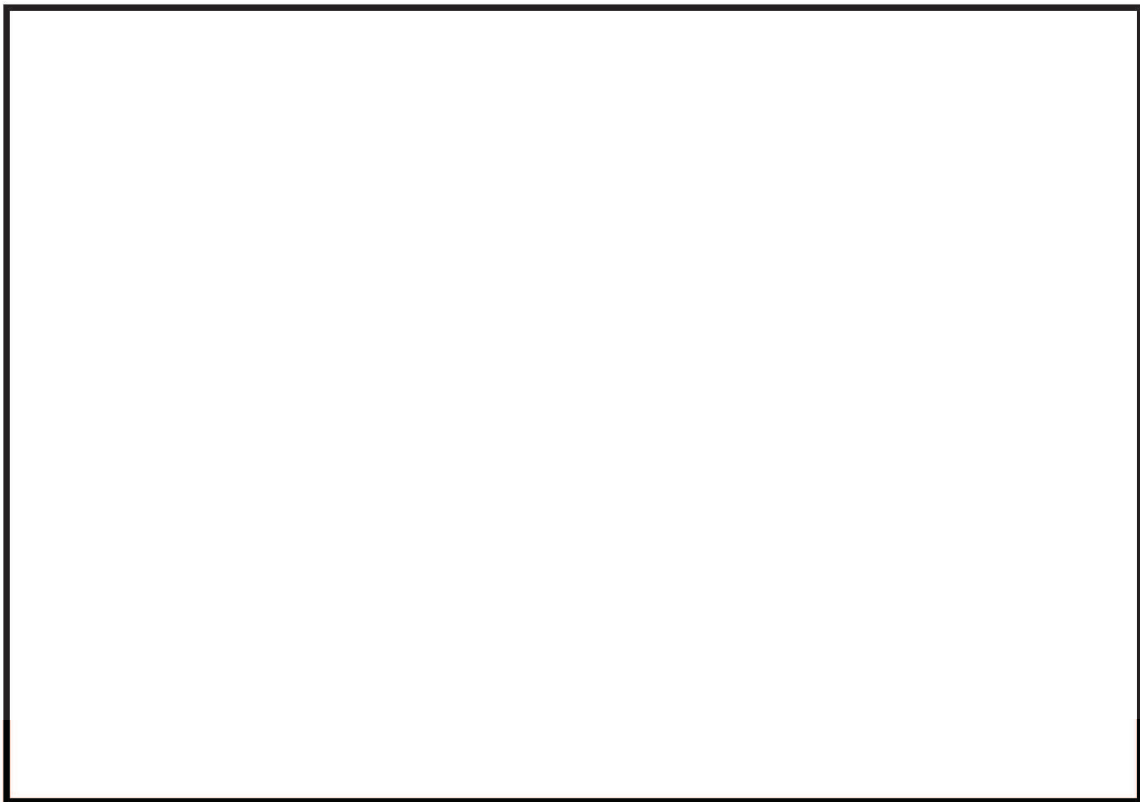
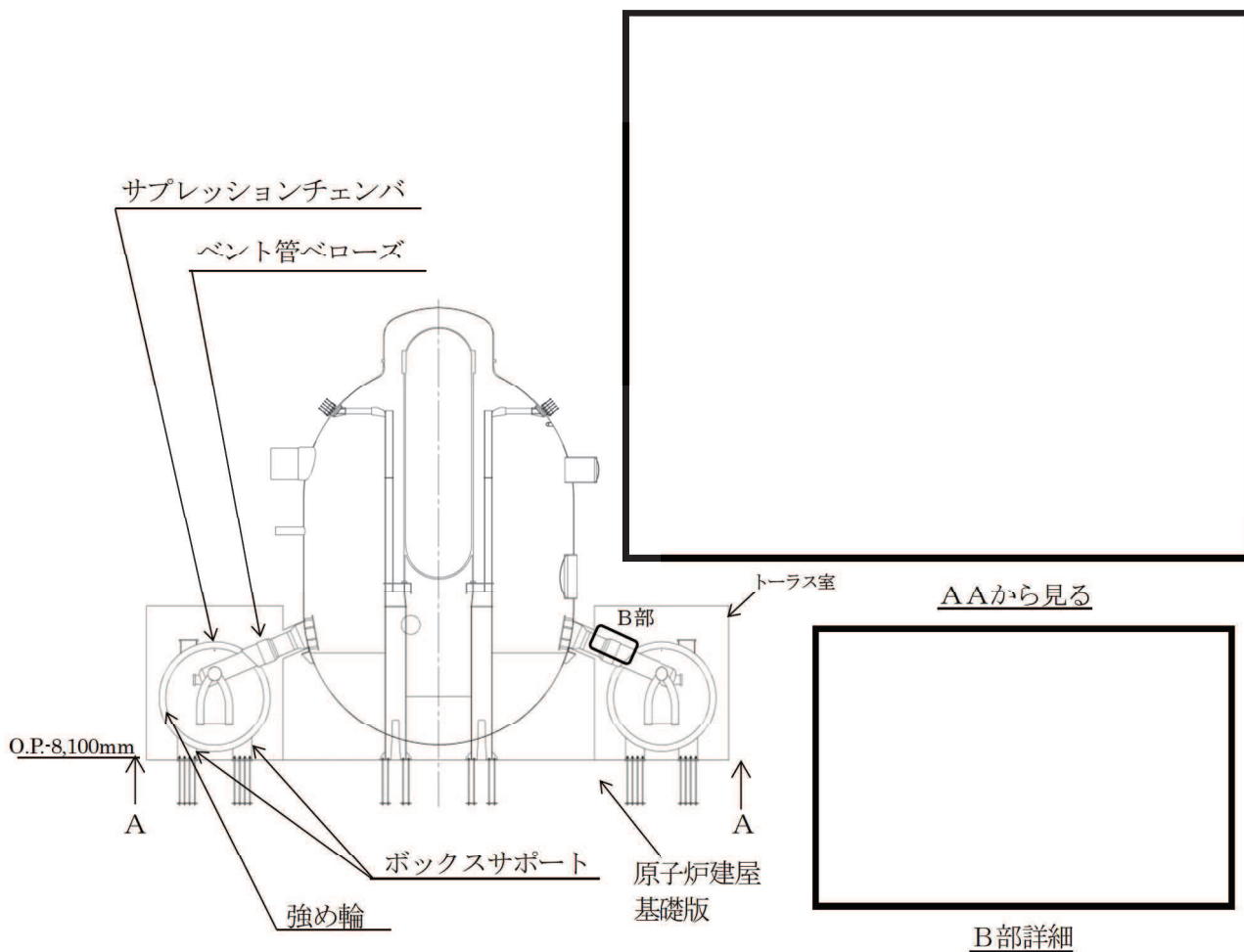


図 2. 1-1 サプレッションチェンバ及びボックスサポート構造概要図



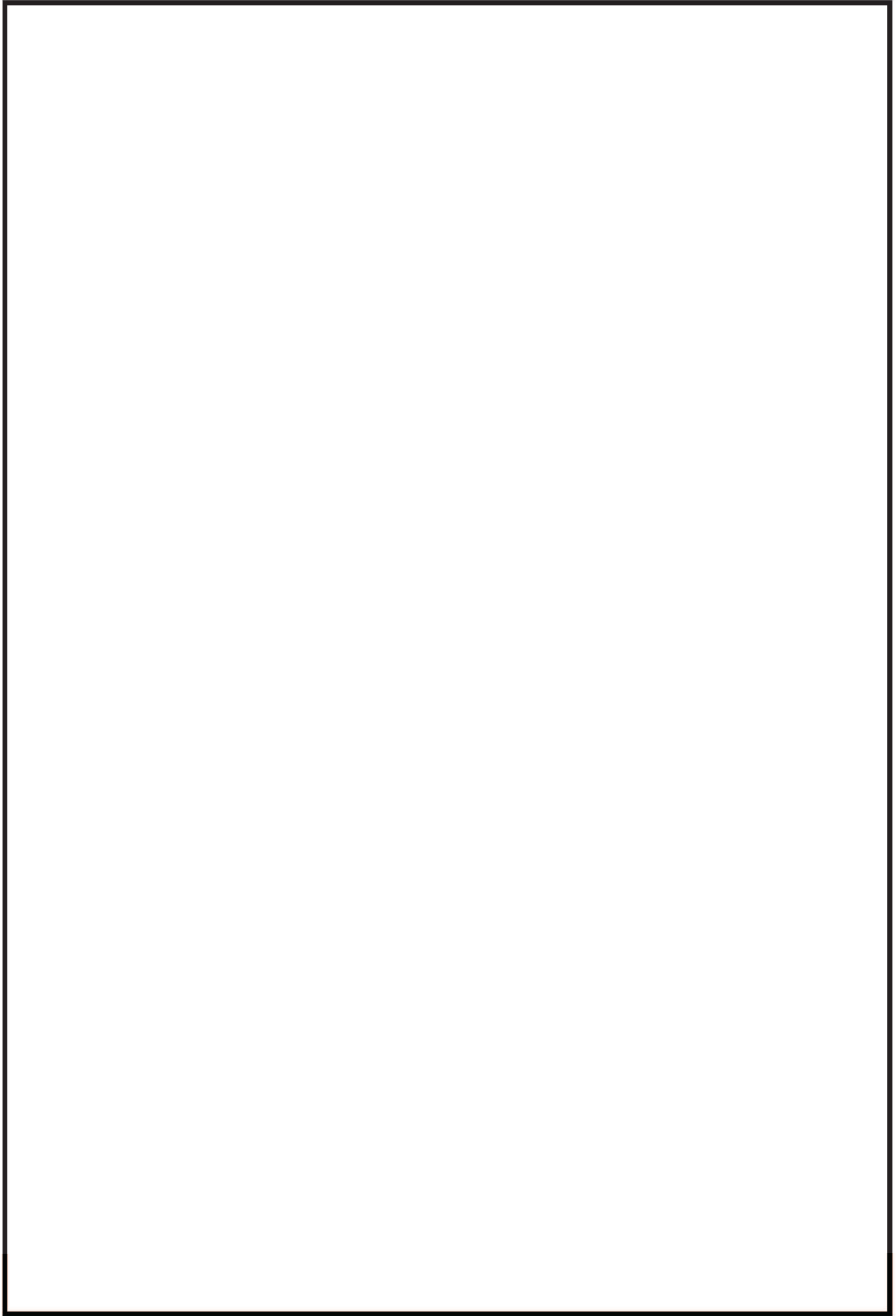


図 2. 1-2 ボックスサポート構造詳細図

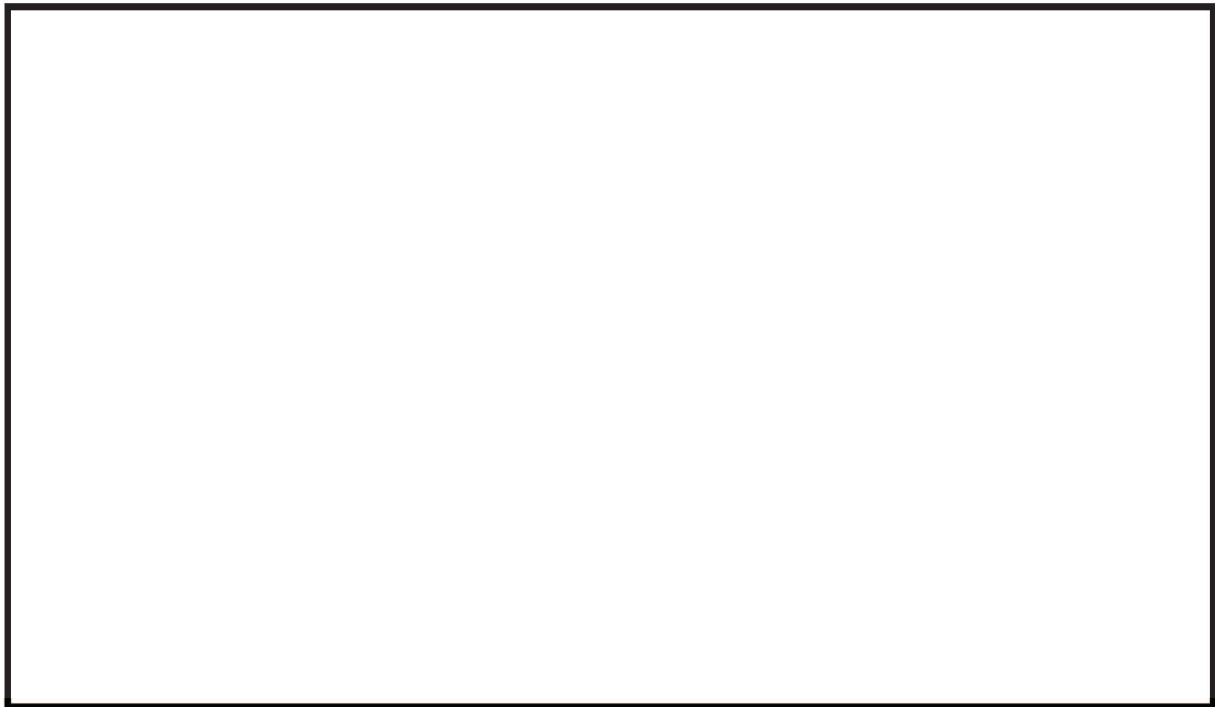


図 2.1-3 サプレッションチェンバ断面概要図

表 2.1-1 サプレッションチェンバ諸元

項目		内容	備考
耐震クラス		Sクラス	設計基準対象施設
設備分類		常設耐震重要重大事故防止設備 常設重要重大事故緩和設備	重大事故等対処設備
設置建屋		原子炉建屋	
設置高さ		O. P. -8, 100	原子炉建屋基礎版上
主要寸法	D		記号は図 2.1-1 に示す
	$\lambda$		
	t		
	$\theta$		
サプレッションチェンバ質量 (内部水及びボックスサポート含む)		約 4,200 ton	通常運転水位における質量
		約 6,770 ton	耐震解析用重大事故等時水位* における質量
内部水質量		約 2,900 ton	通常運転水位における質量
		約 5,470 ton	耐震解析用重大事故等時水位* における質量

注記\* 重大事故等時水位よりも高い水位（真空破壊装置下端位置）

## 2.2 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策

### 2.2.1 耐震補強対策の目的

今回工認においては、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、女川2号機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震性を向上させるための補強対策として、サプレッションチェンバの強め輪及びボックスサポート取付部、ボックスサポートの脚部及び基礎部に補強部材を追加する。

### 2.2.2 耐震補強対策の内容

#### (1) サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部

サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部の耐震補強対策前後の比較表を表 2.2-1 及び表 2.2-2、耐震補強対策後の詳細構造図を図 2.2-1 に示す。

サプレッションチェンバの小円については、建設時より、断面変形を抑制する設計のためサプレッションチェンバ内部に強め輪が設置されているが、強め輪を拡張する補強部材及び強め輪間の連結板を追加する耐震補強対策を実施し、強め輪の剛性を向上させることによって小円の断面変形を更に抑制する。【強め輪 64 枚中の 32 枚（胴エビ継手部）】なお、耐震補強対策の範囲は、サプレッションチェンバ内の設備（サプレッションチェンバスプレイ管、主蒸気逃がし安全弁排気配管）との干渉及びサプレッションチェンバ下部の強め輪補強が応力に与える影響が小さいことを踏まえて設定している（図 2.2-2 参照）。

サプレッションチェンバの内側及び外側ボックスサポート取付部（P9、P10）に対する応力低減を目的として、ボックスサポート取付部周辺にパッド及び補強リブを追加する。【ボックスサポート取付部：32ヶ所】

サプレッションチェンバ内の耐震補強対策等による部材の追加によってサプレッションチェンバ空間部体積及び水量が変化するため、有効性評価等に与える影響について確認し、有効性評価等で用いられている評価条件が確保されることを確認した。併せて、耐震補強対策等による部材の追加によって LOCA 時等の水温や内部水の流動に与える影響について考察し、影響がほとんどないことを確認した。（別紙 19）。

#### (2) ボックスサポート

ボックスサポートの耐震補強対策前後の比較表を表 2.2-3、耐震補強対策後の詳細構造図を図 2.2-3 に示す。

ボックスサポートのシヤラグ取付部（P4）及びシヤコネクタ取付部（P8）に対する応力低減を目的として、ベースプレート外側（周方向）に新設ベースプレート、新設シヤコネクタ及び新設シヤラグを追加する。また、ボックスサポートのフランジプレート（P6）及びベースプレート（P7）に対する応力低減を目的として、ボックスサポートのボックスプレートに追加リブを追加する。【ボックスサポート：32ヶ所】

表 2.2-1 サプレッションチェンバの耐震補強対策前後比較表

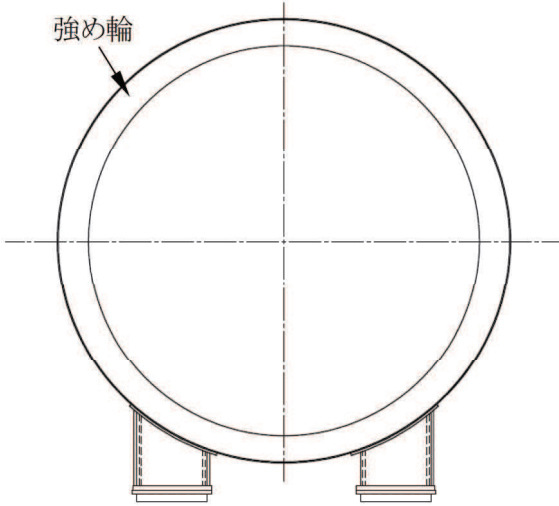
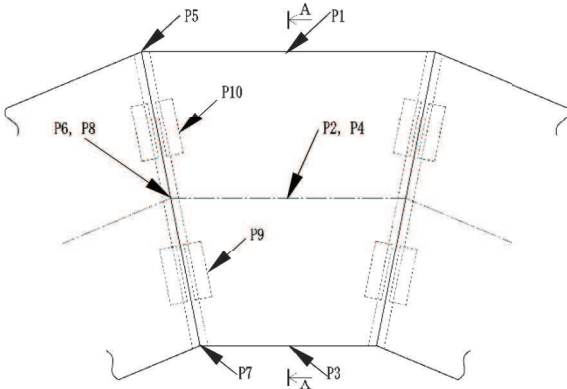
	補強前 (小円断面)	補強後 (小円断面)
概略構造		

表 2.2-2 ボックスサポート取付部の耐震補強対策前後比較表

	補強前 (ボックスサポート取付部)	補強後 (ボックスサポート取付部)
概略構造	<p>*P1～P10 は既工認における応力評価点</p> 	

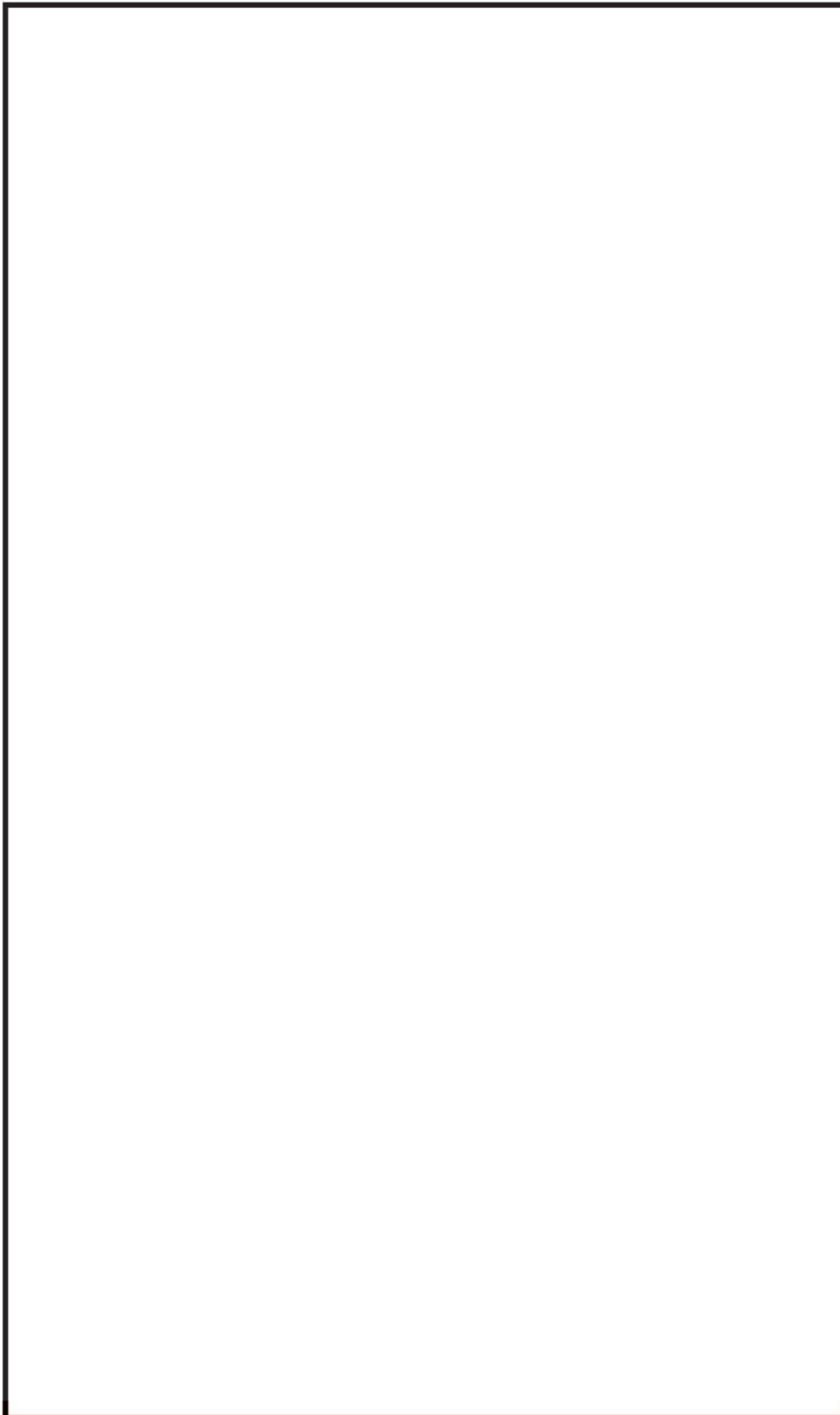


図 2. 2-1 サプレッションチェンバ及びボックスサポート取付部の耐震補強対策後詳細構造図

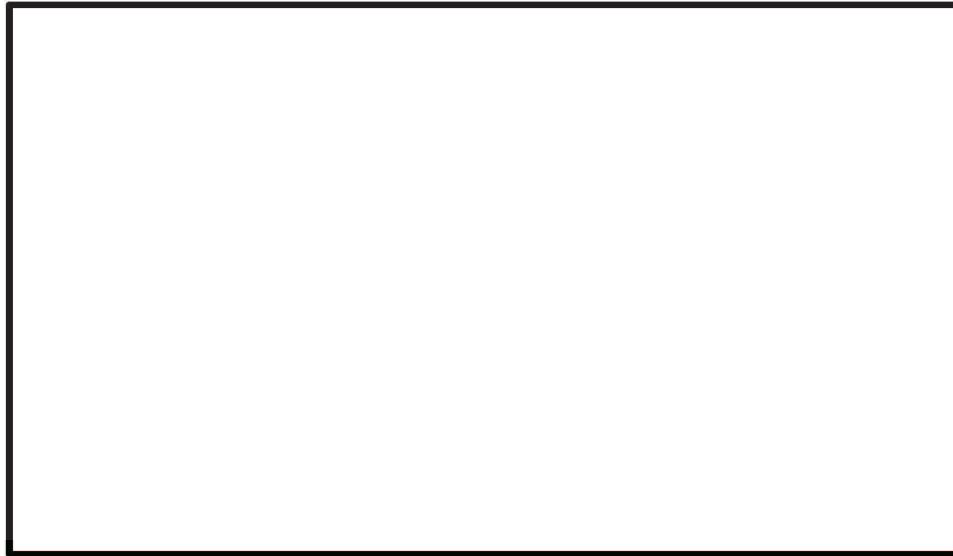


図 2.2-2 強め輪の補強範囲とサプレッションチェンバ内の設備との関係

表 2.2-3 ボックスサポート耐震補強対策前後比較表

	補強前	補強後
概略構造	<p>*P1～P11 は既工認における応力評価点</p> <p style="text-align: center;">A - A 断面</p>	<p>■ : 補強部材</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

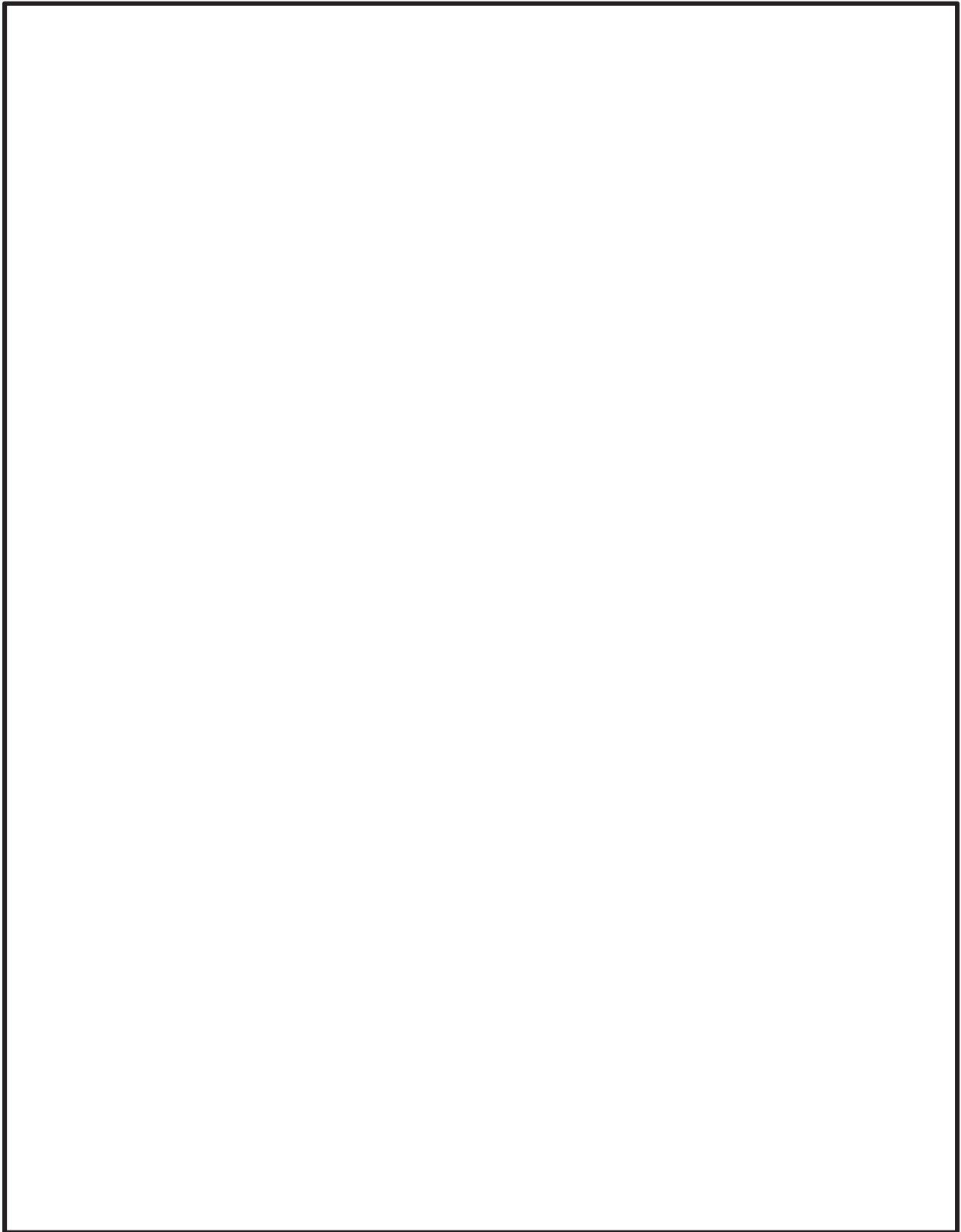


図 2.2-3 ボックスサポートの耐震補強対策後詳細構造図

### 3. サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価

#### 3.1 評価手順

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価に係る評価手順は、表 3.1-1 のとおり、地震応答解析及び応力解析に大別される。

地震応答解析では、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの構造特性、サプレッションチェンバ内部水の流体特性等を考慮し、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル（3次元はりモデル）を設定し、固有値解析及び地震応答解析（スペクトルモーダル解析）を実施し、地震時における荷重等を算定する。なお、スロッシング荷重については、地震時のサプレッションチェンバ内部水の挙動を考慮し、流体解析にて算定する。

応力解析では、地震応答解析にて算定した地震時における荷重等を用いて、サプレッションチェンバ及びボックスサポートのシェルモデルを用いた FEM 解析による応力解析、評価断面の形状から公式等による手計算等によって各応力評価点の応力を算定する。

なお、表 3.1-1 には、設置許可審査にて詳細設計段階で説明することとした項目（設置許可からの申送り事項）及び詳細設計の進捗を踏まえた説明する項目を示す。



: 詳細設計段階で説明することとした項目 (設置許可からの申送り事項)  
 : 詳細設計の進捗を踏まえた説明項目

表 3.1-1 評価手順 (1/2)

	評価手順	主な詳細設計項目	今回工認における補足説明の内容
地震応答解析	耐震評価 ↓ 地震応答解析モデルの設定 (3次元はりモデル) ↓ 固有値解析の実施 ↓ 地震応答解析の実施 (スペクトルモーダル解析) ↓ 地震時における荷重等の算定 ↓ 応力解析へ	耐震補強対策 ↓ サプレションチェンバ内部水の有効質量のモデル化 ↓ サプレションチェンバ本体のモデル化 ↓ ボックスサポート取付部のモデル化 ↓ ボックスサポートのモデル化 ↓ 設計用床応答曲線 ↓ 動的解析 ↓ スロッシング荷重	耐震補強対策の内容 本文：2.2.2 参照 有効質量の算定及びモデル化 本文：4.1.1, 4.1.2 参照 別紙：別紙1, 2 参照 バルジングの影響検討 本文：4.1.3 参照 別紙：別紙3 参照 ばね剛性の設定 本文：4.1.4 参照 別紙：別紙4 参照 ボックスサポートの剛性の詳細化、基礎ボルトのモデル化 本文：4.1.5 参照 はりモデルの妥当性検討 (シエールモデルとの応答比較) 本文：4.2 参照 有効質量算定解析コード間の差異影響 本文：4.3 参照 スペクトルモーダル解析の適用 (高振動数の考慮確認) 本文：4.3 参照 流体解析によるスロッシング荷重算定 本文：4.4 参照 別紙：別紙6 参照

: 詳細設計段階で説明することとした項目 (設置許可からの申送り事項)  
 : 詳細設計の進捗を踏まえた説明項目

表 3.1-1 評価手順 (2/2)

	評価手順	主な詳細設計項目	今回工認における補足説明の内容
応力解析		<p>サブレーションチェーンバの解析結果及びボックスサポート荷重伝達経路の考慮</p> <p>サブレーションチェーンバ及びボックスサポートのモデル化</p> <p>FEM解析</p> <p>フランジプレート (外側) のモデル化</p> <p>FEM解析</p>	<p>応力評価点の検討 本文：5.2 参照</p> <p>モデル化方針 本文：5.3.1 参照</p> <p>サブレーションチェーンバの応力評価 本文：5.4.1 参照</p> <p>モデル化方針 本文：5.3.2 参照</p> <p>ボックスサポートの応力評価 本文：5.4.2 参照</p>

## 3.2 地震応答解析

### 3.2.1 基本方針

既工認では、簡便な扱いとして、サブプレッションチェンバ内部水を含めたサブプレッションチェンバ全体を剛と見做し、静的に地震応答解析を実施していたが、今回工認におけるサブプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析では、重大事故時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、より現実に近いサブプレッションチェンバの内部水の挙動を考慮して内部水質量を従来の固定質量から有効質量へ変更すること、サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析として、女川2号機と同型炉で既工認実績のある動的解析（3次元はりモデルを用いたスペクトルモーダル解析）を適用し、地震時における荷重を算出する。なお、スロッシング荷重については、地震時のサブプレッションチェンバ内部水の挙動を考慮し、流体解析にて算定する。

また、地震応答解析モデルの設定にあたっては、サブプレッションチェンバとボックスサポートの取付部に剛性を模擬したばね要素を考慮すること等に加えて、耐震性の向上を目的としたサブプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容を反映し、より詳細にサブプレッションチェンバとボックスサポートの耐震評価を実施する。

なお、地震応答解析に適用する3次元はりモデルの妥当性確認として、3次元シェルモデルを用いた地震応答解析との比較検討を行い、耐震評価において考慮すべき振動モードが3次元はりモデルにて表現できていること等を確認する。

### 3.2.2 地震応答解析モデル

サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する3次元はりモデルについて、図3.2-1に示す。

設置許可からの申送り事項、詳細設計段階における進捗等を踏まえ、サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの3次元はりモデルの設定にあたっての主な考慮事項を以下に示す。なお、詳細検討内容については、4項に示す。

#### (1) サプレッションチェンバ内部水に対する有効質量

サブプレッションチェンバ内部水に対する有効質量は、**NASTRANの仮想質量法**を用いて、サブプレッションチェンバの内面圧力（水平及び鉛直方向の圧力）から各方向の有効質量を算出する。また、算出された有効質量の3次元はりモデルへの設定は、NASTRANの機能（Guyan縮約法）を用いて、サブプレッションチェンバの各質点に縮約し、付加する。

なお、サブプレッションチェンバ内部水の有効質量の妥当性検証として、実機を縮小した試験体を用いた振動試験及び流体解析により算出した有効質量と比較・検証を行う。

#### (2) サプレッションチェンバ本体のバルジングに対する影響

サブプレッションチェンバ及びボックスサポートを構成する各部材の剛性、質量、サブプレッション

チェンバ内部水等を適切に考慮し、はり要素でモデル化する。

一方、内部水を有する薄肉円筒容器（たて置円筒容器）の円筒壁面が変形振動（バルジング）することの既往知見に対して、既工認におけるサブプレッションチェンバ本体（小円）の耐震設計では、強め輪によりサブプレッションチェンバ本体（小円）の断面変形を抑制する設計としている。ただし、今回工認では、重大事故等時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、強め輪の剛性を更に向上させる耐震補強対策を実施することによって、サブプレッションチェンバ本体（小円）の断面変形を更に抑制する設計とする。

また、サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルの設定にあたっては、より詳細に地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素を3次元はりモデルに付加する。

### (3) ボックスサポート取付部の影響

既工認におけるボックスサポート取付部の耐震設計では、当該部における局部変形を防止するため、サブプレッションチェンバ内部に強め輪を設置するとともに、ボックスサポートは当て板を介してサブプレッションチェンバに取り付けられていることから、ボックスサポート取付部の剛性を簡便に剛として扱っていた。今回工認では、重大事故等時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、ボックスサポート取付部の影響を含め、より詳細な地震応答を把握するため、シェルモデルとはりモデルを用いた解析からボックスサポート取付部のばね剛性を各々算定し、そのばね剛性の差をばね要素として地震応答解析モデル（3次元はりモデル）に設定することで、はりモデルで考慮されないボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮する。

### (4) ボックスサポートの剛性の詳細化及び基礎ボルト等の扱い

既工認におけるサブプレッションチェンバのモデル化では、十分に剛性が高いことから固定状況を境界条件として考慮していた。今回工認では、より詳細な地震応答を把握するため、シェルモデルを用いた解析からボックスサポートの剛性を算定し、地震応答解析モデルに考慮する。

また、ボックスサポートの基礎ボルトに負荷される地震荷重をより詳細に評価するため、基礎ボルトを剛ばね要素として、地震応答解析モデルに考慮する。

また、ボックスサポートは、サブプレッションチェンバ本体（大円）の半径方向に対する熱膨張を吸収する可動構造であることから、地震応答解析モデルにおけるボックスサポート下端の境界条件は、サブプレッションチェンバ本体（大円）の周方向に固定、半径方向に自由とする。

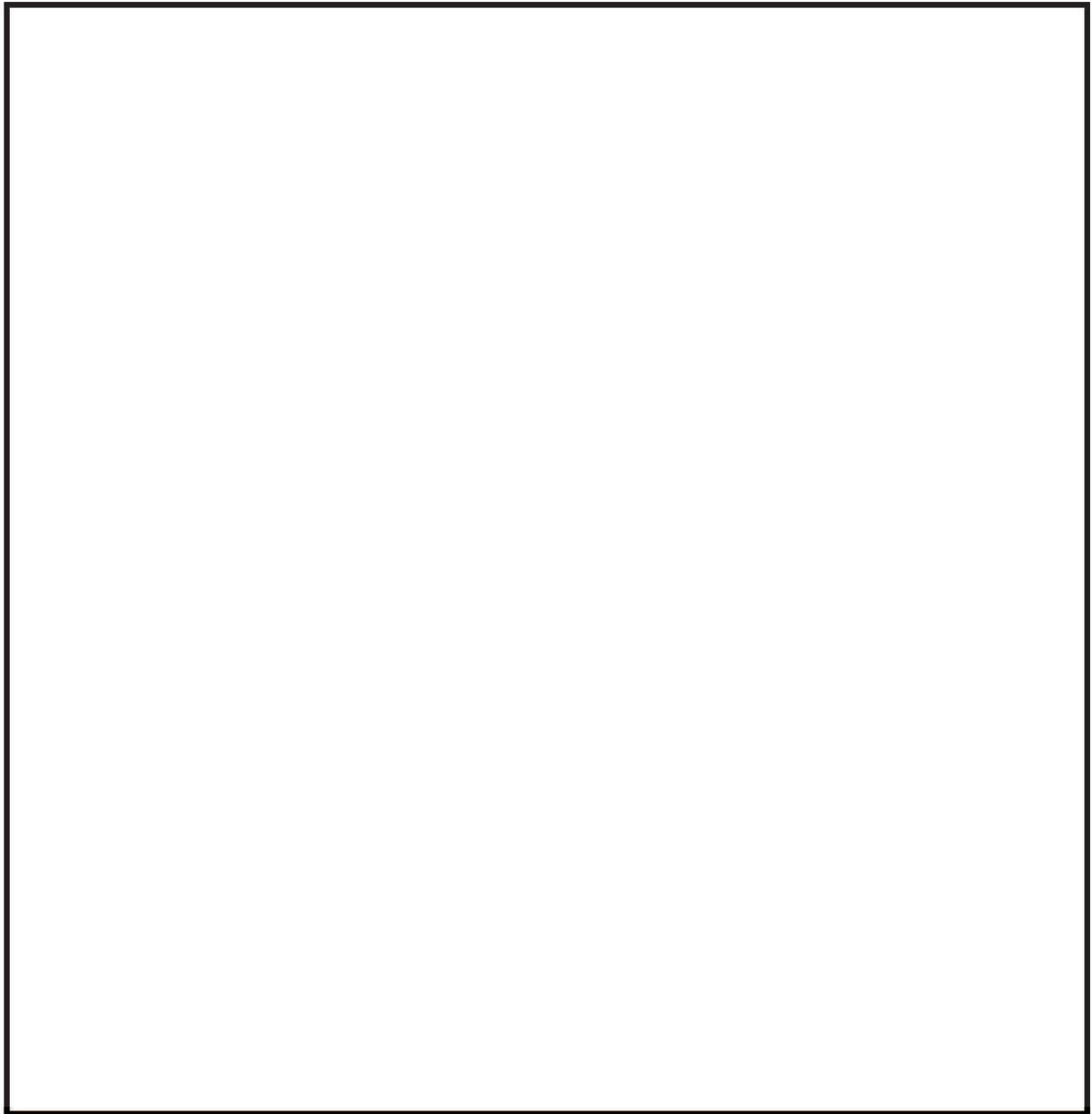


図 3.2-1 サプレッションチェーン及びボックスサポートの地震応答解析モデル (3次元はりモデル)

### 3.3 応力解析

#### 3.3.1 基本方針

今回工認のサブプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価における応力評価では、重大事故等時のサブプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等に加えて、耐震性の向上を目的としたサブプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震補強対策の内容も踏まえ、構成部材の形状、断面性能及び荷重伝達等を考慮して応力評価点及び応力解析方法を設定し、応力評価を行う。なお、詳細検討内容については、5.項に示す。

#### 3.3.2 応力評価点

サブプレッションチェンバ及びボックスサポートの応力評価点を表 3.3-1、図 3.3-1、表 3.3-2、図 3.3-2 に示す。

表 3.3-1 サプレッションチェンバの応力評価点

評価設備	応力評価点番号	応力評価点	既工認	今回工認
サブプレッション チェンバ	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	○	○*

注記\*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する

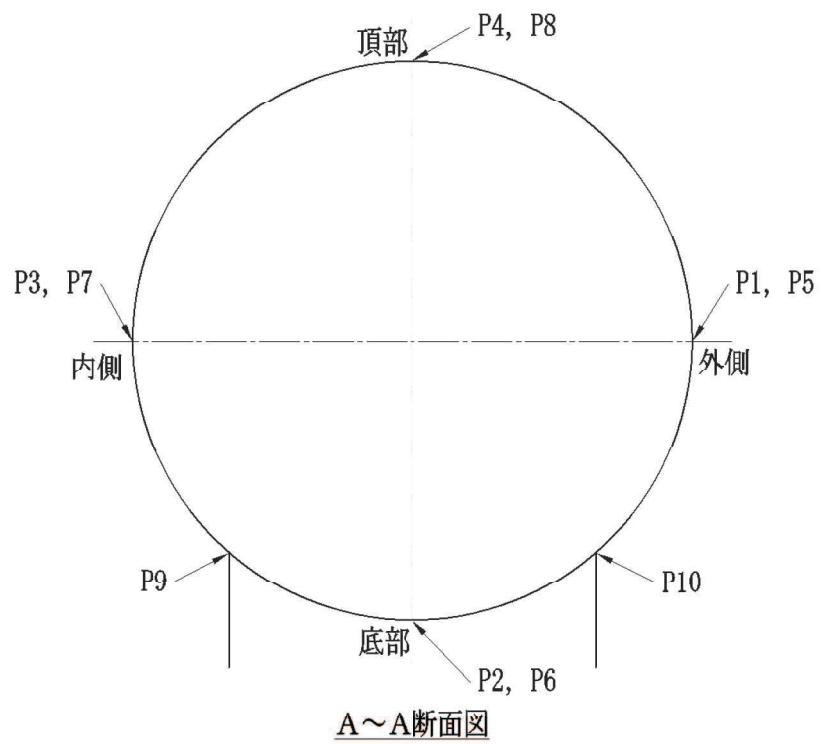
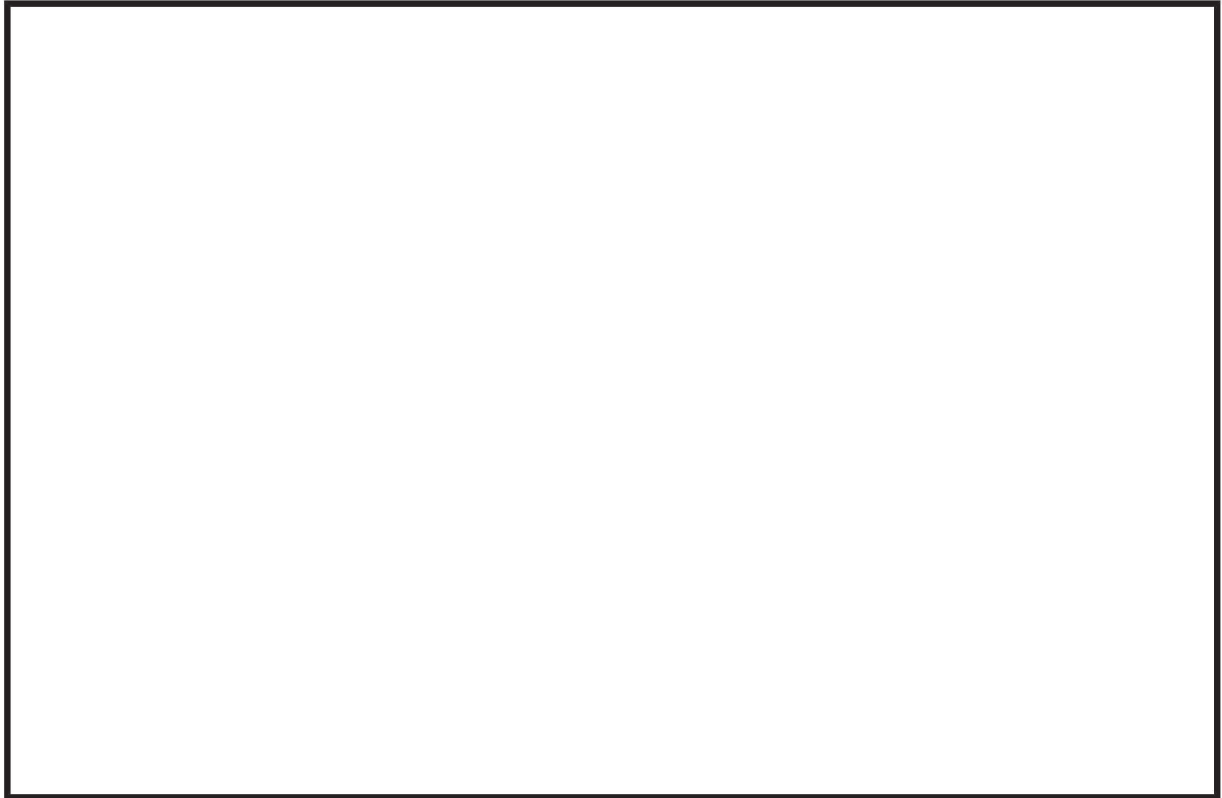


図 3.3-1 サプレッションチェンバの応力評価点

表 3.3-2 ボックスサポートの応力評価点

評価設備	応力評価 点番号	応力評価点	既工認	今回工認
ボックス サポート	P1	ボックスプレート	○	○
	P2	ボックスプレート取付部	○	○
	P2'	ボックスプレート（上側）取付部	—	○
	P3	フランジプレートとシヤラグ接触部	○	○
	P4	シヤラグ取付部	○	○
	P5	基礎ボルト	○	○
	P6	フランジプレート	○	○
	P6'	フランジプレート（外側）	—	○
	P7	ベースプレート	○	○*
	P8	シヤコネクタ（外側）取付部	○	○*
	P9	コンクリート（ベースプレート下面）	○	○
	P10	コンクリート（シヤコネクタ（外側）側面）	○	○*
P11	コンクリート（シヤプレート上面）	○	○	
P12	パッド取付部	—	○	

注記\*：耐震補強対策を考慮して評価断面位置を変更する



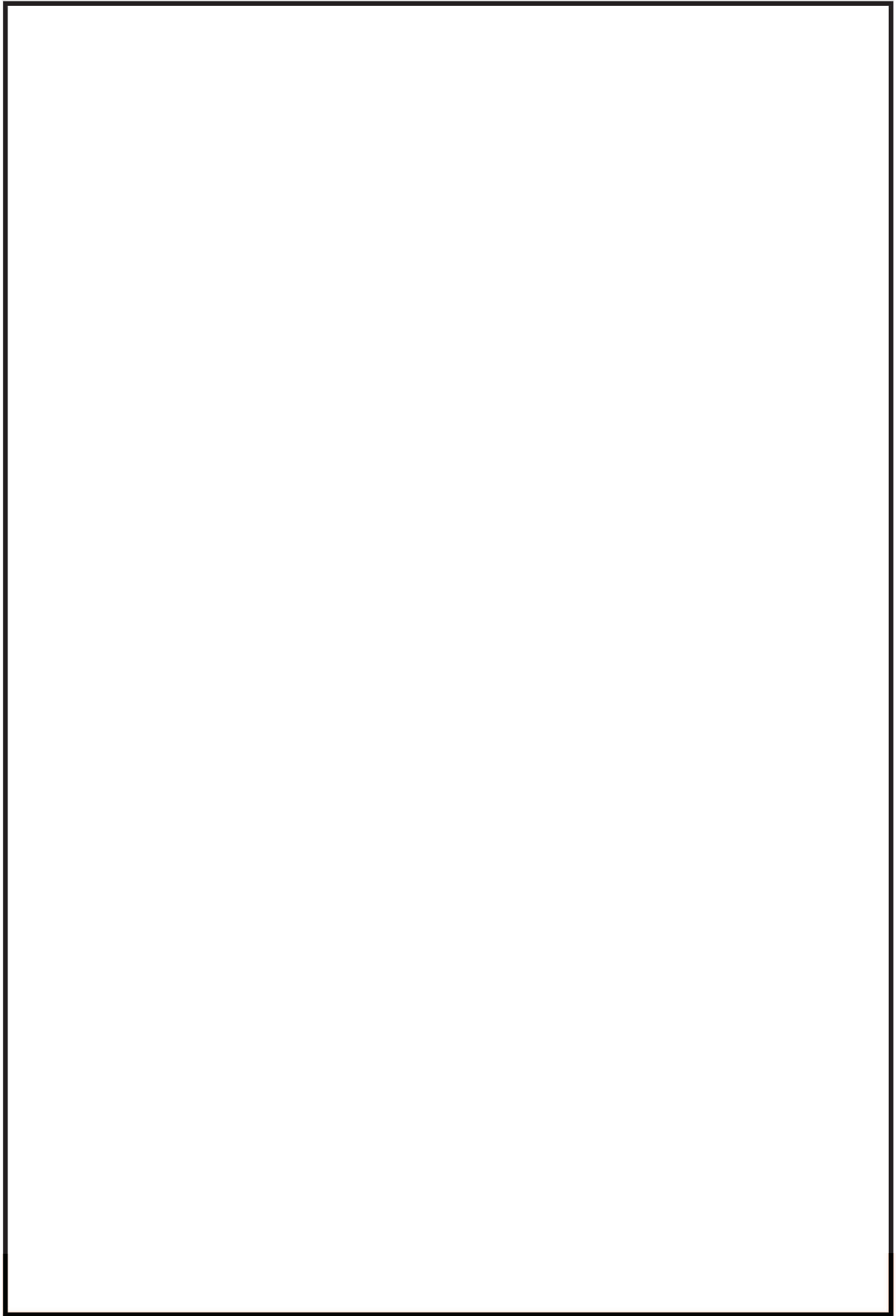


図 3.3-2 ボックスサポートの応力評価点

### 3.3.3 応力解析方法

#### (1) 公式等による手計算を用いた応力評価

既工認におけるサプレッションチェンバ（ボックスサポート取付部除く）の応力評価は、サプレッションチェンバをはり要素でモデル化し、サプレッションチェンバ設置床の最大応答加速度に対する静的解析によって得られた地震荷重及び評価断面の形状等から、公式等による手計算によって応力を算出していた。また、ボックスサポートは、手計算により算出したボックスサポート1個当たりの地震荷重及び評価断面等の形状から公式等による手計算によって応力を算出していた。

今回工認におけるサプレッションチェンバの応力評価は、動的解析(3次元はりモデルによるスペクトルモーダル解析)から算出された地震荷重等を用いて、応力解析モデルを用いた応力評価を行い、ボックスサポートの応力評価は、動的解析(3次元はりモデルによるスペクトルモーダル解析)から算出された地震荷重等を用いて、既工認同様、公式等による手計算によって応力を算出する。ただし、フランジプレートについては、応力解析モデルを用いた応力評価を行う。

#### (2) 応力解析モデルを用いたFEM解析による応力評価

既工認におけるボックスサポート取付部の応力評価は、内側と外側のボックスサポート(1組)とその両側にあるサプレッションチェンバ(胴部)をシェル要素でモデル化し、ボックスサポート下端位置等に静的解析で算出された地震荷重等を入力し、FEM解析による応力解析を行っていた。

今回工認では、重大事故等時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、サプレッションチェンバ及びボックスサポートに負荷される局所的な応力をより詳細に評価するため、シェル要素でモデル化し、ボックスサポート取付部に加えて、サプレッションチェンバについてもFEM解析による応力解析を行う。

応力解析モデルは、ボックスサポート取付部のばね剛性の算定に用いたモデルと同等の解析モデルを適用する。また、地震応答解析で算出された地震荷重等の応力解析モデルへの入力値は、応力評価点の変形を適切に模擬するように地震応答変位を用いて設定する。

また、ボックスサポートのうち、フランジプレートの応力評価については、ボックスサポートの耐震補強対策として設置した追加リブによる拘束効果を考慮し、より詳細に応力を評価するため、フランジプレート周りをシェル要素でモデル化し、FEM解析による応力解析を行う。

### 3.4 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違

既工認と今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの耐震評価手法について比較・整理した結果を表3.4-1に示す。また、既工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデルを図3.4-1に、ボックスサポートの荷重算定方法について図3.4-2に示す。

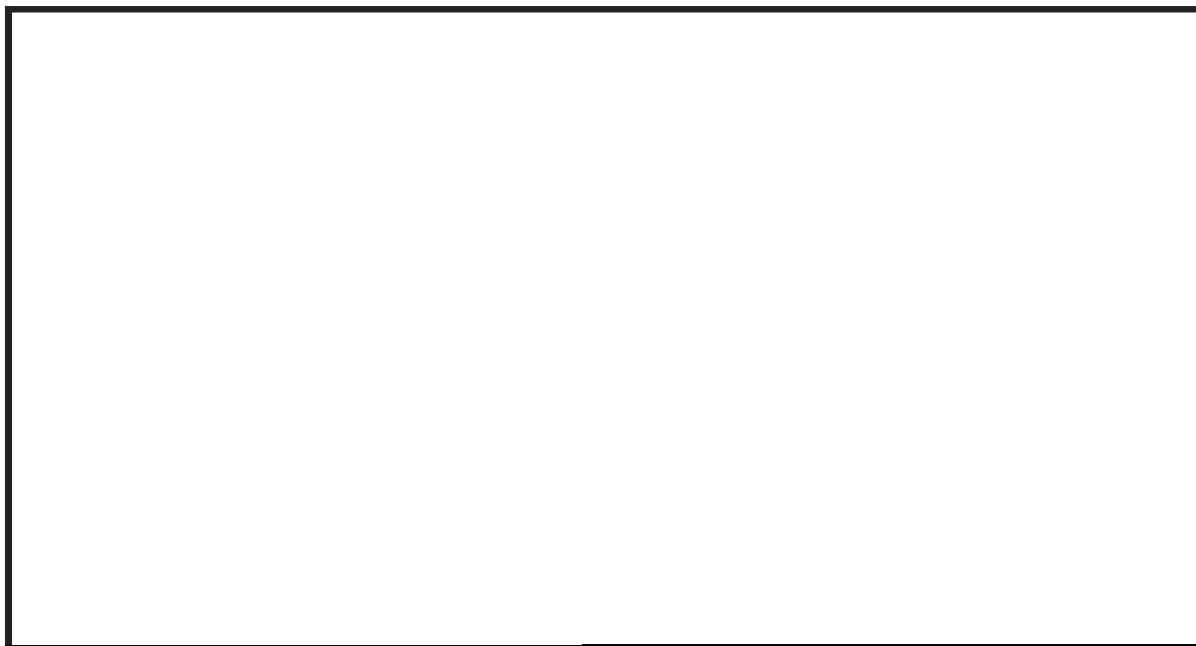


図3.4-1 既工認におけるサプレッションチェンバの地震応答解析モデル

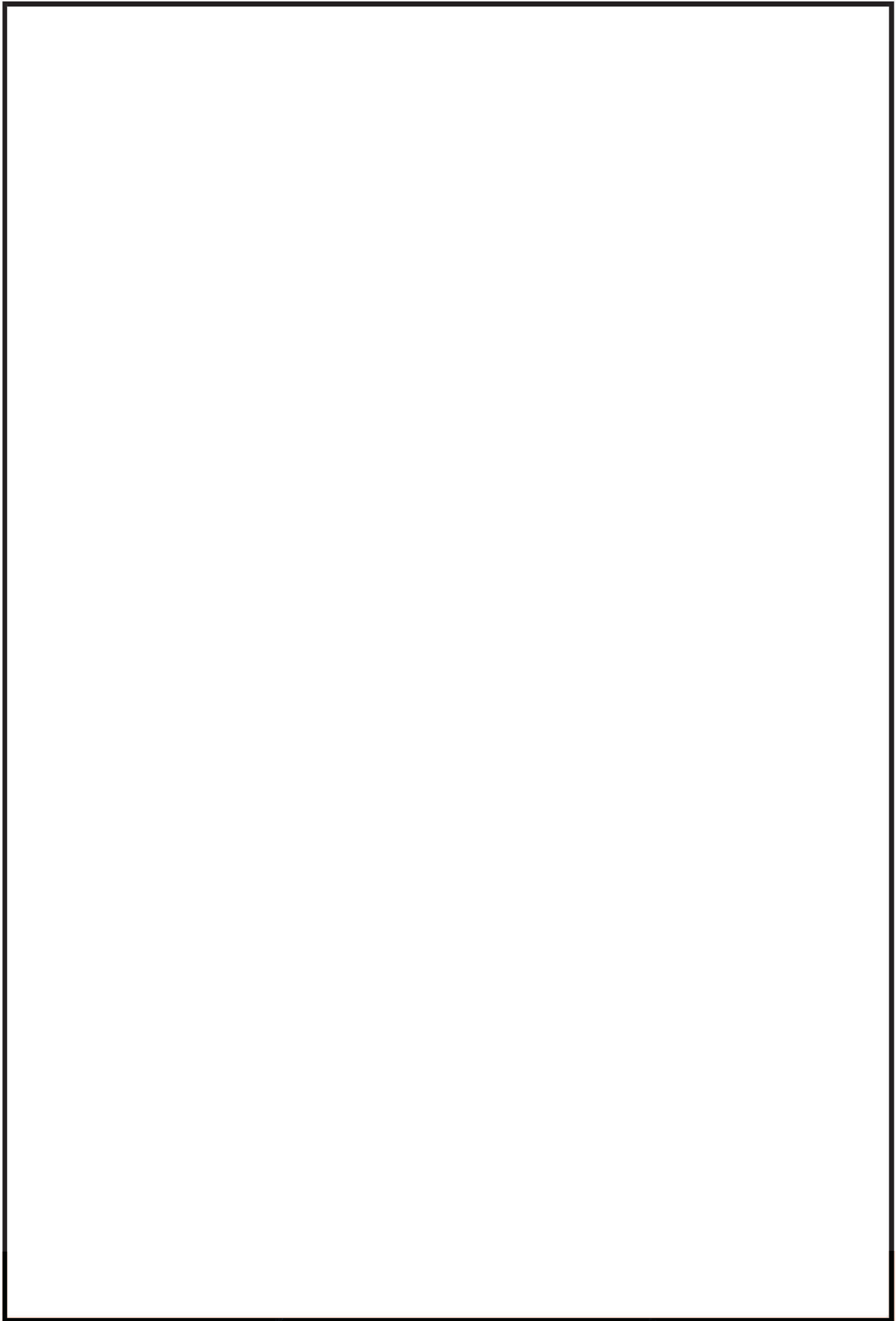


図 3.4-2 ボックスサポートの荷重算定方法

表 3.4-1 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違 (1/2)

設備	解析種別	応力評価点	既工認		今回工認		変更理由
			解析手法	解析モデル	解析手法	解析モデル	
サブレッションチェンバ	地震応答解析	全応力評価点	設置床の最大応答加速度による静的解析	3次元はりモデル (サブレッションチェンバ全体を考慮)	動的解析 (スペクトルモーダル解析)	3次元よりモデル*1 (サブレッションチェンバ全体を考慮)	重大事故等時のサブレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、解析手法及び解析モデルを詳細化した。
			公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	胴エビ継手部と合わせて、より詳細な応力を考慮することとした。
	応力解析	胴エビ継手部外側 胴エビ継手部底部 胴エビ継手部内側 胴エビ継手部頂部	公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	胴エビ継手部近傍にはボックスサポータが取り付けられているため、より詳細に局部的な応力を考慮することとした。
			公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	地震応答解析モデルに考慮したボックスサポータ取付部の非弾塑性算定用のシェルモデルを応力解析モデルとした。( ) から ( ) とした。
	応力解析	内側ボックスサポータ取付部 外側ボックスサポータ取付部	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	
			公式等による評価	-	FEM 解析	3次元シェルモデル (サブレッションチェンバ本体とボックスサポータ ( ) を考慮)	

注記\*：①サブレッションチェンバ内部水に対する有効質量の適用、②ボックスサポータ取付部にはね剛性を考慮、③ボックスサポータの剛性の詳細化及び基礎ボルトのモデル化

表 3.4-1 既工認と今回工認における耐震評価手法の相違 (2/2)

設備	解析種別	応力評価点	既工認		今回工認		変更理由		
			解析手法	解析モデル	解析手法	解析モデル			
ボックスサポータ	地震応答解析	全応力評価点	設置床の最大応答加速度による静的解析	—	動的解析 (スベクトルモード解析)	3次元はりモデル*1 (サブプレッションエンバ全体を考慮)	重大事故等時のサブプレッションエンバの水面上昇に伴う内部水質量の増加、基礎地震動の増大等を踏まえ、より詳細に地震応答を把握するため、解析手法及び解析モデルを詳細化した。		
		P1	ボックスプレート取付部 シヤラグ取付部 フランジプレート	公式等による評価	—	公式等による評価	—	評価断面として補強対策で設置した [ ] を考慮した。	
		P2							
		P4							
		P6							
		P2'	—*2	—*2	公式等による評価	公式等による評価	—	応力評価点として、P2 (ボックスプレート取付部；下側) に加えて、P2' (上側) を新たに設定した。	
		P3	フランジプレートとシヤラグ接触部 コンクリート (ベースプレート下面)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—	
		P9							
		P5							
		P6'	—*2	—*2	公式等による評価 FEM 解析	公式等による評価又は FEM 解析	3次元シェルモデル (3辺拘束範囲をモデル化)	応力評価点として、補強対策で設置した [ ] の拘束効果を考慮し、新たにP6' (外側) を設定した。	
		P7	ベースプレート (外側)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—	補強対策として追設した追加リブを考慮し、フランジプレート端部位置のベースプレートを応力評価点とした。
		P8	シヤコネクタ (外側) 取付部 コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)	公式等による評価	—	公式等による評価 (評価断面の変更)	—	—	補強対策として追設した [ ] を応力評価点とした。
P10									
P11	コンクリート (シヤプレート上面)	公式等による評価	—	公式等による評価	—	—	—		
P12	パッド取付部	—*2	—*2	公式等による評価	公式等による評価	—	P2 (ボックスプレート取付部) を代表応力評価点としていたが、新たにP12を応力評価点に設定した。		

注記\*1：①サブプレッションエンバ内部水に対する有効質量の適用、②ボックスサポータ取付部にばね剛性を考慮、③ボックスサポータの剛性の詳細化及び

基礎ボルトのモデル化

\*2：既工認では、応力評価点としていない。

#### 4. 地震応答解析の詳細

##### 4.1 地震応答解析モデル

###### 4.1.1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量算定

###### (1) 有効質量算定の考え方

有効質量については、他産業の球形タンクや円筒タンク等の容器の耐震設計に一般的に用いられている考え方である。また、有効質量は、容器の内部水が自由表面を有する場合、水平方向の揺れによる動液圧分布を考慮して、地震荷重として付加される容器の内部水の質量として設定される。この有効質量は、容器の形状と水位が既知であれば、汎用構造解析プログラム NASTRAN の仮想質量法を用いて算出することができる。

女川2号機の今回工認において、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に用いるサプレッションチェンバ内部水の有効質量算定フローを図4.1-1に示す。

地震応答解析に用いる有効質量は、実機のサプレッションチェンバに対してシェル要素で有効質量算定用解析モデルを作成し、サプレッションチェンバ内部水の水位を設定（流体部分と構造の接水面設定）した上で、応答解析（仮想質量法）にて、サプレッションチェンバ（各要素）の内面圧力（水平方向の圧力及び鉛直方向の圧力）から各方向の有効質量を算定する。

また、NASTRANによる有効質量の算定手法については、サプレッションチェンバが円環形状容器であることを考慮し、実機を縮小した試験体を用いた振動試験及び流体解析により算出した有効質量と比較・検証によりその妥当性を確認している。

有効質量の適用及びその妥当性に係る検討結果の詳細については、別紙1に示す。

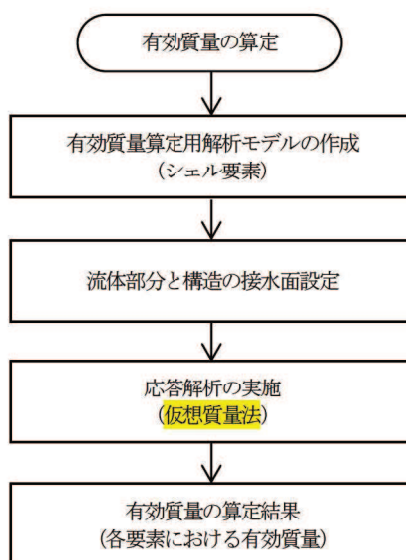


図4.1-1 有効質量算定フロー

(2) 有効質量の解析モデル

サプレッションチェンバ内部水の有効質量を算定するための解析モデルを図 4.1-2 に示す。

解析モデルは、サプレッションチェンバ（強め輪を含む）の寸法、剛性を模擬したシェル要素とし、サプレッションチェンバ内部水の水位を設定する。なお、サプレッションチェンバ内部水の有効質量を算定するための解析モデルの作成にあたっては、有効質量が解析対象の容器形状及び水位に係る情報のみがあれば算定可能であることから、有効質量算定に関係のないボックスサポートを模擬していない。

サプレッションチェンバ内部水の水位は、図 4.1-3 に示すとおり、通常運転水位及び耐震解析用重大事故等時水位を考慮して2 ケースを設定する。なお、耐震解析用重大事故等時水位は、重大事故後の状態で弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  による地震力と組み合わせる水位である（別紙 10）。

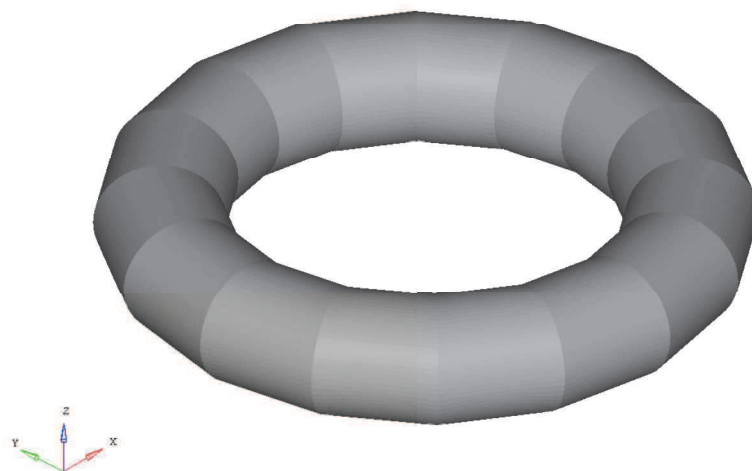


図 4.1-2 有効質量算定用解析モデル

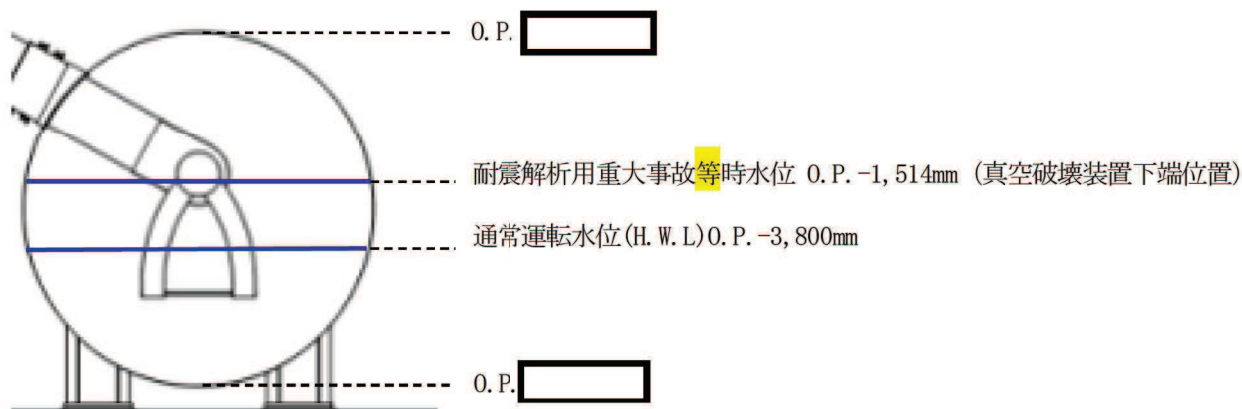


図 4.1-3 サプレッションチェンバ内部水の設定水位



(3) 有効質量の解析結果

仮想質量法によるサプレッションチェンバ内部水の有効質量の算定結果を表 4.1-1 に示す。ここで、算出結果として示している有効質量比の値は、内部水全質量に対する水平方向の有効質量の割合を表す。なお、実際の地震応答解析モデルにおける有効質量は、仮想質量法を用いて設定する。詳細な設定方法については、4.1.2 項に示す。

また、有効質量を算定する解析プログラムによる比較として、汎用流体解析コード OpenFOAM (流体解析) による算定結果も示す。各水位において仮想質量法と流体解析により算出した有効質量比は概ね一致しているが、仮想質量法により算出した方がやや大きい傾向があり、有効質量としては保守側の値となっている。

表 4.1-1 サプレッションチェンバ内部水の有効質量比算定結果

水位	解析手法	
	仮想質量法	流体解析*
通常運転水位(H.W.L)	0.24	0.22
耐震解析用重大事故等時水位	0.33	0.32

注記\* : スロッシングの卓越周期帯で応答加速度が大きいS s-D 1を用いた算定結果

#### 4.1.2 地震応答解析モデルにおける有効質量の設定

仮想質量法で算定したサプレッションチェンバ内部水の有効質量について、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルへの設定フローを図 4.1-4 に示す。

仮想質量法により算定したサプレッションチェンバ内部水の有効質量は、NASTRAN の機能である Guyan 縮約法を用いてサプレッションチェンバ (3 次元はりモデル) の各質点に縮約し、付加する。なお、NASTRAN の機能である縮約とは、一般に膨大な数のデータを扱う有限要素法などの解析において、行列の大きさ (次元) を小さくする解析上のテクニックとして用いられるものである。

有効質量算定用解析モデル (シェル要素) で算出されたサプレッションチェンバ各要素の有効質量は、その有効質量及び位置 (高さ) を考慮し、地震応答解析モデル (はり要素) のサプレッションチェンバ各質点に対する有効質量 (並進質量及び回転質量) として設定される。

今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルを図 4.1-5 に示す。また、地震応答解析モデルの各質点に設定される有効質量について、耐震解析用重大事故時水位を代表として、水平 (X 方向) 方向及び鉛直 (Z 方向) 方向の有効質量 (並進質量及び回転質量) を表 4.1-2 及び表 4.1-3 に示す。

水平 (X 方向) のうち並進 (X 方向) の質量の総和が有効質量であり、鉛直 (Z 方向) 方向の並進 (Z 方向) の質量の総和が全質量を表し、その有効質量比は 0.33 と表 4.1-1 と一致しており、適切に縮約されていることを確認した。なお、サプレッションチェンバの強め輪補強対策に係る詳細設計段階の検討結果の反映により、内部水から容器に加わる荷重が増加することで、設置許可時よりも有効質量比が増加している。

サプレッションチェンバ内部水の地震応答解析モデルへの設定方法に係る詳細及び NASTRAN の機能である Guyan 縮約法の妥当性については、別紙 2 に示す。

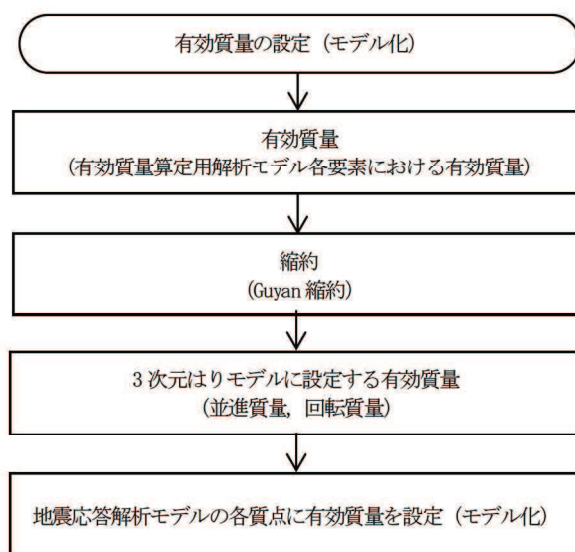


図 4.1-4 有効質量の地震応答解析モデルへの設定フロー

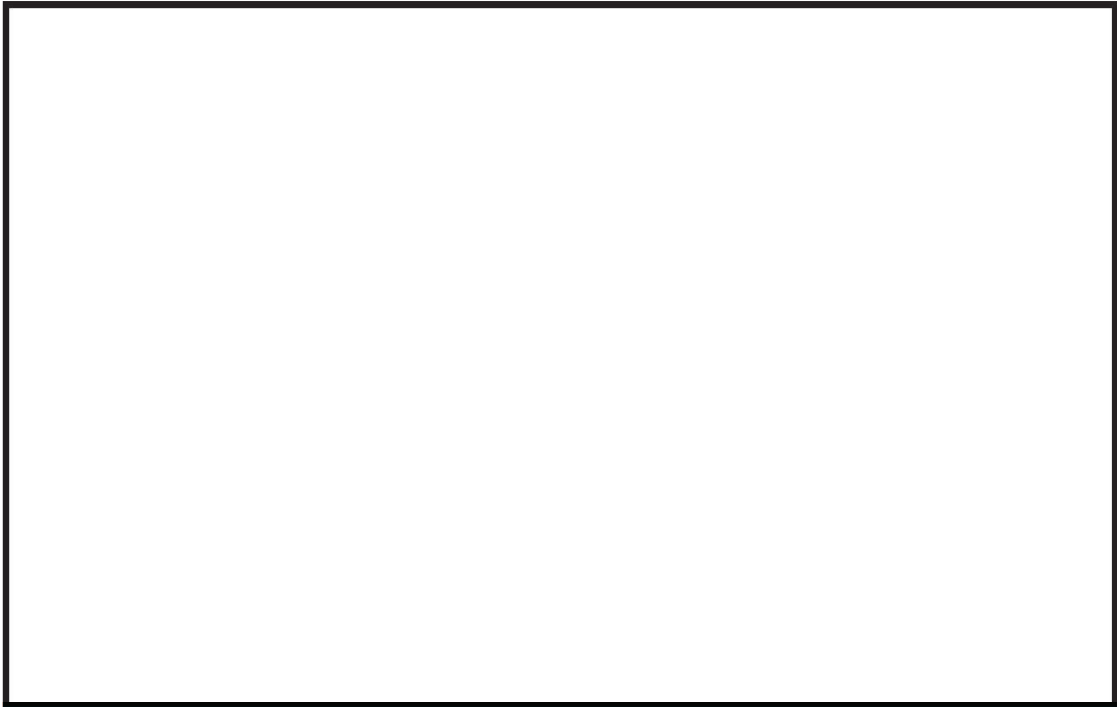


図 4.1-5 サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル

表 4.1-2 有効質量の設定（耐震解析用重大事故等時水位, X 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	$m_x$ ( $\times 10^3$ kg)	$m_y$ ( $\times 10^3$ kg)	$m_z$ ( $\times 10^3$ kg)	$Rm_x$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)	$Rm_y$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)	$Rm_z$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)
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						
合計						

表 4.1-3 有効質量の設定（耐震解析用重大事故等時水位, Z 方向）

質点 番号	並進質量			回転質量		
	$m_x$ ( $\times 10^3$ kg)	$m_y$ ( $\times 10^3$ kg)	$m_z$ ( $\times 10^3$ kg)	$Rm_x$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)	$Rm_y$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)	$Rm_z$ ( $\times 10^3$ kg $\cdot$ m)
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						
合計						

#### 4.1.3 サプレッションチェンバ本体のモデル化

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する解析モデル設定にあたっては、サプレッションチェンバ及びボックスサポートを構成する各部材の剛性及び質量、サプレッションチェンバ内部水等を適切に考慮することとしている。

サプレッションチェンバ本体（小円）については、建設時にサプレッションチェンバ内部に設置した強め輪（64 枚）によって断面変形を抑制する設計としているため、はり要素でモデル化しているが、バルジングに係る既往知見を踏まえ、サプレッションチェンバに対するバルジングの影響検討を行い、地震応答解析にあたってサプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化することの適用性を検討した。

影響検討の結果、サプレッションチェンバ内部に設置された強め輪の効果によって、サプレッションチェンバ本体（小円）の剛性が向上し、振動特性が改善されるため、地震による発生応力が低減されることを確認した。また、強め輪の効果によって、サプレッションチェンバのオーバル振動（花びら状の変形等の小円の複雑な断面変形を伴う振動モード）の影響を十分に抑制できることを確認したことから、サプレッションチェンバ本体をはり要素でモデル化することの適用性があると判断した。

よって、サプレッションチェンバ本体のモデル化は、サプレッションチェンバ本体の小円断面中心位置に円筒断面の理論式により算定した剛性を考慮したはり要素でモデル化し、その剛性は既工認と同様とする（表 4.1-4 参照）。

ただし、今回工認では、重大事故時のサプレッションチェンバの水位上昇に伴う内部水質量の増加、基準地震動の増大等を踏まえ、サプレッションチェンバ本体小円の断面変形を更に抑制するため、強め輪（32 枚）の補強対策を実施する。

また、サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルの設定にあたっては、より詳細に地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素を 3 次元はりモデルに付加する。

なお、強め輪の補強対策については、サプレッションチェンバ本体のはり要素（曲げせん断はり要素）ではなく、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）算定に用いる 3 次元シェルモデルに考慮しているため、そのばね要素に補強の効果が考慮される。

地震応答解析モデルに対するバルジングの影響検討結果の詳細については、別紙 3 に示す。

表 4.1-4 サプレッションチェンバ本体のモデル化諸元

部材	材質	部材長 (mm)	質量 (10 <sup>-3</sup> kg)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	有効せん 断断面積 (mm <sup>2</sup> )	縦弾性 係数 (MPa)	ポアソン 比 (-)
サプレッ ションチ ェンバ	SGV49							

#### 4.1.4 ボックスサポート取付部のばね剛性の算定

サプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルについては、サプレッションチェンバとボックスサポートをはり要素でモデル化し、サプレッションチェンバのボックスサポート取付部については、より詳細な地震応答を把握するため、ボックスサポート取付部のばね剛性（並進、回転）を考慮したばね要素でモデル化する。

サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性算定フローを図 4.1-6 に示す。

サプレッションチェンバのボックスサポート取付部のばね剛性算定に当たっては、その複雑な変形様態に対応するため、実機のサプレッションチェンバ及びボックスサポートを模擬したシェルモデルを用いるとともに、はりモデルで表現している剛性との重複を排除するため、はりモデルも用いてばね剛性（並進、回転の各 3 方向）を算定し、算定されたばね剛性（並進、回転の各 3 方向）をサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデルに考慮する。

ばね剛性算定方法の詳細については、別紙 4 に示す。

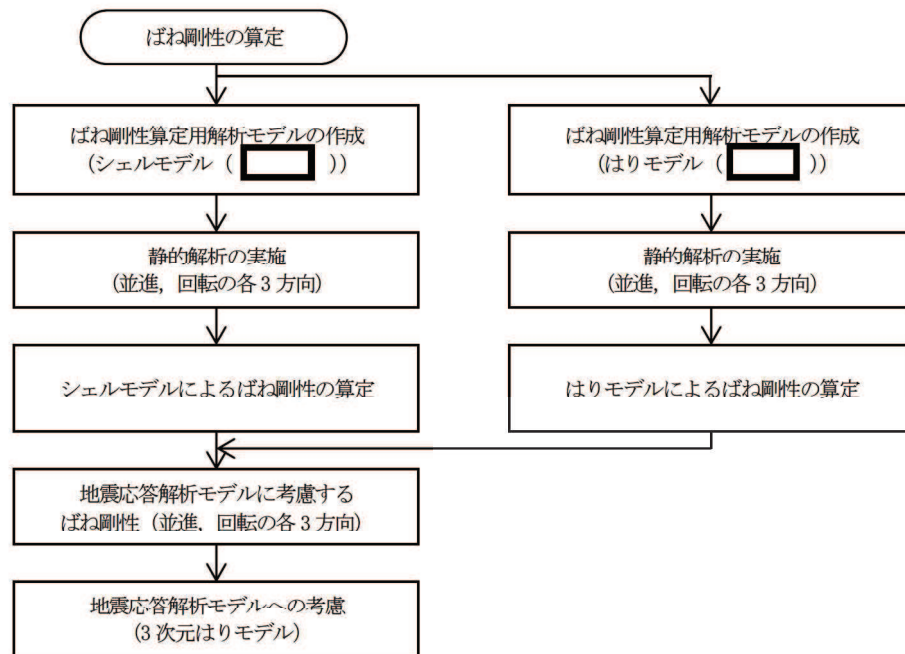


図 4.1-6 ばね剛性算定フロー

(1) ばね剛性算定用解析モデル (シェルモデル)

サブプレッションチェンバには、16 セグメントの円筒の継ぎ目部 (胴エビ継手部) にボックスサポートがサブプレッションチェンバ大円の内側と外側に 1 組配置されている対称構造であることから、ばね剛性算定用解析モデルのモデル化範囲は、  
、シェル要素でモデル化する。ばね剛性算定用解析モデルを図 4.1-7 に示す。

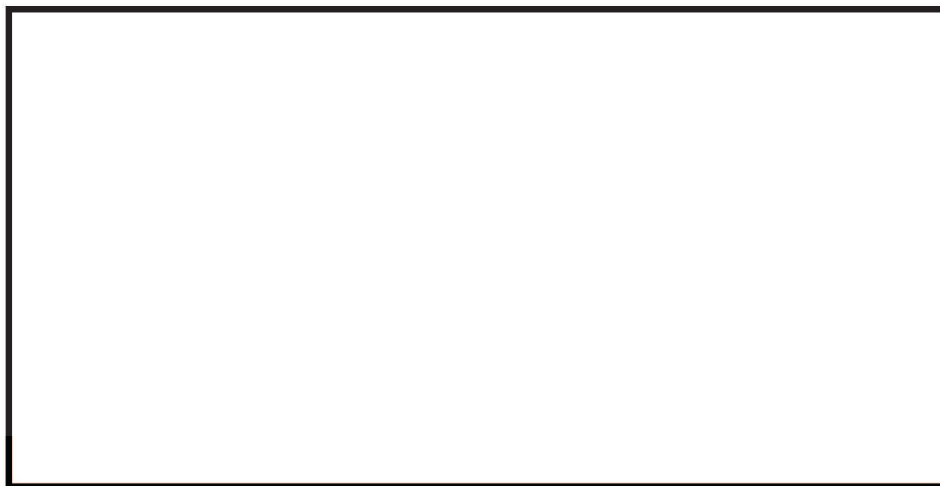


図 4.1-7 ばね剛性算定用解析モデル (シェルモデル)

(2) ばね剛性算定用解析モデル (はりモデル)

シェルモデルと同様の範囲について、はり要素によるばね剛性算定用解析モデルを図 4.1-8 に示す。



図 4.1-8 ばね剛性算定用解析モデル (はりモデル)



(3) 地震応答解析モデルに考慮するばね剛性

サブレーションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に考慮するボックスサポート取付部のばね剛性を表 4.1-5, 地震応答解析モデルを図 4.1-9 に示す。ボックスサポート取付部のばね剛性については, 地震応答解析モデル (3次元はりモデル) のボックスサポート上端位置に並進3方向, 回転3方向を設定する。

表 4.1-5 ボックスサポート取付部のばね剛性

考慮する方向		ばね剛性	
		内側	外側
並進	大円半径方向 (N/mm)		
	大円周方向 (N/mm)		
	上下方向 (N/mm)		
回転	大円半径軸回り (N・mm/rad)		
	大円周軸回り (N・mm/rad)		
	上下軸回り (N・mm/rad)		

注記\* :

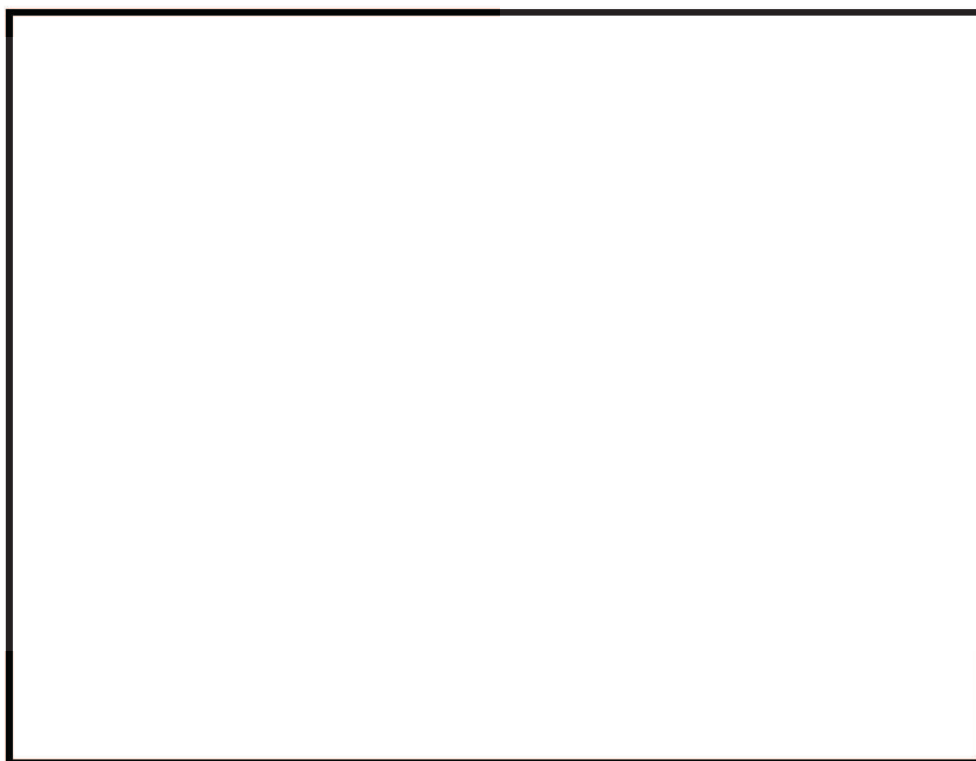


図 4.1-9 地震応答解析モデル (ばね剛性考慮)

#### 4.1.5 ボックスサポートのモデル化

##### (1) ボックスサポート本体のモデル化の考え方

既工認におけるサプレッションチェンバのモデル化では、

に考慮していた。

今回工認では、

としてモデル化を行った。算定用の3次元シェルモデル図を図4.1-10及びボックスサポートのモデル化諸元を表4.1-6に、フランジプレートのばね剛性を表4.1-7に示す。

ボックスサポートの剛性は、

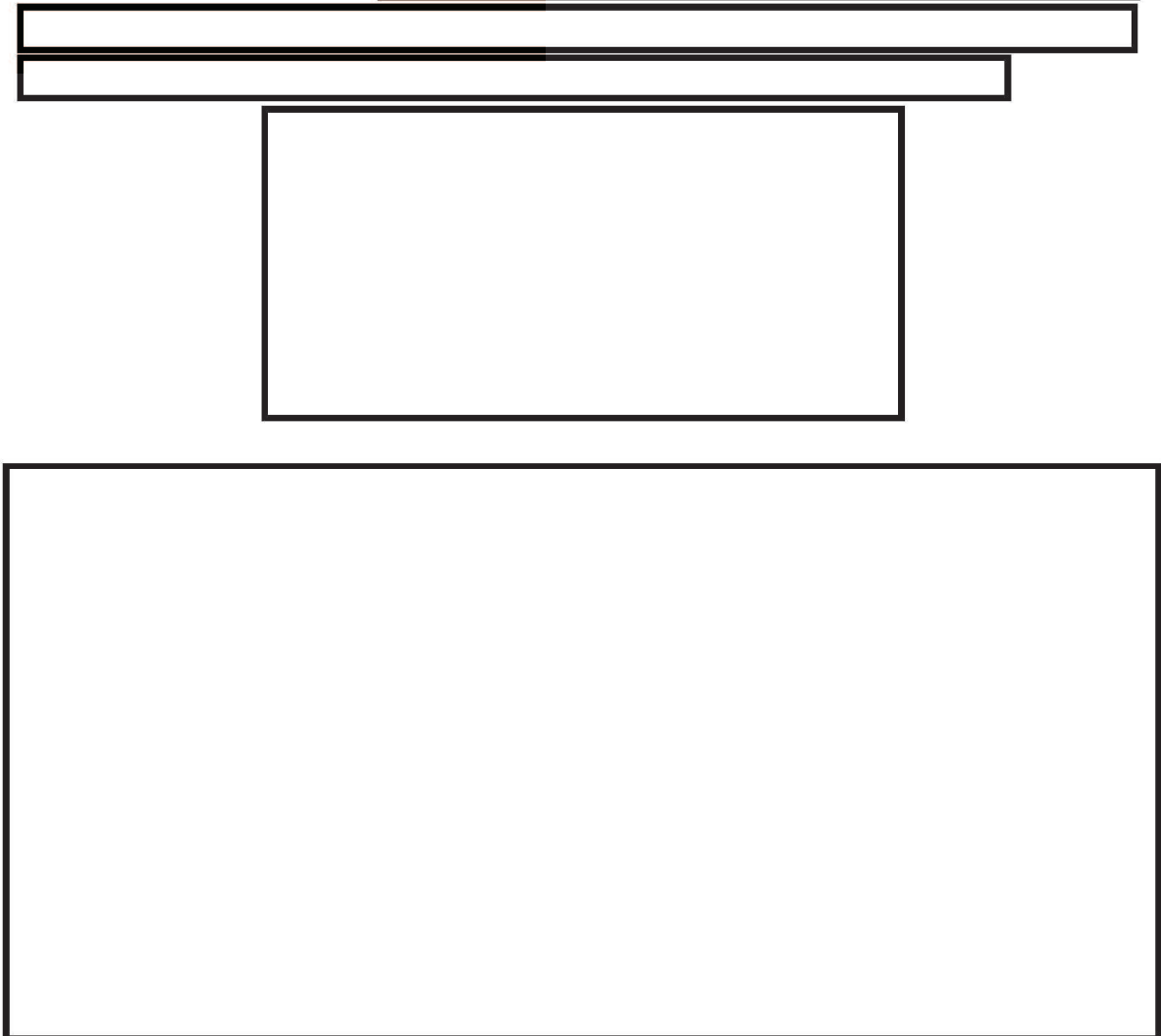


図4.1-10 算定用の3次元シェルモデル図

表 4.1-6 ボックスサポートのモデル化諸元

部材	材質	部材長 (mm)	質量 (10 <sup>-3</sup> kg)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )		有効せん断 断面積 (mm <sup>2</sup> )		縦弾性 係数 (MPa)	ポア ソン比 (-)
					大円半 径方向	大円円 周方向	大円半 径方向	大円円 周方向		
ボックス サポート	SM41B									

注記\* : サプレッションチェーンバ本体側に考慮。

表 4.1-7 フランジプレートのモデル化諸元

部材	ばね剛性 (N/mm)
フランジプレート	

## (2) 基礎ボルトのモデル化の考え方

既工認におけるボックスサポートの基礎ボルトの地震荷重は、サプレッションチェンバの静的評価により求めたボックスサポートの反力を用いて、公式等による簡便な評価としてボックスサポート1か所あたりの力のつり合い（圧縮及び引張）から算出している。

一方、より現実に近いボックスサポートの基礎ボルトの荷重状態としては、サプレッションチェンバに取り付けられるボックスサポートの全ての基礎ボルトがつり合っているものと考えられる。ここで、図4.1-11に示す振動モードを想定した場合、ボックスサポートの位置（図中の①及び②）によって、各ボックスサポートの荷重状態が異なるため、各ボックスサポートにおける各基礎ボルトの荷重分配割合も異なると考えられることから、今回工認においては、より現実に近い挙動を詳細に考慮するため、図4.1-12のとおりボックスサポート1か所につき8本の基礎ボルトを剛ばね要素としてモデル化する。

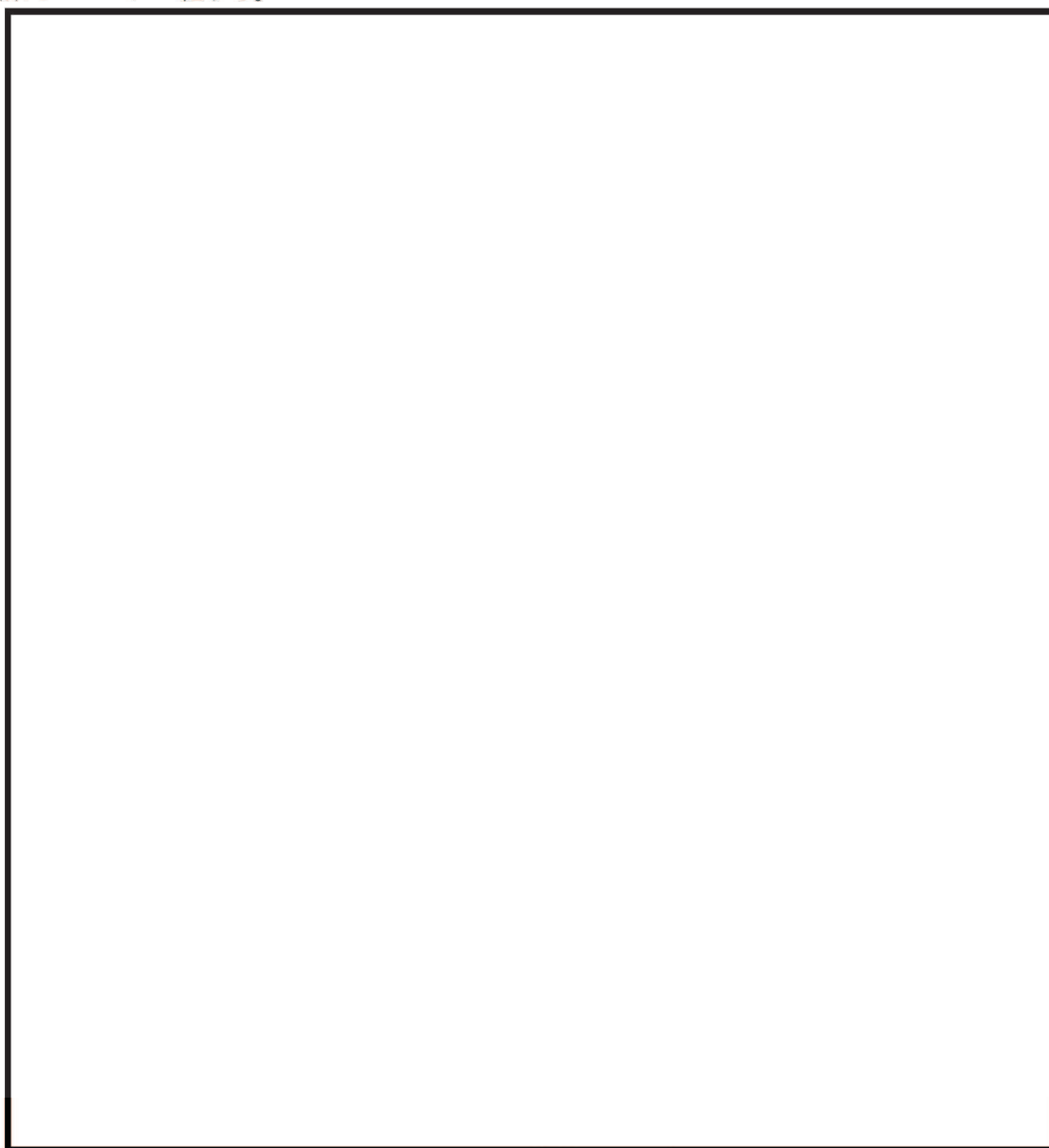


図4.1-11 荷重イメージ

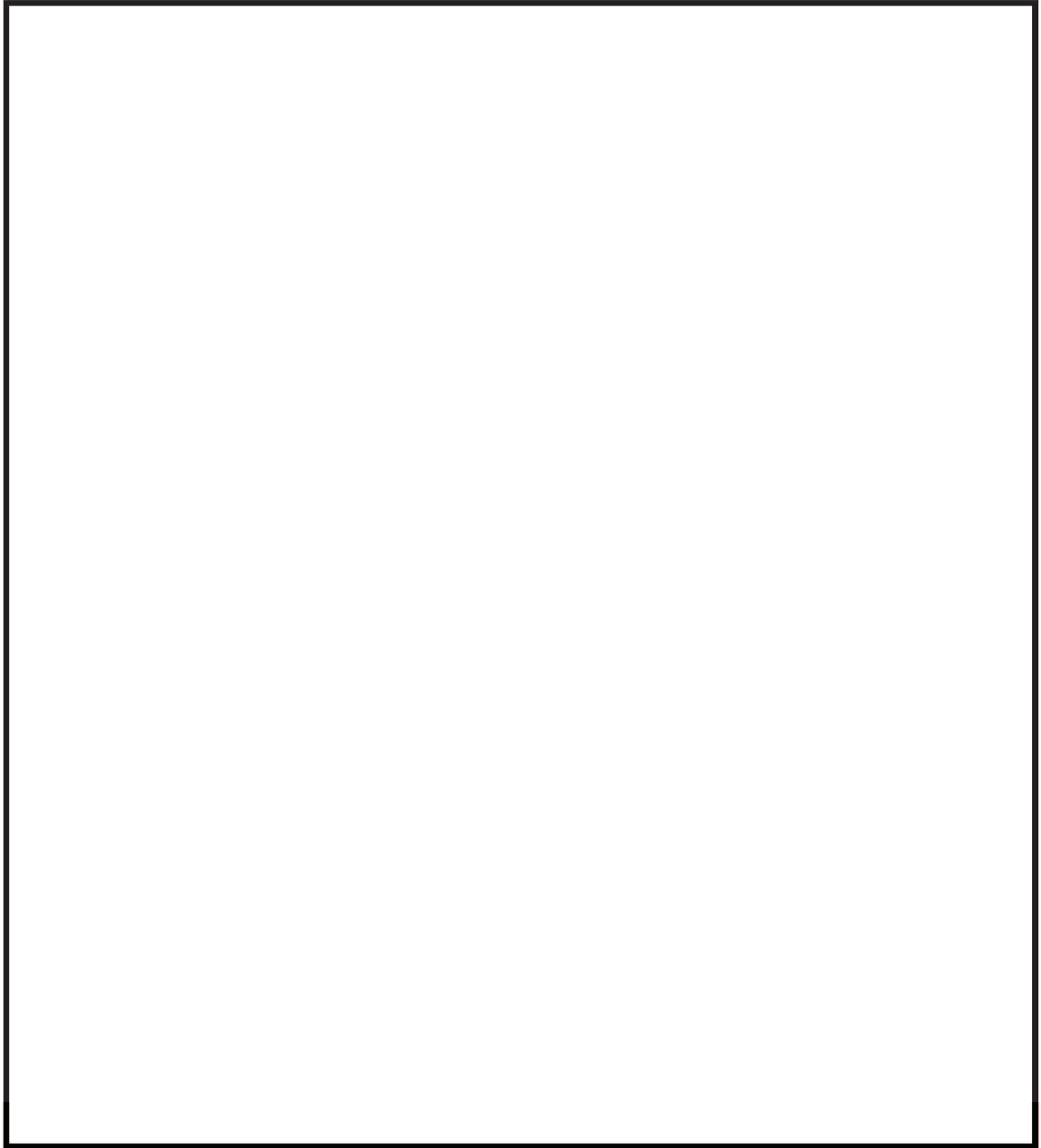


図 4.1-12 ボックスサポートの解析モデル

(3) ボックスサポート（基礎ボルト含む）モデル化

ボックスサポート周りのモデル化に当たっては、

と結合している。

また、

結合している。

なお、ボックスサポートの基礎ボルトをモデル化したことによる地震応答解析モデルへの影響については、基礎ボルトのモデル化の有無による固有周期を確認した結果、表 4.1-8 のとおり振動性状に与える影響がないことを確認している。





ボックスサポートの解析モデルの境界条件及び解析モデル図を表 4.1-9 及び図 4.1-13 に示す。

表 4.1-8 基礎ボルトのモデル化有無による固有周期比較

耐震評価として 考慮すべき振動モード*	固有周期 (s)	
	基礎ボルトモデル有り	基礎ボルトモデル無し
3次		
4次		
5次		
6次		
7次		
10次		

注記\*： 4.2.3における「耐震評価として考慮すべき振動モード」と対応。

表 4.1-9 ボックスサポートの解析モデルの境界条件

位置	境界条件
	
	

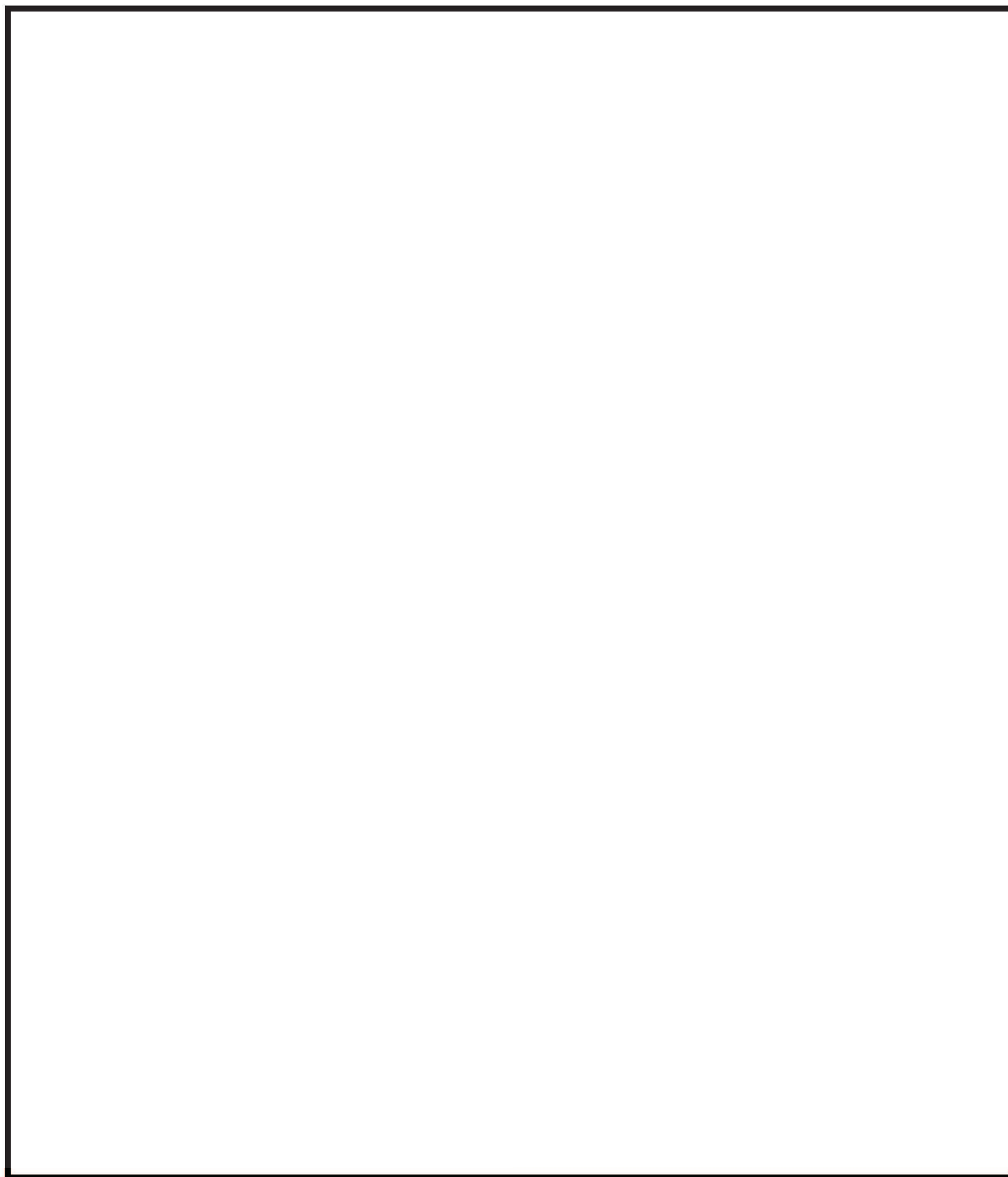


図 4.1-13 ボックスサポートの解析モデル

## 4.2 地震応答解析モデル（3次元はりモデル）の妥当性確認

### 4.2.1 妥当性の確認方針（妥当性確認の着眼点）

4.1項では、今回工認におけるサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析に適用する3次元はりモデルの設定について、サプレッションチェンバ内部水を有効質量として扱うこと、サプレッションチェンバ本体のモデル化及びサプレッションチェンバとボックスサポートの取付部にばね剛性を考慮すること等の考え方を示した。

本項では、上記を踏まえて設定したサプレッションチェンバ及びボックスサポートの3次元はりモデルを地震応答解析に適用することの妥当性について確認する。妥当性確認にあたっては、サプレッションチェンバ（強め輪を含む）及びボックスサポートをシェル要素でモデル化した妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）による地震応答解析を実施し、3次元はりモデルを用いた地震応答解析結果との比較を行う。図4.2-1にサプレッションチェンバ及びボックスサポートの地震応答解析モデル（3次元はりモデル）に対する妥当性確認フローを示すとともに、妥当性確認における着眼点を以下に示す。

着眼点(1) 固有値解析による振動モード、それらの固有値、刺激係数を比較し、妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）の解析結果から耐震評価として考慮すべきと確認された振動モード（変形方向）が3次元はりモデルにて表現できていること。ここで、耐震評価として考慮すべき振動モードとは、各応力評価点における発生応力に有意に影響する振動モード。また、それらの固有値の違いについては、工学的な判断目安として設計用床応答曲線として設定される10%振幅を考慮し、10%以内であることとした。

着眼点(2) 地震応答解析（スペクトルモーダル解析）による応力評価部位における発生応力の傾向がシェルモデルと3次元はりモデルで概ね一致していること。



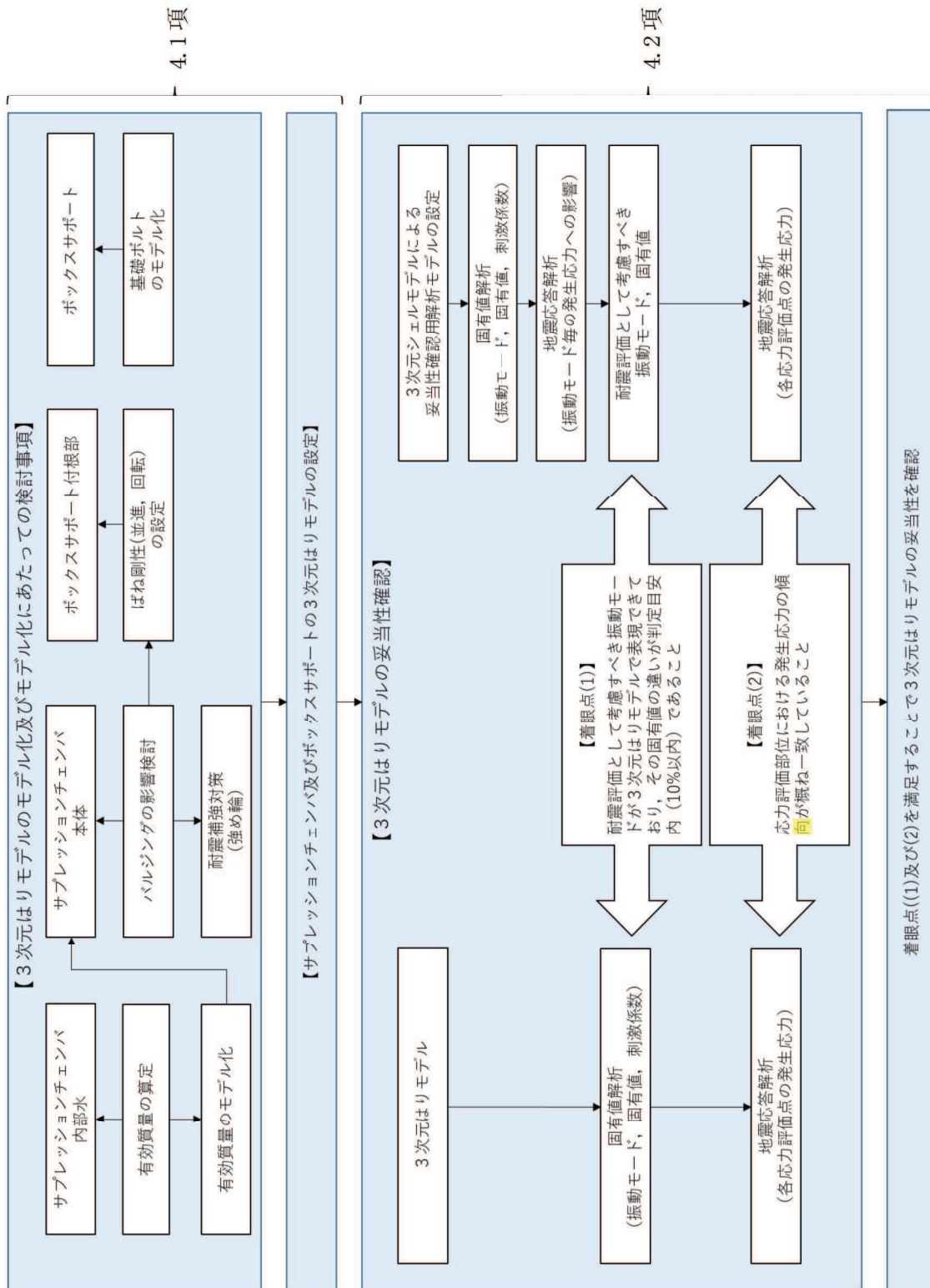


図 4.2-1 3次元はりモデル設定及び妥当性検証フロー

#### 4.2.2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）

妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）として、サプレッションチェンバ本体（強め輪を含む）及びボックスサポートをシェル要素としてモデル化し、サプレッションチェンバ本体のシェル要素に、4.1.1項と同様にNASTRANの仮想質量法により算定した有効質量を各シェル要素に考慮する。有効質量算定における水位条件は、耐震解析用重大事故等時水位を代表とした。妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）のモデル諸元及び解析モデル図を表4.2-1及び図4.2-2に示す。なお、解析モデルの設定に係るの詳細については、別紙5に示す。

表4.2-1 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）のモデル諸元

項目		内容
モデル要素数		
モデル化	鋼製部	シェル要素：サプレッションチェンバ本体，強め輪（耐震補強対策含む），ボックスサポート（耐震補強対策含む） 剛ばね要素：基礎ボルト
	内部水	・耐震解析用重大事故等時水位（O.P. -1514mm） ・NASTRANの仮想質量法を適用

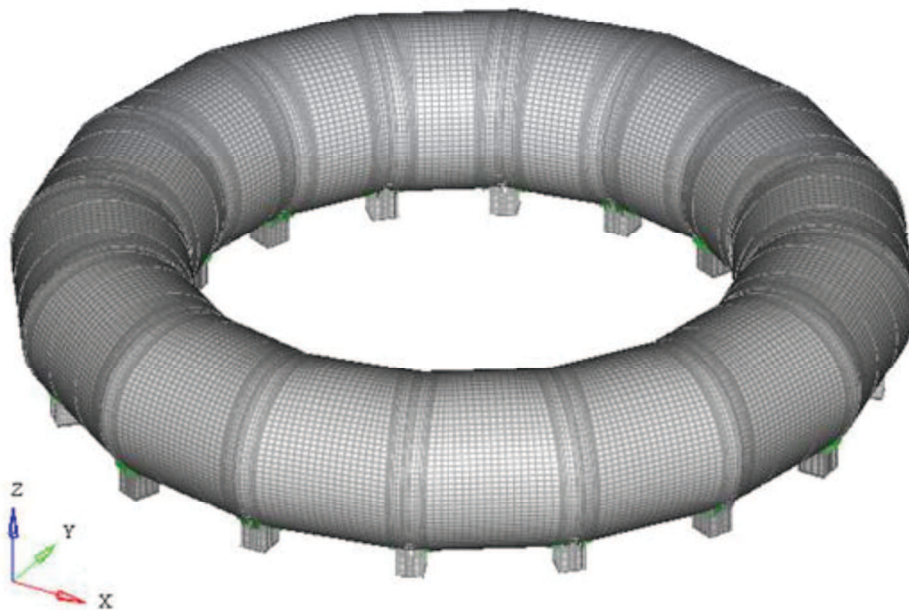


図4.2-2 妥当性確認用解析モデル（3次元シェルモデル）図