

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-7 改4
提出年月日	平成30年7月31日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-7 【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】

平成30年7月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 検討の目的	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	2
2.1 東海第二発電所の基準地震動	2
2.2 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	6
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価	7
3.1 建物・構築物	7
3.2 機器・配管系	X
3.3 屋外重要土木構造物	X
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	X

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査

別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析

別紙 4 機器・配管系に関する説明資料

下線部：ご提出資料

## 3.2 機器・配管系

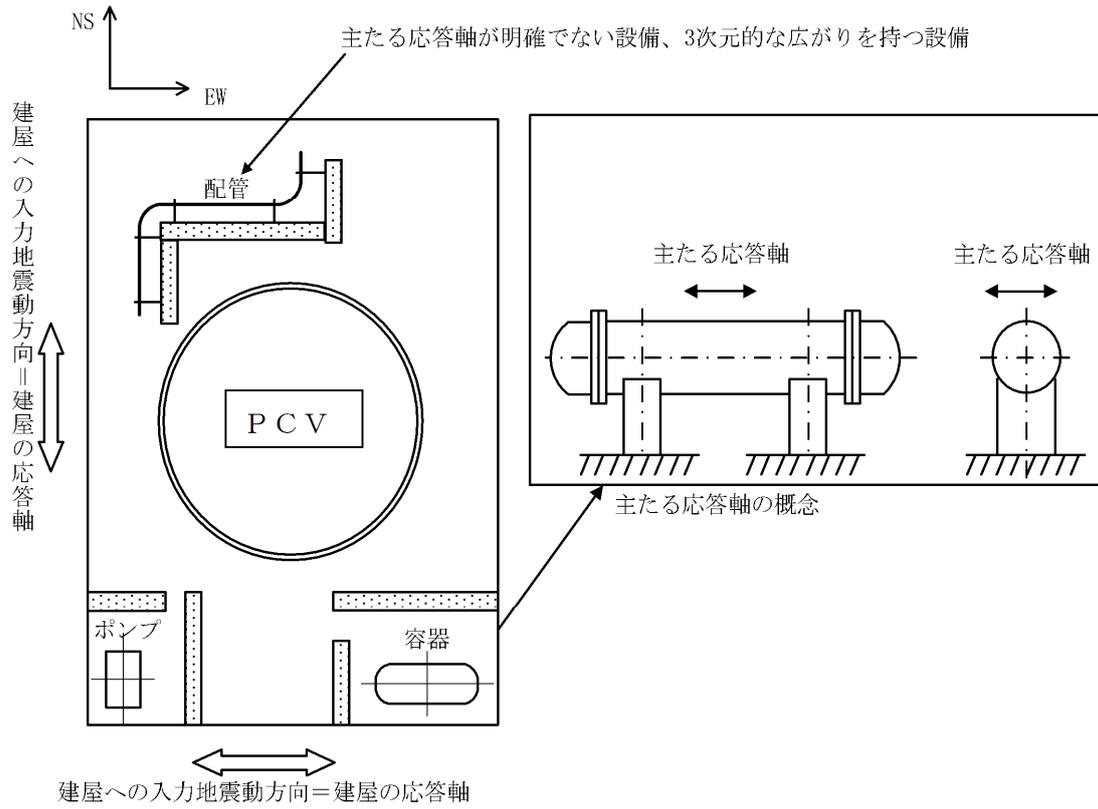
### 3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

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  $S_0$  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。設備配置及び応答軸の概念図を 3.2-1 図に示す。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じ難い構造の採用、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。



第 3-2-1 図 設備配置及び応答軸の概念図

### 3.2.2 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ごとに分類し、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を受ける可能性がある設備（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 $S_s$ を対象とするが、複数の基準地震動 $S_s$ 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 $S_s$ 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。

### 3.2.3 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 3-2-2 図に示す。

なお、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「最大応答の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）を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本的小おむね弾性範囲でとど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 Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

#### 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、代表的な機種ごとに分類し整理する（第 3-2-2 図①）。

#### ② 構造上の特徴による抽出

機種ごと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 3-2-2 図②）。

#### ③ 発生値の増分による抽出

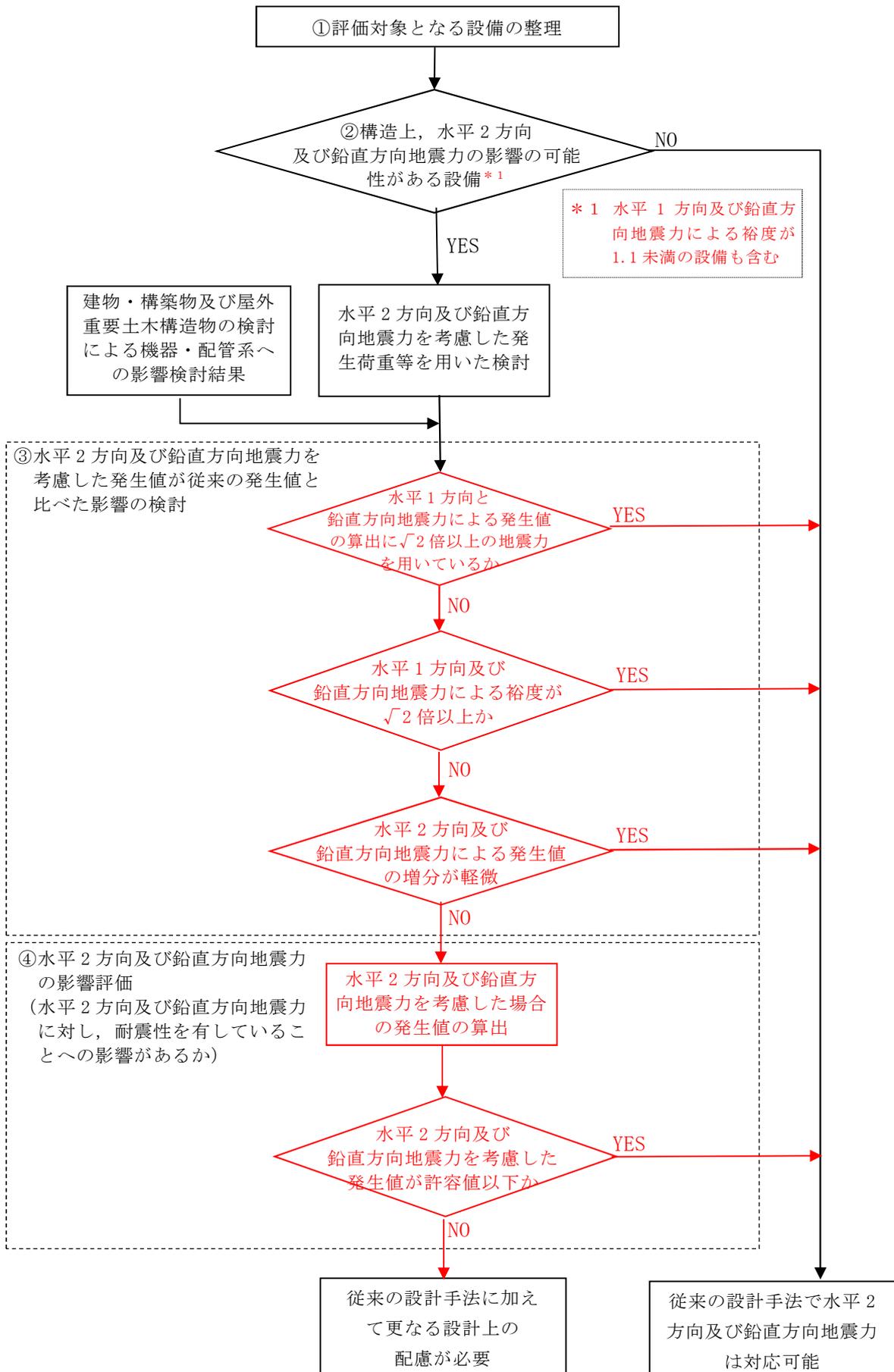
水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

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、機種ごと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 3-2-2 図③）。

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 3-2-2 図④）。



第3-2-2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

### 3.2.4 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ごとに分類した結果を、第3-2-1表に示す。機種ごと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。

#### (1) 水平2方向の地震力が重複する観点

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。以下の場合には、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（別紙4.1参照）。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる機器を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の機器については個別に検討を行うこととする。

- 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

横置き容器等は、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や水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異な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

- 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として分類した。

- 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及び格納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。

スタビライザと同様の支持方式を有する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。

- d. 従来評価において、水平 2 方向の考慮をした評価を行っているもの

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。

## (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

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで優位な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は生じない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動が想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される機器は無かった。

## (3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

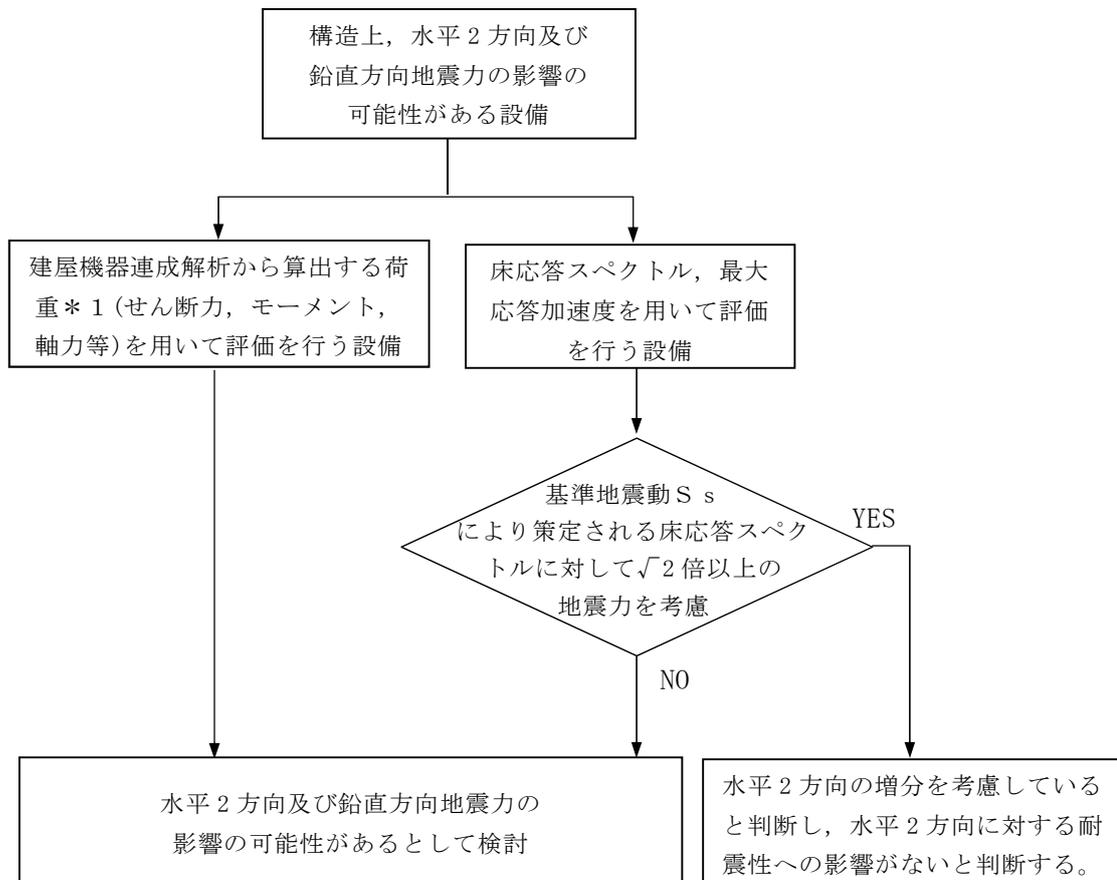
- (1) 及び (2) にて影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1

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設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、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。別紙 4.4 に対象の考え方を示し、別紙 4.2 表 1 に(1)及び(2)において抽出された設備のうち対象とした部位や応力分類の詳細を示す。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guidel.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法により組合せ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- ・設備（部位）によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、設計荷重が上記組合せによる発生値を上回ることを確認したものは、水平 2 方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

今回工認の耐震計算では、一部設備については、材料物性のばらつきの考慮とは別に、設計上の配慮として、建物・構築物、土木構造物及び建屋－機器連成解析モデルにおける地震応答解析から得られる最大応答加速度（ZPA）、設計用床応答曲線に係数倍した耐震評価条件（以下、本資料では「設計用地震力」という。）を用いている。水平 2 方向の地震力は、水平方向の地震力に対する方向性を踏まえれば、水平 1 方向の地震力を $\sqrt{2}$  倍以上した地震力を耐震評価条件とすれば、水平 2 方向の地震力による増分を考慮したといえる。これより、 $\sqrt{2}$  倍以上の設計用地震力を適用した設備については、水平 2 方向及び鉛直方向による地震力に対する影響の懸念はないと整理する。対応方針を第 3-2-3 図に示す。



\* 1 : 時刻歴応答解析を適用することによる配慮として 1.5 倍している。

第 3-2-3 図 水平 1 方向及び鉛直方向地震力における $\sqrt{2}$  倍以上考慮時における対応方針

### 3.2.5 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

(追而)

### 3.2.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.4(1)及び(2)による影響を整理した結果を別紙 4.2 に、3.2.4(3) による影響を整理した結果を別紙 4.3 に示す。なお、別紙 4.3 では、別紙 4.2 にて影響ありとされた設備、又は裕度が 1.1 未満の設備を抽出して記載しているが、応答軸が明確な設備、設計上の配慮として $\sqrt{2}$  倍以上の設計用地震力を適用している設備については耐震性への影響が懸念されないものとして整理している。また、水平 2 方向の地震力を組み合わせる場合、発生応力は最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法では最大 $\sqrt{2}$  倍、組合せ係数法で最大 1.4 倍となるため、裕度 (=許容値/発生値) が $\sqrt{2}$  以上ある設備については、水平 2 方向の地震力による影響の評価は不要とし、別紙 4.3 には記載していない。

### 3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

別紙 4.2 において抽出された設備について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値 (発生荷重, 発生応力, 応答加速度) を以下の方法により算出する。発生値の算出における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法を適用する。

#### (1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平 2 方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

$$\text{水平 2 方向発生値} = \sqrt{\{(\text{NS 方向発生値})^2 + (\text{EW 方向発生値})^2 + (\text{UD 方向発生値})^2\}}$$

- ・水平 1 方向と鉛直方向の地震力を組合せた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせる水平 2 方向を考慮

した発生値の算出を行う。

水平 2 方向発生値 =  $\sqrt{\{(NS+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2 + (EW+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2\}}$

- ・ 水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平 2 方向発生値 =  $\sqrt{\{(NS+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2 + (NS+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2\}}$

または、 $\sqrt{\{(EW+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2 + (EW+UD \text{ 方向地震力による発生値})^2\}}$

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・ 発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。
- ・ 材料物性のばらつきを考慮して地震力を係数倍している場合、材料物性のばらつきを考慮した地震力で算出する。

### 3.2.8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

別紙 4.3 において、水平 2 方向での発生値の増分の影響が無視できないと整理した設備について、3.2.7 項の影響評価条件において算出した発生値に対して設備の耐震性への影響を確認する。評価した内容を設備（部位）毎に示し、その影響評価結果については重大事故等の状態も考慮した結果について別紙 4.4 に示す。

### 3.2.9 まとめ

機器・配管系において、水平 2 方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、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影響を評価した。その結果、従来設計の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、従来設計の発生値をそのまま用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、鉛直方向地震力による応力成分が重複されたまま水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているなど簡易的に保守側となる扱いをしている。また、従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を応答軸方向に入力している設備は上記以外にも保守側となる要因を含んでいる。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

第3-2-1表 ①水平2方向入力の影響検討対象設備

設 備		部 位
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 下部胴 下部胴
	シュラウドサポート	レグ シリンダプレート 下部胴
	上部格子板	グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム 支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具
	制御棒案内管	長手中央部 下部溶接部
原子炉压力容器	胴板 下鏡	鏡板 下鏡 下鏡と胴板の接合部 下鏡とスカートとの接合部
	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント
	中性子計測ハウジング貫通部	ハウジング
	ノズル	各部位
	ブラケット類	原子炉压力容器スタビライザブラケット スチームドライヤサポートブラケット 炉心スプレイブラケット 給水スパーチャブラケット
原子炉压力容器支持構造物	原子炉压力容器支持スカート	スカート
	原子炉压力容器基礎ボルト	基礎ボルト

設 備		部 位
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	各部位
	原子炉格納容器スタビライザ	ボルト
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム ボルト
原子炉圧力容器 内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート 耐震用ブロック
	気水分離器及びスタン ドパイプ	各部位
	シュラウドヘッド 中性子束案内管	各部位
	スパージャ 炉内配管	各部位
	ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライサブレース
	貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材 基礎ボルト ラック取付ボルト
乾式貯蔵容器	各部位	
四脚たて置き円筒形容器	胴板	
	脚	
横置円筒形容器	胴板	
	脚	
	基礎ボルト	
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	
	基礎ボルト 取付ボルト	
ECCS ストレーナ	各部位	

設 備		部 位
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 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
制御棒駆動機構		各部位
水圧制御ユニット		フレーム
		基礎ボルト
平底たて置円筒容器		胴板
		基礎ボルト
核計装設備		各部位
伝送器（壁掛）		取付ボルト
伝送器（円形吊下）		取付ボルト
制御盤		取付ボルト
原子炉格納容器	サプレッションチェン バ底部ライナ	ライナプレート リングガータ部
	ドライウェル円錐部及 びサプレッションチェ ンバ円筒部シェル部及 びサンドクッション部	各部位
	ドライウェルビームシ ート	各部位
		ビームシート
	ドライウェル上部シア ラグ及びスタビライザ ドライウェル下部シア ラグ及びスタビライザ	各部位
		上部シアラグと格納容器胴との接合部 下部シアラグと格納容器胴との接合部
	機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サプレッション・チェ ンバアクセスハッチ	本体と補強板との接合部 補強板と格納容器胴一般部との接合部
	原子炉格納容器胴アン カー部	各部位
		コンクリート
	配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの接合 部
電気配線貫通部	スリーブ付根部	
	補強板付根部	

設 備	部 位
ダイヤフラムフロア	基礎コンクリートスラブ
	大梁 小梁
	柱
	シアコネクタ
ベント管	上部 ブレイジング部
格納容器スプレイヘッダ	スプレイ管部 ティー部 案内管部
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト
プレート式熱交換器	側板
	脚
	基礎ボルト
ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板
	振れ止め シアラグ
	取付ボルト
その他電源設備	取付ボルト
配管本体, サポート (多質点梁モデル解析)	配管, サポート
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
通信連絡設備 (アンテナ)	基礎ボルト
水位計	取付ボルト
温度計	溶接部
監視カメラ	取付ボルト
	据付部材
貫通部止水処置	シール材
浸水防止蓋	蓋
	基礎ボルト
逆流防止逆止弁	各部位
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体
原子炉本体の基礎	円筒部
	中間スラブ

設 備	部 位
	下層円筒基部
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
	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)
	吊具
建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	落下防止金具
	トロリストッパ
	トロリ
	吊具
原子炉遮蔽	一般胴部
	開口集中部

## 別紙4.1 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，上部シアラグ及び下部シアラグ）
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉格納容器スタビライザ）
3. 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）
4. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）
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）
6. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）
7. 水平2方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）
8. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）
9. 水平2方向同時加振の影響評価について（動的機能維持）
10. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）

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、上部シアラグ及び下部シアラグ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPVスタビライザ」という。）（第1-1図）、上部シアラグ（第1-2図）及び下部シアラグ（第1-3図）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。

RPVスタビライザと上部シアラグは、地震時の水平方向荷重を周方向45° 間隔で8体の構造部材にて支持する同様の設計である。また、下部シアラグは20° 間隔で18体の構造部材にて支持する設計である。RPVシアラグ、上部シアラグと下部シアラグについても構造部材の数は異なるが、周方向に等間隔で支持する同様の設計であるため、以下水平2方向同時加振の影響については、RPVスタビライザを代表に記載する。

1.2 現行評価の手法

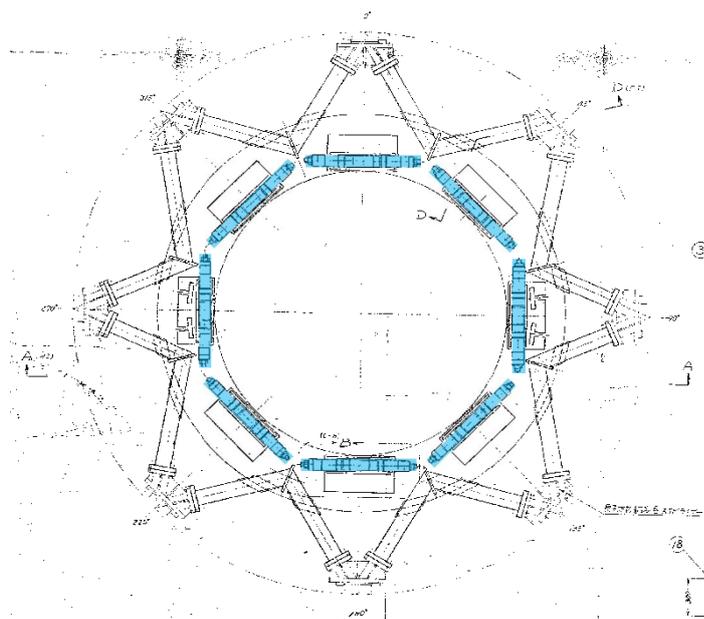
RPVスタビライザは、周方向45° 間隔で8体配置されており、第1-4図に地震荷重と各RPVスタビライザが分担する荷重の関係を示す。

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。

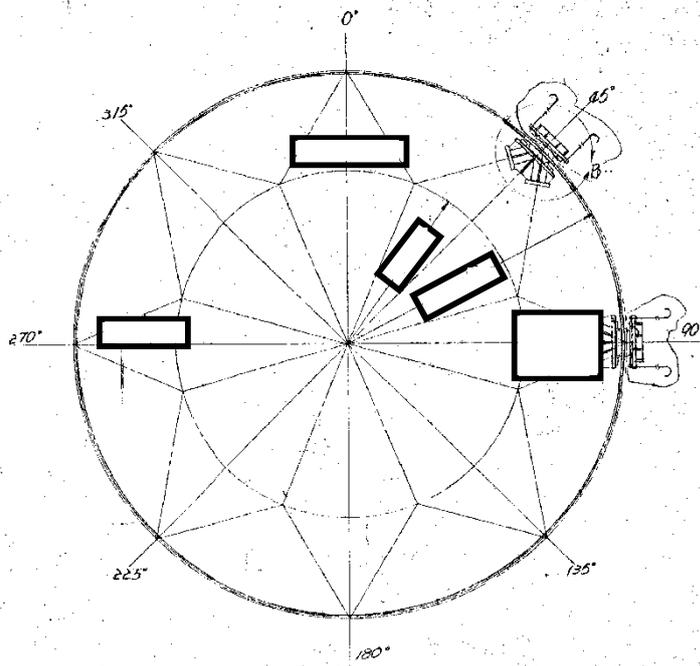
$$f = \text{MAX} \left( \frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

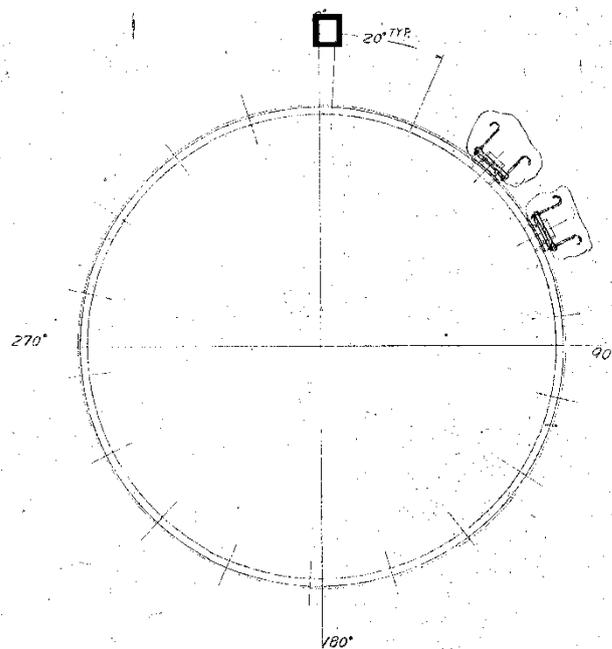
- f : RPVスタビライザ1個が受けもつ最大地震荷重
- $F_X$  : X方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重
- $F_Y$  : Y方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重



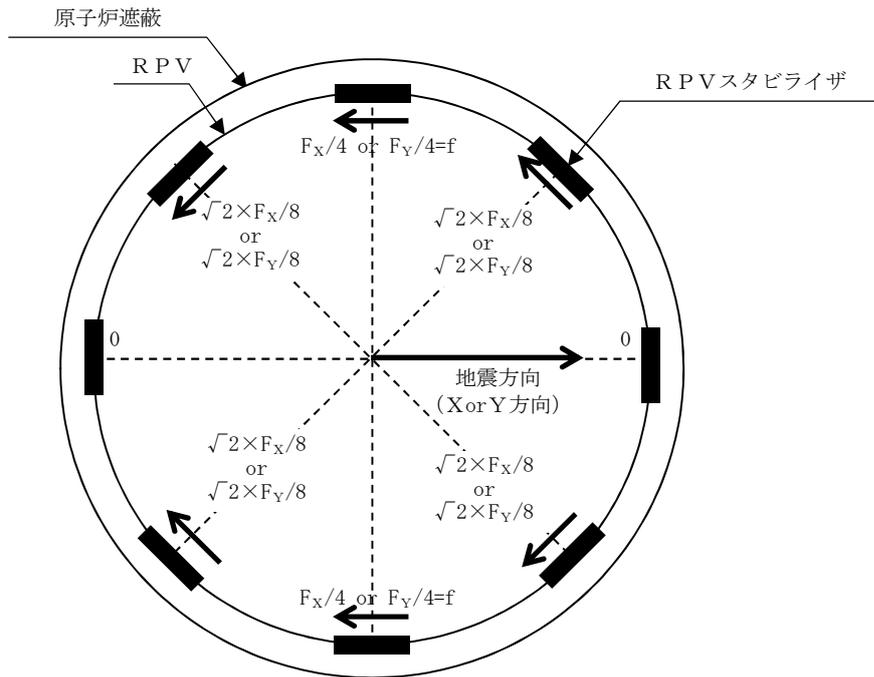
第1-1図 原子炉圧力容器スタビライザ



第1-2図 上部シアラグ



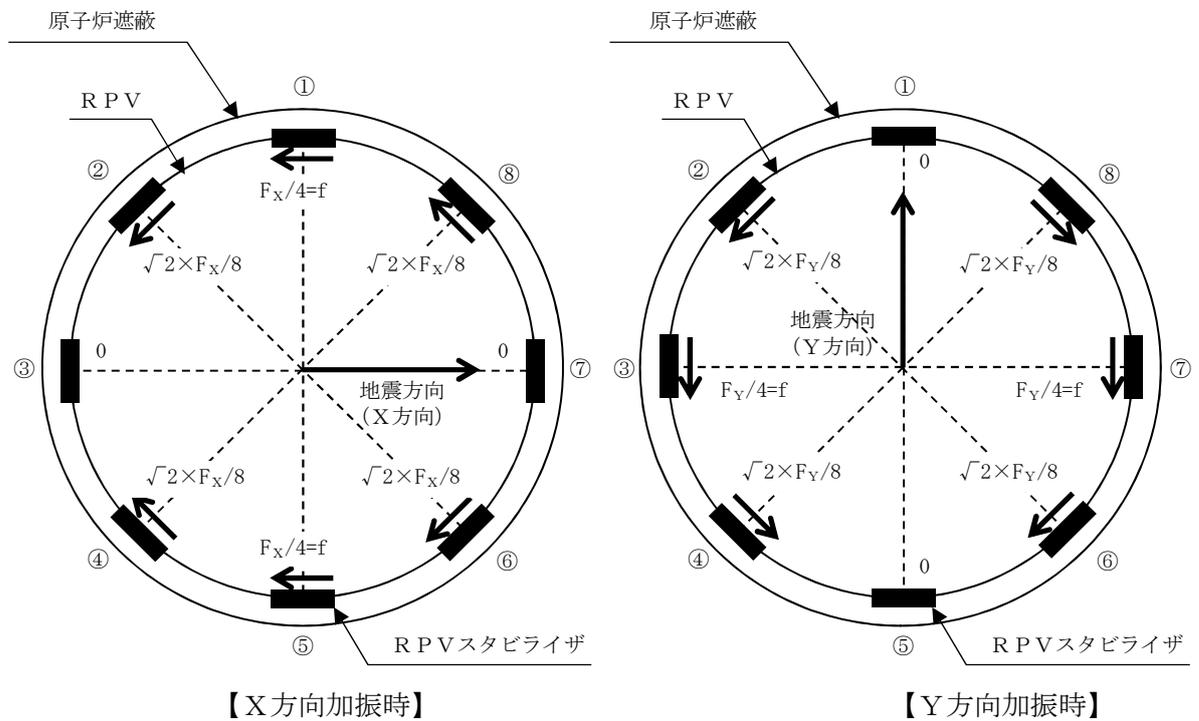
第1-3図 下部シアラグ



第1-4図 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ける荷重分担について、第1-5図及び第1-1表に示す。第1-5図及び第1-1表に示すとおり、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ることが分かる。



第1-5図 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2方向）

第1-1表 原子炉压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	
		X方向	Y方向
①	0°	$F_X/4$	0
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
③	90°	0	$F_Y/4$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑤	180°	$F_X/4$	0
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑦	270°	0	$F_Y/4$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
最大		$F_X/4$	$F_Y/4$

水平2方向地震力の組合せの考慮については、第1-1表に示した水平方向反力を用いてX方向・Y方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の2つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を単純和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したS R S S法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果をS R S S法にて合成する。

上記検討の結果を第1-2表に示す。いずれの検討方法を用いても、水平2方向反力の組合せ結果の最大値は $f$ となり、これは水平1方向反力の最大値と同値である。

したがって、RPVスタビライザに対して水平2方向の影響はない。

第1-2表 RPVスタビライザ各点における水平2方向の考慮

		①組合せ係数法を用いた 水平2方向反力の組合せ ( $F_Y=0.4F_X$ )	②S R S S法を用いた 水平2方向反力の組合せ ( $F_Y=F_X$ )
①	0°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
③	90°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 = f$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
⑤	180°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
⑦	270°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 = f$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
最大		$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$

## 2. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉格納容器スタビライザ）

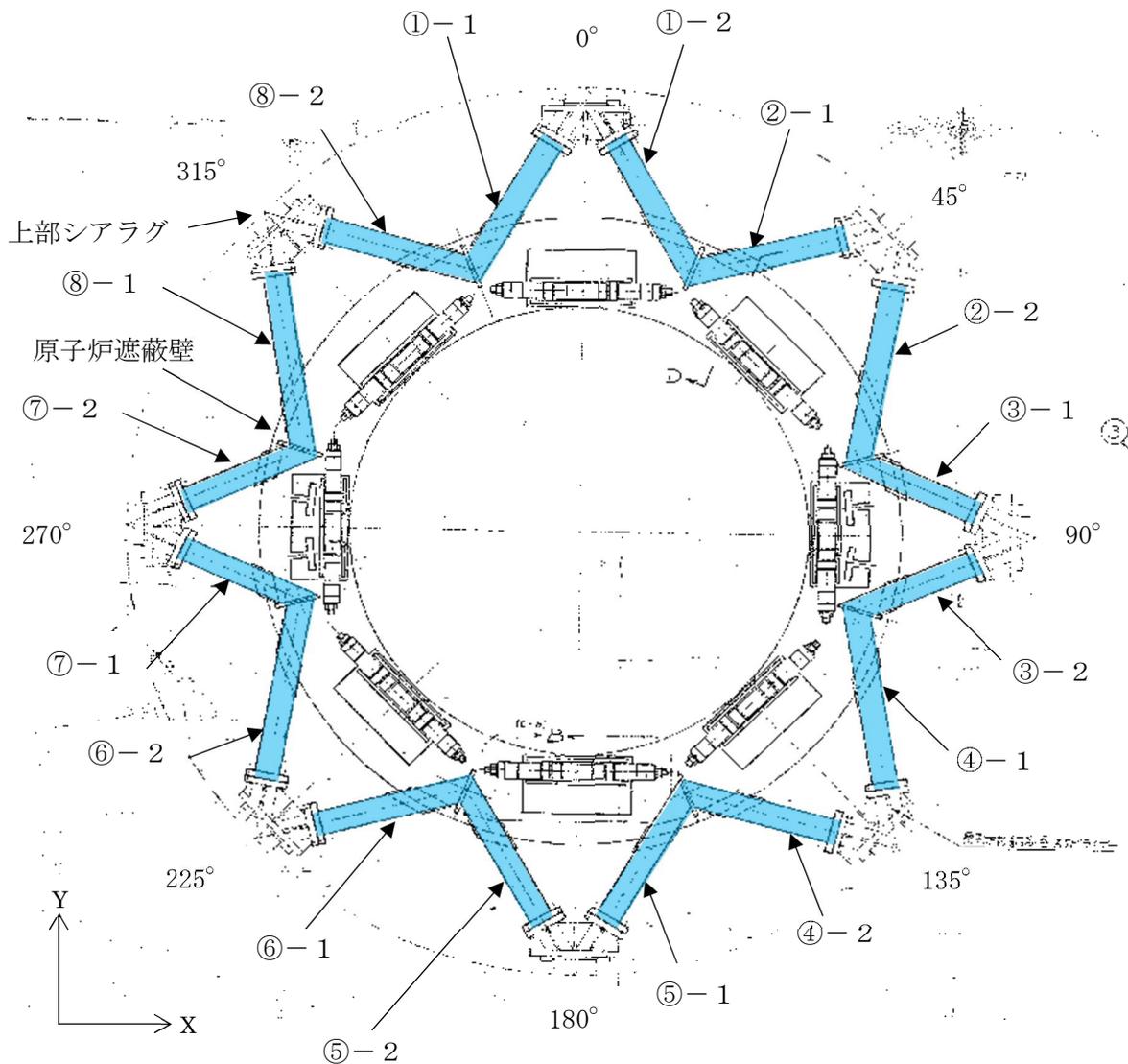
### 2.1 はじめに

本項は、原子炉格納容器スタビライザトラス（以下「PCV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。

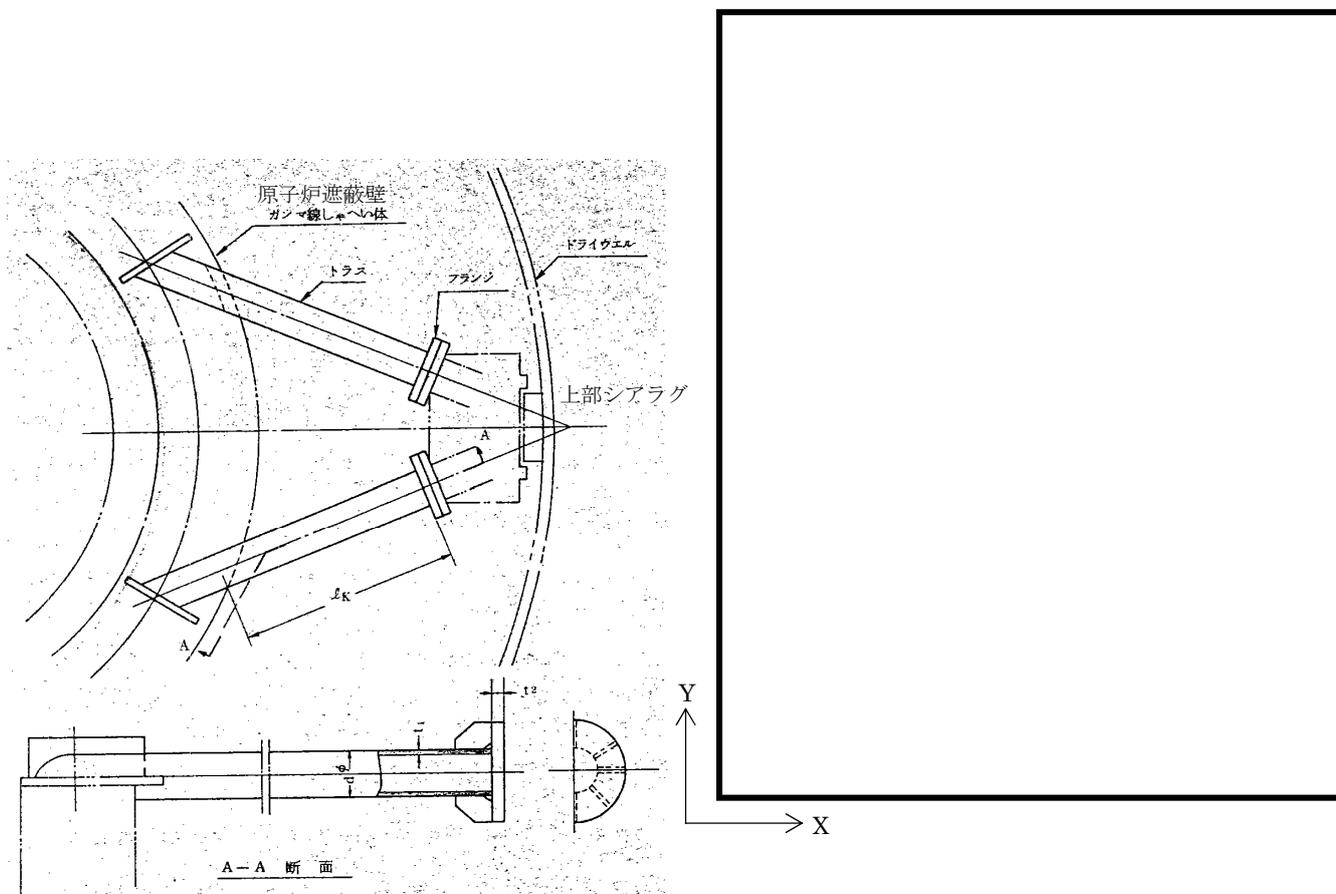
### 2.2 現行評価の手法

PCVスタビライザは、16体配置されており（第2-1図 参照）、原子炉遮蔽壁と上部シアラグを接続している（第2-2図 参照）。第2-3図に地震荷重と各上部シアラグが分担する荷重の関係を示す。

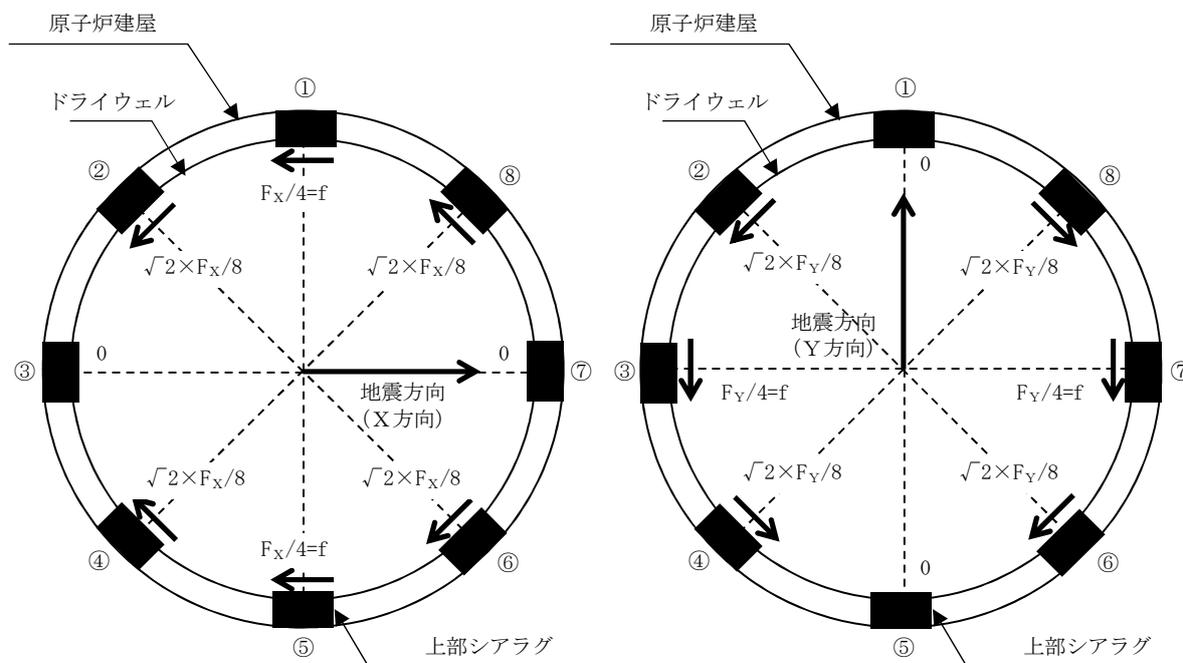
水平方向の地震荷重に関して現行評価では、上部シアラグ6体に各水平方向地震力（X方向、Y方向）の最大地震力が負荷されるものとしており、それに接続されるPCVスタビライザに荷重が作用する。



第1-1図 原子炉格納容器スタビライザ



第 2-2 図 原子炉格納容器スタビライザの形状



第 2-3 図 上部シアラグの水平地震荷重の分担 (水平 1 方向)

### 2.3 水平2方向同時加振の影響

PCVスタビライザが、水平2方向の地震力を受けた場合における荷重について、以下及び第2-1表に示す。第1-1表に示すとおり、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ることが分かる。

- PCVスタビライザ①-1/2, ⑤-1/2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_1 = \boxed{\phantom{000}}$$

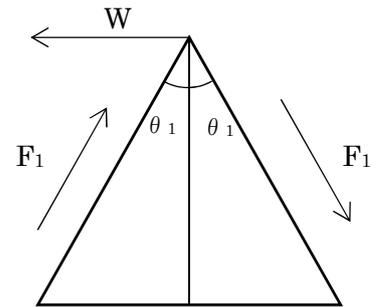
$$F_1 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot W$$

方向別地震荷重  $F_x$  がかかる場合

$$F_1 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_x$$

方向別地震荷重  $F_y$  がかかる場合

$$F_1 = 0$$



- PCVスタビライザ②-1, ④-2, ⑥-1, ⑧-2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_2 = \boxed{\phantom{000}}$$

$$\theta_5 = \boxed{\phantom{000}}$$

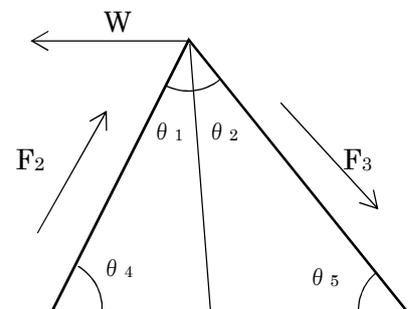
$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot W$$

方向別地震荷重  $F_x$  がかかる場合

$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_x$$

方向別地震荷重  $F_y$  がかかる場合

$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_y$$



- PCVスタビライザ②-2, ④-1, ⑥-2, ⑧-1に発生する荷重について

ここで

$$\theta_4 = \boxed{\phantom{000}}$$

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot W$$

方向別地震荷重  $F_x$  がかかる場合

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_x$$

方向別地震荷重  $F_Y$  がかかる場合

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$$

・ PCV スタビライザ③-1/2, ⑦-1/2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_3 = \boxed{\phantom{0000}}$$

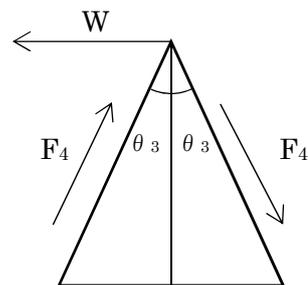
$$F_4 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot W$$

方向別地震荷重  $F_X$  がかかる場合

$$F_4 = 0$$

方向別地震荷重  $F_Y$  がかかる場合

$$F_4 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$$



第2-1表 原子炉格納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			
	X 方向		Y 方向	
①-1	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
①-2	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
②-1	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
②-2	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
③-1	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
③-2	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
④-1	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
④-2	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑤-1	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
⑤-2	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
⑥-1	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑥-2	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑦-1	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
⑦-2	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
⑧-1	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑧-2	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
最大				

水平2方向地震力の組合せの考慮については、第2-1表に示した水平方向反力を用いてX方向・Y方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の2つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を単純和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したS R S S法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果をS R S S法にて合成する。

上記検討の結果を第2-2表に示す。いずれの検討方法を用いても、水平2方向反力の組合せ結果の最大値は           $F_X$ となり、これは水平1方向反力の最大値と同値である。

したがって、PCVスタビライザに対して水平2方向の影響はない。

第2-2表 PCVスタビライザ各点における水平2方向の考慮

位置	①組合せ係数法を用いた 水平2方向反力の組合せ ( $F_Y=0.4 F_X$ )	②S R S S法を用いた 水平2方向反力の組合せ ( $F_Y=F_X$ )
①-1		
①-2		
②-1		
②-2		
③-1		
③-2		
④-1		
④-2		
⑤-1		
⑤-2		
⑥-1		
⑥-2		
⑦-1		
⑦-2		
⑧-1		
⑧-2		
最大		

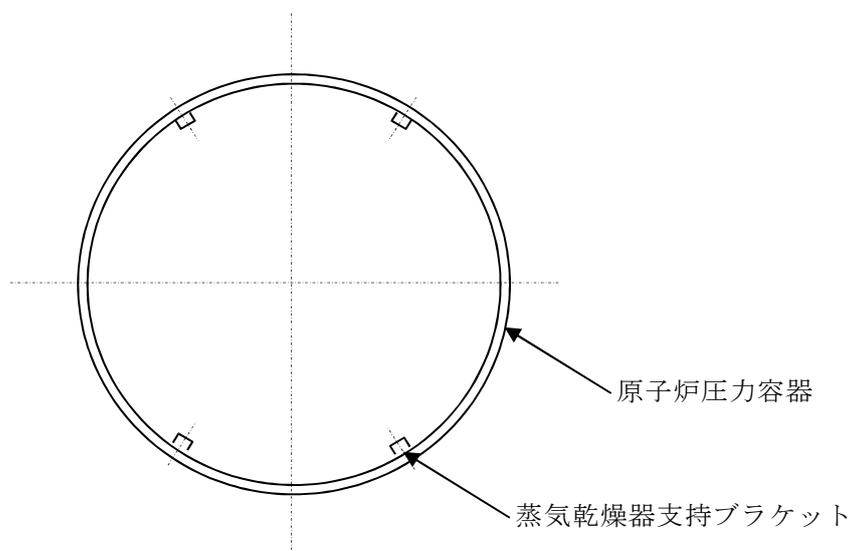
### 3. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

#### 3.1 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。

#### 3.2 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、位置関係は第2-1図の通りとなる。



第3-1図 蒸気乾燥器支持ブラケット配置図

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ユニットを支持する設計である。しかし、耐震用ブロックと蒸気乾燥器支持ブラケットの間にはクリアランスが存在し、水平地震動の入力方向によっては、4体のうち対角のブラケット2体のみがその荷重を負担する可能性があるため、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。

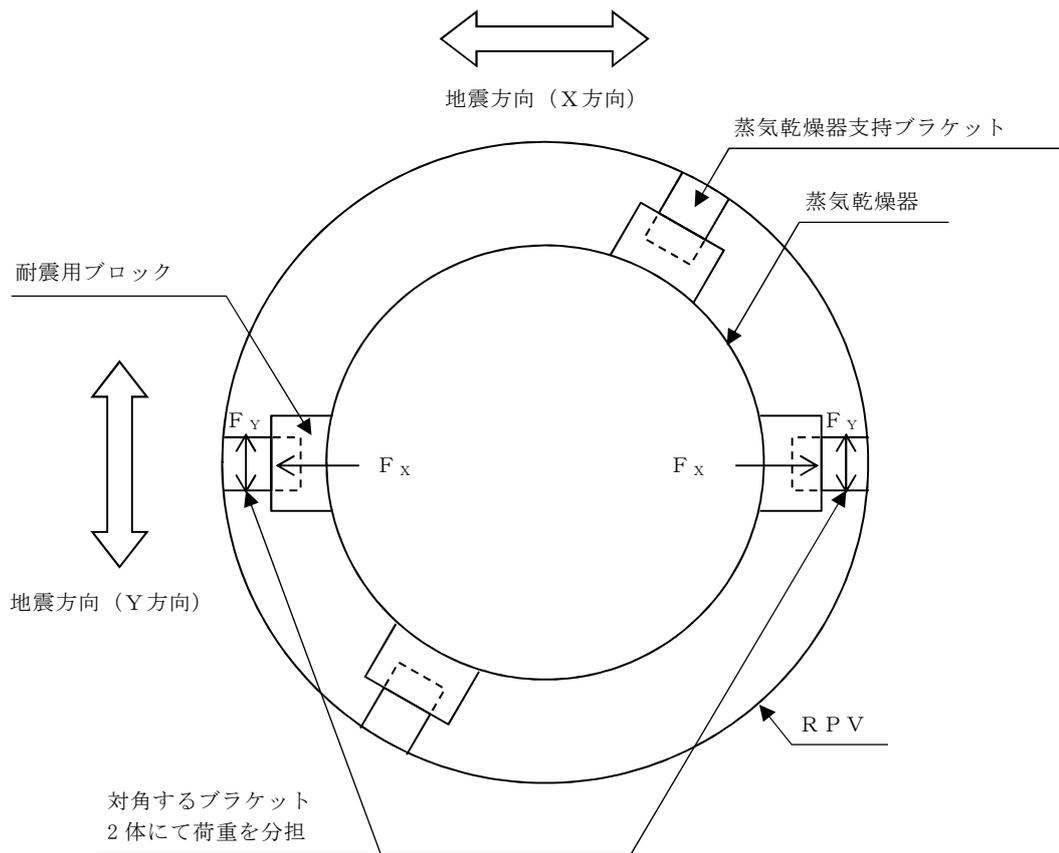
第3-2図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$f = \text{MAX}\left(\frac{F_X}{2}, \frac{F_Y}{2}\right)$$

f：蒸気乾燥器ユニットから受ける地震荷重

$F_X$ ：X方向地震よりブラケット全体に発生する荷重

$F_Y$ ：Y方向地震よりブラケット全体に発生する荷重



第3-2図 評価におけるブラケットの負荷状態

### 3.3 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、水平2方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震ブロックの接触状態として想定される最も厳しい状態として、4体のブラケットのうち2体で荷重を支持すると評価しており、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。

#### 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形容器に対する影響検討をFEMモデルを用いた解析で確認した結果をまとめたものである。

容器については、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み合わせても影響軽微としている。本項では解析にて影響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。

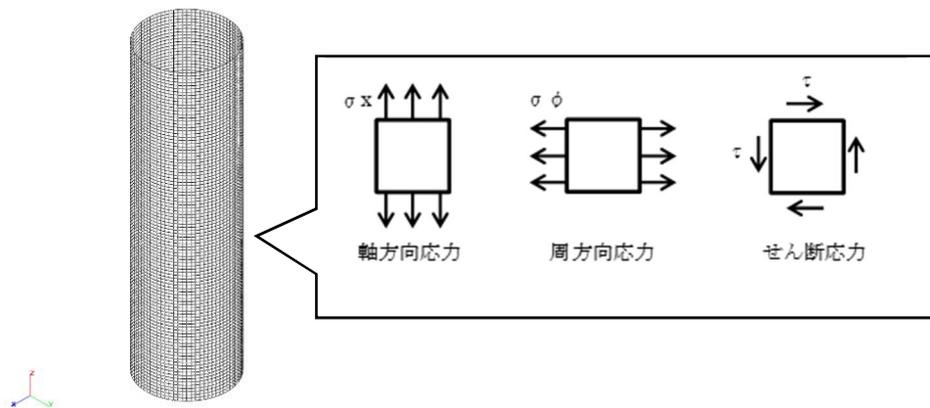
具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- ① X方向地震とY方向地震とで最大応力点が異なることへの確認
- 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み合わせた場合に影響のあるような点があるかを確認

##### 4.2 影響評価検討

評価検討モデルを第3-1図に示す。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)へ入力し、周方向の0°方向から90°方向にかけて応力分布を確認する。また、水平1方向地震による応力を用いて水平2方向地震による応力を評価する。
- ・ 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
- ・ 解析方法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における応力
- ・ 水平2方向同時加振時の組合せ方法
  - 組合せ係数法(最大応答の非同時性を考慮)
  - S R S S法(最大応答の非同時性を考慮)



第4-1図 評価検討モデル

### 4.3 検討結果

#### 4.3.1 軸方向応力 $\sigma_x$

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンタ図を第4-2図に示す。

この結果により、最大応力点は $0^\circ / 180^\circ$ 位置に発生していることが分かる。円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから、Y方向から水平地震力を入力した場合においても、最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 位置に発生することは明白であるため、水平方向地震動の入力方向により最大応力点は異なる。

また、第3-1表にX方向、Y方向、2方向入力時の軸方向応力分布を示す。

中間部 ( $0^\circ / 90^\circ$  方向以外) において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力  $\sigma_{x,c}(\theta)$  及び  $\sigma_{x,s}(\theta)$  は、水平1方向入力時の軸方向応力解析結果 (X方向入力時応力  $\sigma_{x,X}(\theta)$ 、Y方向入力時応力  $\sigma_{x,Y}(\theta)$ ) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

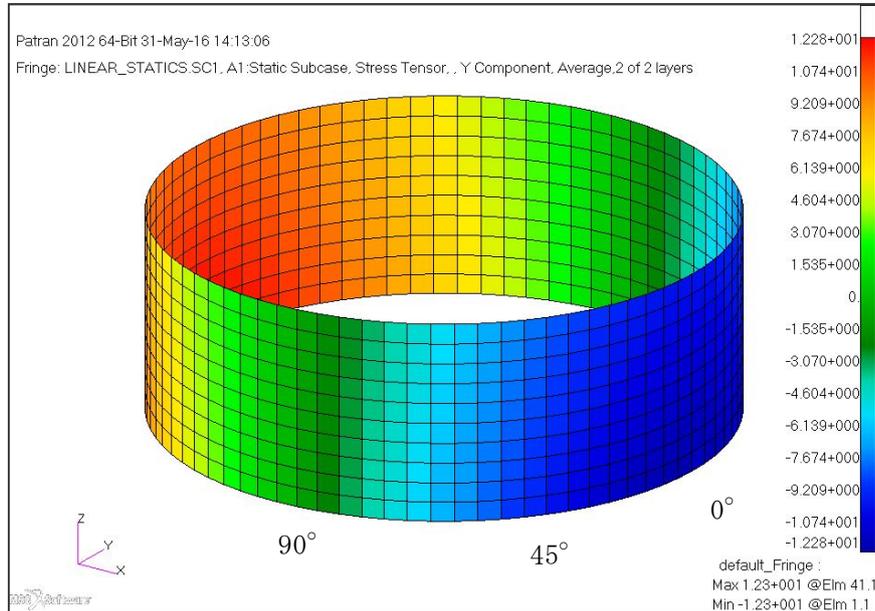
ただし、 $\sigma_{x,c(X)}(\theta)$  は  $\sigma_{x,X}(\theta)$  に1、 $\sigma_{x,Y}(\theta)$  に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{x,c(Y)}(\theta)$  は  $\sigma_{x,Y}(\theta)$  に1、 $\sigma_{x,X}(\theta)$  に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のよう表わされる。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{x,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{x,Y}(\theta)$$

< S R S S 法 >

$$\sigma_{x,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{x,X}(\theta)^2 + \sigma_{x,Y}(\theta)^2}$$



第 4 - 2 図 水平地震時軸方向応力コンタ図

第 4 - 1 表 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,X}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,Y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{x,c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{x,s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(22.5^\circ) = 13.22$ $\sigma_{x,c(Y)}(22.5^\circ) = 9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{x,c(X)}(45^\circ) = 12.15$ $\sigma_{x,c(Y)}(45^\circ) = 12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(67.5^\circ) = 9.24$ $\sigma_{x,c(Y)}(67.5^\circ) = 13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(90^\circ) = 4.91$ $\sigma_{x,c(Y)}(90^\circ) = 12.28$	12.28

#### 4.3.2 周方向応力 $\sigma_{\phi}$

容器基部における水平地震時の周方向応力コンタ図を第4-3図に、周方向応力分布を第4-2表に示す。軸方向応力同様に最大応力点は $0^{\circ} / 180^{\circ}$ 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る。

また、2方向入力時の影響についても軸方向応力と同様に中間部 ( $0^{\circ} / 90^{\circ}$  方向以外) において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力  $\sigma_{\phi,c}(\theta)$  及び  $\sigma_{\phi,s}(\theta)$  は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果 (X方向入力時応力  $\sigma_{\phi,X}(\theta)$ ), Y方向入力時応力  $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$ ) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{\phi,c}(\theta) = \max(\sigma_{\phi,c(X)}(\theta), \sigma_{\phi,c(Y)}(\theta))$$

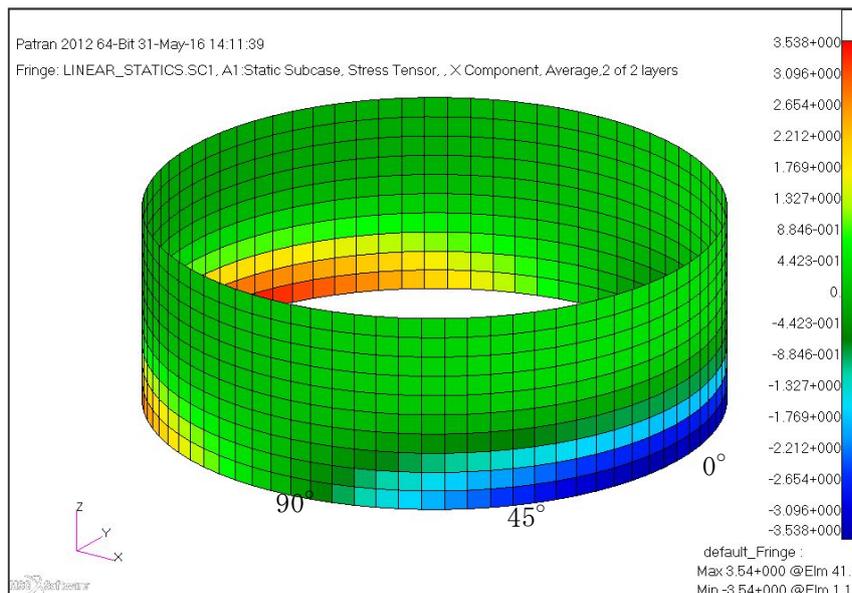
ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$  は  $\sigma_{\phi,X}(\theta)$  に1、 $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$  に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$  は  $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$  に0.4、 $\sigma_{\phi,X}(\theta)$  に1の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表わされる。

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

<S R S S法>

$$\sigma_{\phi,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{\phi,X}(\theta)^2 + \sigma_{\phi,Y}(\theta)^2}$$



第4-3図 水平地震時周方向応力コンタ図

第4-2表 水平地震時の周方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi,X}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{\phi,s}(\theta)$
0° 方向	3.54	0.00	3.54 $\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ)=3.54$ $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ)=1.42$	3.54
22.5° 方向	3.27	1.35	3.81 $\sigma_{\phi,c(X)}(22.5^\circ)=3.81$ $\sigma_{\phi,c(Y)}(22.5^\circ)=2.66$	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.50 $\sigma_{\phi,c(X)}(45^\circ)=3.50$ $\sigma_{\phi,c(Y)}(45^\circ)=3.50$	3.54
67.5° 方向	1.35	3.27	3.81 $\sigma_{\phi,c(X)}(67.5^\circ)=2.66$ $\sigma_{\phi,c(Y)}(67.5^\circ)=3.81$	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54 $\sigma_{\phi,c(X)}(90^\circ)=1.42$ $\sigma_{\phi,c(Y)}(90^\circ)=3.54$	3.54

#### 4.3.3 せん断応力 $\tau$

容器基部における水平地震時のせん断応力コンタ図を第4-4図に、周方向応力分布を第4-3表に示す。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°/270°位置に生じているが、最大応力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る。

また、2方向入力時の影響についても同様に中間部(0°/90°方向以外)において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\tau_c(\theta)$ 及び $\tau_s(\theta)$ は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果(X方向入力時応力 $\tau_X(\theta)$ )、Y方向入力時応力 $\tau_Y(\theta)$ )により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\tau_c(\theta) = \max(\tau_{c(X)}(\theta), \tau_{c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_X(\theta)$ に1、 $\tau_Y(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_Y(\theta)$ に1、 $\tau_X(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表

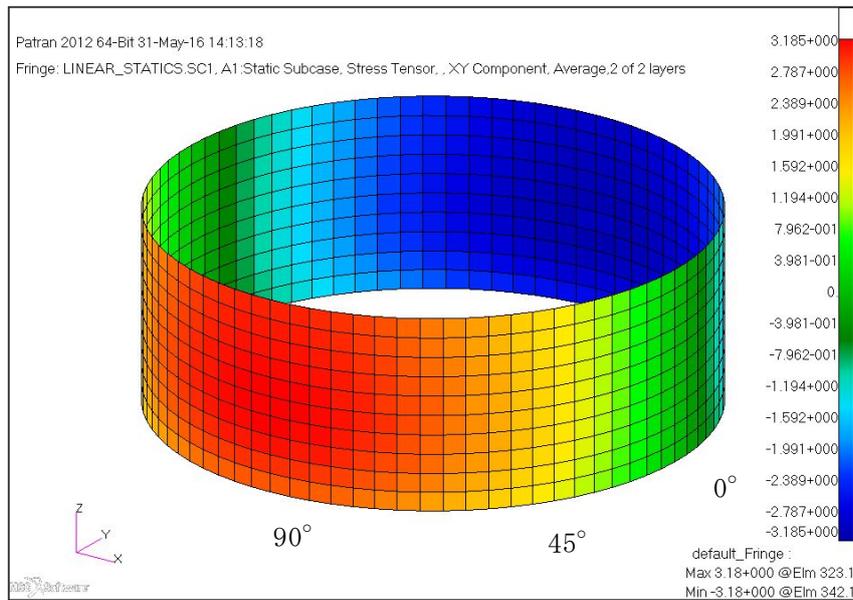
わされる。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_X(\theta) + \tau_Y(\theta)$$

<SRSS法>

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_X(\theta)^2 + \tau_Y(\theta)^2}$$



第4-4図 水平地震時せん断応力コンタ図

第4-3表 水平地震時のせん断応力分布

角度	X方向入力時 応力(MPa) $\tau_x(\theta)$	Y方向入力時 応力(MPa) $\tau_y(\theta)$	2方向入力時応力(MPa)	
			組合せ係数法 $\tau_c(\theta)$	S R S S 法 $\tau_s(\theta)$
0° 方向	0.00	2.70	2.70 $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$	2.70
22.5° 方向	1.03	2.49	2.91 $\tau_{c(X)}(22.5^\circ)=2.03$ $\tau_{c(Y)}(22.5^\circ)=2.91$	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.67 $\tau_{c(X)}(45^\circ)=2.67$ $\tau_{c(Y)}(45^\circ)=2.67$	2.70
67.5° 方向	2.49	1.03	2.91 $\tau_{c(X)}(67.5^\circ)=2.91$ $\tau_{c(Y)}(67.5^\circ)=2.03$	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70 $\tau_{c(X)}(90^\circ)=2.70$ $\tau_{c(Y)}(90^\circ)=1.08$	2.70

#### 4.3.4 組合せ応力強さ $\sigma$

胴の組合せ応力強さ  $\sigma$  は、第4-1表から第4-3表に示したX方向、Y方向、2方向入力時それぞれの軸方向応力  $\sigma_x$ 、周方向応力  $\sigma_\phi$  及びせん断応力  $\tau$  を用いて算出する。

<水平1方向のうち、X方向入力時の組合せ応力強さ  $\sigma_x(\theta)$ >

主応力  $\sigma_{1,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,X}(\theta)$  は以下のとおり表わされる。

$$\sigma_{1,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{2,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{3,X}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ  $\sigma_x(\theta)$  は以下のとおりとなる。

$$\sigma_x(\theta) = \max(|\sigma_{1,X}(\theta) - \sigma_{2,X}(\theta)|, |\sigma_{2,X}(\theta) - \sigma_{3,X}(\theta)|, |\sigma_{3,X}(\theta) - \sigma_{1,X}(\theta)|)$$

なお、Y方向入力時の組合せ応力強さ  $\sigma_y(\theta)$  は、上記の式におけるXをYに置き換えた式により算出する。

ここで、 $\theta=0^\circ$  の場合、第4-1表より  $\sigma_{x,X}(0^\circ)=12.28$ 、第4-2表より  $\sigma_{\phi,X}(0^\circ)=3.54$ 、第4-3表より  $\tau_x(0^\circ)=0$  であるため、

$$\sigma_{1,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2}\} = 12.28$$

$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2}\} = 3.54$$

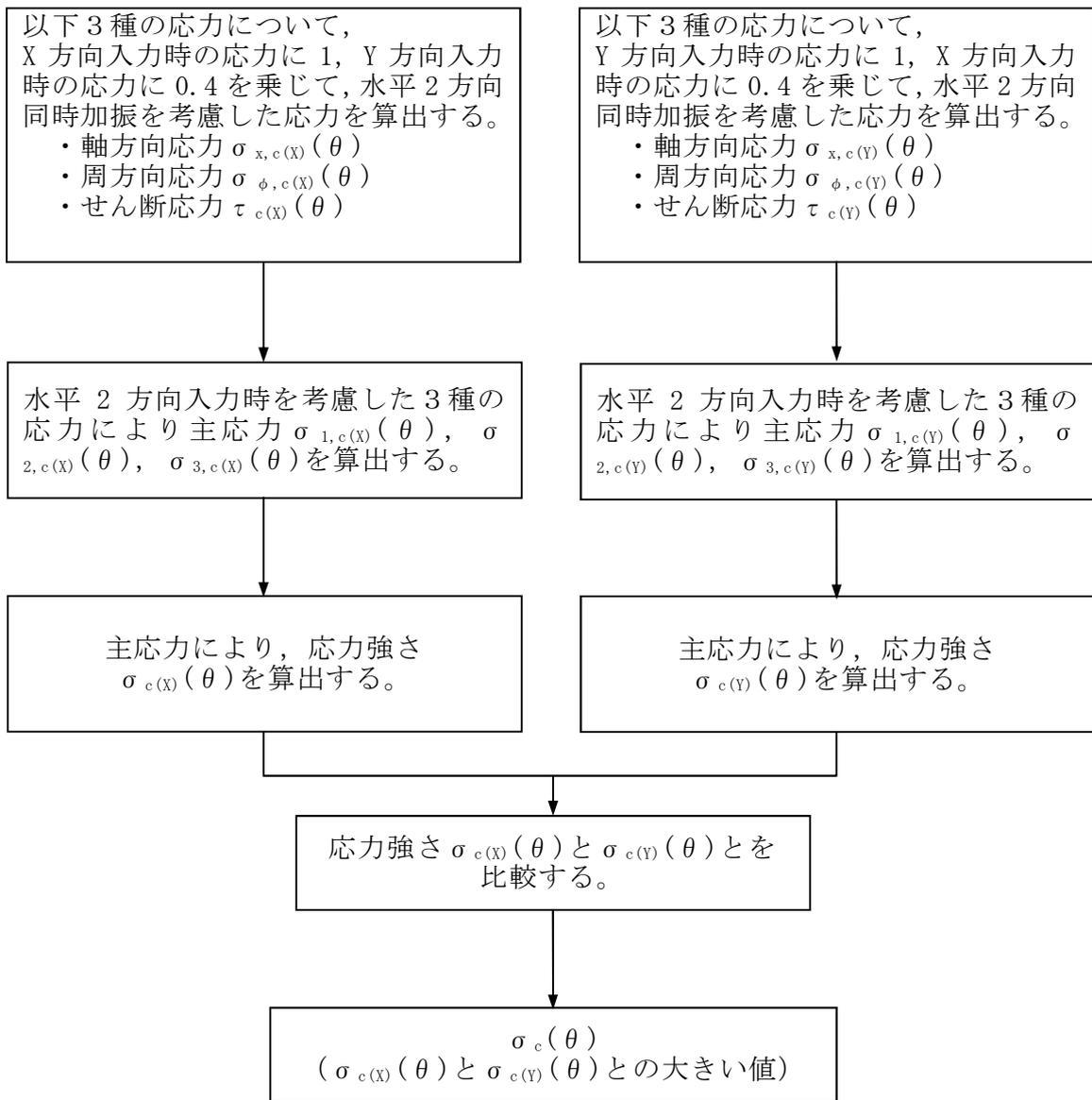
$$\sigma_{3,x}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ) = \max(|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0|, |0 - 12.28|) = 12.28$$

<組合せ係数法による水平2方向入力時の組合せ応力強さ  $\sigma_c(\theta)$ >

$\sigma_c(\theta)$ の算出フローを第3-5図に示す。



第4-5図 組合せ係数法による組合せ応力算出フロー

X方向入力時の応力に1、X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向入力時を考慮した応力は以下の通りとする。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

水平2方向入力時を考慮した各応力により主応力  $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$  は以下のとおり表わされる。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{2,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{3,c(X)}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により、応力強さ  $\sigma_{c(X)}(\theta)$  は以下の通りとなる。

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \max(|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)|)$$

同様に、Y方向入力時の応力に1、X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向入力時を考慮した応力により、応力強さ  $\sigma_{c(Y)}(\theta)$  を算出する。

この応力強さ  $\sigma_{c(X)}(\theta)$  と  $\sigma_{c(Y)}(\theta)$  とを比較し、大きいほうの値を  $\sigma_c(\theta)$  とする。

$$\sigma_c(\theta) = \max(\sigma_{c(X)}(\theta), \sigma_{c(Y)}(\theta))$$

ここで、 $\theta = 0^\circ$  の場合、第4-1表より  $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ 、第4-2表より

$\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ) = 3.54$ 、第4-3表より  $\tau_{c(X)}(0^\circ) = 1.08$  であるため、

$$\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 12.41$$

$$\sigma_{2,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 3.41$$

$$\sigma_{3,c(X)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、応力強さ  $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$  は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \max(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0|, |0 - 12.41|) = 12.41$$

同様に、第4-1表より  $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$ 、第4-2表より  $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ) = 1.42$ 、

第4-3表より  $\tau_{c(Y)}(0^\circ) = 2.70$  であるため、

$$\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \} = 6.38$$

$$\sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \} = -0.05$$

$$\sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、応力強さ  $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$  は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \max(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0|, |0 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ  $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$  と  $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$  により、組合せ係数法による水平2方向入力時を考慮した応力強さ  $\sigma_c(0^\circ)$  は、

$$\sigma_c(0^\circ) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS法による水平2方向入力時を考慮した組合せ応力強さ  $\sigma_s(\theta)$ >

主応力  $\sigma_{1,s}(\theta)$ ,  $\sigma_{2,s}(\theta)$ ,  $\sigma_{3,s}(\theta)$  は以下のとおり表わされる。

$$\sigma_{1,s}(\theta) = \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \}$$

$$\sigma_{2,s}(\theta) = \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \}$$

$$\sigma_{3,s}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ  $\sigma_s(\theta)$  は以下の通りとなる。

$$\sigma_s(\theta) = \max(|\sigma_{1,s}(\theta) - \sigma_{2,s}(\theta)|, |\sigma_{2,s}(\theta) - \sigma_{3,s}(\theta)|, |\sigma_{3,s}(\theta) - \sigma_{1,s}(\theta)|)$$

ここで、 $\theta = 0^\circ$  の場合、第4-1表より  $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ 、第4-2表より

$\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$ 、第4-3表より  $\tau_s(0^\circ) = 2.70$  であるため、

$$\sigma_{1,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \} = 13.05$$

$$\sigma_{2,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \} = 2.77$$

$$\sigma_{3,s}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \max(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0|, |0 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$  の場合に、SRSS法、組合せ係数法を用いて算出した応力強さを第4-4表に示す。

第4-4表 S R S S法, 組合せ係数法を用いて算出した応力強さ ( $\theta = 0^\circ$ )

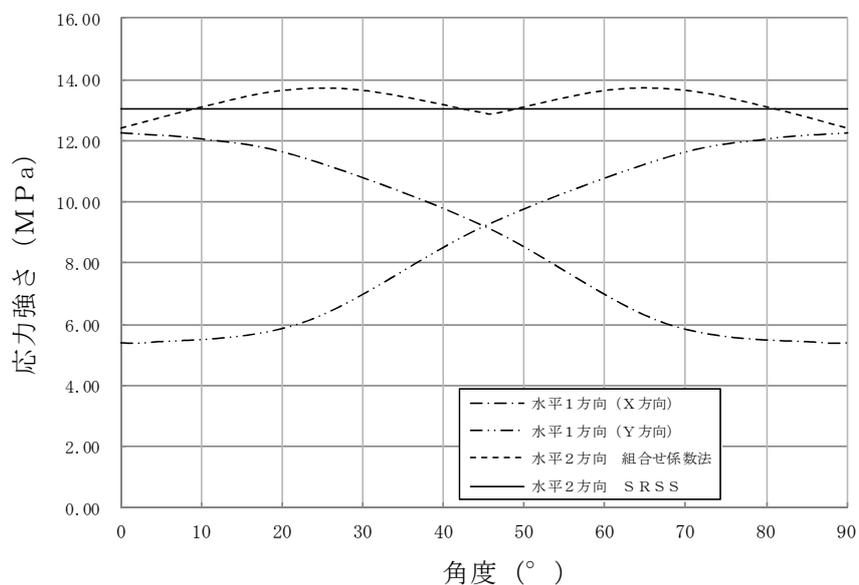
	X	Y	S R S S法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 1.42
$\sigma_\tau(\theta)$	0.00	2.70	$\sqrt{(0.00^2 + 2.70^2)} =$ 2.70	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 1.08	$0.00 \times 0.4 + 2.70 \times 1.0 =$ 2.70
$\sigma_1(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 13.05	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 6.38
$\sigma_2(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 2.77	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	—	—	0	0	0
$\sigma(\theta)$	—	—	MAX ( $ 13.05 - 2.77 $ , $ 2.77 - 0 $ , $ 0 - 13.05  =$ 13.05	MAX ( $ 3.41 - 12.41 $ , $ 12.41 - 0 $ , $ 0 - 3.41  =$ 12.41	MAX ( $ 6.38 - (-0.05) $ , $ -0.05 - 0 $ , $ 0 - 6.38  =$ 6.43
				MAX (12.41, 6.43) = 12.41	

(注) 本表記載の数値は計算例を示すものであり, 桁処理の関係上, 他表の数値と一致しないことがある。

算出した応力強さの分布及び分布図を第4-5表及び第4-6図に示す。

第4-5表 水平地震時の組合せ応力強さ

角度	X方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_x(\theta)$	Y方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_y(\theta)$	2方向入力時応力強さ (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_c(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_s(\theta)$
0° 方向	12.28	5.40	12.41	13.04
22.5° 方向	11.47	6.03	13.64	13.04
45° 方向	9.22	9.22	12.91	13.04
67.5° 方向	6.03	11.47	13.64	13.04
90° 方向	5.40	12.28	12.41	13.04



第4-6図 水平地震時組合せ応力強さ分布図

組合せ応力強さは、S R S S法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では24.75°及び65.25°にピークを持つ分布となった。組合せ応力強さは0°、45°及び90°付近ではS R S S法のほうが組合せ係数法に比べ大きな値となるのに対して、組合せ係数法がピークを持つ24.75°及び65.25°付近ではS R S S法を約5%上回る結果となった。

水平2方向入力時のS R S S法による組合せ最大応力強さは、第3-6表に示すとおり水平1方向入力時の最大応力強さに対して6%上回る程度であり、水平2方向による影響は軽微といえる。

一方、水平2方向入力時の組合せ係数法による組合せ最大応力強さについては、水平1方向入力時の最大応力強さに対して11%上回る結果となった。これは水平2方向入力時の影響軽微と判断する基準（応力の増分が1割）を超えているが、本検討においては水平地震力のみを考慮しており、実際の耐震評価においては水平地震力以外に自重、内圧及び鉛直地震力等を考慮して評価を実施することから、水平2方向を考慮した際の応力強さの増分は小さくなる。

このため、水平2方向による影響は軽微であると考えられるが、組合せ係数法による最大応力強さが11%を上回っているため、水平2方向入力時の影響を軽微と判断する場合は、個別検討を行ったうえで、影響が軽微と判断する。

第4-6表 水平地震時の最大組合せ応力強さ及び水平2方向による影響

		最大組合せ応力強さ (MPa)	水平2方向／水平1方向 最大応力強さ比
水平1方向入力		12.28	1.00
水平2方向 入力	S R S S法	13.05	1.06
	組合せ係数法	13.67	1.11

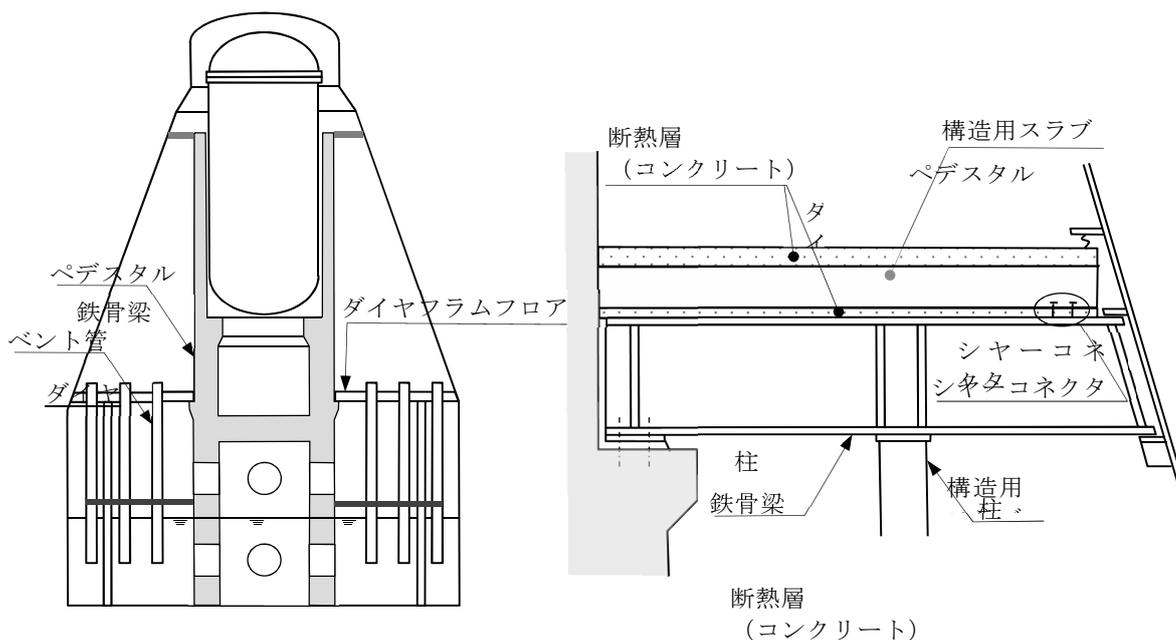
## 5. 水平2方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

### 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、格納容器をドライウェルとサブプレッションチェンバとを隔離する構造物であり、上部及び下部に断熱層を持った鉄筋コンクリート製の構造用スラブで構成されている。垂直方向の荷重は、鉄筋コンクリート製スラブから鉄骨梁に伝えられ、その下部にあるペDESTアルび鉄骨の柱で支持されている。水平方向の荷重も同様に鉄骨梁から原子炉本体基礎及び格納容器周囲に設置されたシアラグを介して原子炉建屋に伝達される（第5-1図）。



第5-1図 ダイヤフラムフロアの構造

### 5.3 水平2方向同時加振の影響

構造用スラブ及び鉄骨梁は、水平方向に広がりを持つことから、作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平2方向の地震に対して影響は軽微である。また、

同様に構造用スラブ及び鉄骨梁を支持する柱についても、各構造物からの鉛直方向の荷重を受ける構造であるため、水平2方向の地震に対する影響はない。

水平地震力を構造用スラブから鉄骨梁に伝達するシヤーコネクタに対する水平2方向の地震の影響について整理する。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、シヤーコネクタが設置されているダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 $q$ は、第5-2図に示すとおり $\sin$ 分布として与えられるため、地震方向との角度 $\theta$ が $90^\circ$ 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(第5-3図)。

さらに、水平2方向同時加振時の水平力は、第5-4図に示すとおり水平1方向加振時の最大の水平力と比較しSRS法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約1.08倍の値となるため、水平2方向同時加振の影響は軽微である。

また、ダイヤフラムフロアは、水平方向に広がりを持った構造物であることから、鉛直方向の地震力に対する影響を無視できないため、水平2方向に鉛直方向を加えた影響の確認を行う。

なお、地震応答解析結果から得られたダイヤフラムフロアの評価に用いる既工認時の荷重及び今回工認の荷重の比較を第5-1表に、既工認におけるダイヤフラムフロア主要部材における地震荷重の割合を第5-2表及び第5-3表に示す。今回工認の評価用荷重に比べ既工認の評価用荷重が大きいこと、また既工認の評価結果から事故時の温度、圧力等による荷重は評価に一定の影響を与えることが分かる。以上より、水平2方向同時加振による影響は、ダイヤフラムフロアにおける実際の評価では、事故時荷重として圧力、熱荷重等を考慮して評価するため、水平方向地震力の寄与度を踏まえると水平2方向同時加振における影響は軽微であるものと考えられるが、詳細設計段階で具体的な評価結果を用いた確認を行う。

第5-1表 ダイヤフラムフロア評価用荷重の比較

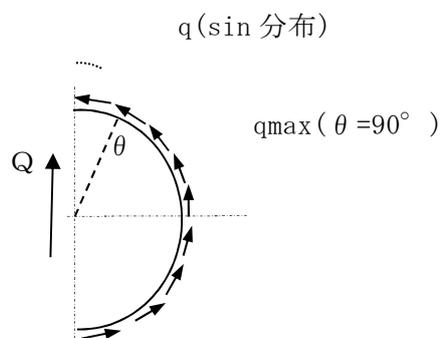
	既工認 (評価用地震×1.5)	今回工認 ( $S_s$ 応答包絡値)
評価用荷重	9,530 kN	7,570 kN

第5-2表 ダイアフラムフロア（構造用スラブ）の既工認の応力度割合

	自重及び鉛直地震	水平地震	事故時等
コンクリートの圧縮応力度	0.4 %	11.9 %	87.7 %
鉄筋の圧縮応力度	0.7 %	31.1 %	68.2 %
鉄筋の引張応力度	0.6 %	68.2 %	31.2 %
面外せん断	1.8 %	—	98.2 %
面内せん断	—	100 %	—

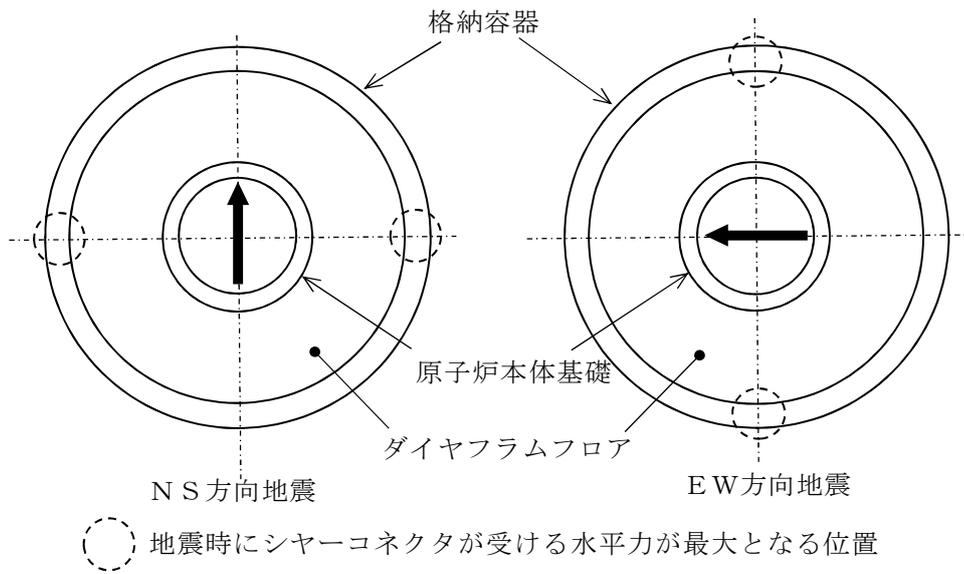
第5-3表 ダイアフラムフロア（柱）の既工認の荷重割合

	自重	鉛直地震	事故時差圧
圧縮荷重	10.8 %	2.6 %	86.6 %

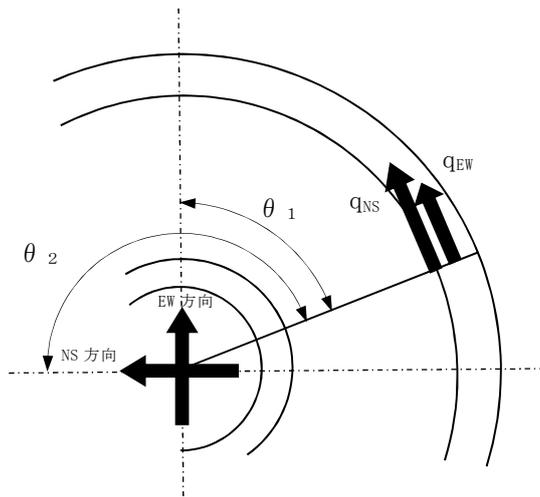


Q : 地震時にダイアフラムフロア全体が受ける水平力  
 q : ダイアフラム端部に作用する水平力

第5-2図 ダイアフラムフロア端部における水平力の分布



第 5-3 図 シヤークネクタに与える水平 2 方向地震組合せの影響



NS 加振時水平力 :  $q_{NS} = Q / \pi r \times \sin \theta_1$   
 EW 加振時水平力 :  $q_{EW} = Q / \pi r \times \sin \theta_2$   
 $= Q / \pi r \times \sin(\pi/2 + \theta_1)$   
 $= Q / \pi r \times \cos \theta_1$

< 組合せ係数法を用いた2方向入力時水平力 >

$$q = \max(q_{NS} + 0.4 \times q_{EW}, 0.4 \times q_{NS} + q_{EW})$$

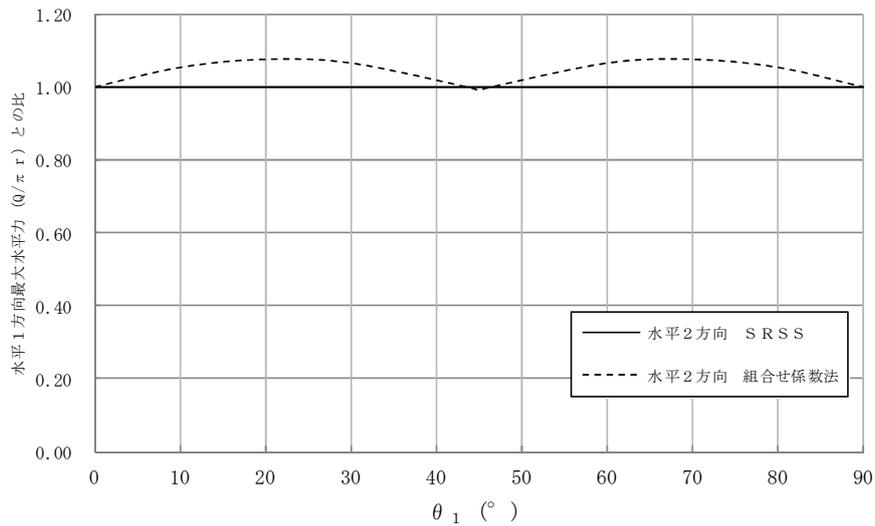
$$= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$

< S R S S 法を用いた2方向入力時水平力 >

$$q = \sqrt{(q_{NS}^2 + q_{EW}^2)}$$

$$= \sqrt{((Q / \pi r \times \sin \theta_1)^2 + (Q / \pi r \times \cos \theta_1)^2)}$$

$$= Q / \pi r$$



第5-4図 水平2方向同時加振時の水平力分布について

## 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。

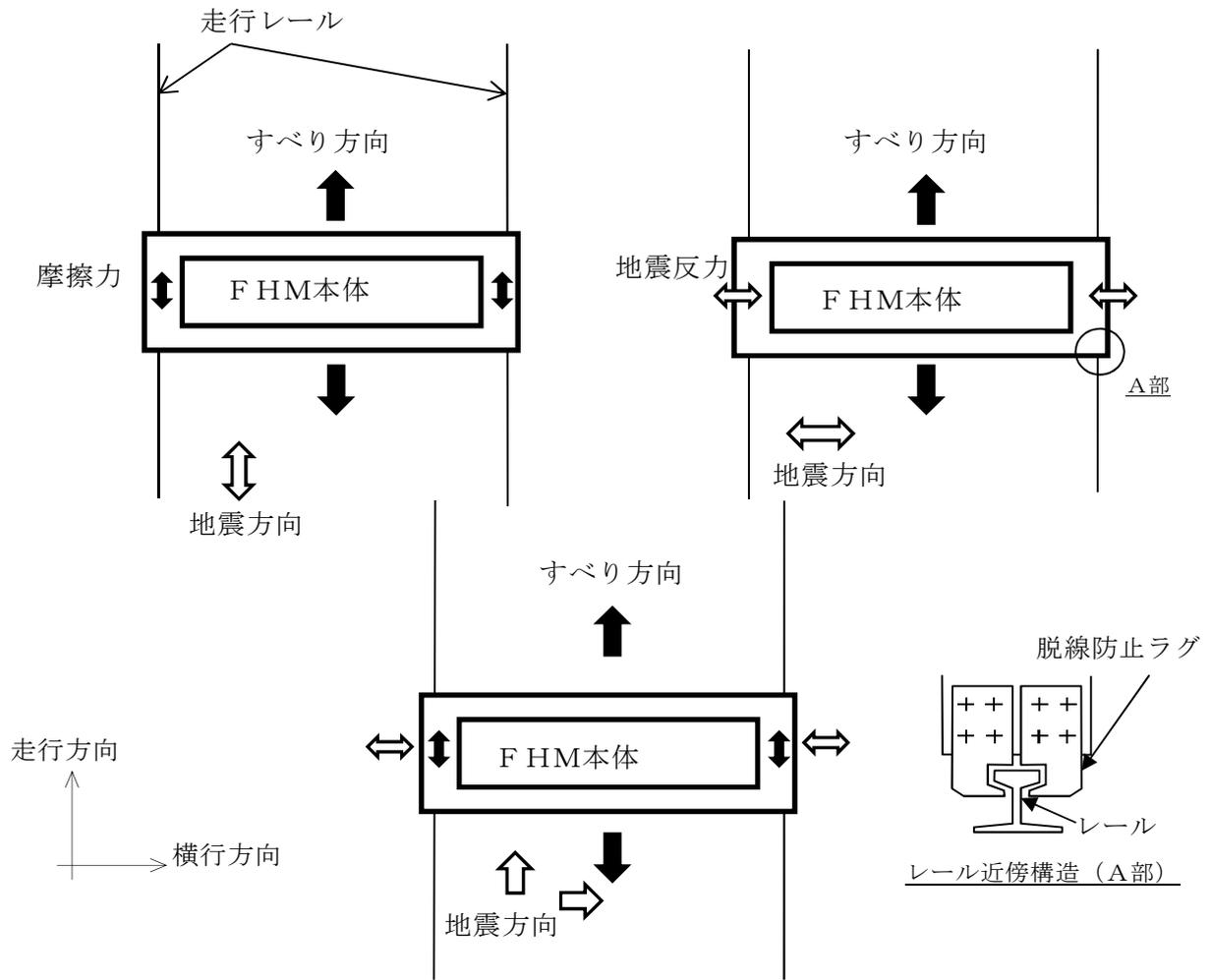
### 6.2 現行評価の手法

燃料取替機の負担する水平地震荷重の概念図を第6-1図に示す。

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、地震入力も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。

上記により、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。



第6-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

## 7. 水平2方向入力時の影響評価について（矩形配置されたボルト）

### 7.1 はじめに

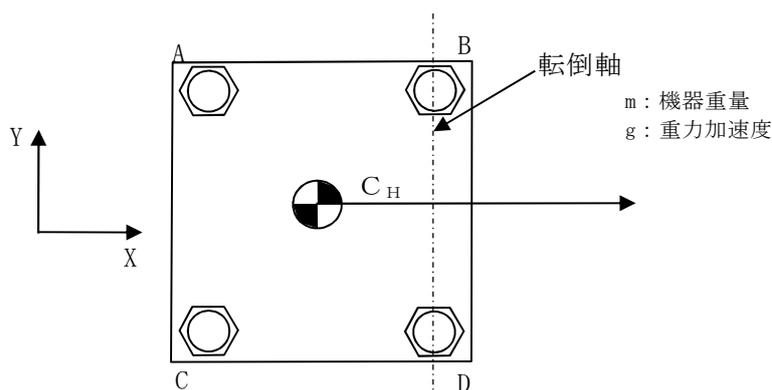
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

### 7.2 引張応力への影響

水平1方向に地震力が作用する場合と水平2方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

#### (1) 水平1方向に地震力が作用する場合

第7-1図のようにX方向に震度 $C_H$ が与えられる場合を考慮する。



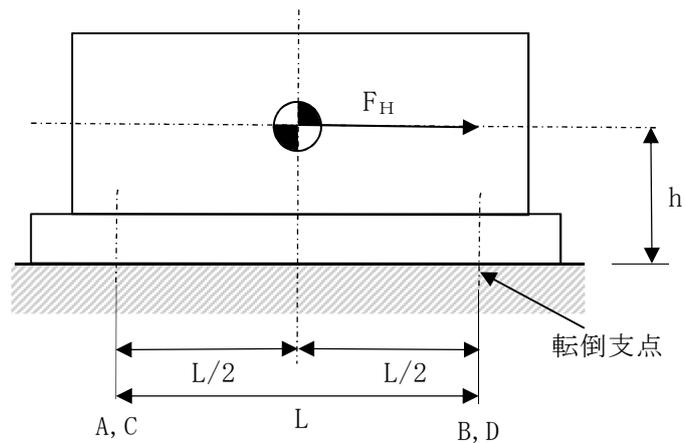
第7-1図 水平1方向の地震力による応答（概要）

この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 $F_H$ は、

$$F_H = mg C_H$$

と表せ、 $F_H$ によるボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルトA、Cにより負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、第7-2図に示すとおりである。



第7-2図 水平1方向の地震力による力

第7-2図より，水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L} (mgC_H h)$$

である。

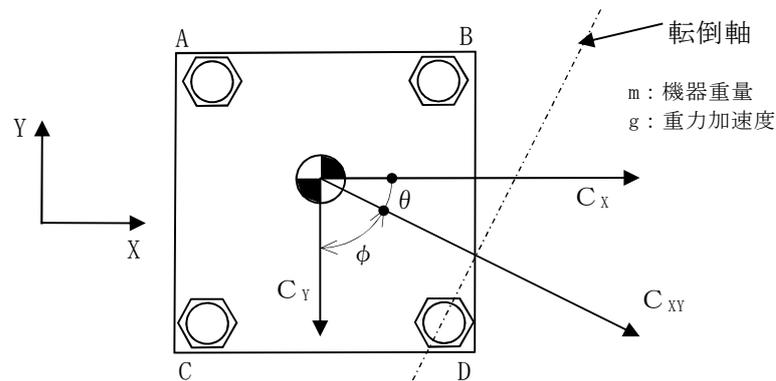
ボルトに発生する引張応力  $\sigma_b$  は全引張力を断面積  $A_b$  のボルト  $n_f$  本で受けると考え，

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

となる。

(2) 水平2方向に地震力が作用する場合

第7-3図のようにX方向とY方向にそれぞれ震度  $C_x$ ， $C_y$  が作用する場合を考慮する。なお，本検討においては，X方向とY方向に同時に最大震度が発生する可能性は低いと考え，X方向の震度とY方向の震度を  $1:0.4$  ( $0.4C_x = C_y$ ) と仮定する。



第 7-3 図 水平 2 方向の地震力による応答 (概要)

この時  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$  であることから、水平方向の震度  $C_{XY}$  は

$$\begin{aligned}
 C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\
 &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_X \\
 &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X
 \end{aligned}$$

と表される。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力  $F_H$  は、

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この  $F_H$  により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルト A, B, C により負担される。

水平 2 方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引張力を  $F_A$ ,  $F_B$ ,  $F_C$  とし、第 7-4 図に示すようにボルト D の中心を通る直線を転倒軸とすると、転倒軸からの距離により、

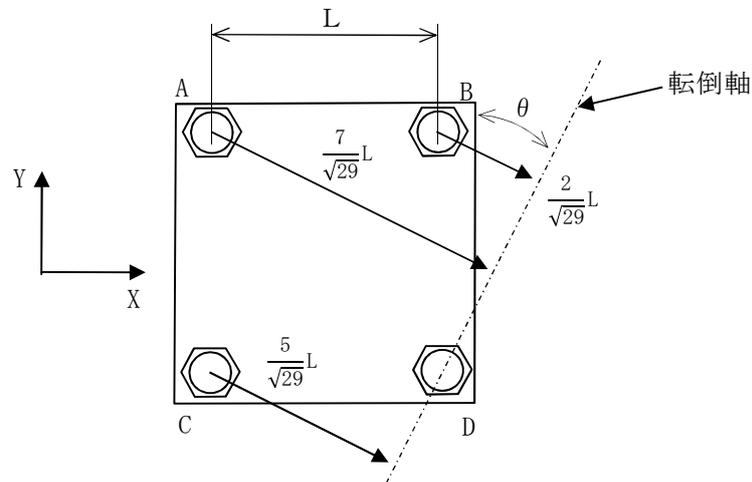
$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント  $M$  は、

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\
 &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A
 \end{aligned}$$

$$= \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

である。



第7-4図 対角方向に応答する場合の転倒軸から距離

転倒しない場合、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメントMと水平方向地震力モーメントが釣り合っているので、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

であり、引張力  $F_A$  は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{XY} h)$$

以上より、最も発生応力の大きいボルトAに発生する応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (mg C_{XY} h)$$

であり、水平1方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (mg C_H L)$$

に対して、震度  $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$  であることから

$$\begin{aligned}
\sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} (mg C_{XY} h) \\
&= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mg C_H h) \\
&= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\
&= 1.04 \sigma_b
\end{aligned}$$

となる。したがって、水平2方向入力時を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

### 7.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するため、全ボルトに対するせん断力  $T_b$  は、

$$T_b = F_H$$

であり、せん断応力  $\tau_b$  は断面積  $A_b$  のボルト本数  $n$  でせん断力  $T_b$  を受けるため、

$$\tau_b = \frac{T_b}{nA_b}$$

となる。

水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $T_b$  及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $T_b'$  はそれぞれ、

$$T_b = mg C_X$$

$$\begin{aligned}
T_b' &= mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X = 1.08 mg C_X \\
&= 1.08 T_b
\end{aligned}$$

となる。水平1方向及び水平2方向地震時に断面積  $A_b$  及びボルト全本数  $n$  は変わらないため、水平2方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

水平2方向の震度比として1:0.4を用いて水平2方向入力時の影響を軽微と判断する場合は、本手法を適用することの妥当性を確認した上で適用する。

## 8. 水平 2 方向同時加振の影響について（電気盤）

### 8.1 はじめに

本資料は、電気盤に取り付けられている器具に対する水平 2 方向入力の影響をまとめたものである。

### 8.2 水平 2 方向加振の影響について

電気盤に取り付けられている器具については、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、基本的にはすべて梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答もなく、水平 2 方向の加振に対しては独立に扱うことで問題ないものとする。さらに器具の誤動作モードは、水平 1 方向を起因としたモードであるため、水平 2 方向加振による影響は軽微であるとする。

なお、念のために既往研究等において、電気盤の器具取付位置の応答加速度に対し、器具の確認済加速度が十分に高いことも確認している。

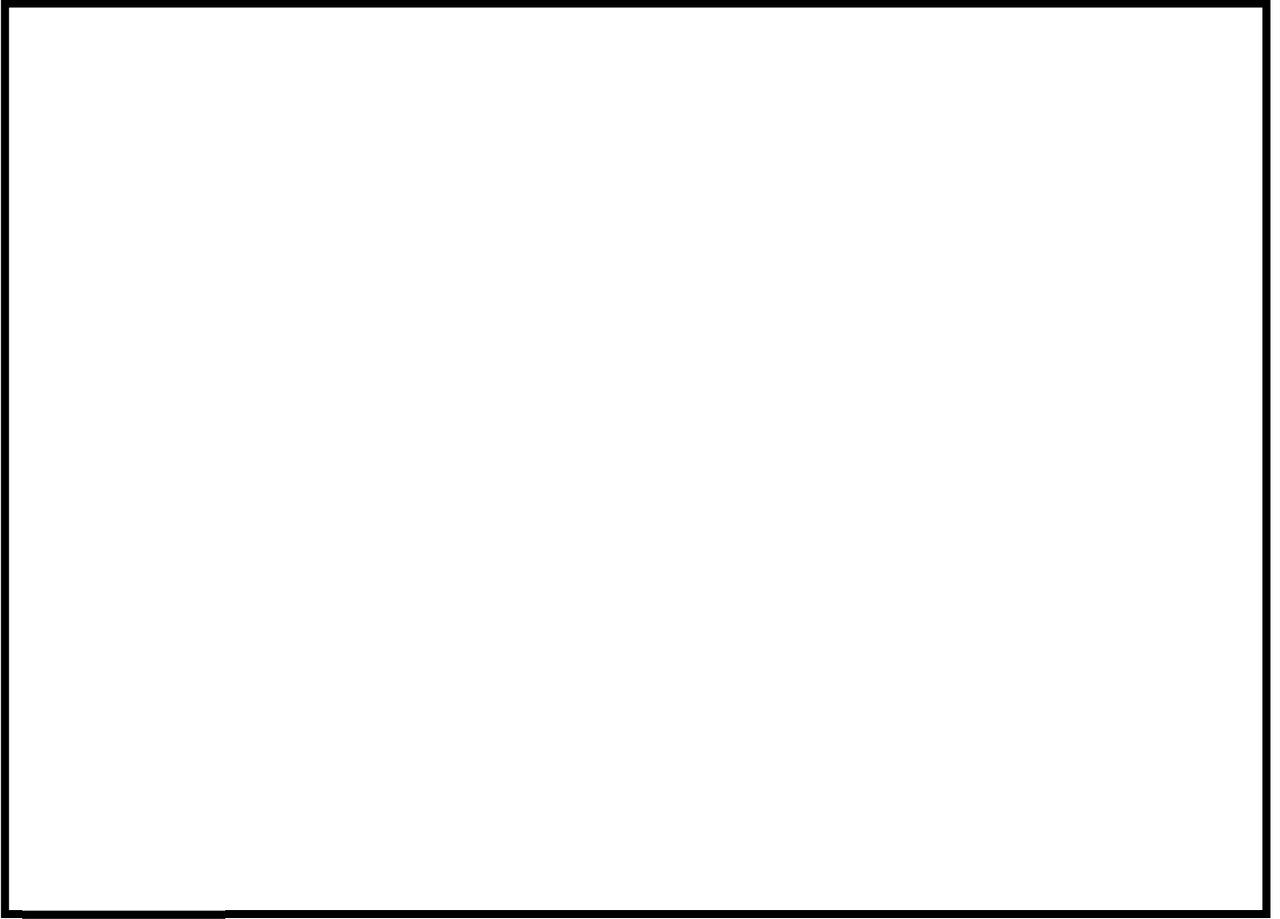
次頁より、メタクラ取付器具を代表とし、器具の構造から検討した結果をまとめる。

#### 8.2.1 補助リレー

##### (1) 構造、作動機構の概要

第 8-1 図に補助リレーの構造及び作動機構を示す。補助リレーはコイルに通電されることにより生じる電磁力でアマチュア部を動作させ、接点の開閉を行うものである。

補助リレーのうち、固定鉄心、固定接点（A、B 接点）はいずれも強固に固定されており、可動鉄心は左右方向にのみ動くことのできる構造となっている。



第 8-1 図 補助リレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

補助リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動鉄心が振動することにより，接点が誤接触，又は誤開放（左右方向）

ただし，補助リレーは取付部をボルト固定していること，また，器具の可動部は左右方向にのみ振動することから，誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として，発生加速度と補助リレーの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第 8-1 表に示す。

第8-1表 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

## 8.2.2 ノーヒューズブレーカ (MCCB)

### (1) 構造, 作動機構

第8-2図にMCCBの構造及び作動機構を示す。配線用遮断器には熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は、過電流が流れるとバイメタルが湾曲し、トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ、キャッチがバネにより回転し、リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。

また、短絡電流等の大電流が流れた場合は、固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し、以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。



第 8-2 図 MCCB 構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

MCCB の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ハンドルが逆方向へ動作する（上下方向）
- ・接点が乖離する（前後方向，左右方向）
- ・ラッチが外れてトリップする（前後方向，上下方向）

上記より，MCCB の誤動作として 2 方向の振動の影響が考えられる。ただし，ハンドルは 1 方向にしか振動できないこと，前後－左右の接点乖離は各々独立であること（前後方向は接触－非接触，左右方向はずれによる）から，これらについては誤動作に至る事象に多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては 2 軸の影響は無視できないと考えられるが，左右方向はラッチ外れに影響を与える誤動作モードではないため，水平 2 方向の影響はないものと考え

えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度とMCCBの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第8-2表に示す。

第8-2表 MCCBの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

8.2.3 過電流リレー（保護リレー）

(1) 構造，作動機構の概要

第8-3図に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは、電流コイル1個を持つ電磁石が動作トルクを発生し、永久磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり、タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し、警報や遮断器引き外しを行う。なお、過電流リレーはボルトにて盤の扉面に強固に取り付けられている。



第 8-3 図 過電流リレー

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

過電流リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板が接触し、固渋する（上下方向）
- ・可動接点が振動し、接点の誤接触が生じる（前後、左右方向）

誘導円板の固渋については、昭和 56 年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、誘導円板が水平 2 方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成 13 年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平 2 方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生したが、地震波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生しないことを確認している。したがって、地震波による水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験における確認済加速度及び試験

結果を第 8-3 表に示す。

第 8-3 表 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

## 9. 水平 2 方向同時加振の影響について（動的機能維持）

### 9.1 はじめに

動的機器の機能維持評価における保守性の観点より、水平 2 方向同時入力を考慮した場合の影響をまとめたものである。

### 9.2 機能維持評価法について

動的機器の機能維持は、動的地震力を適用し、試験による評価、解析による評価により行う。試験による評価では実物モデル等の振動試験を、解析による評価では応力・変形の解析結果を用いて、要求される安全機能が維持されることを確認する。

機種毎の代表的な機器について、上記検討を実施した既往の試験・研究の成果から機能確認済加速度（以降  $A_t$ ）が定められ、これにより、地震動により生じる加速度レベルが  $A_t$  より小さいことを確認することで、安全機能が維持されることを確認できる。

なお、この手法は全ての機器について、詳細評価を実施するまでもなく機能維持を確認するための合理的な方法として確立された手法である。

### 9.3 機能維持確認済加速度の保守性

動的機器の  $A_t$  については、加振台の加振限界及び機器仕様の多様性等の理由から、本来の機器の機能限界加速度ではなく、保守的な範囲内で定められている。その保守性については、代表機器の  $A_t$  での詳細評価において、機能維持に必要な各部位\*の裕度が十分に高いことから確認することができる。

#### \*：動的機器の評価項目について

解析評価における動的機器の機能維持に必要な基本評価項目（部位）は、振動特性試験により振動特性及び応答特性を把握し、機能試験の結果を踏まえ、異常要因分析に基づき抽出されている。前述のとおり  $A_t$  は保守的に定められており、地震応答加速度が  $A_t$  を上回ったとしても、個別に当該機器の基本評価項目を解析評価することで、機器の健全性が確認できる。

#### 9.4 水平 2 方向同時入力（鉛直方向含む）の影響について

水平 2 方向同時入力による動的機能維持評価については、影響有無を整理の上、NS 方向 EW 方向の応答加速度を SRSS した結果、 $A_t$  を満たしており耐震性に問題が無いことを確認しているが、保守的に水平 1 方向の応答加速度を $\sqrt{2}$  倍したとしても、機能維持評価の保守性により、対象の動的機器の安全機能維持確認に問題はないと考えられる。

また、 $A_t$  は水平・鉛直の各方向に設定されるものであるが、水平・鉛直の相関が懸念されるものは、水平・鉛直同時入力による解析評価により機能維持を確認した上で各方向の加速度を設定している。そのため、水平・鉛直ごとの個別の評価とすることで問題ない。

## 10. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）

### 10.1 はじめに

本資料は、応答軸が明確である設備について、水平 2 方向の地震力を考慮した場合においても設備の有する耐震性に対して影響がないことを説明するものである。

### 10.2 設備の有する耐震性に対して影響がないことの説明

従来設計手法として、設備の応答軸の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きを有した設備があり、このような設備については解析上の地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて X 方向及び Y 方向から入力し、最も大きな評価結果を用いる等、保守的な評価を実施している場合がある。このような応答軸が明確な設備については、水平 2 方向の地震力による従来設計手法への影響が懸念されるようなことはないと考え。その理由を以下に示す。

#### ● 設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

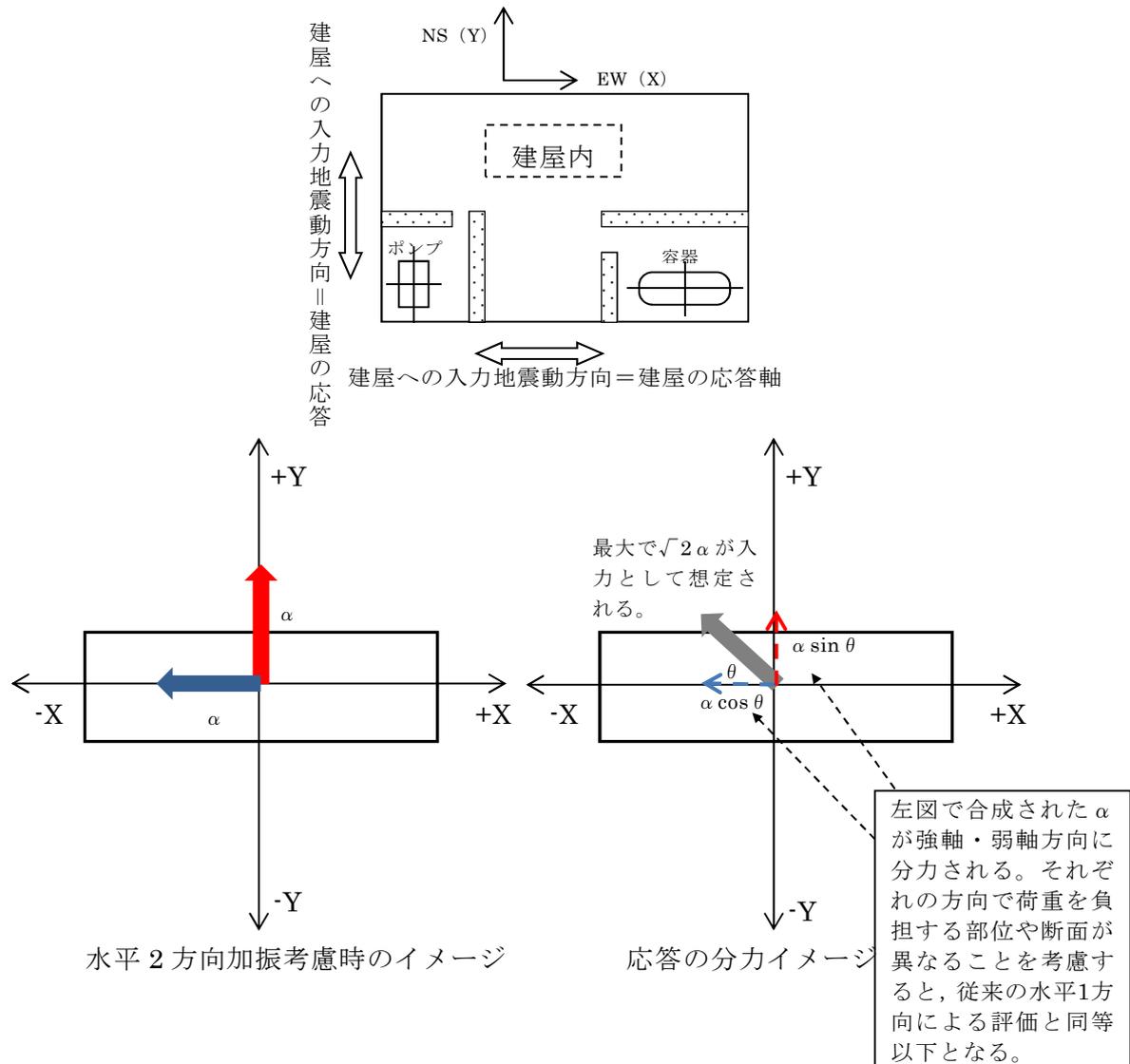
応答軸（設備の弱軸・強軸）の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備にて、建物・構築物の応答である NS・EW 方向の応答を機器の応答軸（第 10-1 図 X, Y 方向）へ入力している場合、水平 1 方向入力としては当然厳しい入力を用いた評価がなされていると考える。（さらに、機器の配置方向とは無関係に機器の応答軸へ地震力を入力している設備や水平方向を包絡した応答を用いるなどの保守性も考慮している。）

応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、水平 2 方向の地震力を想定した場合、2 方向の地震力が合成されるとすると、最大値が同時に発生する場合、最大で $\sqrt{2}$  倍の大きさの入力となることが考えられるが、これらはそれぞれの応答軸方向に応答が分解され、強軸側の応答は十分に小さくなることから、実質的には弱軸方向に 1 方向を入力した評価で用いている応答レベルと同等となる。

さらに各方向における最大値の生起時刻の非同時性を考慮すると、さらにその影響は小さくなり、弱軸 1 方向入力による評価と大きく変わらない結果となる。

なお、3.2.1 項で述べたとおり、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、設計手法として、地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて保守的な評価を実施している場合も考えると、応

答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であることが分かる。

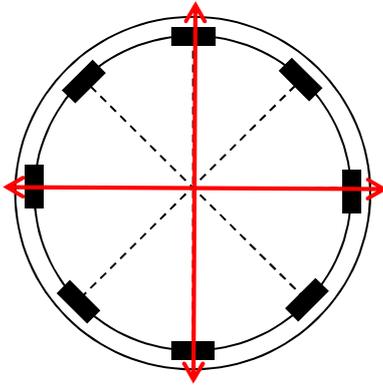
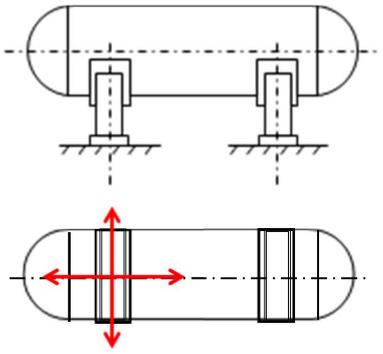
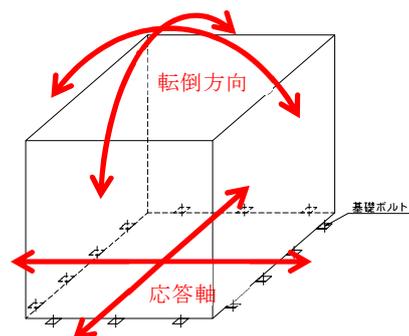


第10-1図 水平2方向加振考慮時の応答イメージ

● 本考え方が適用可能である設備（部位）例

本考え方は設備の応答軸の方向と入力方向の関係によるものであることから、部位・応力分類によらず、各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。別紙に本考え方が適用可能である設備の例を示す。

別紙 応答軸が明確な設備について

設備	構造図	説明	備考
RPV スタビライザ, PCV スタビライザ		周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、地震荷重は各スタビライザで分担する構造となっている。	NS・EW 包絡地震力を用いている。
横置き容器		横置き円筒形容器は矩形形状の支持脚により支持されており強軸と弱軸の関係が明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。	NS・EW 包絡FRS を用いている。
空調ファン、空調ユニット、横形ポンプ、電気盤（ボルト）、非常用ディーゼル機関・発電機（ボルト）		空調ファン及び空調ユニットは矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く、水平地震力に対して斜め方向へ転倒することなく、弱軸／強軸方向にしか応答せず、その方向に地震を入力した評価を実施している。	NS・EW 包絡FRS を用いている。

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	②-2 水平2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)	左記の振動モードの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由 ○：発生する ×：発生しない	
								②-1の影響有無の説明
炉心支持構造物	炉心シュラウド	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—	
		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。	×	—	
	シュラウドサポーター	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため、水平地震の方向毎に最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—	
		軸圧縮応力	△	B	同上	×	—	
	上部格子板	シリンドラプレート下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
		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	評価部位は格子構造であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。	×	—
	炉心支持板	補強ビーム支持板	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—
		一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—	
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	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—		
	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—		
制御棒案内管	長手中央部 下部溶接部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—		
	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—		
胴板 下鏡	胴板 下鏡 下鏡と胴板の接合部 下鏡とスカートとの接合部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	—	
		一次+二次応力	△	B	同上	×	—	
原子炉圧力容器	胴板 下鏡	一次+二次+ピーク応力	△	B	同上	×	—	

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)		
						振動モード及びびびり成分の発生有無 ×：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との理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由	
原子炉圧力容器	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
		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	×	—	
		圧屈 (軸圧縮)	△	B	同上	×	—	
	ノズル	ハウジング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
			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	×	—
			一次一般膜応力	○	—	評価においては3次的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において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。
原子炉圧力容器	各部位	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	○	—	
		一次一般膜応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、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	×	—	
	ブラケット類	炉心スプレイトケット	一次一般膜応力	△	D	水平2方向入力時の地震力を4つのブラケットのうち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3】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上	×	—
			一次一般膜応力	○	—	評価においては3次的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直交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	×	—

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	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	②-1 水平2方向の影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○: 影響あり △: 影響軽微	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)		
						振動モード及びびびり成分の有無 ×: 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との理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由	
原子炉圧力容器	ブラケット類 給水スパージャブ ケット	一次一般膜応力	-	○	②-1の影響有無の説明 評価においては3次元的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直交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		
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器支持スカート	一次一般膜応力	B	△	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
		一次膜応力+一次曲げ応力	B	△		×	-	
		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		
		引張応力	B	△		ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
		せん断応力	C	△		水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。	×	-
組合せ応力	C	△	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。					
原子炉圧力容器付属構造物	各部位 原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	引張応力	C	△	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1, 2】			
		せん断応力	C	△		同上		
		圧縮応力	C	△		同上		
		曲げ応力	C	△		同上	×	-
		組合せ応力	C	△		同上		
		引張応力	C	△		水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1, 2】		

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)	
						振動モード及びびびり成分の有無 ×：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との理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由
原子炉圧力容器付属構造造物	レストレントビーム	せん断応力	△	B	水平方向地震が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平2方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		圧縮応力	△	B	同上		
		曲げ応力	△	B	同上		
	ボルト	引張応力	△	B	水平方向地震が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平2方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		せん断応力	△	B	同上		
		組合せ応力	△	B	同上		
蒸気乾燥器	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方向に地震荷重を与えているため、水平2方向入力も考慮しても水平1方向の地震荷重と同等となる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上		
	耐震用ブロック	せん断応力	△	D	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。	×	-
		鉛直力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
		水平力	△	B	同上		
		モーメント	△	B	同上		
原子炉圧力容器内部構造造物	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
	中性子束案内管	一次一般膜応力	○	-	3次元的に配置されているため、水平それぞれの方向の地震力に対し、各方向で応力が発生する。したがって、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		
		スパー ज्या 炉内配管	○	-	同上		
		スパー ज्या 炉内配管	○	-	同上		

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-2 水平2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)	②-1の影響有無の説明
原子炉圧力容器内部構造物	ジェットポンプ ライザ ダイヤフューザ ライササブレース	一次一般膜応力	○	—	○	従来より、3次元はよ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ている同種の荷重として算出される。
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	同上		
貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材	引張応力	○	—	○	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の円断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平2方向入力の影響がある。
		せん断応力	○	同上		
		組合せ応力	○	同上		
		引張応力	△	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】		
		せん断応力	△	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】		
	基礎ボルト ラック取付ボルト	組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。	
		一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の円断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	
		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	
乾式貯蔵容器	各部位 (支持構造物以外)	純せん断応力	△	B	×	—
		支圧応力	△	B		
		引張応力	△	B		
		せん断応力	△	B		
		圧縮応力	△	B		
	各部位 (支持構造物 (ボルト以外))	曲げ応力	△	B	×	—
		支圧応力	△	B		
		組合せ応力	△	B		
		圧縮応力	△	B		
		曲げ応力	△	B		

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)	
						振動モード及びびびり成分の発生有無 ×：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
乾式貯蔵容器	ボルト	平均引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		平均引張応力+曲げ応力	△	B	同上	×	—
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上	×	—
四脚たて置き円筒形容器	胴板	一次一般膜	○	—	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上	×	—
		一次+二次応力	○	—	同上	×	—
	脚	組合せ	○	—	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	—
		座屈	○	—	同上	×	—
		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。	×	—
横置円筒形容器	胴板	一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上	×	—
		一次+二次応力	△	A	同上	×	—
		組合せ応力	△	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。	×	—
	脚	引張応力	△	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。	×	—
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	—
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。	×	—
立形ポンプ	コラムパイプ パレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	○	現在考慮しているX, Y方向振動モードではねじれ振動は現れない。よって、ねじれ振動モードが高次に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。
		引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	○	現在考慮しているX, Y方向振動モードではねじれ振動は現れない。よって、ねじれ振動モードが高次に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。
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、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は現れない。よって、ねじれ振動モードが高次に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。
	各部位	組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		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。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上	×	—

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-2 水平2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)	②-1の影響有無の説明
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 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	引張応力	△	C	×	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】 水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】 上記の引張応力及びびびりせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。
		せん断応力	△	C		
		組合せ応力	△	C		
制御棒駆動機構	各部位	一次応力	△	B		評価部位は円形の円断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】
		一次+二次応力	△	B		
		一次+二次+ピーク応力	△	B		
水圧制御ユニット	フレーム	引張応力	○	-		非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。 同上 同上 同上 同上 非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。 同上 同上 同上 同上 評価部位は円形の円断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】
		せん断応力	○	-		
		圧縮応力	○	-		
		曲げ応力	○	-		
		組合せ応力	○	-		
		引張応力	○	-		
		せん断応力	○	-		
		組合せ応力	○	-		
		一次一般膜応力	△	B		
		一次+二次応力	△	B		
		引張応力	△	B		
		せん断応力	△	C		
組合せ応力	△	C				
平底たて置円筒容器	基礎ボルト	引張応力	△	B		ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。 水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。 上記の引張応力及びびびりせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。
		せん断応力	△	C		

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)		
						振動モード及びびびりの発生有無 ×：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との理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由	
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B		同上		
伝送器 (壁掛)	取付ボルト	引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。			
		せん断応力	△	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。	×	—
		組合せ応力	○	—		水平2方向入力の影響がある。	×	—
伝送器 (円形吊下)	取付ボルト	引張応力	△	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方向の影響はない。	×	—	
制御盤	取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】			
		せん断応力	△	C		水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	—
		組合せ応力	△	C		上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
		圧縮ひずみ	△	B		一様断面であるため、地震方向毎に最大応力 (ひずみ) 点がりなり影響は軽微である。	×	—
原子炉格納容器	各部位	引張ひずみ	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
		一次一般膜応力	△	B		同上	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B		同上		
		一次+二次応力	△	B		同上	×	—
		座屈	△	B		同上		
ドライウエルピームシート	ピームシート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	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。			
		一次+二次応力	△	C	同上			

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-2 水平2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)	左記の振動モードの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由 ○：発生しない ×：発生する
原子炉格納容器	各部位	引張応力	△	C	水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料1】	×
		せん断応力	△	C		
		曲げ応力	△	C		
		組合せ応力	△	C		
	上部シアラグと格納容器胴との接合部 下部シアラグと格納容器胴との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	水平2方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、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+二次応力	△	C		
	本体と補強板との接合部 補強板と格納容器胴一般部との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	×
		一次+二次応力	○	-	同上	
		引張応力	△	B	評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。	
		曲げ応力	△	B	同上	
各部位	圧縮応力	△	B	同上	×	
	組合せ応力	△	B	同上		
	圧縮応力度	△	B	評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。		
	せん断応力度	△	B	同上		
配管貫通部	原子炉格納容器胴アンカー部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	○	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+二次応力	○	-		
電気配線貫通部	スリーブ付根部 補強板付根部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	×	-
		一次+二次応力	△	D		

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	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。 【補足説明資料5】	②-2 水平2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)	
						振動モード及びびびり成分の発生有無 ×：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
ダイマフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張応力度	△	C	同上	×	-
		せん断応力度	△	C			
		圧縮応力度	△	C			
	大梁 小梁	曲げ応力	△	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方向の影響はない。【補足説明資料5】	×	-
		せん断応力	△	C			
		圧縮応力	△	C			
シアコネクタ	せん断応力	△	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5】	×	-	
ベント管	上部 ブレース部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力	△ △	評価部位は円形の様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
格納容器スプレイヘッド	スプレイ管部 ティー部 案内管部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上	○	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	○	-			
		圧縮応力	△	A			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロウ	ブレース	圧縮応力	△	A	ブレースはプロウ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持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持つと考えられる。したがって、水平2方向入力の影響は受けない。	×	-
	ベース取付溶接部	せん断応力	○	-	ベース溶接部で水平方向のそれぞれの水平荷重を負担する。したがって、水平2方向入力の影響がある。		
ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することに より、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	-
		せん断応力	△	C			
		組合せ応力	△	C			
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。	×	-

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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)		
						振動モード及びびびり成分の有無 ×：発生しない ○：発生する	上記の振動モードの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由	
プレート式熱交換器	側板	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	組合せ応力	△	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。			
		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】			
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】			
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びびびりせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
	ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
			一次+二次応力	△	B	同上		
振れ止めシヤラグ		組合せ応力	△	B	水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。		×	
		引張応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。			
		せん断応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、荷重を分担する部材が地震方向により異なるため、荷重の重ね合わせが発生せず、影響は軽微である。			
		組合せ応力	△	B	上記引張応力及びびびりせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組み合わせ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
取付ボルト		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】			
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】			
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びびびりせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
その他電源設備	取付ボルト	引張応力	△	C	同上			
		せん断応力	△	C	同上			
		組合せ応力	△	C	同上			

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-2 水平2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)	②-1の影響有無の説明
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。
		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	○	—	×	—
		引張応力	△	A	△	壁面に据付部材を介して支持される。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。
		せん断応力	△	A	△	同上
		組合せ応力	△	A	△	同上
		引張応力	△	B	△	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。
		せん断応力	△	C	△	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
水位計	取付ボルト	組合せ応力	△	C	△	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。
		一次応力	△	D	△	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。
		引張応力	△	C	△	車両に設置されており、車両の左右方向の応答が支配的であるため、影響は軽微である。
温度計	溶接部	せん断応力	△	C	△	同上
		組合せ応力	△	C	△	同上
		引張応力	△	B	△	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。
常設代替高圧電源装置	取付ボルト	せん断応力	△	C	△	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
		組合せ応力	△	C	△	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。
		引張応力	△	C	△	—
監視カメラ	取付ボルト	組合せ応力	△	C	×	—
		据付部材	○	—	×	水平2方向入力の影響がある。

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-2 水平2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)	左記の振動モードの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由	
							振動モード及びびびり成分の有無 ×：発生しない ○：発生する
貫通部止水処置	シール材	シールに生じる変位	△	C	×	—	
		曲げ応力	△	C			
浸水防止蓋	蓋	せん断応力	△	C	×	—	
		組合せ応力	△	C			
		せん断応力	△	C			
逆流防止用逆止弁	各部位	各応力分類	○	—	×	—	
原子炉ウエル遮へいプラグ	本体	せん断応力度	△	C	×	—	
		引張応力度	△	B			
原子炉本体の基礎	円筒部 中間スラブ	圧縮応力度	△	B			
		せん断応力度	△	B			
	下層円筒基部	引張応力度	△	B		×	—
		せん断応力度	△	B			
		曲げ応力度	△	B			
		引張応力度	△	A			
	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	引張応力	△	A		○	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。
		せん断応力	△	A			
		組合せ応力	△	A			
		せん断応力	△	A			
燃料取替機	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)	吊具荷重	△	C	×	—	
		吊具					

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 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	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2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との理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	せん断応力	△	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。
		曲げ応力	△	D	同上	×	
		浮上り量	△	D	同上	○	
	落下防止金具	圧縮応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		圧縮応力	△	A	同上	○	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。
		曲げ応力	△	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。	×	
		組合せ応力	△	D	同上	○	
	浮上り量	△	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。	×		
	吊具	吊具荷重	△	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。	×	—
		せん断応力	△	B	評価部位は円形の様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
原子炉遮蔽	一般胴部 開口集中部	圧縮応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	×	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。
		曲げ応力	△	B	評価部位は円形の様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	
		組合せ応力	△	B	評価部位は円形の様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	
		せん断応力	△	B	評価部位は円形の様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点位置が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	

② 機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果

表2 動的／電氣的機能評価

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、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2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	○	—	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速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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 <b>フレーム</b> に対して、現行の機能維持確認済加速速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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 <b>軸受</b> に対して、現行の機能維持確認済加速速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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速度における詳細評価 <sup>※</sup> 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、JEA4601に記載の機能維持確認済加速速度は1.8Gであるが、旧JNES試験より4Gまで機能維持を確認しているため、2方向合成加速速度が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方向合成加速速度が試験にて確認した機能維持確認済加速速度未満であれば問題ない。	×	—
制御棒挿入性	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
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方向の地震力のみに負担し、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ないものと考えられる。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。	×	—
常設代替高圧電源装置	△	A	水平2方向の入力で対角方向に応答することはなく、水平2方向の入力の影響は軽微である。	×	—
水位計	△	A	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ないものと考えられる。	×	—
監視カメラ	△	A	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ないものと考えられる。	×	—
通信連絡設備 (アンテナ類)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—

※：JEA4601で定められた評価部位の裕度評価 (原子力発電所耐震設計技術規定 (JEA C4601-2008) 「参考資料4.11 動的機器の地震時機能維持評価法」)

③水平2方向の地震による代表設備の増分影響検討結果(構造強度)

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	設計用地震力として√2倍 以上を考慮 ○: 考慮している。 ×: 考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平2方向の地震力の重複 による影響の有無 (別紙4.1での整理) ○: 影響あり △: 影響軽微		水平1方向での評価			増分の判定 ○: 影響が無視 できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向) の算出方法
						発生値	許容値	裕度 (=許容値÷ 発生値)	発生値	増分係数 (=発生値(水平2方 向)÷既往発生値(水 平1方向))		
原子炉圧力容器	×	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	①: 地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②: X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は 分離せず) ③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震 以外の応力と足し合わせ ④: 設計地震力として√2倍以上を考慮 (発生値・裕度は既往から不変) ⑤: その他(算出方法を記載)
原子炉圧力容器付 風構造物	×	×	原子炉圧力容器スタ ビライザ	ロッド	引張応力	△	△	410	440	1.07	410	⑤: 別紙4.1 補足説明資料1にて増分がないことを確認
原子炉圧力容器付 風構造物	×	×	原子炉圧力容器スタ ビライザ	フランジボルト	引張応力	△	△	509	534	1.04	509	⑤: 別紙4.1 補足説明資料2にて増分がないことを確認
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	スタンバイ	スタンバイ	鉛直力(単位: kN)	△	△	614	626	1.01	501	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いて おり、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のば らつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出 した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を 踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	スタンバイ	スタンバイ	水平力(単位: kN)	△	△	3460	3530	1.02	3410	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いて おり、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のば らつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出 した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を 踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	スタンバイ	スタンバイ	モーメント(単位: kN)	△	△	9870	10000	1.01	9724	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いて おり、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のば らつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出 した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を 踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド	一次膜応力+一次曲 げ応力	△	△	187	254	1.35	208	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の 結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	炉内配管	低圧炉心スプレッド系配管 (原子炉圧力容器内部)	一次一般膜応力	○	○	142	163	1.14	追而	追而
原子炉圧力容器内 部構造物	×	×	炉内配管	低圧炉心スプレッド系配管 (原子炉圧力容器内部)	一次膜応力+一次曲 げ応力	○	○	228	261	1.14	追而	追而
使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)	○	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
立形ポンプ	×	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
原子炉格納容器 内	×	×	円筒部(中央部)	円筒部(中央部)	一次一般膜応力	△	△	227	253	1.11	252	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の 結果を1.1倍し算出した。
原子炉格納容器 内	×	×	上部シラウド及びび スライダ	シラウド	組合せ応力	△	△	254	275	1.08	254	⑤: 別紙4.1 補足説明資料1にて増分がないことを確認
原子炉格納容器 内	×	×	サブプレッジョン・ チェンバースハッチ サブプレッジョン・ チェンバースハッチ	サブプレッジョン・チェ ンバースハッチ本体と 補強板との結合部(P5- 2)	一次+二次応力	○	○	386	393	1.01	追而	追而
ベント管	×	×	ベント管	ベント管	一次膜応力+一次曲 げ応力	△	△	291	380	1.30	323	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の 結果を1.1倍し算出した。
ベント管	×	×	ベント管	ベント管	一次+二次応力	△	△	422	458	1.08	追而	追而
配管本体、サポ ート(多質点梁モ デル解析)	×	×	サポ ート	サポ ート	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
原子炉本体の基礎	×	×	基礎	基礎	定着力	△	△	1.07E+06	1.07E+06	1.00	追而	追而
燃料取替機	×	×	燃料取替機	燃料取替機	曲げ応力	△	△	216	235	1.08	216	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
燃料取替機	×	×	燃料取替機	燃料取替機	組合せ応力	△	△	217	235	1.08	217	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
燃料取替機	×	×	燃料取替機	燃料取替機	せん断応力	△	△	135	146	1.08	135	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	×	×	使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	組合せ応力	△	△	277	279	1.00	277	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	×	×	使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	使用済燃料貯蔵式貯蔵 クレーン	せん断	△	△	154	160	1.03	154	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
原子炉遮へい壁	×	×	原子炉遮へい壁	原子炉遮へい壁	組合せ応力	△	△	204	235	1.15	227	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の 結果を1.1倍し算出した。

③水平2方向の地震による代表設備の増分影響検討結果(動的機能維持)

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○：応答軸が明確 ×：応答軸が明確でない	設計用地震力として√2倍以上を考慮 ○：考慮している。 ×：考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平2方向の地震力の重複 による影響の有無 (別紙4.1での整理) ○：影響あり △：影響軽微		水平1方向での評価			水平2方向での 評価		増分の判定 ○：影響が無視 でき ない △：影響が軽微	発生値(水平2方向) (=発生値(水平2方向) ÷既往発生値(水平1方向))	発生値(水平2方向)の算出方法 ①：地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②：X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は 分離せず) ③：X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震 以外の応力と足し合わせ ④：設計地震力として√2倍以上を考慮
						許容値	裕度 (=許容値÷ 発生値)	発生値	発生値						
立形ポンプ	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
構形ポンプ	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ポンプ駆動用タービン	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
立形機器用電動機	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
構形機器用電動機	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
空調ファン	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
非常用ディーゼル発電機 (機器本体)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
非常用ディーゼル発電機 (ガバナ)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
弁	×	○	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
制御棒挿入性	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
電気盤	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
伝送器・指示計	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
常設代替高圧電源装置	○	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水位計	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
監視カメラ	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
通信連絡設備(アンテナ等類)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

④水平2方向の地震による発生値と許容値の比較結果（構造強度）

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○：応答軸が明確 ×：応答軸が明確でない	設計用地震力として $\sqrt{2}$ 倍以上を考慮 ○：考慮している。 ×：考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平1方向での評価		水平2方向での評価	
						発生値	許容値	発生値	許容値
原子炉圧力 容器内部構 造物	×	×	シュウラウドヘッド	シュウラウドヘッド	一次膜応力＋一次曲げ応力	187	208	254	○
原子炉格納 容器	×	×	円筒部（中央部）	円筒部（中央部）	一次一般膜応力	227	252	253	○
原子炉遮へい壁	×	×	原子炉遮へい壁	開口集中部	組合せ応力	204	227	235	○

## 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について

## 1. はじめに

機器・配管系における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価において、水平2方向の影響を考慮した場合に発生値がどの程度増分するかを検討している。その際には、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故対処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について、機種毎に裕度の小さい部位を代表して影響評価を実施している。

## 2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について

水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価にあたっては、機種毎に裕度の小さい部位を代表として選定しているが、その代表性について説明する。

各機種のうち一部の機種については、複数の応力分類や評価部位を有していたりするものがあり、それらについては評価結果に対する地震力の寄与度がそれぞれ変わる場合がある。従って、本影響評価においては、これらの設備について、耐震裕度が小さい部位を代表とした上で、地震以外の荷重成分を地震荷重とみなし、水平1方向及び鉛直方向の組合せによる評価値を水平各方向（それぞれ鉛直方向も含む）で用いるなどの簡易的かつ保守的な方法（第1図参照）を適用することを基本とする。

この方法を適用する機種は、耐震裕度の小さい部位や応力分類で代表することができる。

また、この簡易的かつ保守的な方法を適用しない機種は、評価結果に対する地震力の寄与度に配慮した、影響評価を個別に行う場合もある。

東海第二発電所における本影響評価の代表部位一覧を別紙 4.2 表 1 に示す。

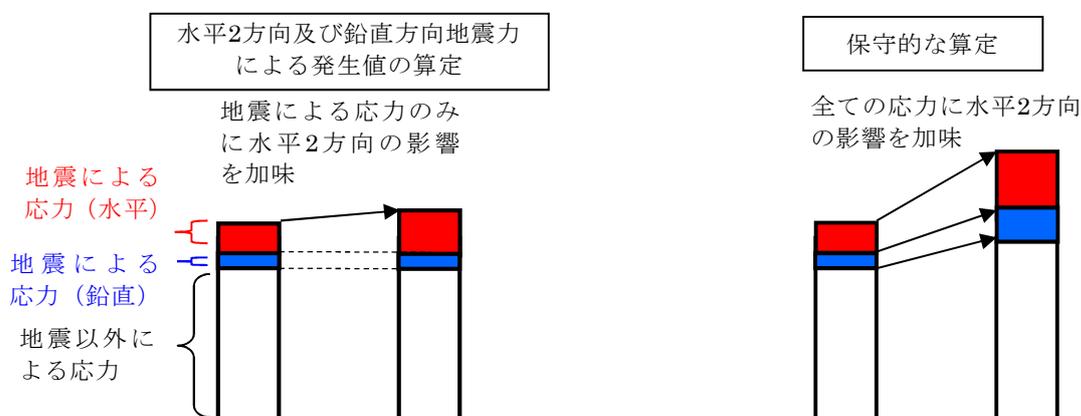


図1 地震以外の荷重成分を地震荷重とみなす場合の保守的な算定イメージ