

島根原子力発電所 2 号炉

地震による損傷の防止

令和 2 年 1 月

中国電力株式会社

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備及び津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建物の構造概要について
- 別添－8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別紙)

- 別紙－1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について
- 別紙－2 建物の地震応答解析モデルについて（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）
- 別紙－3 基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－4 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－5 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について
- 別紙－7 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－8 サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について
- 別紙－9 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－10 水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－11 液状化影響の検討方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 後施工せん断補強筋による耐震補強
- 別紙－14 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙－15 動的機能維持評価の検討方針について
- 別紙－16 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について

別紙－１７ 地下水位低下設備について

下線は，今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
組合せに関する影響評価方針
(耐震)

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針

1. 概要

本資料は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の方針について説明するものである。

2. 基本方針

施設の耐震設計では、設備の構造から地震力の方向に対して弱軸、強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

今回、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み合わせた耐震計算に対して、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がある施設を評価対象施設として抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価対象は「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」の第5条及び第50条に規定されている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施設とする。Bクラスの施設については、共振のおそれのあるものを評価対象とする。

評価に当たっては、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の影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

施設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。

3. 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は、基準地震動 $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 、 $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ を用いる。

ここで、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 S_s は、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を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

4.1 建物・構築物

4.1.1 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、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれ方向ごとに入力し解析を行っている。また、発電用原子炉施設における建物・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。

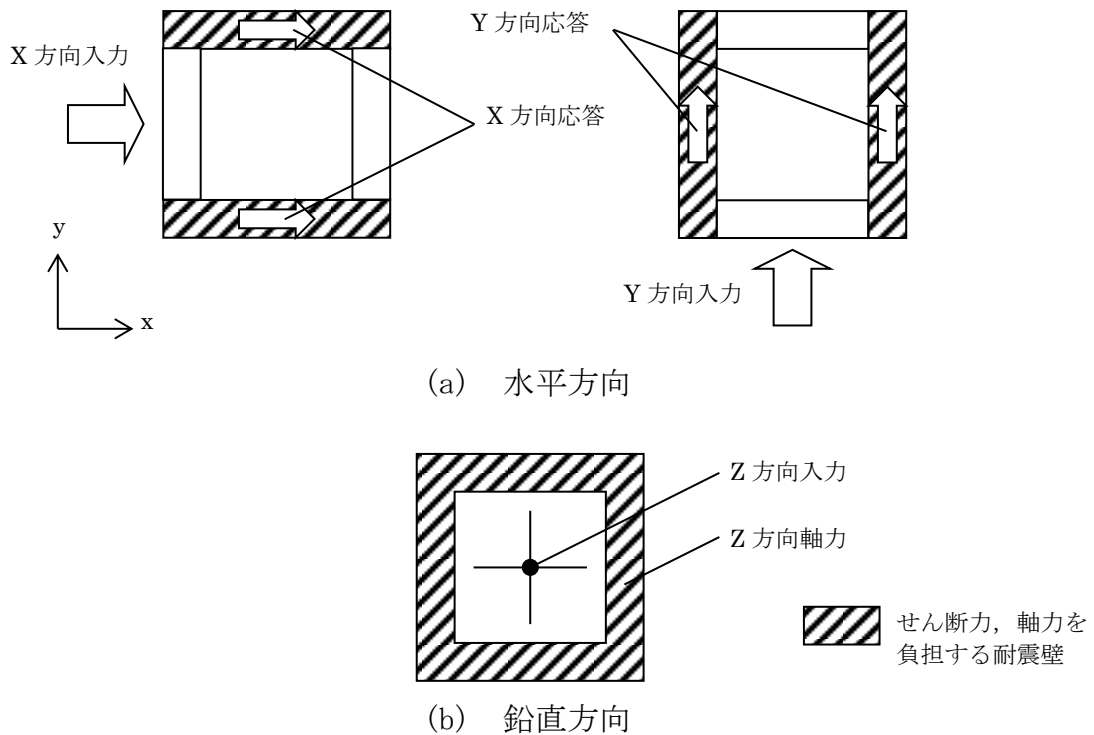
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合よく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

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・構築物に作用する軸力は、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、第4-1図に示す。

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から算出された応答を、水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

また、排気筒については、斜め方向に作用する地震力に対して隅柱（主柱材）の軸力が大きくなる場合を想定した検討も実施している。



第 4-1 図 入力方向ごとの耐震要素

4.1.2 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

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施設の評価部位とする。

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の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が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による影響を受ける可能性がある部位は、従来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。

4.1.3 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

建物・構築物において、水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた従来の設計手法に対して、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がある耐震評価上の構成部位について、応答特性から抽出し、影響を評価する。影響評価のフローを第4-2図に示す。

(1) 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・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建物において、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の影響が想定される応答特性を整理する。

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の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に対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する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

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のうち、3次元的な応答特性が想定される部位を検討する。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、有する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、有する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、有する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、建物規模及び構造特性を考慮し、原子炉建物について地震応答解析を行う。3次元FEMモデルの概要を第4-3図に示す。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

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、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1)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)等の最大応答の非同時性を考慮した地震力を設定する。

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、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

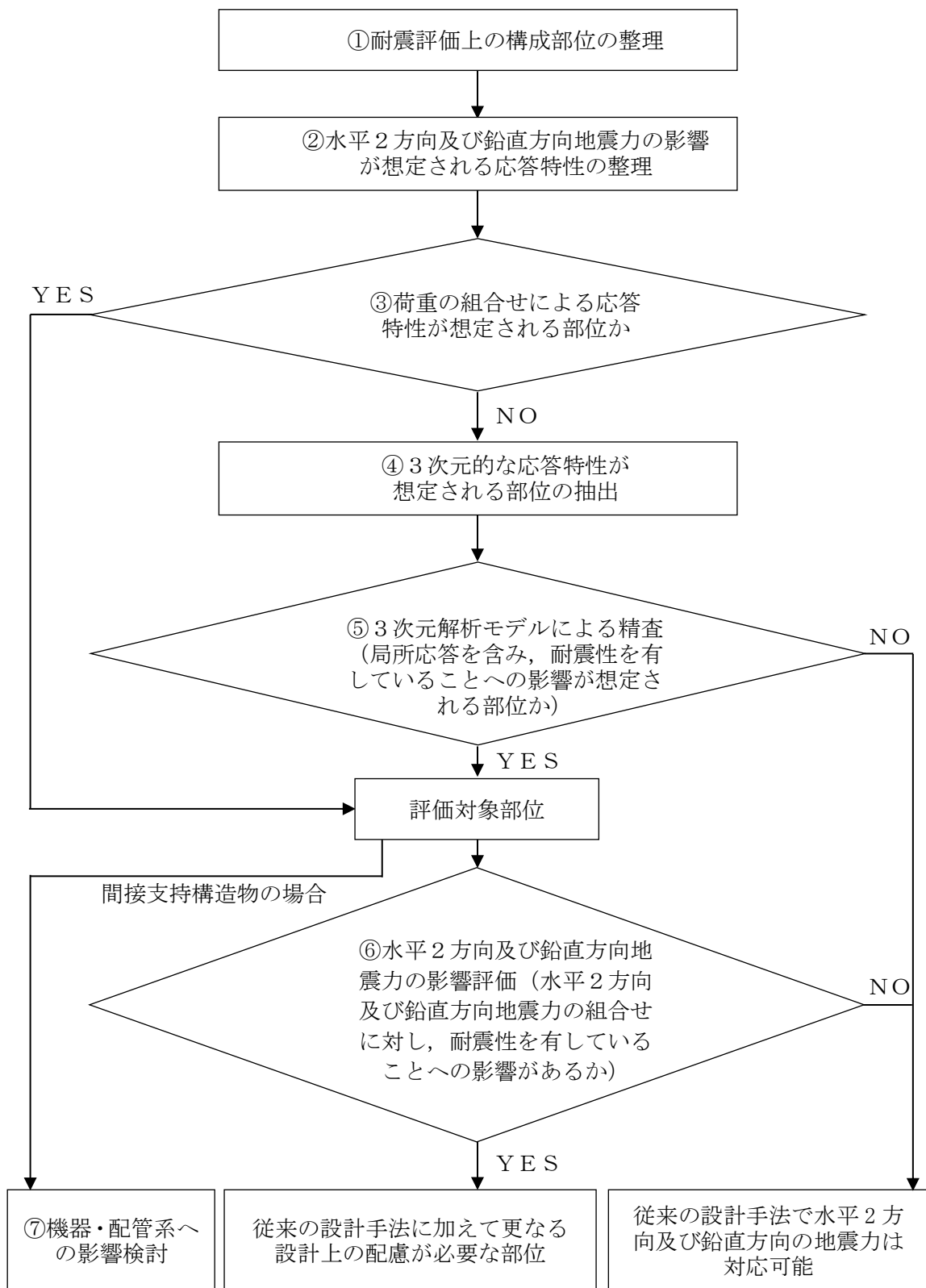
⑦ 機器・配管系への影響検討

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、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。

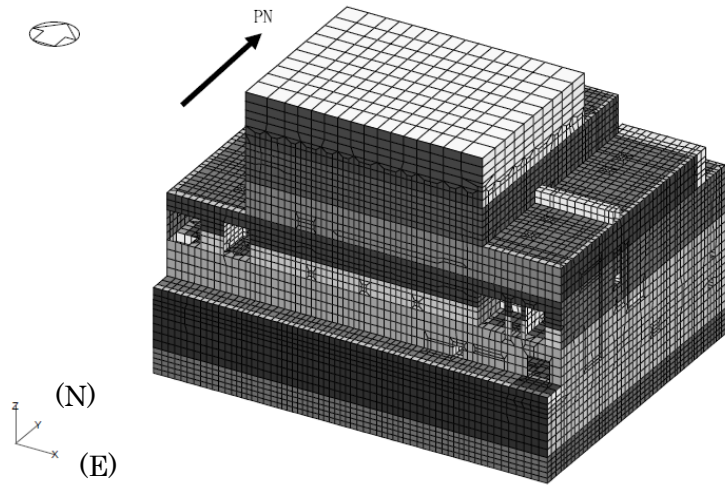
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、⑤の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元FEMモデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。

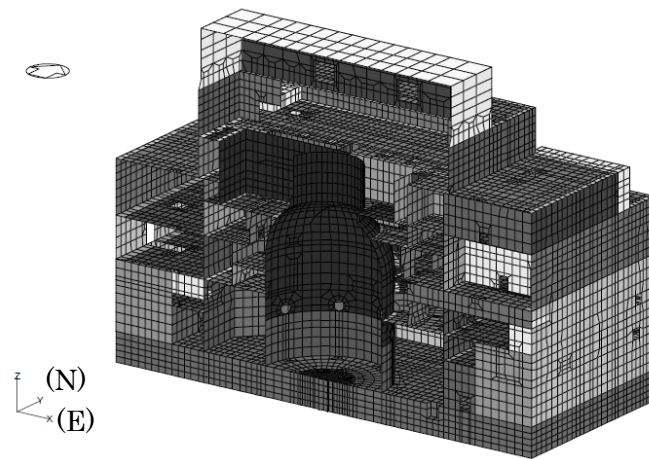
注1: Regulatory Guide (RG) 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”



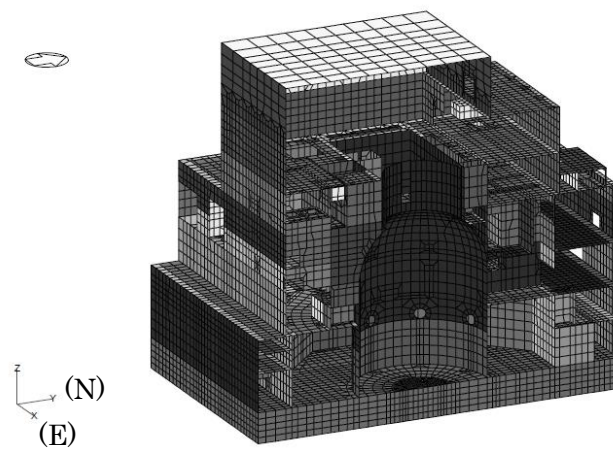
第4-2図 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討のフロー



(a) 建物全景



(b) E W断面図



(c) N S断面図

第 4-3 図 建物 3 次元 F E M モデル

4.2 機器・配管系

4.2.1 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地震力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_s 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。

4.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に、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がある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ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の算出方法として、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方法又は新たな解析等により高度化した手法を用いることにより、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のない設備とし、評価対象には抽出せず、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 $S_s - D$ 、

S_s-F1, S_s-F2, S_s-N1 及び S_s-N2 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については、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。

4.2.3 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1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた従来の耐震計算に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の可能性のある設備を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4-4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、現状の耐震評価が基本的に概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で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、機種ごとに分類し整理する。（第4-4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方向の地震力が重畳する観点、若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4-4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

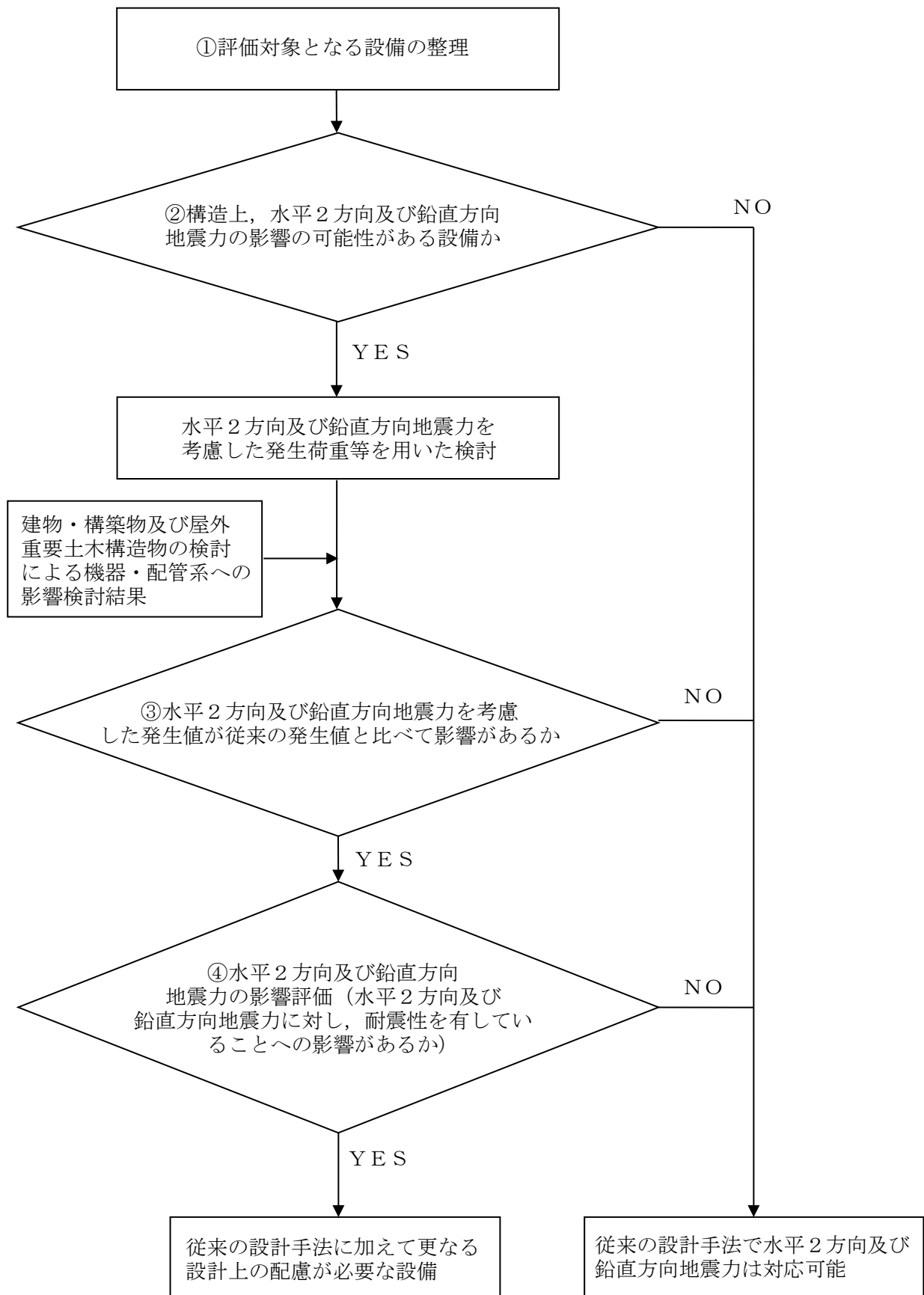
求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討により、機器・配管系への影響の可能性が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4-4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、設備が有する耐震性への影響を確認する。（第4-4図④）



第4-4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

4.3 屋外重要土木構造物等

4.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来の設計の考え方について、取水槽を例に第4-1表に示す。

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等[※]は、おおむ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等は、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等は、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。

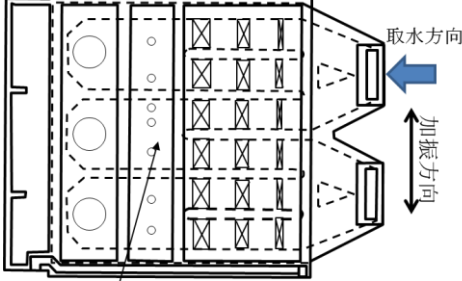
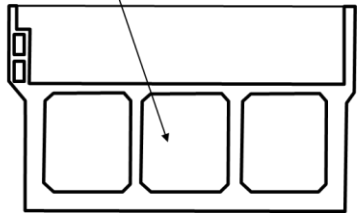
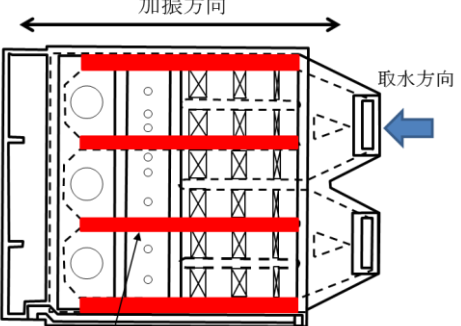
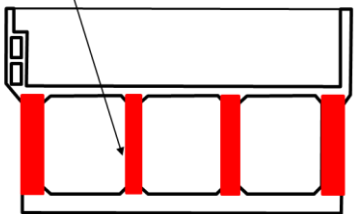
強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

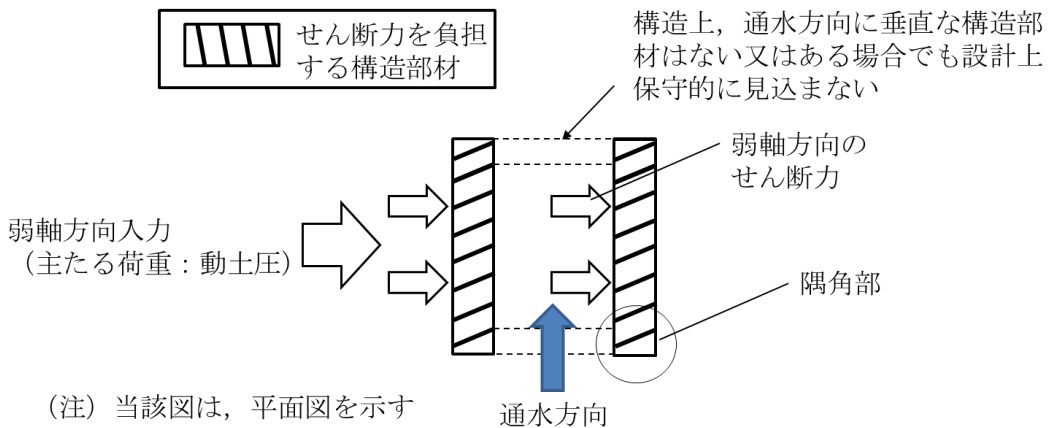
第4-5図に示す通り、従来設計手法では、屋外重要土木構造物等の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な水路の壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物等のうち取水口及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、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、従来設計手法では、直交2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。

※屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

第4-1表 従来設計手法における評価対象断面の考え方（取水槽の例）

	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</p> <p>加振方向</p> <p>加振方向に平行な部材が少ない</p> 	 <p>加振方向</p> <p>取水方向</p> <p>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できる</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材が少なく、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、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でき、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 弱軸方向を評価対象断面とする。 	



第4-5図 従来設計手法の考え方

4.3.2 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等において、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、取水槽、取水管、取水口、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）、緊急時対策所用燃料地下タンク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（輪谷貯水槽（西側）及び免震重要棟遮蔽壁）とする。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、屋外重要土木構造物には該当せず、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類されるとともに、常設耐震重要重大事故防止設備及び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に分類される。

また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、第1ベントフィルタ格納槽及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、屋外重要土木構造物には該当せず、常設耐震重要重大事故防止設備及び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に分類され、緊急時対策所用燃料地下タンクは、屋外重要土木構造物には該当せず、常設重大事故緩和設備に分類される。

第4-2表に評価対象構造物の施設分類を示す。

屋外重要土木構造物等を構造形式ごとに分類し、構造形式ごと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方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造形式を抽出する。

抽出された構造形式については、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評価し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。

第 4-2 表 屋外重要土木構造物等の施設分類

評価対象構造物	施設分類		
	屋外重要土木構造物	重大事故等対処施設	波及的影響
取水槽	○	○	—
取水管	○	○	—
取水口	○	○	—
屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	○	○	—
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	○	—
燃料移送系配管ダクト	○	○	—
屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク～原子炉建物)	○	○	—
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—	○	—
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—	○	—
第 1 ベントフィルタ格納槽	—	○	—
屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	—	○	—
緊急時対策所用燃料地下タンク	—	○	—
輪谷貯水槽(西側)	—	—	○
免震重要棟遮蔽壁	—	—	○

4.3.3 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等において、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第 4-6 図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

評価対象構造物について、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、構造形式ごとに大別する。

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形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごと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、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、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するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

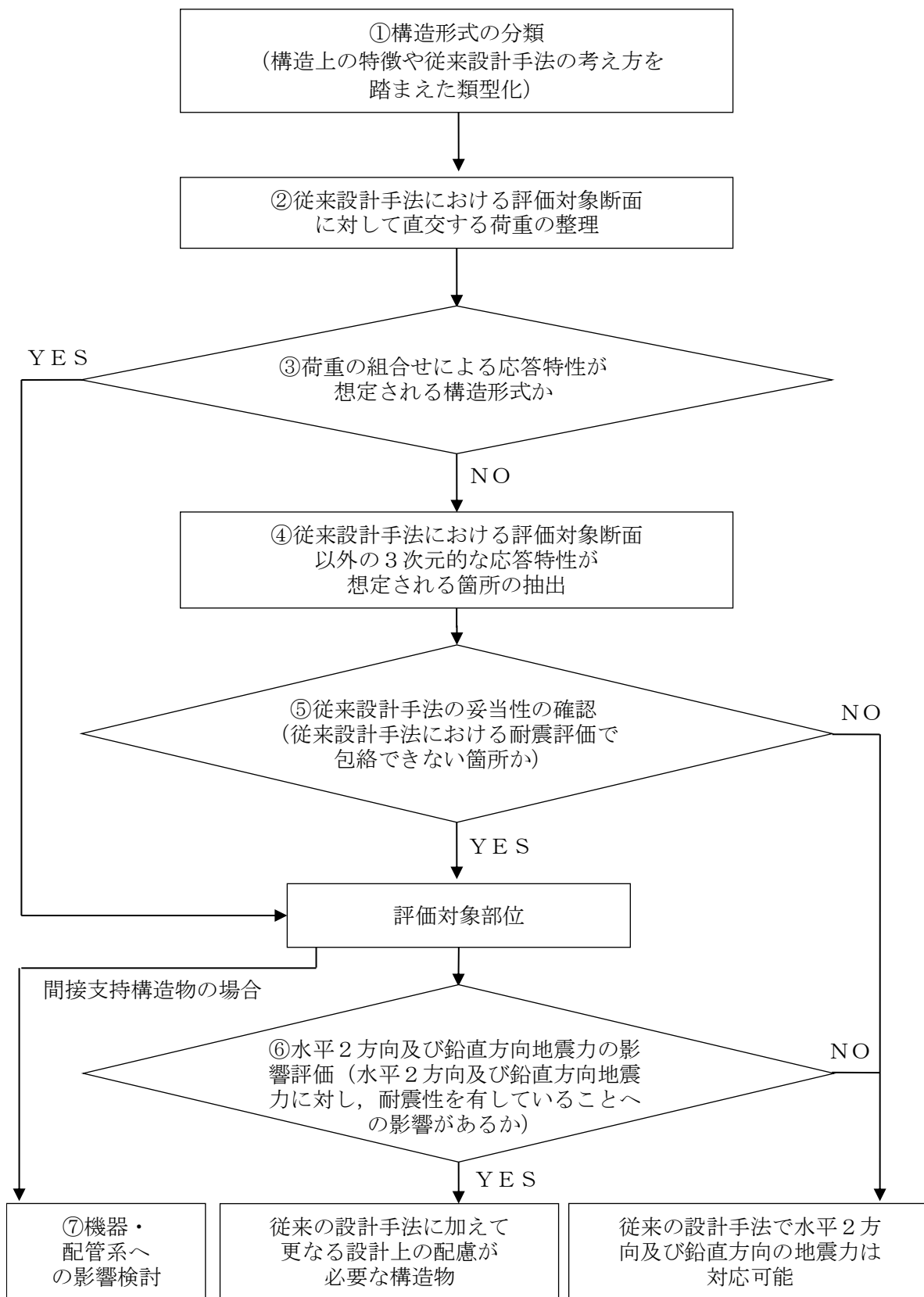
評価手法については、評価対象構造物の構造形式を考慮して選定する。

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。

なお、④及び⑤の精査にて、屋外重要土木構造物等の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。



第4-6図 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価のフロー

4.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

4.4.1 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

津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備は，「建物・構築物」，「機器・配管系」又は「屋外重要土木構造物等」に区分し設計をしていることから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は，施設，設備の区分に応じて「4.1 建物・構築物」，「4.2 機器・配管系」又は「4.3 屋外重要土木構造物等」の方針に基づいて実施する。

島根原子力発電所 2 号炉

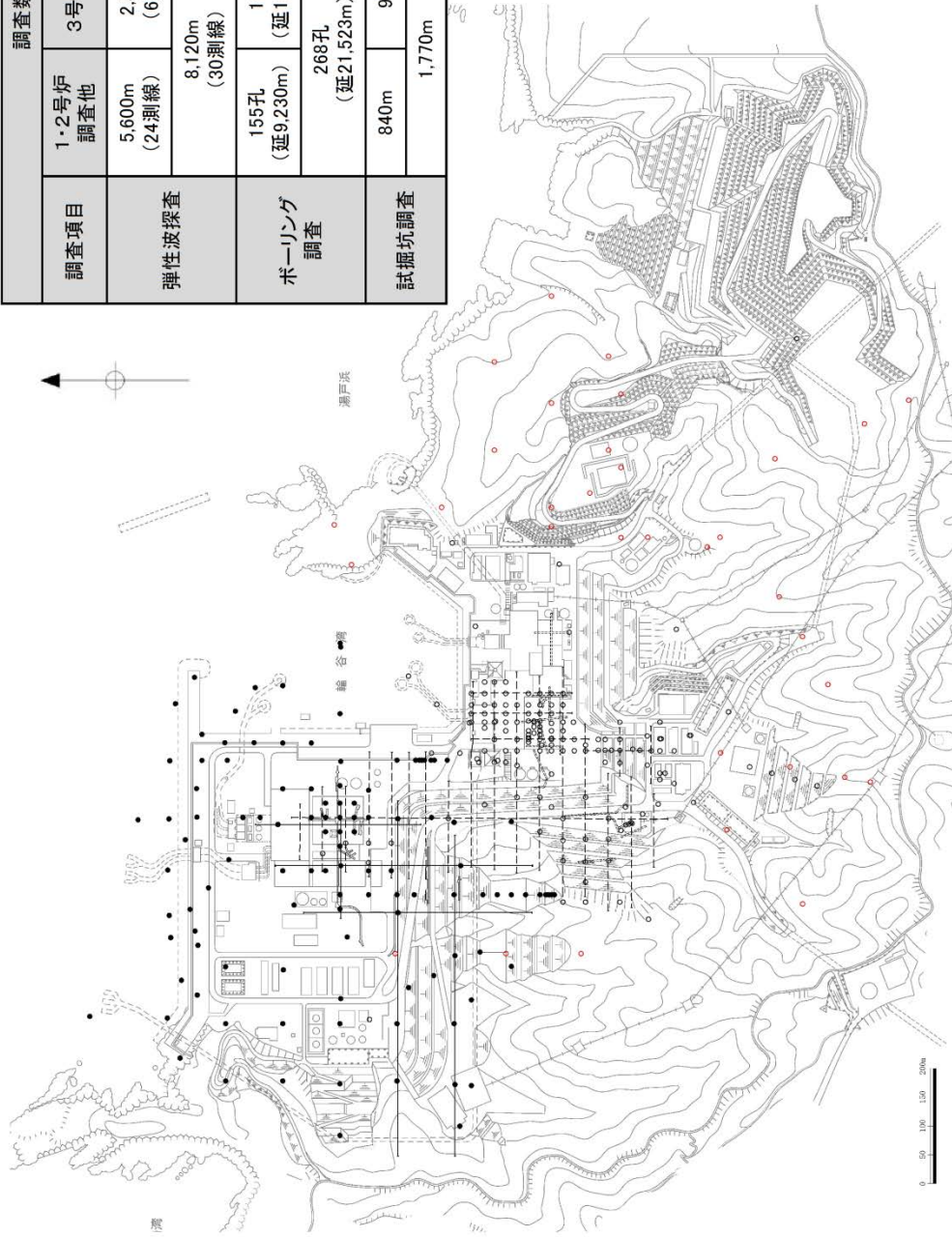
地震応答解析に用いる地質断面図の
作成例及び地盤の速度構造
(耐震)

1. 地質断面図

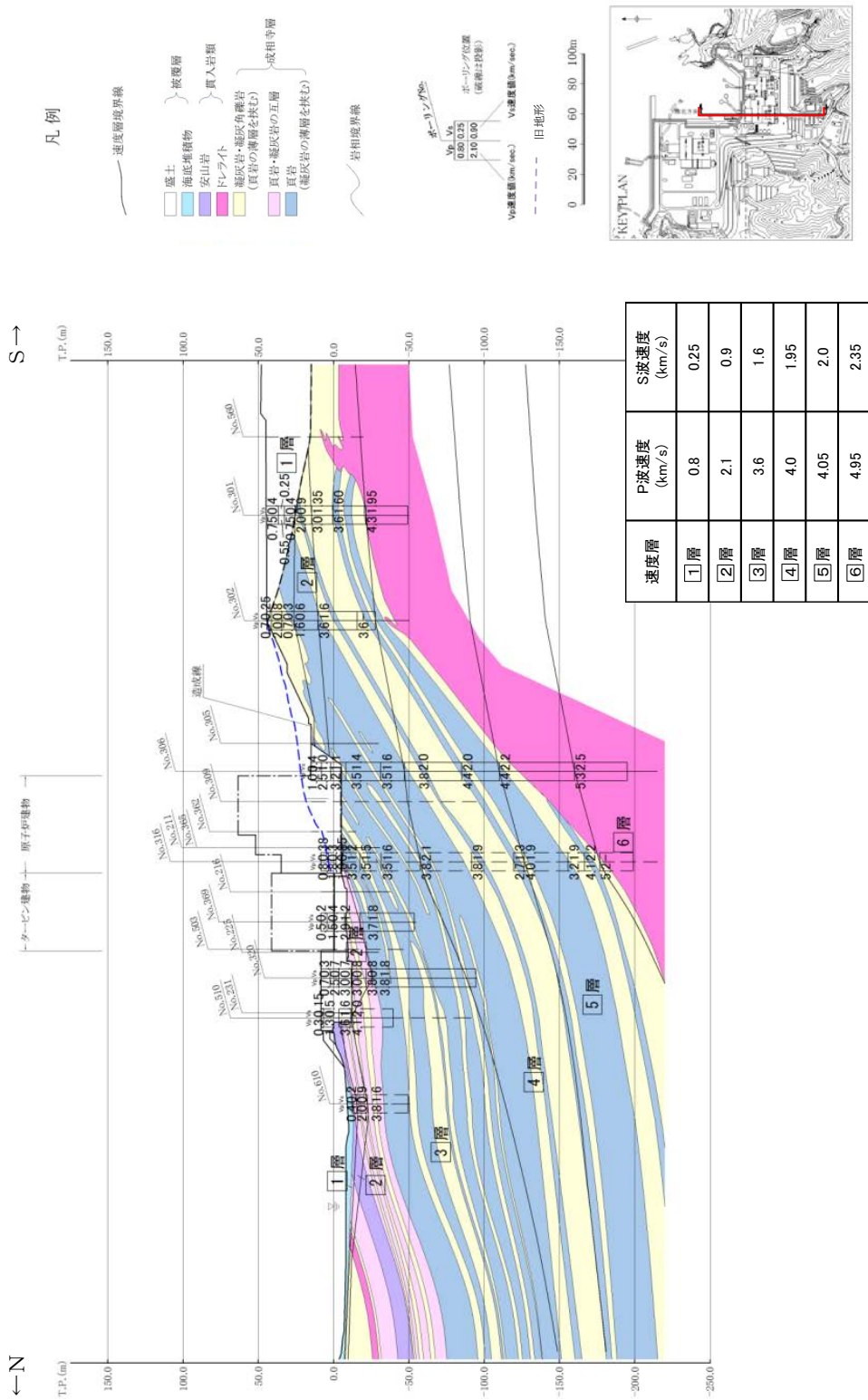
地震応答解析に用いる地質断面図は、評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき、岩盤、堆積物及び埋戻土の分布を設定し作成する。第 1-1 図に敷地内で実施したボーリング調査位置図を示す。

代表例として、地質断面図を第 1-2 図及び第 1-3 図に示す。

調査数量一覧表				
調査項目	1・2号炉調査他	3号炉調査	その他調査	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	—	8,120m (30測線)
	8,120m (30測線)		—	
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	33孔 (延4,202m)	301孔 (延25,725m)
	268孔 (延21,523m)		—	
試験坑調査	840m	930m	—	1,770m

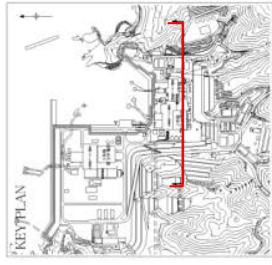
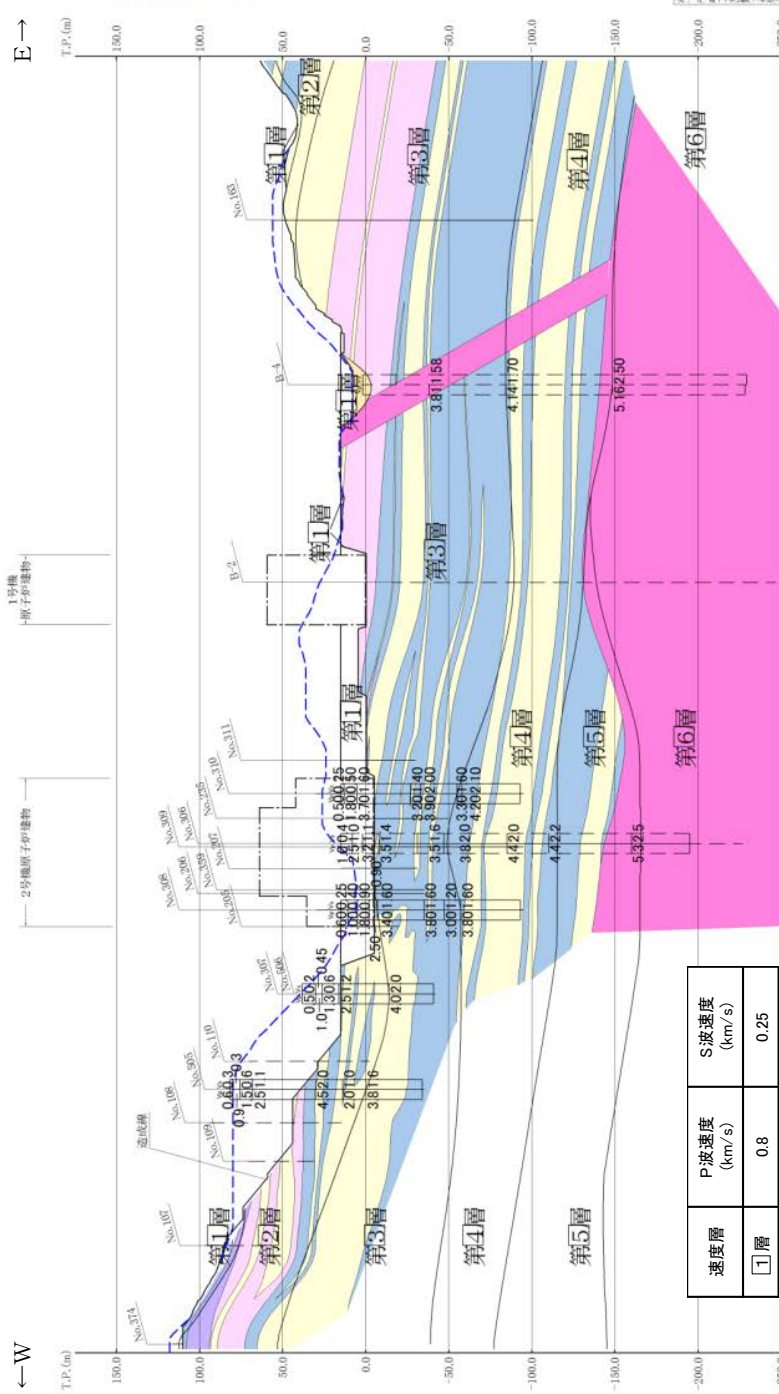
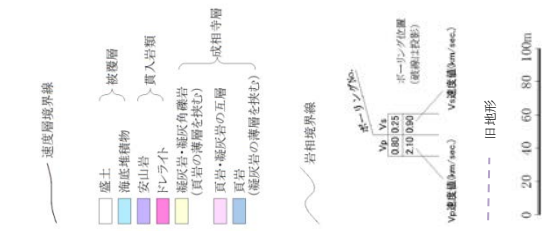


第1-1図 ボーリング調査位置図



第1-2図 地質断面図 (NS断面)

凡例



速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
第1層	0.8	0.25
第2層	2.1	0.9
第3層	3.6	1.6
第4層	4.0	1.95
第5層	4.05	2.0
第6層	4.95	2.35

第 1-3 図 地質断面図 (E-W断面)

2. 地盤の速度構造

2.1 入力地震動策定に用いる地下構造モデル

解放基盤表面は、S波速度が0.7km/s以上となっている標高-10mとしている。建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、2次元FEM解析又は1次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。

入力地震動策定に用いる地下構造モデルに適用する地盤物性値を第2-1表に示す。

なお、本モデルに適用する地盤物性の詳細については、「添付書類六 3. 地盤」に示す。

第2-1表 入力地震動策定に用いる地下構造モデルに適用する地盤物性値

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
①層	0.80	0.25	20.6	0.446
②層	2.10	0.90	23.0	0.388
③層	3.60	1.60	24.5	0.377
④層	4.00	1.95	24.5	0.344
⑤層	4.05	2.00	26.0	0.339
⑥層	4.95	2.35	27.9	0.355

島根原子力発電所 2 号炉

建物の地震応答解析モデルについて

(建物基礎底面の付着力及び 3 次元 F E M
モデルの採用)

(耐震)

目 次

1. はじめに
2. 検討方針及び妥当性確認
 - 2.1 基礎浮上り評価法に関する既往の知見
 - 2.2 低接地率となる地震応答解析結果の妥当性確認について
 - 2.2.1 廃棄物処理建物に関する検討
 - 2.2.2 制御室建物に関する検討
3. まとめ
4. 参考文献

添付資料－1 建物基礎底面の付着力に関する検討

添付資料－2 廃棄物処理建物の地震応答解析

添付資料－3 制御室建物の地震応答解析

参考資料－1 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討

参考資料－2 岩盤－レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面について

参考資料－3 設定付着力に関する統計的な考察について

参考資料－4 試験地盤と建物直下地盤の同等性について

補足資料－1 既工認実績における付着力試験方法との比較

補足資料－2 既工認実績における設定付着力との比較

補足資料－3 島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について

補足資料－4 建物直下地盤周囲の地盤状況について

1. はじめに

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における基礎浮上り評価について、線形地震応答解析又は浮上り非線形地震応答解析を実施している。

今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s による検討においては、一部解析結果で浮上り非線形地震応答解析を適用できる接地率に満たない可能性が高いことから、個別に解析の妥当性を確認した上で採用する解析手法を選定する予定である。

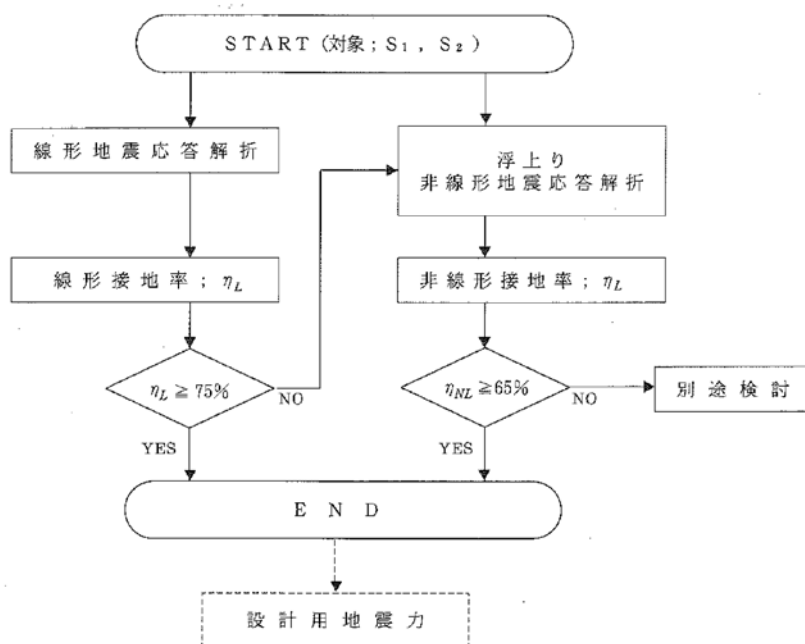
本資料は、低接地率となる見込みの解析結果について個別に解析の妥当性を確認し、採用する地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）について説明するものである。

2. 検討方針及び妥当性確認

基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理し、低接地率となる見込みの解析結果について個別に解析の妥当性を確認する。これらを踏まえて採用する地震応答解析モデルについて検討を行う。

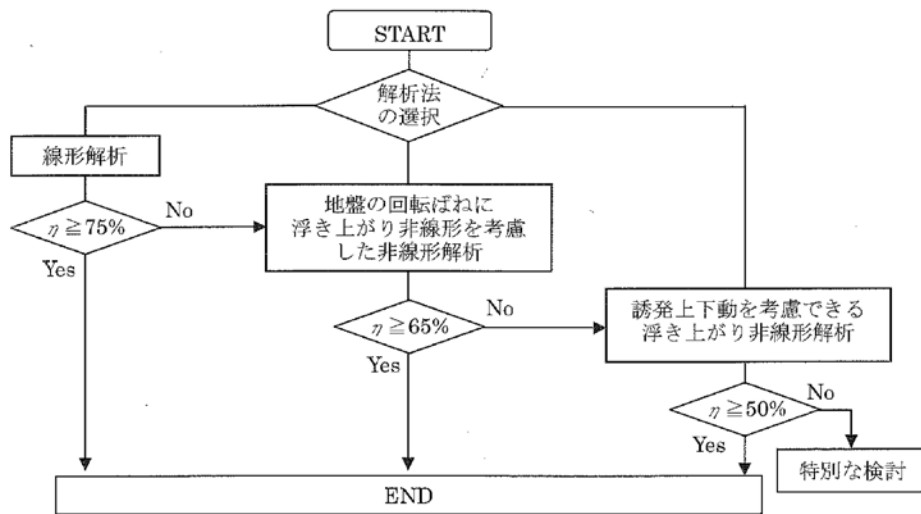
2.1 基礎浮上り評価法に関する既往の知見

島根原子力発電所2号炉（以下「島根2号炉」という。）の地震応答解析に当たっては、建物形状に応じ、建物と地盤の相互作用を考慮することとしている。「原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）-1987」においては、建物と地盤の相互作用の影響を適切に考慮できるモデルとしてSRモデルや離散系モデル（FEMモデルを含む）が列挙されている。また、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」においては、接地率に応じた地震応答解析手法の適用性が示されており、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ の場合は別途検討となっている（第2-1図参照）。



第2-1図 基礎浮上り評価フロー
（「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」より抜粋）

参考として、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ となる場合の別途検討の手法として、「原子力発電所耐震設計技術規程J E A C 4 6 0 1-2008（以下「J E A C 4 6 0 1-2008」という。）」では、誘発上下動を考慮したSRモデルや、特別な検討としてジョイント要素を用いた3次元FEMモデルが提案されている（第2-2図参照）。



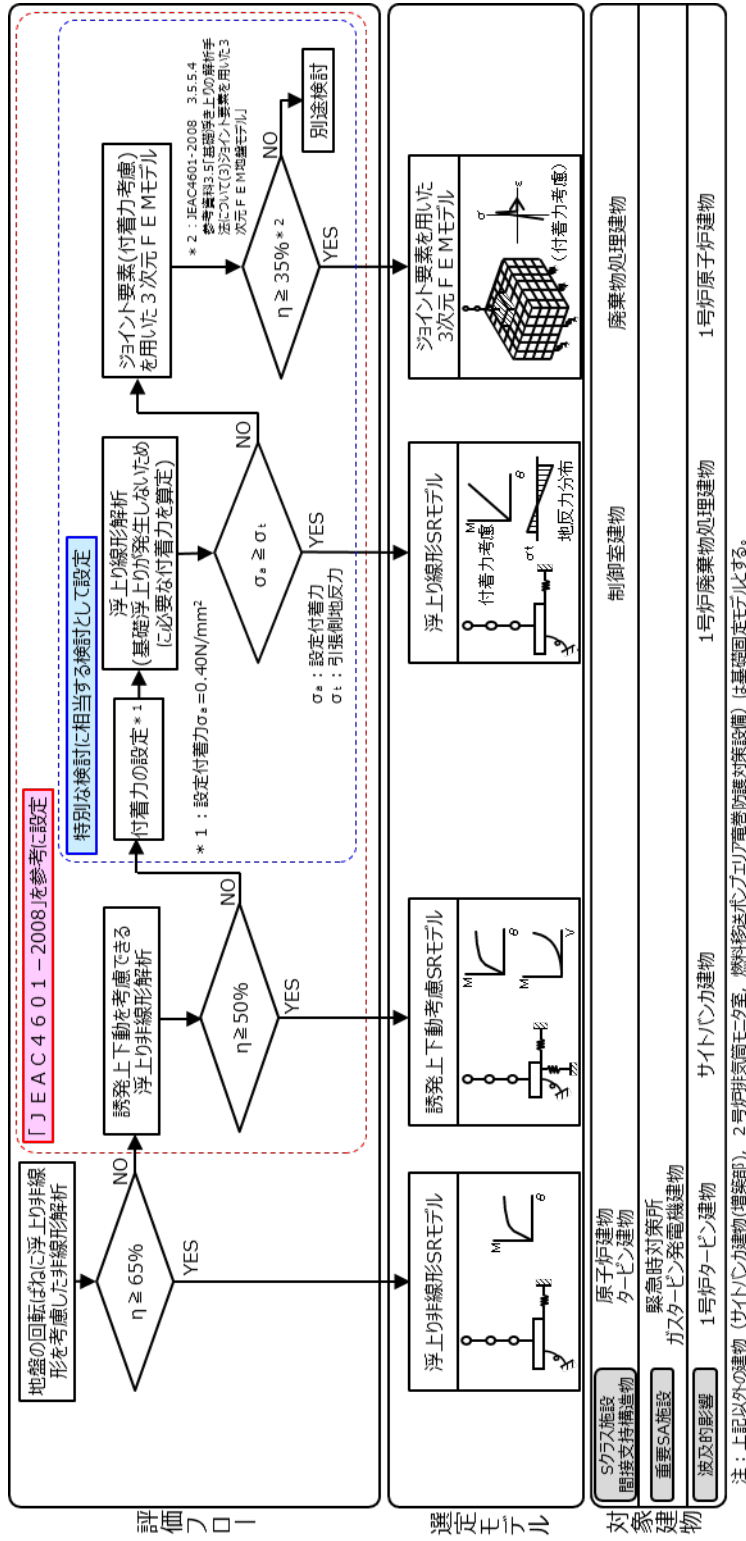
第2-2図 基礎浮上り評価フロー
 (「J E A C 4 6 0 1 - 2008」より抜粋)

2.2 低接地率となる地震応答解析結果の妥当性確認について

(1) 基礎浮上り評価方針

島根2号炉の建物・構築物は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とする。接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討は、「J E A C 4 6 0 1 -2008」の評価フローを参考とした。

上記を踏まえた島根2号炉における各建物(重要SA施設及び波及的影響に係る施設を含む)の地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローを第2-3図に示す。



第2-3 図 島根2号炉における各建物の地震応答解析モデルの選定フロー

(2) 採用する地震応答解析モデルの選定

制御室建物、廃棄物処理建物等は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形解析において、接地率 $\eta < 50\%$ となる見込みであることから、第2-3図に示す「特別な検討に相当する検討」として、建物の基礎底面の付着力を考慮した地震応答解析等を行い、その適用性を確認した上で、採用する地震応答解析モデルを選定する。

建物の基礎底面と地盤間の付着力は、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき 0.40N/mm^2 とした。(添付資料-1 参照)

なお、本資料では制御室建物及び廃棄物処理建物の検討結果を示すこととし、これら以外の建物において付着力を考慮する場合に採用する基礎浮上り評価法の適用性については、詳細設計段階にて説明する。

(3) 建物基礎底面の付着力有無による建物応答への影響検討

建物基礎底面の付着力は、地震応答解析における解析精度の確保（接地率の改善）を目的として設定したものであり、建物基礎底面の付着力の考慮の有無による建物応答への影響を把握するため、第2-3図において、付着力を考慮しない地震応答解析モデルを採用する建物のうち、建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ、原子炉建物を代表として、付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた地震応答解析を行った。その結果、付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した。このことから付着力の考慮の有無による建物応答への影響は軽微であることを確認している。(参考資料-1 参照)

以上より、建物基礎底面の付着力は、地震応答解析における解析精度の確保（接地率の改善）を目的として設定したものであることを踏まえて、付着力を考慮することなく地震応答解析の解析精度が確保される建物の設計用地震力等については、付着力による影響を考慮しない方針とする。

2.2.1 廃棄物処理建物に関する検討

(1) 検討概要

廃棄物処理建物は建物が比較的小規模で、基準地震動 S_s に対する接地率が小さい（接地率 $\eta < 50\%$ ）ため、接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討手法として先行プラントの既工認で適用実績のあるジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、接地率が適用範囲内（ $\eta \geq 35\%$ ）であることを確認する。

(2) 検討結果

廃棄物処理建物について、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルによる地震応答解析を行った結果を添付資料-2に示す。

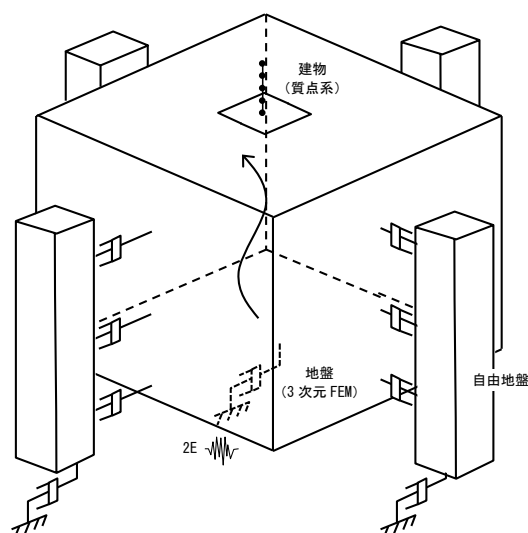
検討の結果、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルによる接地率（最小値）は98.8%（ $S_s - D$, NS方向）、93.9%（ $S_s - D$, EW方向）であり、解析の適用性を確認した。

(3) 採用する基礎浮上り評価法

廃棄物処理建物はジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルの適用範囲を確認した上で、地震応答解析に際しては、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルを採用することとする。

なお、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルは、先行審査（高浜3, 4号炉中間建屋）の地震応答解析で適用実績がある。

ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルを第2-4図に示す。



第2-4図 ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル

2.2.2 制御室建物に関する検討

(1) 検討概要

制御室建物は建物が小規模であることから、基準地震動 S_s に対する接地率が小さい（接地率 $\eta < 50\%$ ）ため、建物基礎の接地状況を踏まえた検討を行う。

制御室建物について「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に示される浮上り線形地震応答解析を実施し、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定を行う。

検討の結果、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値を超えないことを確認する。

(2) 検討結果

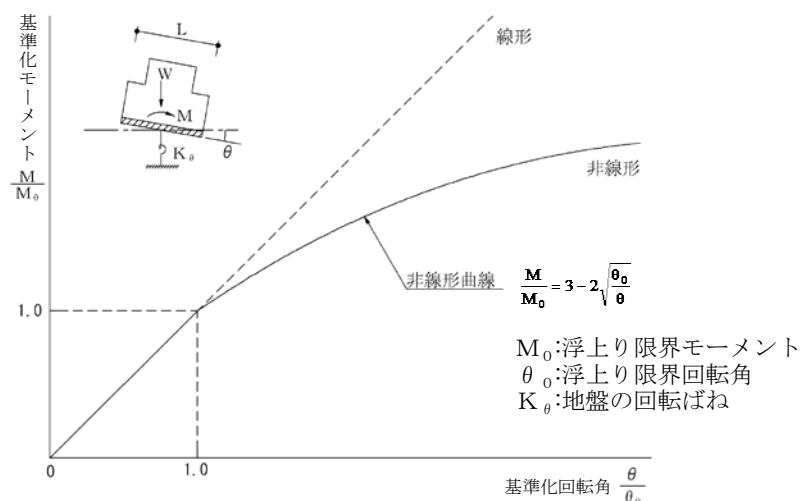
制御室建物について「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に示される浮上り線形地震応答解析を実施し、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定を行った結果を添付資料-3に示す。

検討の結果、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力（最大値）は 0.32 N/mm^2 ($S_s - D$, NS 方向) であることから、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値 (0.40 N/mm^2) を超えないことを確認した。

(3) 採用する基礎浮上り評価法

制御室建物は基礎浮上りが発生しないことを確認した上で、地震応答解析に際しては、浮上り線形地震応答解析を採用することとする。

なお、建物基礎底面の付着力の考慮は、先行審査（高浜3，4号炉中間建屋，川内1，2号炉ディーゼル建屋，主蒸気管室建屋）の地震応答解析で適用実績がある。



第2-5 図 地盤の回転ばねのモーメントー回転角関係

4 条-別紙 2-8

3. まとめ

基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理し、低接地率となる見込みの解析結果について個別に解析モデルの適用性を確認し、今回工認で採用する地震応答解析モデルについて検討を行った。

検討の結果、島根2号炉の今回工認で採用する建物・構築物の地震応答解析モデルは、第3-1表の通りとする予定である。

第3-1表 採用する地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）

建 物	採用する地震応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	備 考
廃棄物処理建物	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル	個別に解析の妥当性確認を実施 (添付資料-2参照)
制御室建物	SRモデル(浮上り線形地震応答解析)	個別に解析の妥当性確認を実施 (添付資料-3参照)
1号炉原子炉建物	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル	個別に解析の妥当性確認を実施 (詳細設計段階にて説明する)
1号炉廃棄物処理建物	SRモデル(浮上り線形地震応答解析)	個別に解析の妥当性確認を実施 (詳細設計段階にて説明する)

注1：原子炉建物及びタービン建物は浮上り非線形解析を採用し、接地率 $\eta \geq 65\%$ の見込み。

ただし、材料物性等の不確かさを考慮した地震応答解析の結果、接地率 $\eta < 65\%$ となる場合、先行審査を含めた既工認で適用実績のある手法による解析を採用する。

注2：上記以外の波及的影響に係る施設及び新設のSA施設の地震応答解析に当たっては、接地率 η 及び接地圧の値に応じて、浮上り線形地震応答解析、浮上り非線形地震応答解析、誘発上下動を考慮したSRモデル又はジョイント要素を用いた3次元FEMモデル等の先行審査を含めた既工認で適用実績のある手法による解析を採用する。

4. 参考文献

- (1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987
- (2) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
- (3) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008

建物基礎底面の付着力に関する検討

1. 概要

本資料は、建物・構築物の地震応答解析モデルの基礎底面に設定した付着力に関して、その設定の妥当性について説明する。

2. 検討方針

地震応答解析に考慮する付着力について、既往の知見及び島根原子力発電所で実施した付着力試験の結果を踏まえて設定する。

3. JNES 報告書による付着力に関する研究

建物基礎と地盤間の付着力に関しては系統だった研究はあまり行われておらず、知見も限られる状況の中、「(独)原子力安全基盤機構の報告書⁽¹⁾」(以下「JNES 報告書」という。)では付着力について試験及び解析的検討が実施され、次の知見が得られたとされている。

- ・直接引張による付着力試験結果を用いたシミュレーション解析により、面的な広がりをもつ試験体の基礎浮上り挙動をよく再現できた。
- ・基礎浮上り評価においては、実際の発電所サイトの岩盤やレベルコンクリートの状況から付着力を推定する、あるいは試験等で付着力を確認することによって、基礎浮上りの評価に付着力を考慮することが可能と考えられる。

これらの知見の島根原子力発電所への適用性の確認と、「JNES 報告書」の試験方法を参考とした試験計画の策定を目的として、「JNES 報告書」の研究内容を確認した。

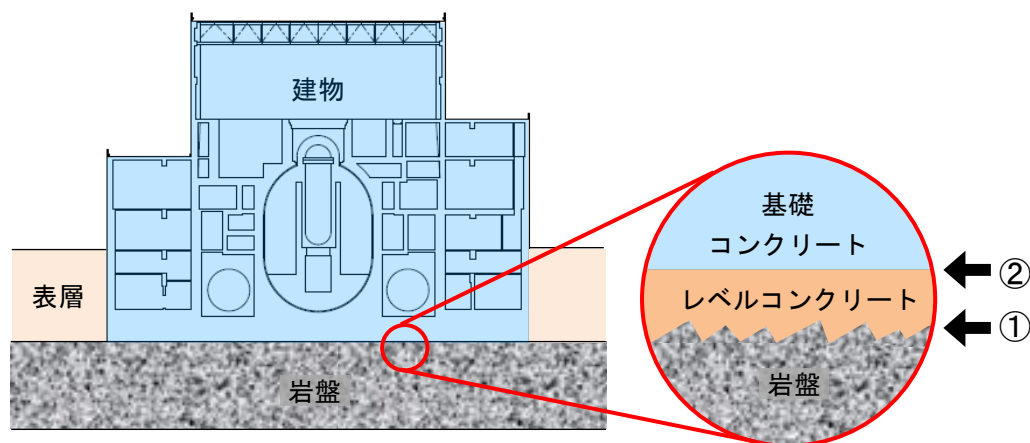
以下に「JNES 報告書」の概要を示す。

3.1 研究概要

既往の原子炉施設は、第 3-1 図に示すように岩盤に直接支持されており、表層土を掘削した後、岩盤上に直接コンクリートを打設するのが一般的である。この場合コンクリートと岩盤の境界面には付着力が生じていると予想され、地震時の基礎浮上り挙動に影響を与えると考えられる。しかし、付着力に関しては系統だった研究は少なく、知見が十分ではないことから、建物基礎-岩盤間の付着力把握試験及び解析を実施し、実際の原子炉施設において付着力が基礎浮上り性状に与える影響を検討するための基礎データを取得することを目的として、本検討が実施された。

第 3-1 図に示すように岩盤と基礎との間にはレベルコンクリートが打設されるため、接合面としては、岩盤とレベルコンクリート間(第 3-1 図の①)、及びレベルコンクリートと基礎コンクリート間(第 3-1 図の②)が存在する。本検討では、①を模擬した 10cm×10cm の接合面での付着力を検討する要素試験体による直接引張試験及び曲げ引張試験と、①、②を模擬した 150cm×150 cm の接合面で付着力を検討する中規模試験体による静的引き上げ実験及び 3 次元 FEM 解析を用いた解析的検討が行われた。

検討の結果、3次元 FEM 解析に設定する付着力の材料特性値としては、要素試験体による直接引張試験結果が適切と考えられるとしている。



第 3-1 図 原子炉施設の建物基礎と岩盤

3.2 要素試験

3.2.1 実験因子と水準

要素試験の実験因子と水準を第 3-1 表に示す。岩盤種類は硬岩として花崗岩，軟岩として凝灰岩，硬岩と軟岩の中間的な一軸圧縮強度レベルとして砂岩としている。岩盤の表面は自然破断面としている。レベルコンクリートの強度は，代表的なレベルコンクリート（推定強度 180kg/cm²）と同程度と考えられる呼び強度 15N/mm²としている。

第 3-1 表 実験因子と水準

実験因子	水準
岩盤の種類	①花崗岩（圧縮強度 150N/mm ² 程度） ②砂 岩（圧縮強度 100N/mm ² 程度） ③凝灰岩（圧縮強度 20N/mm ² 程度）
岩盤の表面粗さ	平滑面（自然破断面：凹凸 10~20mm 程度）
コンクリート強度	呼び強度 15N/mm ²

3.2.2 試験方法

(1) 岩盤の物性

岩盤の物性は，一軸圧縮強度（J G S 2 5 2 1 -2000），圧裂引張強度（J G S 2 5 5 1 -2000），及び超音波伝播速度（J G S 2 1 1 0 -1998）を測定している。

(2) コンクリートの物性

コンクリートの物性は，材齢 28 日及び直接引張試験材齢における圧縮強度と割裂引張強度を測定している。

(3) 直接引張試験

試験体寸法は 60cm×10cm×20cm とした。高さ 10cm の岩盤の上部にコンクリートを厚さ 10cm で打設し，湿布養生を行ったとしている。

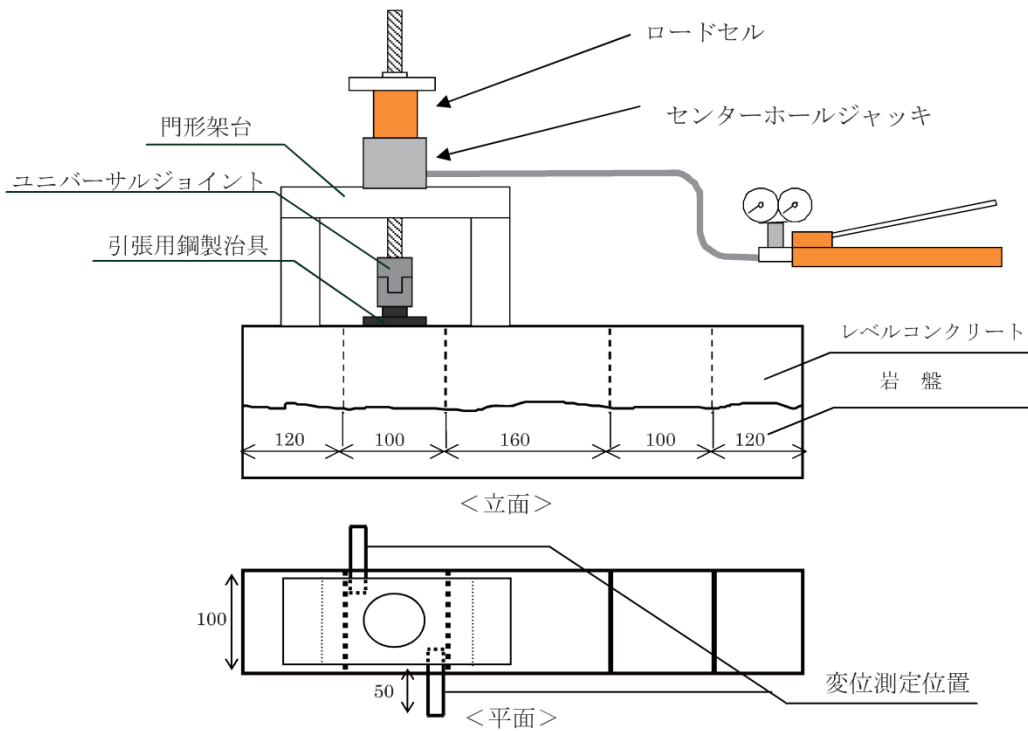
試験体は 1 種類の岩盤に対して 6 体作製し，1 試験体について 2 箇所実施している。試験体にはあらかじめ下部の岩盤に達するまでの切れ込みをコンクリートカッターで入れたとしている。加力箇所上面には 10cm×10cm の鋼製治具をエポキシ樹脂で接着したとしている。加力は第 3-2 図に示す方法で行い，岩盤とコンクリートの界面が剥離破壊するまでの荷重を測定している。直接引張試験による付着力 F_t は，下式より算定している。

$$F_t = \frac{P}{A}$$

ここで、 F_t : 付着力 (N/mm^2)

P : 最大荷重 (N)

A : 破断面積 (mm^2)



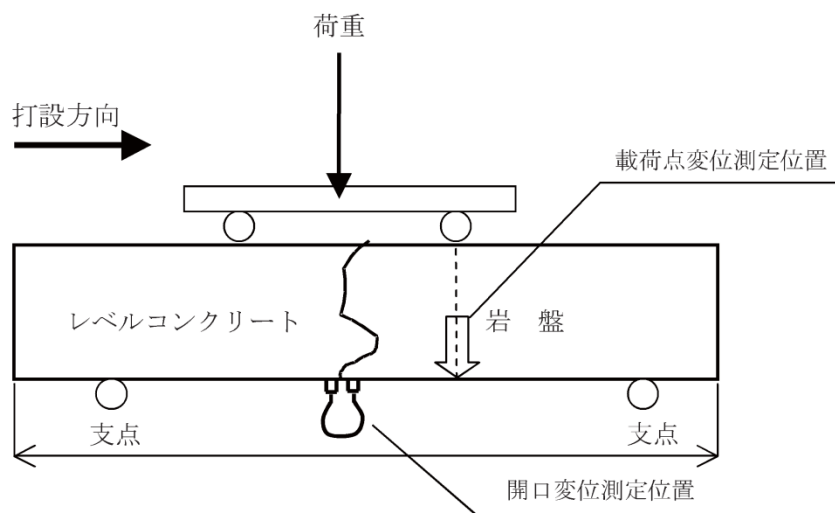
第3-2図 直接引張試験方法

(4) 曲げ試験

試験体寸法は長さ 40cm×幅 10cm×高さ 10cm としている。長さ 20cm の岩盤を縦に設置し、その上部にレベルコンクリートを厚さ 20cm で打設して湿布養生を行ったとしている。加力は第 3-3 図に示す方法で行い、界面が剥離破壊するまでの荷重を測定している。曲げ試験による付着力 F_b は、下式より算定している。

$$F_b = \frac{P L}{B H^2}$$

- ここで、 F_b : 付着力 (N/mm²)
P : 最大荷重 (N)
L : 支点間距離 (300mm)
B : 破断面幅 (mm)
H : 破断面高さ (mm)

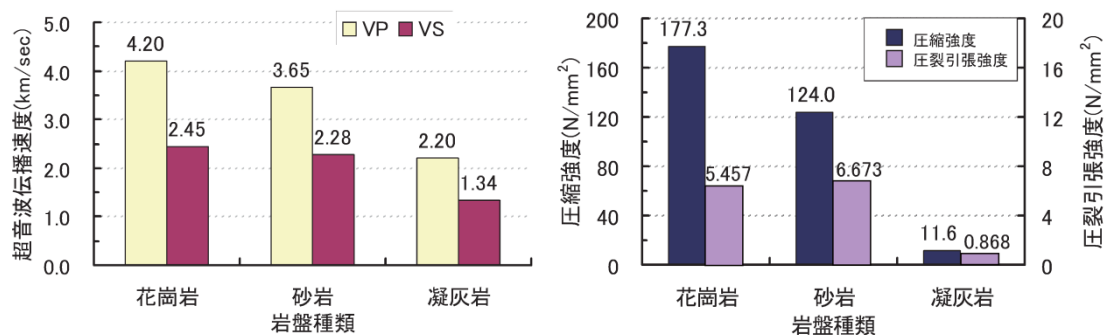


第 3-3 図 曲げ引張試験方法

3.2.3 実験結果

(1) 岩盤の物性

岩盤の超音波伝播速度測定結果及び圧縮強度と圧裂引張強度試験結果を第3-4図に示す。



(a) 超音波伝播速度

(b) 強度試験

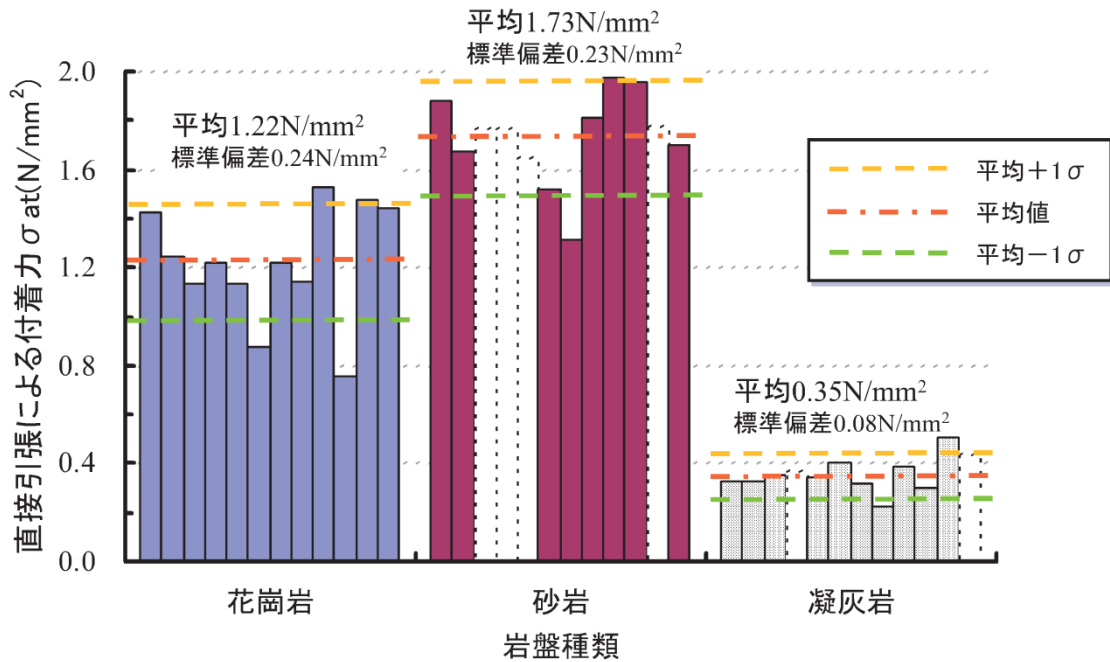
第3-4図 岩盤の試験結果

(2) コンクリートの物性

レベルコンクリートの圧縮強度は、材齢28日では平均21.9N/mm²、直接引張試験と曲げ試験を実施した材齢30日では平均24.7N/mm²であったとしている。また、割裂引張強度は材齢28日では平均2.25N/mm²、材齢30日では平均2.38N/mm²であり、圧縮強度の約1/10であったとしている。

(3) 直接引張試験

第3-5図に直接引張試験結果を示す。界面で破壊しなかった結果は点線で示している。付着力の平均値は、砂岩 (1.73N/mm^2) > 花崗岩 (1.22N/mm^2) > 凝灰岩 (0.35N/mm^2) となった。岩盤の圧裂引張強度は、砂岩 (6.7N/mm^2) > 花崗岩 (5.5N/mm^2) > 凝灰岩 (0.9N/mm^2) の順となっており、付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となったとしている。



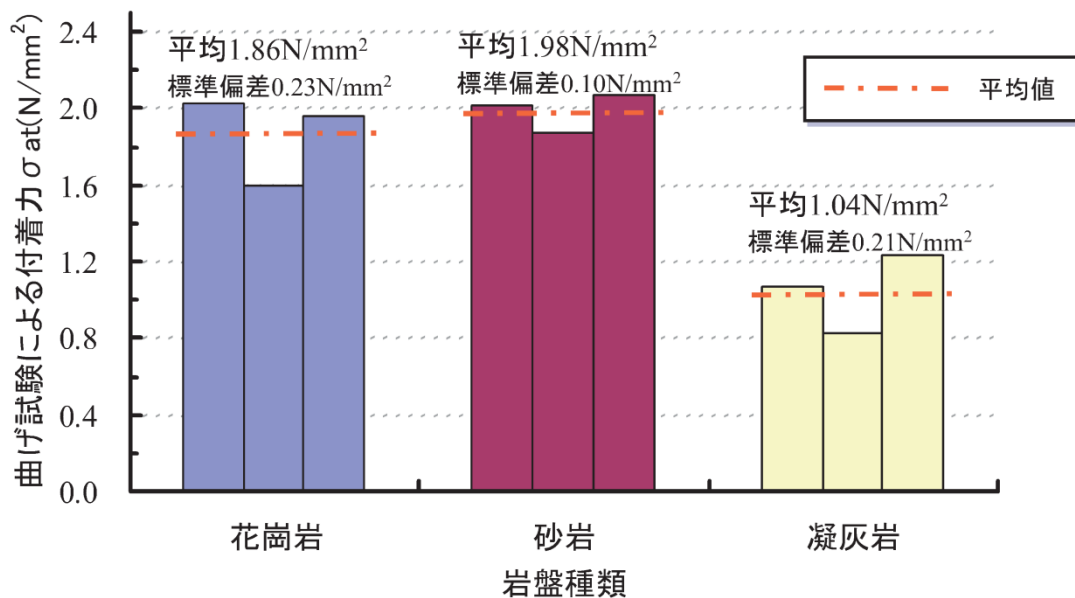
※破線のデータは、岩盤がスリットから斜めに破壊した値を示す。(平均値からは除外)

第3-5図 直接引張試験による付着力

(4) 曲げ試験

第3-6図に曲げ試験結果を示す。付着力の平均値は、砂岩 (1.98N/mm^2) > 花崗岩 (1.86N/mm^2) > 凝灰岩 (1.04N/mm^2) となったとしている。付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向にあり、これは直接引張試験の場合と同様であるとしている。

直接引張試験による付着力に対する曲げ試験による付着力の比は、花崗岩では1.5、砂岩では1.15、凝灰岩では3.0となったとしている。コンクリートでは一般的に曲げ強度は引張強度の1.2倍～3倍程度とされており、今回の試験結果は概ね同じ程度であったとしている。



第3-6図 曲げ試験による付着力

3.3 中規模試験

3.3.1 実験因子と水準

中規模試験シリーズの実験変数を第3-2表に示す。岩盤とレベルコンクリート間を対象としたRCシリーズでは、岩盤を花崗岩とし、その表面は粗面と平滑面の2種類の自然破砕面としている。粗面及び平滑面の最大凹凸差は、それぞれ、80mm程度と20mm程度としている。また、レベルコンクリートと基礎コンクリート間を対象としたCBシリーズでは、実施工の状況を考慮し、レベルコンクリートの表面を木ごて仕上げとし、レイタンスの除去等の処理を施さない状態で接合面に基礎コンクリートを打設したとしている。試験体は各試験シリーズにつき3体としている。岩盤は「3.2 要素試験」と同一種類の花崗岩を使用している。

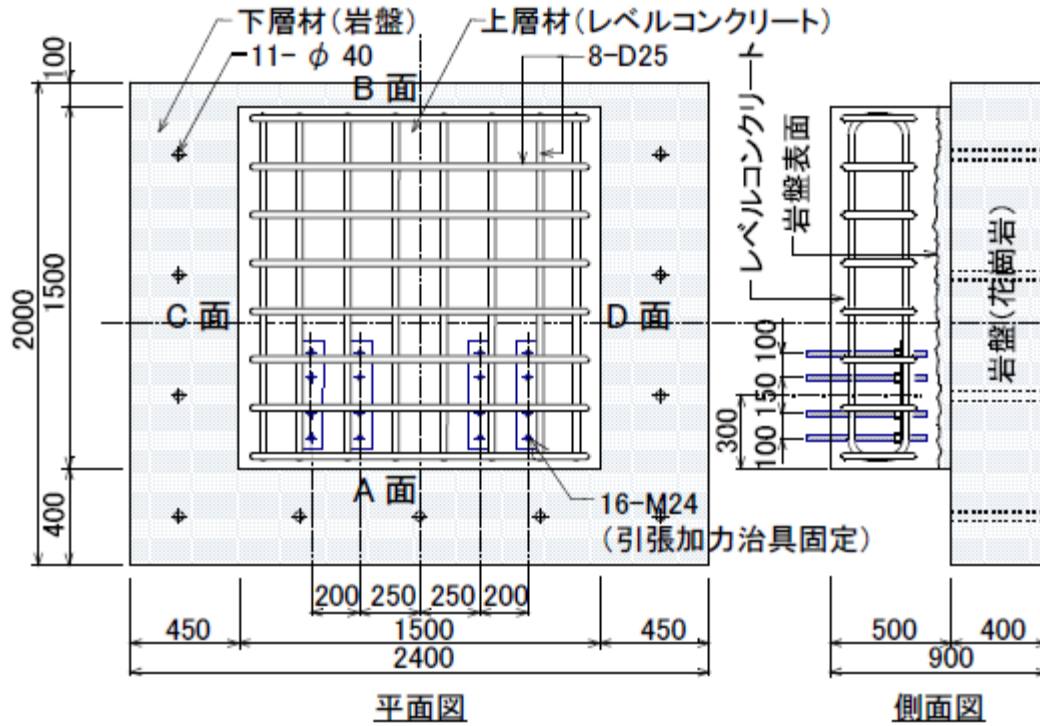
第3-2表 中規模試験体シリーズ

試験シリーズ	下層材	上層材	下層材表面
RC-N	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	粗面 (凹凸 80mm 程度)
RC-F	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	平滑面 (凹凸 20mm 程度)
CB	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	基礎コンクリート (呼び強度 30N/mm ²)	木ごて仕上げ

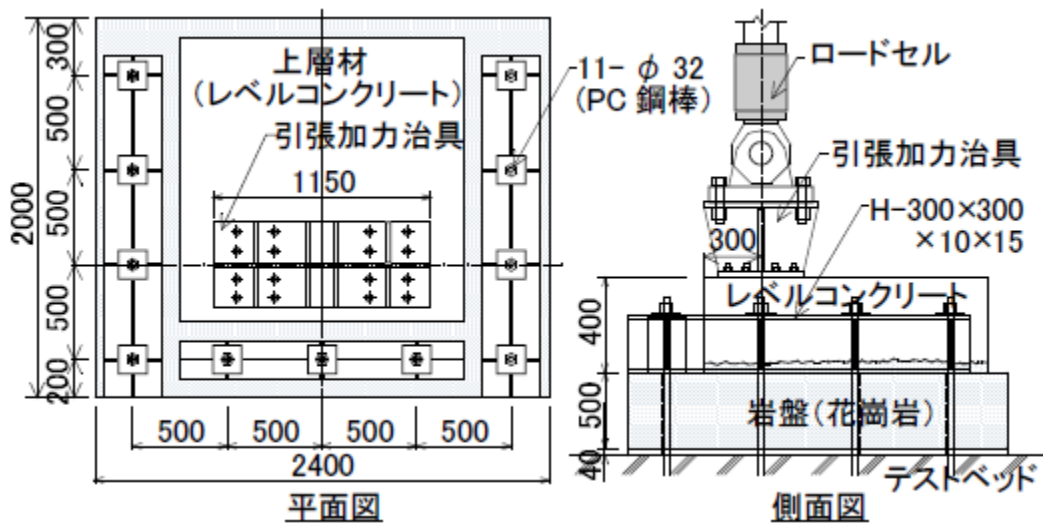
3.3.2 試験方法

RCシリーズの形状・寸法を第3-7図に示す。接合面の寸法は、1.5m×1.5mであり、接合面は、岩盤下面から400mm～480mm程度の高さに位置している。CBシリーズ試験体では、下層材と上層材の厚さを400mmとし、他の形状寸法はRCシリーズと同一としている。

第3-8図に加力方法を示す。下層材の3辺をPC鋼棒により反力床に固定し、基礎浮上がり時における付着力の応力勾配を模擬するため、上層材の偏心位置に引張力を载荷したとしている。



第3-7図 試験体形状・寸法 (RCシリーズ)



第3-8図 加力方法

3.3.3 実験結果

各試験シリーズのコンクリートの強度試験結果を第3-3表に示す。

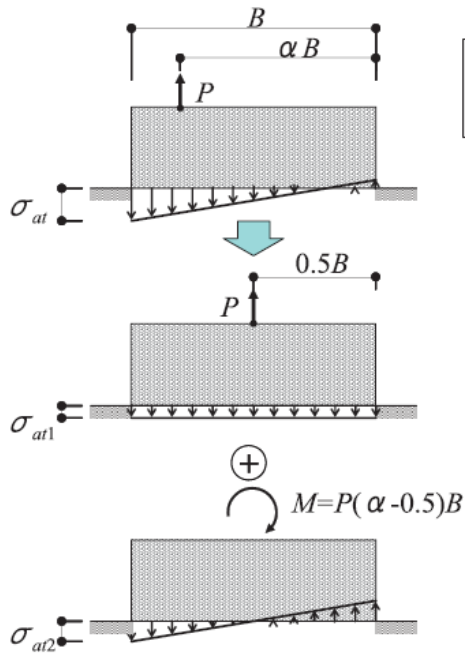
第3-3表 コンクリートの強度試験結果

試験シリーズ	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
RC-N	レベルコンクリート	19.5	1.96	2.26×10 ⁴
RC-F	レベルコンクリート	20.7	1.89	2.28×10 ⁴
CB	レベルコンクリート	20.5	2.19	2.27×10 ⁴
	基礎コンクリート	33.6	2.68	2.84×10 ⁴

実験結果の一覧を第3-4表に示す。最大荷重は上層材と加力治具の重量を差し引いた値としている。また、付着力は、偏心引き上げ荷重に対して接合面の付着応力分布を線形と仮定して力のつり合いより評価した値であるとしている（第3-9図）。こうした評価方法による付着力は、花崗岩とレベルコンクリート間で花崗岩表面の粗度によらず、0.5N/mm²程度となり、また、レベルコンクリートと基礎コンクリート間で0.6N/mm²程度となったとしている。

第3-4表 実験結果

試験体	最大荷重 (kN)	付着力 (N/mm ²)	平均付着力 (N/mm ²)
RC-N 1	360.9	0.45	0.53
RC-N 2	462.9	0.58	
RC-N 3	447.1	0.56	
RC-F 1	437.0	0.54	0.54
RC-F 2	442.8	0.55	
RC-F 3	415.5	0.52	
CB-W 1	550.8	0.69	0.63
CB-W 2	404.3	0.50	
CB-W 3	572.3	0.71	



- 線形付着応力分布の仮定
- レベルコン・加力治具重量補正

$$P = P_{\max} - W_D$$

P_{\max} : 最大荷重

W_D : レベルコン・
加力治具重量

$$\sigma_{at} = \sigma_{at1} + \sigma_{at2} = (3\alpha - 1) \frac{2P}{B^2}$$

$$\sigma_{at1} = \frac{P}{B^2}$$

$$\sigma_{at2} = \frac{M}{Z} = \frac{6P(\alpha - 0.5)}{B^2}$$

第3-9図 中規模試験による付着力評価方法

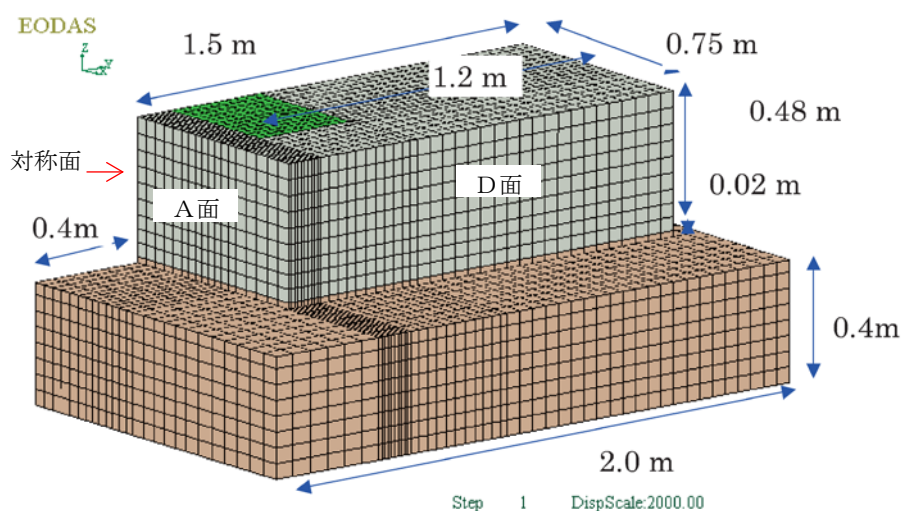
3.4 中規模試験体を対象とした3次元FEM解析

3.4.1 解析概要

花崗岩とレベルコンクリートの付着力は、直接引張試験では平均値が 1.2N/mm^2 程度であり、偏心引き上げ荷重に対して付着応力に線形分布を仮定した場合の中規模試験結果は 0.5N/mm^2 程度となったとしている。両者による付着力の評価結果の差を検討するため、RCシリーズ試験体を対象に、接合面の付着特性をジョイント要素でモデル化した3次元FEM解析を実施している。

第3-10図に解析モデルを示す。対称性を考慮し、試験体の半分を解析モデルとしている。

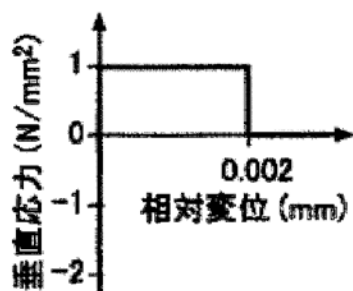
花崗岩とレベルコンクリートはソリッド要素、両者の界面はジョイント要素でモデル化したとしている。花崗岩とレベルコンクリートは弾性体とし、弾性定数は第3-5表に示す材料試験結果を用いたとしている。また、ジョイント要素は、第3-11図に示すように相対変位が 0.002mm までは付着力を保持するものとし、この付着力は直接引張試験結果を参考に 1N/mm^2 としたとしている。



第3-10図 解析モデル（「JNES報告書」記載図に一部加筆）

第3-5表 弾性定数

材料	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
レベルコンクリート	2.3×10^4	0.18
花崗岩	4.45×10^4	0.24



第3-11図 ジョイント要素の特性

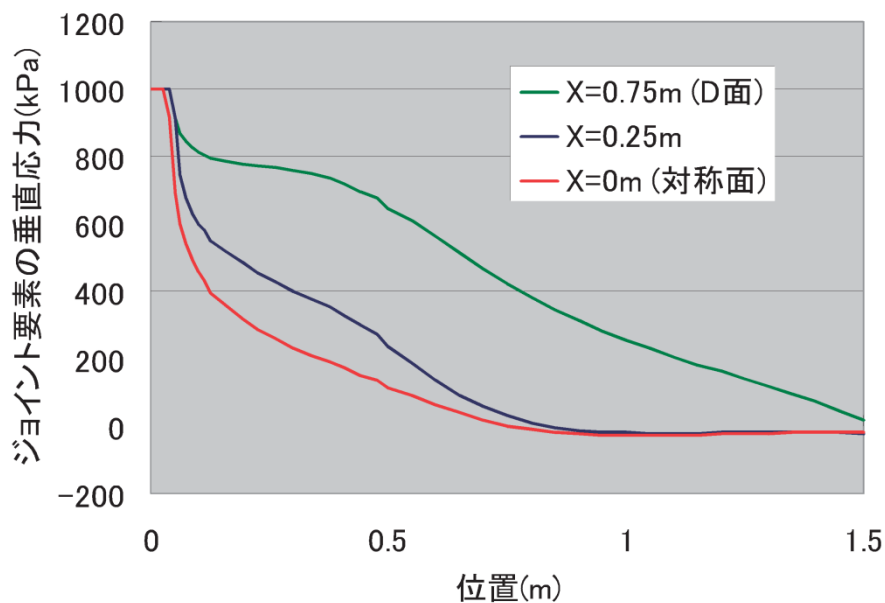
3.4.2 解析結果

解析の結果、引き上げ荷重が448kNで接合面前面に剥離が生じ、最大荷重に達したとしている。RCシリーズ試験体の最大荷重は361kN~463kN(第3-4表)であり、最大荷重の解析結果は中規模試験結果と概ね良好に対応したとしている。

最大荷重時のジョイント要素の、対称面(x=0m)とD面(X=0.75m)、及び加力治具近傍のX=0.25mでの垂直応力分布を第3-12図に示す。

レベルコンクリート側面(D面)におけるジョイント要素の垂直応力分布はほぼ線形と見なせるものの、中心軸近傍では、加力点側の端面(A面)に大きな垂直応力が生じる非線形分布を呈している。

中規模試験と直接引張試験による付着力の評価結果の差は、接合面の付着応力分布の評価方法に起因していると考えられ、付着力の材料特性値としては、直接引張試験による値がより適切と考えられるとしている。



第3-12図 ジョイント要素の垂直応力分布(断面)

3.5 まとめ

「JNES 報告書」の知見の島根原子力発電所への適用性の確認と、「JNES 報告書」の試験方法を参考とした4章の試験計画の策定を目的として、「JNES 報告書」の研究内容を確認した。

確認の結果、「JNES 報告書」で対象としている岩盤は実機と同程度の硬岩であり、レベルコンクリートは一般的な強度のものを用いていることから、その知見は島根原子力発電所において適用することが可能と考えられる。

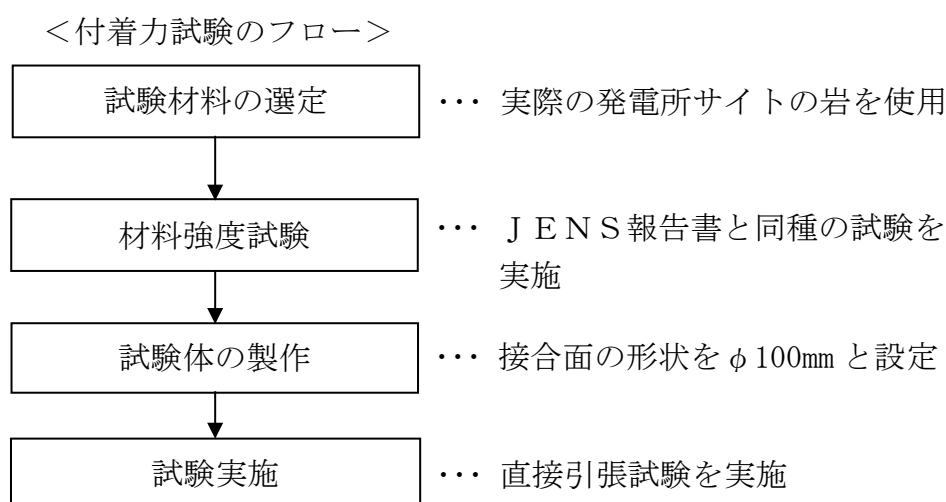
また、4章の試験計画の策定にあたっては、「JNES 報告書」の知見を踏まえた考察を行った。

「JNES 報告書」では以下の知見が得られたとされている。

- ・面的な広がりをもつ中規模試験体の試験及びそのシミュレーション解析結果から、基礎浮上り挙動時の建物―地盤間の接合面の付着応力分布は、基礎浮上りが生じている側の端面に大きな垂直応力が生じる非線形分布となる。
- ・付着力として設定する値として、接合面を100mm×100mmとした直接引張による付着力試験結果を用いることで基礎浮上り挙動をよく再現できた。これに対し、以下の考察を行い、4章の試験計画を策定した。
- ・実際の建物・構築物は面的な広がりをもつことから、基礎浮上り挙動時の建物―地盤間の接合面の付着応力分布は、中規模試験体と同様に、基礎浮上りが生じている側の端面に大きな垂直応力が生じる非線形分布となると考えられる。
- ・基礎浮上り挙動の接合面の応力状態は、各要素レベルでは上向きの引張応力に対し付着力が抵抗する状態となることから、解析においては、接合面の各要素レベルに設定する付着力の値は単純引張の応力状態での試験結果に基づく必要があると考えられる。
- ・単純引張の応力状態を試験体で再現するにあたっては、試験体のスケールが大きいとせん断や曲げが生じやすく、また、スケールが小さいと粗骨材等の影響を受け試験結果が安定しないことから、試験体形状を適切に設定しなければならないと考えられる。「JNES 報告書」の直接引張試験の結果は、中規模試験体の基礎浮上り挙動をよく再現できていることから、直接引張試験体の接合面（100mm×100mm程度）は単純引張の応力状態を測定するにあたり、適切なスケールであると考えられる。

4. 付着力試験

「JNES 報告書」の結果を踏まえて、実際の建物・構築物の建物－地盤間に設定する付着力として、直接引張試験結果を用いることとする。よって、島根原子力発電所の地震応答解析モデルに設定する付着力の値を求めるため、発電所サイトの岩を用いた付着力試験を実施した。付着力試験方法の策定にあたっては、強度試験の項目・試験内容及び接合面の形状（スケール）について、「JNES 報告書」を参考とした。付着力試験方法の策定概要を第 4-1 図に示す。



第 4-1 図 付着力試験方法の策定概要

4.1 試験概要

建物の建設にあたっては、施工精度確保の観点から岩盤上にコンクリート（レベルコンクリート）を打設し基礎底面を平坦にした後、基礎コンクリートの打設を行っている。

そこで、建物基礎底面と地盤（岩盤）間に生じる付着力を把握するため、岩盤－レベルコンクリート間、及びレベルコンクリート－基礎コンクリート間を模擬した試験体を用いて付着力試験を行った。なお、岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験は、敷地の岩盤状況の影響を考慮するため敷地内の岩盤上で実施する。

地震応答解析に用いる付着力はこれらの試験結果に基づき設定する。

4.2 岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験

4.2.1 使用材料の概要

(1) 岩盤の種類

島根原子力発電所の耐震上重要な建物が設置されている岩盤（以下「建物直下地盤」という。）と同種の岩を用いることとし、付着力試験に用いた岩盤の種類を第 4-1 表に示す。いずれも岩盤の表面は自然面とした。

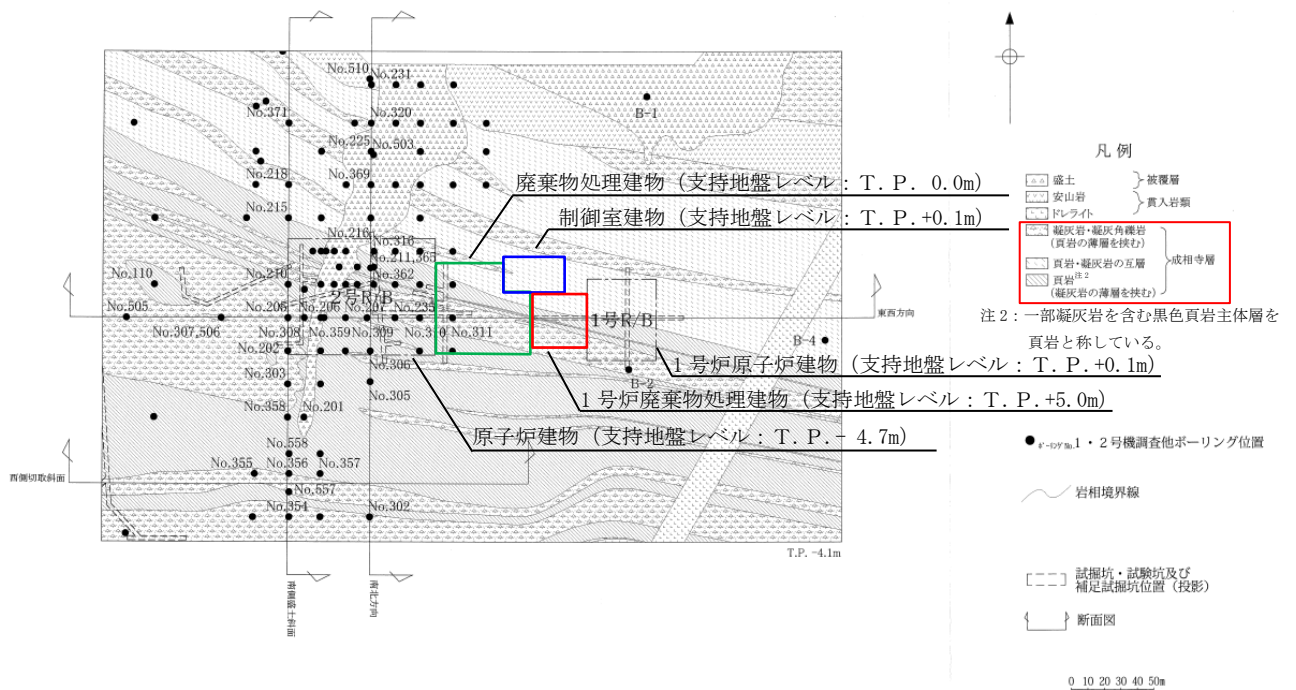
敷地の地質水平断面図を第 4-2 図に、地質鉛直断面図を第 4-3 図に示す。

建物直下地盤は主に黑色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されている。

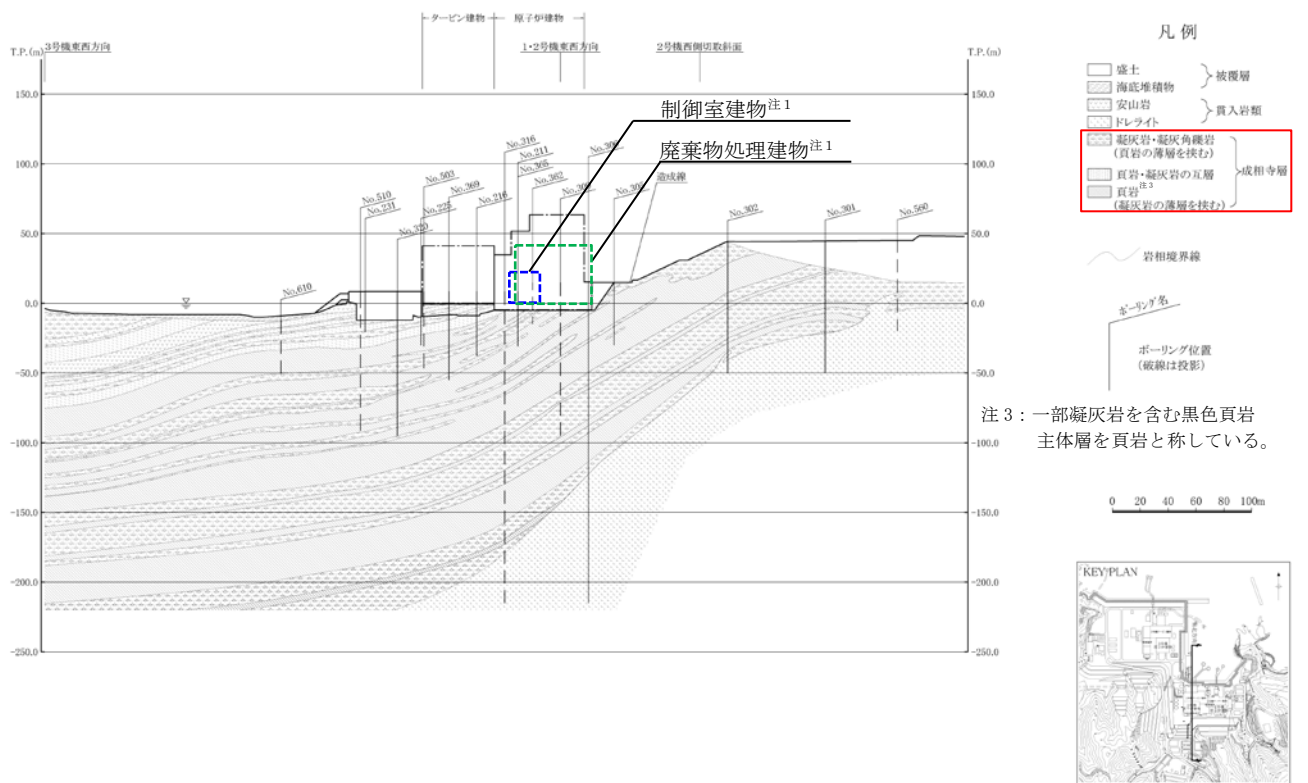
第 4-1 表 岩盤の種類

No.	岩盤種類	岩盤表面の状態	試験(付着力試験種別)
①	黑色頁岩	自然面：比較的平滑	現地試験 ^{注1}
②	凝灰岩	自然面：凹凸数 mm 程度	現地試験 ^{注1}

注 1：敷地内の岩盤に直接コンクリートを打設

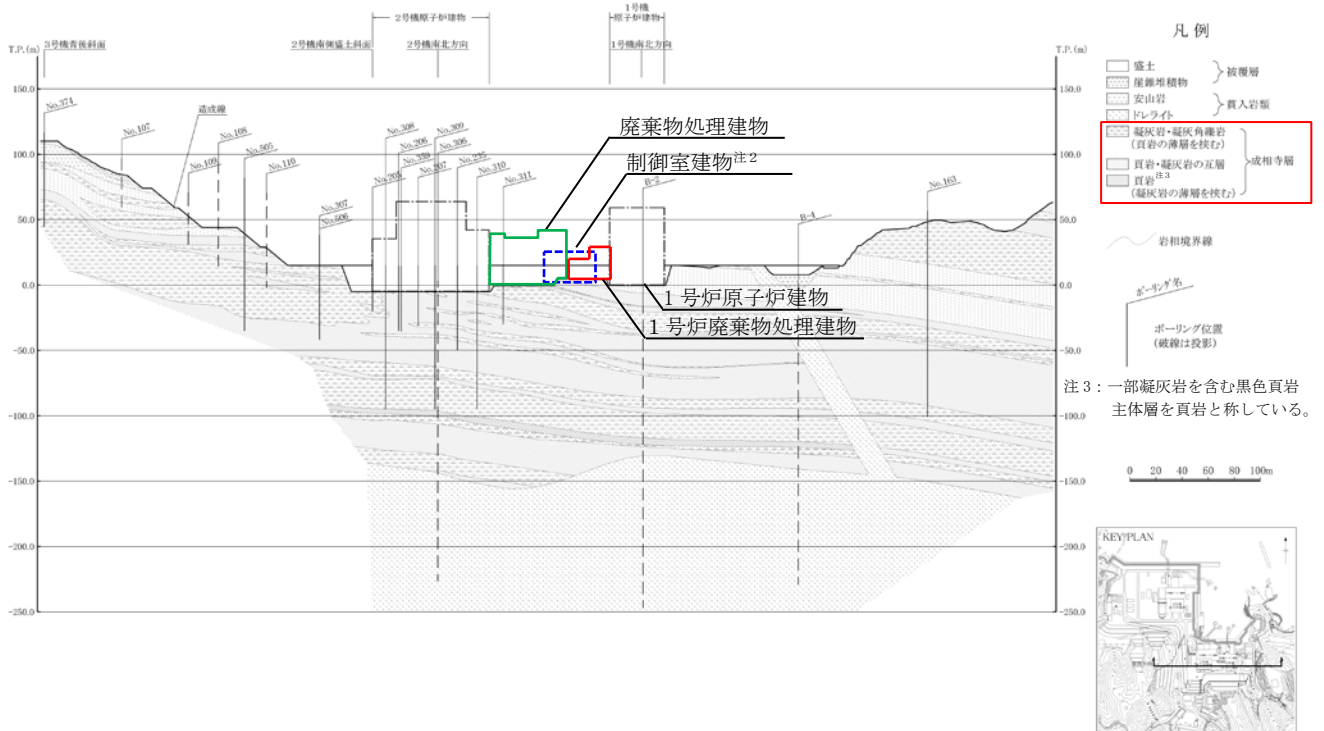


第 4-2 図 地質水平断面図 (2号炉)



注1：制御室建物，廃棄物処理建物位置を投影

第4-3(1)図 地質鉛直断面図（南北方向）（2号炉）



注2：制御室建物位置を投影

第4-3(2)図 地質鉛直断面図（東西方向）（2号炉）

- (2) レベルコンクリートの強度
レベルコンクリートの強度は、 $18\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

4.2.2 岩盤及びレベルコンクリートの強度試験

(1) 岩盤の強度試験

岩盤の強度試験として、地盤工学会の「地盤工学関係規格・基準⁽²⁾」に基づき、圧縮強度、圧裂引張強度の測定を行った。

(2) コンクリートの強度試験

コンクリートの強度試験として、付着力試験材齢における圧縮強度（JIS A1108）と割裂引張強度（JIS A1113）の測定を行った。

4.2.3 付着力試験

試験は、建物直下地盤と同等な岩盤を対象に、敷地内の岩盤（黒色頁岩及び凝灰岩）上に $\phi 100\text{mm}$ 、高さ約 100mm のコンクリートを直接打設した。試験位置を第4-4図に、試験位置付近の地質断面図（水平、鉛直）を第4-5図に、試験体の概要を第4-6図に、岩盤の状況を第4-7図に示す。第4-5図は、敷地地盤の傾斜から試験位置の地質を推定したものであり、第4-7図のスケッチ図と比較的整合していることが分かる。

試験体は試験材齢前に型枠を脱型し、上部の引張治具をロードセルに接続し、岩盤とコンクリート境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定した。

付着力試験装置の概要を第4-8図に示す。既工認実績における付着力試験方法との比較を補足資料-1に示す。

付着力 F_t は下式により算出した。

$$F_t = \frac{P}{A}$$

ここで、 F_t ：付着力（ N/mm^2 ）

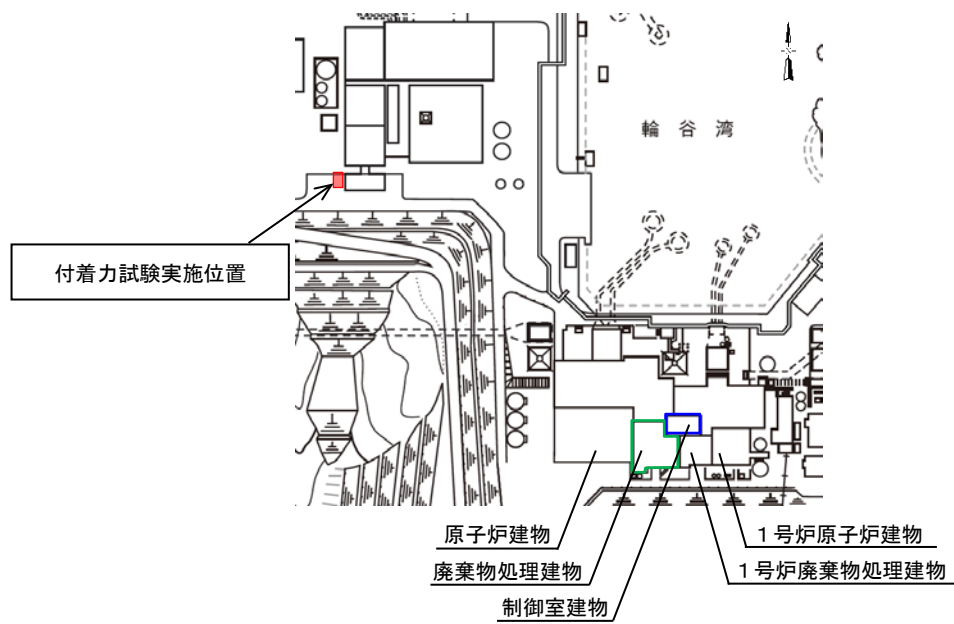
P ：最大荷重（ N ）

A ：断面積（ mm^2 ）

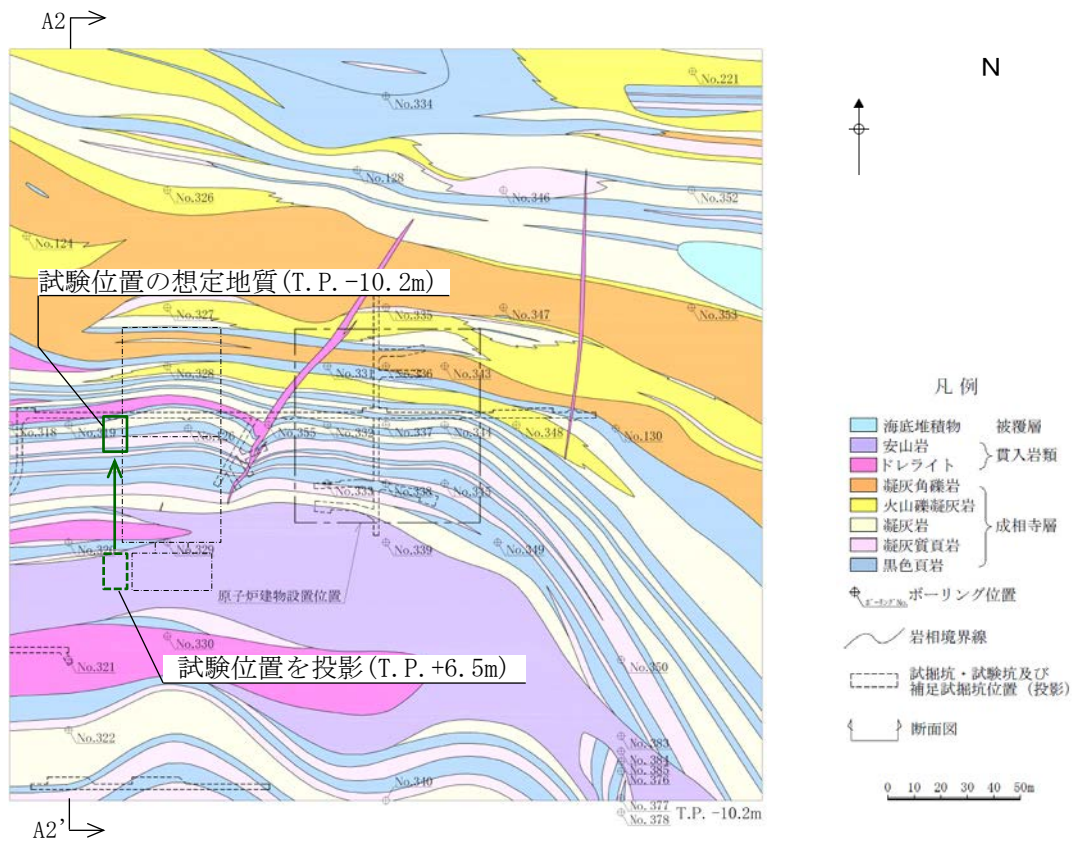
標本数は、JNES報告書と同様に1岩種あたり12個とし、全部で24個の試験体を用いて付着力試験を実施した。なお、標本数の妥当性について、他の原位置試験における標本数を確認すると、土木学会指針⁽³⁾に規定されている原位置における岩盤試験の標本数は、3ないし4個以上^{注1}とされており、地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」^{注2}においても3個以上とされていることから、これらと比べても十分な標本数といえる。

注1：土木学会指針に規定された試験の標本数（原位置岩盤の平板載荷試験：3個以上、原位置岩盤のせん断試験：4個以上、岩盤の孔内載荷試験：3点以上）

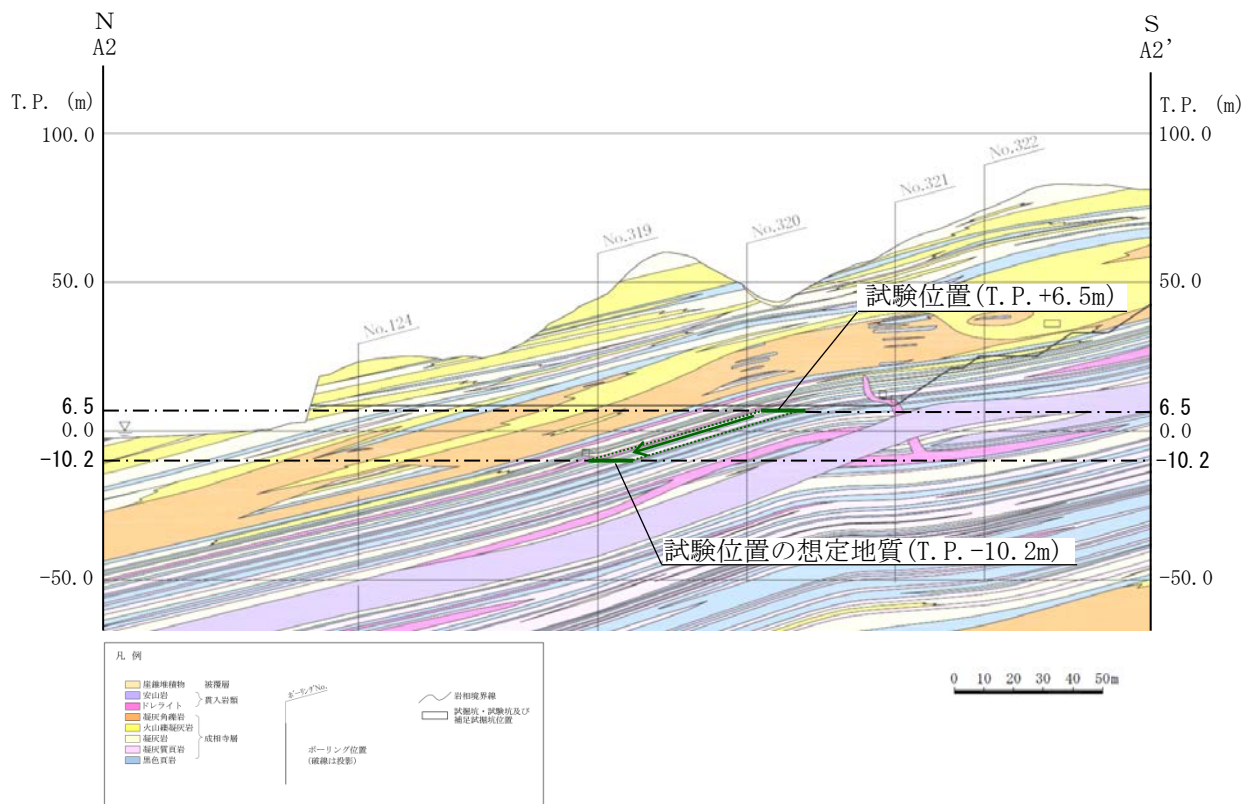
注2：令和元年6月末で公示終了



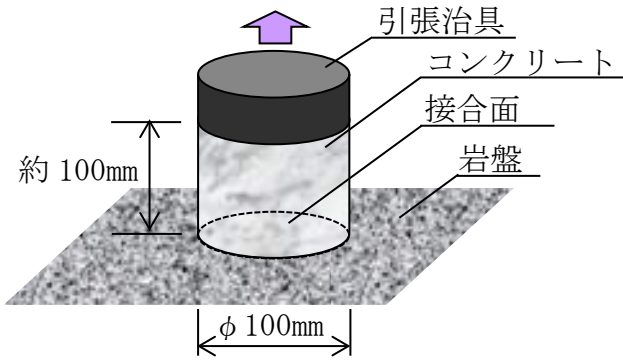
第4-4図 試験位置



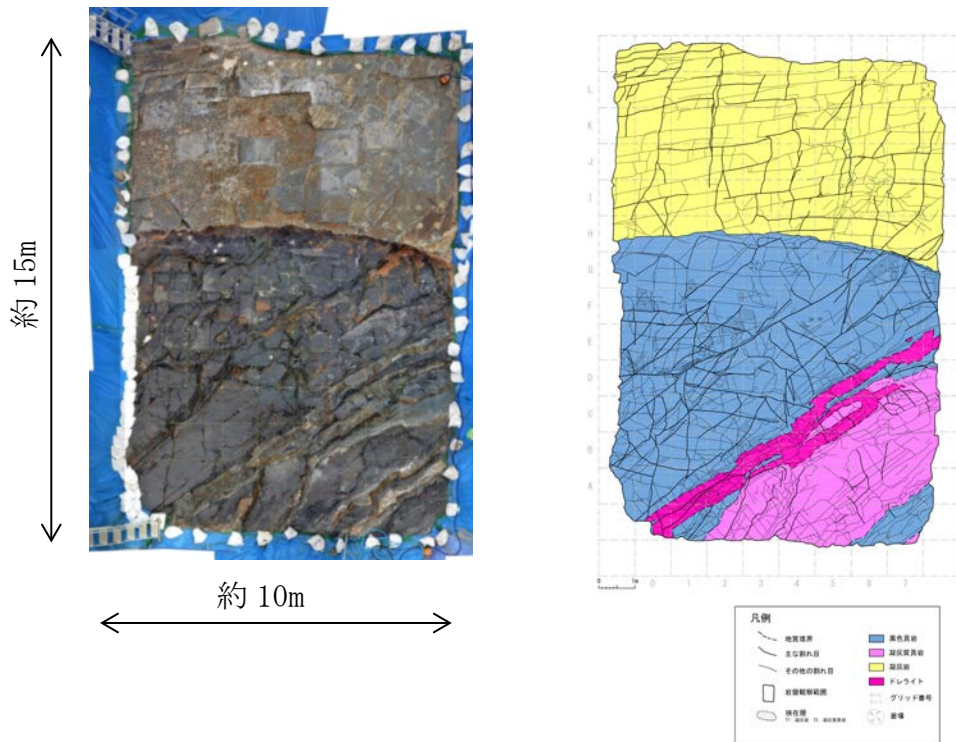
第4-5(1)図 試験位置付近の水平地質断面図(T.P. -10.2m)



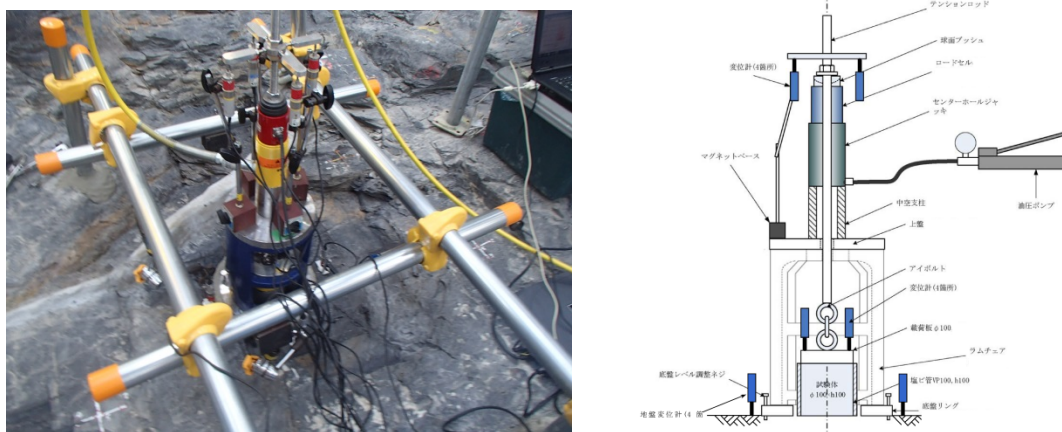
第4-5(2)図 試験位置付近の鉛直地質断面図(A2-A2' 断面)



第4-6図 試験体の概要 (直接引張試験)



第4-7図 岩盤の状況 (直接引張試験)



第4-8図 付着力試験装置の概要 (直接引張試験)

4.2.4 試験結果

(1) 岩盤の強度

試験に用いた岩盤の圧縮強度及び圧裂引張強度の試験結果を第4-2表に示す。

第4-2表 岩盤の物性試験結果^{注1}

岩盤種類	圧縮強度 (N/mm ²)	圧裂引張強度 (N/mm ²)
黒色頁岩	47.6	7.14
凝灰岩	49.1	9.36

注1：試験体6本の平均値

(2) コンクリートの強度

試験に用いたコンクリートの圧縮強度及び割裂引張強度を第4-3表に示す。

第4-3表 コンクリートの物性試験結果^{注2}

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
7	26.5	2.52

注2：試験体6本の平均値

(3) 付着力

付着力試験の結果を第4-4表、第4-9図に示す。

建物直下地盤は主に黒色頁岩と凝灰岩で構成されていることを踏まえ、岩盤全体として評価した付着力の平均値は0.98N/mm²(標準偏差:0.30N/mm²)となった。

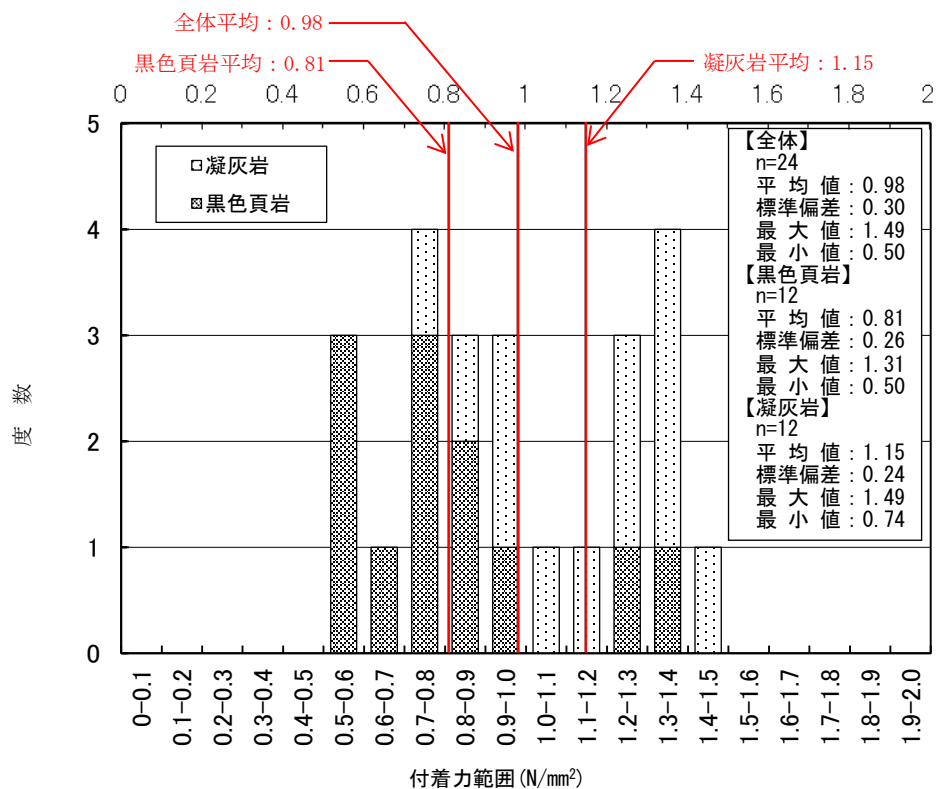
なお、個々の岩盤における付着力の平均値は、黒色頁岩0.81N/mm²(標準偏差:0.26N/mm²)、凝灰岩1.15N/mm²(標準偏差:0.24N/mm²)であった。

第4-4表 付着力試験の結果(岩盤-レベルコンクリート)

試験体の種類	平均値 (N/mm ²)	
岩盤-レベルコンクリート	0.98	
黒色頁岩-レベルコンクリート		0.81
凝灰岩-レベルコンクリート		1.15

岩盤－レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面の状況を、参考資料－2 に示す。

なお、凝灰岩－レベルコンクリート間の付着力は、J N E S 報告書に比べて大きな値となっている（島根：1.15N/mm²，J N E S 報告書：0.35N/mm²）が、J N E S 報告書では、「直接引張試験による付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となった。」と報告されていることを踏まえ、付着力と圧裂引張強度に関係性があると判断し、両者の圧裂引張強度を比較すると、島根がJ N E S 報告書に比べて約11倍大きな値（島根：9.36N/mm²，J N E S 報告書：0.868N/mm²）となっていることから、この差は凝灰岩自体の物性（圧裂引張強度）の違いによるものである。



第4-9図 付着力試験の結果（岩盤－レベルコンクリート）

4.3 レベルコンクリートー基礎コンクリート間の付着力試験

4.3.1 レベルコンクリート及び基礎コンクリートの強度

レベルコンクリートの強度は 18N/mm^2 とし、基礎コンクリートの強度は 21N/mm^2 とした。

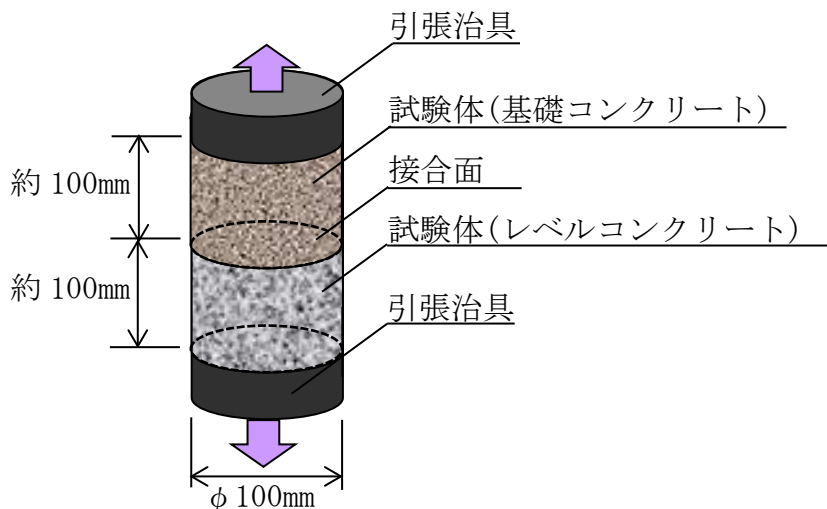
4.3.2 コンクリートの強度試験

コンクリートの強度試験として、付着力試験材齢における圧縮強度（JIS A1108）と割裂引張強度（JIS A1113）の測定を行った。

4.3.3 付着力試験

試験体は、高さ約 100mm に打設したレベルコンクリートを 7 日間養生した後、高さ約 100mm の基礎コンクリートを打設し、 $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ 200mm の試験体を作製し、さらに 7 日間養生した後試験を実施した。レベルコンクリートの接合面の状態は木ごて押えとした。

付着力は、岩盤ーレベルコンクリート間の付着試験と同様に、コンクリート相互の境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定し算出した。試験体及び付着力試験方法の概要を第 4-10 図に示す。



第 4-10 図 試験体及び付着力試験方法の概要（室内試験）

4.3.4 試験結果

(1) コンクリートの強度

コンクリートの圧縮強度及び割裂引張強度の試験結果を第4-5表に示す。

第4-5表 コンクリートの物性試験^{注1}

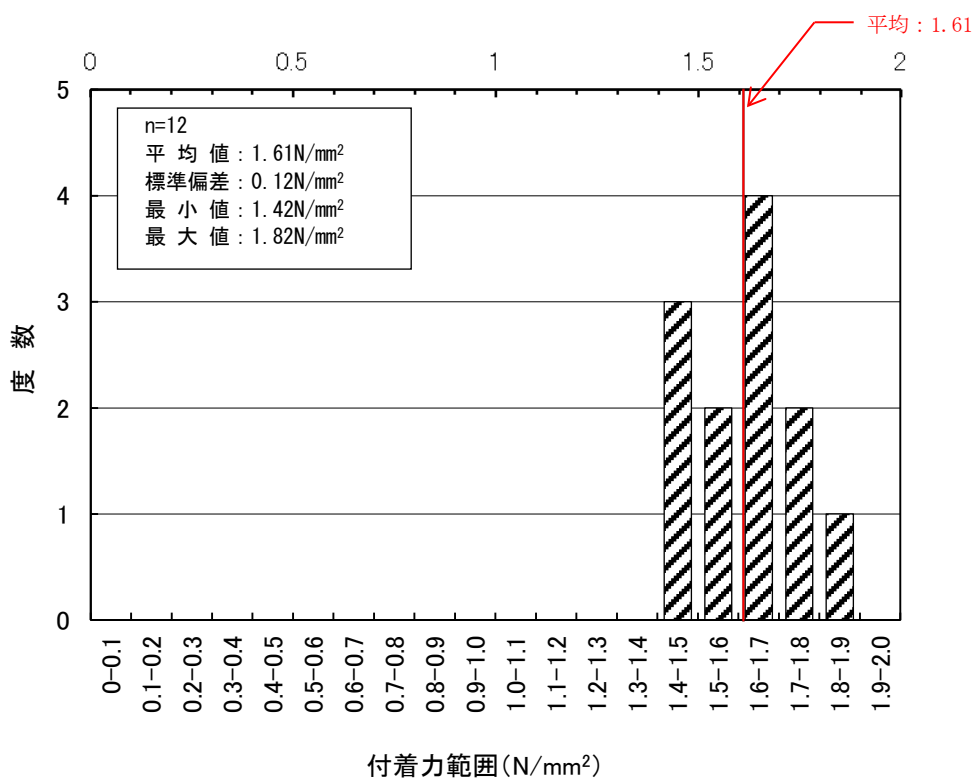
種類	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
レベルコンクリート(F c 18)	14	33.3	3.04
基礎コンクリート(F c 21)	7	27.2	2.79

注1 試験体3本の平均値

(2) 付着力

付着力試験の結果を第4-11図に示す。

付着力の平均値は、1.61N/mm² (標準偏差：0.12N/mm²) であった。



第4-11図 付着力試験の結果
(レベルコンクリートー基礎コンクリート)

5. 地震応答解析に用いる付着力の設定

「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」及び「レベルコンクリート－基礎コンクリート間の付着力試験」の結果並びに設定付着力を第5-1表に示す。「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の付着力の方が小さいことから、「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の付着力試験結果より、地震応答解析に用いる付着力を設定する。

第5-1表に示す通り、地震応答解析に用いる付着力は、2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の平均値 0.81N/mm^2 に対して2倍の安全率を考慮し 0.40N/mm^2 を採用することとした。

第5-1表 付着力試験の結果及び設定付着力

試験	試験体の種類	平均値 (N/mm^2)	設定付着力 (N/mm^2)
原位置 試験 ^{注1}	岩盤－レベルコンクリート	0.98	0.40 ^{注2}
	黒色頁岩－レベルコンクリート		
	凝灰岩－レベルコンクリート	1.15	
室内 試験	レベルコンクリート－基礎コンクリート	1.61	

注1：直接引張試験

注2：各試験のうち、平均値の小さい黒色頁岩の平均値に対して2倍の安全率を考慮

ここで、付着力として設定した 0.40N/mm^2 という値について、定量的な評価を行い、その保守性を確認する。

第5-1表に示す通り、「岩盤－レベルコンクリート」の付着力の平均値は 0.98N/mm^2 となっている。また、岩種別の平均値では、黒色頁岩は 0.81N/mm^2 、凝灰岩は 1.15N/mm^2 となっており、黒色頁岩は凝灰岩より付着力の平均値が小さくなっている。

岩盤物性を用いる解析では一般に試験結果の平均値を用いるが、今回実施した付着力試験は試験方法が標準化されていない^{注1}ことから、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、平均値をそのまま用いるのではなく、保守性を考慮し、平均値に対して2倍の安全率を考慮した。

また、建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されているが、実際の建物直下地盤における黒色頁岩と凝灰岩の構成割合を定量的に確認できないこと、建物毎でその構成割合が異なることを踏まえ、付着力の設定には、岩盤全体の平均値ではなく、保守的に値の小さい黒色頁岩のみ建物直下地盤を構成するものと見なして黒色頁岩の平均値 0.81N/mm^2 に2倍の安全率を考慮した 0.40N/mm^2 を採用した。なお、設定した付着力は、試験結果の最低値 0.50N/mm^2 を下回る値となっている。

設定付着力に関する統計的な考察を参考資料-3 に示す。設定付着力 0.40N/mm^2 は、岩盤全体の平均値 0.98N/mm^2 に対して -1.93σ 、黒色頁岩の平均値 0.81N/mm^2 に対して -1.58σ に相当する。

なお、設定した付着力は、既工認実績と比較しても試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である（補足資料-2 参照）。

以上より、地震応答解析に用いる付着力 0.40N/mm^2 は十分に保守的な値である。

注1：地盤工学会において、「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」（令和元年6月末公示終了）が定められ、その適用範囲に「岩盤とコンクリートの付着強さを求める場合にも適用できる。」されている。今回実施した付着力試験は、本基準に示されているものと同等の試験方法となっていることを確認した。

6. 適用性の確認

付着力について、島根原子力発電所の建物・構築物への適用性を以下の通り検討した。

6.1 材料条件

6.1.1 岩盤

建物直下地盤及び試験地盤における岩盤物性を第6-1表に示す。

物性値を比較すると建物直下地盤と試験地盤はほぼ同等と見なせることから、地盤の差異による試験結果への影響はない。

両者の比較の詳細を参考資料-4に示す。

第6-1表 建物直下地盤及び試験地盤における岩盤物性

	建物直下地盤 ^{注2}	試験地盤
岩種	主に黒色頁岩,凝灰岩及びこれらの互層から構成される	黒色頁岩, 凝灰岩
岩の状態	岩盤分類：大部分がC _H 級及びC _M 級 ^{注1}	亀裂, 風化等がないことを目視で確認
弾性波速度 (建物直下地盤：P S 検層 試験地盤：超音波速度測定)	黒色頁岩 縦波：約 4.4km/s 横波：約 2.1km/s 凝灰岩 縦波：約 4.2km/s 横波：約 2.0km/s	黒色頁岩 縦波：約 3.8km/s 横波：約 2.3km/s 凝灰岩 縦波：約 2.9km/s 横波：約 1.5km/s
圧裂引張強度	黒色頁岩：8.82N/mm ² 凝灰岩：9.03N/mm ²	黒色頁岩：7.14N/mm ² 凝灰岩：9.36N/mm ²

注1：電研式岩盤分類（田中治雄 土木技術者のための地質学入門，1966）による。

C_H級：造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが、岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいは亀裂間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば、少し濁った音を出す。

C_M級：造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。節理あるいは亀裂間の粘着力は多少減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば、多少濁った音を出す。

注2：島根2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験。

（島根原子力発電所原子炉設置許可変更申請書（平成25年12月25日））

6.1.2 レベルコンクリート

レベルコンクリートの強度は、「JNES 報告書」を参考に、代表的なレベルコンクリート（推定強度 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ ）と同程度の呼び強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ としたことから、レベルコンクリート強度による試験結果への影響はない。

6.1.3 基礎コンクリート

基礎コンクリートの強度は、試験においては $21\text{N}/\text{mm}^2$ 、実機においては $23.5\text{N}/\text{mm}^2$ （ただし制御室建物は $22.1\text{N}/\text{mm}^2$ ）であり、試験と実機は同程度であることから、基礎コンクリート強度による試験結果への影響はない。

6.2 試験体

6.2.1 岩盤－レベルコンクリート間

試験体形状については、接合面寸法は $\phi 100\text{mm}$ とし、表面形状は黒色頁岩、凝灰岩共に凹凸 10mm 程度とした。

これは、「3. JNES 報告書による付着力試験に関する研究」の「3.2 要素試験」の直接引張試験とほぼ同一の接合面寸法としている。

一方、表面形状は JNES 報告書に比べて平滑であるが、「3.3 中規模試験」によると、表面粗度によらず同程度の付着力が得られている。以上より、試験体による影響はない。

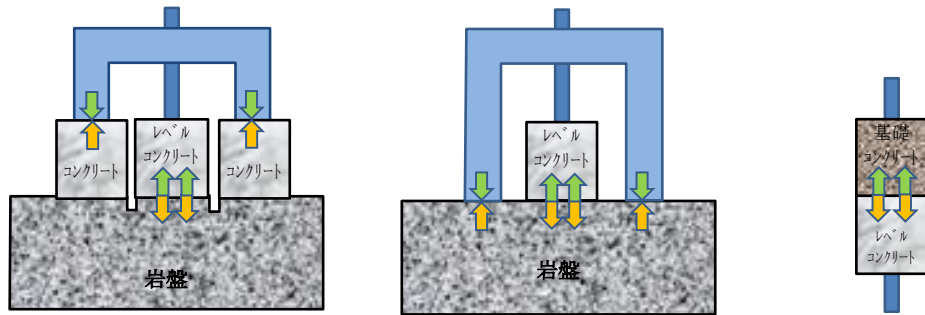
6.2.2 レベルコンクリート－基礎コンクリート間

接合面寸法は、 $\phi 100\text{mm}$ とした。表面形状はレベルコンクリートの標準的な仕上げである木ごて仕上げとした。

これは、「3. JNES 報告書による付着力試験に関する研究」の「3.2 要素試験」の直接引張試験とほぼ同一の接合面寸法及び表面形状であることから試験体による影響はない。

6.2.3 試験方法の違いについて

「JNES 報告書」による直接引張試験及び本章の付着力試験（直接引張試験及び室内試験）の試験方法の違いを第 6-1 図に示す。各試験方法は反力の取り方は異なるが、接合面はほぼ同一形状であり、接合面の応力状態も同一である。また、付着力に対して、コンクリート及び岩盤の引張強度及び圧縮強度は十分に大きいことから、基本的には接合面以外での破壊は生じない。以上より、それぞれの試験から求まる付着力について、試験方法の違いによる影響はない。



(A) 「JNES 報告書」による
直接引張試験

(B) 直接引張試験

(C) 室内試験

第 6-1 図 試験方法の違い

7. 参考文献

- (1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構：平成 18 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 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備 基礎浮上り評価手法の調査に関する報告書，2007
- (2) 地盤工学会：地盤工学関係 規格・基準
 J G S 2 5 2 1-2009 岩石の一軸圧縮試験方法
 J G S 2 5 5 1-2009 圧裂による岩石の引張り強さ試験方法
- (3) 土木学会：原位置岩盤試験法の指針，2000

廃棄物処理建物の地震応答解析

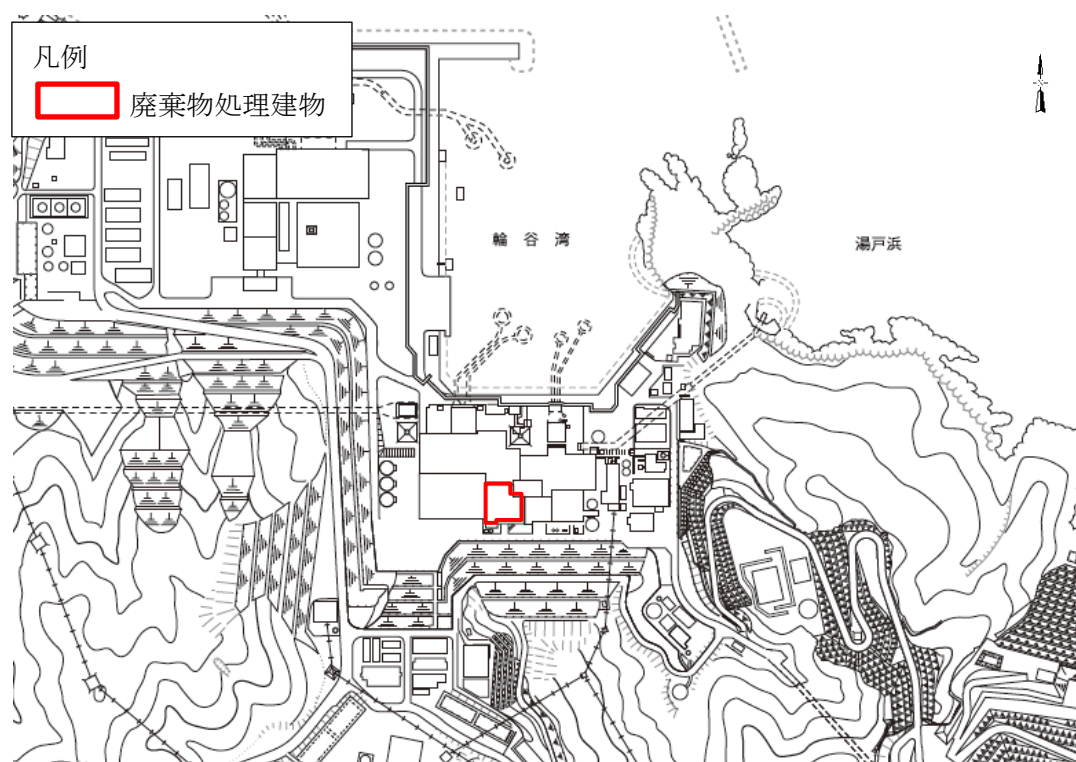
1. 概要

本資料は、廃棄物処理建物の地震応答解析に採用するジョイント要素を用いた3次元FEMモデルによる地震応答解析について、解析結果が解析モデルの適用範囲内に収まることを確認した結果について説明する。

2. 廃棄物処理建物の概要

2.1 位置

廃棄物処理建物の設置位置を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 廃棄物処理建物の設置位置

2.2 構造概要

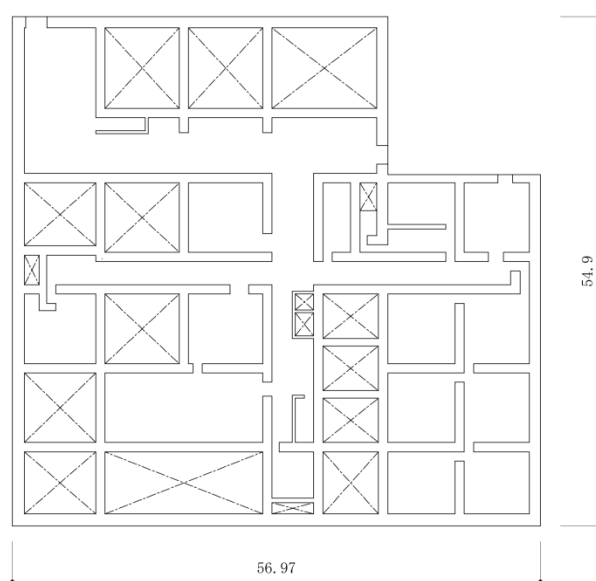
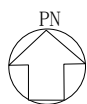
廃棄物処理建物は、地上5階、地下2階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

廃棄物処理建物の平面寸法は、54.9m（一部37.86m）^{注1}（NS）×56.97m（一部40.5m）^{注1}（EW）である。基礎スラブ底面からの高さは42.0mである。また、廃棄物処理建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

廃棄物処理建物の概要を第2.2-1図及び第2.2-2図に示す。

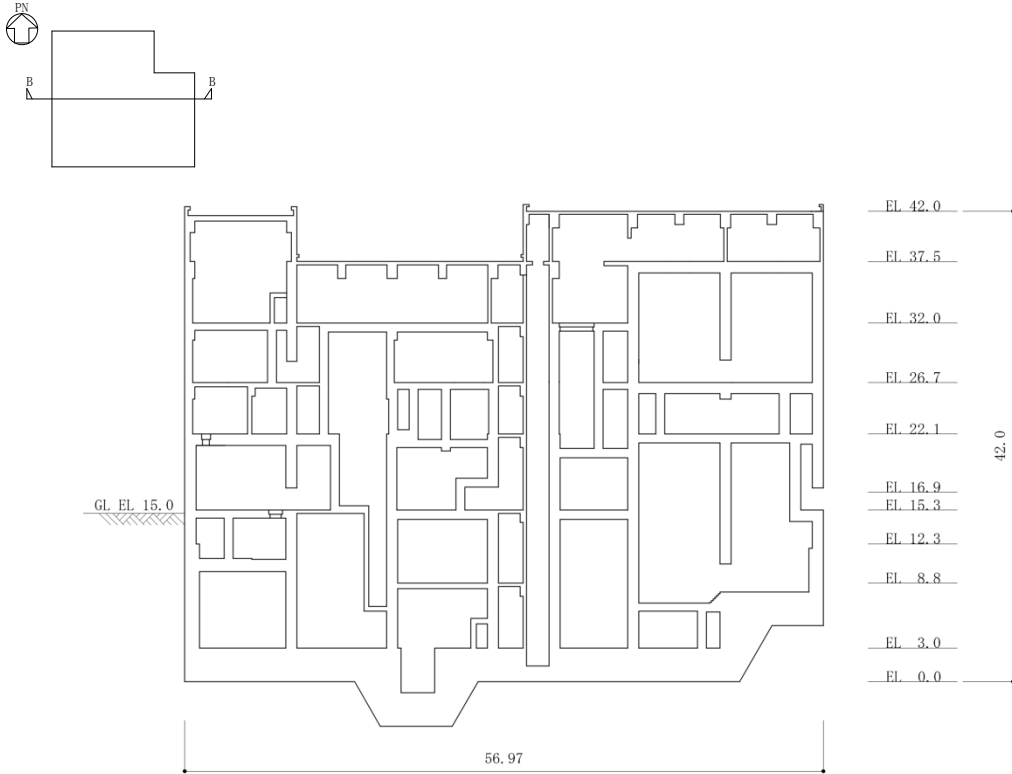
廃棄物処理建物の基礎は厚さ3.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

注1：建物寸法は壁外面寸法とする。

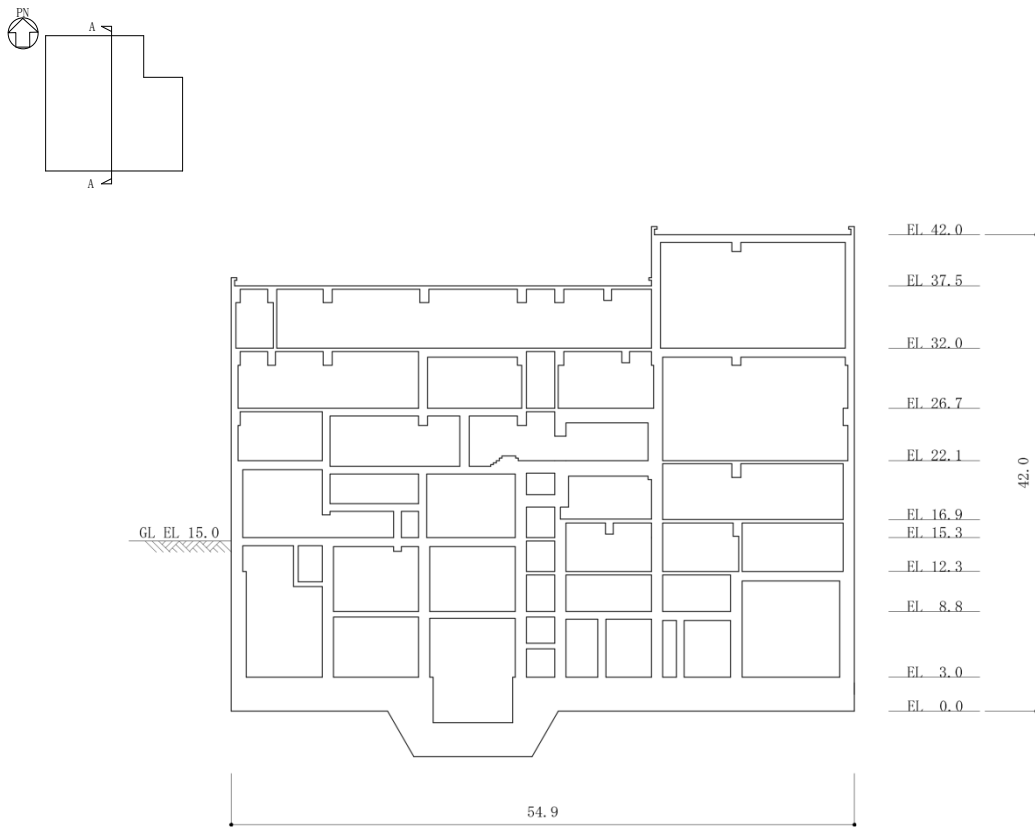


第2.2-1図 廃棄物処理建物の概要（平面図）（E L 8.8m^{注2}）（単位：m）

注2：「E L」は東京湾平均海面（T. P.）を基準としたレベルを示す。



(E W断面)



(N S断面)

第 2.2-2 図 廃棄物処理建物の概要 (断面図) (単位: m)

3. 検討用地震動

検討に用いる地震動は、基準地震動 $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 、 $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ とする。

4. 地震応答解析

4.1 入力地震動の算定

水平方向の入力地震動は、建物直下地盤を水平成層にモデル化した実地盤モデルを用いた一次元波動論によって算定する。

まず、解放基盤表面 (T. P. -10m) で定義される基準地震動 $S_s (2E_0)$ を用いて、T. P. -10m 以浅の地盤を取り去った解放地盤モデルで一次元波動論による応答解析を行い、実地盤モデル下端位置 (T. P. -215m) への入力地震動 ($2E_1$) を算定する。次に、この地震動を用いて、T. P. -10m 以浅の地盤を考慮した実地盤モデルで一次元波動論による応答解析を行い、建物基礎下端位置 (T. P. 0.0m) における応答波 (E + F) を求め、これを建物モデルへの入力地震動とする。この時、底面切欠き力も併せて考慮する。

表層は、拘束圧依存性と「せん断剛性-せん断ひずみ関係 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線)」及び「減衰定数-せん断ひずみ関係 ($h - \gamma$ 曲線)」を基に、地震時のひずみレベルを考慮した等価な剛性と減衰を設定している。

水平方向の入力地震動作成の概要を第 4.1-1 図に、地盤各層の物理定数を第 4.1-1 表に示す。

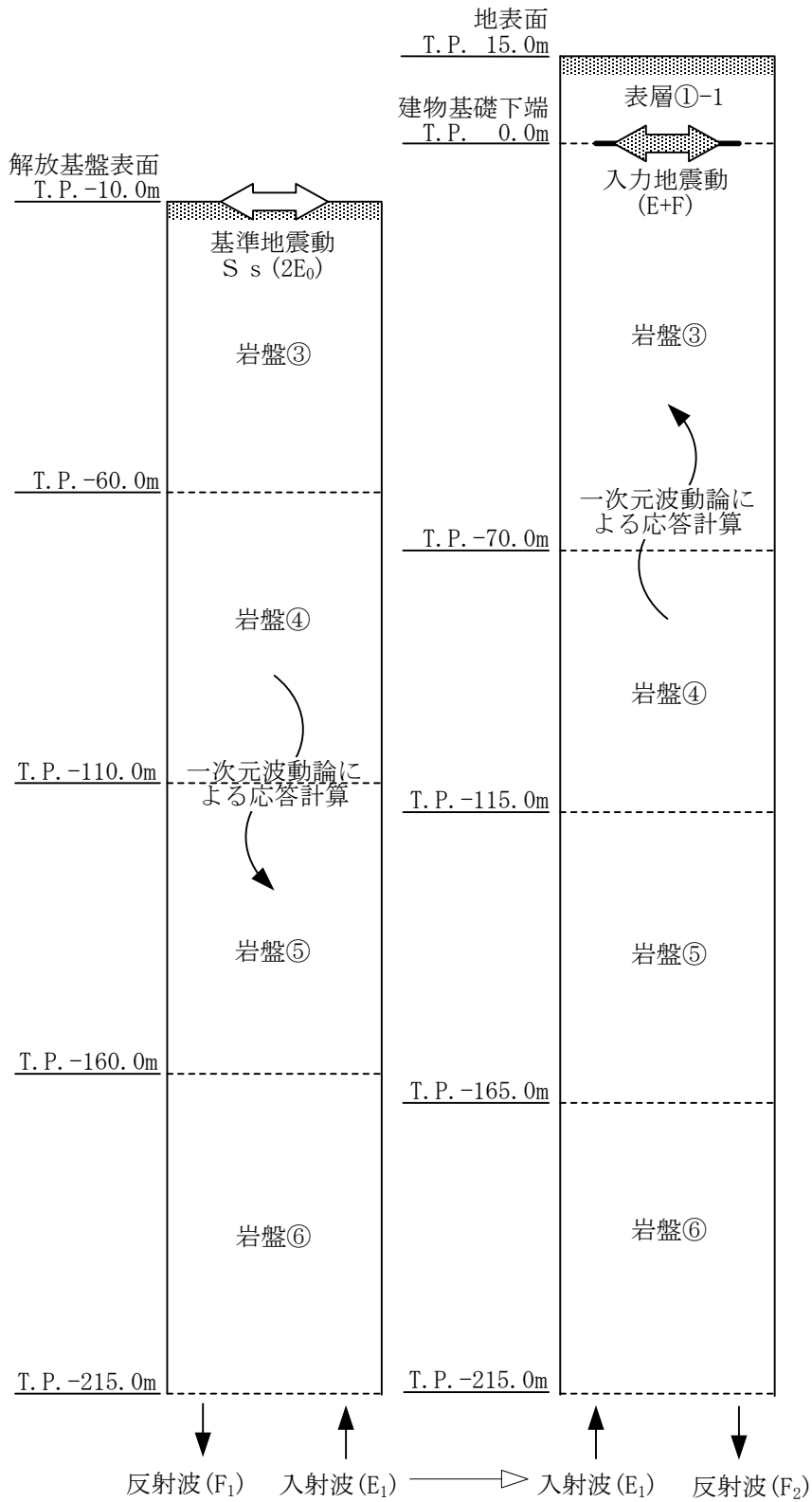
なお、地盤を 3 次元 FEM でモデル化することから、基礎底面レベルにおける地盤の応答が基礎底面切欠き力を考慮した入力地震動と一致するように補正した地震動を、3 次元 FEM 地盤モデルの底面に入力する。

建物への入力地震動 (E + F) の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 4.1-2 図～第 4.1-6 図に示す。

入力地震動の算定には解析コード「SHAKE」を用いる。

[解放地盤モデル]

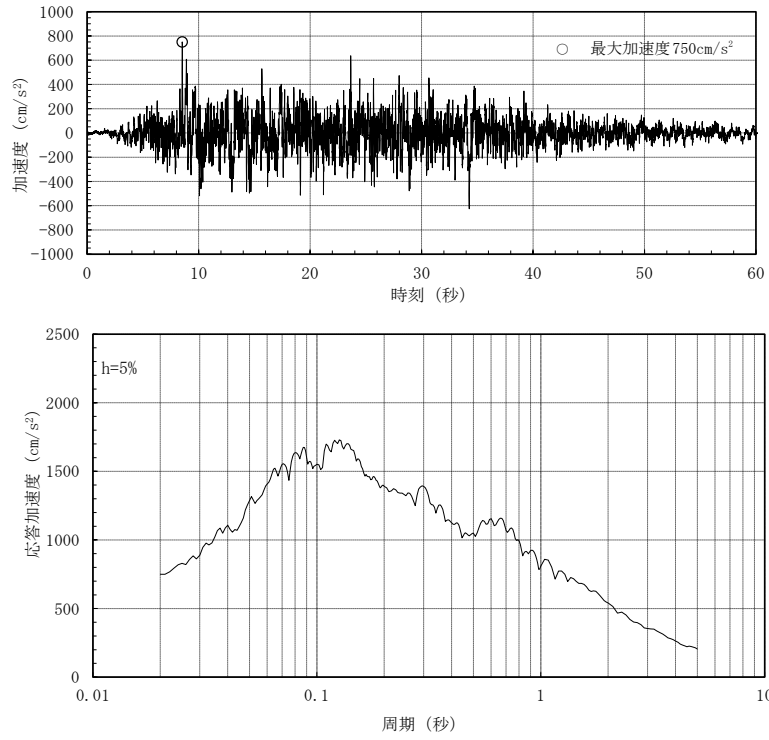
[実地盤モデル]



第 4.1-1 図 入力地震動作成の概要 (水平方向)

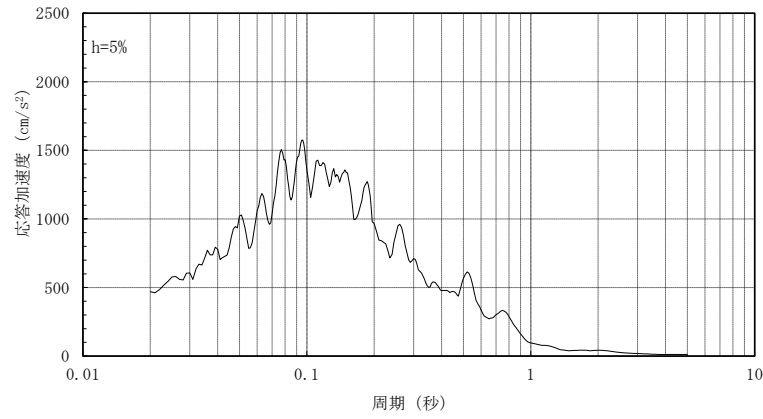
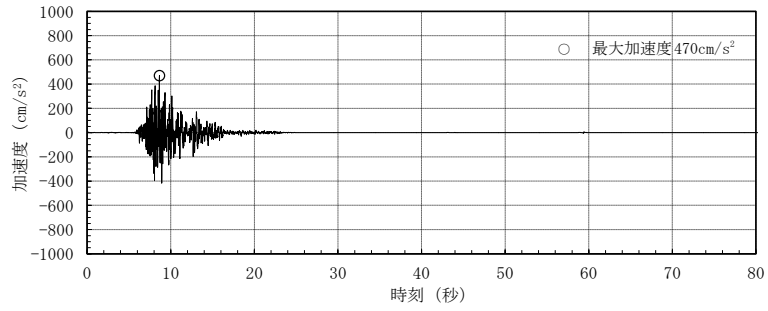
第 4.1-1 表 地盤の物理定数

層 番号		S波 速度 V _s m/s	P波 速度 V _p m/s	単位体積 重量 γ kN/m ³ (tf/m ³)	ポアソン 比 ν	ヤング 係数 E ×10 ⁵ kN/m ² (×10 ⁴ tf/m ²)	せん断 弾性係数 G ×10 ⁵ kN/m ² (×10 ⁴ tf/m ²)	減衰 定数 h %
表層 ①-1	S _s	127	422	20.7 (2.11)	0.45	0.99 (1.01)	0.341 (0.348)	8
岩盤③		1600	3600	24.5 (2.50)	0.377	176.5 (180.0)	64.0 (65.3)	3
岩盤④		1950	4000	24.5 (2.50)	0.344	256.0 (261.0)	95.1 (97.0)	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0 (2.65)	0.339	283.4 (289.0)	105.9 (108.0)	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9 (2.85)	0.355	427.6 (436.0)	157.9 (161.0)	3

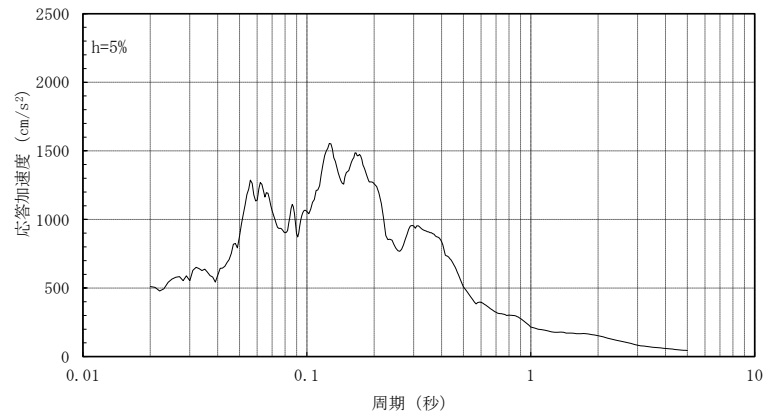
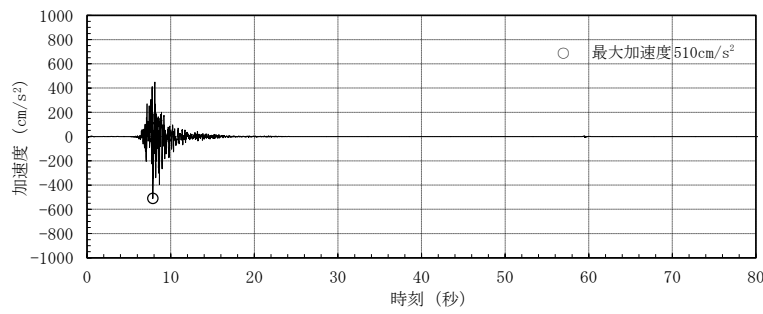


(S s - DH : 水平方向)

第 4.1-2 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - D)

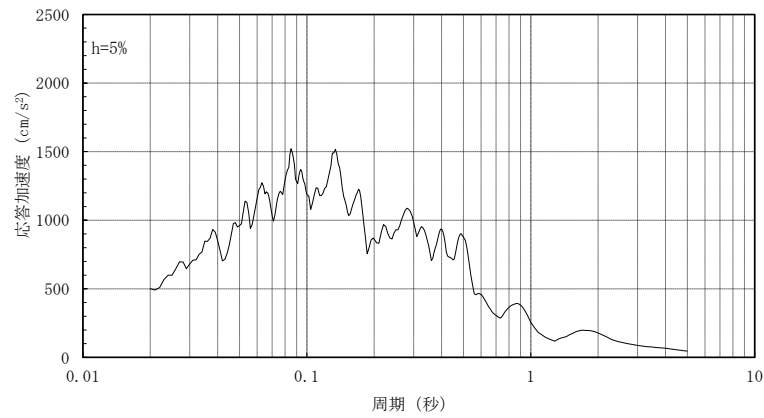
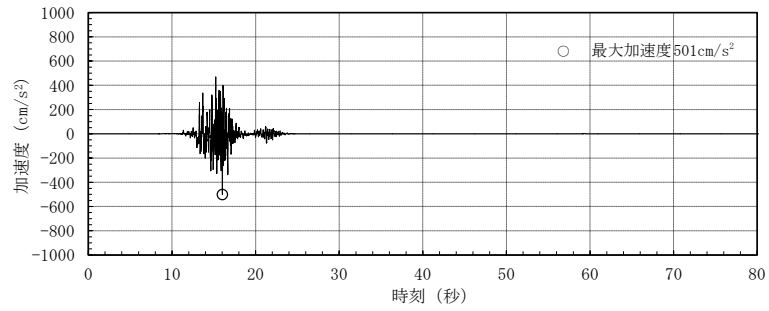


(S s - F 1 H (NS成分) : NS方向)

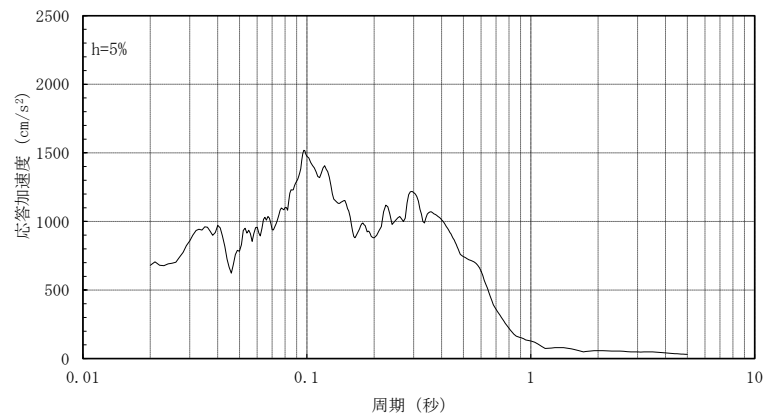
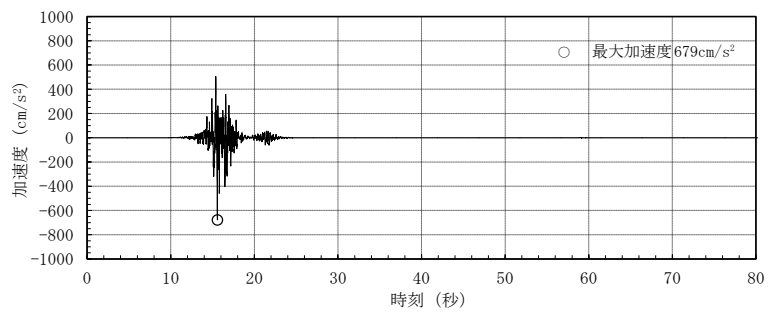


(S s - F 1 H (EW成分) : EW方向)

第 4.1-3 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - F 1)

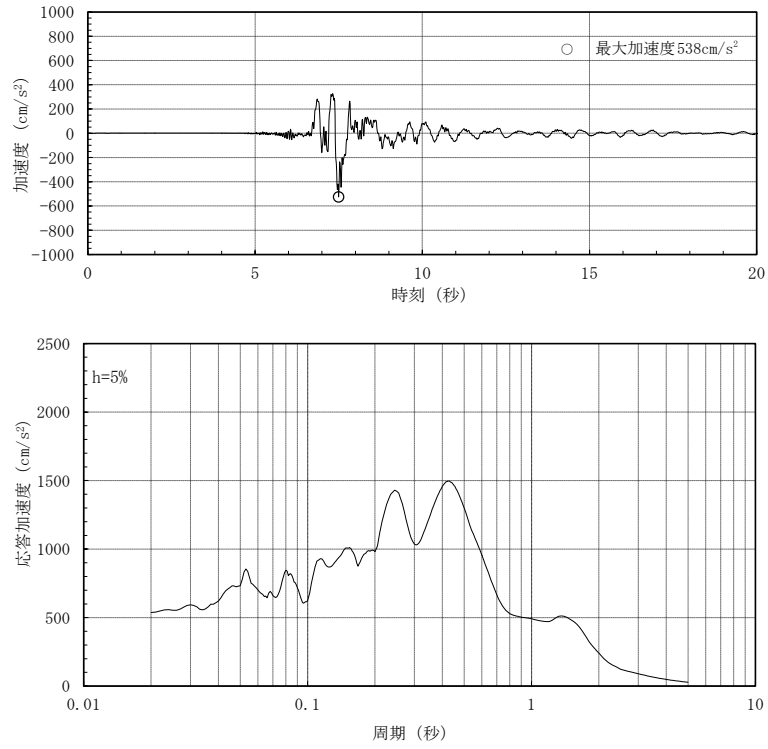


(S s - F 2 H (NS成分) : NS方向)



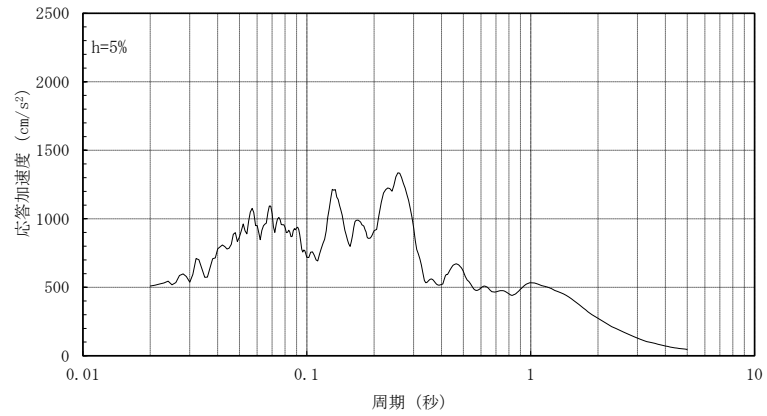
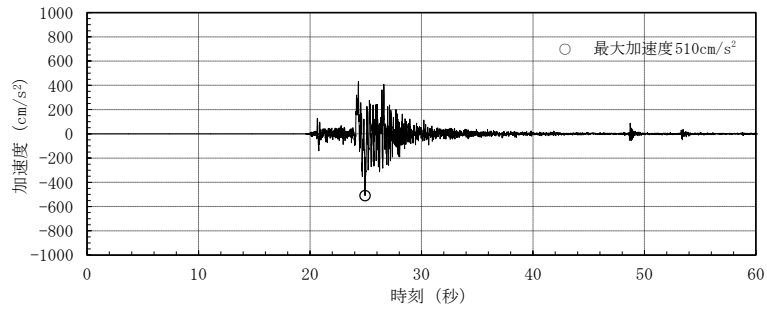
(S s - F 2 H (EW成分) : EW方向)

第 4.1-4 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - F 2)

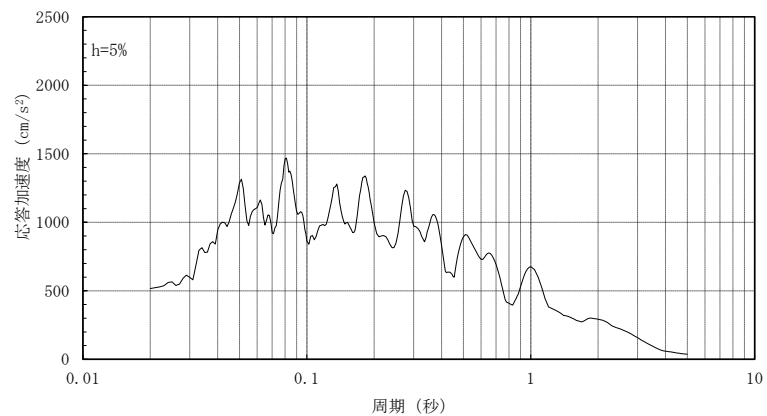
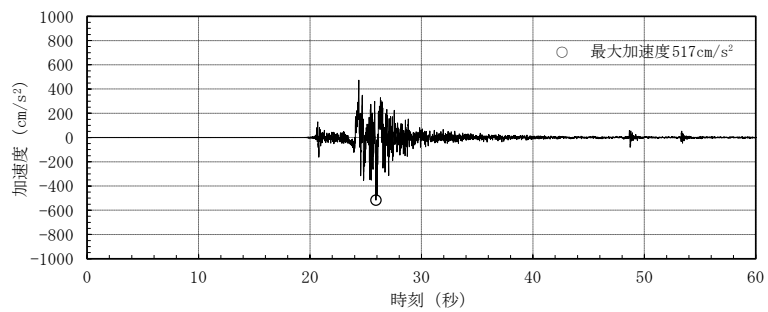


(S s - N 1 H : 水平方向)

第 4.1-5 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - N 1)



(S s - N 2 H (N S成分) : 水平方向)



(S s - N 2 H (E W成分) : 水平方向)

第 4.1-6 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - N 2)

4.2 ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルによる地震応答解析

(1) 地震応答解析モデル

廃棄物処理建物は、建物と地盤との相互作用、基礎浮上り非線形及び基礎と岩盤との付着力を考慮した、建物を質点系、地盤を3次元FEMでモデル化した地震応答解析モデルにより、地震応答解析を行う。

水平方向の建物の地震応答解析モデルは、主要な耐震壁を曲げ・せん断部材に置換し、重量を各階床位置に集中させた1軸多質点系モデルとする。なお、回転慣性重量は基礎下端に集約して評価する。

建物の減衰はモード減衰とし、各次のモード減衰定数は建物のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建物の鉄筋コンクリート部分については減衰定数を5%とする。

建物の非線形特性については、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき鉄筋コンクリート部には最大点指向型のトリリニア・スケルトン曲線を設定する。

地盤は、建物基礎下端以下を实地盤モデルに基づき成層地盤とし、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」により、成層補正を行ったのち、等価な一様地盤としての物性値を定め、3次元FEMを用いてモデル化する。3次元FEM地盤モデルと建物基礎底面の間には、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した付着力 0.40N/mm^2 を考慮する。

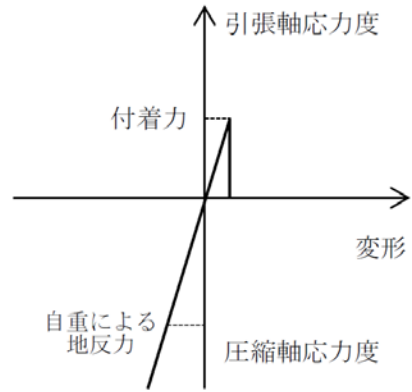
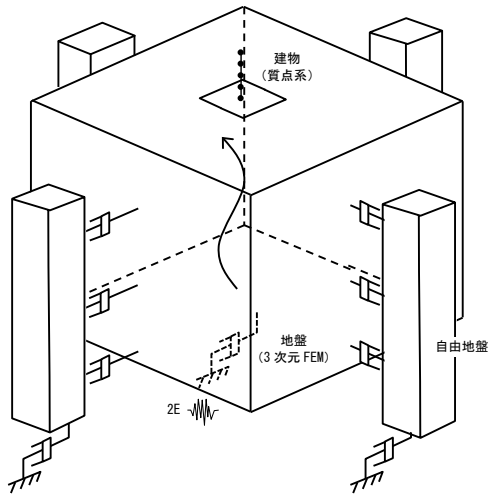
建物の基礎浮上り非線形については、建物基礎と3次元FEM地盤モデルとの間に設定した付着力を超える引張力を負担しないジョイント要素^{注1}を用いることにより、浮上りを評価する。

地盤モデル底面及び側面は粘性境界を設けることにより、遠方地盤への波動の逸散を考慮する。

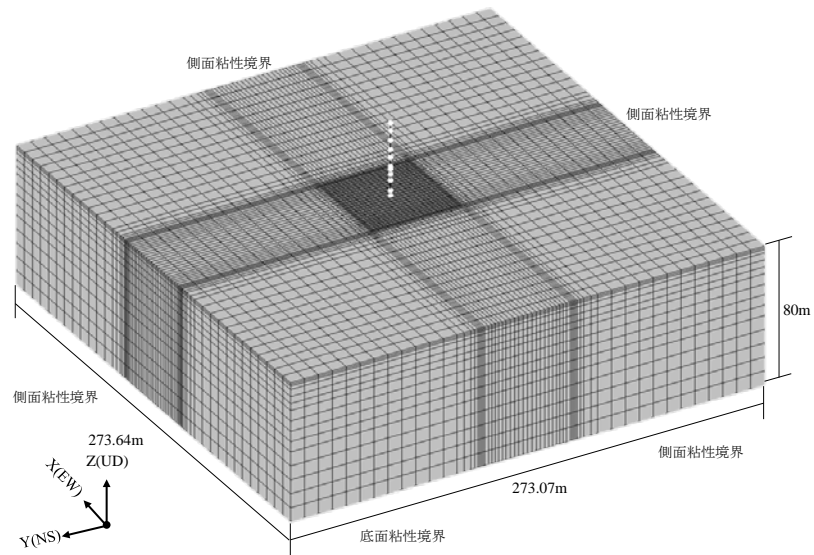
地震応答解析は、上記復元力特性を用いた弾塑性時刻歴応答解析とし、地震応答解析モデル（水平方向）を第4.2-1図に、建物質点系モデルの諸元を第4.2-2図及び第4.2-3図に示す。

地震応答解析には解析コード「NAPISOS Ver.2.0」を用いる。

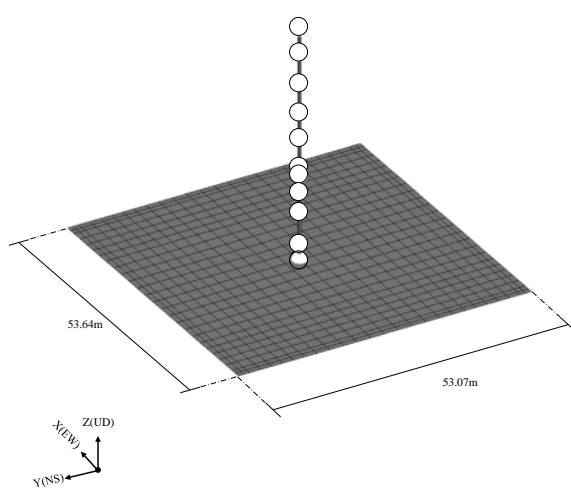
注1：建物モデルの自重によりジョイント要素に発生する応力（地反力）を算定し、これを地震応答解析の初期応力とする。



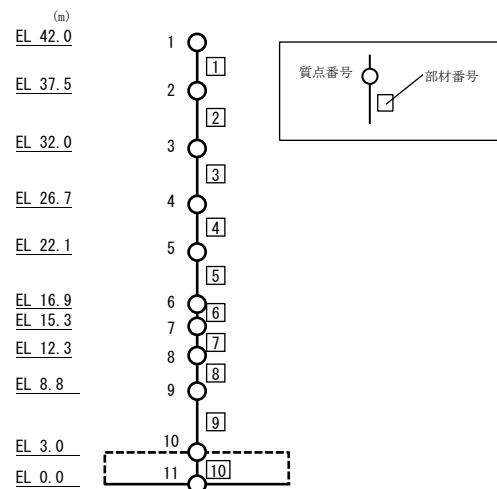
(付着力を考慮したジョイント要素の応力-変形関係)



(全体)

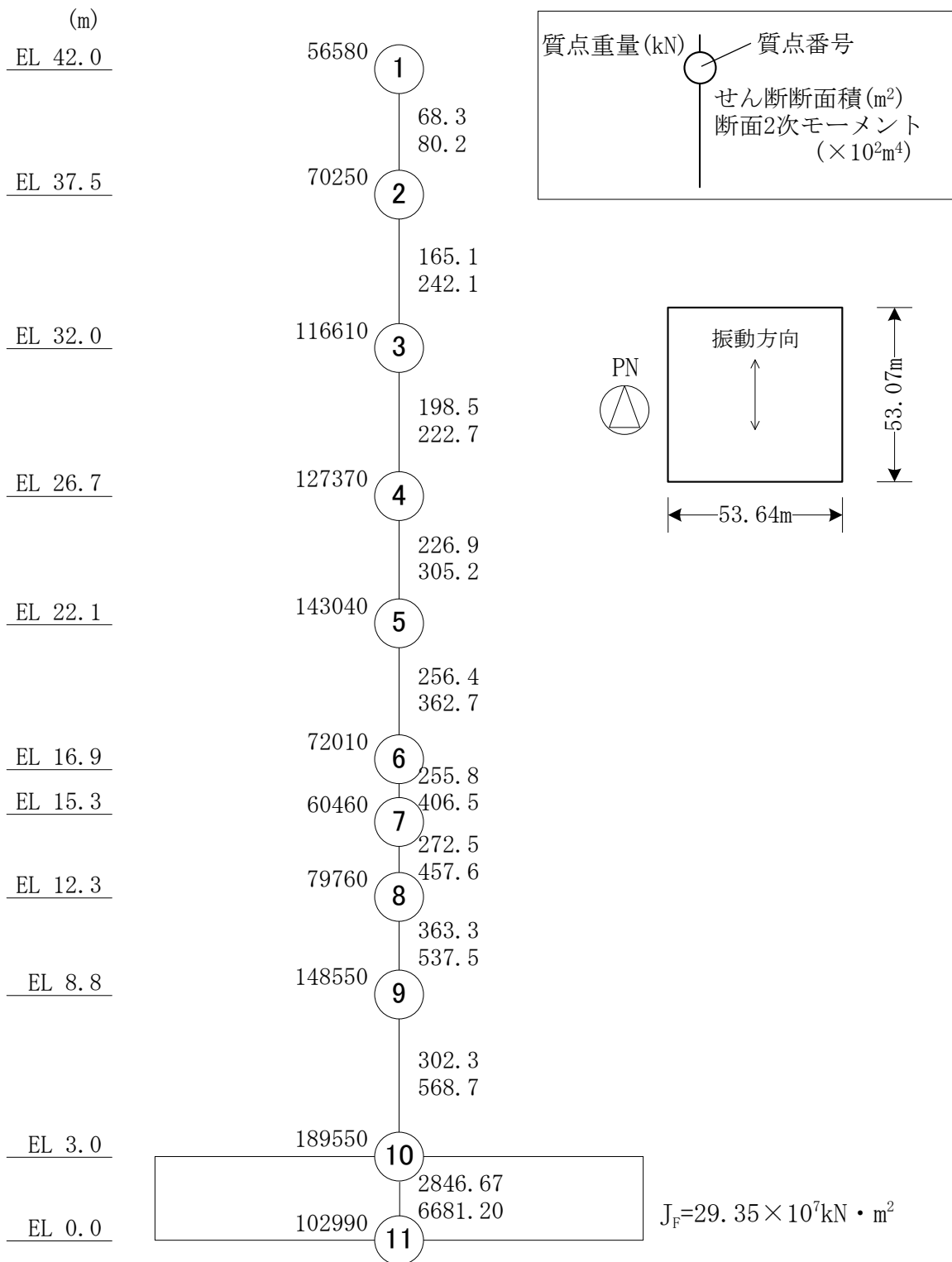


(建物)

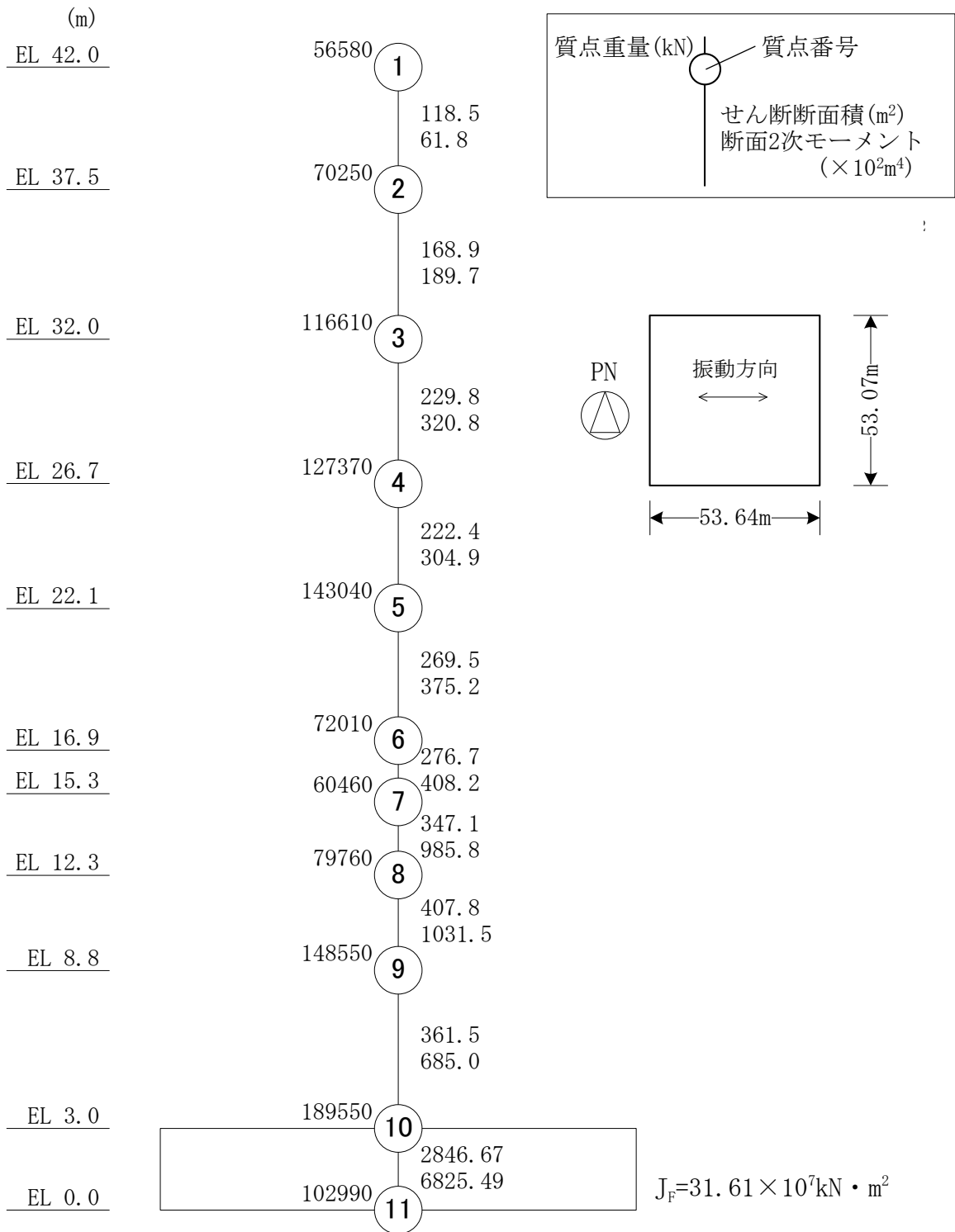


(質点番号及び部材番号)

第 4.2-1 図 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル (水平方向)



第 4.2-2 図 建物質点系地震応答解析モデルの諸元 (NS 方向)



第 4.2-3 図 建物質点系地震応答解析モデルの諸元 (EW方向)

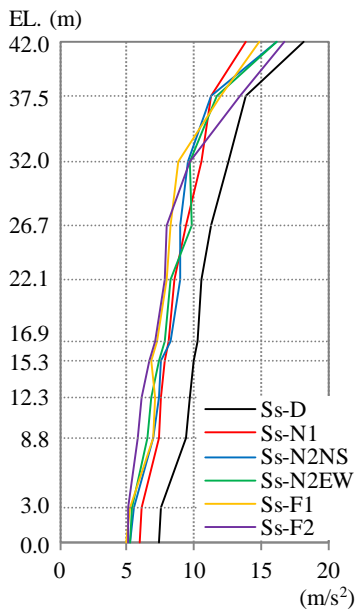
(2) 地震応答解析結果

基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 及び S_s-N2 (水平動) による最大応答値を第 4.2-6 図～第 4.2-11 図に示す。最大接地圧及び最小接地率を第 4.2-1 表に示す。

参考として、耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.51×10^{-3} (S_s-DH , NS 方向) であり、評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕があることを確認している。

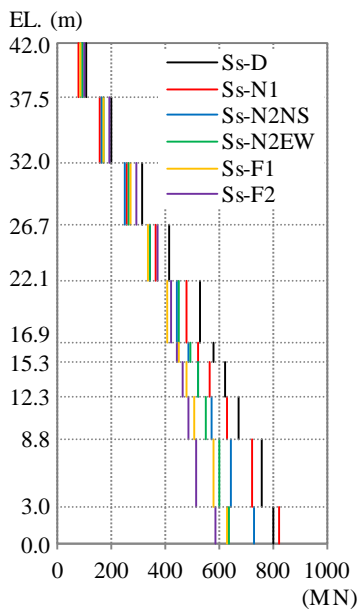
検討の結果、ジョイント要素を用いた 3 次元 FEM モデルによる最小接地率は 98.8% (S_s-DH , NS 方向), 93.9% (S_s-DH , EW 方向) であり、「J E A C 4 6 0 1-2008」で適用範囲の目安とされている 35% を上回っていることから、解析結果が解析モデルの適用範囲内に収まることを確認した。

以上のことから、廃棄物処理建物の地震応答解析にジョイント要素を用いた 3 次元 FEM モデルを採用する。



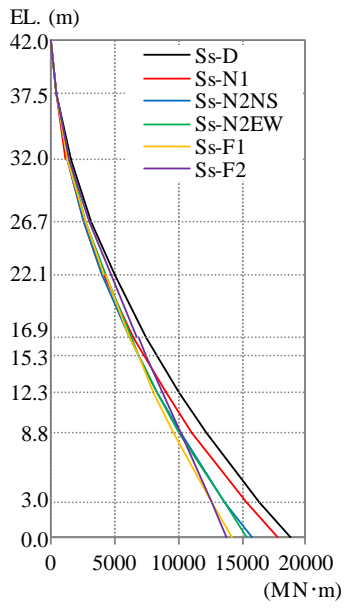
質点 番号	最大応答加速度 (m/s ²)					
	Ss-DH	Ss-F1H (NS成分)	Ss-F2H (NS成分)	Ss-N1H	Ss-N2H (NS成分)	Ss-N2H (EW成分)
1	18.2	13.8	16.1	16.1	14.8	16.7
2	13.9	11.3	11.2	11.7	12.0	13.4
3	12.5	10.6	9.59	9.73	8.87	9.67
4	11.2	9.46	8.98	9.88	8.22	8.01
5	10.6	8.51	8.90	8.25	8.00	7.81
6	10.2	8.12	8.31	7.75	7.31	7.07
7	10.0	7.89	7.59	7.41	6.76	6.62
8	9.66	7.56	7.36	6.88	7.13	6.05
9	9.43	7.36	6.89	6.54	6.98	5.77
10	7.52	6.04	5.58	5.40	5.17	5.14
11	7.46	5.89	5.30	5.26	5.01	5.09

第 4.2-6 図 最大応答加速度 (NS 方向)



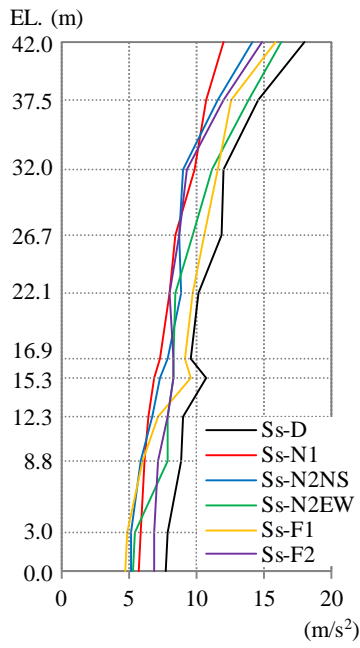
部材 番号	最大応答せん断力 (MN)					
	Ss-DH	Ss-F1H (NS成分)	Ss-F2H (NS成分)	Ss-N1H	Ss-N2H (NS成分)	Ss-N2H (EW成分)
1	103	79.5	92.0	91.4	84.7	96.5
2	197	159	165	172	167	189
3	312	256	250	266	269	294
4	416	367	343	341	338	368
5	527	481	445	452	407	420
6	577	525	484	493	447	442
7	624	568	525	522	476	464
8	674	627	569	550	510	484
9	757	724	647	600	576	515
10	803	820	727	637	632	585

第 4.2-7 図 最大応答せん断力 (NS 方向)



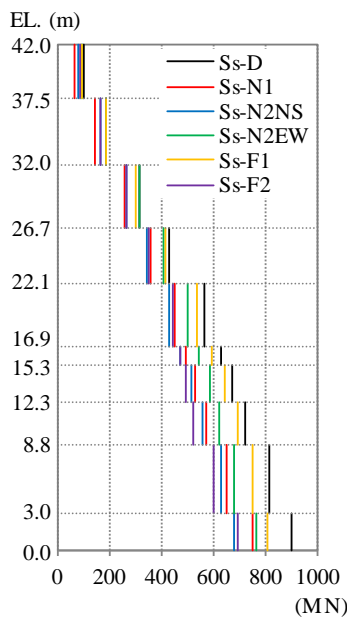
部材 番号	最大応答曲げモーメント (MN・m)					
	S s -DH	S s -F 1 H (NS成分)	S s -F 2 H (NS成分)	S s -N 1 H	S s -N 2 H (NS成分)	S s -N 2 H (EW成分)
1	511	387	432	450	414	459
2	1550	1230	1320	1400	1300	1490
3	3200	2580	2580	2770	2690	3040
4	5060	4090	4000	4280	4240	4710
5	7480	6470	6140	6300	6210	6820
6	8360	7320	6860	6950	6850	7490
7	10100	8990	8290	8270	8070	8690
8	12200	11100	10200	10100	9590	10200
9	16400	15300	13700	13600	12600	12600
10	18800	17800	15800	15400	14200	13800

第 4.2-8 図 最大応答曲げモーメント (NS方向)



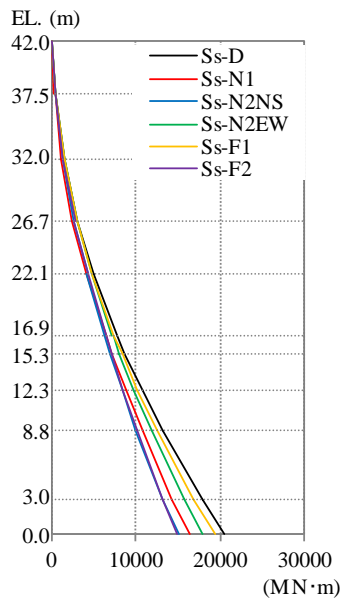
質点 番号	最大応答加速度 (m/s ²)					
	S s -DH	S s -F 1 H (EW成分)	S s -F 2 H (EW成分)	S s -N 1 H	S s -N 2 H (NS成分)	S s -N 2 H (EW成分)
1	17.9	12.0	14.1	16.3	15.8	14.8
2	14.6	10.7	11.6	13.9	12.6	12.0
3	12.0	9.79	9.06	11.1	11.6	9.28
4	11.8	8.50	8.73	9.73	10.6	8.68
5	10.2	7.96	8.90	8.39	9.68	7.94
6	9.60	7.33	7.90	8.34	9.16	8.34
7	10.7	6.91	7.25	8.33	9.58	8.29
8	9.06	6.43	6.79	7.87	7.14	7.81
9	8.86	6.20	5.86	7.91	6.08	7.15
10	7.84	5.82	5.17	5.39	4.86	6.89
11	7.75	5.75	5.15	5.26	4.74	6.89

第 4.2-9 図 最大応答加速度 (EW方向)



部材 番号	最大応答せん断力 (MN)					
	S s -DH	S s -F 1 H (EW成分)	S s -F 2 H (EW成分)	S s -N 1 H	S s -N 2 H (NS成分)	S s -N 2 H (EW成分)
1	98.7	69.2	81.6	94.2	92.7	86.7
2	190	142	165	189	185	164
3	316	257	263	316	302	268
4	432	357	341	406	415	349
5	568	452	427	499	536	443
6	626	493	471	545	593	473
7	671	529	515	583	645	495
8	724	569	558	619	692	519
9	817	653	630	682	750	601
10	897	749	675	762	807	695

第 4.2-10 図 最大応答せん断力 (EW方向)



部材 番号	最大応答曲げモーメント (MN・m)					
	S s -DH	S s -F 1 H (EW成分)	S s -F 2 H (EW成分)	S s -N 1 H	S s -N 2 H (NS成分)	S s -N 2 H (EW成分)
1	487	340	398	450	443	409
2	1530	1110	1300	1480	1470	1330
3	3080	2430	2690	3070	2970	2720
4	4970	4060	4230	4840	4710	4270
5	7710	6400	6250	7230	7400	6390
6	8710	7180	6950	8050	8340	7100
7	10700	8750	8330	9650	10200	8470
8	13100	10700	10000	11800	12600	10100
9	17800	14300	13100	15700	16900	13200
10	20500	16400	15000	17900	19300	14900

第 4.2-11 図 最大応答曲げモーメント (E W方向)

第 4.2-1 表 最大接地圧及び最小接地率

	N S 方向					
	S _S -DH	S _S -F1H (NS 成分)	S _S -F2H (NS 成分)	S _S -N1H	S _S -N2H (NS 成分)	S _S -N2H (EW 成分)
最大接地圧 (kN/m ²)	6457	5389	5728	6059	5856	5743
最小接地率 (%)	98.8	100.0	100.0	99.0	100.0	100.0
	E W 方向					
	S _S -DH	S _S -F1H (EW 成分)	S _S -F2H (EW 成分)	S _S -N1H	S _S -N2H (NS 成分)	S _S -N2H (EW 成分)
最大接地圧 (kN/m ²)	6828	6221	5760	5834	5916	6183
最小接地率 (%)	93.9	98.5	100.0	100.0	100.0	99.0

制御室建物の地震応答解析

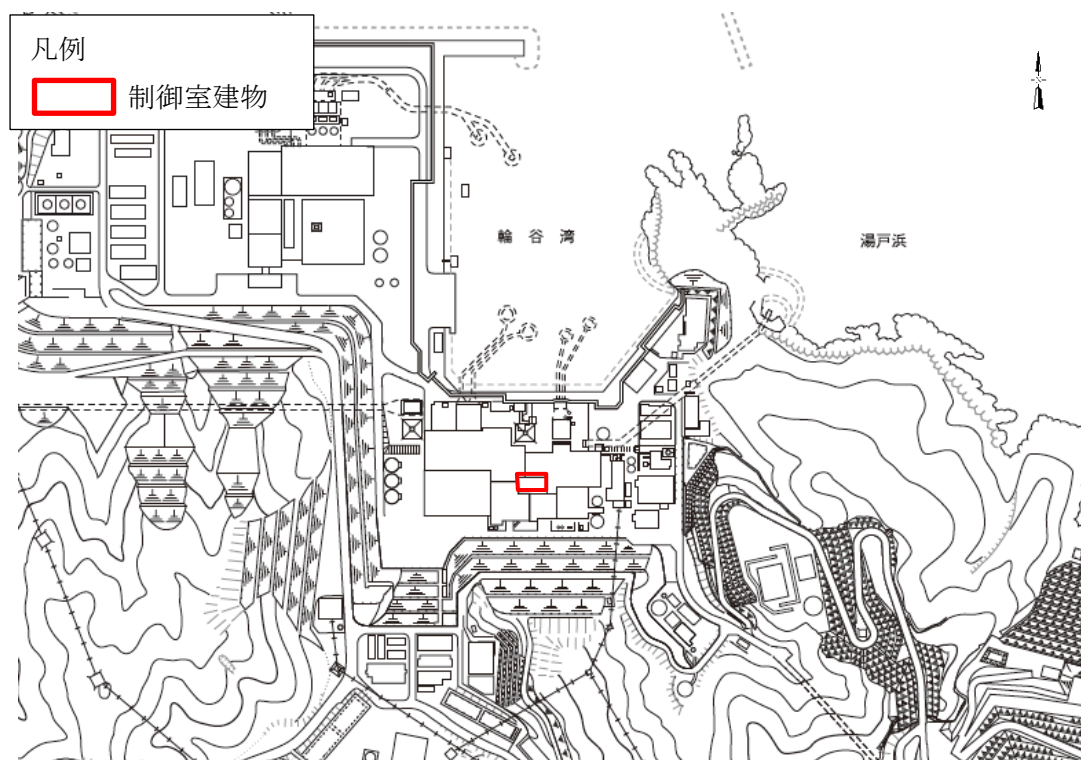
1. 概要

本資料は、制御室建物について「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に示される浮上り線形地震応答解析を実施し、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が、付着力試験に基づき設定した値を超えないことを確認した結果について説明する。

2. 制御室建物の概要

2.1 位置

制御室建物の設置位置を第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 制御室建物の設置位置

2.2 構造概要

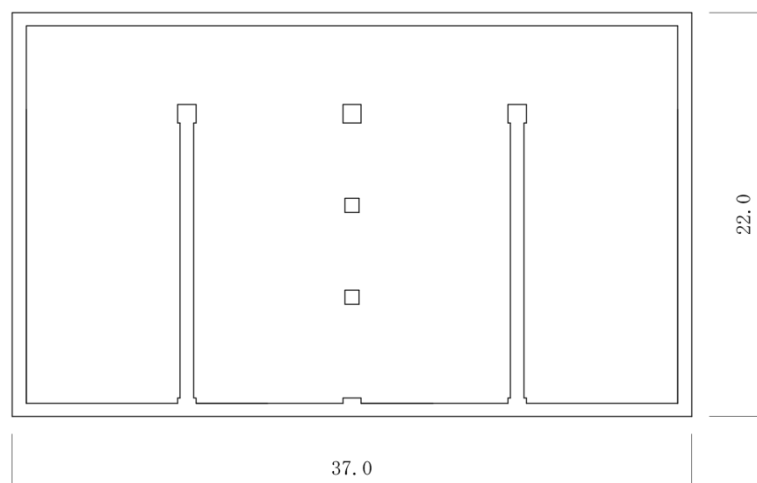
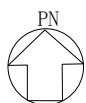
制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

制御室建物の平面寸法は、22.0m^{注1}（NS）×37.0m^{注1}（EW）の矩形を成している。基礎スラブ底面からの高さは21.95mである。また、制御室建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

制御室建物の概要を第2.2-1図及び第2.2-2図に示す。

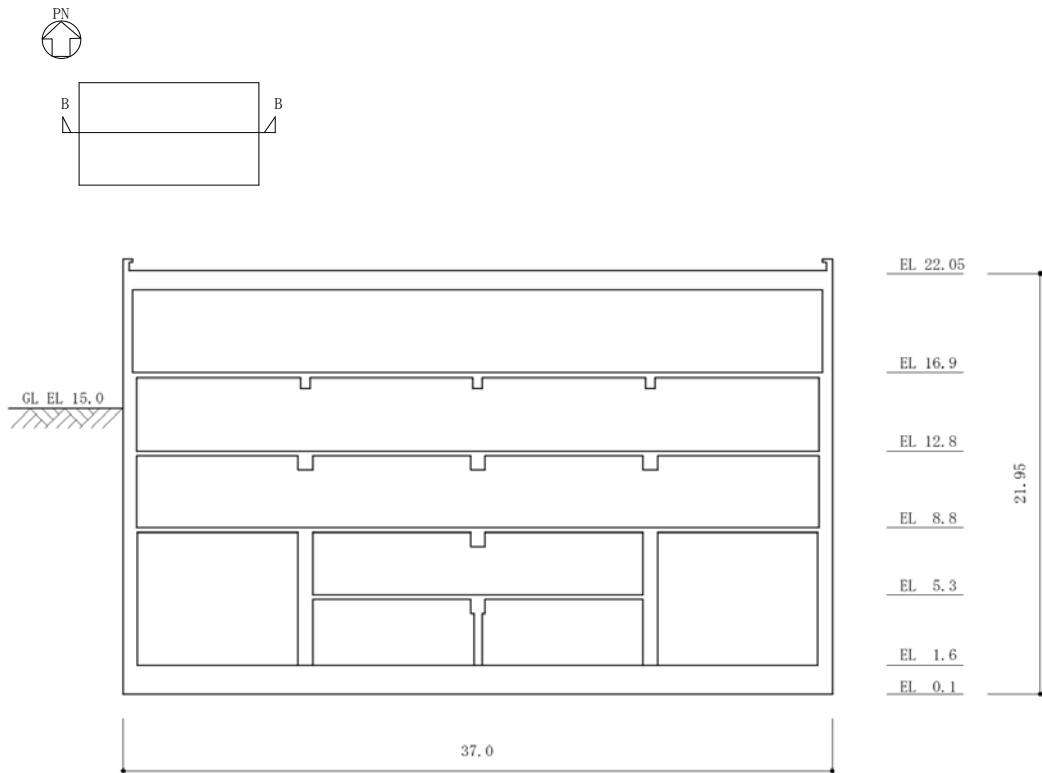
制御室建物の基礎は厚さ1.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

注1：建物寸法は壁外面寸法とする。

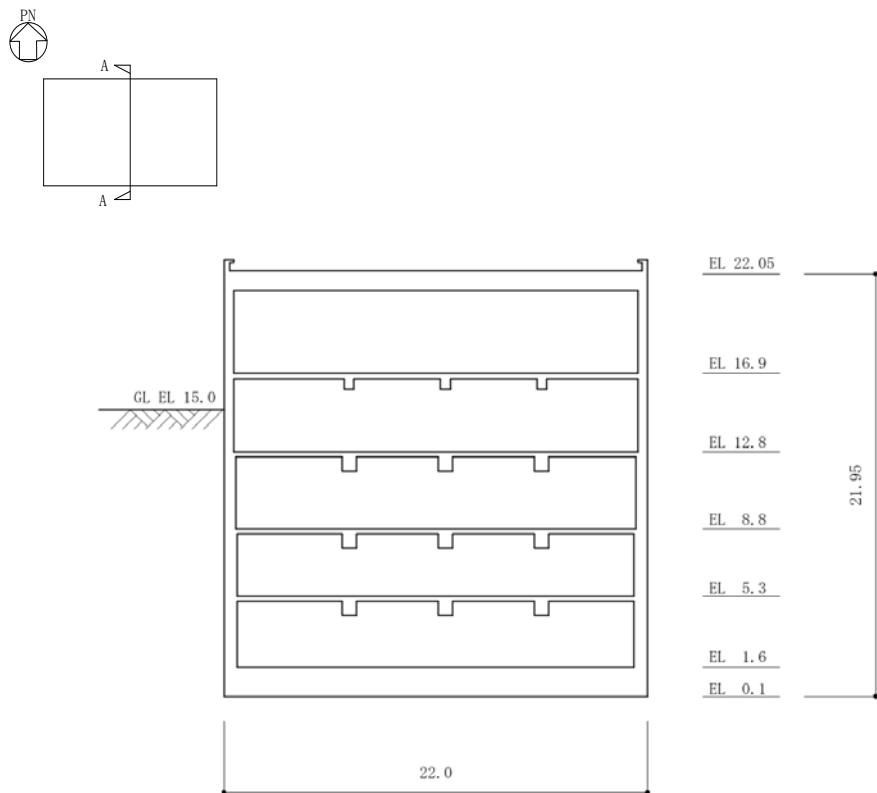


第2.2-1図 制御室建物の概要（平面図）（E L 1.6m^{注2}）
（単位：m）

注2：「E L」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。



(E W断面)



(N S断面)

第 2.2-2 図 制御室建物の概要 (断面図) (単位 : m)

3. 検討用地震動

検討に用いる地震動は、基準地震動 $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 、 $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ とする。

4. 地震応答解析

4.1 入力地震動の算定

水平方向の入力地震動は、建物周辺地盤の状況を適切に考慮した二次元 FEM 地盤モデルによって算定する。

まず、解放基盤表面 (T.P. -10m) で定義される基準地震動 $S_s (2E_0)$ を用いて、T.P. -10m 以浅の地盤を取り去った解放地盤モデルで一次元波動論による応答解析を行い、二次元 FEM 地盤モデル下端位置 (T.P. -215m) への入力地震動 ($2E_1$) を算定する。次に、この地震動を用いて二次元 FEM 地盤モデルによる地盤応答解析を行い、建物基礎下端位置 (T.P. 0.1m) における応答波 ($2E$) を求め、これを建物-地盤連成モデルへの入力地震動とする。

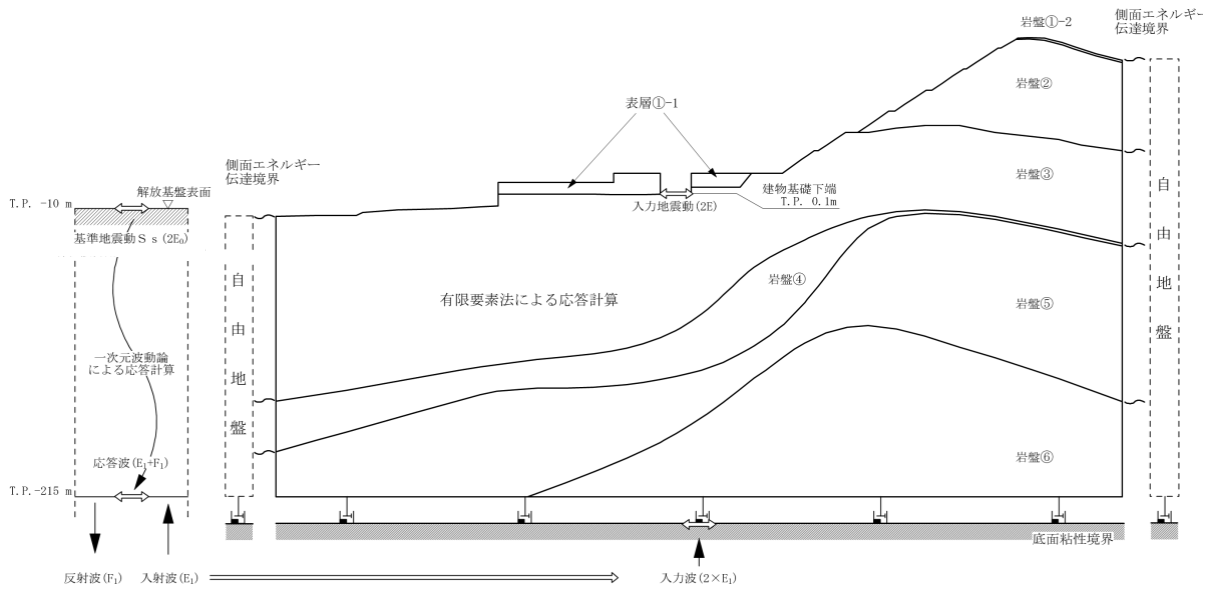
なお、二次元 FEM 地盤モデルの側面はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界を設けることにより、遠方地盤への波動の逸散を考慮する。

表層は、拘束圧依存性と「せん断剛性-せん断ひずみ関係 ($G/G_0 - \gamma$ 曲線)」及び「減衰定数-せん断ひずみ関係 ($h - \gamma$ 曲線)」を基に、地震時のひずみレベルを考慮した等価な剛性と減衰を設定している。

水平方向の入力地震動作成の概要を第 4.1-1 図に、地盤各層の物理定数を第 4.1-1 表に示す。

建物-地盤連成モデルへの入力地震動 ($2E$) の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 4.1-2 図~第 4.1-7 図に示す。

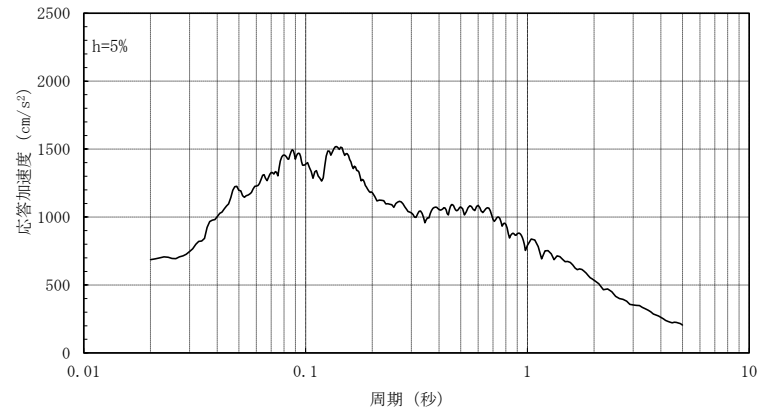
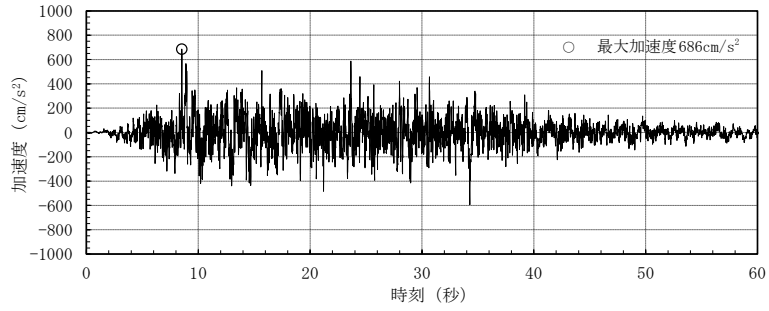
入力地震動の算定には解析コード「SHAKE」及び「SUPERFLUSH」を用いる。



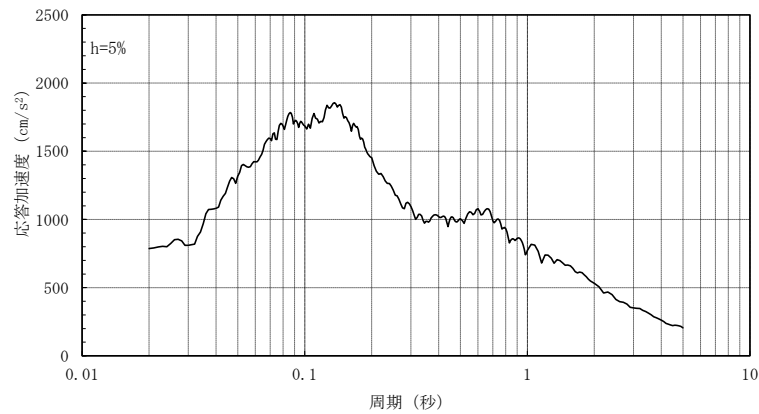
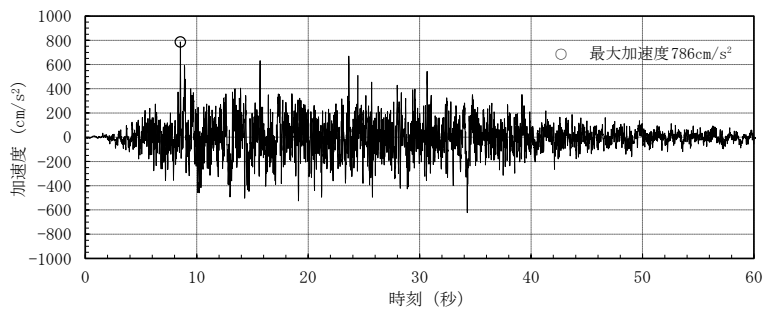
第 4.1-1 図 入力地震動作成の概要 (水平方向)

第 4.1-1 表 地盤の物理定数

層 番号	S波 速度 V_s m/s	P波 速度 V_p m/s	単位体積 重量 γ kN/m ³ (tf/m ³)	ポアソン 比 ν	ヤング 係数 E × 10 ⁵ kN/m ² (× 10 ⁴ tf/m ²)	せん断 弾性係数 G × 10 ⁵ kN/m ² (× 10 ⁴ tf/m ²)	減衰 定数 h %	
表層 ①-1	S s	127	422	20.7 (2.11)	0.45	0.99 (1.01)	0.341 (0.348)	8
岩盤①-2	250	800	20.6 (2.10)	0.446	3.80 (3.88)	1.31 (1.34)	3	
岩盤②	900	2100	23.0 (2.35)	0.388	52.9 (53.9)	19.0 (19.4)	3	
岩盤③	1600	3600	24.5 (2.50)	0.377	176.5 (180.0)	64.0 (65.3)	3	
岩盤④	1950	4000	24.5 (2.50)	0.344	256.0 (261.0)	95.1 (97.0)	3	
岩盤⑤	2000	4050	26.0 (2.65)	0.339	283.4 (289.0)	105.9 (108.0)	3	
岩盤⑥	2350	4950	27.9 (2.85)	0.355	427.6 (436.0)	157.9 (161.0)	3	

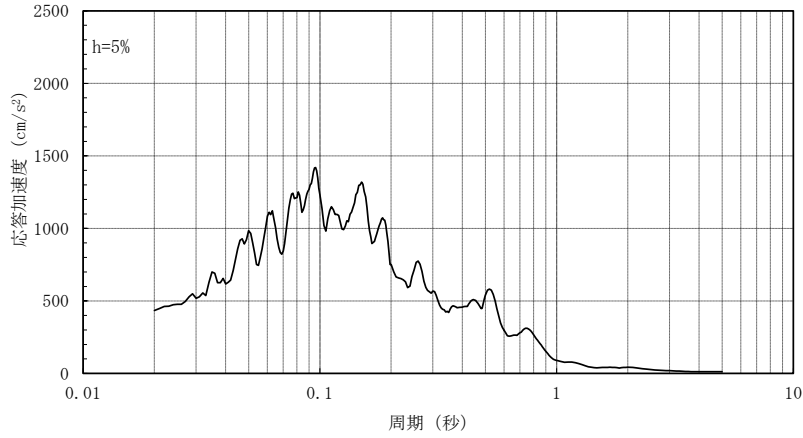
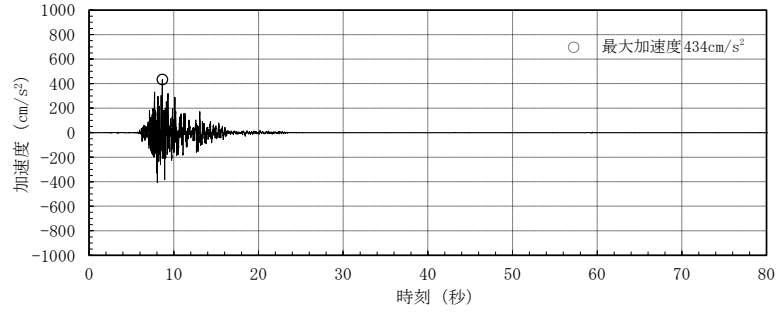


(S s - DH : NS方向)

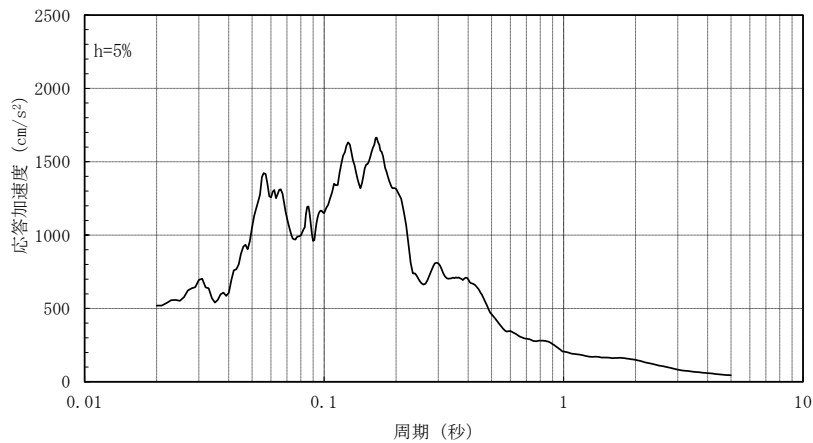
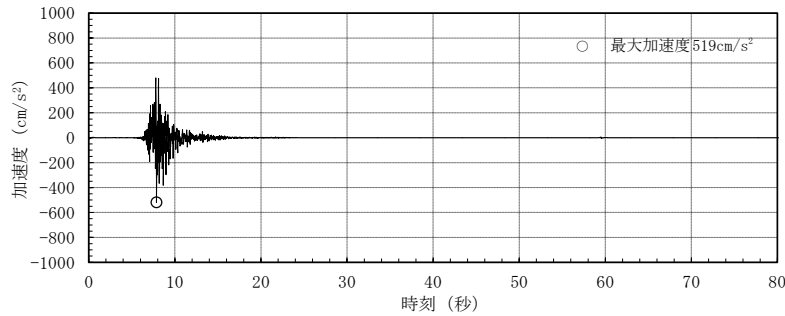


(S s - DH : EW方向)

第 4.1-2 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - D)

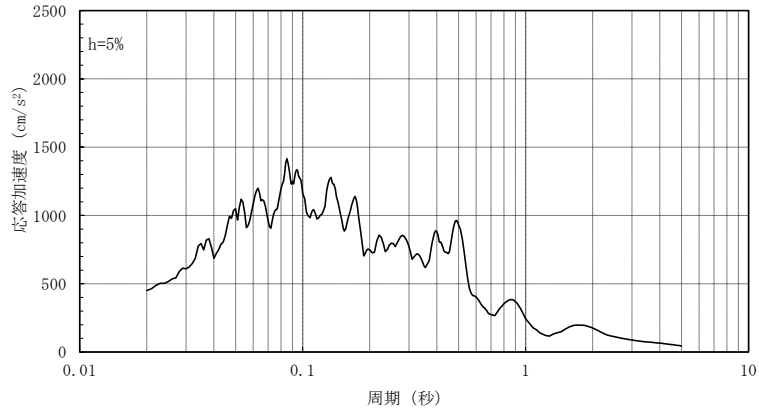
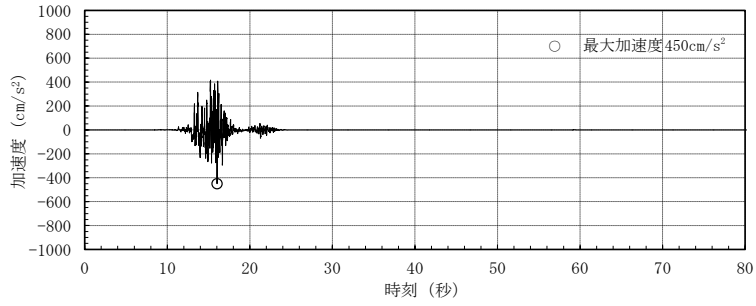


(S s - F 1 H (NS成分) : NS方向)

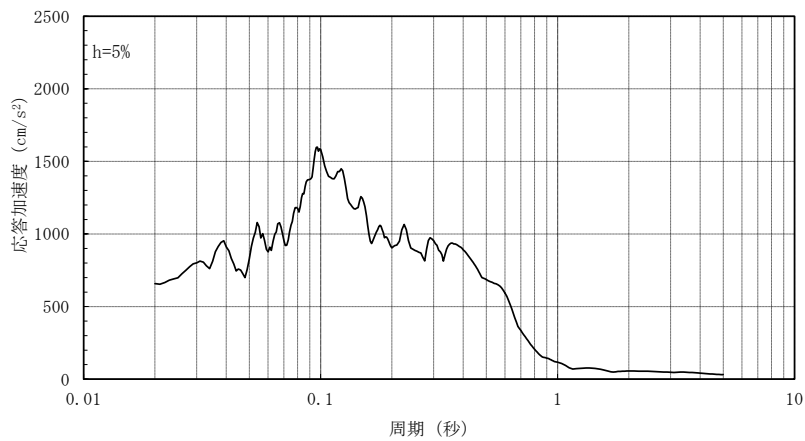
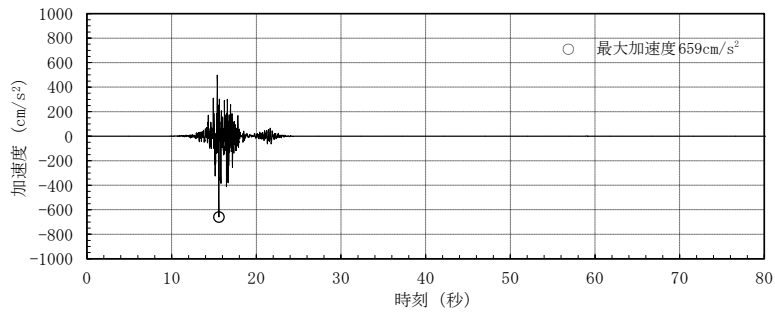


(S s - F 1 H (EW成分) : EW方向)

第 4.1-3 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - F 1)

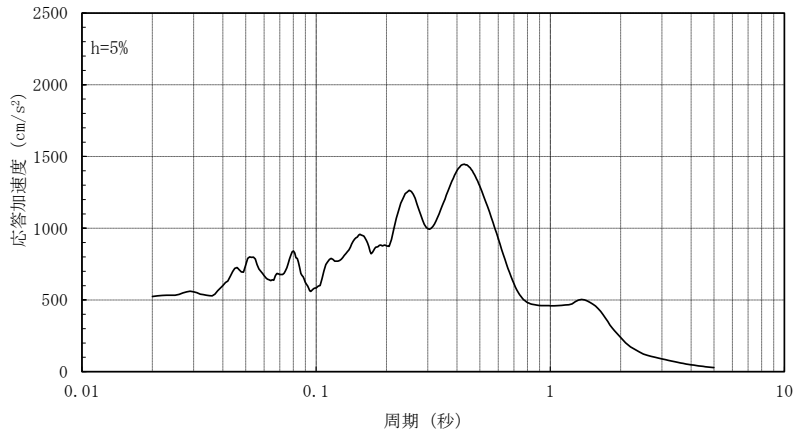
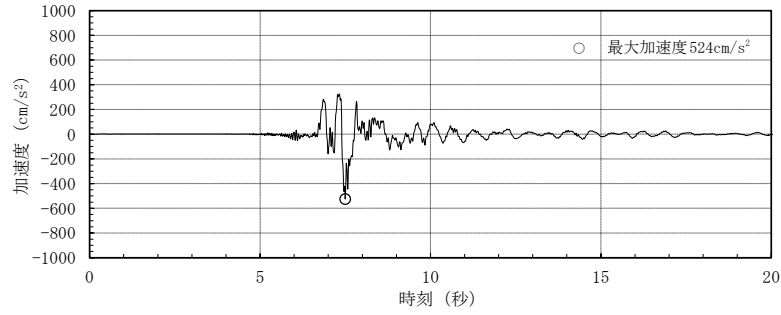


(S s - F 2 H (NS成分) : NS方向)

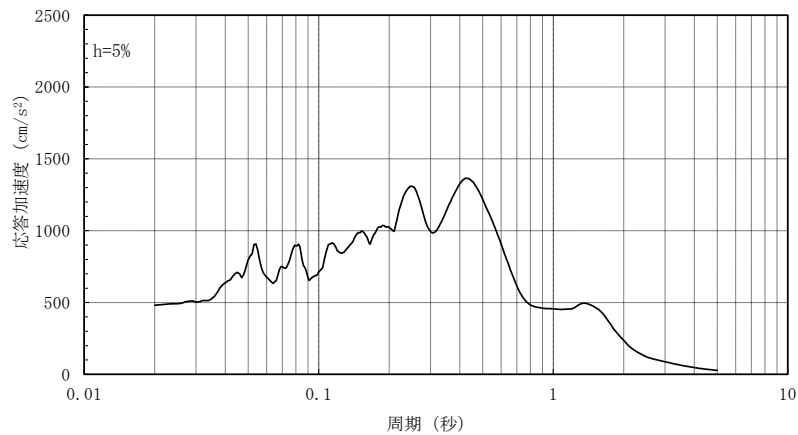
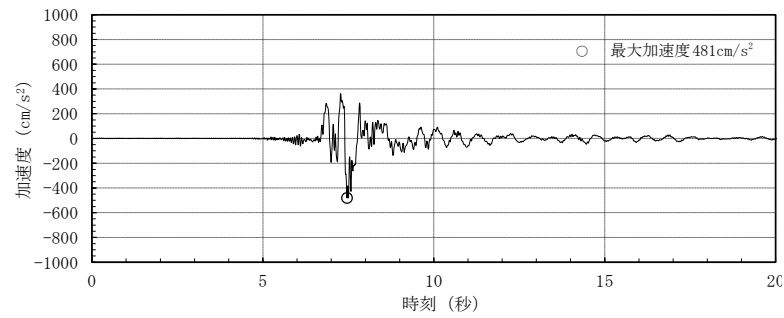


(S s - F 2 H (EW成分) : EW方向)

第 4.1-4 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - F 2)

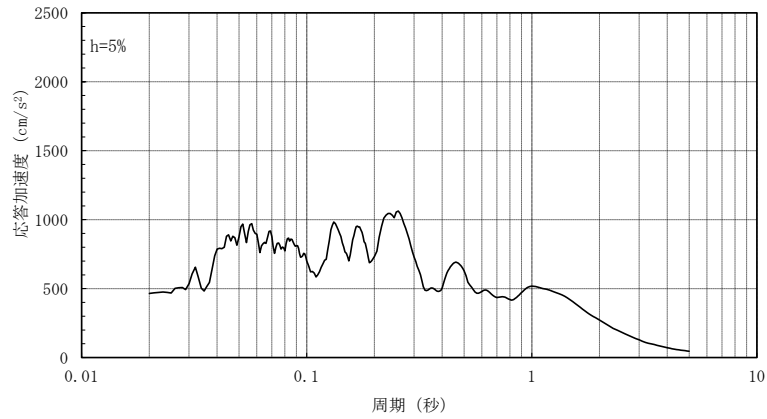
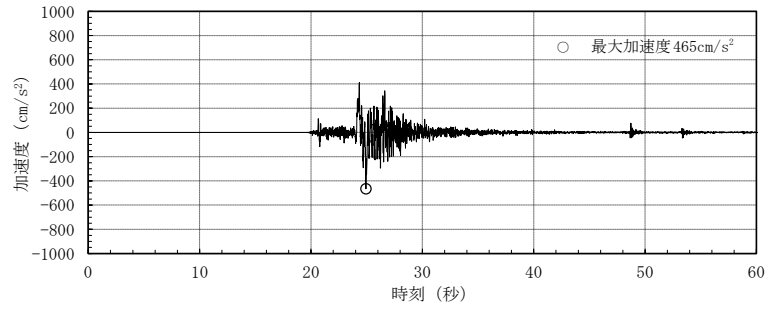


(S s - N 1 H : NS方向)

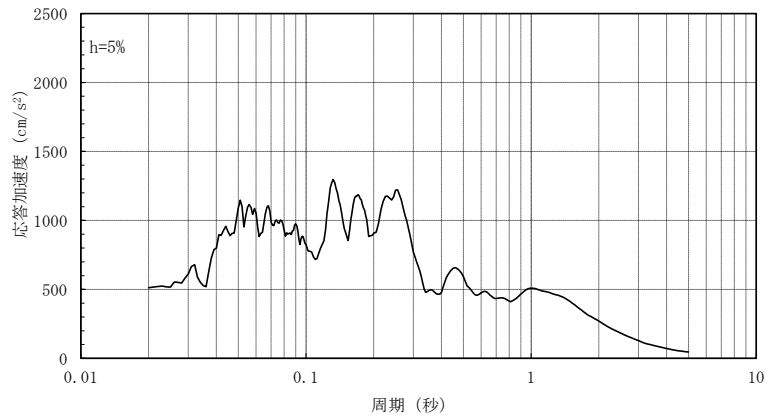
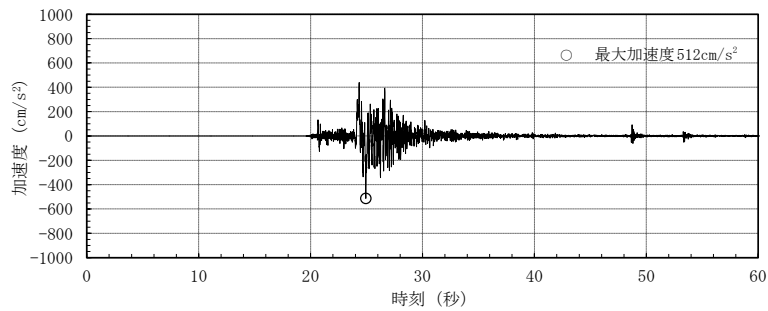


(S s - N 1 H : EW方向)

第 4.1-5 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - N 1)

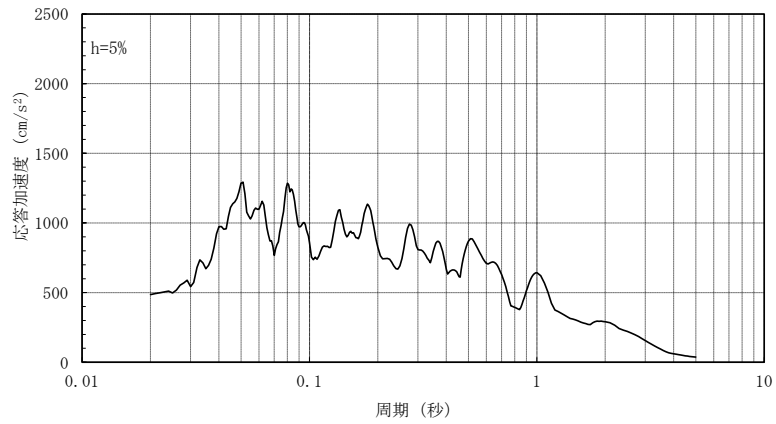
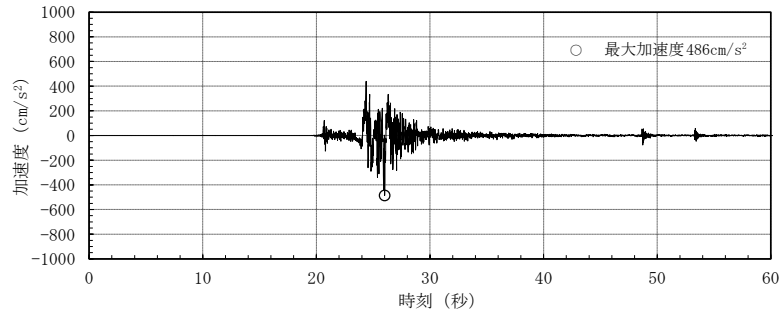


(S_s - N 2 H (NS成分) : NS方向)

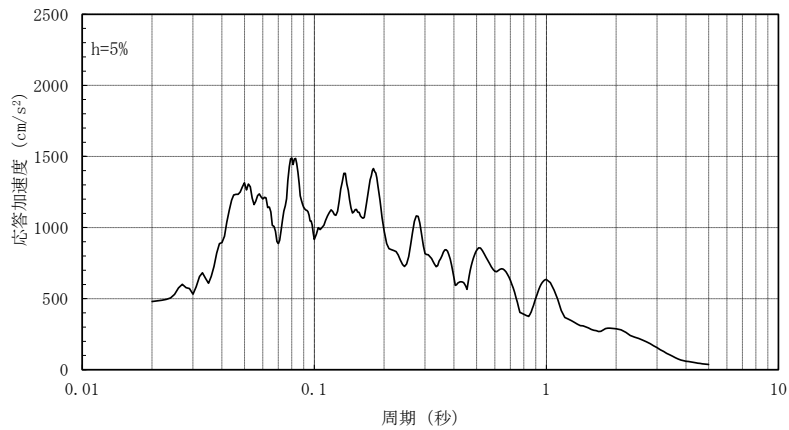
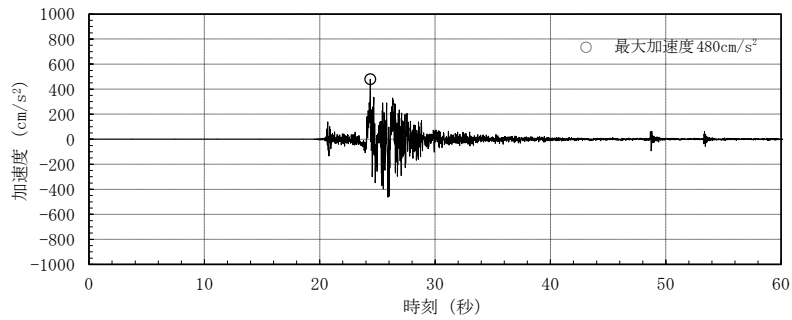


(S_s - N 2 H (NS成分) : EW方向)

第 4.1-6 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s - N 2)



(S s - N 2 H (EW成分) : NS方向)



(S s - N 2 H (EW成分) : EW方向)

第 4.1-7 図 入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s - N 2)

4.2 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、主要な耐震壁を曲げ・せん断部材に置換し、重量を各階床位置に集中させた多質点系のスウェイ・ロッキングモデルとする。なお、回転慣性重量は基礎に集約して評価する。

建物と地盤の相互作用は、基礎スラブ底面を等価な地盤ばね（水平・回転）に置換して評価する。建物底面に付く地盤ばねは、振動アドミタンス理論により求めた振動数依存の複素ばねを、剛性は0Hzでの実部の値（静的ばね値）で、減衰係数は建物－地盤連成系の1次固有振動数での虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きで、それぞれ近似する。

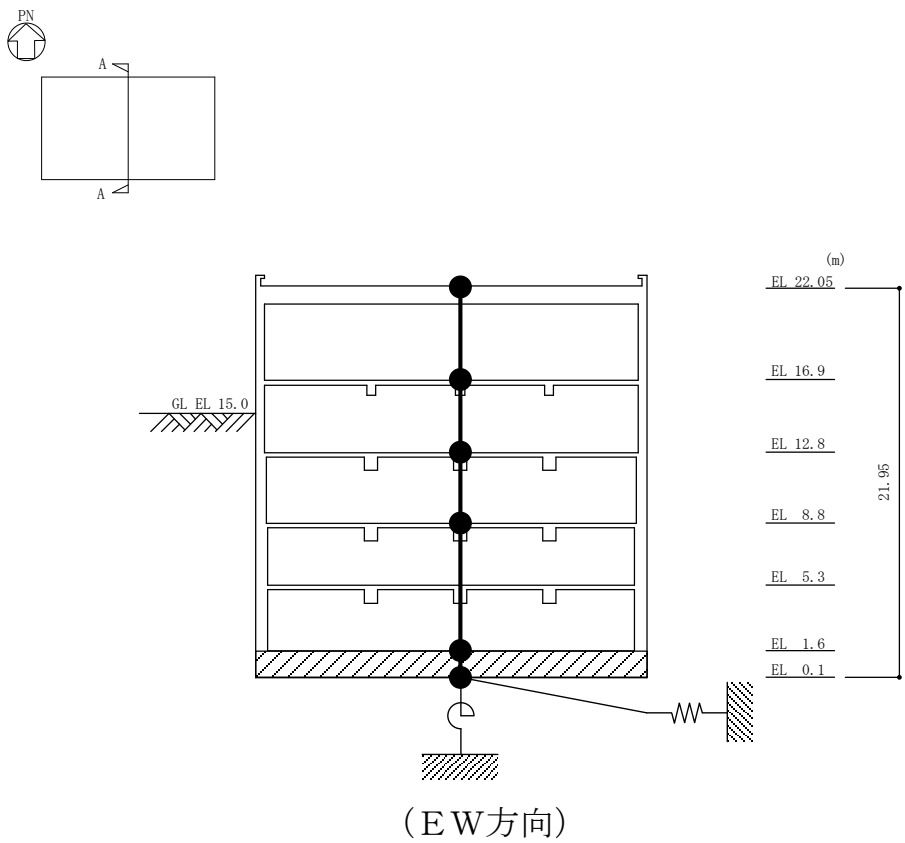
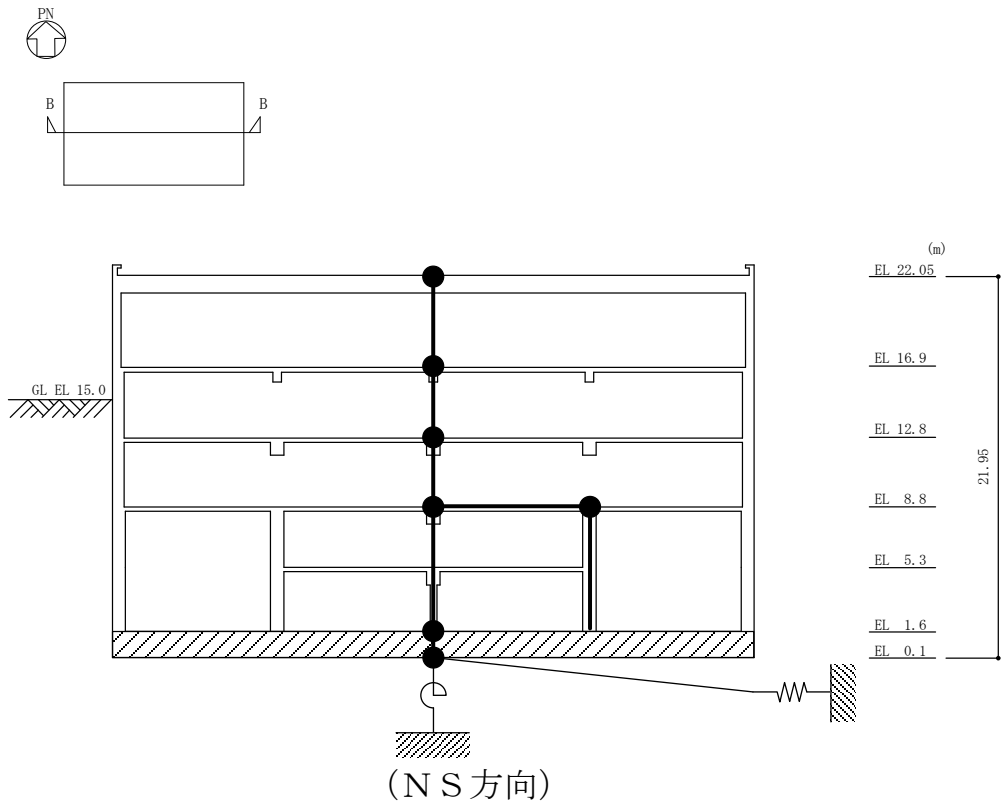
建物の減衰はモード減衰とし、各次のモード減衰定数は建物のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建物の鉄筋コンクリート部分については減衰定数を5%とする。

建物の非線形特性については、鉄筋コンクリート部には最大点指向型のトリリニア・スケルトン曲線を「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき設定する。

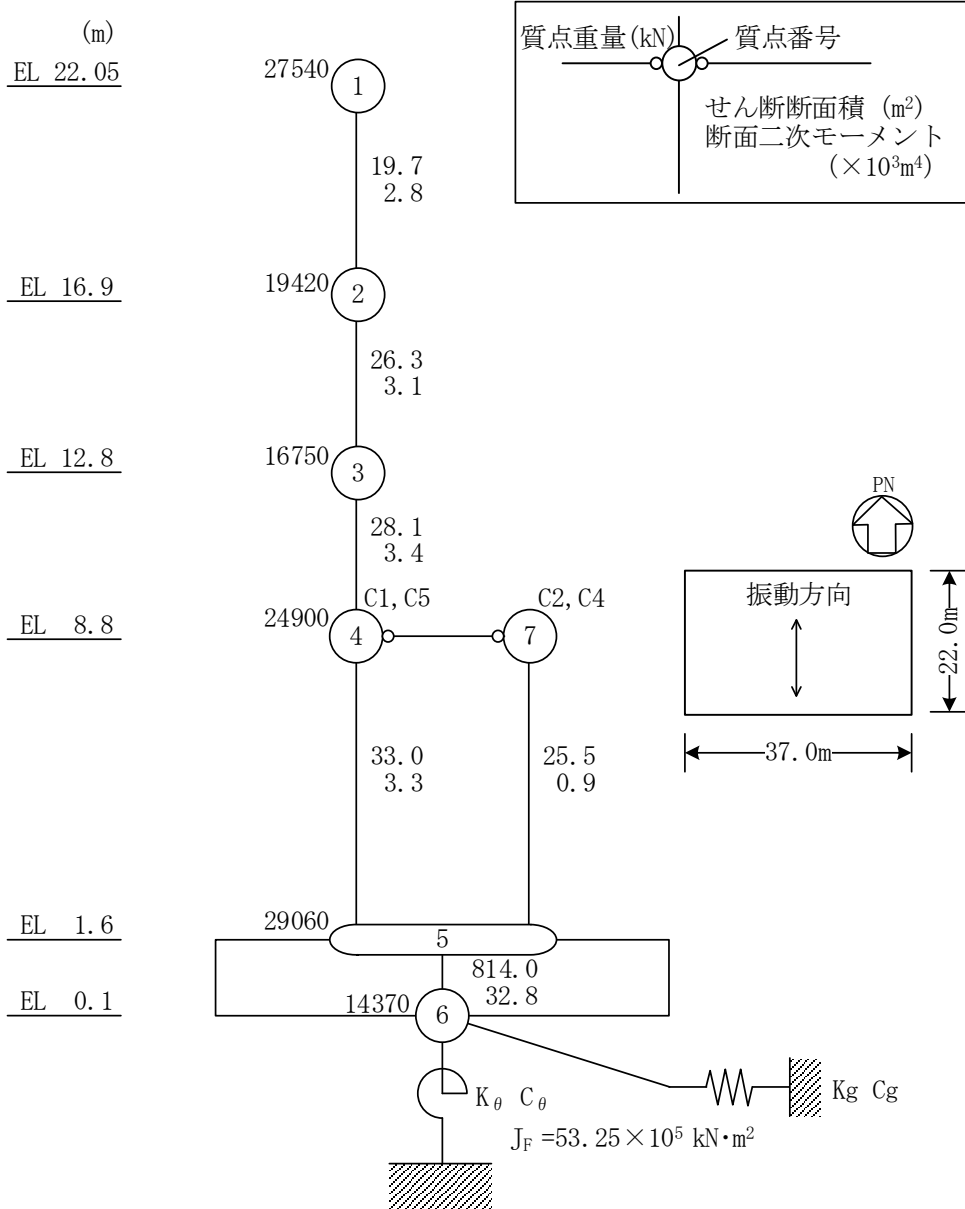
基礎底面回転ばねは線形とした。

地震応答解析は、上記復元力特性を用いた弾塑性時刻歴応答解析とし、地震応答解析モデル（水平方向）を第4.2-1図に、解析モデルの諸元を第4.2-2図及び第4.2-3図に、地盤のばね定数と減衰係数を第4.2-1表に示す。

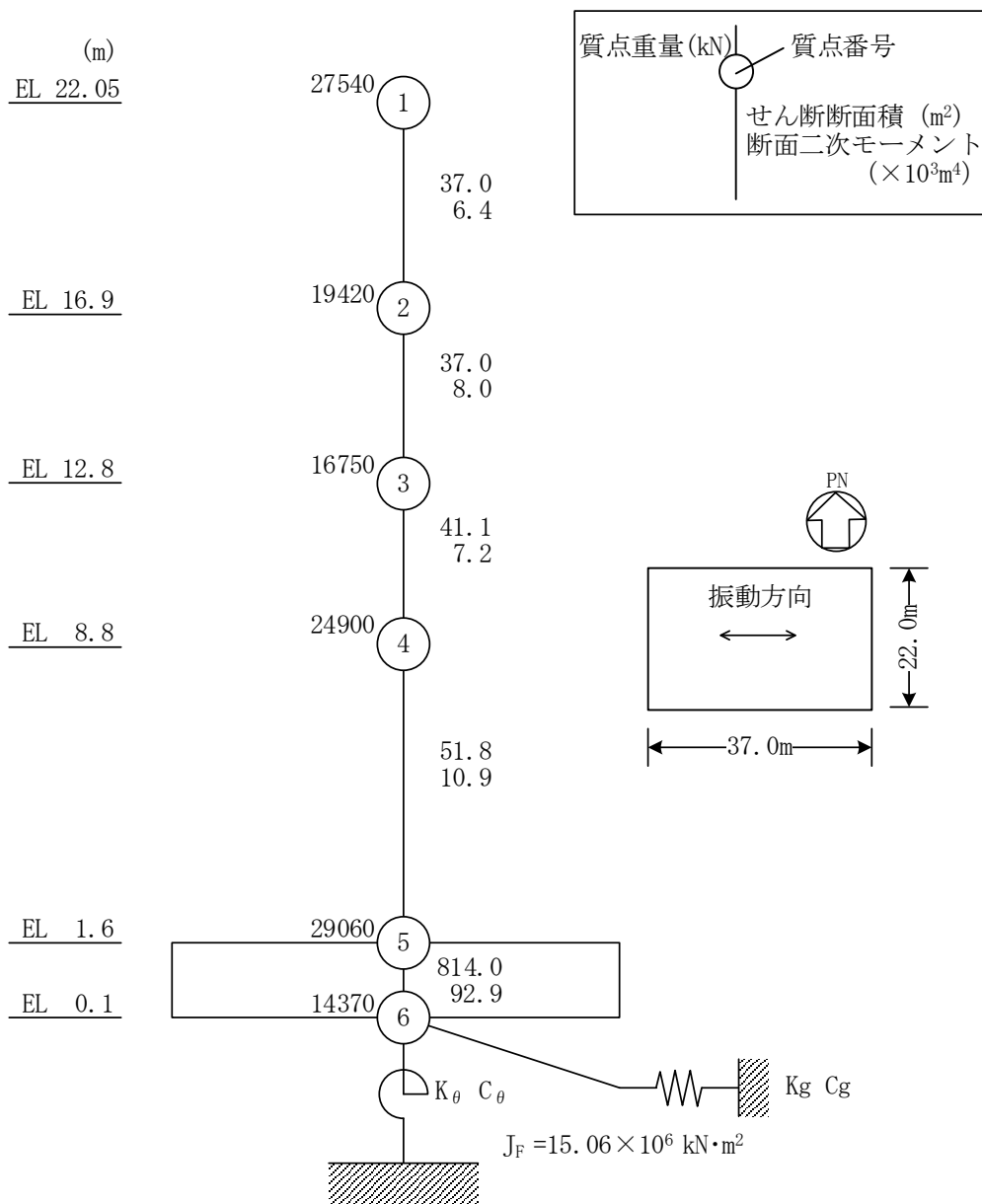
地震応答解析には解析コード「NUPP4」を用いる。



第 4.2-1 図 制御室建物の地震応答解析モデル



第 4.2-2 図 地震応答解析モデルの諸元 (NS 方向)



第 4.2-3 図 地震応答解析モデルの諸元 (EW 方向)

第 4.2-1 表 地盤のばね定数と減衰係数

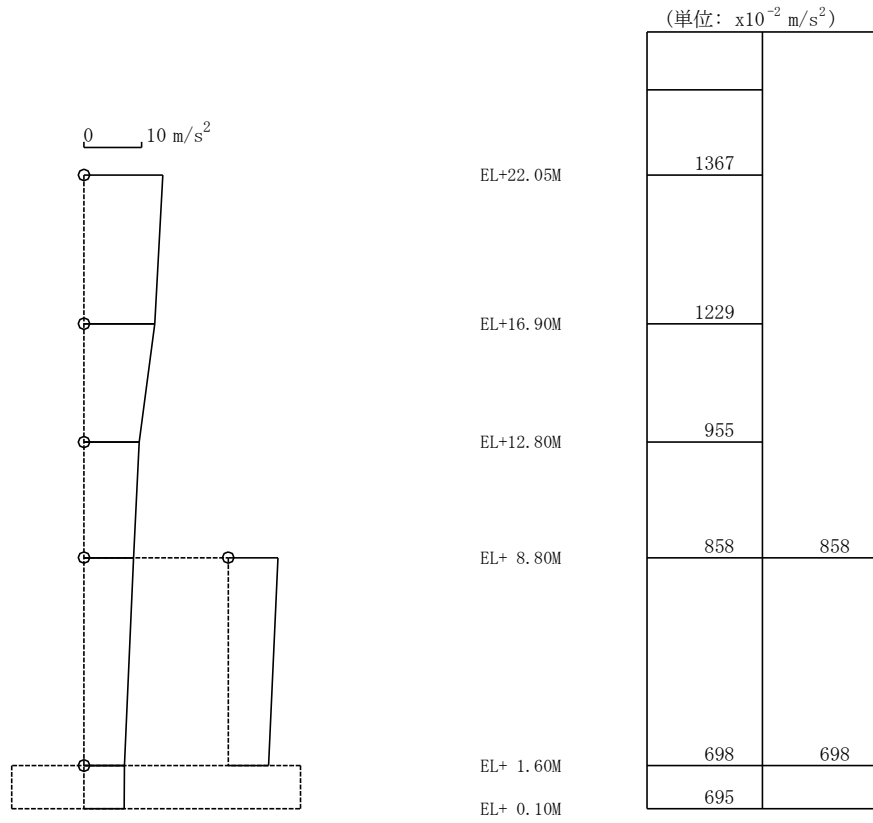
地盤ばね	方向	ばね定数	減衰係数
基礎底面	N S	5.10×10^8 (N/mm)	2.84×10^6 (N·s/mm)
水平ばね(K_g, C_g)	E W	4.86×10^8 (N/mm)	2.58×10^6 (N·s/mm)
基礎底面	N S	7.45×10^{16} (N·mm/rad)	2.13×10^{13} (N·mm·s/rad)
回転ばね(K_θ, C_θ)	E W	1.57×10^{17} (N·mm/rad)	1.19×10^{14} (N·mm·s/rad)

4.3 地震応答解析

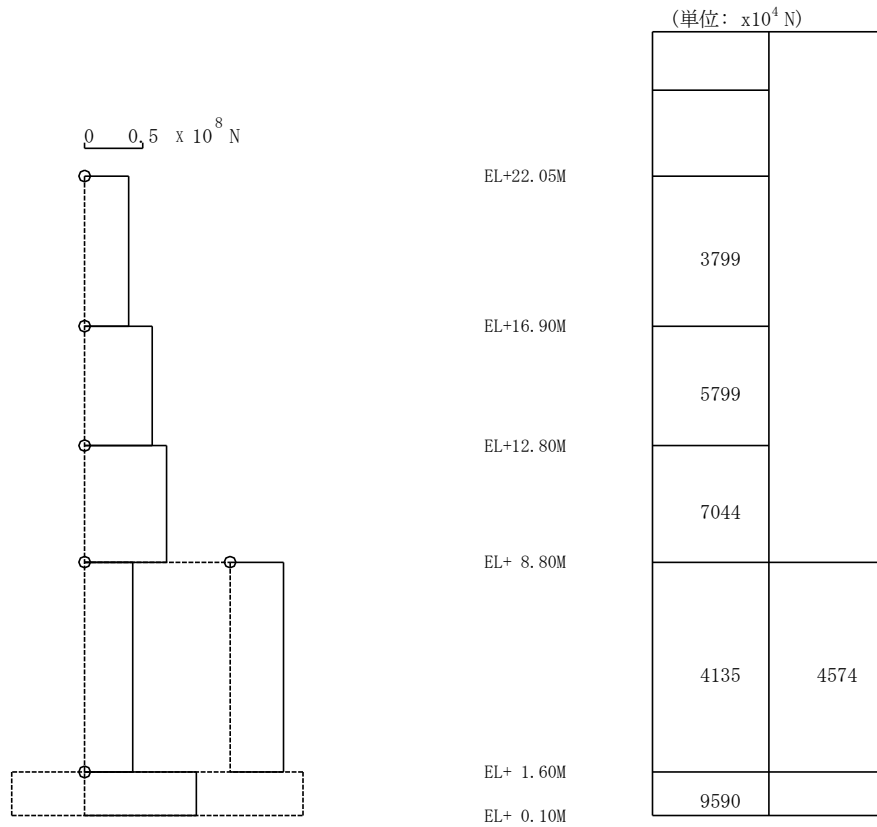
(1) 地震応答解析結果

基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 及び S_s-N2 (水平動) による最大応答値を第 4.3-1 図～第 4.3-36 図に示す。

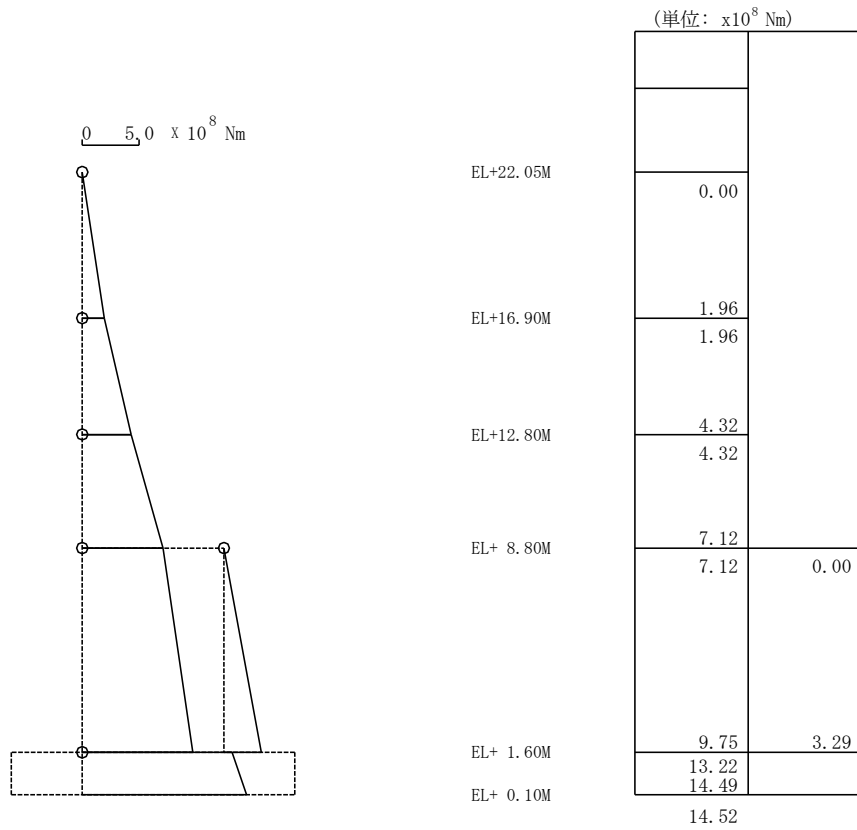
参考として、耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.55×10^{-3} (S_s-DH , NS 方向) であり、評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕があることを確認している。



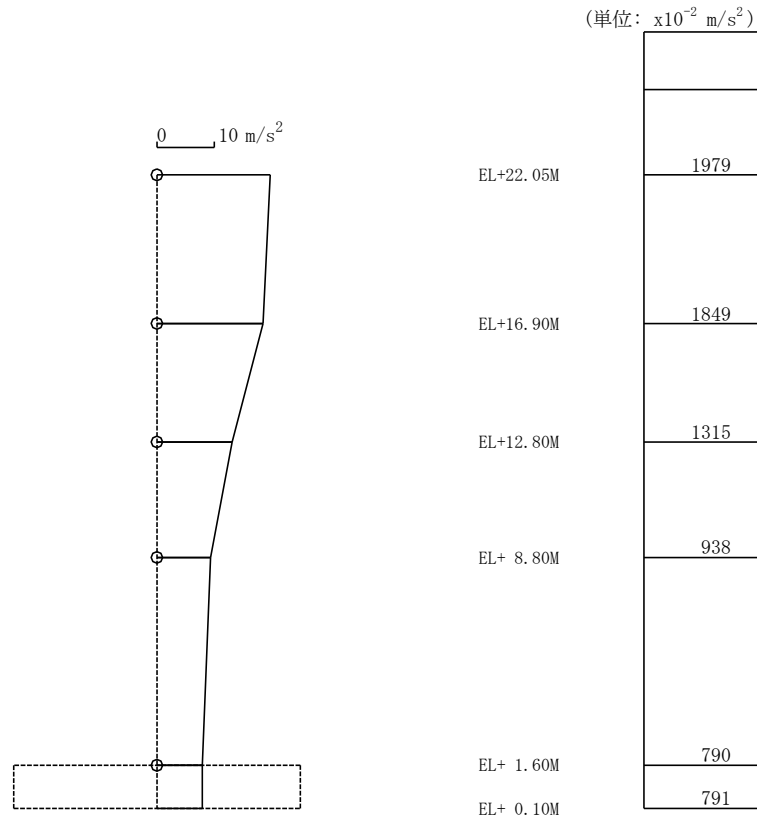
第 4.3-1 図 最大応答加速度 (NS 方向) 基準地震動 $S_s - DH$



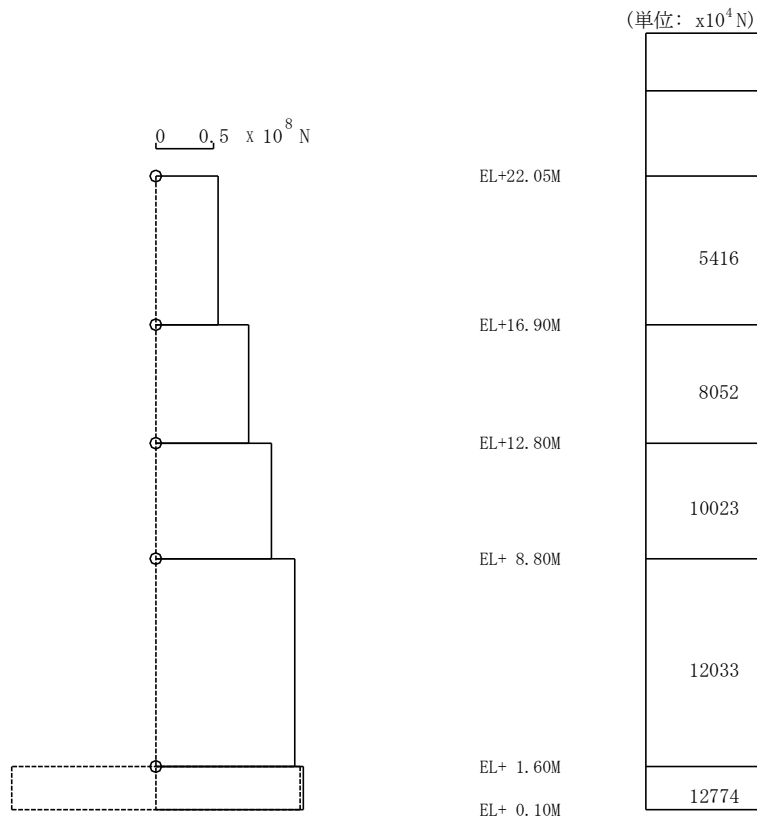
第 4.3-2 図 最大応答せん断力 (NS 方向) 基準地震動 $S_s - DH$



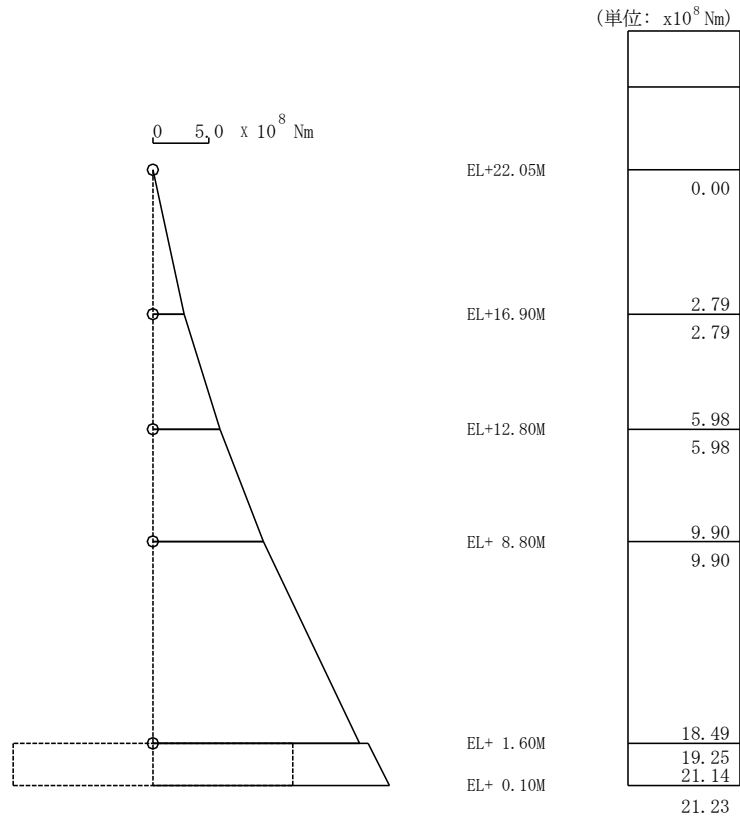
第 4.3-3 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)
基準地震動 $S_s - DH$



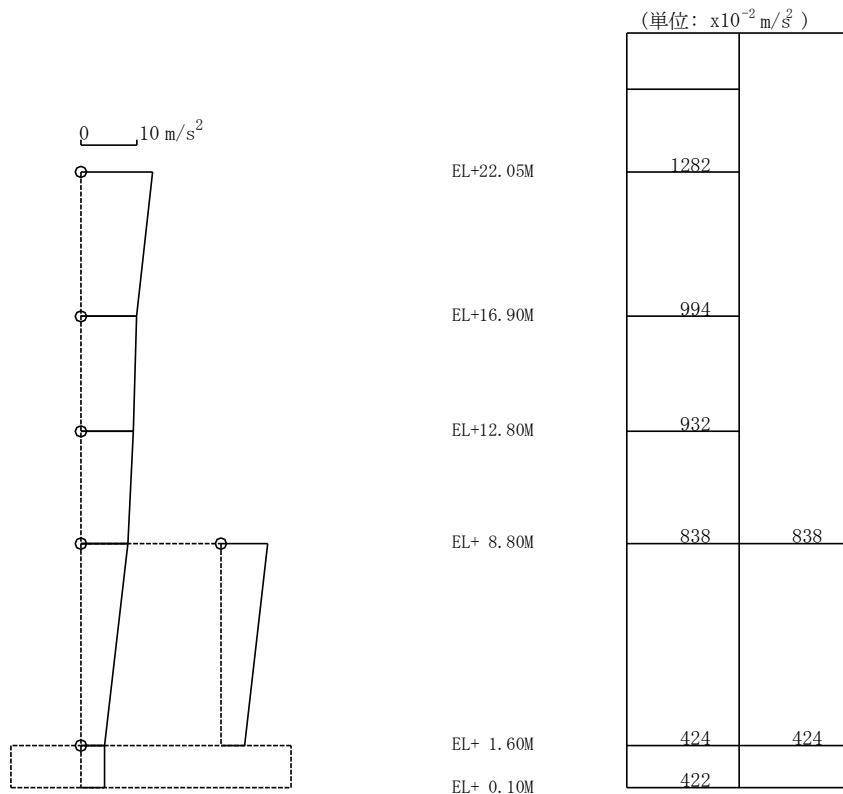
第 4.3-4 図 最大応答加速度 (E W方向) 基準地震動 $S_s - DH$



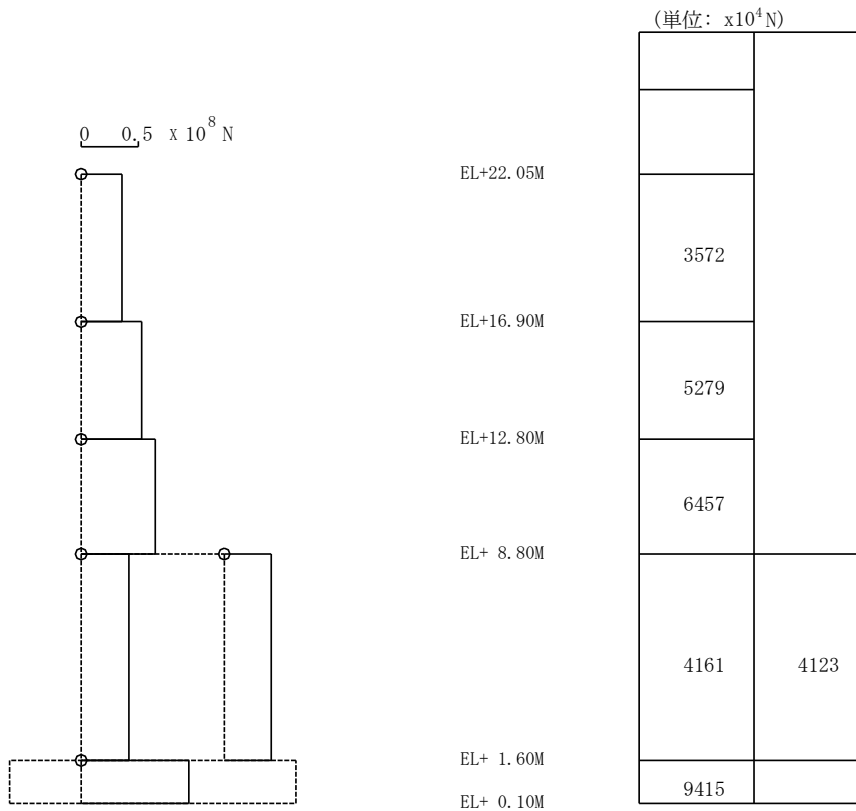
第 4.3-5 図 最大応答せん断力 (E W方向) 基準地震動 $S_s - DH$



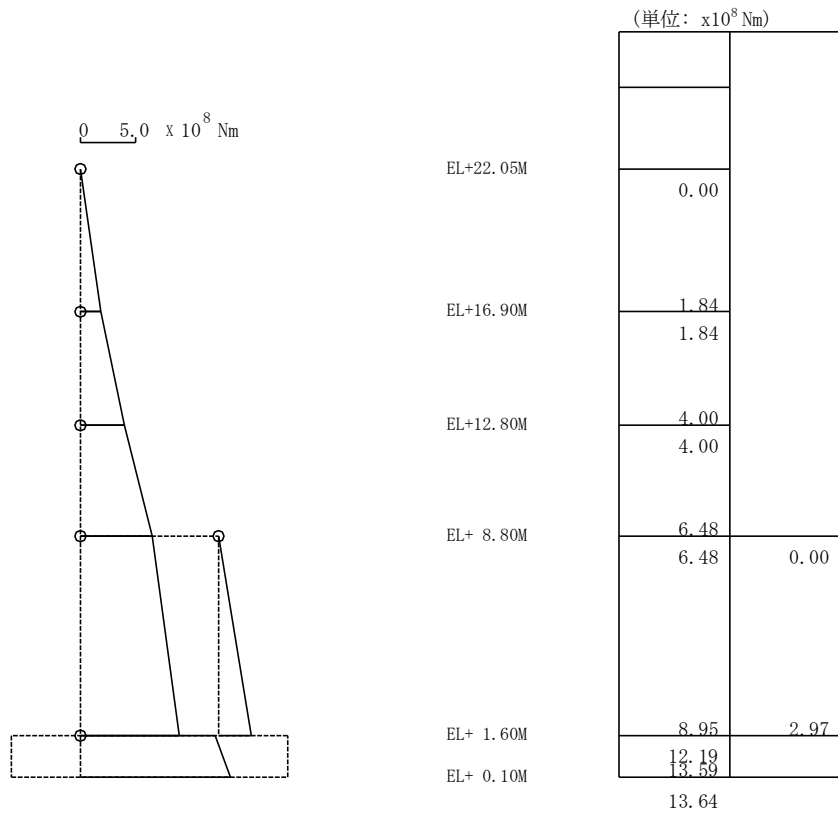
第 4.3-6 図 最大応答曲げモーメント (E W 方向)
基準地震動 $S_s - DH$



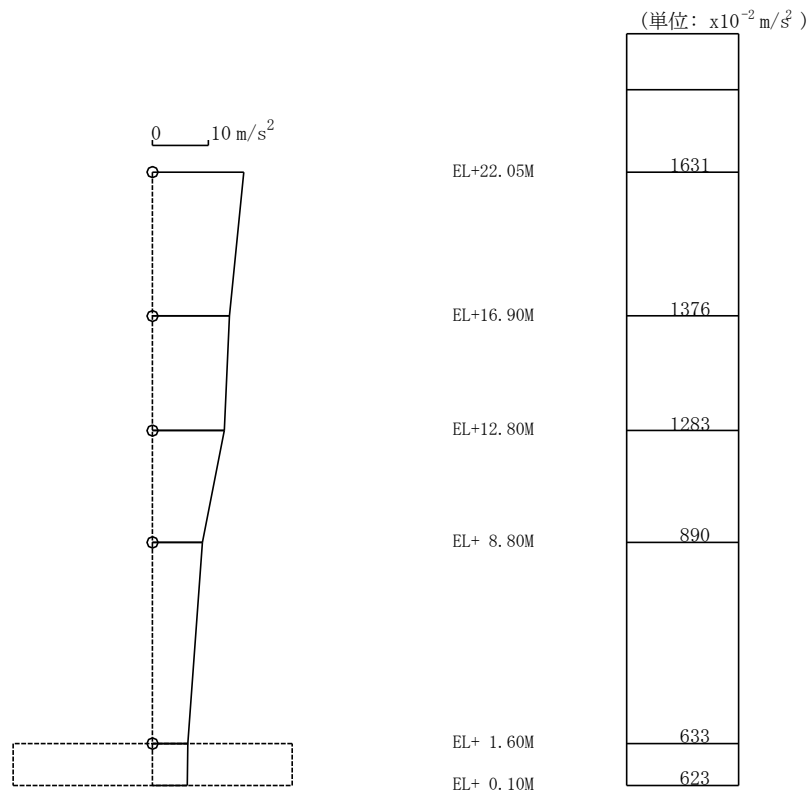
第 4.3-7 図 最大応答加速度 (NS 方向)
基準地震動 S s - F 1 H (NS 成分)



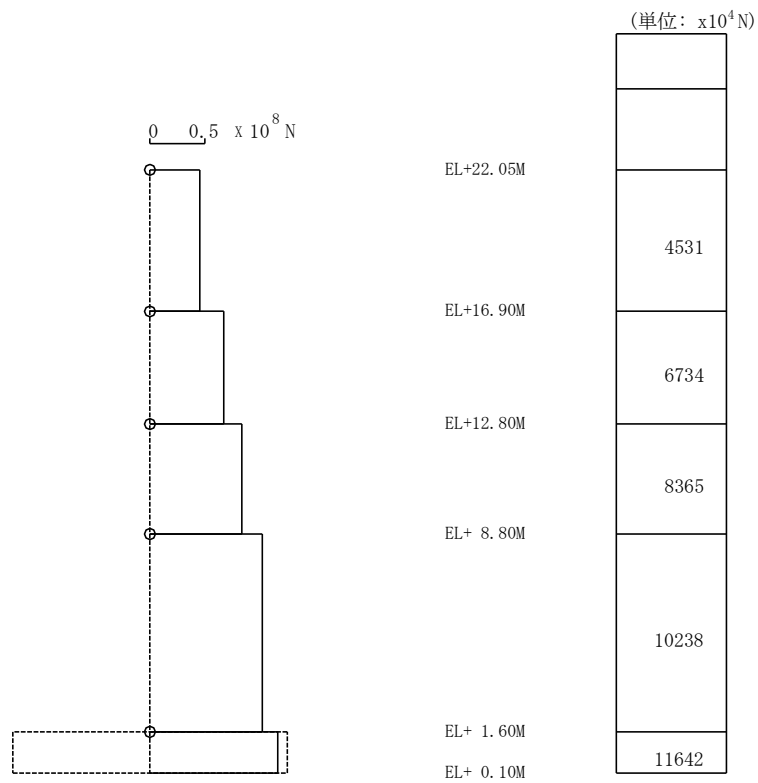
第 4.3-8 図 最大応答せん断力 (NS 方向)
基準地震動 S s - F 1 H (NS 成分)



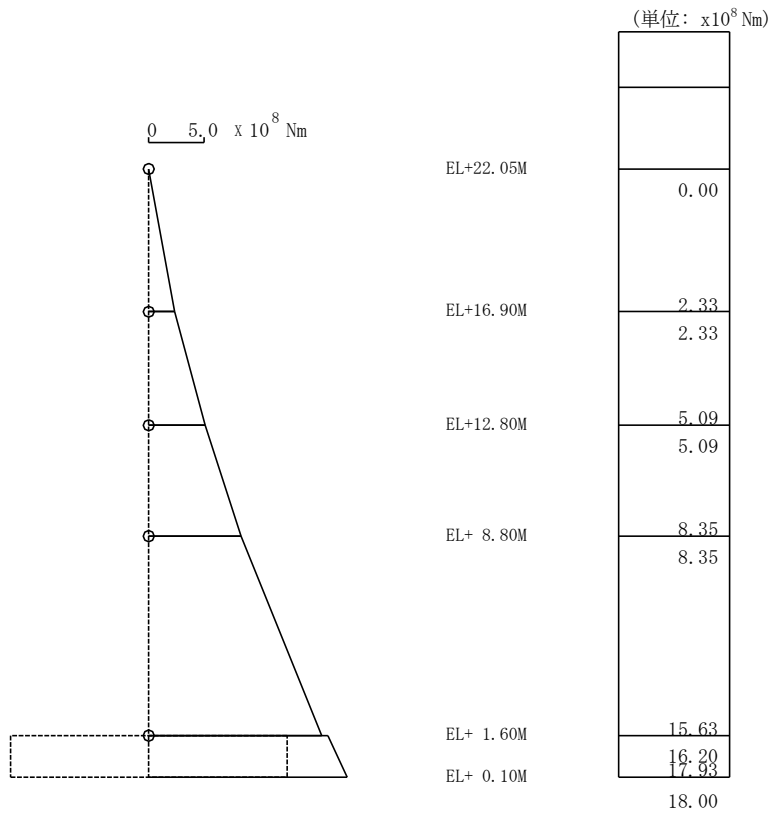
第 4.3-9 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)
基準地震動 $S_s - F1H$ (NS 成分)



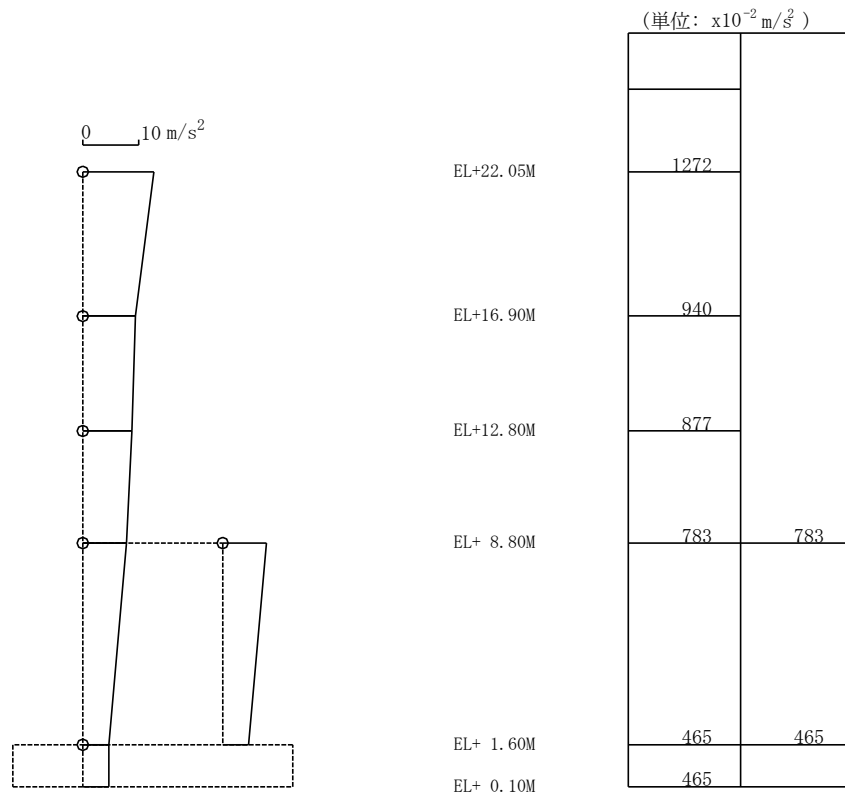
第 4.3-10 図 最大応答加速度 (E W方向)
基準地震動 S s - F 1 H (E W成分)



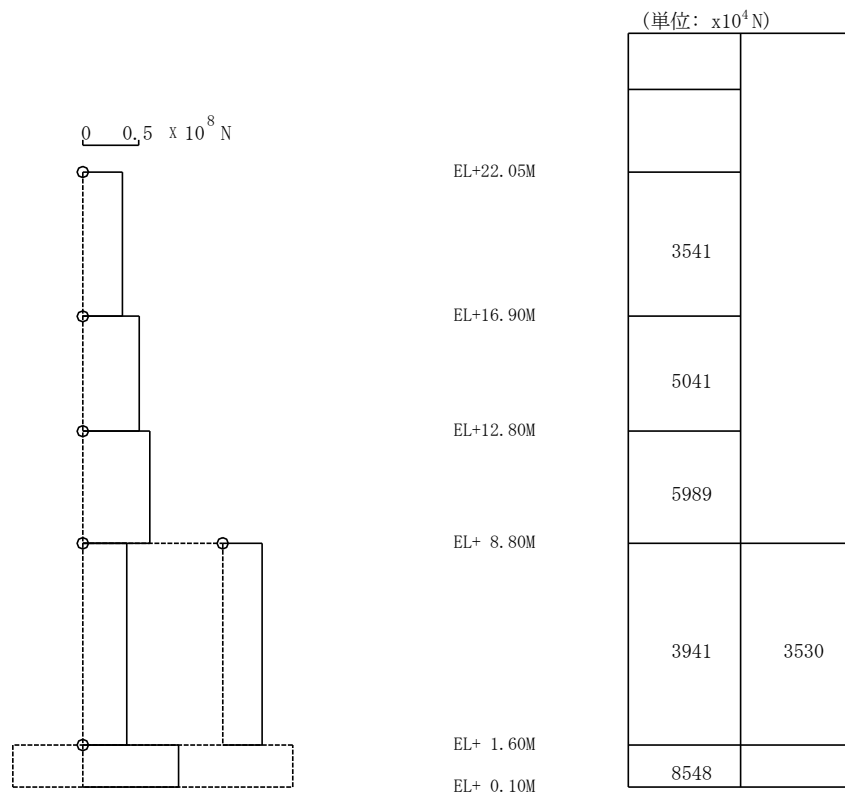
第 4.3-11 図 最大応答せん断力 (E W方向)
基準地震動 S s - F 1 H (E W成分)



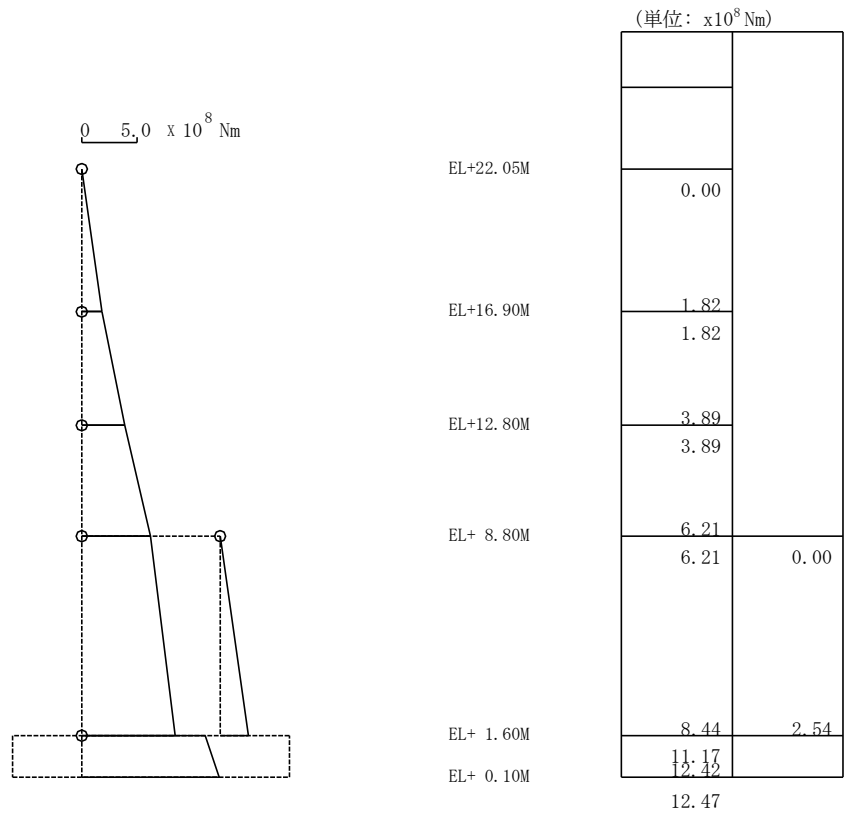
第 4.3-12 図 最大応答曲げモーメント (E W 方向)
基準地震動 S s - F 1 H (E W 成分)



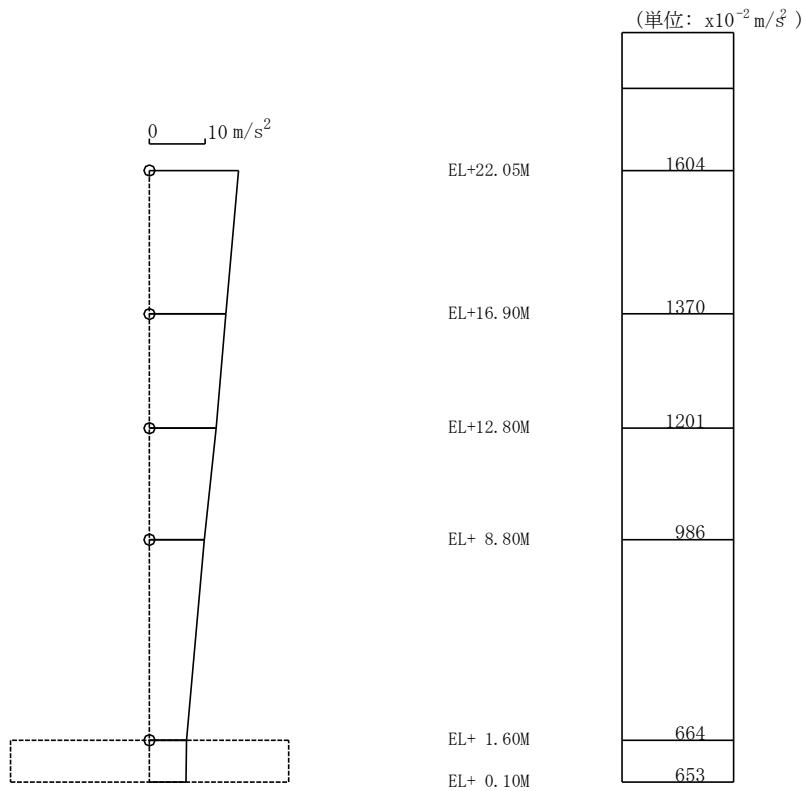
第 4.3-13 図 最大応答加速度 (NS 方向)
基準地震動 $S_s - F2H$ (NS 成分)



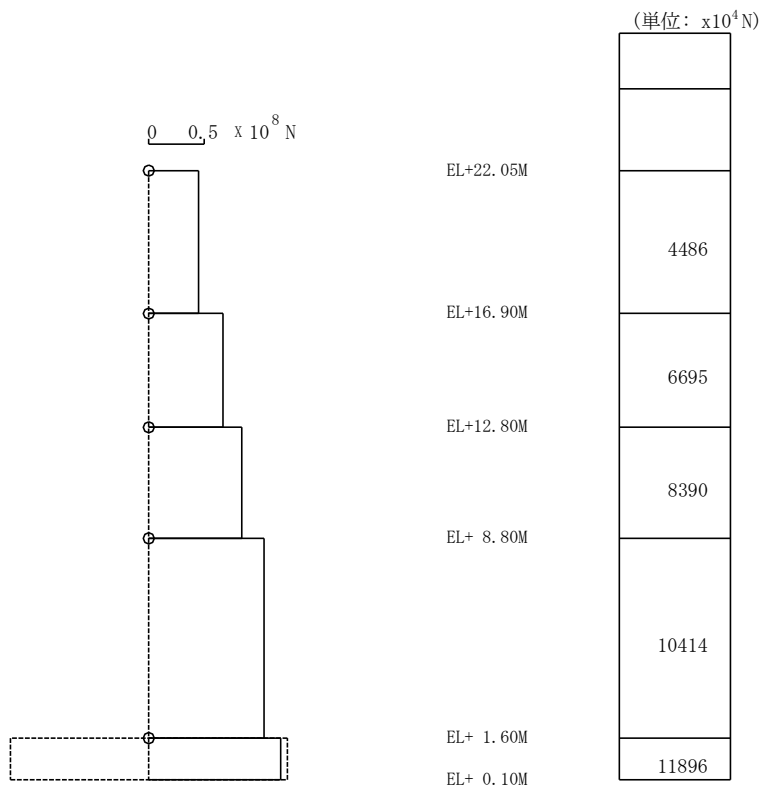
第 4.3-14 図 最大応答せん断力 (NS 方向)
基準地震動 $S_s - F2H$ (NS 成分)



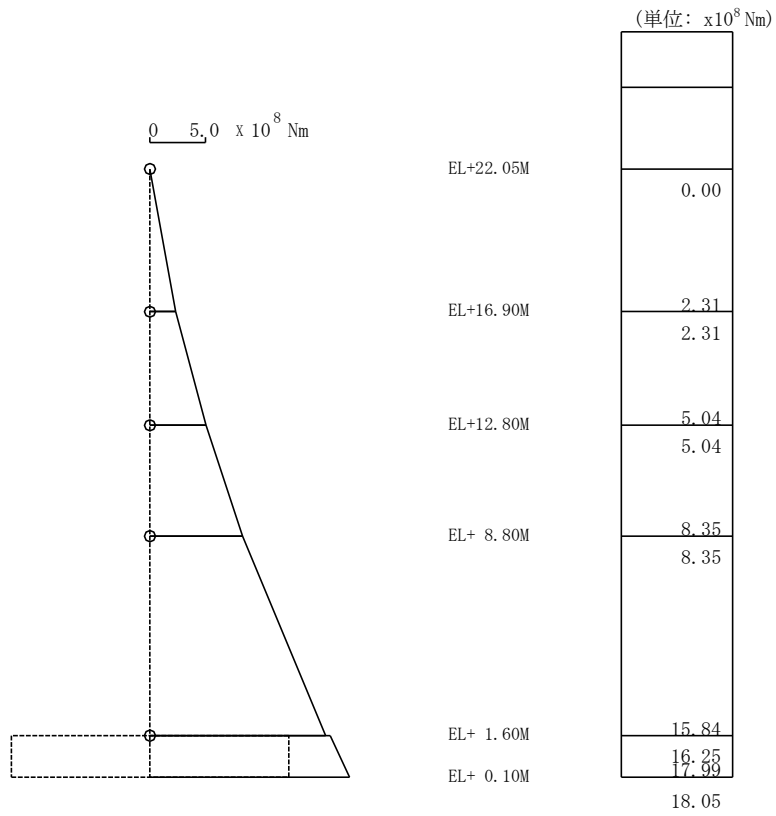
第 4.3-15 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)
基準地震動 $S_s - F2H$ (NS 成分)



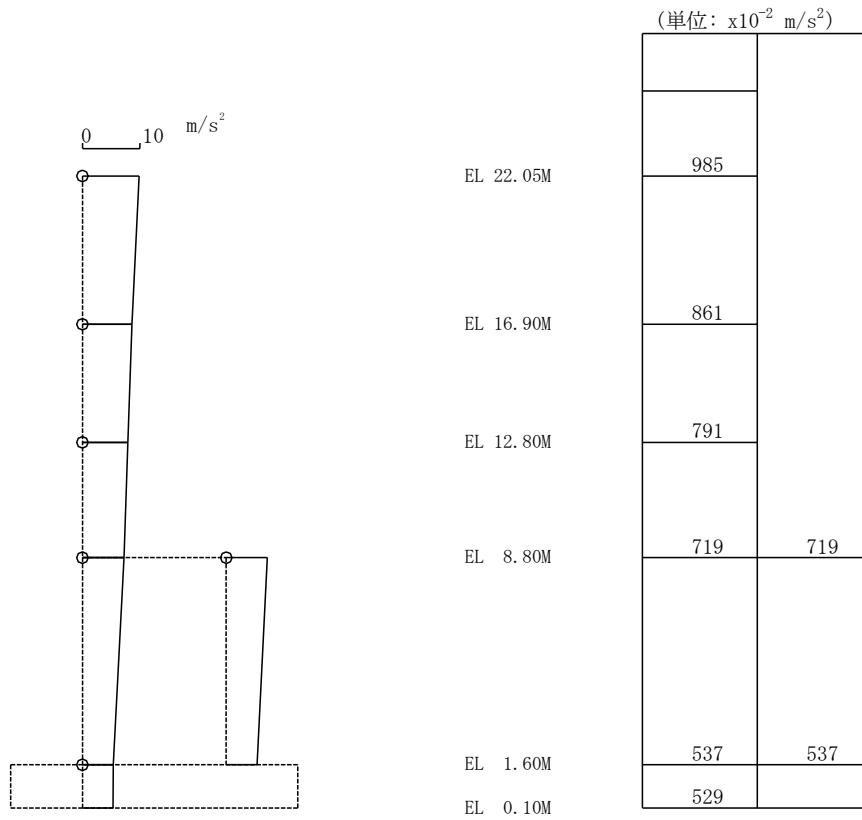
第 4.3-16 図 最大応答加速度 (E W 方向)
基準地震動 S s - F 2 H (E W 成分)



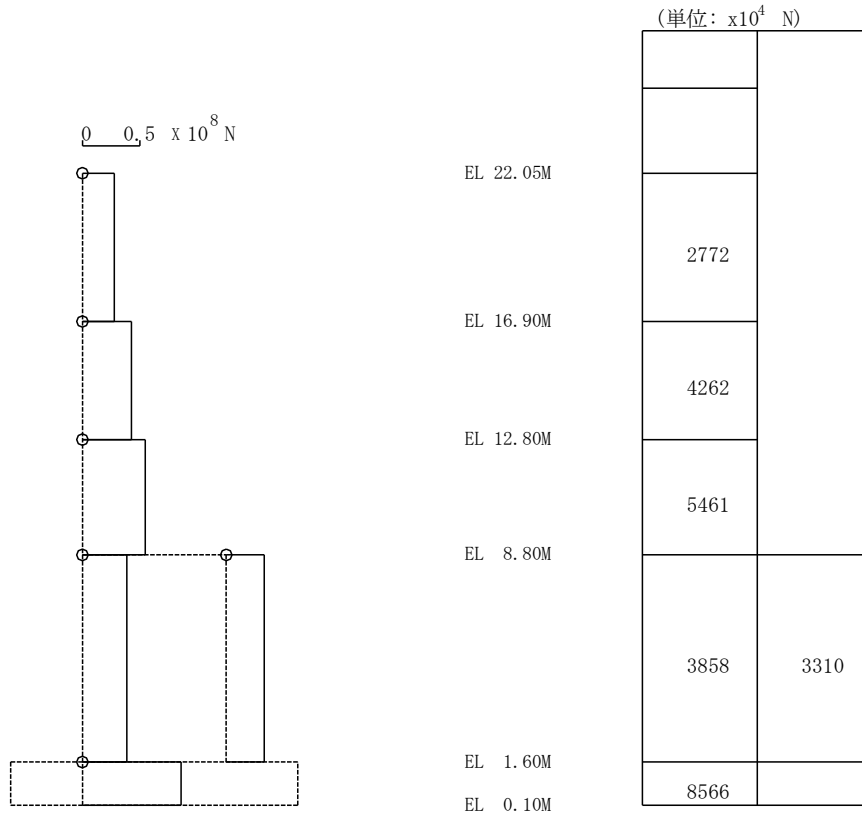
第 4.3-17 図 最大応答せん断力 (E W 方向)
基準地震動 S s - F 2 H (E W 成分)



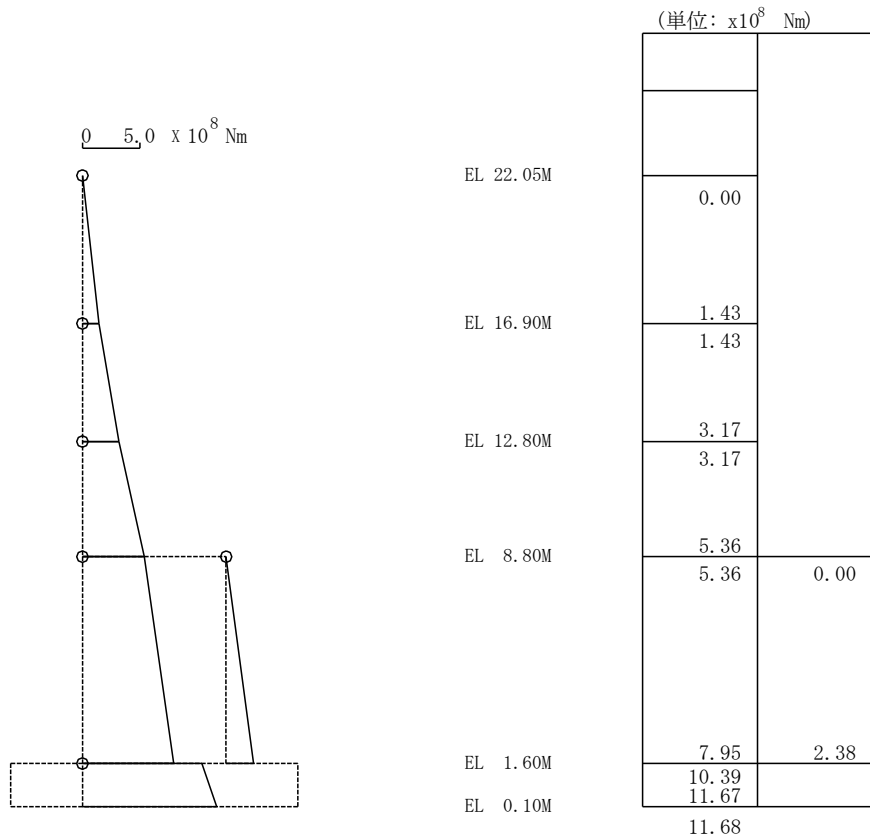
第 4.3-18 図 最大応答曲げモーメント (E W 方向)
基準地震動 S s - F 2 H (E W 成分)



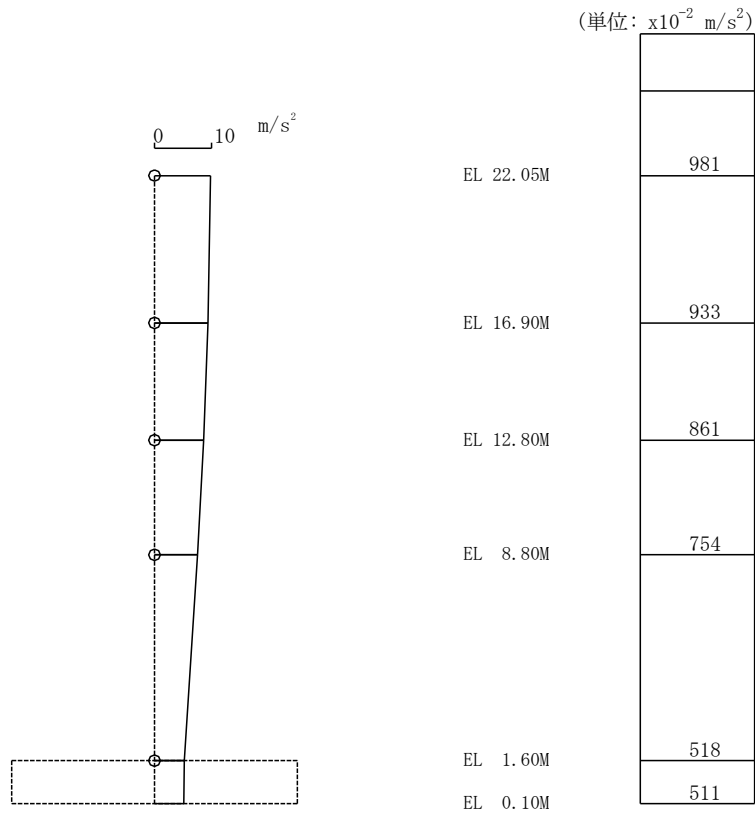
第 4.3-19 図 最大応答加速度 (NS 方向) 基準地震動 S_s-N1H



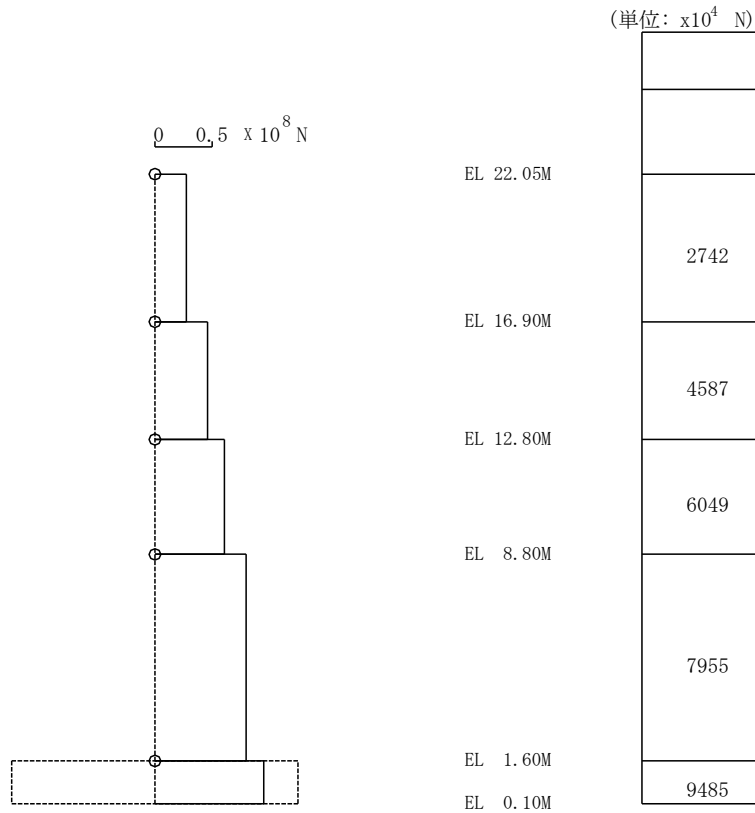
第 4.3-20 図 最大応答せん断力 (NS 方向) 基準地震動 S_s-N1H



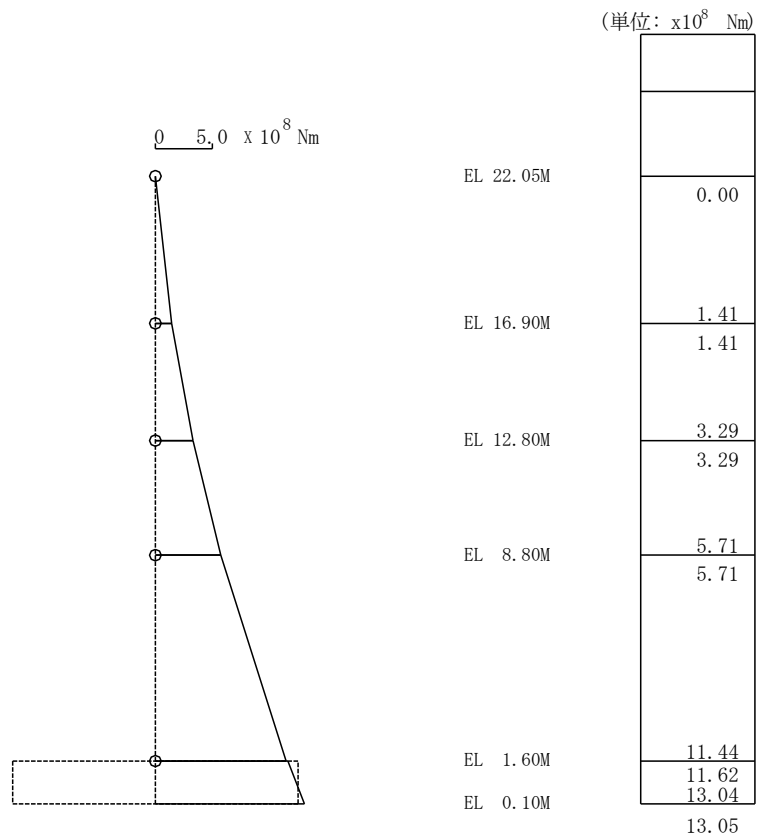
第 4.3-21 図 最大応答曲げモーメント (N S 方向)
基準地震動 S s - N 1 H



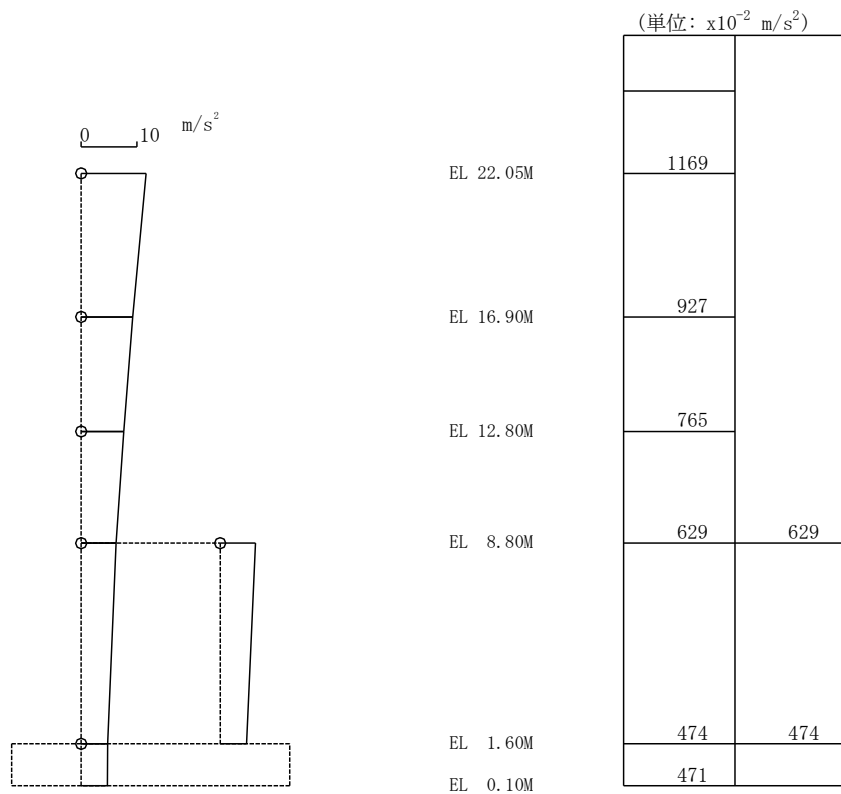
第 4.3-22 図 最大応答加速度 (EW方向) 基準地震動 S_s-N1H



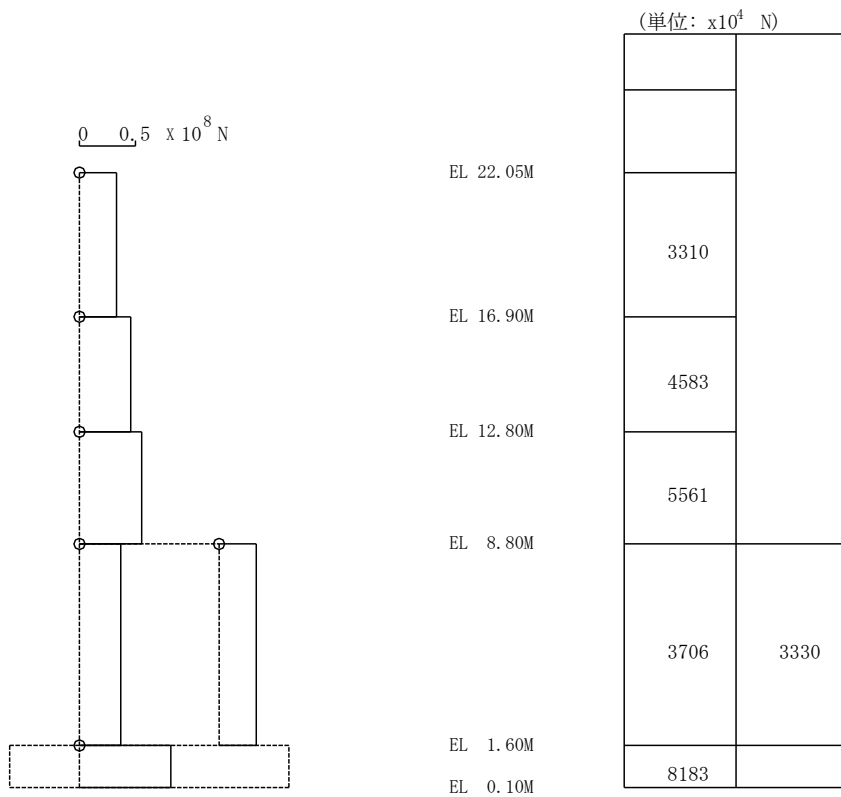
第 4.3-23 図 最大応答せん断力 (EW方向) 基準地震動 S_s-N1H



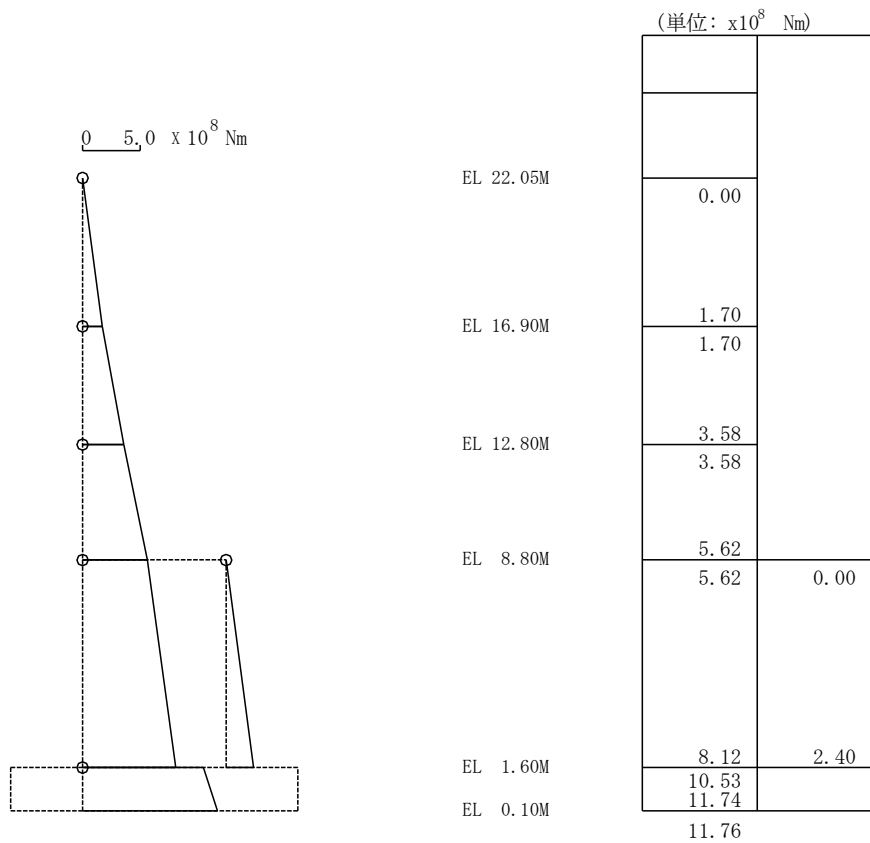
第 4.3-24 図 最大応答曲げモーメント (E W 方向)
基準地震動 S s - N 1 H



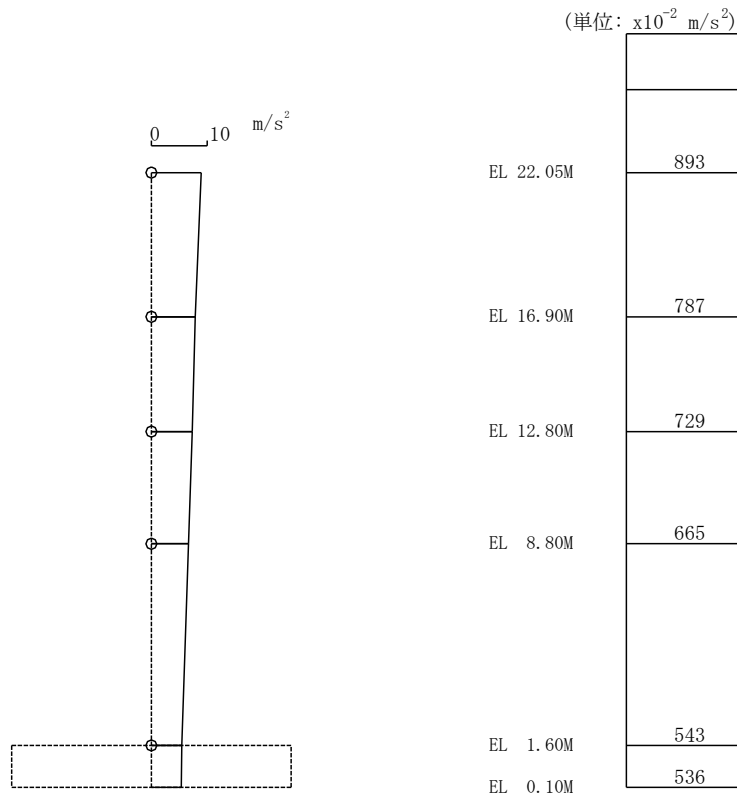
第 4.3-25 図 最大応答加速度 (NS 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (NS 成分)



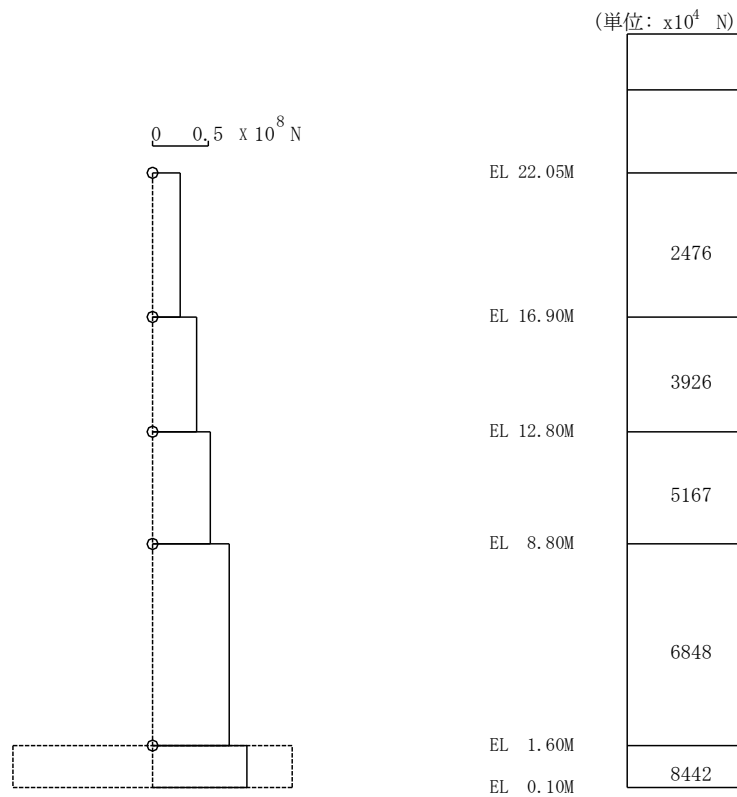
第 4.3-26 図 最大応答せん断力 (NS 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (NS 成分)



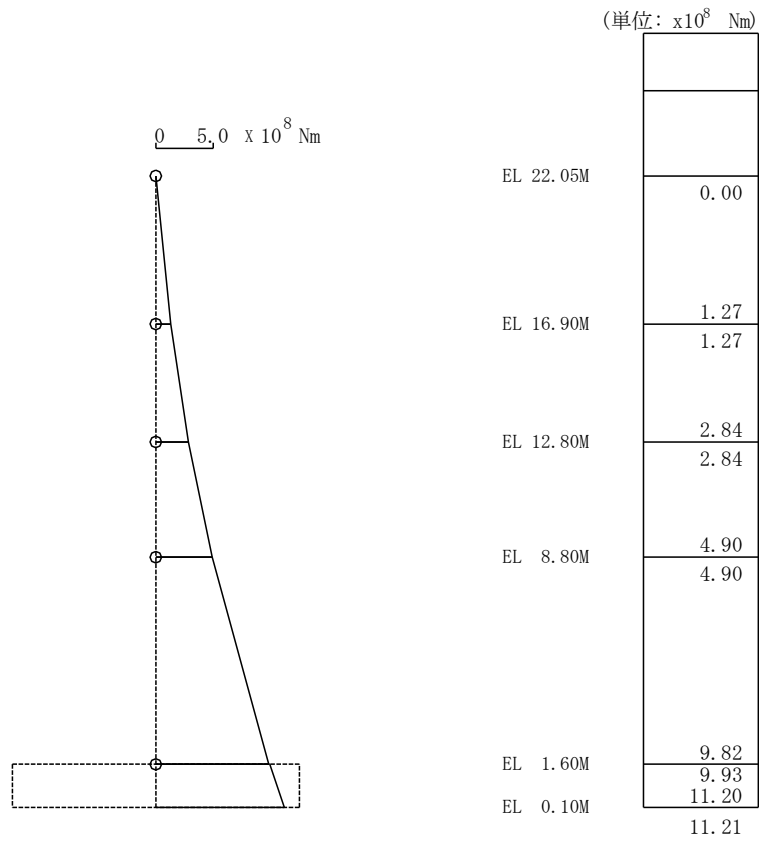
第 4.3-27 図 最大応答曲げモーメント (NS 方向)
基準地震動 $S_s - N2H$ (NS 成分)



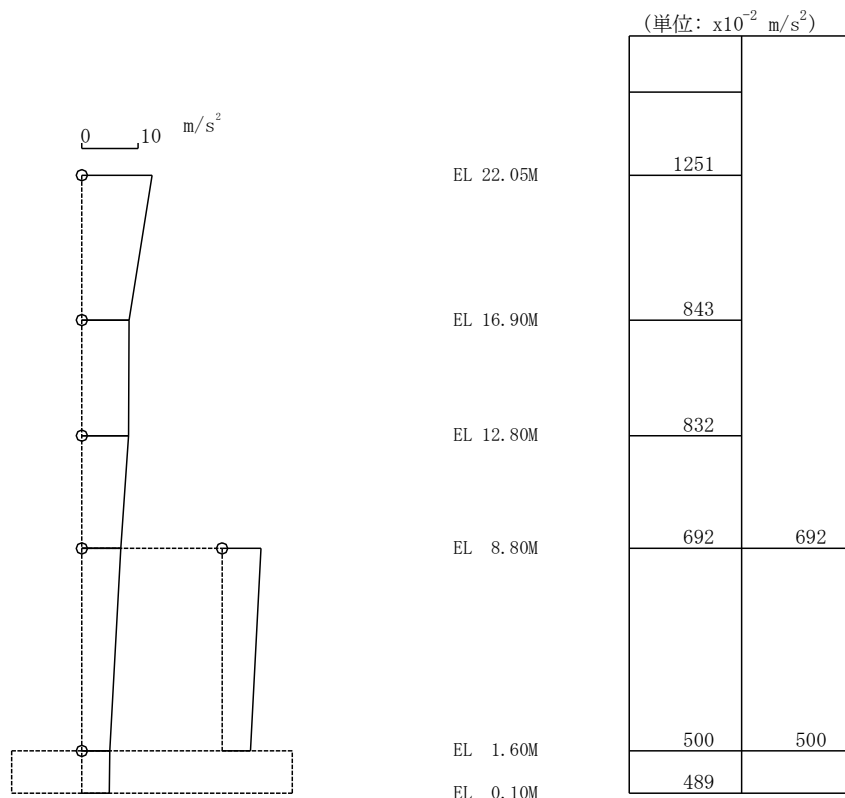
第 4.3-28 図 最大応答加速度 (EW方向)
基準地震動 $S_s - N2H$ (NS成分)



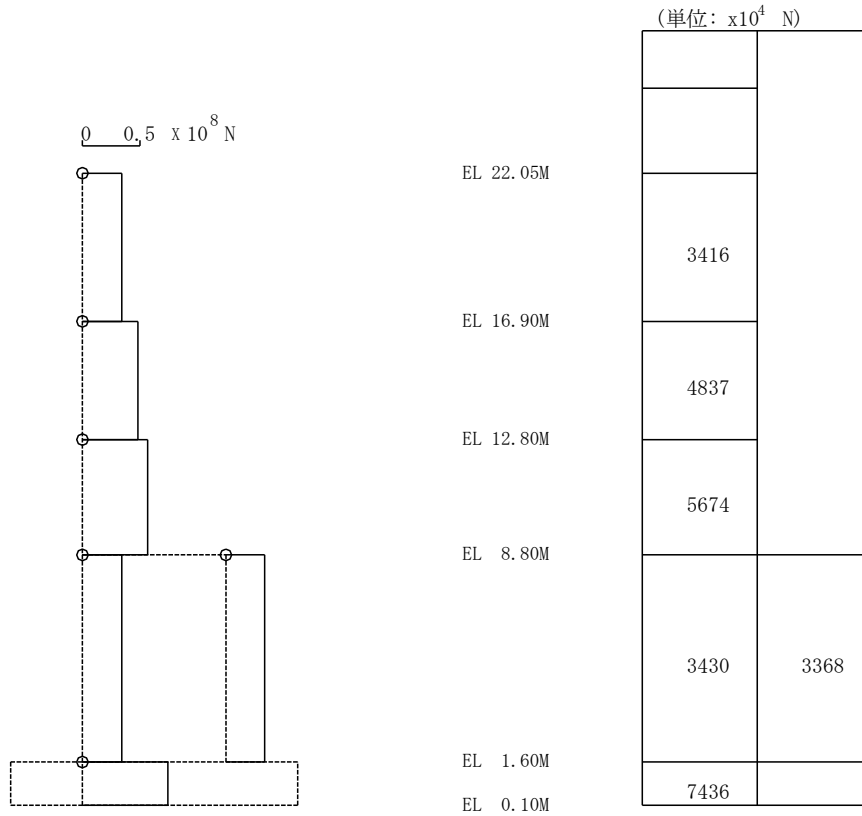
第 4.3-29 図 最大応答せん断力 (EW方向)
基準地震動 $S_s - N2H$ (NS成分)



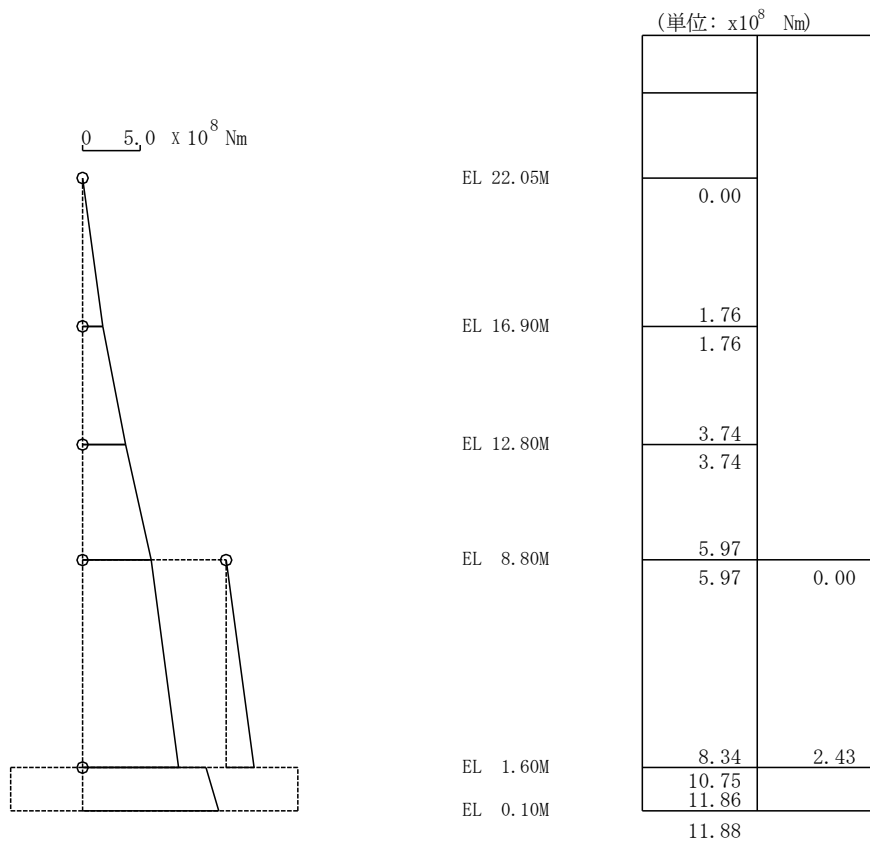
第 4.3-30 図 最大応答曲げモーメント (EW 方向)
基準地震動 $S_s - N2H$ (NS 成分)



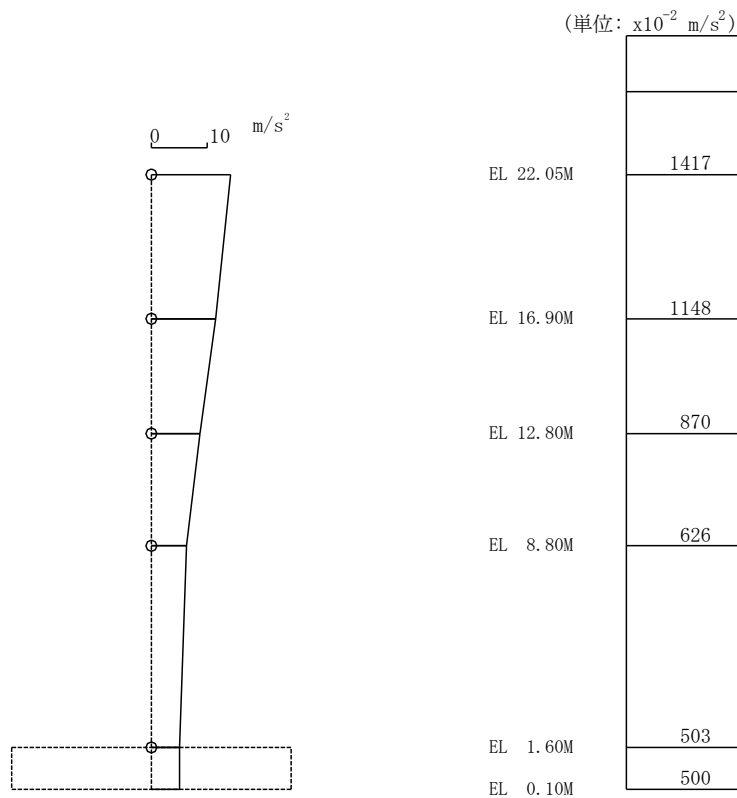
第 4.3-31 図 最大応答加速度 (N S 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (E W 成分)



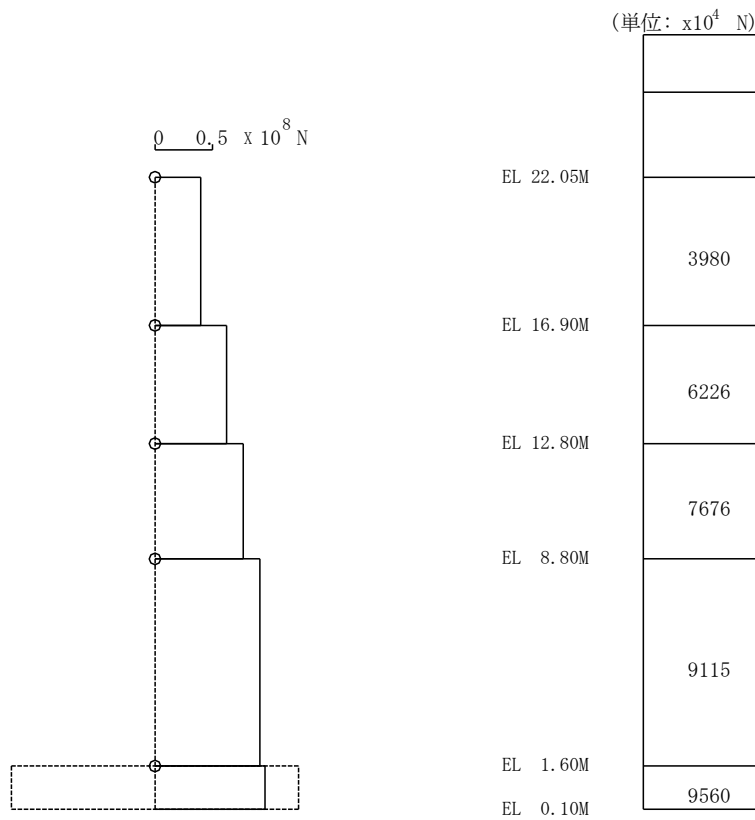
第 4.3-32 図 最大応答せん断力 (N S 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (E W 成分)



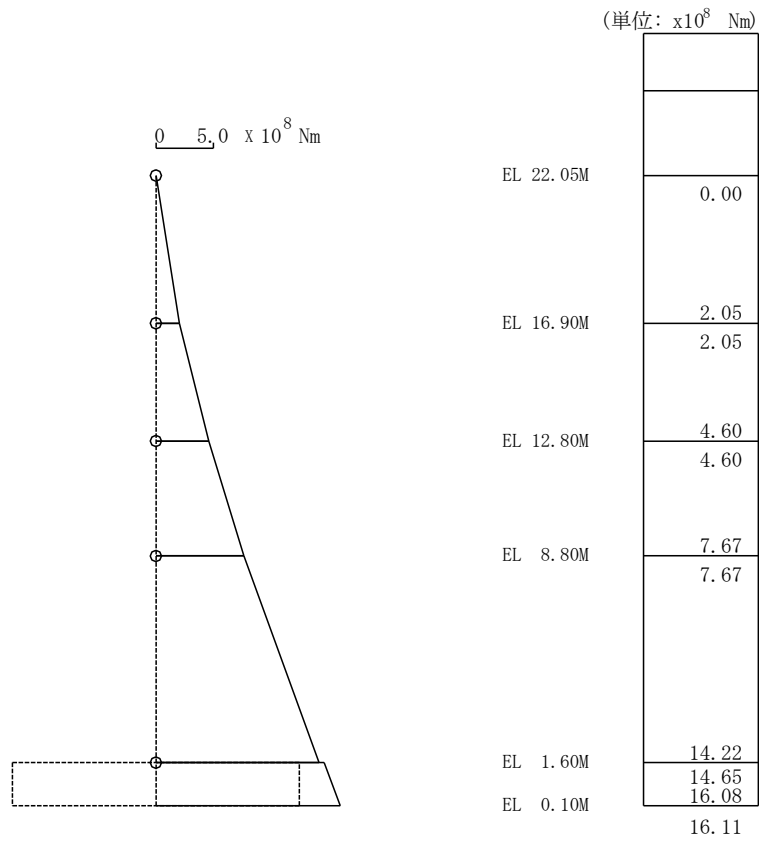
第 4.3-33 図 最大応答曲げモーメント (N S 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (E W 成分)



第 4.3-34 図 最大応答加速度 (E W 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (E W 成分)



第 4.3-35 図 最大応答せん断力 (E W 方向)
基準地震動 S s - N 2 H (E W 成分)



第 4.3-36 図 最大応答曲げモーメント (E W 方向)
基準地震動 S_s - N 2 H (E W 成分)

(2) 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定

a. 算定方法

地震応答解析結果の最大転倒モーメントが浮上り限界モーメントを上回るときに基礎浮上りが発生する。

浮上り限界モーメントは、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」より以下の式で表される。

$$M_0 = WL / 6 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

ここで、

M_0 : 浮上り限界モーメント (kN・m)

W : 建物の総重量 (kN)

L : 建物の基礎幅 (m)

基礎浮上りが発生しないために必要な単位面積当たりの付着力は以下の通りである。

$$M = \sigma_{at} A L / 6 + M_0 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$\sigma_{at} = 6 (M - M_0) / A L \quad (\text{kN/m}^2) = 6 (M - M_0) / 1000 A L \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

M : 最大転倒モーメント (kN・m)

σ_{at} : 単位面積当たりの付着力 (kN/m²)

A : 基礎底面積 (m²)

b. 算定結果

基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定結果を第 4.3-1 表に示す。

検討の結果、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の最大値は 0.32 N/mm² であることから、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値 (0.40N/mm²) を超えないことを確認した。

以上のことから、制御室建物の地震応答解析に基礎浮上り線形解析を適用する。

第 4.3-1 表 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力

地震動	方向	W ($\times 10^3 \text{kN}$)	L (m)	A (m^2)	M ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$)	M_0 ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$)	σ_{at} (N/mm^2)
S s - DH	NS	132.04	22	814	14.52	4.84	0.32
	EW		37	814	21.23	8.14	0.26
S s - F 1 H (NS成分)	NS	132.04	22	814	13.64	4.84	0.29
S s - F 1 H (EW成分)	EW		37	814	18.00	8.14	0.20
S s - F 2 H (NS成分)	NS	132.04	22	814	12.47	4.84	0.26
S s - F 2 H (EW成分)	EW		37	814	18.05	8.14	0.20
S s - N 1 H	NS	132.04	22	814	11.68	4.84	0.23
	EW		37	814	13.05	8.14	0.10
S s - N 2 H (NS成分)	NS	132.04	22	814	11.76	4.84	0.23
	EW		37	814	11.21	8.14	0.06
S s - N 2 H (EW成分)	NS	132.04	22	814	11.88	4.84	0.24
	EW		37	814	16.11	8.14	0.16

付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討

1. 概要

1.1 検討概要

島根原子力発電所 2 号炉の建物の地震応答解析には，SRモデル，ジョイント要素を用いた 3 次元 FEMモデル及び基礎固定モデルを用いている。今回工認で採用する地震応答解析モデルにおける付着力の考慮の有無を第 1.1-1 表に示す。

付着力試験結果を踏まえ，建物の基礎底面と地盤間には付着力が存在すると考えられることから，今回，ジョイント要素を用いた 3 次元 FEMモデル及び SRモデル（浮上り線形地震応答解析）では付着力を考慮することとした。一方で，SRモデル（浮上り非線形地震応答解析）については，既工認でも実績のある手法として，付着力を考慮していない。また，基礎固定モデルについては，建物と地盤の相互作用を考慮していない。

以上を踏まえ，付着力を考慮していない SRモデル（浮上り非線形地震応答解析）について，付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討を行う。

検討は，建物の重要度，内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ，原子炉建物を代表として，今回工認で採用する地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）と，今回工認モデルに基礎底面の付着力を考慮したモデル（以下「付着力考慮モデル」という。）を用いた地震応答解析を行い，解析結果の比較を行う。

第 1.1-1 表 地震応答解析モデルにおける付着力の考慮の有無

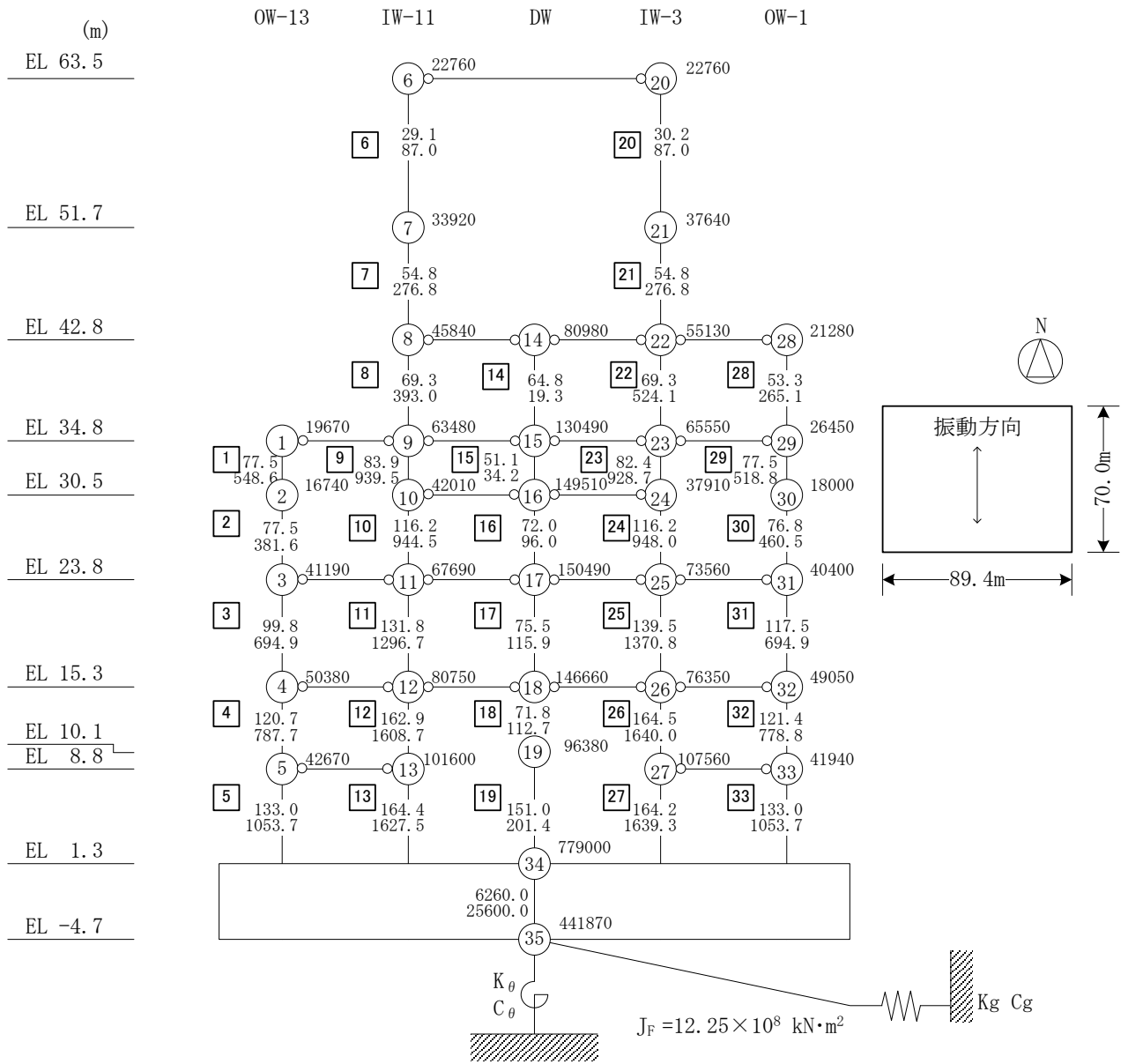
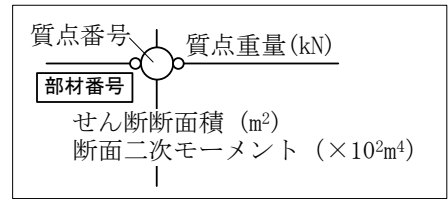
採用する地震応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	建物名	付着力の考慮
ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル	廃棄物処理建物，1号炉原子炉建物	考慮する
SRモデル (浮上り線形地震応答解析)	制御室建物，1号炉廃棄物処理建物	考慮する ^{注1}
SRモデル (浮上り非線形地震応答解析)	原子炉建物，タービン建物，ガスタービン発電機建物，緊急時対策所建物，1号炉タービン建物，サイトバンカ建物	考慮しない
基礎固定モデル	サイトバンカ建物（増築部），2号炉排気筒モニタ室，燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備	—

注 1：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が，付着力試験に基づき設定した値を超えないことを確認する。

2. 解析モデル

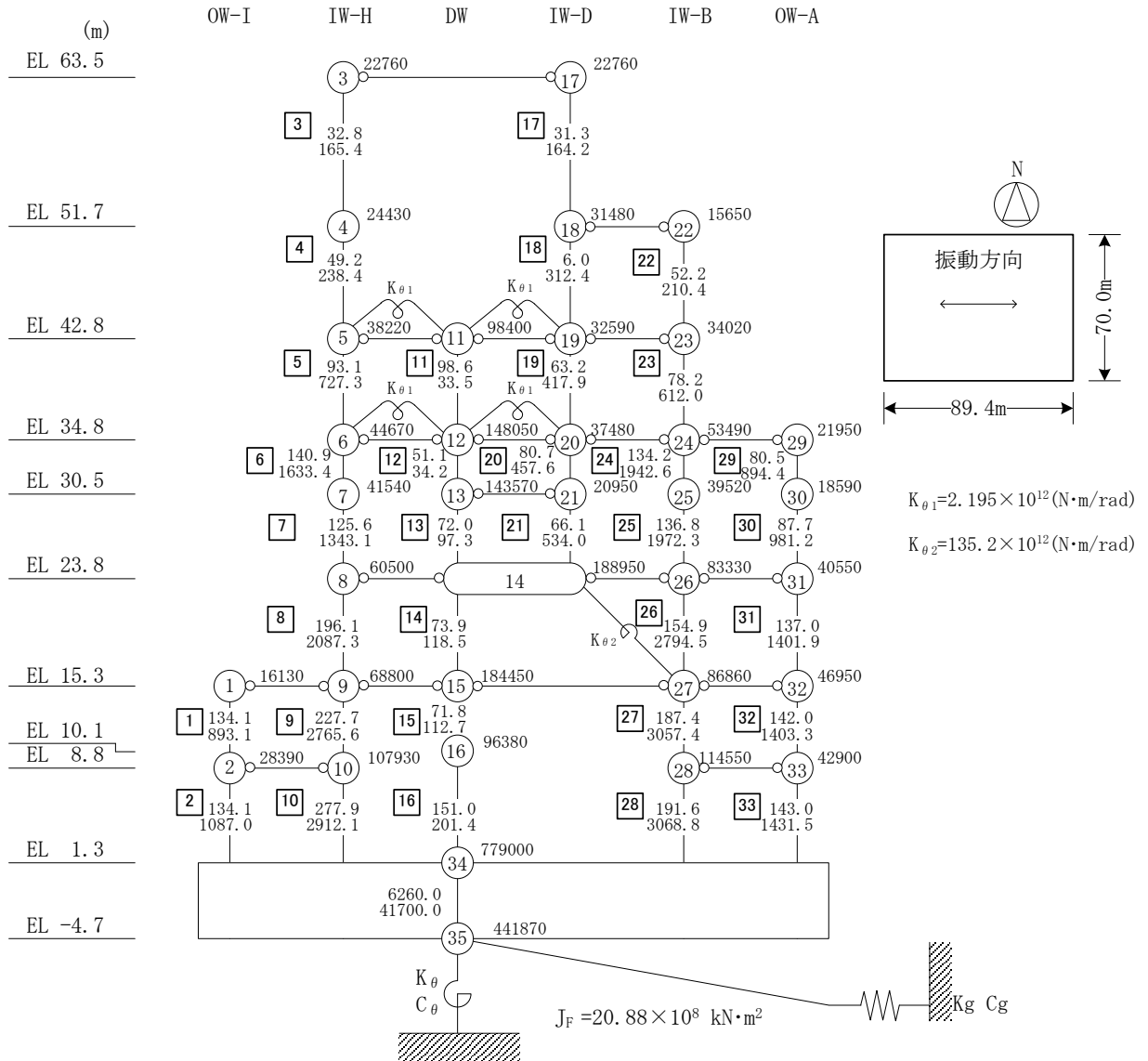
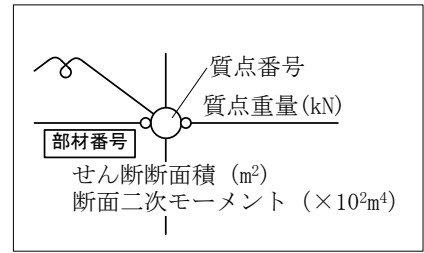
2.1 今回工認モデル

今回工認モデルは，SRモデル（浮上り非線形地震応答解析）とし，地震応答解析モデルを第2.1-1図及び第2.1-2図に示す。



地盤ばね	ばね定数	減衰係数
基礎底面水平ばね (Kg, Cg)	1.55×10^{12} (N/m)	2.23×10^{10} (N·s/m)
基礎底面回転ばね (Kθ, Cθ)	2.13×10^{15} (N·m/rad)	4.32×10^{12} (N·m·s/rad)

第 2.1-1 図 原子炉建物の地震応答解析モデル (NS 方向)



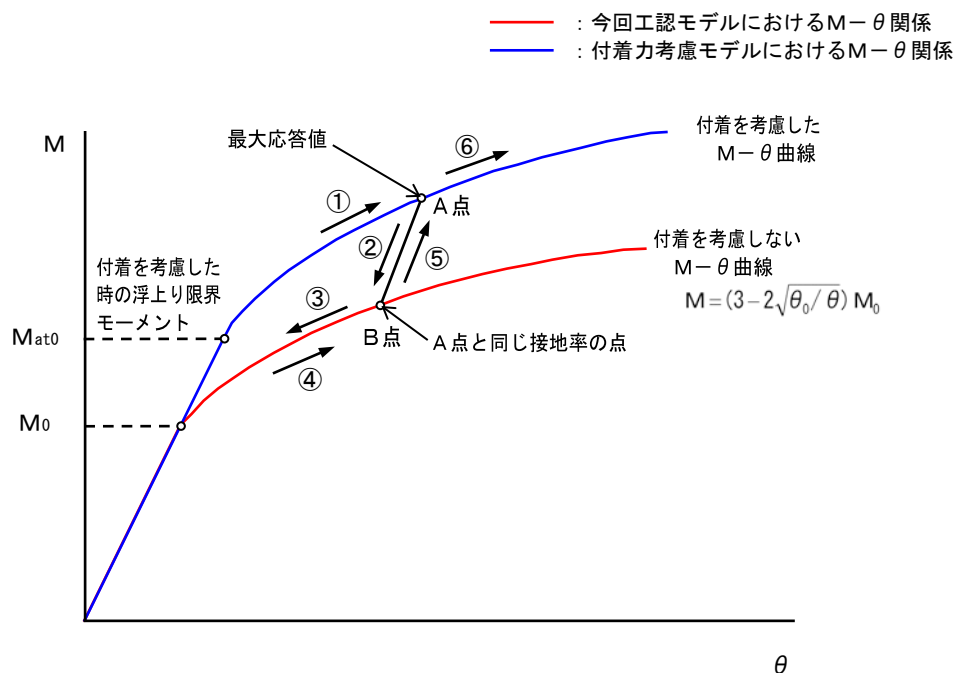
地盤ばね	ばね定数	減衰係数
基礎底面水平ばね (K_g, C_g)	1.51×10^{12} (N/m)	2.13×10^{10} (N·s/m)
基礎底面回転ばね (K_θ, C_θ)	3.02×10^{15} (N·m/rad)	9.01×10^{12} (N·m·s/rad)

第 2.1-2 図 原子炉建物の地震応答解析モデル (EW方向)

2.2 付着力考慮モデル

付着力考慮モデルは、今回工認モデルを基本とし、田中ほか⁽¹⁾に基づき、基礎底面と地盤間における付着力を考慮した基礎浮上り特性によるSRモデルとする。

付着力を考慮した基礎浮上り特性について、基礎下の転倒モーメントMと回転角 θ の関係を第2.2-1図に示す。なお、付着力は島根原子力発電所における付着力試験結果に基づき設定した $0.40\text{N}/\text{mm}^2$ （添付資料-1参照）を用いた。



第2.2-1図 基礎下の転倒モーメントMと回転角 θ の関係

3. 検討用地震動

検討に用いる地震動は、基準地震動S_s-Dとする。

4. 地震応答解析結果

4.1 最大応答加速度

最大応答加速度を第4.1-1表及び第4.1-2表に示す。

第 4.1-1 表 原子炉建物の最大応答加速度 (NS 方向)

質点 番号	最大応答加速度 (m/s ²)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	10.2	10.2	1.00
2	10.1	10.2	0.990
3	8.71	8.58	1.02
4	8.61	8.61	1.00
5	8.02	8.02	1.00
6	24.0	24.1	0.996
7	16.6	16.8	0.988
8	12.4	12.5	0.992
9	10.2	10.2	1.00
10	9.39	9.39	1.00
11	8.71	8.58	1.02
12	8.61	8.61	1.00
13	8.02	8.02	1.00
14	12.4	12.5	0.992
15	10.2	10.2	1.00
16	9.39	9.39	1.00
17	8.71	8.58	1.02
18	8.61	8.61	1.00
19	9.93	9.37	1.06
20	24.0	24.1	0.996
21	17.4	17.6	0.989
22	12.4	12.5	0.992
23	10.2	10.2	1.00
24	9.39	9.39	1.00
25	8.71	8.58	1.02
26	8.61	8.61	1.00
27	8.06	8.06	1.00
28	12.4	12.5	0.992
29	10.2	10.2	1.00
30	10.2	10.1	1.01
31	8.71	8.58	1.02
32	8.61	8.61	1.00
33	8.06	8.06	1.00
34	6.91	6.91	1.00
35	6.76	6.76	1.00

第 4.1-2 表 原子炉建物の最大応答加速度 (E W方向)

質点 番号	最大応答加速度 (m/s ²)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	8.39	8.39	1.00
2	8.26	8.26	1.00
3	26.9	27.0	0.996
4	17.9	17.9	1.00
5	13.7	13.7	1.00
6	11.3	11.3	1.00
7	12.6	12.2	1.03
8	8.61	8.67	0.993
9	8.39	8.39	1.00
10	8.26	8.26	1.00
11	13.7	13.7	1.00
12	11.3	11.3	1.00
13	11.7	11.6	1.01
14	8.61	8.67	0.993
15	8.39	8.39	1.00
16	9.42	9.42	1.00
17	26.9	27.0	0.996
18	17.2	17.2	1.00
19	13.7	13.7	1.00
20	11.3	11.3	1.00
21	11.7	11.6	1.01
22	17.2	17.2	1.00
23	13.7	13.7	1.00
24	11.3	11.3	1.00
25	11.1	10.4	1.07
26	8.61	8.67	0.993
27	8.39	8.39	1.00
28	8.44	8.44	1.00
29	11.3	11.3	1.00
30	10.0	10.8	0.926
31	8.61	8.67	0.993
32	8.39	8.39	1.00
33	8.44	8.44	1.00
34	7.65	7.65	1.00
35	7.52	7.52	1.00

4.2 最大応答せん断ひずみ

最大応答せん断ひずみを第 4.2-1 表及び第 4.2-2 表に示す。

第 4.2-1 表 原子炉建物の最大応答せん断ひずみ (NS 方向)

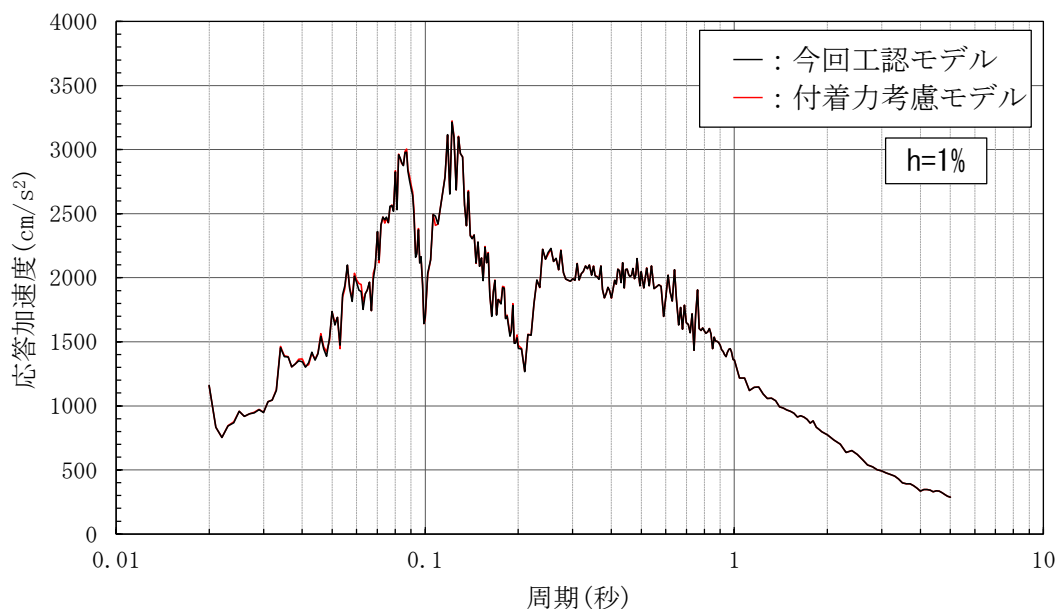
部材 番号	最大応答せん断ひずみ (γ) ($\times 10^{-3}$)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	0.289	0.280	1.03
2	0.357	0.349	1.02
3	0.355	0.356	0.997
4	0.370	0.364	1.02
5	0.434	0.406	1.07
6	0.281	0.268	1.05
7	0.307	0.293	1.05
8	0.335	0.324	1.03
9	0.330	0.316	1.04
10	0.327	0.324	1.01
11	0.353	0.355	0.994
12	0.368	0.363	1.01
13	0.432	0.405	1.07
14	0.115	0.115	1.00
15	0.148	0.139	1.06
16	0.155	0.156	0.994
17	0.215	0.218	0.986
18	0.659	0.609	1.08
19	0.201	0.197	1.02
20	0.253	0.235	1.08
21	0.360	0.361	0.997
22	0.337	0.327	1.03
23	0.330	0.316	1.04
24	0.327	0.324	1.01
25	0.353	0.355	0.994
26	0.355	0.355	1.00
27	0.446	0.413	1.08
28	0.341	0.330	1.03
29	0.266	0.259	1.03
30	0.344	0.337	1.02
31	0.344	0.346	0.994
32	0.351	0.350	1.00
33	0.445	0.413	1.08

第 4.2-2 表 原子炉建物の最大応答せん断ひずみ (EW方向)

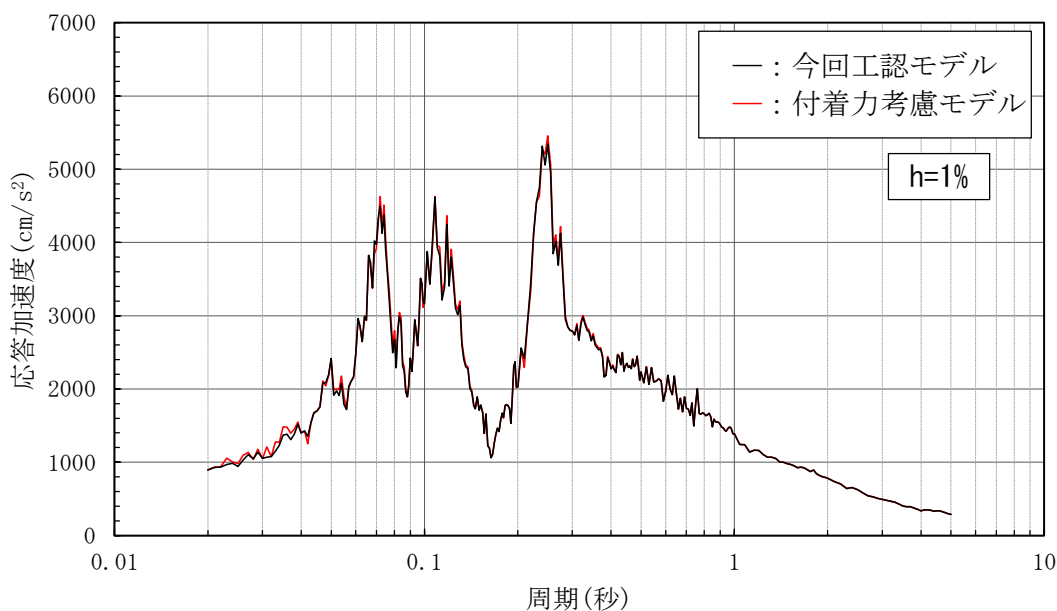
部材 番号	最大応答せん断ひずみ(γ) ($\times 10^{-3}$)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	0.322	0.324	0.994
2	0.226	0.226	1.00
3	0.284	0.293	0.969
4	0.374	0.368	1.02
5	0.187	0.186	1.01
6	0.181	0.181	1.00
7	0.392	0.389	1.01
8	0.484	0.477	1.01
9	0.309	0.312	0.990
10	0.221	0.221	1.00
11	0.0818	0.0818	1.00
12	0.0644	0.0648	0.994
13	0.257	0.255	1.01
14	0.353	0.347	1.02
15	0.288	0.287	1.00
16	0.160	0.163	0.982
17	0.231	0.234	0.987
18	0.431	0.433	0.995
19	0.169	0.168	1.01
20	0.173	0.172	1.01
21	0.389	0.387	1.01
22	0.455	0.458	0.993
23	0.202	0.201	1.00
24	0.252	0.262	0.962
25	0.361	0.351	1.03
26	0.487	0.481	1.01
27	0.219	0.218	1.00
28	0.299	0.303	0.987
29	0.315	0.325	0.969
30	0.322	0.315	1.02
31	0.488	0.481	1.01
32	0.219	0.218	1.00
33	0.298	0.303	0.983

4.3 床応答スペクトル

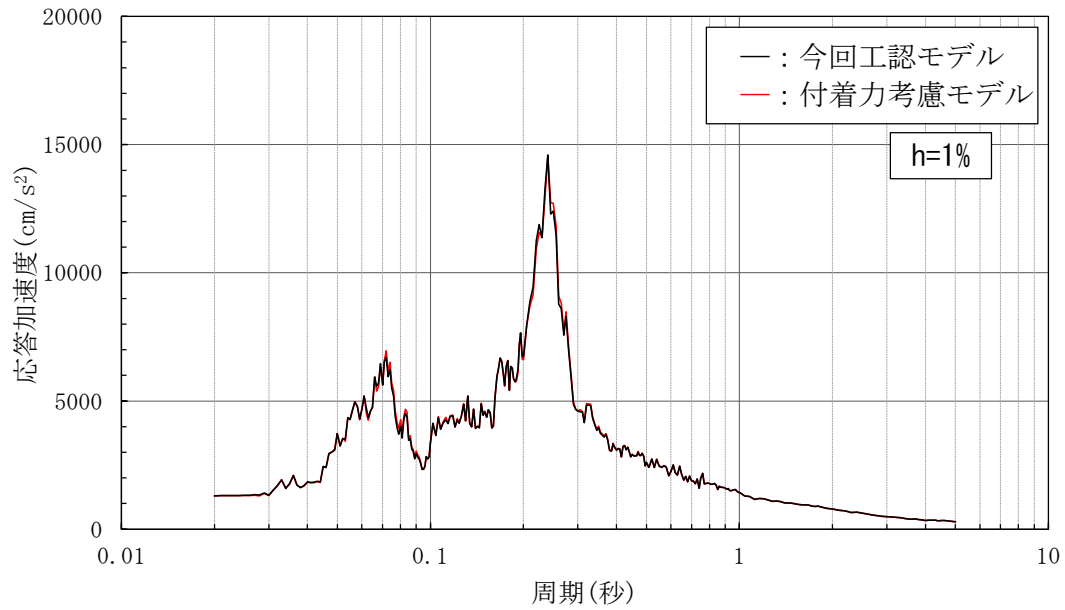
床応答スペクトル ($h = 1\%$ 及び $h = 5\%$) の比較を第 4.3-1 図～第 4.3-16 図に示す。



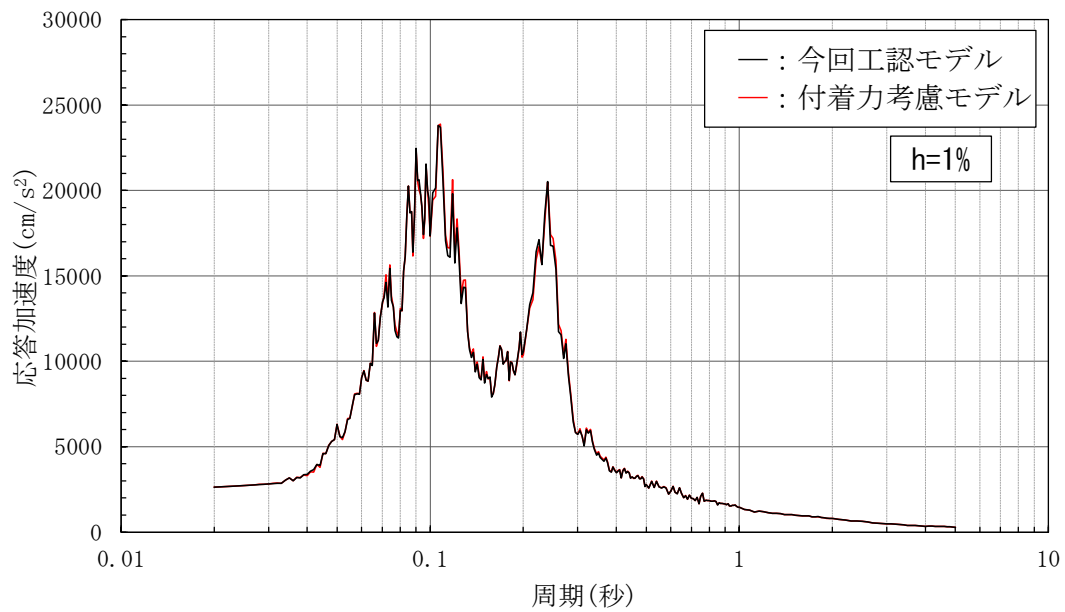
第 4.3-1 図 床応答スペクトル ($h=1\%$) の比較
(NS方向 EL 1.3m (質点番号 34))



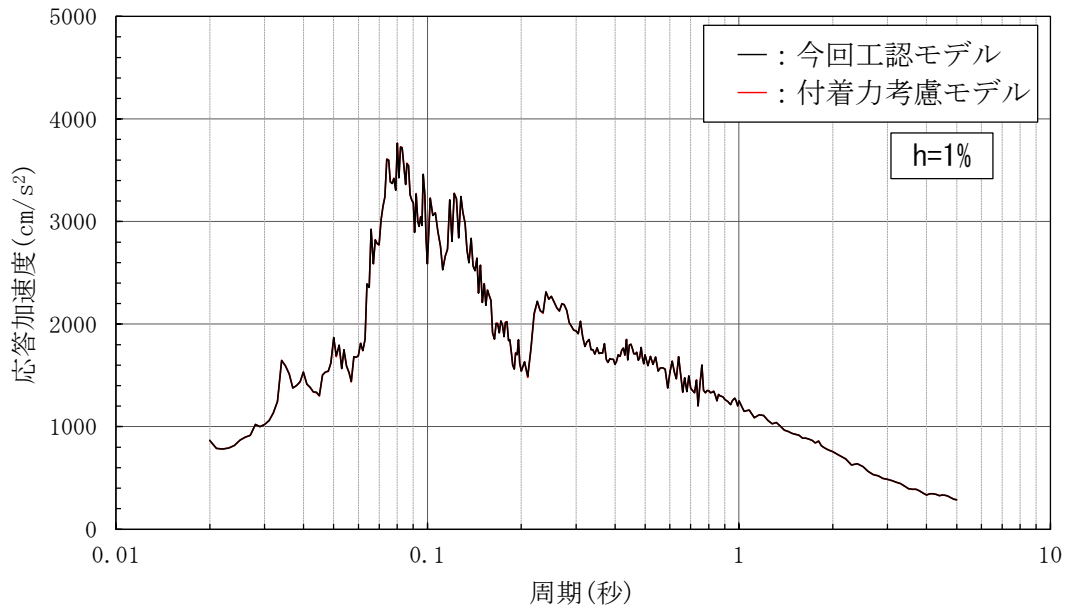
第 4.3-2 図 床応答スペクトル ($h=1\%$) の比較
(NS方向 EL 15.3m (質点番号 4))



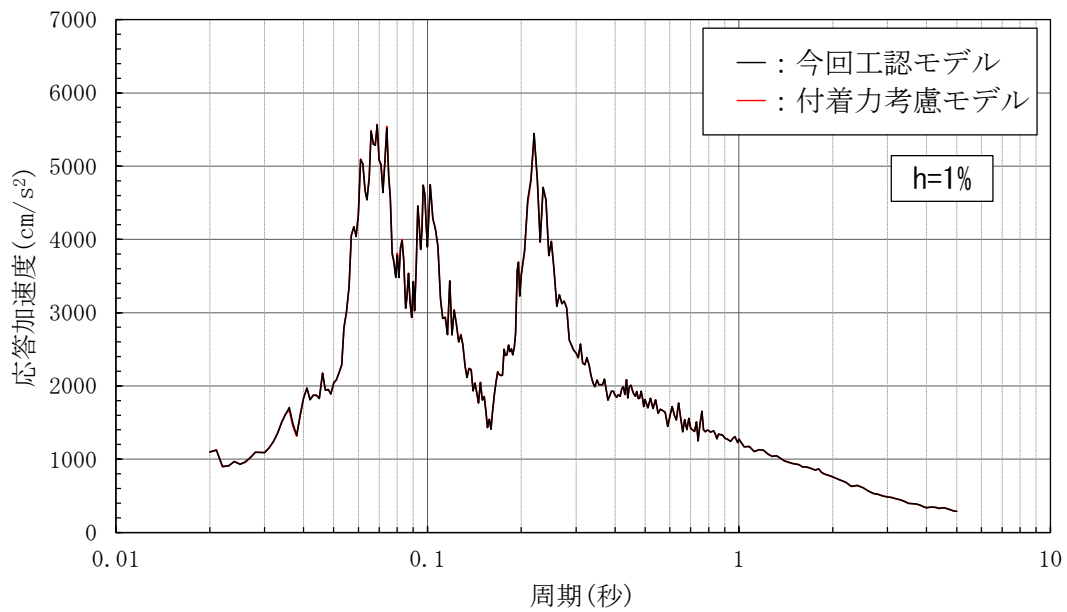
第 4.3-3 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(NS方向 E L 42.8m (質点番号 8))



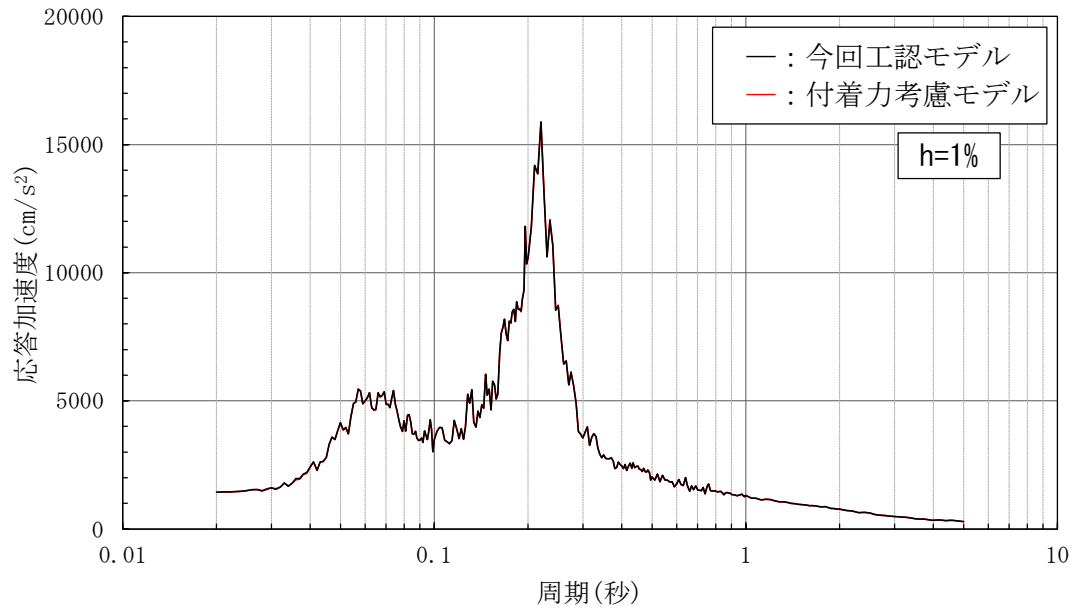
第 4.3-4 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(NS方向 E L 63.5m (質点番号 6))



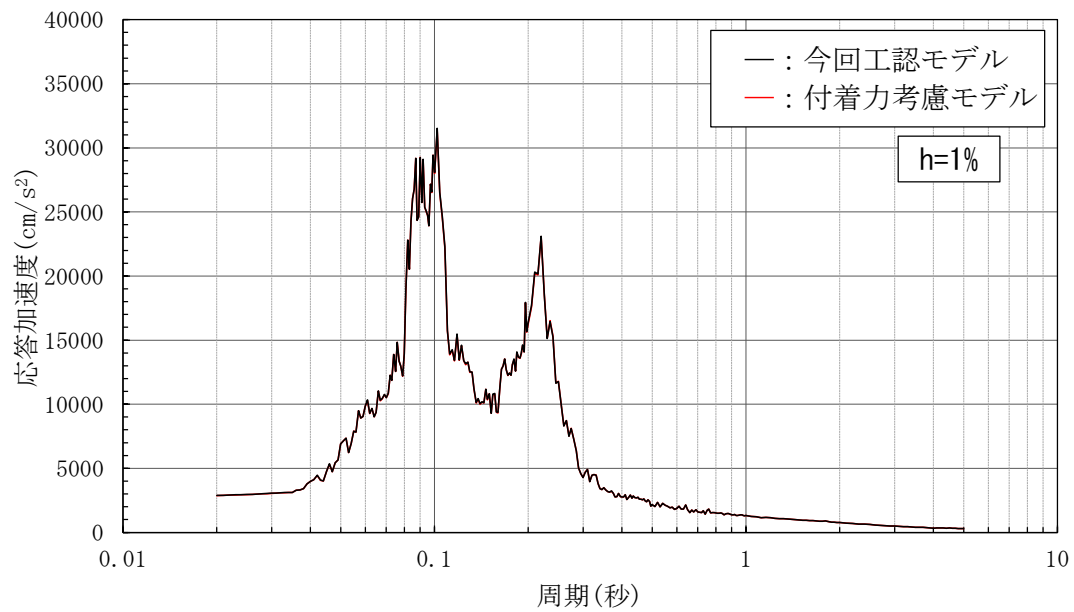
第 4.3-5 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 EL 1.3m (質点番号 34))



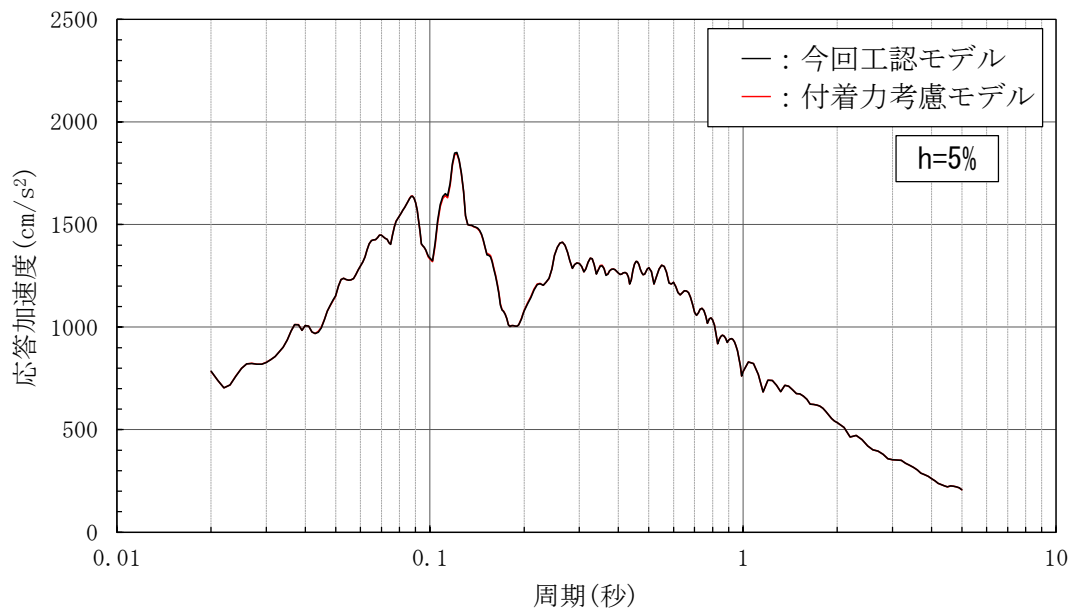
第 4.3-6 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 EL 15.3m (質点番号 1))



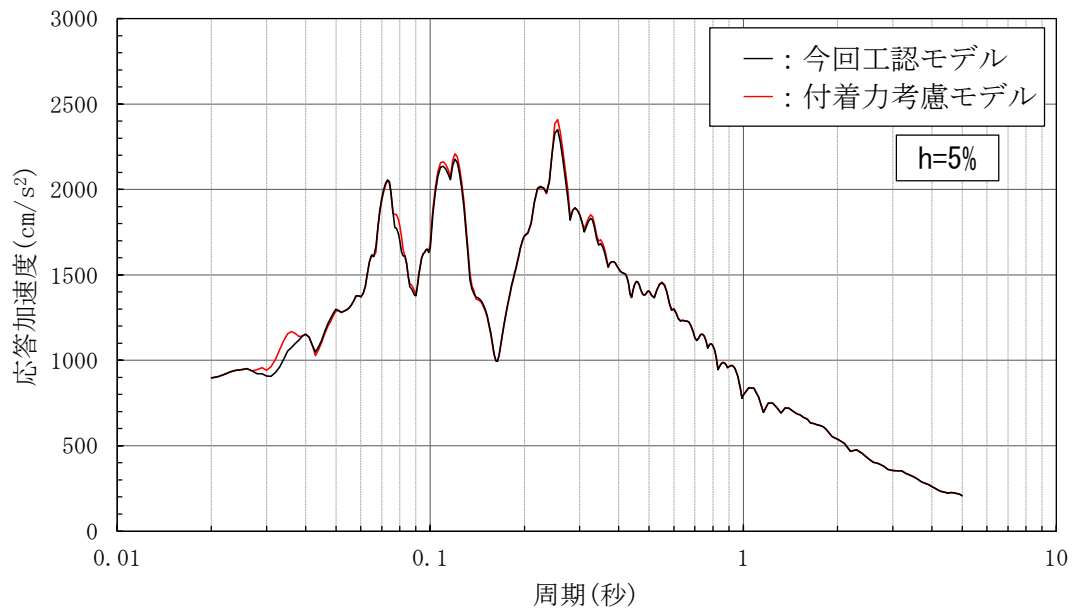
第 4.3-7 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 E L 42.8m (質点番号 5))



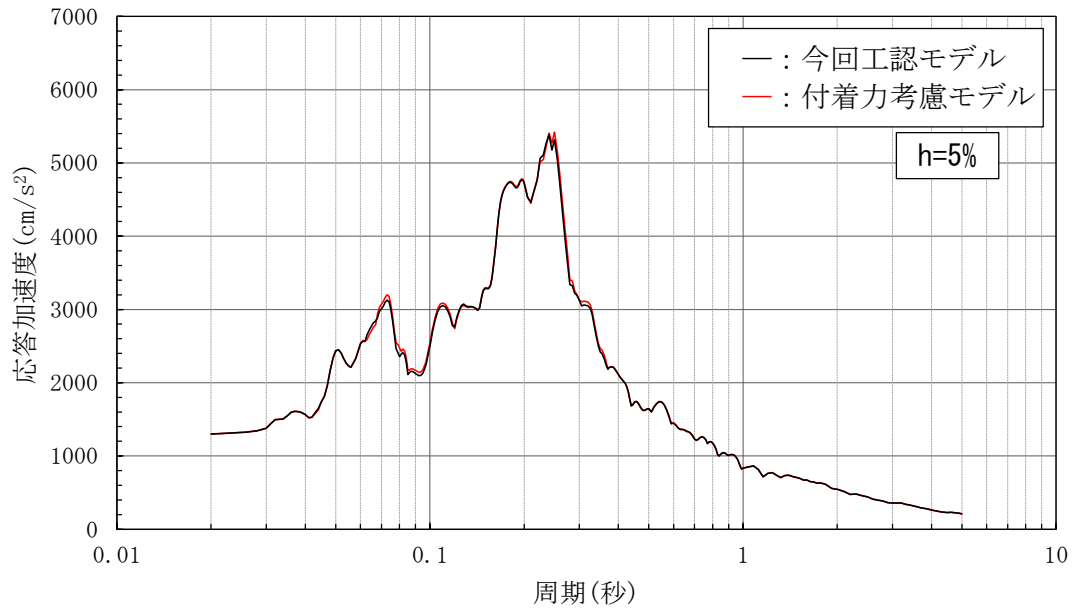
第 4.3-8 図 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 E L 63.5m (質点番号 3))



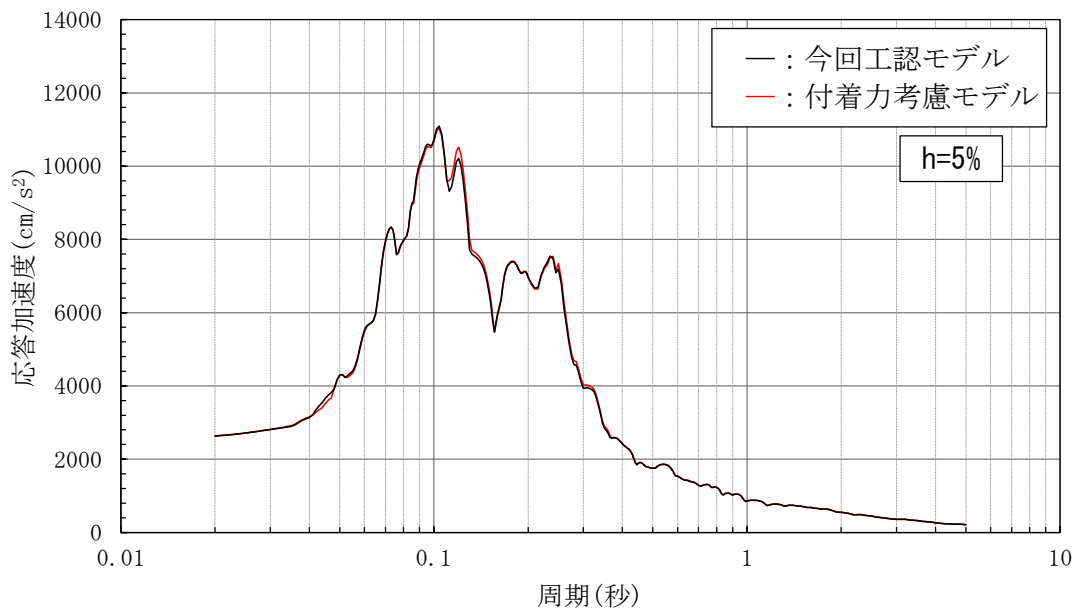
第 4.3-9 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 1.3m (質点番号 34))



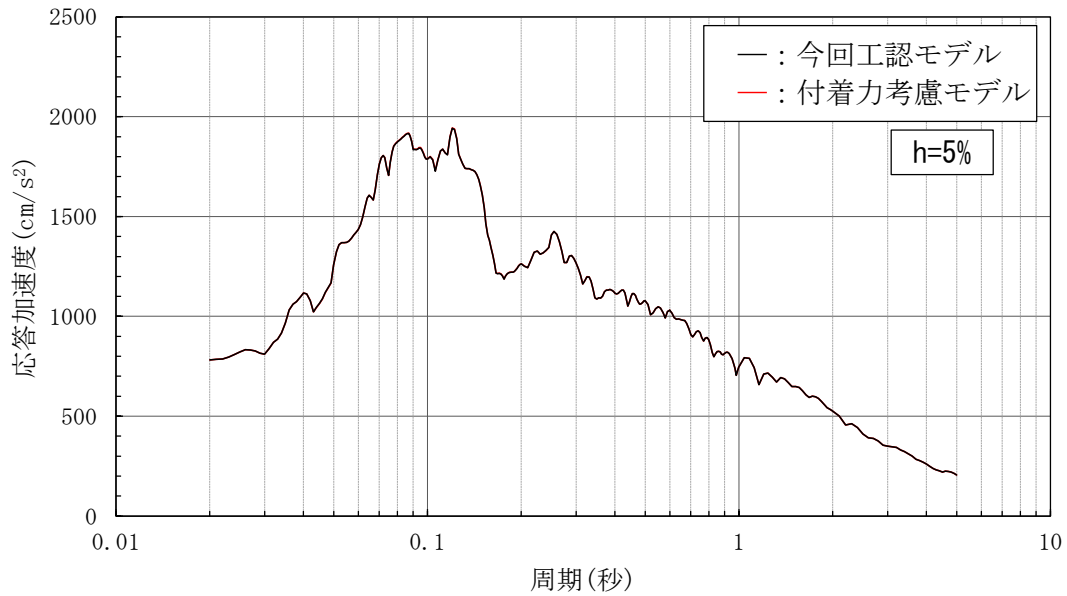
第 4.3-10 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 15.3m (質点番号 4))



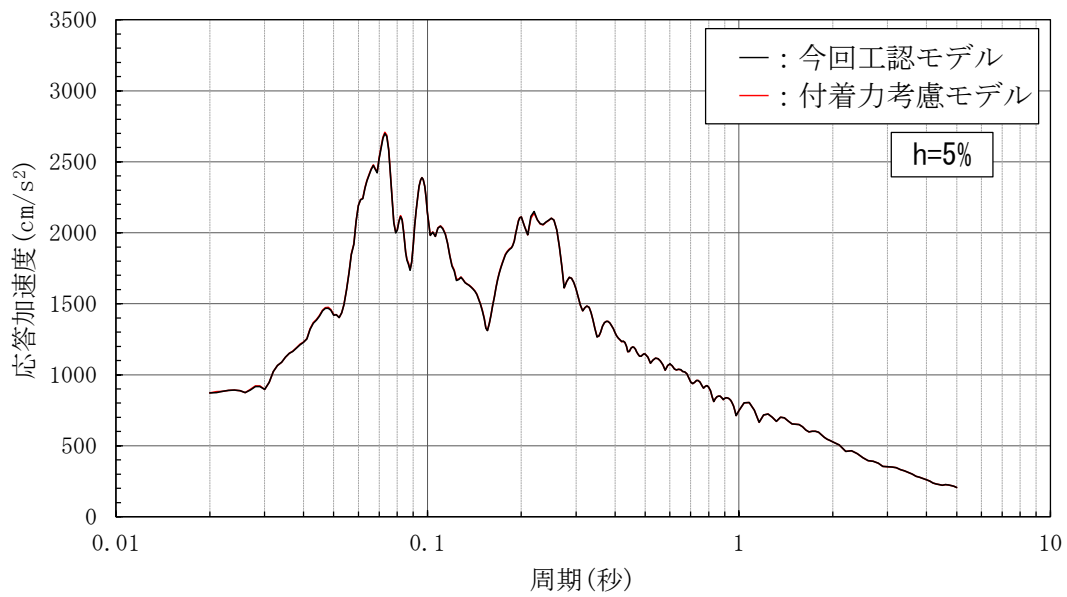
第 4.3-11 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 42.8m (質点番号 8))



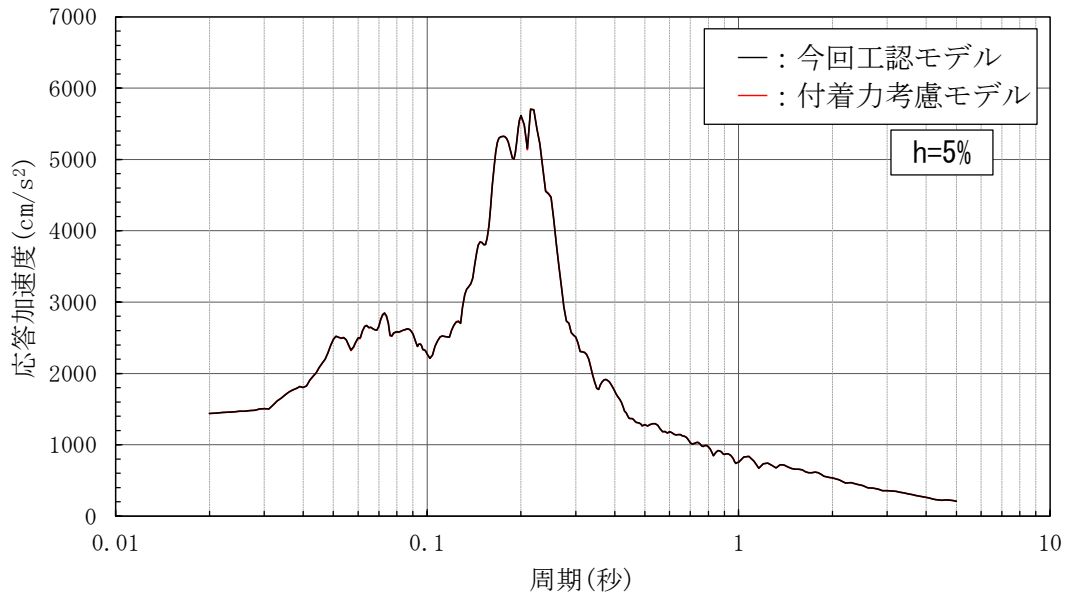
第 4.3-12 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 63.5m (質点番号 6))



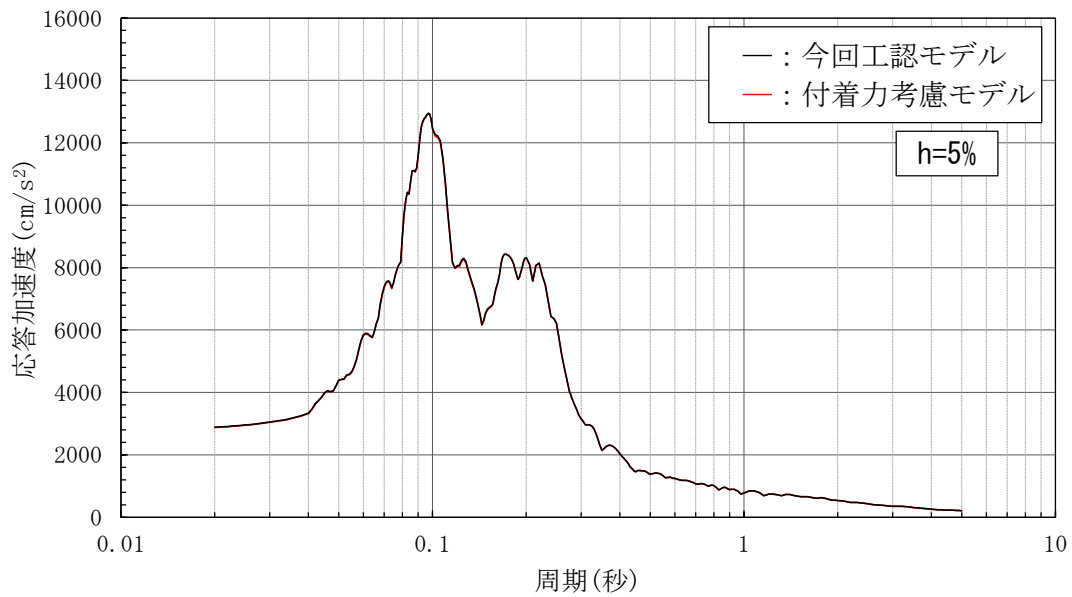
第 4.3-13 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 EL 1.3m (質点番号 34))



第 4.3-14 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 EL 15.3m (質点番号 1))



第 4.3-15 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 EL 42.8m (質点番号 5))



第 4.3-16 図 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 EL 63.5m (質点番号 3))

4.4 接地率の比較

接地率の比較を第 4.4-1 表に示す。

第 4.4-1 表 接地率の比較

地震応答解析モデル	接地率 η (%)	
	N S 方向	E W 方向
今回工認モデル	68.9	82.3
付着力考慮モデル	100	100

5. 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討結果

原子炉建物を対象とし、今回工認モデルと付着力考慮モデルを用いた地震応答解析を行った結果、付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した。このことから、付着力の考慮の有無による建物応答（水平方向）への影響は軽微である。

6. 参考文献

- (1) 田中英朗ほか：基礎底面の付着力を考慮した基礎浮き上がり解析法，日本建築学会学術講演梗概集（中国），2008年9月，pp.1069-1070

岩盤-レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面について

1. 概要

岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験実施後の破断面の写真及びスケッチ図に基づき考察を行う。

2. 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験実施後の破断面の状況

第2-1図、第2-2図に黒色頁岩-レベルコンクリート間及び凝灰岩-レベルコンクリート間における付着力試験後の破断面の状況（写真及びスケッチ図）を示す。

岩種に関わらず、岩盤面には薄いコンクリートの層が広く付着しているが、破断位置はいずれも岩盤とレベルコンクリートの境界面であったことから、試験値は岩盤とレベルコンクリート間の付着力を示しているといえる。

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート 岩片 骨材 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 岩盤 コンクリート片 コンクリートが薄く付着 空洞痕

第2-1 図 (1) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1図(2) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1図(3) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-1図(4) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

第2-1図(5) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1 図 (6) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1図(7) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1 図 (8) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

第2-1 図 (9) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-1図 (10) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-1図 (11) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-1図 (12) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-2図(1) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

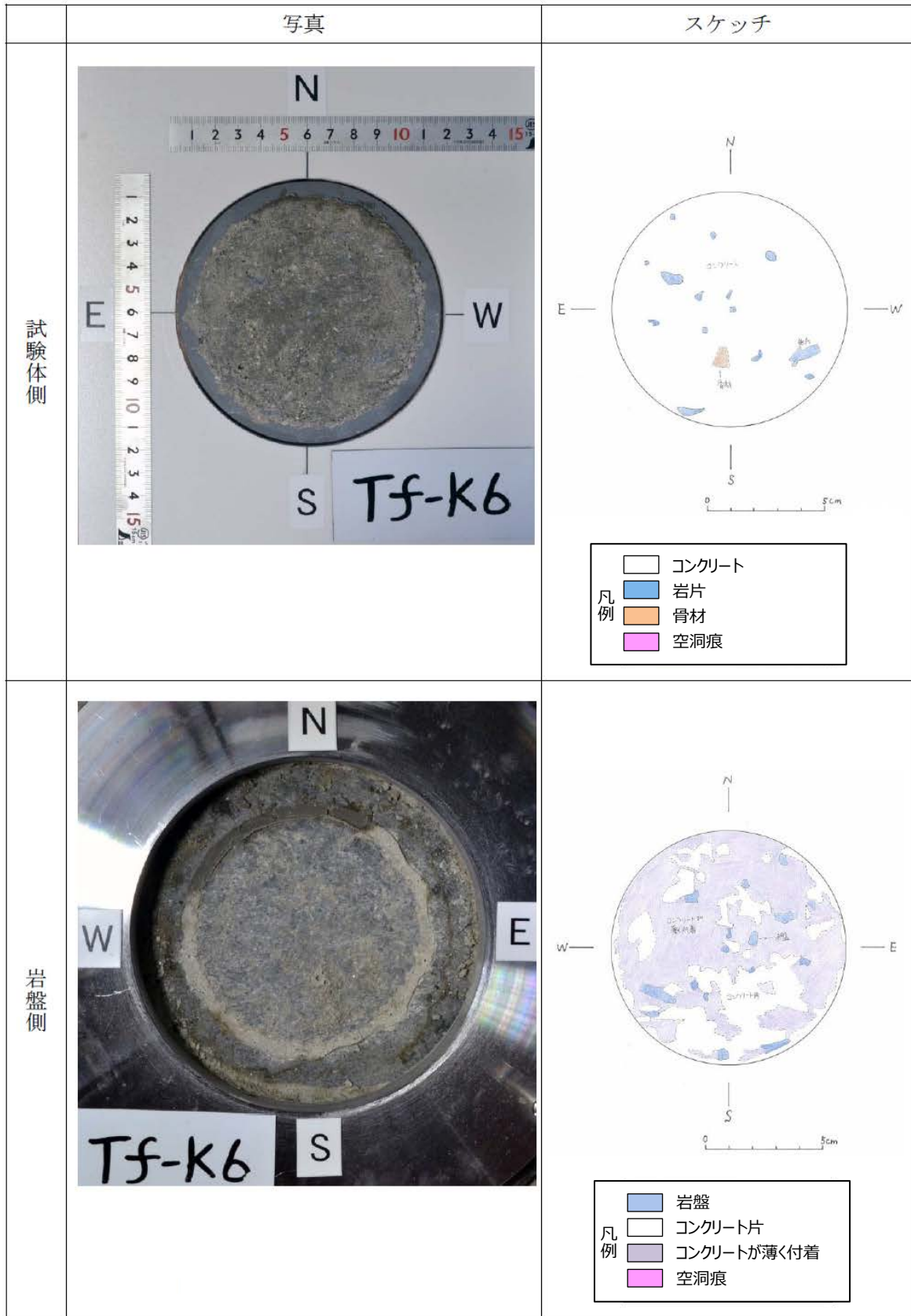
第2-2図(2) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-2図(3) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート 岩片 骨材 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 岩盤 コンクリート片 コンクリートが薄く付着 空洞痕

第2-2 図 (4) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)



第2-2図(5) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-2図(6) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第2-2図(7) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

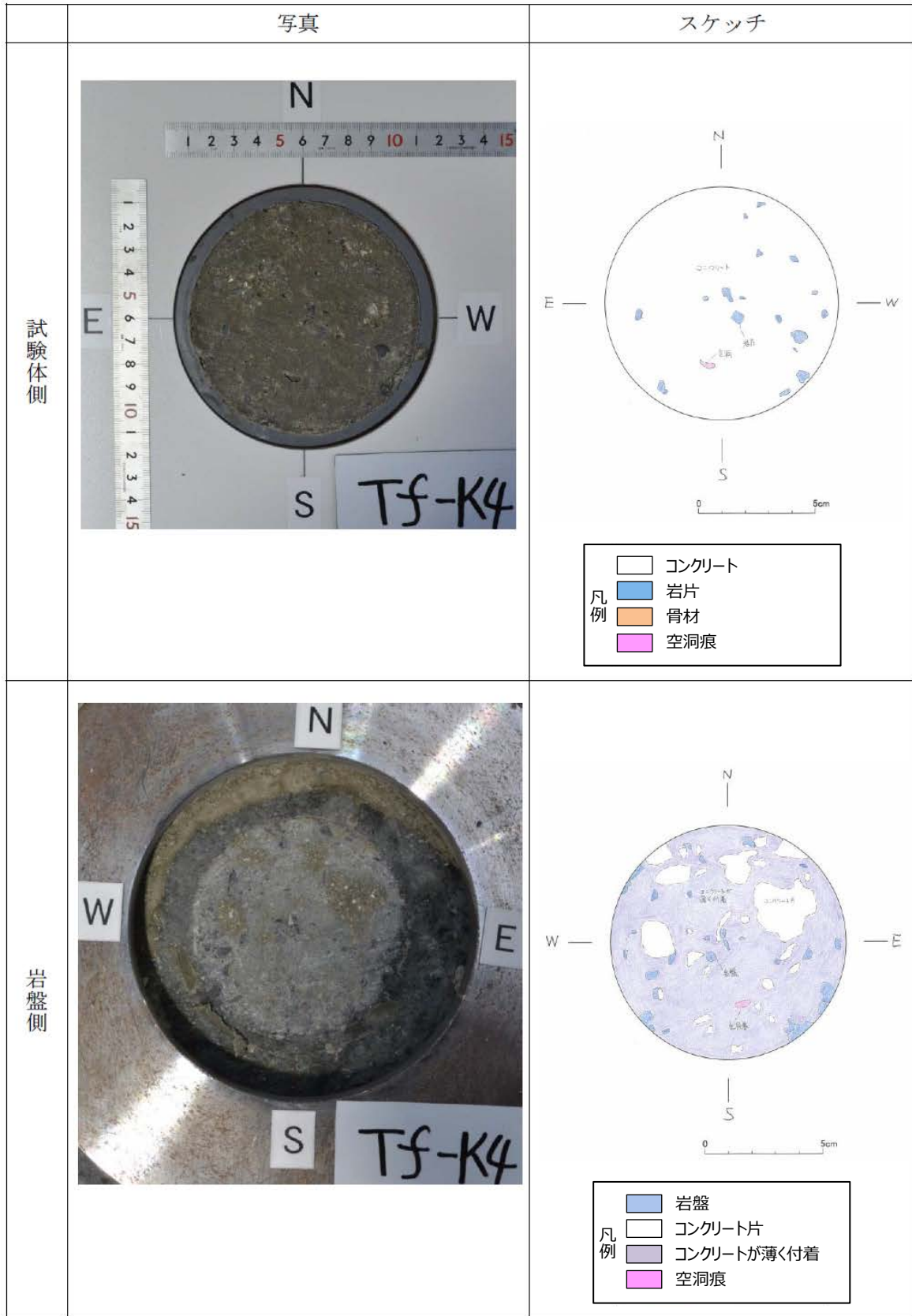
第2-2 図 (8) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第2-2 図 (9) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

第 2-2 図 (10) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)



第2-2図 (11) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

第 2-2 図 (12) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

設定付着力に関する統計的な考察について

1. 概要

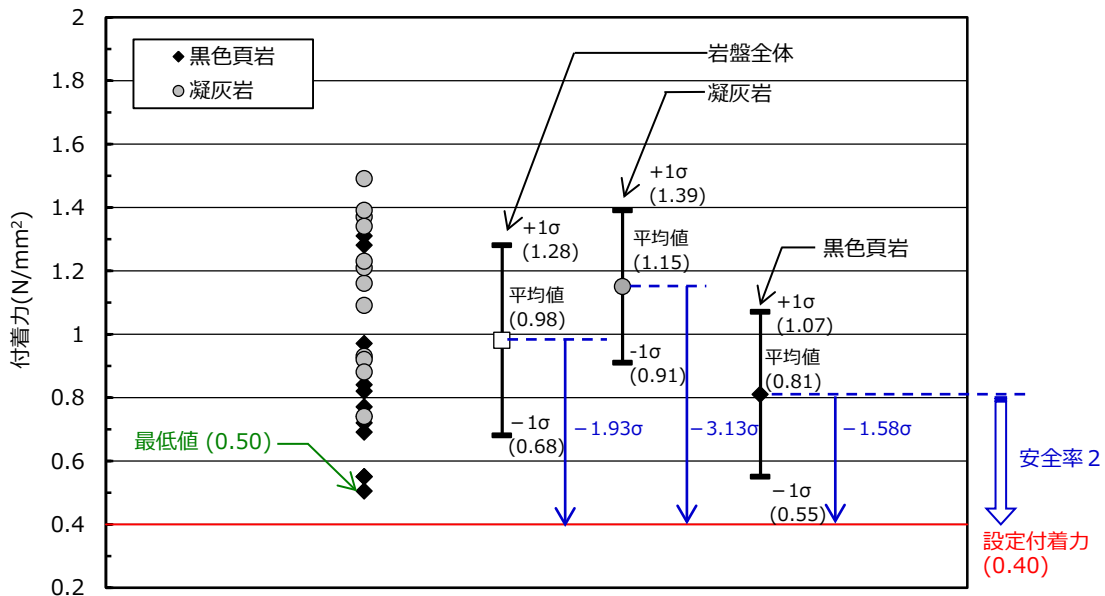
今回設定した付着力について統計的な観点も含めた考察を行う。

2. 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験結果と設定付着力の関係

第2-1図に岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験結果と設定付着力の関係を示す。

設定付着力 (0.40N/mm^2) は、平均値の小さい黒色頁岩の平均値 (0.81N/mm^2) に対して -1.58σ に相当する。参考として、凝灰岩の平均値 (1.15N/mm^2) に対して -3.13σ 、黒色頁岩と凝灰岩を合わせた全体の平均値 (0.98N/mm^2) に対して -1.93σ となる。

なお、試験結果のばらつきについて、岩種毎に評価した場合は試験によるものであるが、岩盤全体として評価した場合には試験によるものと岩種の違いによるものが含まれている。



第2-1図 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験の結果と設定付着力の関係

試験地盤と建物直下地盤の同等性について

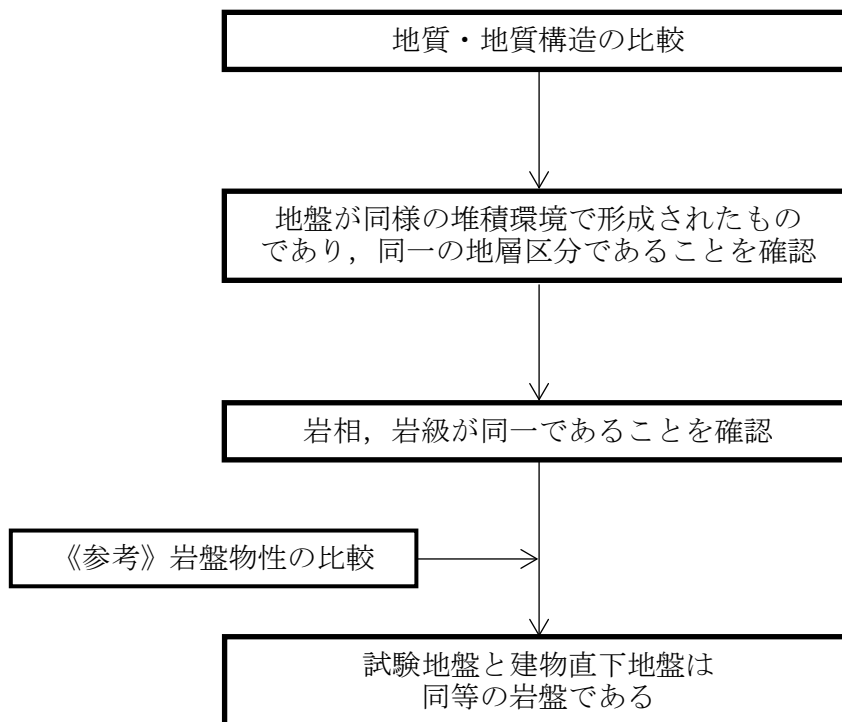
1. 概要

試験地盤は、建物直下地盤から離れているため、両者の同等性を確認し試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することの妥当性を以下に示す。

2. 検討方法

試験地盤と建物直下地盤の同等性について、地質・地質構造の観点から比較を行う。また、参考に岩盤物性の観点からも比較を行う。

試験地盤と建物直下地盤の同等性確認の流れを第2-1図に示す。



第2-1図 試験地盤と建物直下地盤の同等性確認の流れ

3. 試験地盤と建物直下地盤の地質・地質構造の比較

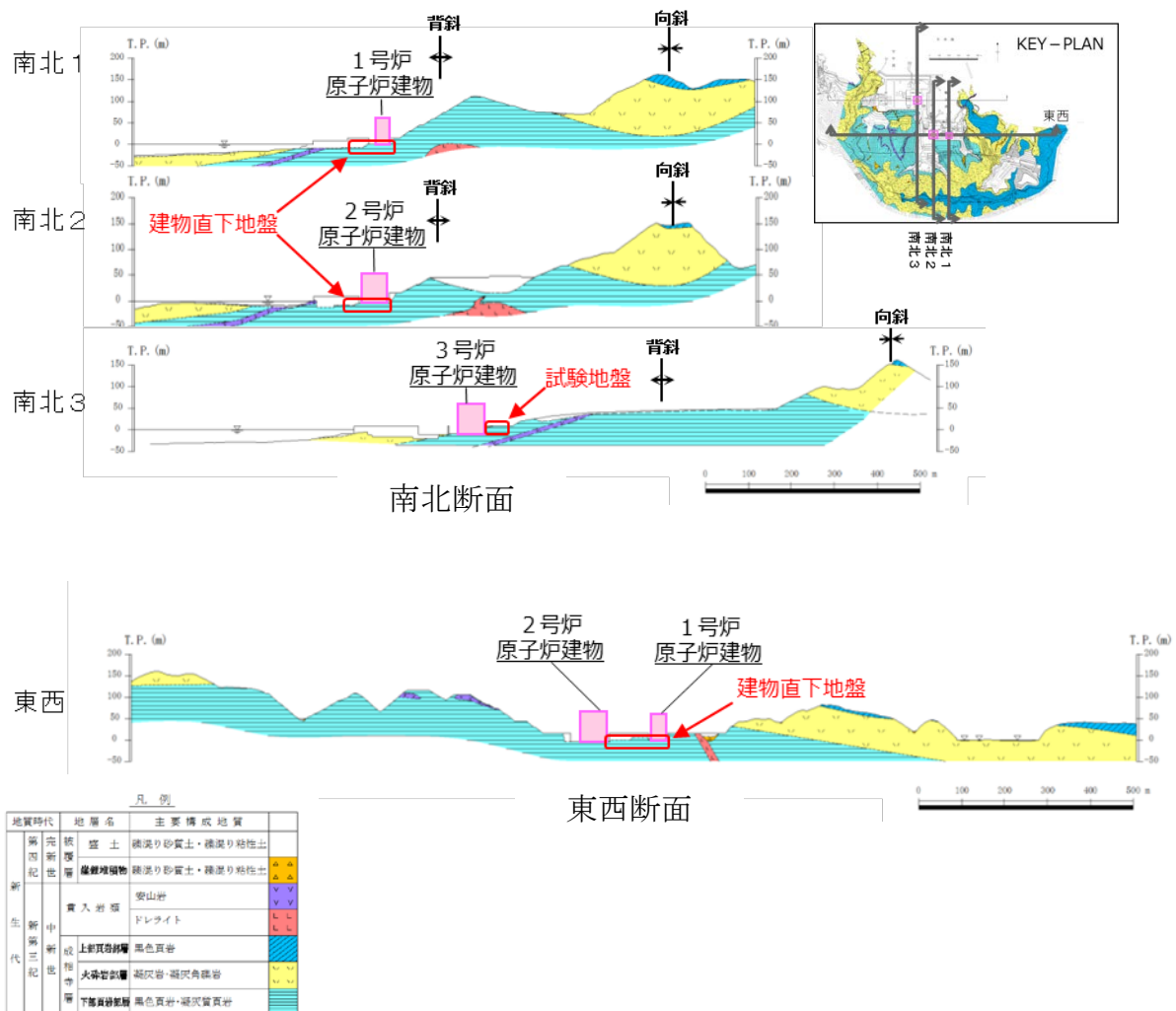
3.1 敷地地盤について

敷地地盤における地質断面図を第3-1図に示す。また、2号炉エリア（1号炉エリア含む）及び3号炉エリアの地質・地質構造を補足資料-3に示す。

敷地地盤は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類から構成されており、2号炉及び3号炉原子炉建物基礎地盤周辺は北に向かって約10～30°傾斜している。

これまでのボーリング調査の結果、成相寺層中において、連続性の高い堆積層（フローユニット）が、2号炉エリア（1号炉エリア含む）から3号炉エリアまで連続していることを確認しており、試験地盤及び建物直下地盤を構成する地質は、いずれもこの連続性の高い堆積層の上位に位置し、同一の「下部頁岩部層」に区分される。

このことから、試験地盤及び建物直下地盤の地質は、同様の堆積環境で形成されたものであり、岩相及び岩種が同一であれば、両者の岩盤は同等であると判断する。



第3-1図 敷地地盤における地質断面図

3.2 試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級について

試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級の比較を行う。

(1) 岩相の比較

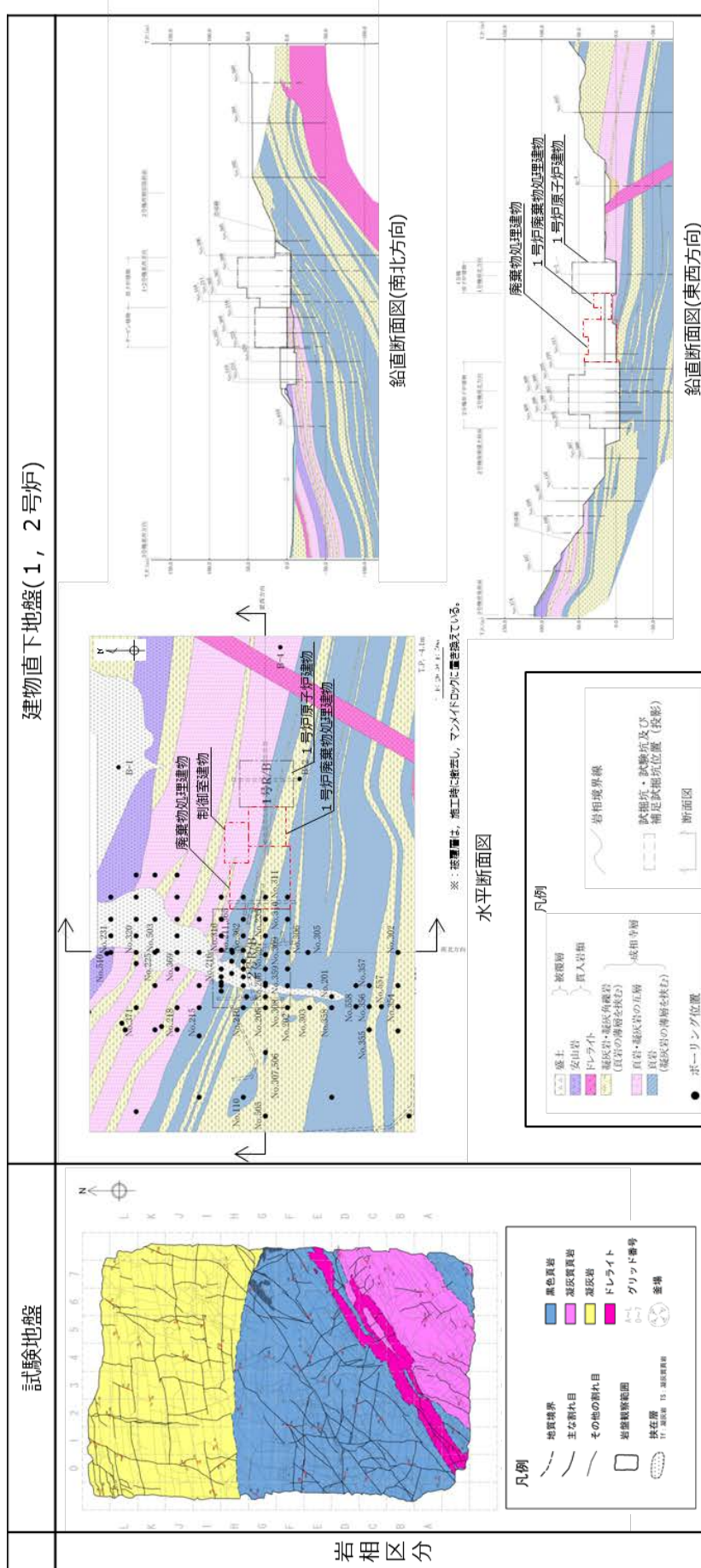
試験地盤と建物直下地盤における岩相の比較を第3-2図に示す。

試験地盤は黒色頁岩及び凝灰岩で構成されており、建物直下地盤は試験地盤と同様に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層が広く分布している。

また、試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤(3号炉)及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩相区分の比較を行う。第3-3図にそれぞれの地盤における岩相区分及び位置関係を示す。

いずれの地盤においても主に黒色頁岩及び凝灰岩から構成されている。

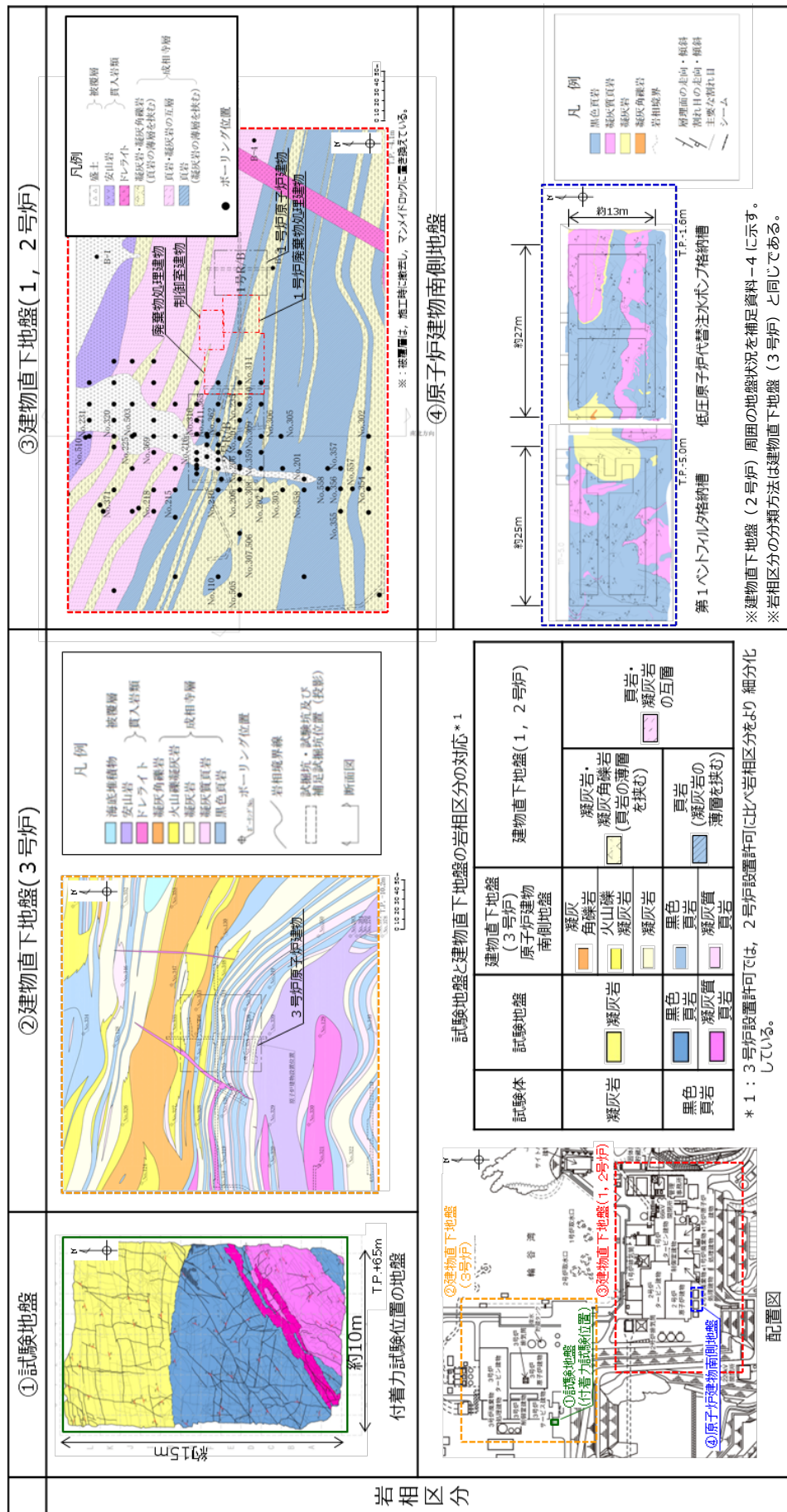
第3-2図 試験地盤と建物直下地盤における岩相の比較



試験地盤と建物直下地盤の岩相区分の対応

試験体	試験地盤	建物直下地盤(1, 2号炉)
凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
黒色頁岩	黒色頁岩	頁岩
頁岩	凝灰質頁岩	凝灰岩の薄層を挟む
		頁岩・凝灰岩 の互層

第 3-3 図 試験地盤と建物直下地盤における岩相区分の比較及び位置関係



(2) 岩級の比較

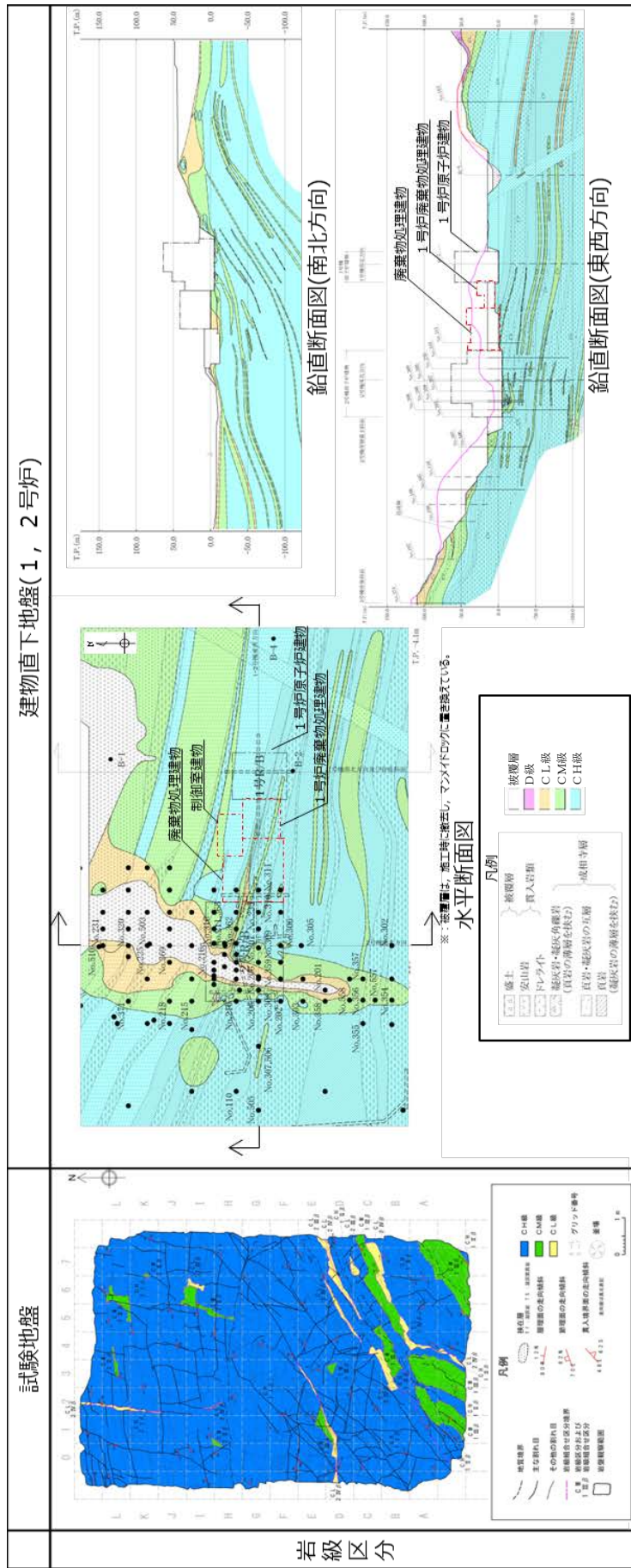
試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較を第3-4図に示す。

試験地盤における岩級は主にCH級であり、建物直下地盤における岩級は試験地盤と同様に主にCH級である。

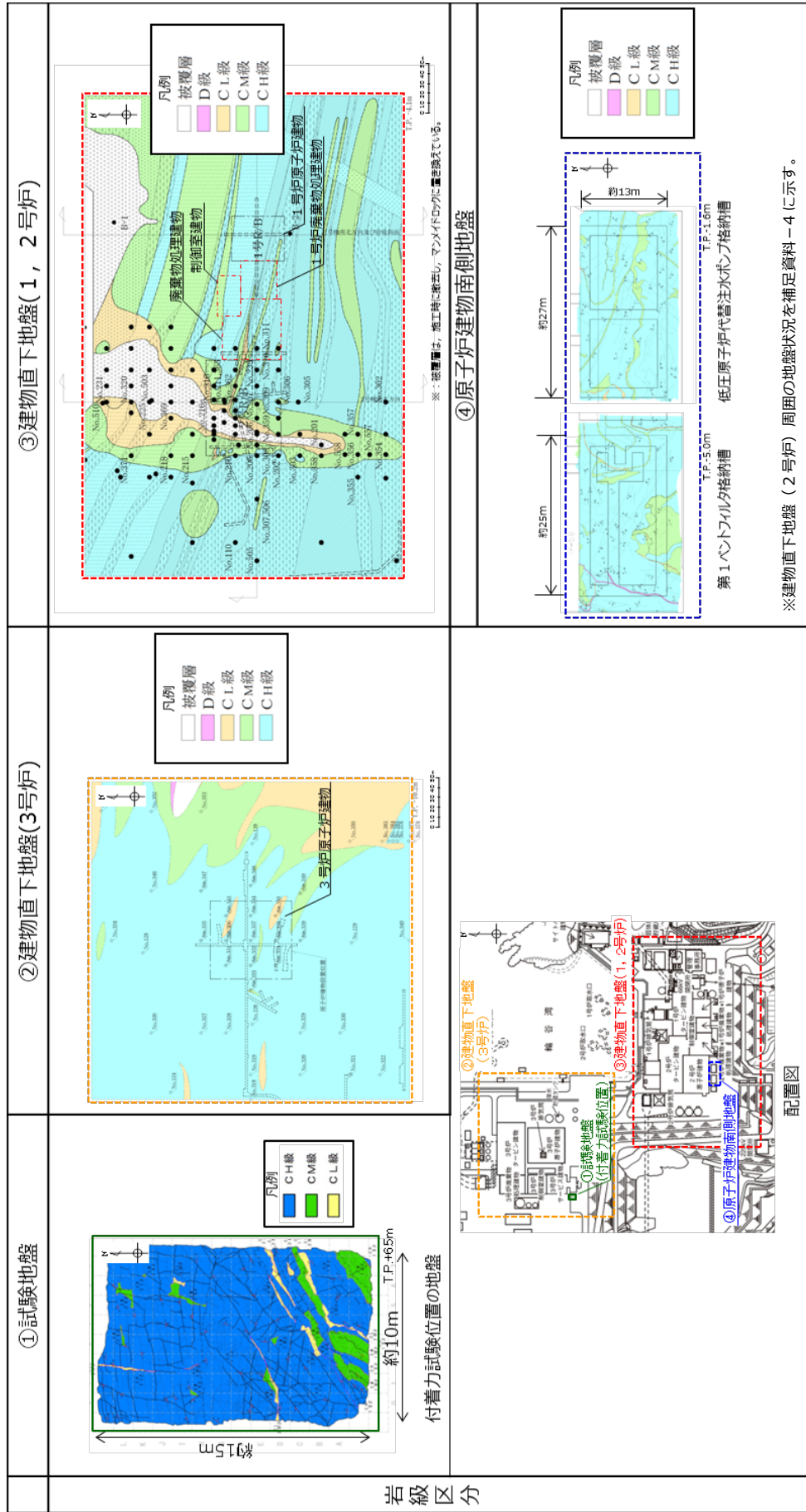
また、試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤(3号炉)及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩級区分の比較を行う。第3-5図にそれぞれの地盤における岩級区分及び位置関係を示す。

いずれの地盤においても岩級は主にCH級である。

第 3-4 図 試験地盤と建物直下地盤における岩級の比較



第 3-5 図 試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較及び位置関係



4. 試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値の比較

参考として、試験地盤と建物直下地盤（2号炉）の岩盤物性値の比較を行う。

岩盤物性値については、「JNES報告書」によると、「直接引張試験による付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となった。^{注1}」とされていることから、付着力は岩盤の圧裂引張強度と関係性があると判断し、ここでは試験地盤と建物直下地盤（2号炉）における圧裂引張強度^{注2}の比較を行う。併せて3号炉原子炉建物直下地盤における圧裂引張強度^{注3}も示す。

第4-1図に試験地盤及び建物直下地盤（2号炉及び3号炉）における圧裂引張強度の比較を示す。

黒色頁岩、凝灰岩とも試験地盤の圧裂引張強度の平均値は、建物直下地盤（2号炉）の圧裂引張強度の平均値と同程度であり、試験地盤の個々の圧裂引張強度も建物直下地盤（2号炉）の $\pm 1\sigma$ の範囲内に概ね収まっていることから、試験地盤と建物直下地盤（2号炉）は同等の岩盤である。また、3号炉建物直下地盤の値とも同程度であることを確認した。

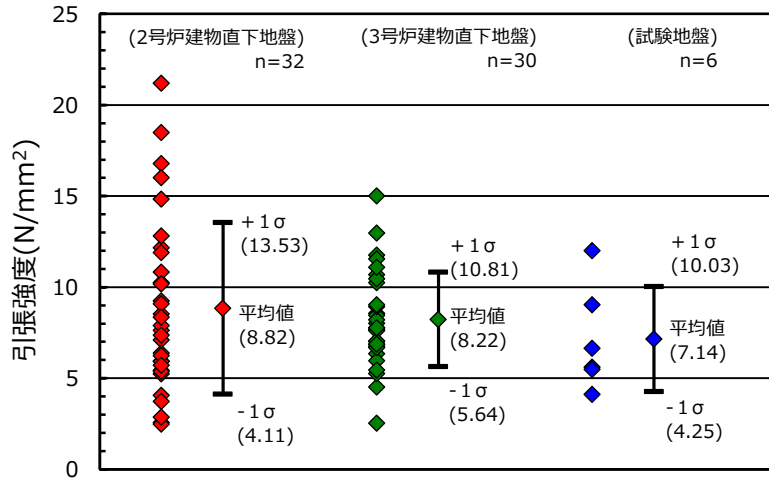
注1：「JNES報告書」では、岩盤物性試験として、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、超音波伝播速度を計測しており、このうち圧裂引張強度の順と付着力の順が同じ傾向（砂岩>花崗岩>凝灰岩）となったことが示されている。

注2：島根2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験。

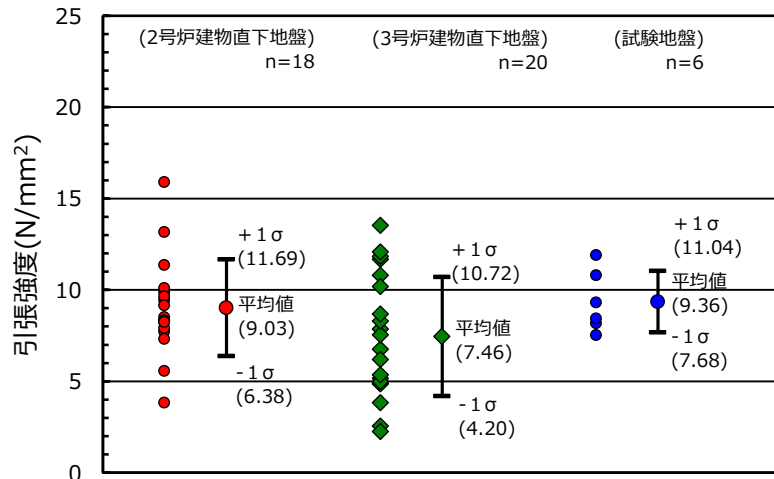
（島根原子力発電所原子炉設置許可変更申請書（平成25年12月25日））

注3：島根3号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験。

（島根原子力発電所原子炉設置許可変更申請書（平成17年4月26日））



第4-1図(1) 試験地盤及び建物直下地盤(2号炉及び3号炉)における岩盤の圧裂引張強度の比較(黒色頁岩)



第4-1図(2) 試験地盤及び建物直下地盤(2号炉及び3号炉)における岩盤の圧裂引張強度の比較(凝灰岩)

5. まとめ

試験地盤と建物直下地盤の同等性を地質・地質構造の観点から確認した。

試験地盤と建物直下地盤の地質が同様の堆積環境で形成されたものであり、同一の地層区分であることを確認した。

試験地盤と建物直下地盤の岩相は主に黒色頁岩及び凝灰岩で構成されていること、及び岩級はCH級であり、岩相及び岩級が同一であることを確認した。

また、参考として、試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値（圧裂引張強度）を比較し、同程度であることを確認した。

以上より、試験地盤と建物直下地盤は同等のものであり、試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することは妥当であると判断する。

既工認実績における付着力試験方法との比較

島根サイトと既工認実績における付着力試験方法を第1表に示す。なお、参考に「JNES報告書」及び地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」の試験方法も同表に示す。

第1表 島根サイトと既工認実績における付着力試験方法の比較

サイト	試験体形状	接合面の凹凸の状態	レベルコンクリート		対象岩種等	標本数	
			圧縮強度(N/mm ²)	養生日数			
島根	直円柱 ^① (φ10 cm)	10mm 程度 ^②	18 ^③	7日 ^④	黒色頁岩, 凝灰岩	24 ^⑤ (1岩種当り12)	
既工認実績	高浜	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	27日	流紋岩	27
	大飯	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	石英閃緑岩	19
	美浜	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	花崗岩	15(現地)+25(室内)
	川内*1	直四角柱 (10 cm×10 cm)	木ごて仕上げ	15 30	62~68日 31~37日	レベルコンクリート 基礎コンクリート	3
参考	JNES 報告書	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	花崗岩, 砂岩, 凝灰岩	36(1岩種当り12)
		直四角柱 (150 cm×150 cm)	粗面(80mm 程度) 平滑面(20mm 程度)	15	28日	花崗岩	6(1水準当り3)
	地盤 工学会	直円筒, 直円柱, 直四角柱 (100~1000mm)	規定なし	規定なし	規定なし	軟岩から硬岩まで を対象	3以上
<p>《既工認実績と異なる方法を採用した理由》</p> <p>① コンクリートの充填性を考慮し試験体形状を直円柱とした。なお、地盤工学会の試験方法では直円柱も採用されている。</p> <p>② 「JNES報告書」によると、「岩盤表面の凹凸状況の差が接合面の剥離性状にほとんど影響を及ぼしていないことが認められた。」とあることから、接合面の凹凸による付着力への影響は軽微であると考え10mm程度に設定した。</p> <p>③ 市中生コンプラントで調達可能で最も低いF_c=18N/mm²とした。</p> <p>④ 養生期間を短縮するため、早強コンクリート(調合材齢7日)を採用した。</p> <p>⑤ 標本数は、「JNES報告書」を参考に1岩種当り12個とした。なお、地盤工学会の試験方法では3個以上とされている。</p>							

*1: 「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の付着力試験結果を用いている。

注: 他サイトの情報等に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

既工認実績における設定付着力との比較

島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較を第1表に示す。

島根サイトの設定付着力は既工認実績と比較しても試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である。

第1表 島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較

サイト	建物	採用する地震 応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	付着力の設定				
			試験の平均値 (N/mm ²)	試験の 最小値 (N/mm ²)	設定 付着力 (N/mm ²)	保守性の考え方等	
島根	廃棄物処理建物	ジョイント要素を 用いた3次元 FEMモデル* ¹	1.15(凝灰岩) 0.81(黒色頁岩)	0.50	0.40	2種の岩種のうち平均値の小さい 黒色頁岩の平均値に対して2倍の 安全率を考慮するとともに最小値 0.50を下回るよう設定	
	制御室建物	SRモデル* ² (浮上り非線形 地震応答解析)					
既工認実績	高浜	中間建屋	ジョイント要素を 用いた3次元 FEMモデル* ¹	0.92	0.55	0.3	平均値に対して十分な余裕を考慮 するとともに最小値0.55を下回る よう設定
	大飯	制御建屋	ジョイント要素を 用いた3次元 FEMモデル* ¹	0.71	0.44	0.3	平均値に対して十分な余裕を考慮 するとともに最小値0.44を下回る よう設定
	美浜	原子炉建屋	ジョイント要素を 用いた3次元 FEMモデル* ¹	0.91	0.57	0.91	補足説明資料において工認ケース との比較ケース(側面回転ばね非考 慮モデル)に平均値を設定* ³
	川内* ¹	ディーゼル建屋, 主蒸気管建屋	基礎固定 モデル* ²	0.61	0.50	0.6	「JNES報告書」のレベルコンク リートと基礎コンクリート間の試 験結果を基に設定

*1：ジョイント要素に付着力を考慮。

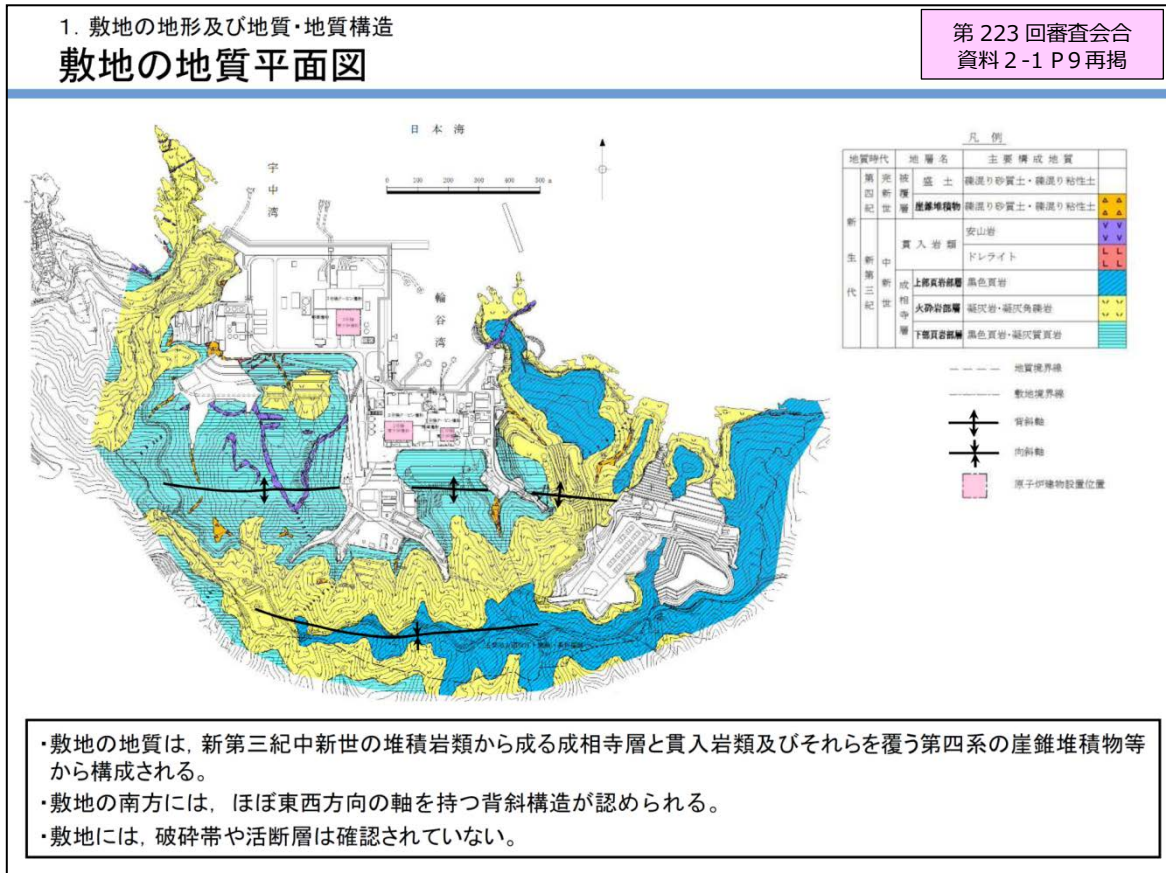
*2：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が設定付着力を超えないことを確認。

*3：工認ケースにおいては、付着力を考慮していない。

注：他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

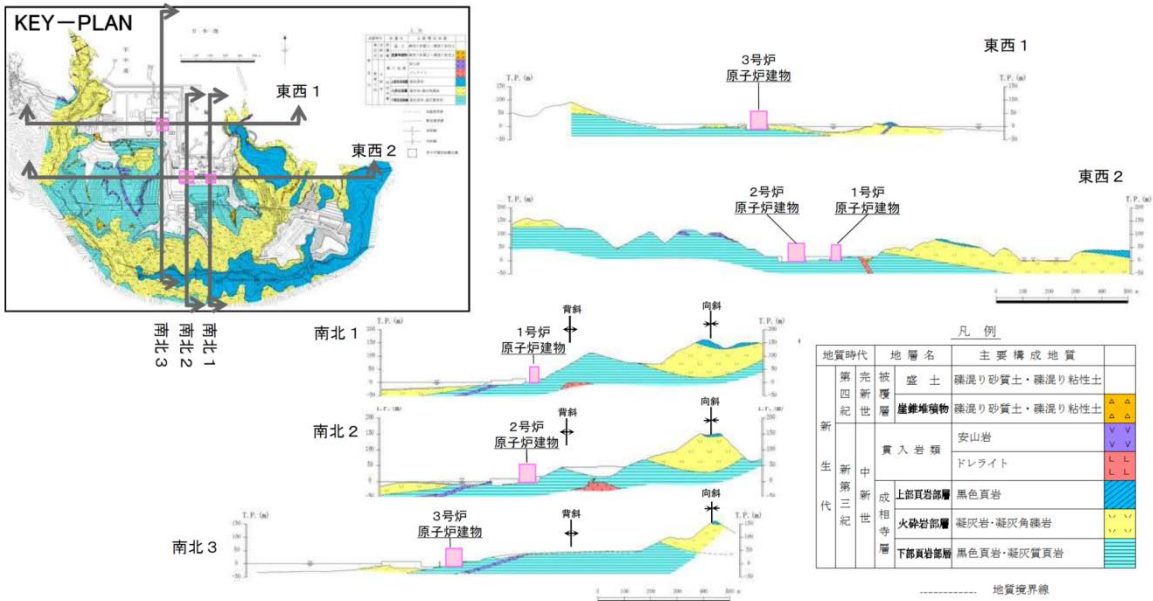
島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について
(第 223 回審査会合資料再掲)

以下に、島根原子力発電所の 2 号炉エリア（1 号炉エリア含む）及び 3 号炉エリアの地質・地質構造を示す（第 233 回審査会合，資料 2-1 の再掲）。



1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地の地質断面図

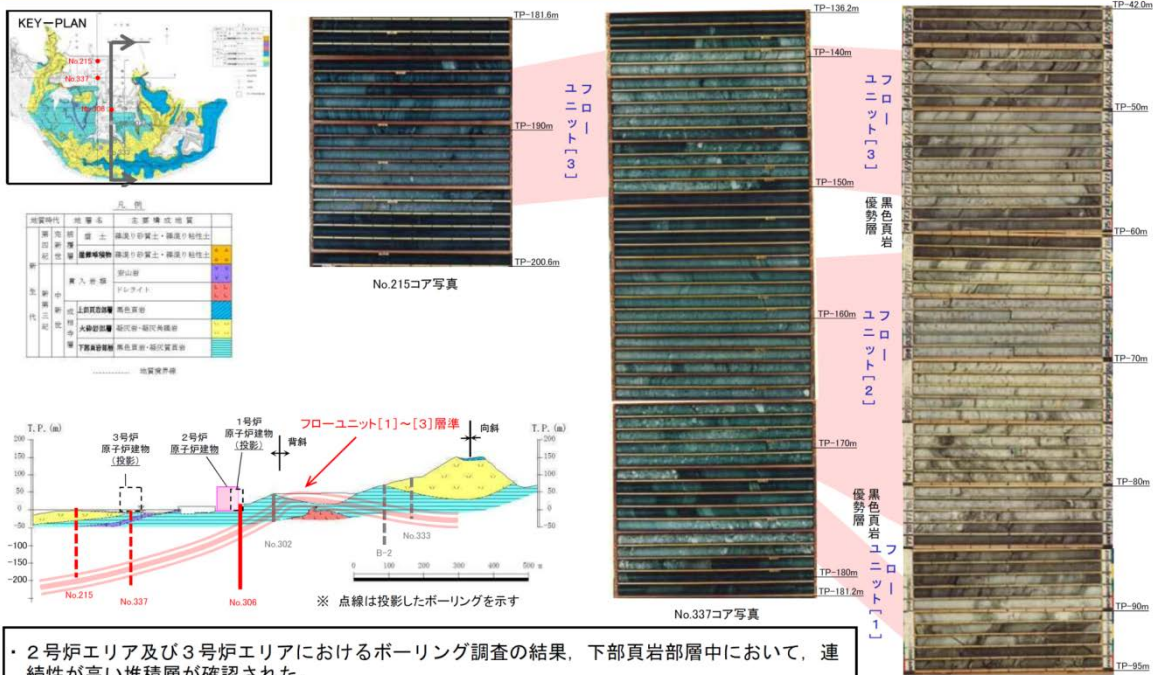
第 223 回審査会合
資料 2-1 P10 再掲



- 敷地に分布する成相寺層は、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層、上部頁岩部層の3つの部層に区別される。
- 1～3号炉原子炉建物基礎地盤においては、主として黒色頁岩、凝灰質頁岩より成る「下部頁岩部層」が広く分布する。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地に分布する鍵層①

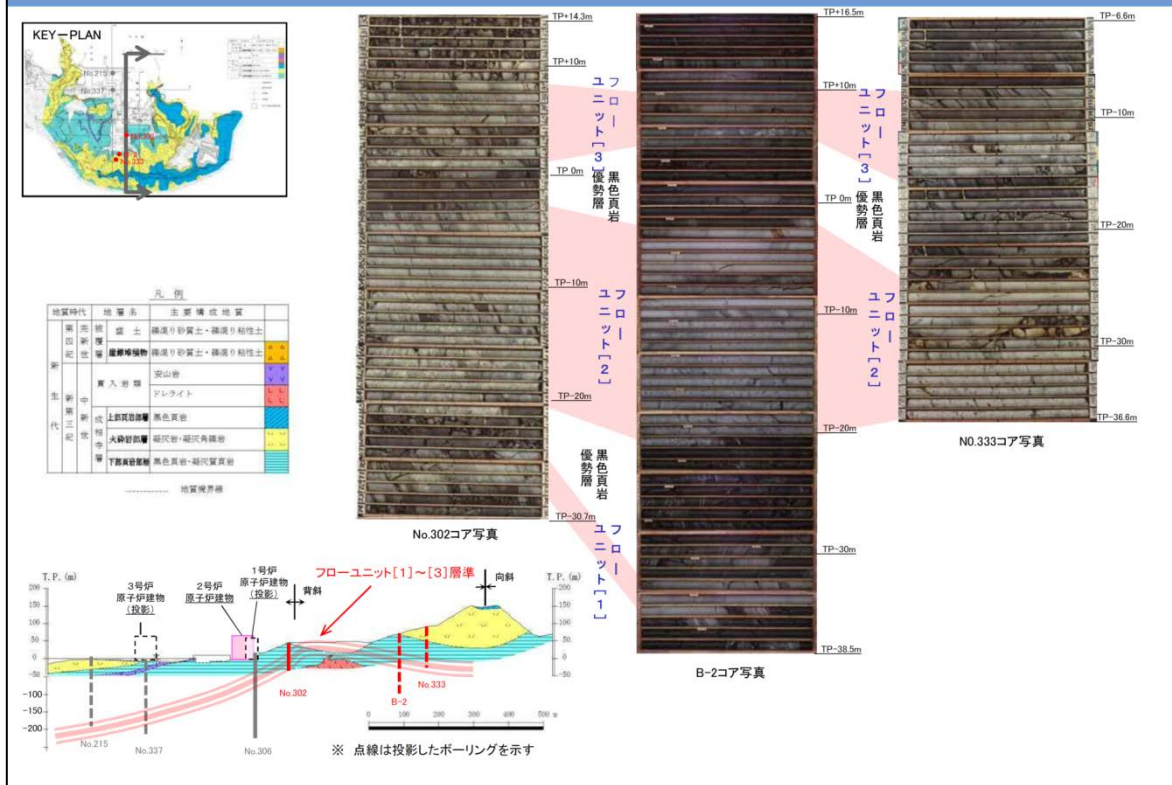
第 223 回審査会合
資料 2-1 P11 再掲



- 2号炉エリア及び3号炉エリアにおけるボーリング調査の結果、下部頁岩部層中において、連続性が高い堆積層が確認された。
- 当該堆積層は、凝灰角礫岩主体で黒色頁岩優勢層を挟み、級化層理を示す等の特徴を有することから、水中火砕流により堆積したものと考えており、フローユニットと呼称している。
- 当該フローユニットは、地層の対比がし易いため、敷地の地質構造把握において鍵層となる。

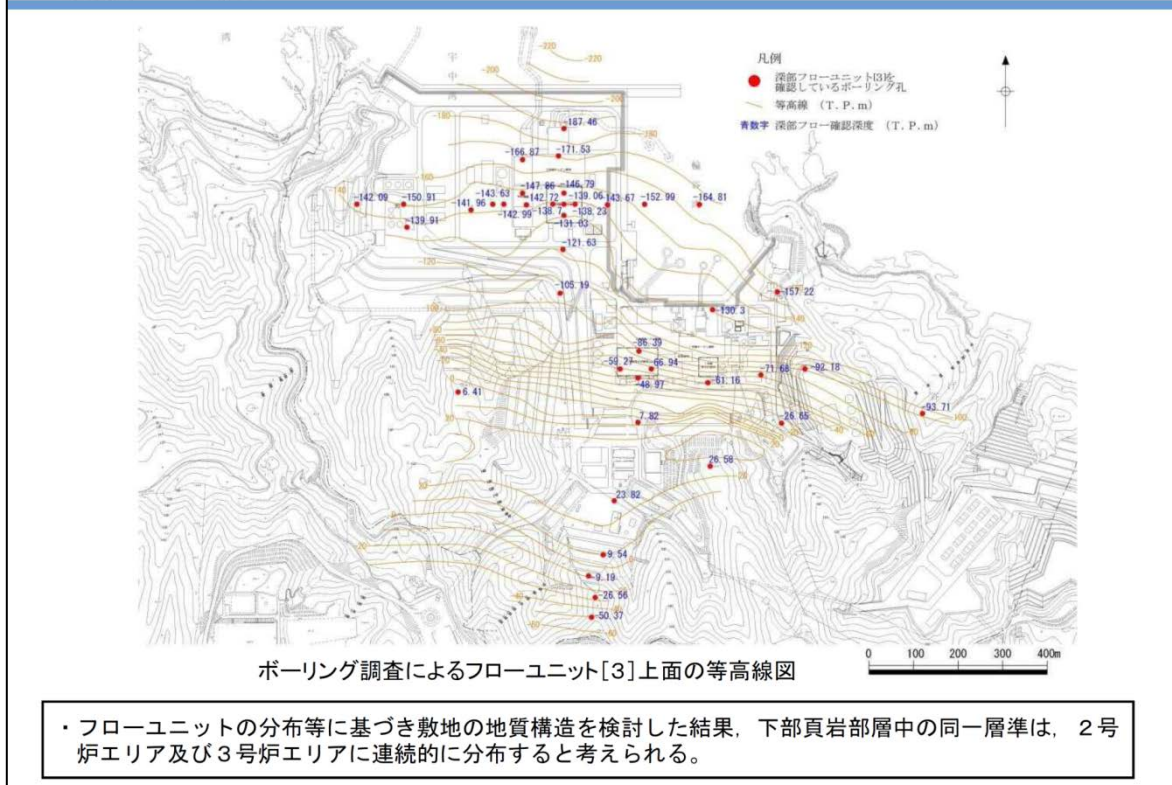
1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地に分布する鍵層②

第 223 回審査会合
資料 2-1 P12 再掲



1. 敷地の地形及び地質・地質構造
鍵層の連続性

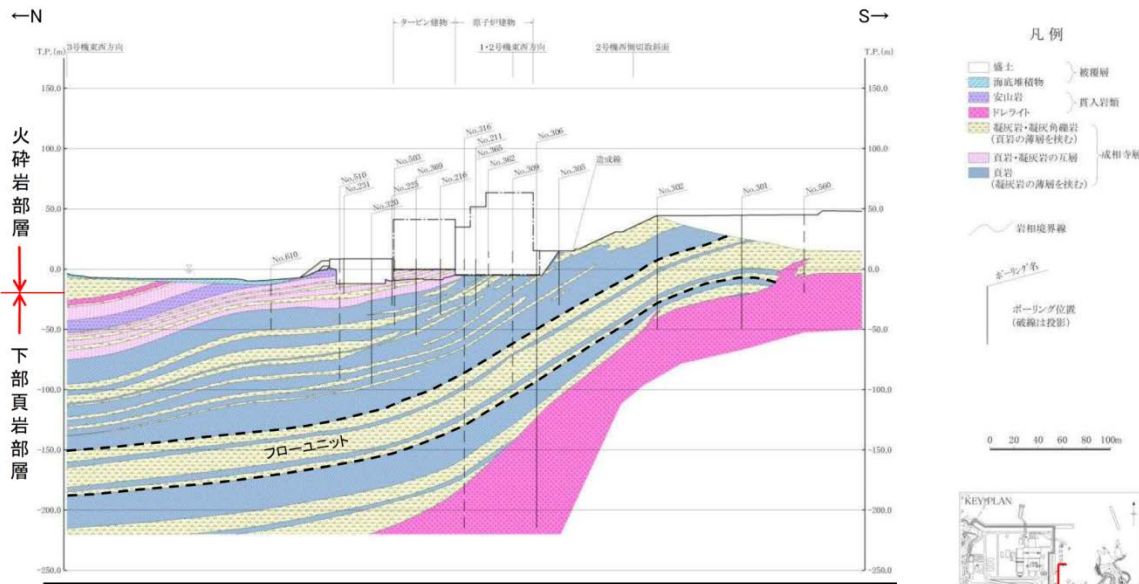
第 223 回審査会合
資料 2-1 P13 再掲



1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P15 再掲

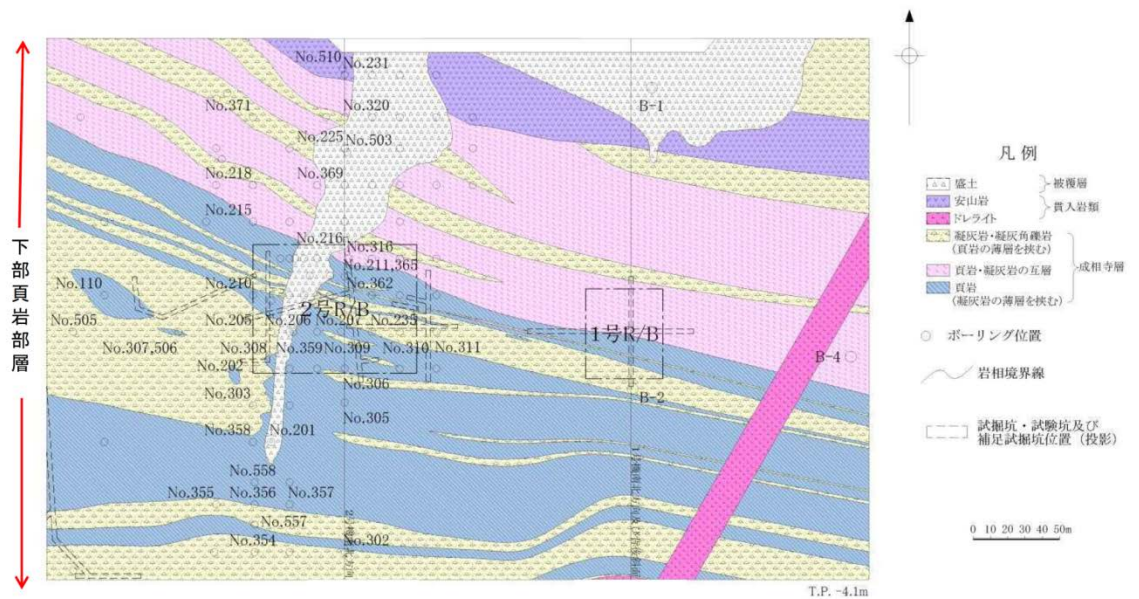


- ・2号炉原子炉建物基礎地盤には、主として下部頁岩部層、貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は、概ね西北西-東南東の走向を示し、北へ向かって約10° ~ 30° 傾斜している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質水平断面図(1・2号炉原子炉建物基礎地盤)

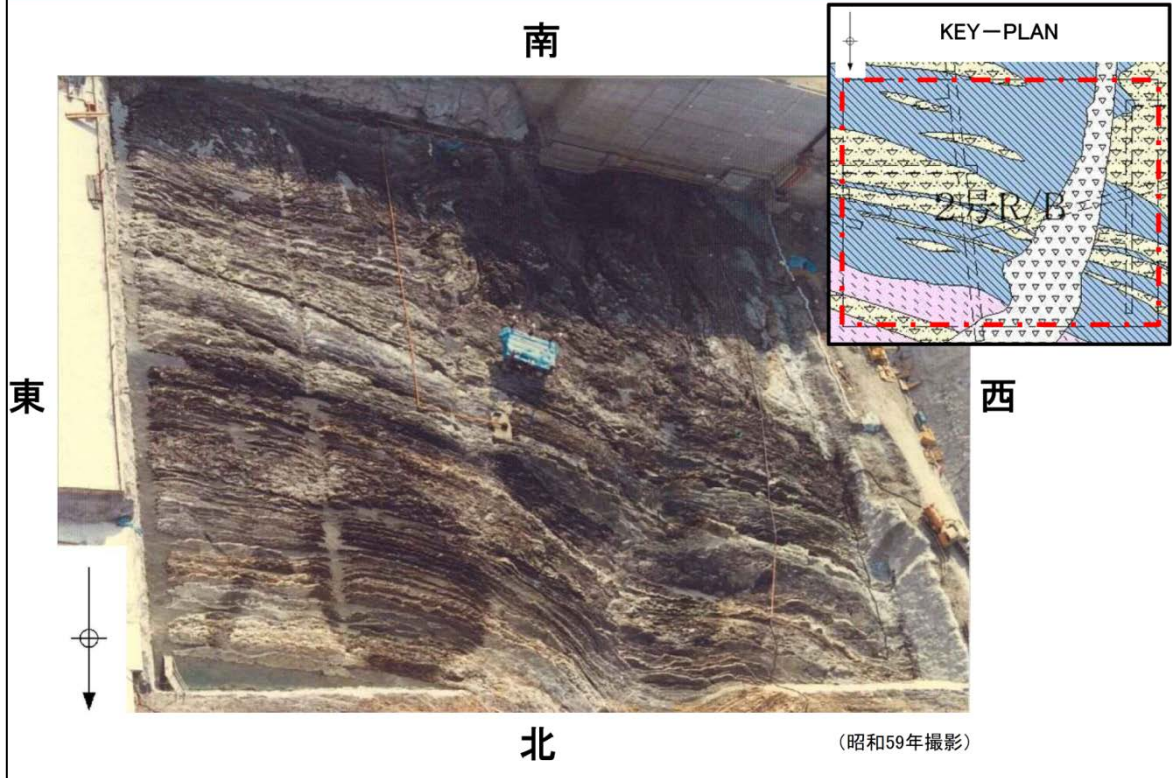
第 223 回審査会合
資料 2-1 P17 再掲



- ・成相寺層の構造は、概ね西北西-東南東の走向を示す。

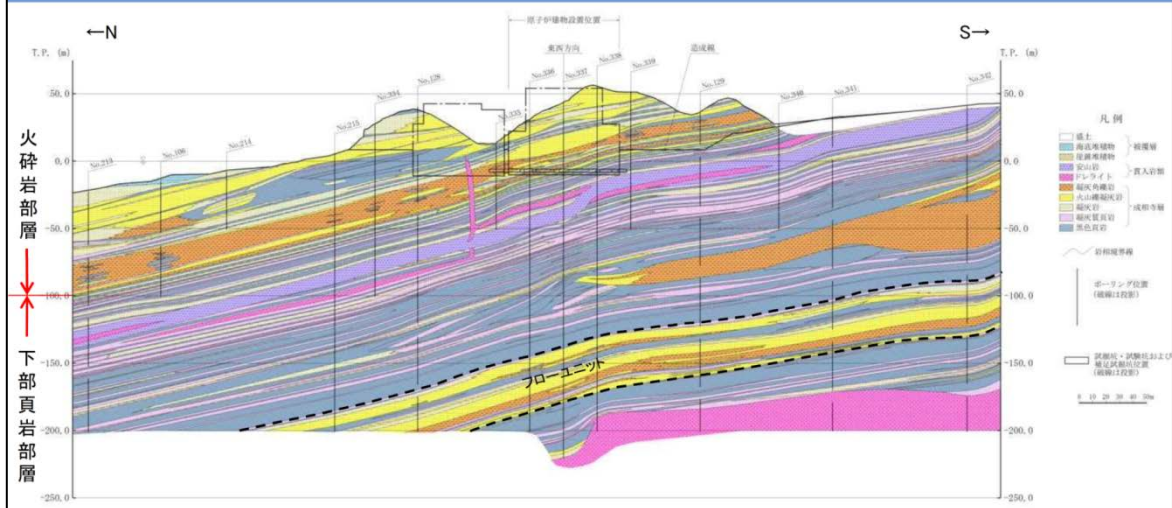
底面付近写真(2号炉原子炉建物基礎地盤)

第223回審査会合
資料2-1 P18再掲



地質鉛直断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第223回審査会合
資料2-1 P20再掲



- ・3号炉原子炉建物基礎地盤には、成相寺層(下部頁岩部層、火砕岩部層)及び貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・火砕岩部層は、主として凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩から構成される。
- ・成相寺層の構造は、ほぼ東西方向の走向を示し、北へ向かって約10°～20°緩く傾斜している。

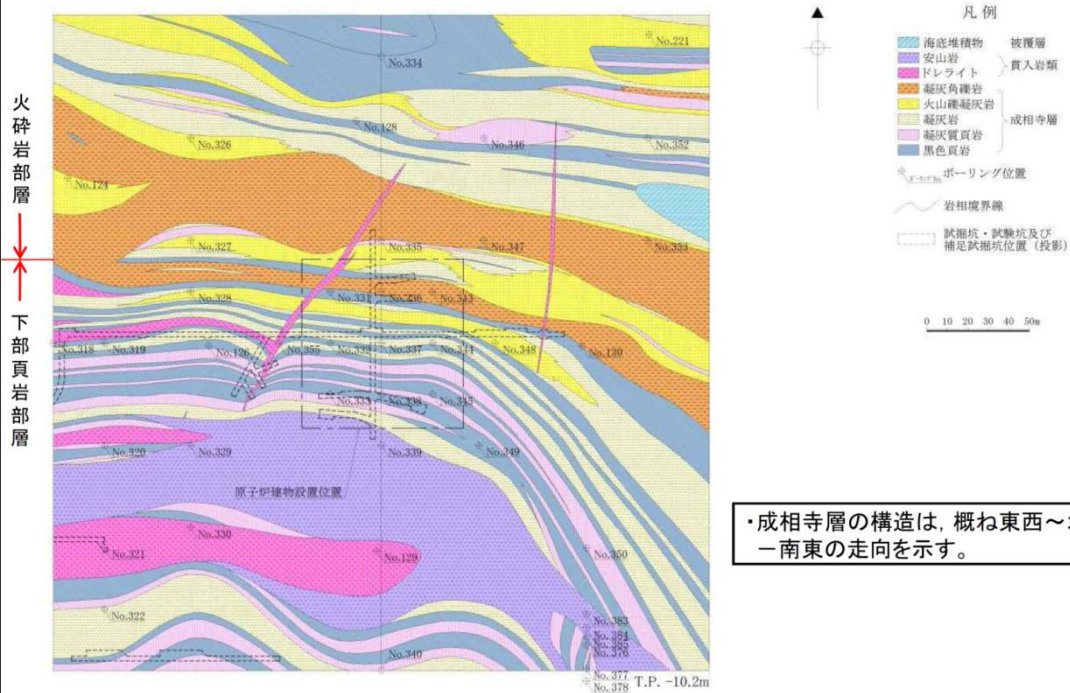
※BTV解析結果は補足説明資料「BTV解析による見掛けの傾斜(3号炉南北断面)」参照

注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質水平断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P21 再掲



・成相寺層の構造は、概ね東西～北西-南東の走向を示す。

注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

底面付近写真(3号炉原子炉建物基礎地盤)

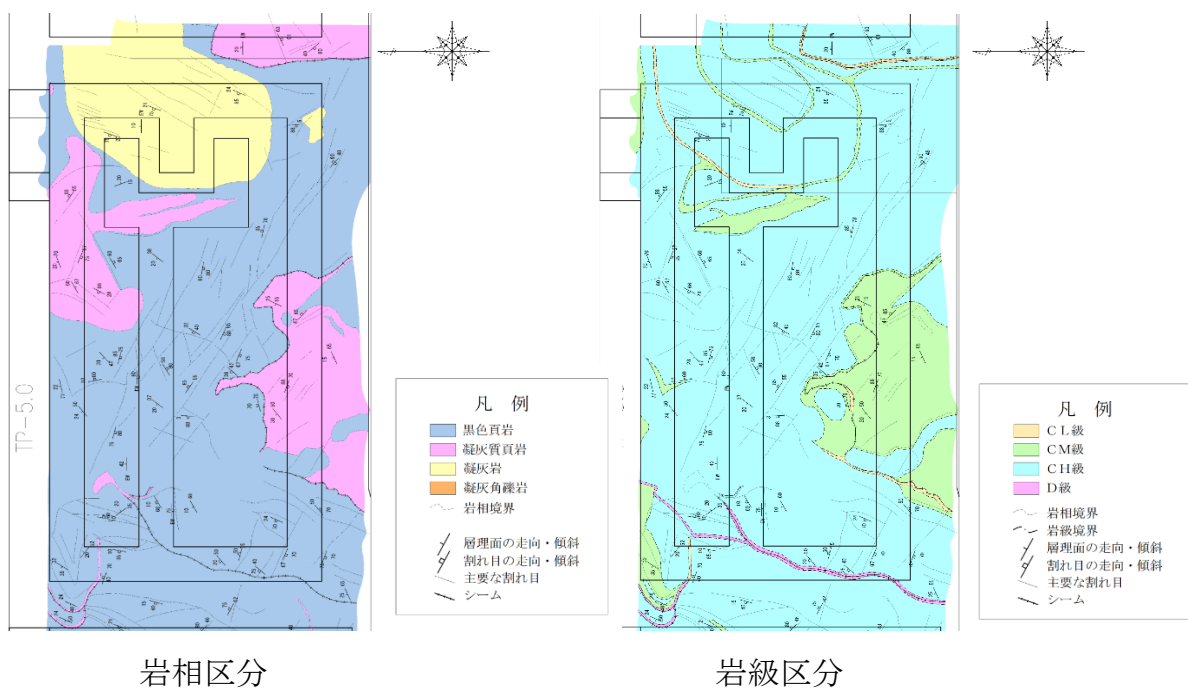
第 223 回審査会合
資料 2-1 P22 再掲



建物直下地盤周囲の地盤状況について

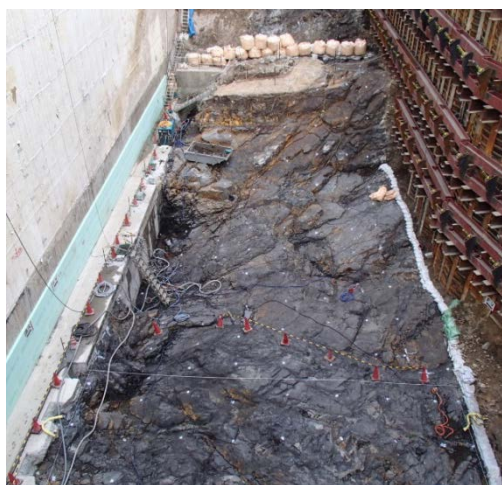
建物直下地盤周囲の地盤状況として、原子炉建物南側に隣接した土木構造物（第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽）の設置地盤における岩相区分及び岩級区分を第1図に示す。

建物直下地盤周囲における岩相は黑色頁岩（一部凝灰質頁岩）及び凝灰岩が確認され、岩級は主にCH級であることから、試験地盤は建物直下地盤と同等の地盤である。



岩相区分

岩級区分



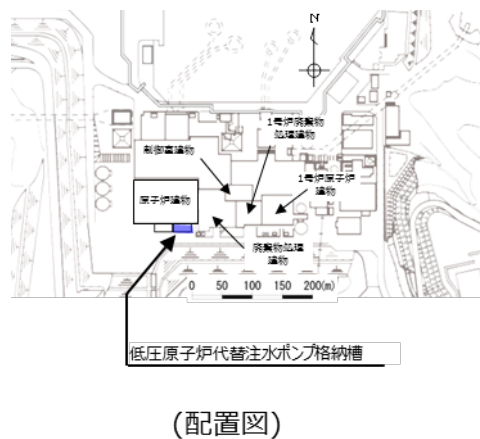
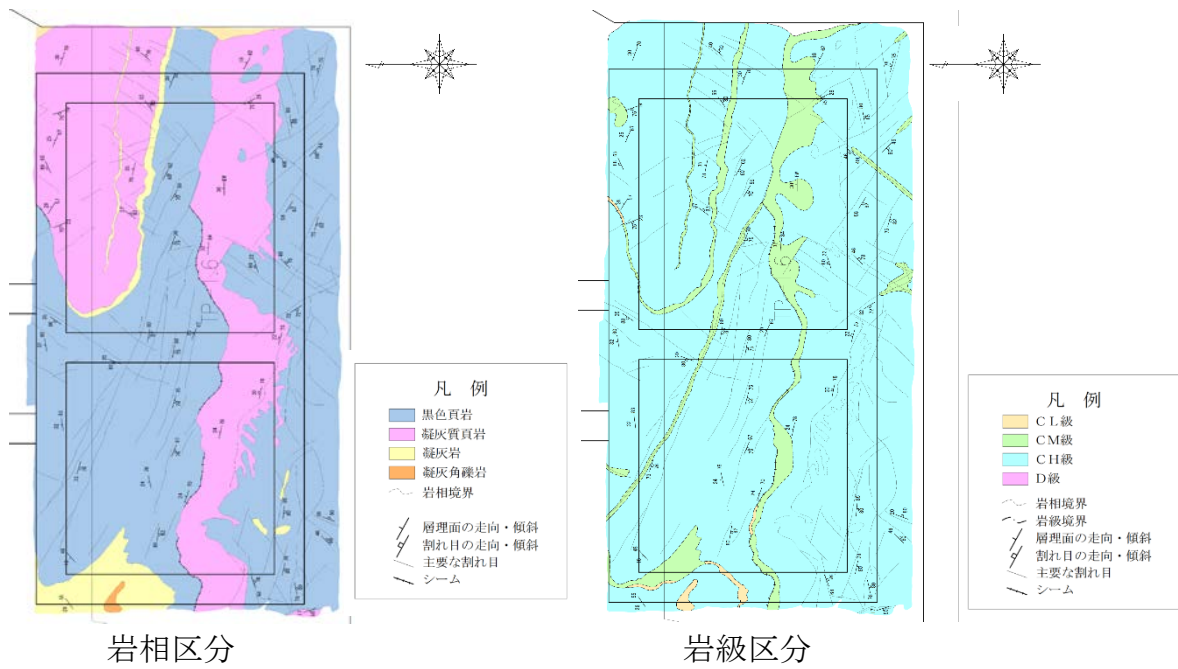
掘削面 (T. P. -5.0m)

(第1ベントフィルタ格納槽)



第1ベントフィルタ格納槽
(配置図)

第1図(1) 原子炉建物南側に隣接する土木構造物の設置地盤における岩相区分及び岩級区分



※：岩相区分及び岩級区分と方位を合わせるため、
写真を180°回転させている。

掘削面 (T. P. -1.6m)

(低压原子炉代替注水ポンプ格納槽)

第1図(2) 原子炉建物南側に隣接する土木構造物の設置地盤における
岩相区分及び岩級区分

島根原子力発電所 2 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
適切な組合せに関する検討について
(耐震)

目 次

1. はじめに
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
 - 2.1 島根原子力発電所の基準地震動
 - 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
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
 - 3.1 建物・構築物
 - 3.1.1 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
 - 3.1.2 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
 - 3.1.3 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
 - 3.1.4 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
 - 3.1.5 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
 - 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
 - 3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針
 - 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
 - 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
 - 3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出結果及び今後の評価方針

3.3 屋外重要土木構造物等

3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

3.3.2 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

3.3.3 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

3.3.4 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

3.3.5 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

3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

3.3.7 機器・配管系への影響評価

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備における評価対象構造物の抽出

3.4.2 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

3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

3.4.4 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

3.4.5 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

3.4.6 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

3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

3.4.8 機器・配管系への影響評価

別紙 10-1 機器・配管系に関する説明資料

- 参考資料－1 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明
- 参考資料－2 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する梁の力学的特性
- 参考資料－3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に用いる模擬地震波の作成方針

1. はじめに

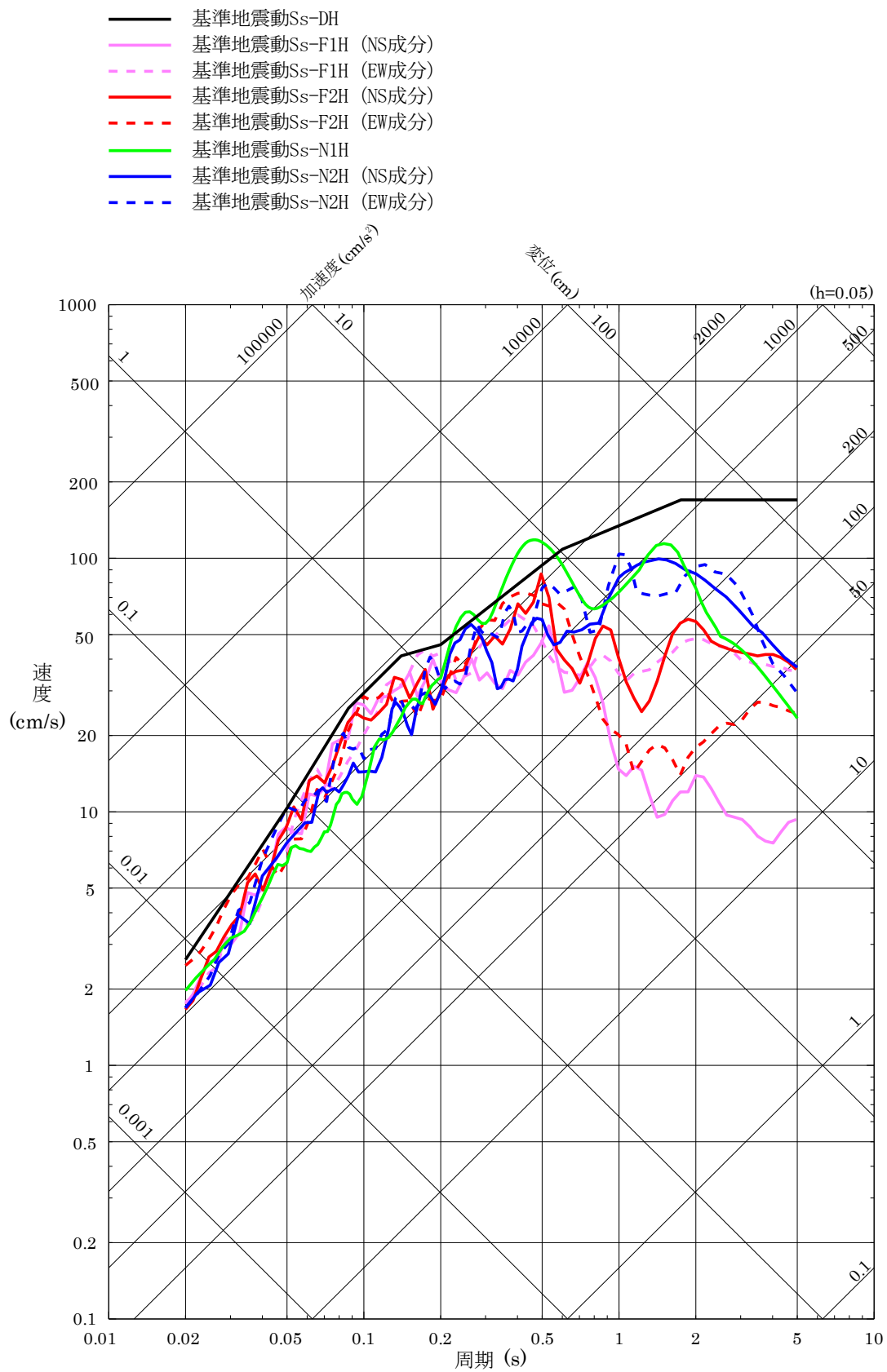
今回、新たに水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震設計に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。なお、評価対象部位の抽出結果及び影響評価結果については、工認段階で説明する。

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

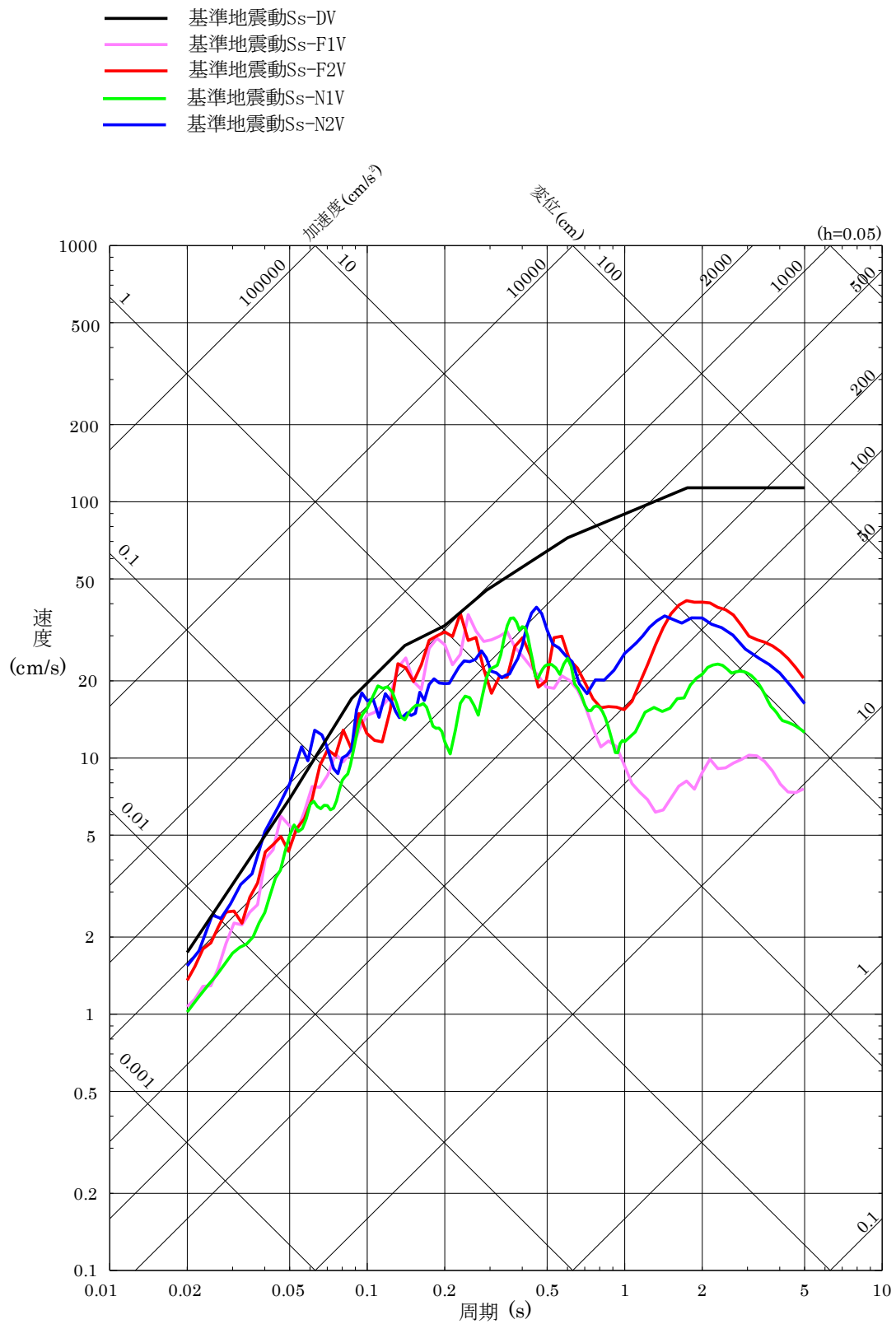
2.1 島根原子力発電所の基準地震動

島根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-D 、断層モデルを用いた地震動として S_s-F1 及び S_s-F2 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-N1 及び S_s-N2 を策定している。

基準地震動 S_s-D 、 S_s-F1 、 S_s-F2 、 S_s-N1 及び S_s-N2 のスペクトル図（水平方向）を第2.1-1図に、基準地震動 S_s-D 、 S_s-F1 、 S_s-F2 、 S_s-N1 及び S_s-N2 のスペクトル図（鉛直方向）を第2.1-2図に示す。



第 2.1-1 図 基準地震動 S s の応答スペクトル (水平方向)



第 2.1-2 図 基準地震動 S s の応答スペクトル (鉛直方向)

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

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。

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

3.1 建物・構築物

3.1.1 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、原子炉施設における建物・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。

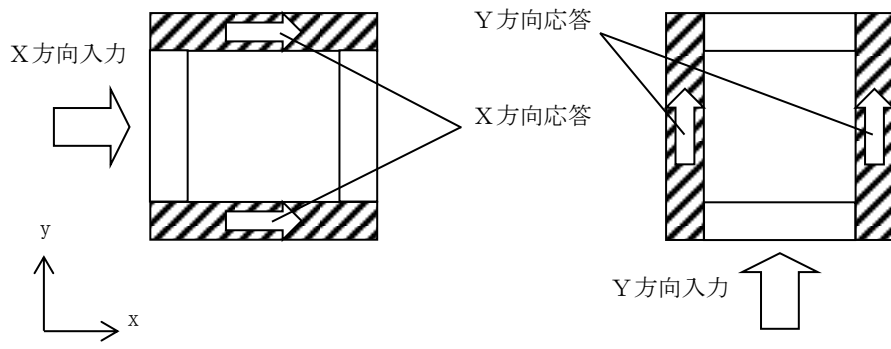
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

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。

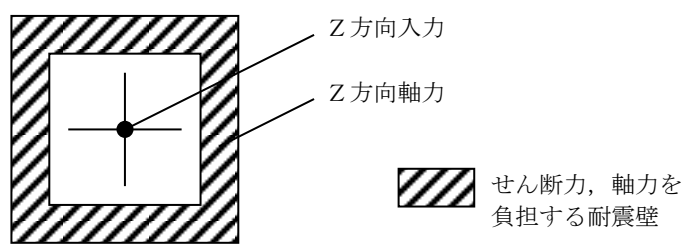
入力方向ごとの耐震要素について、第3.1.1-1図及び第3.1.1-2図に示す。

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から算出された応答を、水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

また、排気筒については、斜め方向に作用する地震力に対して隅柱（主柱材）の軸力が大きくなる場合を想定した検討も実施している。

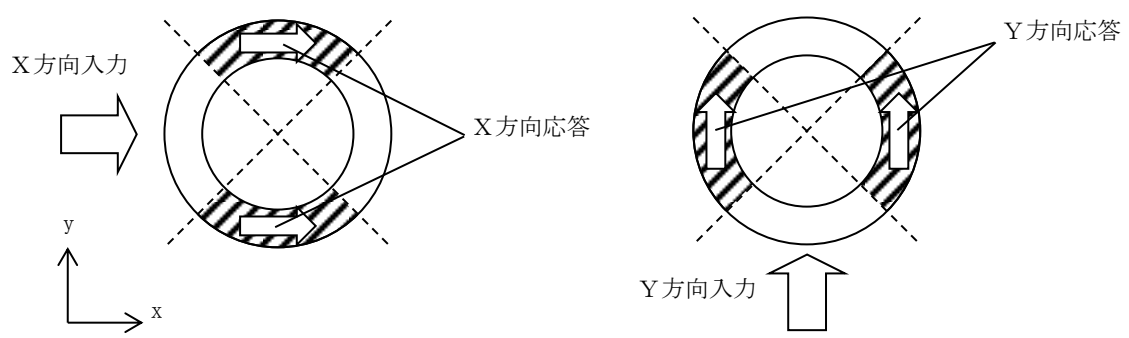


(a) 水平方向

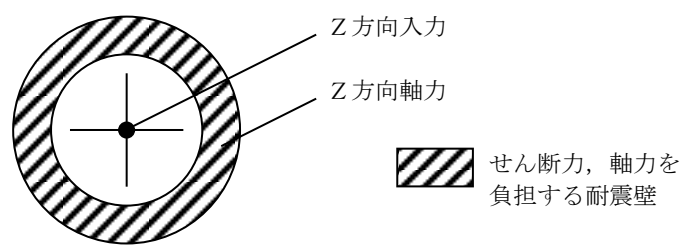


(b) 鉛直方向

第 3.1.1-1 図 入力方向ごとの耐震要素 (矩形)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 3.1.1-2 図 入力方向ごとの耐震要素 (円筒形)

3.1.2 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。

影響検討のフローを第3.1.2-1図に示す。

(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次元的な建物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、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次元解析モデルの精査は、施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、原子炉建物の3次元FEM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1)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)等の最大応答の非同時性を考慮した地震力を設定する。

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。

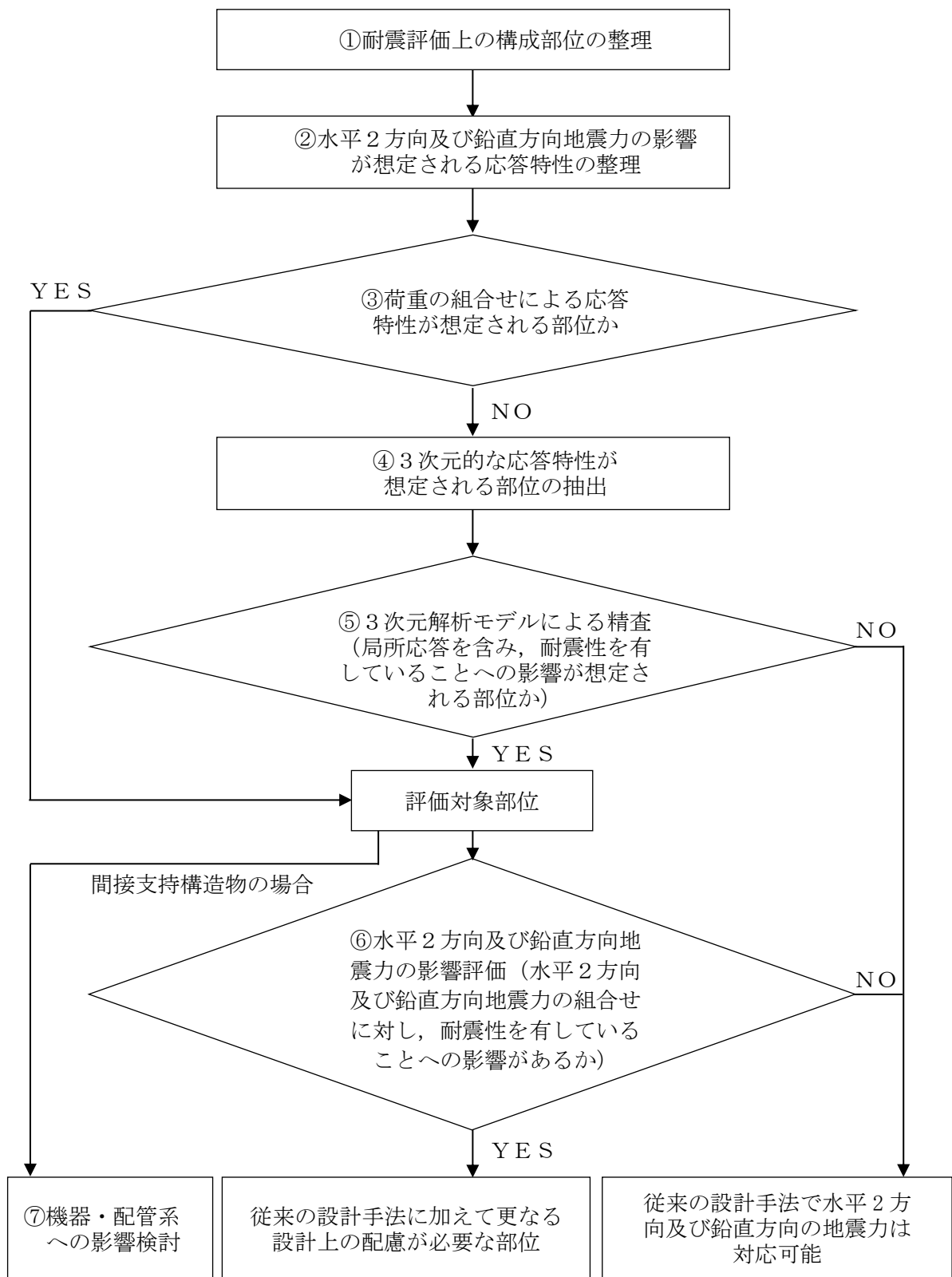
注1: REGULATORY GUIDE 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

(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方向及び鉛直方向入力時と水平1方向入力時の加速度応答スペクトルを比較する等、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。

なお、(5)の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元FEMモデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。



第 3.1.2-1 図 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

3.1.3 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。確認した結果を第3.1.3-1表に示す。

第3.1.3-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (1/2)

耐震性評価部位	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨		RC造	上部鉄骨				
柱	一般部	○	RC造	○	RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	隔部	○	RC造	○	RC造	○	○ (主柱材)	○	○
	地下部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
梁	一般部	○	RC造	○	RC造	○	○ (水平材)	○	○
	地下部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	鉄骨	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	トラス	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
壁	一般部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	円筒部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	地下部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	鉄骨 ブレース	○	RC造	○	RC造	○	○ (斜材)	○	○
床 屋根	一般部	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
	矩形	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
基礎	杭基礎	○	RC造	○	RC造	○	○	○	○
		○	RC造	○	RC造	○	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材あり，－：対象の部材なし

※：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。

第3.1.3-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (2/2)

耐震性評価部位	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	RC造	S造, SRC造, RC造						
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	-	-	○
	隅部	○	○	○	○	○	○	○(主柱材)	-	○
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	○	○	○	○	○	○	○(水平材)	○	○
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	○	-	○	-	-	-	-	-
	一般部	○	○	○	○	○	○	-	○	-
壁	円筒部	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
	鉄骨ブレース	-	○	-	-	-	-	○(斜材)	-	○
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	-	○	-
	矩形 杭基礎	○	-	○	○	○	○	○	○	-
基礎	一般部	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の部材なし

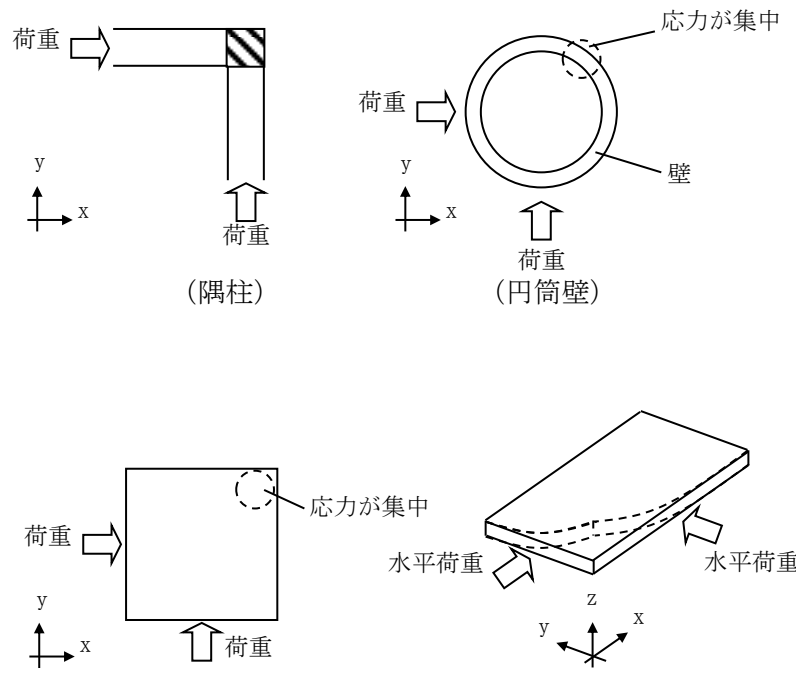
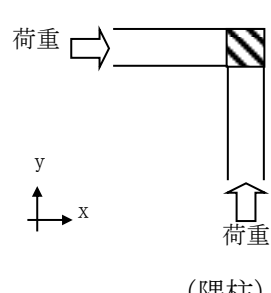
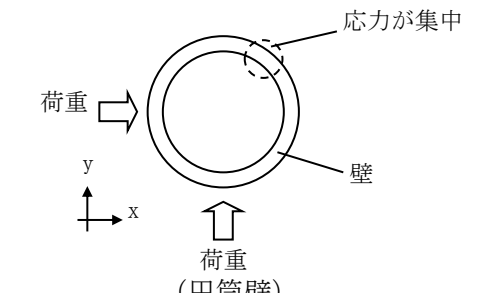
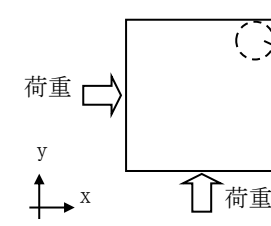
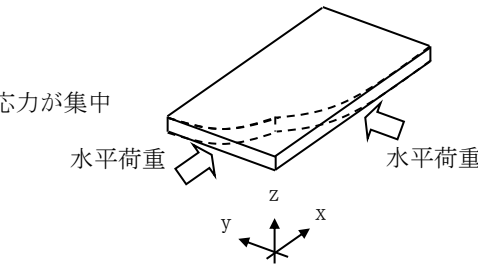
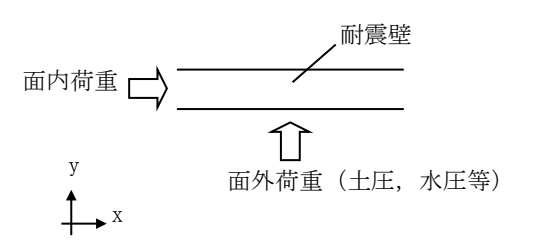
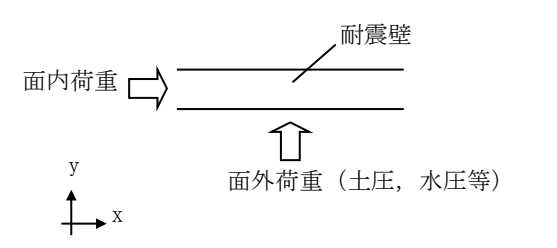
※：本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

(2) 応答特性の整理

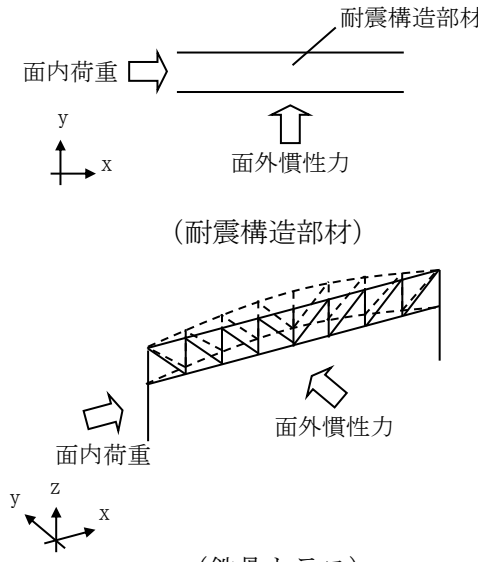
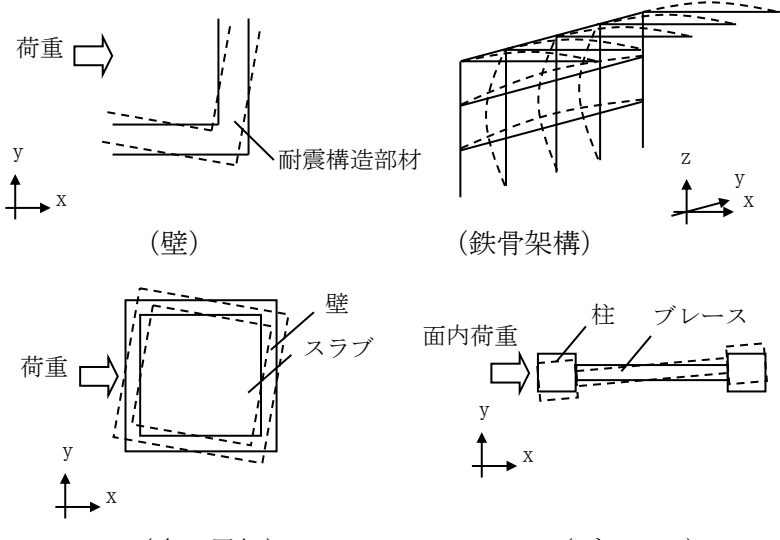
建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.1.3-2表及び第3.1.3-3表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のを考え方を第3.1.3-4表に示す。

なお、本資料は、一般的に想定される形状を前提として記載しているものであり、詳細設計においては、構造図に基づき各建物・構築物の部位の実状を踏まえ検討を行う。

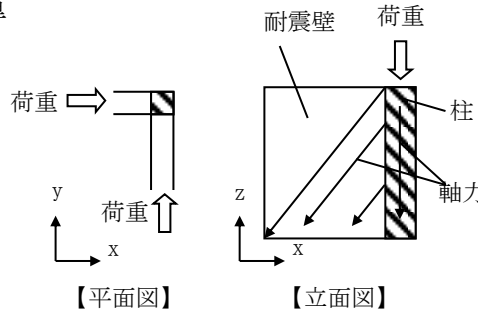
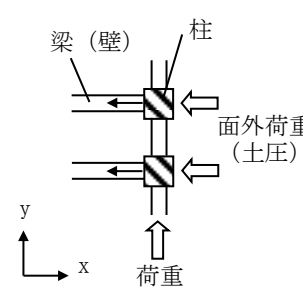
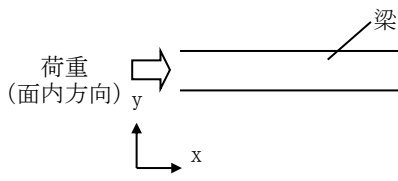
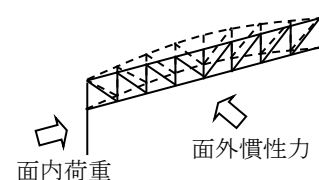
第 3.1.3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が
 想定される応答特性
 (荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>荷重 →  (隅柱)</p> <p>荷重 →  応力が集中 壁 (円筒壁)</p> <p>荷重 →  応力が集中 (矩形の基礎版)</p> <p>水平荷重  水平荷重</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の 荷重を負担 しつつ、 面外方向の 荷重が作用</p>	<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 (例)</p>  <p>面内荷重 →  耐震壁 ↑ 面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

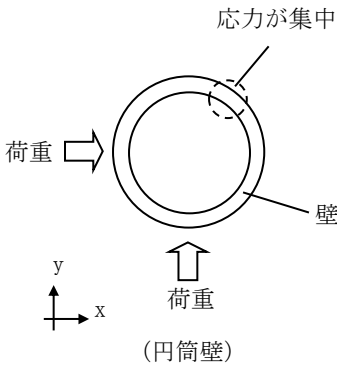
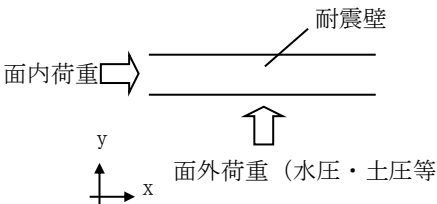
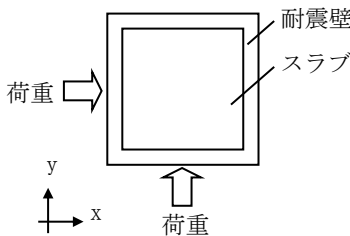
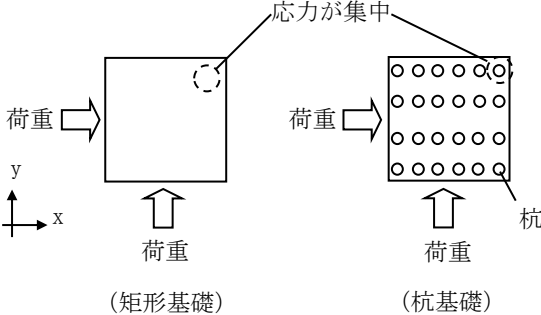
第 3.1.3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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

第 3.1.3-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力
の考え方 (1/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の考え方
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>
柱	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，外周部は耐震壁付のため，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及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，床及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，床及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> 

第 3.1.3-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力
 の考え方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の考え方
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 style="text-align: center;">(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 style="text-align: center;">(耐震壁)</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 style="text-align: center;">(耐震壁)</p> <p style="text-align: center;">(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 style="text-align: center;">(矩形基礎)</p> <p style="text-align: center;">(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

第 3.1.3-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.1.3-2 表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。抽出した結果を第 3.1.3-5 表に示す。

a. 柱

柱については、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、隅柱が考えられる。

建物並びに原子炉建物（1号炉及び2号炉）及びタービン建物（1号炉及び2号炉）の上部鉄骨の隅柱は、耐震壁又は鉄骨ブレース付きの隅柱であり、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。

排気筒（1号炉及び2号炉）の隅柱（支柱材）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、床及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。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉建物のドライウエル外側壁の様に、建物中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている場合は、①-1の部位に該当しない。

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、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、各建物の地下外壁、燃料プールの一般部の壁を、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、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物及び排気筒については、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、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。

第3.1.3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/2)

(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)

耐震性評価部位	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨		RC造	上部鉄骨				
柱	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	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	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	①-1	該当なし	該当なし
梁	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	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	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	①-1	該当なし	該当なし
壁	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	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	該当なし
	①-2	①-2	①-2	①-2	①-2	①-2	-	-	-
床 屋根	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	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	該当なし
	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1
基礎	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造

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」

※：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。

第3.1.3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/2)

(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)

耐震性評価部位	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	RC造	S造, SRC造, RC造						
柱	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
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	-	該当なし
	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	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	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
	円筒部	該当なし	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	①-2	-	①-2	-	-	-	-	-	-
床 屋根	鉄骨 ブレース	-	該当なし	-	-	-	-	該当なし	-	該当なし
	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	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」

※：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。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第3.1.3-1表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、第3.1.3-3表に示す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。抽出した結果を第3.1.3-6表に示す。

a. 柱

(3)で抽出されている以外の各建物の柱は各部とも、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「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。

各建物は、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「加振方向以外の方向に励起される振動」に関しても該当しない。

b. 梁

各建物(RC造)の梁一般部及び地下部は剛性の高い床や耐震壁が付帯し、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

原子炉建物(1号及び2号炉)、タービン建物(1号及び2号炉)の上部鉄骨の梁一般部及び鉄骨トラス部並びにサイトバンカ建物、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の梁一般部は、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(1号及び2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物の壁については、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「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

また、排気筒(1号及び2号炉)の鉄骨ブレース(斜材)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

各建物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「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

e. 基礎

矩形の基礎は、(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。

第3.1.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/2)

(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	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物処理建物	排気筒	緊急時対策所	ガスタービン発電機建物
	燃料プール	上部鉄骨		RC造	S造, SRC造, RC造				
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	②-1	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	②-1	—	—
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	要①-2	不要	不要
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	—	要①-2	—	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	—	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	基礎	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1
基礎	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要：荷重組合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」

(注1) 大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

※：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。

第3.1.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/2)

(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	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	S造, SRC造, RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	—	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要 ^(注1)	不要 ^(注1)	不要	不要 ^(注1)	不要	②-2	不要	②-1
	地下部	不要	—	—	不要	—	—	—	—	—
	鉄骨トラス	—	不要 ^(注1)	不要 ^(注1)	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	—
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	—	要①-2	—	—	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	不要	—	—	—	—	②-2	—	不要
床屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	
基礎	矩形	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例

- ・要：荷重組合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」

(注1) 大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。
 ※：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。

(5) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出結果

建物・構築物において、3次元的な応答特性が想定されるとして抽出した部位を第3.1.3-7表に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

- a. 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」
梁（一般部・鉄骨トラス）について、大スパン架構であり、鉄骨トラスの下部に上位クラス施設がある、原子炉建物（2号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- b. 応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」
梁（一般部）及び壁（鉄骨ブレース）について、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- c. 局所的な応答
耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について精査を行う。精査は、3.1.2(5)3次元解析モデルに基づく精査に基づき、施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、原子炉建物（2号炉）を代表として評価する。

第 3.1.3-7 表 3次元解析モデルを用いた精査が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物	代表評価部位
②-1	梁	一般部・ 鉄骨トラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建物（2号炉）</u> ・ 燃料移送ポンプエリア 竜巻防護対策設備 	大スパン架構であり，鉄骨トラスの下部に上位クラス施設がある，原子炉建物（2号炉）の鉄骨トラスを評価する。
②-2	梁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の梁一般部（水平材）を評価する。
	壁	鉄骨ブレース	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の鉄骨ブレース（斜材）を評価する。
局所的な応答	耐震評価部位全般		<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建物（2号炉） 	施設の重要性，建物規模及び構造特性を考慮し，原子炉建物（2号炉）を代表として評価する。

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

凡例 ・「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」

※：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。

(6) 3次元解析モデルによる精査の方針

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した代表評価部位について、3次元解析モデルによる精査を行う。精査の方針を第3.1.3-8表に示す。

3次元解析モデルを用いた精査方法として、水平2方向及び鉛直方向を同時入力時の応答の、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。評価に用いる地震動については、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に基づき、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。

第 3.1.3-8 表 3次元解析モデルを用いた精査の方針

応答特性	耐震評価部位		対象建物	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
②-1	梁	一般部・ 鉄骨トラス	・原子炉建物 (2号炉)	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
②-2	梁	一般部	・排気筒 (2号炉)	同上	同上
	壁	鉄骨 ブレース	・排気筒 (2号炉)	同上	同上
局所的 な応答	耐震評価 部位全般		・原子炉建物 (2号炉)	同上	同上

凡例 ・「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」

※：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。

3.1.4 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

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第3.1.4-1表に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

- (1) 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」
柱（隅部）について、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）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を行う。

基礎（矩形）について、対象建物・構築物の中で規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している原子炉建物基礎（2号炉）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を行う。

- (2) 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」

壁（水圧・土圧作用部）について、対象建物・構築物の中で、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）の影響が大きいと考えられる燃料プール（2号炉）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を行う。

第 3.1.4-1 表 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	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の隅柱（主柱材）を代表として評価する。
	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建物（2号炉）</u> ・ 制御室建物 ・ タービン建物（2号炉） ・ 廃棄物処理建物（2号炉） ・ 排気筒（2号炉） ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 ・ 原子炉建物（1号炉） ・ タービン建物（1号炉） ・ 廃棄物処理建物（1号炉） ・ サイトバンカ建物 ・ サイトバンカ建物（増築部） ・ 排気筒（1号炉） ・ 排気筒モニタ室 	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物（2号炉）の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>燃料プール</u> ・ 原子炉建物（2号炉） ・ タービン建物（2号炉） ・ 廃棄物処理建物（2号炉） ・ 原子炉建物（1号炉） ・ タービン建物（1号炉） ・ 廃棄物処理建物（1号炉） 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する燃料プールの壁を代表として評価する。

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

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」

※：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。

3.1.5 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。評価に当たっては、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第3.1.5-1表に示す。

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又は基準地震動 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 GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) 等の最大応答の非同時性を考慮した評価により実施する。

第3.1.5-1表 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	隅部	・排気筒 (2号炉)	基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 及び S_s-N2 を用いることを基本とする。 なお、代表波による検討を実施する場合は、従来手法による解析結果の値に対する許容値の割合が最も小さい地震動を選定する。
基礎	矩形	・原子炉建物 (2号炉)	同上
壁	水圧作用部	・燃料プール (2号炉)	同上

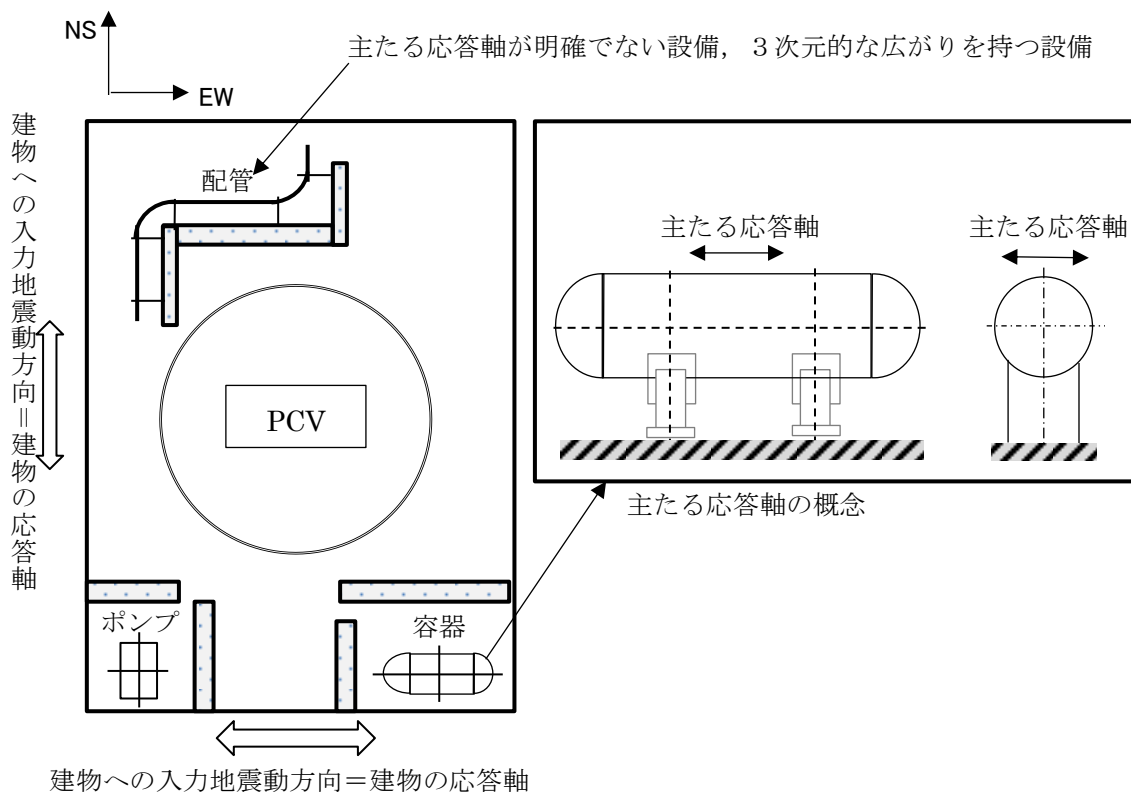
※：本表は、今後の審査進捗 (詳細設計) に応じて見直しを行う。

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_s 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第 3.2.1-1 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 3.2.1-1 図 設備配置及び応答軸の概念図

3.2.2 水平2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の算出方法として、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方法又は新たな解析等により高度化した手法を用いることにより、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 $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 、 $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ 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。スロッシング評価については、水平2方向の影響が考えられることから、水平2方向による影響を確認する。なお、燃料プール等のスロッシングによる溢水量評価は、設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）の解析評価（「別添1 内部溢水の影響評価について」の「8. 燃料プールのスロッシングに伴う溢水評価について」）に記載のとおり、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた場合の溢水量として、保守的に水平1方向＋鉛直方向の溢水量に、直交する水平1方向＋鉛直方向の溢水量を足し合わせ、影響を確認している。

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3.2.3-1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3.2.3-1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方向の地震力が重畳する観点、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3.2.3-1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造物の検討により、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。

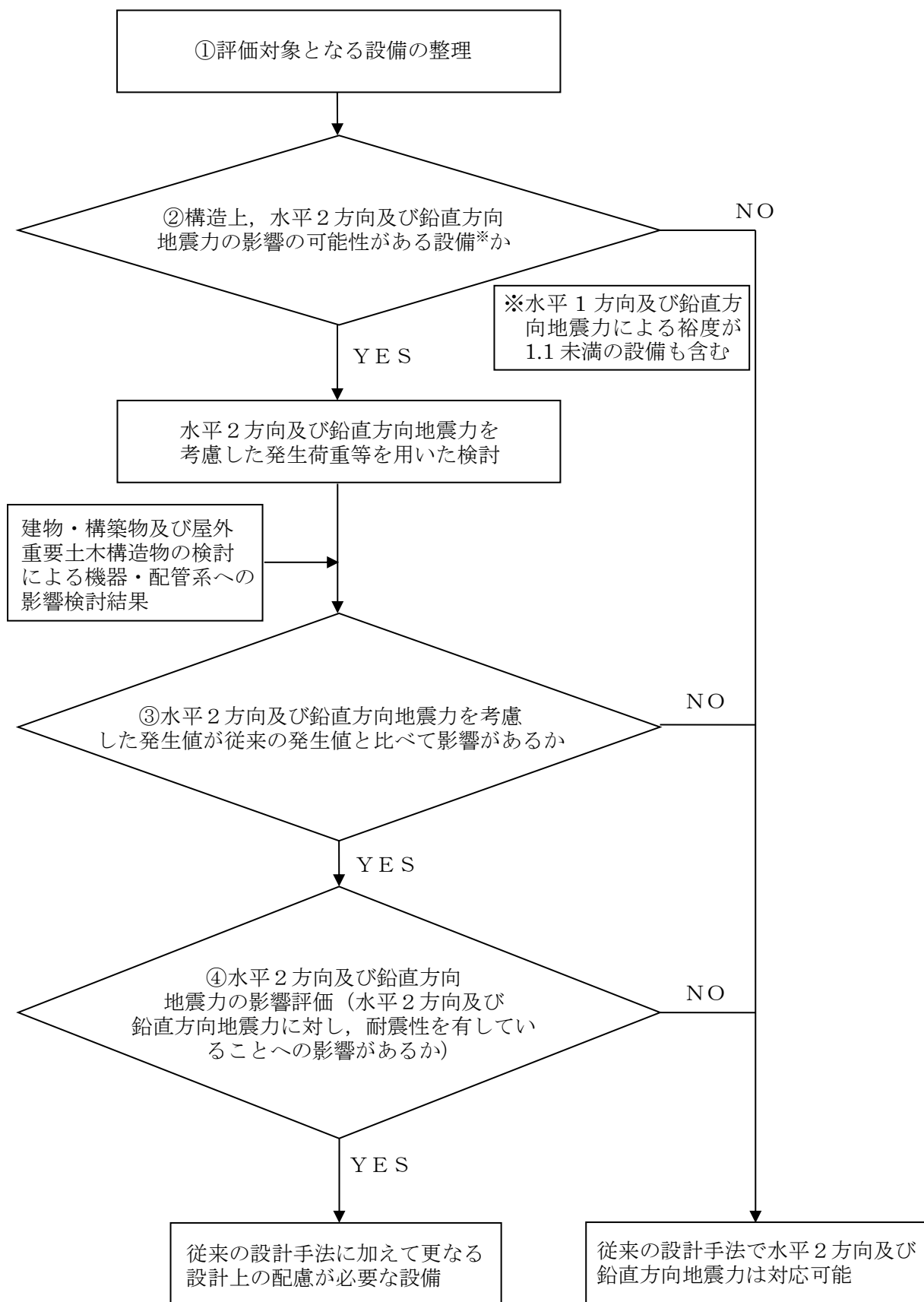
影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕

度が小さい設備（部位）を対象とする。（第3.2.3-1 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。

なお、現時点においては、上記①及び②を実施し、今後、詳細設計段階にて③及び④を実施することとする。



第3.2.3-1 図 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ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3.2.4-1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方向の地震力が重畳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。なお、重大事故等対処施設等の一部については評価部位等を検討中であるため、設計が確定する工認段階で抽出、影響評価を行う。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

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畳した場合、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のある設備を抽出する。以下の場合には、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した（別紙10-1参照）。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、今後の詳細検討においては水平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安全側となるように最大応答の非同時性を考慮したSRSS法、組合せ係数法、3軸時刻歴解析等の手法を用いて水平2方向の影響について検討を行うこととする。また、影響の分類基準としている1割の増分についても、詳細検討において必要に応じて見直しを検討することとする。

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いえるもの

原子炉压力容器スタビライザ，原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグは，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等のものと分類した。

- 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

ドライヤ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有意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設備は無かった。

3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出結果及び今後の評価方針

3.2.4 項で抽出した結果を別紙 10-1 に示す。これらの設備に関して、今後 3.2.3 項③「発生値の増分による抽出」に記載の方法に従い、発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、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、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果より、機器・配管系の耐震性への影響を与える判断された設備についても同様に発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、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。

第 3.2.4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※ ¹		評価部位	応力分類			
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 下部胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
		中間胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
			座屈			
		上部格子板支持面 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 一次一般膜応力+一次曲げ応力 軸圧縮応力			
		シリンダ プレート 下部胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
		上部格子板	グリッドプレート 一次一般膜応力 一次一般膜応力+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 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
		スタッド	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力 一次一般膜応力+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 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
	原子炉圧力容器	円筒胴 下鏡及びスカート	円筒胴 下鏡 下鏡と円筒胴の接合部 スカートと円筒胴の接合部	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力		
			スカート	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力 軸圧縮応力		
				ハウジング	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力	
スタブチューブ					一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力 軸圧縮応力	
					ノズル	各部位 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力
						ブラケット類
		ドライヤ支持ブラケット 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力				
炉心スプレイブラケット 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力						
給水スパーチャブラケット		一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力				
		純せん断応力				

設備※ ¹		評価部位	応力分類	
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	引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
	原子炉本体の基礎	円筒部（内筒） 円筒胴（外筒）		せん断応力
				組合せ応力
		円筒部（たてリブ） CRD開口まわり（CRD開口はり）		せん断応力
				曲げ応力
基部アンカ部（基礎ボルト） 基部アンカ部（ベースプレート）		引張応力		
		曲げ応力		
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 ブラケット	引張応力	
			せん断応力	
			曲げ応力	
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ フランジボルト ガセットプレート		引張応力
				せん断応力
				圧縮応力
				曲げ応力
				組合せ応力
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレントビーム レストレントビーム端部 レストレントビームボルト		曲げ応力
				引張応力
				せん断応力 組合せ応力
	ジェットポンプ計測配管貫通部シール	貫通部シール		一次一般膜応力
				一次一般膜応力＋一次曲げ応力
				一次＋二次応力
				一次＋二次＋ピーク応力
	差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーよりN11ノズルまでの外管）	差圧検出管		一次一般膜応力
				一次一般膜応力＋一次曲げ応力
				一次＋二次応力
				一次＋二次＋ピーク応力
	原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	蒸気乾燥器ユニット 耐震用ブロック	一次一般膜応力
一次一般膜応力＋一次曲げ応力				
気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 原子炉中性子計装案内管		各部位		一次一般膜応力
				一次一般膜応力＋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
	一次一般膜応力＋一次曲げ応力			
ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース		一次一般膜応力	
			一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
使用済燃料貯蔵ラック	ラック部材 シートプレート及びベース		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
	ラック取付ボルト 基礎ボルト		引張応力	
せん断応力 組合せ応力				

設備※ ¹	評価部位	応力分類
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	サポート部材	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	底部基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	サポート部基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
アキュムレータ	胴板	一次一般膜応力
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		一次＋二次応力
脚	組合せ応力	
たて置円筒形容器（ラグ支持）	胴板	一次一般膜応力
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		一次＋二次応力
	ラグ	組合せ応力
	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
組合せ応力		
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
		引張応力
	基礎ボルト 取付ボルト	せん断応力
		組合せ応力
ECCSストレーナ	全ディスクセットの多孔プレート ディスクセット間の円筒形多孔プレート リップ コンプレッションプレート フィンガ ストラップ フランジ	一次一般膜応力＋一次曲げ応力
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	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		一次＋二次応力
	脚	組合せ応力
	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
組合せ応力		
たて置円筒形容器（スカート支持）	胴板	一次一般膜応力
		一次＋二次応力
	スカート	組合せ応力
	座屈	
	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
組合せ応力		

設備※1		評価部位	応力分類
水圧制御ユニット	フレーム	引張応力	
		せん断応力	
		圧縮応力	
		曲げ応力	
		組合せ応力	
	取付ボルト	引張応力	
せん断応力			
組合せ応力			
平底たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	
		一次＋二次	
	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	
		せん断応力 組合せ応力	
核計測装置	各部位	一次一般膜応力	
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
伝送器（矩形床置）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
伝送器（矩形壁掛）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
制御盤，電気盤（矩形床置）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
制御盤，電気盤（矩形壁掛）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
モニタリング設備（矩形床置）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
モニタリング設備（矩形壁掛）	取付ボルト	引張応力	
		せん断応力	
		組合せ応力	
原子炉格納容器	ドライウエル	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部 円筒部とナックル部の接合部 ナックル部と球形部の接合部 球形部と円筒部の接合部 円筒部と球形部の接合部	
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
		一次＋二次応力	
		球形部の板厚変化部	
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
		一次＋二次応力	
	円筒部	一次一般膜応力	
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
	基部	一次＋二次応力	
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
	サブプレッションチェンバ	各部位	一次一般膜応力
			一次一般膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	ベント管	ヘッド接続部 ベント管円筒部 ベント管とドライウエルとの接合部	一次一般膜応力
一次一般膜応力＋一次曲げ応力			
一次＋二次応力			

設備※1		評価部位	応力分類	
原子炉格納容器	サブプレッションチェンバサポート	サポート ベースとベースプレートの接合部	引張応力 せん断応力 圧縮応力 曲げ応力 組合せ応力	
		シアキー	せん断応力 支圧圧力	
		ベースプレート シアプレート	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力	
		コンクリート部	圧縮応力	
		ボルト 基礎ボルト	引張応力	
		シヤラグ	内側メイルシヤラグ 外側メイルシヤラグ 内側フィメイルシヤラグ 内側フィメイルシヤラグリブ付根部 外側フィメイルシヤラグ	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力
			内側メイルシヤラグ接触部 外側メイルシヤラグ接触部 内側フィメイルシヤラグ接触部 外側フィメイルシヤラグ接触部 コンクリート（ベースプレート部，シヤプレート部）	支圧圧力
			基礎ボルト	引張応力
			ベースプレート シヤプレート	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力
			内側シヤラグサポート	引張応力 圧縮応力
	シヤラグ取付部		一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力	
	ハッチ類		ハッチ円筒胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
			ハッチ本体と補強板との結合部	一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	原子炉格納容器配管貫通部		原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	原子炉格納容器電気配線貫通部		原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	ダウンカマ	ダウンカマ	一次一般膜応力 一次応力（曲げ応力を含む） 一次＋二次応力	
			ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次応力（曲げ応力を含む） 一次＋二次応力 一次＋二次＋ピーク応力
		ベントヘッド	ベントヘッド	一次一般膜応力 一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
			ベントヘッド強め輪取付部	一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	ベントヘッドサポート		引張応力 圧縮応力 曲げ応力 組合せ応力	

設備※ ¹	評価部位	応力分類
ベントヘッド	強め輪	引張応力
		せん断応力
		圧縮応力
		曲げ応力
	ピン	組合せ応力
		せん断応力
		曲げ応力
		支圧圧力
ドライウェルスブレイ管 サブプレッションチェンバスブレイ管	スブレイ管 スブレイ管とスブレイ管案内管 スブレイ管案内管	一次一般膜応力＋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 ブロウ	ブレース	圧縮応力
	ベース取付溶接部	せん断応力
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
ガスタービン発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
配管本体、サポート（多質点はりモデル解析）	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（静的触媒式水素処理装置、架台を含む）	各部位	各応力分類
通信連絡設備（アンテナ類） （矩形床置）	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
通信連絡設備（アンテナ類） （矩形壁掛）	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
除じん機エリア防水壁 防波扉 水密扉	各部位	各応力分類
取水槽床ドレン逆止弁	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
貫通部止水処置	モルタル	せん断荷重
		圧縮荷重
屋外排水路逆止弁	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
取水管立入ピット閉止板	蓋	曲げ応力
		せん断応力
		組合せ応力
	固定ボルト	せん断応力
取水槽水位計	取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
津波監視カメラ	据付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力

設備※1	評価部位	応力分類
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	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	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）	せん断応力
	吊具	吊荷荷重
原子炉建物天井クレーン	クレーン本体ガーダ	せん断応力
		曲げ応力
		浮上り量
	落下防止ラグ	圧縮応力
	トロリストッパ	せん断応力
		曲げ応力 組合せ応力
トロリ	浮上り量	
吊具	吊荷荷重	
ガンマ線遮蔽壁	胴基部 開口集中部	せん断応力
		圧縮応力
		曲げ応力
		組合せ応力
制御棒貯蔵ハンガ	サポート	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	振止め部	引張応力
		せん断応力 組合せ応力
	基礎ボルト	引張応力 せん断応力
チャンネル着脱装置	ガイドレール	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	カート	せん断応力
		曲げ応力 組合せ応力
	固定ボルト	引張応力 せん断応力
ローラチェーン	吊荷荷重	
中央制御室天井照明	各部位	各応力分類
取水槽ガントリクレーン	ガーダ	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	脚	せん断応力
		曲げ応力
		浮上り量
	走行レール 横行レール	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	転倒防止装置	せん断応力
曲げ応力		
組合せ応力		
トロリ	浮上り量	
吊具	吊荷荷重	
原子炉ウェルシールドプラグ	本体	曲げモーメント
		せん断応力
	支持部	圧縮力

設備※1	評価部位	応力分類
循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備	蓋	曲げ応力
		せん断応力
	固定ボルト	組合せ応力
		せん断応力
海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	各部位	各応力分類
耐火障壁 海水ポンプエリア防水壁	各部位	各応力分類
建物開口部竜巻防護対策設備	各部位	各応力分類

※1 本表は詳細設計等の進捗に応じて見直しを行う。

3.3 屋外重要土木構造物等

3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来の設計の考え方について、取水槽を例に第3.3.1-1表に示す。

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等※は、おおむ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等は、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等は、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方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

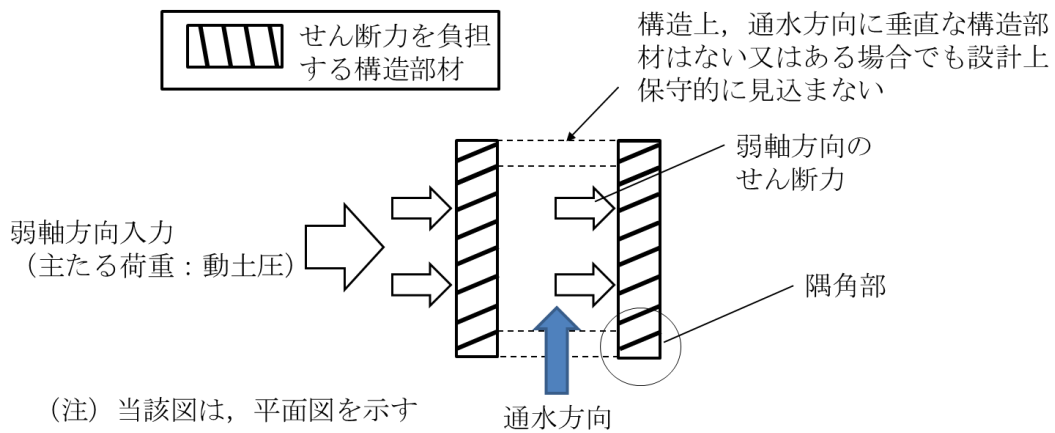
第3.3.1-1図に示す通り、従来設計手法では、屋外重要土木構造物等の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な水路の壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物等のうち取水口及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、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、従来設計手法では、直交2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。

※屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

第 3.3.1-1 表 従来設計手法における評価対象断面の考え方（取水槽の例）

	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>加振方向に平行な部材が少ない</p>	<p>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>
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材が少なく、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、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でき、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 弱軸方向を評価対象断面とする。 	



第 3.3.1-1 図 従来設計手法の考え方

3.3.2 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等において、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、取水槽、取水管、取水口、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）、緊急時対策所用燃料地下タンク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（輪谷貯水槽（西側）及び免震重要棟遮蔽壁）とする。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、屋外重要土木構造物には該当せず、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類されるとともに、常設耐震重要重大事故防止設備及び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に分類される。

また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、第1ベントフィルタ格納槽及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、屋外重要土木構造物には該当せず、常設耐震重要重大事故防止設備及び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に分類され、緊急時対策所用燃料地下タンクは、屋外重要土木構造物には該当せず、常設重大事故緩和設備に分類される。

第3.3.2-1表に評価対象構造物の施設分類を示す。

第3.3.2-1表 屋外重要土木構造物等の施設分類

評価対象構造物	施設分類		
	屋外重要土木構造物	重大事故等対処施設	波及的影響
取水槽	○	○	—
取水管	○	○	—
取水口	○	○	—
屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	○	○	—
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	○	—
燃料移送系配管ダクト	○	○	—
屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク～原子炉建物)	○	○	—
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—	○	—
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—	○	—
第1ベントフィルタ格納槽	—	○	—
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	—	○	—
緊急時対策所用燃料地下タンク	—	○	—
輪谷貯水槽（西側）	—	—	○
免震重要棟遮蔽壁	—	—	○

屋外重要土木構造物等を構造形式ごとに分類し、構造形式ごと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方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造形式を抽出する。

抽出された構造形式については、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評価し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。

3.3.3 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等において、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第3.3.3-1図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

評価対象構造物について、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、構造形式ごとに大別する。

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形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごと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、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、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するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

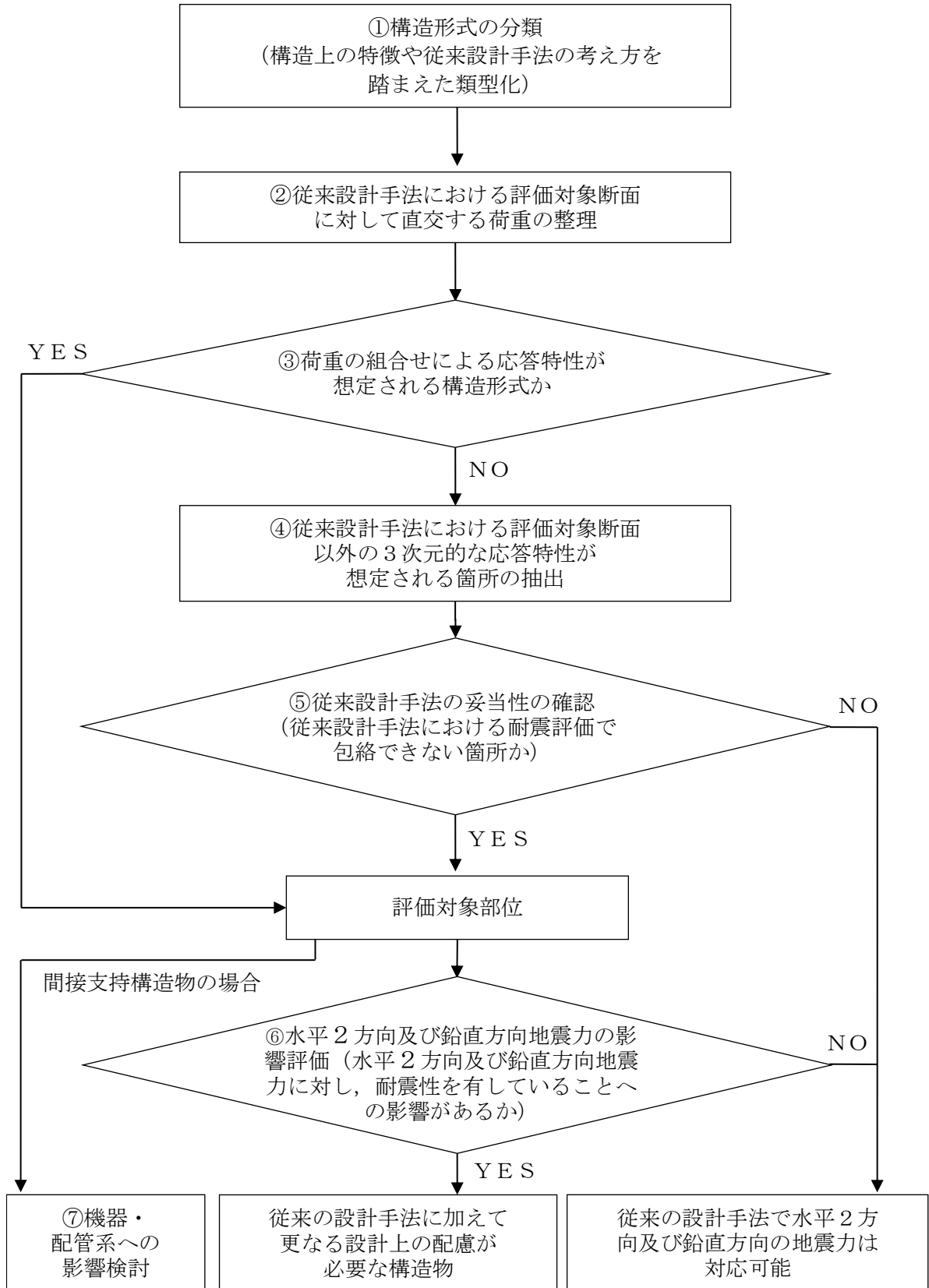
評価手法については、評価対象構造物の構造形式を考慮して選定する。

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。

なお、④及び⑤の精査にて、屋外重要土木構造物等の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

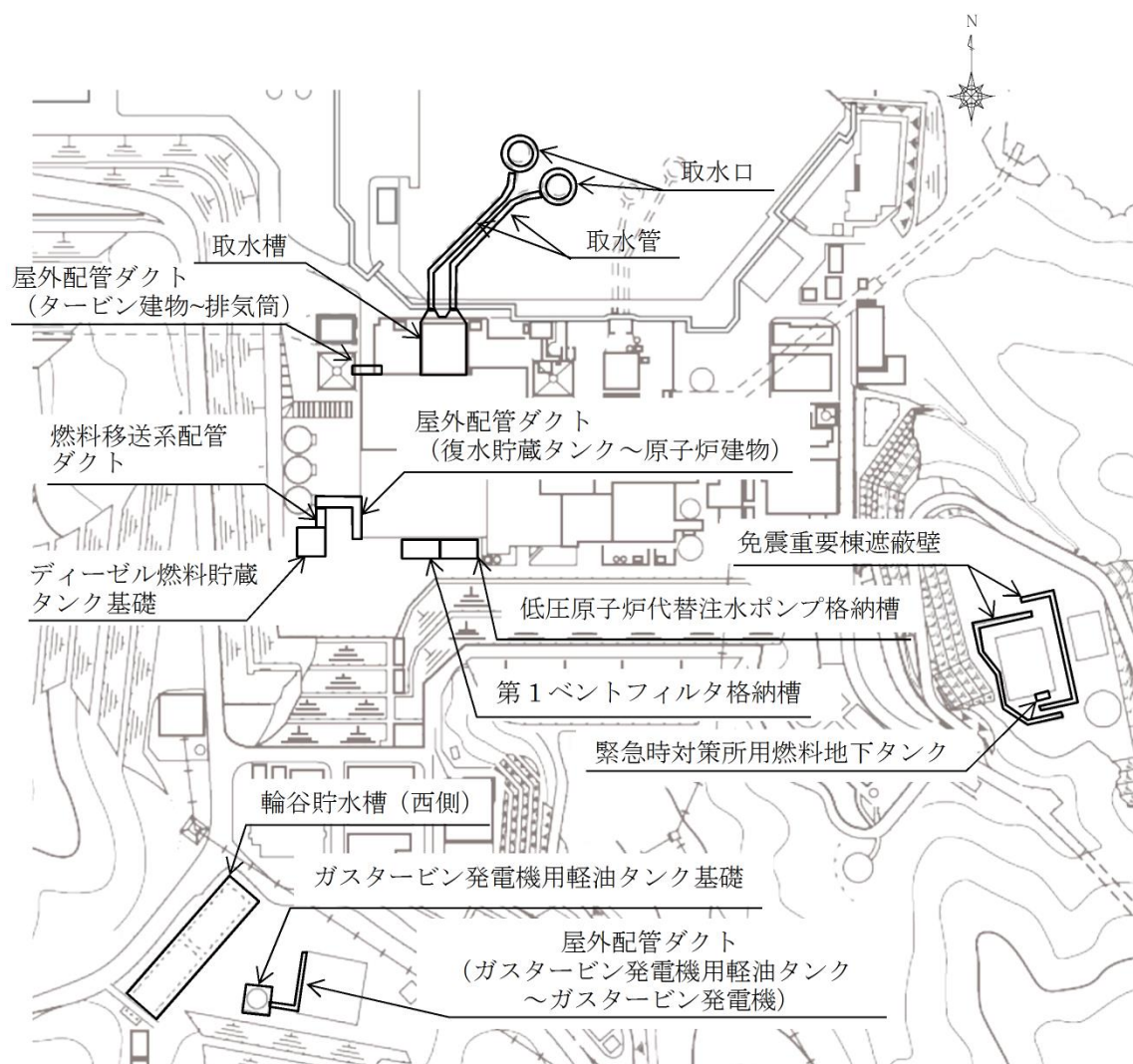


第 3.3.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価のフロー

3.3.4 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

第3.3.4-1図に屋外重要土木構造物等の配置図を示す。屋外重要土木構造物等は、その構造形式より①取水槽，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽，ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎，緊急時対策所用燃料地下タンク及び輪谷貯水槽（西側）のような箱型構造物，②屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），燃料移送系配管ダクト，屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）及び免震重要棟遮蔽壁のような同一断面が連続する線状構造物，③取水口のような円筒状構造物，④ガスタービン発電機用軽油タンク基礎のような直接基礎，⑤取水管のような管路構造物の5つの構造形式に大別される。



第3.3.4-1図 屋外重要土木構造物等配置図

(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
 第 3.3.4-1 表に、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。

第 3.3.4-1 表 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

第3.3.4-2表に3.3.4(1)で整理した構造形式ごとに3.3.4(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

評価対象構造物の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.4(2)で整理した荷重のうち②摩擦力や③慣性力は、①動土圧及び動水圧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動土圧及び動水圧による影響を考慮する。

箱型構造物は、その構造上の特徴として、妻壁(評価対象断面に対して平行に配置される壁部材)等を有することから、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動土圧及び動水圧が作用する。

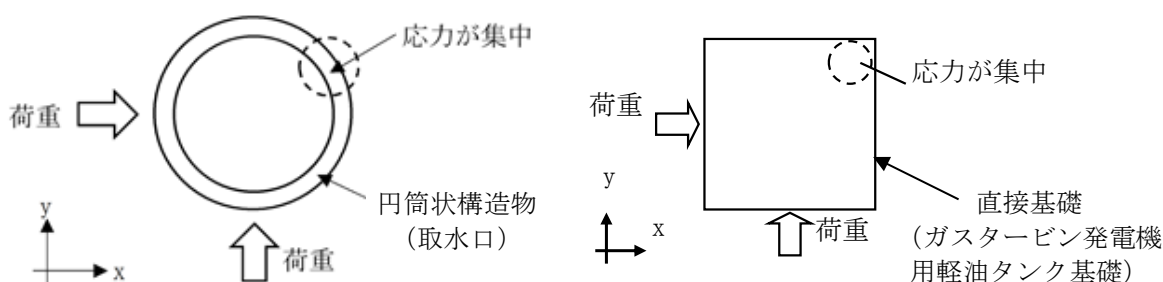
線状構造物については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側(小口)の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧は作用しない。

円筒状構造物及び直接基礎については、第3.3.4-2図に示すように水平2方向入力による応力の集中が考えられる。

直接基礎については、上載構造物により、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する③慣性力が作用する。

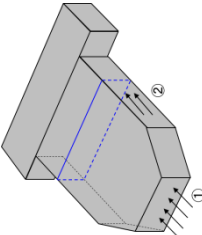
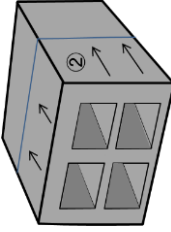
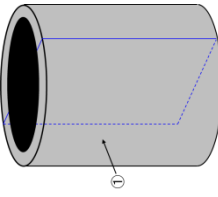
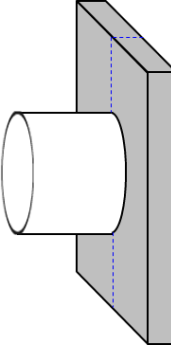
管路構造物については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側(小口)の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧は作用しない。一方、取水管は延長が長い構造であることから、従来設計手法において、管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており、水平2方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

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動土圧及び動水圧が作用する箱型構造物、水平2方向入力による応力の集中が考えられる円筒状構造物、③慣性力が作用する直接基礎、及び従来設計手法において水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を考慮している管路構造物を抽出する。



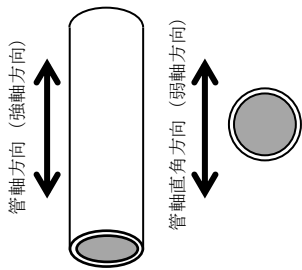
第3.3.4-2図 円筒状構造物及び直接基礎にかかる応答特性

第3.3.4-2(1)表 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象構造物の抽出

構造形式の分類	①箱型構造物 (取水槽, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽, 第1ベントフィルタ格納槽, ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎, 緊急時対策用燃料地下タンク, 輪谷貯水槽 (西側))	②凝状構造物 (屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒), 燃料移送系配管ダクト, 屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物), 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機), 免震重要棟遮蔽壁)	③円筒状構造物 (取水口)	④直接基礎 (ガスタービン発電機用軽油タンク基礎)
荷重の作用状況	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 妻壁に作用</p> <p>② 摩擦力 側壁に作用</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>② 摩擦力 側壁, 頂版に作用</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 作用する</p> <p>② 摩擦力 作用しない</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>② 摩擦力 作用しない</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度 抽出結果	○	×	○	○

※ 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。

第 3.3.4-2(2)表 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

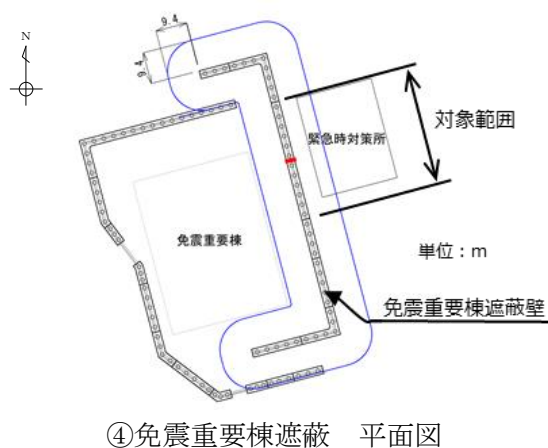
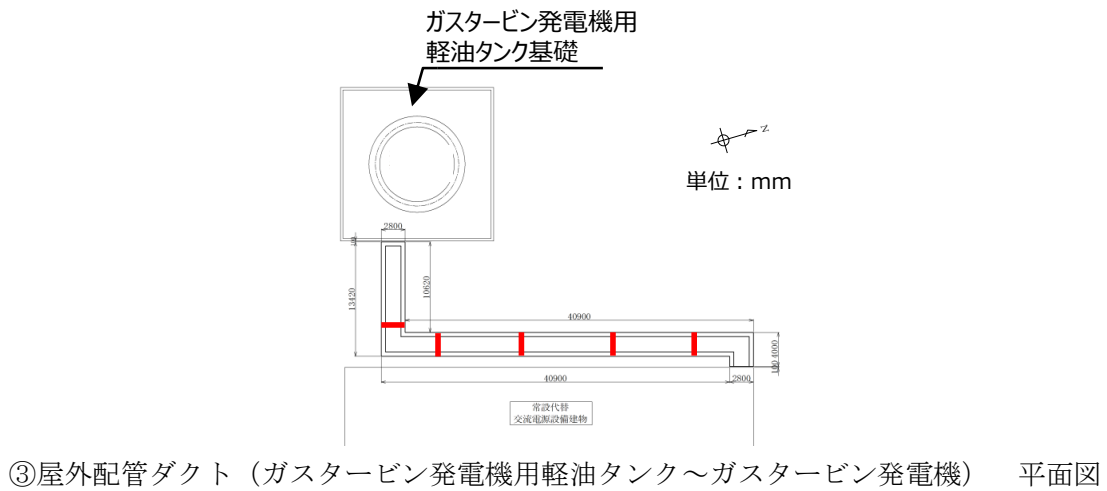
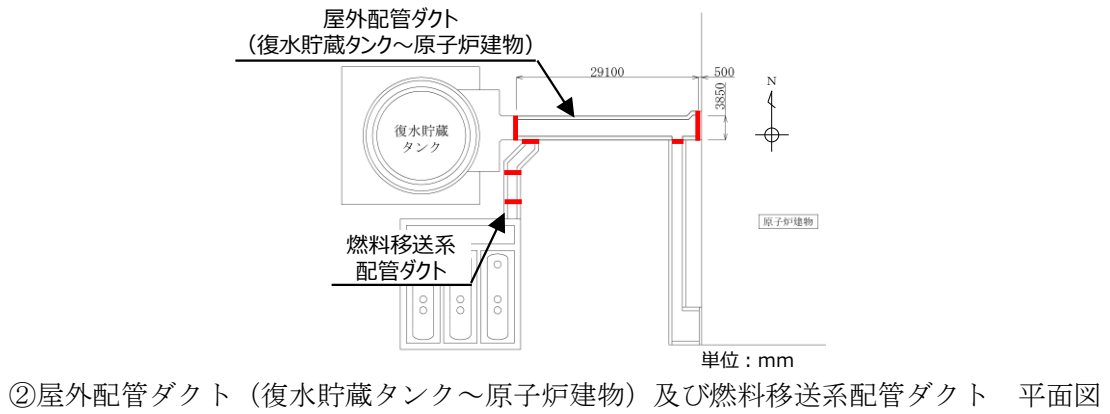
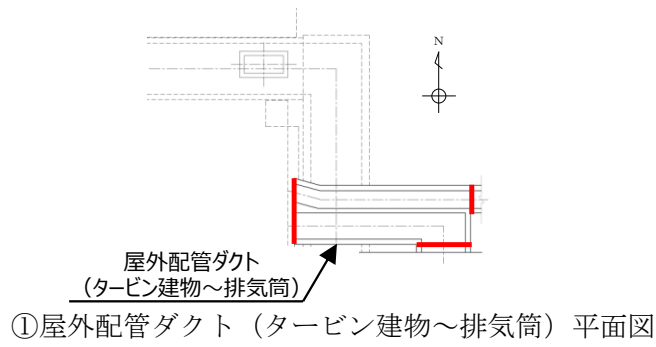
構造形式の分類	⑤ 管路構造物 (取水管)
荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>② 摩擦力 側壁，頂版に作用</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず，①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。また，管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており，従来設計手法において水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せが考慮されている。
抽出結果	○

※ 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。

- (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線状構造物として大別した屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)、燃料移送系配管ダクト、屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)及び免震重要棟遮蔽壁は、第3.3.4-3図に示す通り、構造物の配置上、屈曲部や隅角部を有する。線状構造物の屈曲部や隅角部では、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懸念されるため、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)、燃料移送系配管ダクト、屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)について、構造目地を踏まえて3次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。

なお、免震重要棟遮蔽壁については、第3.3.4-3図に示す通り、屋外の上位クラス施設である緊急時対策所に波及的を及ぼす範囲に屈曲部や隅角部は存在しないことから、3次元的な応答特性が想定される箇所としては対象外である。



— : 構造目地

第 3.3.4-3 図 線状構造物の屈曲部及び隅角部

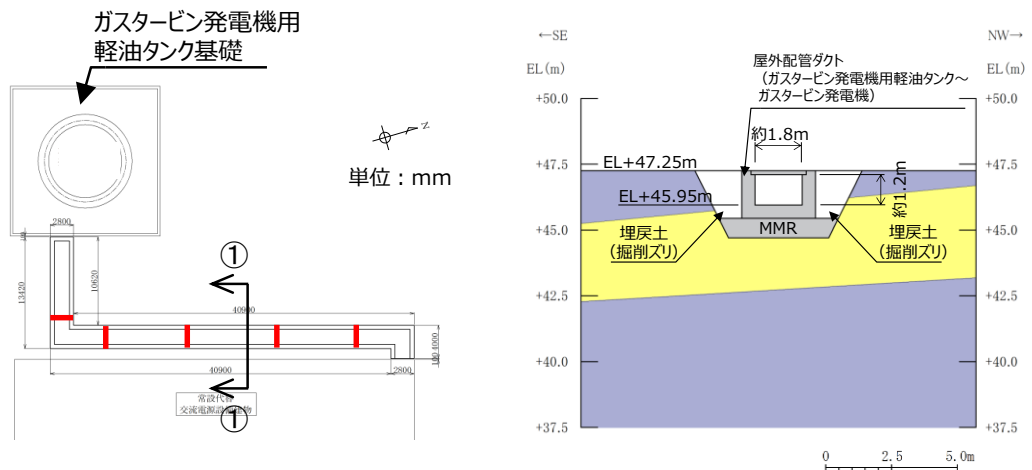
(5) 従来設計手法の妥当性の確認

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）及び屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）は、隅角部に構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

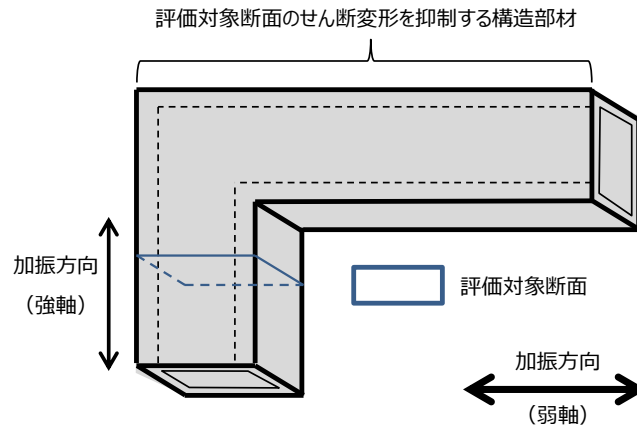
燃料移送系配管ダクトの屈曲部では、妻壁に相当する部位の面積が小さく、慣性力の影響も小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の従来設計では、第3.3.4-4、5図に示す通り、ほぼ等間隔に構造目地が設けられており、構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、十分な支持性能を有する岩盤にMMR（マンメイドロック）を介して設置されているため、構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、弱軸方向については、屈曲部や隅角部における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。

以上のことから、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、燃料移送系配管ダクト、屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）、及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の屈曲部や隅角部での水平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。



第 3.3.4-4 図 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）平面図及び①-①断面図



第 3.3.4-5 図 屈曲部・隅角部における 3 次元的な拘束効果（屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の隅角部）

3.3.5 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

3.3.4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評価を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箱型構造物、円筒状構造物及び直接基礎を抽出する。

箱型構造物である取水槽、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、緊急時対策所用燃料地下タンク及び輪谷貯水槽（西側）を対象に水平2方向の影響評価を行う。なお、評価対象構造物のうち、主たる荷重を受ける妻壁の面積が最も大きい構造物は取水槽であり（第3.3.5-1表参照）、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が大きいと考えられる。

円筒状構造物では、取水口を対象に水平2方向の影響評価を行う。

直接基礎では、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎を対象に水平2方向の影響評価を行う。

管路構造物では、取水管を対象に水平2方向の影響評価を行う。

第3.3.5-1～9図に各構造物の概要図を示す。

第3.3.5-1表 代表構造物の選定整理表

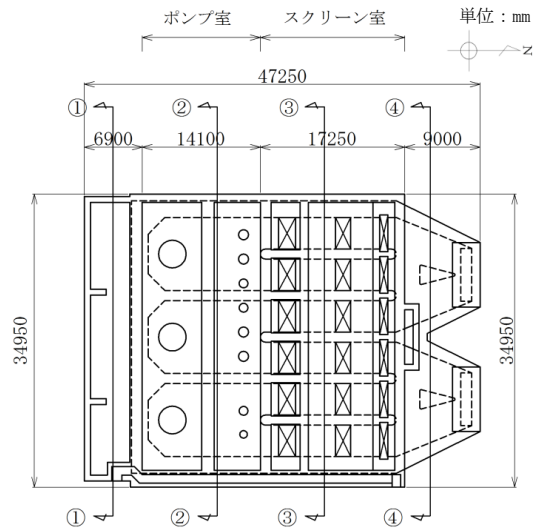
構造形式	構造物（施設）名	規模			備考
		長辺	短辺	高さ ^{注1}	
箱型構造物	取水槽	約48m	約35m	約21m	妻壁の面積(短辺×高さ)が最大
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	約21m	約20m	約7m	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	約27m	約14m	約16m	
	第1ベントフィルタ格納槽	約25m	約14m	約14m	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	約13m	約4m	約4m	
	輪谷貯水槽（西側）	約103m	約20m	約4m	

注1 高さは地中部の躯体高さを示す

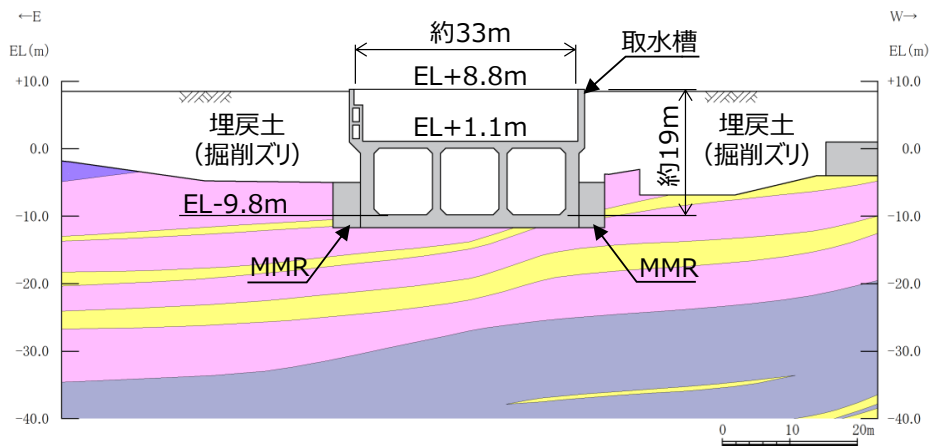
※ 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

(1) 取水槽【箱型構造物の代表】

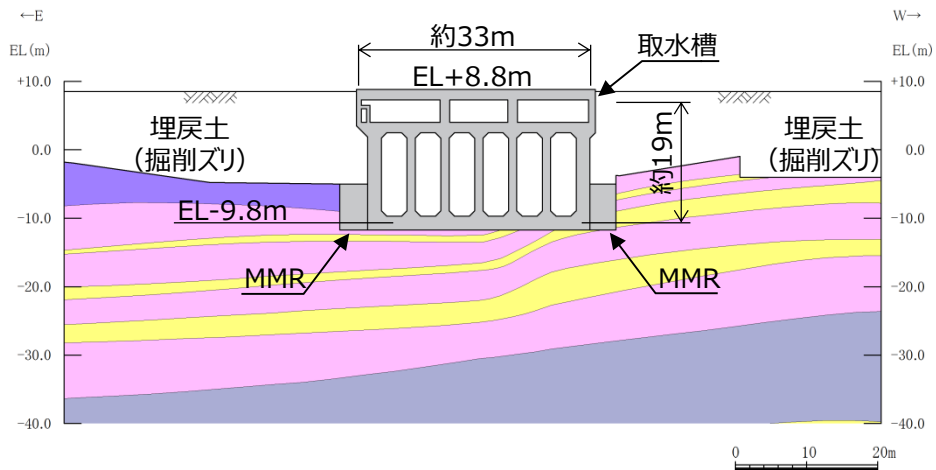
第 3.3.5-1～3 図に取水槽の平面図及び断面図を示す。



第 3.3.5-1 図 取水槽 平面図



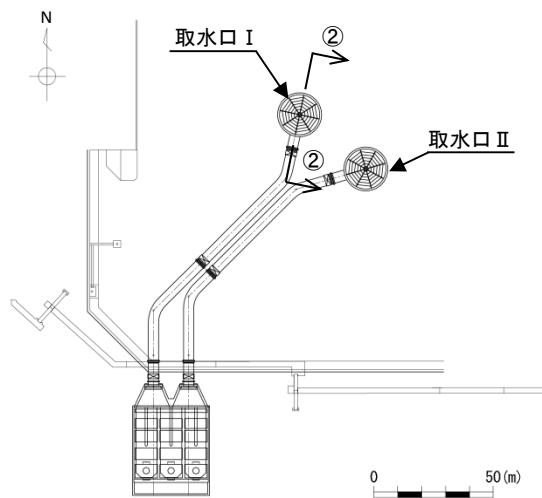
第 3.3.5-2 図 取水槽 断面図 (②-②断面)



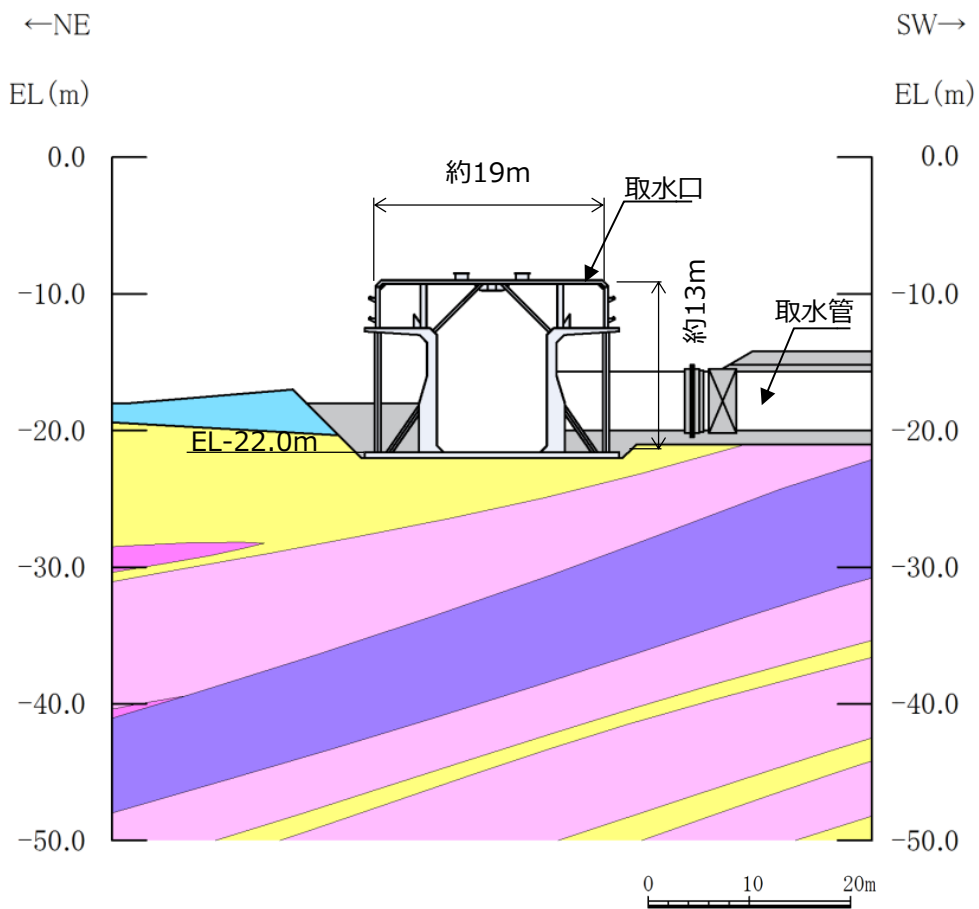
第 3.3.5-3 図 取水槽 断面図 (③-③断面)

(2) 取水口【円筒状構造物の代表】

第 3.3.5-4~5 図に取水口の平面図及び断面図を示す。



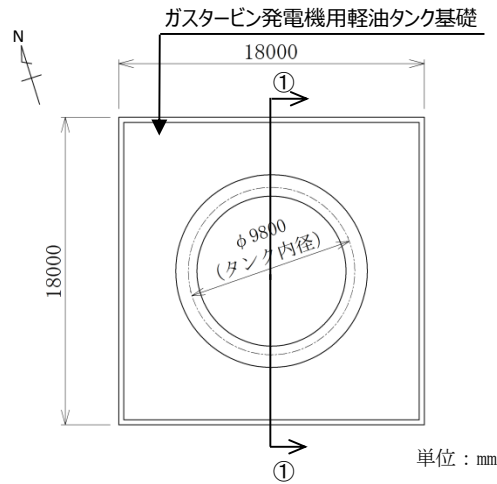
第 3.3.5-4 図 取水口 平面図



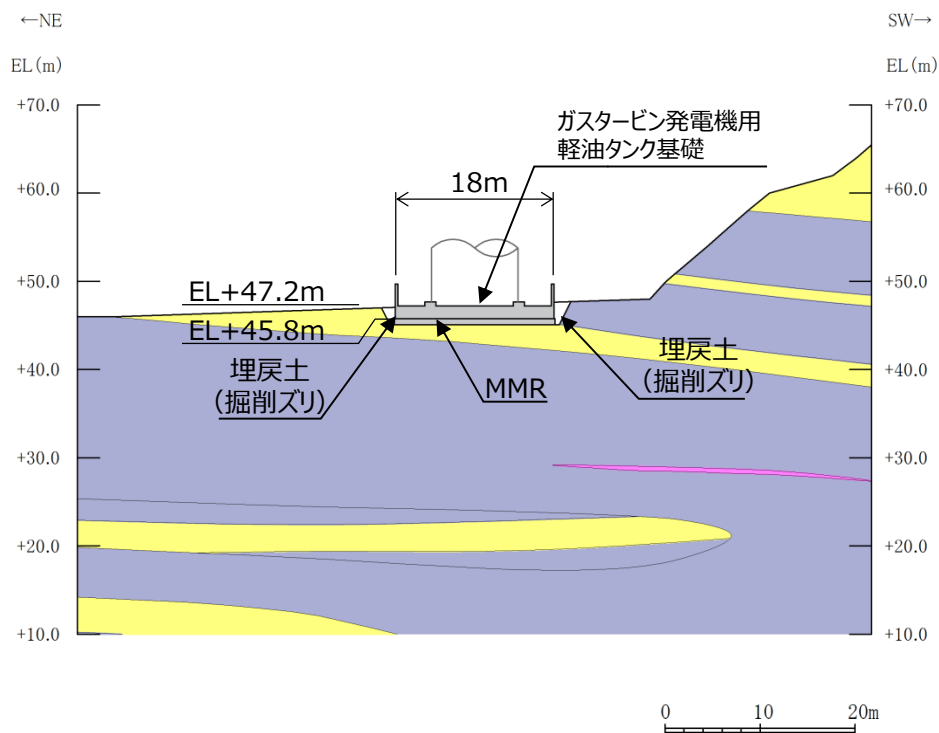
第 3.3.5-5 図 取水口 断面図 (②-②断面)

(3) ガスタービン発電機用軽油タンク基礎【直接基礎の代表】

第 3.3.5-6~7 図にガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図及び断面図を示す。



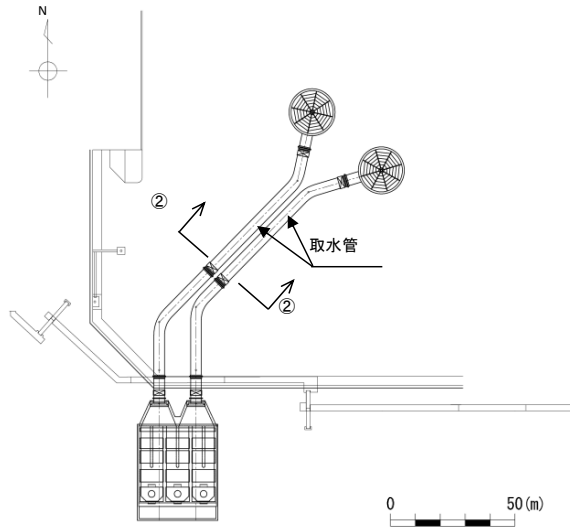
第 3.3.5-6 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



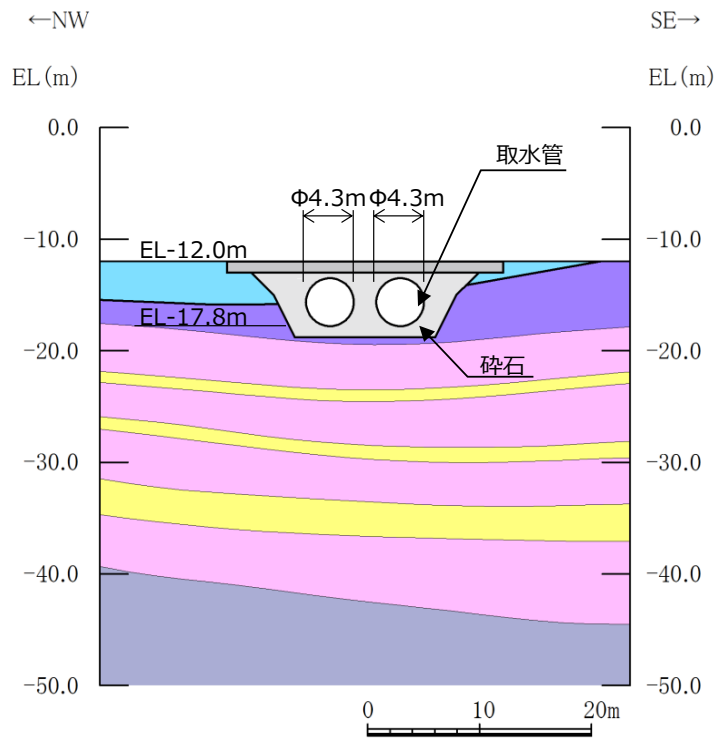
第 3.3.5-7 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (①-①断面)

(4) 取水管【管路構造物の代表】

第 3.3.5-8~9 図に取水管の平面図及び断面図を示す。



第 3.3.5-8 図 取水管 平面図



第 3.3.5-9 図 取水管 断面図 (②-②断面)

3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

(1) 箱型構造物

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、箱型構造物の弱軸方向（評価対象断面）と強軸方向（評価対象断面に直交する断面）におけるそれぞれの2次元の地震応答解析にて、互いに干渉し合う断面力や応力を選定し、弱軸方向加振における部材照査において、強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については、箱型構造物の隔壁・側壁が、強軸方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから、当該構造部材を耐震壁と見なし、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」（以下、「RC規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

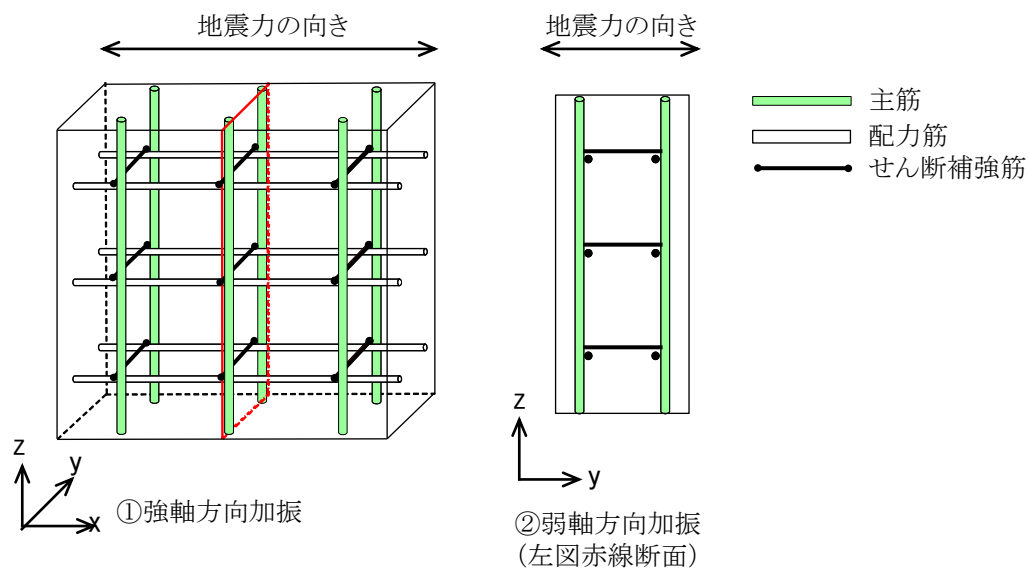
RC規準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材の生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担は無く鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方、強軸方向加振にて生じるせん断力を、箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず、鉄筋に負担させる場合、第3.3.6-1図に示す通り、強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が、弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、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においては、強軸方向加振にて発生する応力を、弱軸方向における構造部材の照査に付加することで、その影響の有無を検討する。

なお、弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では、保守的に両方とも基準地震動 S_s を用いる。

第3.3.6-2図に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。

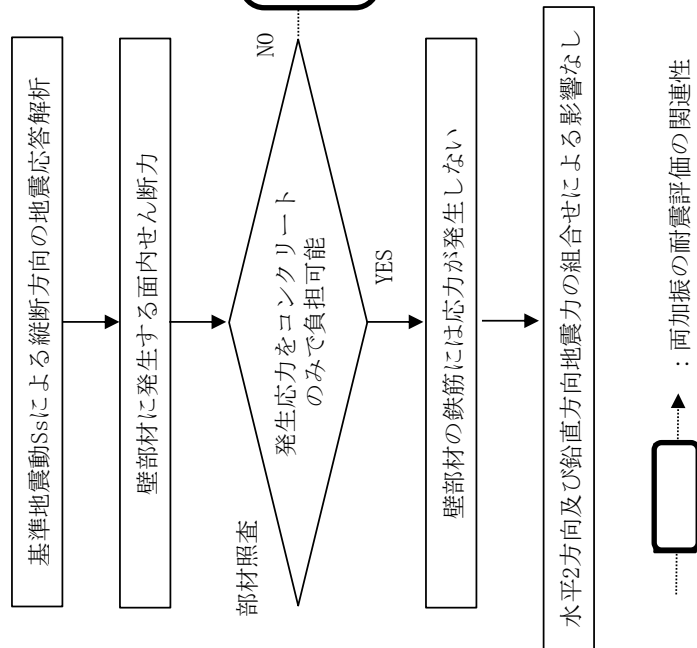


		①強軸方向加振	②弱軸方向加振	備考
断面力	My (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	Mx (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	Nz (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Nzx (zx平面内せん断)	○	×	
	Qz (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

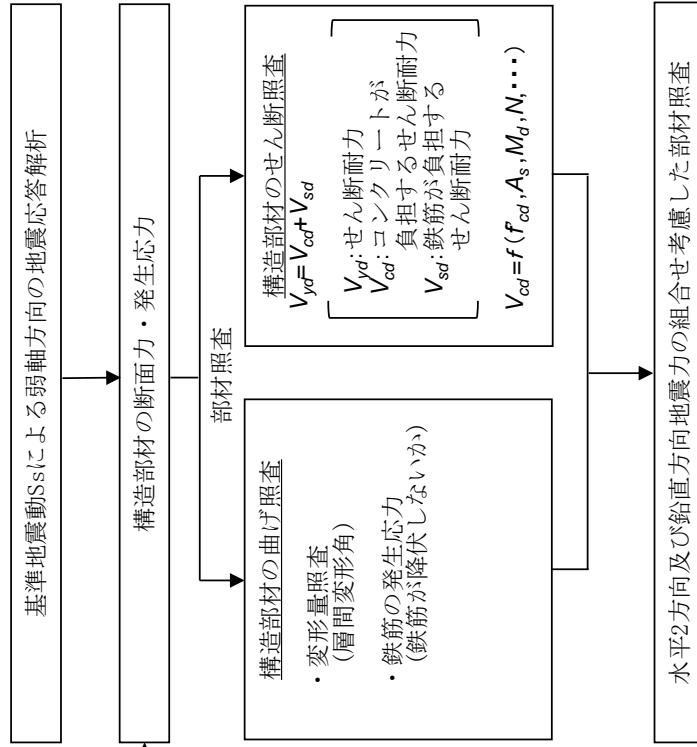
(○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない)

第 3.3.6-1 図 強軸方向加振及び弱軸方向加振において発生する断面力・応力

○強軸方向での地震応答解析及び部材照査



○弱軸方向での地震応答解析及び部材照査



第 3.3.6-2 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

(2) 円筒状構造物

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、従来の設計手法である水平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評価結果等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせる方法として、最大応答の非同時性を考慮したSRSS法又は米国Regulatory Guide 1.92[※]の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考とした組合せ係数法(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、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

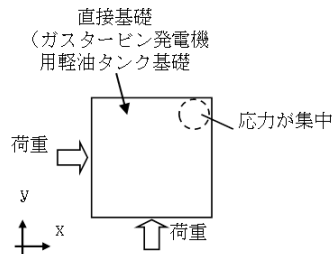
※ Regulatory Guide (RG) 1.92 “Combining modal responses and special components in seismic response analysis”

(3) 直接基礎

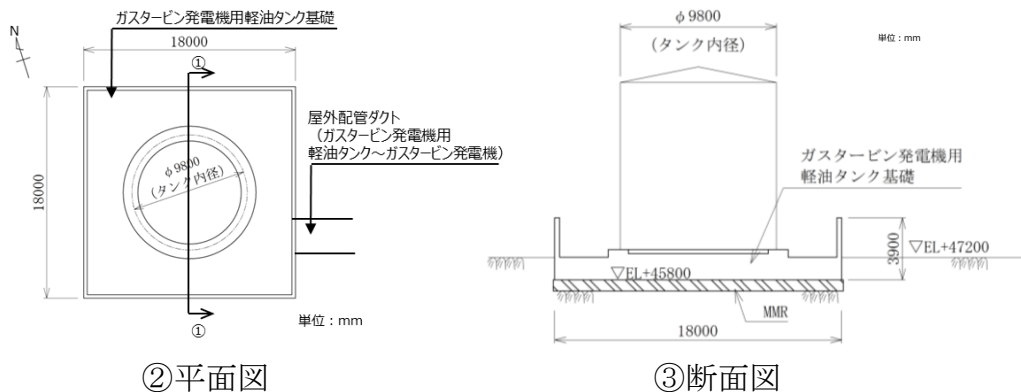
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価について、対象構造物であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、第 3.3.6-3 図に示す通り、幅 18m×奥行き 18m、厚さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、MMR（マンメイドロック）を介して岩盤に支持されている。

直接基礎（ガスタービン発電機用軽油タンク基礎）は、平面形状が正方形であり、水平2方向による応力集中が想定される構造的特徴を有している。

以上のことから、直接基礎の影響評価は円筒状構造物と同様の方法で行い、最大応答の非同時性を考慮した S R S S 又は組合せ係数法 (1.0:0.4:0.4) に基づいて地震力を設定し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。



①直接基礎における応答特性

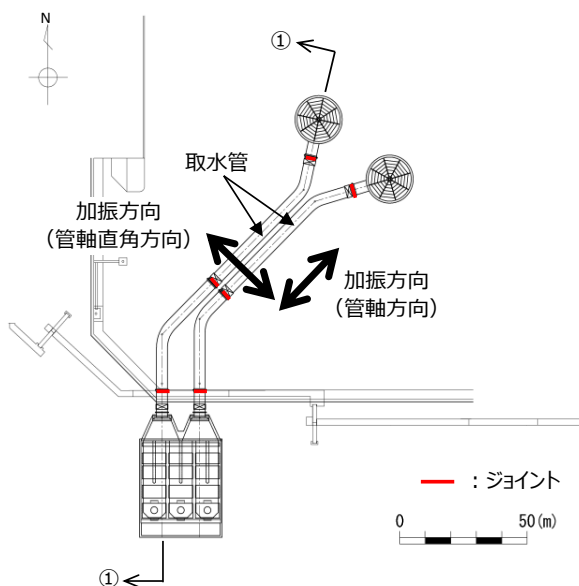


第 3.3.6-3 図 島根 2 号炉のガスタービン発電機用軽油タンク基礎
平面図及び断面図

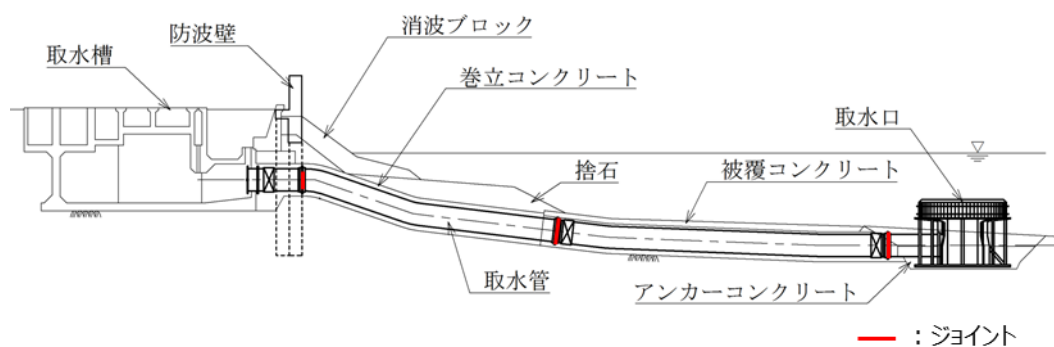
(4) 管路構造物

対象構造物である取水管は、第 3.3.6-4, 5 図に示す通り、延長が長い構造であることから、従来設計において管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を行っており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を同時に作用させて評価を行っている。

以上のことから、取水管の水平 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。



第 3.3.6-4 図 取水管 平面図



第 3.3.6-5 図 取水管縦断図 (①-①断面図)

3.3.7 機器・配管系への影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、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。

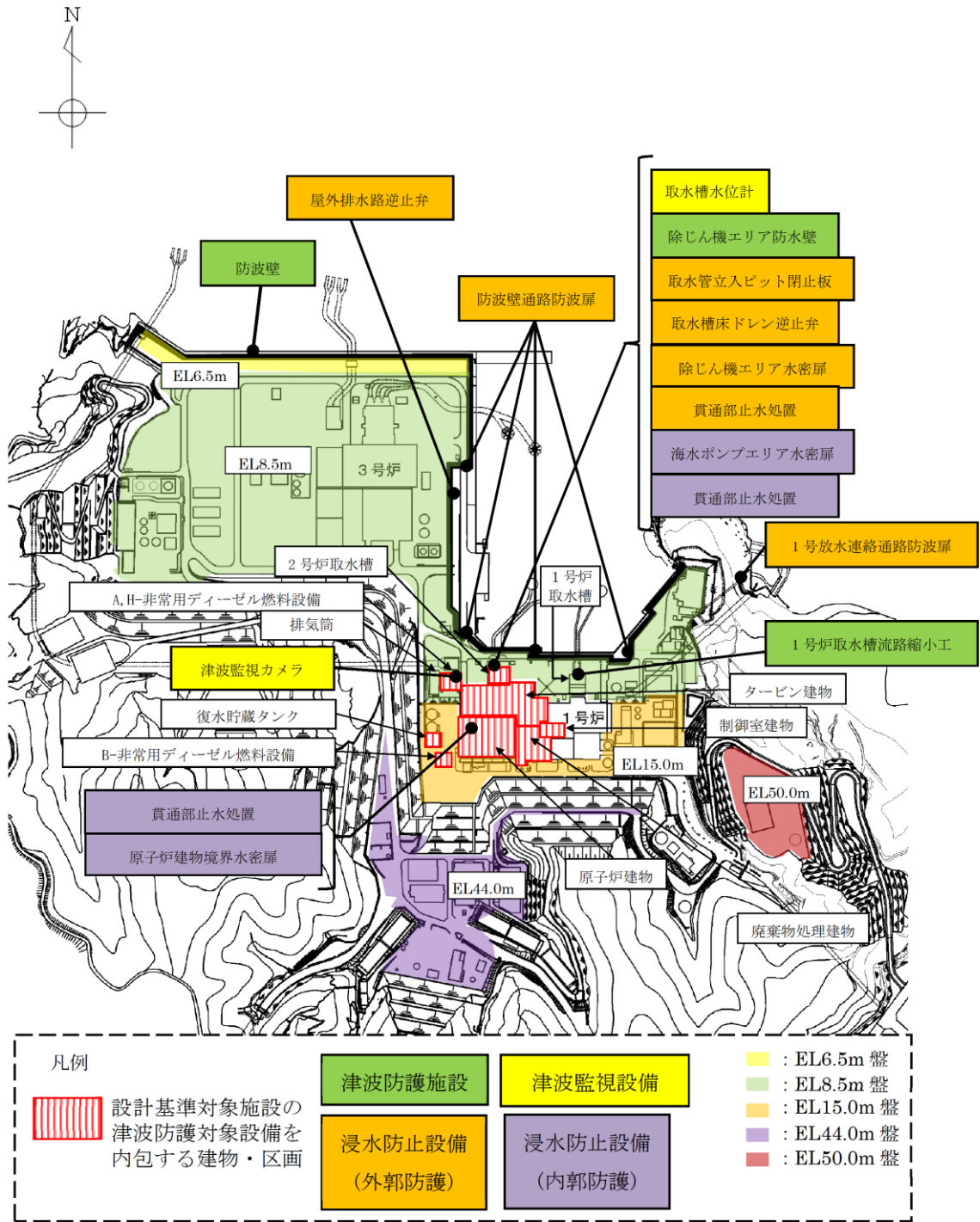
なお、屋外重要土木構造物等の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

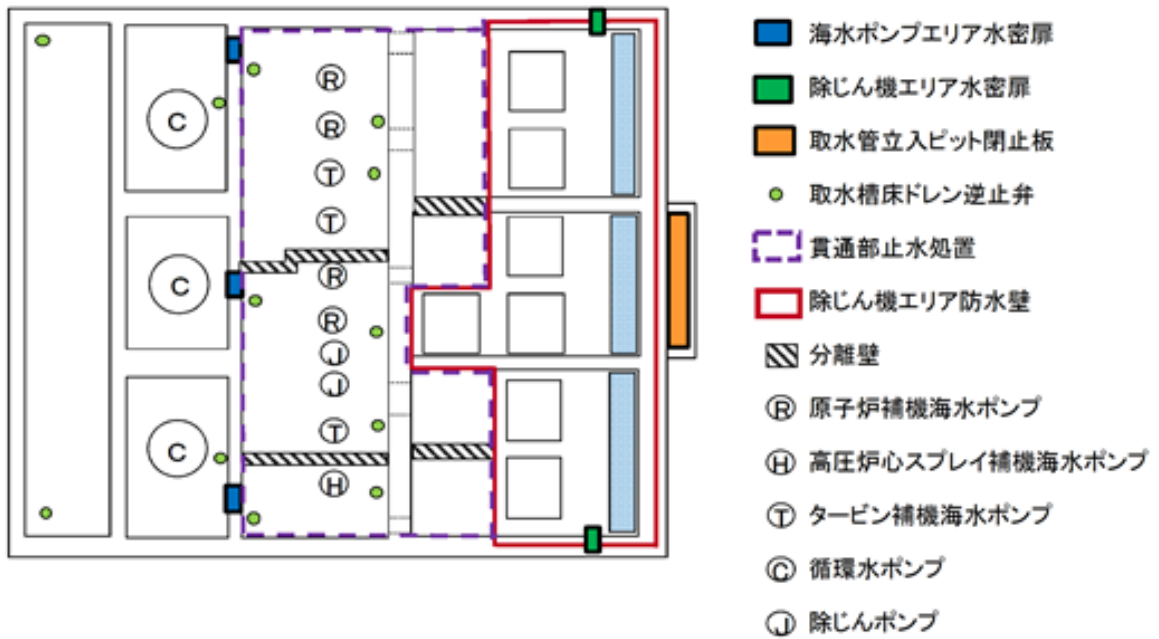
3.4.1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備における評価対象構造物の抽出

(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，津波防護施設である防波壁，1号炉取水槽流路縮小工及び除じん機エリア防水壁，浸水防止設備である取水槽床ドレン逆止弁，貫通部止水処置，防波壁通路防波扉，屋外排水路逆止弁，1号放水連絡通路防波扉，取水管立入ピット閉止板，除じん機エリア水密扉，海水ポンプエリア水密扉，原子炉建物境界水密扉，津波監視設備である取水槽水位計及び津波監視カメラとする。各構造物の位置図を第3.4.1-1図に示す。

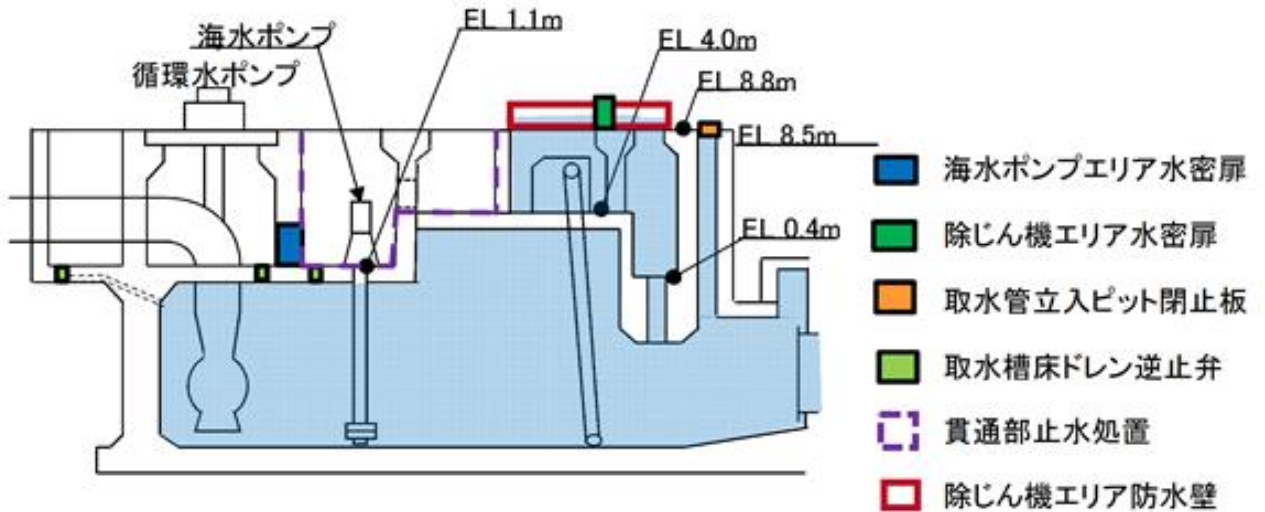


第 3.4.1-1 図 津波防護施設，浸水防止設備及び
津波監視設備位置図 (1/3)



(取水槽平面図)

第 3.4.1-1 図 津波防護施設，浸水防止設備及び
津波監視設備位置図 (2/3)



(取水槽断面図)

第 3.4.1-1 図 津波防護施設，浸水防止設備及び
津波監視設備位置図 (3/3)

(2) 評価対象物の抽出

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の分類を第3.4.1-1表に示す。評価対象構造物は、第3.4.1-1表に示す通り、「3.1 建物・構築物」、「3.2 機器・配管系」、「3.3 屋外重要土木構造物」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。

なお、評価対象構造物の構造的な特徴を踏まえ、津波防護施設のうち、防波壁について、3.4.5項以降に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響を整理する。

第3.4.1-1表 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の分類

施設、設備分類	施設、設備名称	区分
津波防護施設	防波壁	「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については3.4.5項以降に整理する。
	1号炉取水槽流路縮小工	
	除じん機エリア防水壁	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
浸水防止設備	取水槽床ドレン逆止弁	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1 建物・構築物」、「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
	貫通部止水処置	
	防波壁通路防波扉	
	屋外排水路逆止弁	
	1号放水連絡通路防波扉	
	取水管立入ピット閉止板	
	除じん機エリア水密扉	
	海水ポンプエリア水密扉	
原子炉建物境界水密扉		
津波監視設備	取水槽水位計	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1 建物・構築物」、「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
	津波監視カメラ	

※ 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。

3.4.2 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

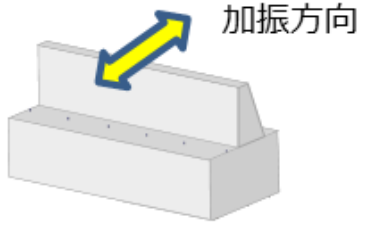
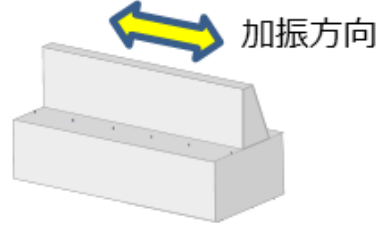
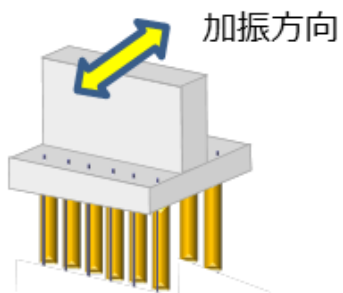
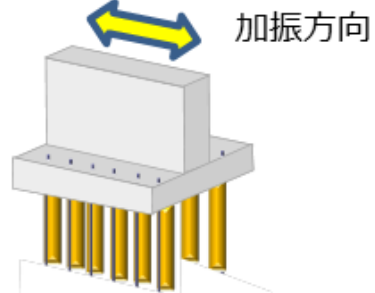
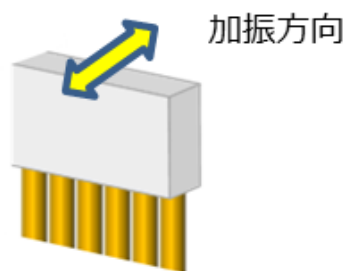
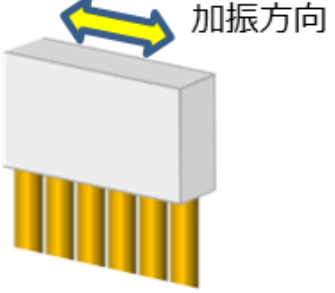
津波防護施設における従来設計手法の考え方について、防波壁を例に第3.4.2-1表に示す。津波防護施設は、地中構造物と地上構造物に分けられる。地上構造物は、躯体の慣性力や基礎部分に係る動土圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物については、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物、地上構造物のうち、屋外重要土木構造物等同様、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有する線状構造物は、3次元的な応答の影響が小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

線状構造物は、ほぼ同一の断面が長手方向に連続する構造的特徴を有していることから、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方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

第3.4.2-1表に示す通り、線状構造物に関する従来設計手法では、津波防護施設の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、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。

第 3.4.2-1 表 従来設計手法における評価対象断面の考え方
(防波壁の例)

	横断方向の加振	縦断方向の加振
波返重力擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
鋼管杭式逆丁擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
多重鋼管杭式擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・加振方向に対する抵抗力が小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加振方向に同一構造が連続している。
	<ul style="list-style-type: none"> ・横断方向は加振方向に対する抵抗力が小さく、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦断方向は加振方向に同一構造が連続しており、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・弱軸方向を評価対象断面とする。 	

3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

評価対象構造物において、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。

評価対象構造物を構造形式ごとに分類し、構造形式ごと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方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造形式を抽出する。

抽出された構造形式については、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評価し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。

3.4.4 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

評価対象構造物において、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第3.4.4-1図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

評価対象構造物について、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、構造形式ごとに大別する。

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形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごと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組合せ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、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、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組合せの影響評価

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するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

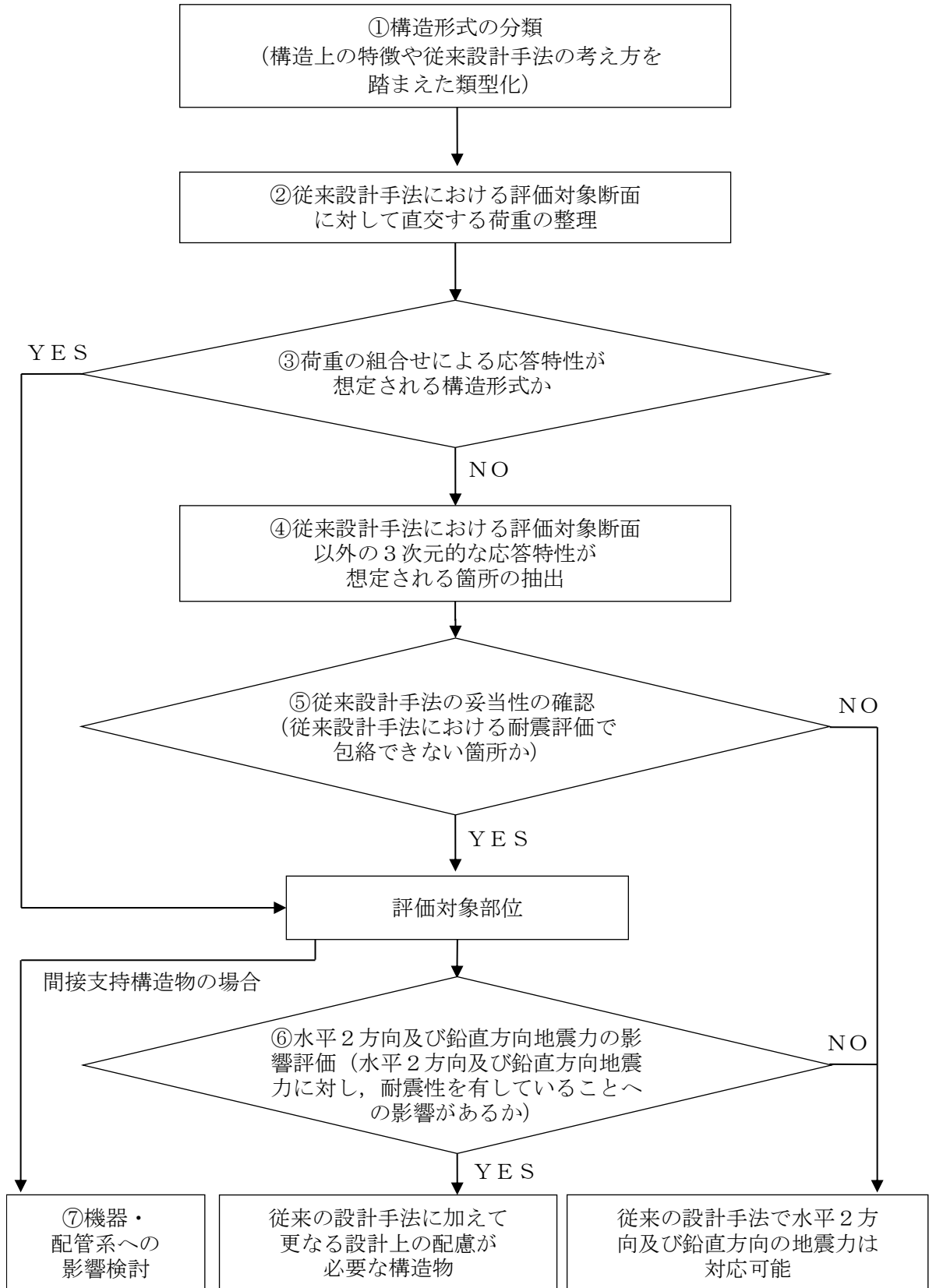
評価手法については、評価対象構造物の構造形式を考慮し選定する。

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は、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。

なお、④及び⑤の精査にて、津波防護施設の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。



第 3.4.4-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価のフロー

3.4.5 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

(1) 構造形式の分類

評価対象構造物のうち防波壁については、その構造形式により①防波壁（波返重力擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁）の上部工，防波壁（波返重力擁壁）の下部工のような同一断面が連続する線状構造物，②防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工のような鋼管杭基礎，③1号炉取水槽流路縮小工のような箱型構造物の3つの構造形式に大別される。

(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

第3.4.5-1表に、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。

第 3.4.5-1 表 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

3.4.5(1)で整理した構造形式ごとに3.4.5(2)で整理した荷重作用による影響程度を、各構造物の概略図と特徴を踏まえて以下に示す。

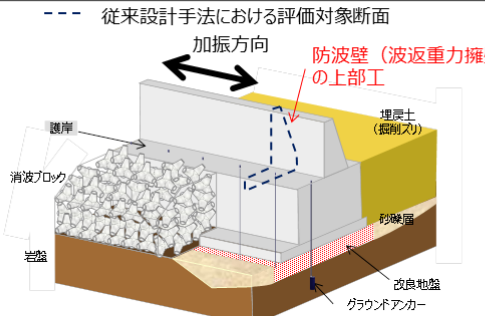
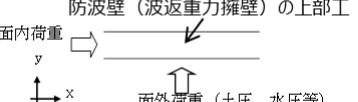
① 線状構造物

・防波壁（波返重力擁壁）の上部工

第3.4.5-2表に防波壁（波返重力擁壁）の上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第3.4.5-2表 防波壁（波返重力擁壁）上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（波返重力擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況	 <p>--- 従来設計手法における評価対象断面 加振方向 防波壁（波返重力擁壁）の上部工 埋戻土（軽削ス） 砂礫層 改良地盤 グラウンダーカー 護岸 消波ブロック 岩盤</p>	①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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	 <p>防波壁（波返重力擁壁）の上部工 面内荷重 y x 面外荷重（土圧、水圧等）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

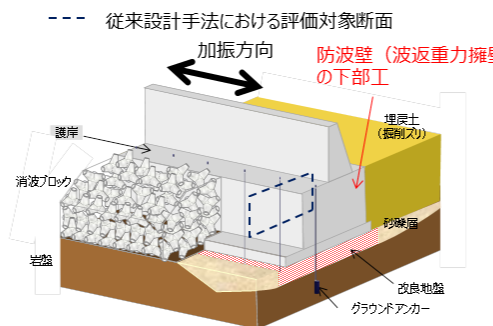
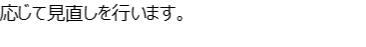
※ 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

・防波壁（波返重力擁壁）の下部工

第 3. 4. 5-3 表に防波壁（波返重力擁壁）の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の下部工は擁壁タイプの線状構造物であり，明確な弱軸・強軸を示し，強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さい。また，水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられるが，強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第 3. 4. 5-3 表 防波壁（波返重力擁壁）下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（波返重力擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用する
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）の下部工には，左記に示すような水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・下部工は強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

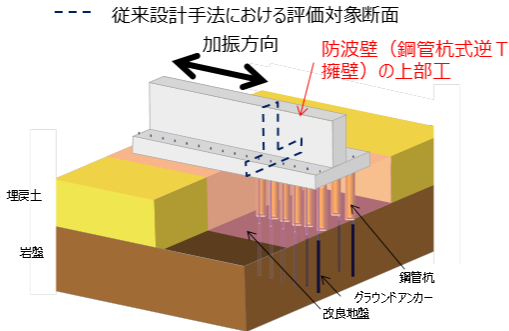
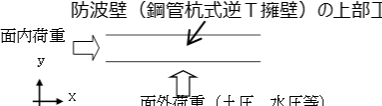
※ 本表は，今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工

第3.4.5-4表に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第3.4.5-4表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況	 <p>--- 従来設計手法における評価対象断面 加振方向 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工 埋戻土 岩盤 鋼管杭 グラウンドアンカー 改良地盤</p>	①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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	 <p>防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工 面内荷重 y x 面外荷重（土圧、水圧等）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

※ 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。

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

第 3. 4. 5-5 表に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第 3. 4. 5-5 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）上部工の
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工には、左記に示すような水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

※ 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。

② 鋼管杭基礎

- ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工

第3.4.5-6表に、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

鋼管杭基礎（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））は、水平2方向入力による応力の集中が考えられる。

下部工は改良地盤内に設置されており、動土圧の影響は小さく、応答については上部工の影響が支配的である。上部工については、明確な強軸・弱軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

第3.4.5-6表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）下部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	②鋼管杭基礎（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用
		②摩擦力	主に胴体部に作用
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	・胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重、上部工からの荷重が作用するが、下記の理由により影響の程度は小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工には、左記に示すような水平2方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工は改良地盤内に設置されており、動土圧の影響は小さく、応答については上部工の影響が支配的である。 ・上部工は明確な強軸、弱軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力は小さいことから、水平2方向入力による応力の集中は発生しにくく、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	
抽出結果	×		

※ 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。

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工

第 3.4.5-7 表に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工）は、水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。

下部工では、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力，並びに上部工法線直角方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため，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。

第 3.4.5-7 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	②鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用
		②摩擦力	主に胴体部に作用
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	・胴体部において，①動土圧及び動水圧による荷重，上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭基礎である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工には，左記に示すような水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工では，上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力，並びに上部工法線直角方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため，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。 	
抽出結果	○		

※ 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。

③ 箱型構造物

・ 1号炉取水槽流路縮小工

1号炉取水槽流路縮小工は、「3.3 屋外重要土木構造物」の「3.3.4 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」の箱型構造物（取水槽等）と同様に，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動土圧及び動水圧が作用することから，評価対象構造物として抽出する。

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，鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工）及び箱型構造物（1号炉取水槽流路縮小工）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)で抽出しなかった線状構造物として大別した防波壁（波返重力擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁）の上部工及び防波壁（波返重力擁壁）の下部工は，構造物の配置上，屈曲部や隅角部を有する。

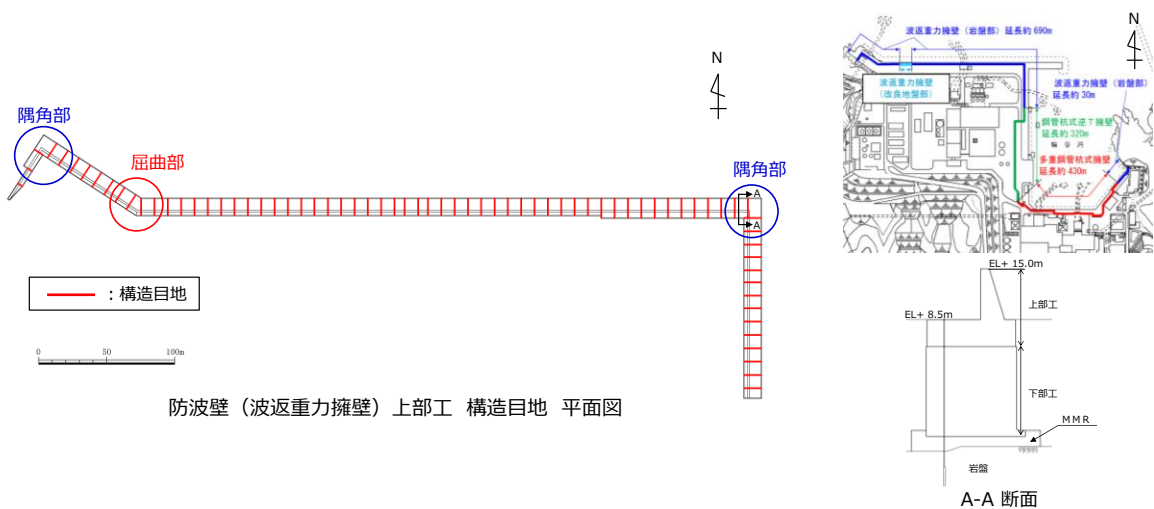
① 防波壁（波返重力擁壁）の上部工及び下部工

第3.4.5-1図に，防波壁（波返重力擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

また，防波壁（波返重力擁壁）の下部工の屈曲部や隅角部では，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。



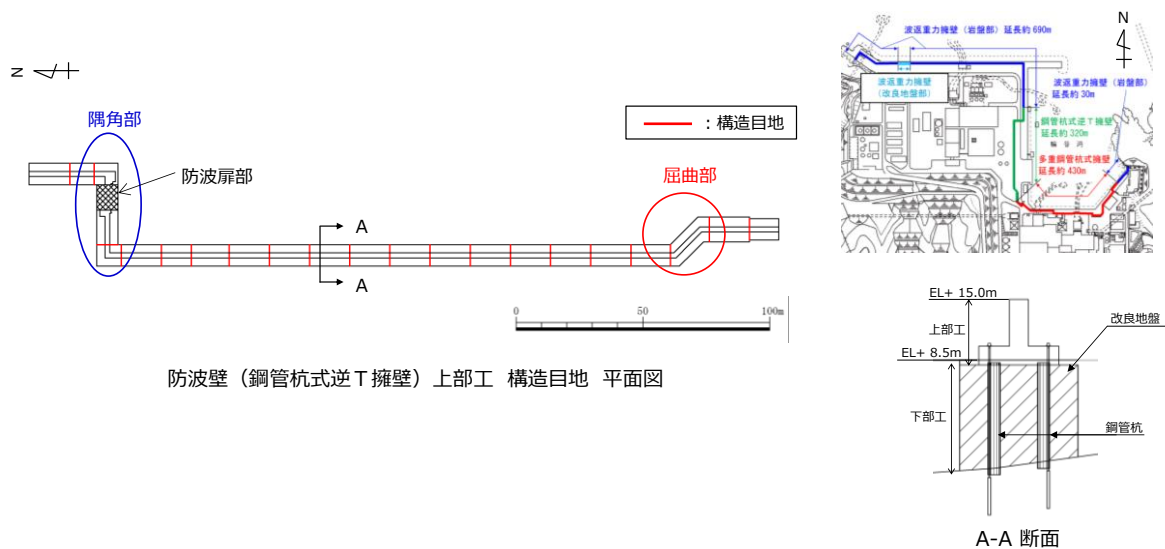
第3.4.5-1図 防波壁（波返重力擁壁）の構造目地（平面図）

② 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工

第 3.4.5-2 図に、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工の屈曲部では、妻壁に相当する部位の面積が小さく、慣性力の影響も小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については、隅角部に施工時目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

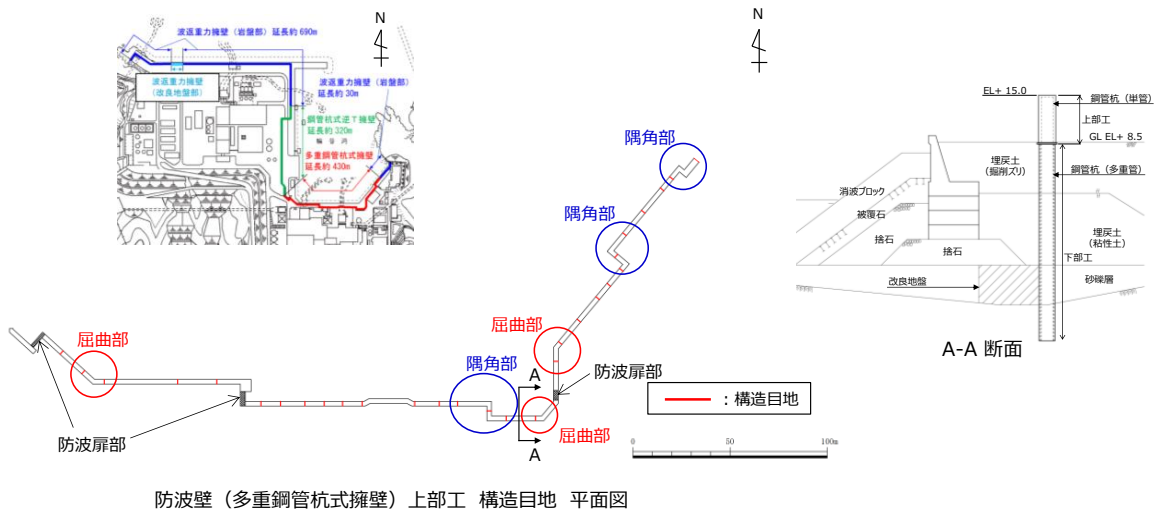


第 3.4.5-2 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造目地（平面図）

③ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

第 3.4.5-3 図に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、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懸念される。



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）上部工 構造目地 平面図

第 3.4.5-3 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地（平面図）

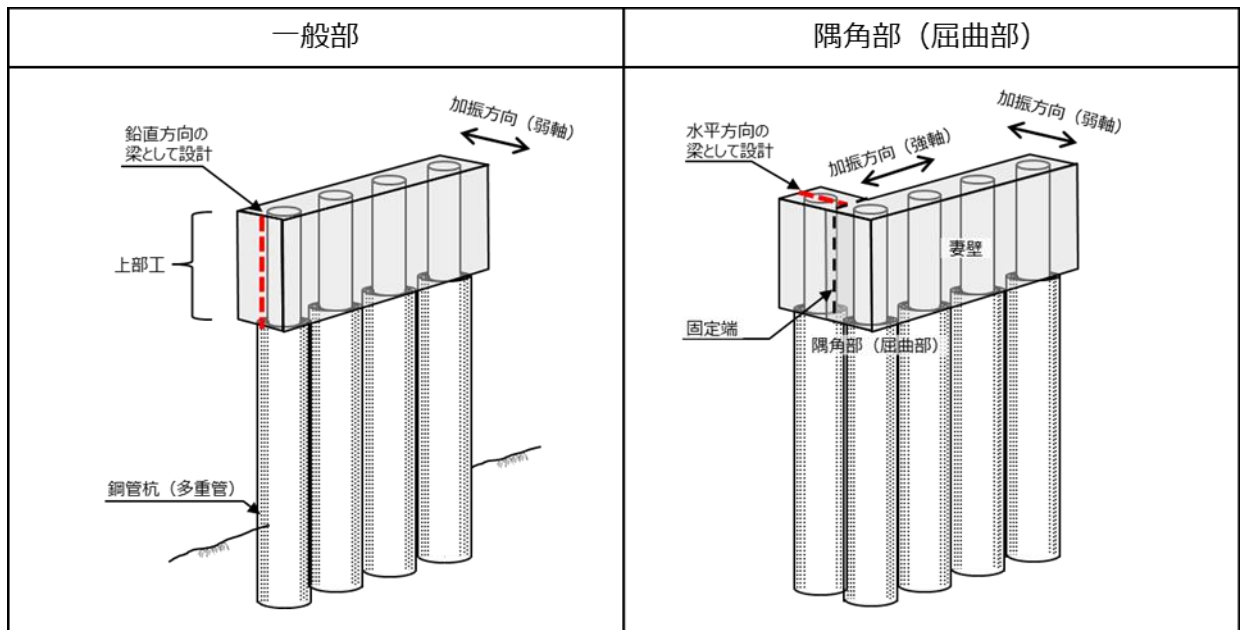
以上のことから、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の従来設計において、第 3.4.5-8 表に示す通り、一般部では、上部工が下部工と一体構造であることから、これを適切にモデル化し、上部工を鉛直方向の梁として設計する。屈曲部や隅角部では、妻壁側は一般部と同様に設計するが、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工が下部工と一体構造であることを適切にモデル化し、上部工を水平方向の梁として設計する。

したがって、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

第 3.4.5-8 表 防波壁上部工の一般部及び屈曲部・隅角部
（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））



3.4.6 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

3.4.5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による影響評価を検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、鋼管杭基礎のうち防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工、及び箱型構造物（1号炉取水槽流路縮小工）を抽出する。

第3.4.6-1表 評価対象施設（構造物）の抽出結果

構造形式	施設（構造物名称）	フロー ^{注1} 中の対応番号
鋼管杭基礎	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工	③
箱型構造物	1号炉取水槽流路縮小工	③

注1 第3.4.4-1図に示す影響評価フロー

※ 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。

3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

(1) 鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工）

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、従来の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、評価対象断面に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく同時刻の地震時荷重等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

$$R_{max} = \max\left(\frac{\sigma(t)_1}{\sigma_a}, \frac{\sigma(t)_2}{\sigma_a}\right)$$

$$\sigma(t)_1 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{弱})}{A}$$

$$\sigma(t)_2 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{強})}{A}$$

$M(t)_{弱}$ ：時刻 t における弱軸断面方向の曲げモーメント

$M(t)_{強}$ ：時刻 t における強軸断面方向の曲げモーメント

$N(t)_{弱}$ ：時刻 t における弱軸断面の軸力

$N(t)_{強}$ ：時刻 t における強軸断面の軸力

Z ：鋼管杭の断面係数 A ：鋼管杭の断面積

$\sigma(t)$ ：時刻 t における曲げ軸応力 σ_a ：短期許容応力度 R_{max} ：時刻歴最大照査値

第 3.4.7-1 図 鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価（曲げ軸力照査の算定式の例（東海第二））

(2) 箱型構造物（1号炉取水槽流路縮小工）

箱型構造物（1号炉取水槽流路縮小工）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については、「3.3 屋外重要土木構造物」の「3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価（1）箱型構造物」と同一の手法とする。

3.4.8 機器・配管系への影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、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。

なお、津波防護施設の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

別紙 10－1 機器・配管系に関する説明資料

- ・第 1 表 構造強度評価
- ・第 2 表 動的/電氣的機能維持評価
- ・補足説明資料

第1表 構造強度評価

設備 ^{※1}	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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1.1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(それぞれ振動等)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	
炉心シユラウド	上部胴 下部胴	一次一般脚応力	△	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】			
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
	中間胴	一次一般脚応力	△	B	同上		×	
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
シユラウドサブポート 炉心支持構造物	上部格子板支持面 炉心支持板支持面	座屈	△	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方向への影響はない。			
	レグ	一次一般脚応力	△	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】			
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
	軸圧縮応力		△	B	同上			
			△	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】		×	
	上部格子板	グリッドプレート	一次一般脚応力	△	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。		
			一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
		補強ビーム 支持板	一次一般脚応力	△	B	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。		
			一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
炉心支持板	一次一般脚応力	△	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方向への影響はない。		×		
	一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	C	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	一次一般脚応力	△	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】			
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上		×	

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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(それぞれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由	
炉心 構造 支物	制御棒案内管	下部密接部 長手中央部	△	B	評価部位は円形の一樣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】	×	—	
		円筒脚 下腕 スカーフトと円筒脚の接合部	△	B	評価部位は円形の一樣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】	×	—	
	円筒脚 下腕及びスカーフト	スカーフト	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
	原子炉 圧力 容器	制御棒貫通孔	ハウジング	△	B	評価部位は円形の一樣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】	×	—
			スタブチューブ	△	B	同上	同上	×
制御棒貫通孔		軸圧縮応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上	同上	×	—
		軸圧縮応力	△	B	同上	同上	×	—

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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るといえるもの 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(それぞれ振動等)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新たな応力成分が発生しないこととの理由	
圧力容器支持構造物 原子炉本体の基礎	円筒部 (内筒) 円筒部 (外筒)	せん断応力	△	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】			
		組合せ応力	△	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。したがって、水平2方向の入力の影響は軽微である。			
	円筒部 (たてリブ)	せん断応力	△	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】			
		組合せ応力	△	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。したがって、水平2方向の入力の影響は軽微である。			
	CRD開口まわり (CRD開口はり)	せん断応力	△	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】		×	
		曲げ応力	△	B	同上			
		引張応力	△	C	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。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向地震における最大応力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8】			
	基部アソカ部 (基礎ボルト)	基部アソカ部 (ベースプレート)	曲げ応力	△	C	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。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向地震における最大応力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8】		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由	
原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	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つているため、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】	×	-	
	ブラケット	せん断応力 曲げ応力	△ △	C C	同上 同上			
原子炉圧力容器付属構造物	パイプ	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つているため、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】	×	-	
		せん断応力	△	C	同上			
		圧縮応力	△	C	同上			
		曲げ応力	△	C	同上			
	フランジボルト	組合せ応力	△	△	C			同上
		引張応力	△	△	C			同上
		せん断応力	△	△	C			同上
		曲げ応力	△	△	C			同上
		組合せ応力	△	△	C			同上
		引張応力	△	△	C			同上

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響なし △：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、構造上真担しないもの 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(それぞれ振動等)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 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	制御機駆動機軸へ ウジンギン支持金具	曲げ応力	△	B	水平方向地震力が作用する際に、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。			
		引張応力	△	B	水平方向地震力が作用する際に、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。	×	-	
	ジェットポンプ計 測配管貫通部シール	せん断応力	△	B	同上			
		組合せ応力	△	B	同上			
		一次一般応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている接続配管の応力係数を使用しており、接続配管において地震入力方向に作用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。	×	-	
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上			
	差圧検出・ほう酸 水注入系配管 (テイラーよりN11ノ ズルまでの水管)	一次一般応力	○	-	3次元的に配置されているため、水平それぞれ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。			
		一次一般応力+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			
原 子 炉 圧 力 容 器 内 部 構 造 物	蒸気乾燥器ユニット	一次一般応力	△	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方向入力を考慮しても水平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。			
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	C	同上	×	-	
	耐震用ブロック	繰り込み断応力	△	D	水平2方向入力時の地震力を4つの耐震用ブロックのうち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】			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上か負担しないもの 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(たねれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
設備*1	気水分離器及びスタンドパイプ 原子炉中性子計装 案内管	一次一般断応力	△	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】	×	—
		一次一般断応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
	スパー ज्या 炉内配管	一次一般断応力	○	—	3次元的に配置されているため、水平それぞれ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。	○	
		一次一般断応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
	ジェットポンプ	一次一般断応力	○	—	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。	○	
		一次一般断応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
使用済燃料貯蔵ラック	ライザ アイフューザ ライザブレース	引張応力	○	—	水平それぞれ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		
	ラック部材 シートプレート及びベース	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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。		
使用済燃料貯蔵ラック	ラック取付ボルト 基礎ボルト	引張応力	△	C	同上		
		せん断応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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 水平方向とその他の直交方向が相関する振動モード(れずれ振動等)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 新たな応力成分が発生しないこと 理由
鋼鉄・破損燃料貯蔵 ラック	ラック部材	引張応力	○	—	水平それぞれ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、田形柱の一様断面でないため、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		
	サポータ部材	引張応力	△	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
		せん断応力	△	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構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。【補足説明資料3】		
		組合せ応力	△	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
	底部基礎ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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。		
	サポータ部基礎ボルト	引張応力	△	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
		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	△	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。		
アキュムレータ	脚板	一次一般懸応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		一次一般懸応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
		一次+二次応力	○	—	同上		
		組合せ応力	○	—	同上		
脚		一次一般懸応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		一次一般懸応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
		一次+二次応力	○	—	同上		
		組合せ応力	○	—	同上		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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方向の地震力を組み合わせても1方向の地震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 の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
設備※1 たて置円筒形容器 (ラグ支持)	脚版	一次一般断応力	△	B	評価部位は円形の一般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】		
		一次一般断応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
		一次+二次応力	△	B	同上		
	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	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、荷重の重ね合わせは発生せず、影響は軽微である。		
立形ポンプ	基礎ボルト	組合せ応力	△	B	上記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。		
		一次一般断応力	△	B	評価部位は円形の一般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】		
		引張応力	△	C	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。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向の地震における最大応答の非同時性を考慮する【補足説明資料8】		○
	基礎ボルト 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。【補足説明資料8】		
		組合せ応力	△	C	上記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。		
		一次一般断応力+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。		×
ECCストレーナ	全ディスクセットの多孔プレート ディスクセット間の円筒形多孔プレート リブ コンプレッションプレート フィンガ ストラップ フランジ	引張応力	△	C	ボルトは短形配座であり、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、影響は軽微である。【補足説明資料7】		×
		組合せ応力	△	C	上記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。		
構形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補給海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配座であり、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、影響は軽微である。【補足説明資料7】		×
		組合せ応力	△	C	上記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。		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由	
設備*1 横置円筒形容器	脚板	一次一般応力	△	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、斜め方向に発生するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】	○	-	
		一次一般応力+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、斜め方向に発生するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】	×	-	
		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、斜め方向に発生するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】			
		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。			
	基礎ボルト	脚板	一次一般応力	△	B	評価部位は円形の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+二次応力	△	B	同上		
		スカート	組合せ応力	△	B	評価部位は円形の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】		
座屈			△	B	同上			
引張応力			△	C	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。水平2方向の入力を想定した場合にも水平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8】	×		
基礎ボルト		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。【補足説明資料8】			
		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。			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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	上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
水圧制御ユニット	フレーム	引張応力	○	-	非対称構造であるため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。	○	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	○	-	同上		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
		引張応力	○	-	評価においてフレームの応答を使用しており、フレーム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。		
平底たて置円筒形容器	脚版 基礎ボルト 取付ボルト	せん断応力	○	-	同上	×	-
		組合せ応力	○	-	同上		
		一次一般脚心力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、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	△	B	同上		
		引張応力	△	C	ボルトは円筒状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向の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8】		
		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8】		
核計測装置	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。	×	-
		一次一般脚心力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力が異なる。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】		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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方向の地震力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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
伝送器 (矩形床置)	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方向地震力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。		
伝送器 (矩形壁掛)	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方向及び給電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。		
制御盤、電気盤 (矩形床置)	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方向地震力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。		
制御盤、電気盤 (矩形壁掛)	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方向及び給電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。		
モニタリング設備 (矩形床置)	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方向地震力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。		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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るといえるもの 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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由	
モニタリング設備 (矩形壁掛)	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。	×	—	
原子炉格納容器	ドライウエル	組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	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+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	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+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力	△	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+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	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+二次応力	△	B	同上	同上	×	—
		座屈	△	B	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。	×	—	
サブレンション チェンバ	各部位	一次一般応力	○	—	同上	×	—	
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	—	同上	×	—	
ベント管	ヘッド接続部 ベント管円筒部 ベント管とドライウエルとの接合部	一次一般応力	○	—	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。	○	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評価評価を実施している。	
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	—	同上	○		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造上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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
原子 炉 格 納 器	評価部位 サポ ート ベ ース と ベ ー ス ブ レ ー ト の 接 合 部	引張応力	○	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。	①-1の影響有無の説明	×	-
		せん断応力	○	同上			
		圧縮応力	○	同上			
		曲げ応力	○	同上			
		組合せ応力	○	同上			
		せん断応力	○	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。			
	支圧圧力	○	同上				
	評価部位 シ ア キ ー ベ ー ス ブ レ ー ト シ ア ブ レ ー ト コ ン ク リ ー ト 部 ボ ル ト 基 礎 ボ ル ト	せん断応力	○	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。	①-1の影響有無の説明	×	-
		曲げ応力	○	同上			
		組合せ応力	○	同上			
		圧縮応力	○	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。			
		引張応力	○	同上			
引張応力		○	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。				

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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(それぞれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原 子 炉 格 納 容 器	シヤララ	内側メイルシヤララ 外側メイルシヤララ 内側フイメイルシヤララ 内側フイメイルシヤララグリブ付根部 外側フイメイルシヤララ	せん断応力	△	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つており、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】	×	-
				△	同上		
				△	同上		
				△	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つており、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】		
				△	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つており、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】		
				△	同上		
				△	同上		
				△	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つており、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】		
				△	同上		
				△	同上		
ハッチ類	シヤララ取付部	一次膨張力+一次曲げ応力	△	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つており、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】	×	-	
			△	同上			
			△	同上			
			○	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。			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	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。			
			○	同上			
			○	同上			
ハッチ類	ハッチ円筒胴	一次一般膨張力+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。	×	-	
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	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。			
			○	同上			
			○	同上			
ハッチ類	ハッチ本体と補強板との結合部	一次一般膨張力+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。	×	-	
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	同上			
			○	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。			
			○	同上			
			○	同上			

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無(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、構造上真担しないもの 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1.1方向の地震による応力と同等 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(それぞれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器間とスリーブとの取付部	一次膨張力+一次曲げ応力	○	-	評価においては3次元的に配管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。	×	-
		一次+二次応力	○	-	同上		
原子炉格納容器気配線貫通部	原子炉格納容器間とスリーブとの取付部	一次膨張力+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		
ダウンカメラ	ダウンカメラ	一次一般膨張力	○	-	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。		
		一次応力(曲げ応力を含む)	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次膨張力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次+ビーク応力	○	-	同上		
ベントヘッド	ベントヘッドとダウンカメラの結合部	一次一般膨張力	○	-	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。		
		一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	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。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次+ビーク応力	○	-	同上		
ベントヘッド	ベントヘッド強め輪取付部	一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	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。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		引張応力	○	-	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。		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
ベントヘッド	ベントヘッドサポート	一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	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。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		引張応力	○	-	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。		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
ベントヘッド	ベントヘッド強め輪取付部	一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	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。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		引張応力	○	-	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。		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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 の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
ペントヘッド	強め輪	引張応力	○	-	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。		
		せん断応力	○	-	同上		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		○
		せん断応力	○	-	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。		
ドライウエルスブレイ管 サブレイジョンチエンバ スブレイ管	ピン	曲げ応力	○	-	同上		
		支圧圧力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
		一次一般懸心カ+一次曲げ応力	○	-	評価部位は、非対象構造であるため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		
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、従来よりねじれモードを考慮した評価評価を実施している。		
可燃性ガス濃度制御系再 結合装置フロウ	ベース取付溶接部	圧縮応力	△	A	プレースはプロロ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。そのためプレースが受け持つ荷重が評価対象としていない軸方向の転倒モードのみと考えられ、軸直方向の水圧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。		
		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。		
		引張応力	△	C	ポルトは短形配置であり、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方向入力時のポ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。		
		引張応力	△	C	ポルトは短形配置であり、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】		
ディーゼル発電機	基礎ポルト 取付ポルト	引張応力	△	C	水平2方向入力時のポ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】		
		せん断応力	△	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。		×
		組合せ応力	△	C			
		引張応力	△	C			
		せん断応力	△	C			
		組合せ応力	△	C			

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上より水平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(それぞれ振動等)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
ガスタービン発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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方向地震力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。		
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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方向地震力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。		
配管、サポート	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	○	
		各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
矩形構造の架構設備(静的剛性式水素処理装置、梁台を含む)	各部位	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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方向地震力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。		
通信連絡設備(アンテナ類)(矩形床置)	基礎ボルト	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。		
除じん機エリア防水壁 防波扉 水密扉	各部位	各応力分類	△	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、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。【補足説明資料6】	×	—

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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
取水槽床トレン逆止弁	基礎ボルト	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方向入力の影響はない。		
		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。		
		せん断荷重	△	C	対象となる貫通部は建物軸に沿った配置となっていることから、せん断荷重及び圧縮荷重は、水平1方向の地震力による荷重が支配的であり、他の水平方向の地震力による荷重は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	
貫通部止水処置	モルタル	圧縮荷重	△	C	同上		
		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。		
屋外排水路逆止弁	基礎ボルト	曲げ応力	△	C	鉛直方向加速度のみを用いた評価であるため、水平2方向を考慮しても影響はない。		
		せん断応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上	×	
		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】		
取水管立入ビット閉止板	蓋	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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(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。		
		せん断応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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(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】		
取水槽水位計	取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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(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。		
		せん断応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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(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】		
津波監視カメラ	据付ボルト	引張応力	△	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】	×	
		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。		
		せん断応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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(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】		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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方向の地震力を組み合わせていえるもの 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(れわれれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由		
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブローリ脱線防止ラック(本体) 走行レール 横行レール	せん断応力	△	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力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。【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。		
		曲げ応力	△	A	同上				
		組合せ応力	△	A	同上				
	原子炉建物天井クレーン	ブローリ脱線防止ラック(取付ボルト) トローリ脱線防止ラック(取付ボルト)	せん断応力	△	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力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。【補足説明資料3】	○	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。	
			吊荷重	△	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。			
			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。			
		落下防止ラック	クレーン本体ガード	曲げ応力	△	D	同上	×	-
				浮上り量	△	D	同上		
			トロリストップ	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力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。【補足説明資料3】	×	-
				せん断応力	△	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力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。【補足説明資料3】		
ガンマ線遮蔽壁	胴基部 開口真中部	曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一段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】	×	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。		
		圧縮応力	△	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。				
		せん断応力	△	B	評価部位は円形の一段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】				
		圧縮応力	△	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。				
		曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一段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】				
		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。				
		圧縮応力	△	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。				
		曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一段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】				
		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。				
		組合せ応力	△	B	評価部位は円形の一段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】				

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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るといえるもの 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(それぞれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
設備※1	サポート	引張応力	○	-	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。		
		せん断応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
	振止め部	引張応力	○	-	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。		○
		せん断応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
制鋼棒肝臓ハンガ	基礎ボルト	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みではない。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。【補足説明資料6】		
		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】	×	-
	ガイドレール	せん断応力	○	-	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。		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
		せん断応力	○	-	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。		○
カート	曲げ応力	○	-	同上			
	組合せ応力	○	-	同上			
チャネル着脱装置	固定ボルト	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、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。【補足説明資料6】		
		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】	×	-
		吊荷重	△	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。	×	-
	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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(それぞれ振動等)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 の理由 新たな応力成分が 発生しないこと の理由
設備*1 取水槽ガントリクレーン	ガーダ	せん断応力	○	-	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。		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
	脚	せん断応力	○	-	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。		
		曲げ応力	○	-	同上		
		浮上り量	○	-	同上		
	走行レール 横行レール	せん断応力	△	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。【補足説明資料5】		
		曲げ応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	同上		
	転倒防止装置	せん断応力	△	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。【補足説明資料5】		
		曲げ応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	同上		
トロリ	浮上り量	○	-	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応答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。			
	吊荷荷重	△	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。			
	曲げモーメント	△	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。			
本体	せん断応力	△	C	同上			
	圧縮力	△	C	同上			
原形ウエルシールドブ ラフ							

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造しかり負担しないもの 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るといえるもの 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(れじれ振動等)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
循環水ポンプエリア電巻防護対策設備	蓋	曲げ応力	△	C	鉛直方向加速度のみを用いた評価であるため、水平2方向を考慮しても影響はない。 同上 同上	×	-
		せん断応力	△	C			
		組合せ応力	△	C			
海水ポンプエリア電巻防護対策設備	固定ボルト	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。【補足説明資料7】	×	-
		各応力分類	△	A			
耐火障壁 海水ポンプエリア防水壁	各部位	各応力分類	△	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、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。【補足説明資料6】	×	-
		各応力分類	△	A			
建物開口部電巻防護対策設備	各部位	各応力分類	△	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、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。【補足説明資料6】	×	-

※1：本表は、詳細設計等の進捗に応じて見直しを行う。

第2表 動的/電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無(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	①-10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無いことの理由 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	現行の機能確認済加速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	現行の機能確認済加速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方向入力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	最弱部であるフレームに対して、現行の機能維持確認済加速速度における詳細評価 [※] 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	最弱部である軸受に対して、現行の機能維持確認済加速速度における詳細評価 [※] 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	現行の機能確認済加速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	現行の機能確認済加速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、JEA44601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46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46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。	×	-
制御盤、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、基本的には全ての梁、扉等の強度部材に強化されているため、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。【補足説明資料9】	×	-
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の挿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方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力の影響は軽微である。	×	-
取水槽水位計	△	A	挿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方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
津波監視カメラ	△	A	挿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方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-

機種	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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	①-10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無いこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
ガスタービン発電機 (機関本体, 減速機)	△	A	①-10の影響有無の説明 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。	×	—
ガスタービン発電機 (燃料制御ユニット)	○	—	燃料制御ユニットについては、水平2方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
通信連絡設備 (アンテナ類)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—

※：J E A G 4 6 0 1 で定められた評価部位の裕度評価

別紙 10－1 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，原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグ）
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ドライヤ支持ブラケット）
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）
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（燃料取替機）
6. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（応答軸が明確である設備）
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（円周配置されたボルト）
9. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（電気盤）

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，原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグ）

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。）（第1-1図），原子炉格納容器スタビライザ（以下「PCVスタビライザ」という。）（第1-2図）及びシヤラグ（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，PCVスタビライザ及びシヤラグは，地震時の水平方向荷重を周方向45°間隔の8体の構造部材にて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

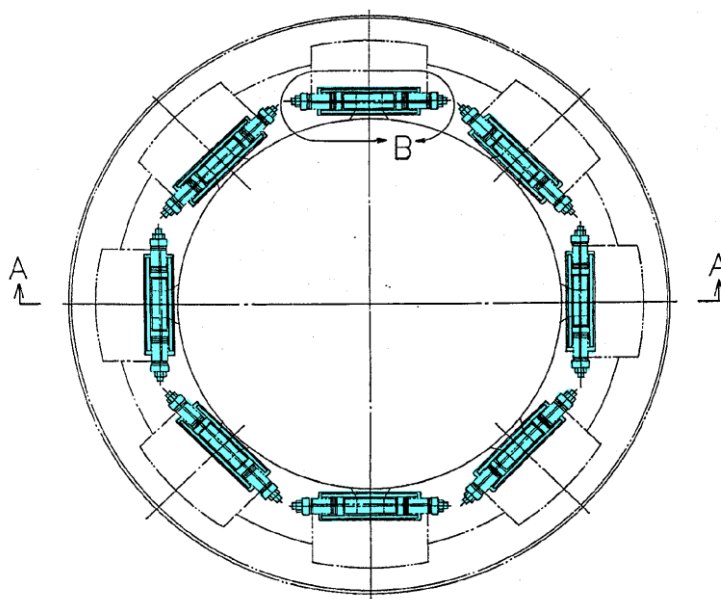
RPVスタビライザは，周方向45°間隔で8体設置されており，第1-4図に地震荷重と各RPVスタビライザが分担する荷重の関係を示す。

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）の最大地震力が付加されるものとしている。

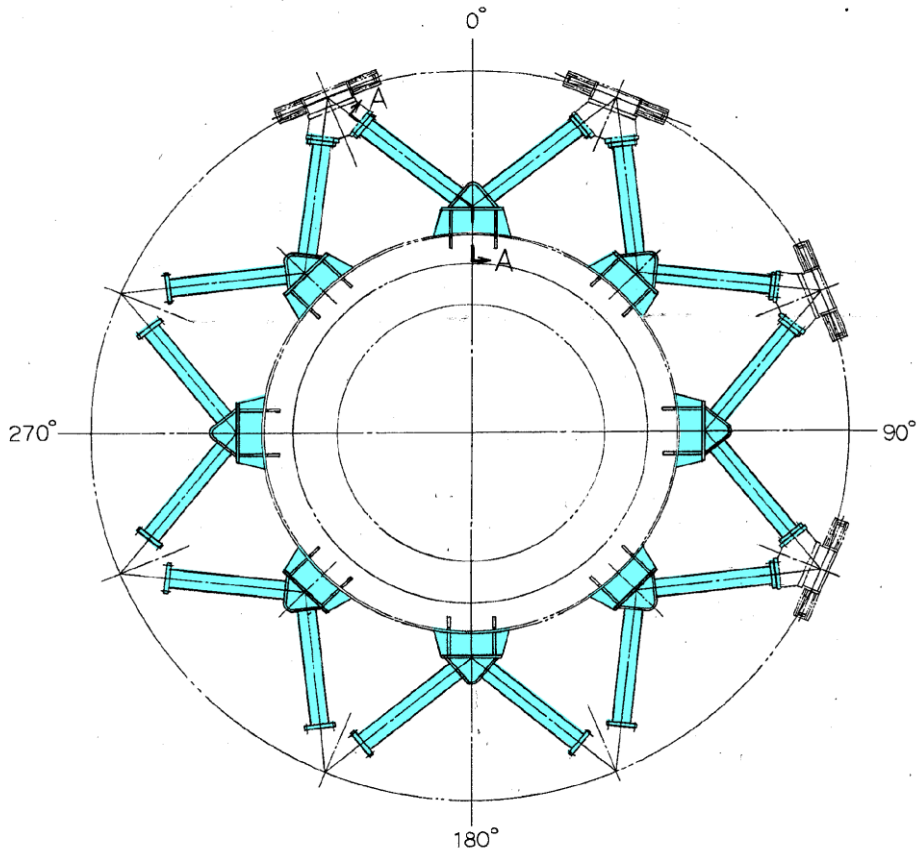
$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_x}{4}, \frac{F_y}{4} \right)$$

ここで，

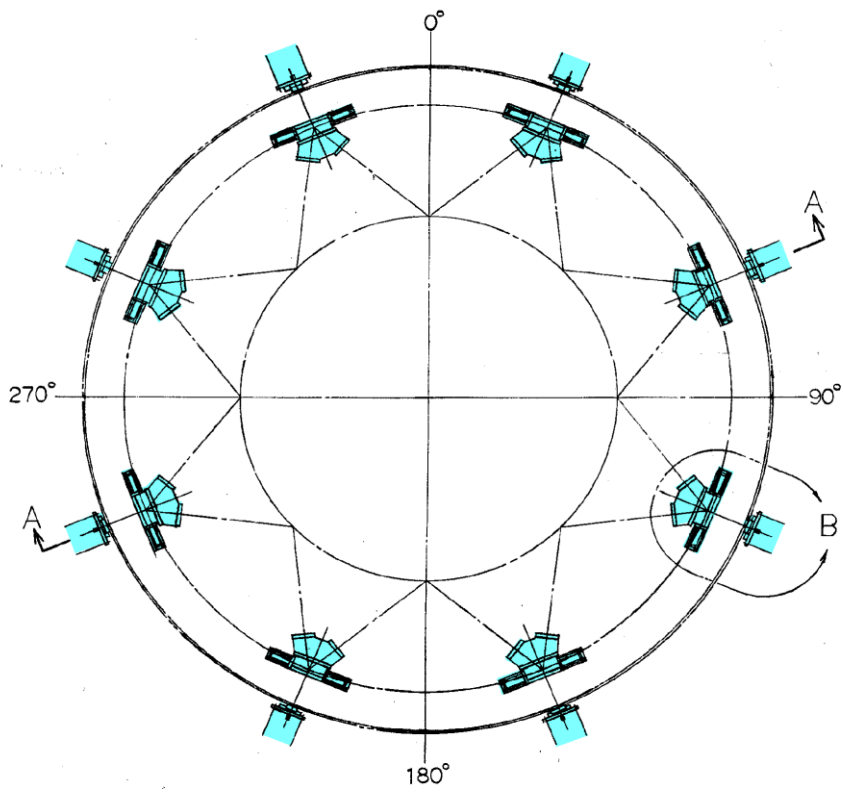
- f : R P Vスタビライザ1個が受け持つ最大地震荷重
- F_x : X方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重
- F_y : Y方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重



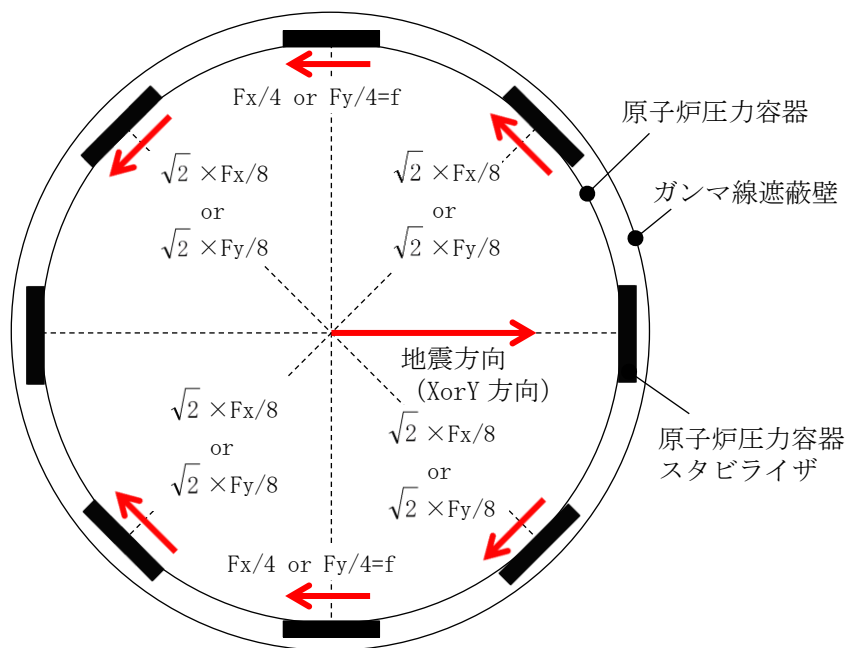
第1-1図 原子炉压力容器スタビライザ



第1-2図 原子炉格納容器スタビライザ



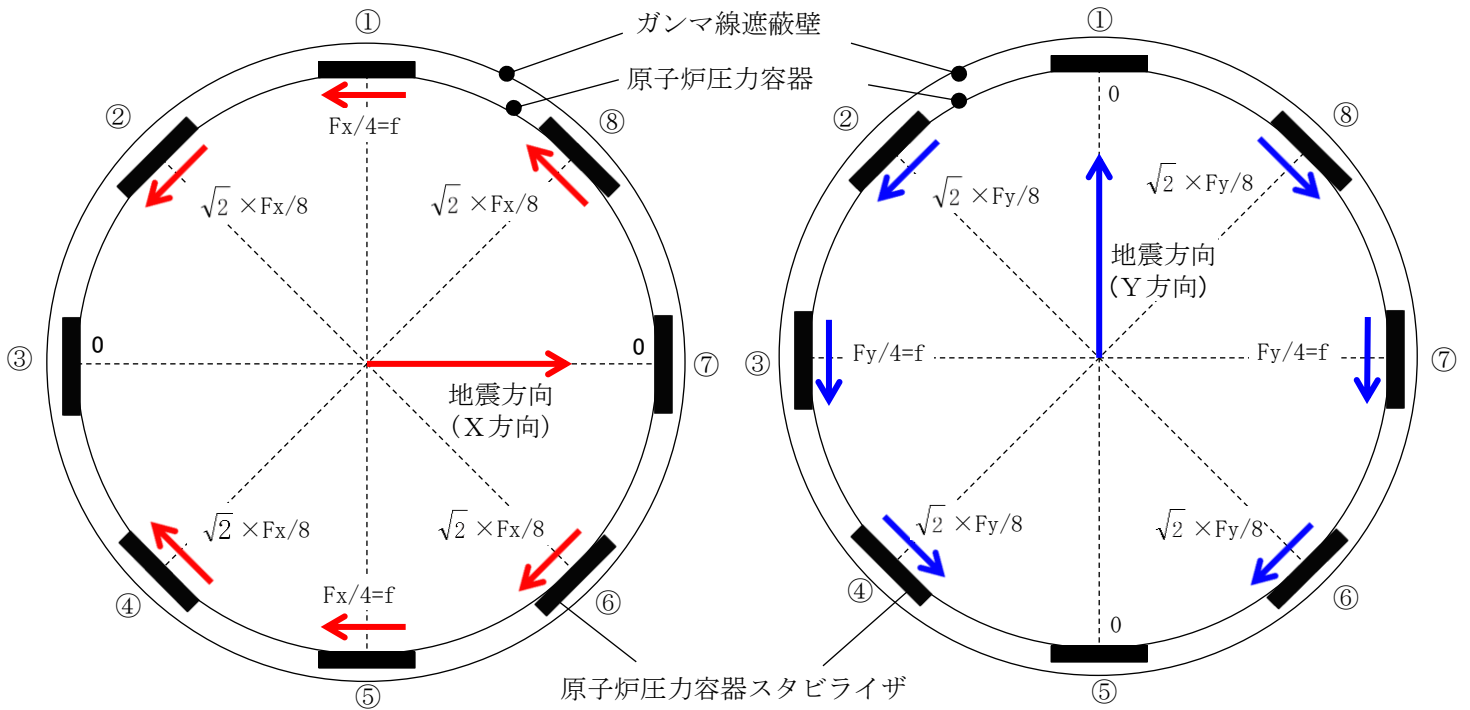
第1-3図 シヤラゲ



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

R P V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、第1-5図及び第1-1表に示すように、方向別地震荷重 F (F_x 又は F_y)に対する最大反力を受け持つ部位が異なる。



< X方向加振時 >

< Y方向加振時 >

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

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		$F_x/4 = f$	$F_y/4 = f$

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1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方向応答結果を算術和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したSRSS法： $F_y = F_x$ と仮定し、X方向、Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を二乗和平方根にて合成する。

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 原子炉压力容器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 ($F_y = 0.4F_x$)	②SRSS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	f

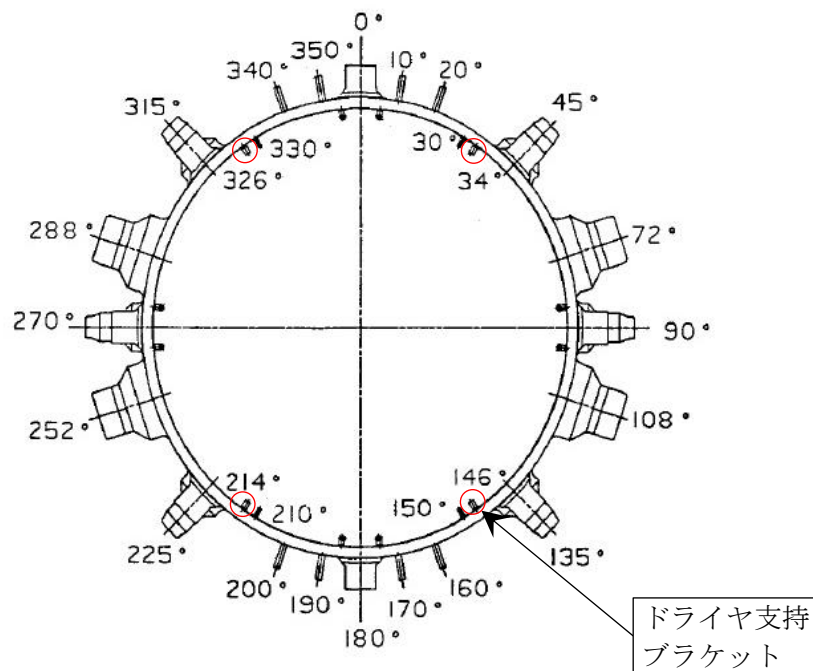
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（ドライヤ支持ブラケット）

2.1 はじめに

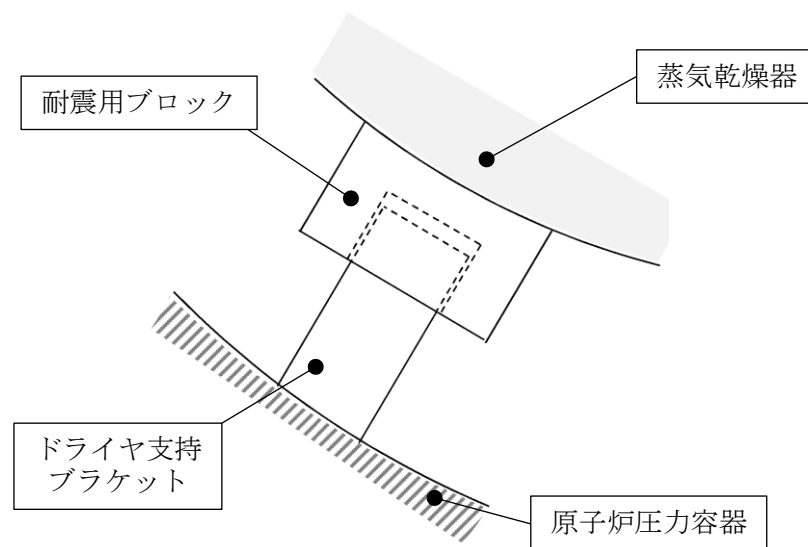
本項は、ドライヤ支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

ドライヤ支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は第2-1図の通りである。



第2-1図 ドライヤ支持ブラケット位置図



第2-2図 ドライヤ支持ブラケットと耐震用ブロックの取合いイメージ

ドライヤ支持ブラケットは、第2-2図の通りドライヤ支持ブラケットの直交方向のせん断荷重を負担する構造であり、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。しかし、耐震用ブロックとドライヤ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。

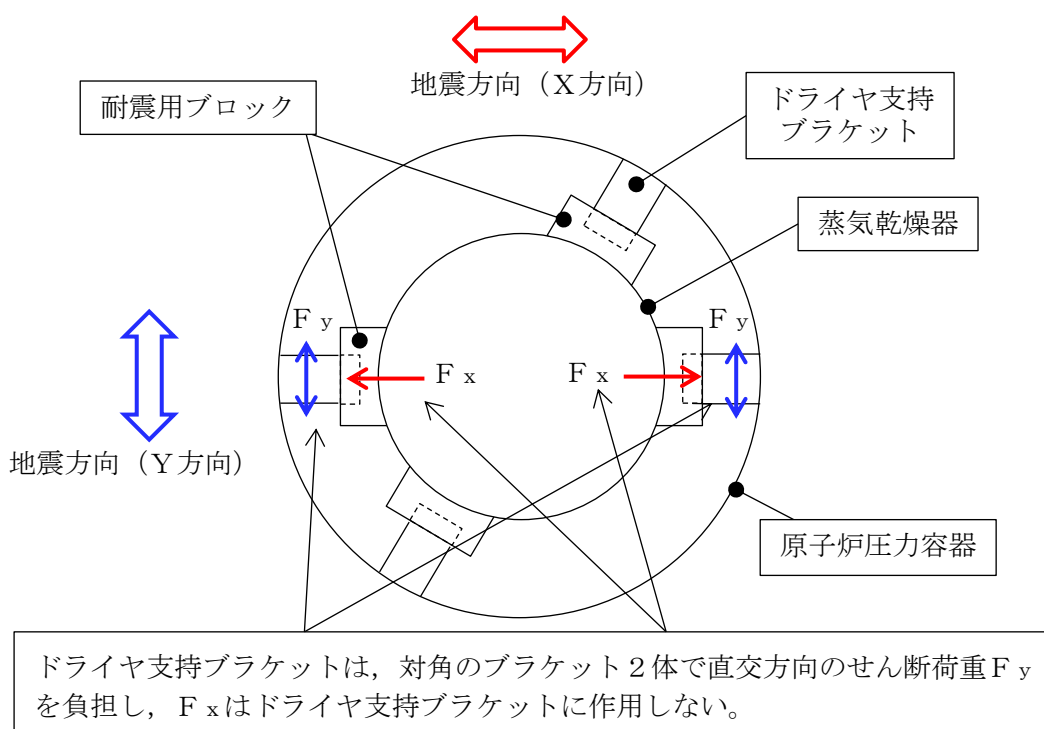
第2-3図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F_y = \frac{F}{2}$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震時の水平方向荷重

F_x : 対象とする対角のブラケット2体の軸方向に発生する水平方向荷重

F_y : 対象とする対角のブラケット2体の直交方向に発生する水平方向荷重



第2-3図 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

ドライヤ支持ブラケットは、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、ブラケットと耐震用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体でその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。

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（第3-1図）。

3.3 水平2方向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についてそれぞれ求めている。

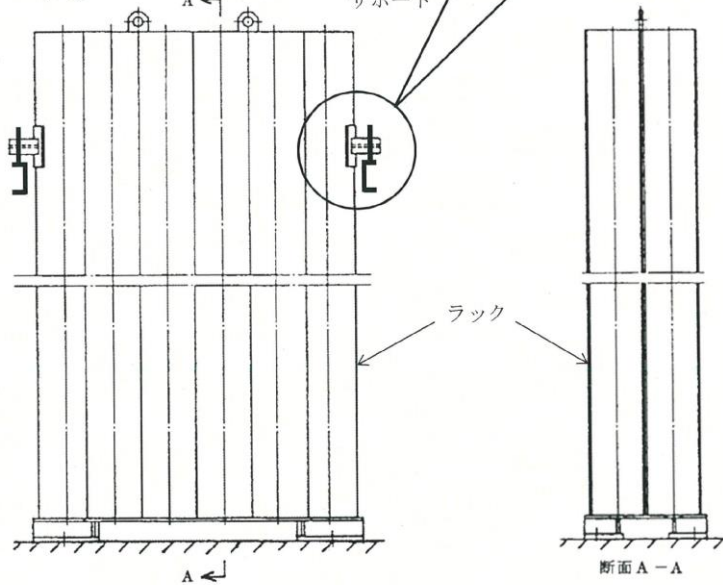
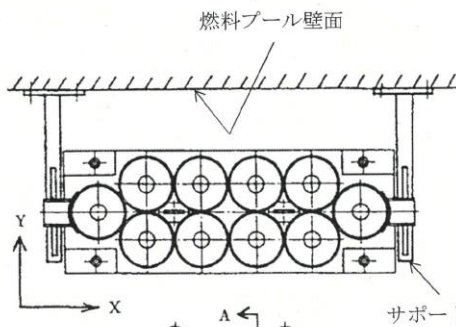
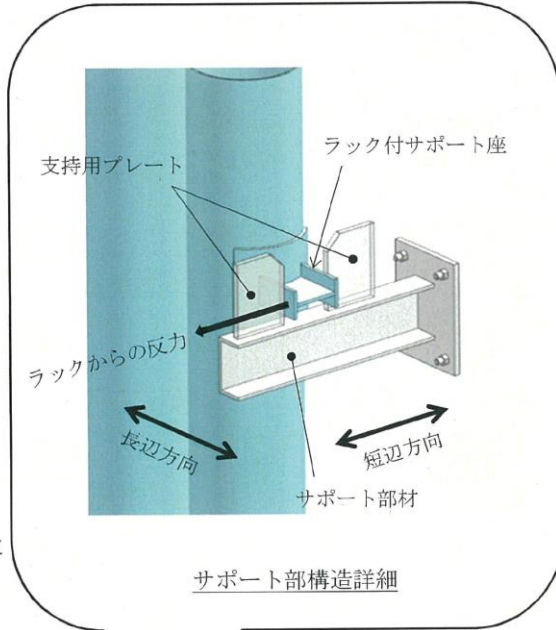
- ・長辺方向（水平X方向）＋鉛直方向
- ・短辺方向（水平Y方向）＋鉛直方向

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。サポート自身の慣性力は、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

第3-1図 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形容器に対する影響をFEMで確認した結果をまとめたものである。

円筒形容器については、別紙10-1にて記載している通り、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み合わせても影響軽微としている。本項には、別紙10-1にて記載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基づく胴の応力強さを対象としたものである。

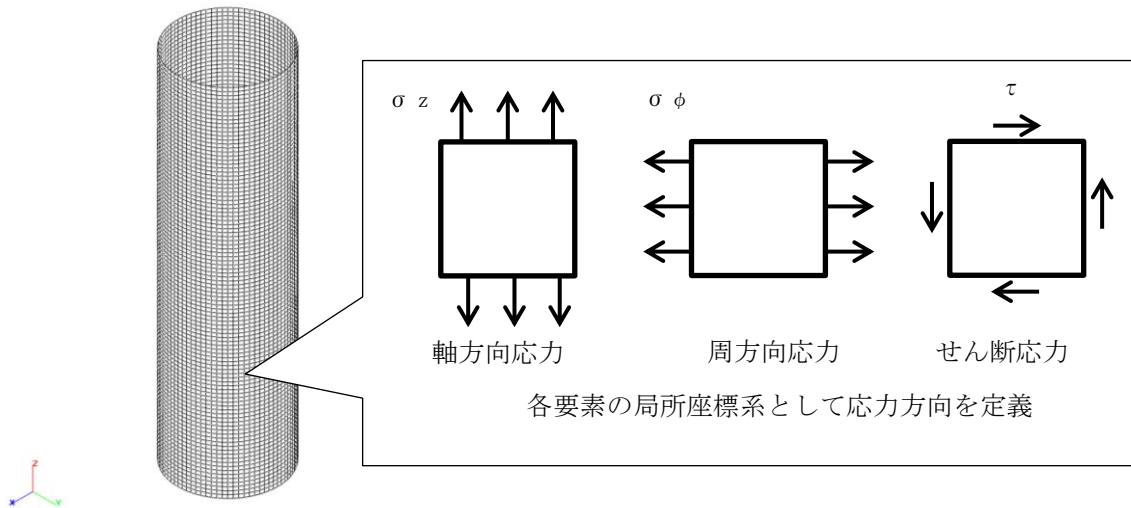
具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- 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

評価検討モデル及び応力の定義について第4-1図に示す。なお、応力については要素ごとの局部座標系として第4-1図に示すように定義する。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法 : 水平地震力1GをX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 : 容器基部における応力強さ
- ・ 水平2方向同時加振時の考慮方法
 - 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 評価検討モデル及び各応力の定義

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第 4-2 図に示す。この結果より、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 方向入力時の最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 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 4-1 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 $\sigma_{z,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{z,s}(\theta)$ 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 $\sigma_{z,x}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力 $\sigma_{z,y}(\theta)$) により、以下の通り算出する。

< 組合せ係数法 >

$$\sigma_{z,c}(\theta) = \text{MAX}(\sigma_{z,c(x)}(\theta), \sigma_{z,c(y)}(\theta))$$

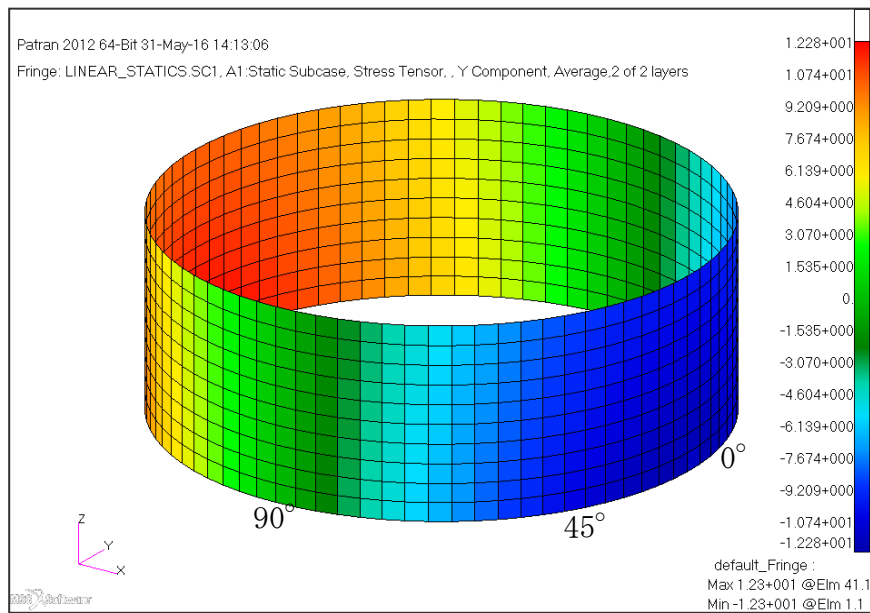
ただし、 $\sigma_{z,c(x)}(\theta)$ は $\sigma_{z,x}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{z,y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{z,c(y)}(\theta)$ は $\sigma_{z,y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{z,x}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸方向応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{z,c(x)}(\theta) = \sigma_{z,x}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{z,y}(\theta)$$

$$\sigma_{z,c(y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{z,x}(\theta) + \sigma_{z,y}(\theta)$$

< S R S S 法 >

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



第 4-2 図 水平地震時軸方向応力コンター図 (X 方向入力)

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

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。軸方向応力と同様に最大応力点は 0°

／180° 位置に発生しており、最大応力点が異なることが確認できる。

また、軸方向応力と同様に中間部 (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 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$ 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、以下の通り算出する。

<組合せ係数法>

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

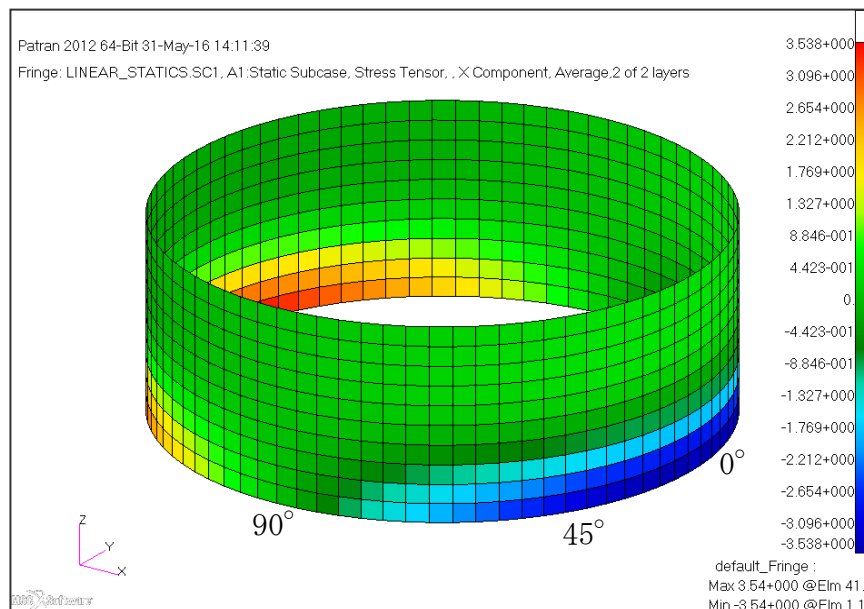
ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

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

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

<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ー図 (X方向入力)

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

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第4-4図に示し、せん断応力分布を第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が確認できる。

また、軸方向応力、周方向応力と同様に中間部(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方向入力時のせん断応力解析結果(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、以下の通り算出する。

<組合せ係数法>

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

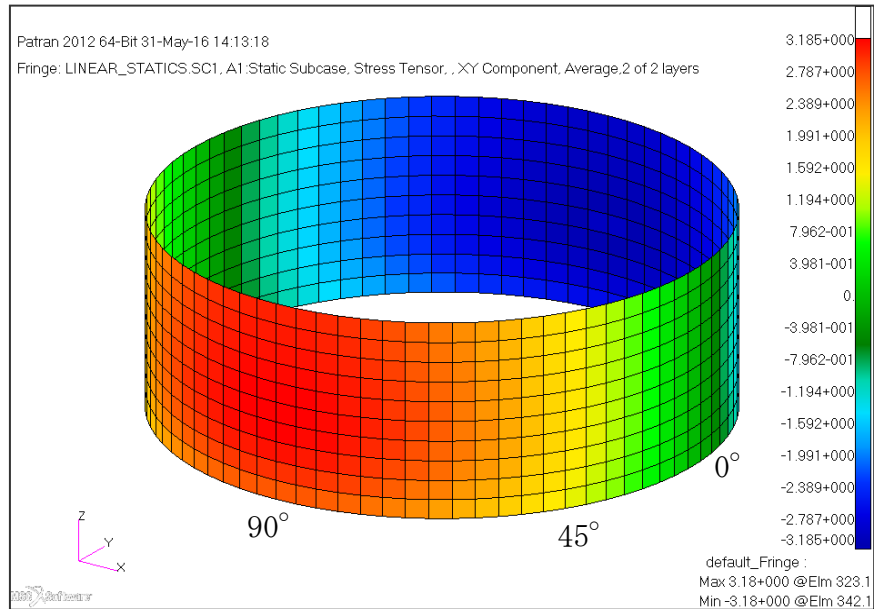
ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_x(\theta)$ に1、 $\tau_y(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_y(\theta)$ に1、 $\tau_x(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_x(\theta) + 0.4 \times \tau_y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_x(\theta) + \tau_y(\theta)$$

<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ー図 (X 方向入力)

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 $\tau_c(\theta)$	SRSS 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 応力強さ

胴の応力強さ σ は、第4-1表～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 σ_z 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を組み合わせ、耐震評価結果として用いている。

<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 $\sigma_{1,x}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,x}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,x}(\theta)$ は以下の通りに表される。

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

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

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

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

$$\sigma_x(\theta) = \text{MAX} \left(|\sigma_{1,x}(\theta) - \sigma_{2,x}(\theta)|, |\sigma_{2,x}(\theta) - \sigma_{3,x}(\theta)|, |\sigma_{3,x}(\theta) - \sigma_{1,x}(\theta)| \right)$$

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 $\sigma_{z,x}(0^\circ) = 12.28$ 、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、

$$\sigma_{1,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (0.00)^2} \right) = 12.28$$

$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (0.00)^2} \right) = 3.54$$

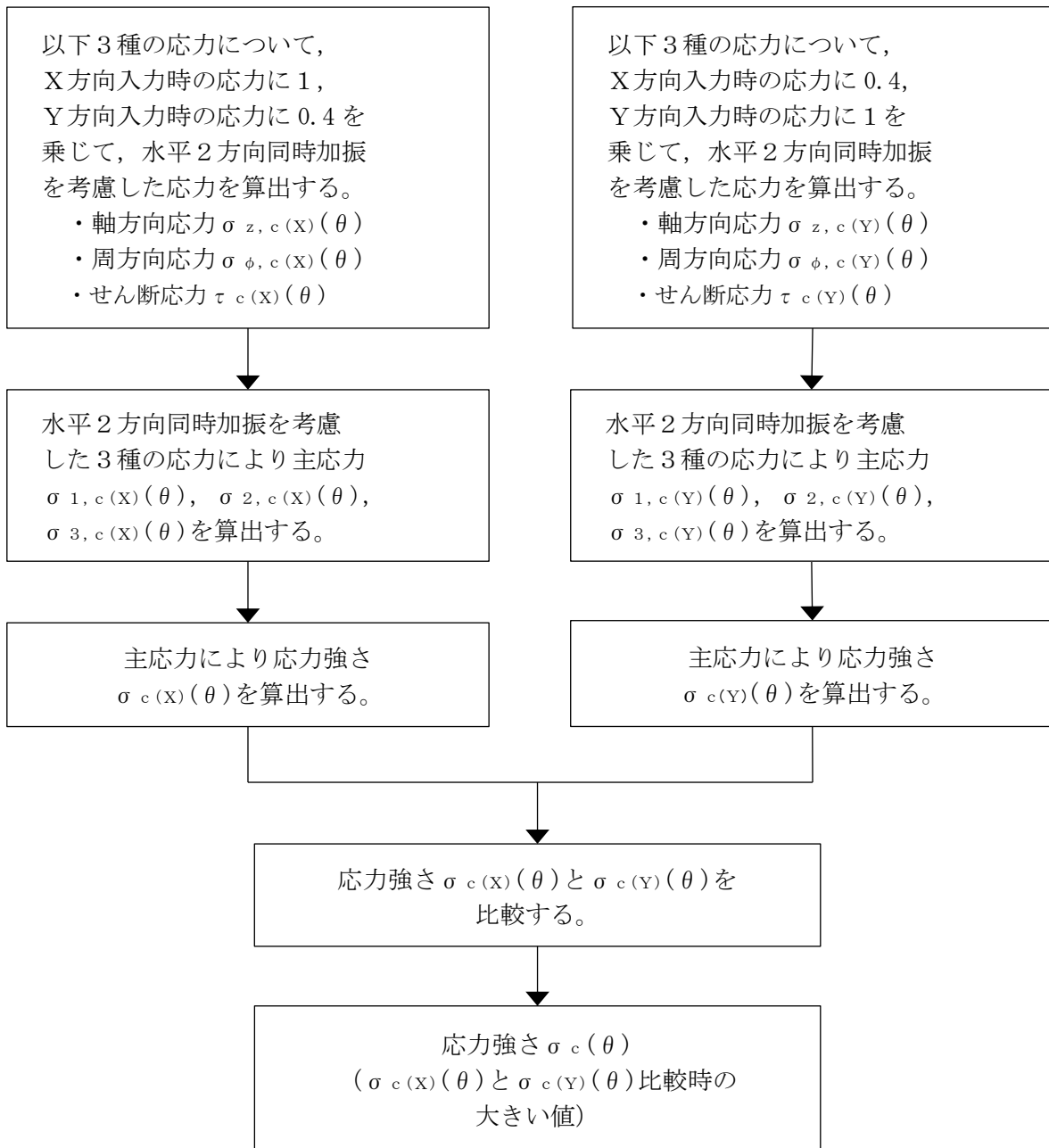
$$\sigma_{3,x}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ) = \text{MAX} \left(|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0.00|, |0.00 - 12.28| \right) = 12.28$$

<組合せ係数法による水平2方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_c(\theta)$ >

$\sigma_c(\theta)$ の算出フローを第4-5図に示す。



第4-5図 組合せ係数法による応力強さ算出フロー

X方向入力時の応力に1，Y方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向同時加振を考慮した応力は以下の通りとなる。

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

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

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

水平2方向同時加振を考慮した各応力により，主応力 $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$ ， $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$ ， $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$ は以下の通りに表される。

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

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

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

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

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \text{MAX} \left(\begin{aligned} &|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, \\ &|\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, \\ &|\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)| \end{aligned} \right)$$

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方向同時加振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 $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を比較し，大きい値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

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

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

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

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

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

となる。したがって，応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \text{MAX}(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0.00|, |0.00 - 12.41|) = 12.41$$

同様に，第4-1表より $\sigma_{z,c(Y)}(0^\circ)=4.91$ ，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，

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

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

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

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \text{MAX}(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0.00|, |0.00 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ と $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ の比較により、組合せ係数法による水平2方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_c(0^\circ)$ は、

$$\sigma_c(0^\circ) = \text{MAX}(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS法による水平2方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_c(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,s}(\theta)$, $\sigma_{2,s}(\theta)$, $\sigma_{3,s}(\theta)$ は以下の通りに表される。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \text{MAX}(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0.00|, |0.00 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$ 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表にまとめる。

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 ($\theta = 0^\circ$)

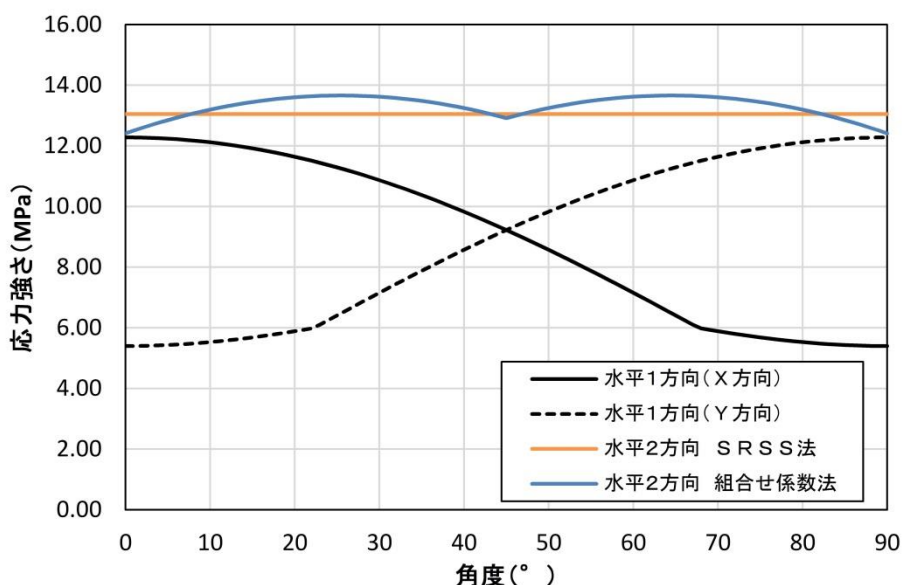
	X方向 入力時	Y方向 入力時	S R S S法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_z(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 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
$\tau(\theta)$	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	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (1.08)^2}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times (2.70)^2}] =$ 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	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (1.08)^2}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times (2.70)^2}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	—	—	0.00	0.00	0.00
$\sigma(\theta)$	—	—	MAX (13.05-2.77 , 2.77-0.00 , 0.00-13.05) = 13.05	MAX (12.41-3.41 , 3.41-0.00 , 0.00-12.41) = 12.41	MAX (6.38-(-0.05) , -0.05-0.00 , 0.00-6.38) = 6.43
				MAX (12.41, 6.43) = 12.4	

注1: 本表記載の数値は計算例を示すものであり, 実際の評価とは桁数処理の関係上, 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 水平地震時の応力強さ分布

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 水平地震時応力強さ分布図

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、組合せ係数法では 24.75° / 65.25° 方向に2つのピークを持つ分布となった。応力強さは0° / 45° / 90° 方向付近では、S R S S法の方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° / 65.25° 方向付近では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法による最大応力強さは水平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(第4-6表参照)、水平2方向による影響は軽微と言える。一方、水平2方向入力時の組合せ係数法による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。

第4-6表 水平地震時の最大応力強さ及び水平2方向による影響

		最大応力強さ (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	—
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（燃料取替機）

5.1 はじめに

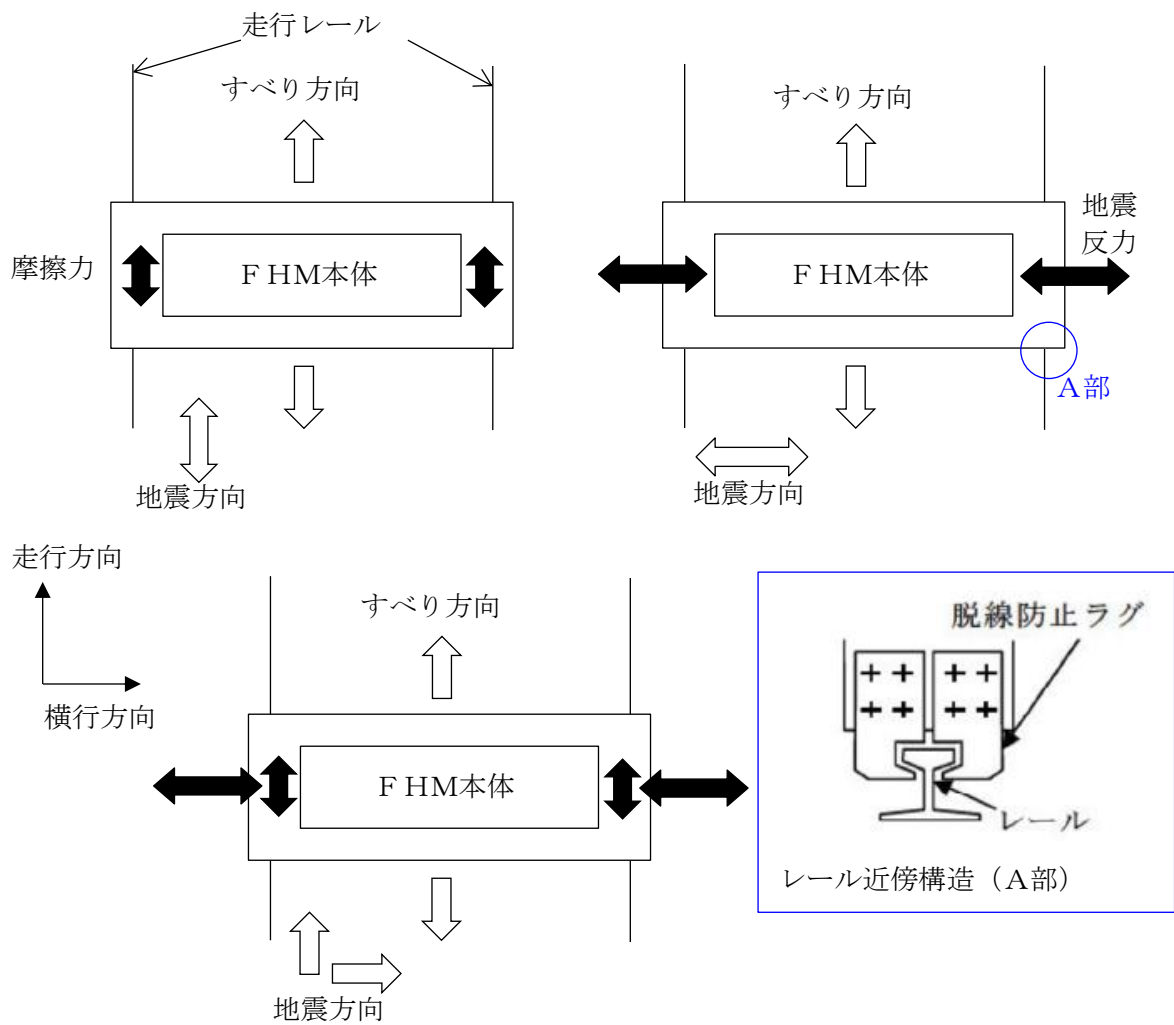
本項は、燃料取替機（以下「FHM」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

5.2 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、基本的には建物との固定はないが、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が横行方向に建物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5-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

6. 水平2方向同時加振の影響評価について（応答軸が明確である設備）

6.1 はじめに

本項は、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軽微であることを説明するものである。

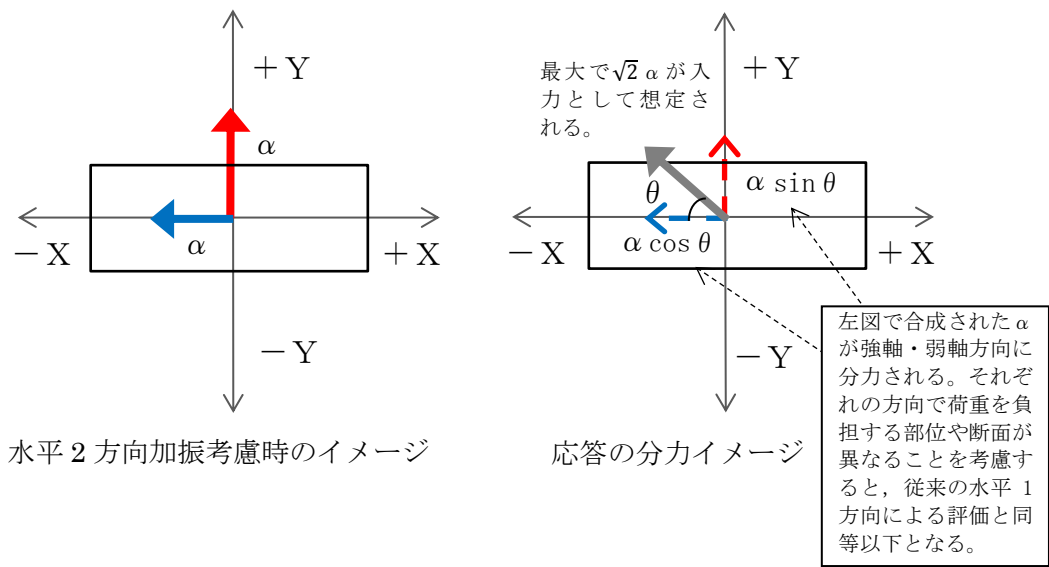
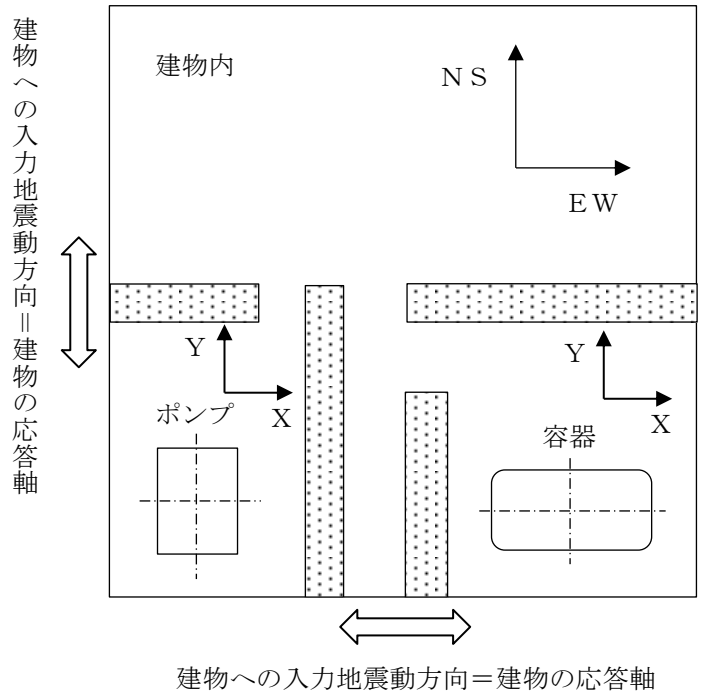
6.2 設備の有する耐震性に対して影響軽微であることの説明

設備の応答軸（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な設備（以下、「応答軸が明確な設備」という。）があり、このような設備については従来設計手法として、解析時にNS・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を設備のX方向及びY方向から入力し、最大応答で評価する等、保守的な評価を実施している。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える。その理由を以下に示す。

応答軸が明確な設備については、従来設計手法においても建物・構築物のNS・EW方向の応答を包絡した地震力を設備の各応答軸（第6-1図 X, Y方向）へ入力しているため、設備にとって厳しい方向となる弱軸方向への入力を用いた評価を実施している。

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、応答軸が明確な設備は対角方向へ転倒し難く、設備の応答軸方向へ応答し易いため、応答はそれぞれの応答軸方向（弱軸／強軸）に分解され、強軸側の応答は十分に小さくなる。また、強軸方向に比べて転倒し易い弱軸方向が、最も厳しい条件となるため、実質的には弱軸方向に1方向を入力した場合の応答レベルと同等となる。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。

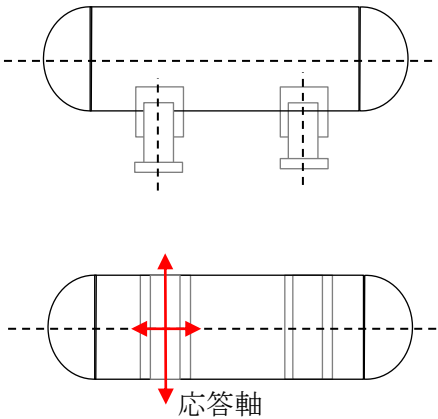
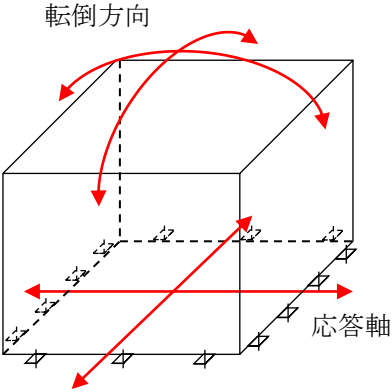
設計手法としてNS・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を入力して保守的な評価を実施していることも考えると、応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であるといえる。



第 6-1 図 水平 2 方向同時加振時の応答イメージ

上述の考え方は、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。第 6-1 表に応答軸が明確な設備の例を示す。

第6-1表 応答軸が明確な設備について

設備	構造図	説明	備考
横置円筒形容器		<p>横置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。</p>	<p>NS・EW包絡地震力を用いている。</p>
空調ファン、空調ユニット、横形ポンプ、電気盤（ボルト）、ディーゼル発電機（ボルト）等		<p>空調ファン等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。</p>	<p>NS・EW包絡地震力を用いている。</p>

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）

7.1 はじめに

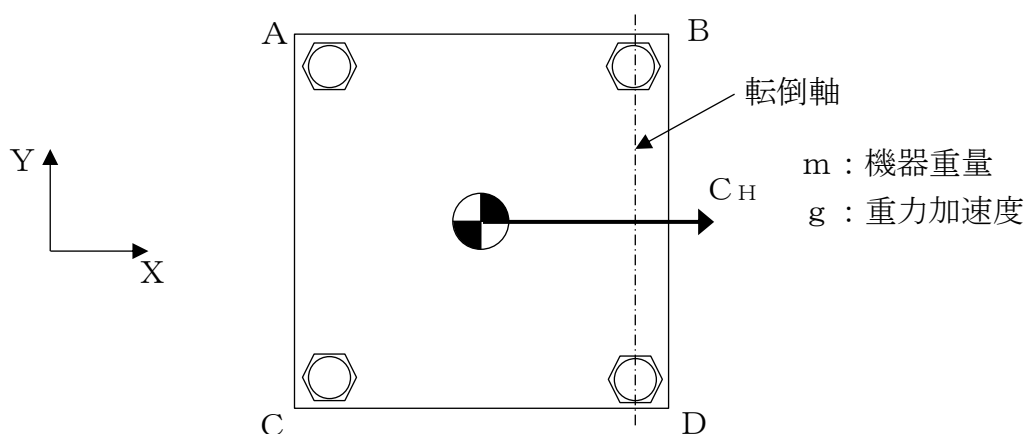
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

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、

$$F_H = m g C_H$$

と表せ、 F_H によりボルトB、Dの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントが生じる。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図に示す通りである。

第7-2図より、水平方向地震動による引張力は、

$$F_b = \frac{1}{L} (m g C_H h)$$

である。

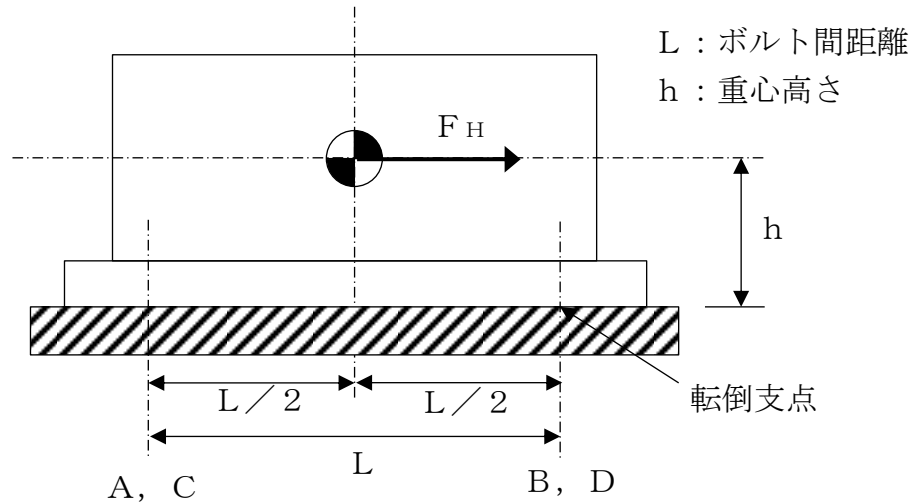
ボルトに発生する引張応力 σ_b は全引張力を断面積 A_b のボルト n_f 本で受けると考え、

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

である。水平1方向地震力を考慮する場合、ボルトA、Cで全引張力を負担することから、 $n_f = 2$ であるため、ボルトに発生する引張応力 σ_b は、

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{m g C_H h}{2A_b L}$$

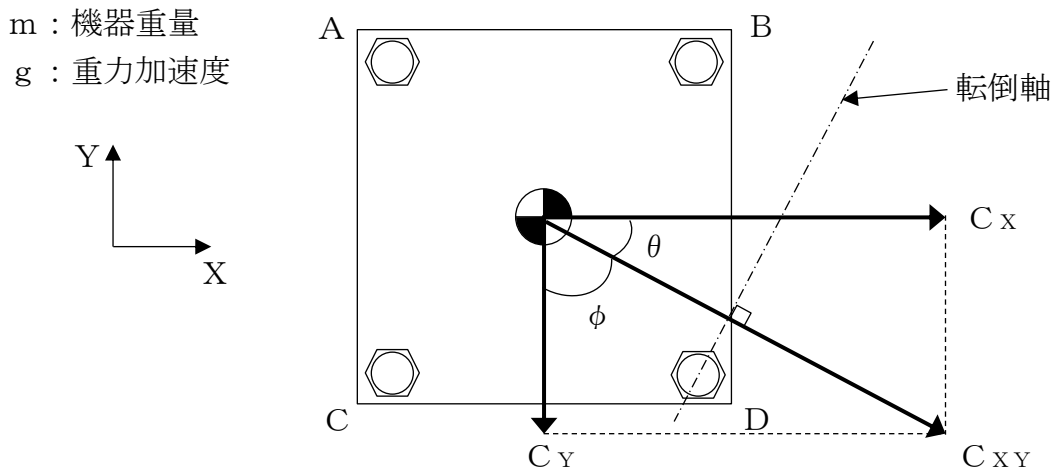
となる。



第7-2図 水平1方向の地震力による力

(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作用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)

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

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

と表せる。このとき、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、

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

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の中心を通り水平方向の震度 C_{XY} と直交する直線を転倒軸とすると、ボルトA、B、Cに発生する引張力は転倒軸からの距離に比例するため、

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

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、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \end{aligned}$$

である。

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

$$m g C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A$$

であり、引張力 F_A は以下の通りとなる。

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

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、

$$\sigma_{b'} = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (m g C_{XY} h)$$

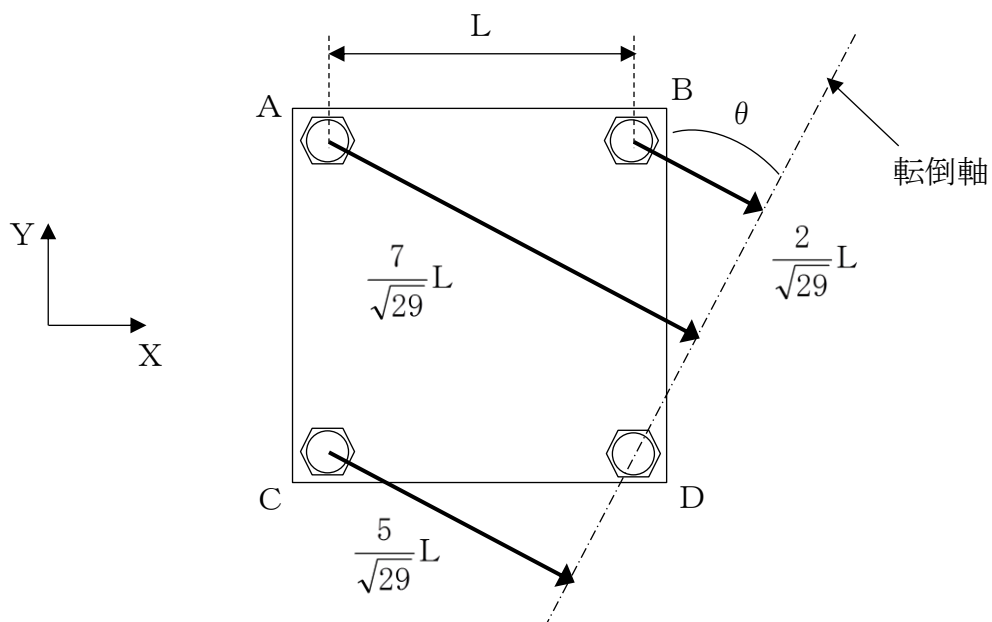
であり、水平1方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_A}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (m g C_H h)$$

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

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

となる。したがって、水平2方向地震を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微である。



第7-4図 対角方向に応答する場合の転倒軸からの距離

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が、全ボルトに対するせん断力 Q_b は、

$$Q_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト全本数 n でせん断力 Q_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

となる。

水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b 及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b' は $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であるため、

$$Q_b = m g C_X$$

$$Q_b' = m g C_{XY} = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_x = 1.08 m g C_x$$

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、その影響は軽微である。

8. 水平2方向同時加振の影響評価について（円周配置されたボルト）

8.1 はじめに

本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の円周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。

8.2 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8-1図のように水平1方向の震度 $C_H = \text{MAX}(C_X, C_Y)$ が与えられる場合を考慮する。ここで機器の質量を m 、重力加速度を g とする。

$C_X > C_Y$ 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、

$$F_H = m g C_X$$

と表せ、 F_H により最外列のボルトを通る転倒軸を中心に転倒モーメントが生じる。このとき、系の重心に生じる力は、第8-2図に示す通りである。

F_H により生じる転倒モーメント M は

$$M = F_H h = m g C_X h$$

となり、各ボルトに加わる引張力の分布を第8-3図の通りとしたとき、引張力が最大となる転倒軸から最も遠いボルトに加わる引張力は、

$$F_1 = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} M = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} m g C_X h$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b は引張力を断面積 A_b のボルト1本で受けるため、

$$\sigma_b = \frac{F_1}{A_b} = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \frac{m g C_X h}{A_b}$$

となる。

(2) 水平2方向に地震力が作用する場合

第8-1図における水平方向震度 C_H について、水平2方向（X方向及びY方向）の震度 C_X 、 C_Y を組み合わせる場合を考慮する。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作用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（ $0.4 C_X = C_Y$ ）と仮定する。

このとき、水平方向の震度は、 $C_H = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ となり、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、

$$F_H = m g C_H = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

と表せ、 F_H により最外列のボルトを通る転倒軸を中心に転倒モーメントが生じる。このとき、系の重心に生じる力は、第8-2図に示す通りである。

F_H により生じる転倒モーメント M は

$$M = F_H h = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X h$$

となり、各ボルトに加わる引張力の分布を第8-3図の通りとしたとき、引張力が最大となる転倒軸から最も遠いボルトに加わる引張力は、

$$F_1 = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} M = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X h$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b' は引張力を断面積 A_b のボルト1本で受けるため、

$$\sigma_b' = \frac{F_1}{A_b} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \frac{C_X h}{A_b} = 1.08 \sigma_b$$

となる。したがって、水平2方向地震を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微である。

8.3 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が、全ボルトに対するせん断力 Q_b は、

$$Q_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト全本数 n でせん断力 Q_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

となる。

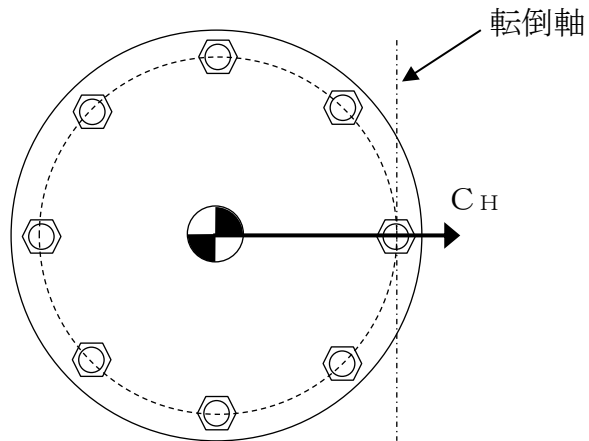
水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b 及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b' は、水平2方向を組み合わせた水平方向震度 $C_H = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であるため、

$$Q_b = m g C_X$$

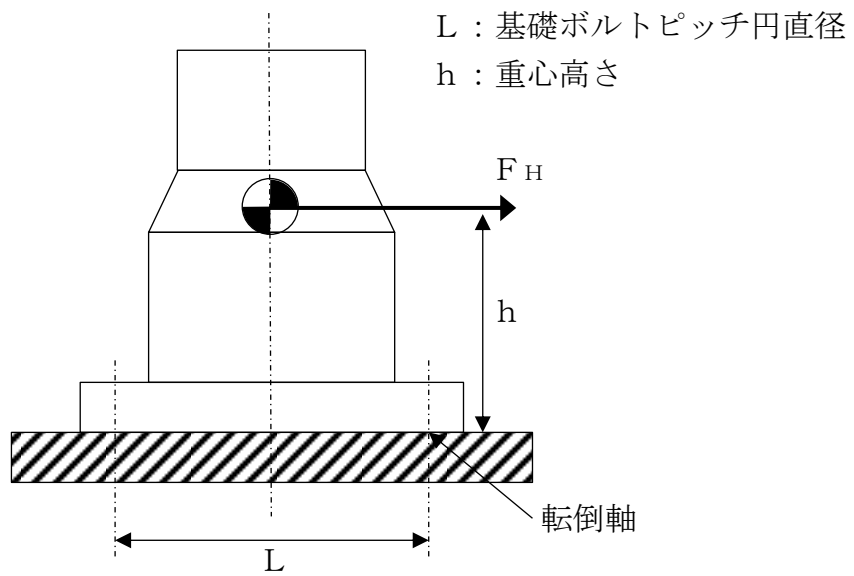
$$Q_b' = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X = 1.08 m g C_X$$

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

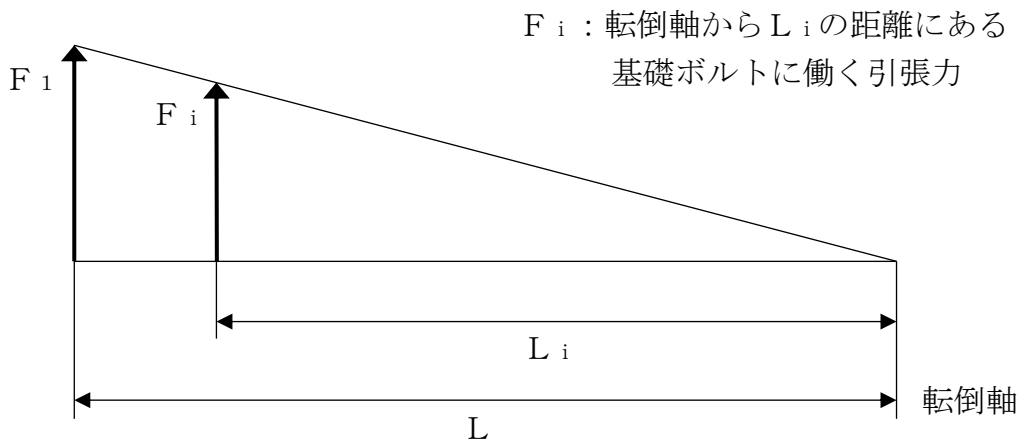
せん断応力は増加するが、その影響は軽微である。



第8-1図 水平方向の地震力による応答（概要）



第8-2図 水平方向の地震力による力



第 8-3 図 ボルトに働く引張力

9. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）

9.1 はじめに

本項は、電気盤に取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。

9.2 水平2方向加振の影響について

電気盤に取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と考ええる。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考ええる。

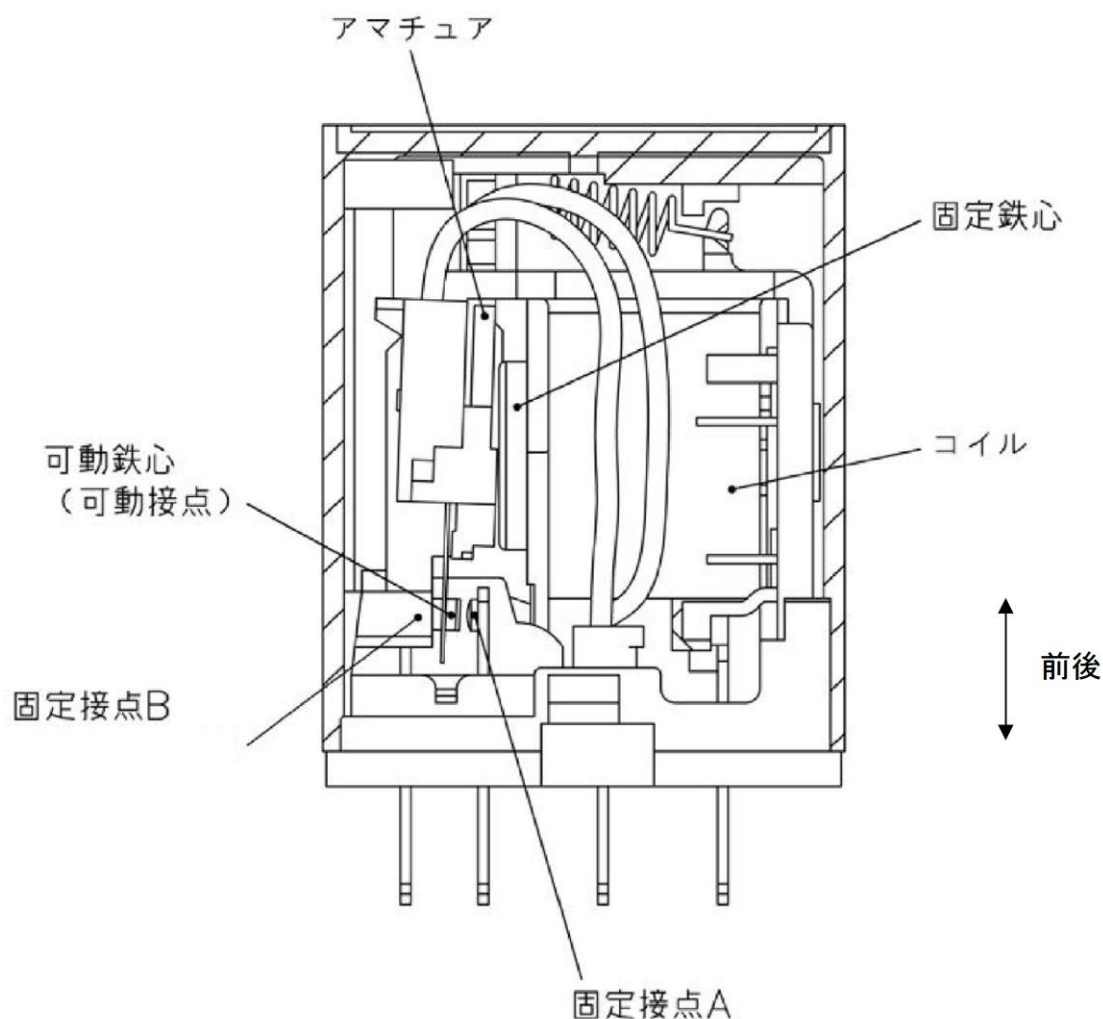
次項より、代表としてメタクラ取付器具を考慮し、器具の構造から検討した結果をまとめる。

なお、これら以外の器具については、今後の詳細検討において構造・型式等の観点から網羅的に整理し、影響が軽微であることを確認することとする。

9.2.1 補助リレー

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-1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、可動接点は1方向（上下方向又は左右方向）にのみ動くことができる構造になっている。



第9-1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

第9-1図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力による可動鉄心（可動接点）の振動に伴う接点の誤接触又は誤開放（上下方向又は左右方向）

ただし、補助リレーは取付部をボルト固定していること、また器具可動部の振動方向が1方向（上下方向又は左右方向）のみであることより、誤動作に至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での機能確認済加速度を第9-1表に示す。

第9-1表 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

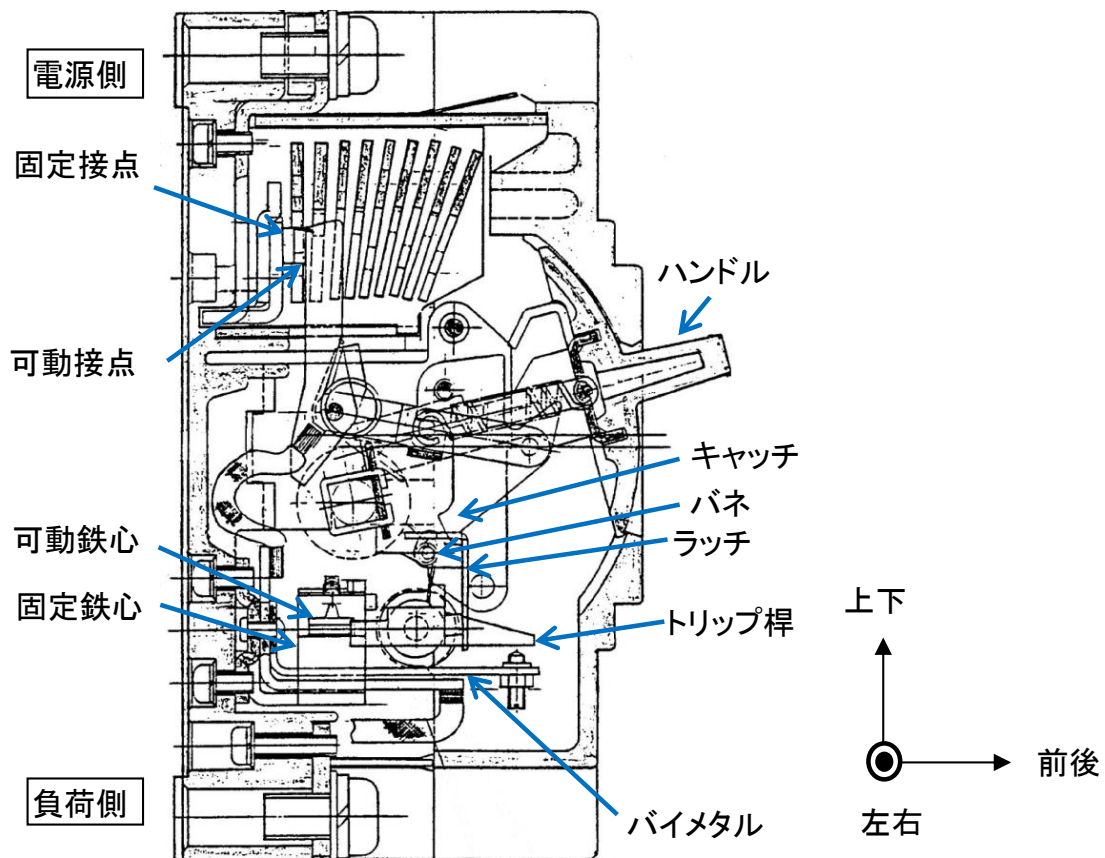
※2：原子炉建物 EL. 23800 基準地震動 S s (暫定値)

9.2.2 ノーヒューズブレーカ (MCCB)

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-2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及び完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の作動原理及び内部構造を示す。

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合いが外れ、キャッチがばねにより回転することにより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9-2図 MCCB (熱動電磁式) 構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

第9-2図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ハンドルの逆方向への動作（上下方向）
- ・接点の乖離（前後方向，左右方向）
- ・ラッチ外れによるトリップ（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・非接触による乖離，左右はずれによる乖離）から，誤動作に至る事象は多次元的な影響はないと考えられる。

ラッチ外れについては，2軸（前後方向，上下方向）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方向の影響はないと考えられる。

なお，既往試験では，ハンドルの移動に起因する誤動作事象は発生していない。

(3) 機能確認済加速度

参考として，発生加速度とMCCBの既往試験での機能確認済加速度を第9-2表に示す。

第9-2表 MCCBの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

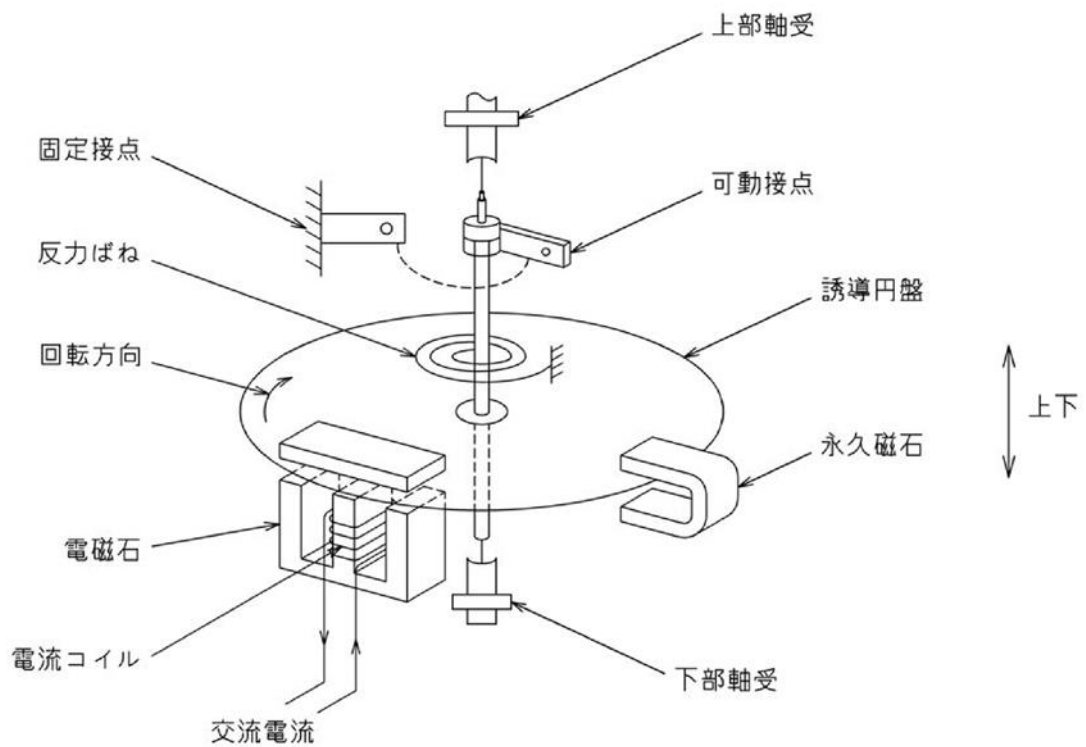
※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：原子炉建物 EL. 23800 基準地震動 S s（暫定値）

9.2.3 過電流リレー（保護リレー）

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-3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つ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型リレーであり、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付けられている。



第9-3図 過電流リレー構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

第9-3図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板の接触による固渋（上下方向）
- ・可動接点の振動による接点の誤接触（前後方向，左右方向）

誘導円板の固渋については，上下方向に生じるものであるため，水平2方向の影響はない。

接点の誤接触については，昭和56年日本機械学会論文集「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，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。しかしながら，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円板の回転挙動が発生したが，地震波加振試験では円板の回転挙動が発生しないことが確認されており，水平2方向地震力の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，発生加速度と過電流リレーの既往試験での機能確認済加速度を第9-3表に示す。

第9-3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	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：原子炉建物 EL. 23800 基準地震動 S s（暫定値）

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

1. はじめに

本資料は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討において、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出について、部材の特性から影響を考慮しないとした部位について、抽出根拠が明確になるよう、代表的な建物について、対象部位の図面を示すものである。

対象部位の図面を示す建物として、原子炉建物を代表として示す。

2. 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

2. 1 原子炉建物

原子炉建物の断面図を第2.1-1図に、伏図を第2.1-2図及び第2.1-3図に示す。

なお、平面図については基準階として 2 階（E L 23.8m）並びに上部構造のクレーン階伏図（E L 51.7m）を代表として示す。

a. 柱

独立した隅柱は直交する地震荷重が同時に作用するが、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり、原子炉建物の隅柱は耐震壁付きの隅柱であり直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

b. 梁

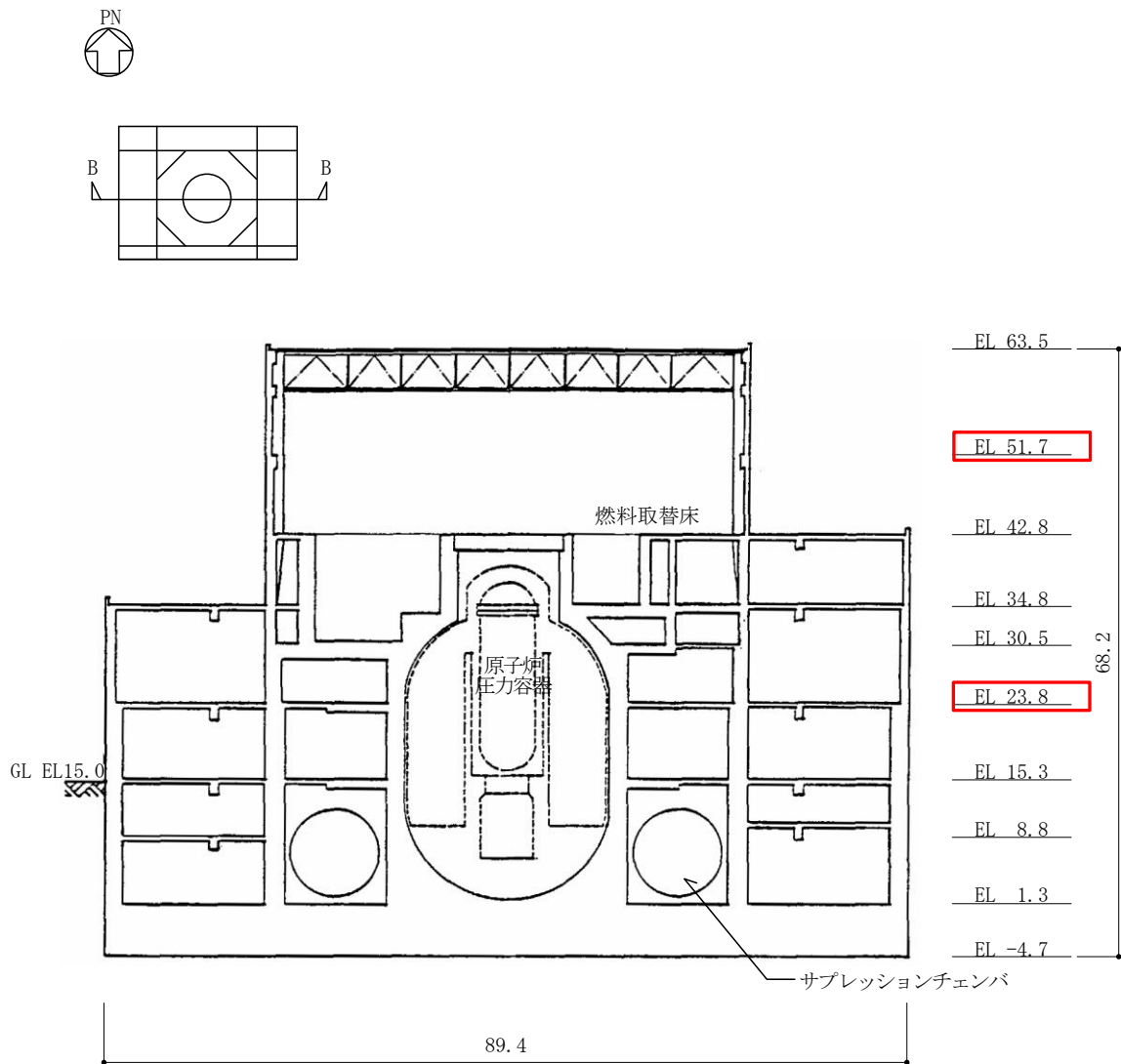
梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり原子炉建物の梁は床及び壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

c. 壁

壁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり原子炉建物の耐震壁は直交方向に釣り合いよく配置されているため、直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

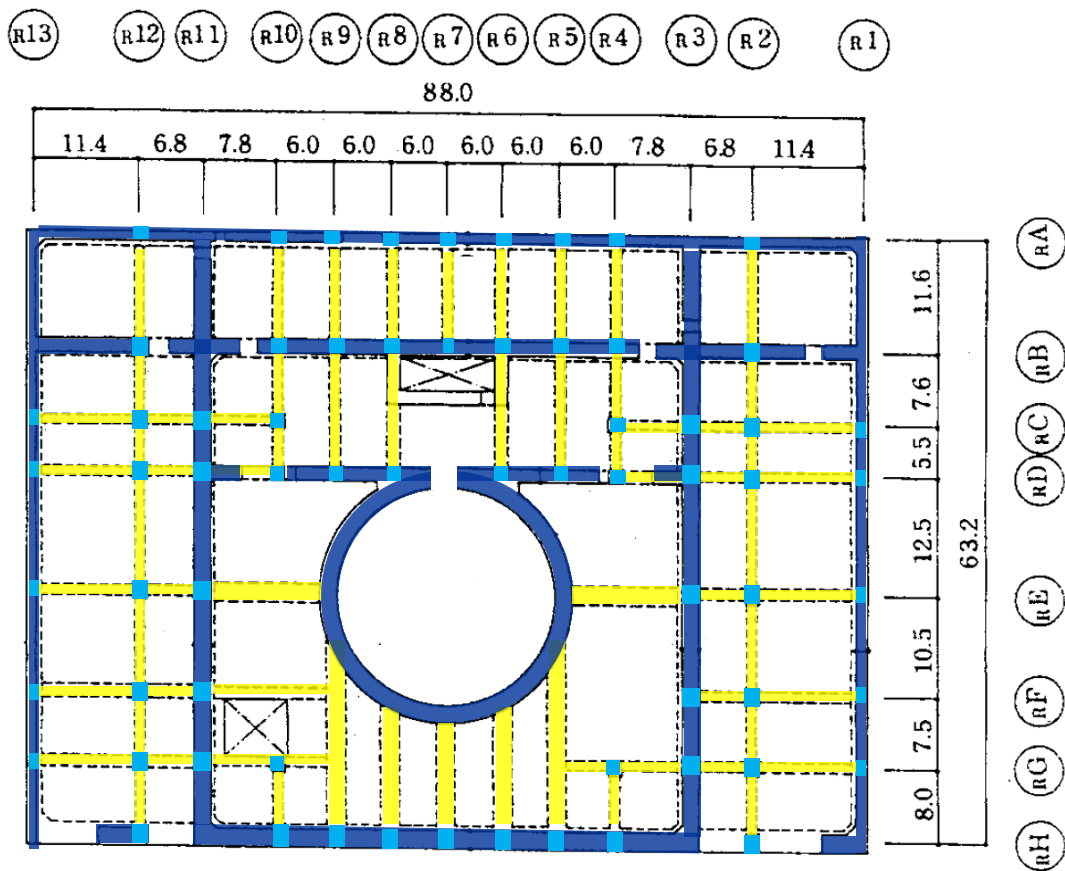
d. 床及び屋根

床及び屋根については、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり四辺を壁及び梁で拘束されているため、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。



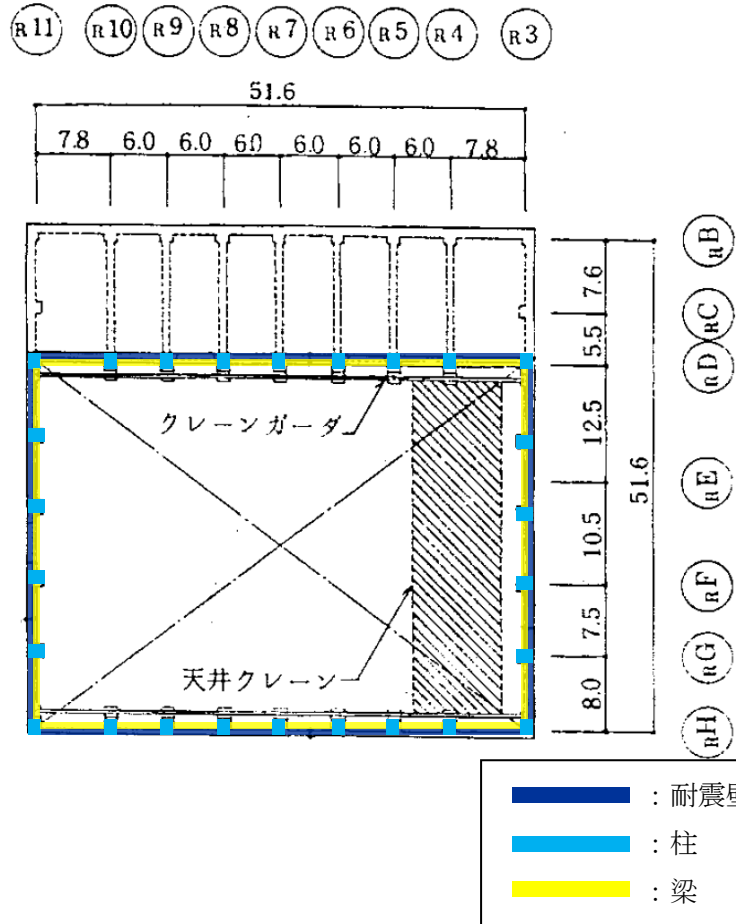
赤枠線内の平面図を示す

第 2.1-1 図 原子炉建物 断面図 (単位 : m)



- : 耐震壁
- : 柱
- : 梁 (外周部除く)

第 2.1-2 図 原子炉建物 2階階伏図 (E L 23.8) (単位 : m)



第 2.1-3 図 原子炉建物 クレーン階伏図 (E L 51.7) (単位 : m)

水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する梁の力学的特性

1. はじめに

本資料は、水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する評価対象部位として梁（一般部・鉄骨トラス）を抽出しない理由について、梁の力学的特性を補足説明するものである。

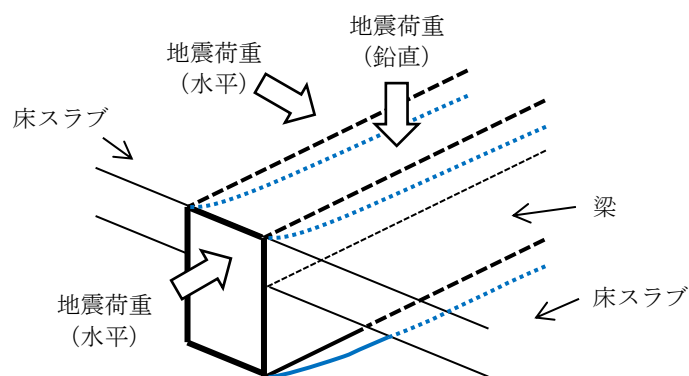
2. 梁の力学的特性

(1) 梁（一般部）

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブで拘束されているため、梁には大きな応力は生じない。地震荷重に対する梁の力学的特性を第2-1図に示す。

(2) 鉄骨トラス

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブやつなぎばりで拘束されているため、鉄骨トラスには大きな応力は生じない。



第2-1図 地震荷重に対する梁の力学的特性

3. まとめ

梁は直交方向の地震力に対しては有効となる直交部材が存在することから、「荷重の組合せによる応答特性が想定される部位」として抽出しない。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に用いる 模擬地震波の作成方針

1. はじめに

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動 S_s-D 及び「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動 S_s-N1 については、水平方向の地震動に方向性がないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち1方向について模擬地震波を作成し入力する等の方法が考えられる。本資料は、模擬地震波の作成方針を示すものである。

2. 模擬地震波の作成方針

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動 S_s-D 及び「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動 S_s-N1 の水平方向の模擬地震波の作成方針を下記に示す。

(1) 応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動に対する模擬地震波

基準地震動 S_s-D の模擬地震波について、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、基準地震動を作成した方法と同一の方法で、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成する。応答スペクトルのコントロールポイントを第2-1表に、振幅包絡線の経時的变化を第2-2表に示す。

なお、念のために2000年鳥取県西部地震の2号地盤の鉛直アレイ観測点(T.P.-5.0m)における観測記録から、当該サイトにおいて、水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、基準地震動 S_s-D を同時に水平2方向に入力した場合のオービット(第2-1図)と、観測記録の水平2方向のオービット(第2-2図)との比較を行った。

第2-1図から、全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい 45° 方向に直線的な軌跡を示す。一方、第2-2図より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

(2) 「震源を特定せず策定する地震動」として策定された基準地震動に対する模擬地震波

基準地震動 S_s-N1 は「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年

北海道留萌支庁南部地震の観測記録より策定された地震動である。基準地震動 $S_s - N1$ における水平方向の地震動は、観測記録から推定される解放基盤表面相当位置の地震動に基づき作成されている。模擬地震波については、基準地震動 $S_s - N1$ の作成方法と同一の方法で、基準地震動 $S_s - N1$ で用いた観測記録と水平方向に直交する観測記録から作成する。

3. 位相特性の異なる模擬地震波の作成例

基準地震動 $S_s - D$ 及び基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形と、それぞれの地震波を2方向入力した場合のオービットを第3-1図に示す。

第3-1図に示すように、基準地震動 $S_s - D$ と新たに作成した基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波のオービットはランダムな軌跡を示している。

また、基準地震動 $S_s - D$ 及び基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトルを第3-2図に示す。なお、目標とする応答スペクトル値に対する、基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の S/I 比は1.0以上、応答スペクトル比は0.85以上である。応答スペクトル比を第3-3図に示す。

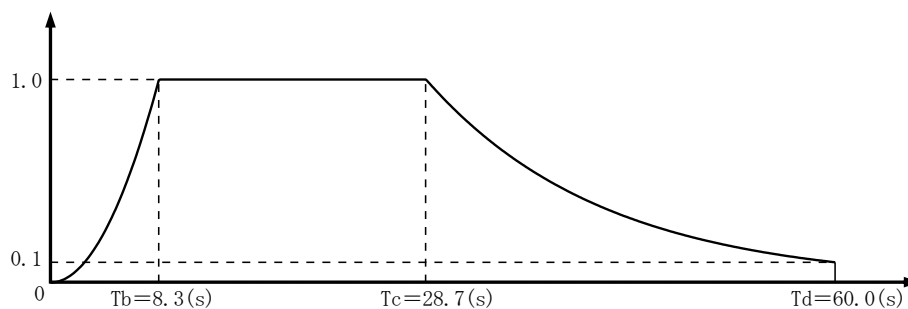
第3-2図に示すように、基準地震動 $S_s - D$ と新たに作成した基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトルは、ほぼ同じである。

第2-1表 応答スペクトルのコントロールポイント

S s - D コントロール ポイント	周期 (s)	A 0.020	B 0.050	C 0.087	D 0.14	E 0.20	F 0.29	G 0.60	H 1.75	I 5.00
	速度 (cm/s)	2.611	10.35	25.62	41.22	45.63	61.16	108.5	170.0	170.0

第2-2表 振幅包絡線の経時的変化

模擬 地震波	最大加速度 (cm/s ²)	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
				T _b	T _c	T _d (継続時間)
S s - D	820	7.7	17.3	8.3	28.7	60.0

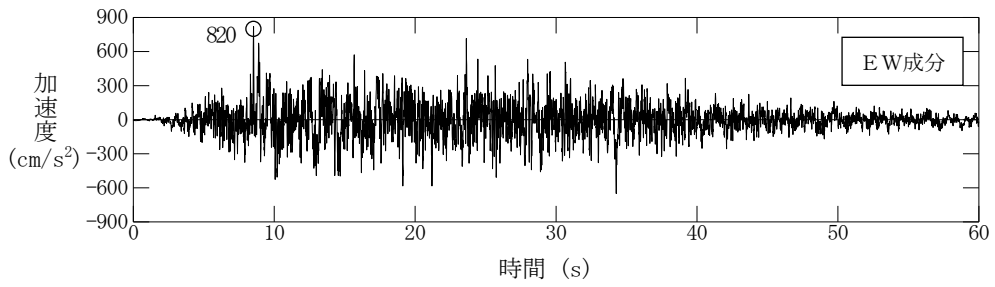
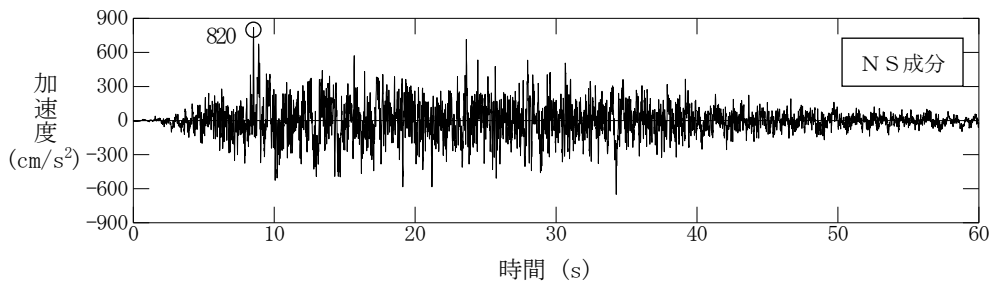


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

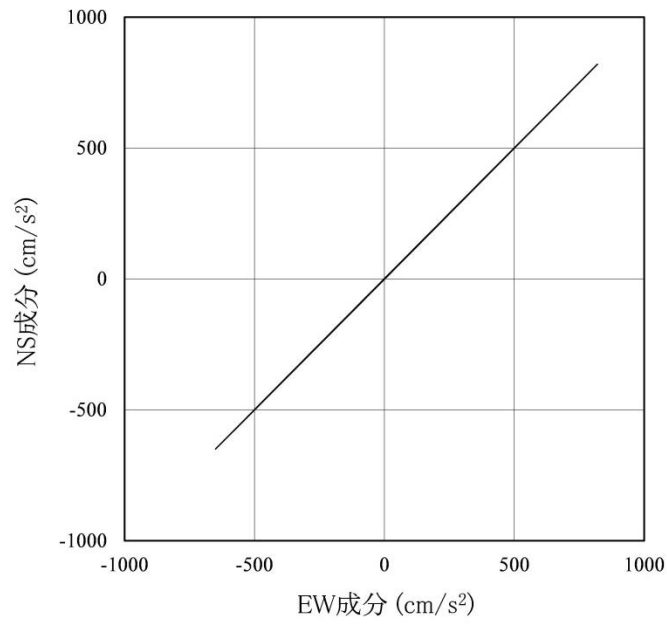
$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.541\log X_{eq}-0.6}$$

$$\text{振幅包絡線 : } E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

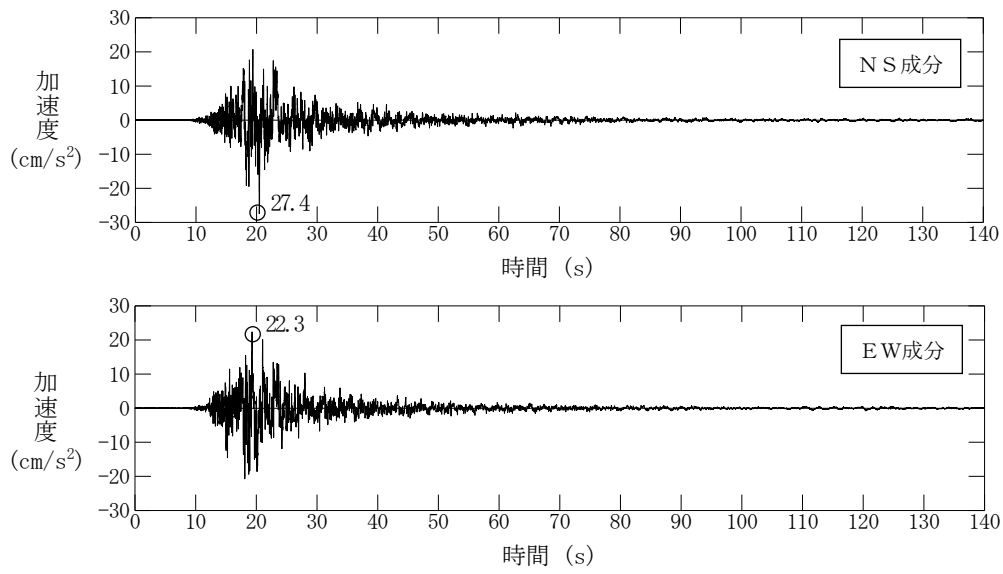


(a) 加速度時刻歴波形

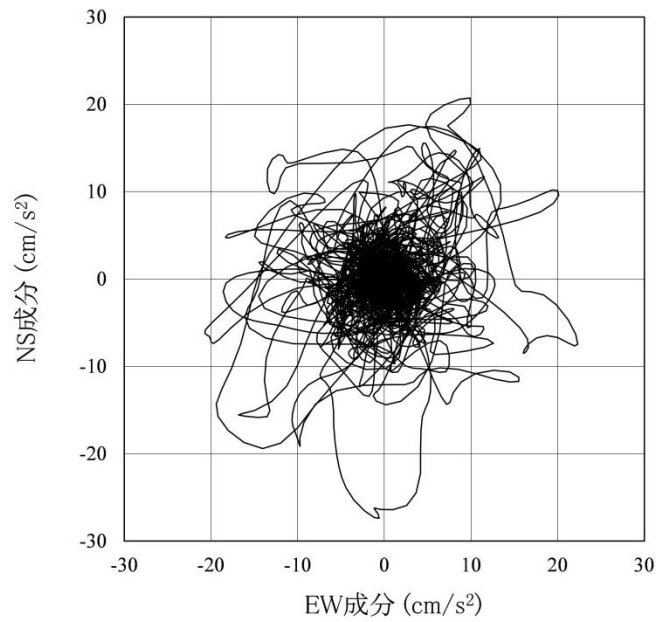


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

第2-1図 基準地震動 S s - D

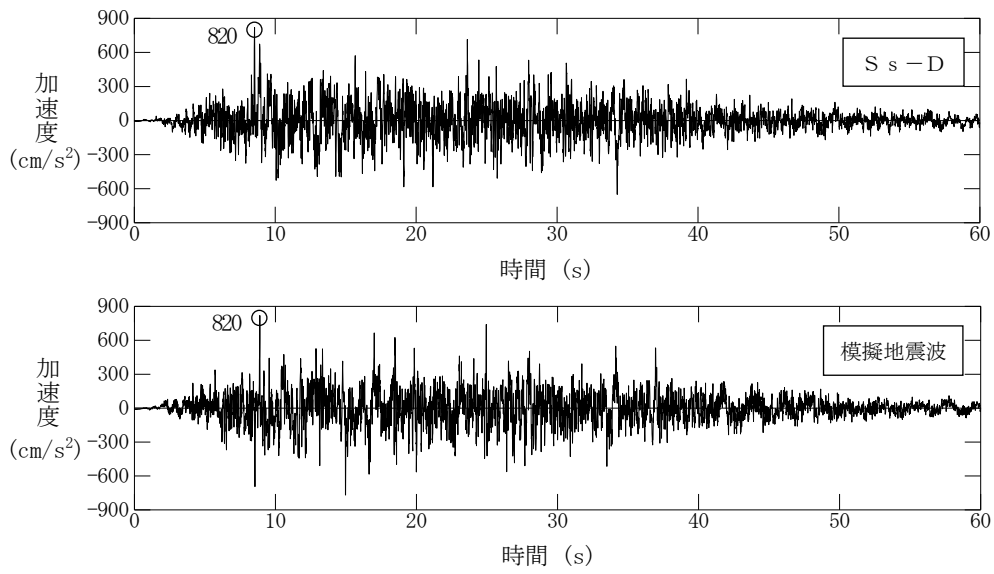


(a) 加速度時刻歴波形

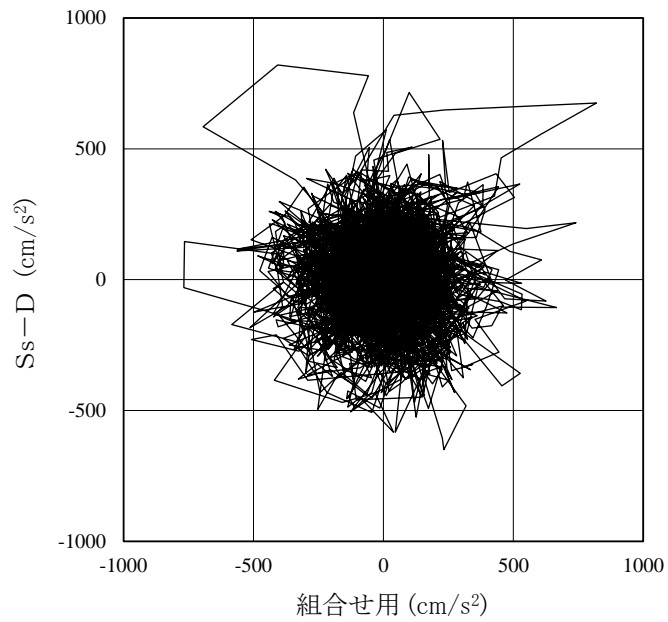


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

第2-2図 2000年鳥取県西部地震観測記録
(2号地盤の鉛直アレイ観測点 T. P. -5.0m)

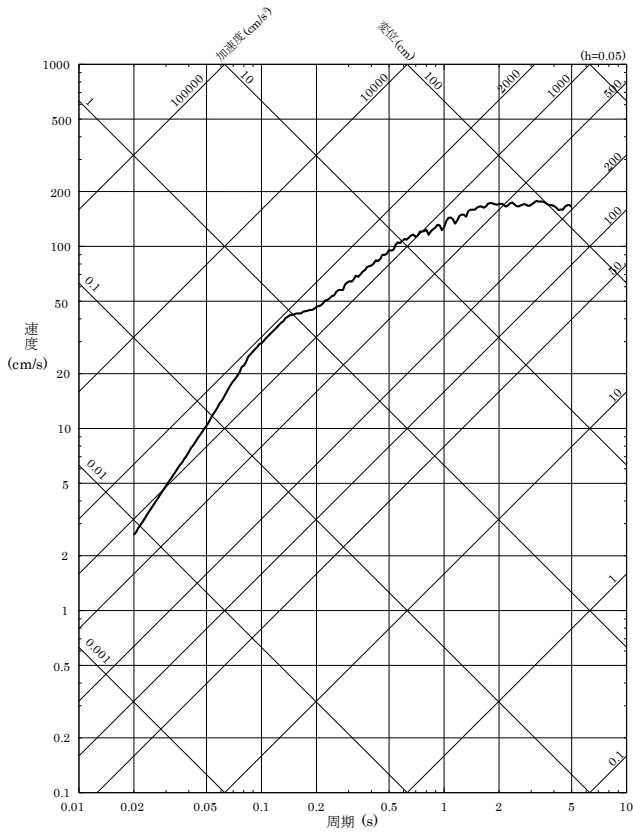


(a) 加速度時刻歴波形

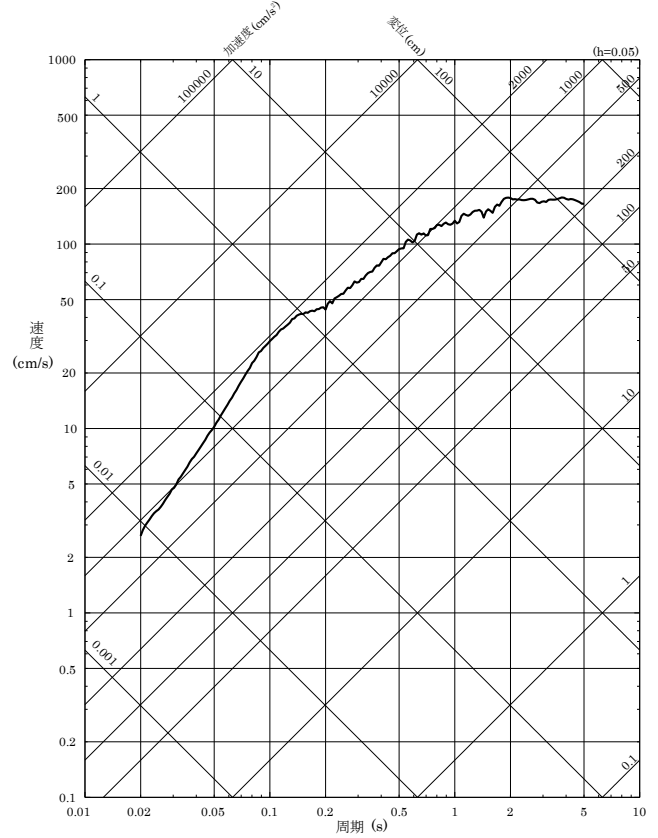


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

第3-1図 基準地震動 $S_s - D$ および位相特性の異なる模擬地震波

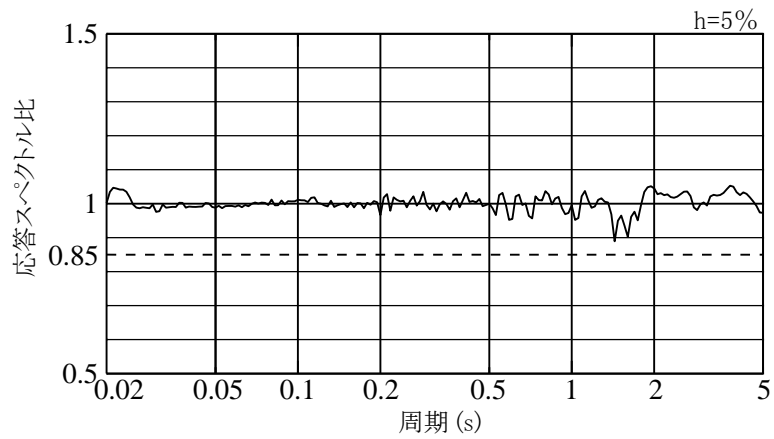


(a) 基準地震動 S s - D



(b) 基準地震動 S s - D と位相特性の異なる
模擬地震波

第3-2図 応答スペクトル



第3-3図 基準地震動 S s - D と位相特性の異なる模擬地震波の
応答スペクトル比

島根原子力発電所 2 号炉

建物・構築物の地震応答解析における
入力地震動の評価について
(耐震)

目 次

1. はじめに
2. 入力地震動評価における既工認からの変更点とその設定根拠及び影響について
3. 建物・構築物の入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針について
4. まとめ
5. 参考文献

参考資料－1 既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較

参考資料－2 入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値

参考資料－3 2次元FEM解析モデル側面の境界条件

参考資料－4 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較

参考資料－5 2次元FEMモデルのメッシュ分割高さに関する検討

参考資料－6 2号炉主要建物における1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較

1. はじめに

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動は1次元波動論、2次元FEM解析又は直接入力（以下「1次元波動論又は2次元FEM解析等」という。）により評価を実施している。

今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元FEM解析等を採用する方針であり、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、2次元FEM解析又は1次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。

本資料は原子炉建物について、既工認と今回工認の入力地震動の評価手法及び解析モデルを示す。原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物については評価手法を示し、解析モデルについては詳細設計段階で示す。

2. 入力地震動評価における既工認からの変更点とその設定根拠及び影響について

2.1 原子炉建物の入力地震動の評価について

原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法は、既工認と同様に1次元波動論及び2次元FEM解析を採用する。また、解析モデルについては、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等により、最新のデータを基に、より詳細にモデル化したものである。

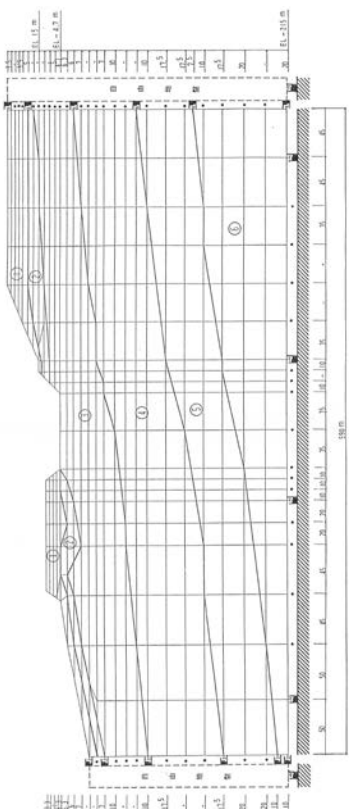
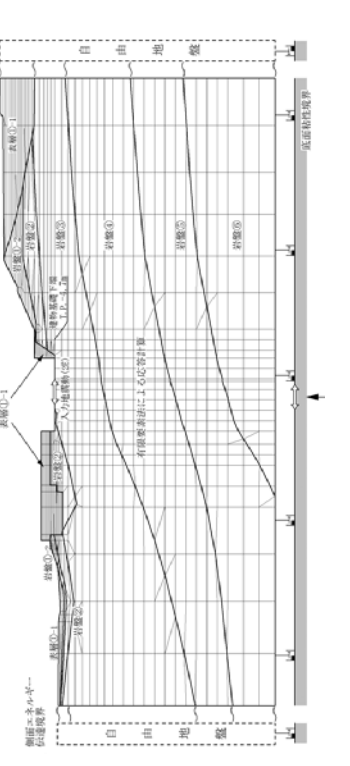
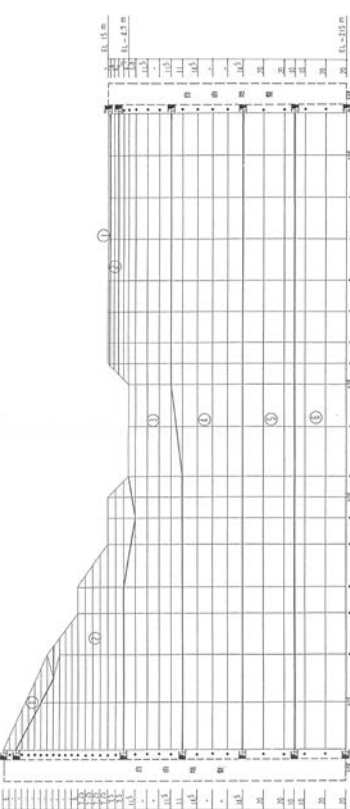
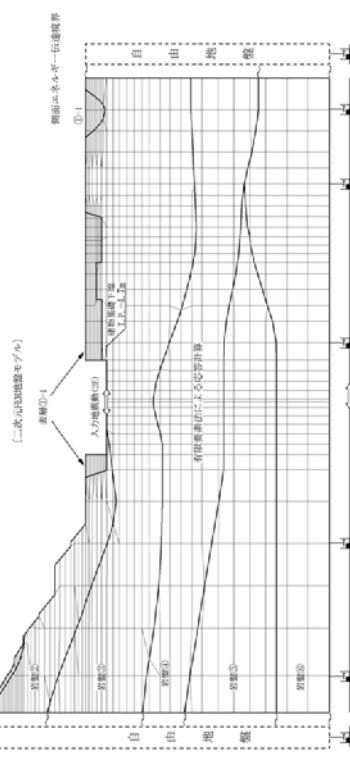
既工認と今回工認の評価手法及び解析モデルの比較を第2-1表及び第2-2表に示す。

2.2 原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物の評価について

原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物についても、評価手法は既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元FEM解析等を採用する方針とし、解析モデルは建設時以降の敷地内の追加地質調査結果等に基づき設定する。

建物・構築物及び土木構造物の既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較について参考資料-1に示す。

第2-2表 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法及び解析モデルの比較（2次元FEM解析モデル）

	既工認	今回工認
NS		
EW		

※ 今回工認モデルでは建物基礎底面レベルの振動を同一とするため、建物基礎底面レベルの平面を保持する拘束条件を設けている。
 また、建物床レベルの水平変位を同一とするため、切欠き地盤側面には水平変位を保持する拘束条件を設けている。

※ 入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値を参考資料-2に示す。

※ 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較を参考資料-4に示す。

※ 2次元FEMモデルのメッシュ分割高さを参考資料-5に示す。

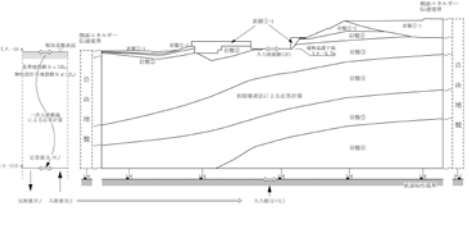
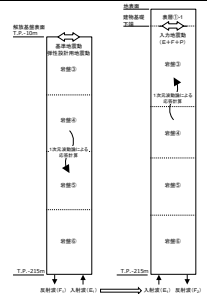
3. 建物・構築物の入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針について

今回工認における S クラス施設を含む 2 号炉の主要な建物・構築物である原子炉建物及び制御室建物の入力地震動は、以下の通り算定することとする。

水平方向は、原子炉建物の既工認と同様に、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響を考慮するため、2次元 F E Mモデルを採用する。鉛直方向は、入力地震動に対する建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいと考えられることから、1次元波動論モデルを採用する。

原子炉建物及び制御室建物の入力地震動の算定方法について、今回工認の評価手法及び解析モデルを第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 今回工認の原子炉建物及び制御室建物の
入力地震動の算定方法

	水平方向	鉛直方向
入力地震動の評価 (概念図)		
評価手法		
入力地震動の算定方法 [計算機コード]	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：1次元波動論[SHAKE] 引上げ：2次元 F E M解析 [SuperFLUSH] 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：1次元波動論[SHAKE] 引上げ：1次元波動論[SHAKE]
解析モデル		
モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面(T.P. -10m)から T.P. -215m までをモデル化 引上げ：幅は約 600m の範囲とし、高さは T.P. -215m 以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面(T.P. -10m)から T.P. -215m までをモデル化 引上げ：T.P. -215m 以浅の地盤を水平成層にモデル化
速度層区分	建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果（ボーリング、P S 検層）に基づき設定	同左
地盤物性値	建設時の地質調査結果に基づき設定 ※表層地盤については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定	同左

注 1 原子炉建物及び制御室建物について、水平方向・鉛直方向それぞれの 1次元波動論及び 2次元 F E Mによる入力地震動の比較を、参考資料-6 に示す。

4. まとめ

原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動について、今回工認では、既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元FEM解析等を採用する方針としている。

原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法及び解析モデルについて、既工認と今回工認を比較し、その差異について整理した。

なお、原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物についても、評価手法は既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元FEM解析等を採用する方針とし、解析モデルは建設時以降の敷地内の追加地質調査結果に基づき設定する。

5. 参考文献

- (1) 大崎他，地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例，第5回日本地震工学シンポジウム，1978

既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較

1. 入力地震動の評価手法の概念図

入力地震動の評価手法（直接入力， 1次元波動論， 2次元FEM解析）の概念図を， 第1-1表に示す。

2. 入力地震動の評価手法の比較

建物・構築物及び土木構造物における， 既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較を第2-1表及び第2-2表に示す。

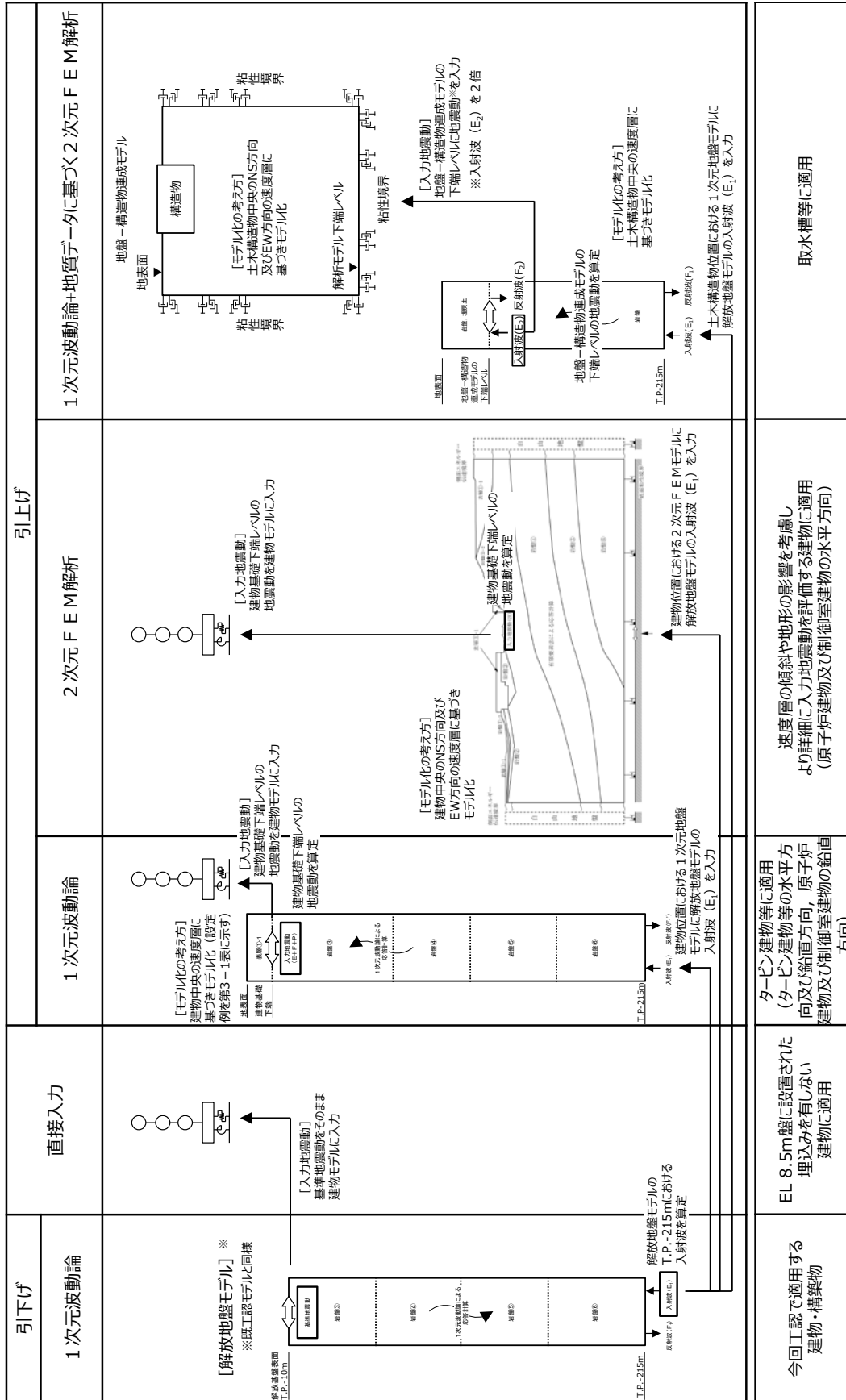
建物・構築物の入力地震動は建物基礎底面位置で評価する。なお， 今回工認の建物・構築物の地震応答解析モデルは， 既工認と同様に質点系モデルを採用する。

土木構造物の入力地震動は構造物の基礎底面又はFEMモデルの下端位置で評価する。なお， 今回工認の取水槽及び屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答解析モデルは， 既工認から変更し， 地盤－構造物連成系の2次元FEMモデルを採用する。

3. 1次元波動論モデルの速度層の設定例

建物・構築物の1次元波動論モデルは， 建物中央の速度層の層厚及び物性値に基づきモデル化する。1次元波動論モデルの速度層の設定例として， タービン建物及び廃棄物処理建物の速度層の設定方法を第3-1表に示す。これらの建物の1次元波動論モデルの速度層は， 原子炉建物の2次元FEMモデルにおけるNS方向又はEW方向の速度層に基づき， 建物中央でモデル化している。

第1-1表 入力地震動の評価手法の概念図
(直接入力, 1次元波動論, 2次元FEM解析)



第2-1表 入力地震動の評価手法（建物・構築物）

建物・構築物		入力地震動の評価手法						建物・構築物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		変更理由		入力地震動出力位置	相互作用モデル		建物・構築物の設置レベル ^{※5}
		水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		水平 ^{※4}	鉛直	
Sクラス施設の間接支持構造及びSクラス施設	原子炉建物	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	EL -4.7m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL -4.7m
	制御室建物	直接入力	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	Sクラス施設を含む建物・構築物であるため、原子炉建物の評価手法と合わせる	—	EL 0.1m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 0.1m
	タービン建物	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を詳細に評価するため、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、切欠き力を考慮する	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 0.0m
	廃棄物処理建物	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を詳細に評価するため、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、切欠き力を考慮する	—	EL 0.0m	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル		EL 0.0m
	排気筒	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 ^{※1} E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 ^{※1} E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	EL 2.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 2.0m
重要S A施設	ガスタービン発電機建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※2}	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※2}	—	—	EL 44.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 44.0m
	緊急時対策所建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※3}	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※3}	—	—	EL 48.25m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 48.25m
波及的影響を及ぼすおそれのある施設	1号炉原子炉建物	直接入力	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	—	2号炉原子炉建物の評価手法と合わせる	—	EL 0.1m	ジョイント要素を用いた 3次元FEM モデル	—	EL 0.1m
	1号炉タービン建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL -0.3m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL -0.3m
	1号炉廃棄物処理建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL 5.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 5.0m
	1号炉排気筒	直接入力	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	2号炉排気筒の評価手法と合わせる	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 0.0m
	サイトバンカ建物	直接入力	—	直接入力 ^{※6}	—	—	—	—	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 7.3m
	サイトバンカ建物(増築部)	—	—	直接入力 ^{※6}	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 7.3m
	2号炉排気筒モニタ室	—	—	排気筒の基礎上の地震応答解析結果を用いる ^{※7}	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.8m (排気筒基礎上)
	燃料移送ポンプエリア電巻防護対策設備	—	—	排気筒の基礎上の地震応答解析結果を用いる ^{※7}	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.7m (排気筒基礎上)

- ※1： 排気筒の既工認は、改造工認（平成25年）を示す。
- ※2： 高台のEL 44m盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。
- ※3： 高台のEL 50m盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。
- ※4： 水平方向の相互作用モデルにおいて、側面ばねは考慮しない。
- ※5： 代表的な設置レベルを示す。
- ※6： EL 8.5m盤に設置された埋込みを有しない建物であり、解放基盤相当（Vs=1600m/s）に支持されていることから、既工認と同様に直接入力とする。
- ※7： 排気筒の基礎の上に設置されている建物・構築物であるため、排気筒の地震応答解析によって得られる基礎上の応答を入力地震動として用いる。

注1： 「E+F+P」は地盤の切欠き力の影響を考慮した建物基礎底面位置の地震動を表す。

注2： 「2E」は地盤表面の地震動を表す。

第2-2表 入力地震動の評価手法（土木構造物）

土木構造物		入力地震動の評価手法					土木構造物の地震応答解析モデル		
		既工認		今回工認		入力地震動 出力位置	相互作用モデル		土木構造物の 設置レベル ^{※1}
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
Sクラス施設の間接構造物を含む 屋外重要土木構造物	取水槽	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -65.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -10.75m
	屋外配管ダクト (タービン建物 ~排気筒)	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -30.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 5.2m
	ディーゼル燃料貯蔵 タンク基礎	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.85m
	燃料移送系 配管ダクト	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 10.7m
	屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク ~原予炉建物)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -20.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 11.011m
	取水管	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -17.8m
	取水口	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -22.0m
津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式 擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -19.1m (杭下端レベル)
	防波壁 (鋼管杭式 逆T擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -3.3m (杭下端レベル)
	防波壁 (波返重力擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -13.0m (ケーソン下端 レベル)
	除じん機エリア 防水壁	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
重要S A施設	第1ベントフィルタ 格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 1.7m
	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL -0.3m
	緊急時対策用 燃料地下タンク	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL 35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 46.8m
	ガスタービン 発電機用 軽油タンク基礎	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※3}	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※3}	EL 45.8m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 45.8m
波及的影響を及ぼす そのある施設	輪谷貯水槽 (西側)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -215.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 45.5m
	免震重要棟遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※4}	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E ^{※4}	EL 49.7m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 49.7m (壁下端レベル)
	循環水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
	海水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
	給気エリア防水壁	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる ^{※2}	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)

※1： 代表的な設置レベルを示す。

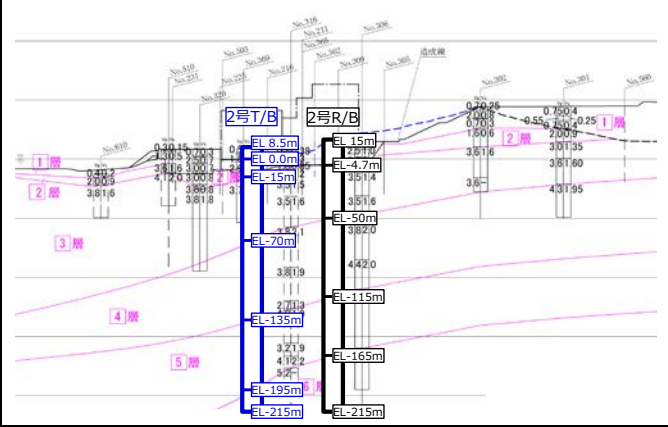
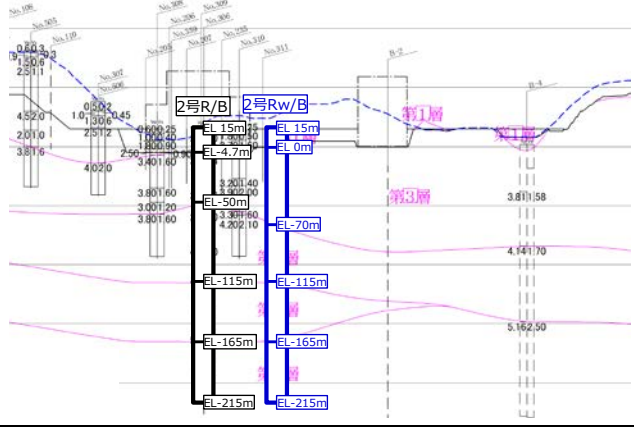
※2： 取水槽に設置されている土木構造物であるため、取水槽の地震応答解析によって得られる応答を入力地震動として用いる。

※3： 高台のEL 44m盤に設置された埋込みを有しない土木構造物であることから、「2E」とする。

※4： 高台のEL 50m盤に設置された埋込みを有しない土木構造物であることから、「2E」とする。

注1： 「2E」は、地盤-構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

第3-1表 速度層区分と1次元波動論モデルの設定例

(例1) タービン建物		(例2) 廃棄物処理建物	
			
設定根拠	原子炉建物の2次元FEMモデルにおけるNS方向の速度層に基づき、建物中央でモデル化	設定根拠	原子炉建物の2次元FEMモデルにおけるEW方向の速度層に基づき、建物中央でモデル化

入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値

1. 入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値

原子炉建物の今回工認の入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値を第 1-1 表に示す。表層地盤を除く岩盤の地盤物性値は、既工認で設定した値を用いる。

今回工認モデルにおいては、埋戻し土を反映した表層地盤（層番号①-1）について、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d それぞれに対して、2次元 FEMモデルによる等価線形解析に基づき等価物性値（剛性、減衰定数）を詳細設計段階で設定することとする。なお、既工認モデルにおける表層地盤（層番号①）については、基準地震動 S_1 及び S_2 に対する1次元モデルによる等価線形解析に基づき、等価物性値（剛性）を設定している。

第 1-1 表 入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値

層番号 ^{注1}		S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	単位体積 重量 ^{注3} γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν (-)	ヤング係数 ^{注3} E ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断 弾性係数 ^{注3} G ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)
既工認	今回工認							
①	①-1	等価線形解析及び試験結果に基づき設定						
	①-2	250	800	20.6	0.446	3.80	1.31	3 ^{注2}
②	②	900	2100	23.0	0.388	52.9	19.0	3 ^{注2}
③	③	1600	3600	24.5	0.377	176.5	64.0	3
④	④	1950	4000	24.5	0.344	256.0	95.1	3
⑤	⑤	2000	4050	26.0	0.339	283.4	105.9	3
⑥	⑥	2350	4950	27.9	0.355	427.6	157.9	3

注1：層番号は解析モデル図(4条一別紙 16-4 第2-2表)を参照。

注2：既工認では、慣用値として5%と設定。

注3：単位体積重量、ヤング係数及びせん断弾性係数については、今回工認では既工認の値(MKS単位系)を単位換算(SI単位系)した値を示す。

表層地盤（①-1：埋戻し土）のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方を、既工認と比較して第 1-2 表に示す。

埋戻し土の剛性と減衰のひずみ依存性は、既工認では文献⁽¹⁾に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性としていたが、今回工認では試験結果に基づくひずみ依存性に変更する。

なお、島根原子力発電所の建物・構築物の支持地盤は硬質岩盤であるため、表層地盤のみ地震動レベルに応じた非線形性を考慮することとし、表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断した上で、剛性及び減衰定数はそれぞれの地震動レベル（ S_s 、 S_d ）に対して一定値を設定する。

第1-2表 表層地盤のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方

	既工認	今回工認		
埋戻土のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性		<p>第762回審査会合 資料1-1「島根原子力発電所2号炉防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価について」より引用</p>		
設定根拠	文献 ⁽¹⁾ に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性	埋戻土における動的変形試験結果により設定したひずみ依存性		
評価フロー	<ul style="list-style-type: none"> 2号炉原子炉建物の1次元波動論モデルに基づき設定 表層地盤の初期せん断弾性係数(G_0)、ひずみ依存性($G/G_0-\gamma$, $h-\gamma$)を設定 <p>等価線形解析の概念図</p> <p>等価線形解析による収束計算 ← 基準地震動 S_1, S_2</p> <ul style="list-style-type: none"> S_1, S_2による収束値から算定した平均的な剛性低下率に基づき、等価なせん断弾性係数(G)を設定 各建物の表層地盤の物性値に設定 <p>表層地盤の有効ひずみ、剛性及び減衰</p> <p>$G(\text{平均}) = \Sigma H_0 / \Sigma H$ 剛性低下率(平均) $/ G_0$ ※剛性低下率は S_1, S_2 共通とし、表層地盤の3層の平均値に基づき設定</p>	<ul style="list-style-type: none"> 2号炉原子炉建物のNS方向及びEW方向の2次元FEMモデルに基づき設定 表層地盤の拘束圧依存性を考慮した初期せん断弾性係数(G_0)、ひずみ依存性($G/G_0-\gamma$, $h-\gamma$)を設定 <p>等価線形解析の概念図</p> <p>等価線形解析による収束計算 ← 基準地震動 S_s、弾性設計用地震動 S_d</p> <ul style="list-style-type: none"> S_s, S_dによる各要素の収束値から算定した平均的な剛性低下率に基づき、S_s, S_dそれぞれの等価なせん断弾性係数(G)及び減衰定数(h)を設定 各建物の表層地盤の物性値に設定 		
等価物性値	基準地震動 S_1, S_2		基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d	
	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)
	0.65 (t/cm ²) (剛性低下率 G/G_0 0.485)	5% (慣用値)	詳細設計段階で S_s, S_d それぞれの等価線形解析に基づき設定	

2. 参考文献

- (1) 大崎他, 地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第5回 日本地震工学シンポジウム, 1978

2次元FEM解析モデル側面の境界条件

1. 2次元FEM解析モデル側面の境界条件

2次元FEM解析モデルの側面の境界条件については、既工認では粘性境界を用いていたが、今回工認ではエネルギー伝達境界に変更する。

側面の境界条件はFEM部分から側方地盤への波動の逸散を考慮したものであり、粘性境界は隣接する側方地盤との変位の関係から、エネルギー伝達境界はFEM部分と側方地盤全体の変位分布の関係からこの逸散を考慮している。

粘性境界とエネルギー伝達境界の比較を第1-1表に示す。

粘性境界はダッシュポットを用いた速度比例型の減衰力により、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度が良く、計算も容易である。

一方、エネルギー伝達境界はFEM部分の境界節点と側方地盤との変位分布の差から、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度がとても良く、より現実に即した解析結果を得ることができる。なお、先行プラントの工認において適用実績がある。

第1-1表 側面の境界条件⁽¹⁾

境界処理法	概念図	説明	定式化の難易度	計算上の特徴	解の精度	その他
粘性境界		・速度比例型の減衰力により波動逸散波を吸収	容易	・計算は容易 ・ $[K^*]$ は対角またはバンドマトリクス	○	・手間と制度のバランスが良い ・周波数応答/時刻歴解析の双方に適用可能 ・1~3次元で適用可能
エネルギー伝達境界		・一般化表面波の固有モードを合成し、側方の水平成層地盤と結合	難解	・計算は煩雑、かつ固有値解析に計算時間を要する ・側方の $[K^*]$ はフルマトリクス	◎	・2次元および軸対称の周波数応答のみ適用可能

(参考文献(1)より引用)

2. 参考文献

- (1) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，1996

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較

1. 検討条件

原子炉建物の入力地震動の評価に用いる2次元FEMモデルについて、4条一別紙16-4第2-2表に示す既工認モデルと今回工認モデルを用いた基準地震動S_s-Dによる入力地震動を比較する。なお、既工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については既工認の値を用い、今回工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については、 $G/G_0=0.2$ 及び $h=8\%$ と設定した。

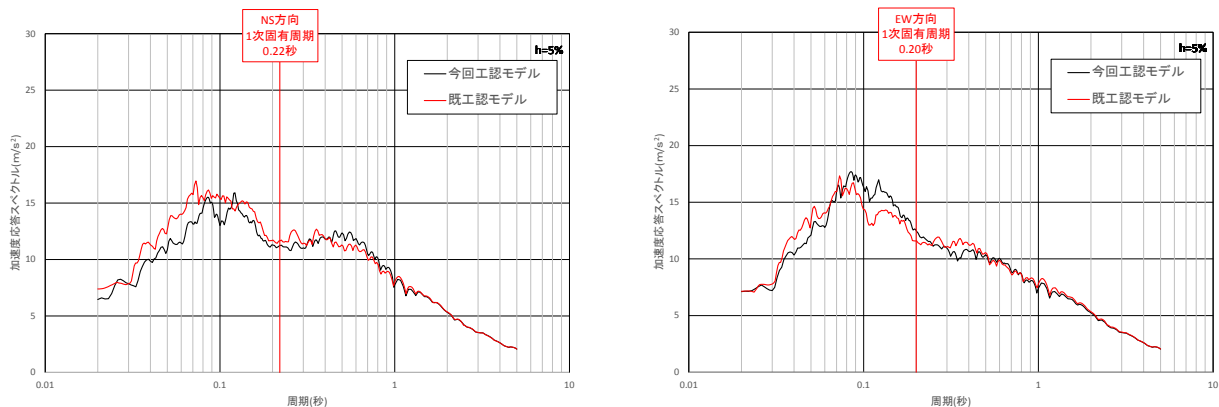
解析プログラムは、既工認モデル及び今回工認モデルともにSuperFLUSHを用いる。

2. 検討結果

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を第2-1図に示す。

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動を比較すると、一部の周期帯において差異はあるものの、加速度応答スペクトルの傾向は概ね一致しており、建物の応答値への影響は軽微である。

以上のことから、今回工認モデルは、建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の追加地質調査結果に基づき設定しており、妥当である。



(NS方向)

(EW方向)

第2-1図 既工認モデルと今回工認モデルによる
入力地震動の加速度応答スペクトルの比較

2次元FEMモデルのメッシュ分割高さに関する検討

1. メッシュ分割高さの設定方法

2次元FEMモデルのメッシュ分割高さは、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえて設定することとし、今回工認は既工認と同様に最高振動数（20Hz）に対して設定する。

メッシュ分割高さ H は、先行審査実績と同様に J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に示された以下の基準を満足するように設定している。

$$H \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{\max}}$$

ここで、 V_s : S波速度 (m/s)

f_{\max} : 最高透過振動数 (Hz)

2. メッシュ分割高さの違いによる影響検討

2.1 検討条件

メッシュ分割高さの妥当性を確認するため、原子炉建物を代表として最高振動数（50Hz）に対して設定した比較用モデルによる解析を実施し、入力地震動への影響を評価する。

第2-1表に今回工認モデルと比較用モデルにおける2次元FEMモデル図を示す。

第2-1表 今回工認モデル(20Hz透過)と比較用モデル(50Hz透過)における2次元FEM解析モデル図

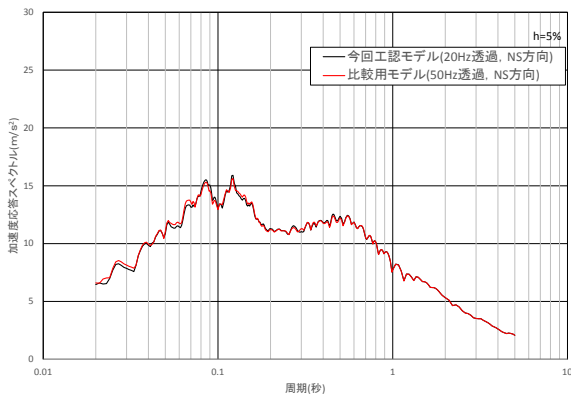
<p>比較用モデル (50Hz透過)</p>		
<p>今回工認モデル (20Hz透過)</p>		
<p>NS</p>	<p>EW</p>	

2.2 検討結果

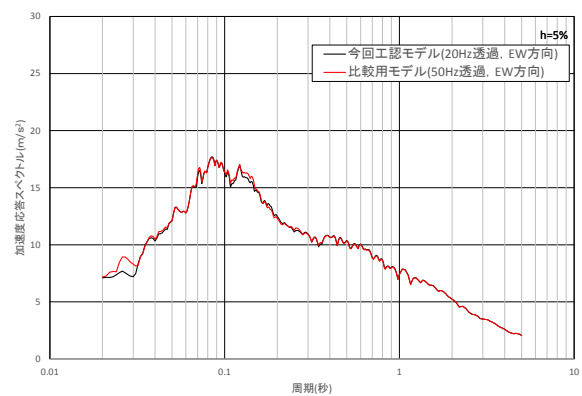
基準地震動 $S_s - D$ による入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を第 2-1 図に示す。

今回工認モデル (20Hz 透過) 及び比較用モデル (50Hz 透過) において、両者の加速度応答スペクトルは概ね一致していることから、今回工認においても既工認と同様に 20Hz を透過させるようにメッシュ分割高さを設定する。なお、先行サイトの審査実績においても、建物・構築物を入力地震動の算定に用いる 2 次元 FEM モデルにおけるメッシュ分割高さは 20Hz を考慮して作成されている。

ただし、EW 方向において高振動数領域 (約 30~50Hz) で比較用モデル (50Hz 透過) が今回工認モデル (20Hz 透過) を上回る周期帯があることから、高振動数領域の応答による影響が考えられる弁の動的機能維持評価にあたっては、詳細設計段階において影響検討を実施する。



(NS 方向)



(EW 方向)

第 2-1 図 基準地震動 $S_s - D$ における入力地震動の
加速度応答スペクトルの比較 (今回工認モデル, 比較用モデル)

2号炉主要建物における1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較

1. 検討条件

原子炉建物及び制御室建物について、解析モデルの違いによる入力地震動への影響を確認するため、基準地震動S_s-Dを用いて、第1-1表に示す比較検討を実施した。

第1-1表 2号炉主要建物の入力地震動の解析モデルの比較
(引上げモデル)

	今回工認モデル	比較用モデル
水平方向	2次元FEMモデル	1次元波動論モデル
鉛直方向	1次元波動論モデル	2次元FEMモデル

2. 検討結果

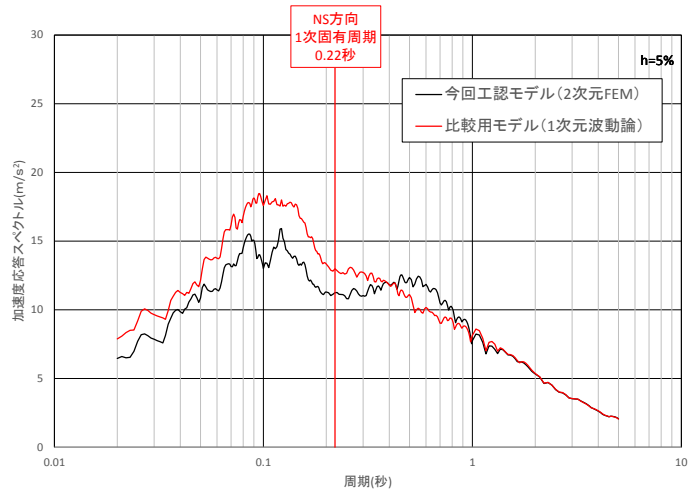
入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を第2-1図に示す。

2.1 水平方向

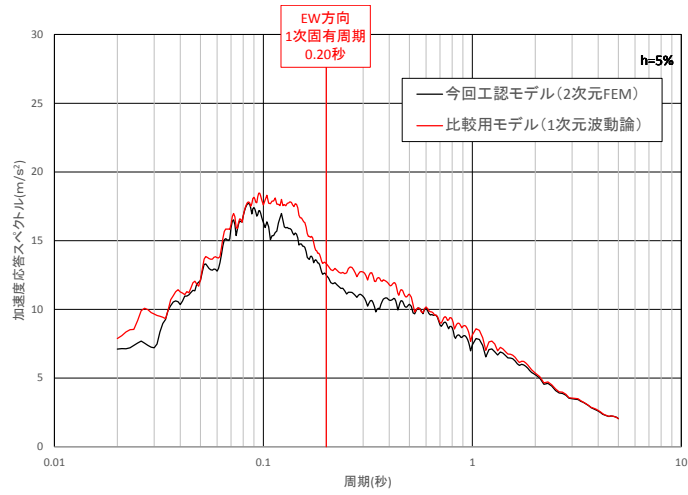
水平方向は、2次元FEMモデル及び1次元波動論モデルで多少の差異が認められ、また、地盤の傾斜をモデル化しているNS方向においてその差が大きくなっているが、2次元FEMモデルでは地盤の速度層の傾斜及び建物周辺の地形の影響等をより詳細に評価できると考えられることから、原子炉建物の既工認と同様に、水平方向の解析において2次元FEMモデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。

2.2 鉛直方向

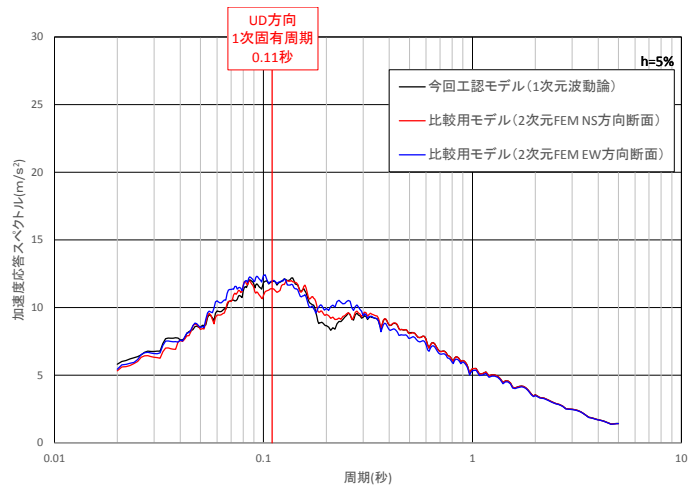
鉛直方向は、建物直下地盤による影響が大きく、1次元波動論モデルと2次元FEMモデルの加速度応答スペクトルは概ね一致している。また、それぞれの建物の固有周期における加速度応答スペクトルの値に大きな差はない。よって、モデルの違いによる入力地震動への影響は軽微であり、鉛直方向の解析において1次元波動論モデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。



(水平方向 (NS方向))

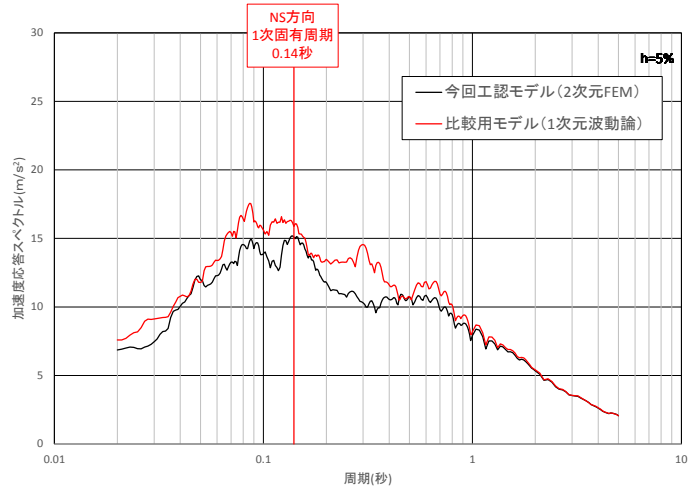


(水平方向 (EW方向))

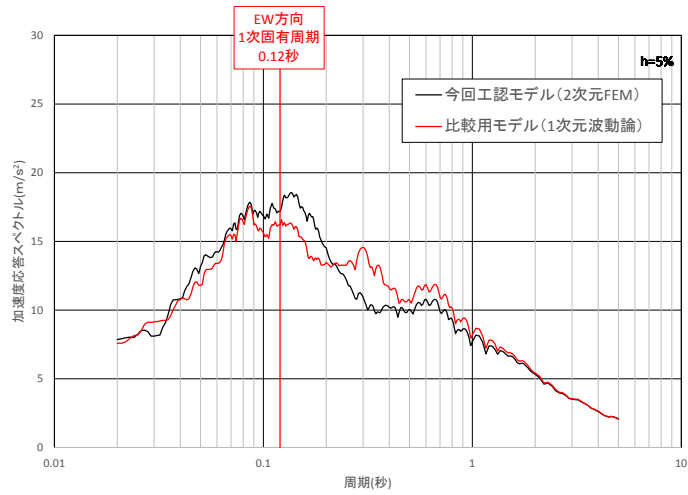


(鉛直方向)

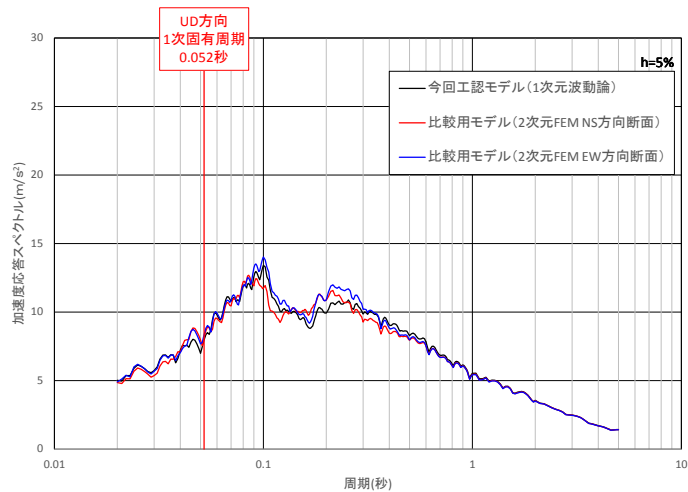
第2-1(1)図 1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較
(原子炉建物)



(水平方向 (NS方向))



(水平方向 (EW方向))



(鉛直方向)

第2-1(2)図 1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較
(制御室建物)