

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0100 改31
提出年月日	平成28年12月7日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

地震による損傷の防止について
(補足説明資料)

平成28年12月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

I. 既工認との手法の相違点について

1. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について

別紙1 原子炉建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について

別紙2 地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について

別紙3 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について

別紙4 原子炉本体基礎の復元力特性について

2. 既工認実績のない規格・手法の適用性について

2-1 原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について

2-2 土木構造物の解析手法および解析モデルの精緻化について

2-3 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について

3. その他手法の相違点等について

3-1 原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて

3-2 機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について

4. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について

II. 下位クラス施設の波及的影響の検討について

III. 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について

下線部：今回ご提出資料

I. 既工認との手法の相違点について

3. その他手法の相違点等について

3 - 2 機器・配管系設備に関するその他手法の相違点について

1. はじめに

今回工認における機器・配管系設備の耐震評価において既工認から評価手法を変更する予定のものうち、他プラントを含めた認可実績のあるものについて本資料にて整理する。

2. 手法の相違点

(1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

原子炉建屋クレーンの解析では、より詳細な手法を用いる観点から、脱線防止ラグ等の構造変更を踏まえ、浮き上がり及び滑り条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については、大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付1参照)

(2) 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認において、立形ポンプについては設備の寸法、質量情報に基づき、ケーシング部とローター(軸)部を2軸でモデル化しているが、今回の評価では、JEAG4601-1991 追補版に基づき取付フランジ部を回転ばねとして考慮する等のモデルの精緻化を行っている。本解析モデルは、大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付2参照)

(3) 最新知見として得られた減衰定数の採用

最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。(添付3参照)

天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は大間1号炉において適用実績がある。

- ① 天井クレーンの減衰定数
- ② 燃料取替機の減衰定数
- ③ 配管系の減衰定数

(4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根(SRSS)法による組み合わせ

今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根(以下、「SRSS」という。)法を用いる。SRSS法による荷重の組み合わせは、大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付4参照)

- (5) 水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを追加

今回工認では鉛直動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは大間 1 号炉にて適用実績があるモデルである。(添付 5 参照)

3. 添付資料

- (1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用
- (2) 立形ポンプの解析モデルの精緻化
- (3) 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの
- (4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根 (SRSS) 法による組み合わせ
- (5) 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの

添付資料 1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

1. 概要

原子炉建屋クレーン（図 1.1）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。

今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造変更によりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（図 1.2）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

なお、本モデル及び評価手法は大間 1 号炉の建設工認にて適用例があり、大間 1 号炉と柏崎刈羽の 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、柏崎刈羽 6 号及び 7 号炉にも適用可能である。

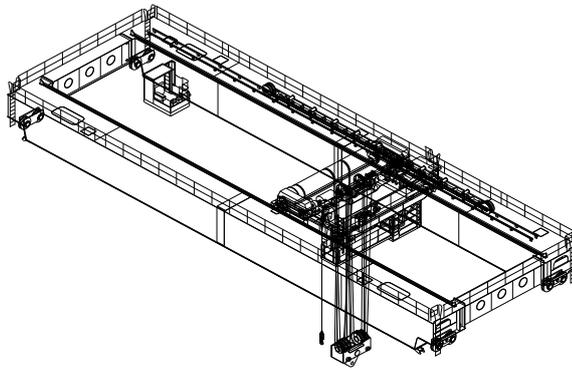


図 1.1 原子炉建屋クレーン（7号炉の例）

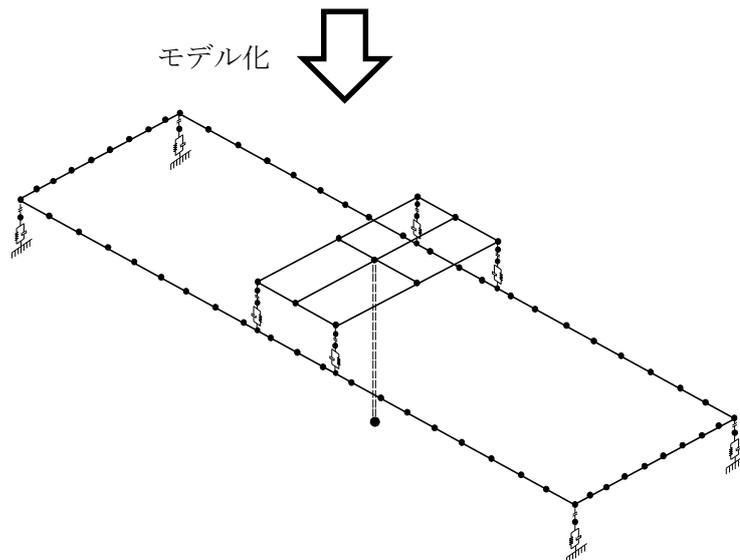


図 1.2 今回工認の解析モデル

2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間1号炉と柏崎刈羽の6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは、図2.1に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（添付資料1）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

(1) 走行方向の水平力

- (a) クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- (c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(2) 横行方向の水平力

a. ガーダ関係

- (a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。

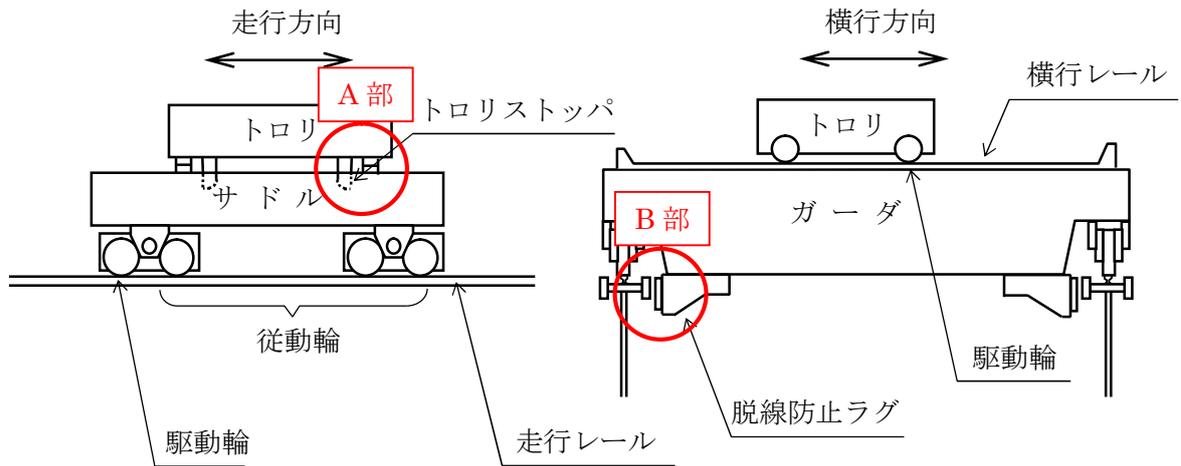
b. トロリ関係

- (a) トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

(3) 鉛直力

ガーダ及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。

また、柏崎刈羽6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは、これまでに実施した耐震強化工事によりトロリストopp及び脱線防止ラグの構造変更を行っており、車輪まわりのトロリストopp及び脱線防止ラグとレールの間の取り合い構造は、認可実績のある大間原子力発電所の原子炉建屋クレーンと同様の構造となっていることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間原子力発電所と同様にモデル化することができる。(構造変更の概要は添付資料2参照。)



	大間	柏崎刈羽6号	柏崎刈羽7号
A部			
B部			

図 2.1 車輪まわりの構造比較

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認と今回工認の評価方法を表 3.1 に示す。今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した 3 次元 FEM 解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

表 3.1 既工認と今回工認の評価方法の比較

項目		既工認	今回工認
解析手法		手計算による評価	非線形時刻歴応答解析
解析モデル		—	3次元 FEM 解析モデル
車輪－レール間の境界条件		すべり考慮	すべり，浮き上がり， 衝突考慮
地震力	水平	動的地震力	動的地震力
	鉛直	静的地震力	
減衰定数	水平	1.0% ^{※1}	2.0% ^{※2}
	鉛直	—	
解析プログラム		—	ABAQUS

※1：既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため減衰定数は評価に使用していない。

※2：資料 3-2 の添付資料 3 にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり及び浮き上がり挙動を考慮する構造であることから、ギャップ要素及びばね、減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを図 3.1 に示す。

なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間 1 号炉と同一の設定方法とする。(車輪部の非線形要素については参考資料 1 参照。)

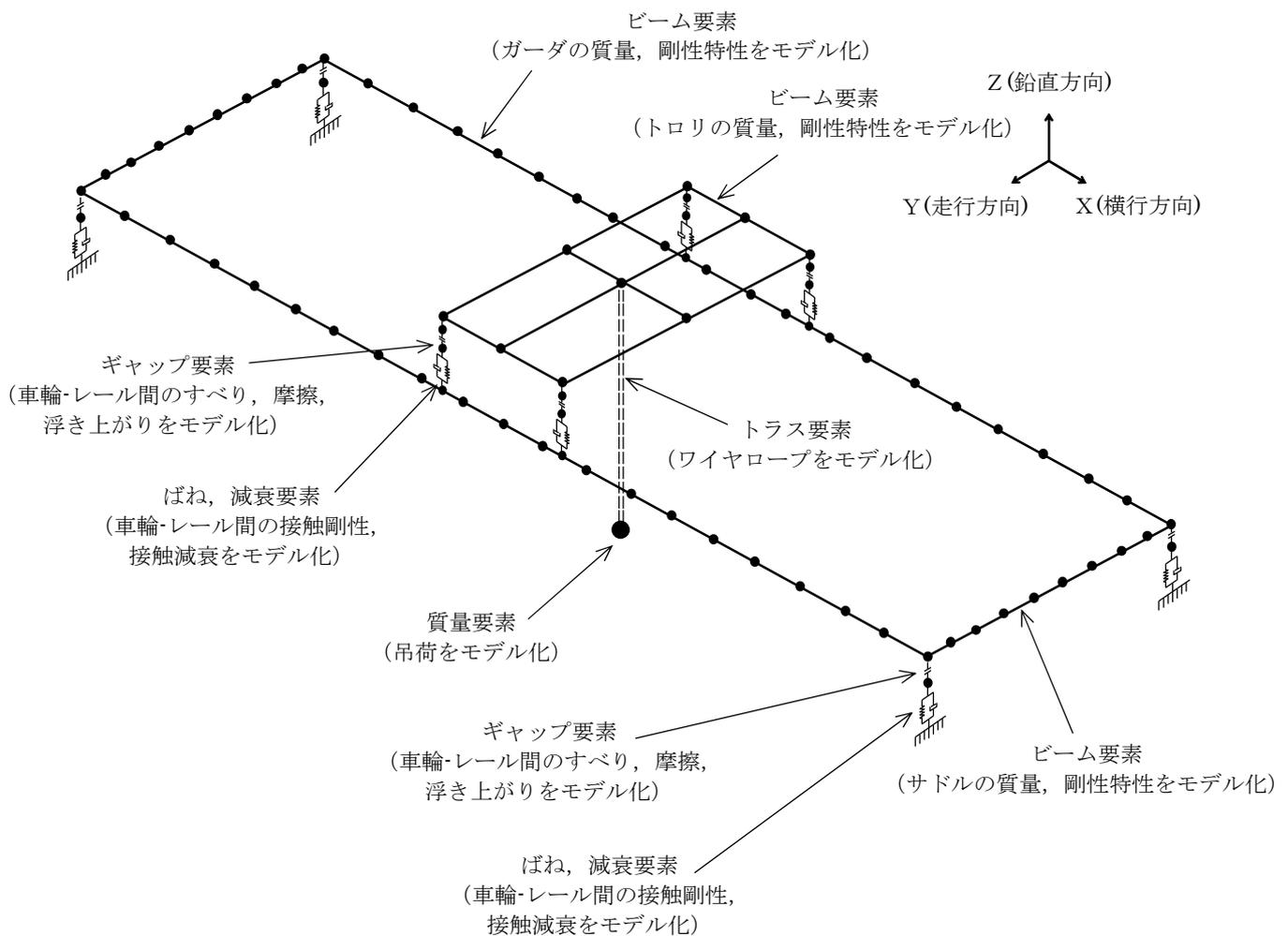


図 3.1 クレーン解析モデル (7号炉の例)

(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針

スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に $\pm 10\%$ 拡幅したものをを用いている。

本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮した評価を行う予定である。

4. 添付資料

- (1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元
- (2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更

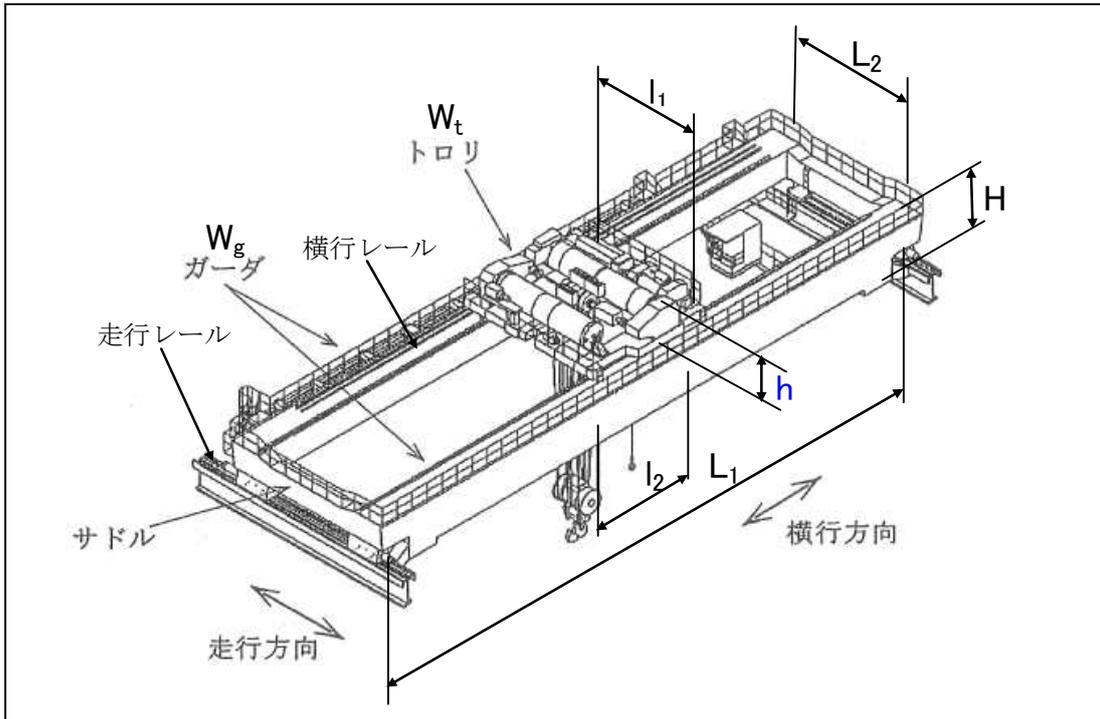
5. 参考資料

- (1) クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）

6. 参考文献

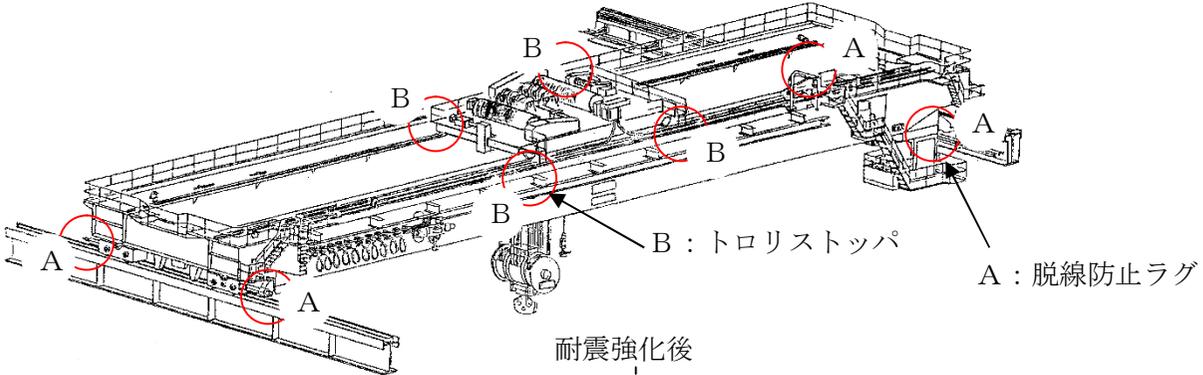
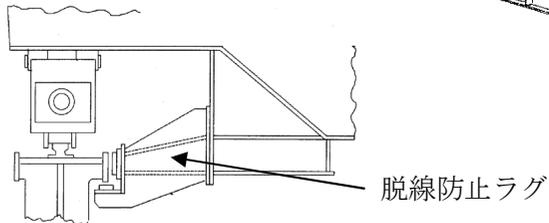
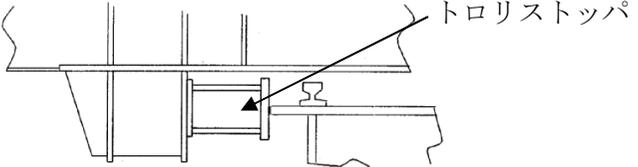
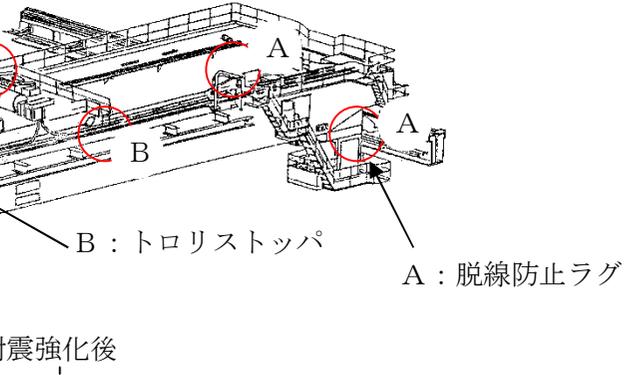
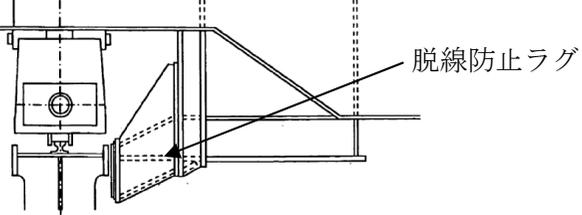
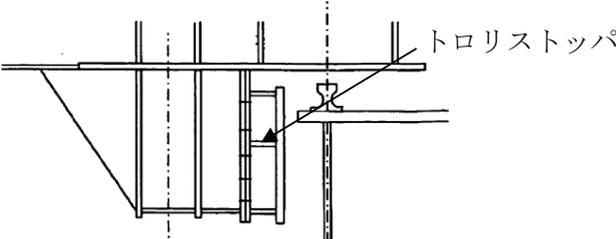
- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構）
- (2) 平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構）

添付資料1 原子炉建屋クレーンの主要諸元

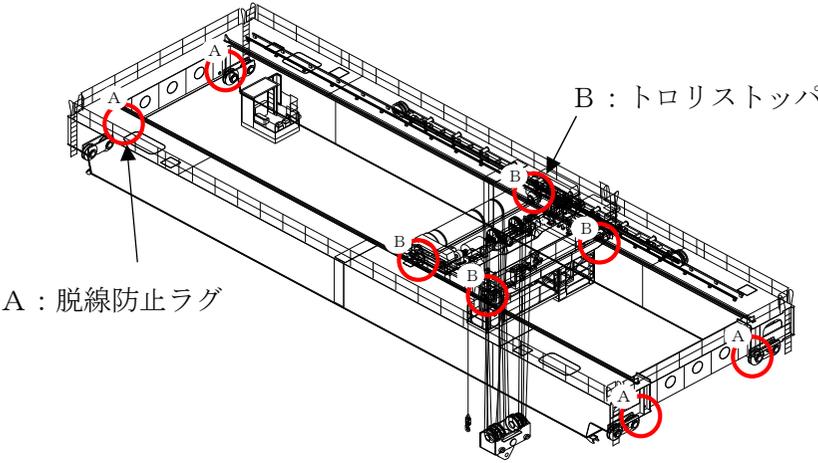
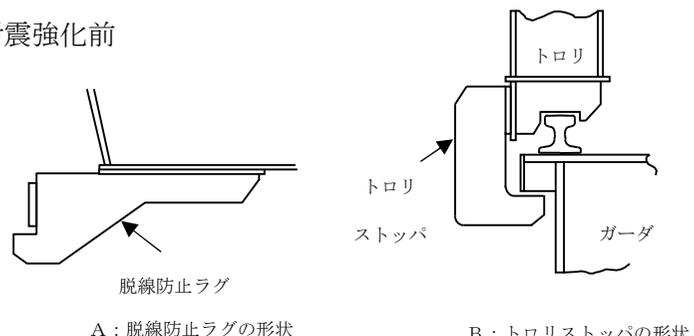
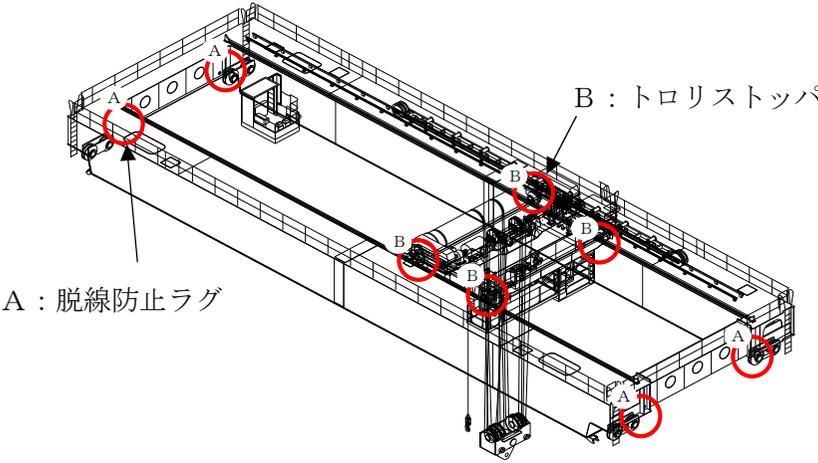
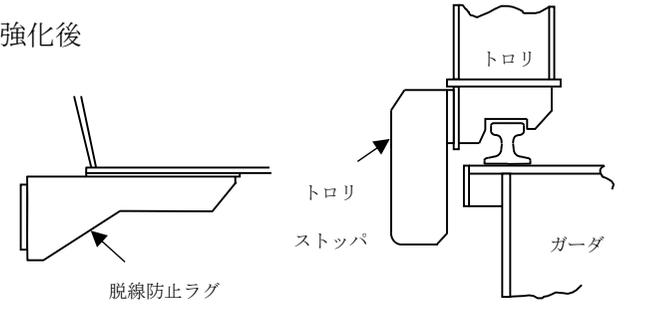


仕様		大間	柏崎刈羽	
		1号炉	6号炉	7号炉
トロリ	質量 Wt(ton)	80.0	86.5	80.0
	高さ h(m)	2.815	2.405	2.515
	スパン l ₁ (m)	7.7	5.8	7.7
	スパン l ₂ (m)	4.6	5.4	4.6
ガーダ	質量 Wg(ton)	190	226	190
	高さ H(m)	2.5	2.6	2.8
	スパン L ₁ (m)	34.9	34.9	34.9
	スパン L ₂ (m)	9.38	6.47	9.38
総質量	W(ton)	270.0	312.5	270.0

添付資料2 (1/2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (6号炉)

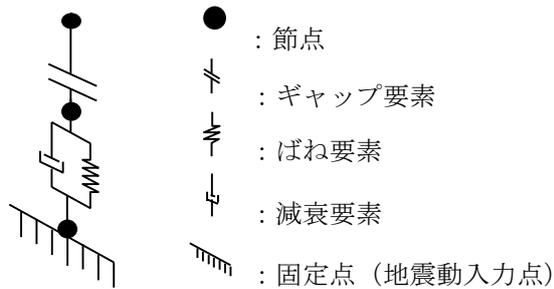
変更前	変更後	備考
<p>耐震強化前</p>  <p>A : 脱線防止ラグ</p> <p>B : トロリストoppa</p>  <p>A : 脱線防止ラグの形状</p>  <p>B : トロリストoppaの形状</p>	<p>耐震強化後</p>  <p>A : 脱線防止ラグ</p> <p>B : トロリストoppa</p>  <p>A : 脱線防止ラグの形</p>  <p>B : トロリストoppaの形状</p>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストoppaの形状を変更</p>

添付資料 2 (2 / 2) 原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (7号炉)

変更前	変更後	備考
 <p>A : 脱線防止ラグ</p> <p>B : トロリストoppa</p> <p>耐震強化前</p>  <p>脱線防止ラグ</p> <p>A : 脱線防止ラグの形状</p> <p>トロリ ストップ</p> <p>ガーダ</p> <p>B : トロリストoppaの形状</p>	 <p>耐震強化後</p>  <p>脱線防止ラグ</p> <p>A : 脱線防止ラグの形状</p> <p>トロリ ストップ</p> <p>ガーダ</p> <p>B : トロリストoppaの形状</p>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストoppaの形状を変更</p>

参考資料1 クレーン車輪部の非線形要素（摩擦・接触・減衰）

クレーン車輪部のモデル化では、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また、接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、参考図 1.1 に示すように、ギャップ要素と直列に配置する。

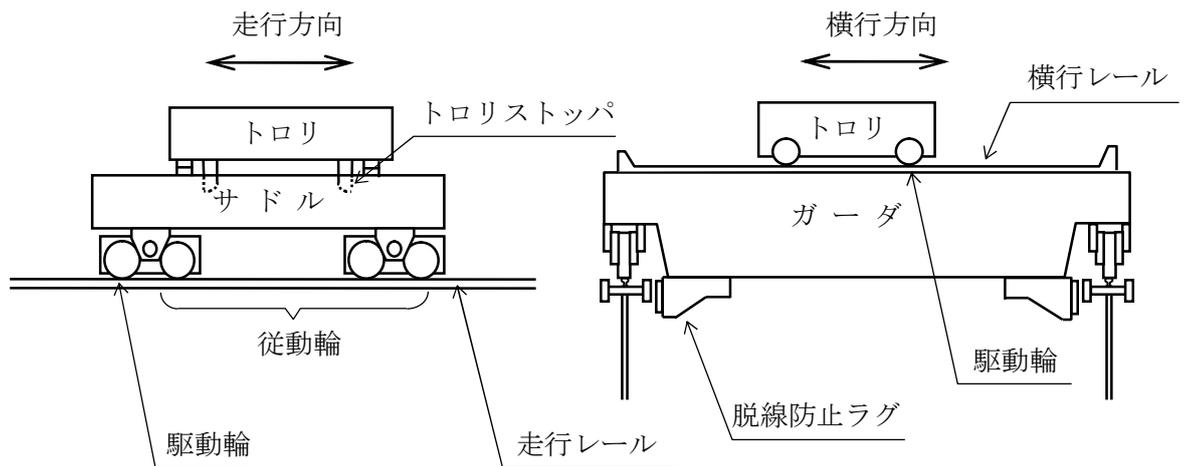


参考図 1.1 車輪部の非線形要素

a. 車輪とレール間の摩擦特性

クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されていない従動輪の 2 種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦係数以上の力が加わればレール上をすべる。

ここで、摩擦係数は既工認と同様の 0.3 を用いる。



参考図 1.2 概要図（7号炉の例）

b. 車輪とレールの接触剛性

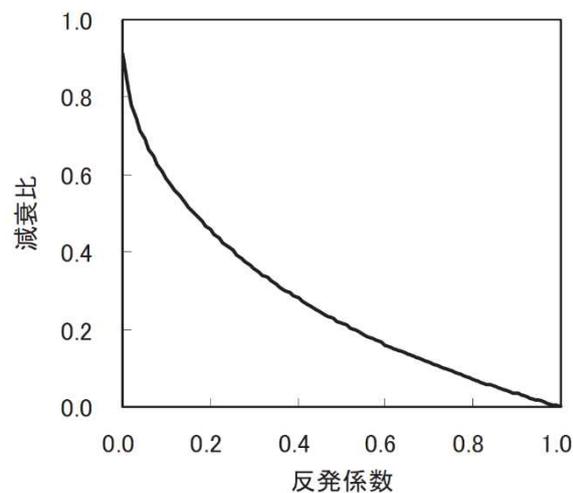
接触剛性は、「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）」を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される 1 自由度系の固有振動数が 20Hz 相当になるよう設定する。

c. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は、「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構）」にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、 e は反発係数、 h は減衰比である。参考図 1.3 に、上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。



参考図 1.3 反発係数と減衰比の関係

添付資料 2 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認における立形ポンプの解析モデルは、実機構造を踏まえた振動特性とするため、設備の寸法、質量情報に基づき、主要部であるローター、インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点系モデルとして構築していた。

今回工認では、最新の知見に基づくモデル化を行う観点から、既工認モデルに対して JEAG4601-1991 追補版に基づくモデルの精緻化を行う。(図 1 参照)

なお、本解析モデルは大間 1 号炉の建設工認にて適用実績がある。

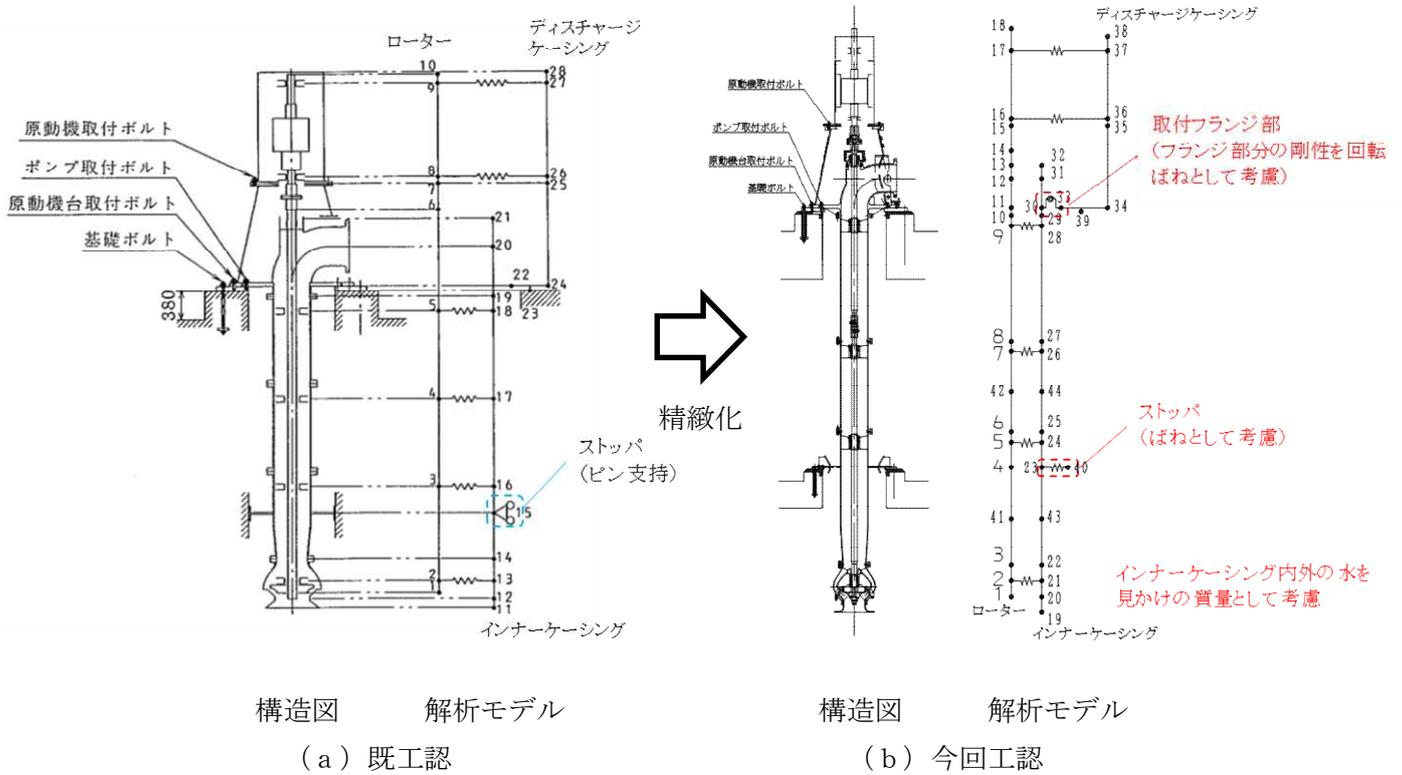


図 1 原子炉補機冷却海水ポンプ解析モデル図 (7 号炉の例)

添付 3 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの

1. 概要

今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認において適用実績がある。

- ① 原子炉建屋クレーンの減衰定数^{※1, ※2}
- ② 燃料取替機の減衰定数^{※1, ※2}
- ③ 配管系の減衰定数^{※1, ※3}

※1 社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」

参考資料 4.10

※2 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(H7～H10)」

※3 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価手法の研究(H12～H13)」

なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。

2. 今回の評価で用いた設計用減衰定数

最新知見として反映した原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を表1及び表2に示す。

表1 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数 (%)			
	水平方向		鉛直方向	
	JEAG4601* ¹	柏崎刈羽* ²	JEAG4601* ¹	柏崎刈羽* ²
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)* ³

注記 *1:原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人日本電気協会)

*2:柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉

*3:()外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合

()内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合

表2 配管系の設計用減衰定数

配管区分		設計用減衰定数(%)			
		保温材無		保温材有	
		JEAG 4601* ¹	柏崎 刈羽* ²	JEAG 4601* ¹	柏崎 刈羽* ²
I	支持具がスナバ及び架構レストレイント主体の配管系で、その数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III* ³	U字ボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

注記 *1:原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人 日本電気協会)

*2:区分III(Uボルトを有する配管系)については、新たに設定したものであり、
現行 JEAG4601 では区分IVに含まれている。

*3:区分III(Uボルトを有する配管系)については、新たに設定したものであり、
現行 JEAG4601-1991 追補版では区分IVに含まれている。

 : 新たに設定したもの

 : JEAG4601 から見直したもの

3. 設計用減衰定数の考え方

(1) 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数

a. 既工認の設計用減衰定数

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下、「JEAG4601」という。)において原子炉建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため、設計用減衰定数は1.0%と規定されている。既工認では、上記の設計用減衰定数1.0%を適用していた。

b. 設計用減衰定数の見直し

原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には、材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え、車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり、溶接構造物としての1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから、実機を試験体とした振動試験が実施された。

振動試験の結果、原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平2.0%、鉛直2.0%が得られた。また、燃料取替機の減衰定数については水平2.0%、鉛直1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)が得られた。

c. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉への適用性

振動試験の概略と、振動試験における試験体と柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉、並びに先行認可実績のある大間1号炉の実機との仕様の比較を参考資料1, 2に示す。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機については、試験結果の適用性が確認されている大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同等の基本仕様であり、重量比(トロリ重量/総重量)との比較から振動特性は同等である。

従って、今回の評価における原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平2.0%、鉛直2.0%を用いる。また、燃料取替機の減衰定数については水平2.0%、鉛直1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を用いる。

(2) 配管系の設計用減衰定数

a. 既工認の設計用減衰定数

JEAG4601における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって3区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。既工認では、上記の設計用減衰定数を適用していた。

b. 今回の評価で用いる設計用減衰定数

以下、(a)、(b)に示す項目については、配管系の振動試験の研究成果に基づき、JEAG4601に規定する値を見直し設定する。

(a) Uボルト支持配管系

JEAG4601におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。

Uボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数2.0%が得られた。

振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数2.0%を設定する。

なお、参考として振動試験結果の概略を参考資料3に示す。

(b) 保温材を設置した配管系

JEAG4601における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を0.5%付加できることが規定されている。

その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を見直すための検討が行われた。

今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数1.0%を、保温材無の場合に比べて付加することとする。

なお、振動試験結果の概略を参考資料4に示す。

c. 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉への適用性

減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で、実機配管系の解析を行い、減衰定数を求めている。

まず要素試験においては、原子力発電所で採用されている代表的な 4 タイプ(参考資料3補足参照)を選定しており、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉においても、この 4 タイプの U ボルトを採用している。

次に実機配管系の解析対象とした 28 モデルには、ABWR プラントと同一設計である BWR プラントの実機配管も含まれている。また配管仕様(口径, 肉厚, 材質), 支持間隔・配管ルートも異なっており, 様々な配管剛性や振動モードに対応している。(参考資料 3 参照)

従って, 今回検討した設計用減衰定数は柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉へ適用可能と判断し, 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における配管の設計用減衰定数として設定する。

4. 鉛直方向の設計用減衰定数について

今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。

鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0%とする。また、原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系については、既往の試験等により確認されている値を用いる。

なお、これらの設計用減衰定数は、大間 1 号炉の建設工認にて適用例がある。

表 1 機器・配管系の設計用減衰定数

設 備	設計用減衰定数 (%)			
	水平方向		鉛直方向	
	既工認	今回工認	既工認	今回工認
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0
電気盤	4.0	同左	—	1.0
使用済燃料貯蔵ラック	1.0	Ss:7.0 Sd:5.0	—	1.0
天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*
配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0

注記 *:()外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合

()内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合

原子炉建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

実機を試験体とした振動試験から得られた、原子炉建屋クレーンの減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量, 高さ, スパン)を調査。

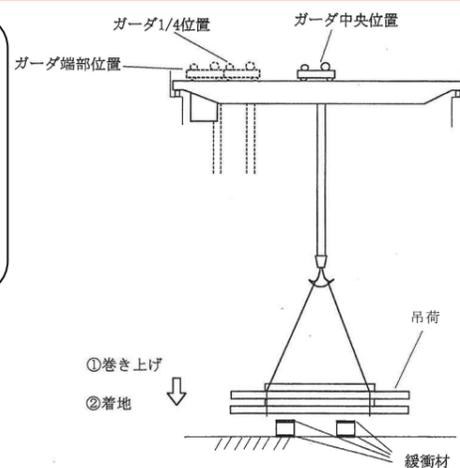
各天井クレーンの構成要素、基本構造及び減衰定数に影響を与えられられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比, 及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし, 個体差, 及びガーダ形状の相違の影響を確認するために, ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1, No.2, 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し, 合計3機の試験体で実施。

2. 振動試験

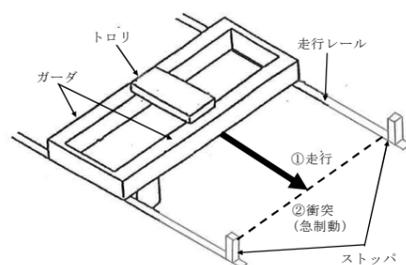
【鉛直方向の加振方法】

吊荷を床から50mm程度まで持ち上げた後, 最大速度で下降させて床に着地させ, この時の自由振動を計測する。



【水平方向の加振方法】

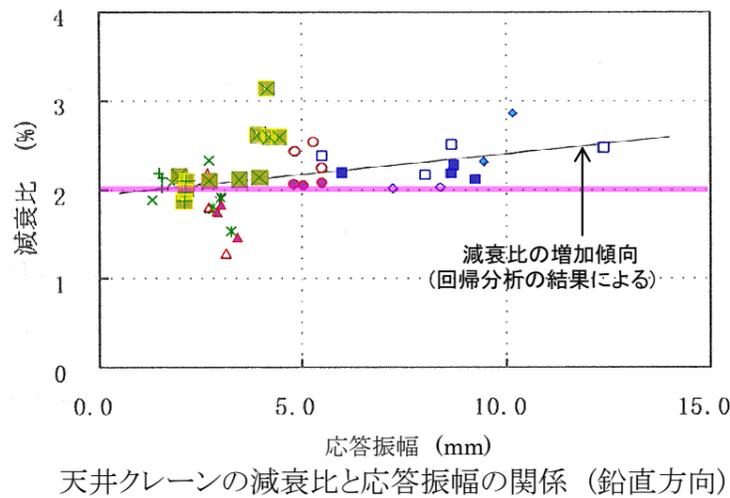
クレーンを1m程度走行させ, 急停止することにより, 自由振動を計測する。



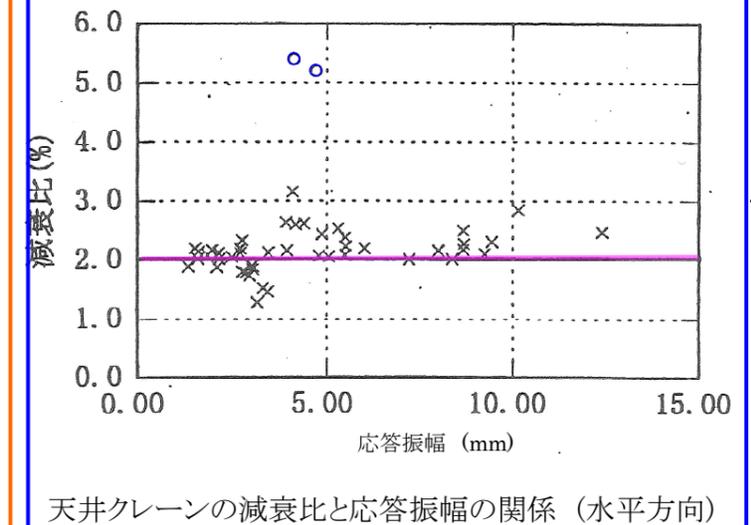
3. 計測データの処理

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。

- 【凡例】
- 試験体 No.1 (試験体 No.2)
 <ガーダ形状が異なるタイプ>
 (同一タイプ2機で試験を実施)
- (■) トロリ中央, 走行ギヤ側
 - (□) トロリ中央, 架線側
 - ▲(◆) トロリ1/4, 走行ギヤ側
 - △(◇) トロリ1/4, 架線側
- 試験体 No.3
 <ガーダ形状が同一なタイプ>
- × トロリ主中補中, A側
 - ☒ トロリ主中補中, B側
 - * トロリ主1/4補1/4, A側
 - ☒ トロリ主1/4補1/4, B側
 - + トロリ主端補端, A側
 - 田 トロリ主端補端, B側



- 【凡例】
- 試験体 No.2
 ○ 水平方向減衰比[トロリ中央部]
- 試験体 No.1~No.3
 × 鉛直方向減衰比
 (左図に示した鉛直方向の結果を参考として記載)



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (鉛直方向)】

応答振幅に対する減衰比の傾向は, 応答振幅が比較的小さい場合には減衰比のばらつきが大きい, 応答振幅が大きくなると, 減衰比の発生源となる構造減衰が増加し, 減衰比が徐々に増加するとともに, そのばらつきが小さくなる。応答振幅 5.0mm で減衰比 2.0%以上が得られている。

【設計用減衰定数 (鉛直方向)】

応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり, 設計応答振幅レベルで減衰比 2.0%以上となっていることから, 設計用減衰定数 2.0%とした。

【試験結果 (水平方向)】

水平方向の減衰比は, 応答振幅 4.7mm において 5.2% という結果が得られている。

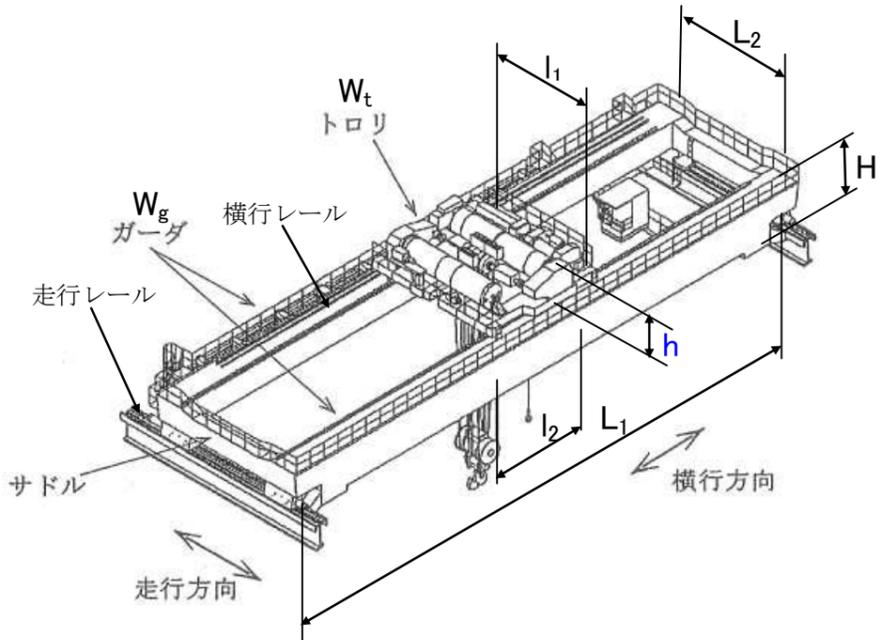
【設計用減衰定数 (水平方向)】

水平方向の減衰比は, 応答振幅レベル 4.7mm において 5%程度の減衰比が得られているが, データ点数が少ないため, 鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

■ 原子炉建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

原子炉建屋クレーンは、ガーダ 2 本上にトロリが設置されている構造である。表 2-1 に天井クレーン試験体、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーンの主要な仕様を示す。

表 2-1 天井クレーン試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の原子炉建屋クレーン実機の仕様の比較

仕 様		試験体 一般用天井クレーン		実機 原子炉建屋クレーン			備 考	
		No.1,2	No.3	柏崎刈羽		大間 1 号炉		
				6 号炉	7 号炉			
トロリ	質量 Wt(ton)	43.5	71.0	86.5	80.0	80.0		
	高さ h(m)	2.265	3.0	2.405	2.515	2.815		
	スパン l ₁ (m)	5.8	5.8	5.8	7.7	7.7		
	スパン l ₂ (m)	4.1	3 (主巻用) 2.5(補巻用)	5.4	4.6	4.6		
ガーダ	質量 Wg(ton)	104.5	191.5	226	190	190		
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.6	2.8	2.5		
	スパン L ₁ (m)	33.0	33.0	34.9	34.9	34.9		
	スパン L ₂ (m)	7.06	8.9	6.47	9.38	9.38		
総質量	W(ton)	148.0	262.5	312.5	270.0	270.0		
トロリ質量と 総質量の比	Wt/WT	0.294	0.270	0.277	0.296	0.296		

■ 試験体と実機の比較の考え方

減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のガタや摩擦による構造減衰により発生すると考えられ、天井クレーンにおいては、ガーダ、トロリは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消散が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。

ここで、トロリとガーダとの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはクレーンの振動質量に比例する。天井クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持はりの構造をしており、地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる 1 次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。

上表より、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンのトロリ質量と総質量の比は、試験体及び先行認可実績のある大間 1 号炉の実機と同程度になることを確認している。以上から、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンの設計用減衰定数としては、水平 2.0%、鉛直 2.0%を適用する。

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

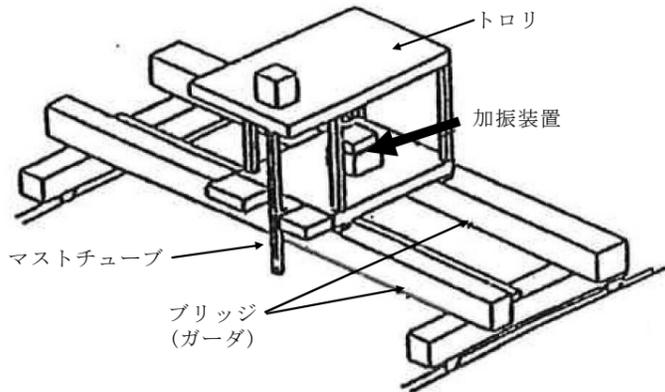
実機を試験体とした振動試験から得られた、燃料取替機の減衰特性に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 代表試験体の選定

燃料取替機 5 機について、基本仕様(トロリ及びブリッジの質量, 高さ, スパン)を調査。
各燃料取替機の構成要素、基本構造、サイズ、質量及び振動特性が同等であることを確認。

燃料取替機 5 機の中から建設中プラントの燃料取替機を代表試験体として選定。

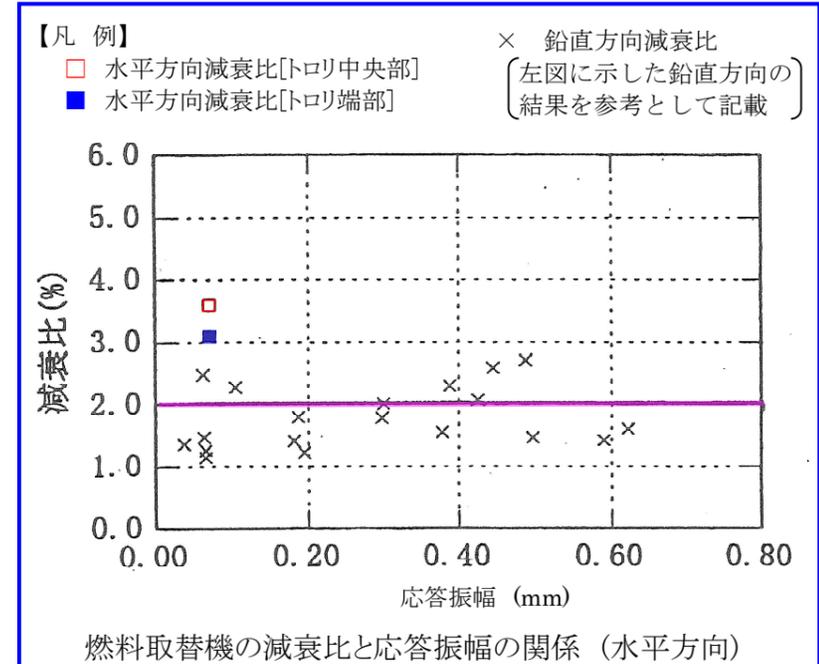
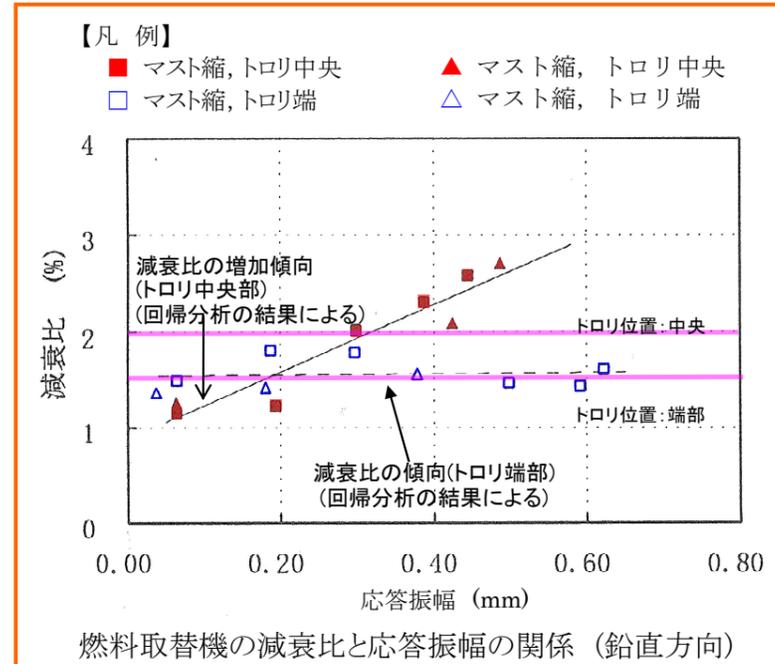
2. 振動試験



【加振方法(鉛直・水平方向)】
トロリ中央部に設置した加振装置による強制加振。
(正弦波 5Hz~20Hz)

3. 計測データの処理

振動試験で得られた周波数応答曲線からハーフパワー法で減衰比を算定。



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (鉛直方向)】
トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加にしたがって減衰比は増加する傾向を示している。応答振幅 0.40mm で減衰比 2.0%以上が得られている。
トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られている。

【設計用減衰定数 (鉛直方向)】
トロリ位置が中央部の場合では、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル 0.40mm でも減衰比 2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数 2.0%としたとしている。
トロリ位置が端部の場合では、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数 1.5%とした。

【試験結果 (水平方向)】
燃料取替機の水平方向の減衰比は、トロリ位置が中央部では応答振幅 0.07mm において 3.6%, トロリ位置が端部では応答振幅 0.07mm において 3.1%という結果が得られている。

【設計用減衰定数 (水平方向)】
水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%(トロリ中央部)及び 3.1%(トロリ端部)の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

■ 燃料取替機の試験体と実機との仕様比較

燃料取替機は、フレーム構造のブリッジ上にトロリが設置されている構造である。表 3-1 に燃料取替機試験体、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の燃料取替機の主要な仕様を示す。

表 3-1 燃料取替機試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉並びに大間 1 号炉の実機の仕様の比較

仕様		試験体	実機			備考	
			柏崎刈羽		大間(参考)		
			6号炉	7号炉	1号炉		
トロリ	質量 Wt(ton)	15.5	16.1	20.0	27.0		
	高さ h(m)	4.795	4.163	5.795	5.795		
	スパン l1(m)	3.0	2.8	3.0	3.0		
	スパン l2(m)	2.6	3.0	2.7	3.0		
ブリッジ	質量 Wg(ton)	23.6	30.4	28.5	40.0		
	高さ H(m)	2.005	2.917	2.005	2.075		
	スパン L1(m)	12.46	15.16	15.16	15.16		
	スパン L2(m)	4.6	4.8	4.6	4.43		
総質量	W(ton)	39.1	46.5	48.5	67.0		

■ 試験体と実機の比較の考え方

燃料取替機については、ブリッジ等の骨組み構造の材料減衰、トロリ、ブリッジ等のガタや摩擦による構造減衰が減衰比に影響を与えると考えられる。トロリの構造減衰はトロリ位置によって異なる。試験で得られた減衰比データとしては、ブリッジ中央にトロリがある場合、ブリッジの端部にトロリがある場合の 2 種類ある。鉛直方向に関しては、ブリッジの中央にトロリがある場合の方が、ブリッジの端部にトロリがある場合に比べて、減衰比は高くなっている。

ブリッジ中央にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加傾向にあり、応答振幅レベル 0.40mm で減衰比 2.0%以上となっていることから、設計用減衰定数を 2.0%とする。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.6%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

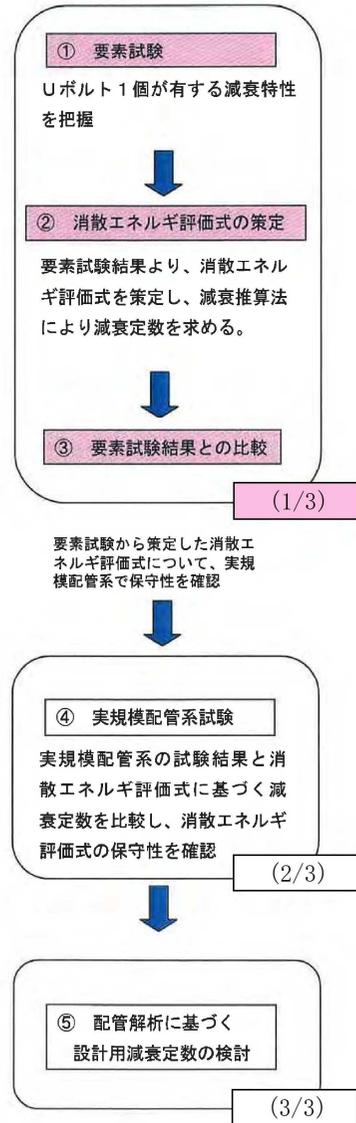
ブリッジ端部にトロリがある場合、鉛直方向に関しては、応答振幅に係らず 1.5%程度の減衰比が得られていることから、設計用減衰定数 1.5%とした。水平方向の減衰比は、応答振幅レベル 0.07mm で 3.1%の減衰比が得られているが、データ点数が少ないため、鉛直方向と同じ 2.0%を水平方向の設計用減衰定数とした。

実機への適用性の観点では、上表の試験体と柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉における燃料取替機の構造の比較から、ブリッジスパン、質量は同等以上となっており、振動特性として応答は大きくなる傾向にあると考えられる。また、試験では低加速度レベル（水平約 100Gal、鉛直約 200Gal）にて実施されているが、実際の基準地震動 Ss はそれよりも大きな加速度レベルとなる。試験結果から、応答の増加に伴い減衰比も増加傾向にあるため、上記の試験結果より得られた減衰比は適用可能と考えられる。

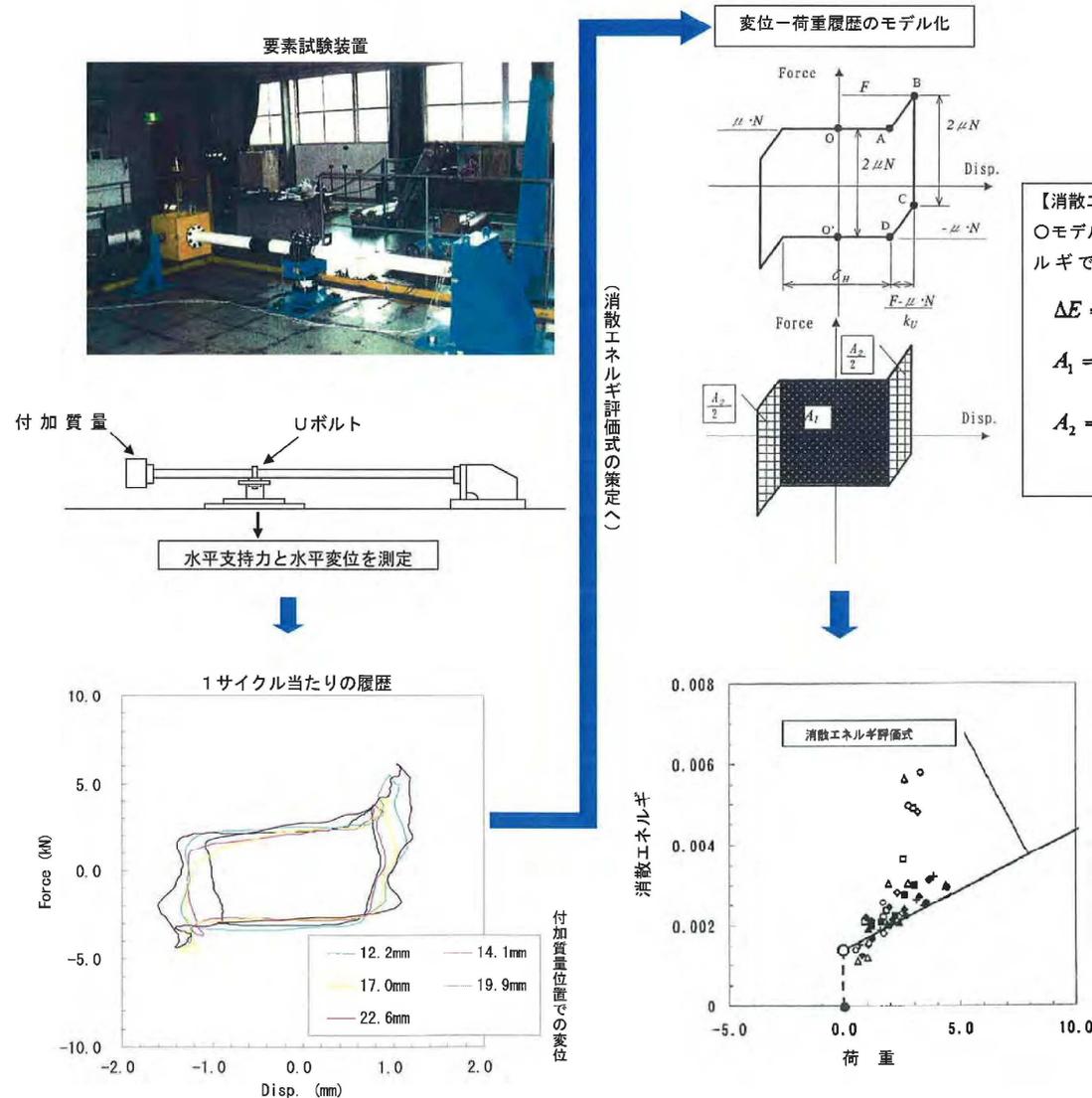
以上から、燃料取替機の設計用減衰定数として水平 2.0%、鉛直 1.5%(燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0%(燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を適用する。

Uボルト支持配管系の振動試験 (1/3) : ①要素試験～②消散エネルギー評価式の策定～③要素試験結果との比較

Uボルト支持配管系の研究の流れ



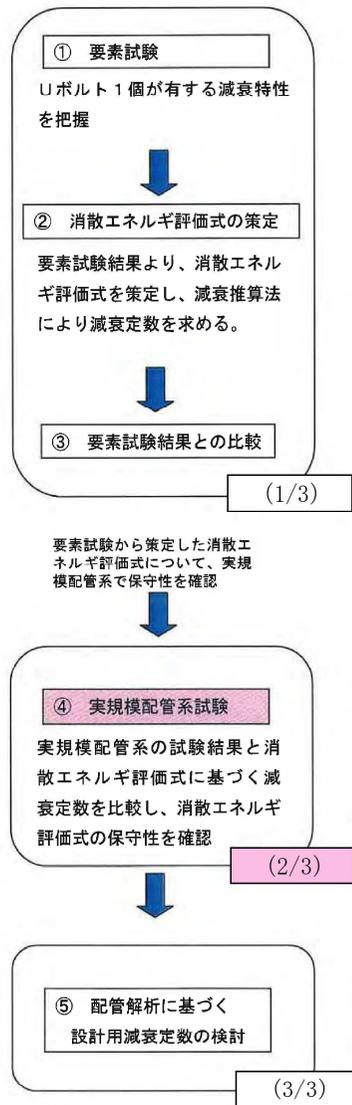
Uボルト支持部1箇所の減衰特性を把握するため、最も単純な試験体で振動試験を実施。



Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (要素試験)

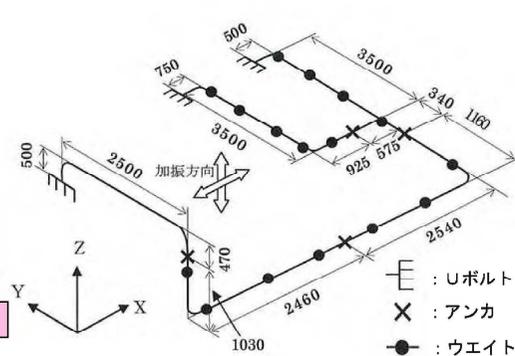
Uボルト支持配管系の振動試験 (2/3) : ④実規模配管系試験

Uボルト支持配管系の研究の流れ

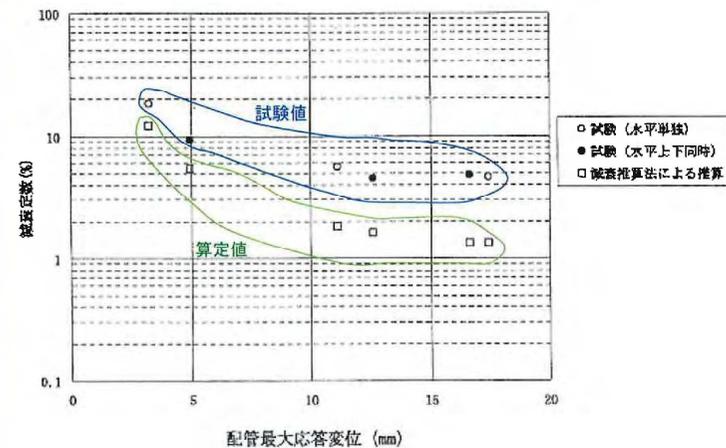


要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

実規模配管系試験装置



試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数の比較



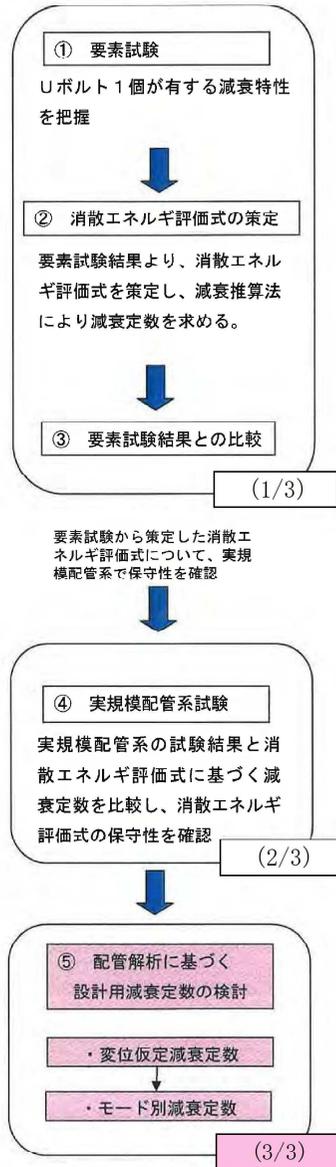
試験結果と消散エネルギー評価式による減衰定数を比較した結果、消散エネルギー評価式の方が全変位領域で下回っており、消散エネルギー評価式の保守性が確認された。

Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (実規模配管系試験)

Uボルト支持配管系の振動試験 (3/3) : ⑤配管解析に基づく設計用減衰定数の検討

参考資料-3 (3/8)

Uボルト支持配管系の研究の流れ



実機プラントにおいては、配管系の支持箇所やルートは多種多様である。ここでは、実機配管系の計算モデルに対して消散エネルギー評価式を用いて減衰定数を算出し、さらに、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数の検討を行った。

Uボルト支持配管系(28モデル)に対する解析による検討 (各振動モードが全て一律の変位が生じると仮定)

実規模配管系試験にて消散エネルギー評価式の保守性を確認したが、設計用減衰定数を設定するにあたっては、Uボルト支持具数や配管ルートなど様々な配管系について検討する必要がある。ここでは、消散エネルギー評価式による減衰定数が配管変位に依存するため、配管系の振動モード変位を一定と仮定した状態で減衰定数(変位仮定減衰定数)を算出した。対象はUボルト支持部を有する実機配管系(28モデル)とした。

- 解析の結果、Uボルト4個以上の配管系において
- ・ 仮定変位 2.5mm の場合、減衰定数 2.0%以上が得られた。
 - ・ 仮定変位 5.0mm の場合、減衰定数 1.0%以上が得られた。

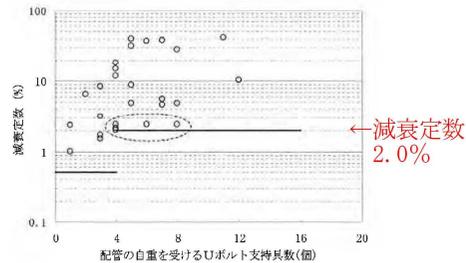
詳細計算による減衰定数の検討 (モード別減衰定数による検討)

変位仮定減衰定数は計算結果からも判るように「仮定する変位」に依存する。そこで、変位 2.5mm の減衰定数及び変位 5.0mm の減衰定数のそれぞれ 2%及び 1%を与える下限値を示した配管モデルに対して、より詳細な解析を行い、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を検討した。

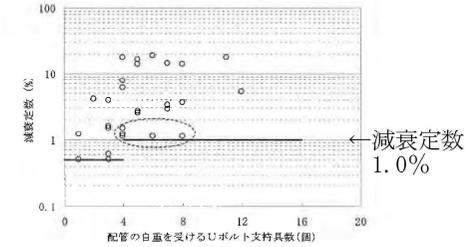
比較検討の結果、詳細計算結果と変位 2.5mm を与えた場合の結果がよく一致していることがわかり、Uボルト支持配管系の設計用減衰定数を 2.0%に設定することとしたとしている。

- なお、2.0%の適用に当たっては、以下の項目を条件とするとしている。
- Uボルトは、運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されること。
 - 今回、検討対象としたUボルトの据付状態であること(架構で水平配管の自重を受けるUボルト)。

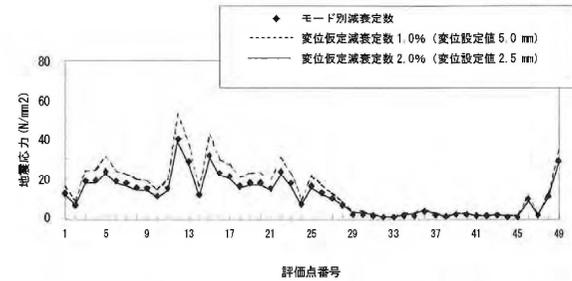
Uボルト支持配管系の減衰推算結果



(a)変位設定値 2.5mm



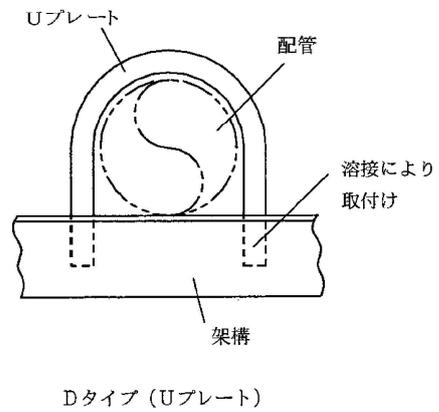
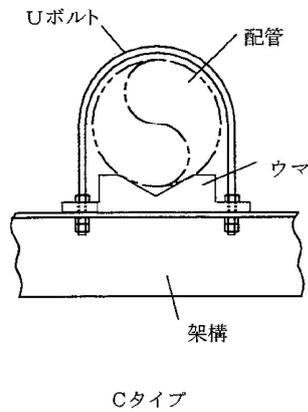
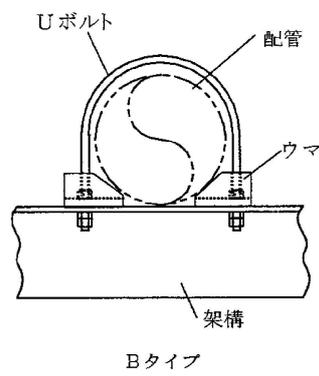
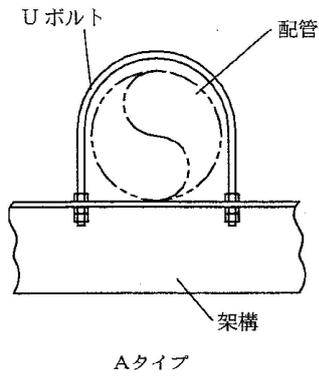
(b)変位設定値 5.0mm



Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (設計用減衰定数の検討)

【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ

試験に用いたUボルトは、原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



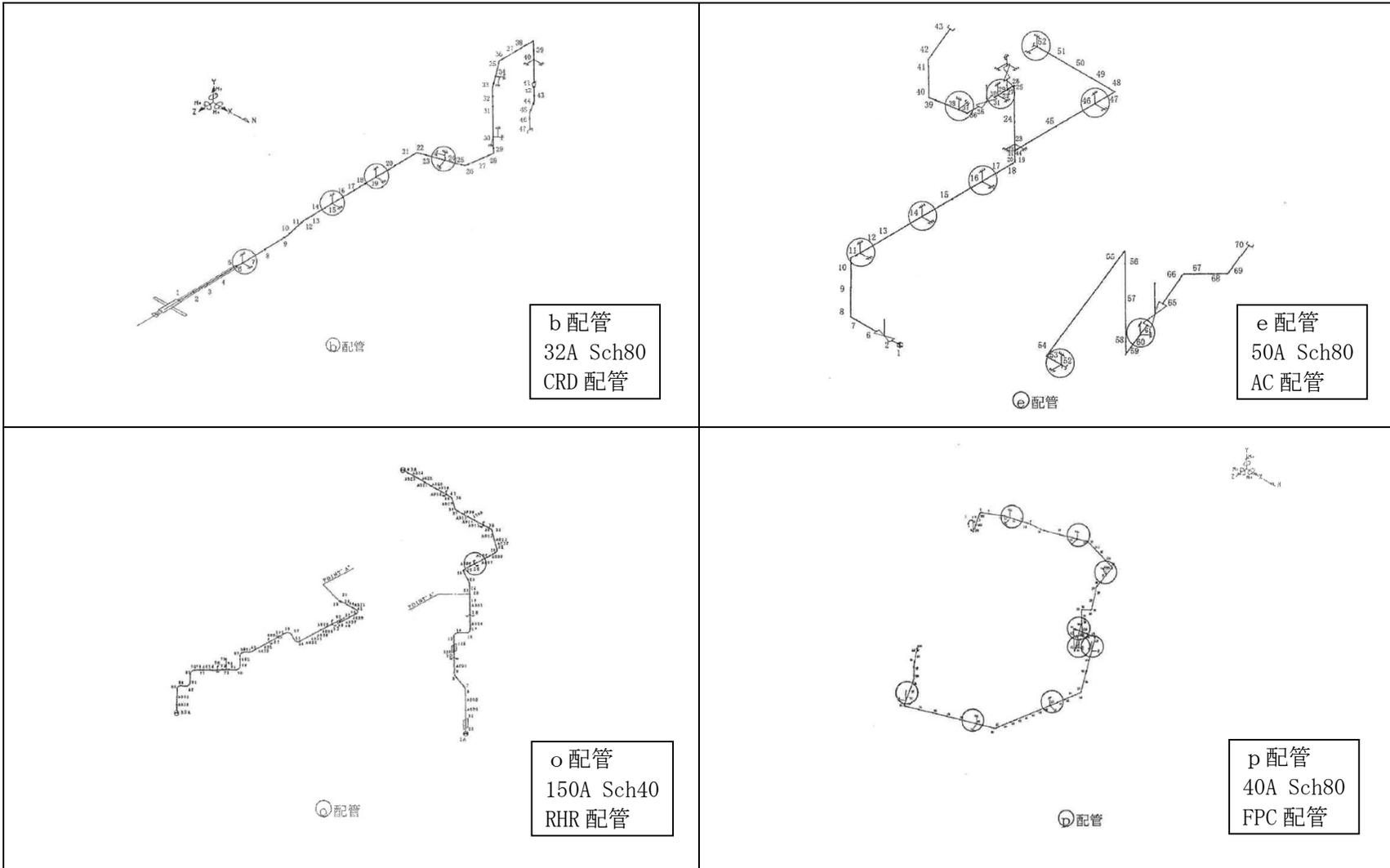
【解析を行った配管仕様】

- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

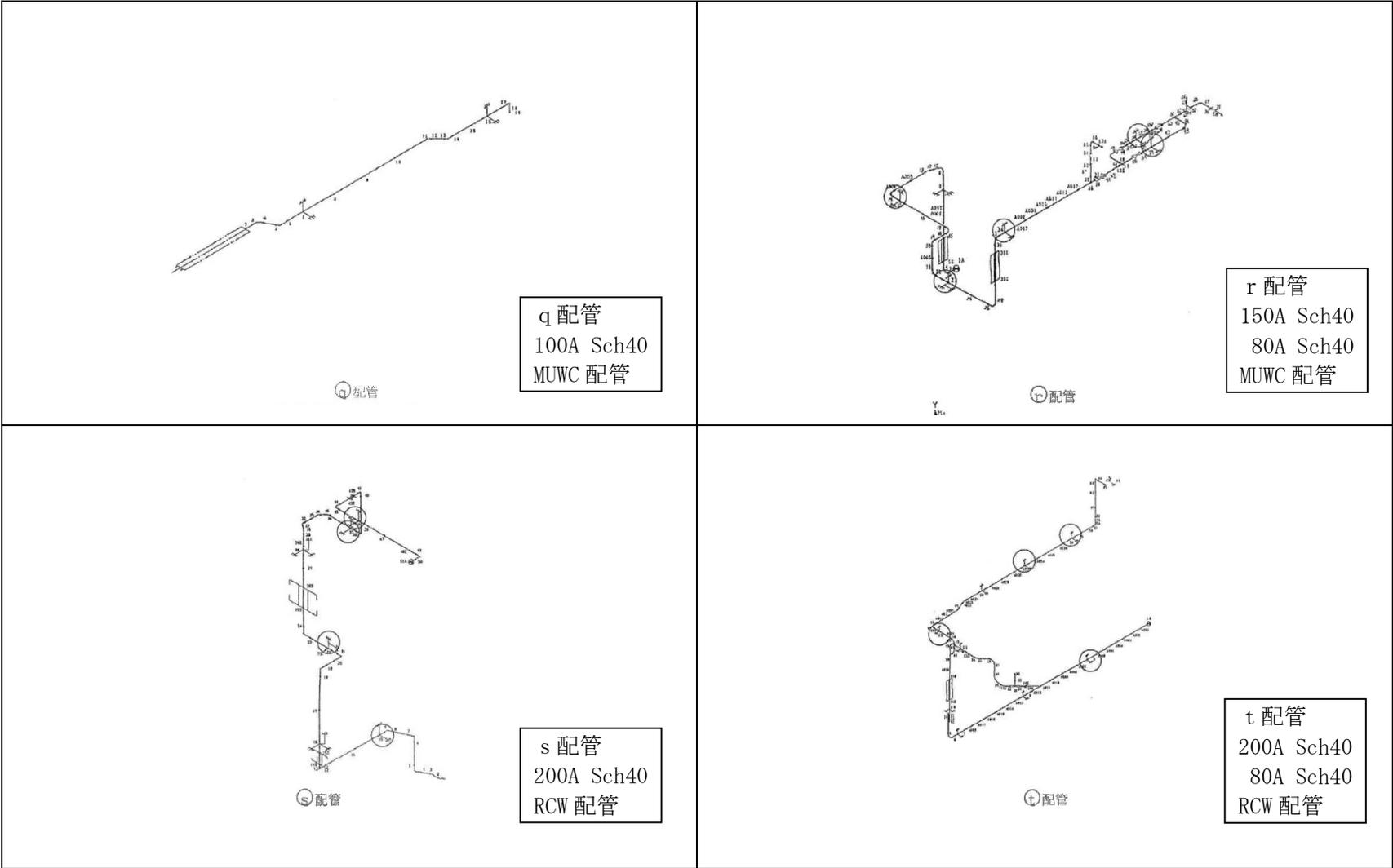
上記のうちBWR実機配管

	系統	口径
b 配管	CRD	32A
e 配管	AC	50A
o 配管	RHR	150A
p 配管	FPC	40A
q 配管	MUWC	100A
r 配管	MUWC	150A, 80A
s 配管	RCW	200A
t 配管	RCW	200A, 80A
u 配管	CRD	32A

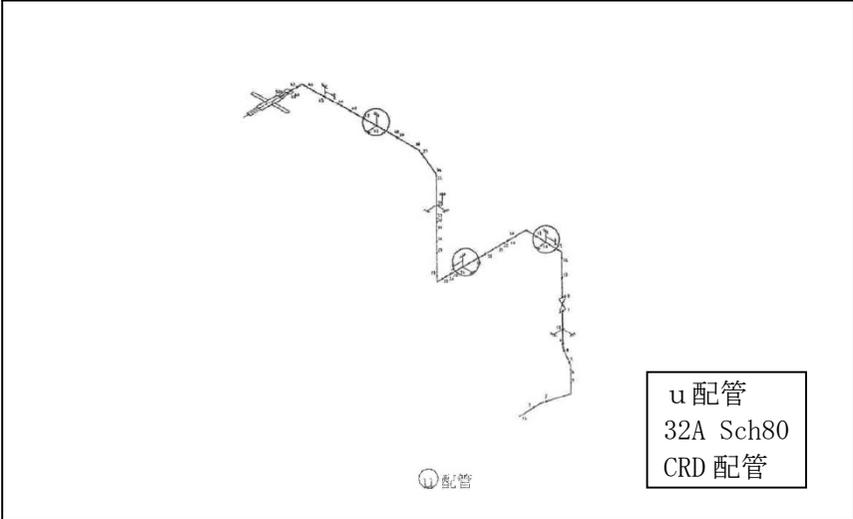
実機配管系の解析モデル図 (b・e・o・p配管)



実機配管系の解析モデル図 (q・r・s・t配管)



実機配管系の解析モデル図 (u配管)



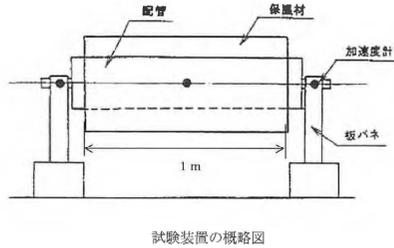
試験体を使用した振動試験から得られた、配管系の保温材による付加減衰定数に基づき、設計用減衰定数の検討を行った。

1. 試験体

3種類の配管口径
 ① 8B(200A)
 ② 12B(300A)
 ③ 20B(500A)
 の試験体を用いて振動試験を実施

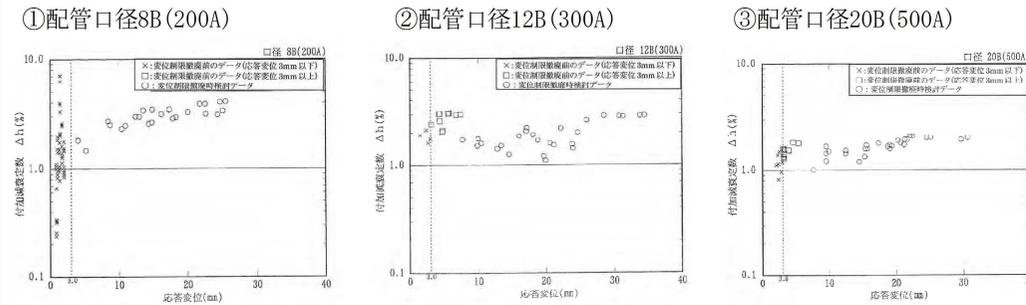
2. 振動試験

振動試験は保温材有りの場合/
 保温材無しの場合について実施
 (保温材厚さ75mm)



3. 試験結果

保温材有・無の結果を比較し、保温材が有る場合に付加できる減衰定数(以下、付加減衰定数という。)と変位との関係を示す。



4. 設計用減衰定数の設定

【試験結果 (8B, 12B, 20B)】

- 応答変位3mm以上の領域
 保温材による付加減衰定数は1.0%以上、応答変位の増大に伴い漸増または一定の値を示す傾向
- 応答変位3mm以下の領域 (小応答領域)
 減衰データにはばらつきあり、付加減衰定数1%以下の場合もある

【設計用減衰定数の設定】

小応答変位領域については、配管強度上問題とならないことから、保温材による付加減衰定数は1.0%とする。

※ただし、本試験において金属保温材が施工されている配管長さは配管全長に対し40%を超える割合であったことから、下記の適用条件を設定した。

- ① 金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%以下の場合・・・1.0%を付加する
- ② // 40%を超える場合・・・0.5%を付加する

添付資料 4

水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組み合わせ

1. 概要

今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなるとともに、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。

従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組み合わせは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。（以下、「絶対値和法」という。）

一方、水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。

本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法（以下、「SRSS法（Square Root of the Sum of the Squares）」という。）による組み合わせ法の妥当性について説明するものである。

なお、SRSS法による組み合わせは、大間1号炉の建設工認において適用実績のある手法である。

2. 柏崎刈羽原子力発電所で用いる荷重の組み合わせ法

柏崎刈羽原子力発電所では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づき、SRSS法を用いて評価を行う。

3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組み合わせ法に関する研究の成果

3.1 荷重の組み合わせ法の概要

絶対値和法と SRSS 法の概要を以下に示す。

(1) 絶対値和法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を絶対値和で組み合わせる方法である

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており、組み合わせ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = |M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

(2) SRSS 法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、動的な地震力による荷重同士の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重(又は応力)} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

※：荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。

3.2 SRSS 法の妥当性

既往研究では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を SRSS 法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。

(1) 解析対象配管系モデル

解析対象とした配管は、代表プラントにおける格納容器内の配管系で給水系 (FDW) ×2 本、残留熱除去系 (RHR) 及び主蒸気系 (MS) の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は、耐震 S クラスに分類されるものである。

(2) 入力地震動

解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を図 1-1～図 1-3 に示す。

(3) 解析結果

解析結果を図 2-1～図 2-4 に示す。図 2-1～図 2-4 は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び SRSS 法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。

図 2-1～図 2-4 より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して SRSS 法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点における SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との評価結果の比較を表 1 に示す。また、最大応力発生点の部位を図 3-1～図 3-4 に示す。

さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位における発生応力の比較を図 4 に示す。図 4 は、図 2-1～図 2-4 に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。図 4 より、SRSS 法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向にあることが確認できる。

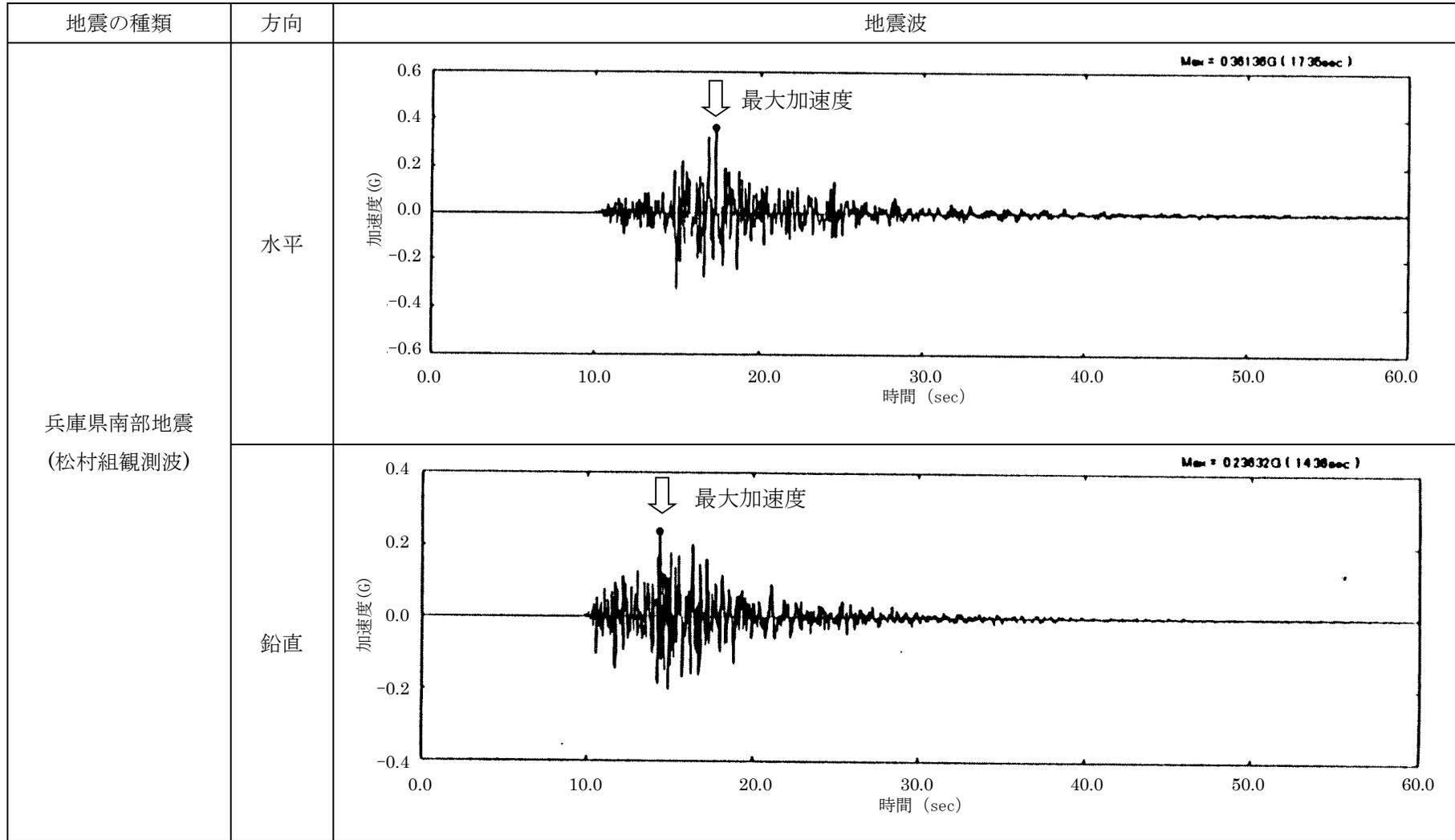


図 1-1 機器・配管系への入力地震動（兵庫県南部地震）

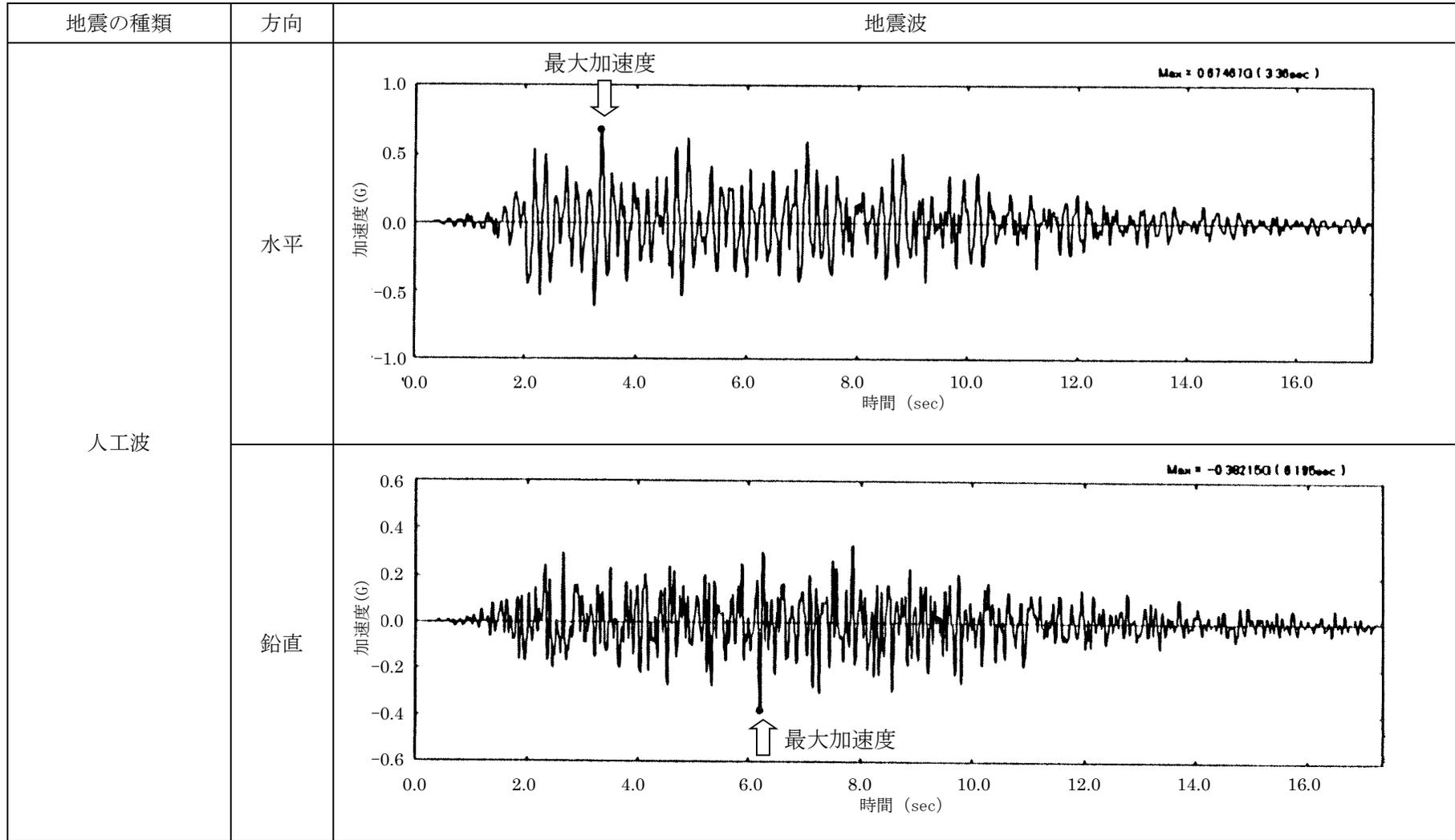


図 1-2 機器・配管系への入力地震動（人工波）

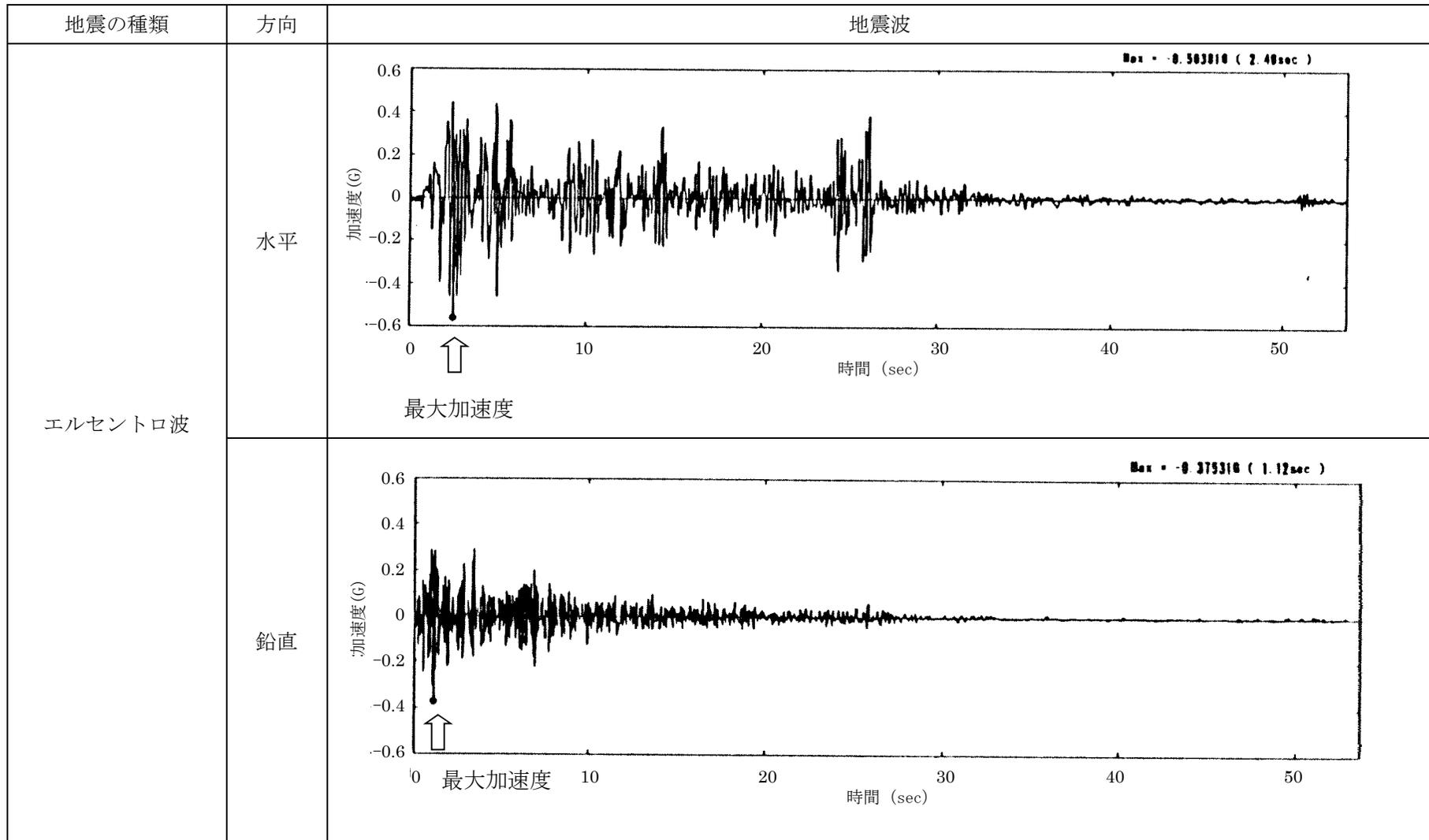
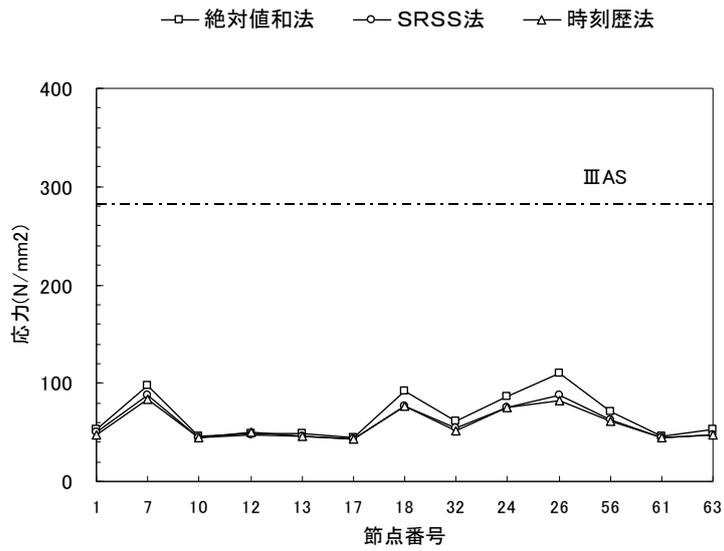
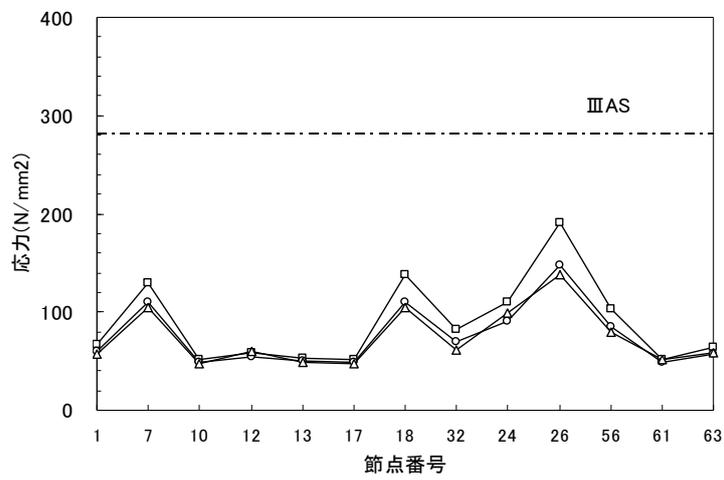


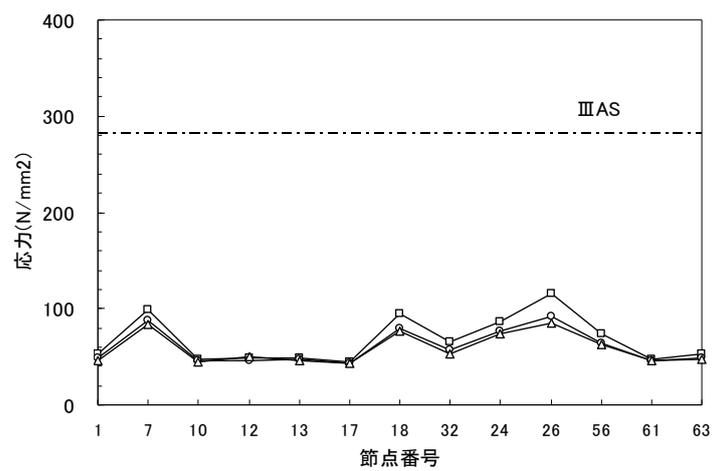
図 1-3 機器・配管系への入力地震動 (エルセントロ波)



兵庫県南部地震（松村組観測波）



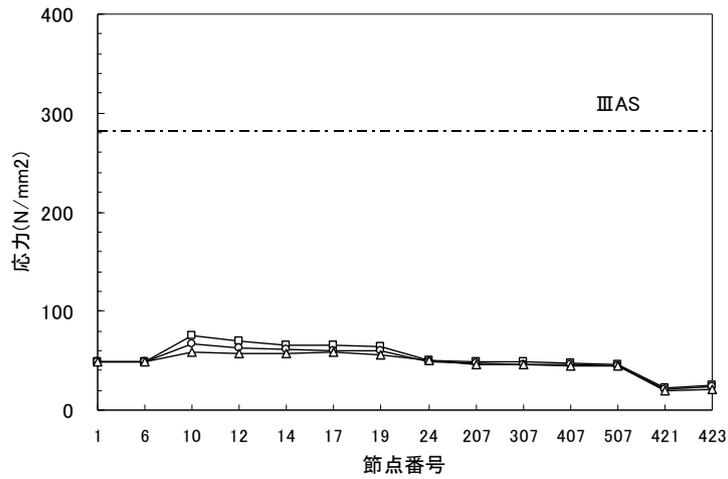
人工波



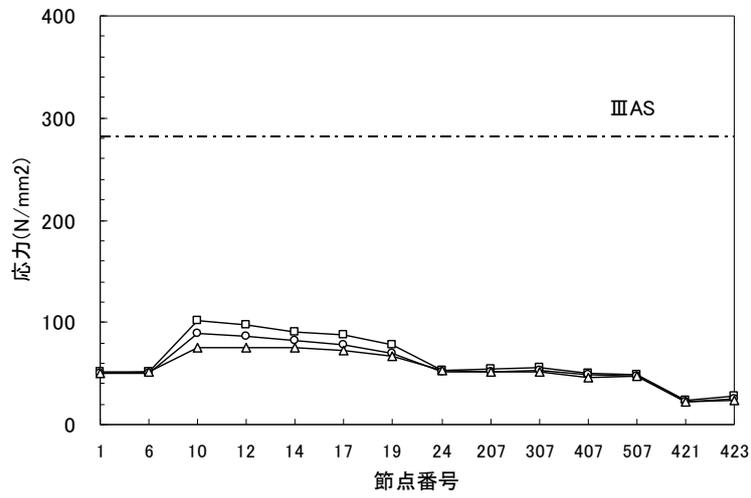
エルセントロ波

図 2-1 主要な部位における発生応力 (FDW-001 A プラント)

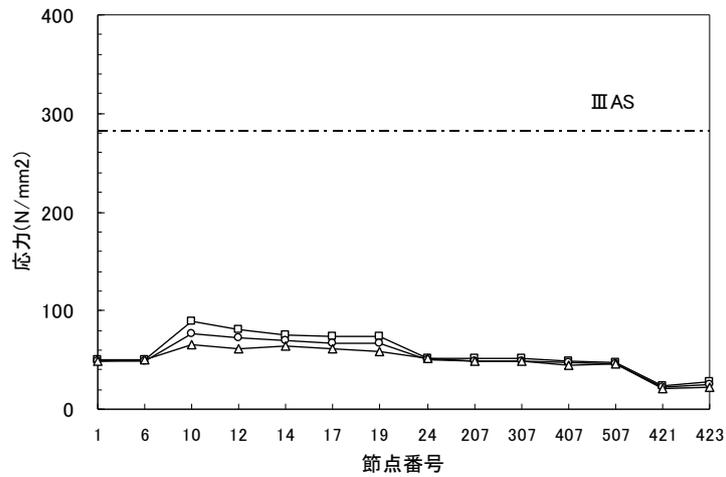
—□— 絶対値和法 —○— SRSS法 —△— 時刻歴法



兵庫県南部地震（松村組観測波）



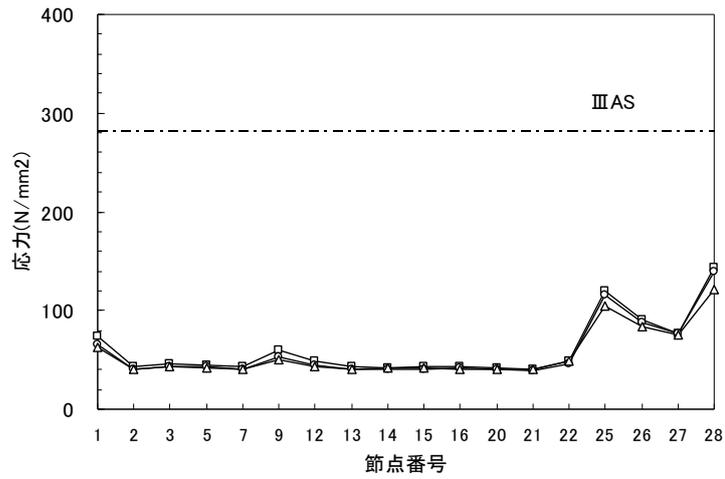
人工波



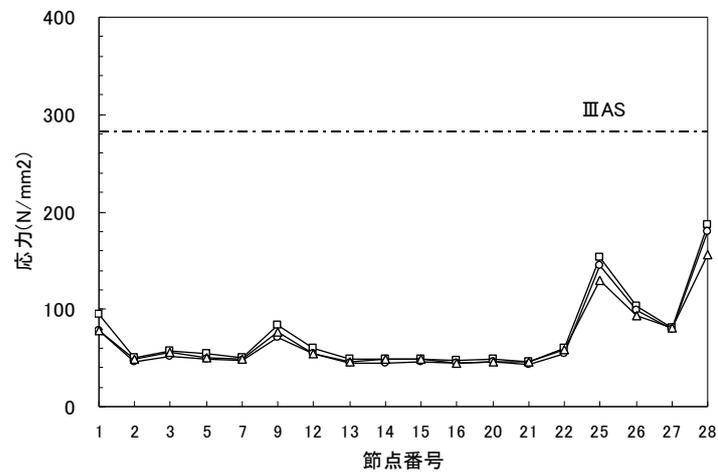
エルセントロ波

図 2-2 主要な部位における発生応力 (MS-001 Aプラント)

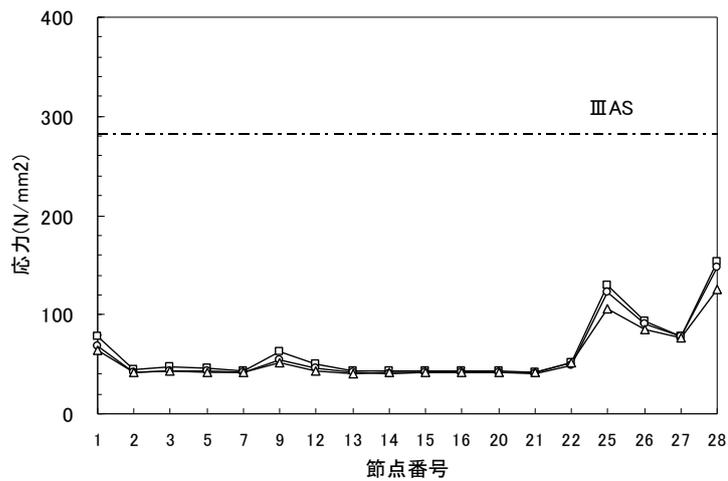
—□— 絶対値和法 —○— SRSS法 —△— 時刻歴法



兵庫県南部地震 (松村組観測波)



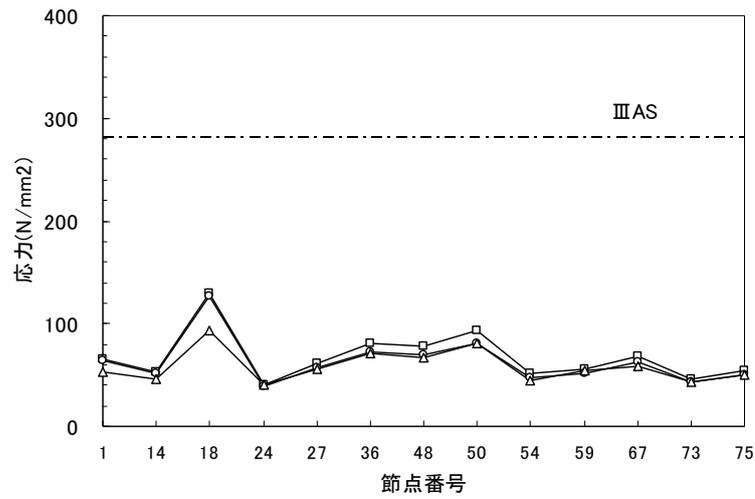
人工波



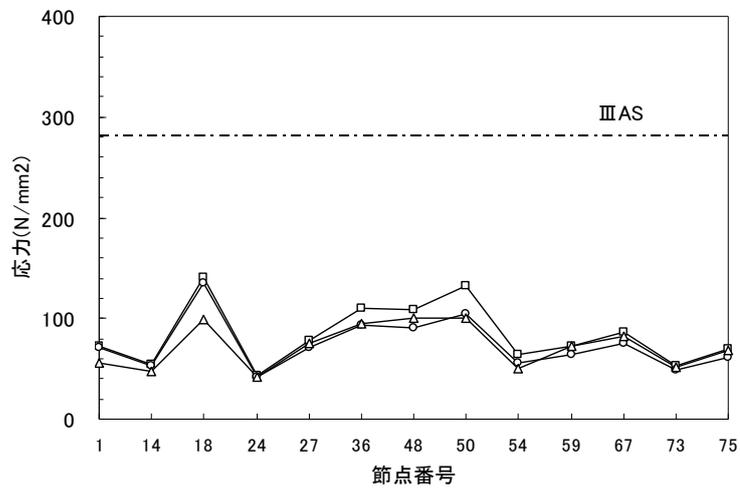
エルセントロ波

図 2-3 主要な部位における発生応力 (RHR-001 A プラント)

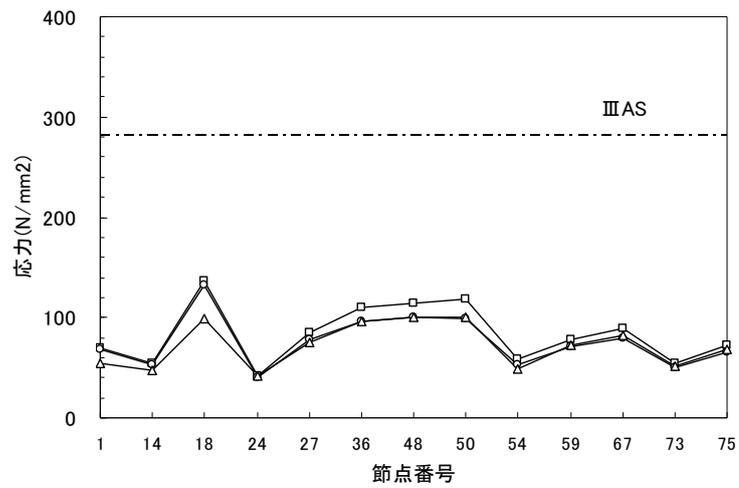
□ 絶対値和法 ○ SRSS法 △ 時刻歴法



兵庫県南部地震 (松村組観測波)



人工波



エルセントロ波

図 2-4 主要な部位における発生応力 (FDW-001 B プラント)

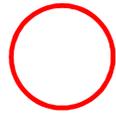
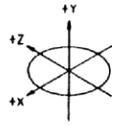
表1 SRSS法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較(最大応力発生点)

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS/同時入力
FDW-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点 No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点 No26)	1.08
MS-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点 No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点 No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点 No10)	1.18
RHR-001 (Aプラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点 No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点 No28)	1.18
FDW-001 (Bプラント)	松村組観測波	拘束点(節点 No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点 No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点 No18)	1.34

FDW : 給水系配管

MS : 主蒸気系配管

RHR : 残留熱除去系配管



最大応力発生点

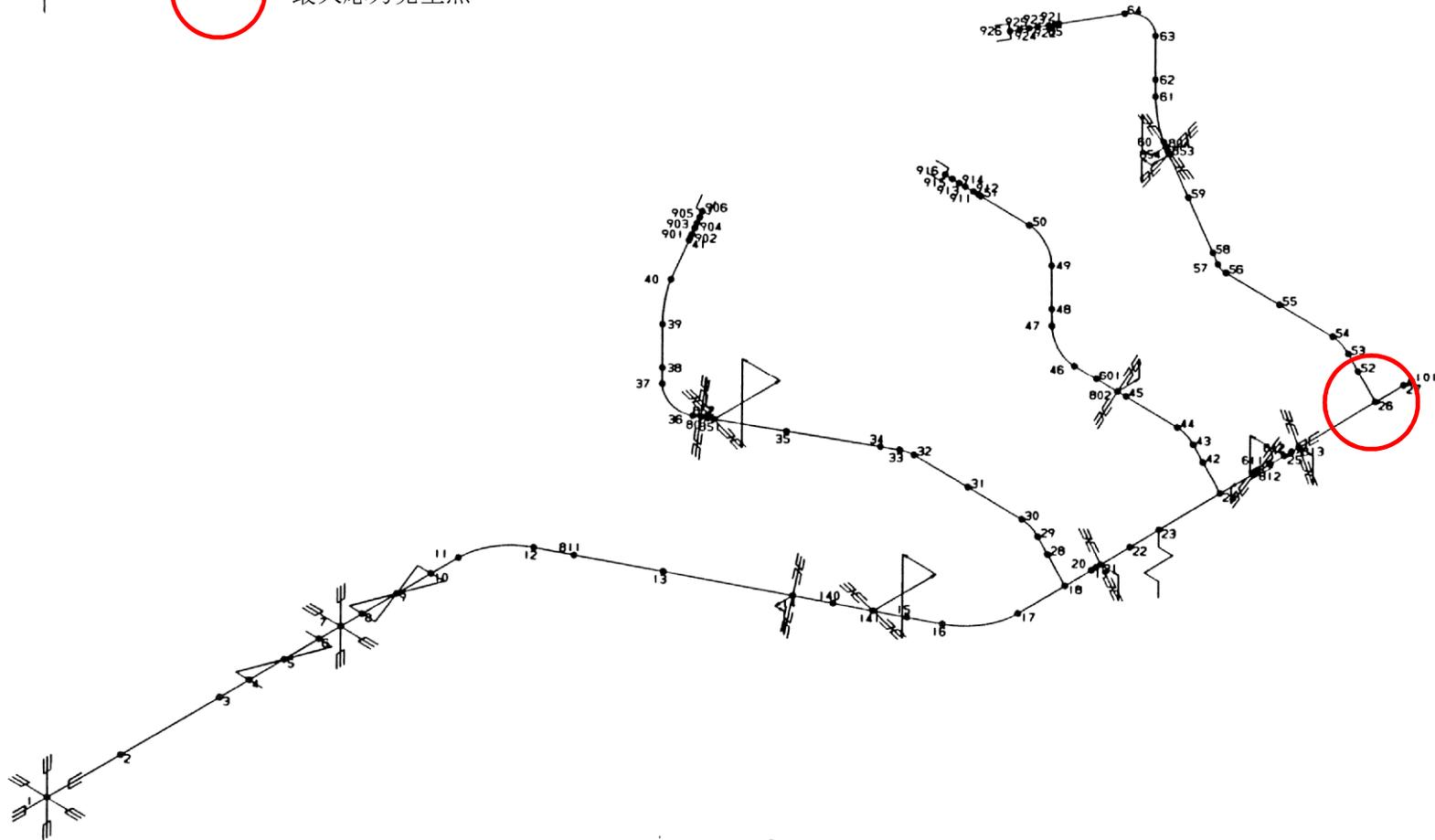


図 3-1 給水系配管 (FDW-001 Aプラント)

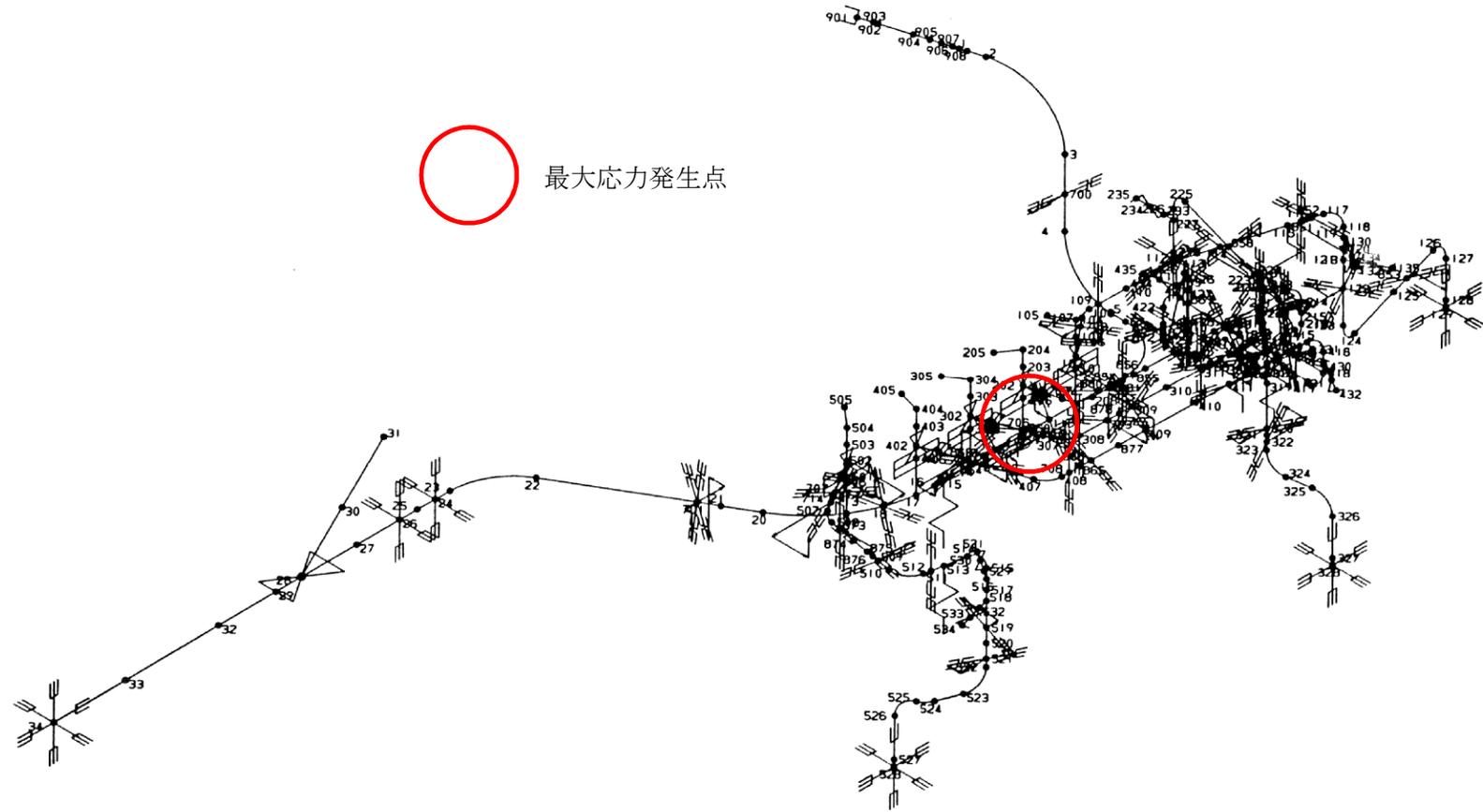
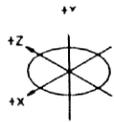


図 3-2 主蒸気系配管 (MS-001 A プラント)

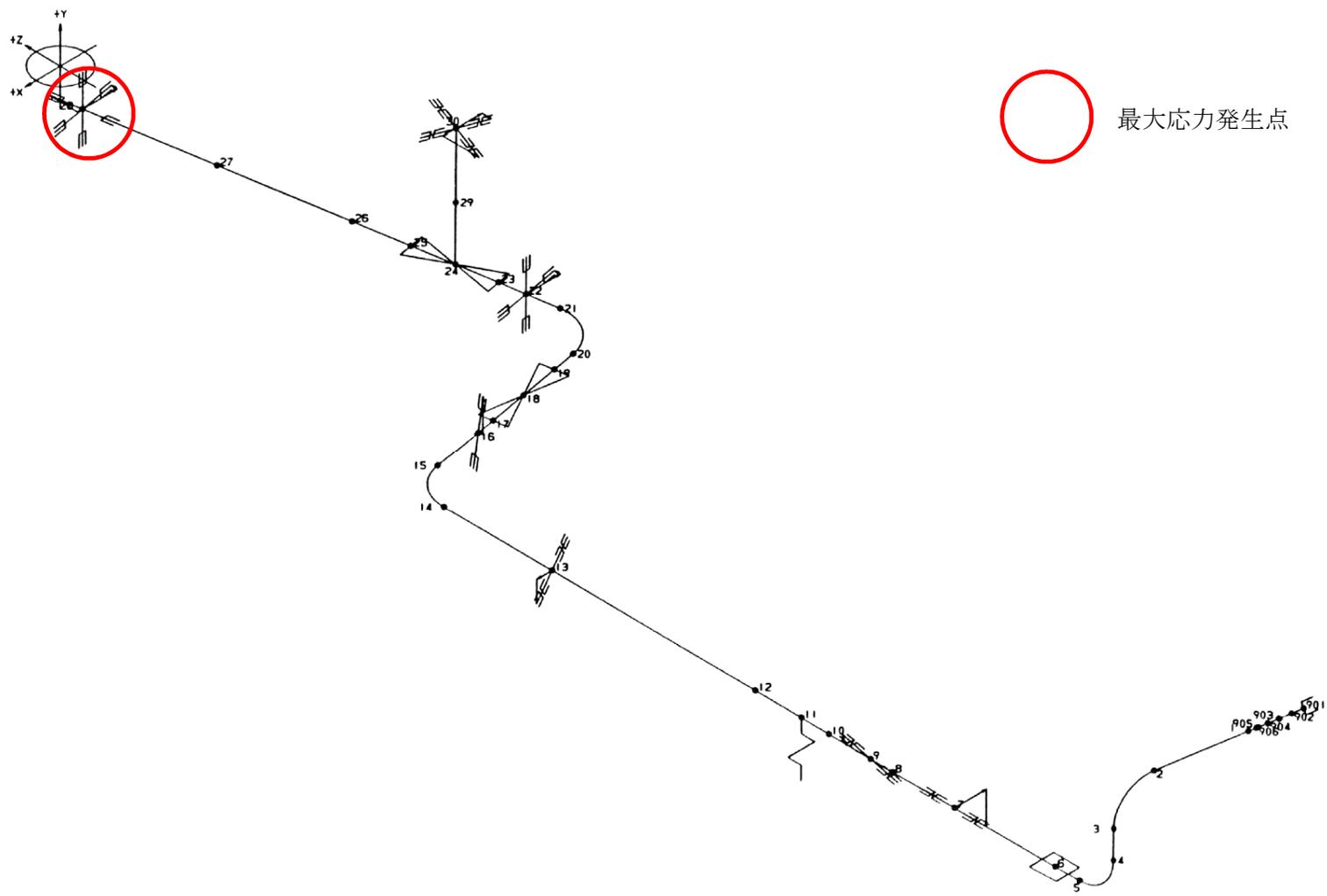
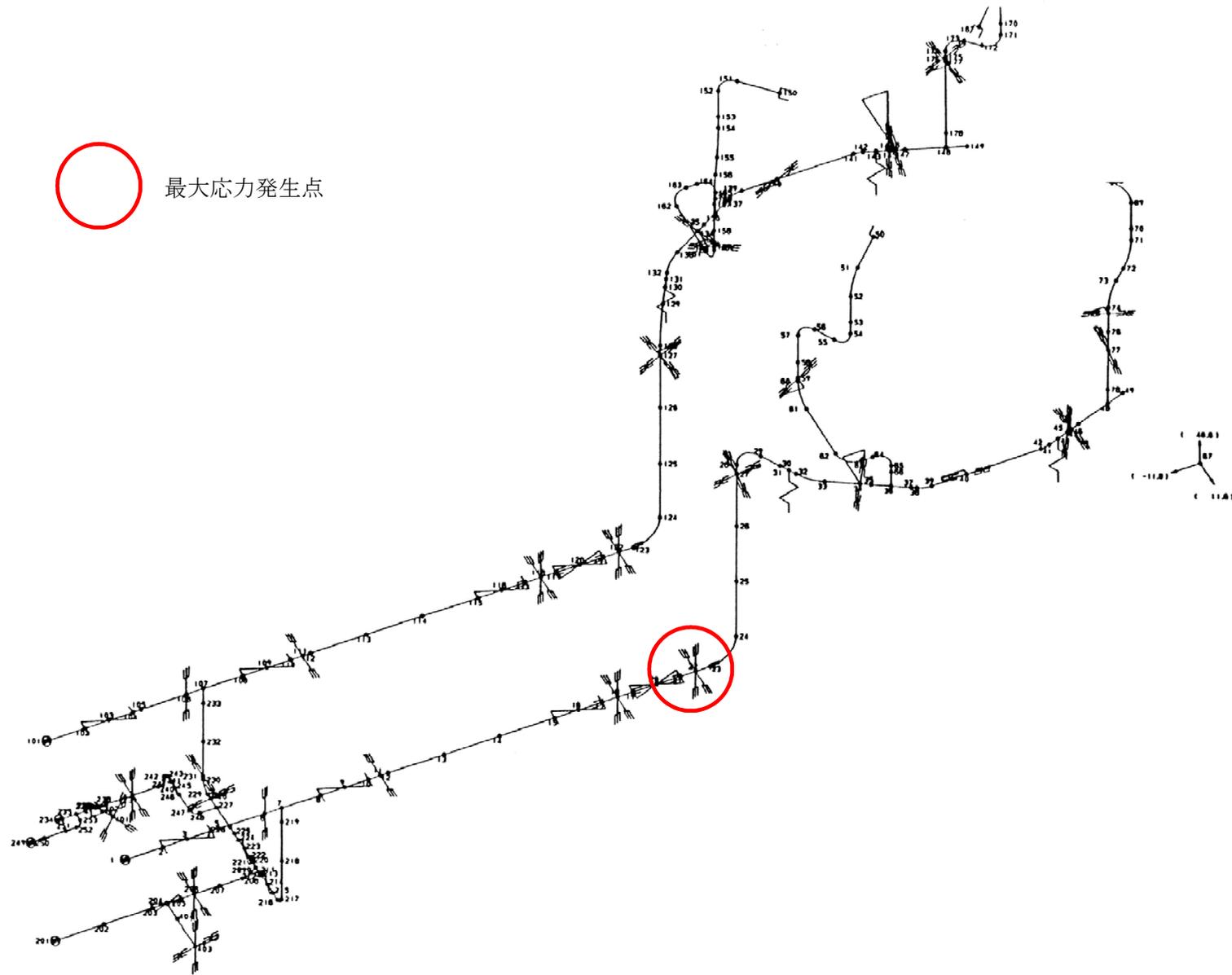
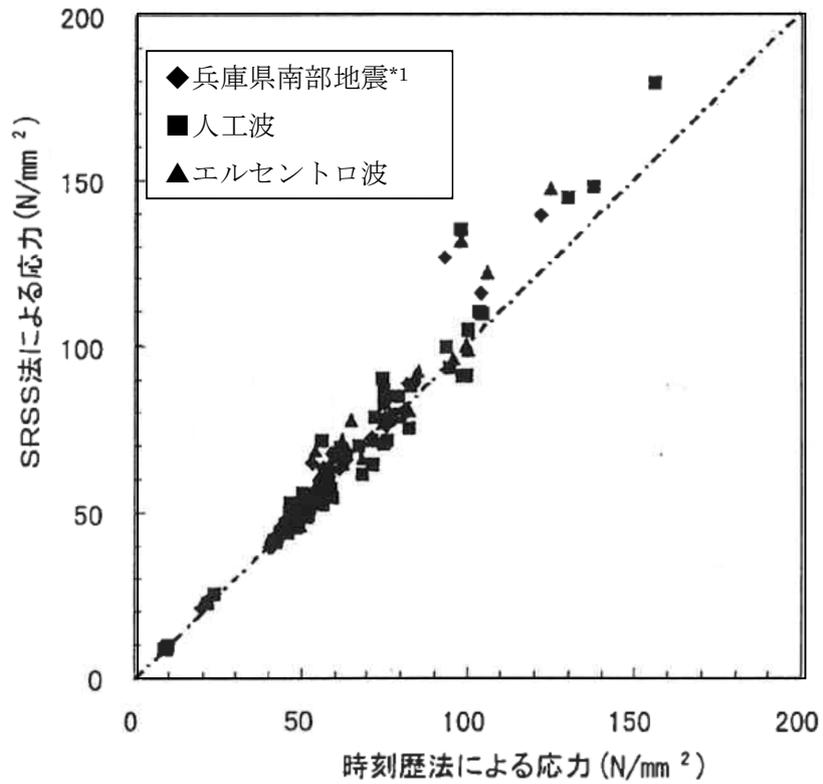


図 3-3 残留熱除去系配管 (RHR-001 A プラント)



○
最大応力発生点

図 3-4 給水系配管 (FDW-001 Bプラント)



注記

* 1 : 松村組観測波

図 4 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較(主要部位)

4. 柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

柏崎刈羽原子力発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について、原子炉建屋を例に、柏崎刈羽原子力発電所の施設の耐震性評価において支配的な地震動である基準地震動 Ss-1, 2 に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、全ての地震動に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の生起時刻については、Ss-1,2 並びに南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻を用いた。

図 5 及び表 2 に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 6 秒～約 17 秒の差があり、柏崎刈羽原子力発電所においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

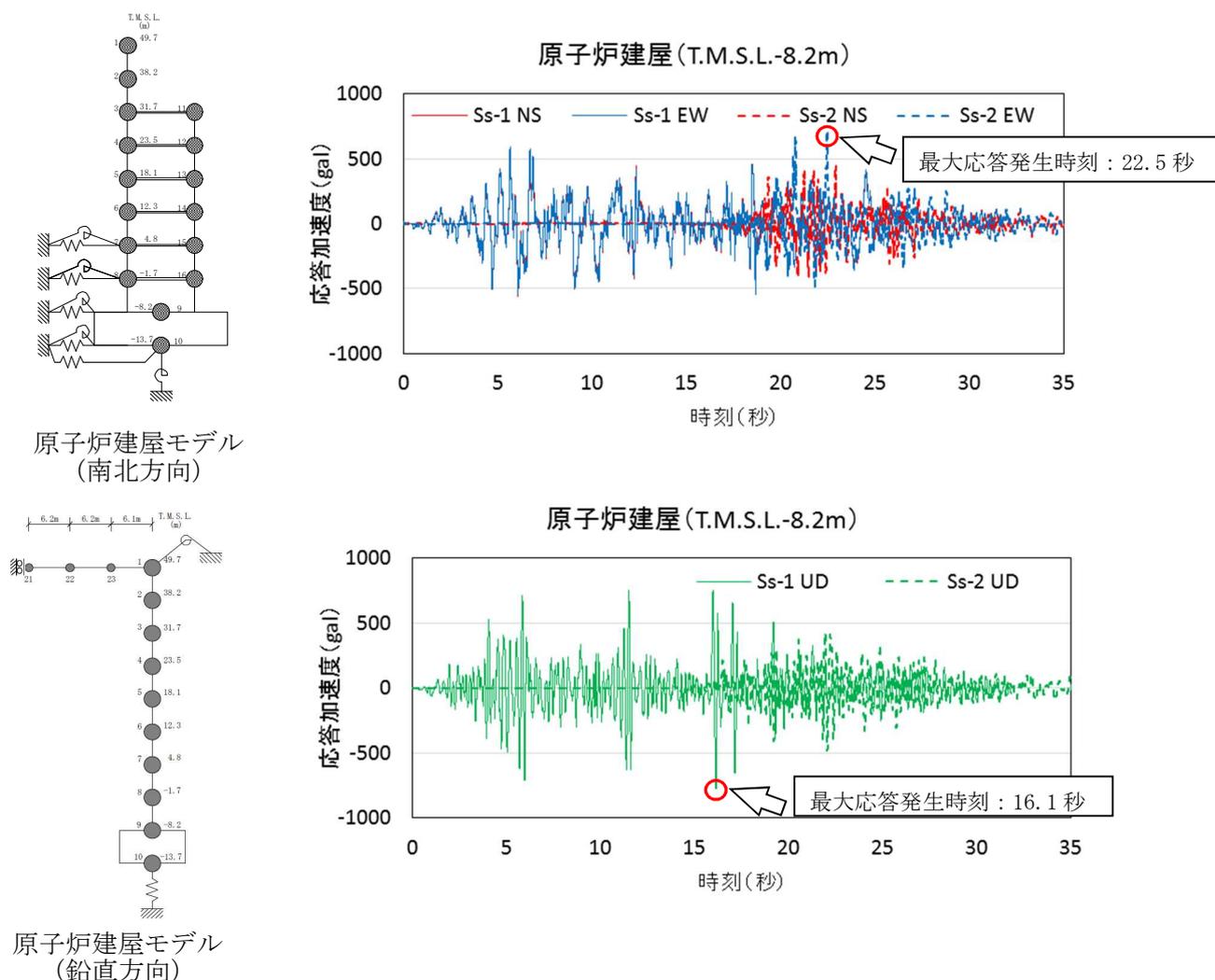


図 5 原子炉建屋の応答値 (T.M.S.L.-8.2m の例)

表 2 最大応答値の生起時刻の差

位 置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)
	水平方向	鉛直方向	
49.7	18.7	6.0	12.7
38.2	18.7	6.0	12.7
31.7	22.5	6.0	16.5
23.5	22.5	6.0	16.5
18.1	22.5	6.0	16.5
12.3	22.5	16.1	6.4
4.8	22.4	16.1	6.3
-1.7	22.4	16.1	6.3
-8.2	22.5	16.1	6.4
-13.7	22.5	16.1	6.4

5. まとめ

以上から、柏崎刈羽原子力発電所では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組み合わせ法として SRSS 法を用いることとする。

6. 参考文献

- (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（ステップ2）」
(平成7年～平成10年)

7. 別紙

(参考) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

(参考) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について

1. はじめに

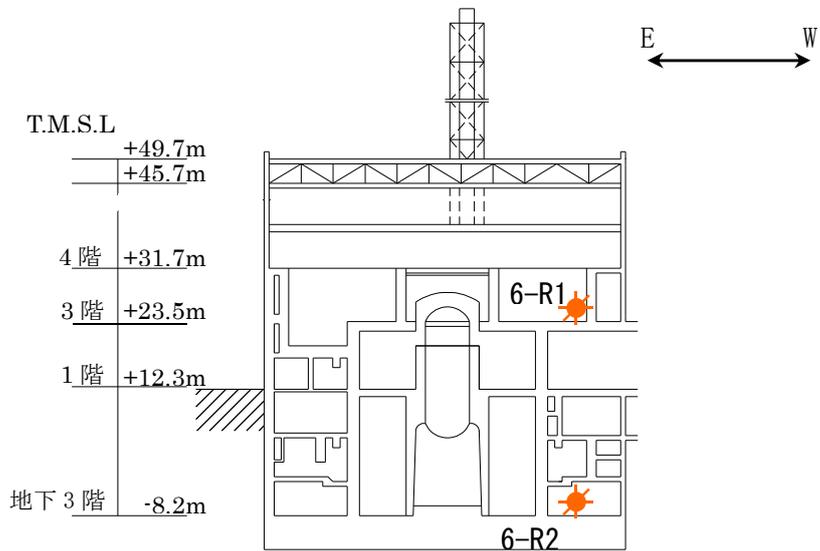
柏崎刈羽原子力発電所では、平成 19 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震による観測記録が得られている。本資料では、新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。

2. 確認結果

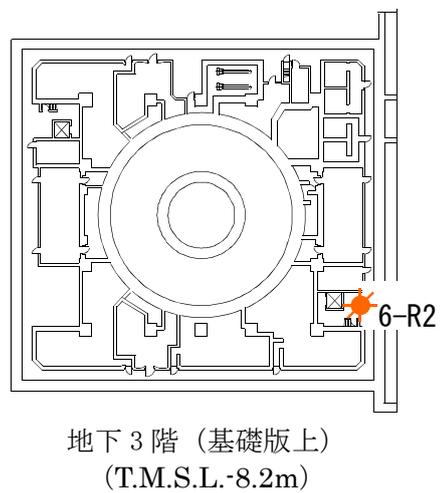
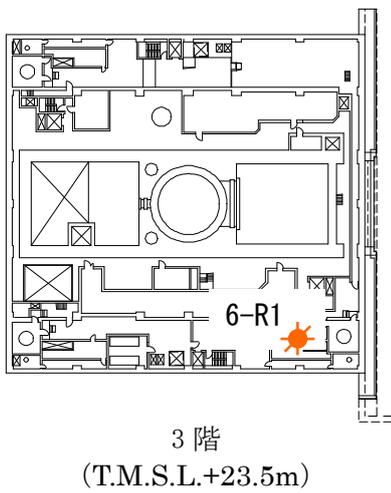
別紙表 1 に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約 1 秒～約 4 秒の差があり、柏崎刈羽原子力発電所において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。

別紙表 1 新潟県中越沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差

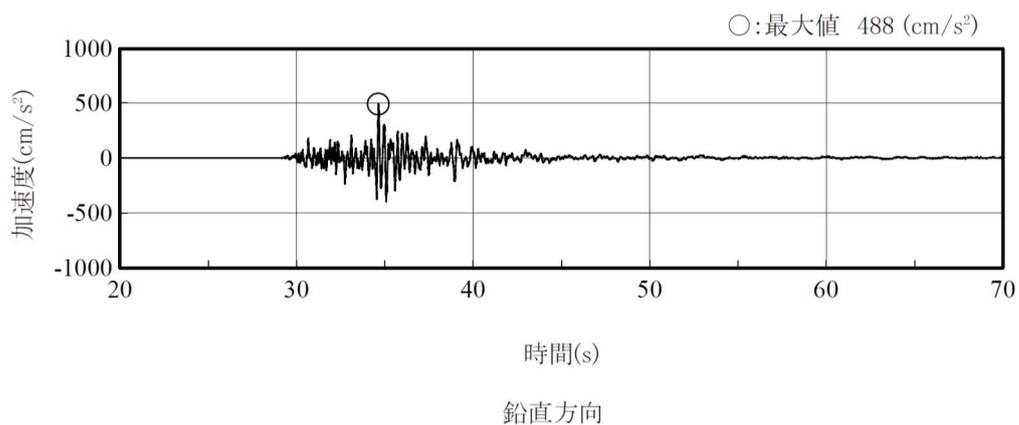
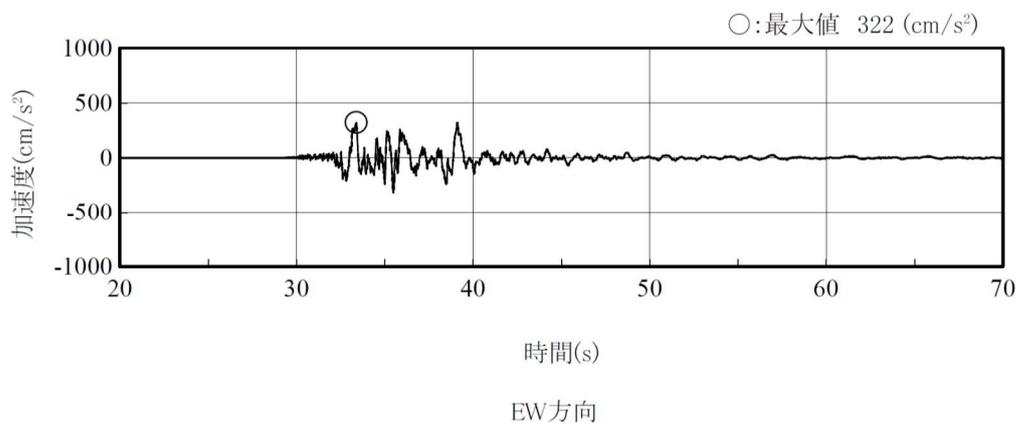
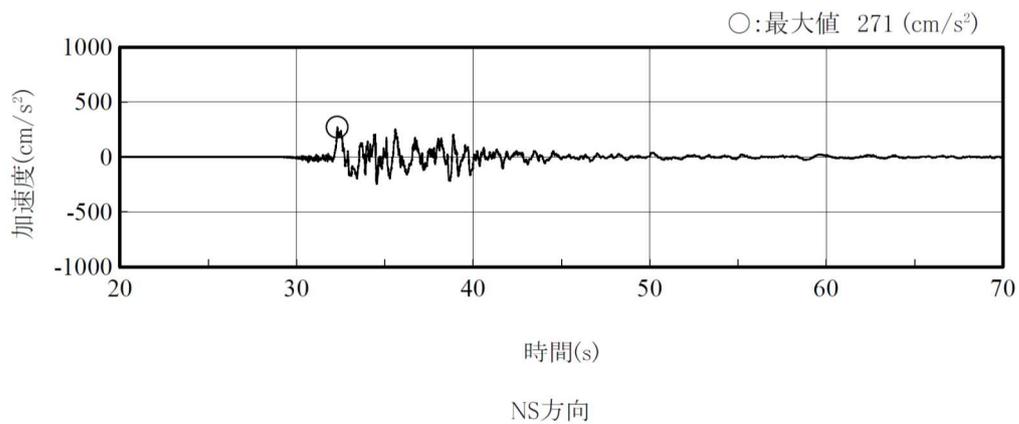
位 置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)	
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD
6 号炉 -8.2	32.3	33.4	34.6	2.3	1.2
7 号炉 -8.2	33.0	39.7	35.3	2.3	4.4



※T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

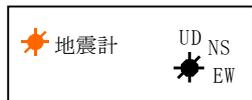
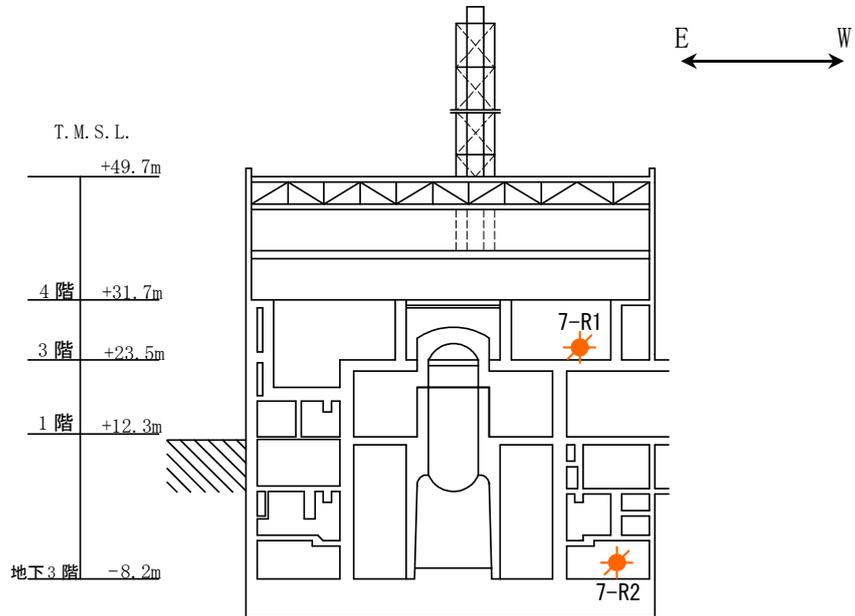


別紙図 1-1 6号炉原子炉建屋 地震計設置位置

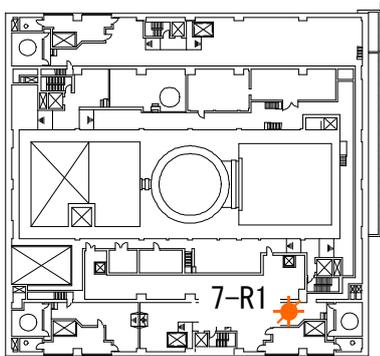


(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

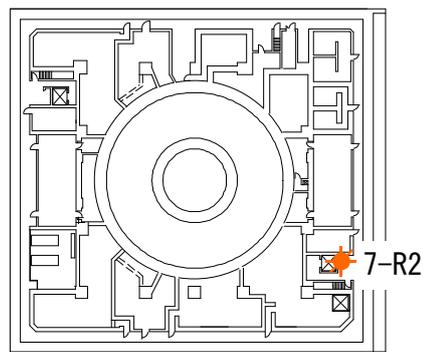
別紙図 1-2 原子炉建屋基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形 (6号炉)
(6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)



※T.M.S.L.とは、東京湾平均海面のことを指す。

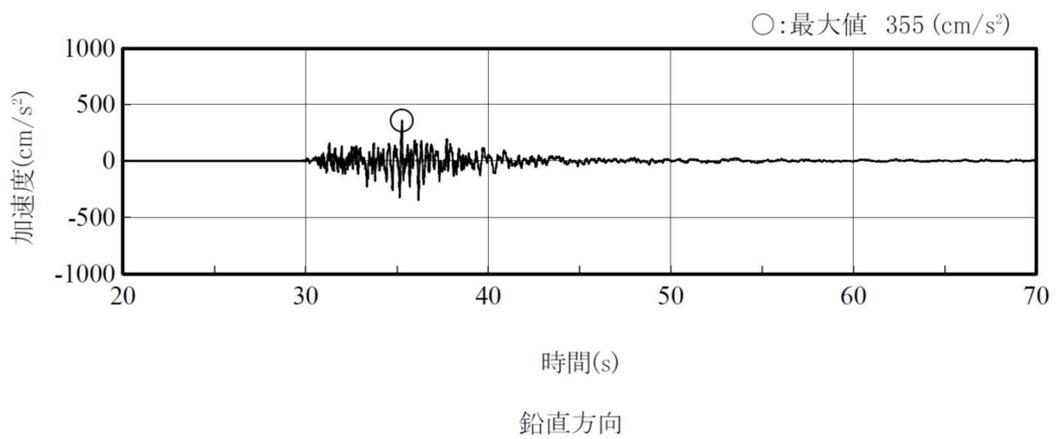
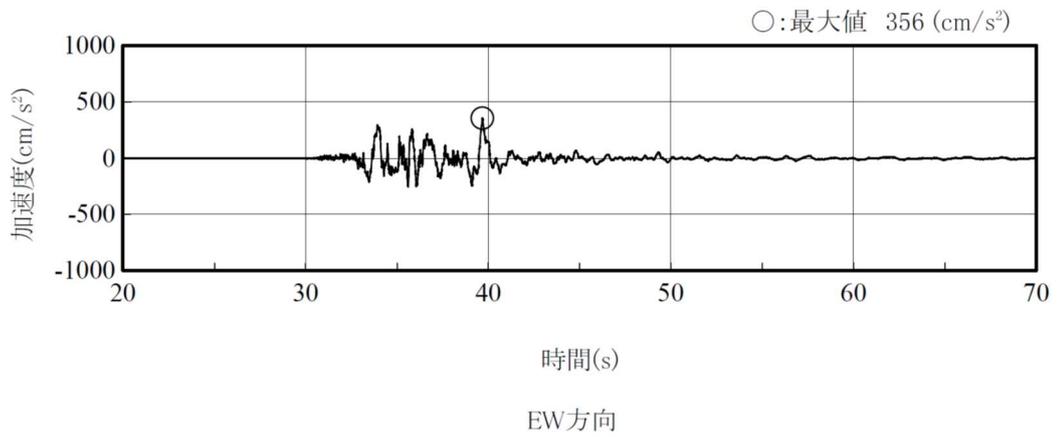
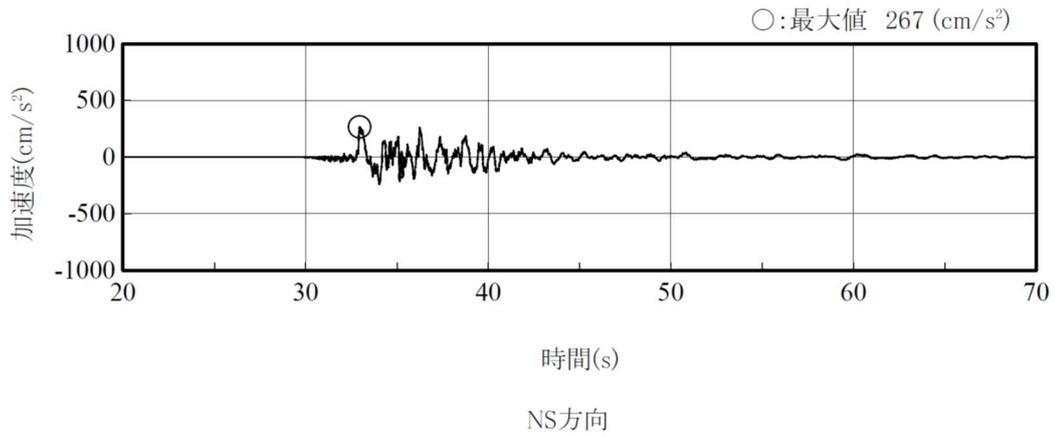


3階 (T.M.S.L.+23.5m)



地下3階 (基礎版上)
(T.M.S.L.-8.2m)

別紙図 2-1 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

別紙図 2-2 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録 加速度時刻歴波形

(7-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

添付資料 5 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの

1. 原子炉建屋－炉内構造物系連成 鉛直方向地震応答解析モデルの追加について

1.1 概要

原子炉格納容器内の原子炉圧力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉圧力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物等含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。

今回工認においては、耐震設計審査指針が改訂され、鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。

なお、鉛直方向の地震応答解析モデルは、大間1号炉の建設工認において適用例がある。

1.2 地震応答解析モデルについて

原子炉建屋、原子力圧力容器及び原子炉本体基礎の概略断面図を図1、原子炉圧力容器内部構造物の構造図を図2に示す。

水平方向の解析モデルにおいては、原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎は図3、図4に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は原子炉圧力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。

鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に図5に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉圧力容器は、原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は、その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され、原子炉建屋に支持される。

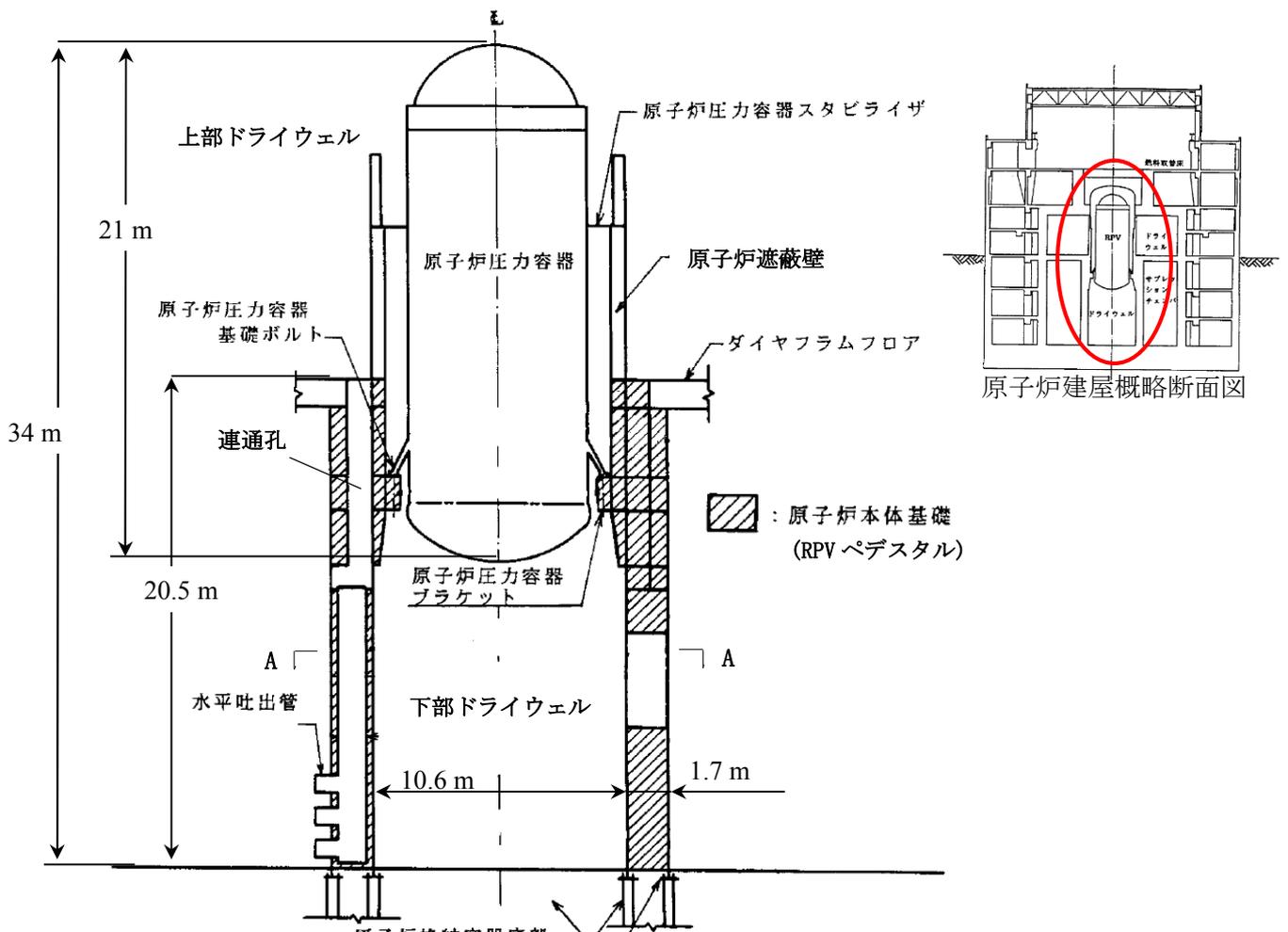


図1 原子炉圧力容器及び原子炉本体の基礎 概略断面図

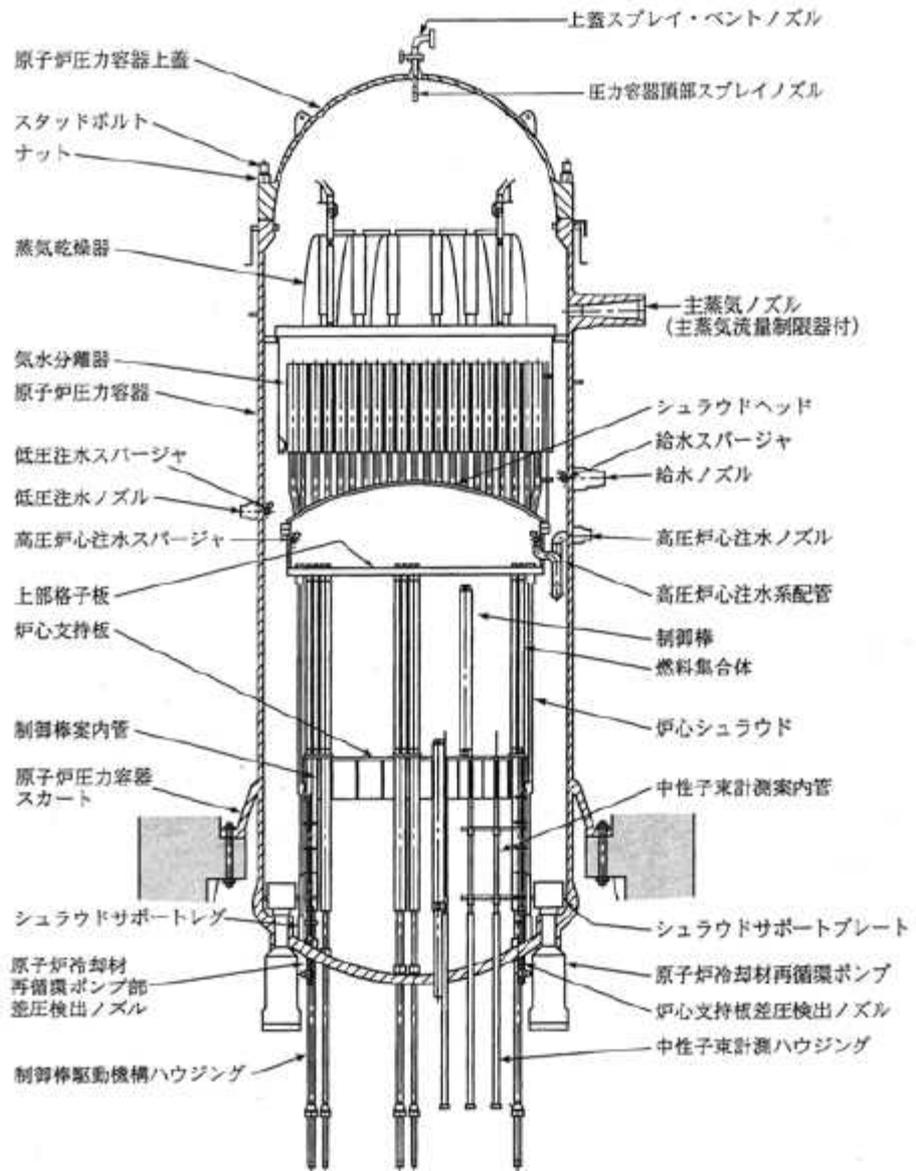


図2 原子炉压力容器内部構造物 構造図

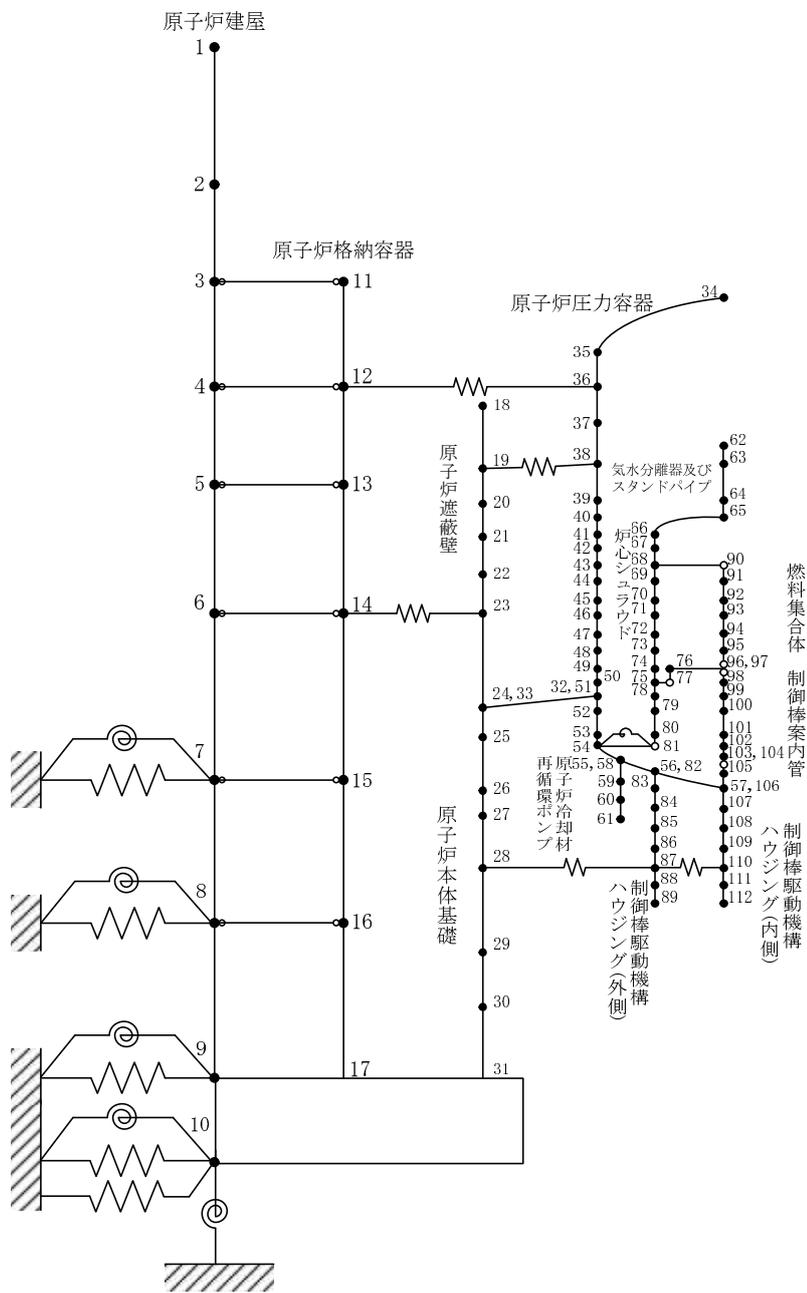


図3 原子炉建屋-炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (水平方向(NS)) (7号炉の例)

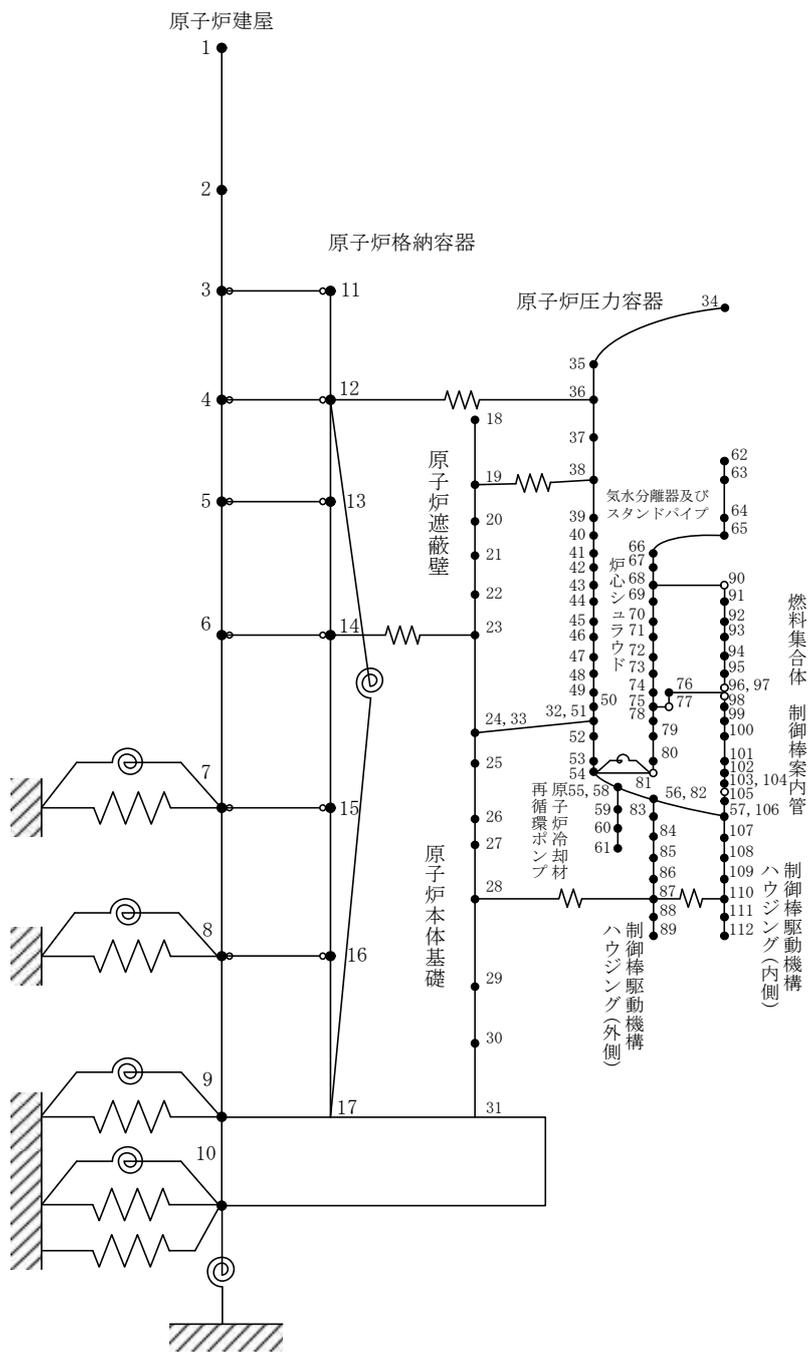


図4 原子炉建屋-炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (水平方向(EW)) (7号炉の例)

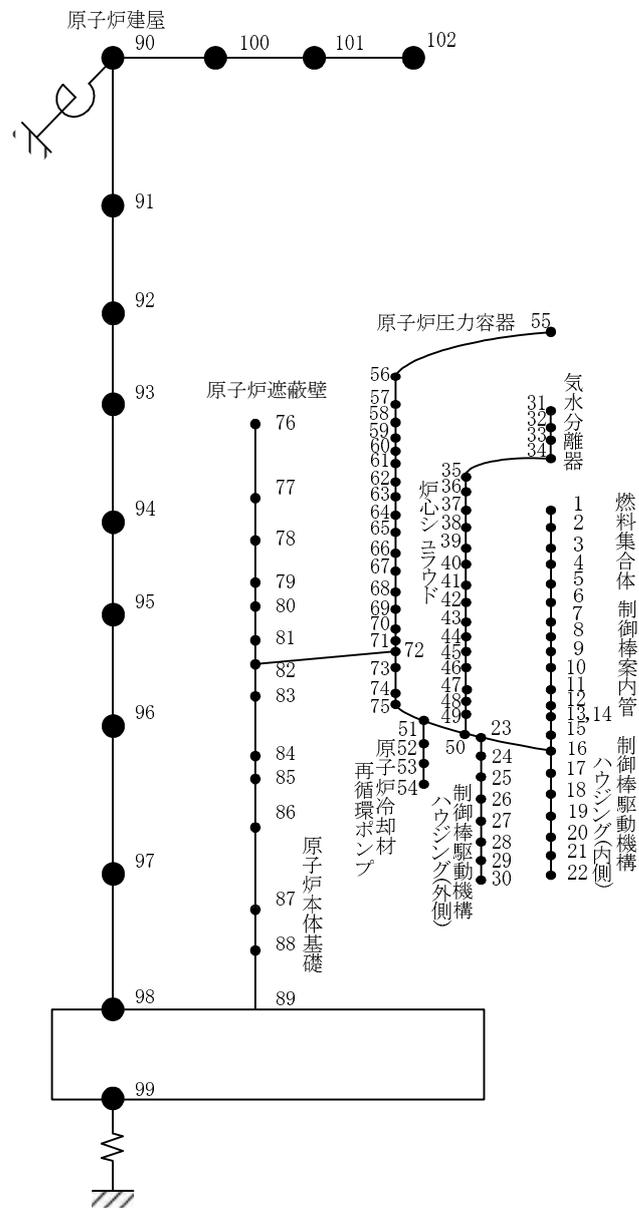


図5 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル（鉛直方向）（7号炉の例）

4. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について

1. はじめに

本資料では、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉（以下、「柏崎刈羽6号及び7号炉」という。）の建設工認あるいは改造工認で認可されている構造からの変更点のうち、耐震性に影響のあるものをまとめている。

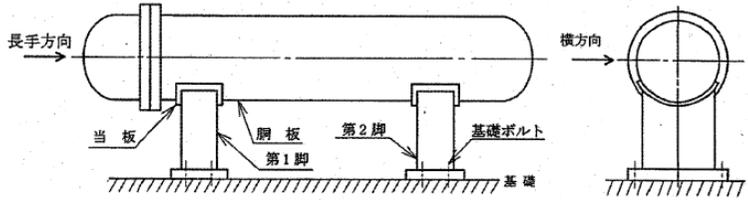
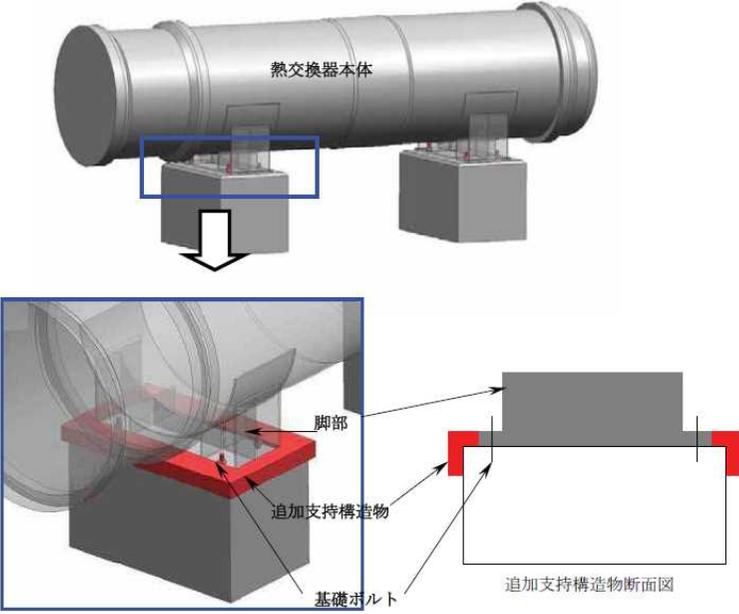
2. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更点について

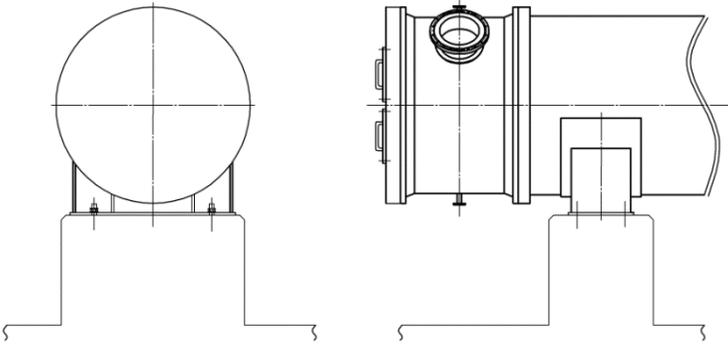
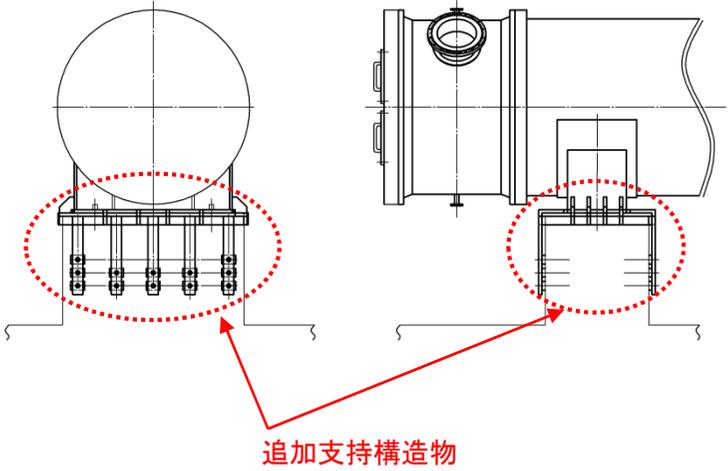
既工認から構造変更実績のある設備の一覧を添付-1に示す。

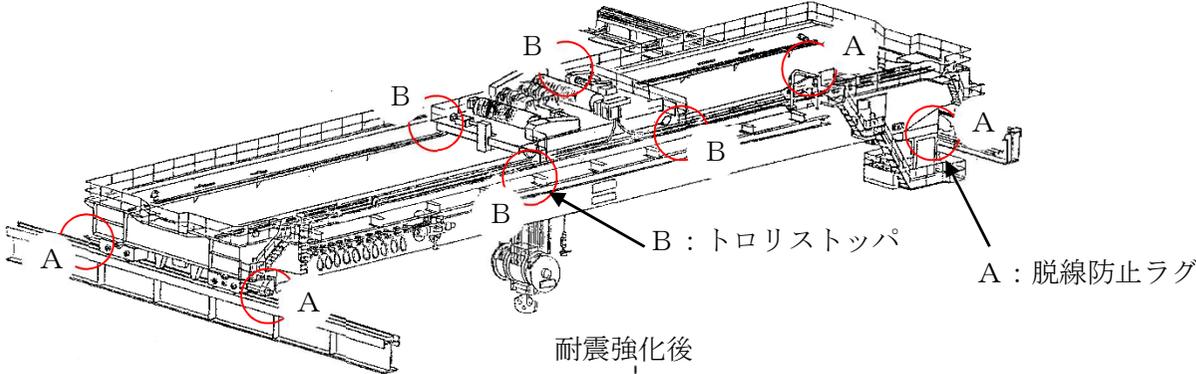
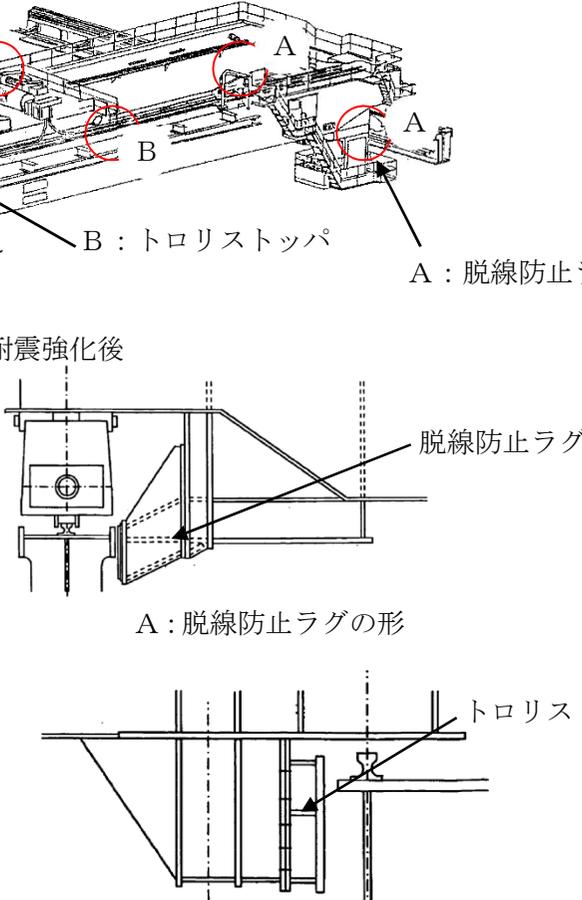
また、これらの構造変更実績のある設備について、変更点の概要を添付-2に示す。今回の申請では、添付-2に示した各設備の構造変更を反映し、耐震評価を行う。

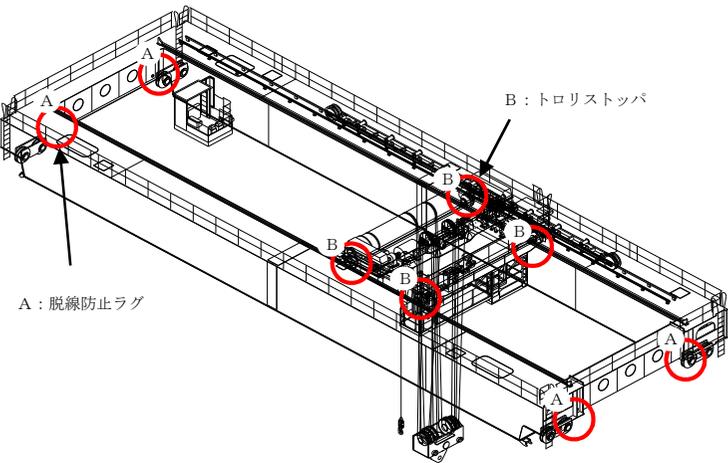
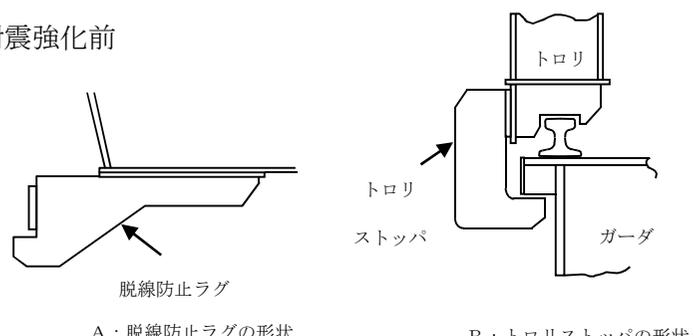
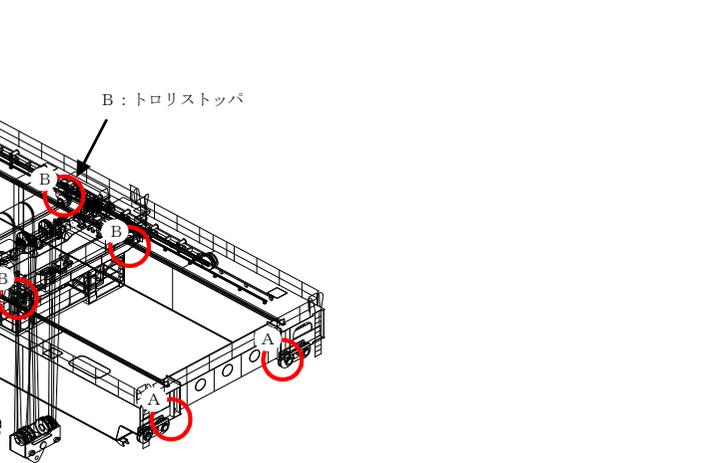
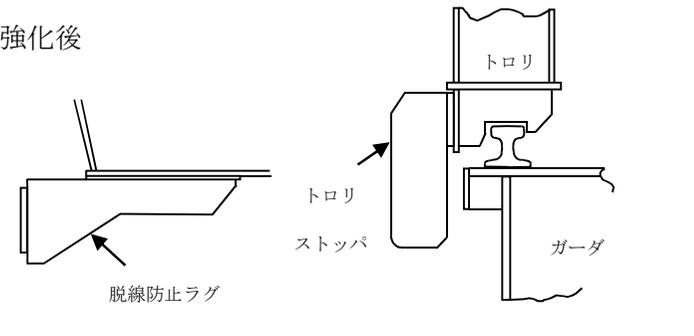
柏崎刈羽 6号及び7号炉 既工認からの構造変更の有無の整理表

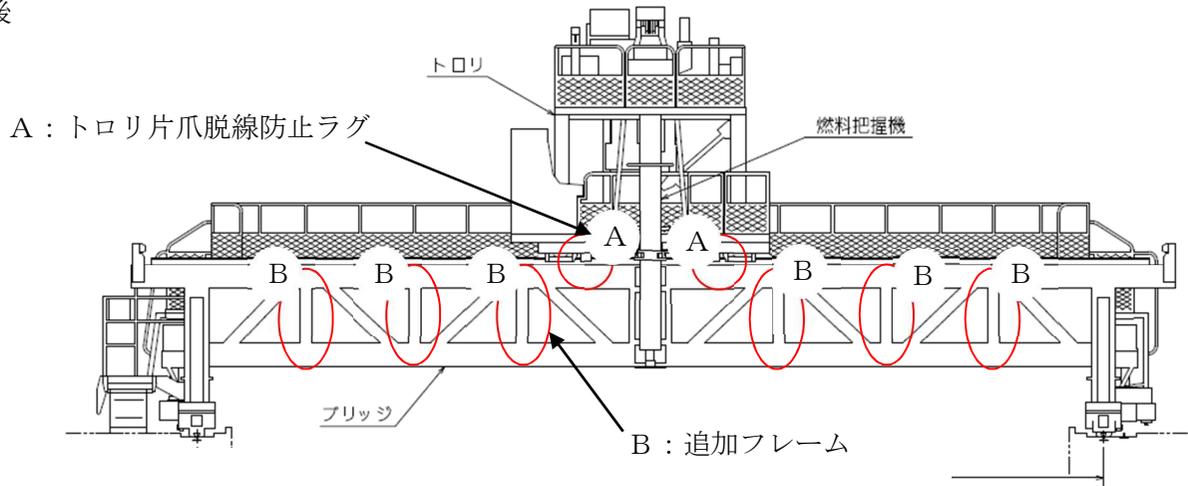
設備名称	柏崎刈羽 6号および7号炉での既工認からの構造変更の有無		備考
	○：構造変更あり ×：構造変更なし (6号炉/7号炉)	工事概要	
原子炉補機冷却水系（原子炉補機冷却水系熱交換器）	○/○	熱交換器の脚部に支持構造物を追加設置	
燃料取扱装置（原子炉建屋クレーン）	○/○	本体ガード脱線防止ラグとトロリストッパの改造（大型化）	
燃料取扱装置（燃料取替機）	○/○	本体及びトロリの走行時の脱線を防止する措置を強化	
原子炉核計装（起動領域モニタドライチューブ）	○/○	材料及び溶接位置の変更	
非常用予備発電装置（直流 125V 蓄電池）	○/○	増容量に伴う支持構造の変更	
燃料貯蔵設備（軽油タンク）	○/○	厚肉品に交換	
格納容器圧力逃がし装置（フィルタベント配管及びサポート）	○/○	フィルタベント配管を追設	
代替循環冷却系（代替循環冷却系配管及びサポート）	○/○	残留熱除去系熱交換器(B)から復水移送ポンプへ向かう冷却系配管を新設	
格納容器 pH 制御設備（pH 制御設備配管及びサポート）	○/○	薬注ラインを追設	
残留熱除去系（残留熱除去系配管本体及びサポート） 原子炉冷却材浄化系（原子炉冷却材浄化系配管本体及びサポート）	【配管本体】 ×/× 【サポート】 ○/○	サポート強化・追設	配管系の耐震強化の例として示す
復水補給水系（復水補給水系配管及びサポート）	○/○	注水ライン（配管及びサポート）新設	
可燃性ガス濃度制御系（可燃性ガス濃度制御系配管及びサポート）	○/○	可燃性ガス濃度制御系ライン追設（二重化）	
高圧代替注水系（代替高圧注水系配管及びサポート、ポンプ）	○/○	高圧代替注水ポンプ及び注水ライン（配管及びサポート）新設	

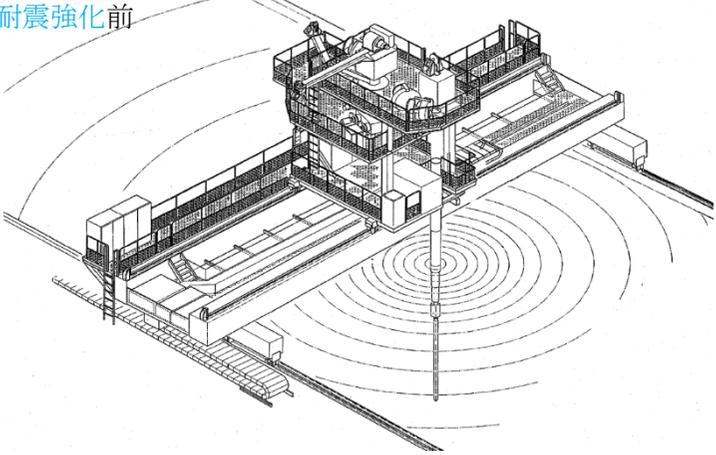
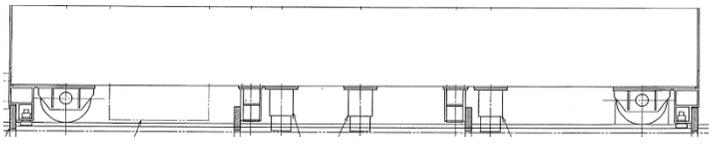
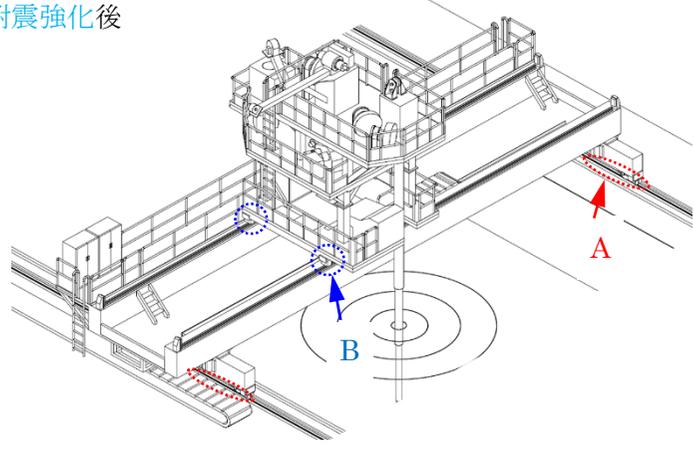
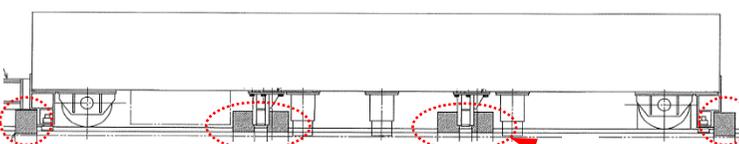
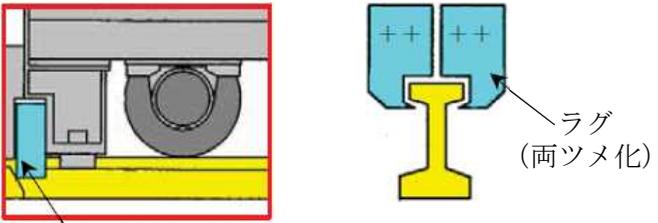
変更前	変更後	備考
<p>支持構造物追設前</p> <p>原子炉補機冷却水系熱交換器は、図1に示すように、横置き一胴円筒形容器である。第一脚は基礎ボルトにより基礎に固定され、第二脚は長手方向にスライド可能とし、長手方向の荷重を受持たない構造である。</p>  <p>図1 原子炉補機冷却水系熱交換器 概要図</p>	<p>支持構造物追設後</p>  <p>原子炉補機冷却水系熱交換器 耐震強化の概要</p>	<p>支持構造物を追設</p>

変 更 前	変 更 後	備 考
<p data-bbox="197 304 427 336">支持構造物追設前</p> 	<p data-bbox="972 304 1202 336">支持構造物追設後</p>  <p data-bbox="1232 877 1433 909">追加支持構造物</p>	<p data-bbox="1744 304 1975 336">支持構造物を追設</p>

変更前	変更後	備考
<p>耐震強化前</p>  <p>A : 脱線防止ラグの形状</p> <p>B : トロリストッパの形状</p>	<p>耐震強化後</p>  <p>A : 脱線防止ラグの形</p> <p>B : トロリストッパの形状</p>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストッパの形状を変更</p>

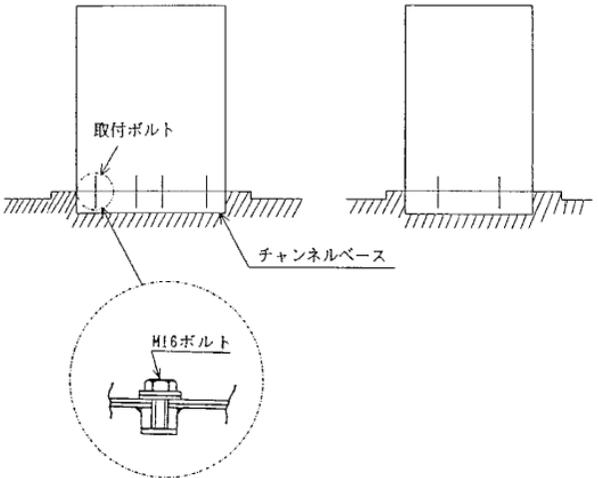
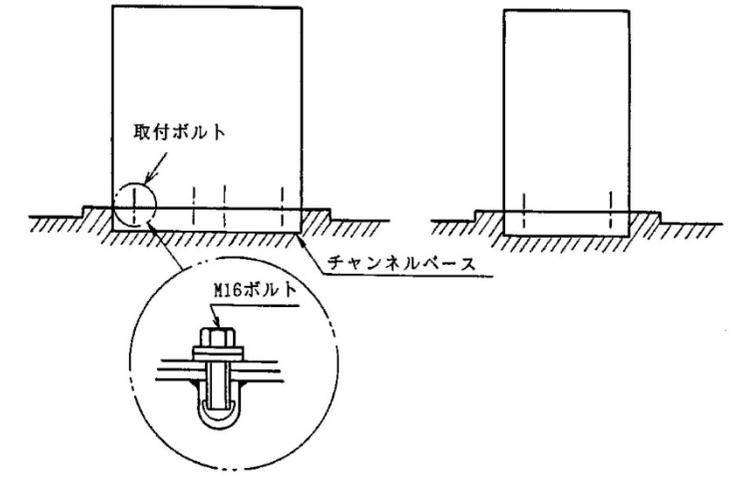
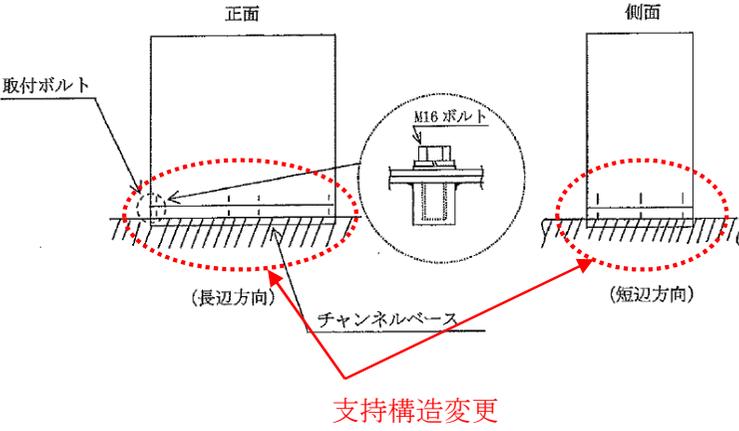
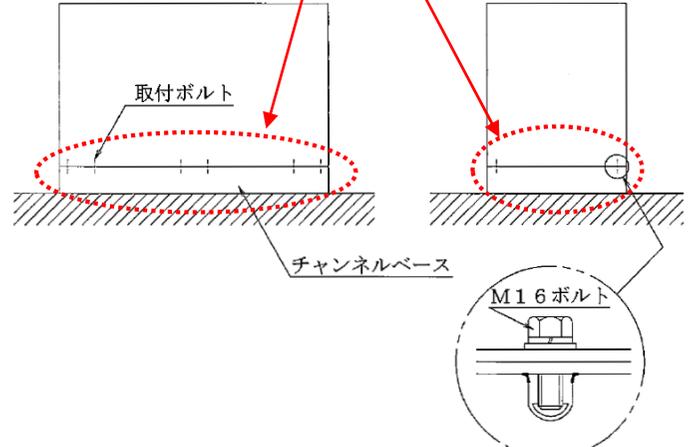
変更前	変更後	備考
 <p>A: 脱線防止ラグ</p> <p>B: トロリストップ</p> <p>耐震強化前</p>  <p>脱線防止ラグ</p> <p>A: 脱線防止ラグの形状</p> <p>トロリ</p> <p>トロリストップ</p> <p>ガーダ</p> <p>B: トロリストップの形状</p>	 <p>A: 脱線防止ラグ</p> <p>B: トロリストップ</p> <p>耐震強化後</p>  <p>脱線防止ラグ</p> <p>A: 脱線防止ラグの形状</p> <p>トロリ</p> <p>トロリストップ</p> <p>ガーダ</p> <p>B: トロリストップの形状</p>	<p>脱線防止ラグおよびトロリストップの形状を変更</p>

変更後	備考
<p>耐震強化後</p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>A : トロリ片爪脱線防止ラグの形状</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B : 追加フレームの形状 (塗装前)</p> </div> </div>	<p>ガイドプレート, トロリ片爪脱線防止ラグ, フレームの一部追加</p>

変更前	変更後	備考
<p>耐震強化前</p>  <p>ブリッジ脱線防止ラグ部</p> 	<p>耐震強化後</p>  <p>A : ブリッジ脱線防止ラグ部</p>  <p>B : トロリ脱線防止ラグ部の追加・変更</p>  <p>トロリ脱線防止ラグ</p> <p>断面図</p> <p>ラグ (両ツメ化)</p>	<p>脱線防止ラグの追加・変更</p>
<p>A : ブリッジ脱線防止ラグの追加・変更 : 片側 4箇所→6箇所、増厚及び両ツメ化</p> <p>B : トロリ脱線防止ラグの追加・変更 : 増厚及び両ツメ化</p>		

変更前	変更後	備考
<p>材料・溶接位置 (単位: mm)</p>	<p>材料・溶接位置 (単位: mm)</p>	<p>材料・溶接位置の変更。2基は7号炉にて使用</p>

変更前	変更後	備考
<p>材料・溶接位置 (単位: mm)</p>	<p>材料・溶接位置 (単位: mm)</p>	<p>備考</p> <p>材料・溶接位置の変更</p>

変更前	変更後	備考
<p>6号炉</p>  <p>7号炉</p> 	<p>6号炉</p>  <p>7号炉</p> 	<p>支持構造の変更</p>

変更前	変更後	備考
		<p>アニューラ板, 側板, 屋根板の厚さを変更</p>

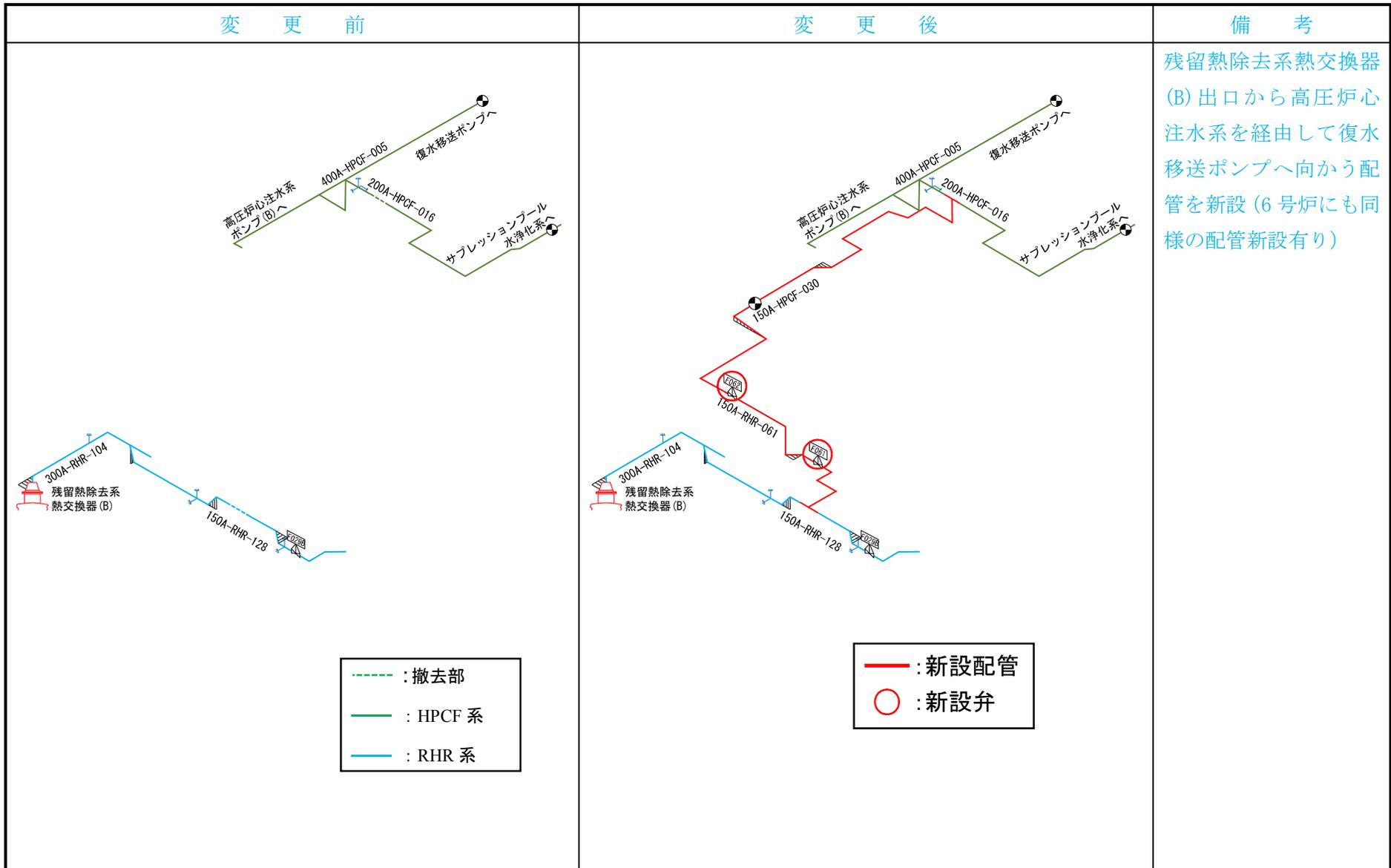
7号炉 格納容器圧力逃がし装置配管の設置による変更点

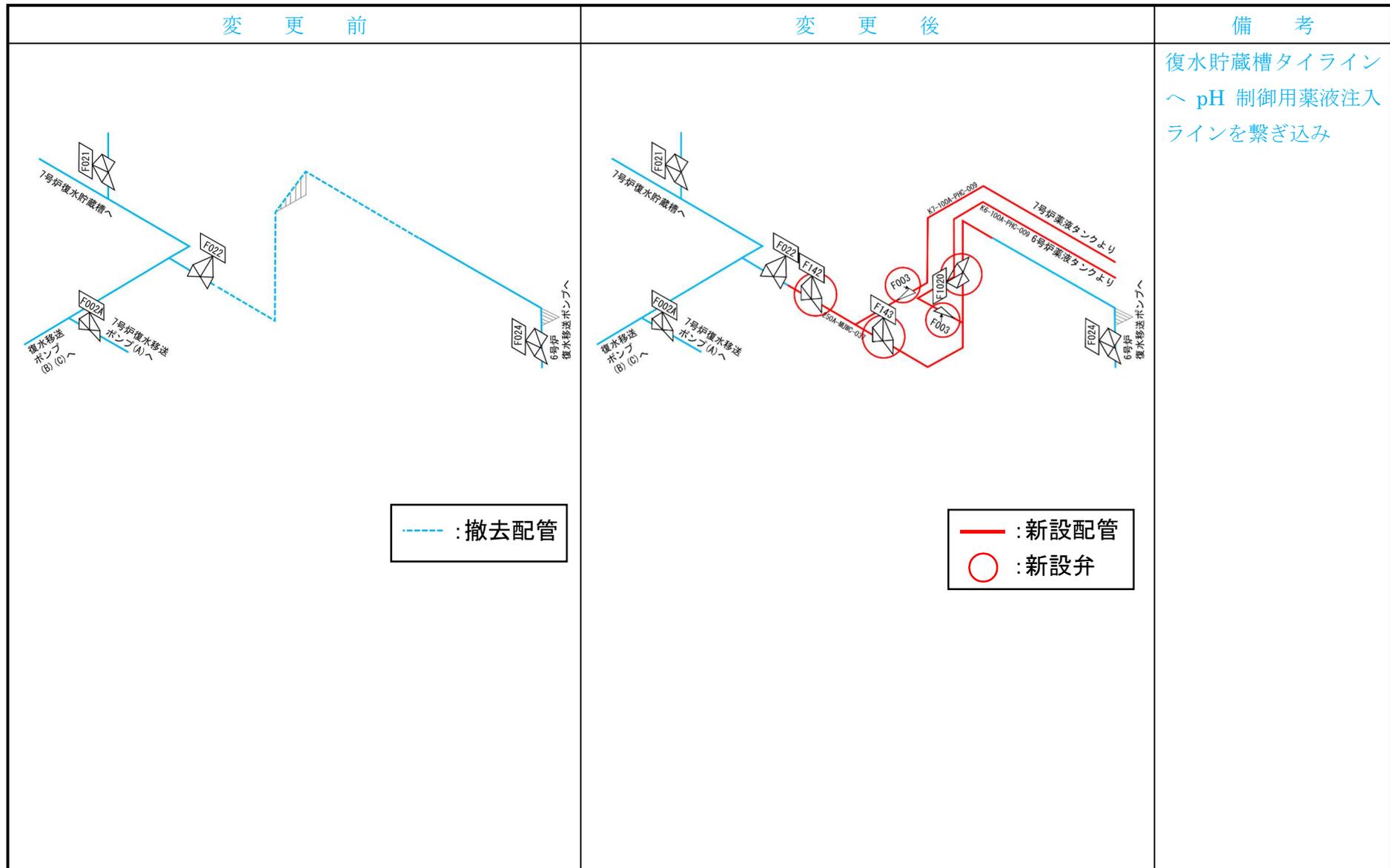
添付-2

変更前	変更後	備考
<div data-bbox="689 1082 929 1241" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>----- : 撤去部</p> <p>----- : SGTS系</p> <p>----- : AC系</p> </div>	<div data-bbox="1384 1082 1624 1241" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>==== : 新設配管</p> <p>○ : 新設弁</p> </div>	<p>不活性ガス系 (AC) と非常用ガス処理系 (SGTS) の連絡部を改造して格納容器圧力逃がし装置配管を繋ぎ込み (6号炉にも同様な設備有り)</p>

7号炉 代替循環冷却系配管の新設による変更点

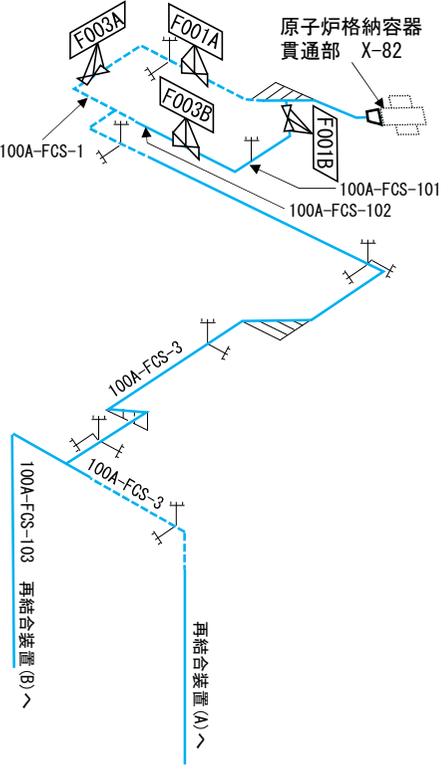
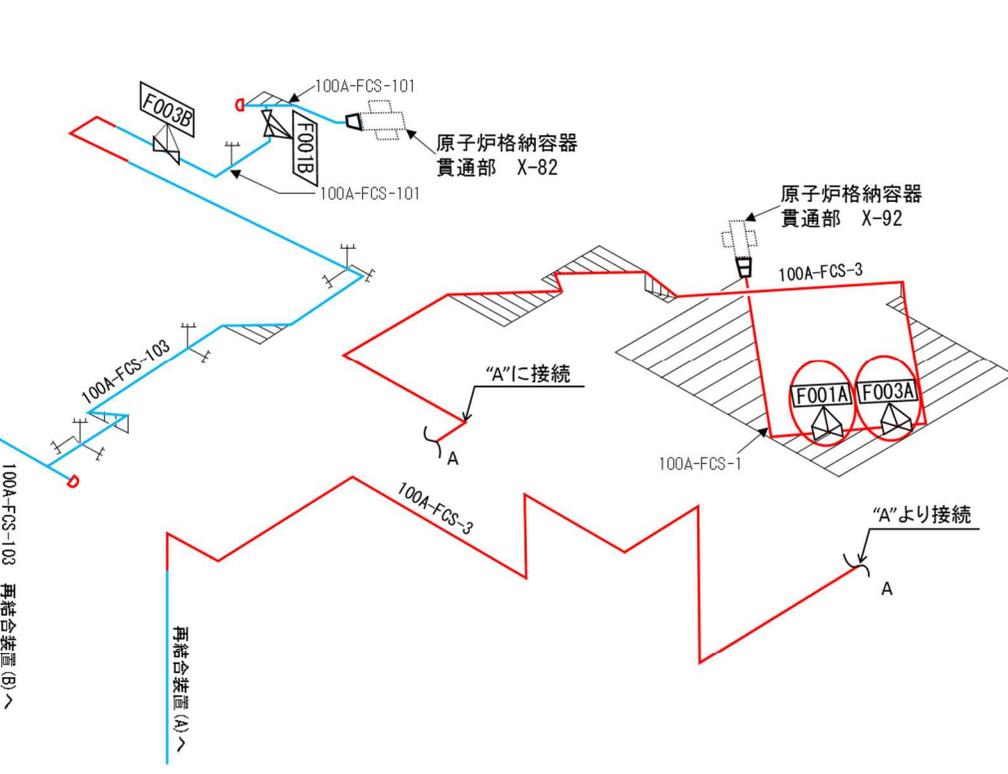
添付-2





変更前	変更後	備考
		<p>サポートの追設・強化 (配管変更はなし) (配管系の耐震強化の例)</p>

変更前	変更後	備考
<p>— : 既設配管 - - - : 撤去配管</p>	<p>外部注水南側接続ライン</p> <p>— : 既設配管 — : 新設配管 ○ : 新設弁</p> <p>外部注水東側接続ライン</p> <p>— : 既設配管 — : 新設配管 ○ : 新設弁</p>	<p>消防用継手から既設の復水補給水系に注水するラインを追設 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

変更前	変更後	備考
 <p>既設配管 撤去配管</p>	 <p>既設配管 新設配管 既設弁流用</p>	<p>原子炉格納容器から可燃性ガス濃度制御系再結合装置までのラインを分離 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

変更前	変更後	備考
<p>主蒸気ライン(B)より</p> <p>原子炉格納容器貫通部 X-37</p> <p>F036</p> <p>150A-RC1C-34</p> <p>RC1Cタービンへ</p> <p>— : 既設配管</p> <p>- - - : 撤去配管</p>	<p>主蒸気ライン(B)より</p> <p>原子炉格納容器貫通部 X-37</p> <p>F036</p> <p>F065</p> <p>150A-RC1C-61</p> <p>150A-HPAC-36</p> <p>150A-RC1C-34</p> <p>F034</p> <p>RC1Cタービンへ</p> <p>HPACタービンへ</p> <p>— : 既設配管</p> <p>— : 新設配管</p> <p>○ : 新設弁</p>	<p>既設の原子炉隔離時冷却系から分岐させ、高压代替注水ポンプの駆動蒸気用配管を設置 (6号炉にも同様の配管新設有り)</p>

Ⅲ. 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組み合わせに関する検討について

1. はじめに

今回、新たに水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組合せた耐震設計に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。

2. 建物・構築物

2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

2.1.1 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動

柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-3} 、断層モデルを用いた地震動として S_{s-2} 、 S_{s-4} ～ S_{s-7} を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 S_{s-8} を策定している。

基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（水平方向）を図 2.1.1-1 に、基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（鉛直方向）を図 2.1.1-2 に示す。

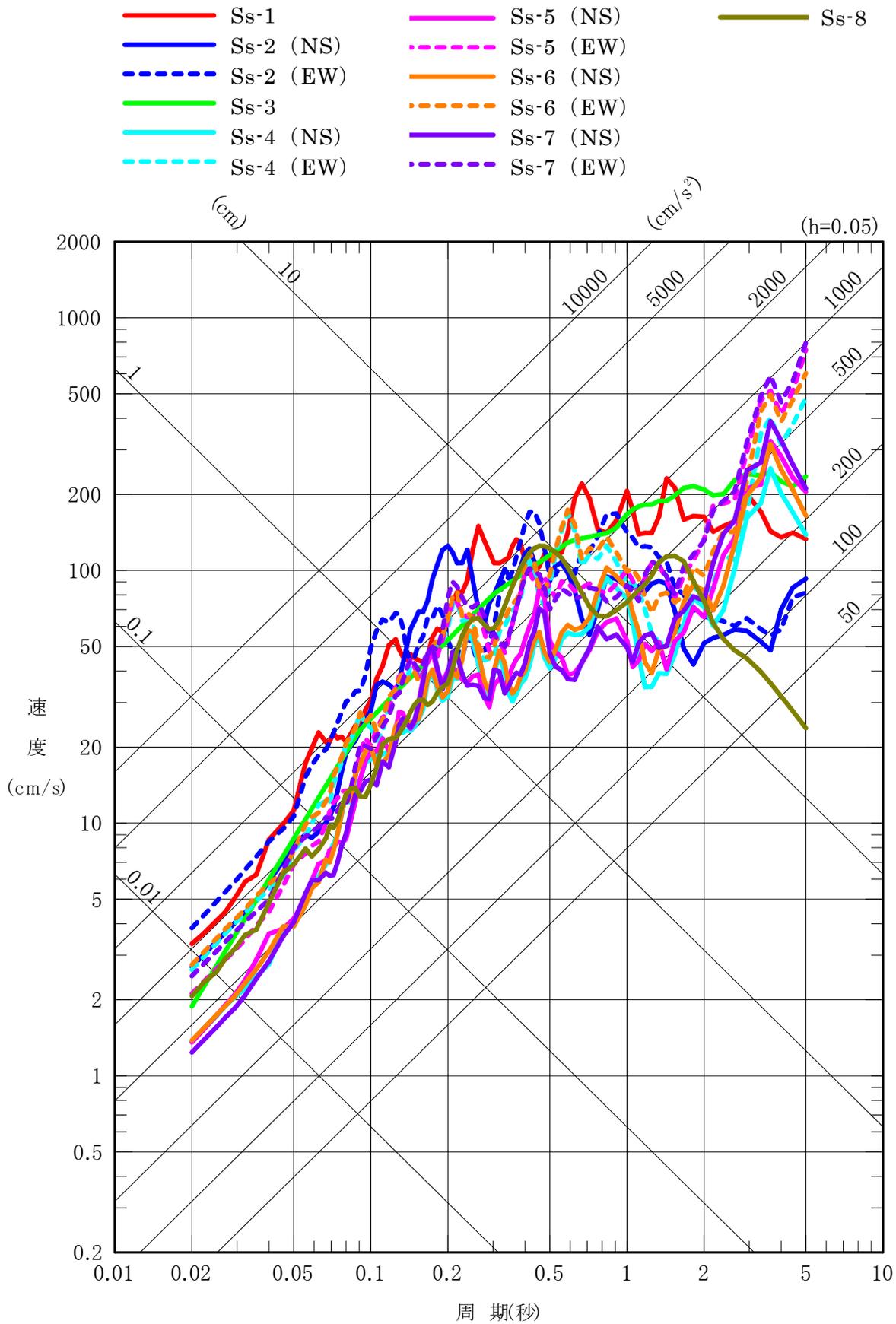


図 2.1.1-1 基準地震動の応答スペクトル (水平方向) (大湊側)

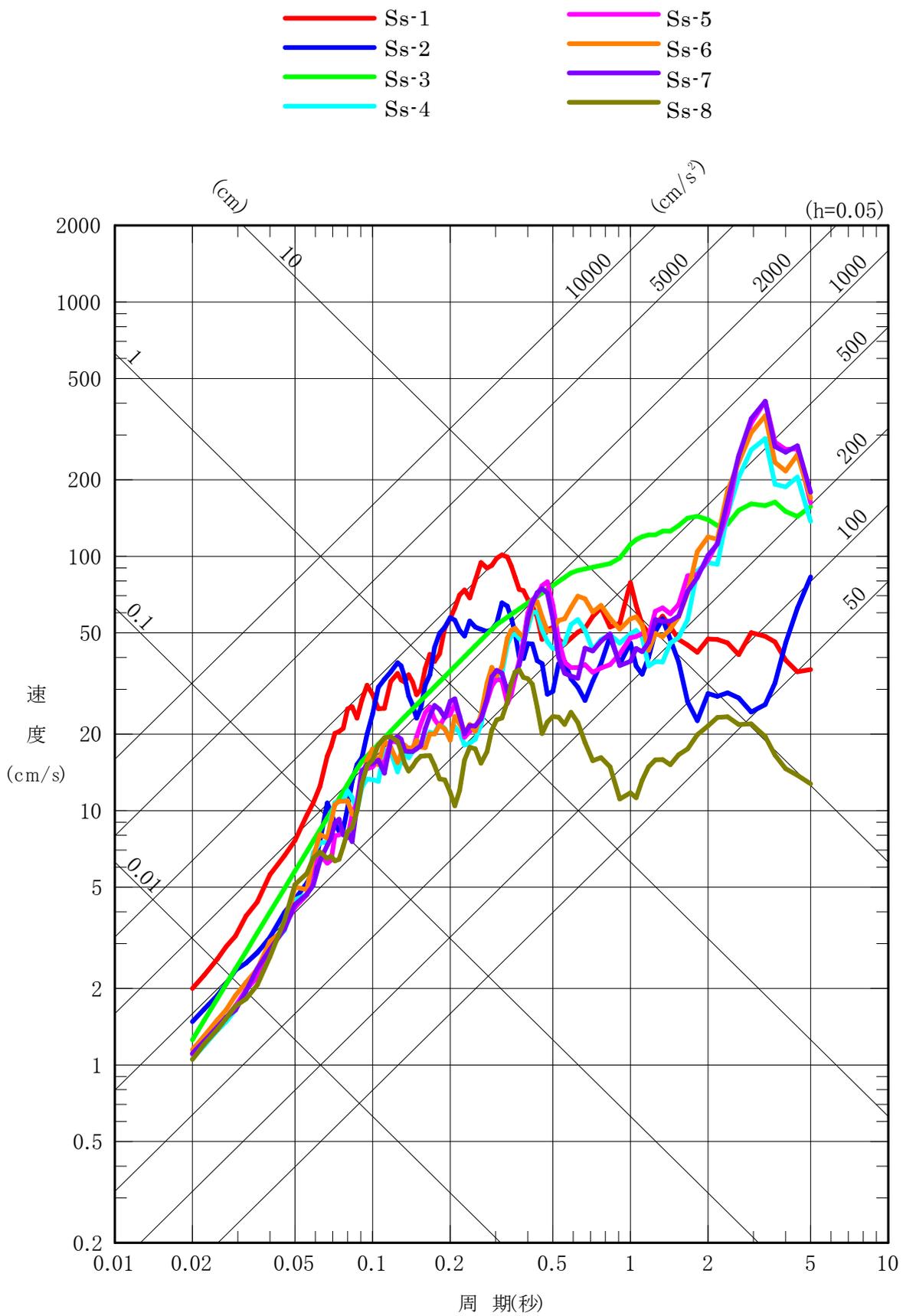


図 2.1.1-2 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

2.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。

2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する評価方針

2.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

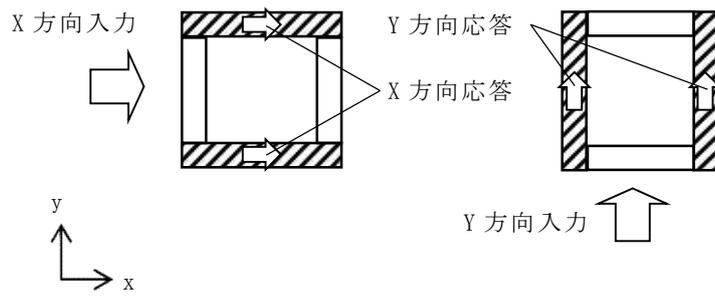
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉格納施設等における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

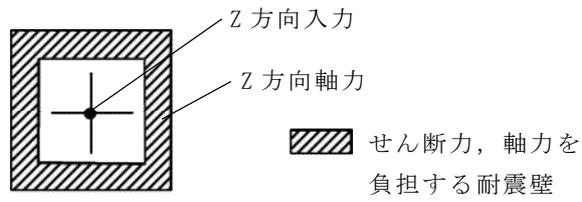
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図 2.2.1-1 及び図 2.2.1-2 に示す。

従来設計手法における建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

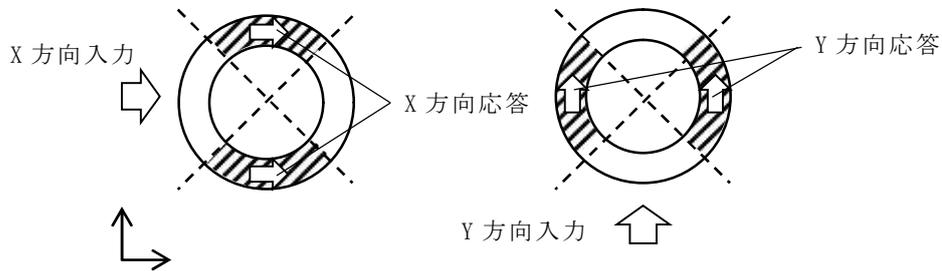


(a) 水平方向

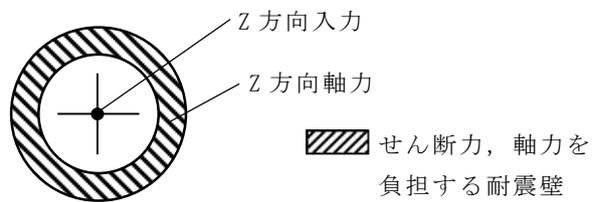


(b) 鉛直方向

図 2.2.1-1 入力方向ごとの耐震要素 (矩形)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 2.2.1-2 入力方向ごとの耐震要素 (円筒形)

2.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

建物・構築物において、従来設計手法に対して水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する部位とする。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響があると確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たな設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを図2.2.2-1に示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

従来設計手法における応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、3次元的な応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、

3次元的な応答特性により，耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(5) 3次元解析モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について，3次元解析モデルを用いた精査を実施し，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより，耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また，3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても，局所応答の観点から，3次元解析モデルによる精査を実施し，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより，耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する3次元解析モデルによる精査は，施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，原子炉建屋（6/7号炉）及び原子炉格納容器（6/7号炉）の3次元解析モデルを用いた地震応答解析又は応力解析による精査を代表させて行う。

(6) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては，従来設計手法の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果等を用い，水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として，米国 REGULATORY GUIDE 1.92（注）の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として，組合せ係数法（1.0：0.4：0.4）に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について，構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで，各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し，各部位の耐震性への影響を評価する。

（注）REGULATORY GUIDE（RG）1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

(7) 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された部位が，耐震重要施設，常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合，機器・配管系に対し，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合，機器・配管系の影響評価に反映する。

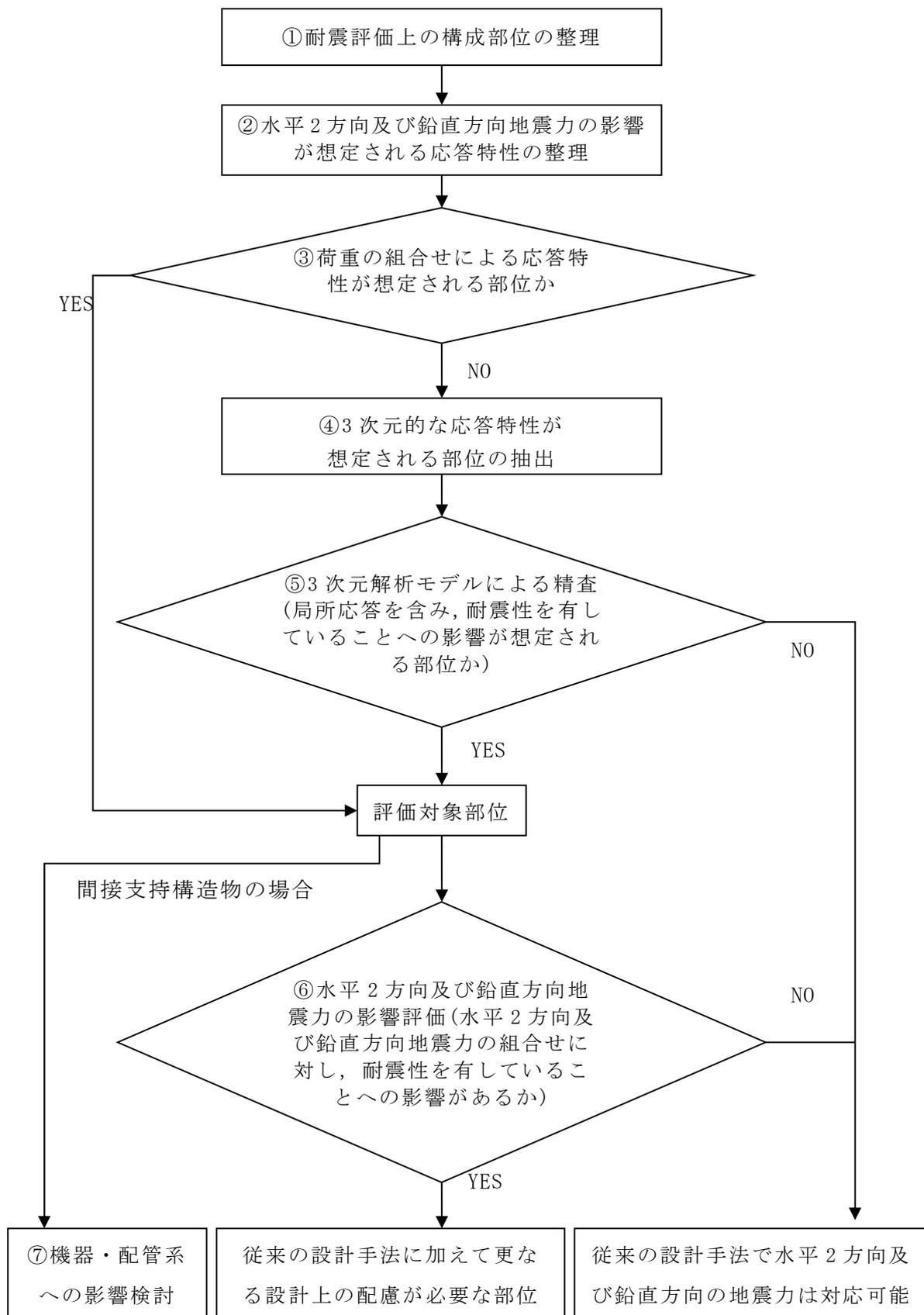


図 2.2.2-1 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー

2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理 (6号炉) (1/4)

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造			S造, SRC 造, RC造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	—	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（7号炉）（2/4）

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造			S造, SRC 造, RC造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	—	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号炉及び7号炉）（3/4）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
			RC造	RC造	上部鉄骨	RC造	復水貯蔵槽	
		S造, SRC造, RC造			RC造		S造, SRC造, RC造	
柱	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨トラス	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○
基礎	矩形	○	○	—	○	—	—	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号炉及び7号炉）（4/4）

耐震性評価部位		5号炉タービン建屋		5号炉 サービス 建屋	5号炉 排気筒	5号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造	上部鉄骨			
				S造, SRC造 RC造	RC造	S造, RC造
柱	一般部	○	○	○	—	—
	隅部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨トラス	—	○	—	—	—
壁	一般部	○	—	○	—	○
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨ブレース	—	○	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	—	—
基礎	矩形	○	—	○	○	○
	杭基礎	—	—	—	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表2.3-2及び表2.3-3に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のかえ方を表2.3-4に示す。

表 2.3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

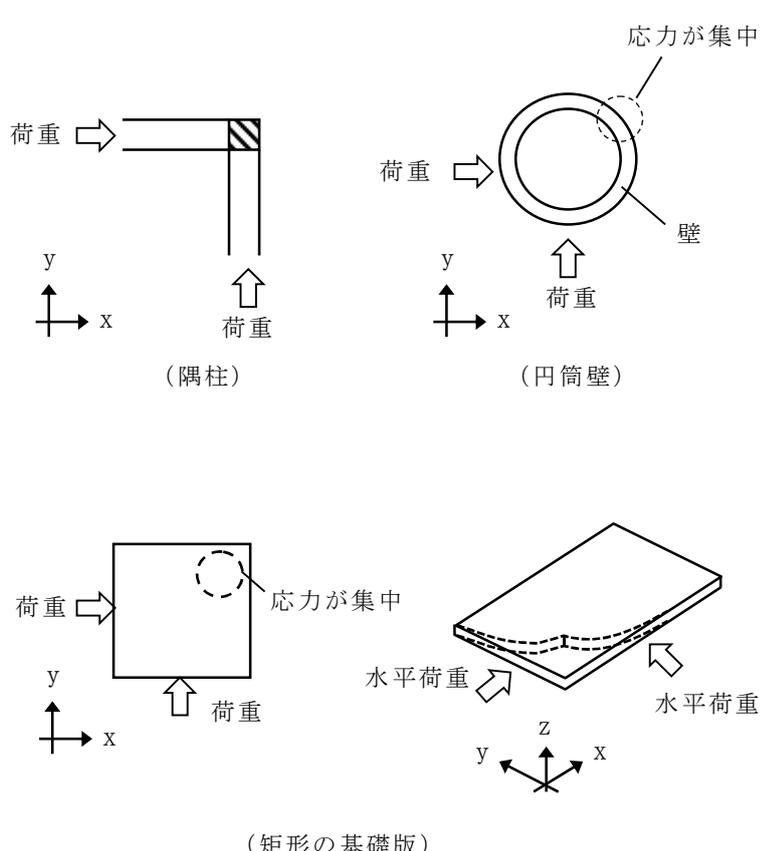
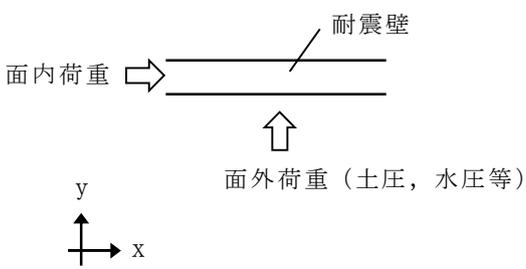
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 2.3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

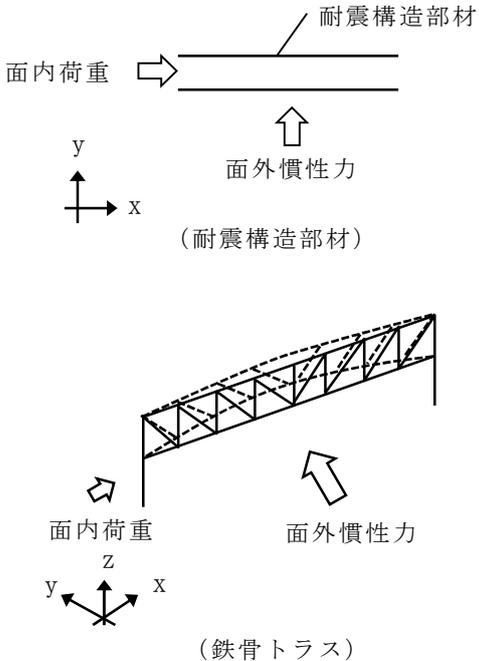
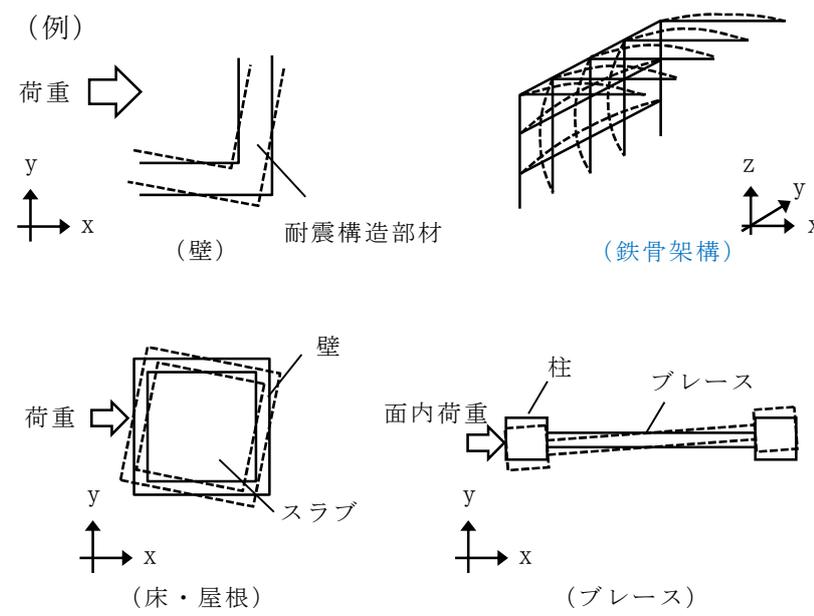
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物など含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>(壁)</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>スラブ</p> <p>(床・屋根)</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>(ブレース)</p>

表 2.3-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力の方 (1/2)

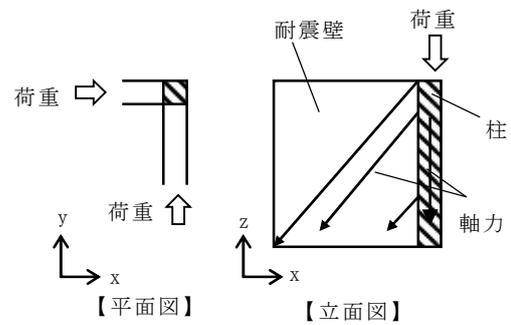
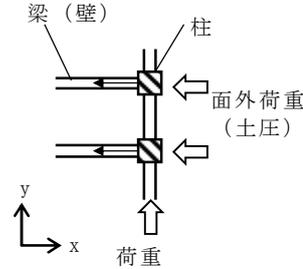
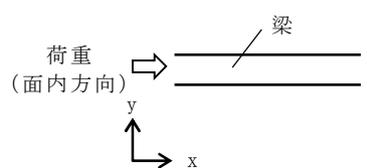
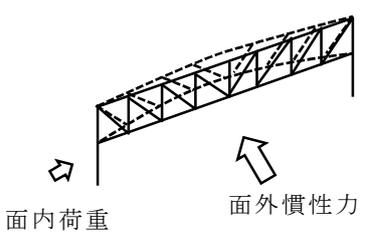
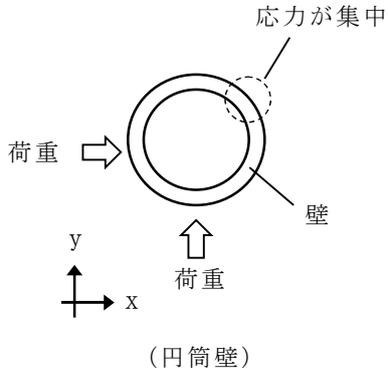
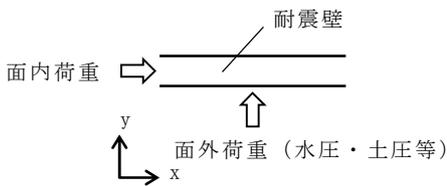
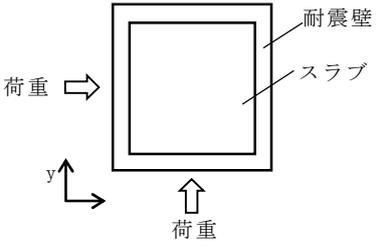
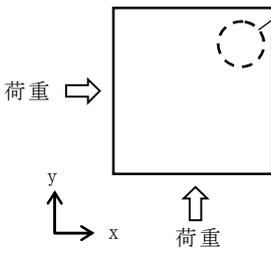
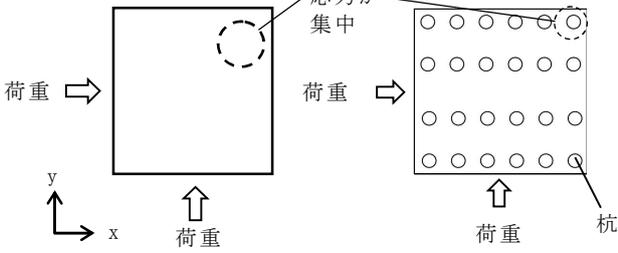
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p>  <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁および壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床および壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周梁は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床および壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外荷重負担による影響は小さい。</p> 

表 2.3-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本。円筒壁は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(円筒壁)</p>
	地下部 プール壁	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p>  <p>(耐震壁)</p> <p>(面外荷重 (水圧・土圧等))</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p>  <p>(耐震壁)</p> <p>(スラブ)</p>
基礎	矩形 杭基礎	<p>直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(矩形基礎)</p>
		 <p>(杭基礎)</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 2.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 2.3-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 2.3-5 に示す。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅部（端部柱を含む）が考えられる。

建屋（RC 造）の隅部は、X 方向及び Y 方向ともに耐震壁付きの隅柱であり、軸力が耐震壁に分散されることから応力集中による影響は小さいと考えられるため、該当しない。

原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の上部鉄骨の一般部及び隅柱並びに排気筒の隅柱が①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないことから、影響は小さいと考えられるため、該当しない。

b. 梁

梁の一般部及び鉄骨トラス部については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周梁が考えられるが、床および壁による面外方向の拘束があるため、該当しない。

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。円筒壁は応力の集中が考えられるため、原子炉格納容器（6/7 号炉）の一般部の壁を①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、各建屋の地下外壁、使用済燃料貯蔵プール（6/7 号炉）・復水貯蔵槽（6/7 号炉）の一般部の壁を、①-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交

する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。また①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

e. 基礎

①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎及び杭基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する各建屋及び排気筒（5/6/7 号炉）・格納容器圧力逃がし装置基礎（5/6/7 号炉）については、隅部への応力集中が考えられるため、①-1 に該当するものとして抽出した。また杭基礎を有する格納容器圧力逃がし装置基礎（5/6/7 号炉）及び 5 号炉排気筒の基礎についても、①-1 に該当するものとして抽出した。なお、原子炉格納容器の基礎については、原子炉建屋の基礎として抽出することとした。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎は該当しない。

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号炉) (1/4)
(荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	該当なし	—	—	①-1	該当なし	①-1	—	—
	隅部	該当なし	—	—	①-1	該当なし	①-1	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

凡例 ・ 「①-1」 : 応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 ・ 「①-2」 : 応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (7 号炉) (2/4)
(荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	該当なし	—	—	①-1	該当なし	①-1	—	—
	隅部	該当なし	—	—	①-1	該当なし	①-1	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

凡例 ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号炉及び 7 号炉) (3/4)
(荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
			RC 造	RC 造	上部鉄骨	RC 造	復水貯蔵槽	
		S 造, SRC 造, RC 造			RC 造		RC 造	S 造, SRC 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	-	①-1	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	-	①-1	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	-	該当なし	-	-	該当なし
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	-	該当なし	-	-	該当なし
	鉄骨トラス	-	-	該当なし	-	-	該当なし	-
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-2	該当なし	該当なし
	地下部	①-2	①-2	-	①-2	-	-	①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	該当なし	-
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	①-1	①-1	-	①-1	-	-	①-1
	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6 号炉及び 7 号炉）（4/4）
 （荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	該当なし	①-1	該当なし	-	-
	隅部	該当なし	①-1	該当なし	①-1	-
	地下部	該当なし	-	該当なし	-	-
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-
	地下部	該当なし	-	該当なし	-	-
	鉄骨トラス	-	該当なし	-	-	-
壁	一般部	該当なし	-	該当なし	-	該当なし
	地下部	①-2	-	①-2	-	-
	鉄骨ブレース	-	該当なし	-	該当なし	-
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	-	-
基礎	矩形	①-1	-	①-1	①-1	①-1
	杭基礎	-	-	-	①-1	①-1

- 凡例 ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 2.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 2.3-3 に示す 3次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 2.3-6 に示す。

a. 柱

(3) で抽出されている以外の各建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、②-1 の部位には該当しない。

各建屋は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨造ブレースを主な耐震要素として扱っており、地震力のほとんどを耐震壁又はブレースが負担する。ねじれ振動の影響が想定される部位についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2 に関しても該当しない。

b. 梁

各建屋 (RC 造) の梁一般部および地下部は剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1 及び②-2 には該当しない。

原子炉建屋 (6/7 号炉) ・タービン建屋 (5/6/7 号炉) 及び廃棄物処理建屋の上部鉄骨部の梁一般部および鉄骨トラス部は、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられることから、②-1 の挙動が発生する部位に該当するものとして抽出した。また、排気筒 (5/6/7 号炉) の梁一般部 (水平材) については、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されることから、②-2 に該当するものとして抽出した。

c. 壁

(3) で抽出されている以外の各建屋の壁については、複数スパンにまたがって直交方向に壁や大梁のない連続した壁が存在せず、ねじれのない構造であるため、②-1 及び②-2 に該当しない。ただし、タービン建屋 (5/6/7 号炉) ・廃棄物処理建屋の上部鉄骨ブレースは、左右対称に釣合いよく配置されておらず、ねじれ振動による影響が想定されるため、②-2 に該当するものとして抽出した。

また、排気筒 (5/6/7 号炉) の鉄骨ブレースについては、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されるため、②-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

各建屋の床及び屋根については、釣合いよく壁が配置されているため、②-1 及び②-2 に該当しない。

e. 基礎

矩形の基礎及び杭基礎は、(3)の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出されている。

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号炉) (1/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	要①-1	不要	要①-1	—	—
	隅部	不要	—	—	要①-1	不要	要①-1	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	②-1	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	②-1	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	②-1	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 凡例
- ・要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (7 号炉) (2/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	要①-1	不要	要①-1	—	—
	隅部	不要	—	—	要①-1	不要	要①-1	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	②-1	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	②-1	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	②-1	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 凡例
- ・ 要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・ 不要：評価不要
 - ・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号炉及び 7 号炉) (3/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
				上部鉄骨		復水貯蔵槽	上部鉄骨	
		RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	不要	不要	要①-1	不要	-	要①-1	不要
	隅部	不要	不要	要①-1	不要	-	要①-1	不要
	地下部	不要	不要	-	不要	-	-	不要
梁	一般部	不要	不要	②-1	不要	-	②-1	不要
	地下部	不要	不要	-	不要	-	-	不要
	鉄骨トラス	-	-	②-1	-	-	②-1	-
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	要①-2	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	-	要①-2	-	-	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	②-2	-
床 屋根	一般部	不要	不要	②-1	不要	不要	②-1	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	-	要①-1	-	-	要①-1
	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号炉及び 7 号炉) (4/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	不要	要①-1	不要	-	-
	隅部	不要	要①-1	不要	要①-1	-
	地下部	不要	-	不要	-	-
梁	一般部	不要	②-1	不要	②-2	-
	地下部	不要	-	不要	-	-
	鉄骨トラス	-	②-1	-	-	-
壁	一般部	不要	-	不要	-	不要
	地下部	要①-2	-	要①-2	-	-
	鉄骨フレーム	-	②-2	-	②-2	-
床 屋根	一般部	不要	②-1	不要	-	-
基礎	矩形	要①-1	-	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-	要①-1	要①-1

- 凡例
- ・要：荷重組み合わせによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

(5) 3次元解析モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元解析モデルにより精査を行う。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」のうち、大スパンであり下部に耐震 S クラスの使用済燃料貯蔵プールがある原子炉建屋（6/7号炉）の鉄骨トラスを代表として評価する。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が想定される部位のうち、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒（6/7号炉）の鉄骨ブレースを代表として評価する。

また、耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について、3次元解析モデルによる精査を行う。精査は、2.2.2 (5) 3次元解析モデルに基づく精査に基づき、原子炉建屋（6/7号炉）及び原子炉格納容器（6/7号炉）の解析モデルにより水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出することで評価を行う。代表として評価する建物・構築物を表 2.4-1 に示す。

表 2.3-7 3次元解析モデルを用いた精査

対象		3次元的な応答特性	3次元解析モデルを用いた精査方法	3次元解析モデルを用いた精査結果
評価部位	対象建物・構築物			
梁 (一般部・鉄骨トラス)	・原子炉建屋 (6/7号炉)	②-1 (面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい)	・水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	工認の補足説明資料で準備
鉄骨ブレース	・排気筒 (6/7号炉)	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動)	・同上	工認の補足説明資料で準備
耐震評価部位全般	・原子炉建屋 (6/7号炉) ・原子炉格納容器 (6/7号炉)	局所的な応答	・同上	工認の補足説明資料で準備

2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表 2.4-1 に示す。

応答特性①-1 「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」について、柱においては、3 次元的な応答特性も懸念される排気筒（6/7 号炉）の隅部の主柱材について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。壁においては、原子炉格納容器（6/7 号炉）について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、基礎においては、建屋規模が大きく、波及影響防止上の重要性から原子炉建屋（6/7 号炉）について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2 「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」については、部位の重要性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）に対する境界条件が厳しい使用済燃料プール（6/7 号炉）の壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

表 2.4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	一般部・隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 (5/6/7 号炉) ・タービン建屋 (5/6/7 号炉) ・排気筒 (5/6/7 号炉) ・廃棄物処理建屋 	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する排気筒の支柱材を評価する。
	壁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器 (6/7 号炉) 	円筒壁であり直交する水平 2 方向の荷重により応力が集中するため評価する。
	基礎	矩形・杭基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 (5/6/7 号炉) ・タービン建屋 (5/6/7 号炉) ・格納容器圧力逃がし装置基礎(5/6/7 号炉) ・コントロール建屋 ・廃棄物処理建屋 ・サービス建屋 (5/6/7 号炉) 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を評価する。
①-2	壁	地下部 水圧作用部	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 (5/6/7 号炉) ・使用済燃料貯蔵プール (6/7 号炉) ・タービン建屋 (5/6/7 号炉) ・コントロール建屋 ・廃棄物処理建屋 ・復水貯蔵槽 ・サービス建屋 (5/6/7 号炉) 	上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を代表とする。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価にあたっては、従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いることとする。評価に用いる地震動を表 2.5-1 に示す。

また影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、または、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組み合わせ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施する。

表 2.5-1 評価に用いる地震動

耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動
柱	一般部・隅部	排気筒 (6/7 号炉)	基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-8$ の特性及び包絡関係と施設の特性による影響を考慮し選定する
壁	一般部	原子炉格納容器 (6/7 号炉)	同上
基礎	矩形	原子炉建屋 (6/7 号炉)	同上
壁	地下部 水圧作用部	使用済燃料貯蔵プール (6/7 号炉)	同上

3. 機器・配管系

3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で 3 次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に 3 次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

3.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を機種毎に分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平 2 方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性のある設備（部位）は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が 1 : 1 で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平 2 方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平 2 方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響がある設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $S_s - 1 \sim 8$ を対象とするが、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを第3.3-1図に示す。

①評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。(第3.3-1図①)

②構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(第3.3-1図②)

③発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。(第3.3-1図③)

なお、耐震評価は基本的に概ね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国Regulatory Guide1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of Earthquake」を参考として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方であるSquare-Root-of-the-Sum-of-the-Squares法(以下「非同時性を考慮

した SRSS 法」という。) 又は組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) を適用し, 各方向からの地震入力による各方向の応答を組み合わせる。

④水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて, 設備の耐震性への影響を確認する。(第 3.3-1 図④)



第 3.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を、第 3.4-1 表に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を水平 2 方向の地震力が重複する観点より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

水平 1 方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平 2 方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した。

- a. 水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポート等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。

（別紙 2 参照）

- b. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。（別紙 2 参照）

- c. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等と言えるもの

原子炉圧力容器スタビライザは、周方向 8 箇所を支持する構造で配置されており、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した。（別紙 2 参照）

- d. 従来評価において、保守性を考慮（水平 2 方向の考慮を含む。）した評価を行っており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響が軽微なもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他、設備についても同様の理由から、保守性を考慮（水平 2 方向の考慮を含む。）した評価を行っており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響が軽微なものとして分類した。（別紙 2 参照）

3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.4 で抽出した結果を別紙 2 に示す。これらの設備に関して、発生値の増分等による抽出を行った上で、水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3.4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※1		部位	応力分類	
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力	
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	
		炉心支持板支持面	支圧応力	
	シュラウドサポート	レグ		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
				軸圧縮応力
	上部格子板	シリンダ プレート 下部胴		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
				一次一般膜応力
	炉心支持板	リム胴板		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	グリッドプレート		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
	炉心支持板	補強ビーム 支持板		一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力	
制御棒案内管	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具		一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部		一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	座屈 (軸圧縮)	
			座屈 (軸圧縮)	
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	一次一般膜応力		
		一次膜応力+一次曲げ応力		
		一次+二次応力		
		一次+二次+ピーク応力		
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	座屈 (軸圧縮)		
		座屈 (軸圧縮)		

※1 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉圧力容器	ノズル	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			座屈（軸圧縮）
原子炉圧力容器	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器ホールドダウンブラケット ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		給水スパーチャブラケット 低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			純せん断応力
		原子炉圧力容器	原子炉圧力容器スカート
一次+二次応力			
一次+二次+ピーク応力			
座屈（軸圧縮）			
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力（引張）
			一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力（引張）
		ブラケット	一次応力（せん断） 一次応力（曲げ）
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力（せん断）
			一次応力（圧縮）
			一次応力（曲げ）
	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			支圧応力 座屈（軸圧縮）

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	スパージャ 炉内配管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
一次応力 (組合せ)			
基礎ボルト		一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
	サポート部材 サポート部基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
	底部基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
		一次+二次+ピーク応力	
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	

設備※1	部位	応力分類
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ (6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ (6号炉)	Uバンド及びリブ	一次応力 (せん断)
		一次応力 (曲げ)
		一次応力 (組合せ)
	ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
	支柱 (H形鋼)	一次応力 (せん断)
		一次応力 (曲げ)
		一次応力 (組合せ)
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ (7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ (7号炉)	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	脚	一次応力 (組合せ)
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	脚	一次応力 (組合せ)
	基礎ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
	耐震強化サポート (7号炉のみ)	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
	アンカーボルト (7号炉のみ)	一次応力 (組合せ)
一次応力 (せん断)		
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
ECCS ストレーナ	各部位 (ボルト以外)	一次膜応力+一次曲げ応力
	ボルト	一次応力 (引張)
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)

設備 ^{※1}	部位	応力分類	
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（圧縮）	
		一次応力（曲げ）	
		一次応力（組合せ）	
	取付ボルト	一次応力（引張） 一次応力（せん断） 一次応力（組合せ）	
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	
		一次+二次応力	
	基礎ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（組合せ）	
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
伝送器（矩形壁掛）	取付ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（組合せ）	
伝送器（円形壁掛）	取付ボルト	一次応力（引張）	
伝送器（円形吊下）	取付ボルト	一次応力（引張）	
制御盤	取付ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（組合せ）	
原子炉格納容器	ライナプレート	圧縮ひずみ	
		引張ひずみ	
	ライナアンカ ライナアンカ	荷重	
		変位	
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部 スリーブのフランジプレートとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張
		下部サポートパイプ(7号炉のみ)	せん断 圧縮
		ガセットプレート ベアリングプレート	せん断 曲げ
		基礎ボルト	引張
		コンクリート	圧縮 基礎ボルト引張荷重
	下部ドライウェルアクセストンネル	各部位	組合せ
	上部ドライウェル機器搬入用ハッチ サプレッションチェンバ出入口 上部ドライウェル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	下部ドライウェル機器搬入用ハッチ 下部ドライウェル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
		ガセットプレート	せん断
コンクリート部	圧縮		
ダイヤフラムフロア		鉄筋コンクリートスラブ	引張
			せん断
			圧縮
		鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部（地震時水平力伝達用シアプレート） 原子炉本体基礎接合部（地震時水平力伝達用シアプレート）	せん断 曲げ
原子炉本体基礎接合部（半径方向水平力伝達用頭付きスタッド）	せん断		
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバースプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース	一次応力（圧縮）	
	ベース取付溶接部	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断） 一次応力（組合せ）	
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（組合せ）	

設備 ^{※1}	部位	応力分類
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次+二次応力
	スカート	一次応力（組合せ）
		一次+二次応力（座屈）
	基礎ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
一次応力（組合せ）		
その他電源設備	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート	一次応力
		一次+二次応力
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置，架台を含む）	各部位	各応力分類
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位
	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
通信連絡設備（アンテナ類）	ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
監視カメラ	据付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
	据付部材	一次応力（組合せ）
貫通部止水処置	シール材	シール材に生じる変位
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体	せん断応力度

設備※1		部位	応力分類
原子炉圧力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒)	せん断
		円筒部(外筒)	組合せ
		円筒部(たてリブ)	せん断
			組合せ
		アンカボルト	引張
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重
		ベアリングプレート	曲げ
ブラケット部	せん断		
	曲げ		
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		一次応力(組合せ)	
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	一次応力(せん断)	
		吊具荷重	
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		浮上り量	
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	
	トロリストッパ	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
一次応力(組合せ)			
トロリ	浮上り量		
吊具	吊具荷重		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	
		圧縮	
		曲げ	
		組合せ	

4 屋外重要土木構造物

4.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

屋外重要土木構造物における従来設計手法の考え方について、取水路を例に表 4.1-1 に示す。一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は概ね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。また、屋外重要土木構造物は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

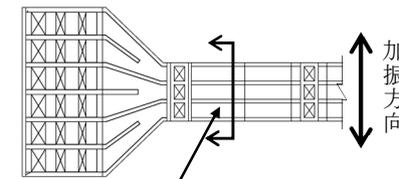
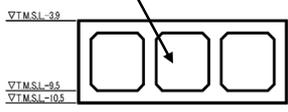
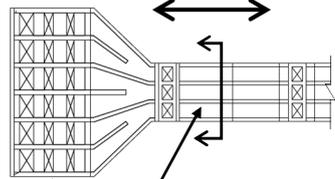
屋外重要土木構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向の地震力による耐震評価を実施している。

図 4.1-1 に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物のうち軽油タンク基礎は、海水の通水機能や配管等の間接支持機能を有する構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、従来設計では、長軸方向及び短軸方向ともに評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

表 4.1-1 従来設計における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対象断面の 考え方	 <p>取水方向 加振方向に平行な壁部材が少ない</p>  <p>⇒弱軸方向を評価対象断面とする</p>	 <p>取水方向 加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことが出来る</p>  <p>⇒強軸方向</p>

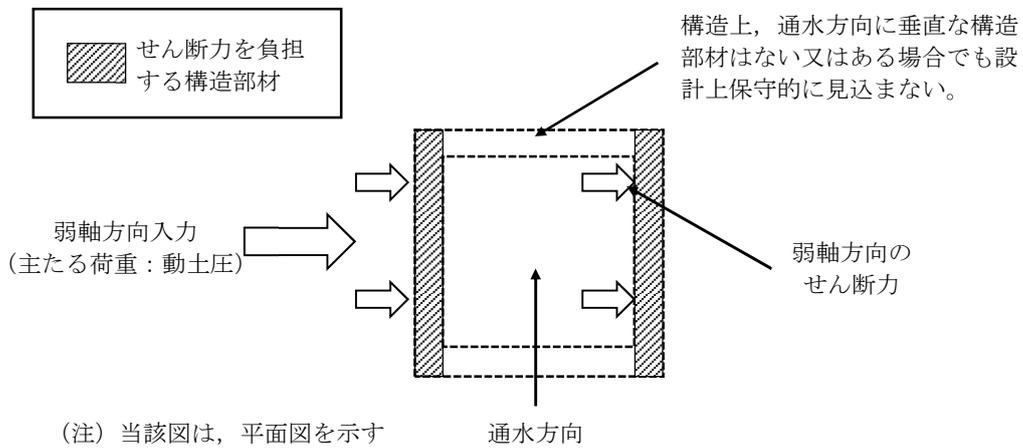


図 4.1-1 従来設計手法の考え方

4.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

評価対象は、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物（取水護岸、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁）とする。また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式毎に分類し、構造形式毎に作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平 2 方向の地震力による影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

構造物が有する耐震性への影響が確認された場合は詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図4.3-1に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式毎に大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式毎にどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、2方向及び鉛直方向地震力に対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、水平2方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

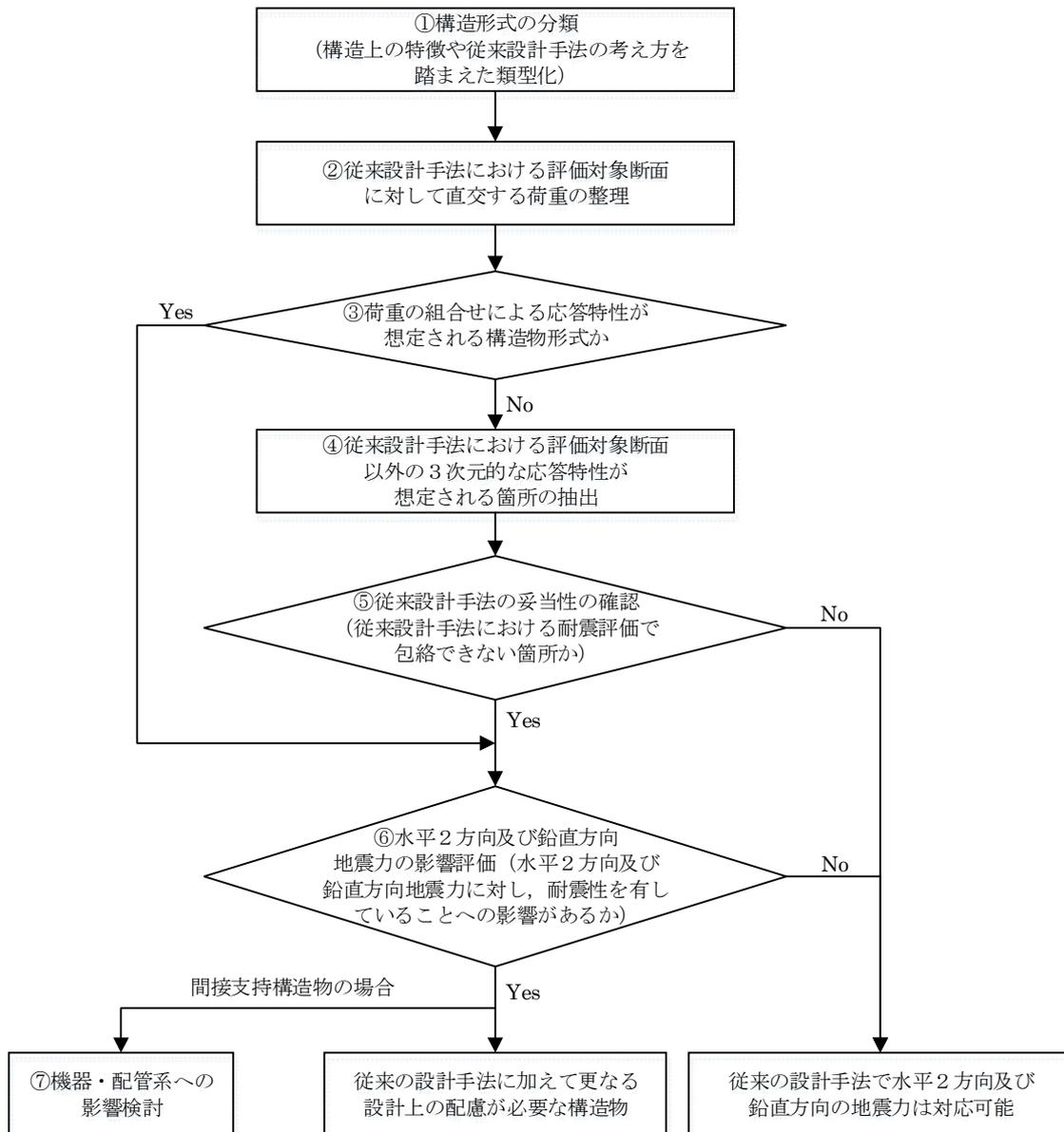


図 4.3-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 構造形式の分類

図4.4-1に屋外重要土木構造物の配置図を示す。屋外重要土木構造物は、その構造形式より①燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路のような同一断面が連続する線状構造物、②軽油タンク基礎、第一ガスタービン発電機基礎、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような基礎構造物、③取水護岸のような護岸構造物、④燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁のような壁構造物の4つの構造形式に大別される。

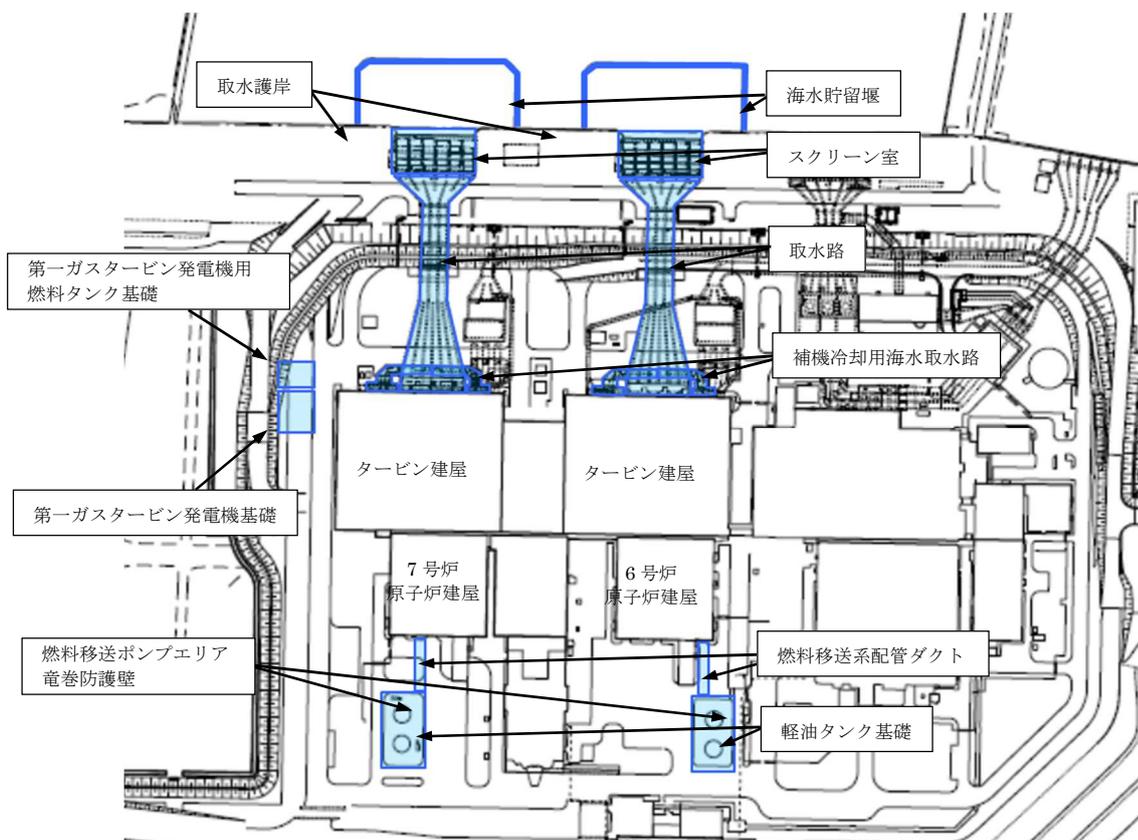


図 4.4-1 屋外重要土木構造物配置図

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 4.4-1 に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表 4.4-1 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力	

(注) 作用荷重のイメージ図は平面図を示す

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 4.4-2 に 4.4(1) で整理した構造形式毎に 4.4(2) で整理した荷重作用による影響程度を示す。

屋外重要土木構造物の地震時の挙動は、屋外重要土木構造物が概ね地中に埋設されることから、周辺の埋戻土の挙動に大きく影響される。②や③は、①と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、①による影響を考慮する。

線状構造物、護岸構造物及び壁構造物については、その構造上の特徴として、大部分は従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①は作用しないが、取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在し、当該箇所には立坑を介して評価対象断面に対して直交する①が作用する。

基礎構造物は、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①とタンク等の機器重量に起因する③が作用する。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①が作用する取水路立坑部と、①と③が作用する基礎構造物を抽出する。

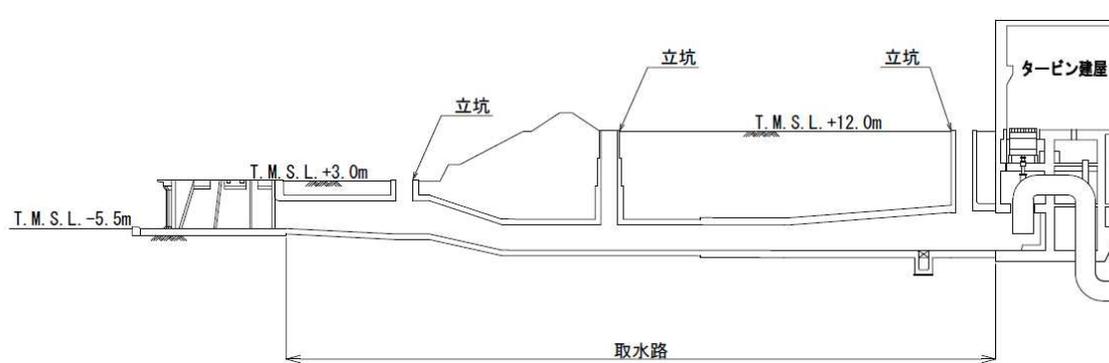
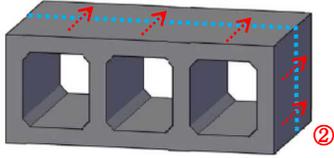
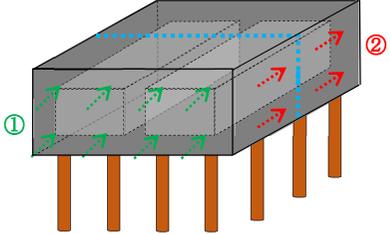


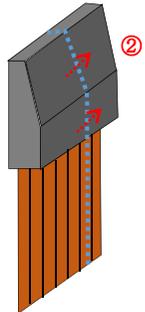
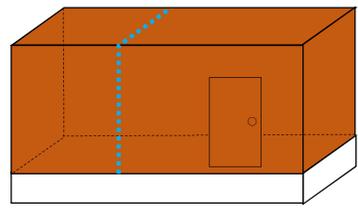
図 4.4-1 取水路縦断面図

表 4.4-2 (1/2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

4.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)	①線状構造物 (燃料移送系配管ダクト, 海水貯留堰, スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路)	②基礎構造物 (軽油タンク基礎, 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)
4.4(2)で整理した 荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>※短辺方向加振時の例</p> <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>
従来設計手法にお ける評価対象断面 に対して直交する 荷重の影響程度	<p>(一般部) 従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有 さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。 (立坑部) 取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在し ており, 立坑を介して①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に, ①動土圧及び 動水圧による荷重が, 底面にタンク等の機器重量に起因する③慣性力が作用 するため影響大。</p>
抽出結果	<p>一般部: × 立坑部: ○</p>	<p>○</p>

(○: 影響検討実施)

表 4.4-2 (2/2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

4.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)	③護岸構造物 (取水護岸)	④壁構造物 (燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁)		
4.4(2)で整理した 荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>		
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	上部工背面に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面 に対して直交する 荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有 さず、①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。		従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有 するが、地上構造物であり①動土圧及び動水圧ならびに②摩擦力による荷重が 作用しないため影響小。	
抽出結果	×		×	

(4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

線状構造物として大別した補機冷却用海水取水路は、構造物の配置上、屈曲部を有する。線状構造物の屈曲部では、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。

以上のことから、補機冷却用海水取水路の屈曲部について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では、図 4.4-2 に示すとおり、屈曲部における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計であり、十分に保守的な評価となっている。また、補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して岩盤に直接設置されており、躯体が底版で拘束されていることから、屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから、補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

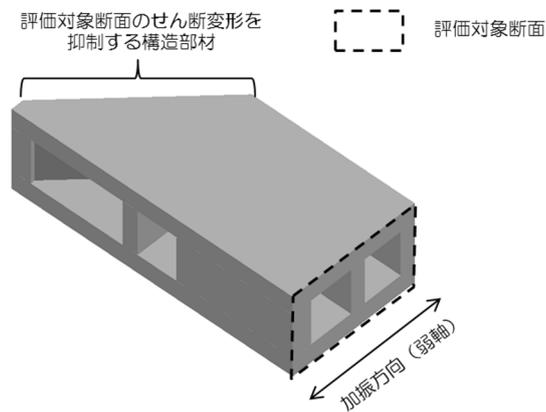


図 4.4-2 屈曲部における 3 次元的な拘束効果

4.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

4.4の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重が作用する取水路立坑部と基礎構造物を対象とする。

取水路立坑部は、取水路及び補機冷却用海水取水路上部に複数箇所存在する。このうち、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重として支配的な動土圧及び動水圧が大きくなる土被り厚さ及び近接構造物の変形抑制効果を考慮し、取水路中央の立坑部を代表として水平2方向の影響評価を行う。

基礎構造物である第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、動土圧及び動水圧を受ける部位である基礎側面の面積が軽油タンク基礎および第一ガスタービン発電機基礎に比べて大きいため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は大きいと考えられる。従って、基礎構造物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に代表させて実施する。

5. 浸水防護施設

5.1 浸水防護施設における評価対象構造物の抽出

(1) 評価対象となる設備の整理

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は、浸水防護施設である閉止板、水密扉、浸水防止ダクト、止水ハッチ、貫通部止水処置及び床ドレン浸水防止治具とする。各構造物の位置図を図 5.1-1 に示す。



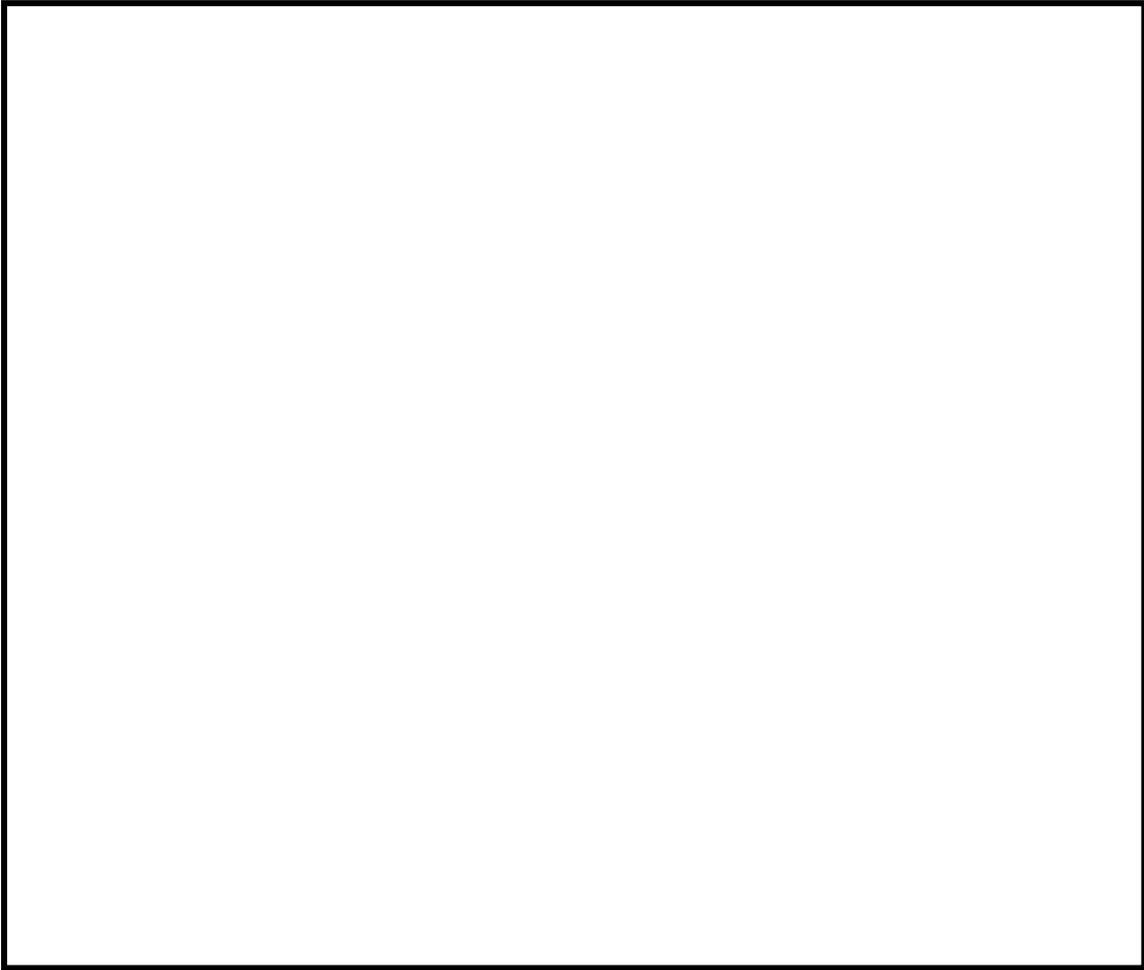
(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. -5100)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (1/6)



(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. -1100)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (2/6)



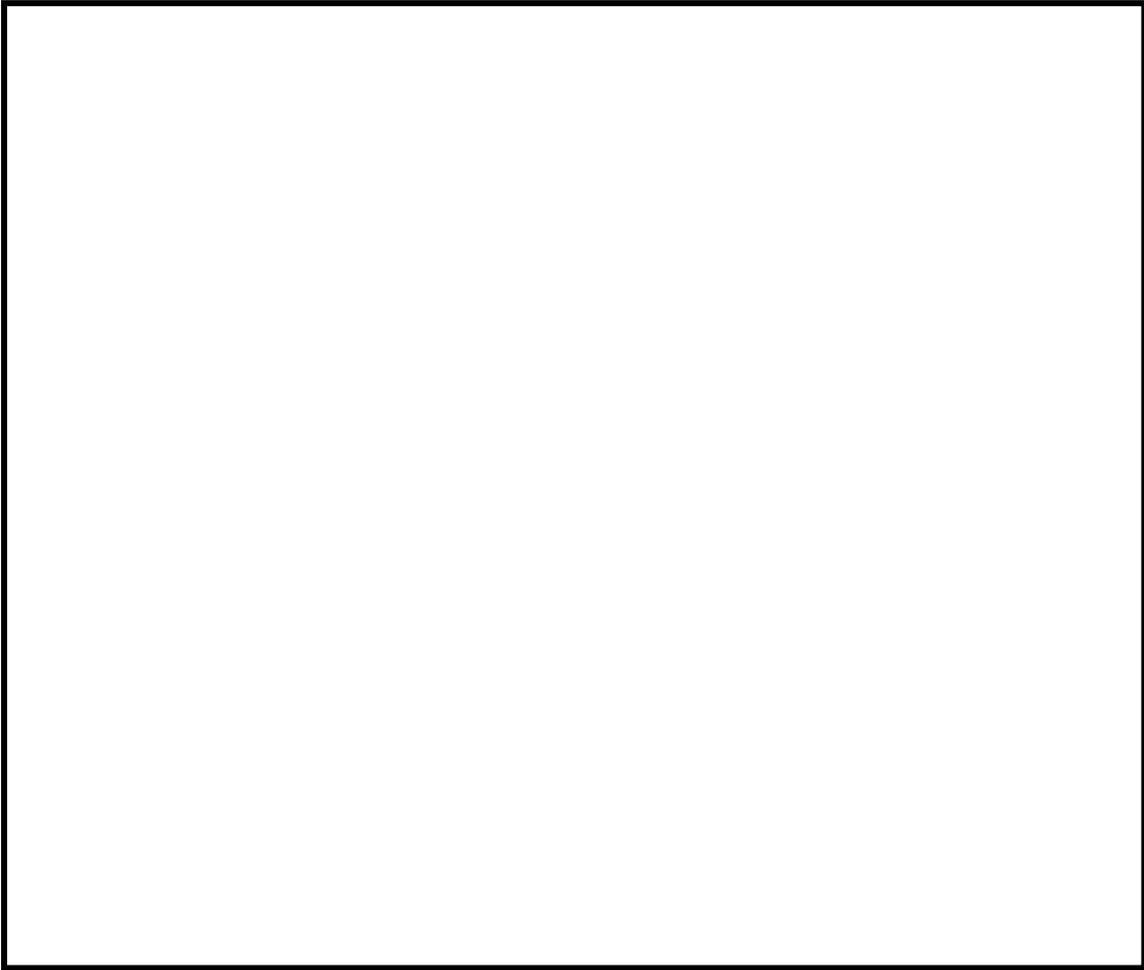
(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (3/6)



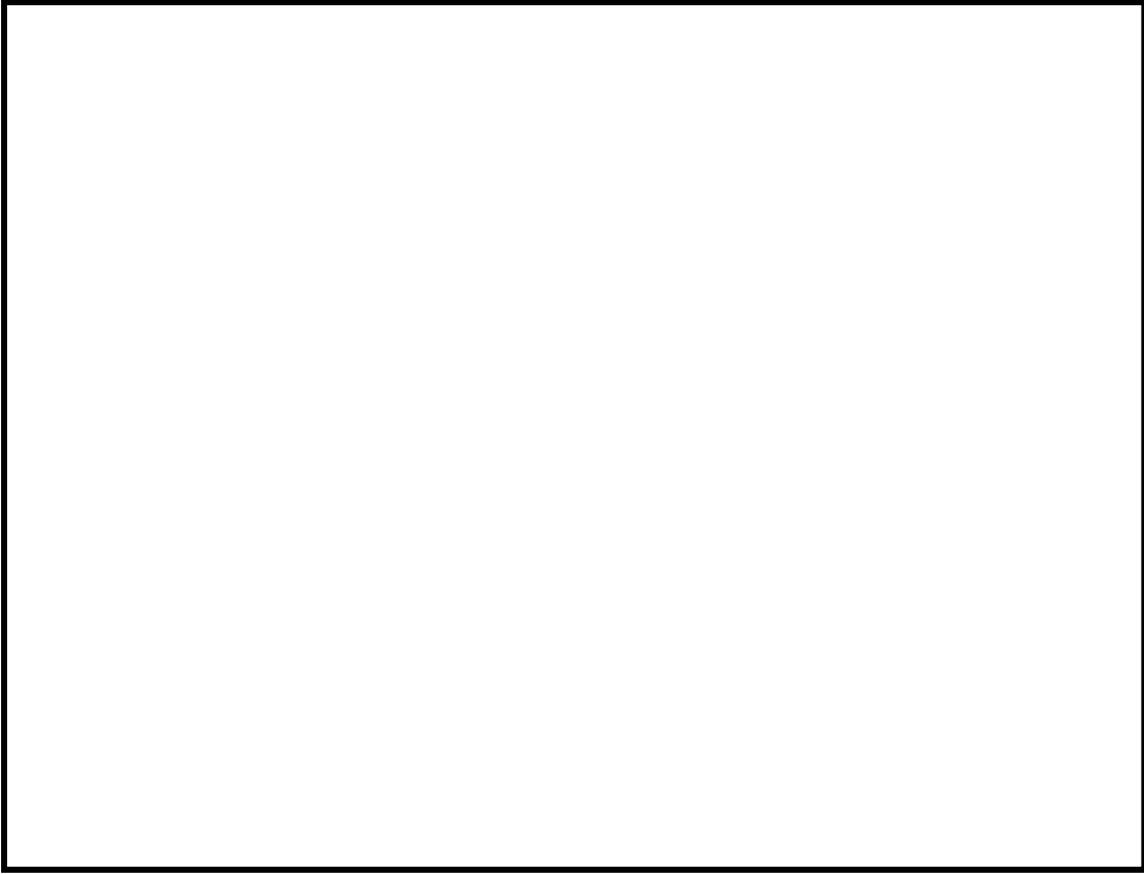
(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. -5100)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (4/6)



(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. -1100)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (5/6)



(屋内 : 7号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 5.1-1 浸水防護施設位置図 (6/6)

(2) 評価対象物の抽出

評価対象構造物のうち、閉止板、止水ハッチ及び水密扉については「2 建物・構築物」、浸水防止ダクト、貫通部止水処置及び床ドレン浸水防止治具については、「3 機器・配管系」に準じて設計されていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、その方針に基づいて実施する。浸水防護施設の種類を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 浸水防護施設の種類

施設、設備分類	施設、設備名称	区分
浸水防護施設	閉止板	建物・構築物
浸水防護施設	止水ハッチ	建物・構築物
浸水防護施設	水密扉	建物・構築物
浸水防護施設	浸水防止ダクト	機器・配管系
浸水防護施設	貫通部止水処置	機器・配管系
浸水防護施設	床ドレン浸水防止治具	機器・配管系

表 1 構造強度評価

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由		
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
		炉心支持板支持面	支圧応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。	×	-	
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力	△	B	円周配置であるため地震方向毎に最大応力点が異なり、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			軸圧縮応力	△	B	同上。			
	炉心支持板	リム胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
		グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
	炉心支持板	補強ビーム支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。	
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。	
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			一次+二次応力	△	B				同上。
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上。
	制御棒駆動機構ハウジング貫 通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			一次+二次応力	△	B				同上。
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上。
			座屈(軸圧縮)	△	B				同上。

※1 本表は、今後の審査進捗(詳細設計)に応じて見直しを行います。

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉圧力容器	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈(軸圧縮)	△	B	同上。		
	ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	-	ノズル評価は配管の反力を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		
			一次+二次応力	○	-	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	○	-	同上。		
			座屈(軸圧縮)	○	-	同上。		
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	水平地震力を4つブラケットのうち2つで分担した荷重を方向毎に考慮した評価を行っている。【補足説明資料2】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		蒸気乾燥器ホールダウンブラケット	一次一般膜応力	△	C	地震荷重を考慮していないことから影響はない。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	地震荷重を考慮していないことから影響はない。		
		給水スパーチャブラケット 低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力	○	-	炉内配管による応答を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		
			純せん断応力	○	-	同上。		
		原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×
一次+二次応力	△			B	同上。			
一次+二次+ピーク応力	△			B	同上。			
座屈(軸圧縮)	△			B	同上。			
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。			
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由		
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力(引張)	△	C	多角形配置により荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
		ブラケット	一次応力(せん断)	△	C	同上。			
			一次応力(曲げ)	△	C	同上。			
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力(せん断)	△	B	最も厳しい評価点は加震軸上の部位の部位であり、水平地震の方向毎に最大応答発生箇所が異なるため、影響は軽微である。	×	-	
			一次応力(圧縮)	△	B	同上。			
			一次応力(曲げ)	△	B	同上。			
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。				
		一次+二次応力	△	B	同上。				
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。				
		支圧応力	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。				
		座屈(軸圧縮)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。				
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる向きに地震荷重を与えているため、水平2方向入力を考慮しても評価への影響は軽微である。	×	-	
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響はない。			
	気水分離器及びスタンドパイプシュラウドヘッド中性子束計測案内管	各部位	耐震用ブロック支圧面	支圧応力	△	C	地震の水平力は4箇所の耐震用ブロックのうち相対する2箇所で受けるものとして評価しているが、水平2方向入力では4箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。			
	スパーージャ炉内配管	各部位	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。	○	従来より、3次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。	
			一次一般膜応力	○	-	地震入力方向に対応した応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。			
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。				

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力(引張)	○	—	方向別評価における最大応力発生箇所は異なるものの、矩形断面(一樣断面ではない)のため応力は積算され2方向入力の影響はある。	○	3次元FEMモデルを作成し、耐震評価を実施している。
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	一次応力(引張)	○	—	方向別評価における最大応力発生箇所は異なるものの、応力は積算され2方向入力の影響はある。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	サポート部材 サポート部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	C	水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		一次応力(せん断)	△	A	水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		一次応力(組合せ)	△	C	水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
	底部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		一次+二次応力	△	C	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	C	同上。		
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	△	C	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ(6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(6号炉)	U-バンド及びリブ	一次応力(せん断)	△	A	構造上水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(曲げ)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		一次応力(組合せ)	△	C	同上。			
	ボルト	一次応力(引張)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		一次応力(せん断)	△	A	構造上水平1方向の地震力のみを負担し、ほかの水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		支柱(H形鋼)	一次応力(せん断)	○	-			水平2方向の影響がある。
			一次応力(曲げ)	○	-			同上。
			一次応力(組合せ)	○	-			同上。
	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ(7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(7号炉)	胴板	一次一般膜応力	△	A			水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。
一次膜応力+一次曲げ応力			△	A	同上。			
一次+二次応力			△	A	同上。			
脚		一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。			
		一次+二次応力	△	A	同上。			
	脚	一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
		基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A			同上。
			一次応力(せん断)	○	-			基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。
	一次応力(組合せ)		○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
	耐震強化サポート(7号炉のみ)	一次応力(引張)	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。			
		一次応力(せん断)	△	A	同上。			
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
アンカーボルト(7号炉のみ)	一次応力(せん断)	○	-	水平2方向が同時に作用した場合に、一部のアンカーボルトで強軸側と弱軸側の荷重を合わせて負担するため、2方向入力の影響がある。				

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	○	現在考慮している、X,Y方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。よって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
ECCS ストレーナ	各部位(ボルト以外)	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	—
	ボルト	一次応力(引張)	△	D	同上		
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力(引張)	○	—	水平2方向の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(圧縮)	○	—	同上。		
		一次応力(曲げ)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	同上。		
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
伝送器(矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
		一次応力(せん断)	△	A	水平1方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(組合せ)	○	—	水平2方向の影響がある。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
伝送器(円形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	水平1方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
伝送器(円形吊下)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響は無い。	×	—	
制御盤	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。			
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—	
		引張ひずみ	○	—	同上。			
	ライナアンカ	変位	○	—	同上。			
ドライウエル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—	
		一次+二次応力	△	B	同上。			
	フランジプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重(死荷重または圧力荷重)が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		曲げ	△	C	同上。			
	ガセットプレート	せん断	△	C	同上。			
	コンクリート部	圧縮	△	C	同上。			
原子炉格納容器	下部ドライウエルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板(機器搬入用ハッチ付)	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。	○	配管反力に基づいて評価を実施しており、従来よりねじれを考慮した評価を実施している。
		スリーブのフランジプレートとの取付部	一次+二次応力	○	—	同上。		
	下部ドライウエルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板(所員用エアロック付)	フランジプレート	せん断	○	—	同上。		
			曲げ	○	—	同上。		
	ガセットプレート	せん断	○	—	同上。			
	コンクリート部	圧縮	○	—	同上。			
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
下部サポートパイプ(7号炉のみ)		せん断	○	—	同上。			
		圧縮	○	—	同上。			
ガセットプレート ベアリングプレート		せん断	○	—	同上。			
		曲げ	○	—	同上。			
基礎ボルト		引張	○	—	同上。			
コンクリート	圧縮	○	—	同上。				
	基礎ボルト引張荷重	○	—	同上。				
下部ドライウエルアクセス トンネル	各部位	組合せ	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉格納容器	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
			一次+二次応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
		フランジプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
			曲げ	△	D	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	D	同上。		
		コンクリート部	圧縮	△	D	同上。		
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
			一次+二次応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
			一次+二次応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力	○	-	評価は配管の反力を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。	
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。			
		一次+二次応力	○	-	同上。			
	フランジプレート	せん断	○	-	同上。			
		曲げ	○	-	同上。			
	ガセットプレート	せん断	○	-	同上。			
	コンクリート部	圧縮	○	-	同上。			
原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部	一次一般膜応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。			
		一次+二次応力	△	D	同上。			
	フランジプレート	せん断	△	D	同上。			
		曲げ	△	D	同上。			
	ガセットプレート	せん断	△	D	同上。			
	コンクリート部	圧縮	△	D	同上。			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		せん断	△	C	同上。		
		圧縮	△	C	同上。		
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時水平力伝達用シアプレート) 原子炉本体基礎接合部(地震時水平力伝達用シアプレート) 原子炉本体基礎接合部(半径方向水平力伝達用頭付きスタッド)	せん断	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料5】		
		曲げ	△	C	同上。		
		せん断	○	C	同上。		
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次+二次応力	○	-	同上。		
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバースプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上。		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロワ	ブレース	一次応力(圧縮)	△	A	ブレースはブロワの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受けもつ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみと考えられ、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受けもつと考える。	×	-
		ベース取付溶接部	一次応力(引張)	△	A		
	一次応力(せん断)		○	-	水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	スカート	一次応力(組合せ)	△	B	同上。		
		一次+二次応力(座屈)	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
一次応力(組合せ)		○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
その他電源設備	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
配管本体、サポート(多質点梁モデル解析)	配管、サポート	一次応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上。		
矩形構造の架構設備(静的触媒式水素再結合装置、架台を含む)	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平1方向のみの地震力が支配的となるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	取付ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。	×	-
通信連絡設備(アンテナ類)	ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合のみ、許容応力が低減することから影響が生じる。	×	-

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
監視カメラ	据付ボルト	一次応力(引張)	△	A	壁面に据付部材で剛に保持されている。構造上、壁に垂直な方向の地震入力では据付ボルトの応力成分は引張応力のみであるのに対し、壁面と平行な方向はせん断応力及び曲げモーメントによる引張応力が発生する。壁面と平行な応力が支配的であるため、水平2方向の影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(せん断)	△	A	同上。			
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
	据付部材	一次応力(組合せ)	○	-	水平2方向の影響がある。			
貫通部止水処置	シーラ材	シーラ材に生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シーラ材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-	
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-	
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
原子炉压力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒) 円筒部(外筒)	せん断	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
			組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
		円筒部(たてリブ)	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
			組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
		アンカボルト	引張	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重	△	B	同上。		
		ベアリングプレート	曲げ	△	B	同上。		
		ブラケット部	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
			曲げ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
		ブラケット部下面の水平プレート	曲げ	△	A	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平2方向で異なる挙動を示すため、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料5】	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	一次応力(せん断)	△	A	同上。		
		吊具	吊具荷重	△	C		
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力(せん断)	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	D	同上。		
		浮上り量	△	D	同上。		
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平2方向で異なる挙動を示すため、水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		トロリストoppa	一次応力(せん断)	△	A		
	一次応力(曲げ)		△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	一次応力(組合せ)		△	D	同上。		
	トロリ	浮上り量	△	D	同上。		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		圧縮	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響は無い。		
		曲げ	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	同上		

表2 動的／電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(補足説明資料3.2.4項(2)に対応)	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
立形ポンプ	○	—	軸受は円周に均等に地震力を受け持つため、水平2方向入力の影響を受ける。	×	—
横形ポンプ	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である弁箱(主蒸気止め弁ヨーク部(立置き))に対して、水平2方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	—
立形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
横形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
空調ファン	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(機関本体)	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(ガバナ)	○	—	ガバナについては水平2方向合成による応答増加の影響がある。ただし、JEAG4601に記載の機能確認済加速度は1.8Gであるが、旧JNES試験より4Gまでの機能維持を確認しているため、2方向合成加速度が4G未満であれば問題ない。	×	—
弁	○	—	弁については水平2方向合成による応答増加の影響があるが、2方向合成応答加速度が試験にて確認した機能維持確認済加速度未満であれば問題ない。	×	—
制御棒挿入性	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
電気盤	△	A	電気盤、制御盤等に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に1次元的な接点のON-OFFに関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
監視カメラ	△	A	監視カメラ本体の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
ガスタービン発電機	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
通信連絡設備(アンテナ類)	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—

※JEAG4601 で定められた評価部位の裕度評価

別紙 1 補足説明資料

目次

1. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ） ……1
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット） ……3
3. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック） ……5
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器） ……7
5. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア） ……11
6. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（燃料取替機） ……14

1 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉压力容器スタビライザ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉压力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

1.2 現行評価の手法

RPV スタビライザは、周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、図 1-1 に地震荷重と各 RPV スタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPV スタビライザ 6 体に各水平方向地震力（X 方向、Y 方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_x}{4}, \frac{F_y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPV スタビライザ 1 個が受けもつ最大地震荷重

F_x : X 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

F_y : Y 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

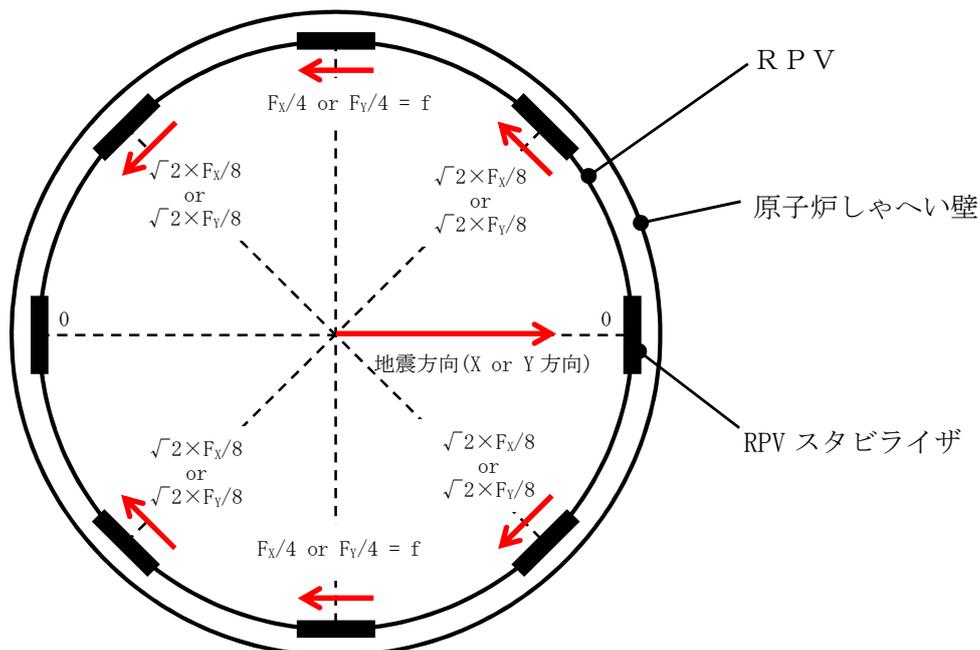


図 1-1 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平1方向）

1.3 水平2方向同時加振の影響

RPV スタビライザは、水平2方向の地震力を受けた場合においても、方向別地震荷重 F (F_X または F_Y) に対する最大反力を受け持つ部位が異なり、水平2方向地震力を二乗和平方根 (SRSS) 法で組み合わせた最大反力と水平1方向地震力による最大反力が同じになるため、水平2方向同時加振の影響はない。

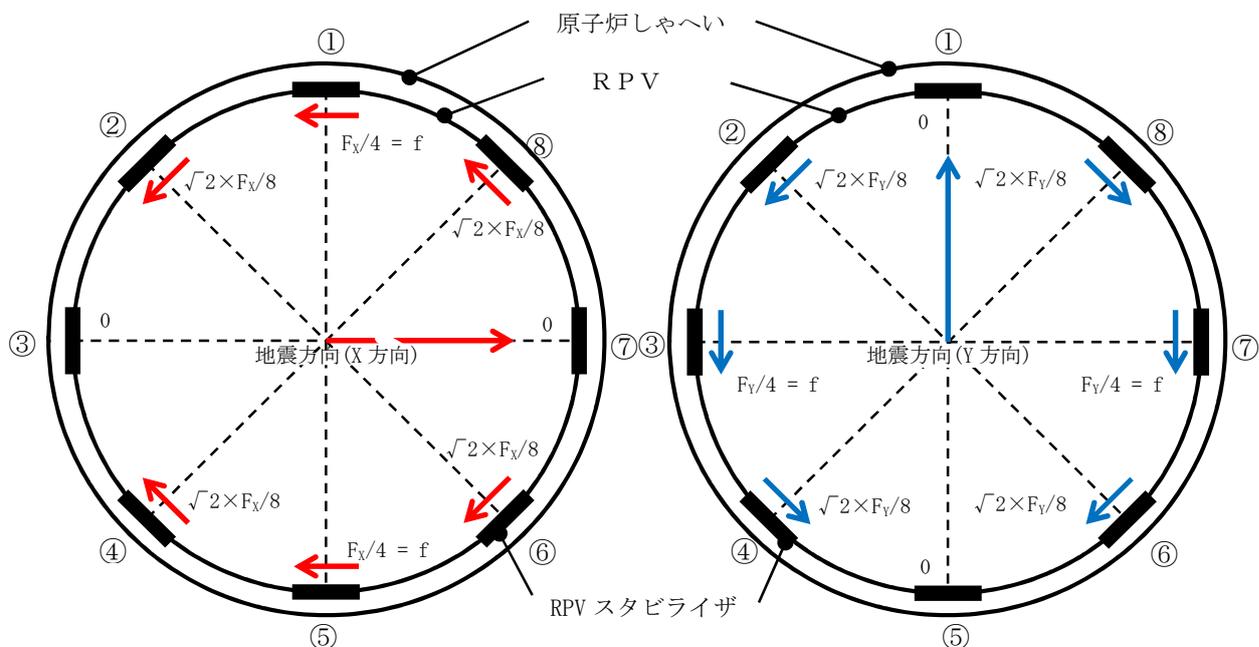


図 1-2 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担 (水平2方向)

表 1-1 原子炉圧力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力 F に対する反力		SRSS 法を用いた 水平2方向反力の組合せ
		X 方向	Y 方向	
①	0°	$F_X/4$	0	f
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$	f
③	90°	0	$F_Y/4$	f
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$	f
⑤	180°	$F_X/4$	0	f
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$	f
⑦	270°	0	$F_Y/4$	f
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$	f
最大		$F_X/4$	$F_Y/4$	f

以上

2 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

2.1 はじめに

本項は、蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は図2-1の通りとなる。

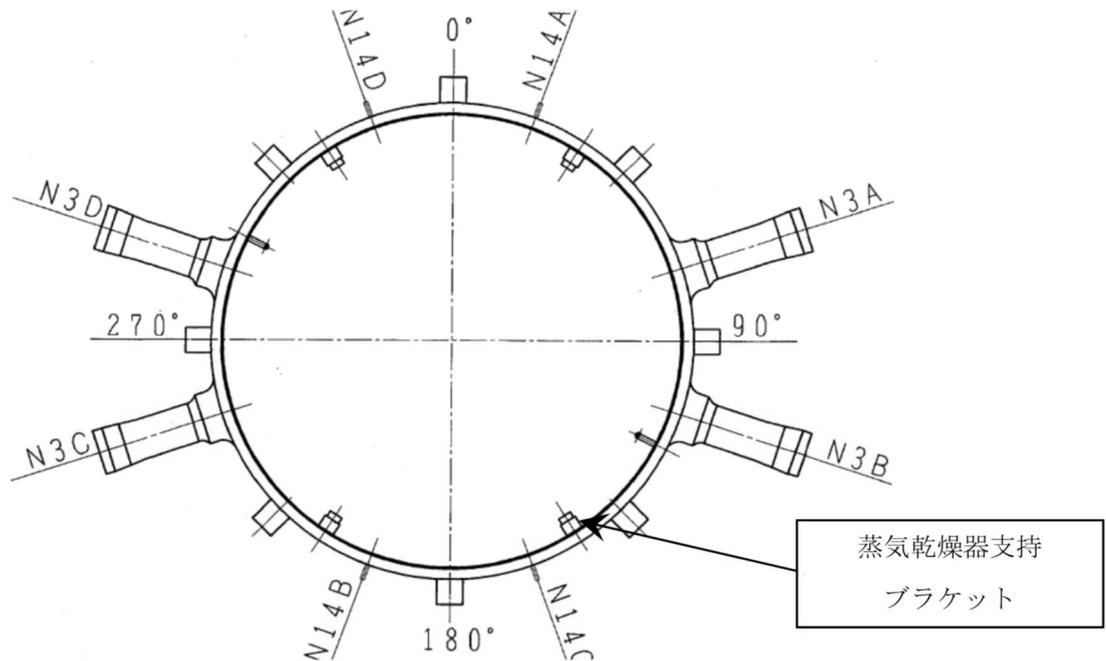


図2-1 蒸気乾燥器支持ブラケットの位置

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器を支持する設計であるが、現行評価では対角のブラケット2体により、水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

図2-2に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F = \max\left(\frac{F_x}{2}, \frac{F_y}{2}\right)$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震荷重

F_x : X方向地震よりブラケットに発生する荷重

F_y : Y方向地震よりブラケットに発生する荷重

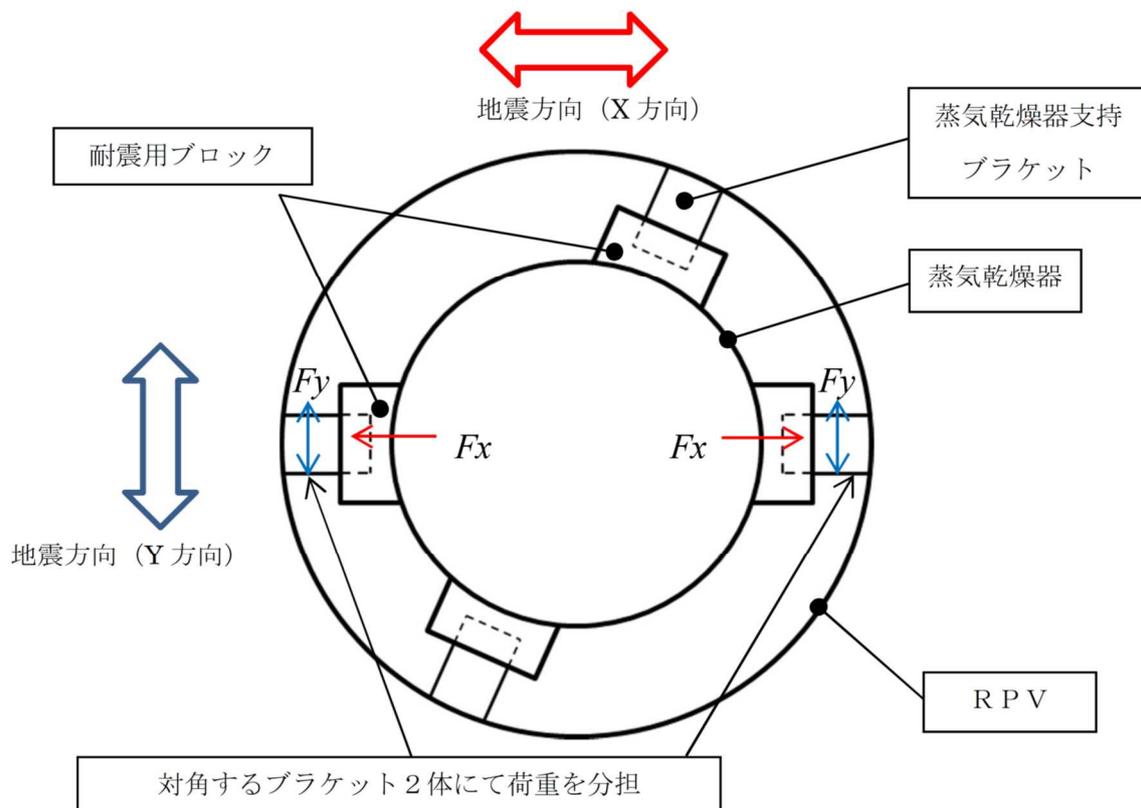


図 2-2 評価におけるブラケットの負荷荷重

2.3 水平2方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、4体のブラケットのうち2体で荷重を支持し、且つ水平2方向の地震荷重を同時に負荷されるものとして評価しており、水平2方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

3 水平2方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）

3.1 はじめに

本項は、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）のサポートに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

3.2 サポートの構造

本サポートは、ラックの耐震上弱軸方向となる短辺方向の転倒防止を目的として、使用済燃料貯蔵プール壁面から腕を張り出す形で設置されており、ラックの短辺方向側を支持し、長辺方向側は荷重を受けない構造となっている（図 3-1）。

3.3 水平2方向の地震力による影響について

現行評価において、サポートの応力は、地震力によりラックから入力される荷重(反力)、サポート自身の荷重(自重及び自身の慣性力)と、部材の断面特性を用いて下記の地震条件時のそれぞれについて求めている。

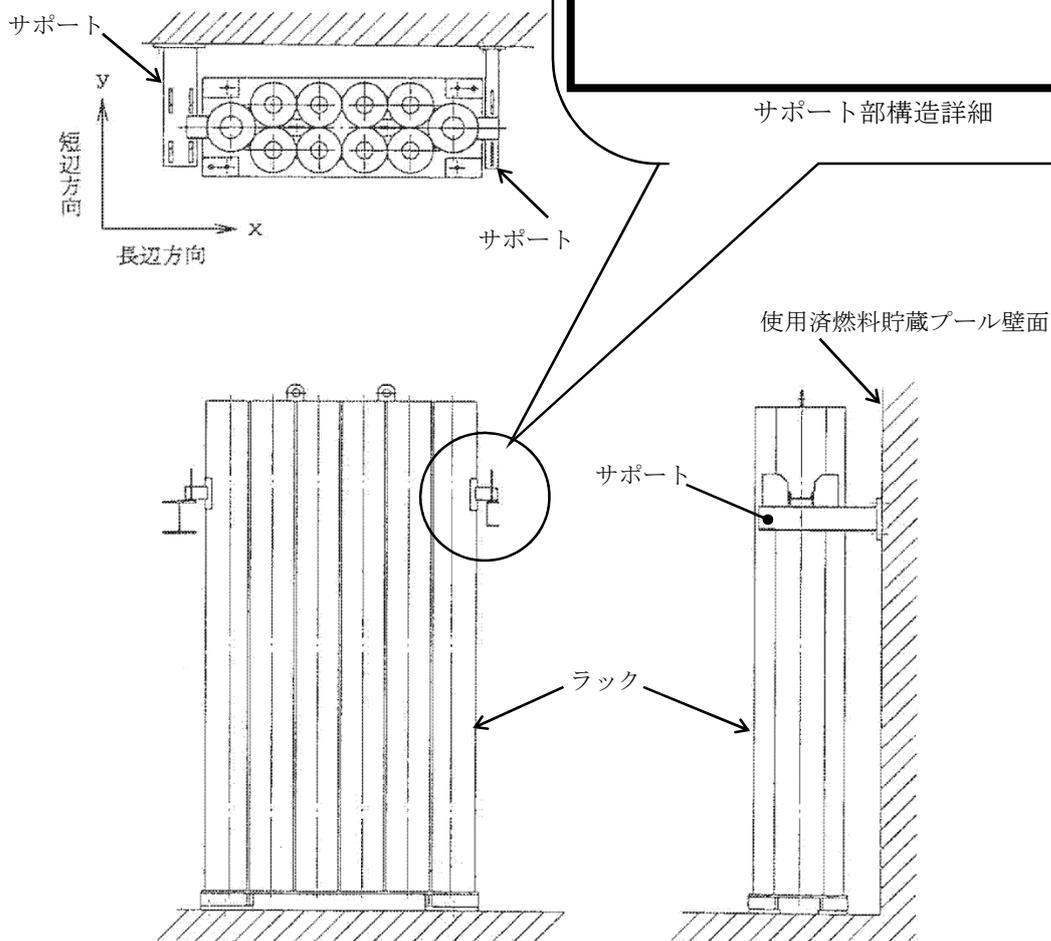
- ・長辺方向(水平 x 方向) + 鉛直方向
- ・短辺方向(水平 y 方向) + 鉛直方向

長辺方向(x方向)の地震の場合、サポートはラックを支持していないため、ラックから入力される荷重(反力)は生じず、サポート自身の慣性力による応力のみが発生する。短辺方向(y方向)の地震の場合、サポートには、ラックからの反力と自身の慣性力による応力が発生する。ラック自身の慣性力は、いずれの方向の地震においても、ラックからの反力と比較して小さい。

したがって、サポートの応力は、水平1方向（短辺方向(y方向)）の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。

[サポート取合部の説明]

- 短辺方向側は、ラック付のサポート座を支持用プレートではさみ込むように拘束して支持されている。
- 長辺方向側は、拘束する構造となっていない。



全景

図 3-1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック設置状態

4 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

4.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平2方向に作用した場合の円筒容器に対する影響検討結果をFEMで確認した結果をまとめたものである。

容器については、別紙2にて説明している通り、X方向地震とY方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組合せても影響軽微としている。本項には、別紙2にて説明していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器のFEMモデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せにより確認を行うため、胴の組合せ一次応力を対象としたものである。

具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- ①X方向地震とY方向地震とで最大応力点が異なることの確認
- ②最大応力点以外に、X方向地震とY方向地震による応力を組合せた場合に影響のあるような点があるかを確認

4.2 現行評価の手法

評価検討モデルを図4-1に示す。検討方法を以下に示す。

- ・検討方法 : 水平地震力1Gを、X方向(0°方向)へ入力。
周方向の0°方向から90°方向にかけて応力分布を確認。
- ・検討モデル : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・拘束点 : 容器基部を拘束
- ・荷重条件 : モデル座標のX方向に水平地震力1Gを負荷
- ・解析手法 : 静的解析
- ・対象部位及び応力 : 容器基部における組合せ応力

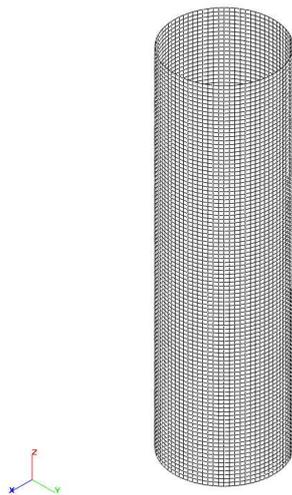


図4-1 評価検討モデル

4.3 検討結果

4.3.1 軸方向応力

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を図 4-2 に示す。

この結果より、最大応力点は 0° 位置に発生していることが分かる。Y 方向へ水平地震力を入力した場合は、最大応力点は 90° 位置に発生することは円筒形容器であることから明白であり、最大応力点が異なることについて確認できた。

また、表 4-1 に軸方向応力分布を示す。最大応力点と最小応力点の中間部 (45°) での応力は、入力地震レベルが X 方向と Y 方向で最大の 1 : 1 であると仮定した場合においても 2 乗和平方根の値が最大応力と同等であることが確認できる。

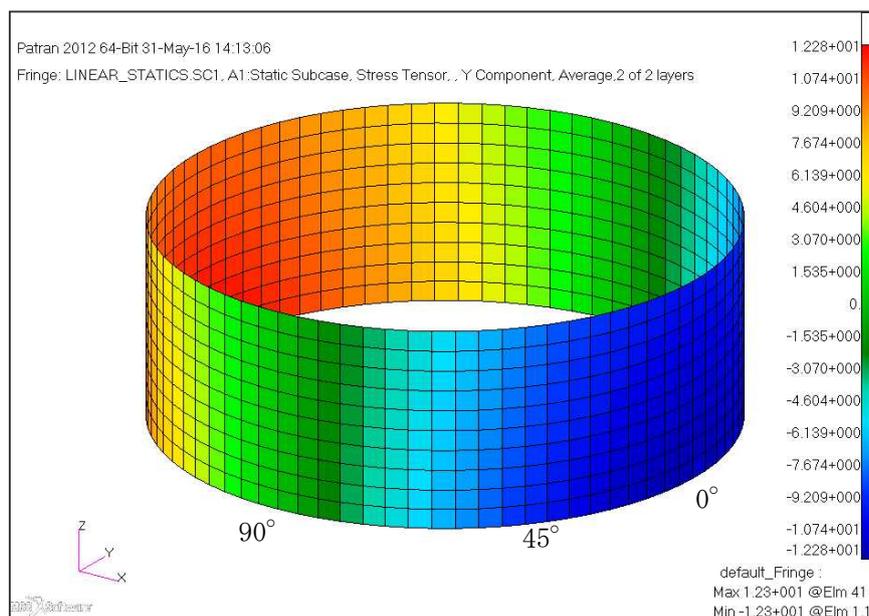


図 4-2 水平地震時軸方向応力コンター図

表 4-1 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2 方向考慮した場合*1 応力 (MPa)
0° 方向	12.28	0.00	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28

*1 : 2 方向を考慮した応力 = $\sqrt{(X \text{ 方向入力時応力}^2 + Y \text{ 方向入力時応力}^2)}$

4.3.2 周方向応力

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を図 4-3 に、周方向応力分布を表 4-2 に示す。

軸方向応力同様に最大応力点は 0° 位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できた。

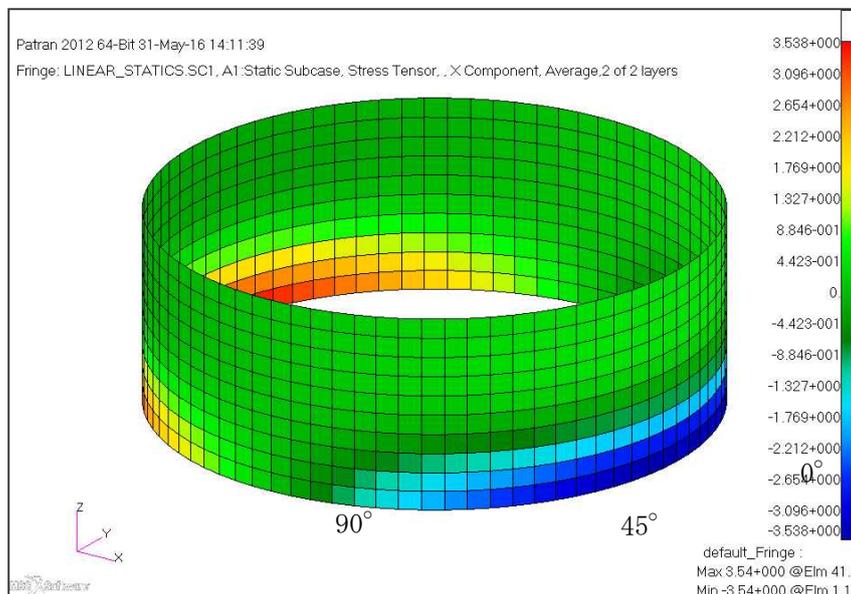


図 4-3 水平地震時周方向応力コンター図

表4-2 水平地震時の周方向応力分布

角度	X方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2方向考慮した場合*1 応力 (MPa)
0° 方向	3.54	0.00	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54

*1 : 2方向を考慮した応力 = $\sqrt{(X方向入力時応力^2 + Y方向入力時応力^2)}$

4.3.3 せん断応力

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を図4-4 に示し、せん断応力分布を表 4-3 に示す。

せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は 90° 位置に生じているが、最大応力と最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できた。

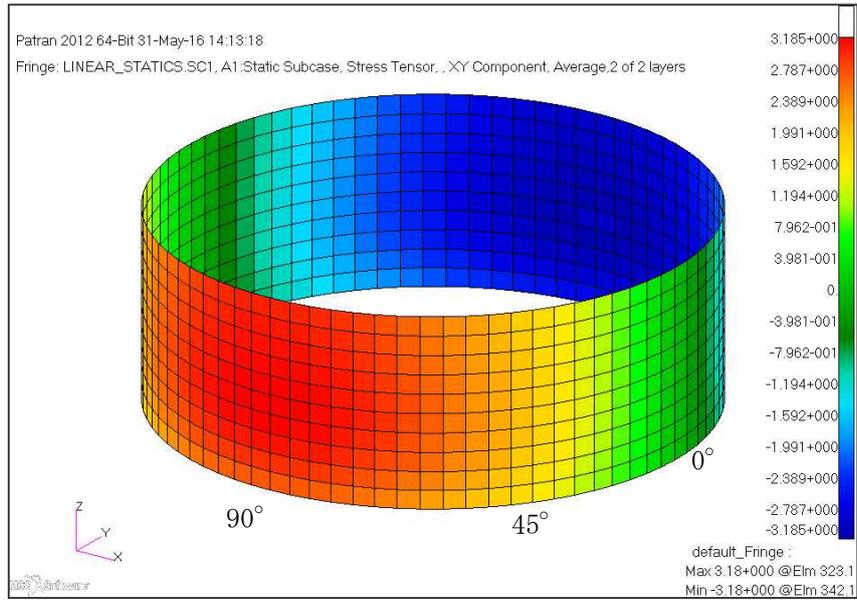


図 4-4 水平地震時せん断応力コンター図

表 4-3 水平地震時のせん断応力分布

角度	X方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2方向考慮した場合*1 応力 (MPa)
0° 方向	0.00	2.70	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70

*1 : 2方向を考慮した応力 = $\sqrt{(X方向入力時応力^2 + Y方向入力時応力^2)}$

4.3.4 組合せ応力

胴の組合せ一次応力は、軸方向応力、周方向応力及びせん断応力を組合せており、耐震評価結果として用いている。

組合せ応力における応力分布の結果を表 4-4 に、0° 方向から 90° 方向にかけての応力の傾向を図 4-5 に示す。

表 4-4 水平地震時の組合せ応力分布

角度	X 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2 方向考慮した場合 応力 (MPa)
0° 方向	12.28	5.40	13.41
45° 方向	9.22	9.22	13.04
90° 方向	5.40	12.28	13.41

*1 : 2 方向を考慮した応力 = $\sqrt{(X \text{ 方向入力時応力}^2 + Y \text{ 方向入力時応力}^2)}$

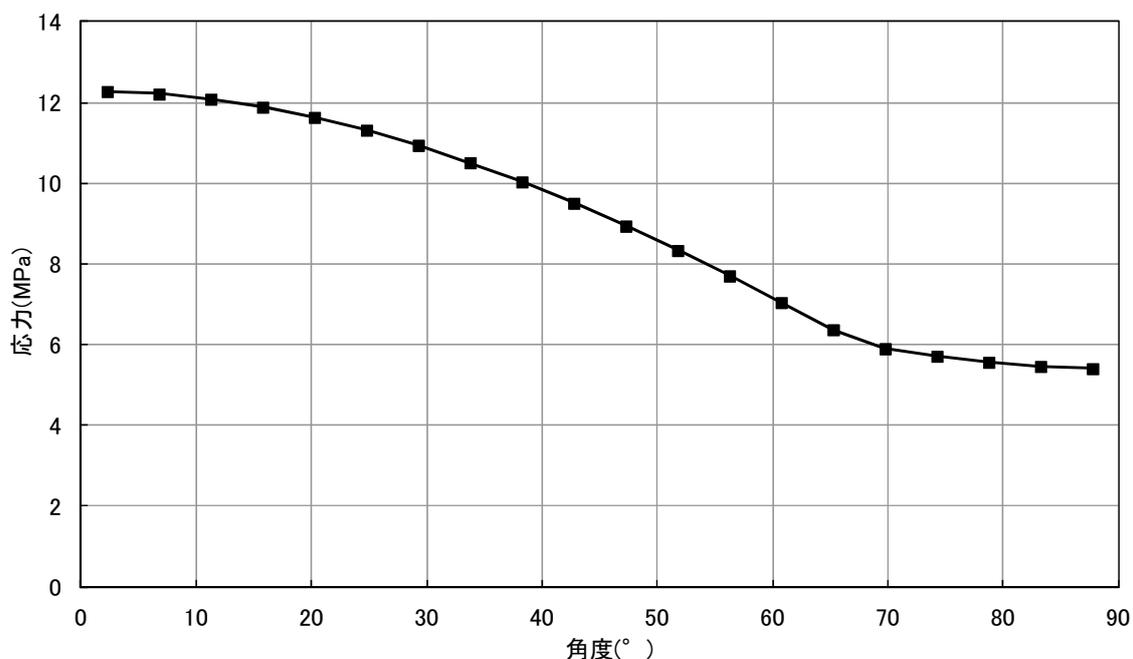


図 4-5 X 方向入力時組合せ応力分布

以上より、中間点の水平 2 方向地震時応力は最大応力と同等の結果となり、円筒形構造に対する水平 2 方向地震時の影響は軽微であることが確認できる。

また、水平 1 方向の地震時の応力に対して水平 2 方向地震時を考慮した場合、組合せ応力は若干上回る程度であり、水平各方向 1 : 1 にて想定していることも考慮し、影響は軽微であると考える。

本検討においては地震力のみでの応力値であり、耐震評価においては水平地震の影響を受けない応力（自重や鉛直地震による応力）が含まれるため、X 方向へ入力した場合の応力に対する 2 方向を考慮した場合の応力の比率は小さくなる。

5 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

5.1 はじめに

本項は、ダイヤフラムフロアに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

5.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製格納容器（以下、「RCCV」と呼ぶ。）をドライウエルとサプレッションチェンバに仕切る構造物である。ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製のスラブであり、RCCV 及び原子炉本体基礎で支持されている。ダイヤフラムフロアと RCCV の接合部にはシアプレートが円周状に設置されており、円周方向及び鉛直方向の力の伝達を行う。原子炉本体基礎との接合部には、ダイヤフラムフロアが原子炉本体基礎に上載する構造とし、原子炉本体基礎上面にシアプレート及び頭付きスタッドが円周状に設置されており、円周・半径方向力の伝達を行う（図 5-1）。

5.3 現行評価の手法

ダイヤフラムフロアに作用する地震力は、NS、EW 方向のうち最大となるものを用いる。

鉄筋コンクリートスラブは軸力、曲げ応力により発生する引張応力度、圧縮応力度と面外せん断力について評価を実施している。

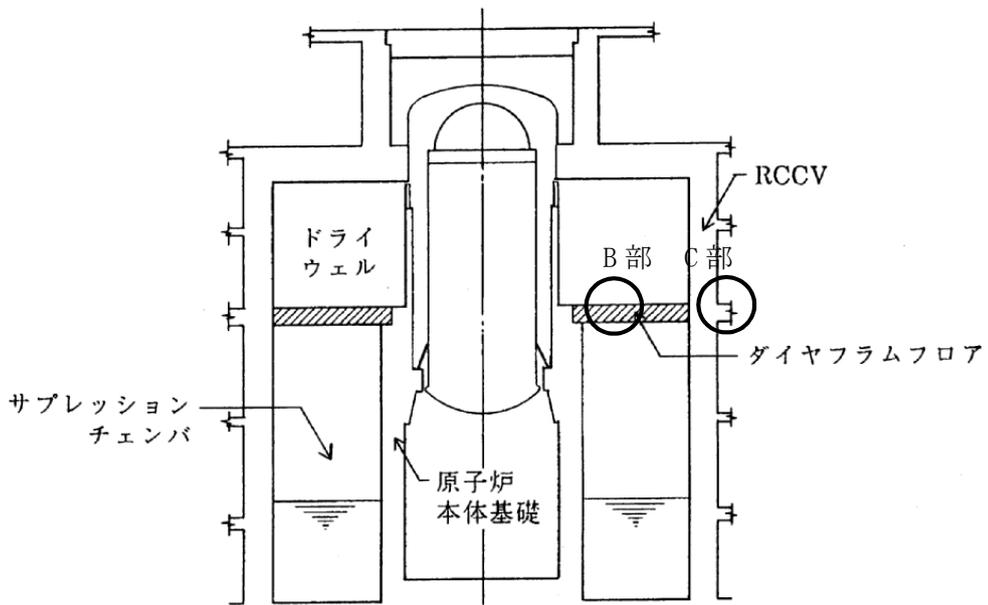
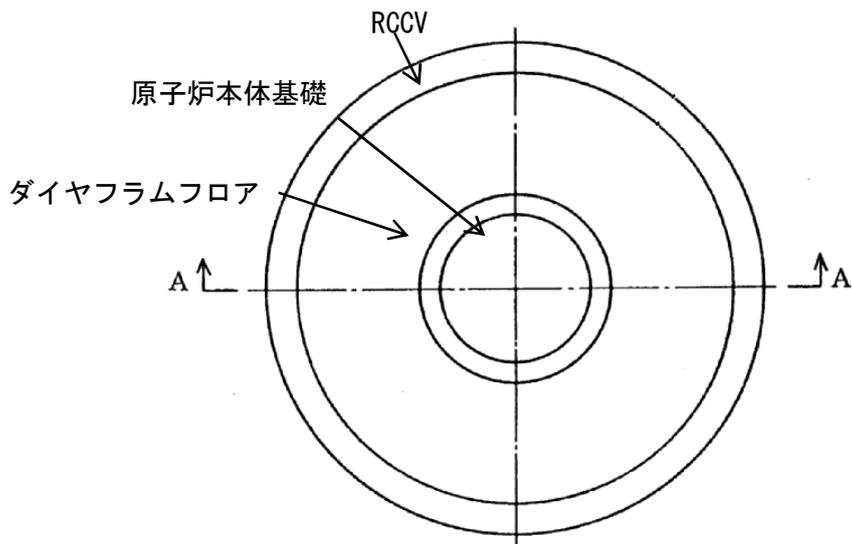
シアプレート及び頭付きスタッドは、地震時の水平力または鉛直力によるせん断応力度と曲げモーメントによる曲げ応力度について評価を実施している。

5.4 水平 2 方向同時加振の影響

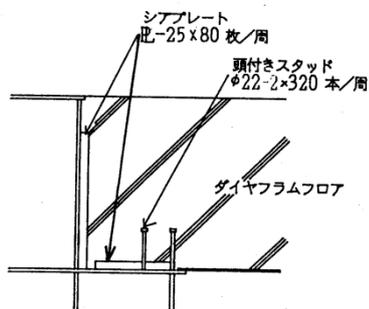
鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合でも、引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力に与える影響は軽微である。

地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力 Q とした場合、ダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 q は \sin 分布として与えている（図 5-2）ため、地震方向との角度 θ が 90° の位置で最大となることから、NS、EW 方向で最大となる地震力の位置は異なる（図 5-3）。

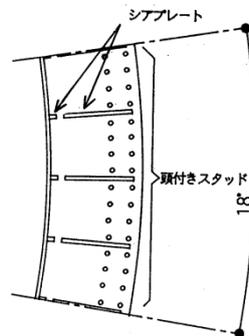
従って水平 2 方向地震力を二乗和平方根（SRSS）法で組み合わせても、最大水平力は水平 1 方向地震力による最大の水平力以下となるため、水平 2 方向の荷重が同時に作用する場合でもその影響は軽微である。



A-A断面図

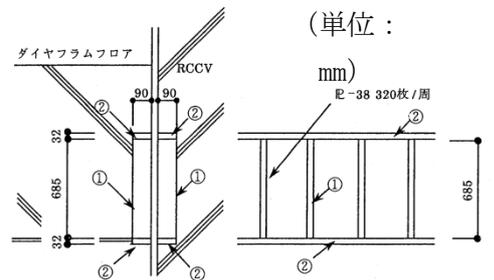


断面図



平面図

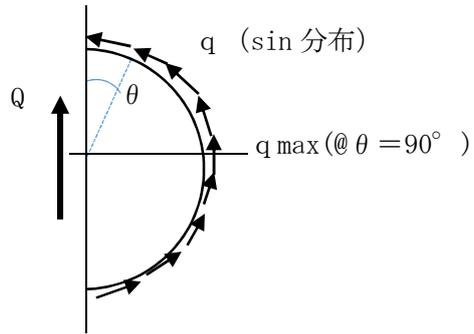
B 部詳細



注 ①: 地震時水平力伝達用シアプレート
②: 鉛直力伝達用シアプレート

C 部詳細

図 5-1 ダイヤフラムフロアの構造

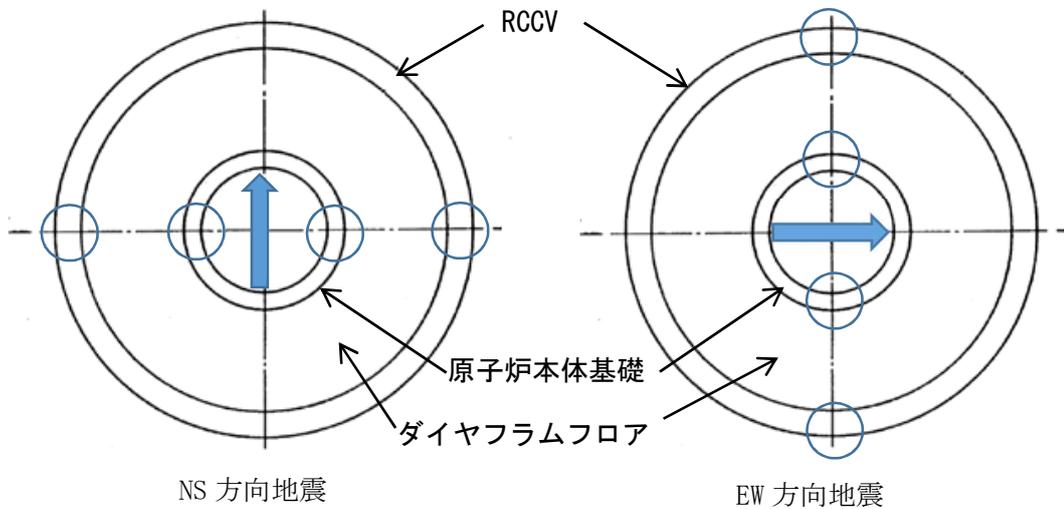


ここで

Q :地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力

q :ダイヤフラム端部に作用する水平力

図 5-2 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布



○ 地震時にシアプレート及び頭付きスタッドが受ける水平力が最大となる位置

図 5-3 シアプレート及び頭付きスタッドに与える水平 2 方向地震組合せの影響

6 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

6.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下、FHM という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

6.2 現行評価の手法

FHM はレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、FHM のすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、FHM が横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力がFHM 本体へそのまま伝達されることが想定される。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、FHM の車輪とレールの接触面（踏面）を介してFHM 本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（FHM 本体への影響は軽微）と考えられる。

上記より、FHM 本体の耐震評価では横行方向に対する地震応答が支配的であり、走行方向に対しては比較的軽微であると考えられるため、水平2方向同時加振の考慮として、耐震性評価で走行方向の地震応答を追加で組み合わせたとしても、従来評価の応答結果への影響は小さいと考えられる。

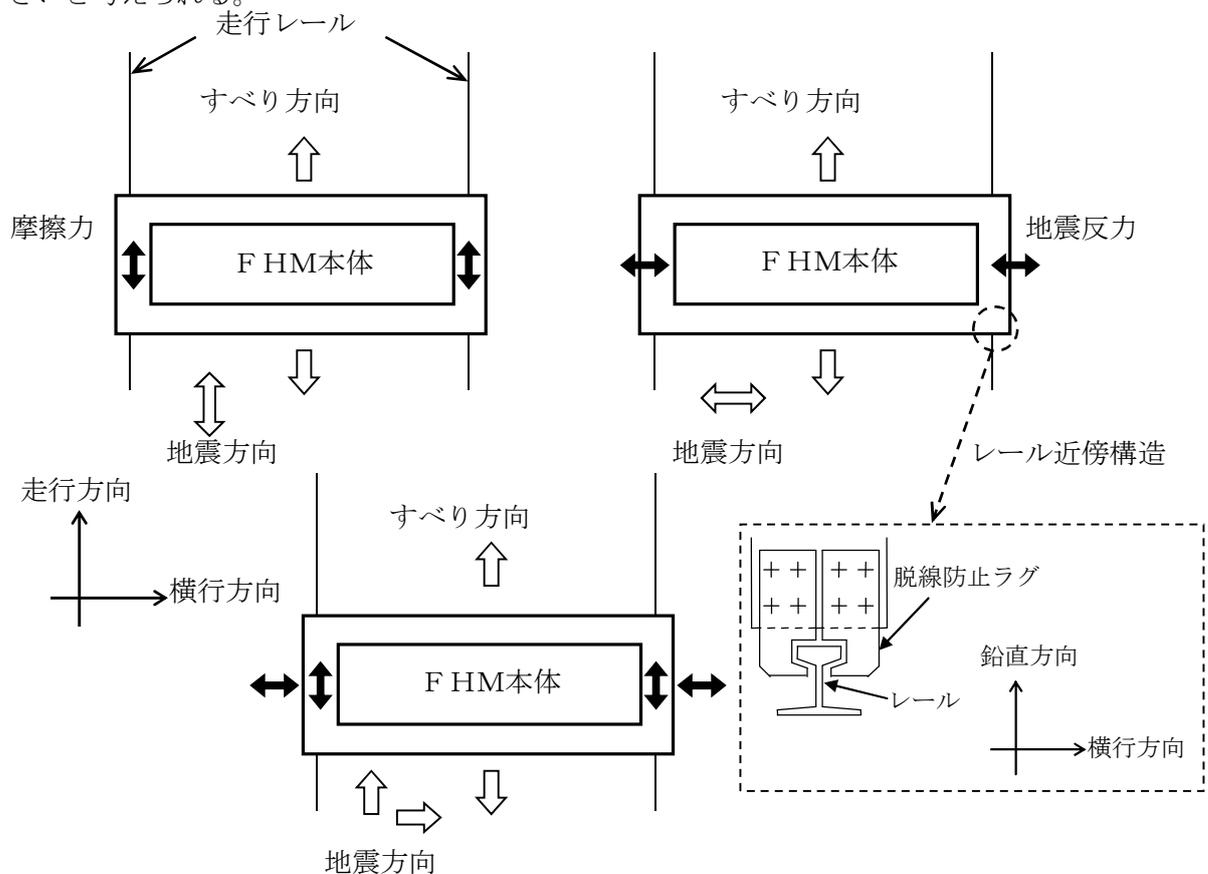


図 6-1 燃料取替機の負担する水平地震荷重