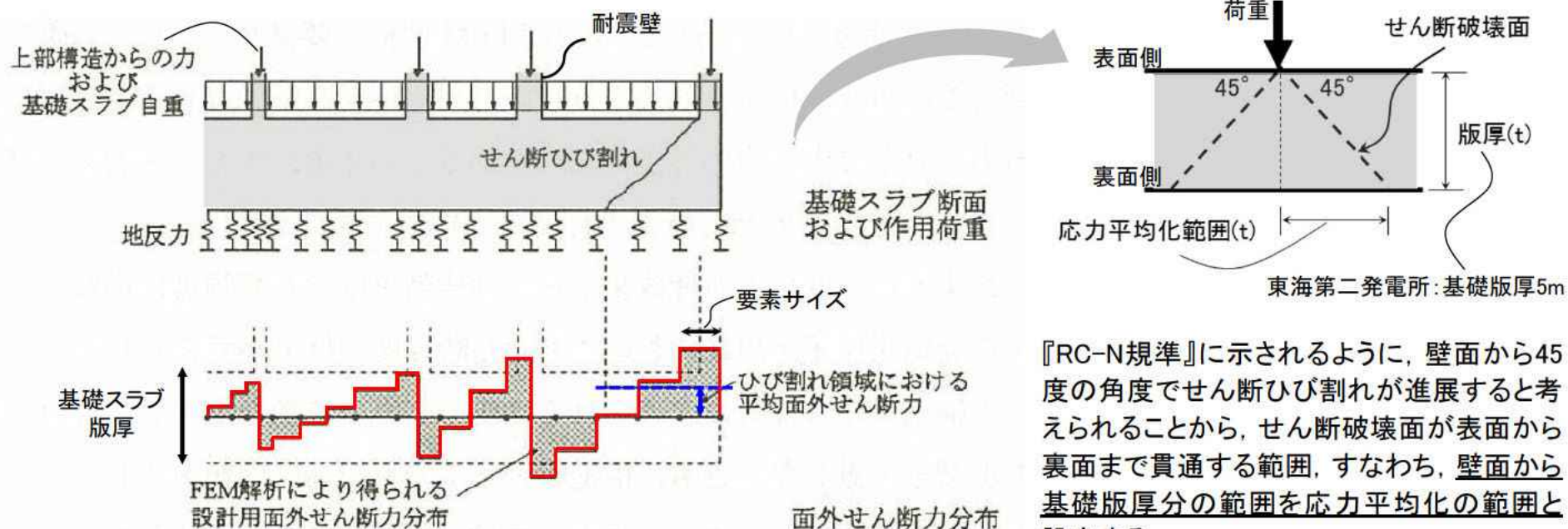


### ○ 応力平均化の考え方

『原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社)日本建築学会、2005）』（以下「RC-N規準」という。）では、基礎のような大断面を有する面材の面外せん断力について、『基礎スラブの設計用応力はFEM 解析により算定し、断面設計はその要素応力を用いて行うことが一般的である。通常の場合、FEM 解析の要素サイズは、基礎スラブ版厚より小さいため、付図2.2 に模式的に示されるように設計用面外せん断力は想定されるひび割れ領域での平均面外せん断力に対して大きめの評価になっているといえる。また、基礎スラブにおいても、耐震壁と同様、面材における面外せん断力の再配分も期待できる。』とされている。



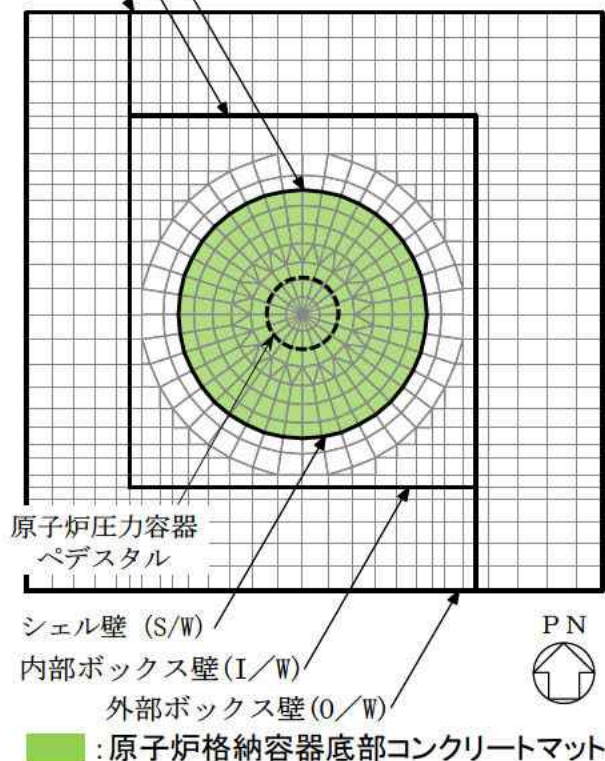
付図2.2 床スラブにおける設計用面外せん断力  
(RC-N規準抜粋)

『RC-N規準』に示されるように、壁面から45度の角度でせん断ひび割れが進展すると考えられることから、せん断破壊面が表面から裏面まで貫通する範囲、すなわち、壁面から基礎版厚分の範囲を応力平均化の範囲と設定する。

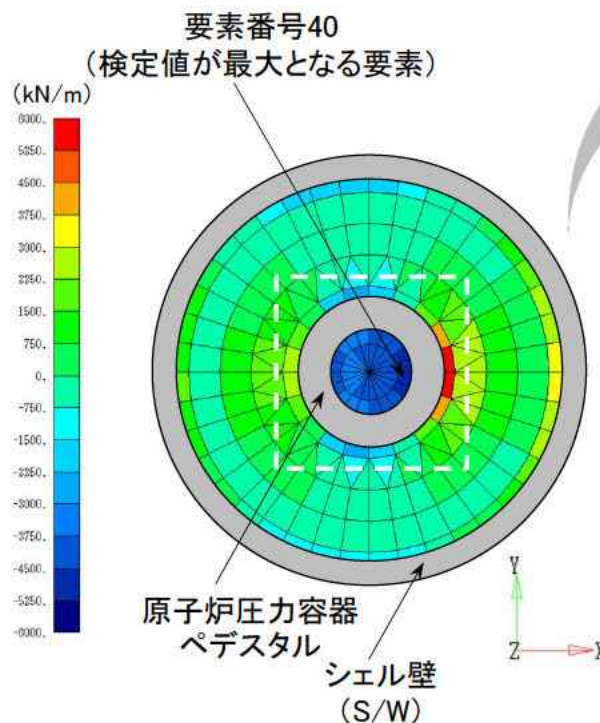


# 6. 建物・構築物の評価手法（応力平均化）（2/2）

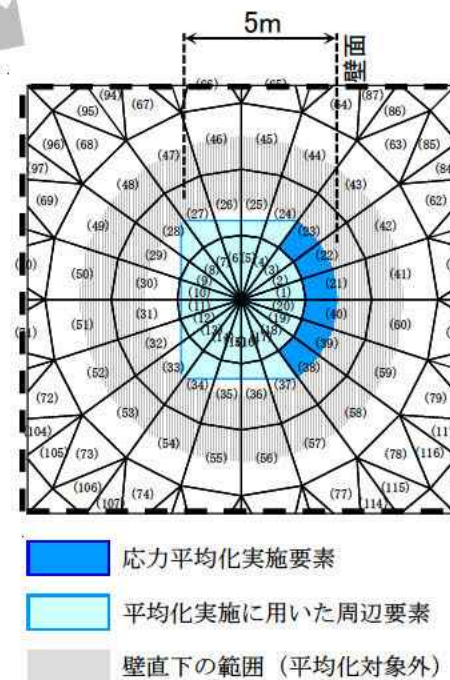
耐震壁による拘束を表すはり要素



**FEM解析モデル要素分割の全体図**  
 (原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎版)



**面外せん断力カウンター図**  
 (Ss地震時 X方向)



**応力平均化の範囲**

**評価結果(平均化前→平均化後)**

要素番号	応力成分	方向	応力平均化前			応力平均化後		
			発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値*1	発生値 (N/mm <sup>2</sup> )	許容値 (N/mm <sup>2</sup> )	検定値*1
40	面外せん断力	X方向	1.20	1.06	1.14	1.01	1.06	0.95

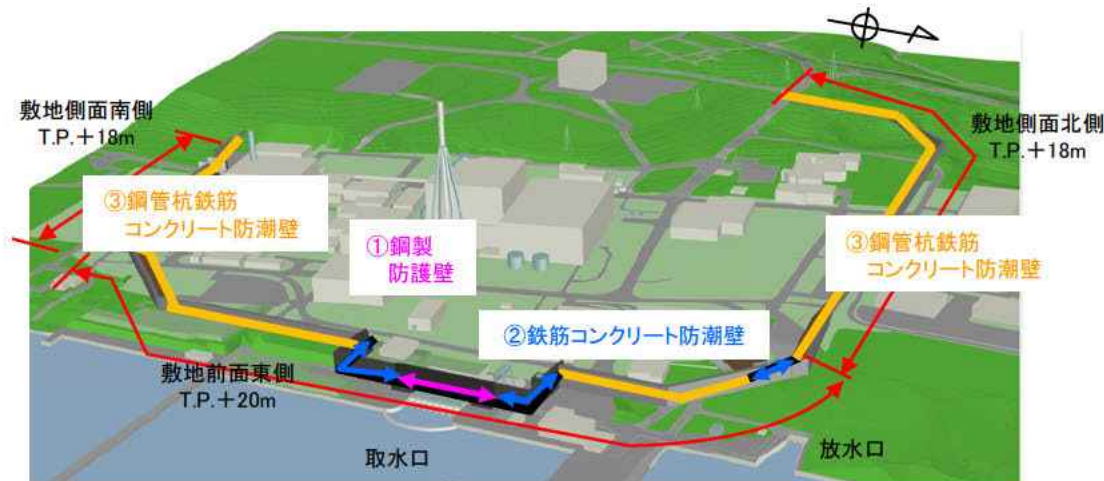
\*1: 検定値 = (発生値 / 許容値)

FEM解析においては、集中荷重等が発生する部位は、局所的な応力集中が発生しやすい。当該部は、RPVペDESTALの脚部反力を入力している節点を含んだ要素であり、応力が集中し、大きな面外せん断力が発生していることが分かる。そのため、『RC-N規準』の考えに基づき、壁面から基礎盤の部材厚である5mの範囲で応力平均化を行った。

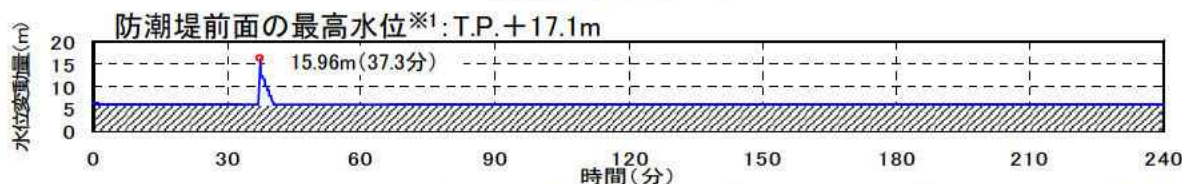


# 7. 防潮堤の構造 (1/8)

○ 地上部から敷地への津波の流入を防止するため、敷地を取り囲む形で防潮堤を設置



防潮堤設置イメージ



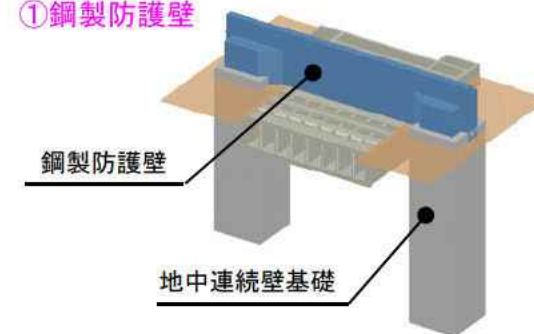
※1: 最大水位上昇量(15.96m)に朔望平均満潮位(T.P.+0.61)及び地殻変動量(2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む)を考慮(0.31m, 0.2m) \* 15.96+0.61+0.31+0.2 ≒ 17.1 m

防潮堤前面の最高水位の時刻歴波形

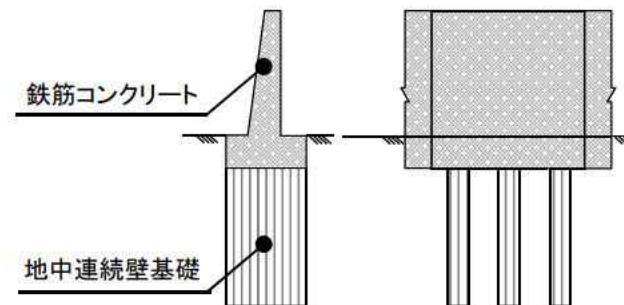
敷地区分毎の入力津波高さ防潮堤高さ

敷地区分	基準津波による防潮堤前面最高水位等 (参考)	①津波高さの数値シミュレーション (地盤沈下の有無, 防波堤の有無を考慮し, 最も高い値を選定)	②入力津波高さの策定 (①に潮位のばらつき 0.18m等を考慮)	防潮堤高さ (②に対し余裕があることを確認)
敷地側面北側	T.P.+11.7m	T.P.+15.2m	T.P.+15.4m	T.P.+18m
敷地前面東側	T.P.+17.1m	T.P.+17.7m	T.P.+17.9m	T.P.+20m
敷地側面南側	T.P.+15.4m	T.P.+16.6m	T.P.+16.8m	T.P.+18m

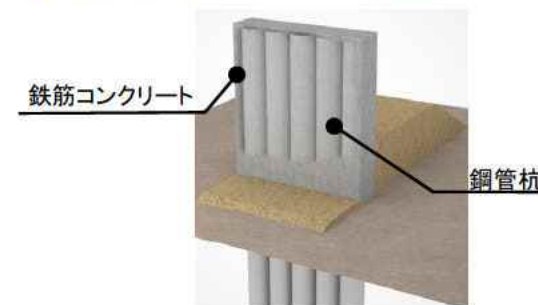
①鋼製防護壁



②鉄筋コンクリート防潮壁



③鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

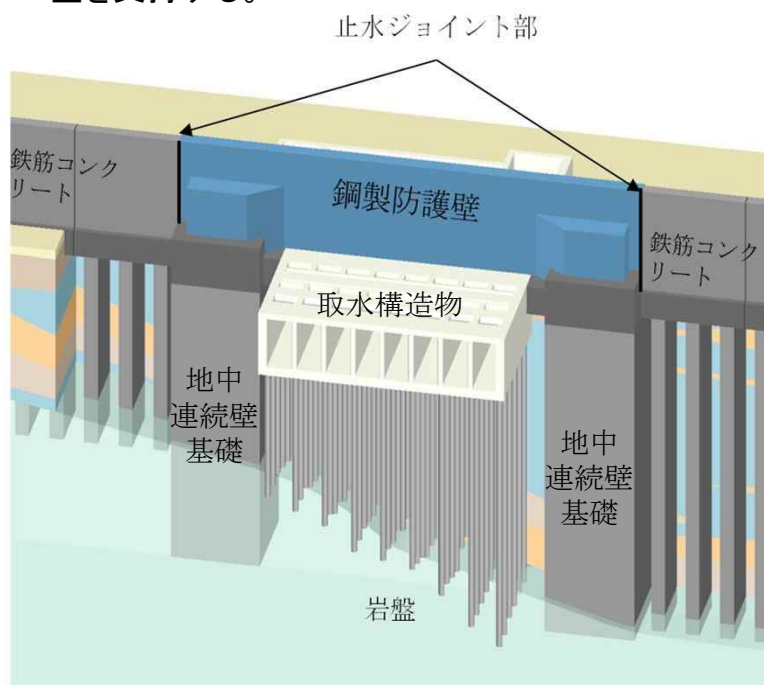


防潮堤の構造イメージ

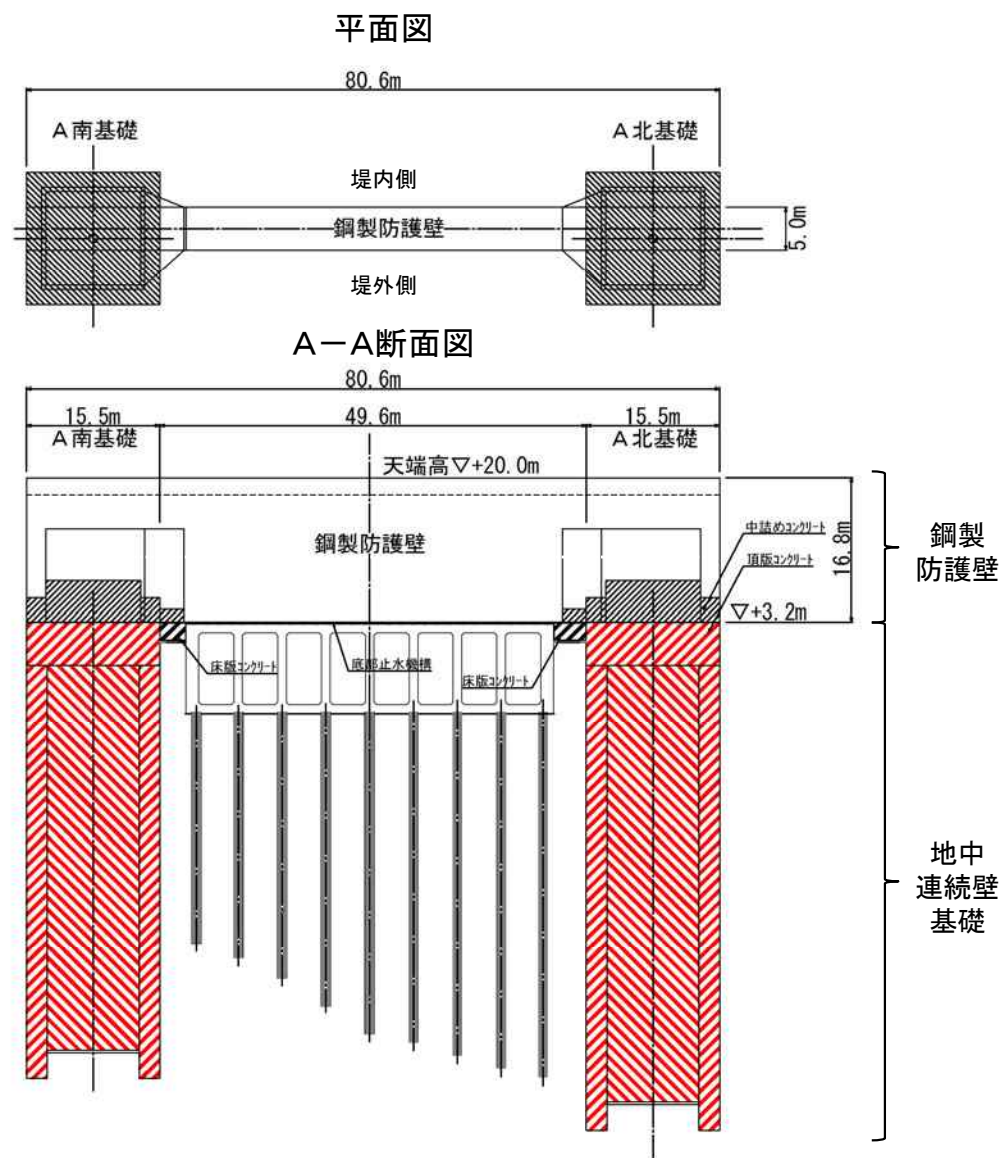
## 7. 防潮堤の構造 (2/8)

### ① 鋼製防護壁の構造

- 鋼製防護壁は、幅約81 m、高さ約17 m、奥行き約5 m の鋼製の構造物であり、幅約50 m の取水構造物を横断して設置する。
- 鋼製防護壁は鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造であり、施工性を考慮して分割したブロックの集合体として全体を構成する。
- 基礎部は、南北両側に配置した地中連続壁基礎にて構成され、津波荷重等を受ける鋼製防護壁を支持する。



構造概要図(イメージ図)

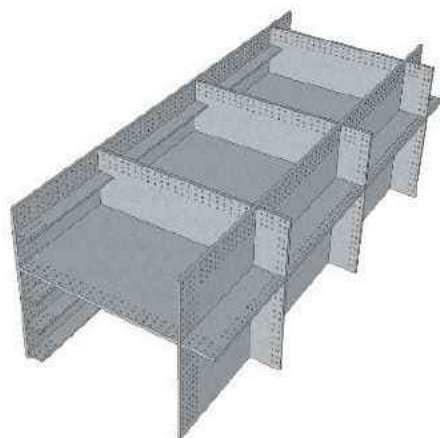




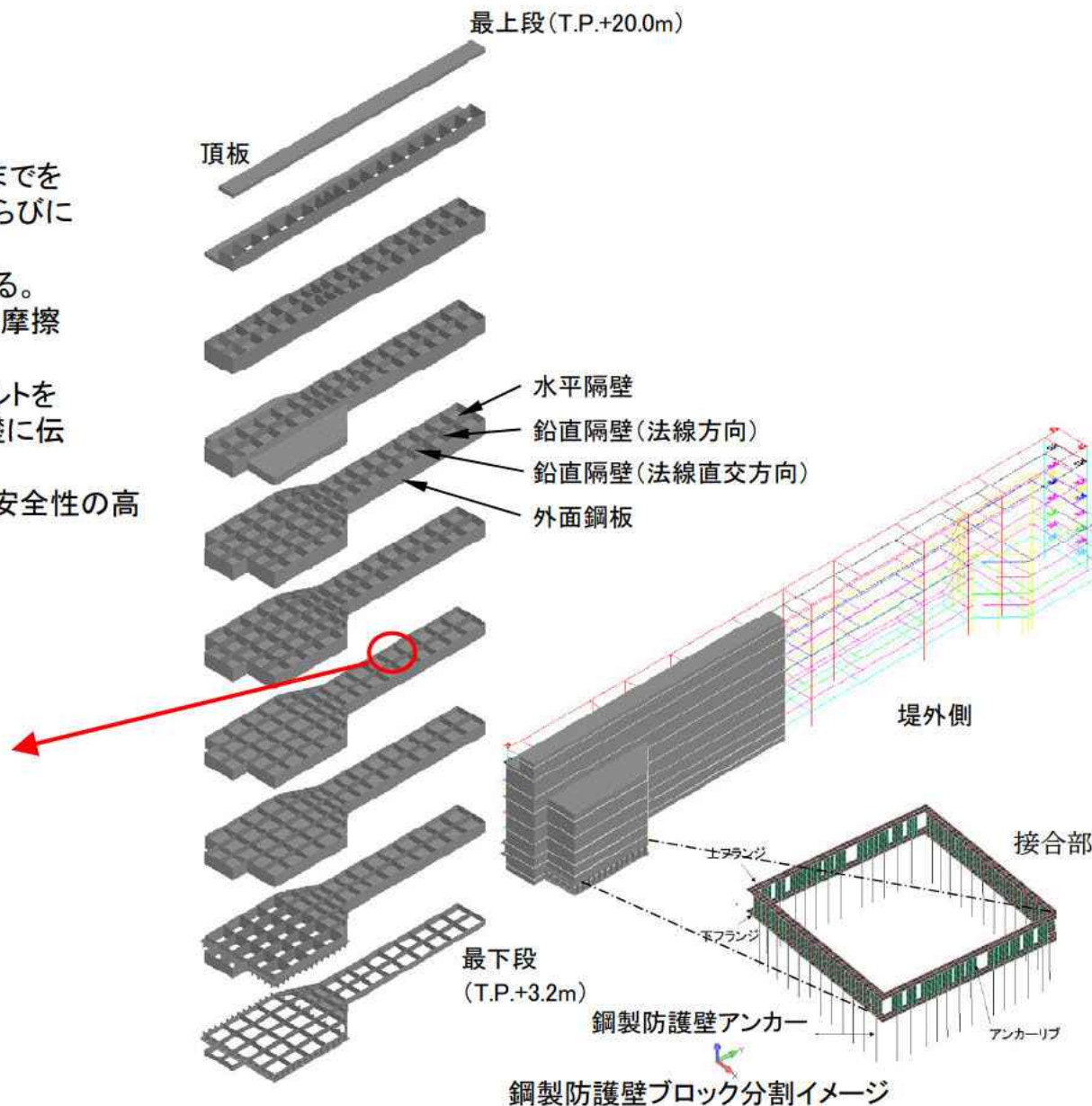
## ① 鋼製防護壁の構造

### ブロック分割イメージ

- ・下端標高T.P.+3.2mから天端標高T.P.+20.0mまでを10層に分割し、頂板、外面鋼板、水平隔壁ならびに鉛直隔壁で構成される。
- ・各層は下に示すブロックが複数結合されている。
- ・ブロック同士は、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合する。
- ・鋼製防護壁の拡幅部最下層にはアンカーボルトを設置し、上部工からの荷重を地中連続壁基礎に伝達する。
- ・添接板部には止水材(シール材)を施し、より安全性の高い止水性を確保する。



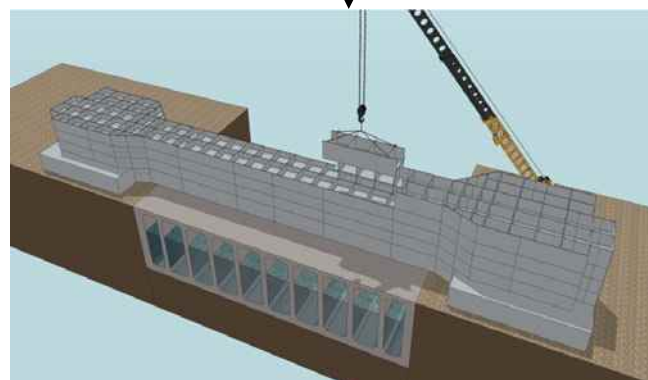
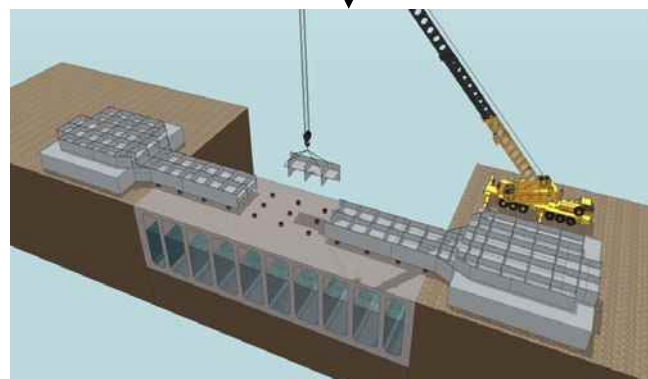
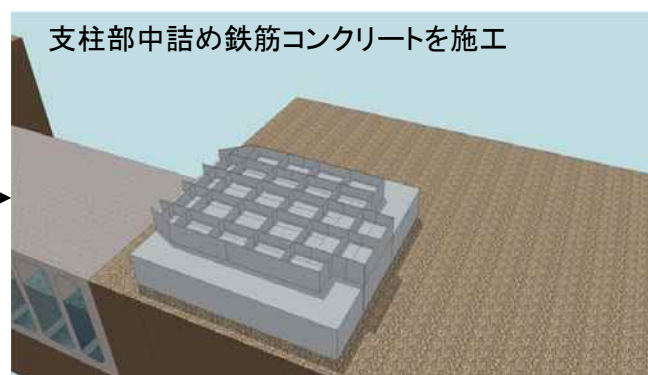
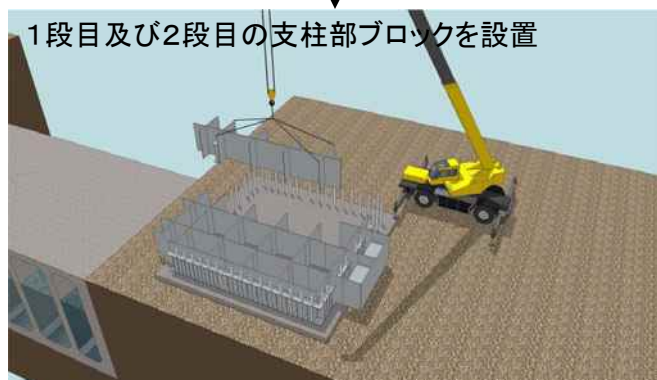
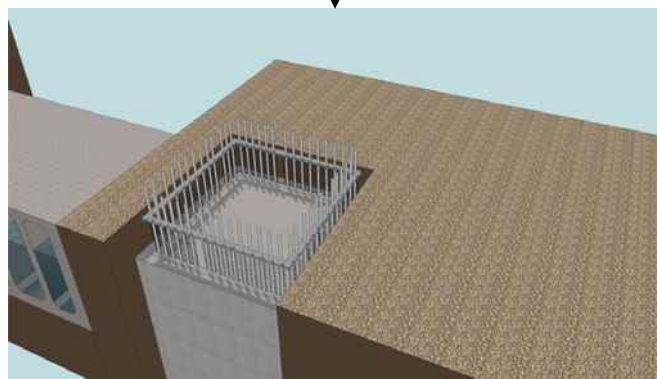
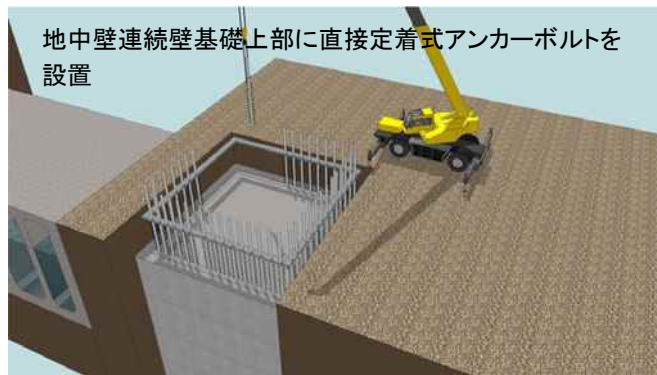
ブロックのイメージ図



鋼製防護壁ブロック分割イメージ

## 7. 防潮堤の構造 (4/8)

### ① 鋼製防護壁の構造 施工ステップ図



ジャッキを配置し1段目の支間部ブロックを架設する。  
架設時には、1段目自重によるたわみ量及び2段目以降の構造系の変化を考慮したたわみ量をあらかじめ上げ越しする。

各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。  
管理値から逸脱した場合は、反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。



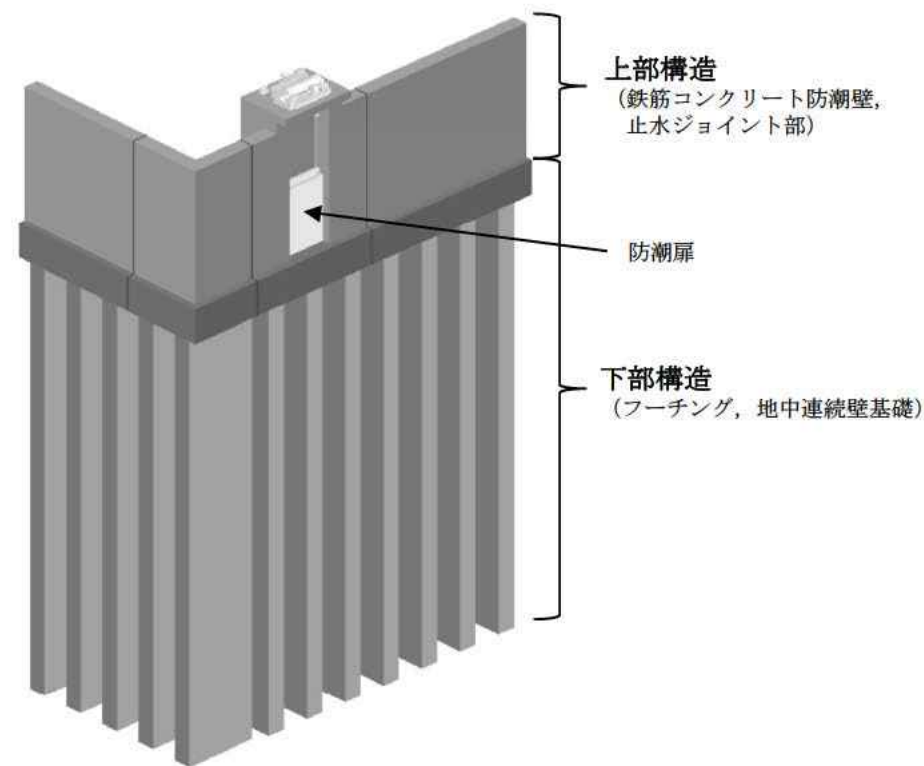
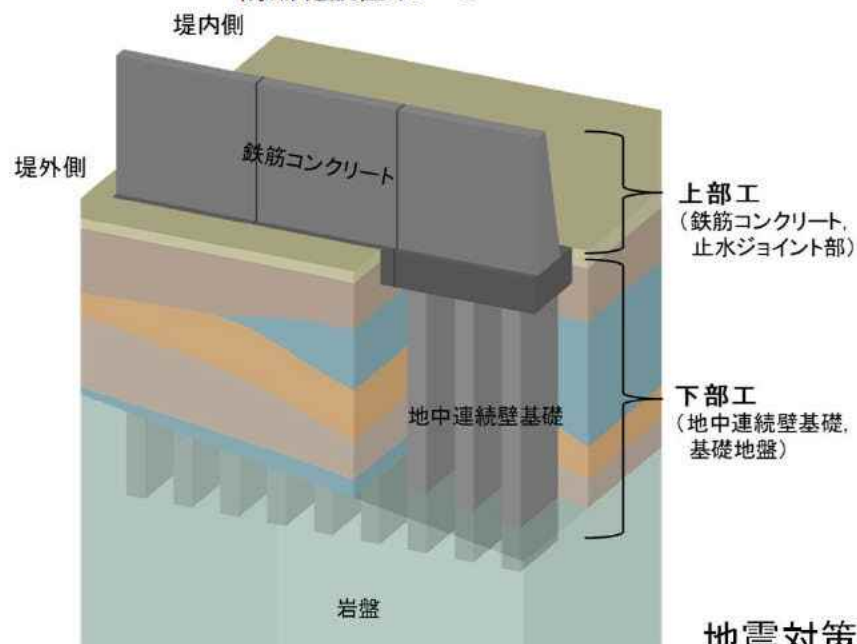
## 7. 防潮堤の構造 (5/8)

### ② 鉄筋コンクリート防潮壁(取水口)

- 鉄筋コンクリート製の地中連続壁基礎の上に鉄筋コンクリート製の防潮壁を構築する。
- 防潮壁及び地中連続壁基礎はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とする。
- 防潮壁間には、地震時や津波時の変形量に追随し、津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。



防潮堤設置イメージ



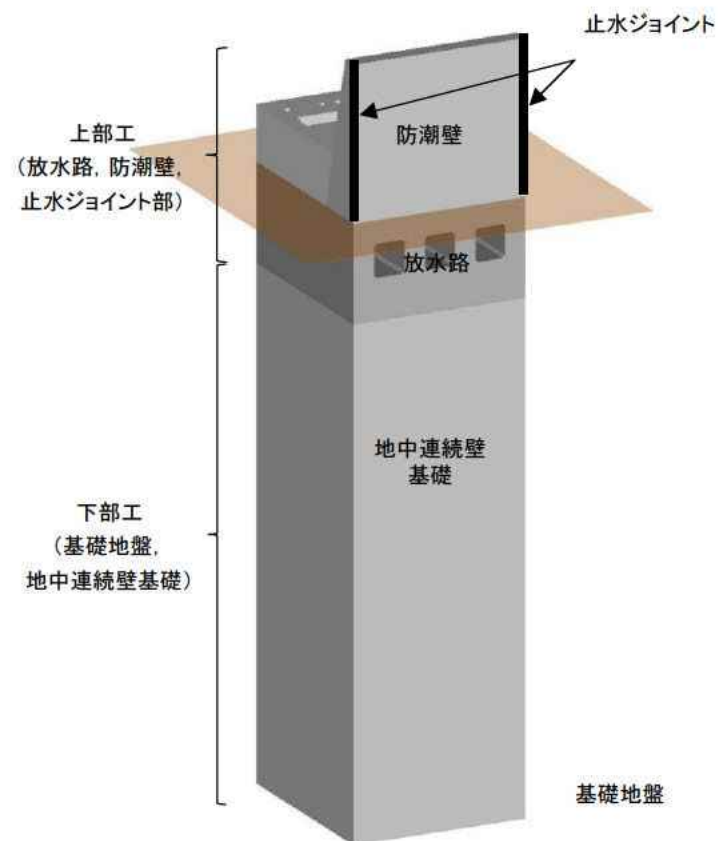
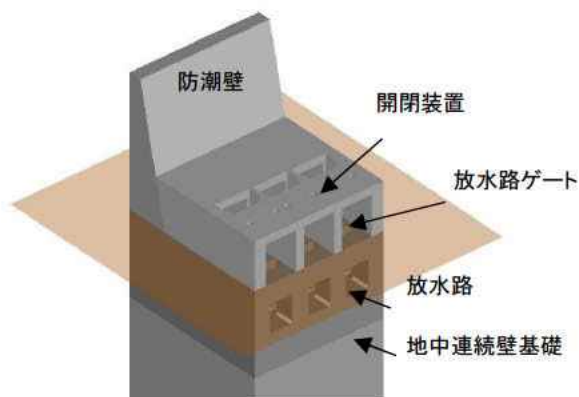
## 7. 防潮堤の構造 (6/8)

### ② 鉄筋コンクリート防潮壁(放水口)

- 鉄筋コンクリート製の放水路及び地中連続壁基礎の上に鉄筋コンクリート製の防潮壁を構築する。
- 防潮壁, 放水路及び地中連続壁基礎はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とする。
- 防潮壁直下に構築する放水路はカルバート構造であり, 敷地内への津波の浸水を防止するために, 放水路ゲートを設置する。
- 防潮壁間には, 地震時や津波時の変形量に追随し, 津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。



防潮堤設置イメージ

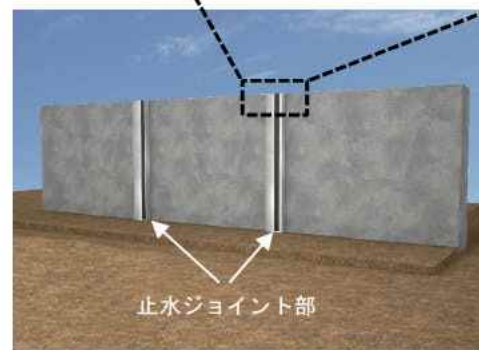
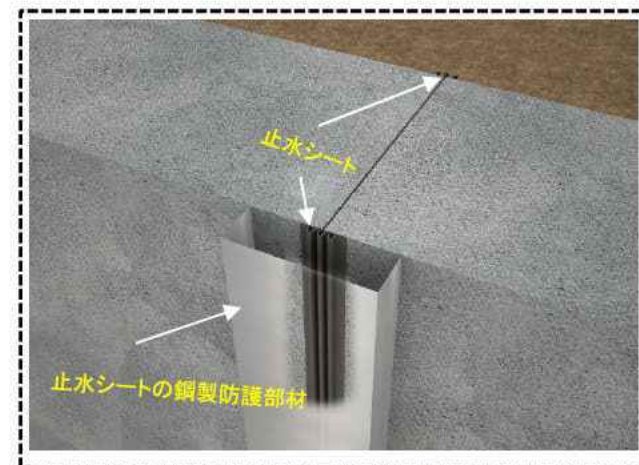
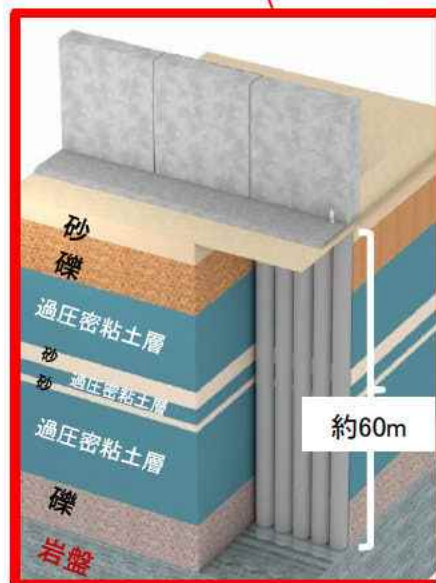
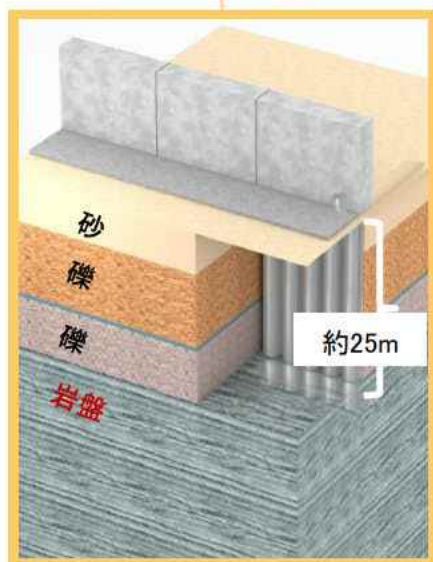
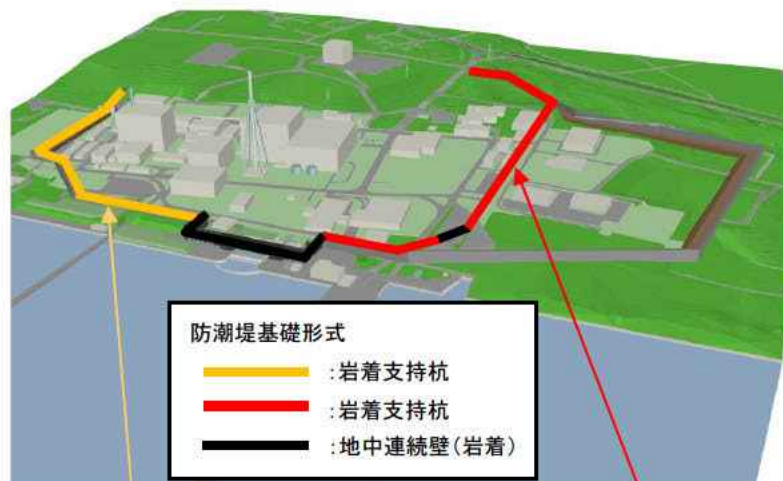




# 7. 防潮堤の構造 (7/8)

## ③ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

- 鋼管杭を地震・津波荷重に耐える構造躯体とし、杭管から津波の浸水を防止する観点で鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とする。
- 支持形式については、岩盤に支持させる岩着支持杭形式とする。
- 防潮壁間には、地震時や津波時の変形量に追随し、津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。

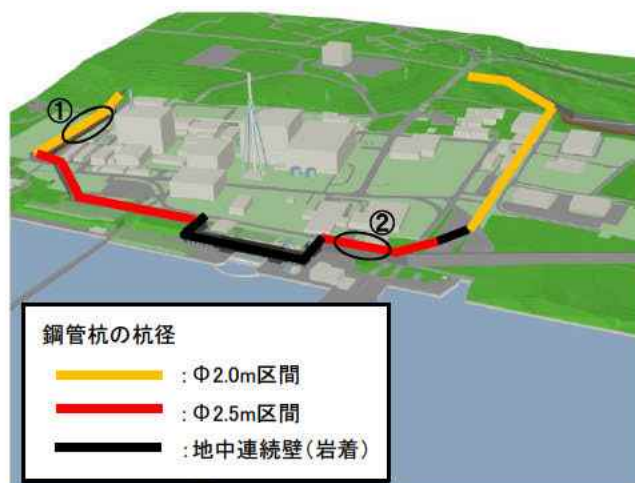


止水ジョイント部イメージ

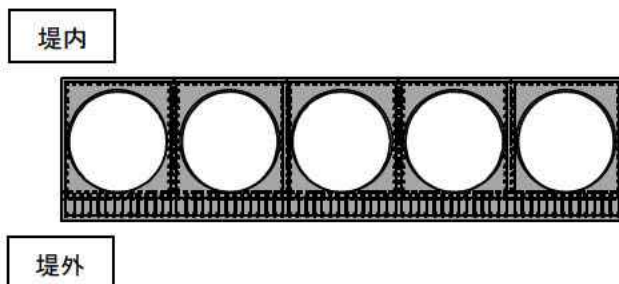
# 7. 防潮堤の構造 (8/8)

## ③ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

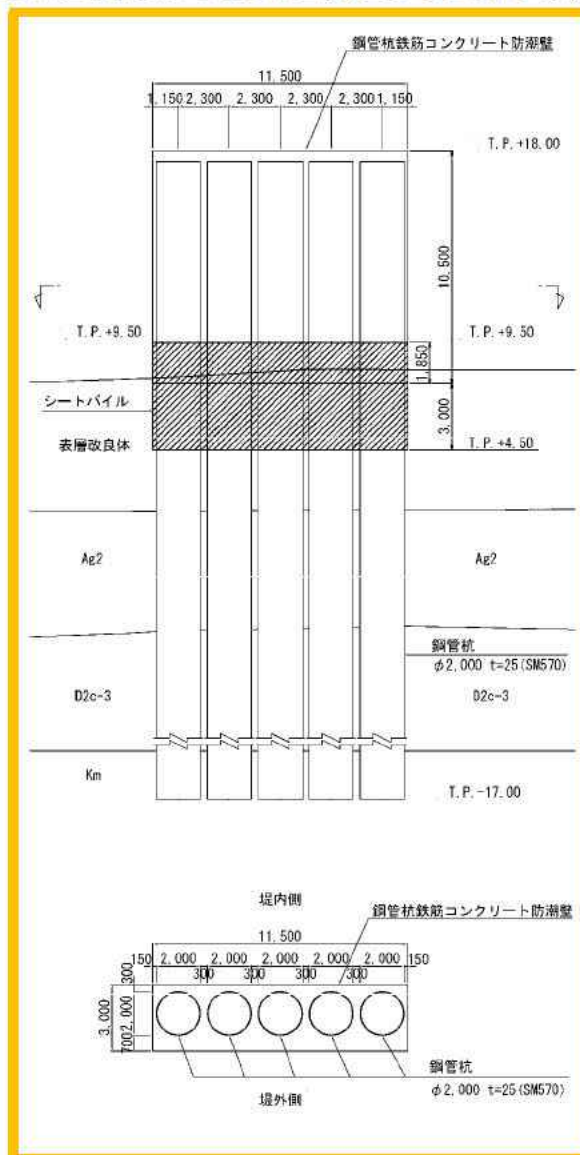
○ 鋼管杭の杭径は、地震・津波荷重に応じてΦ2.0m区間及びΦ2.5m区間として区分する。



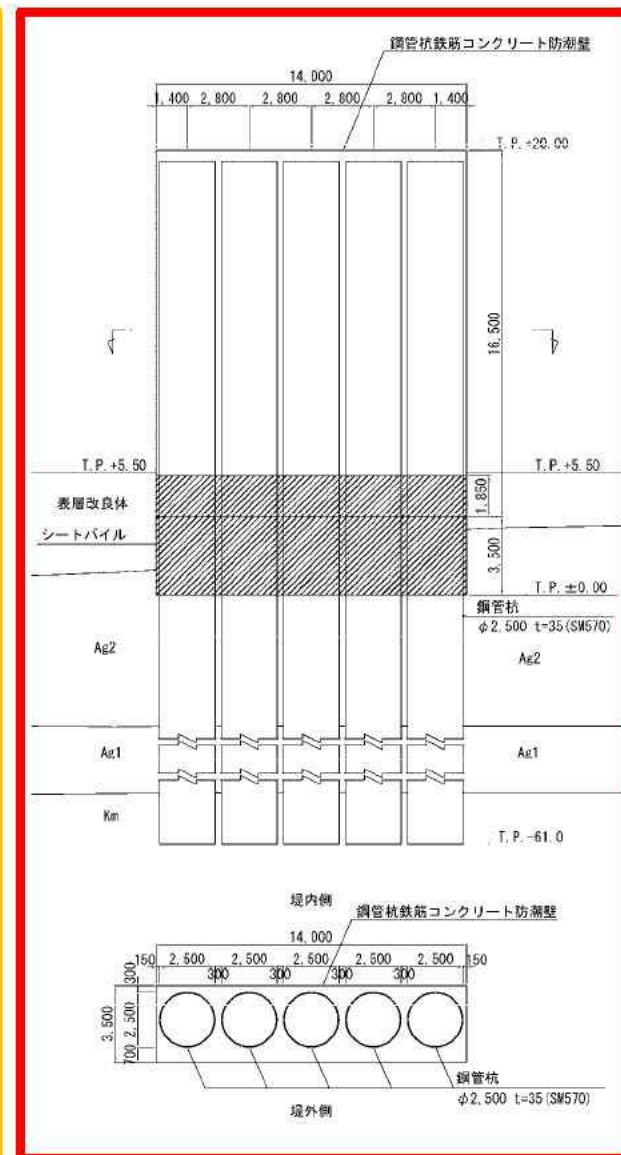
	杭径 Φ2.0m	杭径 Φ2.5m
杭の間隔	2.3m	2.8m
防潮壁サイズ	11.5m × 3.0m	14.0m × 3.5m
防潮堤天端	T.P.+18.0m	T.P.+20.0m



上部構造の配筋イメージ図



① 構造図(Φ2.0m区間)



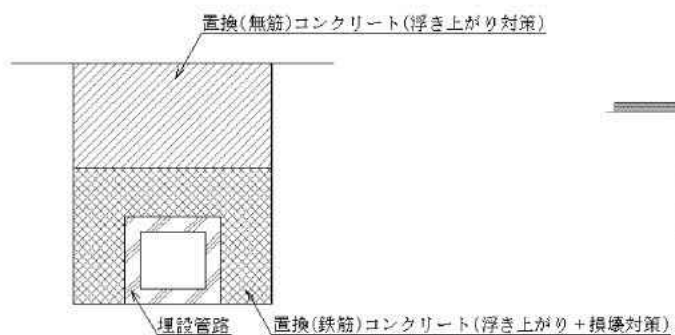
② 構造図(Φ2.5m区間)



## 8. 屋外アクセスルートの補強対策（1／3）

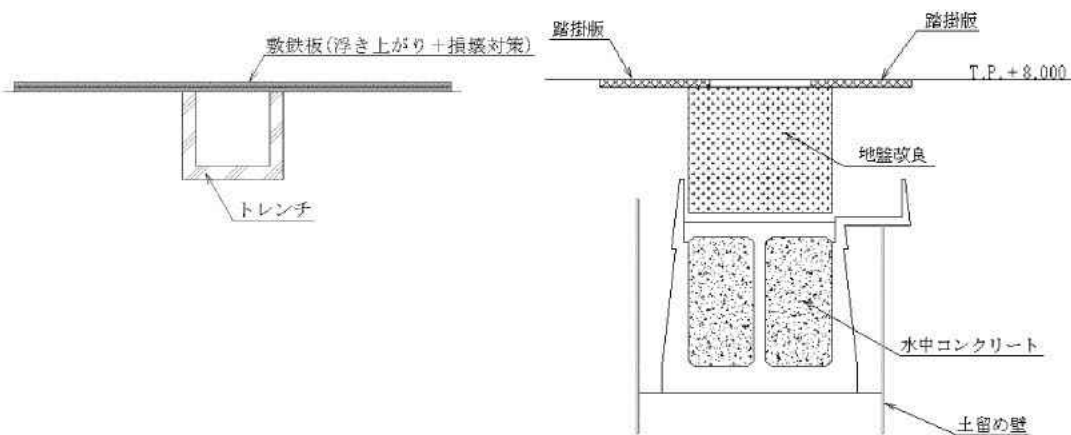
### ○ アクセスルートの補強対策

不等沈下、浮き上がり、地中埋設構造物の損壊により段差が発生すると評価された箇所に対し、補強対策を実施する。



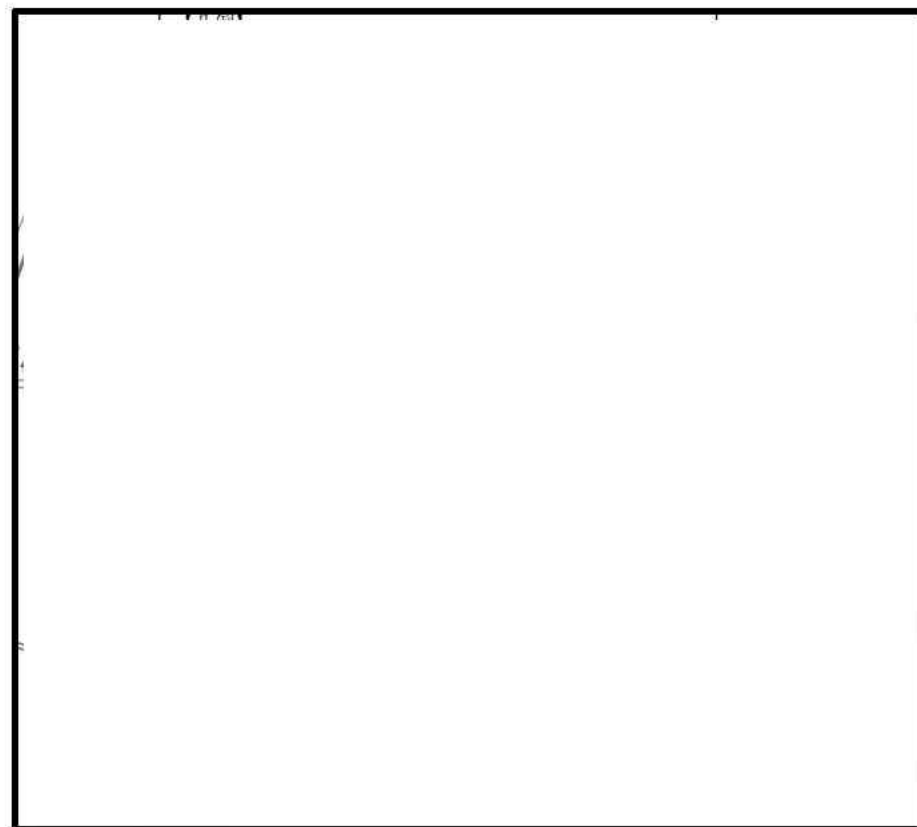
タイプA: 置換コンクリート (No.6 他)

タイプC: 内空充填 (No.70 他)



タイプB: 敷鉄板 (No.68 他)

タイプD: 踏掛版 (No.118)



路盤補強等の実施箇所図

# 8. 屋外アクセスルートの補強対策 (2/3)



## ○ 補強対策の一覧

：路盤補強等，事前対策の実施対象

No.	名称	不等沈下により15cmを超える段差発生	液状化により15cmを超える浮き上がり発生	地山と埋戻部の境界で通行影響あり	地中埋設物損壊時に15cmを超える段差発生	対策の種類
2	電線管路	-	-	-	-	-
5	電線管路	-	○	-	○	A
6	電線管路	-	○	-	○	A
7	電線管路	-	-	-	-	-
8	電線管路	-	-	-	-	-
9	電線管路	-	-	-	-	-
12	電線管路	-	-	-	-	-
14	電線管路	-	-	-	-	-
15	電線管路	-	-	-	-	-
16	電線管路	-	-	-	-	-
17	電線管路	-	-	-	-	-
18	電線管路	-	-	-	-	-
19	電線管路	-	-	-	-	-
23	電線管路	-	-	-	-	-
24	電線管路	-	-	-	-	-
25	電線管路	-	-	-	-	-
26	電線管路	-	-	-	-	-
27	電線管路	-	-	-	-	-
28	電線管路	-	-	-	-	-
29	電線管路	-	-	-	-	-
30	浄化槽配管	-	○	-	-	A
31	浄化槽配管	-	○	-	-	A
32	消火配管	-	-	-	-	-
33	消火配管	-	-	-	-	-
34	消火配管	-	-	-	-	-
35	消火配管	-	-	-	-	-
36	ろ過水配管	-	-	-	-	-
37	ろ過水配管	-	-	-	-	-
38	ろ過水配管	-	-	-	-	-
39	ろ過水配管	-	-	-	-	-
40	ろ過水配管	-	-	-	-	-
44	D/Yドレン配管	-	-	-	-	-
45	D/Yドレン配管	-	-	-	-	-
46	D/Yドレン配管	-	-	-	-	-
48	OG配管	-	○	-	-	A
49	OG配管	-	○	-	-	A
51	MUW配管	-	-	-	-	-
52	MUW配管	-	-	-	-	-
53	MUW配管	-	-	-	-	-
54	DG SW配管	-	-	-	-	-

No.	名称	不等沈下により15cmを超える段差発生	液状化により15cmを超える浮き上がり発生	地山と埋戻部の境界で通行影響あり	地中埋設物損壊時に15cmを超える段差発生	対策の種類
55	ケーブル管路	-	-	-	-	-
57	ケーブル管路	-	-	-	-	-
58	ケーブル管路	-	-	-	-	-
59	ケーブル管路	-	-	-	-	-
60	ケーブル管路	-	-	-	-	-
61	ケーブル管路	-	-	-	-	-
64	ケーブル管路	-	-	-	-	-
68	排水溝	-	○	-	○	B
69	原水系，消火系トレンチ	-	○	-	○	A+B+C
70	消火系トレンチ	-	○	-	○	B+C
71	電線管トレンチ	-	○	-	○	B
79	消火系トレンチ	-	○	-	○	B+C
80	プロパン配管トレンチ	-	○	-	○	B
82	排水溝	-	○	-	○	B
83	排水溝	-	○	-	○	B
84	補助蒸気系トレンチ	-	○	-	○	B
86	排水溝	-	-	-	○	B
87	ろ過水系トレンチ	-	○	-	○	B+C
88	排水溝	-	○	-	○	B
91	RHRS配管	-	○	-	-	*
92	RHRS配管	-	○	-	-	*
93	ケーブル管路	-	-	-	-	-
94	ケーブル管路	-	-	-	-	-
95	ケーブル管路	-	-	-	-	-
118	復水器冷却用取水路（東海発電所）	○	-	○	○	C+D
123	一般排水配管	-	○	-	○	A
125	予備変圧器河道	-	-	-	○	B
126	蒸気系配管	-	-	-	-	-
127	電線管路	-	-	-	-	-
128	電線管路	-	-	-	-	-
129	RHRS配管	-	○	-	-	*
130	RHRS配管	-	○	-	-	*
131	OG配管	-	-	-	-	-
132	一般排水配管	-	○	-	○	A
133	一般排水配管	-	○	-	○	A
134	一般排水配管	-	-	-	○	B
135	OG配管	-	○	-	-	A
136	MUW配管	-	-	-	-	-
137	DG SW配管	-	-	-	-	-

○：該当する場合    -：該当しない場合

注記 \*：RHRS配管上を通るアクセスルートの直下は地盤改良体が設置されることから，RHRS配管の浮き上がりは発生しない。



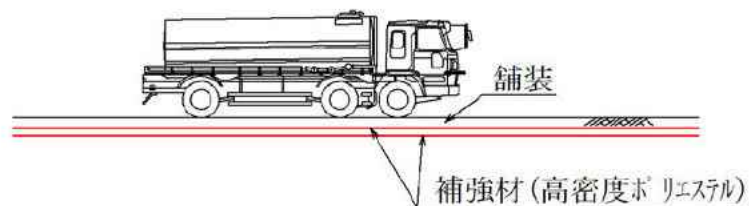
## 8. 屋外アクセスルートへの補強対策 (3/3)

### ○ 確実性を高めるための更なる対策

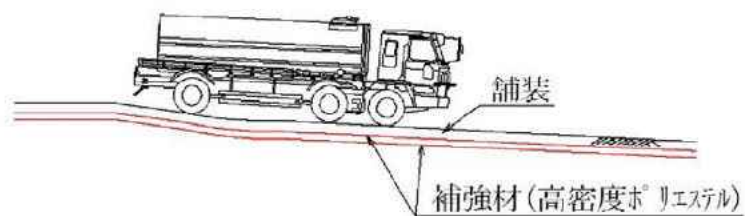
補強対策を実施する箇所以外は、地質状況から、液状化及びゆすり込み沈下により地表面がほぼ一定に沈下することから、局所的な沈下は発生しにくいと考えられる。

しかし、**確実な通行性を確保するために、対策不要と評価された箇所についても、路盤補強材(高密度ポリエステル)を敷設する。**

地震前



地震後

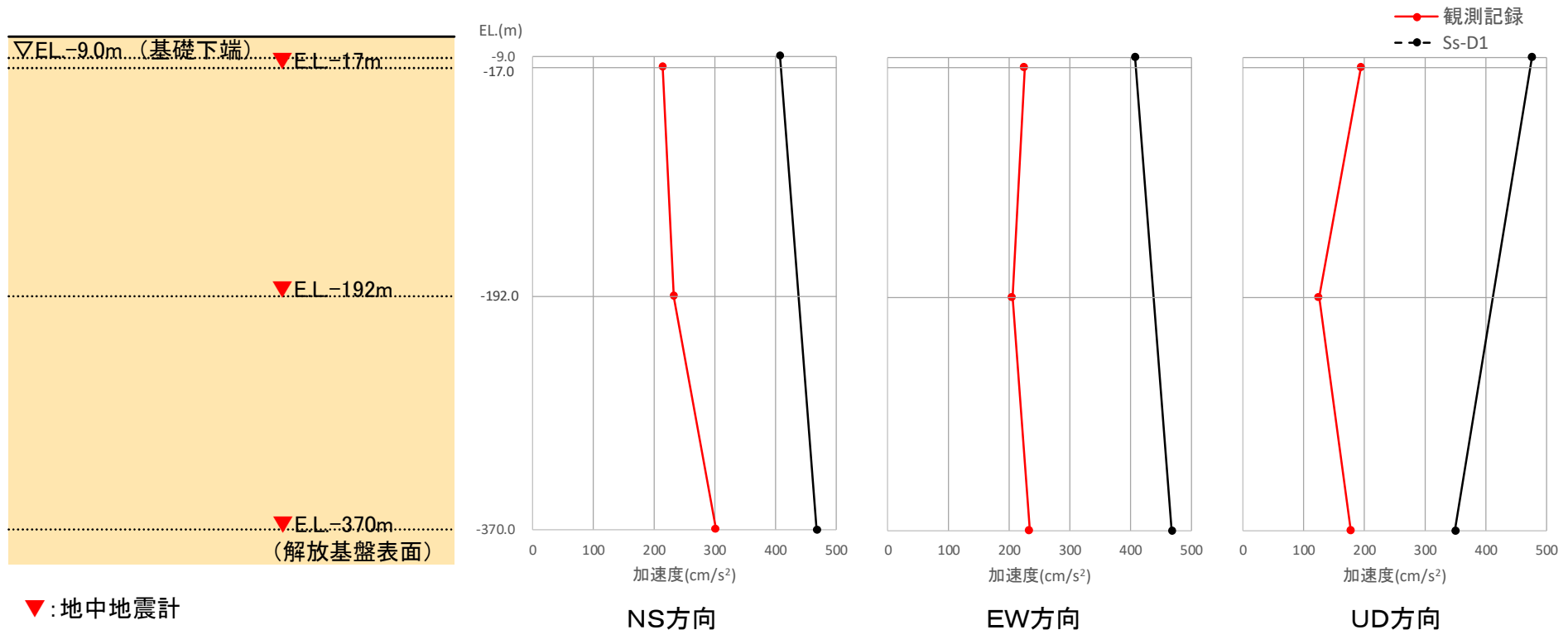


路盤補強等の実施箇所図

## 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録とS<sub>s</sub>-D1の最大加速度値の比較

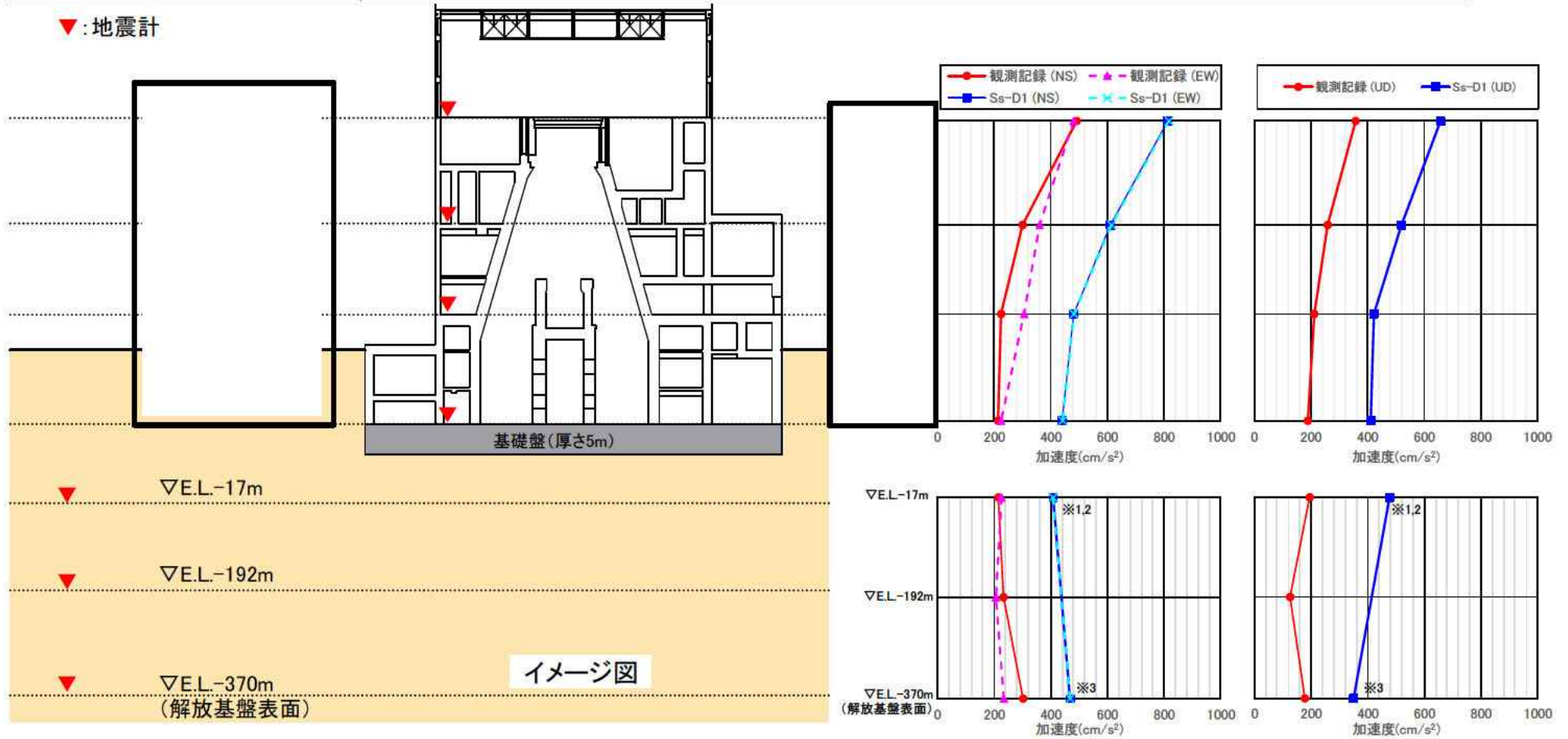


○2011年東北地方太平洋沖地震における地中地震計の観測記録の最大加速度と、S<sub>s</sub>-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中における両者の最大加速度の増幅傾向は概ね整合的であることを確認した。  
 S<sub>s</sub>-D1は周期特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答となることから代表して比較している。  
 なお、S<sub>s</sub>-D1以外の基準地震動S<sub>s</sub>についても概ね同様の傾向を示している。





○2011年東北地方太平洋沖地震における観測記録の最大加速度と、S<sub>s</sub>-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中において観測記録の最大加速度の増幅は見られないがS<sub>s</sub>-D1による上下方向の最大応答加速度の増幅が見られたこと、建屋において両者の最大加速度が同様の増幅傾向を示していることを確認した。  
S<sub>s</sub>-D1は、周期特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答となることから代表して比較している。



※1 E.L.-9mにおける値。

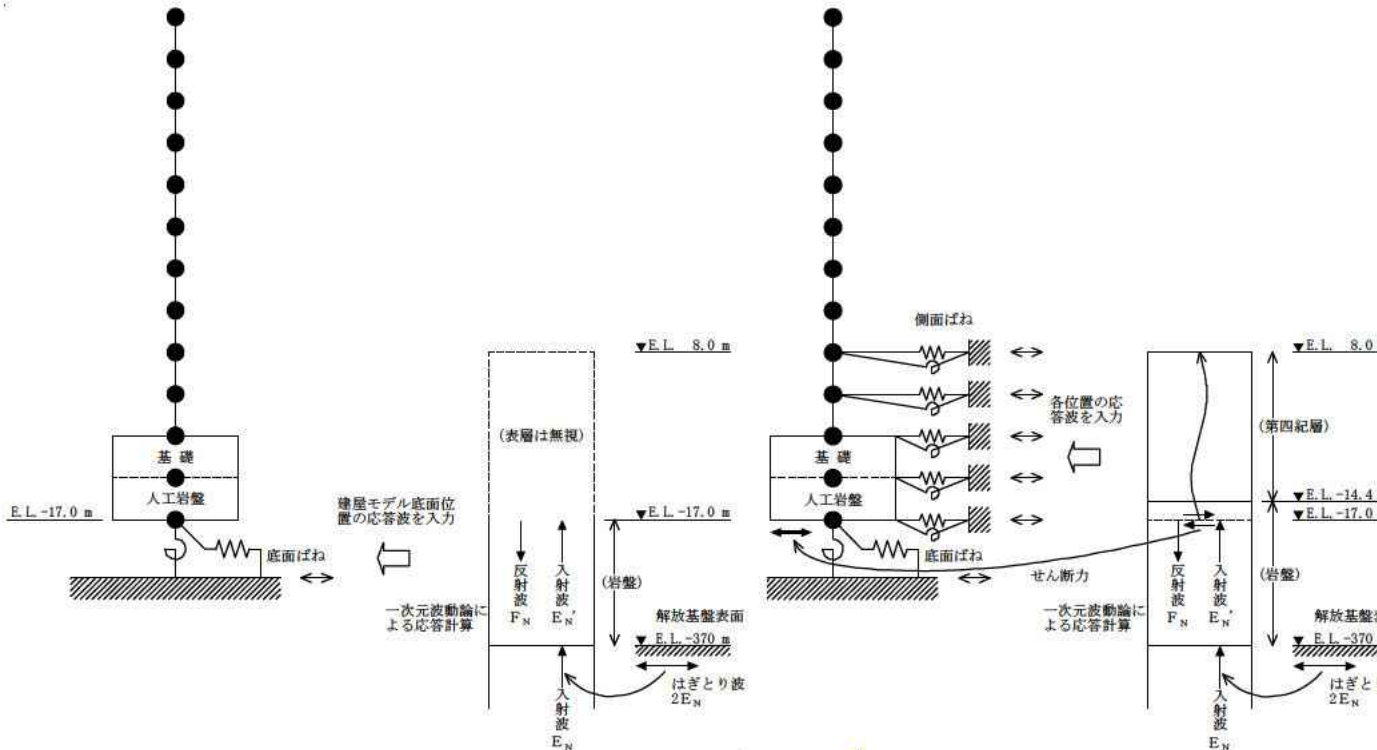
※2 UD方向については、建屋入力位置以浅の表層地盤を考慮せずに評価しているため、露頭波としての値。

※3 S<sub>s</sub>-D1を半分にした波(E)を入力し、その時の地盤応答(E+F)の値。ここで、E:上昇波、F:下降波。

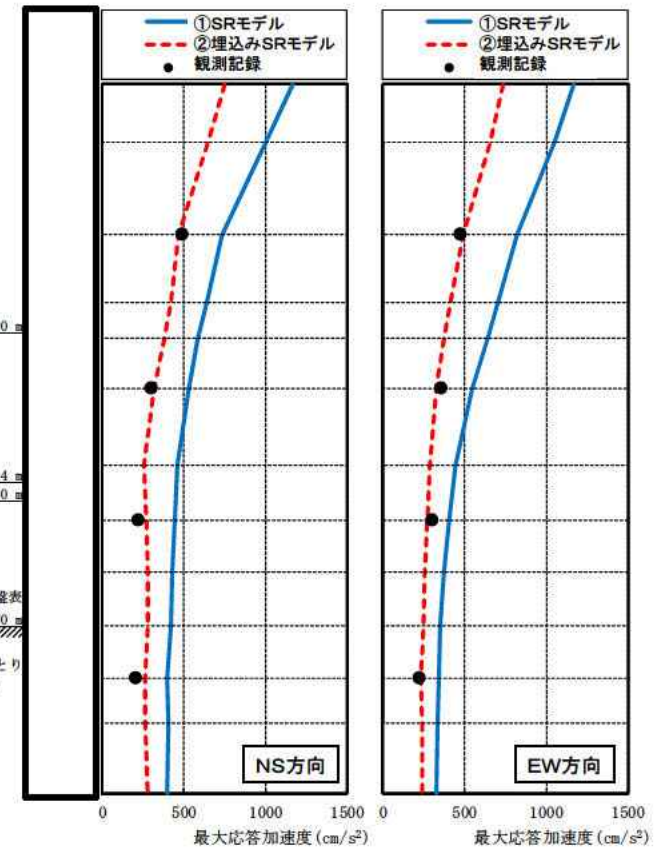
・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



最大応答加速度分布



①SRモデル  
(既工認では、人工岩盤下端に  
設計波を直接入力)



②埋込みSRモデル

側面回転ばねを含む  
埋込み効果を考慮

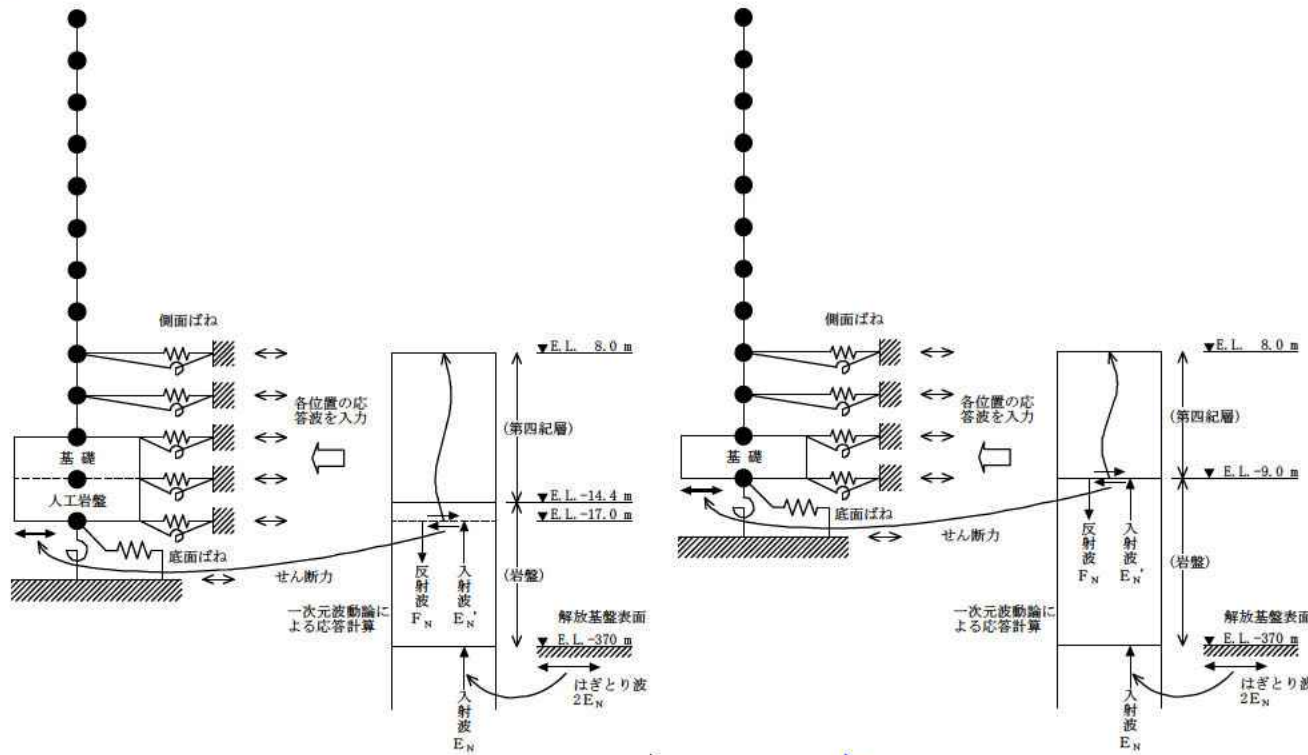
①と②を比較した結果、側面地盤の埋込み効果を考慮した埋込みSRモデルとした場合、より実情に近い建屋の振動性状を評価できることを確認した。



・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要

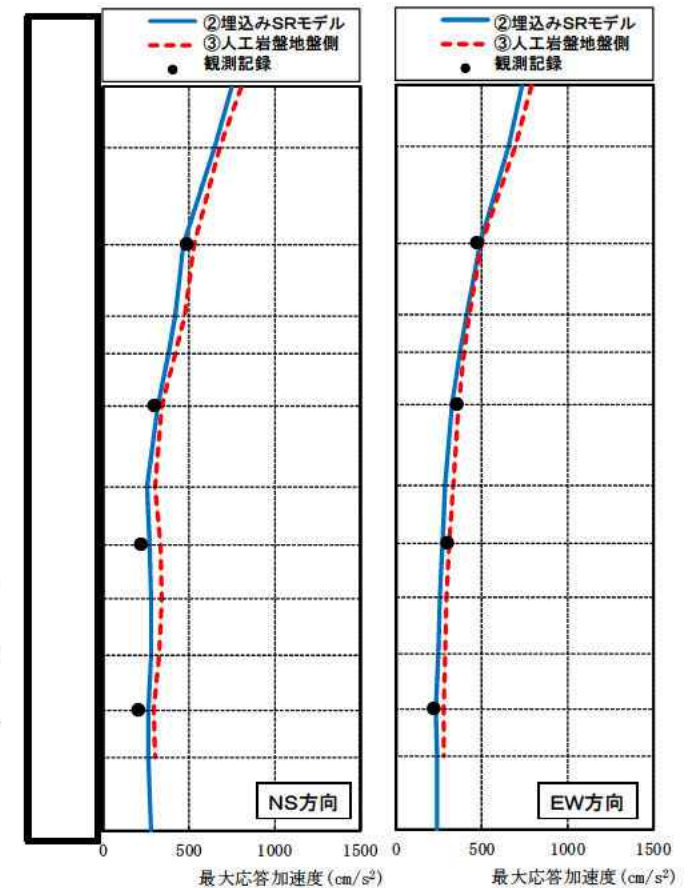


②埋込みSRモデル

③人工岩盤地盤側

人工岩盤を地盤モデル側にモデル化

最大応答加速度分布

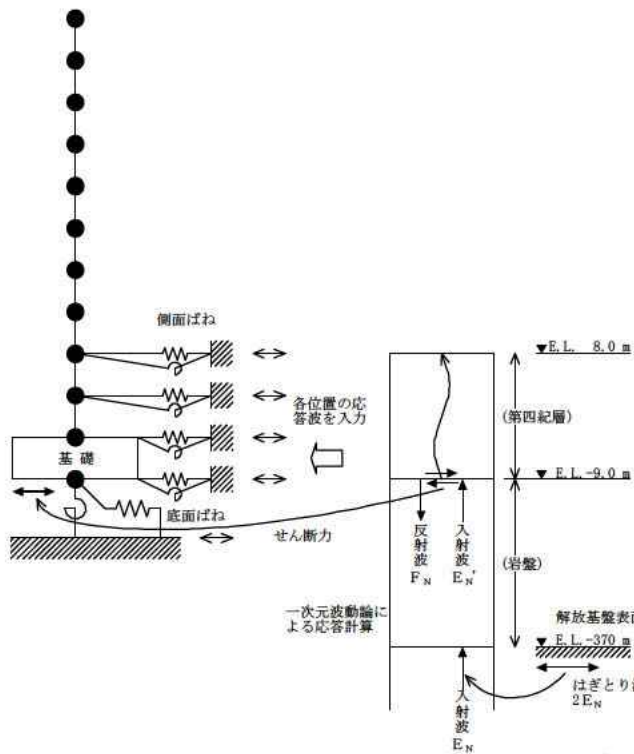


②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化するのが、応答を保守側に評価することを確認した。

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

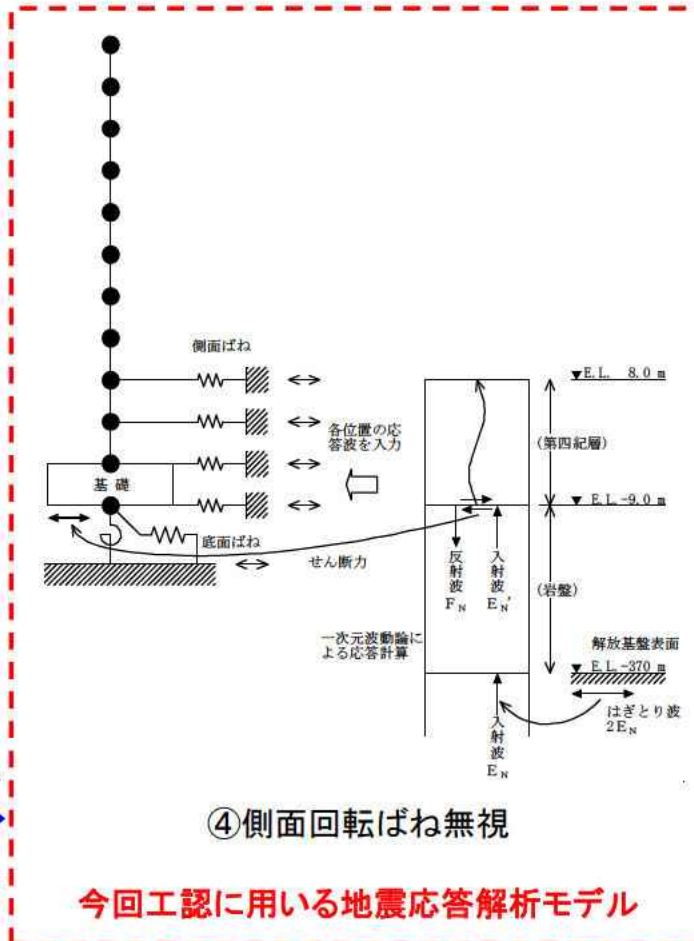
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

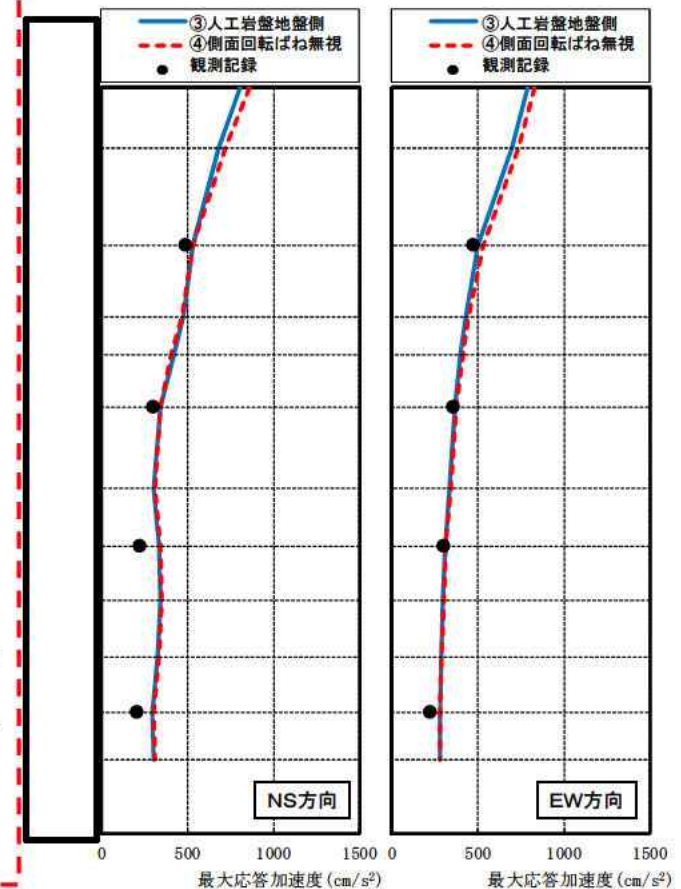
側面回転ばねを考慮しない場合



④側面回転ばね無視

今回工認に用いる地震応答解析モデル

最大応答加速度分布



③と④を比較した結果、側面回転ばねを考慮しないモデルとする方が、応答を保守側に評価することを確認した。



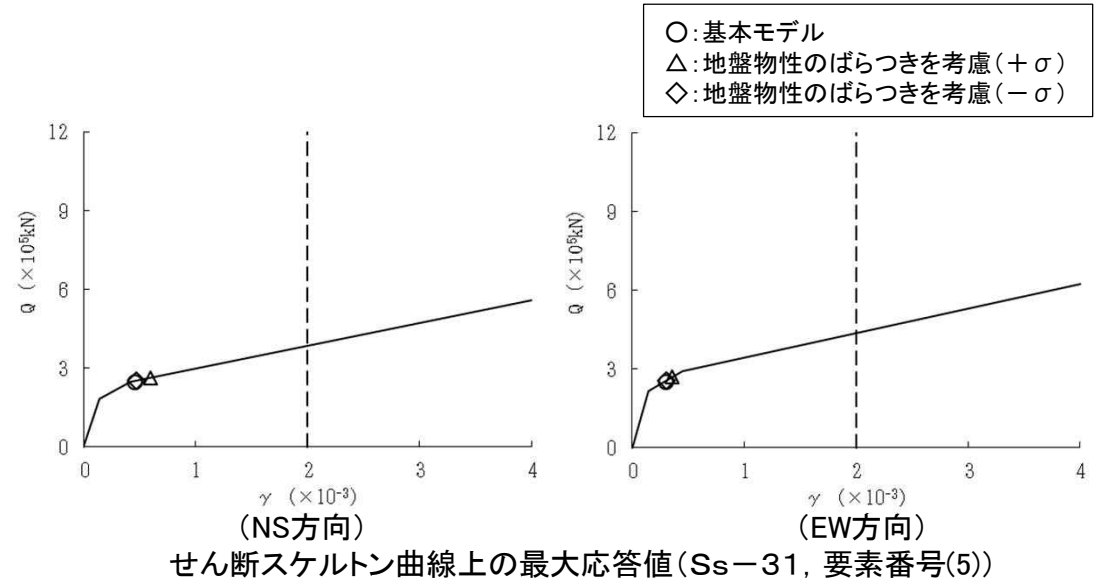
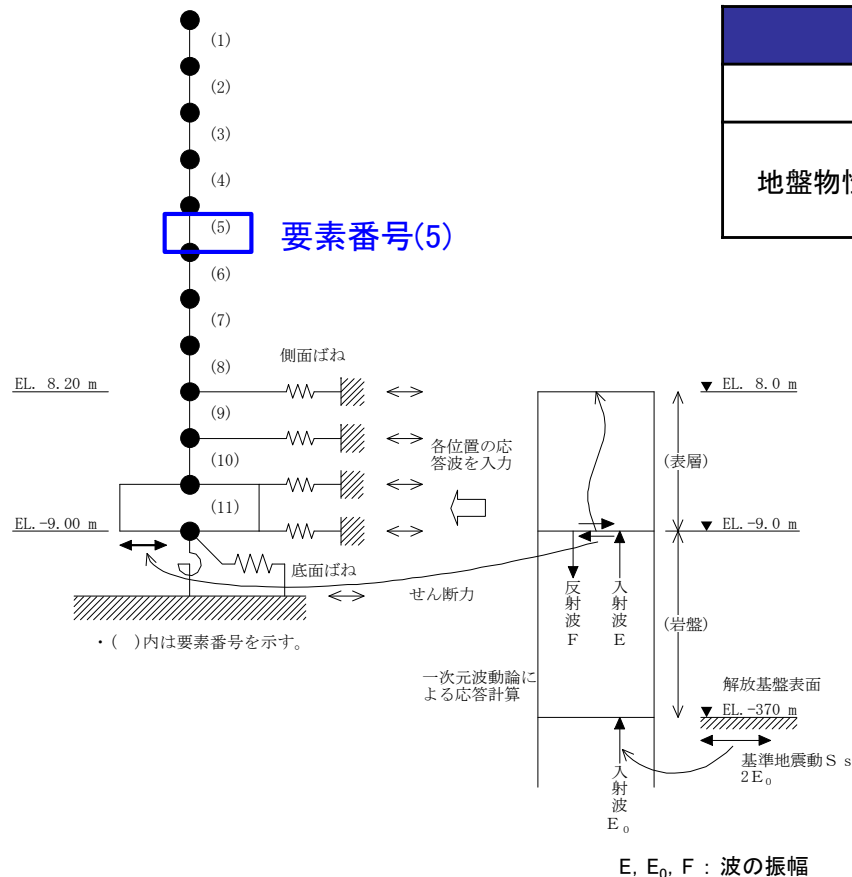
# 参考 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション結果(1/2)

## ○ 原子炉建屋

- ・解放基盤表面で定義される基準地震動S<sub>s</sub>を用いて一次元波動論により算定した建屋基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波を入力とした地震応答解析を実施した。
- ・地震応答解析モデルに用いる基礎底面の地盤ばねは、振動アドミタンス理論<sup>(1)</sup>に基づき設定し、建屋埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novakの方法<sup>(2)</sup>により設定する。
- ・地盤ばねの算定に用いる地盤定数は初期地盤の物性値とひずみ依存特性から一次元波動論より求めた等価物性値とする。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは $0.60 \times 10^{-3}$ (要素番号(5), 地盤物性のばらつきを考慮(+σ), NS方向, S<sub>s</sub>-31)であり、許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )を超えないことを確認した。

地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+σ相当	地盤物性のばらつきを考慮(+σ)
	標準地盤-σ相当	地盤物性のばらつきを考慮(-σ)

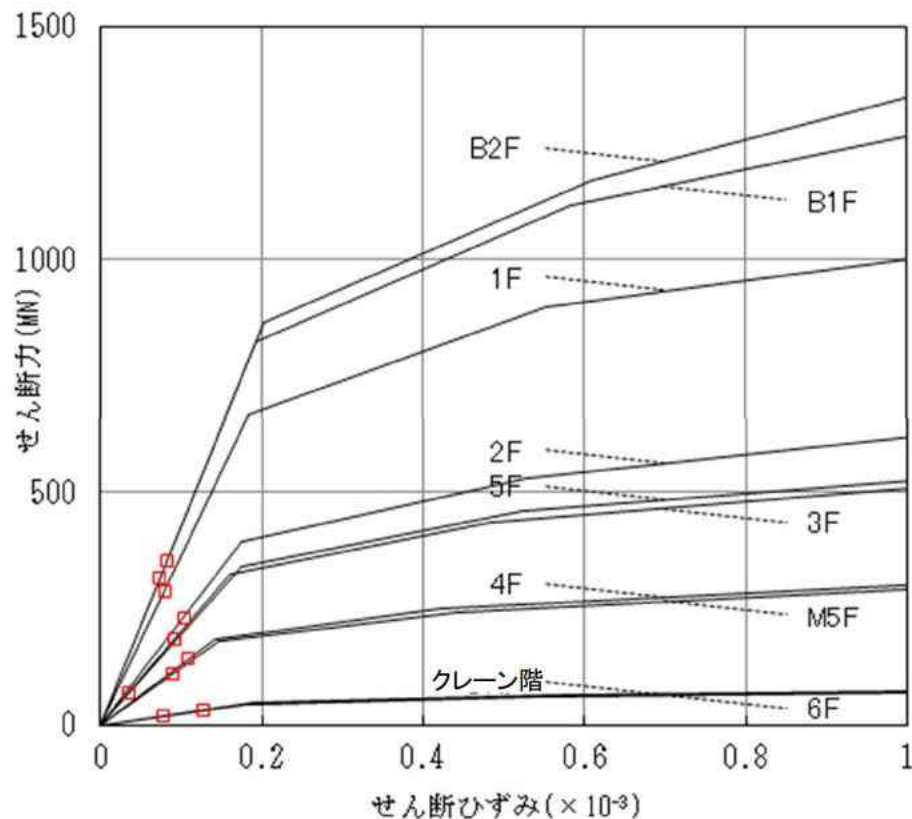


地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)

参考文献 (1)田治見宏：耐震理論に関する基礎的研究，東京大学生産技術研究所報告，第8巻，第4号，1959年  
 (2)Novak, M.et.al.：Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1977

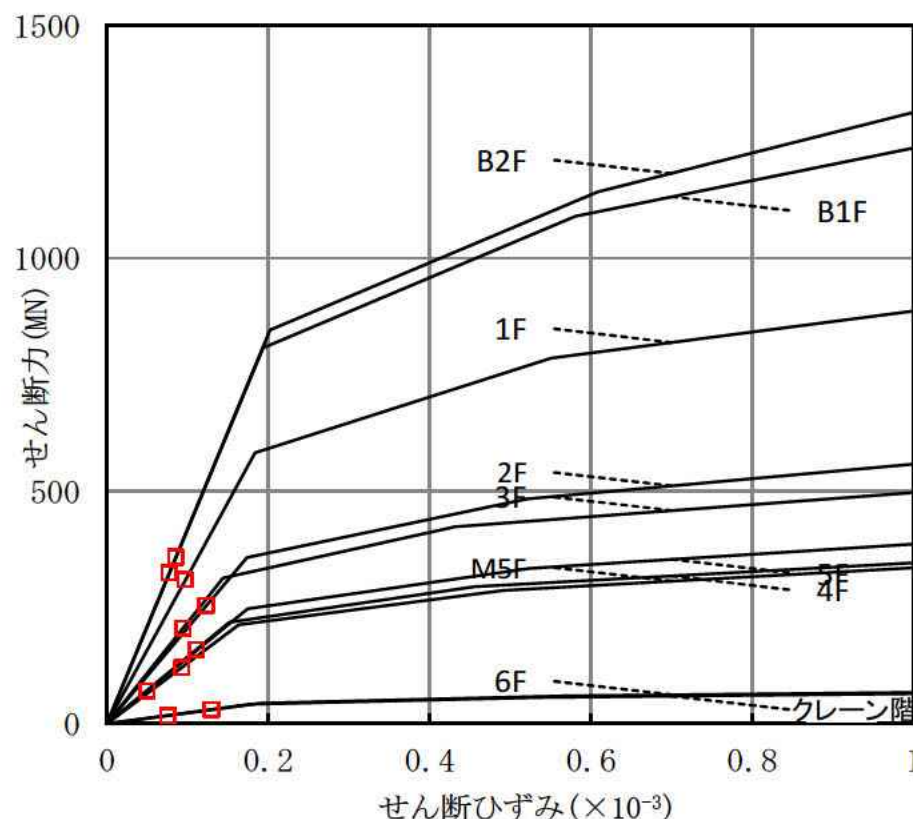
○前頁に示す原子炉建屋の地震応答解析モデルに2011年東北地方太平洋沖地震のはざとり波を入力し、影響検討を行った。

【せん断スケルトン上の最大応答値: Q-γ】



NS方向

図中凡例  
□: 最大応答値(シミュレーションモデル)



EW方向

- せん断スケルトン上での最大応答値は第一折れ点より小さく、全ての階層で弾性範囲内であった。
- これは、地震に起因する特徴的なひび割れは確認されなかったとの現地調査結果とも整合している。
- 以上の結果を踏まえて、原子炉建屋の健全性が保たれていると判断した。



敷地内の液状化検討対象土層の抽出方針

- ① 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編, 平成24年3月, 社団法人 日本道路協会)の液状化検討対象土層を基本とする。
  - ・ 地下水位が地表面から-10m以内であり, かつ地表面から-20m以内の飽和土層
  - ・ 細粒分含有率Fcが35%以下, 又はFcが35%を超えても塑性指数Ipが15以下の土層
  - ・ 土粒子の平均粒径D<sub>50</sub>が10mm以下で, かつ10%粒径D<sub>10</sub>が1mm以下である土層
- ② 道路橋示方書では液状化検討対象外としているが、保守的に地表面-20m以深及び更新統土層も液状化検討対象土層とする。

液状化検討対象層の抽出結果

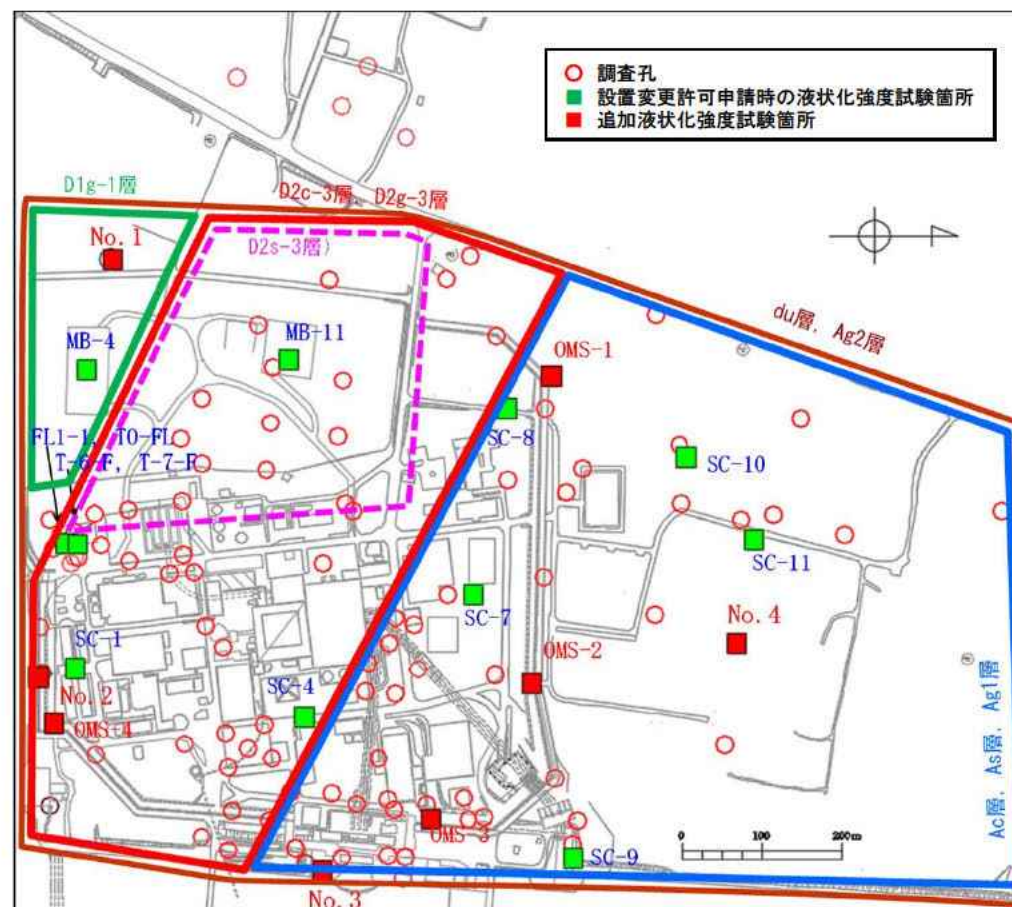
地質記号	層相	道路橋示方書における液状化検討対象層	当社の液状化検討対象層	備考	
al	du	砂	○		
	Ag2	砂礫	○		
	Ac	粘土	—		
	As	砂	○		
	Ag1	砂礫	—	□	・ GL-20m以深に分布するが、保守的に検討対象とする。
D2	D2c-3	シルト	—		
	D2s-3	砂	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
	D2g-3	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
D1	lm	ローム	—		
	D1c-1	シルト	—		
	D1g-1	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。

**地質記号**  
 al: 沖積層、最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。  
 D2: 段丘堆積物、敷地南部に分布する。  
 D1: 段丘堆積物、敷地南西部に分布する。

○: 検討対象  
 □: 道路橋示方書では検討対象外であるが検討対象とするもの  
 —: 検討対象外  
 □: 東海第二発電所敷地での液状化検討対象土層とするもの

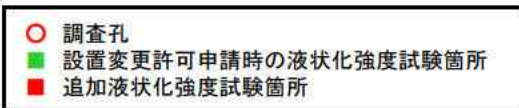
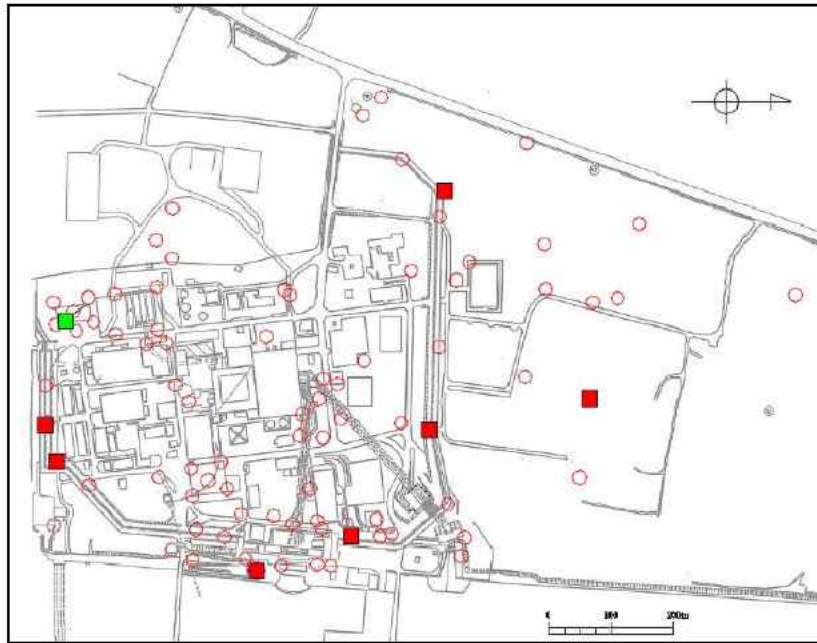
↑  
敷地に分布する地層名

液状化強度試験のための試料採取は、その地層の標準貫入試験のN値、細粒分含有量 $F_c$ 及び道路橋示方書式から算定される液状化強度比 $R_L$ のデータを吟味して、保守的な液状化強度データが得られると想定される個所で行った。次頁に液状化強度試験試料採取位置の代表性確認方法を示す。

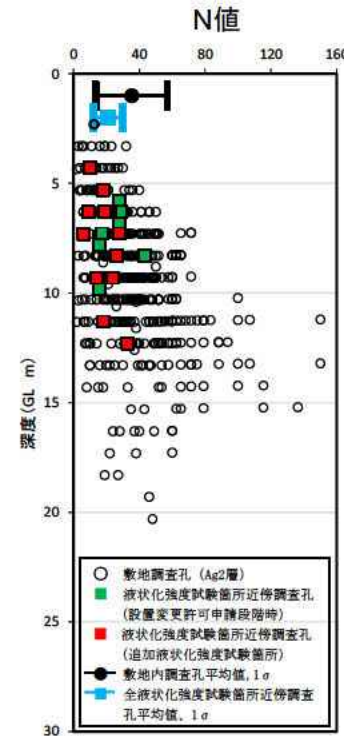


液状化検討対象層の分布範囲及び敷地内調査孔、液状化強度試験試料採取箇所

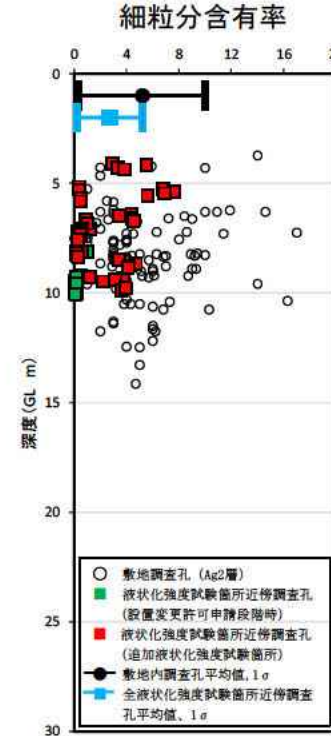




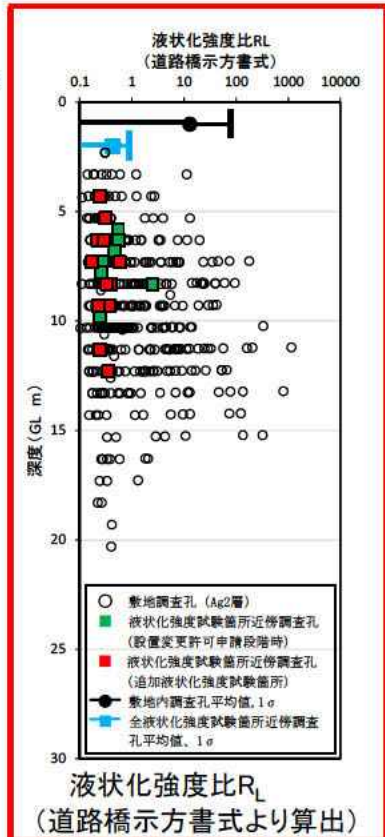
調査孔と液状化強度試験箇所(Ag2層)



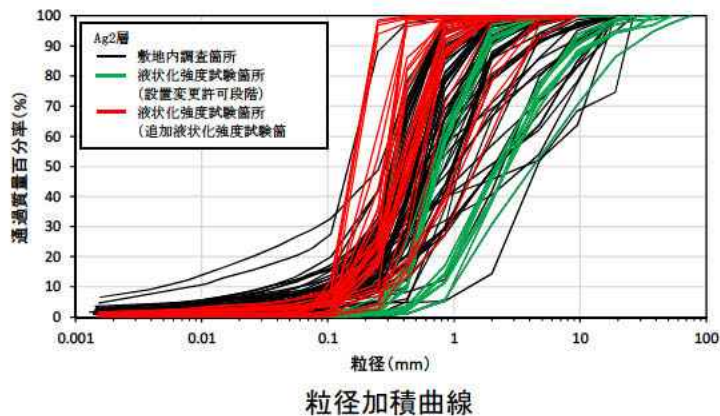
N値



細粒分含有率



液状化強度比 $R_L$   
(道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

- N値は地層の強度を示すものであり、N値が小さいほど締まっていない地盤(液状化し易い地盤)と解釈する。
- 細粒分含有率は地層の粘土・シルト分の含有率を示すものであり、この値が小さいほど液状化し易い地層と解釈する。
- 道路橋示方書の液状化強度比(液状化に対する抵抗力)算定式は、上記のN値や細粒分含有率を使って算定するものである

- 液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は、敷地内調査孔の平均N値より小さい。
- 液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率 $F_c$ は、敷地内調査孔の平均 $F_c$ 値より小さい。
- 液状化強度試験箇所の粒度分布は、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

✓液状化強度比 $R_L$ の比較により、  
液状化強度試験箇所近傍孔平均 $R_L <$  敷地内調査孔平均 $R_L$ を確認した。



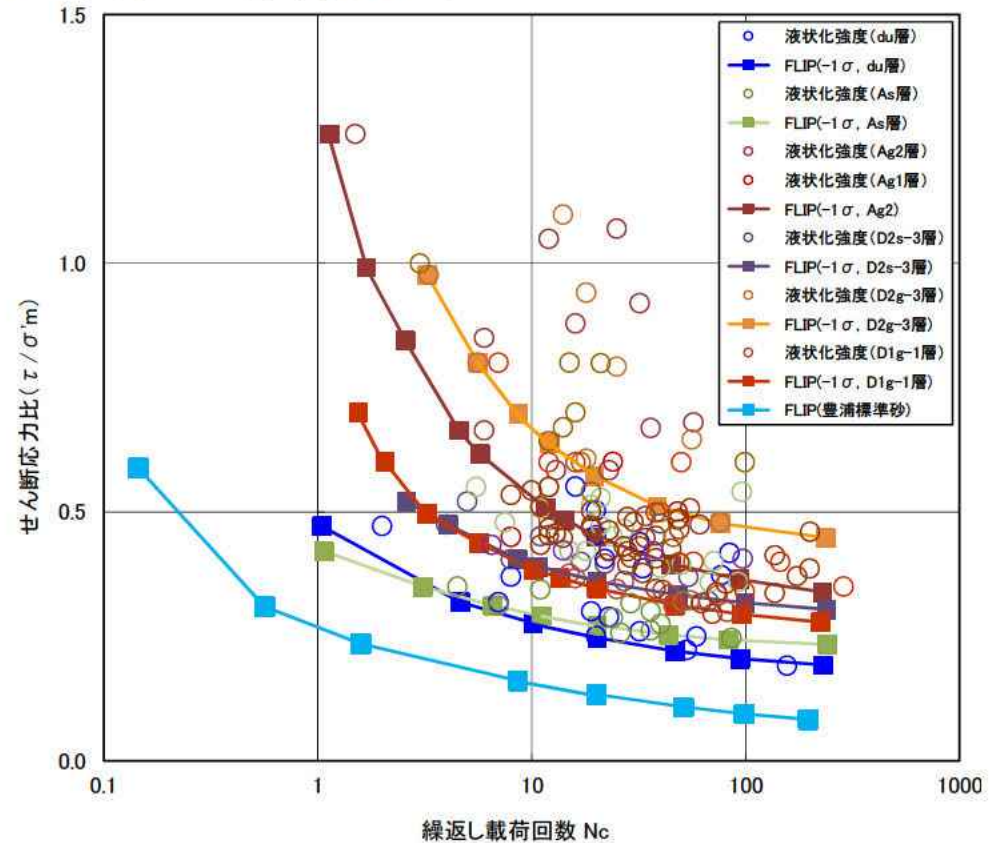
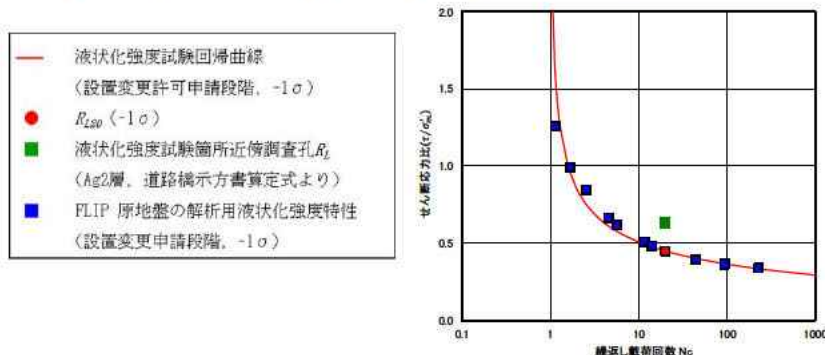
1-2. 液状化強度試験 結果(1/2)

- 原地盤から乱れが少ないサンプリング方法で採取した試料を用いて液状化強度試験を実施。
- 各土層の液状化強度試験結果からデータのばらつきを考慮して、平均液状化強度特性を1 $\sigma$  ( $\sigma$ :標準偏差)低減し、原地盤の液状化強度特性を設定した。
- 液状化強度試験の結果、各地層の液状化強度特性は、敷地には存在しない最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を全て上回ることを確認した。



液状化強度試験状況  
(中空繰返しねじりせん断試験)

液状化強度試験箇所近傍調査孔の道路橋示方書算定式より算定した液状化強度比RLの平均値は、解析用液状化強度特性と比較して上位であり、評価が保守的であることを確認している。



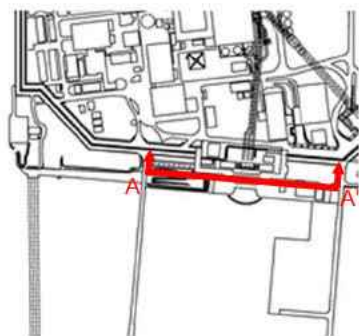
原地盤の液状化検討対象土層及び豊浦標準砂の液状化強度特性

注) FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program)  
液状化による地盤や構造物の挙動を評価するプログラム



## 東海第二発電所の原地盤の状態と保守的な解析条件について

- ① 液状化強度試験データに基づき、各地層の平均液状化強度特性を $1\sigma$ 低減( $\sigma$ :標準偏差)し、液状化強度特性を設定した。
- ② 上記の設定した液状化強度特性により液状化の影響を考慮した解析(有効応力解析)を実施することで、重要施設の周辺地盤に対し基準地震動 $S_s$ を入力した場合の地震時応答(液状化の状況)を確認した。



取水構造物解析断面位置図

base: TK2-SCR\_2D-DYNA\_Ss-D1L++  
過剰間隙水圧比  
絶対値最大

### 有効応力解析結果の一例: 取水構造物

取水構造物周辺地盤の過剰間隙水圧比分布( $S_s-D1$ )

- 取水構造物の有効応力解析の結果、地盤の過剰間隙水圧比は95%<sup>注)</sup>を下回ることを確認した。
- その他の土木構造物についても同様、地盤の過剰間隙水圧比が95%<sup>注)</sup>を下回ることから、液状化の発生は認められないことを確認した。

注)【過剰間隙水圧比を指標とした液状化の評価】

規格・基準における記載事例等に基づき、過剰間隙水圧比が95%以上に達した状態を液状化と判定する。

10. 液状化に関する考慮

2. 耐震評価(1/2)

主要構造物における液状化影響を踏まえた耐震性評価の最大照査値は、1を下回り、安全であることを確認した。  
 なお、評価においては、許容値に安全裕度(安全率  $\alpha(> 1)$ )を見込んだ設計を行っている。さらに安全側の評価となるよう、敷地には存在しない液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた設計も行っている。

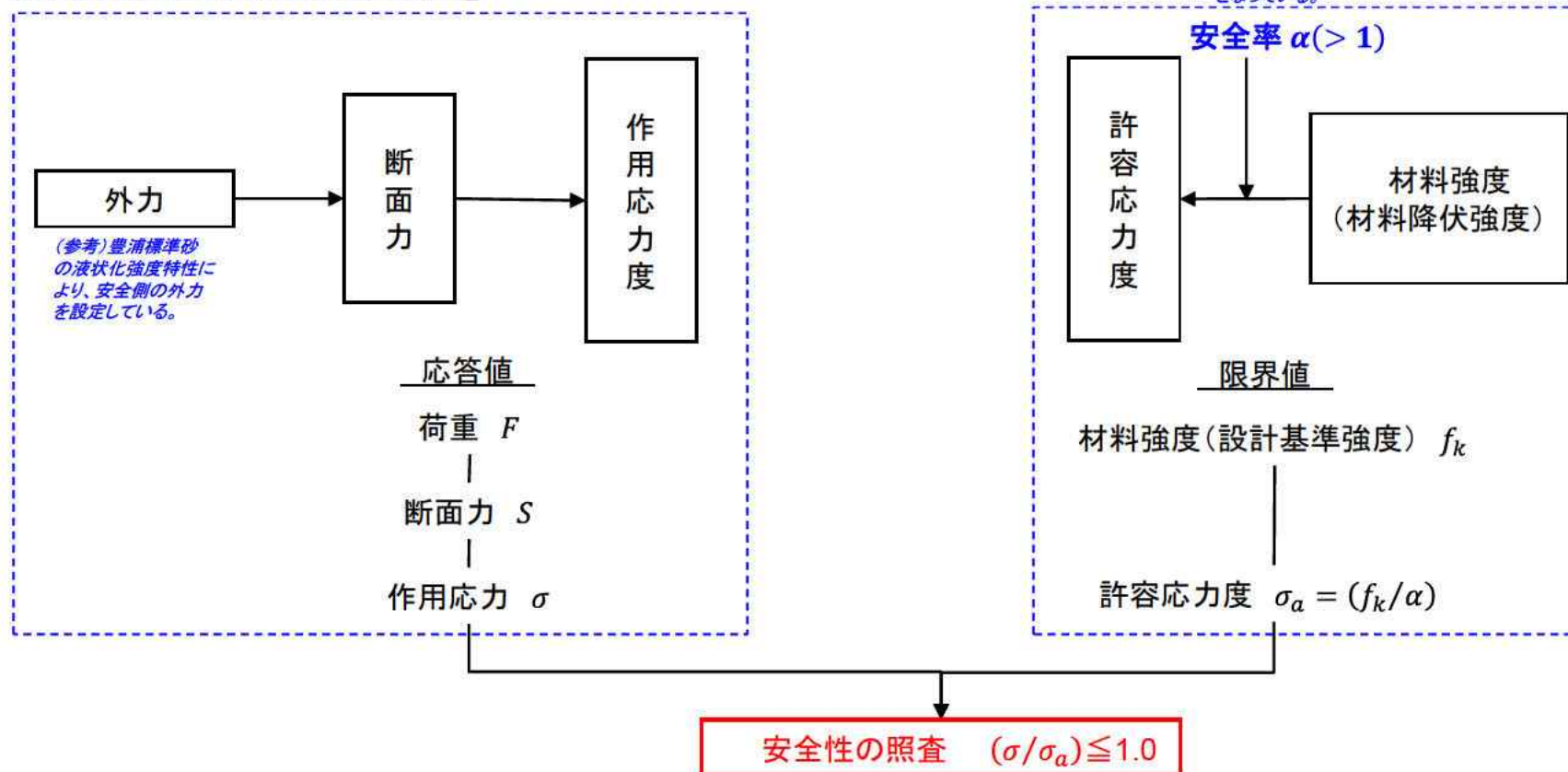
設備分類	設備名称 【間接支持している設備名称】	支持層	周辺地盤の地層のうち、液状化検討対象層	液状化の影響検討		液状化影響検討に対応した補強対策工	耐震評価結果	
				要	不要		最大照査値	評価
対設計 処 施 基 礎 設 準	使用済燃料乾式貯蔵建屋	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.996	OK
	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2s-3層, D2g-3層, D1g-1層	●	—	地盤改良	0.67	OK
	防潮堤(鋼製防護壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.97	OK
	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.82	OK
	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.76	OK
設計基準 対 処 施 設 及 び 重 大 事 故 等 対 処 施 設	原子炉建屋	久米層	無し*1	—	●	—	0.300	OK
	取水構造物	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良, 後施工せん断補強筋 (PHb)	0.695	OK
	主排気筒 【非常用ガス処理系排気筒】	久米層	無し(第四系全てを地盤改良)	●	—	地盤改良	0.915	OK
	非常用ガス処理系配管支持架構 【非常用ガス処理系配管】	久米層	無し(第四系全てを地盤改良)	●	—	地盤改良	0.497	OK
	屋外二重管 【残留熱除去系海水系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良	0.72	OK
	貯留堰	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良	0.77	OK
	常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備 【常設代替高压電源装置, 軽油貯蔵タンク等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.73	OK
	常設代替高压電源装置用カルバート(トンネル部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.65	OK
	常設代替高压電源装置用カルバート(立坑部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	地盤改良	0.70	OK
	常設代替高压電源装置用カルバート(カルバート部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.69	OK
重 大 事 故 等 対 処 施 設	緊急時対策所建屋	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.629	OK
	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.70	OK
	緊急用海水ポンプビット	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層	●	—	—	0.93	OK
	緊急用海水取水管	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.14	OK
	S A用海水ビット	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.98	OK
	海水引込み管	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.15	OK
	S A用海水ビット取水塔	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.81	OK
	格納容器圧力逃がし装置格納槽 【格納容器圧力逃がし装置等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.557	OK
	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 【格納容器圧力逃がし装置用配管】	久米層	du層, D2g-3層	●	—	—	0.84	OK
	代替淡水貯槽	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.83	OK
	常設低圧代替注水系ポンプ室 【常設低圧代替注水系ポンプ】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.74	OK
	常設低圧代替注水系配管カルバート 【常設低圧代替注水系配管】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.76	OK
	可搬型設備用軽油タンク基礎(西側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	南側で代表	OK
可搬型設備用軽油タンク基礎(南側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D1g-1層	●	—	地盤改良	0.76	OK	

※1: 排水設備により、地下水位を久米層分布深度以深としていることから、地下水位以深に液状化検討対象層はない。



設計は許容応力度設計法を適用している。

【許容応力度設計及び照査法】



- ・許容応力度設計法は、構造物の破壊に対する安全性の保証として、線形弾性理論に基づいている。
- ・照査値  $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$  は、材料(部材)の挙動が可逆性を有すること、さらに、材料(部材)の耐力を低下させる変位に至らないことである。



主要構造物の原地盤の液状化による耐震性評価(照査)結果は、 $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$  を満たしており、なお敷地には存在しない、かつ最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を適用していることから十分な裕度を有すると判断できる。

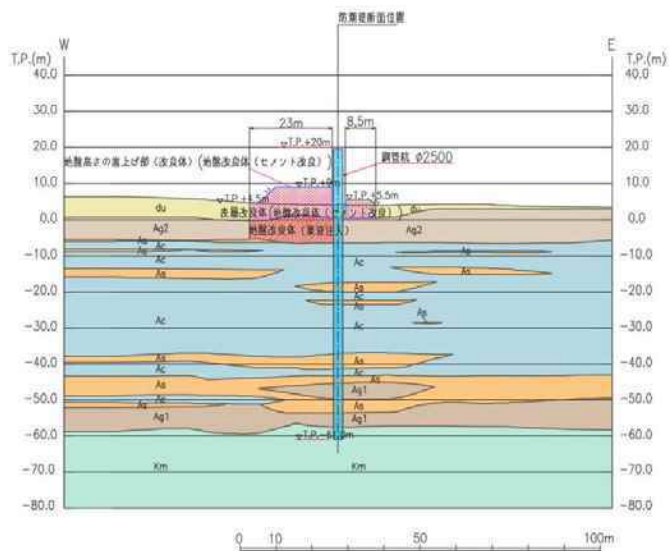
2. 耐震評価(参考)

○ 津波防護施設の耐震性評価結果の一例として、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の照査結果を示す。

- 条件： ①地下水位を地表面に設定した。  
 ②原地盤の液状化強度試験データに基づき適切に設定(平均値より1σ(σ:標準偏差)低減)した液状化強度特性に加え、液状化の発生は認められないことを確認しているが、保守的に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施した。

確認内容： 液状化の影響を考慮した解析を実施し、地震時における構造部材の健全性を確認する。

解析結果： 鋼管杭のせん断, 曲げの照査値(発生応力度/短期許容応力度)は1.0を下回り、防潮壁が構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認した。



地震応答解析対象断面図

鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

鋼管杭仕様			発生断面力		発生応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	せん断力 (kN)					
2500	35	0.263	9265		71	217.5	0.33	④S <sub>s</sub> -D1

鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値

鋼管杭仕様				発生断面力		発生応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa1}$	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	断面係数 (m <sup>3</sup> )	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
2500	35	0.263	0.15995	34955	9015	253	382.5	0.67	②S <sub>s</sub> -D1

※ 照査値=発生応力/短期許容応力度  
 (1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)



## 3. 取水構造物 地震後の状況(1/2)

## 【取水構造物 地震後の状況】

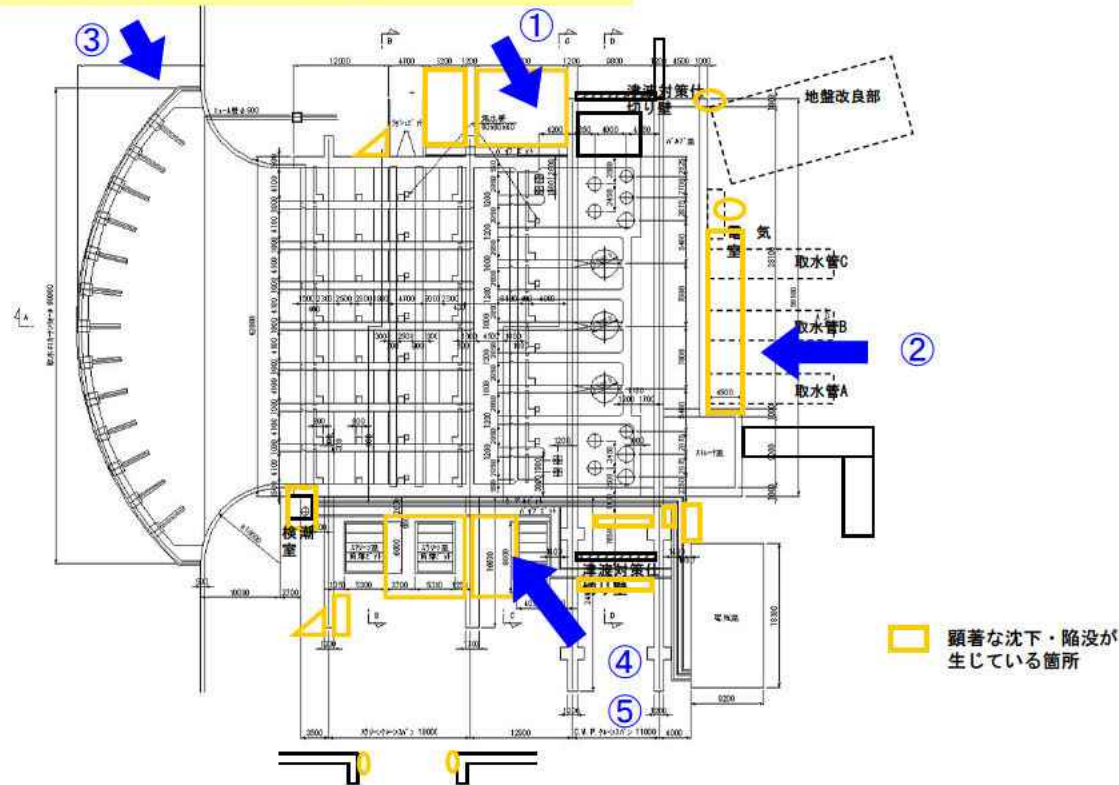
沈下は取水構造物近傍の埋戻し個所で局所的に発生しており、敷地内においては液状化時の痕跡とされる噴砂や地中埋設物の浮き上がりは認められなかった。

したがって、東北地方太平洋沖地震において、東海第二発電所の敷地内で液状化が発生した可能性は小さいと考えられる。

(参考)

	平成23年3月の評価	平成29年1月の評価
揺すり込み沈下	緩い埋戻土の揺すり込み沈下	同左
液状化	<u>液状化による噴砂跡は確認されないものの、津波が達していたことから、津波により液状化による噴砂跡の消失の可能性を考慮。</u> ⇒土木学会にて噴砂跡の消失の可能性も考え、液状化(地盤沈下)を報告(平成24年2月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波が到達した範囲において、地盤沈下(次項写真①, ②, ④)、構造物の変形等(写真③, ⑤)が確認された。</li> <li>津波の到達がない取水構造物西側の沈下箇所において、噴砂跡、地中埋設物の浮き上がりは認められない。(次項写真②)</li> <li>取水構造物の北側、南側も上記と同様の施工で埋め戻されている。</li> <li>基準地震動Ssによる解析評価結果においても、取水構造物周りの地盤に液状化は確認されなかった(7p)</li> <li><u>以上より、液状化の可能性は小さいと考えられる。</u></li> </ul>
洗掘・吸出し	津波(引き波)による埋戻土の洗掘・吸出し	同左

構築物の外観点検の結果



写真①: 地盤の沈下状況(取水口エリア)



写真②: 地盤の沈下状況(循環水配管埋設エリア)



写真③: 躯体の変形



写真④: 地盤の沈下状況(取水口エリア)



写真⑤: 地盤沈下に伴う段差の発生(取水口エリア)

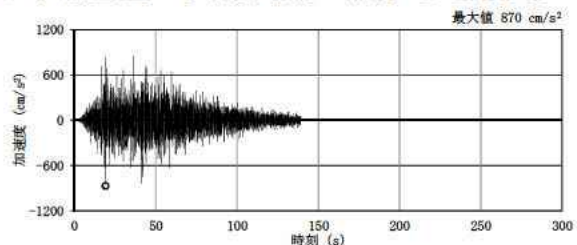


# 耐震設計上の考慮について 建屋

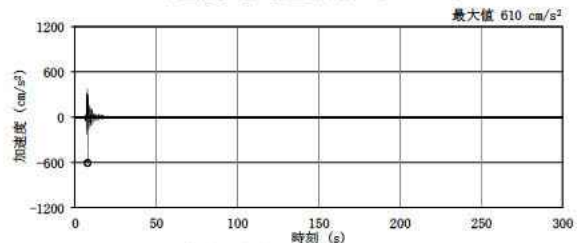


## 地震動の波形や継続時間に関する建屋の地震応答解析結果の比較

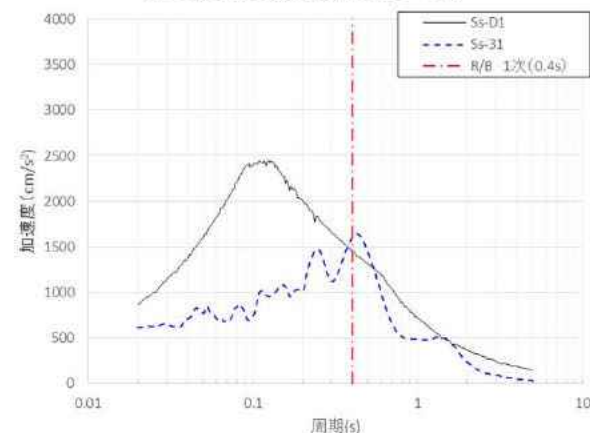
- ・建屋の耐震評価では、複数の手法に基づいて策定された基準地震動 $S_s$ を用いて地震応答解析を実施することにより、地震動の継続時間の違いによる影響を考慮している。
- ・原子炉建屋の地震応答解析結果を以下に示す。最大応答値は、建屋全体の応答を把握できるように最下層、中間層及び最上層の3箇所を抽出した。
- ・建屋の耐震評価に用いた基準地震動 $S_s$ のうち、継続時間の長い $S_s$ -D1と継続時間の短い $S_s$ -31による応答を比較した結果、 $S_s$ -31による応答値が大きくなっており、地震動の継続時間による影響よりも建屋の固有周期に関する地震動の周期特性による影響が大きくなっている。



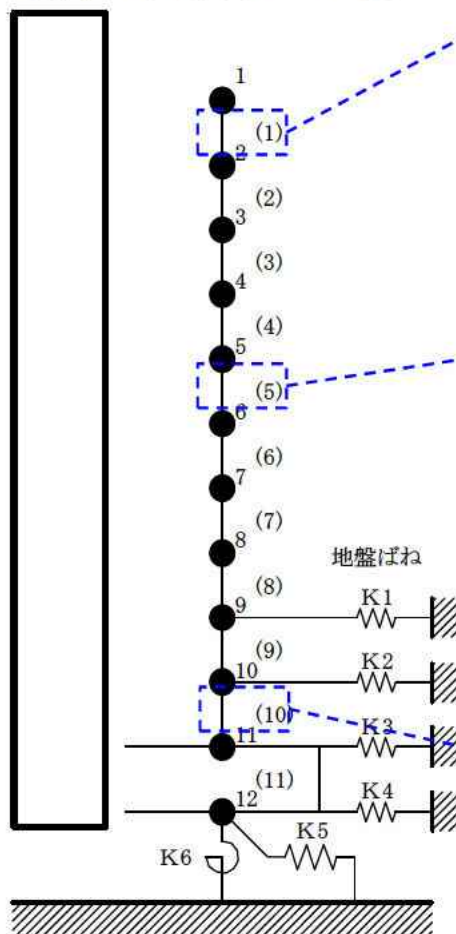
加速度時刻歴波形 ( $S_s$ -D1)



加速度時刻歴波形 ( $S_s$ -31)

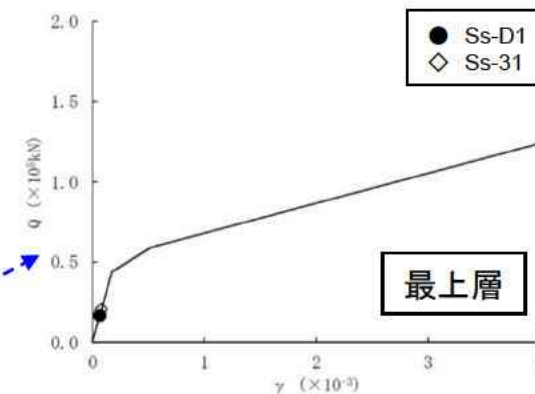


加速度応答スペクトル

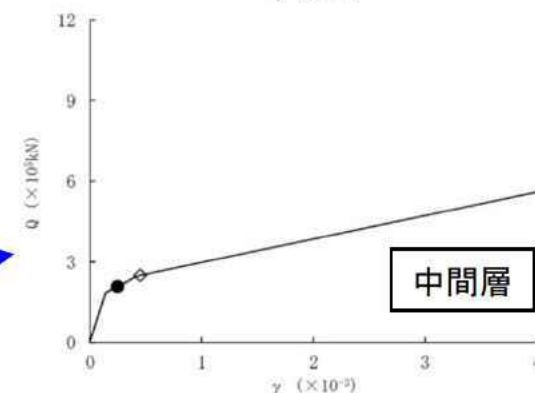


地震応答解析モデル

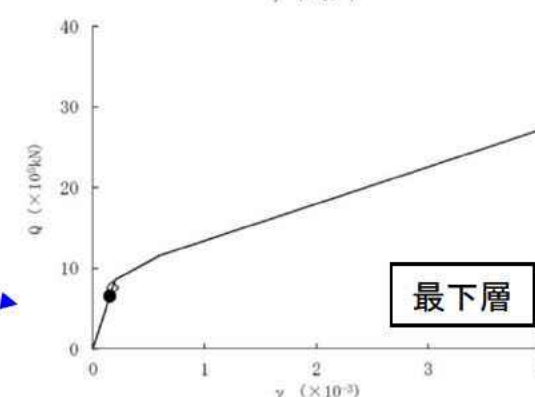
地震対策-510



最上層



中間層



最下層

せん断スケルトンカーブ※上の最大応答値

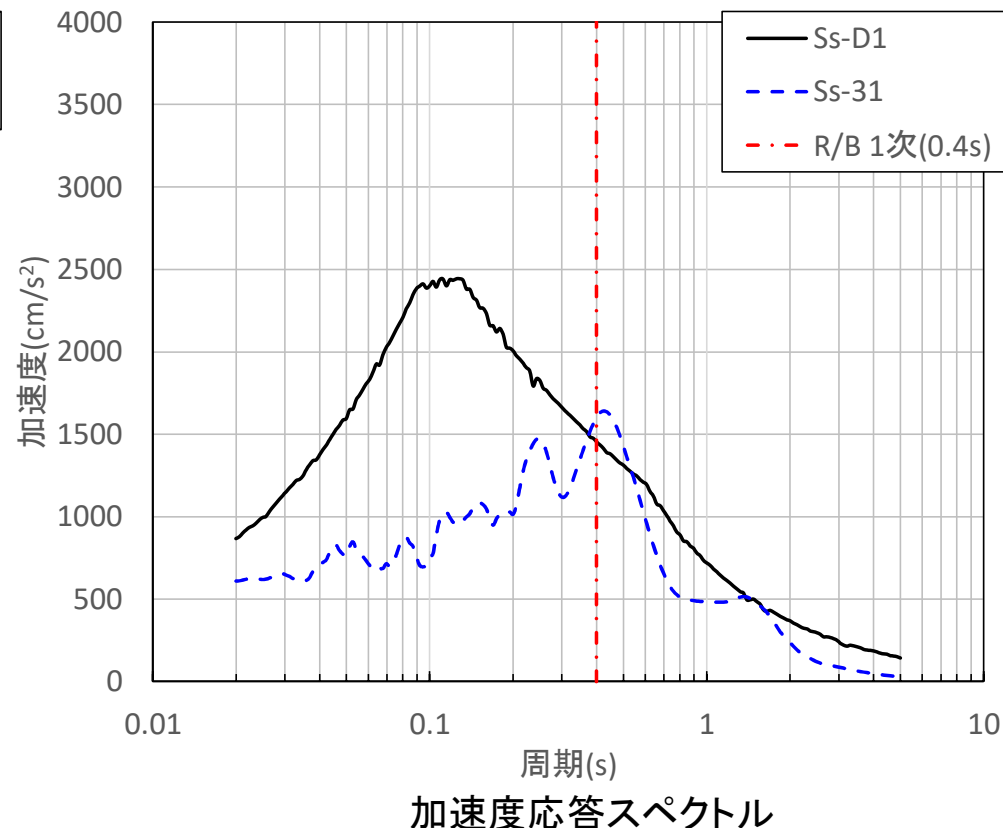
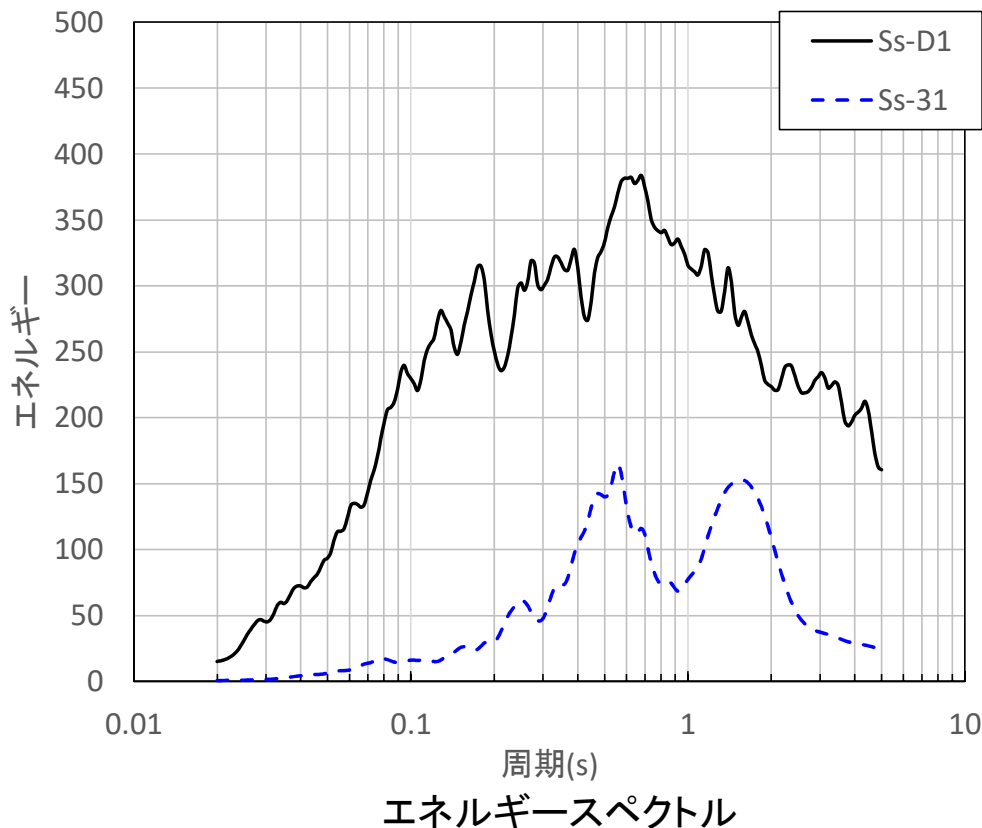
※ 鉄筋コンクリート構造の剛性低下の性状を表現

## 参考 エネルギースペクトルの確認結果について

### 基準地震動Ss-D1とSs-31のエネルギースペクトルの比較

#### ○評価内容

- ・巨大地震などの地震動による長周期構造物等への影響を確認する上では、地震動の総エネルギーと周期との関係を表すエネルギースペクトルが用いられることがあるため、その結果についても確認する。



#### ○評価結果

- ・エネルギースペクトルを確認した結果、短周期構造物であり顕著な塑性化が見られていない原子炉建屋では、エネルギーの累積量があまり大きくないと考えられることから、その応答性状を把握する上では、応答スペクトルによる最大応答の周期特性が有効な指標であることを確認した。



## 耐震設計上の考慮について 機器

- ・ 機器の耐震評価では、疲労の観点から基準地震動 $S_s$ によって地震継続中に繰り返し受ける荷重に対して健全性を確認している。

### 疲労評価の対象設備

- ①原子炉冷却材圧力バウンダリに属する機器・配管系(原子炉圧力容器等)
- ②原子炉格納容器
- ③クラス2, 3機器及びSAクラス2機器(非常用炉心冷却系設備, 重大事故等対処設備等)  
(但し③の機器については, 地震等による応力振幅が弾性範囲を超えた場合に実施する。)

- ・ 疲労評価の結果, 疲労累積係数は許容値以下であることを確認した。なお, 運転延長認可申請における低サイクル疲労評価と基準地震動 $S_s$ とを組み合わせた疲労評価結果を例示する。
  - 評価対象の配管系は, プラントの通常運転に使用する系統であることから, 東北地方太平洋沖地震以降のプラント停止中において, 低サイクル疲労の観点から温度変化により配管に応力が生じ疲労が蓄積するような運転操作はない。
  - また, 当該配管において非破壊検査を行った結果, 欠陥が生じていないことを確認している。

配管系の疲労評価結果\*1

系統名	①60年時点の 疲労累積係数 (低サイクル疲労評価)	②基準地震動 $S_s$ に よる疲労累計係数	③東北地方太 平沖地震による 疲労累積係数	合計値 (①+②+③)	許容値
原子炉再循環系	0.1182*2	0.1455	—	0.2637	< 1
原子炉系(純水部)	0.5799*2	0.0259	—	0.6058	< 1
原子炉系(蒸気部)	0.0853	0.6558	0.0043	0.7454	< 1

\*1 東海第二発電所安全性検討ワーキングチーム説明資料改訂版(第17回ワーキングチーム机上配布資料 高経年化-243頁)より引用

\*2 環境を考慮

### <低サイクル疲労評価の震災影響評価>

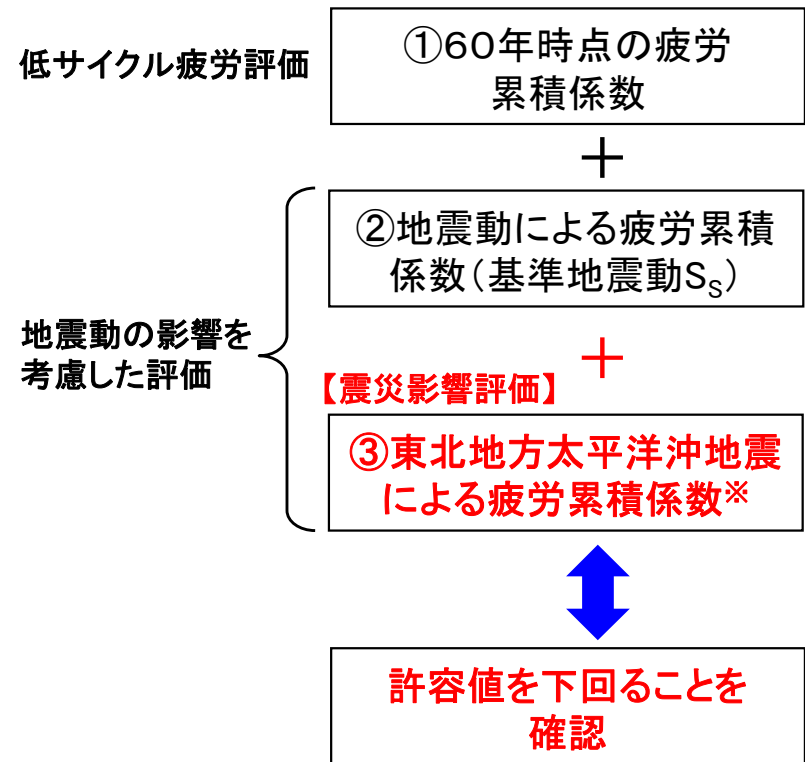
2011年の東北地方太平洋沖地震による影響を考慮し、**低サイクル疲労評価に基準地震動 $S_s$ と東北地方太平洋沖地震を組み合わせた耐震安全性評価**を行い、健全性を確認する。

#### (a) 評価内容

Sクラス機器で**地震動の影響が最も大きい原子炉系配管**を代表として、低サイクル疲労評価と東北地方太平洋沖地震を含めた地震動の影響を考慮した評価の合計値が**許容値を下回ることを確認**する。

#### (b) 評価結果

合計値が**許容値1を下回る**ことから、**耐震安全性上問題ないと評価**した。



※:原子炉建屋に設置された地震計にて計測された観測記録を基に作成された入力地震動を用いて評価

低サイクル疲労評価及び東北地方太平洋沖地震を考慮した耐震安全性評価の概念

機器	低サイクル疲労評価		地震動の影響を考慮した評価			①+②+③ 合計値	許容値
	①60年時点の疲労累積係数		②地震動による疲労累積係数(基準地震動 $S_s$ )		③東北地方太平洋沖地震による疲労累積係数		
原子炉系(蒸気部)配管	0.0853	+	0.6558	+	0.0043	= 0.7454	< 1



# 原子炉建屋に対する入力地震動の算定



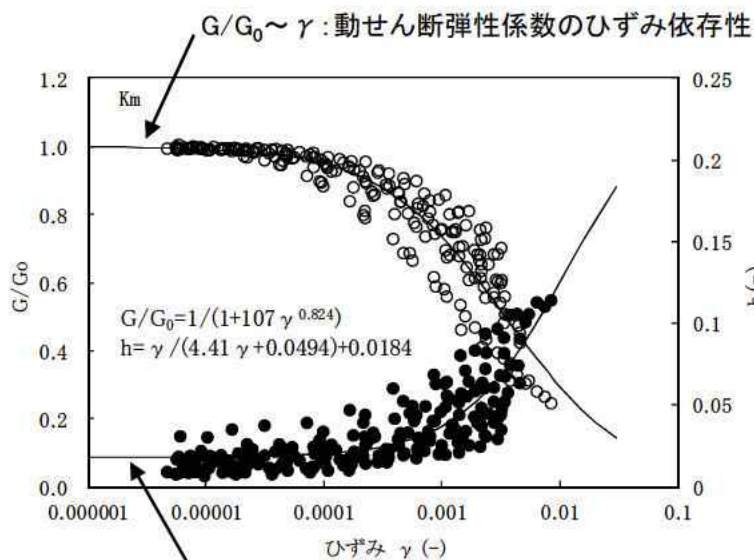
## ○ 入力地震動の算定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を一次元波動論により建屋基礎底面及び側面地盤ばね位置で評価したものをを用いる。

また、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面(EL.-370 m)から地表面までをモデル化する。地下構造モデルの物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定している。

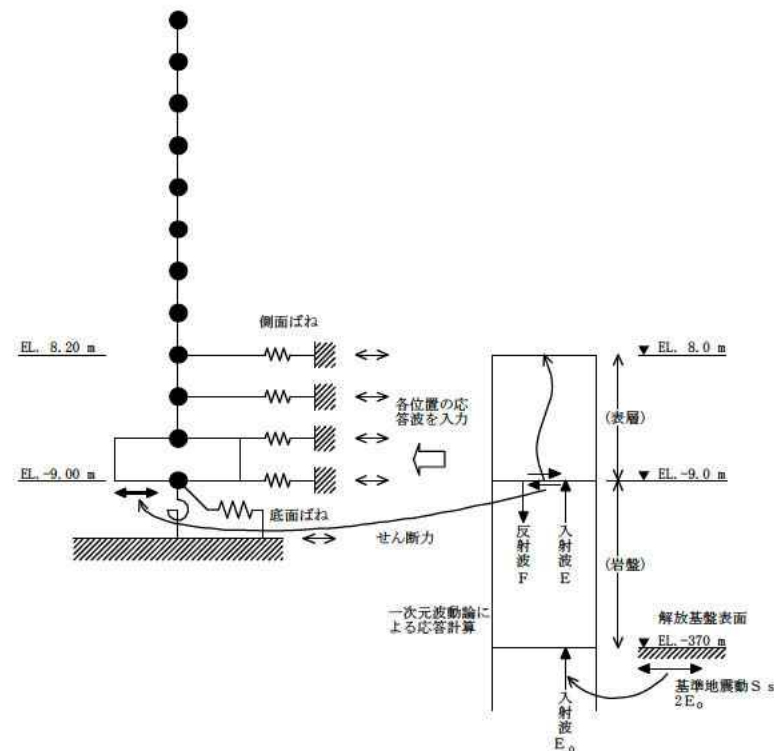
標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 $\rho$ t/m <sup>3</sup>	S波速度 $V_s$ m/s	ポアソン比 $\nu$
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0	Ag2	4.7	2.01	240	0.491
-2.7	Km	D2g-3	11.7	500	0.462
-14.4		5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0	50.0	1.75	660	0.433	
-320.0	50.0	1.76	699	0.427	
-370.0	解放基盤	—	1.76	718	0.425

初期地盤の物性値



(Km層)

動せん断弾性係数  $G/G_0$  及び減衰定数  $h$  のひずみ依存性



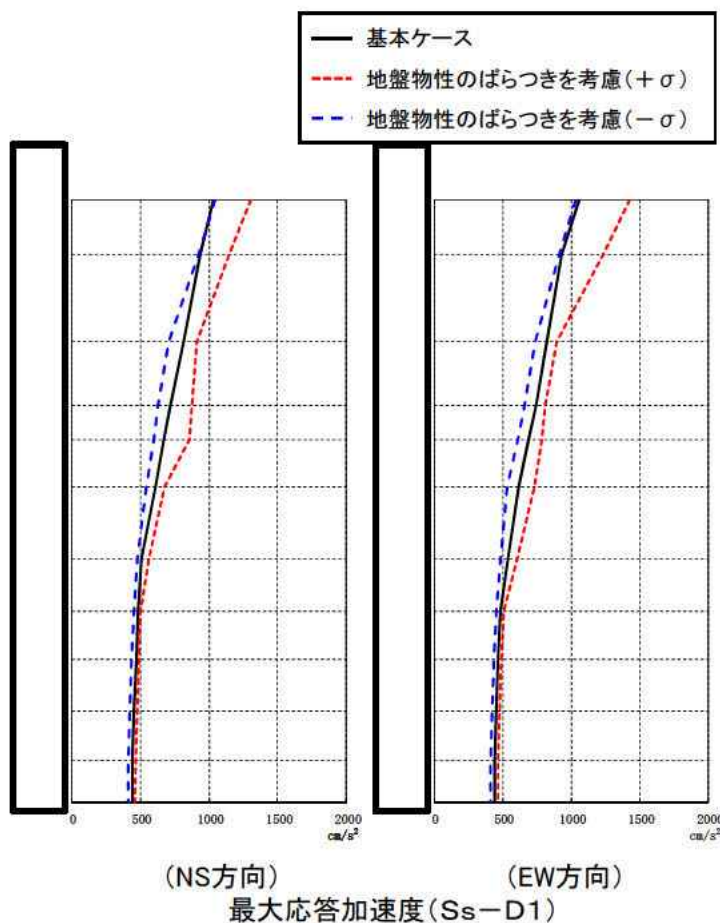
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

# 原子炉建屋の保守性(1/2)

## ○ 地盤物性のばらつき

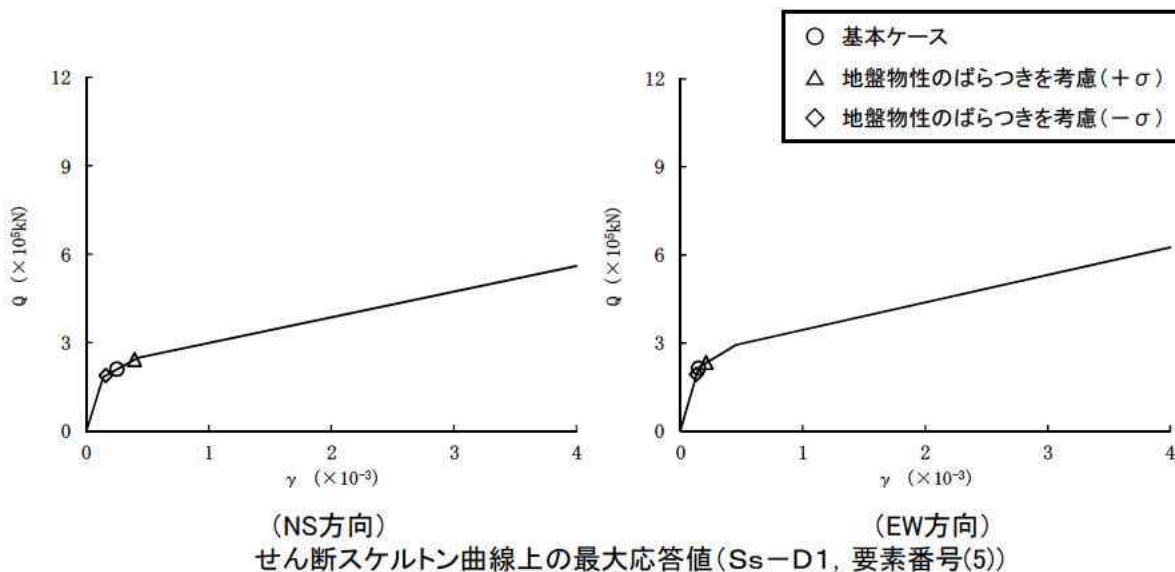
建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性のばらつきが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすと考えられるため、**建物・構築物の耐震評価においては、地盤物性のばらつきを考慮した設計用地震力を設定することで、保守性を持たせている。**なお、地盤物性は、実測した地盤のせん断波速度Vsを用いて算出している。

考慮する地盤物性のばらつきは、地質調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは $\pm\sigma$ 相当とする。以下に地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果を示す。



地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+ $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(+ $\sigma$ )
	標準地盤- $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(- $\sigma$ )

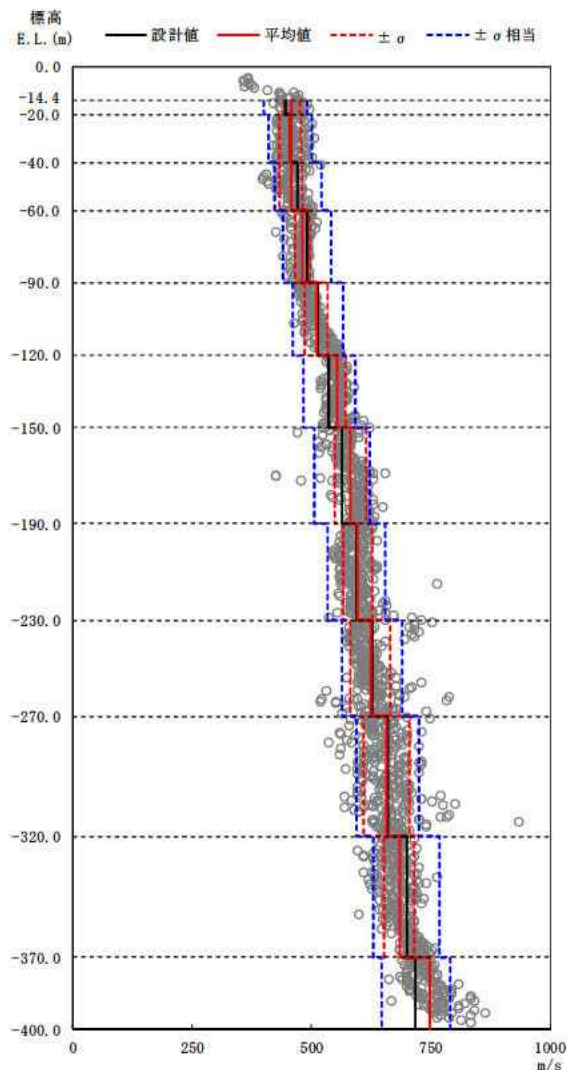




# 原子炉建屋の保守性(2/2)

## ○ 地盤物性のばらつき範囲の設定

地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとする。地盤物性のばらつきは、実測値に基づく地盤のせん断波速度Vsの変動係数を変動の比率(±σ相当)として層区分毎に設定する。



支持地盤物性のばらつき

地盤物性のばらつき

高さ EL.(m)	地層区分	地盤のせん断波速度(m/s)		
		基本ケース	+σ相当	-σ相当
8.0 ~ 3.0	du	210	221	199
3.0 ~ -2.7	Ag2	240	264	216
-2.7 ~ -14.4	D2g-3	500	575	425
-14.4 ~ -20.0	Km	446	491	401
-20.0 ~ -40.0		456	502	410
-40.0 ~ -60.0		472	520	424
-60.0 ~ -90.0		491	541	441
-90.0 ~ -120.0		514	566	462
-120.0 ~ -150.0		537	591	483
-150.0 ~ -190.0		564	621	507
-190.0 ~ -230.0		595	655	535
-230.0 ~ -270.0		626	689	563
-270.0 ~ -320.0		660	726	594
-320.0 ~ -370.0	699	769	629	

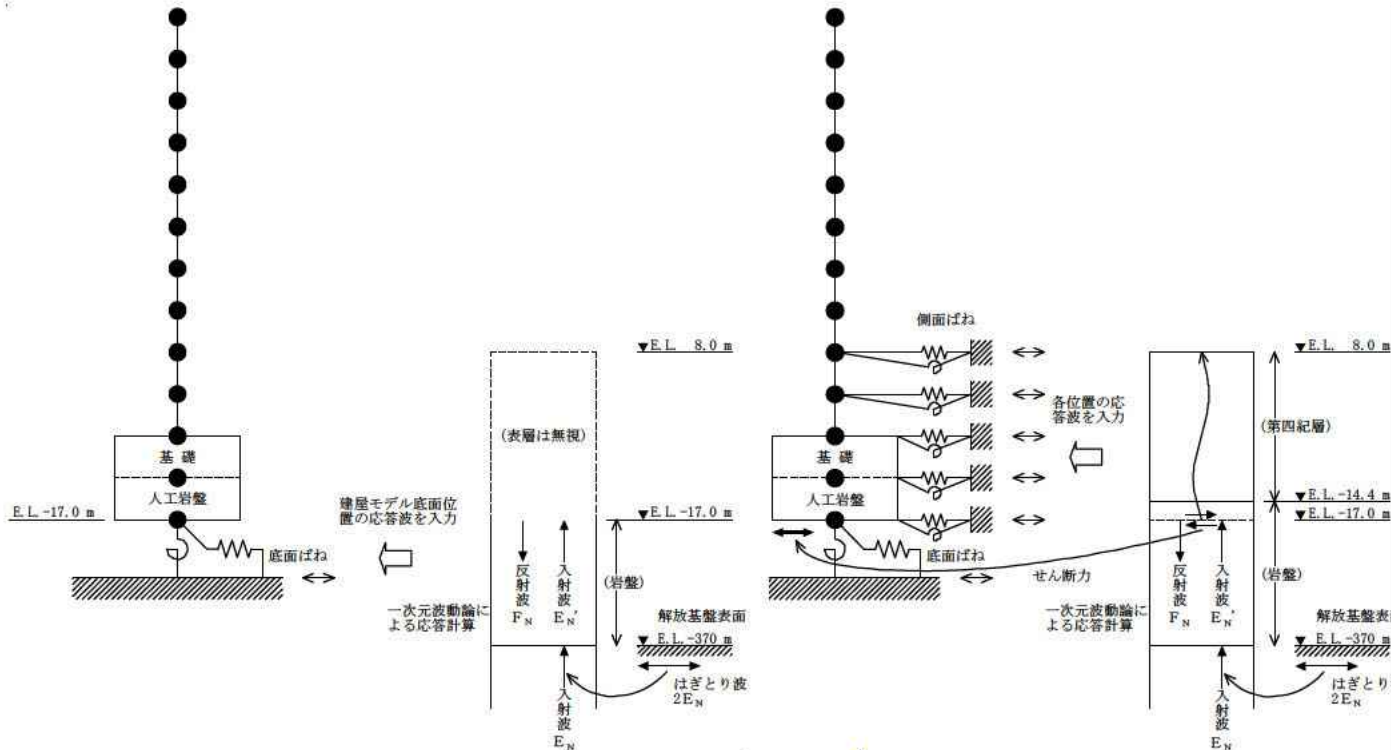
# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(1/3)



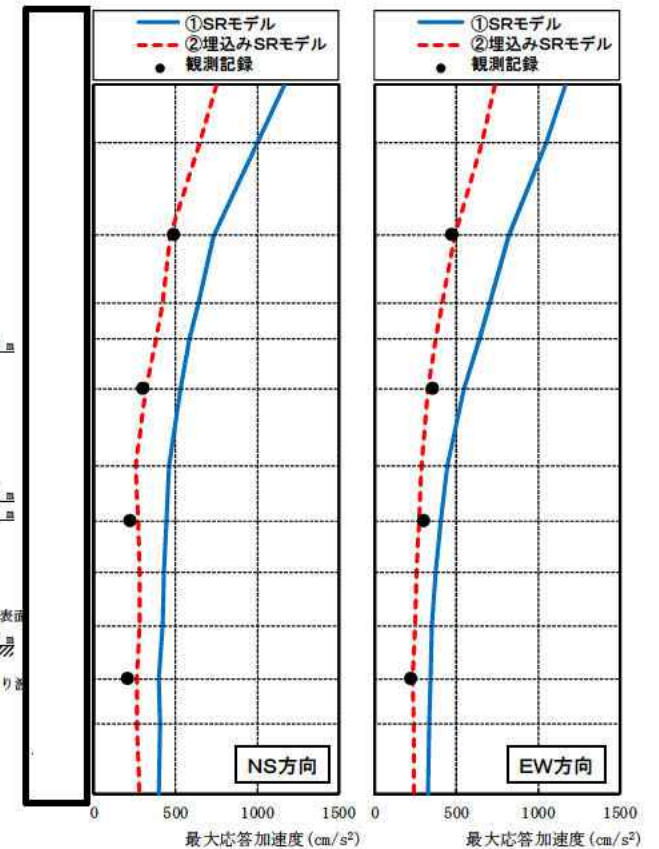
・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



## 最大応答加速度分布



①SRモデル  
(既工認では、人工岩盤下端に設計波を直接入力)



②埋込みSRモデル

側面回転ばねを含む埋込み効果を考慮

①と②を比較した結果、側面地盤の埋込み効果を考慮した埋込みSRモデルとした場合、より実情に近い建屋の振動性状を評価できることを確認した。



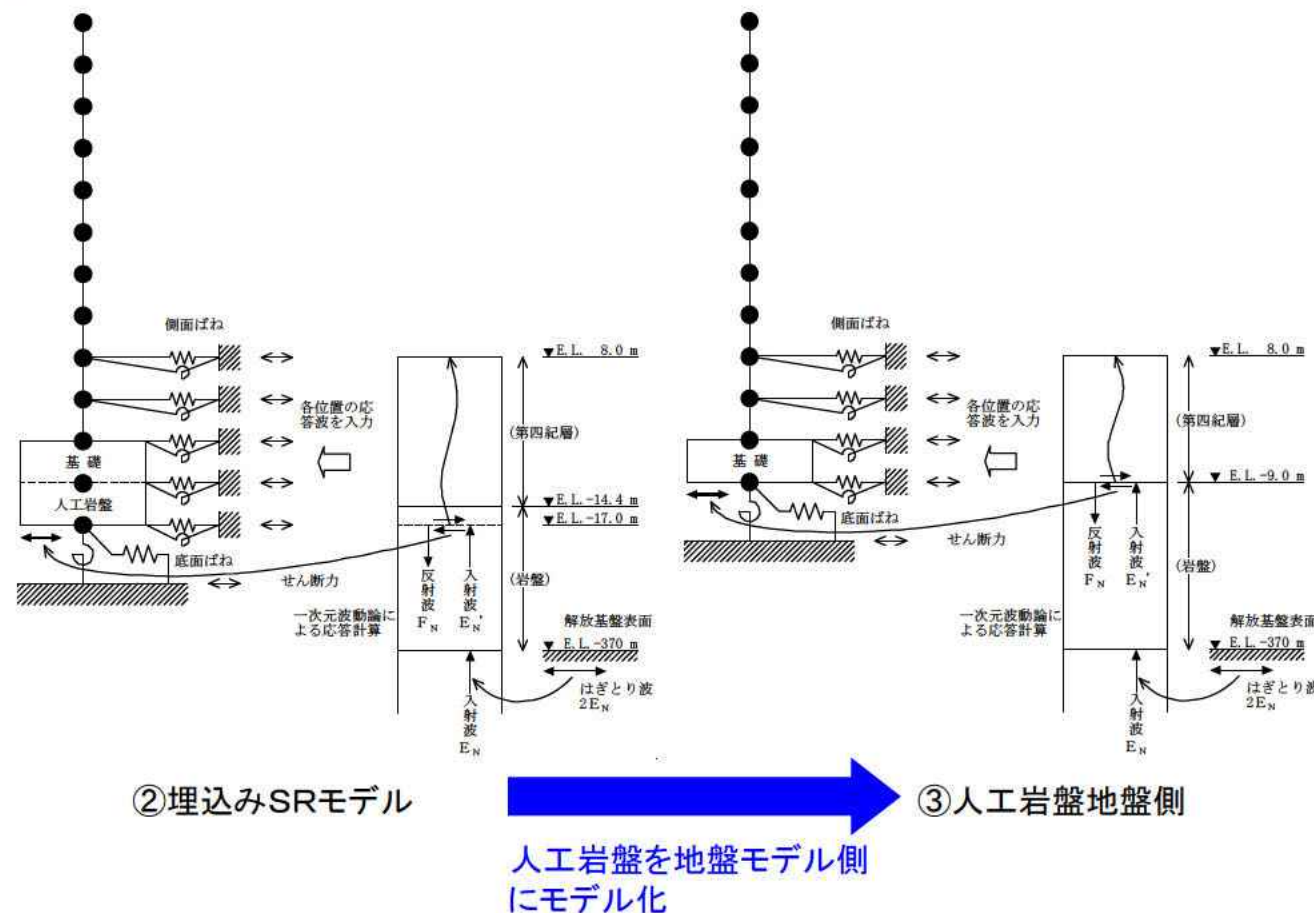
# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)



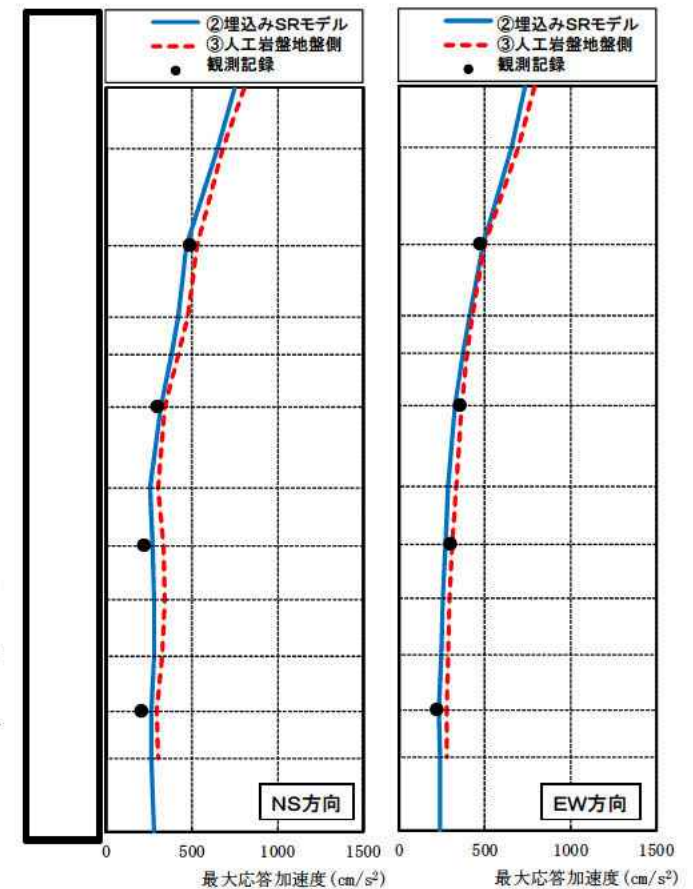
・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて, 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い, 今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して, 側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して, 人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して, 側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



## 最大応答加速度分布

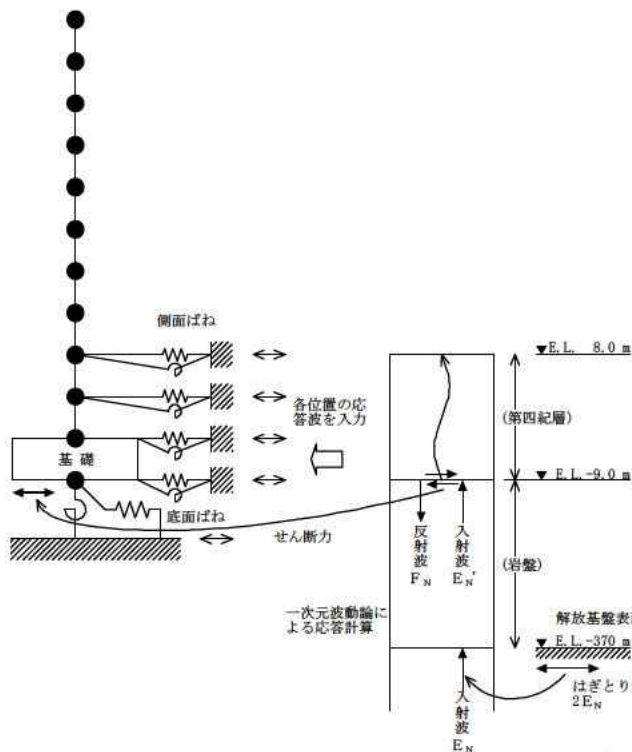


②と③を比較した結果, 人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化するのが, 応答を保守側に評価することを確認した。

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて, 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い, 今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

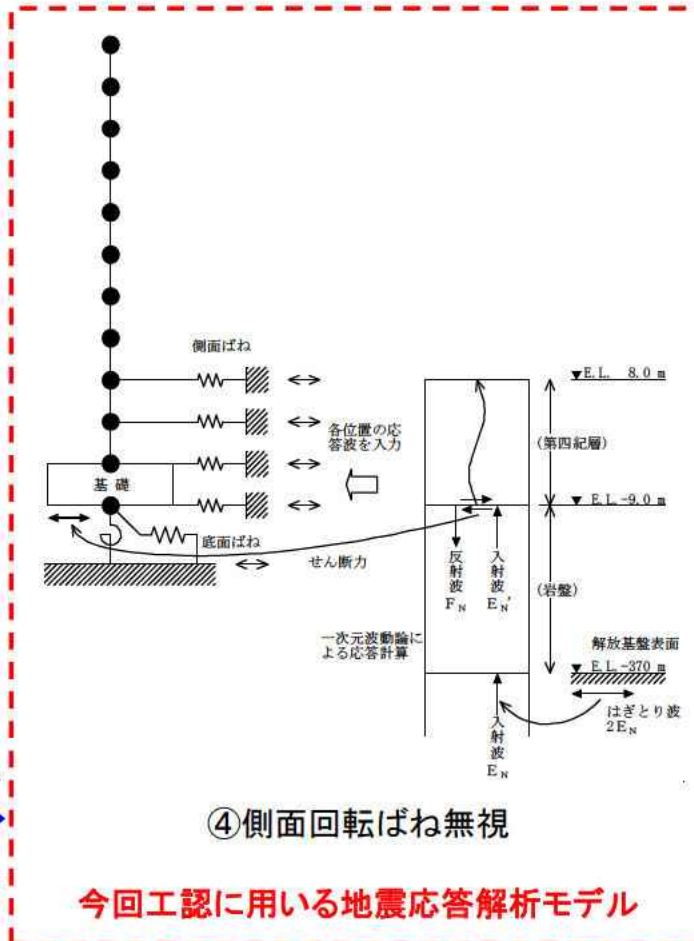
- ① SRモデルに対して, 側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して, 人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して, 側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

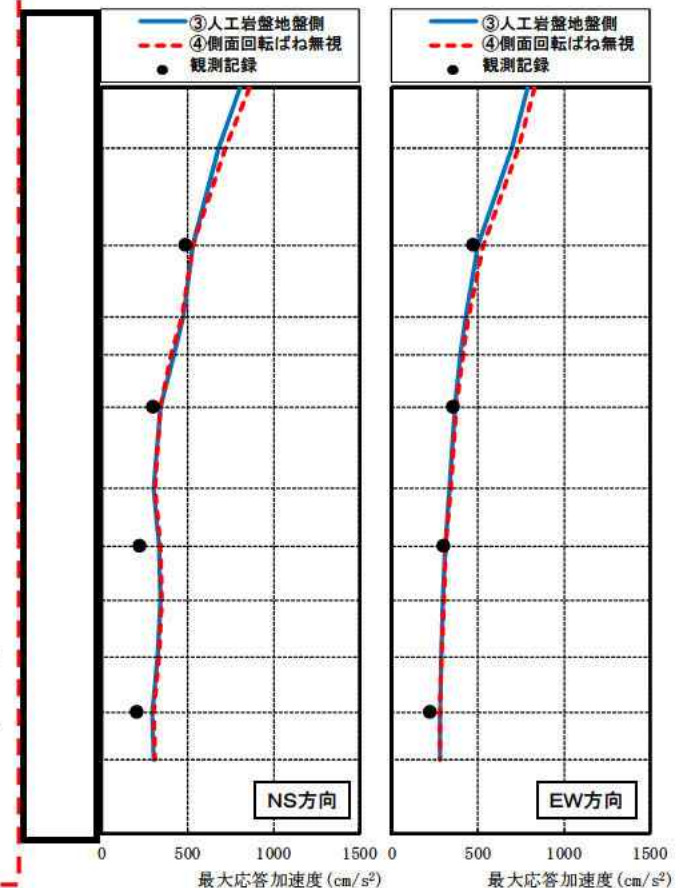
側面回転ばねを考慮しない場合



④側面回転ばね無視

今回工認に用いる地震応答解析モデル

最大応答加速度分布



③と④を比較した結果, 側面回転ばねを考慮しないモデルとする方が, 応答を保守側に評価することを確認した。



機器・配管系の耐震評価において、地盤物性及び建屋剛性の変動について、以下のとおり耐震性に問題ないことを確認した。

- 地盤物性の変動の影響のうち標準地盤- $\sigma$ 相当(下図、赤線)及び建屋剛性の変動による影響(下図、緑線)を考慮したケースによる床応答スペクトルは、耐震計算に適用した基本ケースの床応答スペクトル(下図、黒線)に包絡しており、耐震評価に影響がないことを確認した。
- 地盤物性の変動の影響のうち標準地盤+ $\sigma$ 相当(下図、青線)を考慮したケースは、耐震計算に適用した基本ケースの床応答スペクトル(下図、黒線)に対して、一部周期帯を除き包絡していることを確認した。また、超過した一部周期帯(下図、赤丸)には、当該周期帯に一次固有周期を有する設備がないことを確認した。

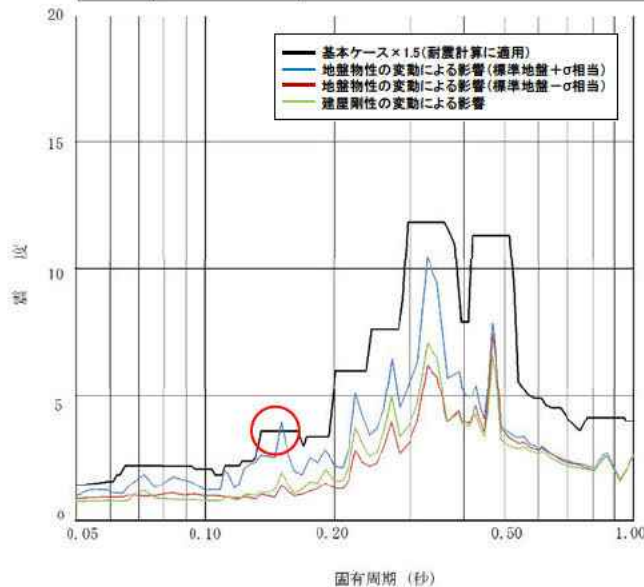
機器・配管系評価の影響確認に用いた                      の地震応答解析ケース

	建屋剛性		地盤物性
	コンクリート強度	補助壁	
基本ケース	設計基準強度	非考慮	標準地盤
地盤物性の変動による影響	設計基準強度	非考慮	標準地盤+ $\sigma$ 相当
	設計基準強度	非考慮	標準地盤- $\sigma$ 相当
建屋剛性の変動による影響	実強度	考慮	標準地盤

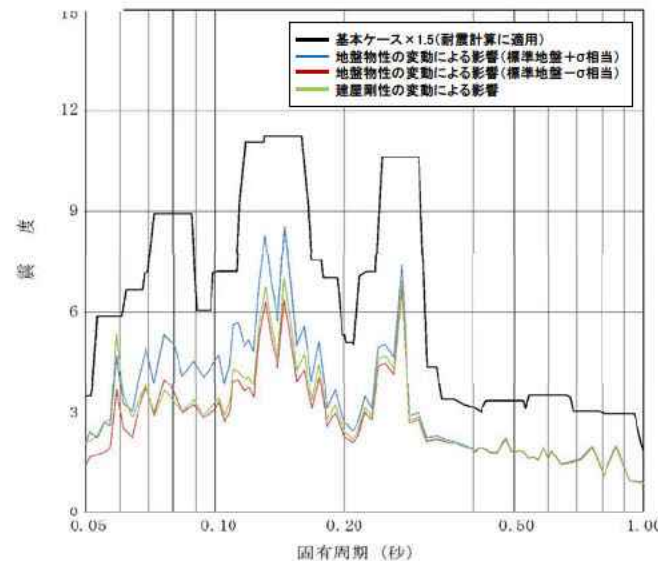
## 地盤物性のばらつき等への影響評価の例

【EL. 38.8 m 応答スペクトルの説明】

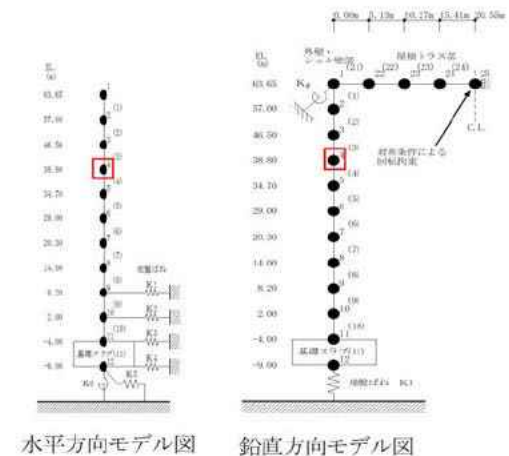
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.152	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	-	全周期帯において基本ケースが包絡している。

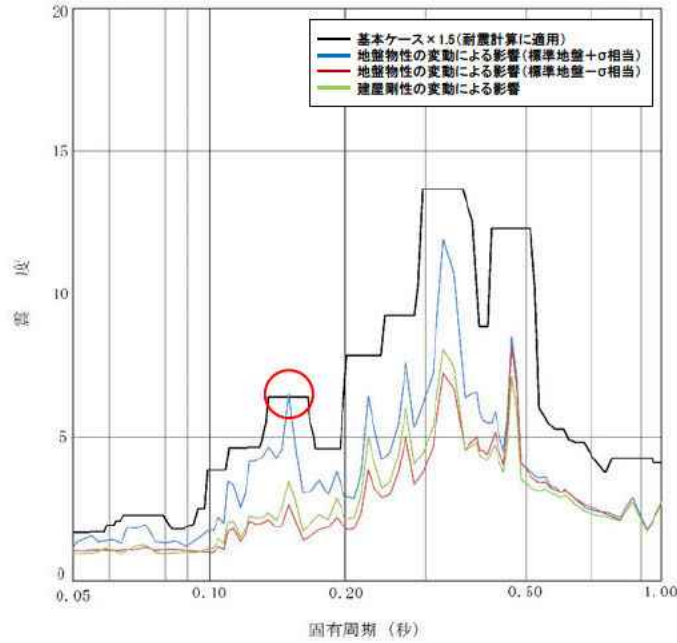


床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)

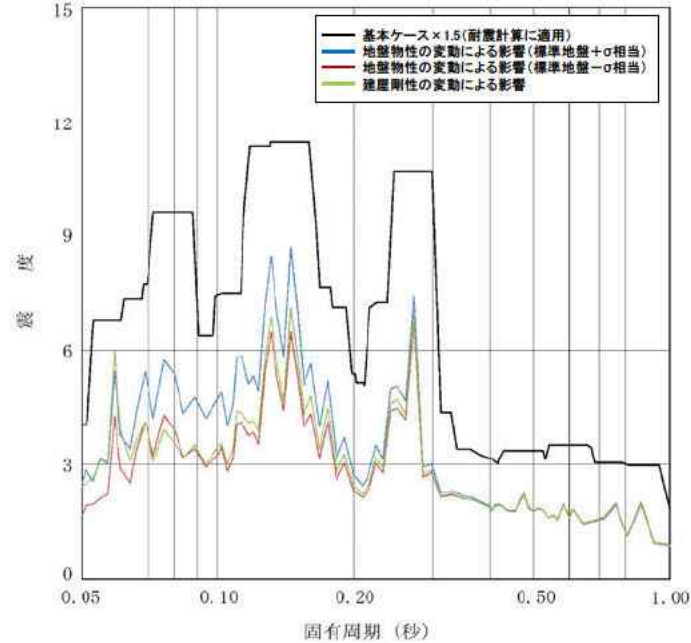


床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

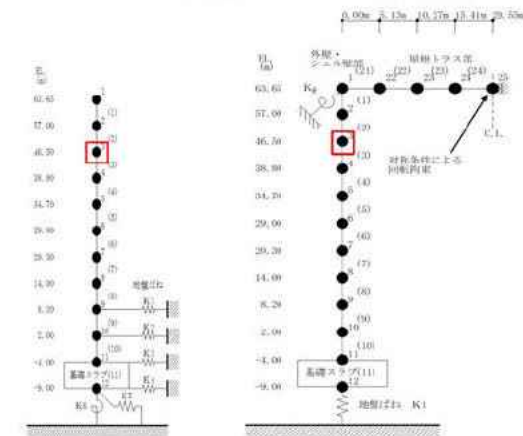




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



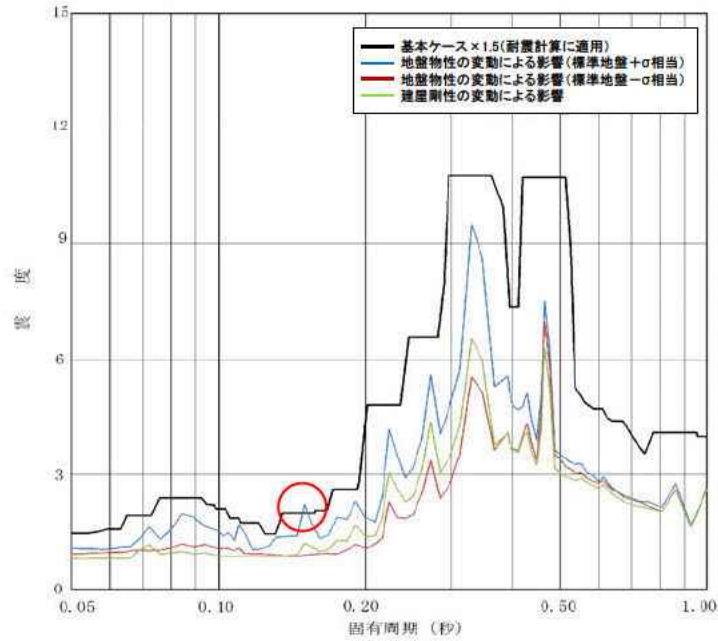
水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

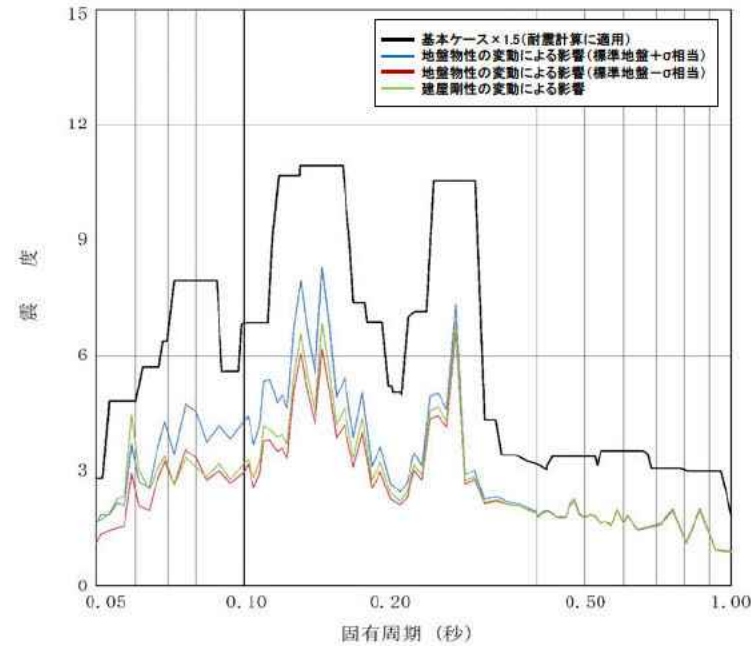
【EL. 46.5 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	0.149~0.151	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

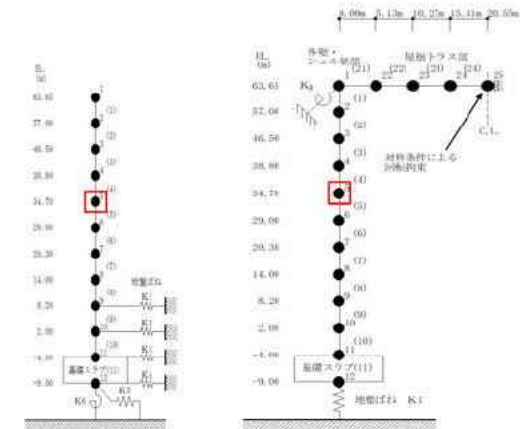




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

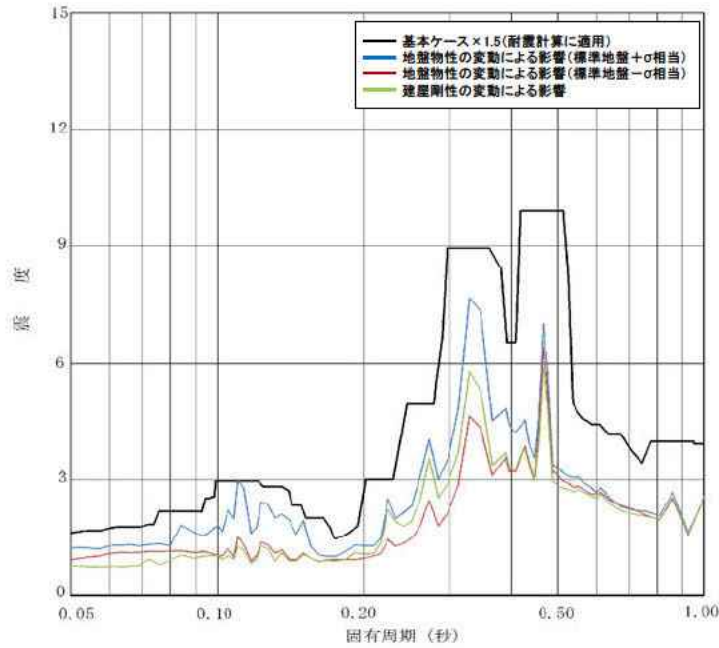


水平方向モデル図

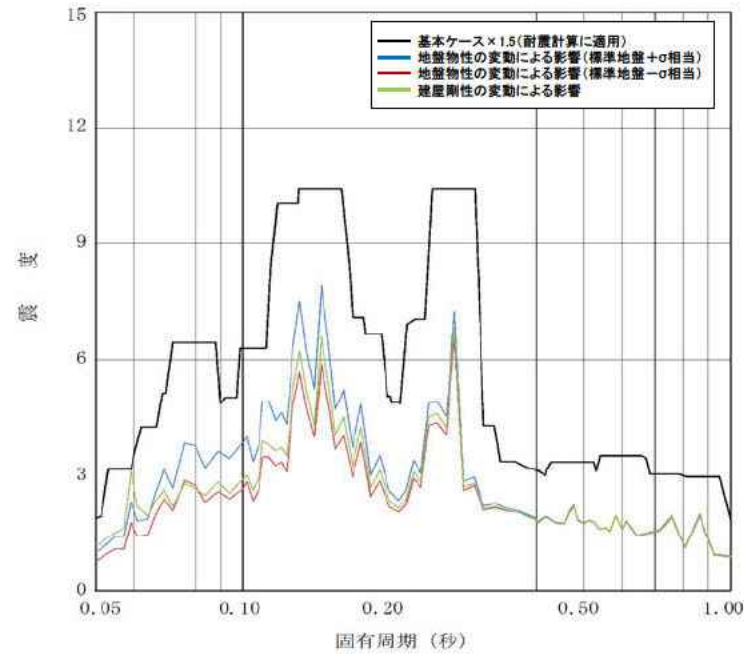
鉛直方向モデル図

【EL. 34.7 m 応答スペクトルの説明】

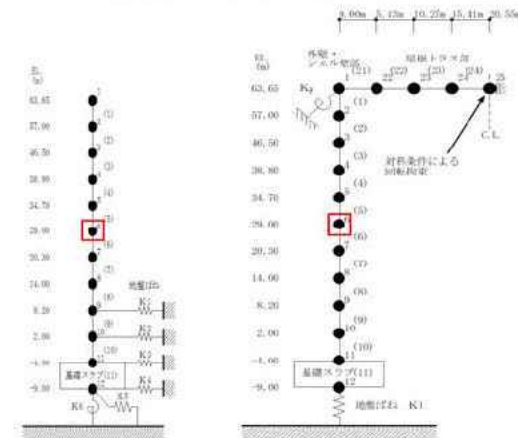
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.153	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



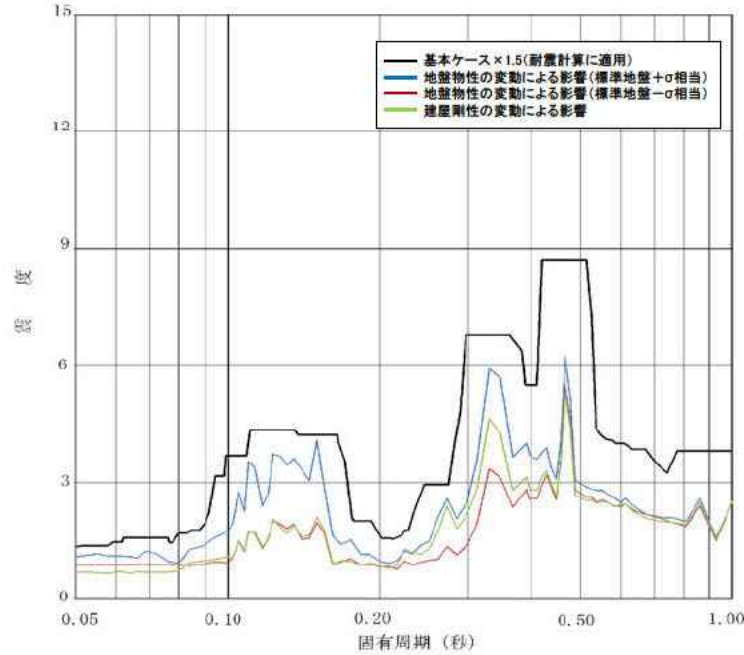
水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

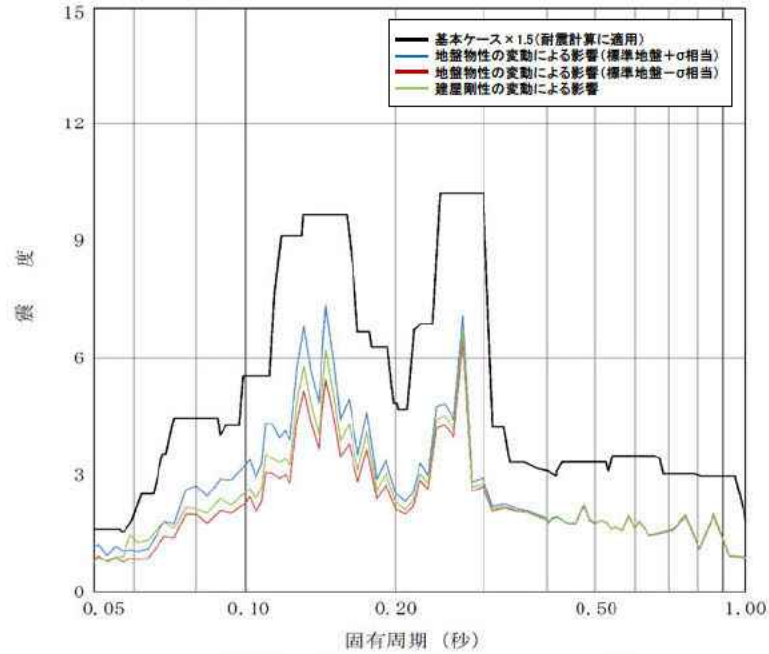
【EL. 29.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

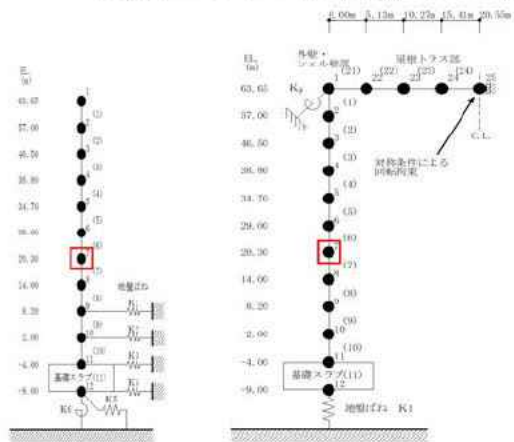




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

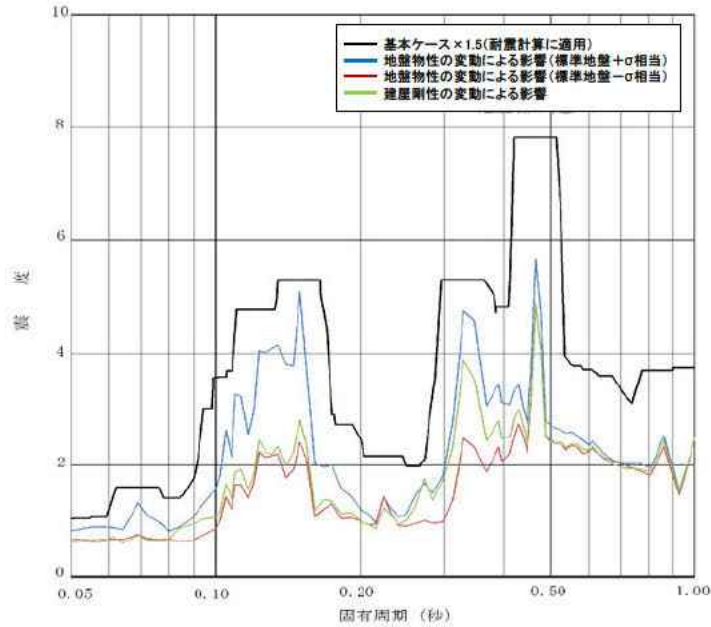


水平方向モデル図

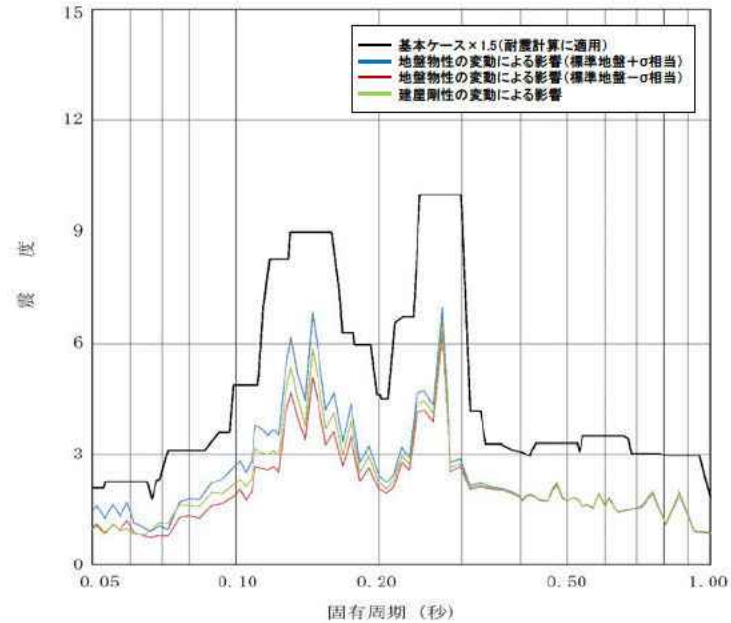
鉛直方向モデル図

【EL. 20.3 m 応答スペクトルの説明】

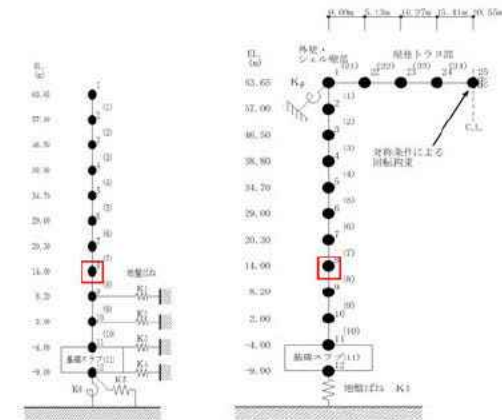
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



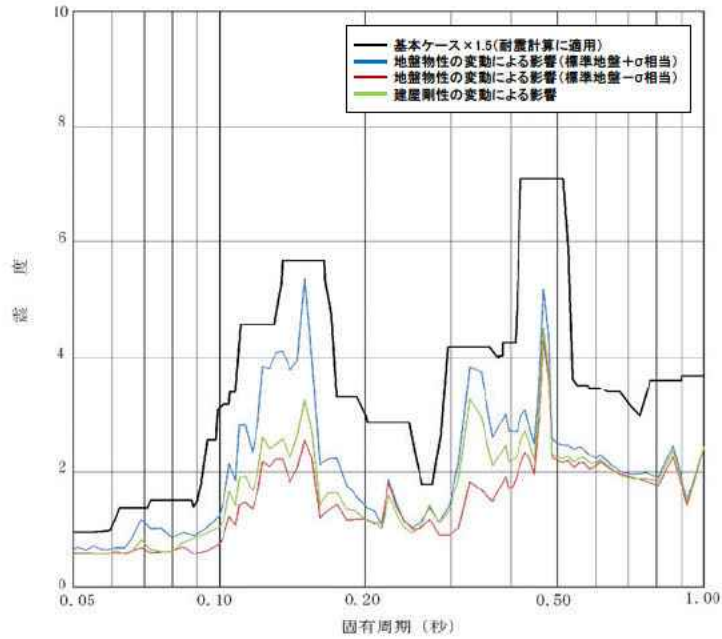
水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

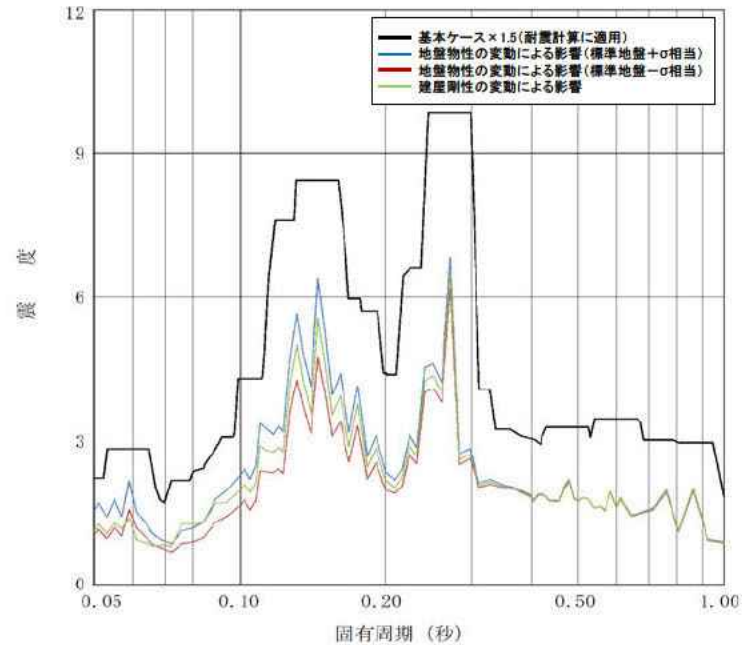
【EL. 14.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

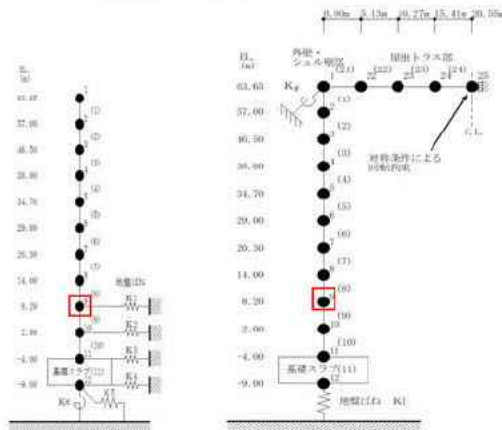




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

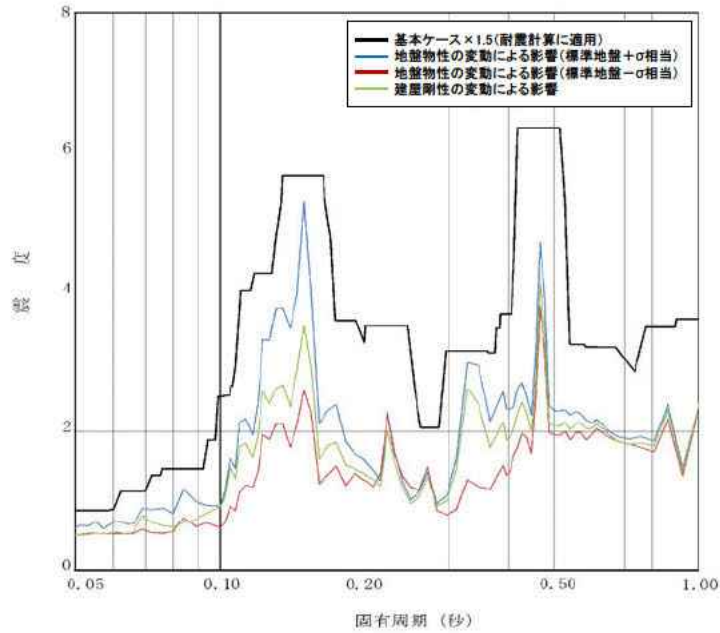


水平方向モデル図

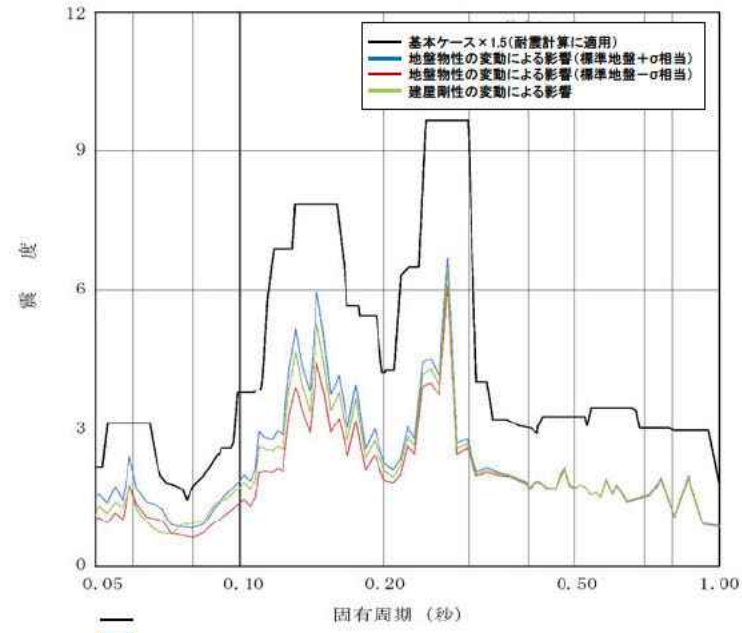
鉛直方向モデル図

【EL. 8.2 m 応答スペクトルの説明】

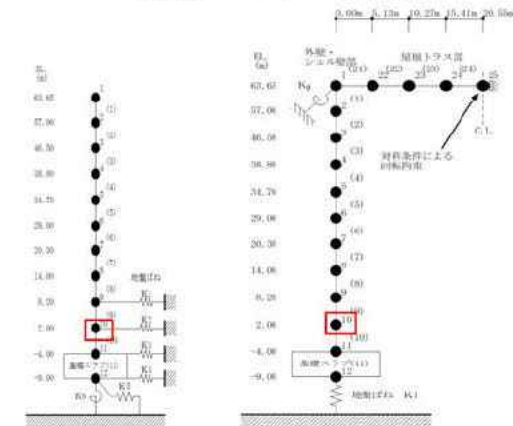
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



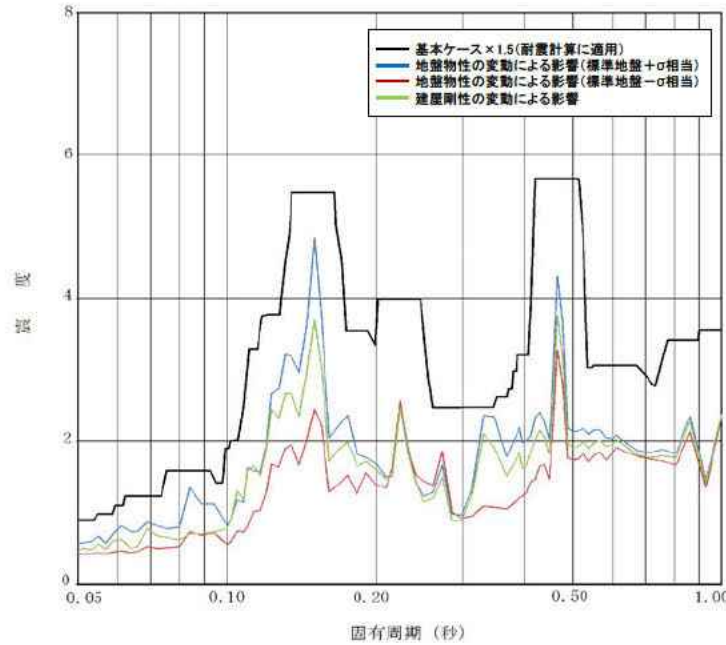
水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

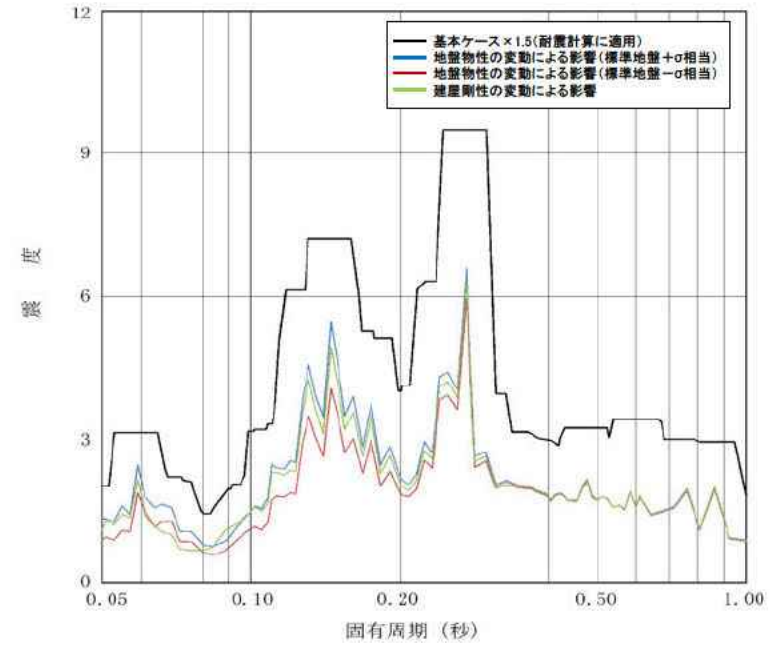
【EL. 2.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

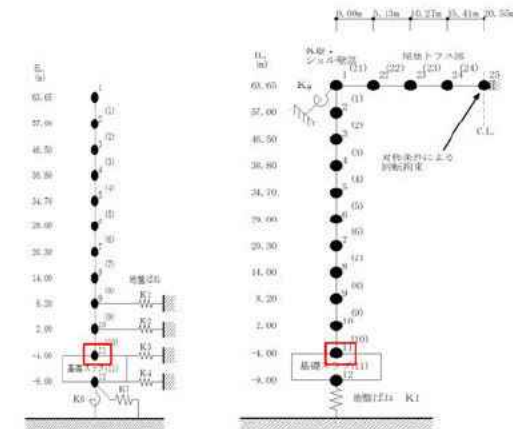




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

【EL. -4.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

## 重大事故等対処設備の耐震設計上の施設区分及び設計用地震力

○重大事故等対処設備は、要求される機能に応じて、**重大事故等の発生を防止する機能を有する設備**(重大事故防止設備)、又は**事故の拡大を防止しまたその影響を緩和するための設備**(重大事故緩和設備)に区分し、さらに設置方法により常設、可搬に区分される。

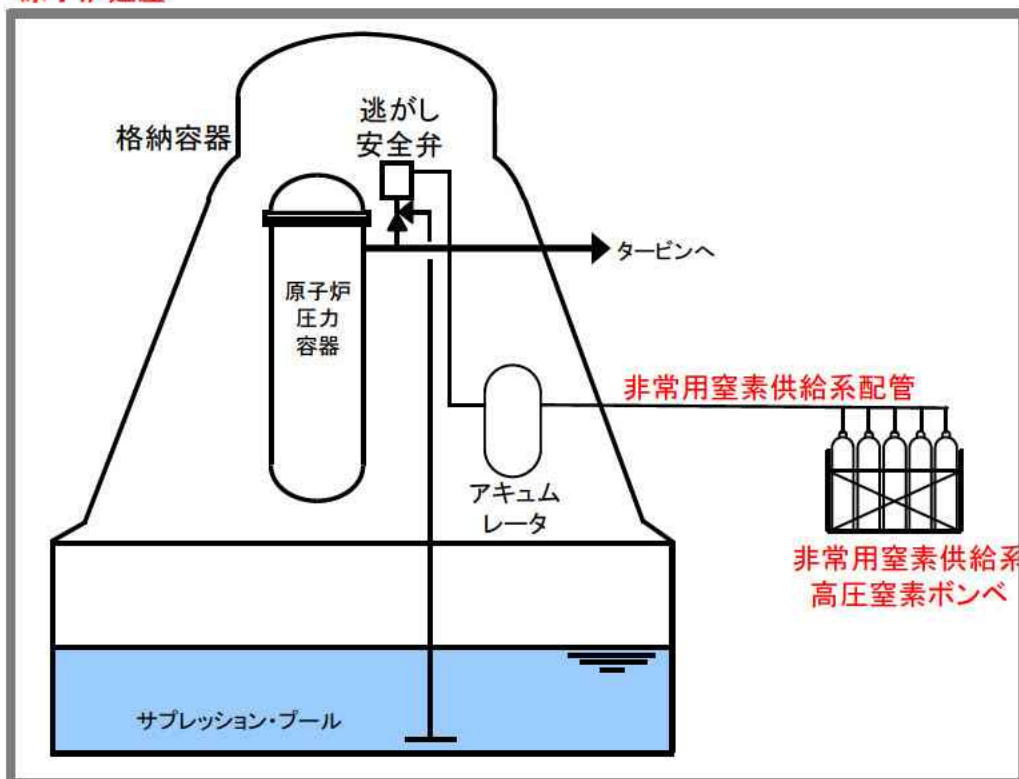
○これら設備区分に応じ耐震評価に適用する設計用地震力は下表のとおりとなる。

設備区分		該当する施設 (設備、機能の例)	設計用地震力
重大事故 防止設備	常設耐震重要 重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Sクラスに属する設備の機能を代替するもの (代替制御棒挿入機能、高圧代替注水系による原子炉注水)	基準地震動Ssによる地震力
	常設耐震重要重大事故防止施設以外の 常設重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Bクラス及び耐震Cクラスに属する設備の機能を代替するもの (使用済燃料プール水位・温度監視設備(主要監視設備の代替機能))	代替する設備の耐震クラス(Bクラス又はCクラス)に対する地震力 ・Bクラスを代替する設備: 2.4Ci* ・Cクラスを代替する設備: 1.2Ci * : 共振する可能性がある設備: Sd × 1/2
	可搬型重大事故防止設備	重大事故防止設備のうち可搬型のもの (可搬型代替注水中型/大型ポンプ、可搬型代替低圧電源装置)	基準地震動Ssによる地震力
	常設耐震重要重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備及び可搬型重大事故防止設備が設置される建物・構築物及び土木構造物 (原子炉建屋)	基準地震動Ssによる地震力
重大事故 緩和設備	常設重大事故緩和設備	重大事故緩和設備のうち常設のもの (格納容器圧力逃がし装置)	基準地震動Ssによる地震力
	可搬型重大事故緩和設備	重大事故緩和設備のうち可搬型のもの	基準地震動Ssによる地震力
	常設重大事故緩和設備及び可搬型重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設	常設重大事故緩和設備及び可搬型重大事故緩和設備が設置される建物・構築物及び土木構造物	基準地震動Ssによる地震力



13. 重大事故等対処設備(サポート系を含む)に係る耐震設計方針  
**非常用窒素供給設備(減圧手段の強化)の耐震評価結果**

原子炉建屋



- 非常用窒素供給設備\*のうち、**非常用窒素供給系配管**は「常設耐震重要重大事故防止設備」に、**非常用窒素供給系高圧窒素ポンベ**は「可搬型重大事故防止設備」に該当するため、いずれも基準地震動 $S_s$ による地震力を用いた評価を行い、**発生値が許容値に収まることを確認している。**
- また、これら設備が設置される**原子炉建屋**についても、「常設耐震重要重大事故防止設備等」が設置される建物として基準地震動による地震力により**発生値が許容値に収まることを確認している。**

\* 減圧手段の強化の一つとして、逃がし安全弁に動作に必要な窒素が喪失した場合でも、非常用窒素供給系高圧窒素ポンベにより、逃がし安全弁に窒素を供給することで、逃がし安全弁を動作させ、原子炉を減圧させることができるようにする。

評価対象設備 (設備区分)	設計用 地震力	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
非常用窒素供給系配管 (常設耐震重要重大事故防止設備)	$S_s$	構造強度	配管本体	一次応力	144 MPa	$\lt 371 \text{ MPa}$
非常用窒素供給系高圧窒素 ポンベ (可搬型重大事故防止設備)	$S_s$	構造強度	アンカプレート	せん断	13 MPa	$\lt 70 \text{ MPa}$
原子炉建屋 (常設耐震重要重大事故防止設備等が 設置される重大事故等対処施設)	$S_s$	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	$0.60 \times 10^{-3}$	$\lt 2.0 \times 10^{-3}$

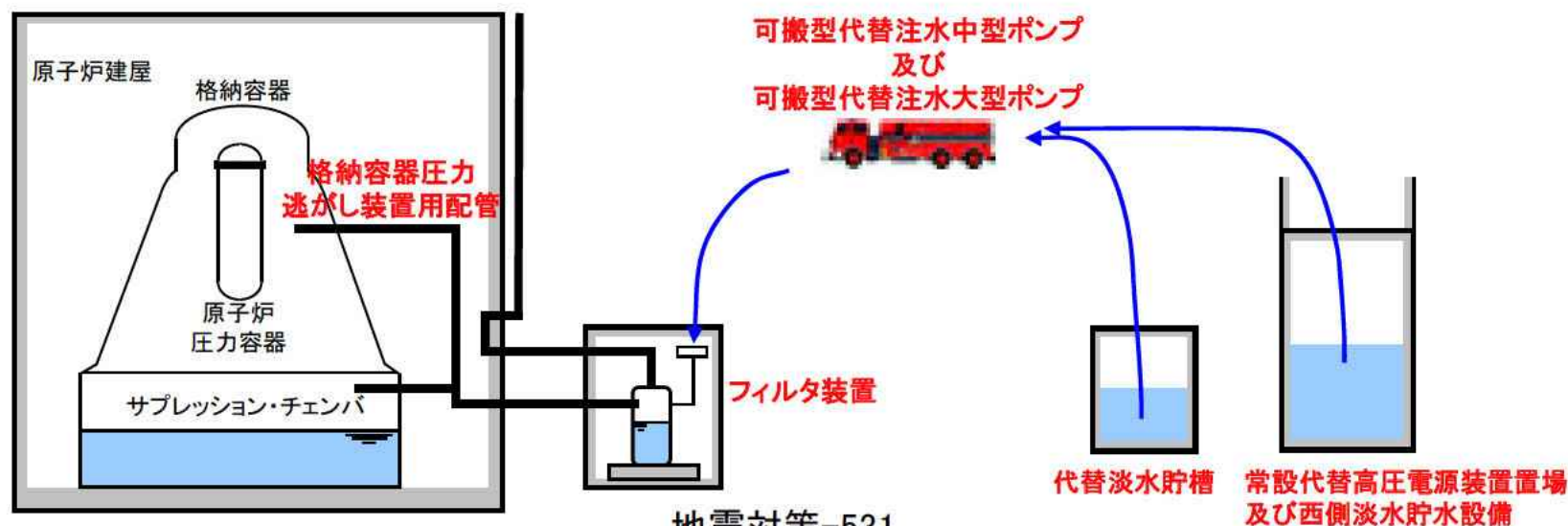
13. 重大事故等対処設備(サポート系を含む)に係る耐震設計方針  
**格納容器圧力逃がし装置及び関連設備の耐震評価結果**



- 格納容器圧力逃がし装置(フィルタ装置及び格納容器圧力逃がし装置用配管)は、「常設重大事故緩和設備」に該当するため、基準地震動 $S_s$ による地震力を用いた評価を行い、**発生値が許容値に収まることを確認**している。
- また、フィルタ装置が継続して機能するために必要となる設備類に関しても、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して機能が**必要であることから発生値が許容値に収まることを確認**している。

評価対象施設	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
フィルタ装置	構造強度	スカート	組合応力	50 MPa	194 MPa
格納容器圧力逃がし装置用配管	構造強度	配管本体	一次応力	197 MPa	363 MPa
可搬型代替注水大型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	115 MPa	451 MPa
	機能維持*	可搬型代替注水大型ポンプ	応答加速度(水平)	1.08 G	1.52 G
可搬型代替注水中型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	141 MPa	178 MPa
	機能維持*	可搬型代替注水中型ポンプ	応答加速度(鉛直)	0.58 G	0.89 G
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	曲げ軸力(鉄筋)	316 N/mm <sup>2</sup>	435 N/mm <sup>2</sup>
代替淡水貯槽	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	曲げ軸力(鉄筋)	360 N/mm <sup>2</sup>	435 N/mm <sup>2</sup>

\* : 加振試験により機能維持を確認





- 緊急時対策所に要求される厳しい設計条件に対して、先行PWR電力の緊急時対策所にて実績のある耐震構造を採用することにより、耐震性を十分確保する設計とした。耐震構造を採用することで耐震安全性が確保可能と考えている。

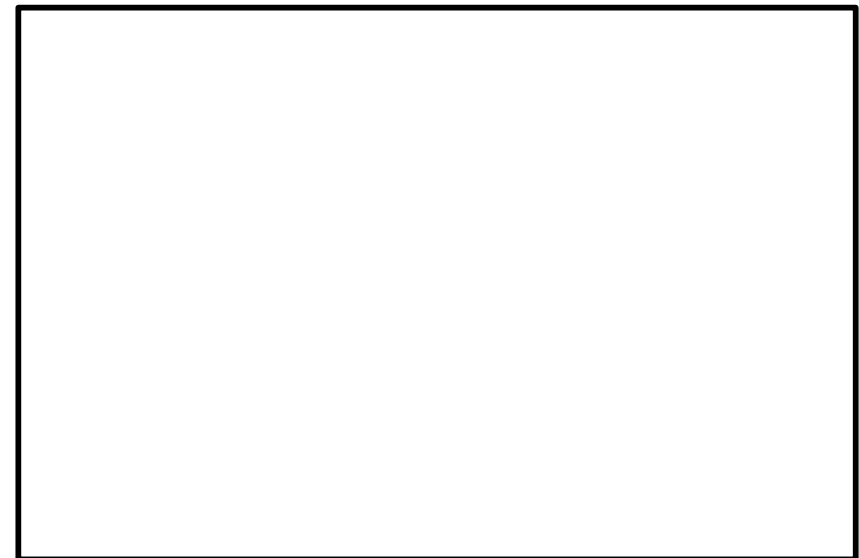
14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
**緊急時対策所設備の概要と建物**

○災害対策本部室の設置されている床(代表:EL.30.30)の加速度は、**最大応答値656cm/s<sup>2</sup>**(S<sub>s</sub>-31 試験施工のばらつきを考慮(+σ)のケースの応答値)となり、同床に配置されている机等には適切に固縛、転倒防止措置等を施し、機能が喪失しない設計とする。他床も適切に評価を行っている。

EL.(m)	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
	NS方向	EW方向	UD方向
51.00	732	766	700
43.50	690	736	665
37.00	671	692	631
30.30	650	656	595
23.30	630	631	530
20.80	626	627	524

項目	基本仕様
1 建屋構造	・鉄筋コンクリート造(耐震構造)
2 階層	・4階建て
3 建屋延床面積／災害対策本部室床面積	・建屋:約4,000m <sup>2</sup> ／災害対策本部室:約350m <sup>2</sup> ・宿泊・休憩室:約70m <sup>2</sup>
4 耐震強度	・基準地震動S <sub>s</sub> で機能維持
5 耐津波	・防潮堤内側, 発電所構内高台(T.P.+約23m)に設置
6 中央制御室との共通要因による同時機能喪失防止	・中央制御室との十分な離隔(約320m) ・中央制御室と独立した機能 (電源設備及び換気設備は独立した専用設備)
7 電源設備	・通常電源設備:常用所内電気設備, 非常用所内電気設備(通信連絡設備等の負荷のみ) ・代替電源設備:緊急時対策所用発電機(2台)
8 遮蔽, 放射線管理	・建屋外壁等十分な壁厚を確保した遮蔽設計 ・よう素除去フィルタ付非常用換気設備の設置 ・プルーム通過時の加圧設備の設置 ・加圧判断のためのエリアモニタ, 可搬型モニタリング・ポストの配備 ・居住性確認のための酸素濃度計及び二酸化炭素濃度計の配備 ・チェンジングエリアの設置
9 原子炉施設の情報	・対策に必要な情報を表示するデータ表示装置の設置
10 通信連絡	・発電所内・外の必要のある箇所と必要な連絡を行うための通信連絡設備の設置
11 食料, 飲料水等	・7日間必要とされる食料, 飲料水等を配備

緊急時対策所の建屋概要





○緊急時対策所の耐震設計を実施するにあたり、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮した東海第二発電所の基準地震動 $S_s$ （8波）を策定した。この基準地震動 $S_s$ （8波）による地震力に対し、緊急時対策所建屋及び建屋内の設備の機能が損なわれないよう、耐震構造を採用することで耐震安全性を確保した。

○緊急時対策所に新たに配備する机、OA機器、什器及び資機材等（個別の耐震評価は実施されていない）については、緊急時対策所に必要な機能を維持するため、適切な固縛、転倒防止措置を施す。

○施設内の人員に対する安全性を確保する。

地震発生時による緊急時対策所に居住する要員への危険を排除するため、配備する机等には適切に固縛、転倒防止措置等を施し、要員は、机等の固定した物に掴まることで体勢を維持する。<sup>\*1</sup>。

（\*1 第13回中央制御室 茨城県原子力安全対策委員会 東海第二発電所安全性検討ワーキングチームにてご説明）

- ◆ 緊急時対策所建屋は、地震及び津波等の外部事象に備えて、基準地震動 $S_s$ による地震力に対し機能(遮蔽性, 気密性等)を損なわない設計とする。また、建屋内の各設備も基準地震動 $S_s$ に対して機能を損なわない設計とする。
  - ◆ 耐震評価を実施していない資機材等については、緊急時対策所に必要な機能を維持するため、適切な固縛, 転倒防止措置を施す。
  - ◆ 緊急時対策所に居住する要員へ安全性確保のため、地震発生に備えた机等の固縛及び転倒防止措置等を実施する。また、要員は机等の固定した物に掴まることで体勢を維持する。
- これらの対策により、自然災害時においても多数の災害対策要員が緊急時対策所に滞在を続け、プラント状況の把握と発電所内外との通信連絡を確保しつつ、重大事故等対応のための指揮命令が行えることを確認している。



14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価手法 建物・構築物(緊急時対策所)



○ 代表的な建物・構築物について、原子炉建屋及び緊急時対策所建屋を例に構造概要を示す。

	原子炉建屋	緊急時対策所建屋
構造概要	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)	鉄筋コンクリート造
基礎	厚さ:約5m (人工岩盤を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)	厚さ:2.5m(一部2.2m及び5.7m) (場所打ち鋼管コンクリート杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着)
平面形状		約38m(南北方向)×約36m(東西方向)
高さ		基礎版底面から約30m
図面	<p>平面図 断面図</p>	<p>杭仕様:材質SKK490,本数88本(11×9),径φ1000,厚さ22mm</p> <p>凡例 ○:杭 (杭伏図)</p> <p>平面図 断面図</p>
建屋の特徴	建物中央部には原子炉格納容器を囲む円形の壁があり、その外側に二次格納施設である原子炉棟の外壁及び原子炉建屋付属棟の外壁がある。	緊急時対策所建屋2階に、重大事故等の発生時においても、必要な指示及び対策を行う要員がとどまることができる緊急時対策所を設置している。

14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 建物・構築物(緊急時対策所)

○ 建物・構築物について基準地震動Ssにおける発生値が許容値に収まることを確認した。

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	検定比
V-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	$\times 10^{-3}$	0.6	2.00	0.300
V-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	構造強度	杭	曲げモーメント	kN・m/本	2200	2210	0.996
V-2-2-11	緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書	構造強度	杭	鉛直支持力	kN/本	10819	17224	0.629
V-2-2-15-1	主排気筒の耐震性についての計算書	構造強度	鉄塔(主柱材)	軸力+曲げ	— *1	0.915	1.000	0.915
V-2-2-15-2	主排気筒の基礎の耐震性についての計算書	構造強度	杭	鉛直支持力	kN	8641	13193	0.655
V-2-2-17	非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書	構造強度	上部構造(柱)	軸力+曲げモーメント+せん断力*	— *1	0.497	1.000	0.497
V-2-2-19	格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書	構造強度	耐震壁(地下外壁)	軸力+曲げモーメント+面内せん断力	— *2	0.557	1.000	0.557
V-2-4-2-1	使用済燃料プールの耐震性についての計算書	構造強度	使用済燃料プール躯体(底版)	面外せん断力	N/mm <sup>2</sup>	2.15	3.01	0.715
V-2-7-2-5	非常用ガス処理系排気筒の耐震性についての計算書	構造強度	排気筒サポート	圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>	131.9	163.2	0.809
V-2-8-4-2	中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書	構造強度	天井スラブ	曲げモーメント	kN・m	142.6	173	0.825
V-2-9-2-2	原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書	構造強度	底部	軸力+曲げモーメント	N/mm <sup>2</sup>	1.01	1.06	0.953
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書	構造強度	屋根トラス	圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>	200	208	0.962
V-2-9-3-4	原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書	構造強度	付属棟基礎	軸力+曲げモーメント	$\times 10^3$ kN・m/m	10.9	12.2	0.894

\*1：鉄骨部材における組合せ応力による評価とし、許容値を1とする。  
\*2：配筋量に対する必要鉄筋量の比を発生値及び許容値として示す。

14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(1/6)



○ 機器・配管系について基準地震動Ssにおける発生値が許容値に収まることを確認した。

目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-6-7-2-4	衛星電話設備(固定型)(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	機能維持	衛星電話設備(固定型)(緊急時対策所)	応答加速度(水平)	G	0.67	1.79	2.67
V-2-6-7-2-5	屋外アンテナ(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	5	113	22.60
		機能維持	屋外アンテナ(緊急時対策所)	応答加速度(水平)	G	1.61	8.24	5.11
V-2-6-7-2-6	衛星電話設備用通信機器収納ラック(緊急時対策所)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	39	147	3.76
		機能維持	衛星電話設備用通信機器収納ラック(緊急時対策所)	応答加速度(鉛直)	G	0.61	1.67	2.73
V-2-6-7-3	安全パラメータ表示システム(SPDS)SPDSデータ表示装置の耐震性についての計算書	機能維持	SPDSデータ表示装置	応答加速度(水平)	G	0.67	1.8	2.68
V-2-6-7-4	安全パラメータ表示システム(SPDS)無線通信用アンテナの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト (無線通信用アンテナ(緊急時対策所建屋側))	引張応力	MPa	27	123	4.55
		機能維持	無線通信用アンテナ(原子炉建屋側)	応答加速度(鉛直)	G	1.56	3	1.92
V-2-6-7-5	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備の耐震性についての計算書	機能維持	IP電話(衛星系)	応答加速度(水平)	G	1.28	1.69	1.32
V-2-6-7-6	統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書	構造強度	衛星アンテナ支持架台の基礎ボルト(1)	引張応力	MPa	67	184	2.74
		機能維持	ODU電源部	応答加速度(鉛直)	G	1.21	2	1.65
V-2-6-7-7	LAN収容架(SA)の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	21	184	8.76
		機能維持	ルータ等	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-6-7-8	再循環系ポンプ遮断器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	49	210	4.28
		機能維持	再循環系ポンプ遮断器(B)	応答加速度(水平)	G	0.92	2.3	2.50
V-2-6-7-9	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	63	202	3.20
		機能維持	再循環系ポンプ低速度用電源装置遮断器	応答加速度(水平)	G	1.29	2.3	1.78



14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(2/6)



目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-8-2-7	耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	14	147	10.50
		機能維持	耐圧強化ベント系放射線モニタ	応答加速度(水平)	G	1.4	3	2.14
V-2-8-2-8	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	3	156	52.00
		機能維持	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(低レンジ)	応答加速度(水平)	G	1.74	3	1.72
V-2-8-2-9	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	3	156	52.00
		機能維持	使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ)	応答加速度(水平)	G	1.74	3	1.72
V-2-8-3-1-1	中央制御室換気系ダクトの耐震性について計算書	構造強度	支持架構	組合応力	MPa	141	280	1.98
V-2-8-3-1-2	中央制御室換気系空調和機ファン、中央制御室換気系フィルタ系ファンの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	64	184	2.87
		機能維持	ファン原動機	応答加速度(鉛直)	G	0.98	1	1.02
V-2-8-3-1-3	中央制御室換気系フィルタユニットの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	43	190	4.41
V-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室退避室)	構造強度	MCRS-1	一次応力	MPa	244	468	1.91
V-2-8-3-2-2	中央制御室待避室差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	4	168	42.00
		機能維持	中央制御室待避室差圧	応答加速度(水平)	G	1.34	3	2.23
V-2-8-3-3-1	緊急時対策所換気系ダクトの耐震性についての計算書	構造強度	溶接部	組合応力	MPa	125	141	1.12
V-2-8-3-3-2	管の耐震性についての計算書(緊急時対策所換気系)	構造強度	HAPS-001	一次応力	MPa	216	431	1.99
V-2-8-3-3-3	緊急時対策所非常用送風機の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	73	153	2.09
		機能維持	ファン原動機	応答加速度(鉛直)	G	1	1	1.00
V-2-8-3-3-4	緊急時対策所非常用フィルタ装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	33	118	3.57

14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(3/6)



目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-8-3-3-5	緊急時対策所用差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	8	168	21.00
		機能維持	緊急時対策所用差圧	応答加速度 (水平)	G	1.35	3	2.22
V-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書 (第二弁操作室)	構造強度	PCVVCC-1	一次応力	MPa	213	468	2.19
V-2-8-3-4-2	第二弁操作室差圧の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	5	168	33.60
		機能維持	第二弁操作室差圧	応答加速度 (水平)	G	1.55	3	1.93
V-2-9-2-1	原子炉格納容器の耐震性についての計算書	構造強度	P6:底部のファンジブ レートとの接合部	座屈	-	0.98	1	1.02
V-2-9-2-3	上部シアラグ及びスタビライザの耐震性についての計算書	構造強度	シアプレート	組合応力	MPa	259	275	1.06
V-2-9-2-4	下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの耐震性についての計算書	構造強度	シアプレート	組合応力	MPa	219	275	1.25
V-2-9-2-5	原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書	構造強度	ベースプレート	曲げ応力 (引張側)	MPa	256	317	1.23
V-2-9-2-6	機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	構造強度	ドライウェル円錐胴と補 強板との接合部	疲労評価	-	0.57	1	1.75
V-2-9-2-7	所員用エアロックの耐震性についての計算書	構造強度	ドライウェル円錐胴と補 強板との接合部	疲労評価	-	0.056	1	17.85
V-2-9-2-8	サブプレッション・チェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	構造強度	サブプレッションチェンバ 円筒胴と補強板との結 合部	疲労評価	-	0.428	1	2.33
V-2-9-2-9	配管貫通部の耐震性についての計算書	構造強度	X-31(P1原子炉格納容 器胴とスリーブとの結 合部)	一次膜+一次曲げ応 力	MPa	267	348	1.30
V-2-9-2-10	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	構造強度	格納容器胴とスリーブ との接合部	疲労評価	-	0.378	1	2.64
V-2-9-2-11	サブプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書	構造強度	底部ライナ部P2周辺部	膜ひずみ	-	0.00044	0.003	6.81
V-2-9-3-2	原子炉建屋大物搬入口の耐震性についての計算書	構造強度	押し込みローラ部ベア リング	支圧	MPa	648	663	1.02
V-2-9-3-3	原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書	構造強度	ヒンジピン	組合応力	MPa	189	530	2.80
V-2-9-4-1	ダイヤフラム・フロアの耐震性についての計算書	構造強度	柱	圧縮応力	N/mm <sup>2</sup>	117.2	144	1.22



14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(4/6)



目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-4-5-2	常設代替高圧電源装置制御盤(No.6)の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	64	525	8.20
		機能維持	発電機	応答加速度(鉛直)	G	0.42	1.14	2.71
V-2-10-1-4-6	管の耐震性についての計算書(常設代替高圧電源装置)	構造強度	C-01-1360-107	一次応力	MPa	66	446	6.75
V-2-10-1-5-1	緊急時対策所用発電機内燃機関の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	122	210	1.72
V-2-10-1-5-2	緊急時対策所用発電機燃料油サービスタンクの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	18	210	11.66
V-2-10-1-5-3	緊急時対策所用発電機給油ポンプの耐震性についての計算書	構造強度	ポンプ取付ボルト	引張応力	MPa	12	207	17.25
		機能維持	逃し弁	応答加速度(水平)	G	0.65	1	1.53
V-2-10-1-5-4	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクの耐震性についての計算書	構造強度	ポンプ取付ボルト	引張応力	MPa	264	487	1.84
V-2-10-1-5-5	緊急時対策所用発電機の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	81	210	2.59
		機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度(鉛直)	G	0.55	1	1.81
V-2-10-1-5-6	緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	147	385	2.61
		機能維持	緊急時対策所用発電機制御盤	応答加速度(水平)	G	0.65	1.3	2.00
V-2-10-1-6-1	非常用無停電電源装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	67	168	2.50
		機能維持	非常用無停電電源装置	応答加速度(鉛直)	G	0.8	3	3.75
V-2-10-1-6-2	緊急用無停電電源装置の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	67	168	2.50
		機能維持	緊急用無停電電源装置	応答加速度(鉛直)	G	0.8	3	3.75
V-2-10-1-6-3	125V系蓄電池A系/B系の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	42	165	3.92
V-2-10-1-6-4	125V系蓄電池 HPCS系の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	66	165	2.50



14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(5/6)



目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-7-10	緊急用計装交流主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	71	168	2.36
		機能維持	緊急用計装交流主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50
V-2-10-1-7-11	緊急用電源切替盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	90	156	1.73
		機能維持	緊急用交流電源切替盤B	応答加速度(鉛直)	G	1	2	2.00
V-2-10-1-7-12	緊急用無停電計装分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	せん断応力	MPa	23	113	4.91
		機能維持	緊急用無停電計装分電盤	応答加速度(鉛直)	G	0.83	3	3.61
V-2-10-1-7-13	緊急用直流125V充電器の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	61	168	2.75
		機能維持	緊急用直流125V充電器	応答加速度(鉛直)	G	0.8	1	1.25
V-2-10-1-7-14	緊急用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	32	168	5.25
		機能維持	緊急用直流125V主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50
V-2-10-1-7-15	緊急用直流125Vモータコントロールセンタの耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	62	168	2.70
		機能維持	緊急用直流125Vモータコントロールセンタ	応答加速度(鉛直)	G	0.83	2	2.40
V-2-10-1-7-16	緊急用直流125V計装分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	53	138	2.60
		機能維持	緊急用直流125V計装分電盤	応答加速度(鉛直)	G	0.83	3	3.61
V-2-10-1-7-17	常設代替高圧電源装置遠隔操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	37	210	5.67
		機能維持	常設代替高圧電源装置遠隔操作盤	応答加速度(鉛直)	G	0.84	5	5.95
V-2-10-1-7-18	緊急時対策所用メタルクラッド閉閉装置の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	46	210	4.56
		機能維持	緊急時対策所用メタルクラッド閉閉装置	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70

14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(6/6)

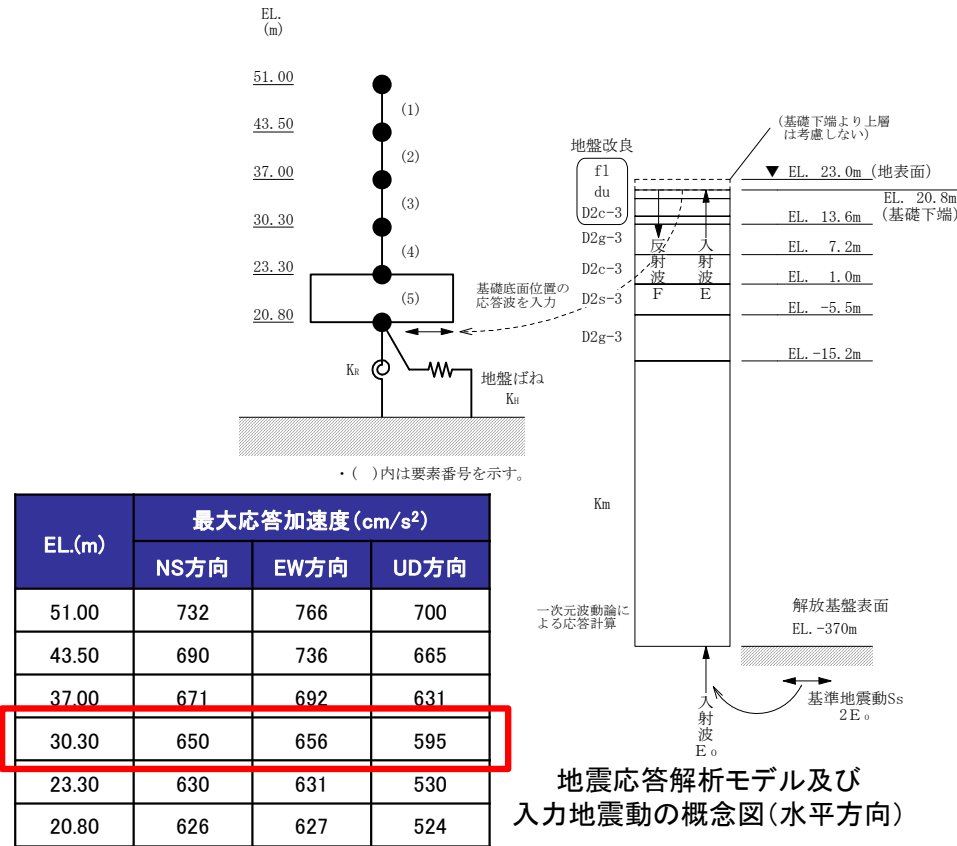


目録番号	目録名称	評価項目	評価部位	応力分類	単位	耐震評価結果		
						発生値	許容値	裕度
V-2-10-1-7-19	緊急時対策所用動力変圧器の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	90	210	2.33
V-2-10-1-7-20	緊急時対策所用パワーセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	40	210	5.25
		機能維持	緊急時対策所用パワーセンタ	応答加速度(鉛直)	G	1.17	1.64	1.40
V-2-10-1-7-21	緊急時対策所用モータコントロールセンタの耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	210	6.77
		機能維持	緊急時対策所用モータコントロールセンタ	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-22	緊急時対策所用100V分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	10	210	21.00
		機能維持	緊急時対策所用100V分電盤2-2	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-23	緊急時対策所用直流125V主母線盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	32	210	6.56
		機能維持	緊急時対策所用直流125V主母線盤	応答加速度(鉛直)	G	1.17	1.64	1.40
V-2-10-1-7-24	緊急時対策所用直流125V分電盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	210	6.77
		機能維持	緊急時対策所用直流125V分電盤	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70
V-2-10-1-7-25	緊急時対策所用災害対策本部操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	14	210	15.00
		機能維持	緊急時対策所用災害対策本部操作盤	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-10-1-7-26	緊急時対策所用非常用換気空調設備操作盤の耐震性についての計算書	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	28	210	7.50
		機能維持	制御盤他	応答加速度(鉛直)	G	1.14	2	1.75
V-2-10-1-7-27	可搬型代替低圧電源車接続盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	56	168	3.00
V-2-10-1-7-28	可搬型代替直流電源設備用電源切替盤の耐震性についての計算書	構造強度	基礎ボルト	引張応力	MPa	28	168	6.00
		機能維持	可搬型代替直流電源設備用電源切替盤	応答加速度(鉛直)	G	0.8	2	2.50

14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策  
別紙 主な耐震評価結果 建物・構築物(緊急時対策所)

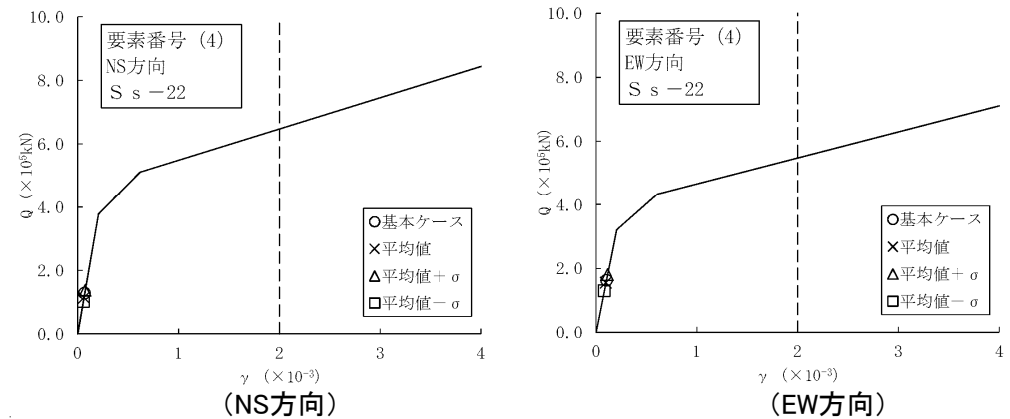
○ 緊急時対策所建屋

- ・地盤物性のばらつきを考慮した緊急時対策所建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは $0.115 \times 10^{-3}$ であり、許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )を超えないことを確認した。



地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性		モデル名称
	支持地盤 表層地盤	地盤改良土	
基本ケース	平均値	改良目標値	基本ケース
地盤物性の変動 による影響	平均値	平均値	試験施工の平均値を考慮
	+σ相当	+σ相当	試験施工のばらつきを考慮(+σ)
	-σ相当	-σ相当	試験施工のばらつきを考慮(-σ)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-22, 要素番号(4))

緊急時対策所建屋に設置される代表機器の耐震評価結果

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
緊急時対策所用発電機	構造強度	取付ボルト	引張応力	81 (MPa)	210 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度 (鉛直)	0.55 (G)	1 (G)
緊急時対策所用制御盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	147 (MPa)	385 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用制御盤	応答加速度 (水平)	0.65 (G)	1.3 (G)

- ・福島第一原子力発電所の免震重要棟は、2011年の事故時にその機能を維持し、事象収束へ向けた対策検討、指揮命令を発する場所として機能したことから、免震構造には一定の効果があるといえる。一方、東海第二発電所の緊急時対策所建屋では、先行プラントの状況等を勘案し、耐震構造とすることとした。
- ・右表に緊急時対策所建屋に設置される代表機器の評価結果を示す。全ての評価対象設備について、応力・加速度の発生値が許容値を下回ることを確認した。

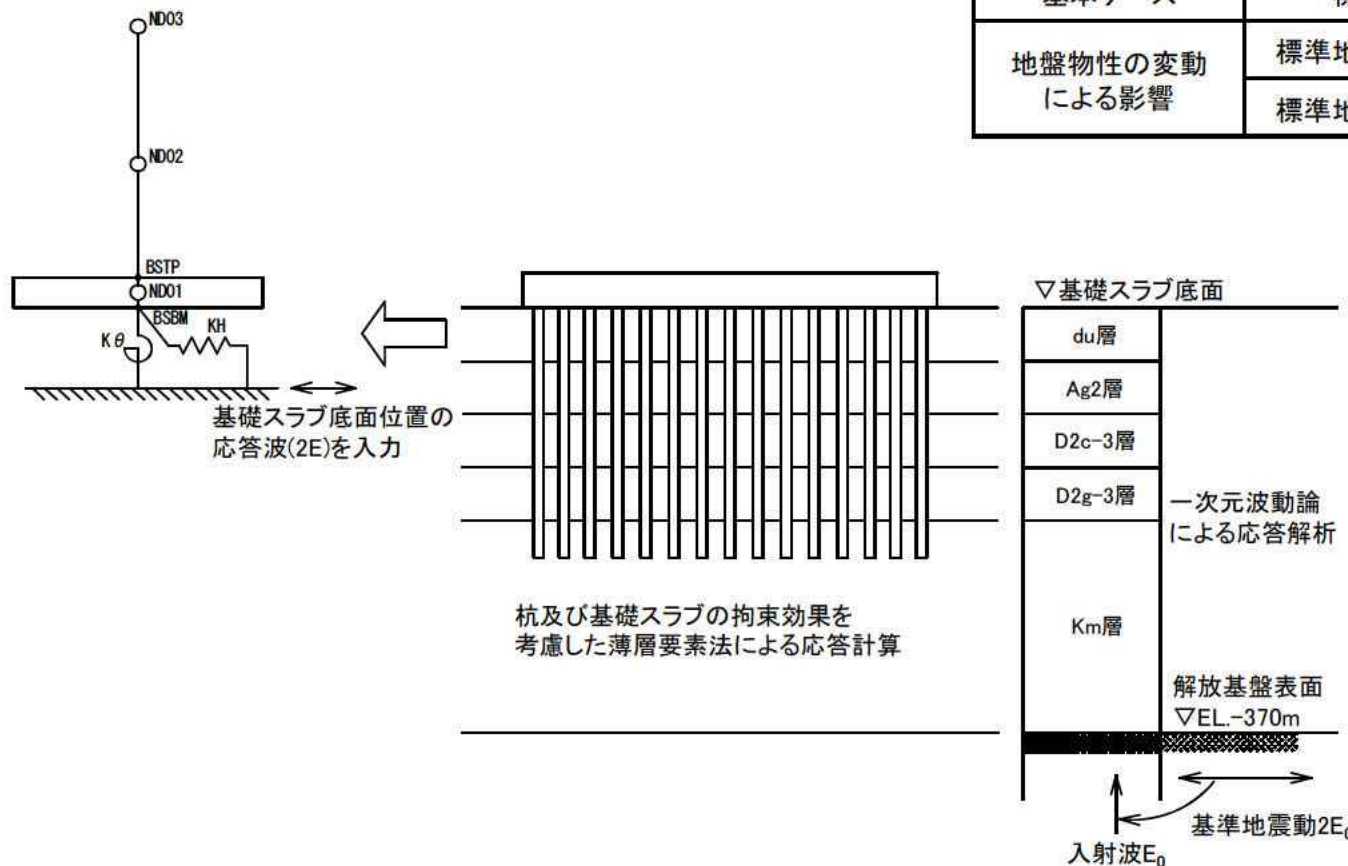


# 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

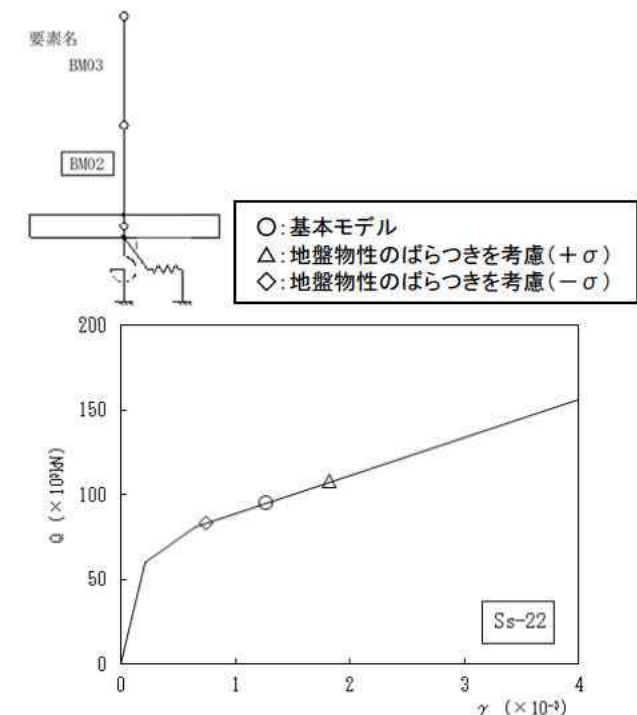
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ (8波)に基づく入力地震動を質点系モデルに入力して地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁について、全ての基準地震動 $S_s$ に対して各層のせん断ひずみを算出し、許容限界と比較した結果、せん断ひずみが全ての基準地震動 $S_s$ の中で最大となる $S_s-22$ の場合においても、耐震壁の最大せん断ひずみは $1.82 \times 10^{-3}$ (要素番号BM02, 地盤物性のばらつき(+ $\sigma$ ), NS方向,  $S_s-22$ )であり、波及的影響を及ぼさないための許容限界( $4.0 \times 10^{-3}$ (終局点))を超えないことを確認した。

地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+ $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(+ $\sigma$ )
	標準地盤- $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(- $\sigma$ )



地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図(水平方向)

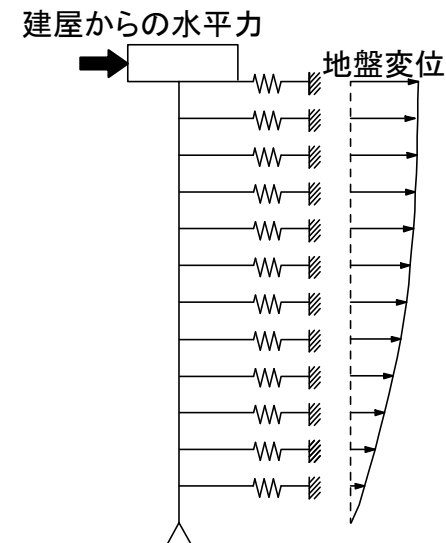


せん断スケルトン曲線上の最大応答値  
(要素番号BM02, NS方向)

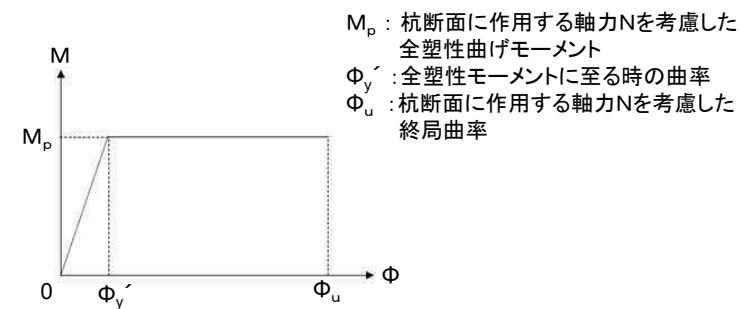
## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価(1/3)

### ○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価は、基準地震動 $S_s$ に対して支持機能を維持できることを確認するため、非線形はり-非線形地盤ばねモデルを用いた非線形応力解析を実施する。
- ・水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価する。
- ・全ての基準地震動 $S_s$ による建屋の地震応答解析で得られた建屋の水平力の最大値を杭頭位置に、全ての基準地震動 $S_s$ による自由地盤応答解析で得られた地盤変位の最大値を杭の水平地盤ばね位置に入力し、杭に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。
- ・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、**発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**  
 なお、杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。



杭の解析モデル図



杭の曲げモーメント-曲率(M- $\Phi$ )関係

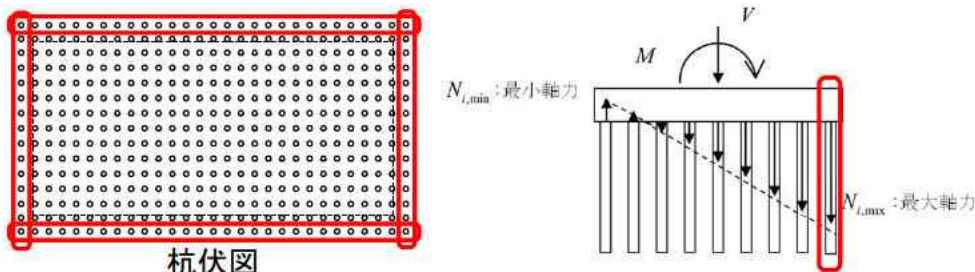
杭の評価結果

評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

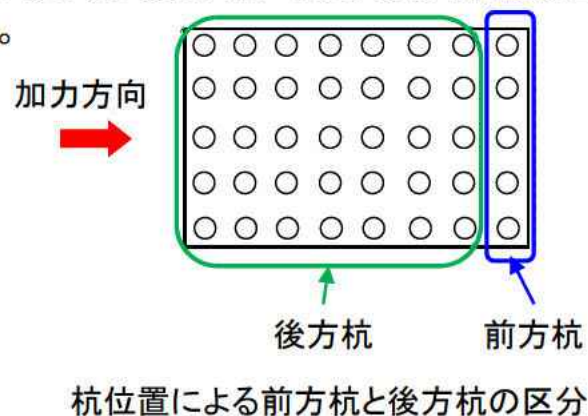


### ○ 杭の評価における評価対象位置について

- ・各水平方向において軸力が最大となる最外端位置の杭を対象とする。



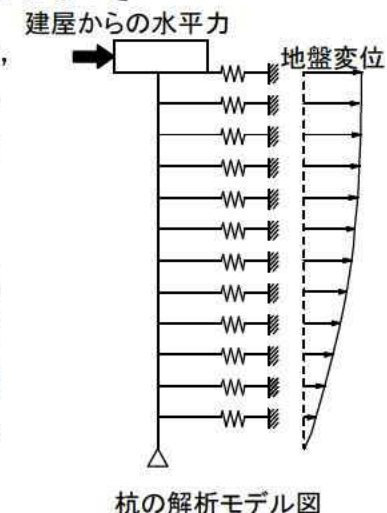
- ・杭の評価に用いる水平地盤ばねは、水平載荷試験結果に基づき評価した水平地盤反力係数に基礎指針に基づく群杭係数を乗じて評価する。
- ・評価の際に乘じる群杭係数は、水平地盤ばね反力が小さくなるよう、後方杭における群杭係数を前方杭にも用いる。



杭に作用する荷重条件が厳しくなる杭位置は、加力方向に対して前方杭である。

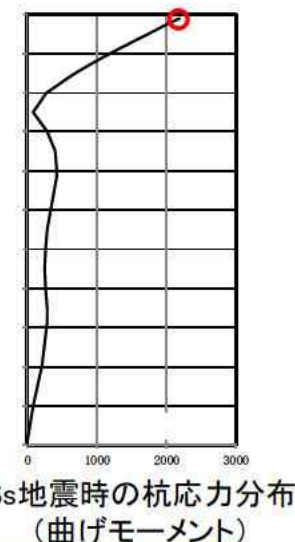
### ○ 杭の評価における保守性について

- ・杭応力に対する評価においては、杭径及び板厚が同一の杭であることから、1本の杭に代表させて評価を実施する。



- ・建屋からの水平力は、全ての基準地震動 $S_s$ による地震応答解析結果より得られた水平力の最大値を杭1本あたりの荷重として杭頭位置に入力する。

- ・地盤変位については、全ての基準地震動 $S_s$ に対する自由地盤応答解析より得られる杭先端位置に対する地盤の相対変位の最大値を強制変位として水平地盤ばね位置に入力する。



- ・ $S_s$ 地震時に発生する曲げモーメントは、杭頭位置で最大値を示しており、この曲げモーメントに対して許容値と比較し、評価を実施した。

杭に作用する荷重が保守的な条件となるよう、地震波毎や作用位置毎ではなく、全ての最大値を取るよう設定した。

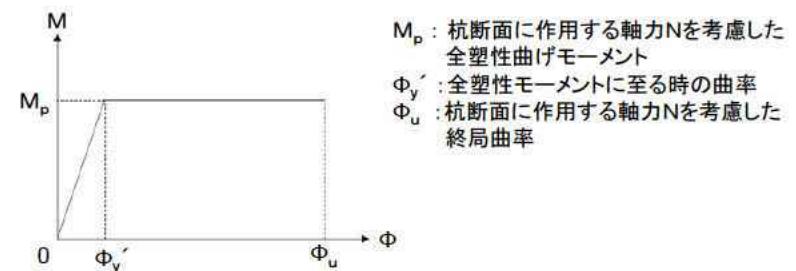


### ○ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価について

・いずれの評価項目も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、発生応力が許容限界を超えないことを確認した。

杭の曲げに対する評価において、実際の許容限界は終局曲率であるが、保守的に評価する観点から全塑性モーメントを許容限界として設定し、杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントを超えないことを確認した。

なお、実際の許容限界である終局曲率に対する検定比は0.246であり、1に対して十分な余裕を有しており、今回の解析モデルにより杭を適切に評価できている。



杭の曲げモーメント-曲率(M-φ)関係

※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

そのため、杭の曲げに対する評価では終局曲率に対して余裕のある結果であれば耐震設計上問題となるものではない。

#### 杭の評価結果

評価項目	S <sub>s</sub> 地震時の発生値	許容値 (全塑性モーメント)	検定比
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996

評価項目	S <sub>s</sub> 地震時の発生値	終局曲率	S <sub>s</sub> 地震時の発生値 / 終局曲率
曲率	$0.389 \times 10^{-2}$ (1/m)	$1.58 \times 10^{-2}$ (1/m)	0.246

