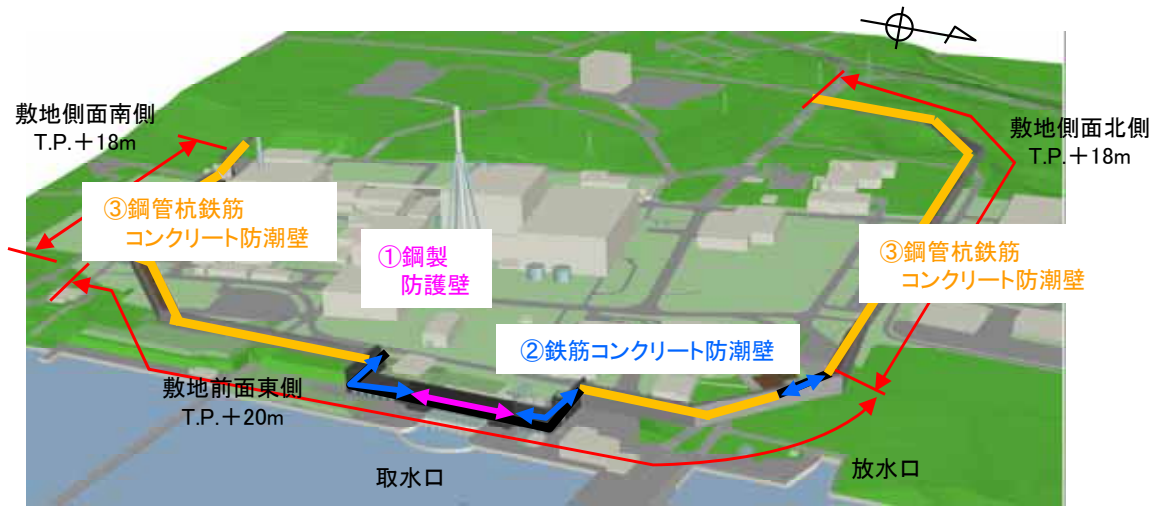
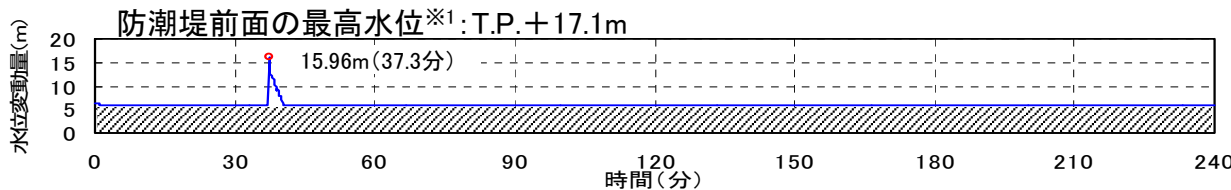


7. 防潮堤の構造 (1/8)

○ 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



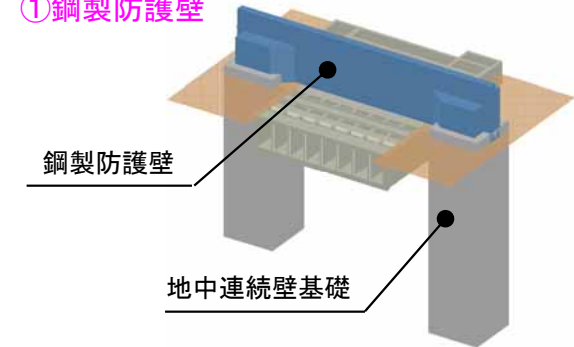
※1: 最大水位上昇量 (15.96m) に期望平均満潮位 (T.P.+0.61) 及び地殻変動量 (2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む) を考慮 (0.31m, 0.2m) * 15.96+0.61+0.31+0.2 ≒ 17.1 m

防潮堤前面の最高水位の時刻歴波形

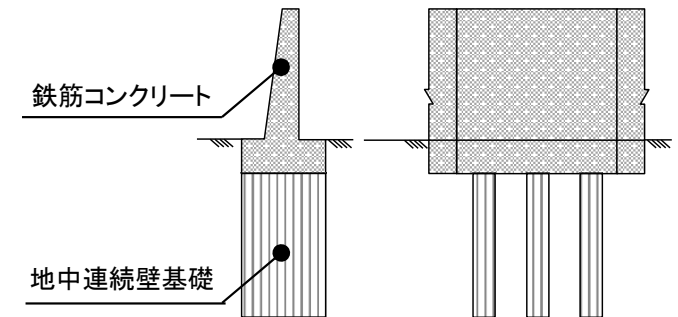
敷地区分毎の入力津波高さとの防潮堤高さ

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

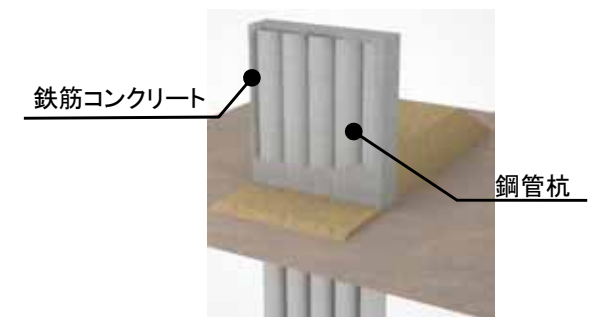
①鋼製防護壁



②鉄筋コンクリート防潮壁



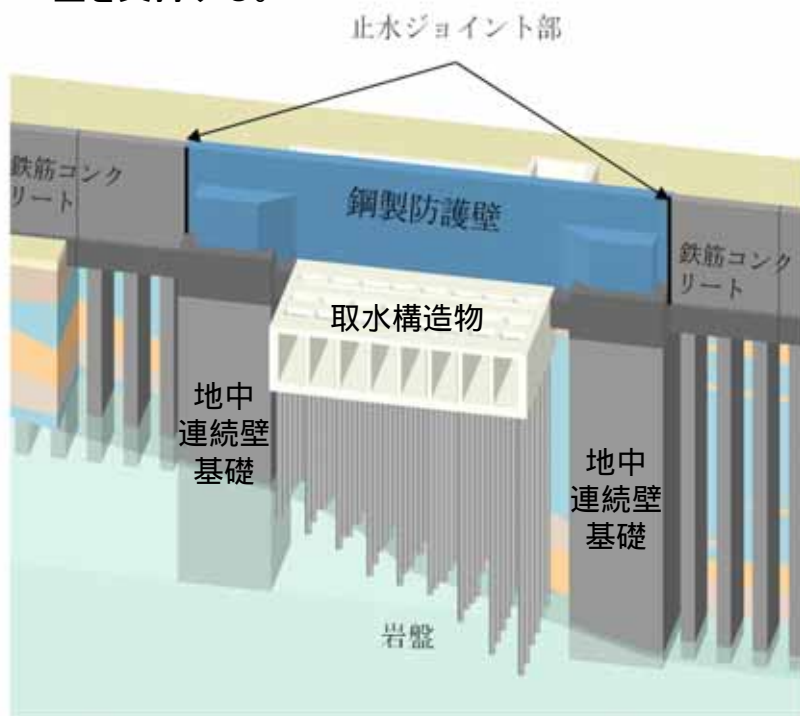
③鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



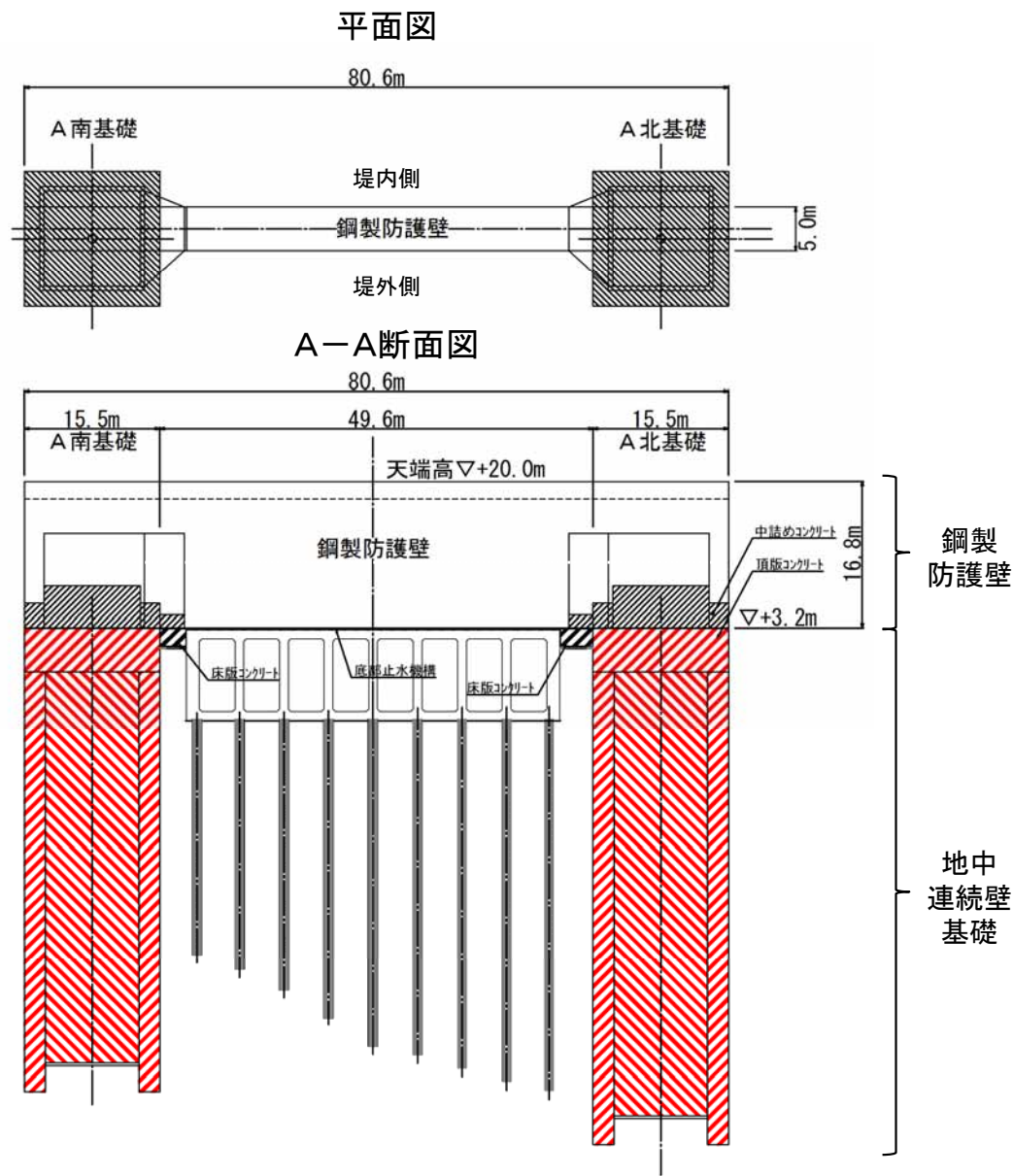
防潮堤の構造イメージ

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。



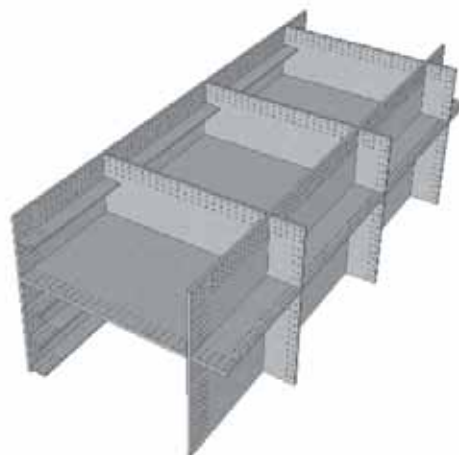
構造概要図(イメージ図)



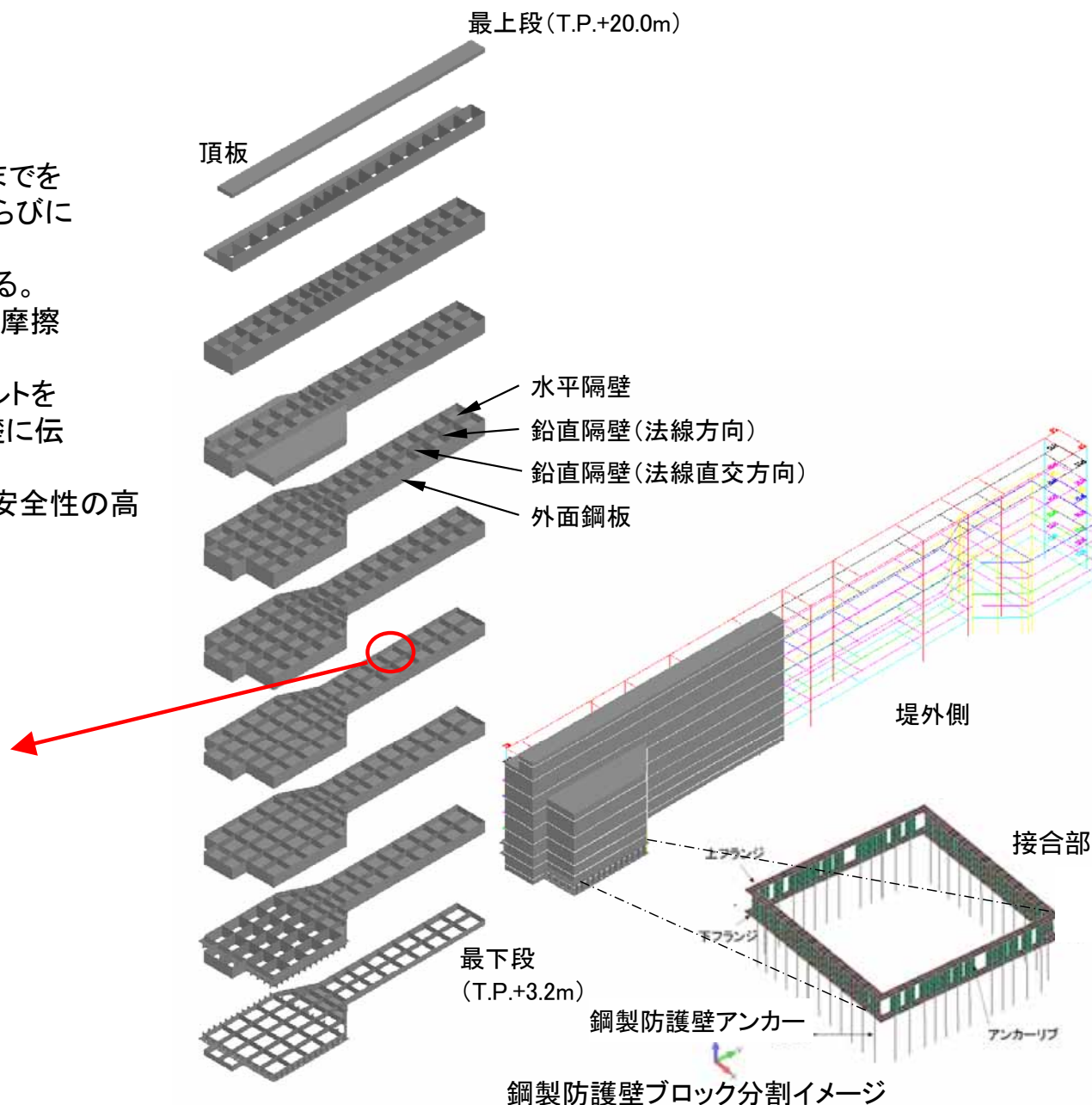
① 鋼製防護壁の構造

ブロック分割イメージ

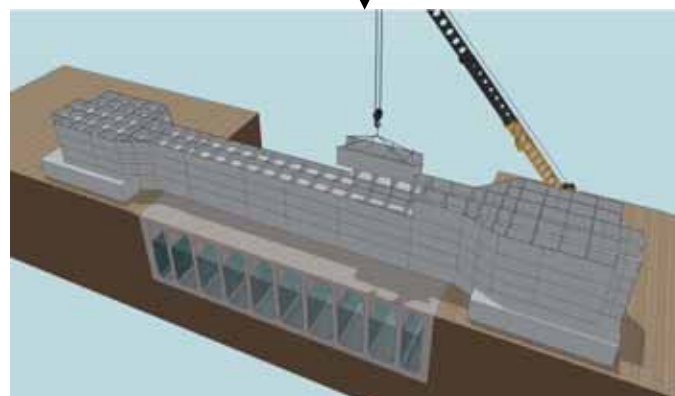
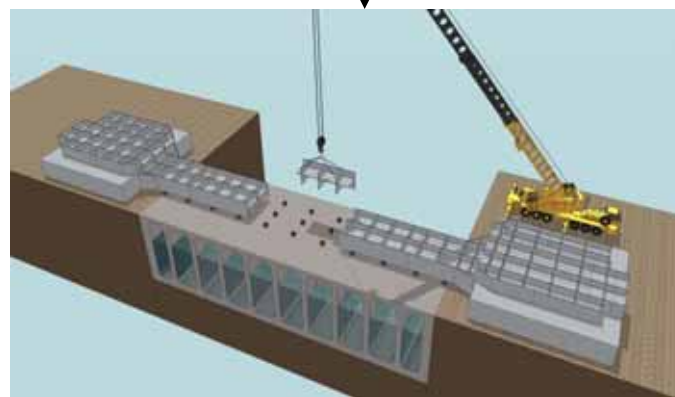
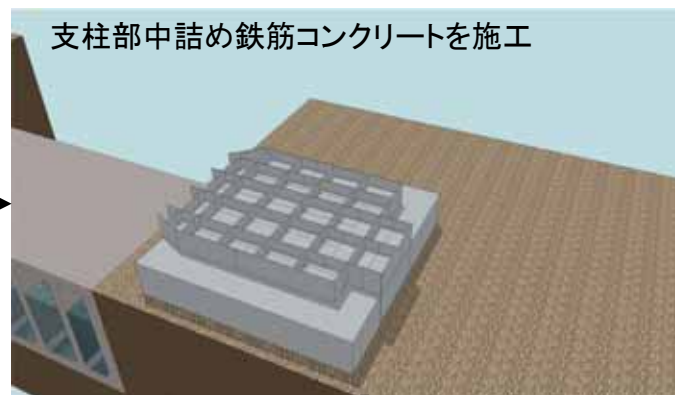
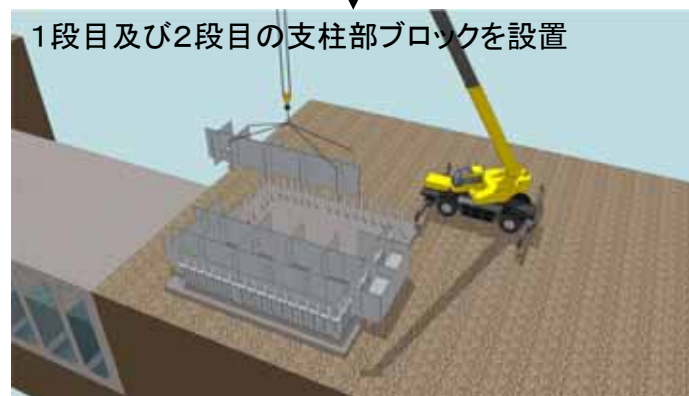
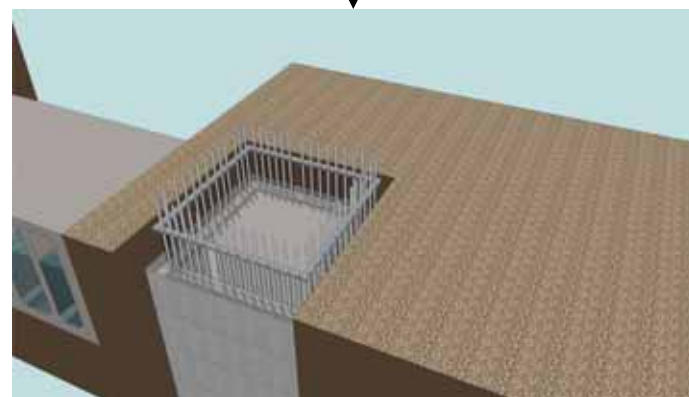
- ・下端標高T.P.+3.2mから天端標高T.P.+20.0mまでを10層に分割し、頂版、外面鋼板、水平隔壁ならびに鉛直隔壁で構成される。
- ・各層は下に示すブロックが複数結合されている。
- ・ブロック同士は、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合する。
- ・鋼製防護壁の拡幅部最下層にはアンカーボルトを設置し、上部工からの荷重を地中連続壁基礎に伝達する。
- ・添接板部には止水材(シール材)を施し、より安全性の高い止水性を確保する。



ブロックのイメージ図



① 鋼製防護壁の構造 施工ステップ図



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。

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。

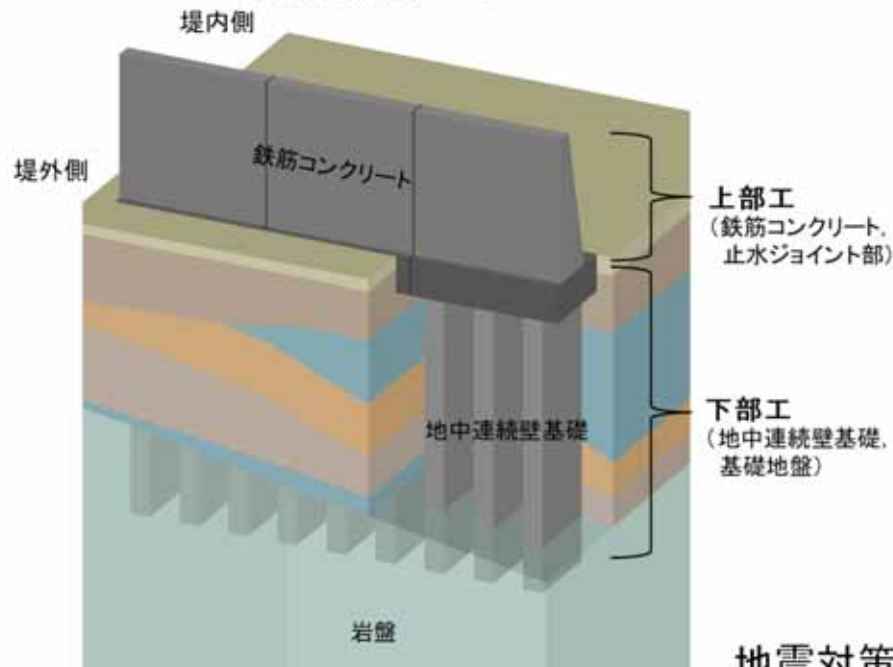
7. 防潮堤の構造 (5/8)

② 鉄筋コンクリート防潮壁(取水口)

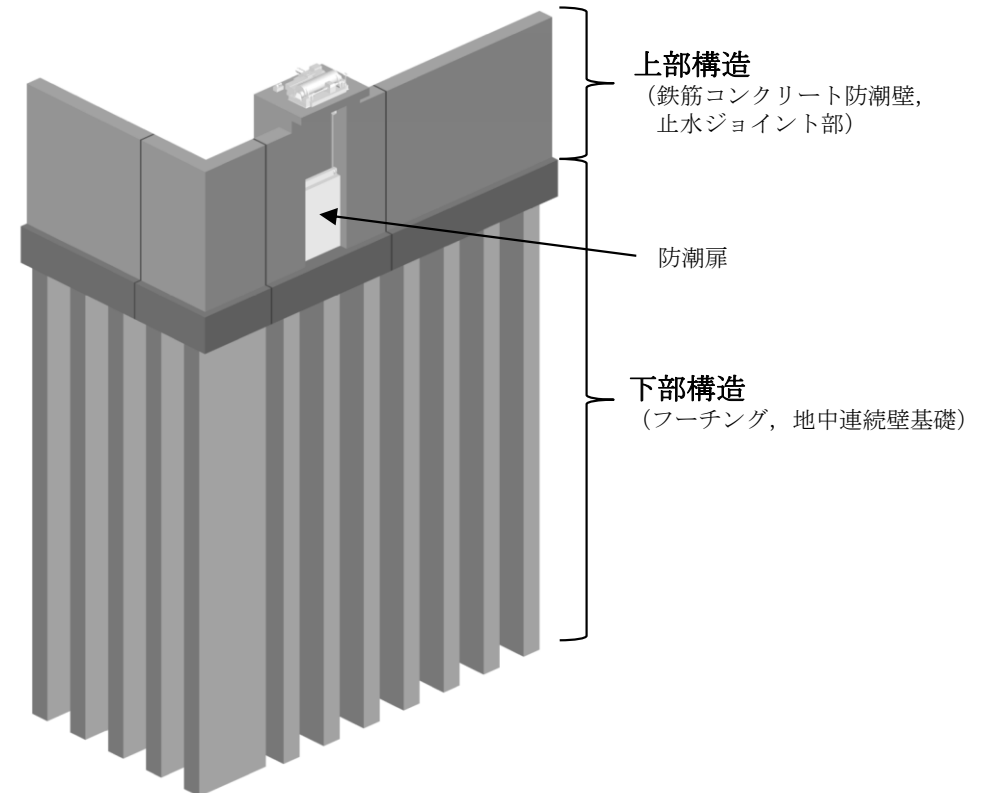
- 鉄筋コンクリート製の地中連続壁基礎の上に鉄筋コンクリート製の防潮壁を構築する。
- 防潮壁及び地中連続壁基礎はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とする。
- 防潮壁間には、地震時や津波時の変形量に追随し、津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。



防潮堤設置イメージ



地震対策-306



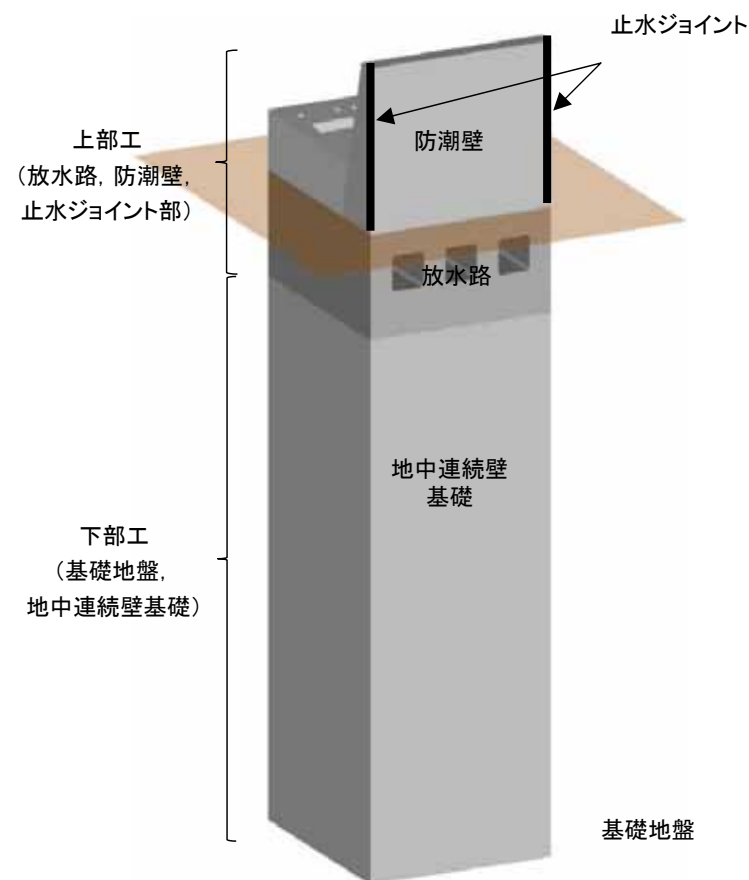
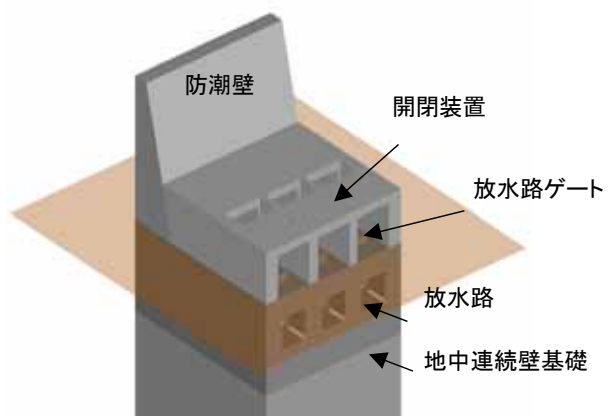
取水口北側エリアイメージ

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。

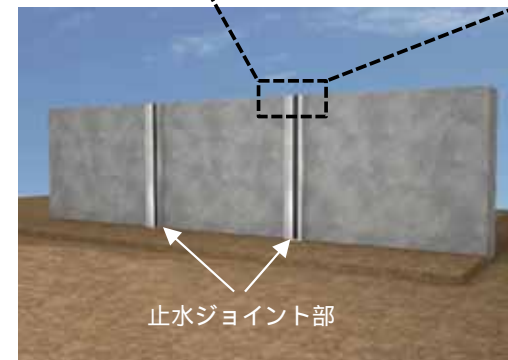
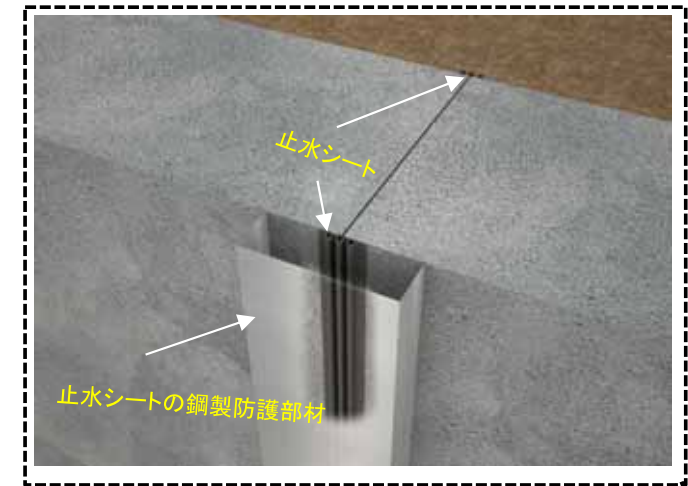
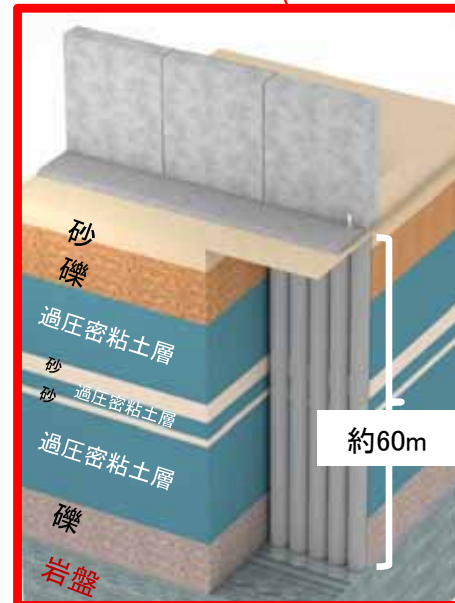
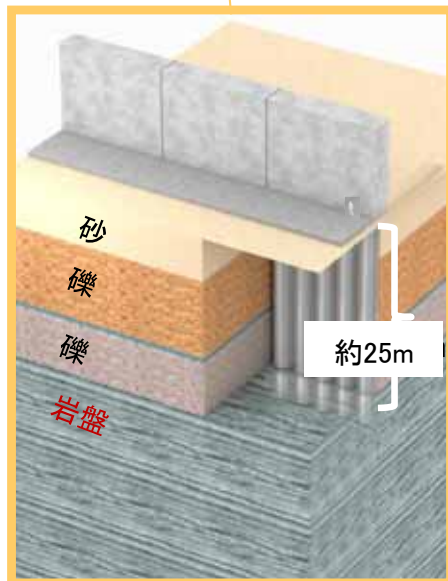
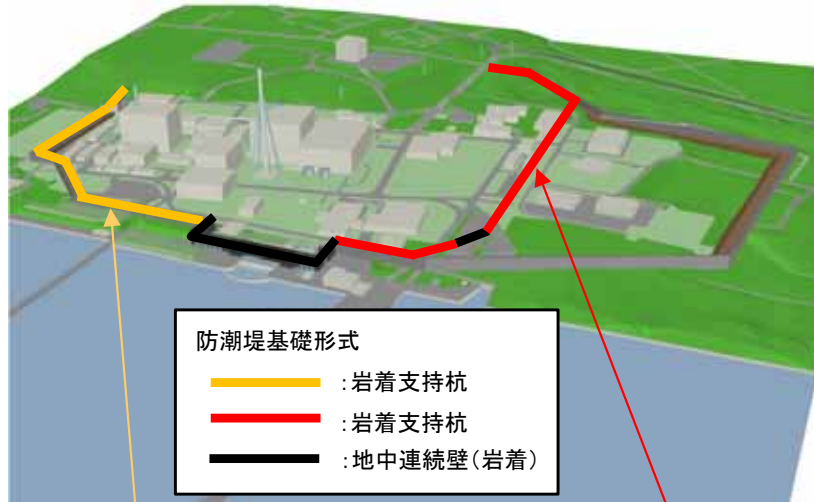


防潮堤設置イメージ



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。

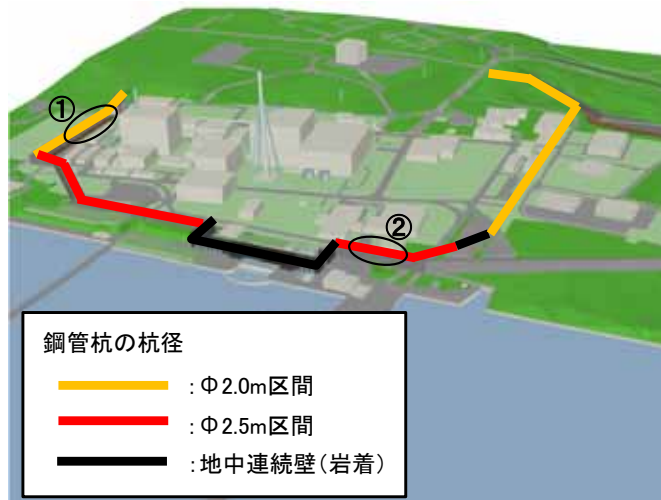


止水ジョイント部イメージ

7. 防潮堤の構造 (8/8)

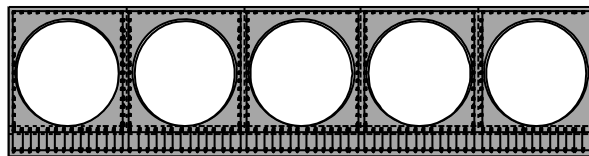
③ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

○ 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。



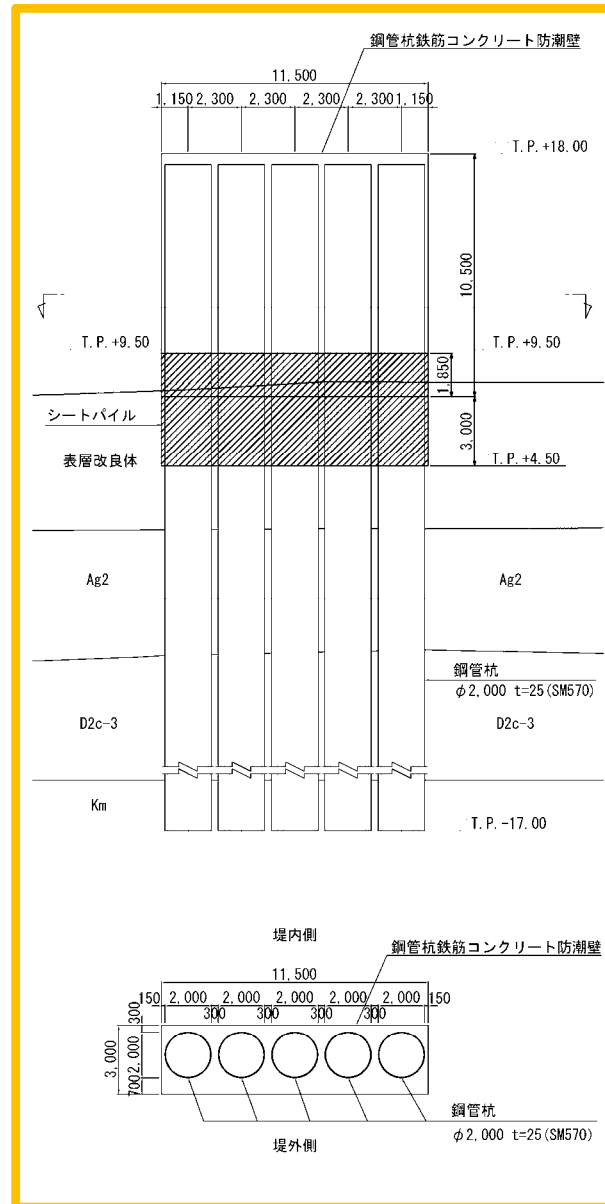
	杭径Φ2.0m	杭径Φ2.5m
杭の間隔	2.3m	2.8m
防潮壁サイズ	11.5m × 3.0m	14.0m × 3.5m
防潮堤天端	T.P.+18.0m	T.P.+20.0m

堤内

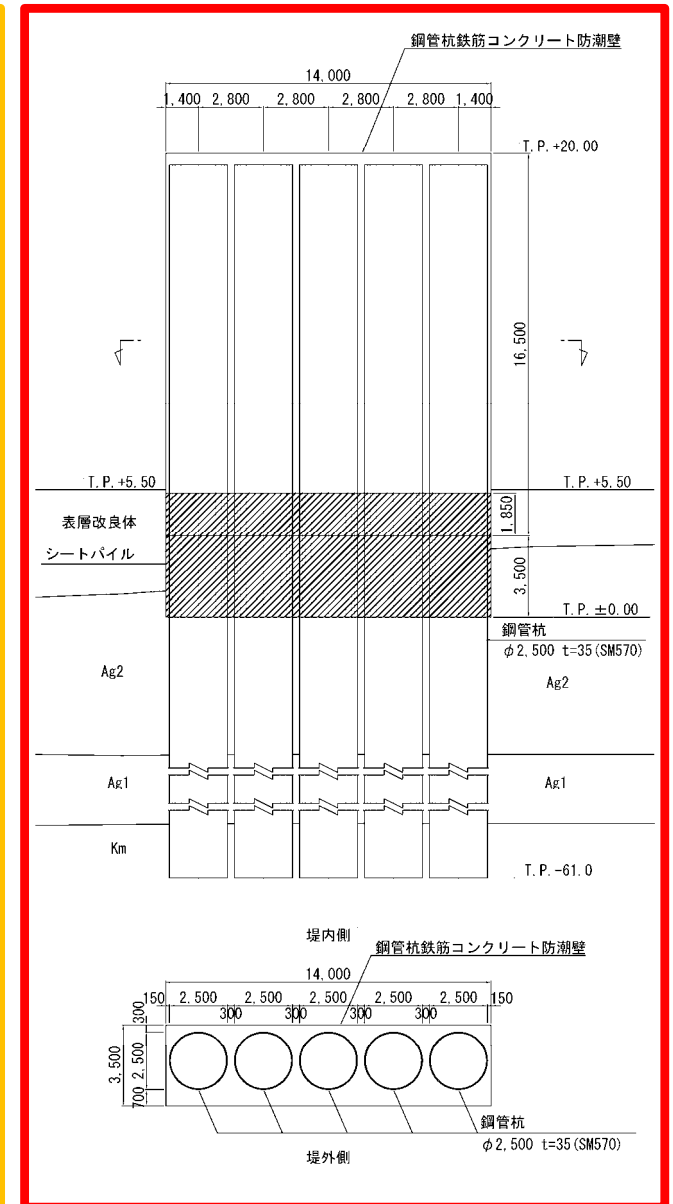


堤外

上部構造の配筋イメージ図



① 構造図(Φ2.0m区間)

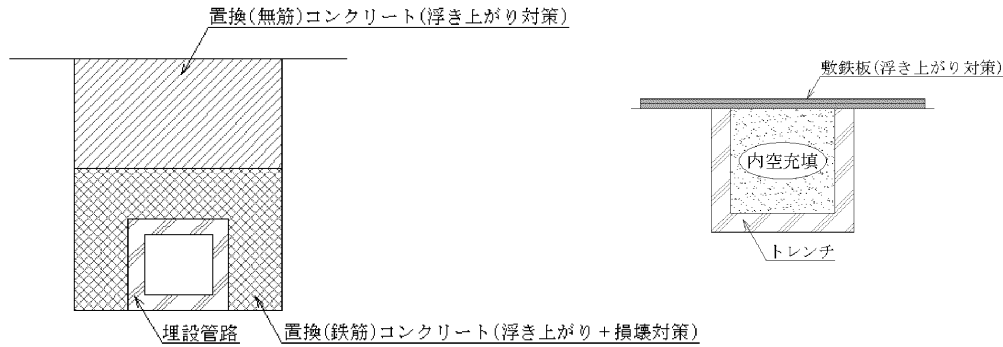


② 構造図(Φ2.5m区間)

8. 屋外アクセスルートの補強対策 (1/3)

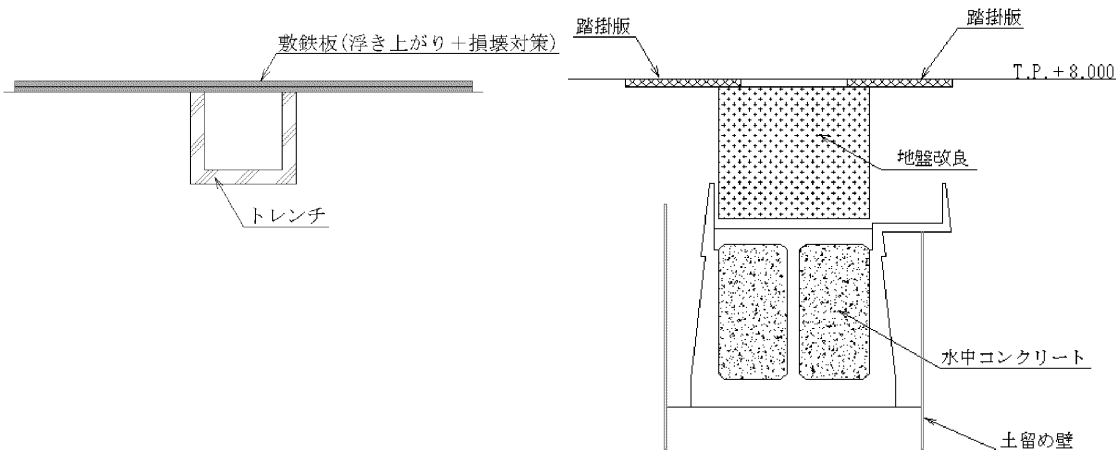
○ アクセスルートの補強対策

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。



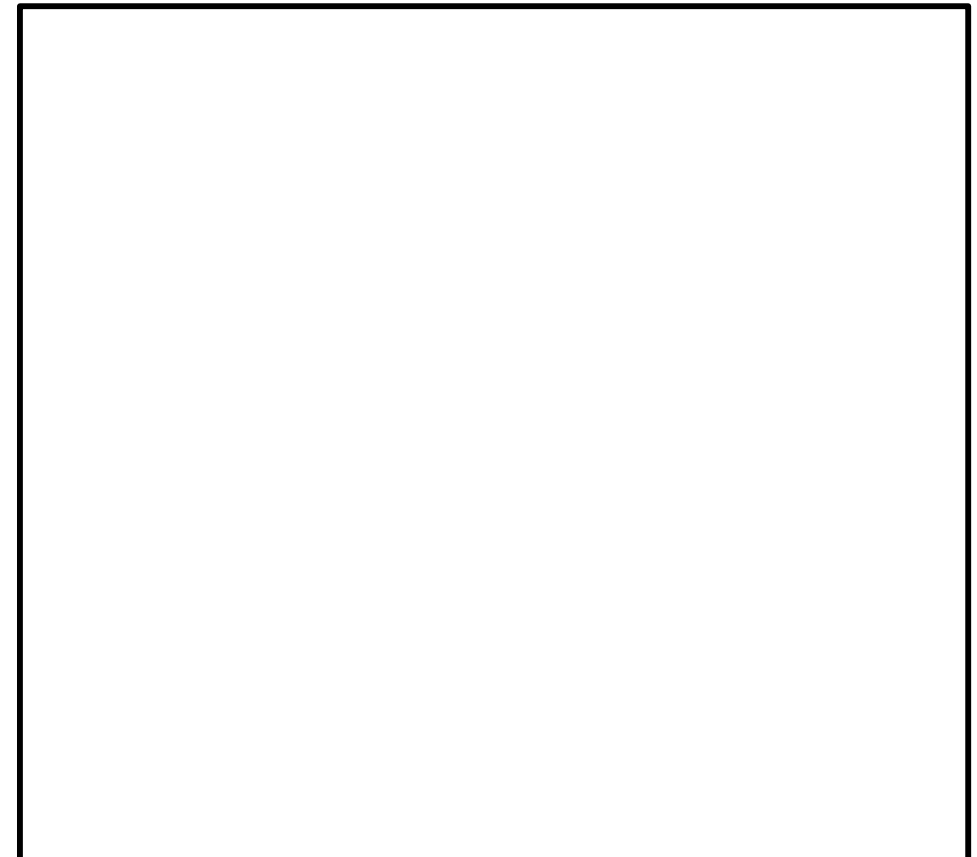
タイプA: 置換コンクリート (No.6 他)

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	RHR S配管	-	○	-	-	*
92	RHR S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	予備変圧器洞道	-	-	-	○	B
126	蒸気系配管	-	-	-	-	-
127	電線管路	-	-	-	-	-
128	電線管路	-	-	-	-	-
129	RHR S配管	-	○	-	-	*
130	RHR S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

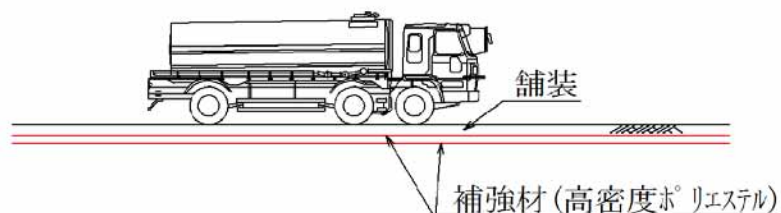
注記 *：RHR S配管上を通るアクセスルートの直下は地盤改良体が設置されることから，RHR S配管の浮き上がりは発生しない。

○ 確実性を高めるための更なる対策

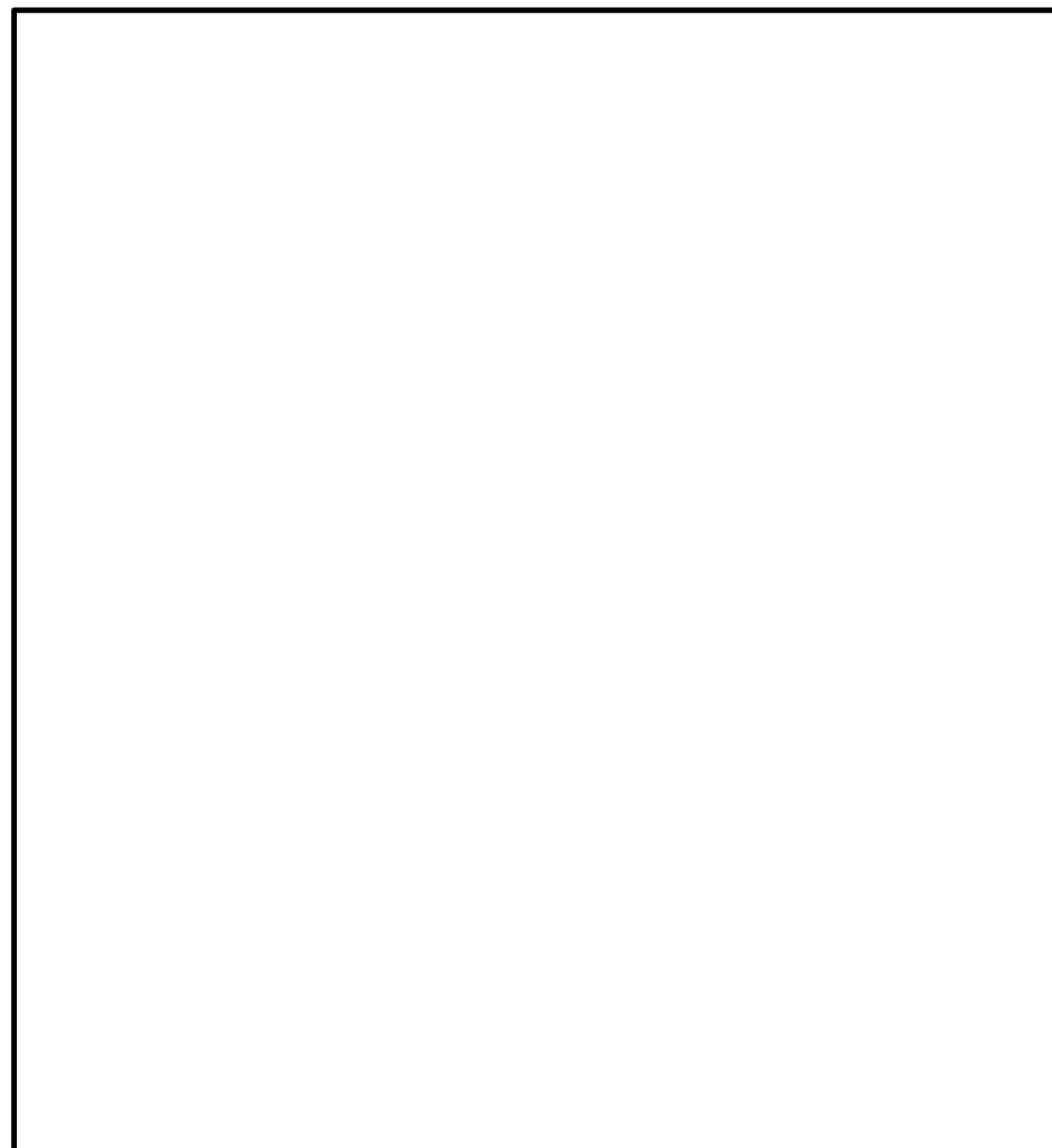
補強対策を実施する箇所以外は、地質状況から、液状化及びゆすり込み沈下により地表面がほぼ一定に沈下することから、局所的な沈下は発生しにくいと考えられる。

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

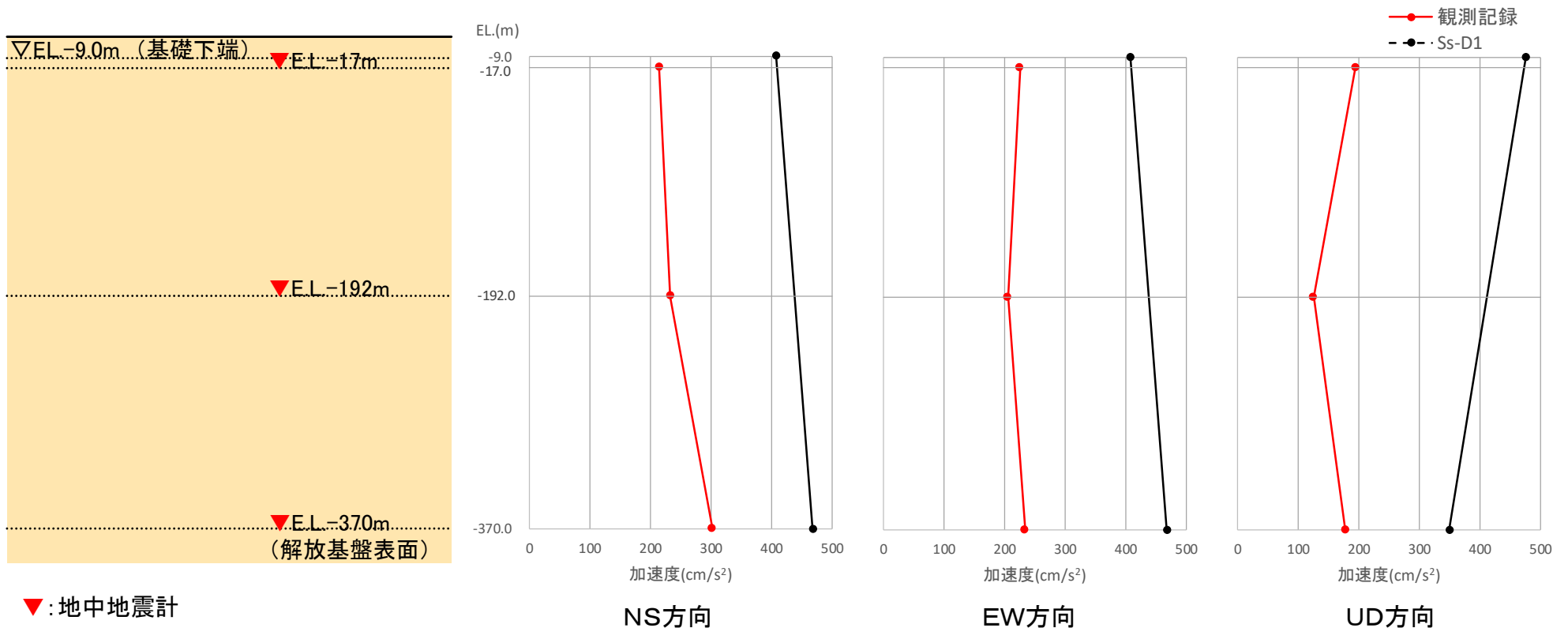


地震後



路盤補強等の実施箇所図

○2011年東北地方太平洋沖地震における地中地震計の観測記録の最大加速度と、S_s-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_s-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_s-D1以外の基準地震動S_sについても概ね同様の傾向を示している。



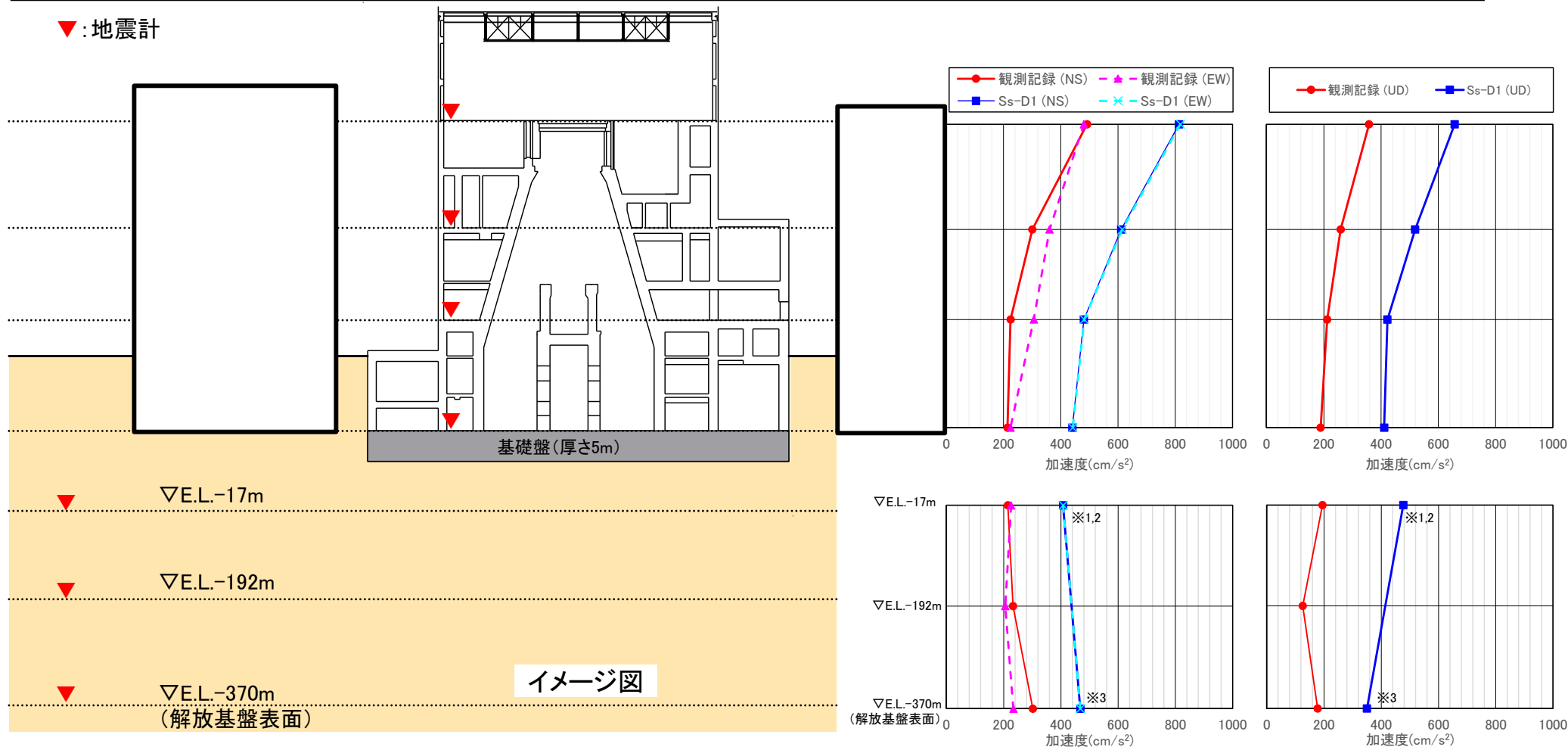
2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録とS_s-D1の最大加速度値の比較



○2011年東北地方太平洋沖地震における観測記録の最大加速度と、S_s-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_s-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_s-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。

▼:地震計



水平方向

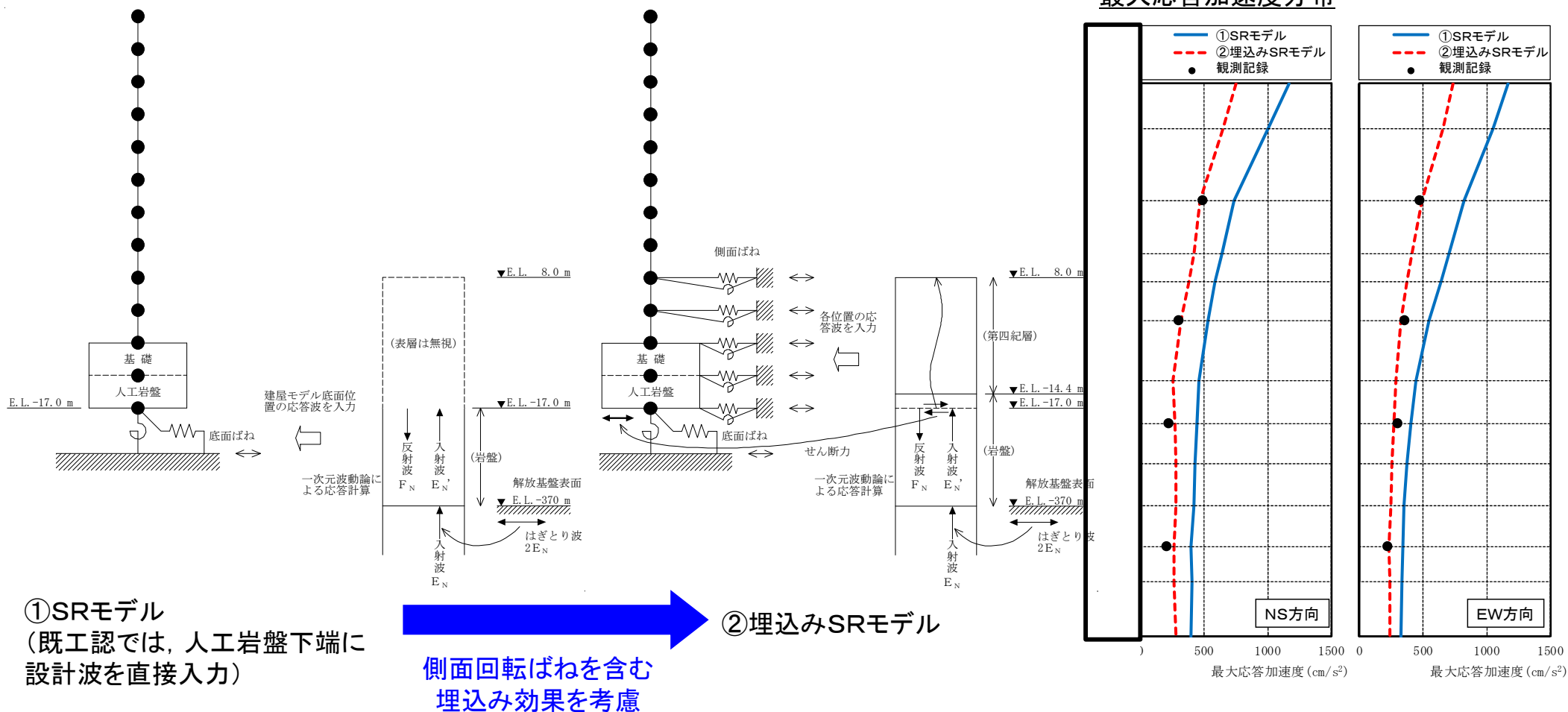
上下方向

参考 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



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。

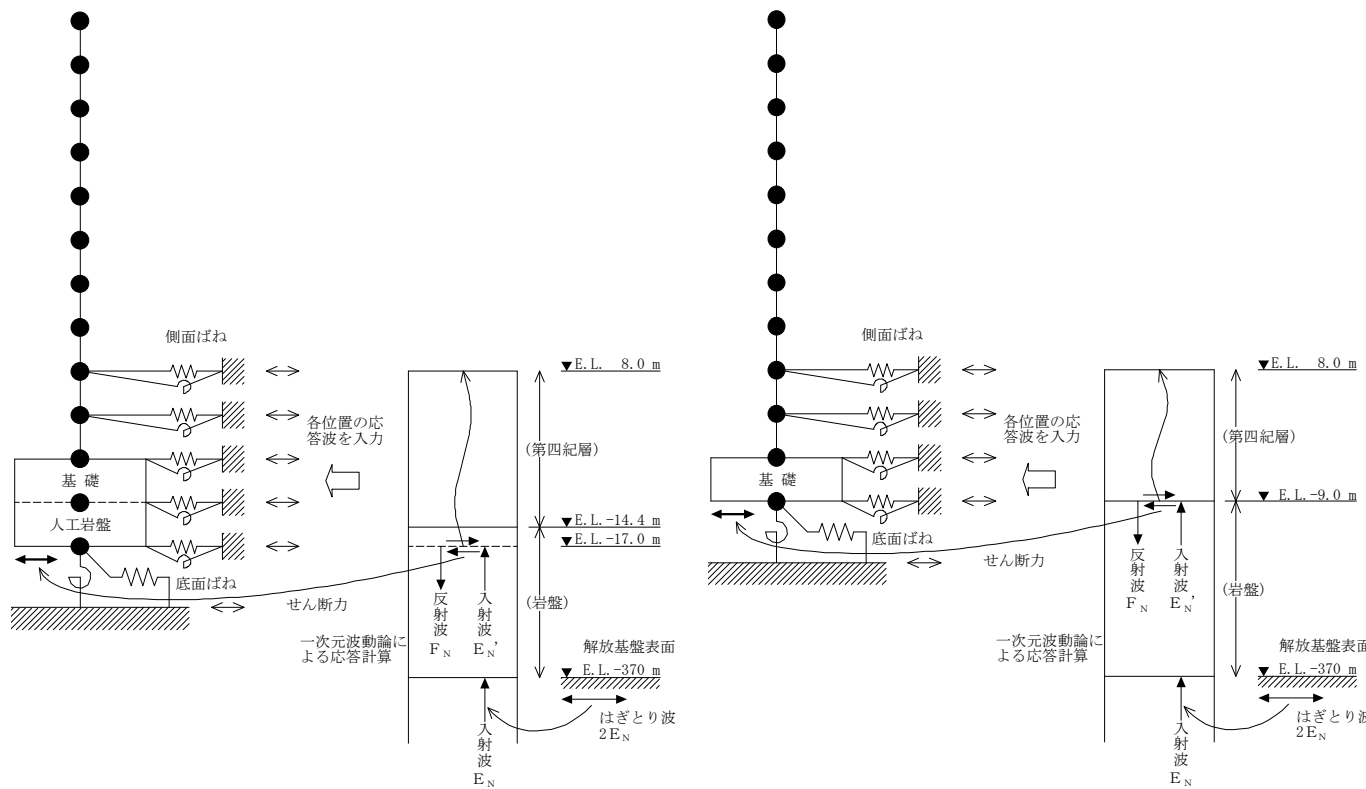
参考 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)



・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



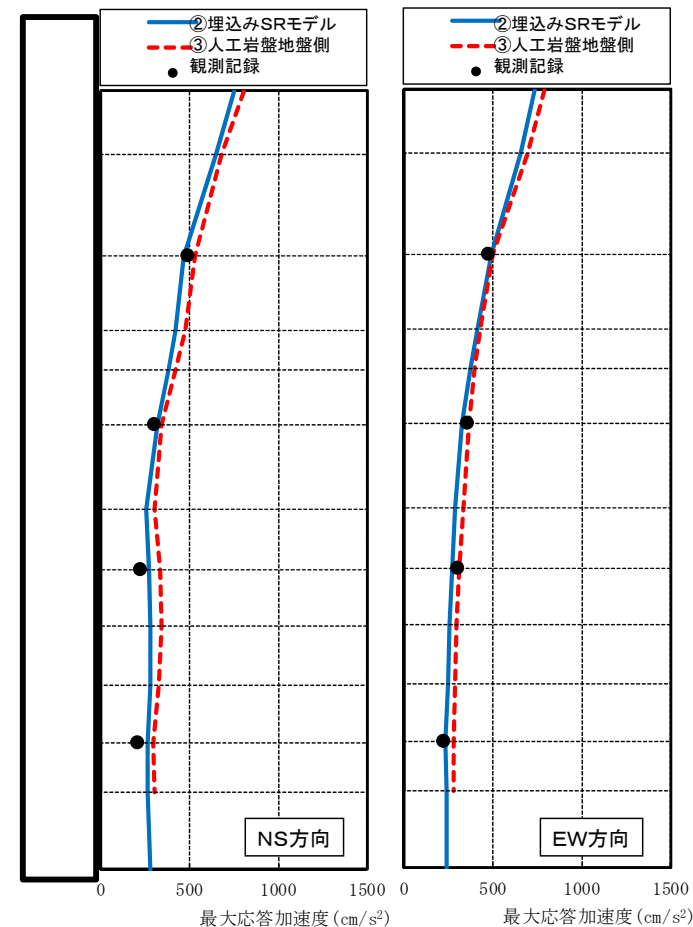
②埋込みSRモデル



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



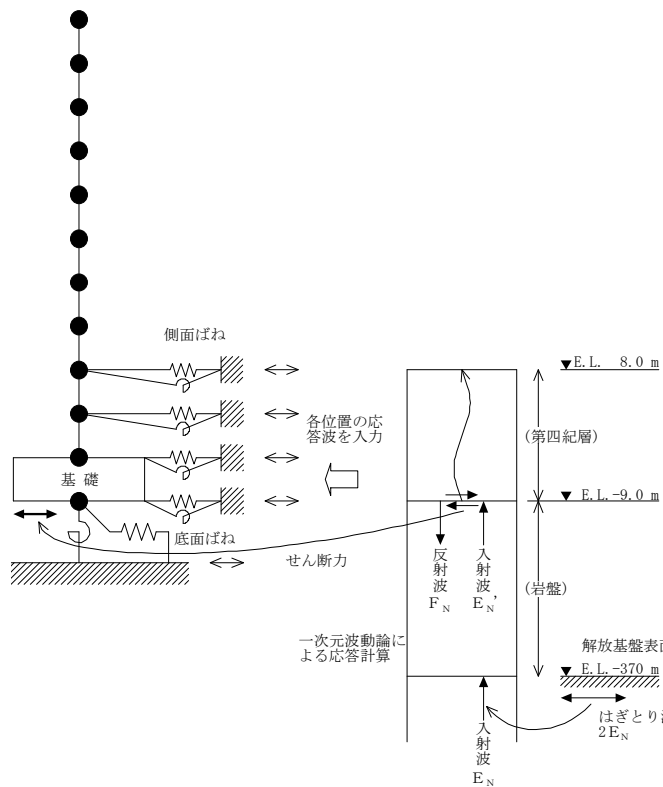
②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

参考 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(3/3)

・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。

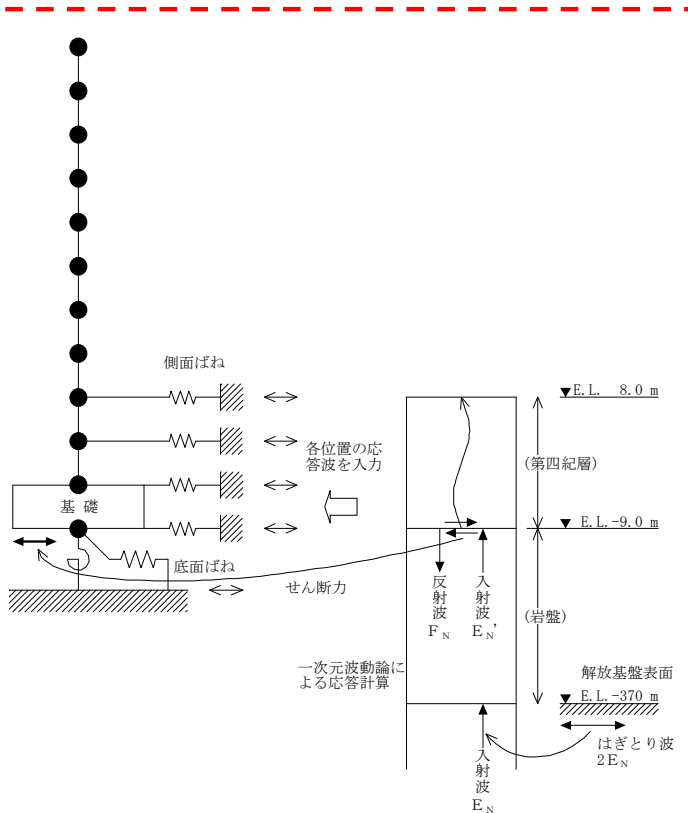
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

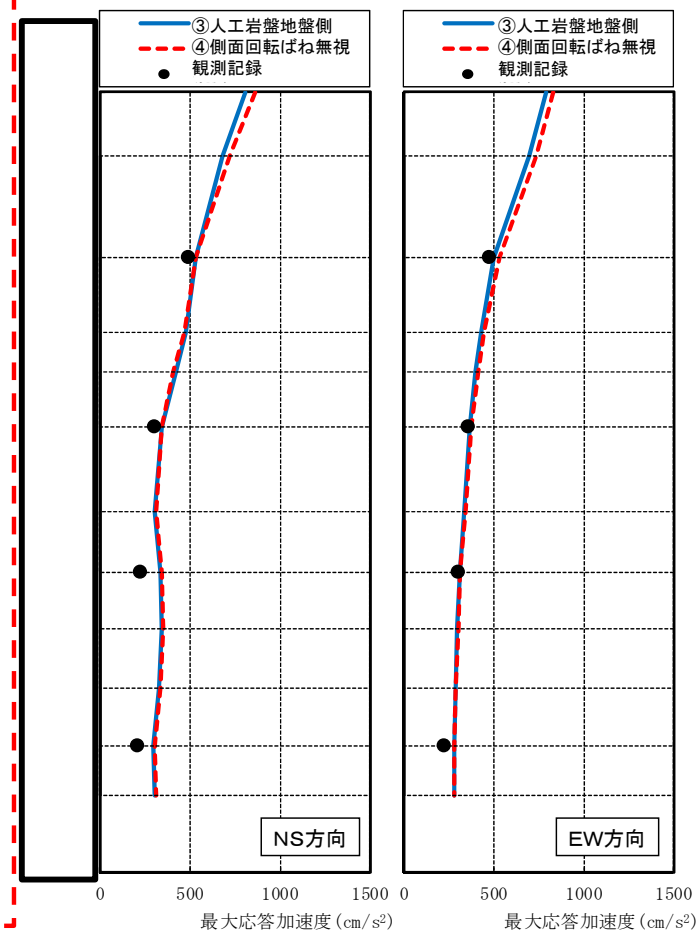
側面回転ばねを
考慮しない場合



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。

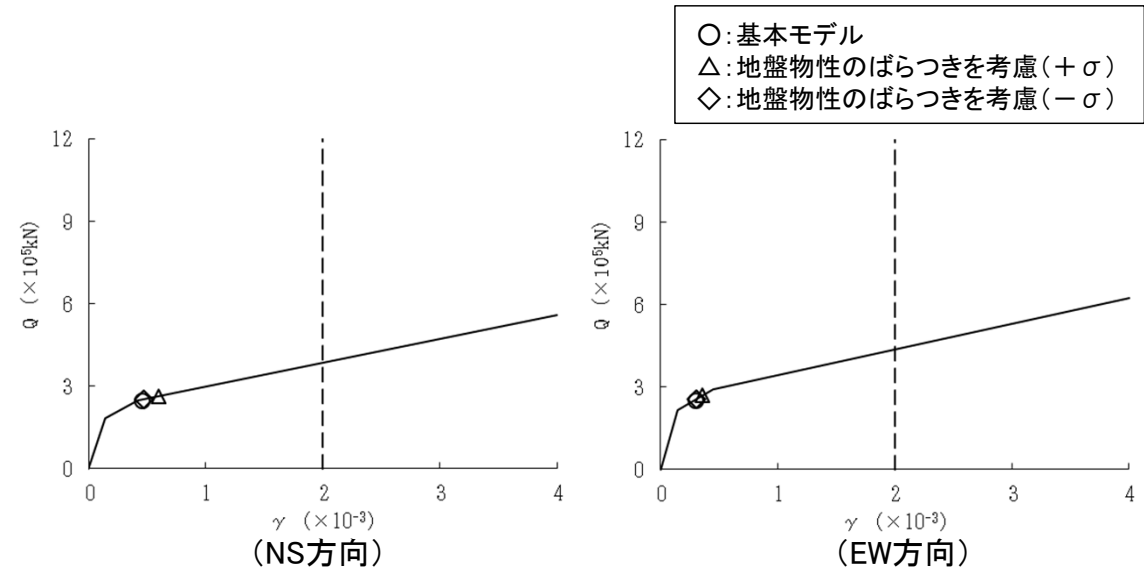
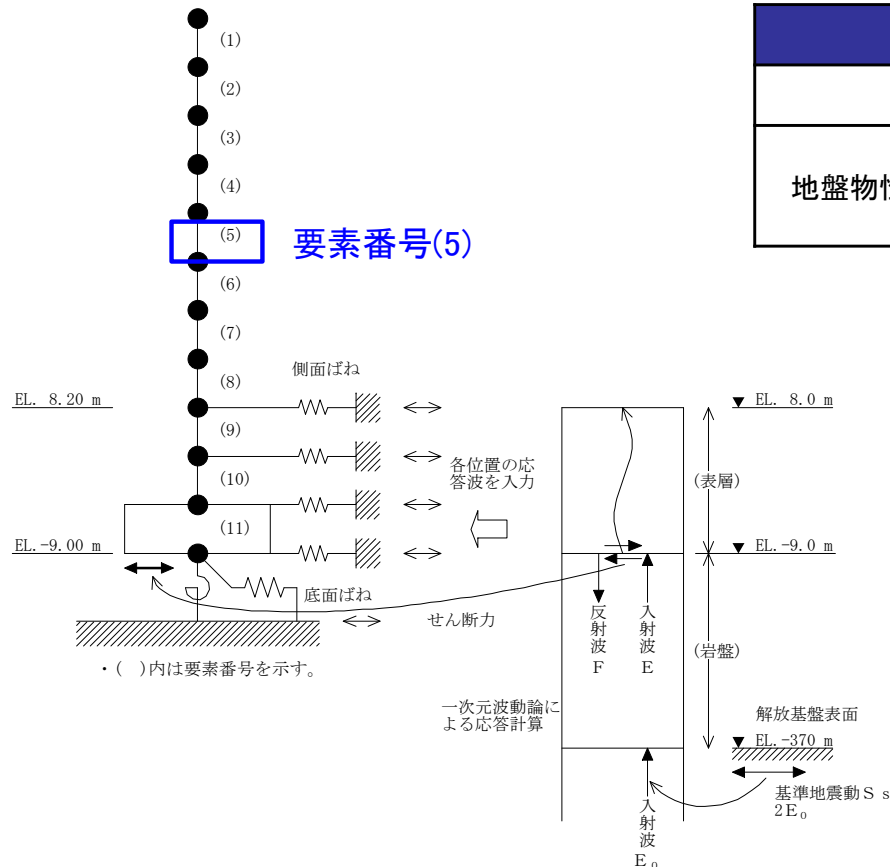
参考 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション結果(1/2)

○ 原子炉建屋

- ・解放基盤表面で定義される基準地震動S_s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⁽¹⁾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⁽²⁾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 0.60×10^{-3} (要素番号(5)、地盤物性のばらつきを考慮(+σ)、NS方向、S_s-31)であり、許容限界(2.0×10^{-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)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値(S_s-31, 要素番号(5))

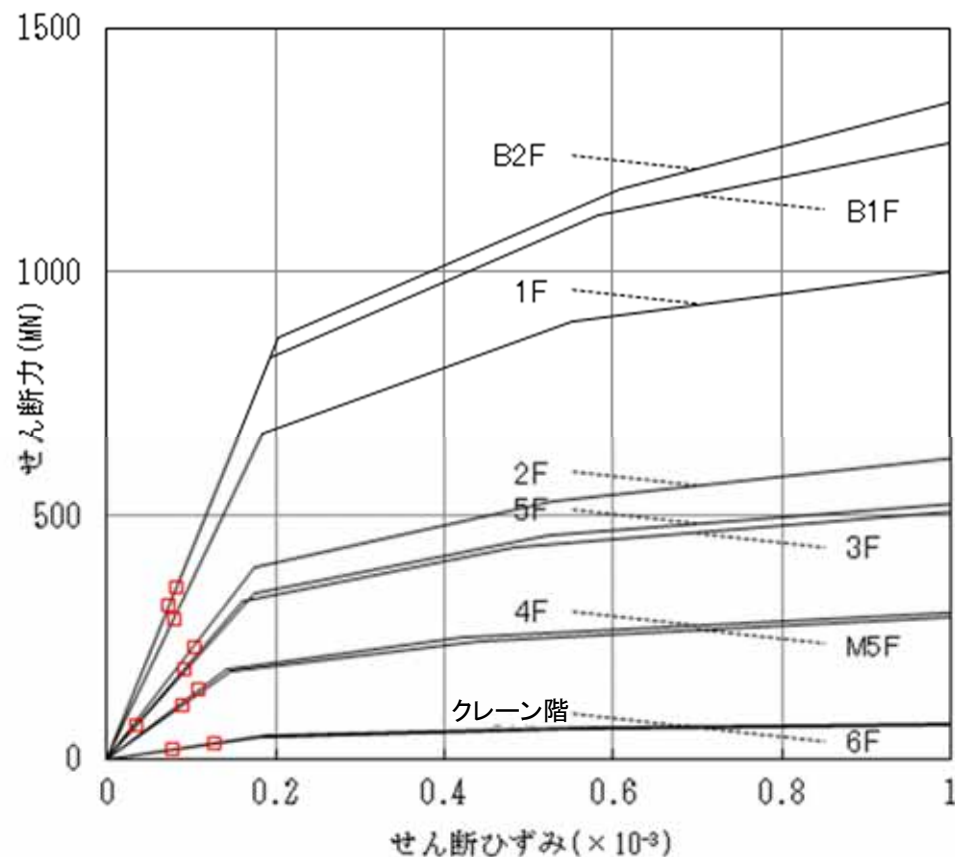
E, E₀, F: 波の振幅

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

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(2/2)

○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ぎとり波を入力し、影響検討を行った。

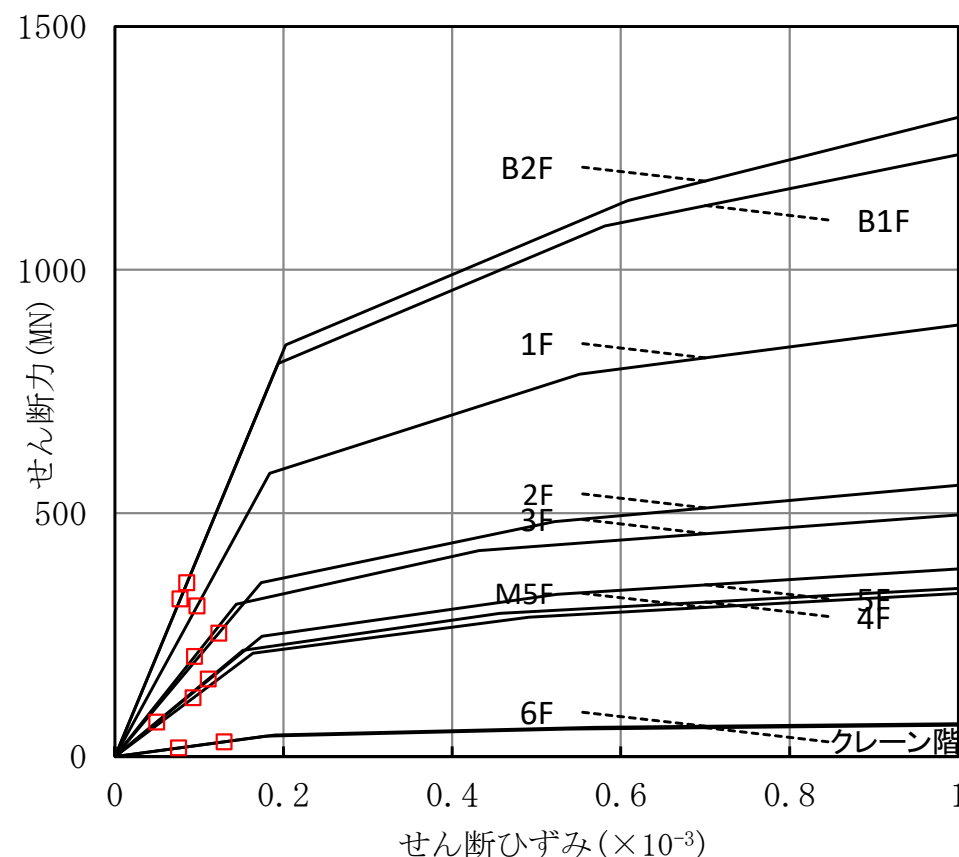
【せん断スケルトン上の最大応答値:Q-γ】



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。

1-1. 液状化強度試験 内容(1/3)

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 F_c が35%以下, 又は F_c が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層
 - 土粒子の平均粒径 D_{50} が10mm以下で, かつ10%粒径 D_{10} 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。

↑
敷地に分布する地層名

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

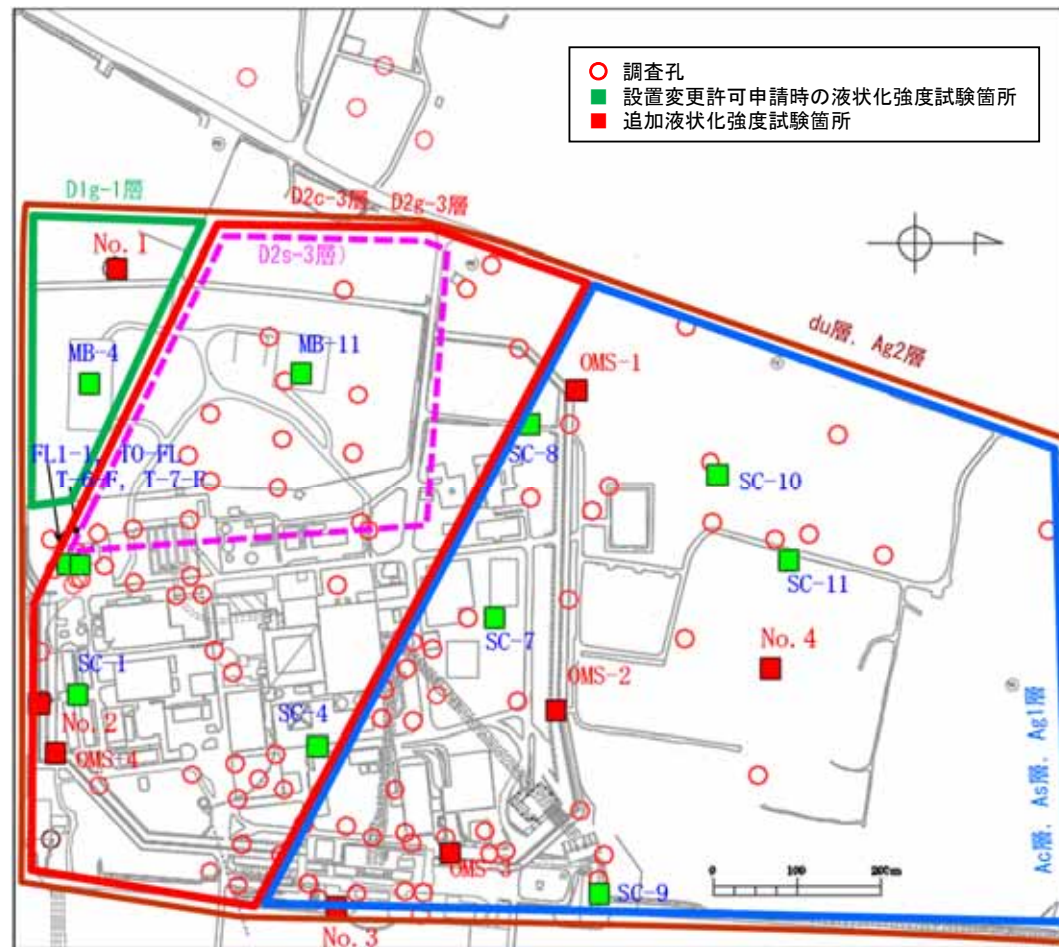
□: 道路橋示方書では検討対象外であるが検討対象とするもの

—: 検討対象外

□ (pink box): 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

1-1. 液状化強度試験 内容(2/3)

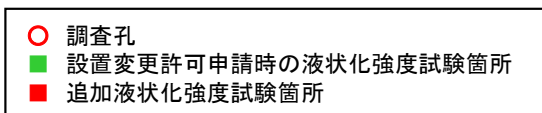
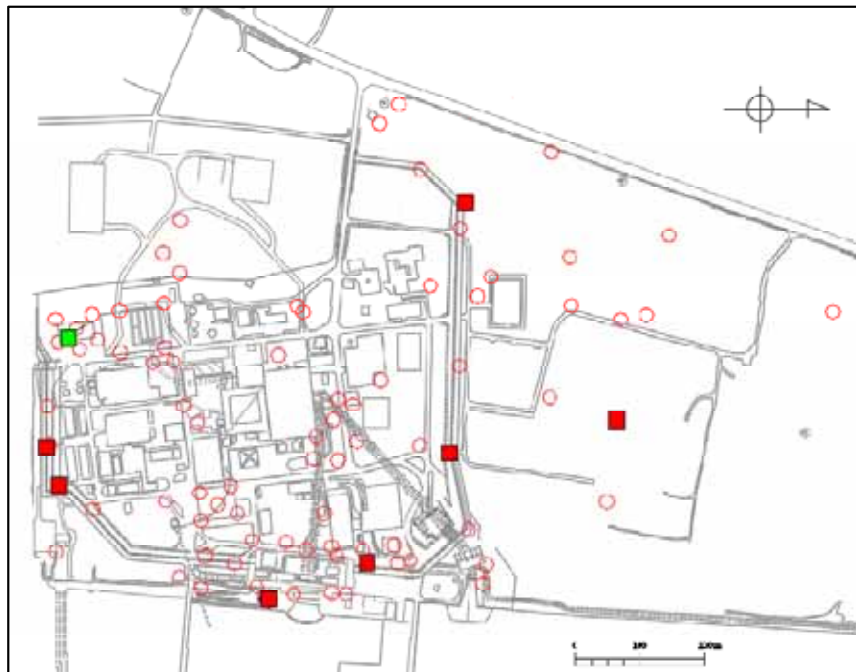
液状化強度試験のための試料採取は、その地層の標準貫入試験のN値、細粒分含有量 F_c 及び道路橋示方書式から算定される液状化強度比 R_L のデータを吟味して、保守的な液状化強度データが得られると想定される個所で行った。次頁に液状化強度試験試料採取位置の代表性確認方法を示す。



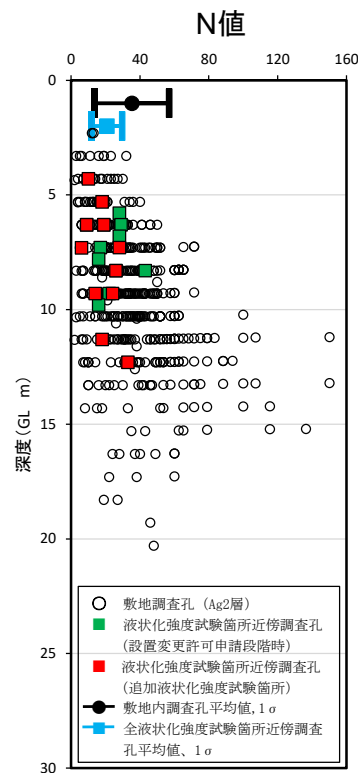
液状化検討対象層の分布範囲及び敷地内調査孔、液状化強度試験試料採取箇所

10. 液状化に関する考慮

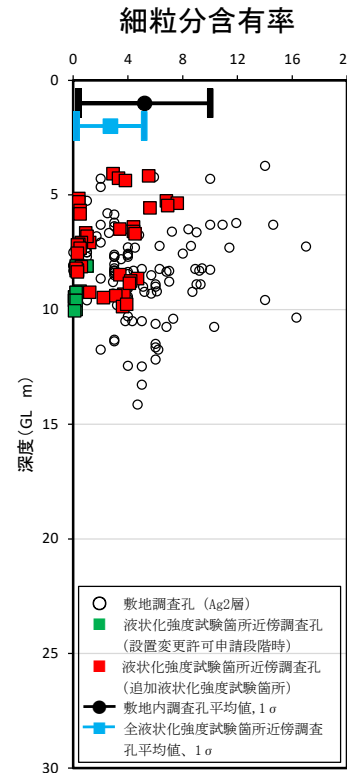
1-1. 液状化強度試験 内容(3/3)



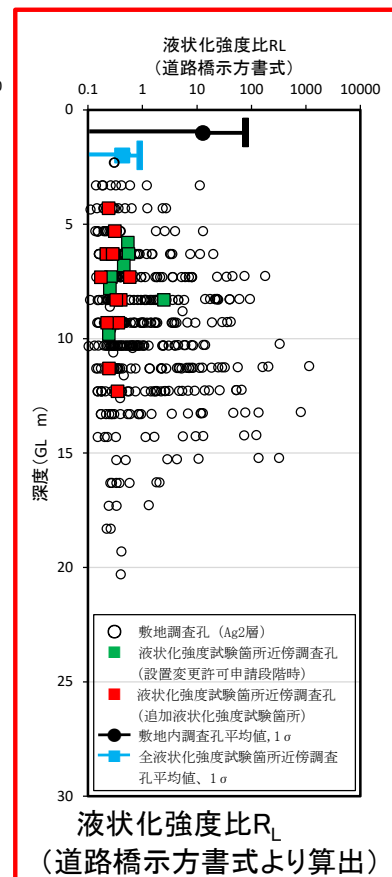
調査孔と液状化強度試験箇所 (Ag2層)



N値



細粒分含有率

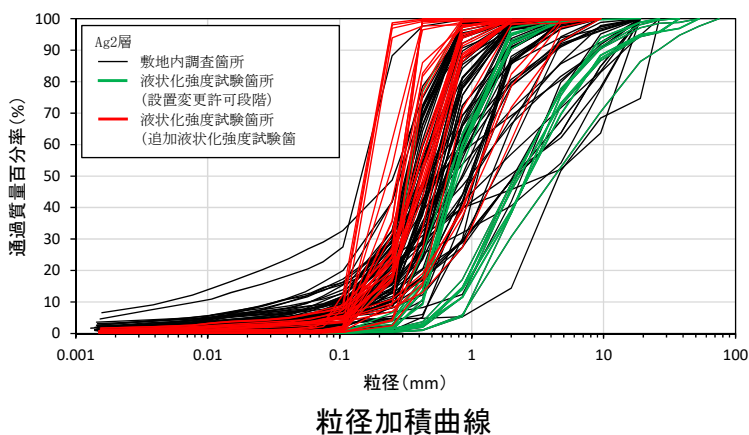


液状化強度比 R_L
(道路橋示方書式より算出)

- 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(液状化しやすい地盤)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やすい地層と解釈する。
- 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。

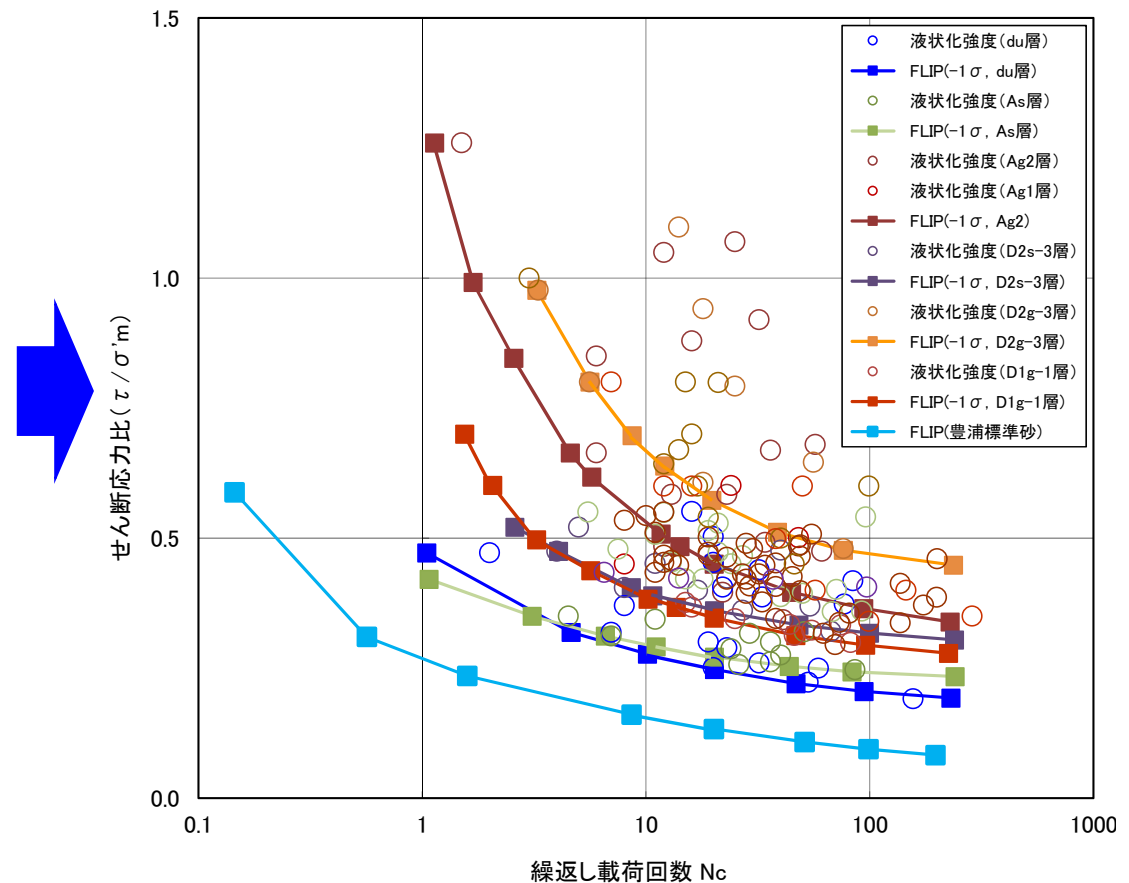


1-2. 液状化強度試験 結果(1/2)

- 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 σ (σ :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)



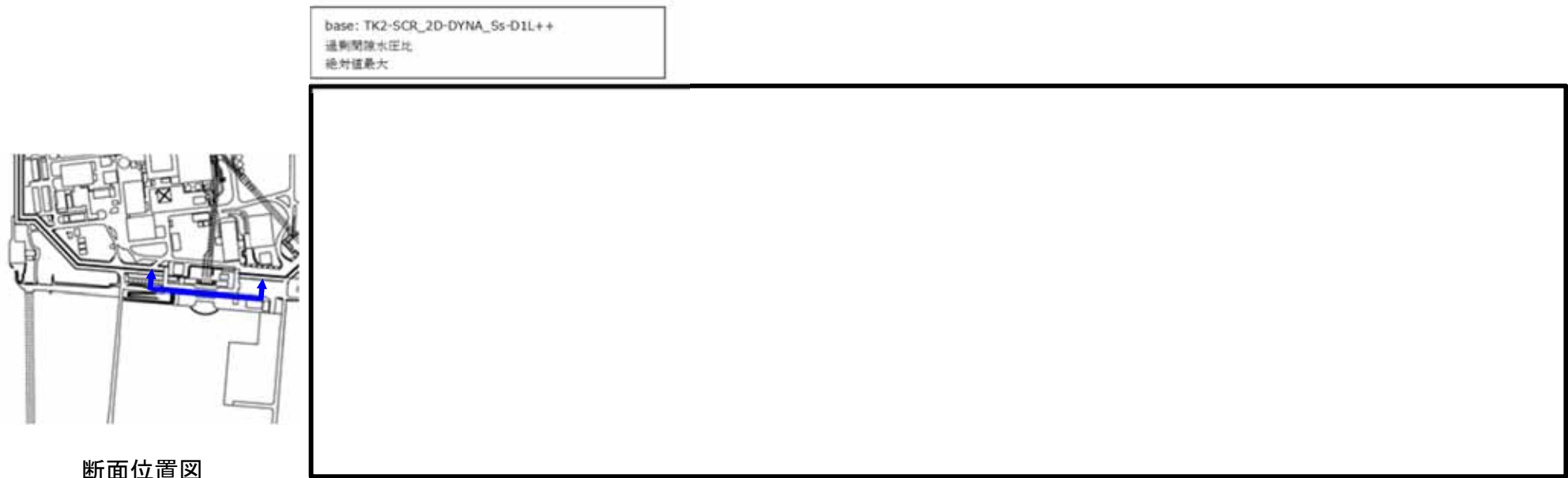
原地盤の液状化検討対象土層及び豊浦標準砂の液状化強度特性

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

1-2. 液状化強度試験 結果(2/2)

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 σ 低減(σ :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。

取水構造物周辺地盤の過剰間隙水圧比分布(S_s-D1)

⇒有効応力解析の結果、地盤の過剰間隙水圧比が95%^{注)}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)



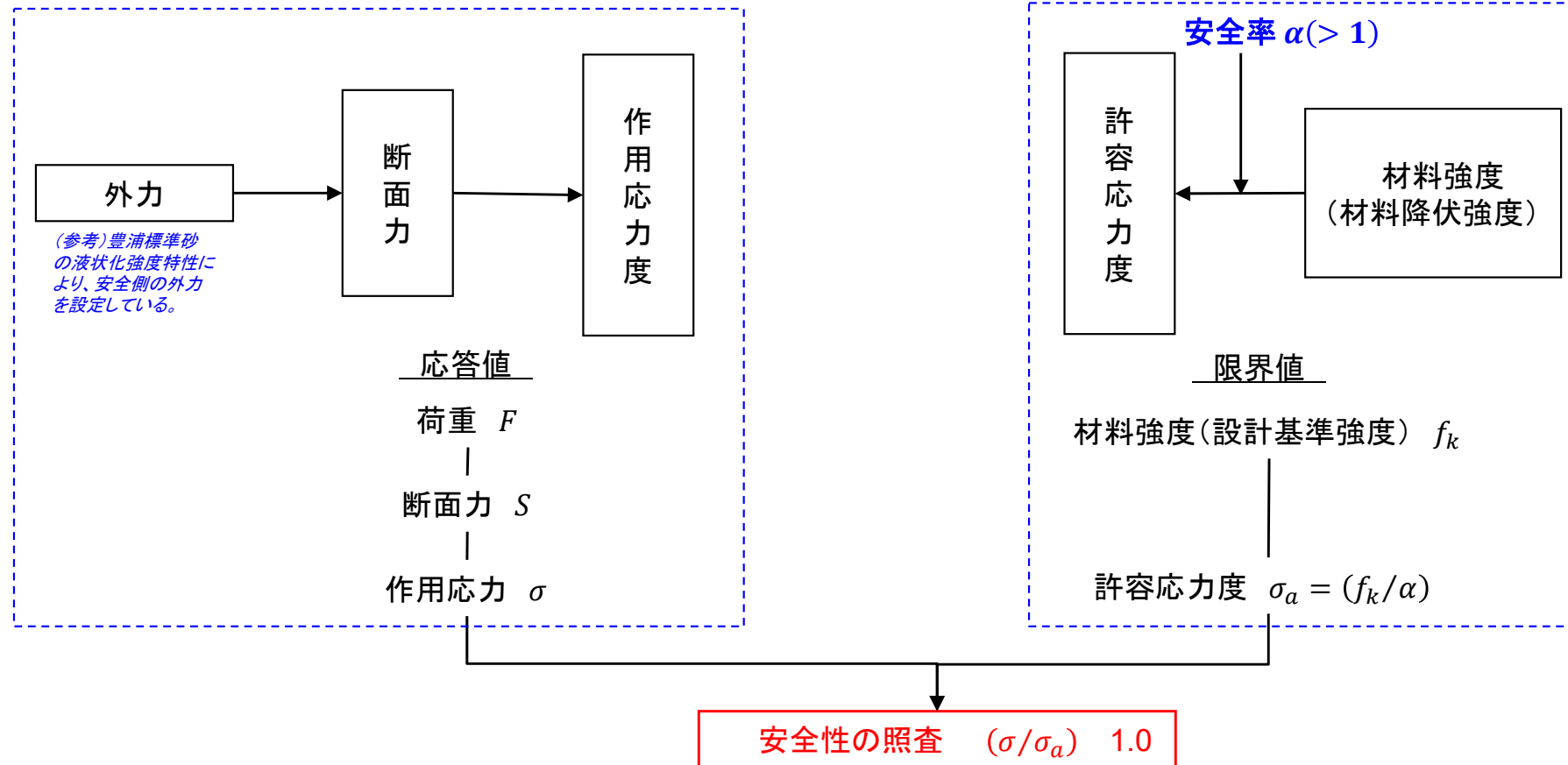
主要構造物における液状化影響を踏まえた耐震性評価の最大照査値は、1を下回り、安全であることを確認した。
 なお、評価においては、許容値に安全裕度(安全率 $\alpha(> 1)$)を見込んだ設計を行っている。さらに安全側の評価となるよう、敷地には存在しない液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた設計も行っている。

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
対設処設計基準	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
	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備 【常設代替高圧電源装置, 軽油貯蔵タンク等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.73	OK
	常設代替高圧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
	常設代替高圧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
常設代替高圧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
	SA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
	SA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、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。



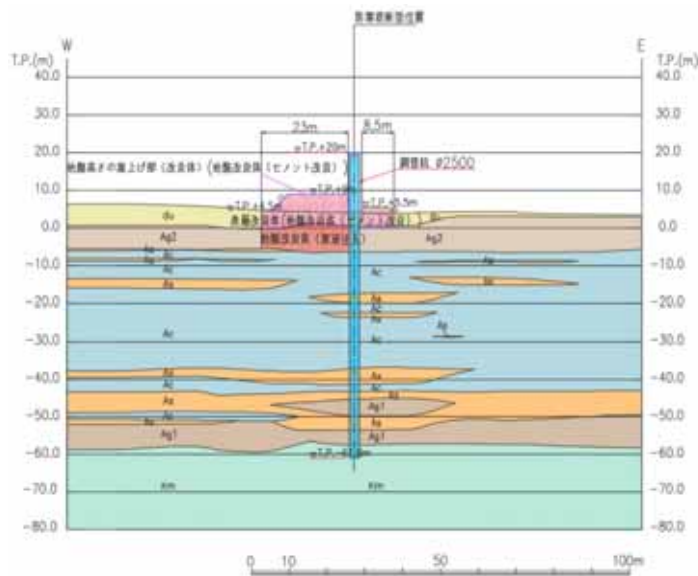
主要構造物の原地盤の液状化による耐震性評価(照査)結果は、 $(\sigma/\sigma_a) \leq 1.0$ を満たしており、なお敷地には存在しない、かつ最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を適用していることから十分な裕度を有すると判断できる。

○ 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1 σ (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 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m ²)	せん断力 (kN)					
2500	35	0.263	9265		71	217.5	0.33	④S _s -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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa1} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa1}	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	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 _s -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)

【取水構造物 地震後の状況】

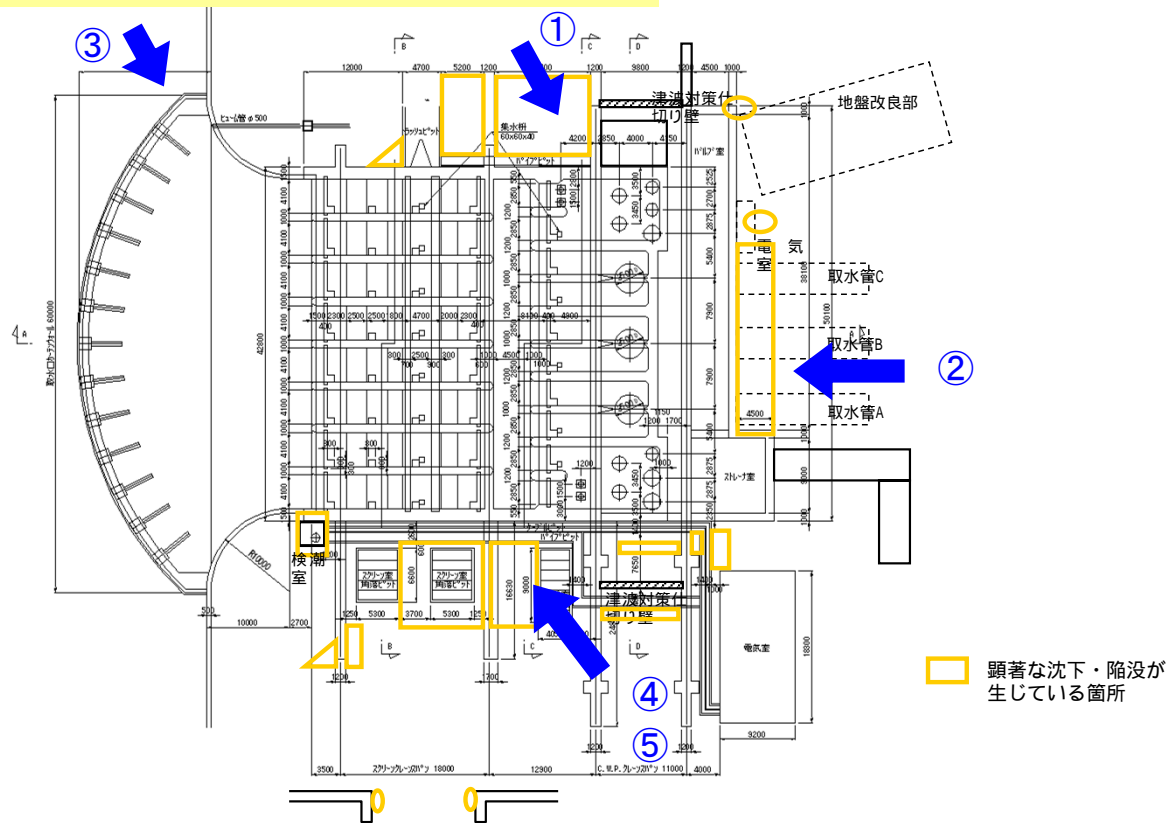
沈下は取水構造物近傍の埋戻し個所で局所的に発生しており、敷地内においては液状化時の痕跡とされる噴砂や地中埋設物の浮き上がりは認められなかった。

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	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。 ⇒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"> 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。 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) 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。 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) 以上より、液状化の可能性は小さいと考えられる。
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)



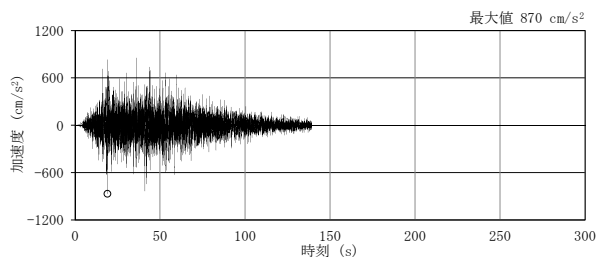
写真⑤: 地盤沈下に伴う段差の発生(取水口エリア)

耐震設計上の考慮について 建屋

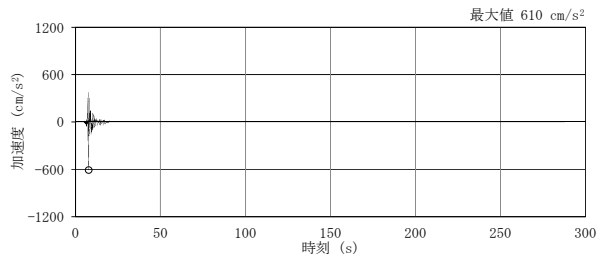


地震動の波形や継続時間に関する建屋の地震応答解析結果の比較

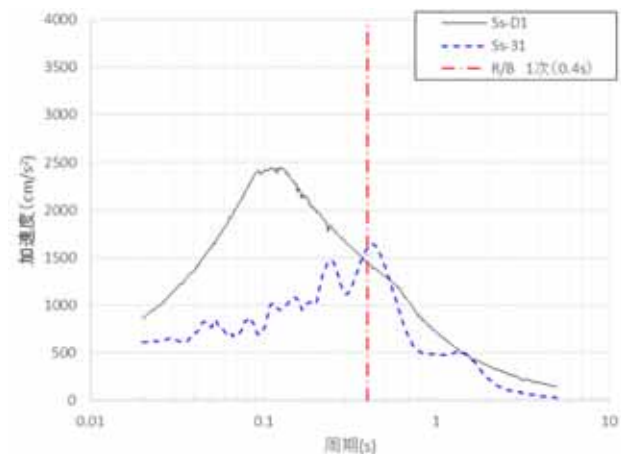
- ・建屋の耐震評価では、複数の手法に基づいて策定された基準地震動 S_s を用いて地震応答解析を実施することにより、地震動の継続時間の違いによる影響を考慮している。
- ・原子炉建屋の地震応答解析結果を以下に示す。最大応答値は、建屋全体の応答を把握できるように最下層、中間層及び最上層の3箇所を抽出した。
- ・建屋の耐震評価に用いた基準地震動 S_s (8波)のうち、継続時間の長い S_s -D1と継続時間の短い S_s -31による応答を比較した結果、 S_s -31による応答値が大きくなっており、地震動の継続時間による影響よりも建屋の固有周期に関する地震動の周期特性による影響が大きくなっている。



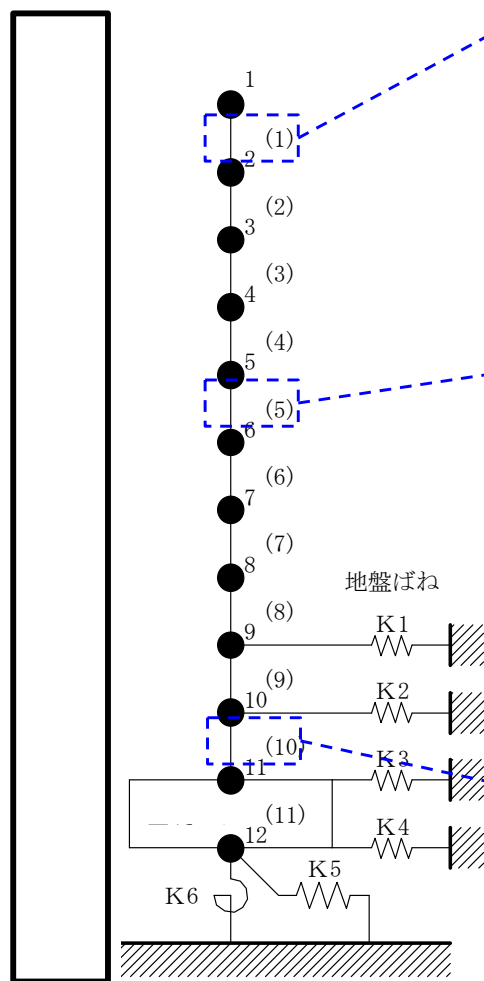
加速度時刻歴波形 (S_s -D1)



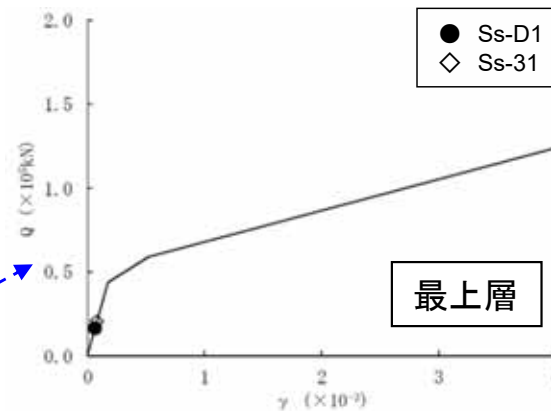
加速度時刻歴波形 (S_s -31)



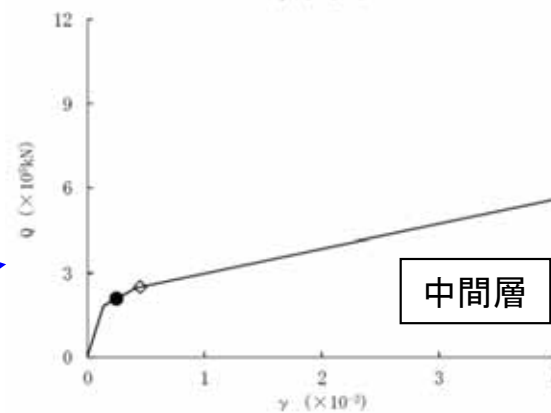
加速度応答スペクトル



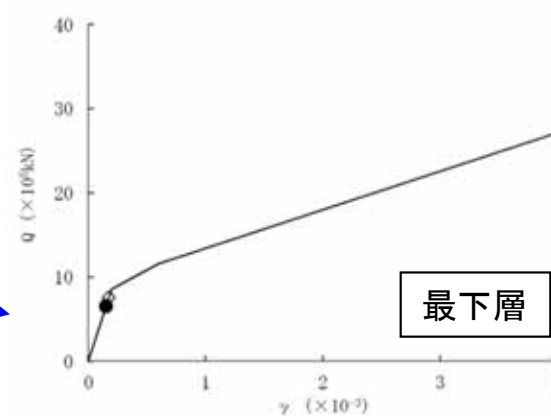
地震応答解析モデル



最上層



中間層



最下層

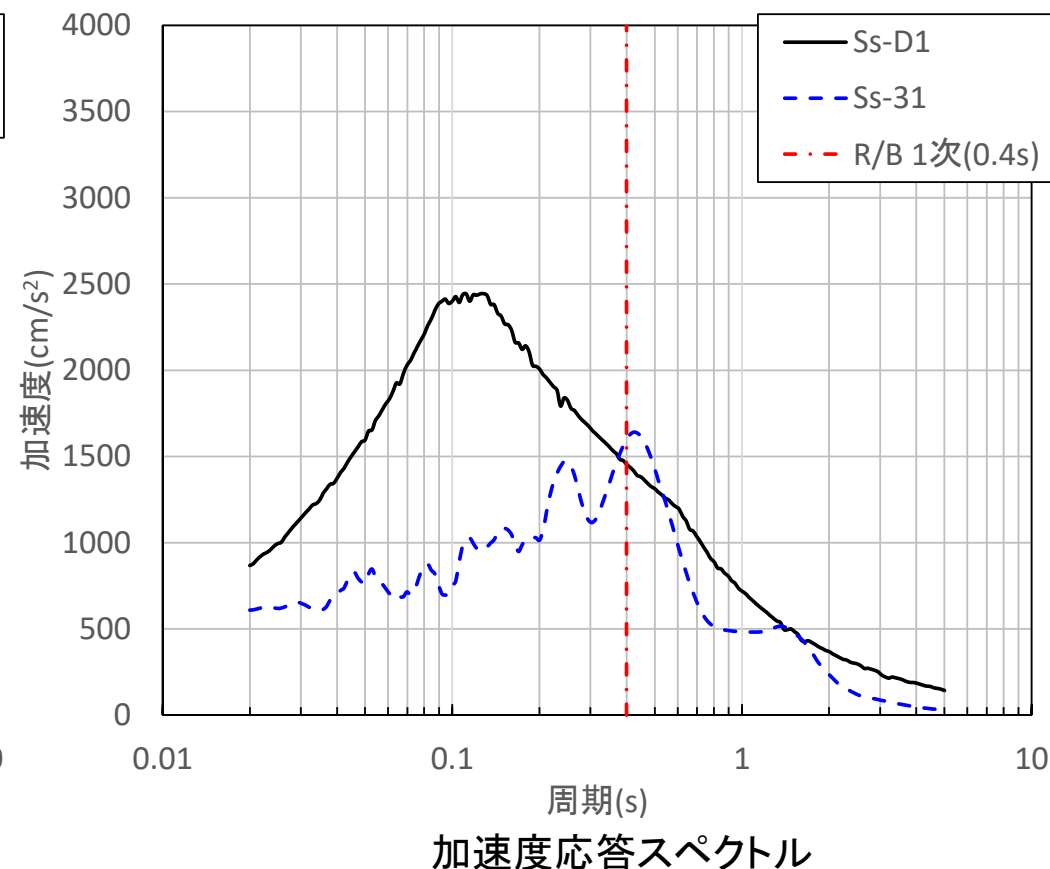
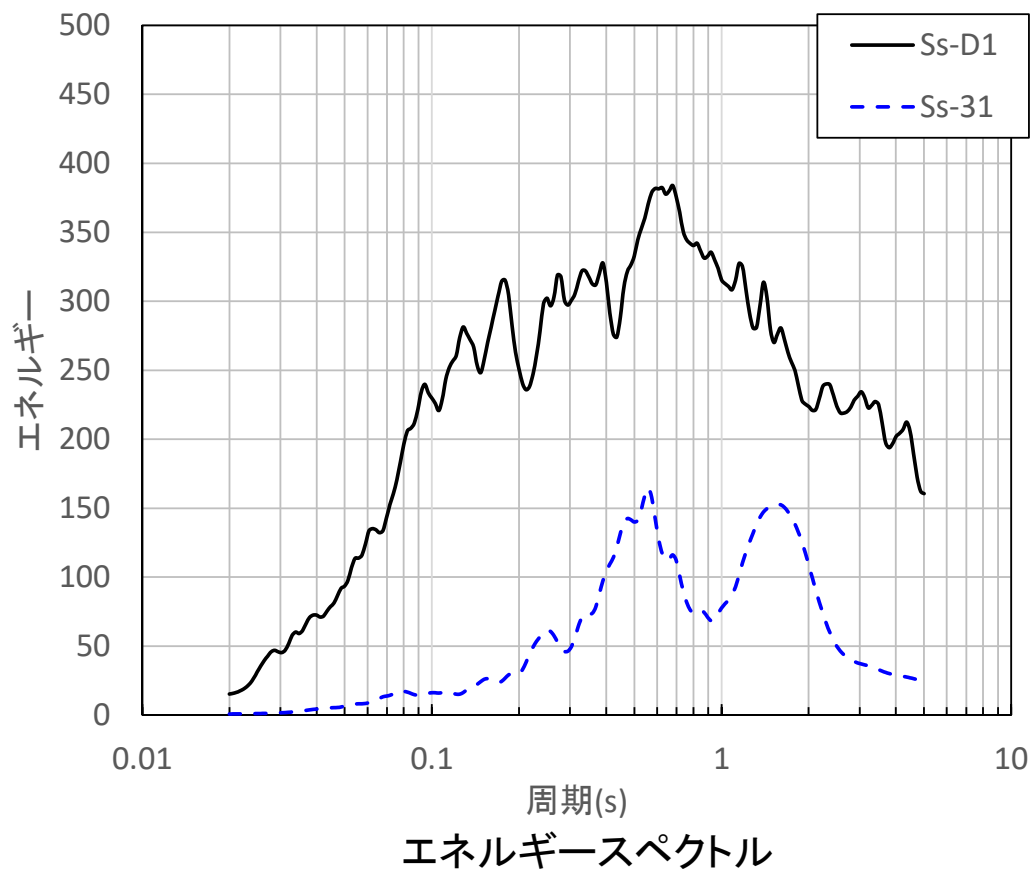
せん断スケルトンカーブ※上の最大応答値

※ 鉄筋コンクリート構造の剛性低下の性状を表現

基準地震動S_s-D1とS_s-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。

- ・ 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。

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。

低サイクル疲労評価

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)

地震動の影響を
考慮した評価

【震災影響評価】 +

③東北地方太平洋沖地震
による疲労累積係数*



許容値を下回ることを
確認

※: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



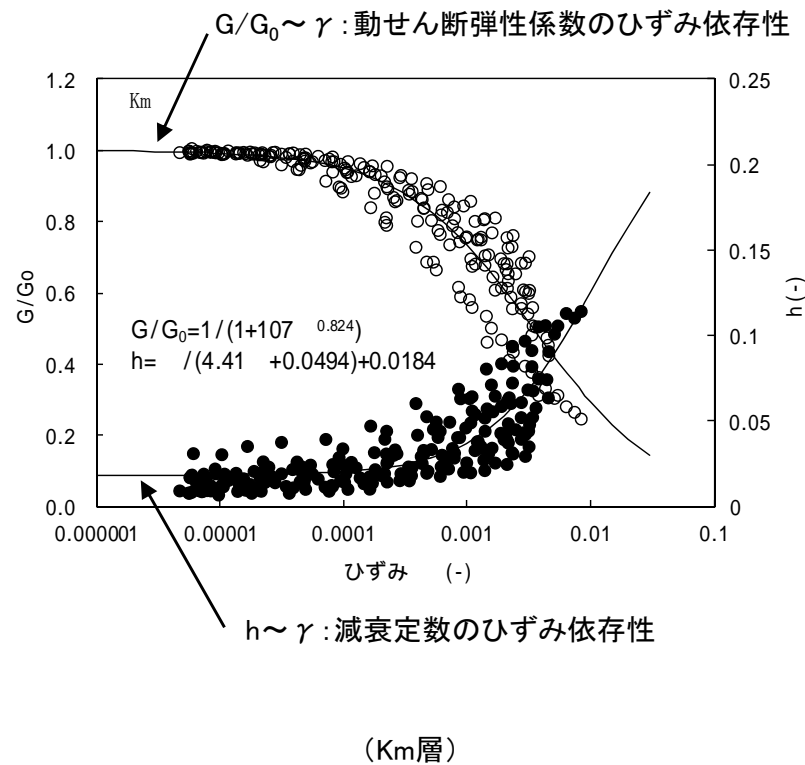
○ 入力地震動の算定

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。

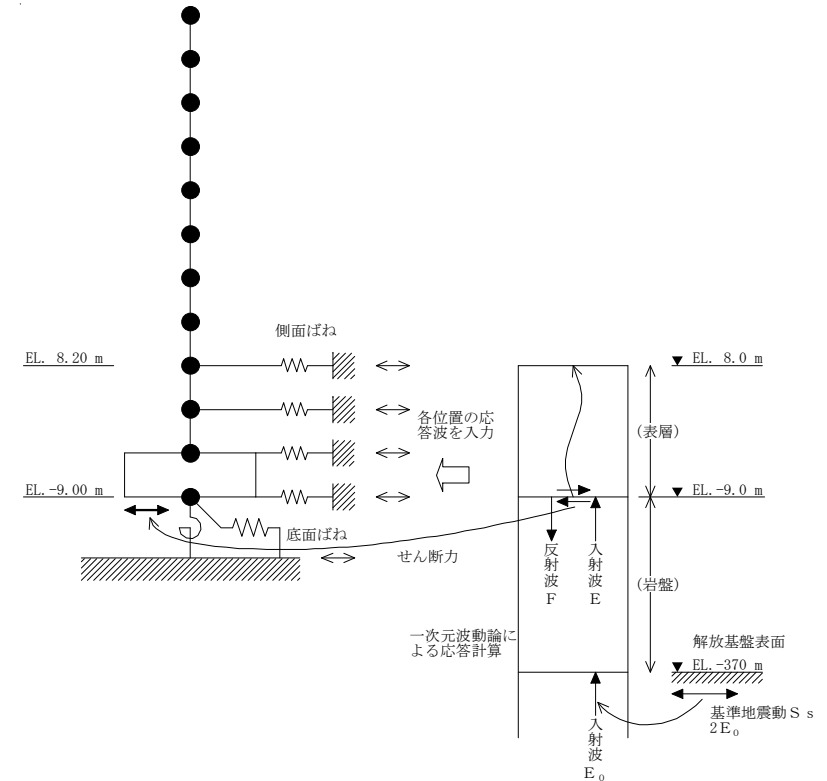
また、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面(EL.-370 m)から地表面までをモデル化する。地下構造モデルの物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定している。

標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	S波速度 V_s m/s	ポアソン比 ν
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	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	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



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



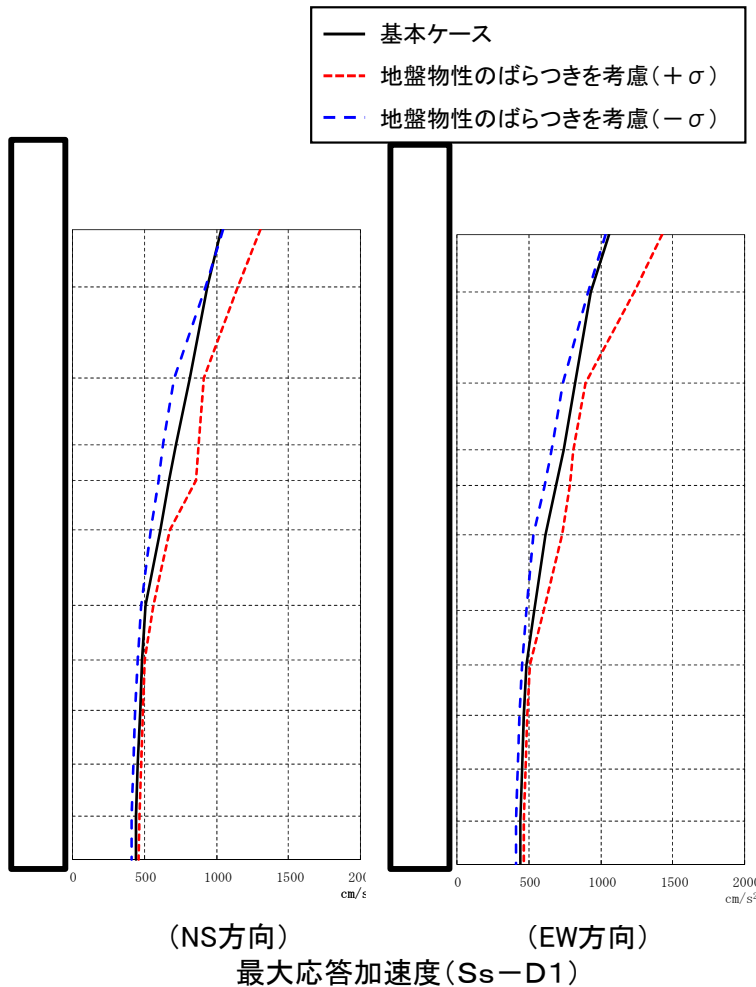
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

原子炉建屋の保守性(1/2)

○ 地盤物性のばらつき

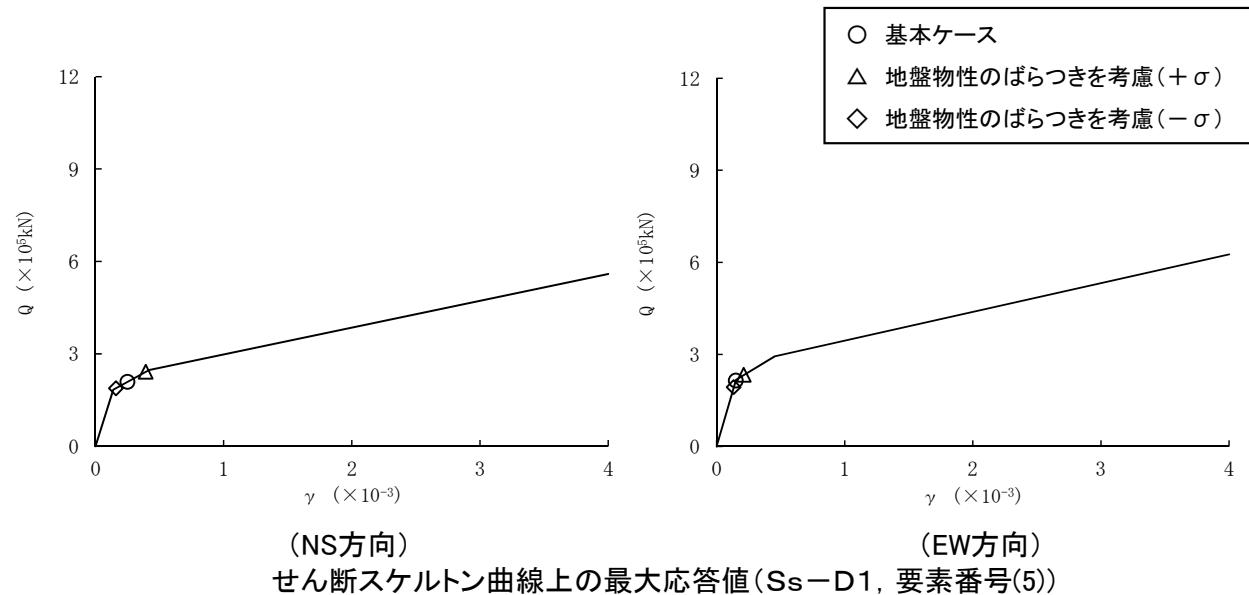
建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性のばらつきが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすと考えられるため、**建物・構築物の耐震評価においては、地盤物性のばらつきを考慮した設計用地震力を設定することで、保守性を持たせている。**なお、地盤物性は、実測した地盤のせん断波速度Vsを用いて算出している。

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

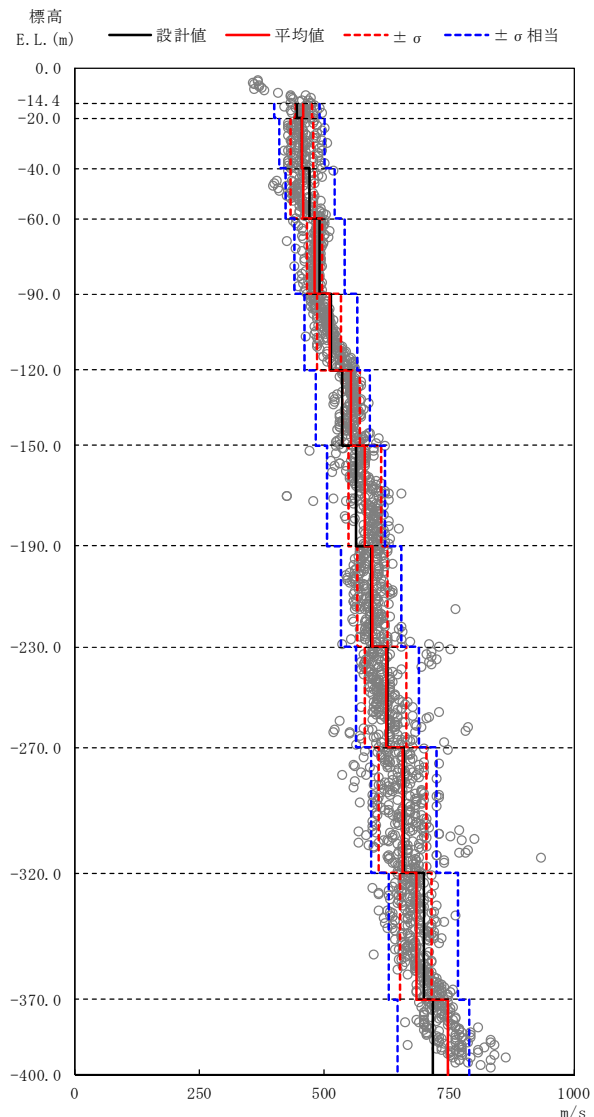
	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+σ相当	地盤物性のばらつきを考慮(+σ)
	標準地盤-σ相当	地盤物性のばらつきを考慮(-σ)



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

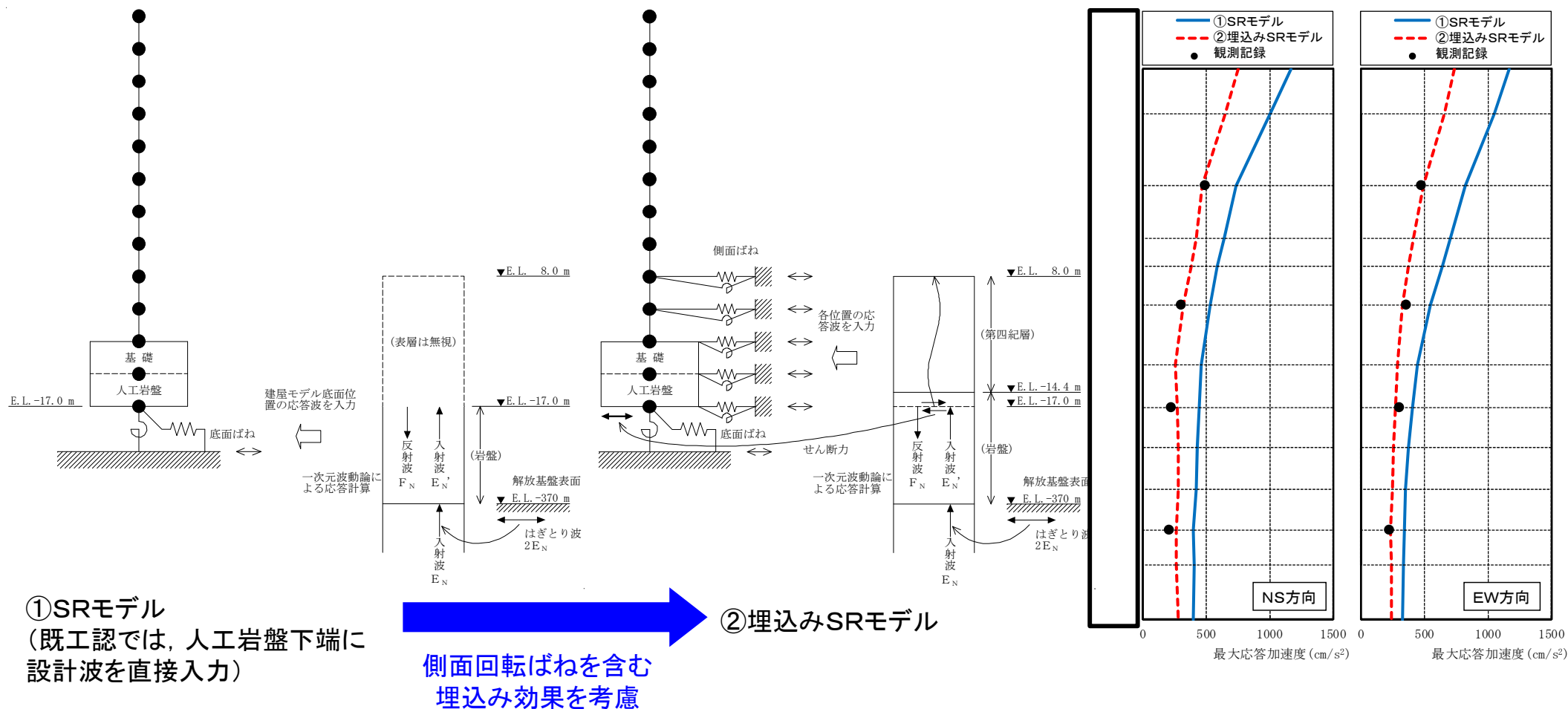
地盤物性のばらつき

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、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



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。

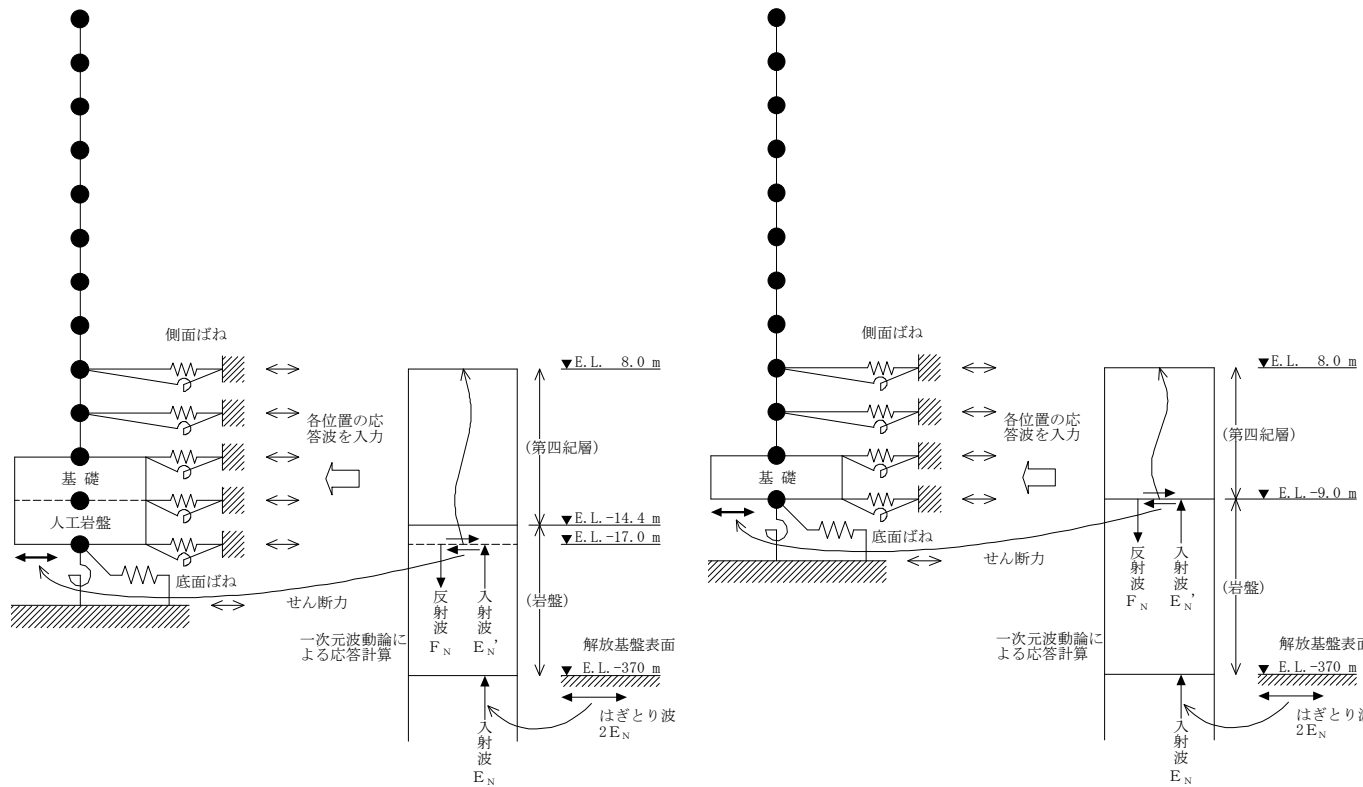
原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)



・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



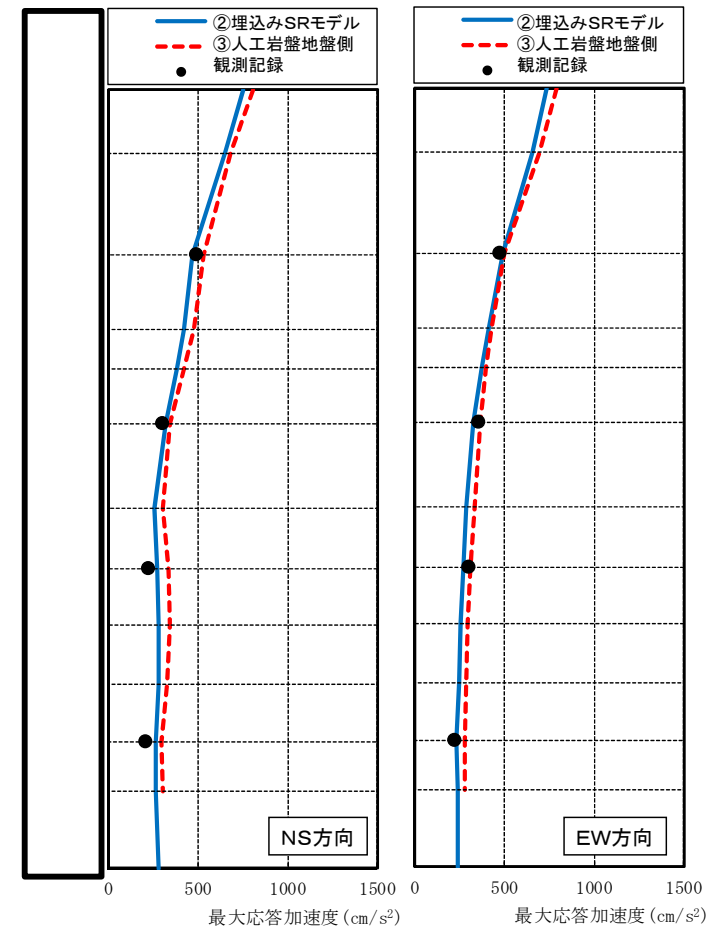
②埋込みSRモデル



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

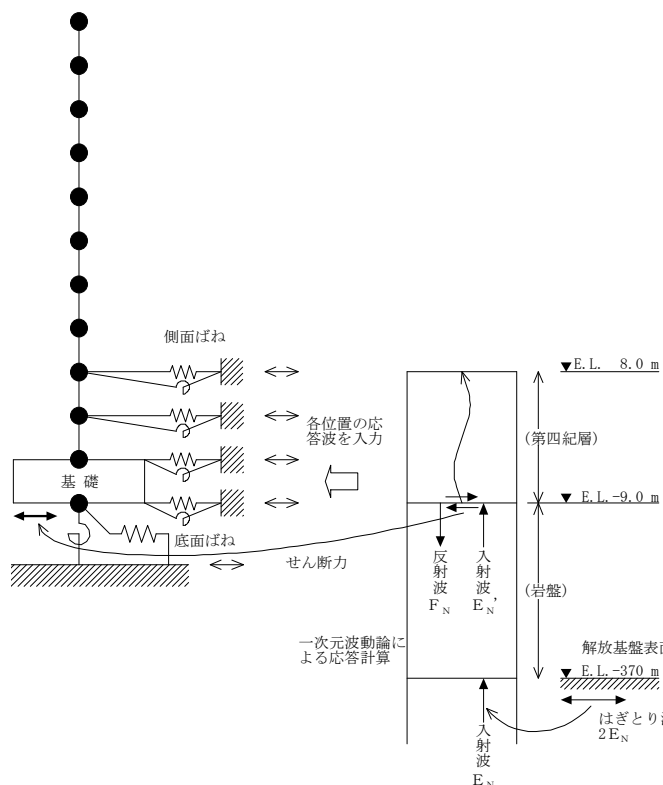


②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

・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。

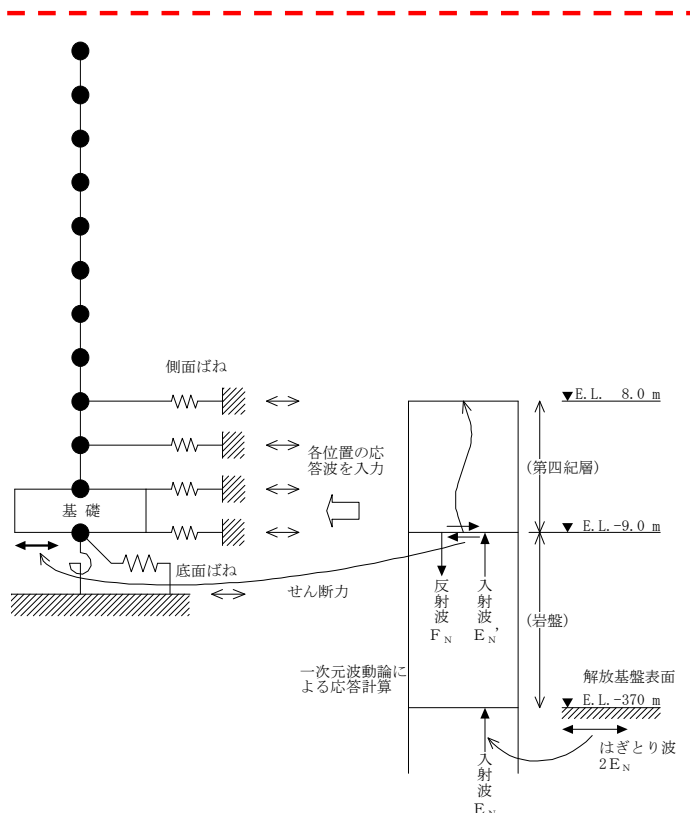
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

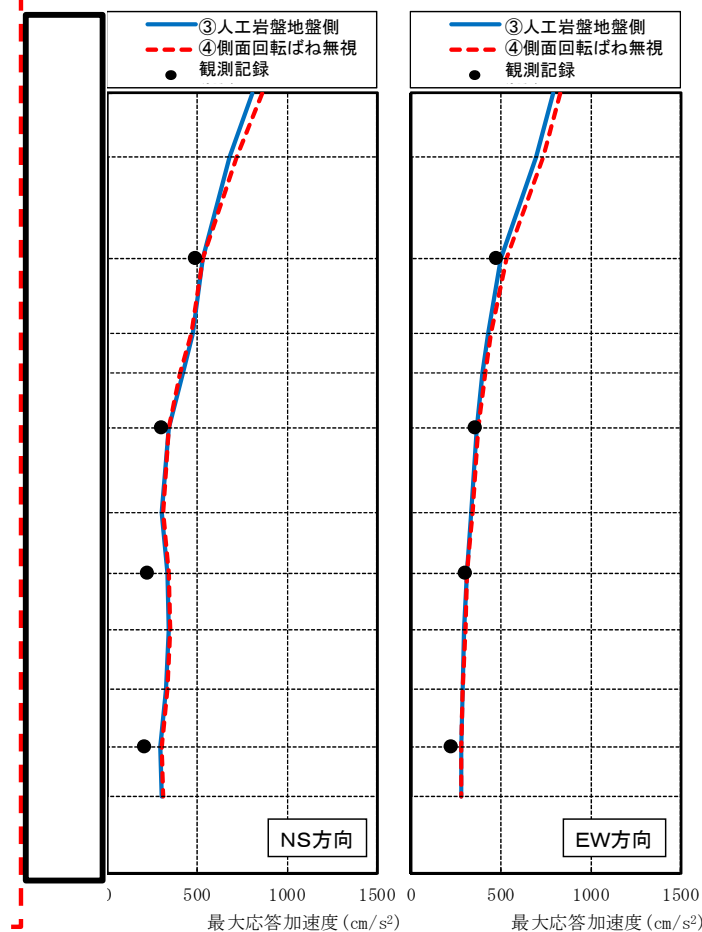
側面回転ばねを
考慮しない場合



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・配管系評価における地盤物性のばらつき等に対する影響評価



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。

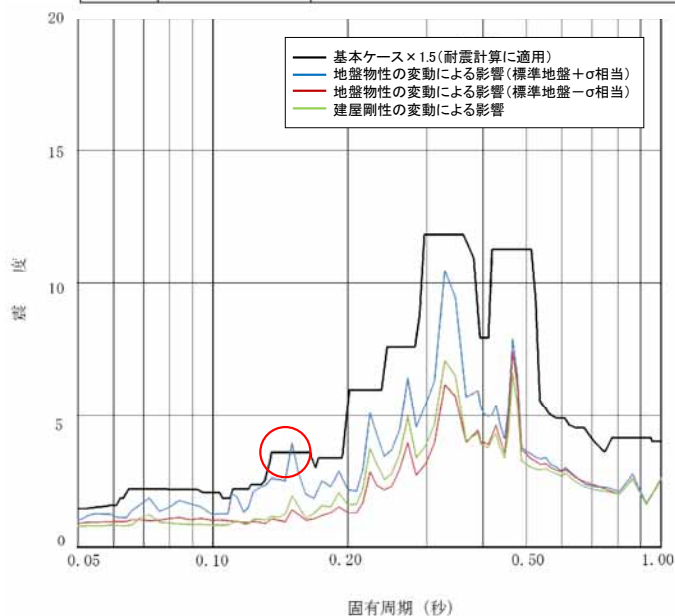
機器・配管系評価の影響確認に用いた の地震応答解析ケース

	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

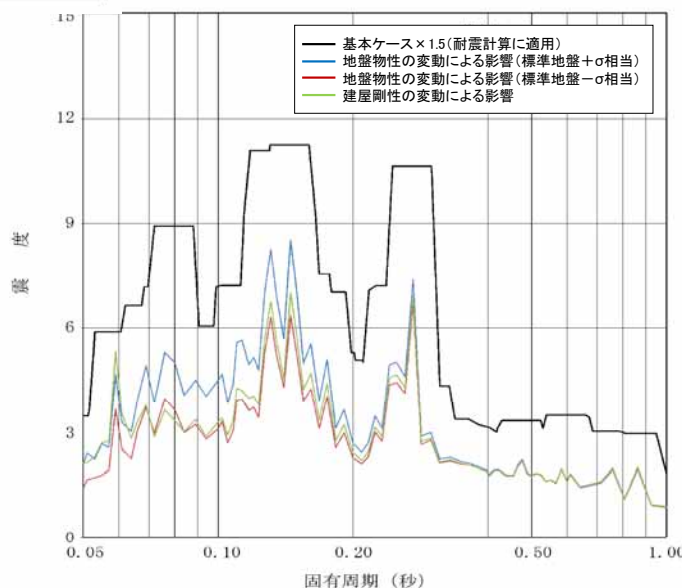
地盤物性のばらつき等への影響評価の例

【EL. 38.8 m 応答スペクトルの説明】

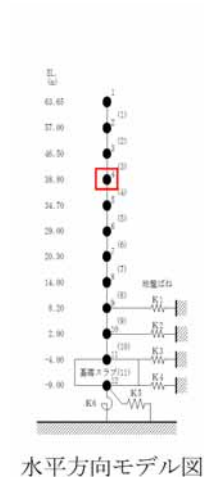
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.152	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



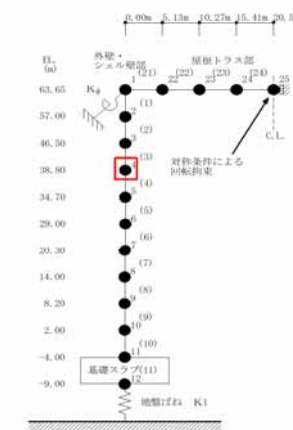
床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



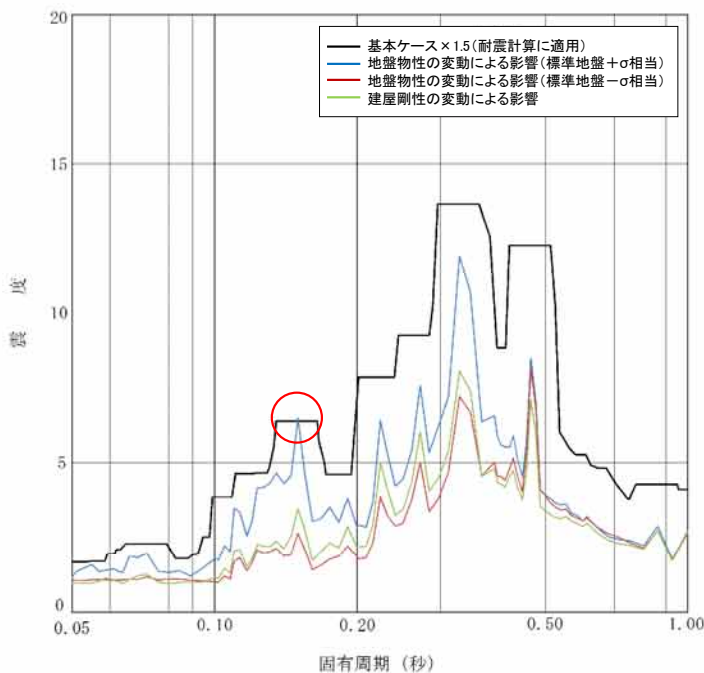
床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



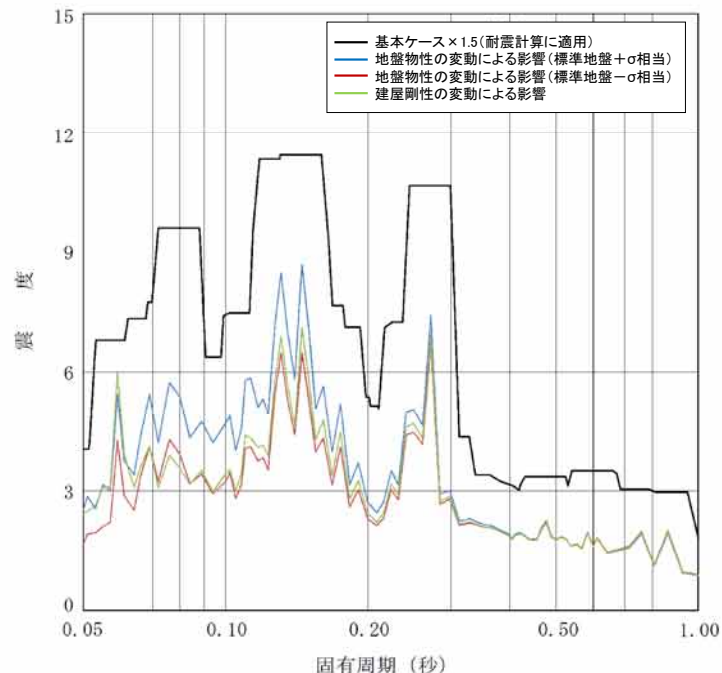
水平方向モデル図



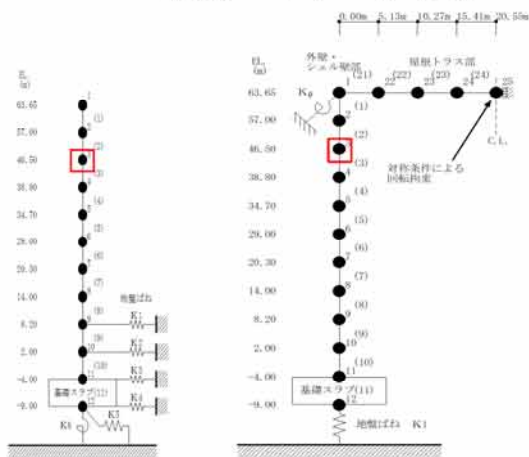
鉛直方向モデル図



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%)

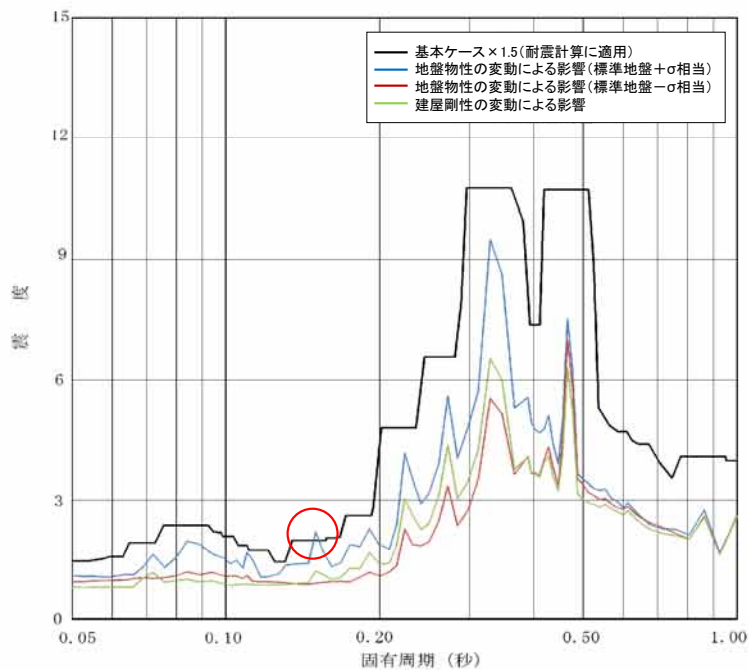


水平方向モデル図

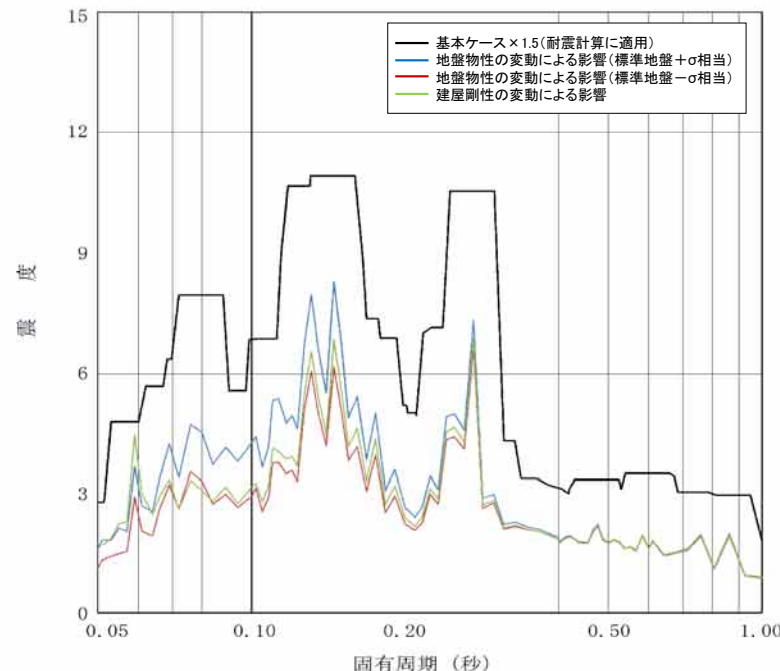
鉛直方向モデル図

【EL. 46.5 m 応答スペクトルの説明】

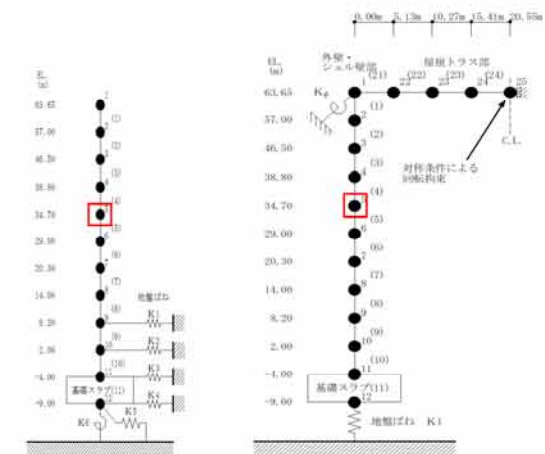
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.149~0.151	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

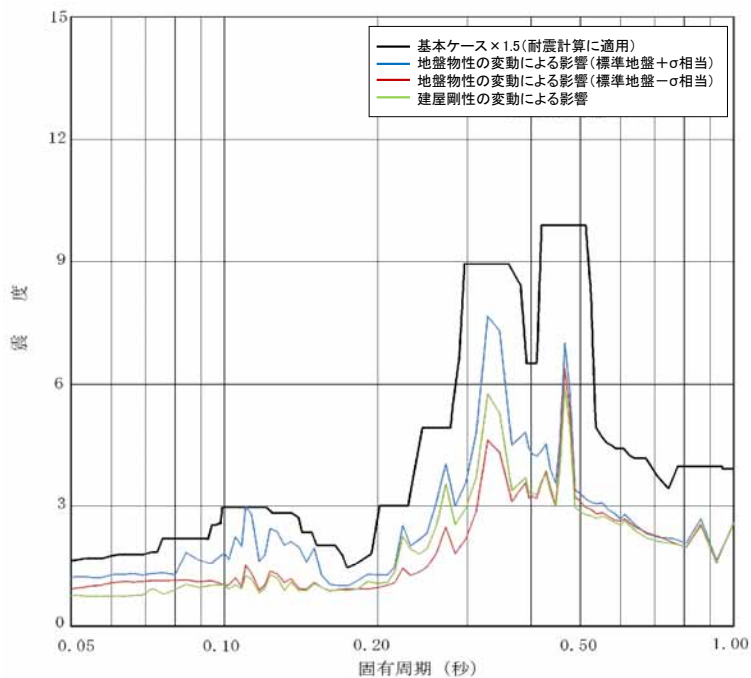


水平方向モデル図

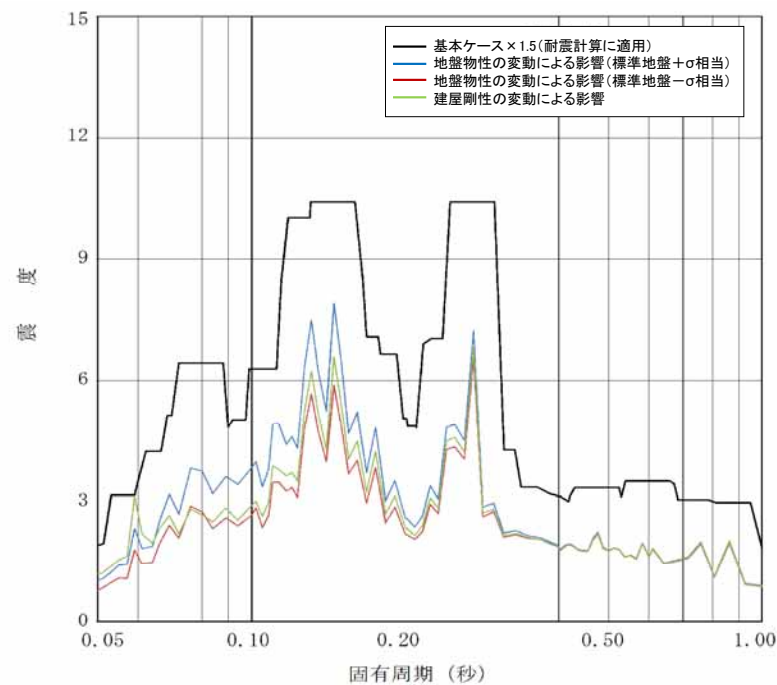
鉛直方向モデル図

【EL. 34.7 m 応答スペクトルの説明】

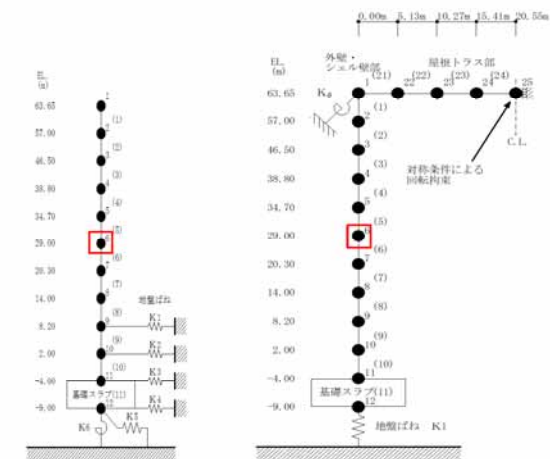
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.153	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



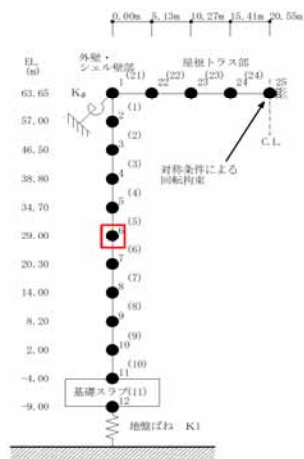
床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



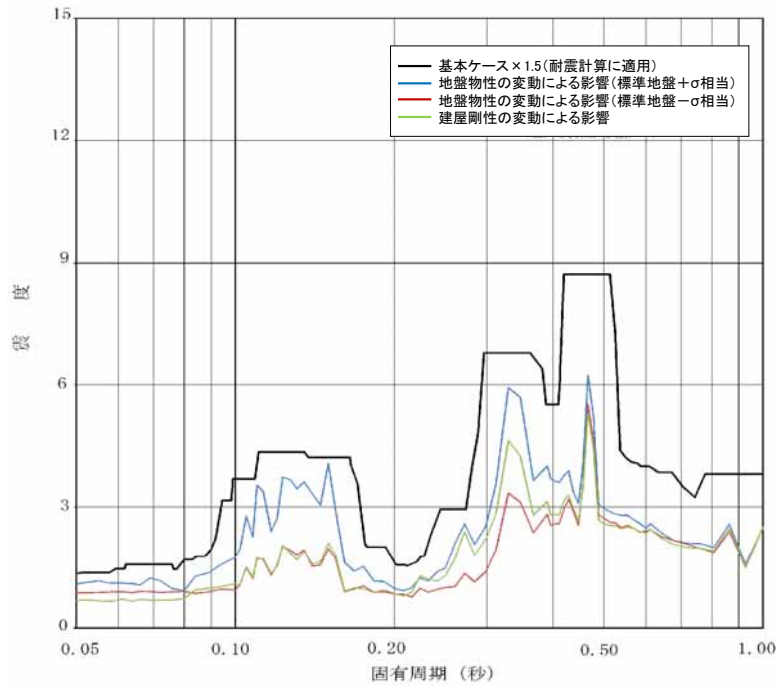
水平方向モデル図



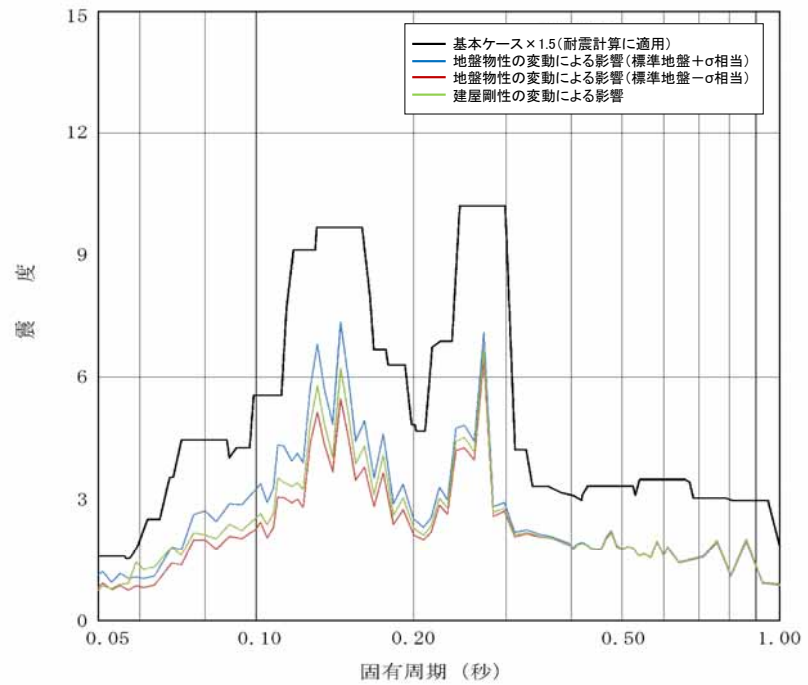
鉛直方向モデル図

【EL. 29.0 m 応答スペクトルの説明】

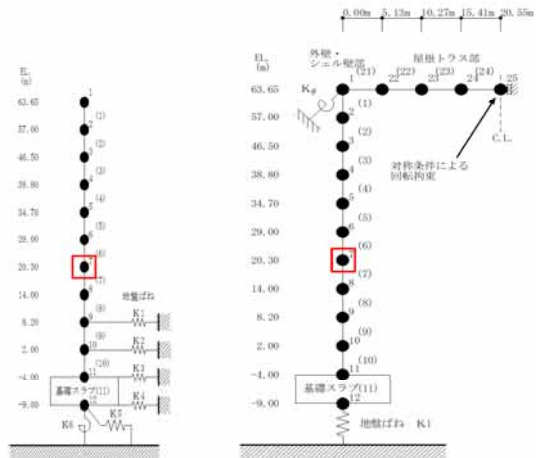
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

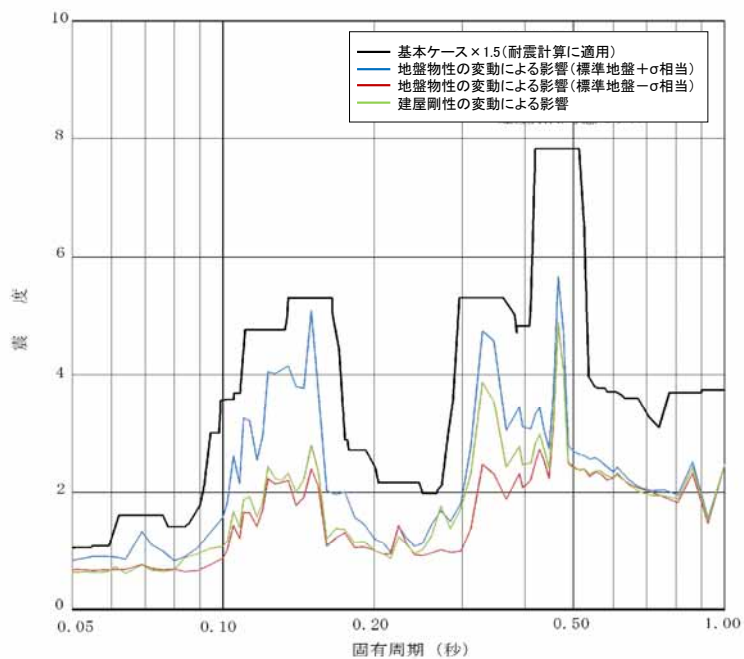


水平方向モデル図

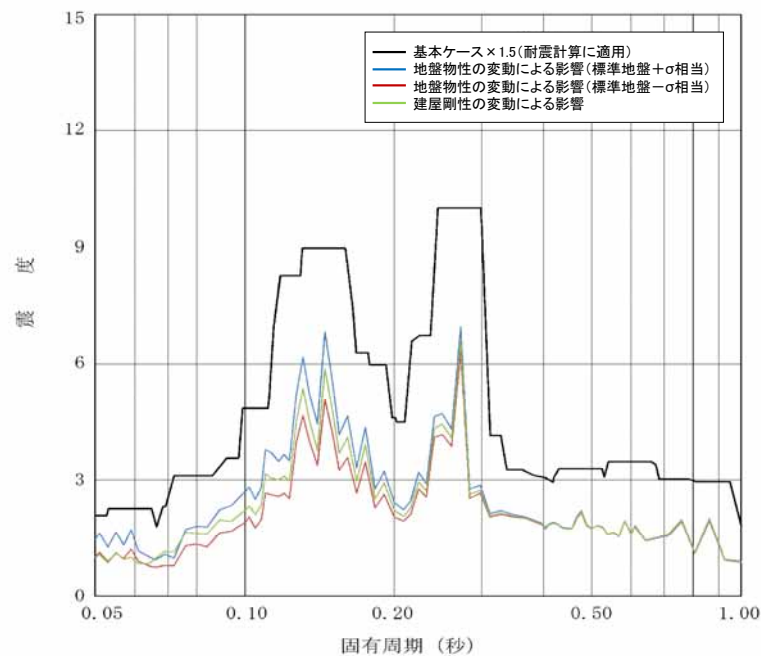
鉛直方向モデル図

【EL. 20.3 m 応答スペクトルの説明】

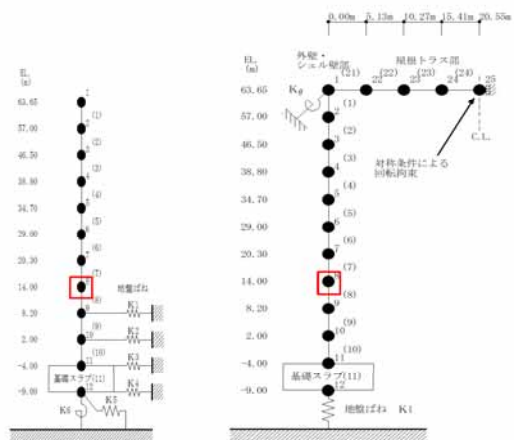
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

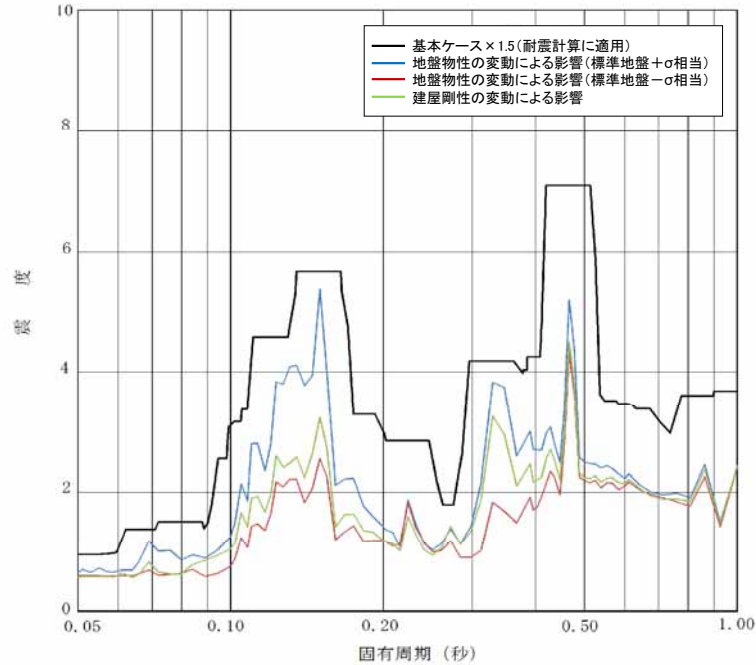


水平方向モデル図

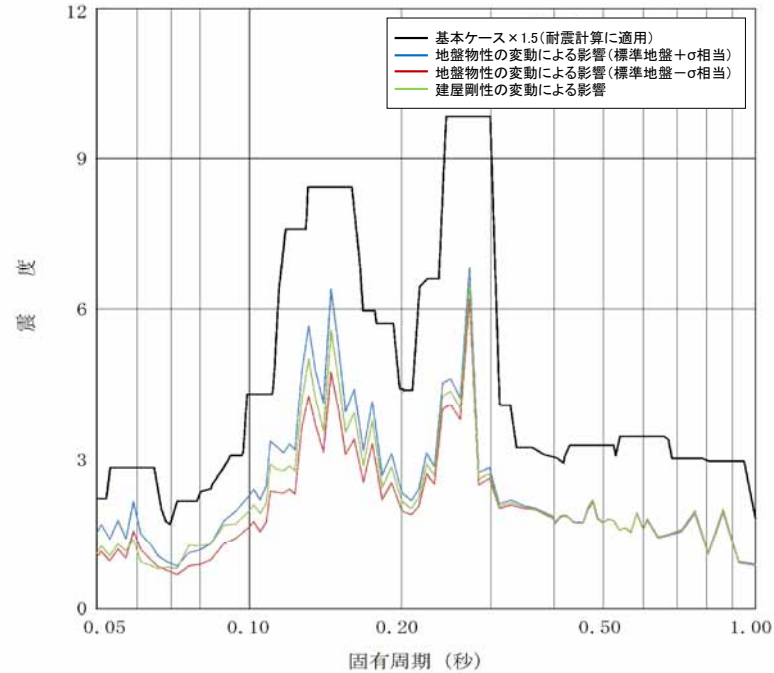
鉛直方向モデル図

【EL. 14.0 m 応答スペクトルの説明】

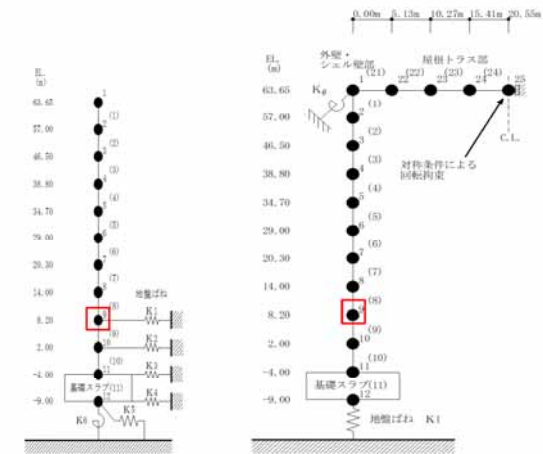
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



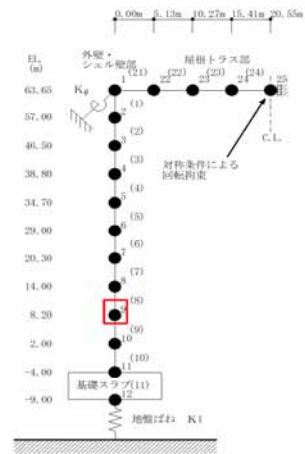
床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



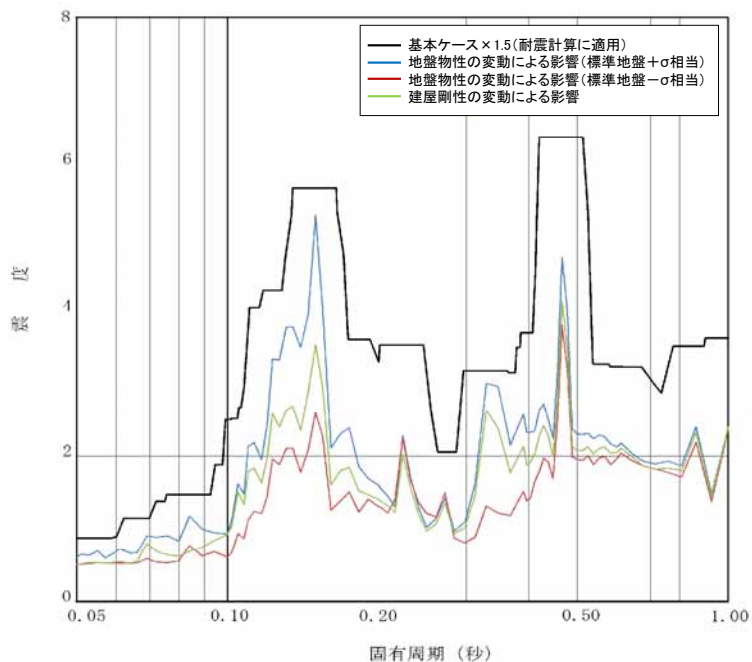
水平方向モデル図



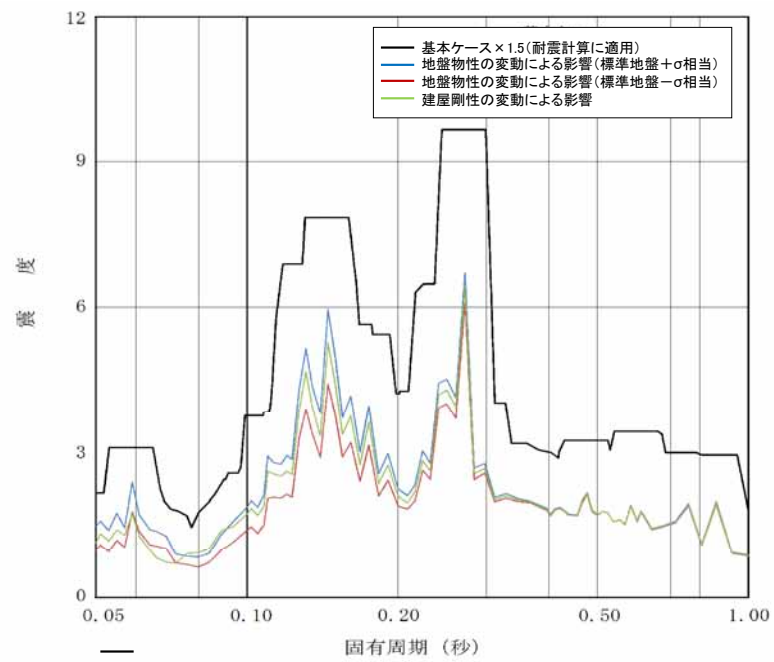
鉛直方向モデル図

【EL. 8.2 m 応答スペクトルの説明】

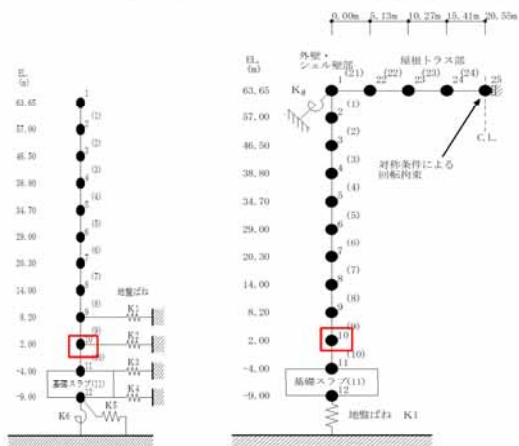
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

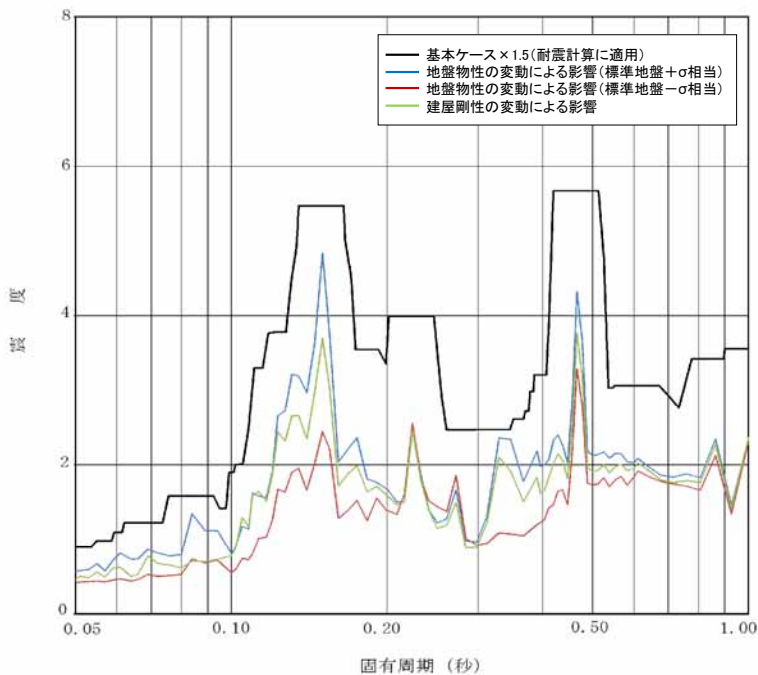


水平方向モデル図

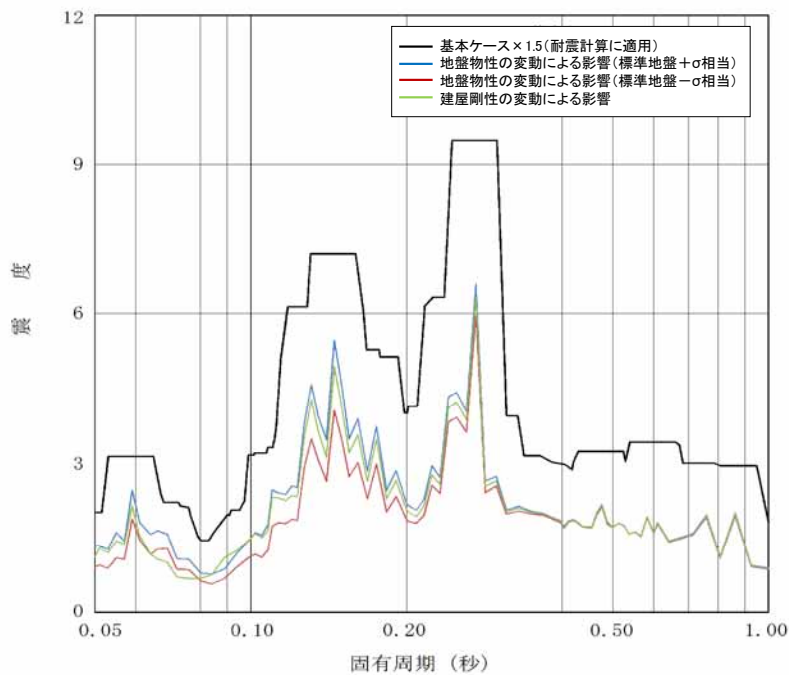
鉛直方向モデル図

【EL. 2.0 m 応答スペクトルの説明】

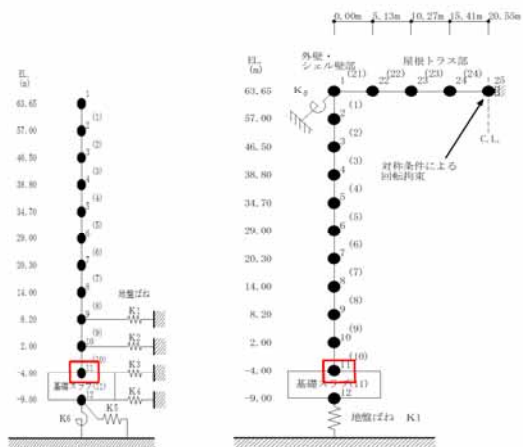
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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】

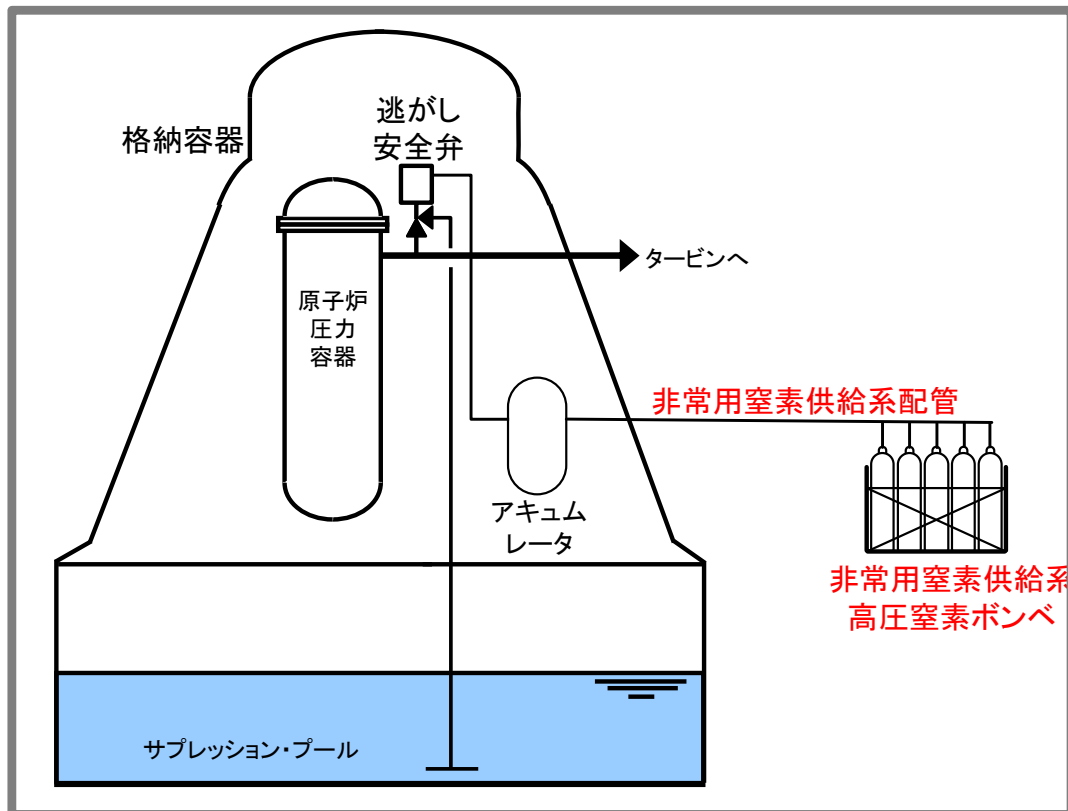
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

○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

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	371 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	70MPa
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	0.60×10^{-3}	2.0×10^{-3}

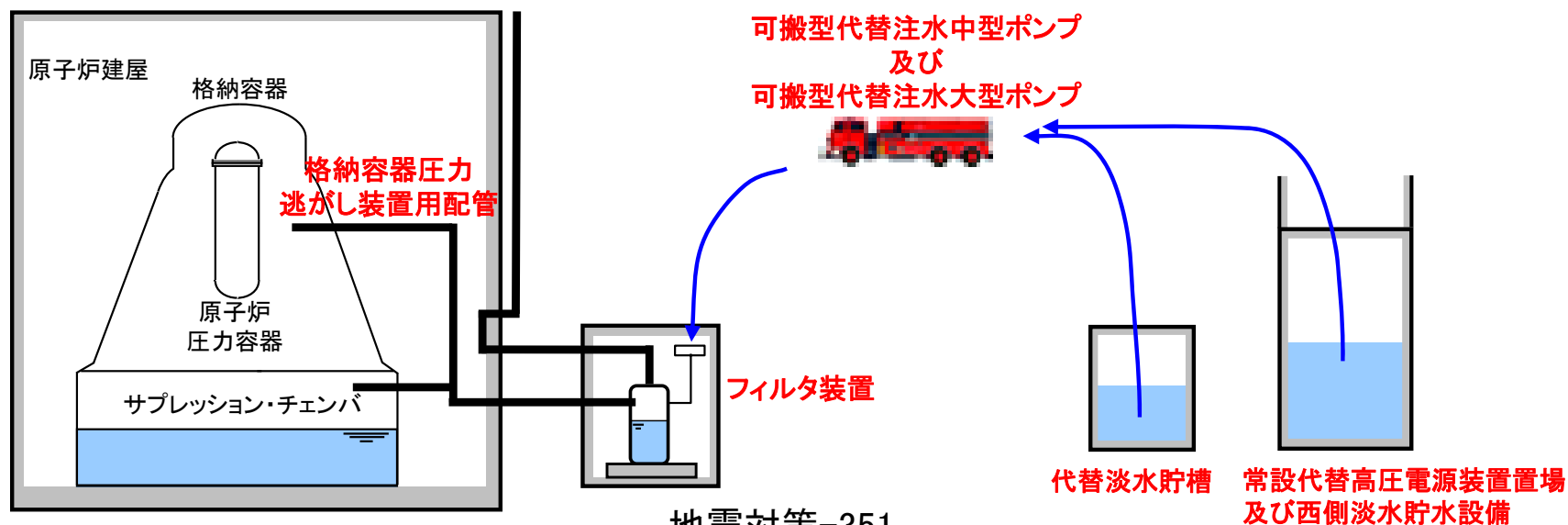
13. 重大事故等対処設備(サポート系を含む)に係る耐震設計方針
格納容器圧力逃がし装置及び関連設備の耐震評価結果



- 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 ²	435 N/mm ²
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 ²	435 N/mm ²

* : 加振試験により機能維持を確認



緊急時対策所設備の概要と建物緊急時対策所に耐震構造を採用した理由

- 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。

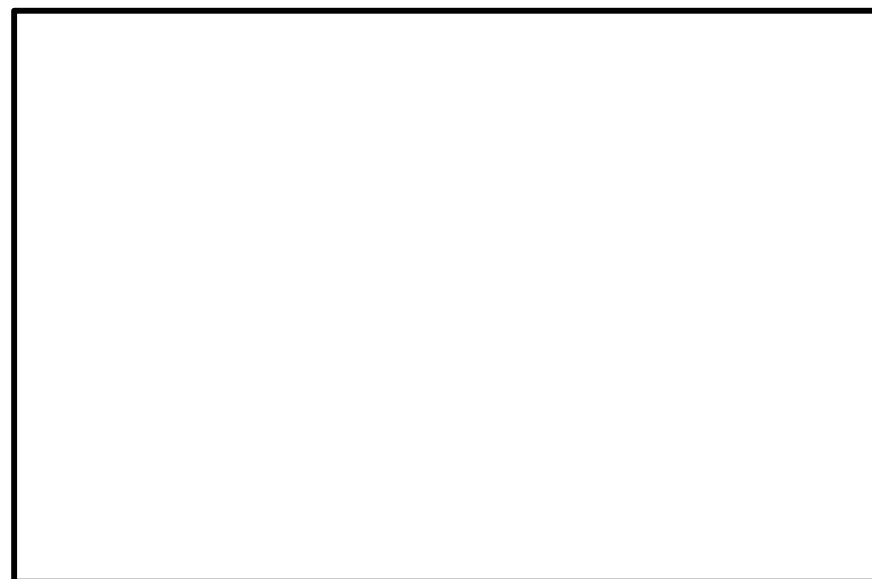
緊急時対策所設備の概要と建物

○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/s²**(Ss-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 ²)		
	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 ² ／災害対策本部室:約350m ² ・宿泊・休憩室:約70m ²
4 耐震強度	・基準地震動Ss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 ・ブ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징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。^{*1}

（*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。

○ 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S_s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	× 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 ²	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 ²	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 ²	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 ²	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	× 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気調和機ファン, 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:底部のフランジプレートとの接合部	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接合部	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接合部)	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 ²	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開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開閉装置	応答加速度(鉛直)	G	1.17	2	1.70

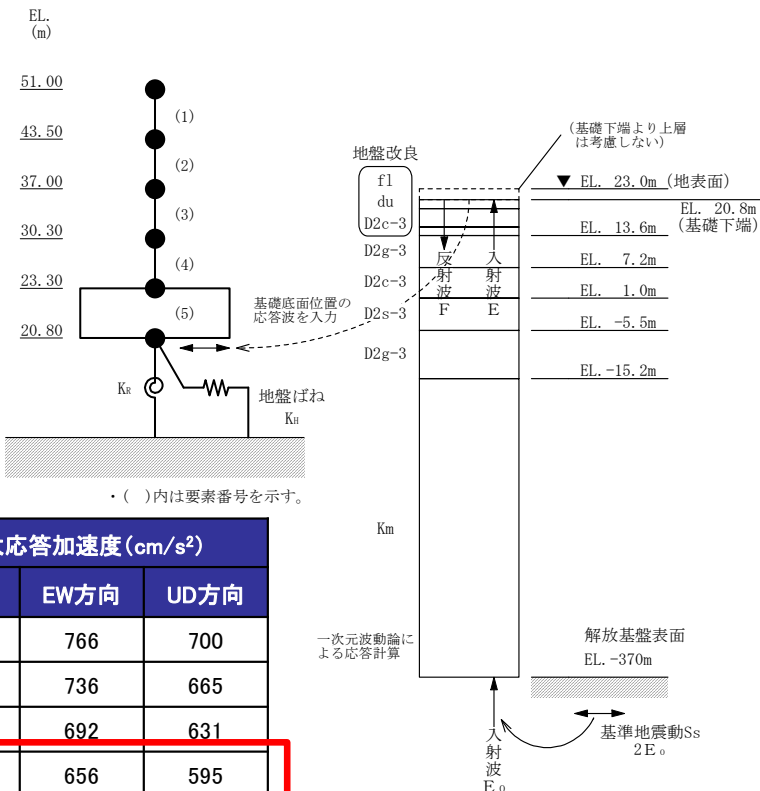
14. 緊急時対策所に耐震設計を選択したことの安全上の考え方並びに施設内の設備・機器及び人員等に係る耐震上の評価及び対策
別紙 耐震評価結果一覧 機器・配管系(緊急時対策所)(6/6)



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

○ 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 0.115×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。

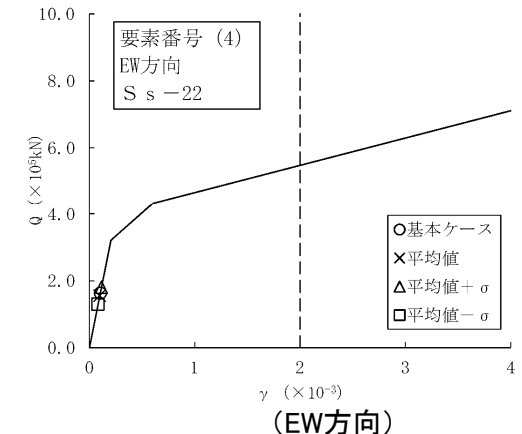
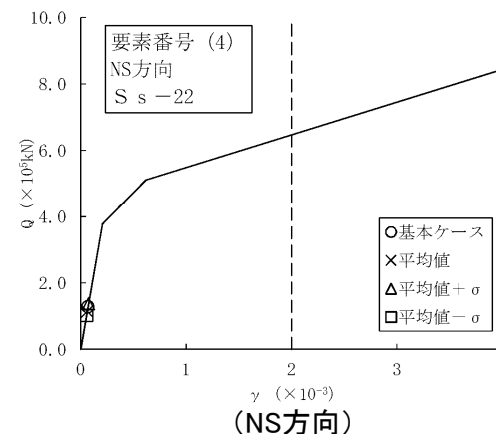


EL.(m)	最大応答加速度 (cm/s ²)		
	NS方向	EW方向	UD方向
51.00	732	766	700
43.50	690	736	665
37.00	671	692	631
30.30	650	656	595
23.30	630	631	530
20.80	626	627	524

地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)

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

・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。

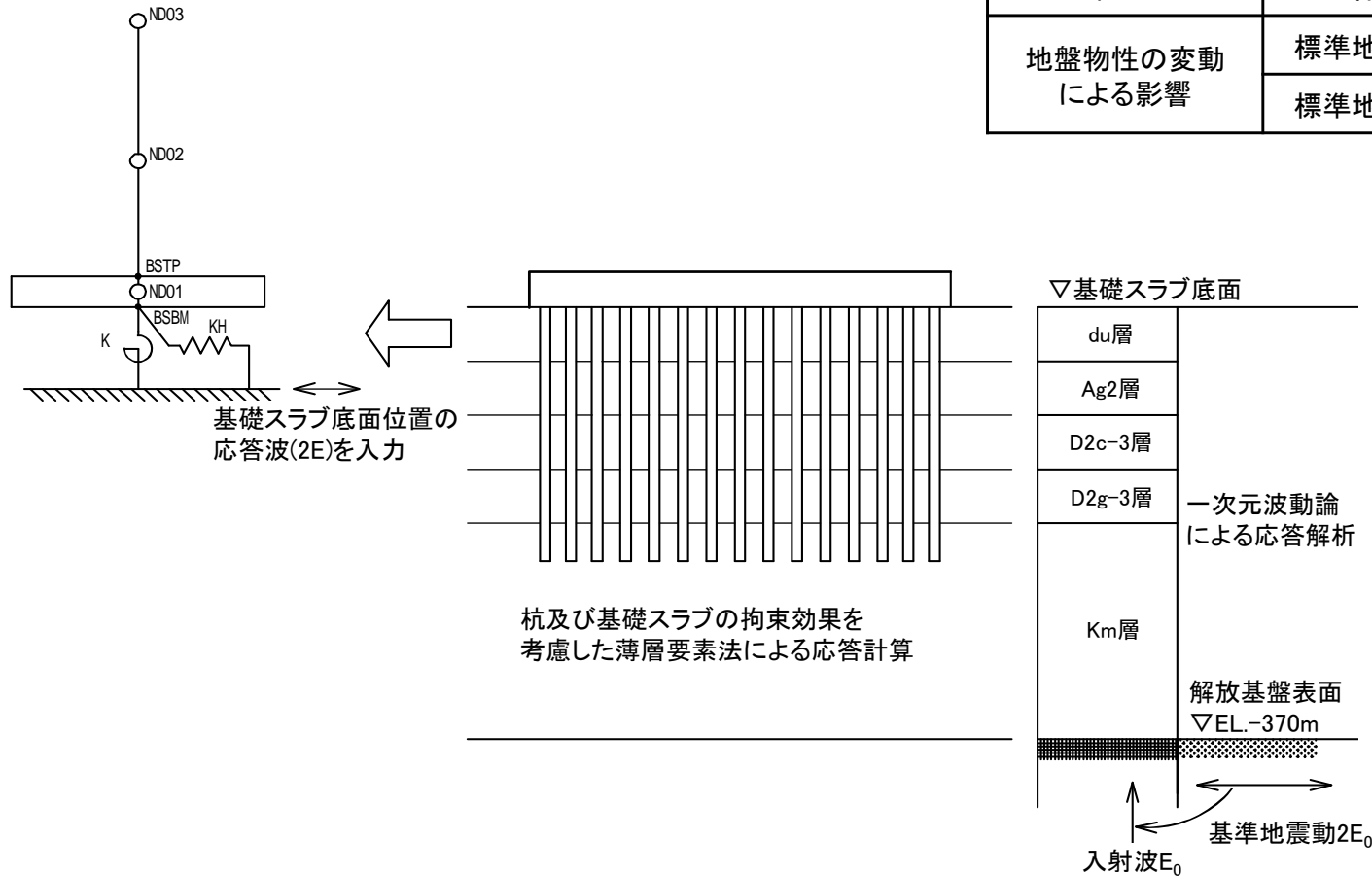
評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
緊急時対策所用発電機	構造強度	取付ボルト	引張応力	81(MPa)	210(MPa)
	機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度(鉛直)	0.55(G)	1(G)
緊急時対策所用制御盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	147(MPa)	385(MPa)
	機能維持	緊急時対策所用制御盤	応答加速度(水平)	0.65(G)	1.3(G)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

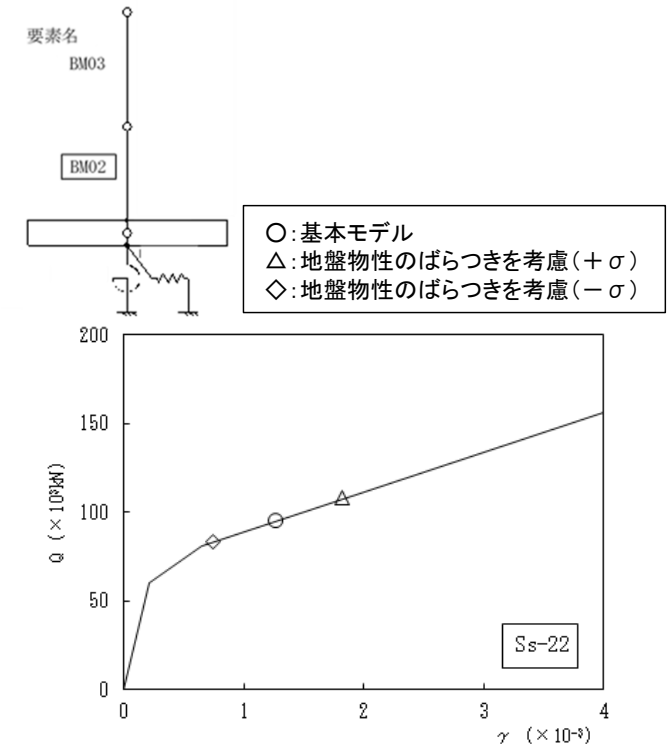
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s (8波)に基づく入力地震動を質点系モデルに入力して地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁について、全ての基準地震動 S_s に対して各層のせん断ひずみを算出し、許容限界と比較した結果、せん断ひずみが全ての基準地震動 S_s の中で最大となる S_s-22 の場合においても、耐震壁の最大せん断ひずみは 1.82×10^{-3} (要素番号BM02, 地盤物性のばらつき(+ σ), NS方向, S_s-22)であり、波及的影響を及ぼさないための許容限界(4.0×10^{-3} (終局点))を超えな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

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+ 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)

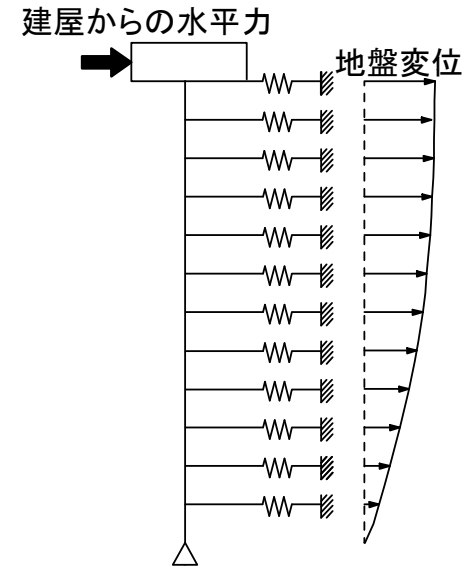


せん断スケルトン曲線上の最大応答値

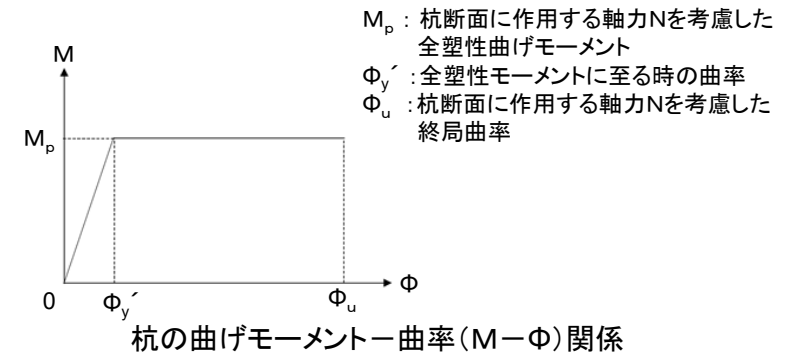
(要素番号BM02, NS方向)

○ 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

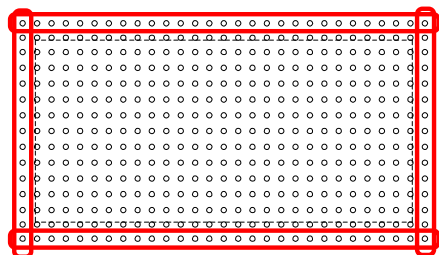


杭の評価結果

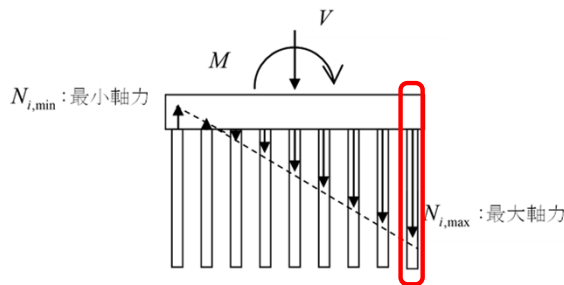
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 杭の評価における評価対象位置について

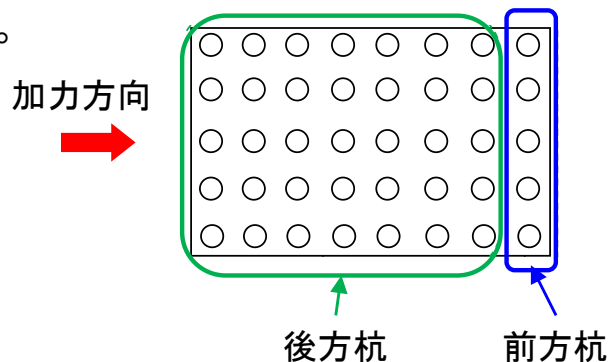
- ・各水平方向において軸力が最大となる最外端位置の杭を対象とする。



杭伏図



- ・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。

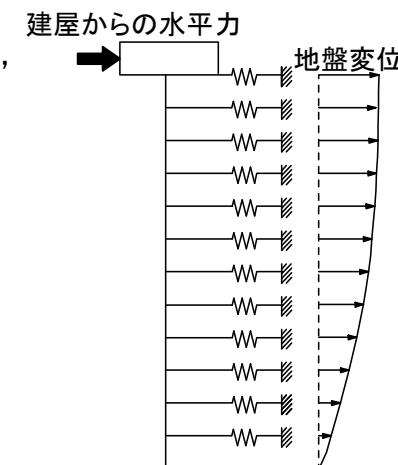


杭位置による前方杭と後方杭の区分

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。

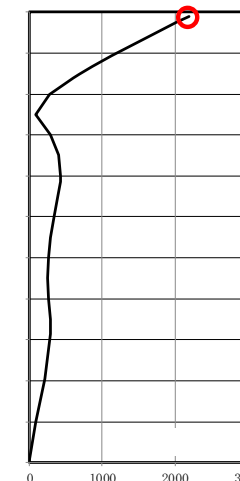
○ 杭の評価における保守性について

- ・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。



杭の解析モデル図

- ・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。



S_s 地震時の杭応力分布 (曲げモーメント)

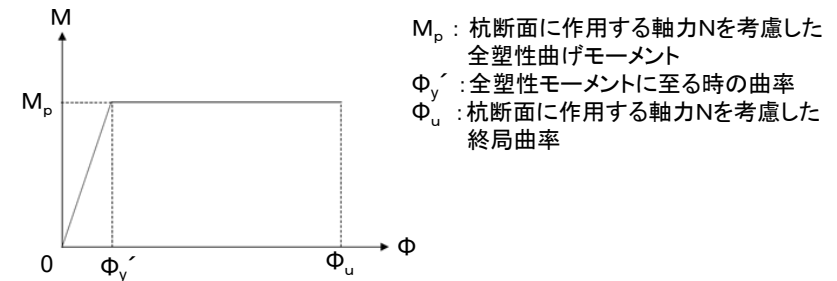
杭に作用する荷重が保守的な条件となるよう、地震波毎や作用位置毎ではなく、全ての最大値を取るよう設定した。

○ 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

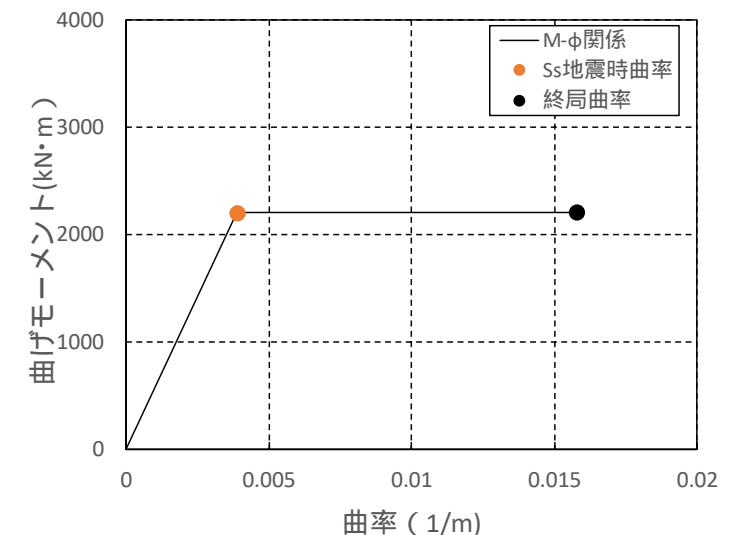
※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

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 _s 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 _s 地震時の発生値	終局曲率	S _s 地震時の発生値 / 終局曲率
曲率	0.389 × 10 ⁻² (1/m)	1.58 × 10 ⁻² (1/m)	0.246



耐震評価で有する保守性の概要

耐震評価において、以下に示す許容値の設定時における余裕、許容値と発生値との差により生じる余裕、発生値に算定時における余裕を有している。

(許容値の設定時における余裕)

- ㊦ 耐震設計時の判定の基準となる許容値は、実際に施設（建物、機器等）が壊れる限界値に対し、保守性を持たせた値を設定

(許容値と発生値との差により生じる余裕)

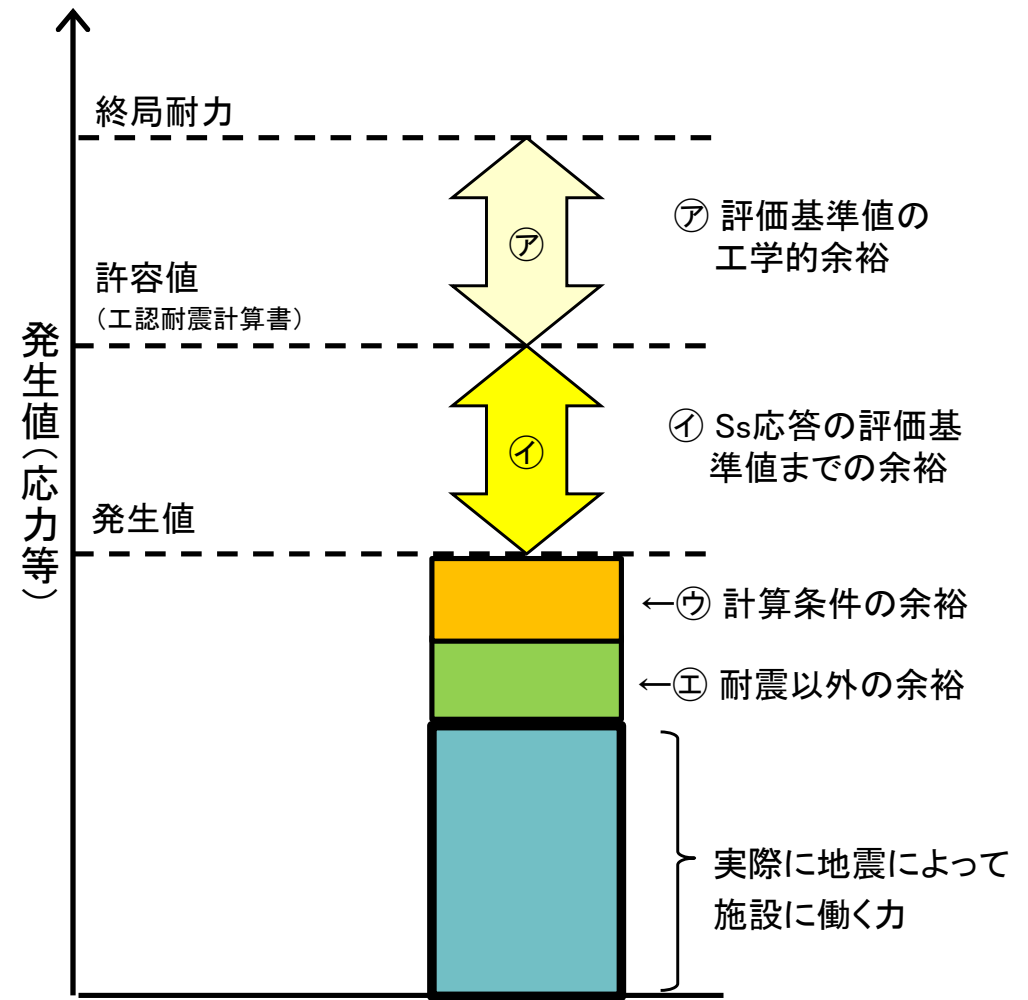
- ㊧ 許容値に対して工学的な判断のもと持たせる余裕

(発生値の算定時における余裕)

- ㊨ 地震によって働く力を計算する過程で、評価値が非安全側とならないように計算条件の設定等を保守的に設定
- ㊩ 耐震以外の条件や計算手法を保守的に設定



工事計画の耐震計算書において、許容値と発生値との差（上記㊧）が小さい格納容器の座屈評価について、耐震評価で有する保守性として上記㊦、㊨、㊩による余裕を説明する。



耐震評価で有する保守性(イメージ図)

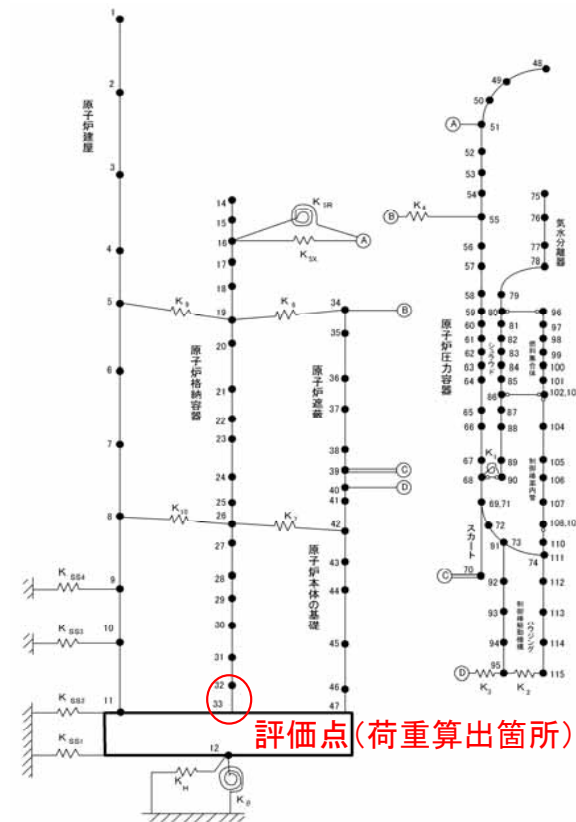
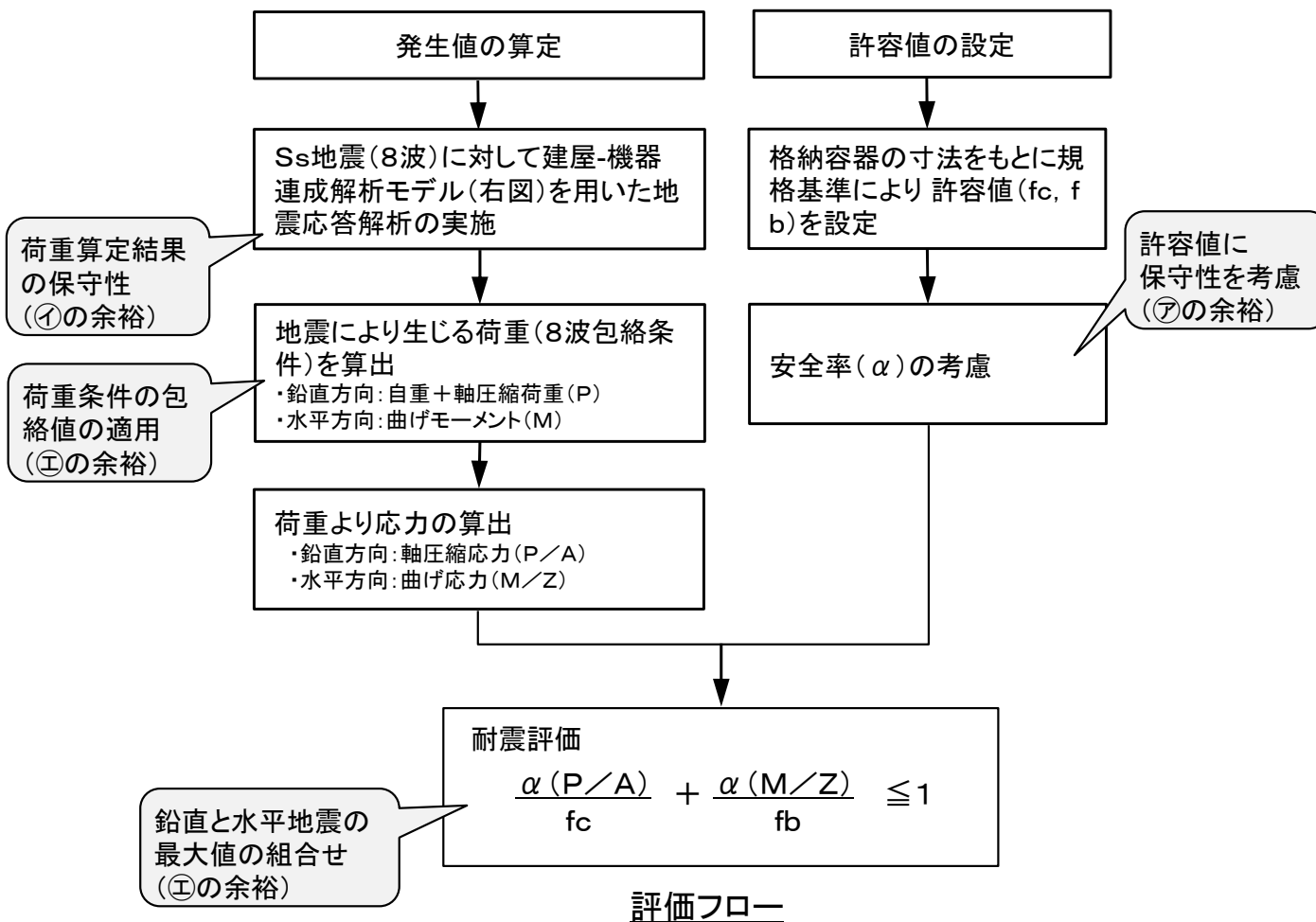
16. 耐震評価における具体的な保守性及び許容値等に対する余裕度
原子炉格納容器の座屈評価における保守性(評価の流れ)



- ・ 原子炉格納容器の底部とフランジプレートとの接合部の座屈評価において、発生値(0.98)に対して、許容値(1)が近接している結果となっている。
- ・ 格納容器の座屈評価では、鉛直地震による許容値に対する発生値の比率と水平地震による許容値に対する発生値の比率の和が1以下であることを確認している。

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
原子炉格納容器	構造強度	底部とフランジプレートとの接合部	座屈	0.98	1

注 耐震計算の各段階では、評価結果が厳しくなるように各種条件を設定しており、以下評価フローに示すとおり許容値の設定及び発生値の算定には保守性を有している。



建屋-機器連成解析モデル図

16. 耐震評価における具体的な保守性及び許容値等に対する余裕度
原子炉格納容器の座屈評価における保守性(ア)の余裕



ア) 耐震設計時の判定の基準となる許容値は、実際に施設が壊れる限界値に対し、保守性を持たせた値を設定

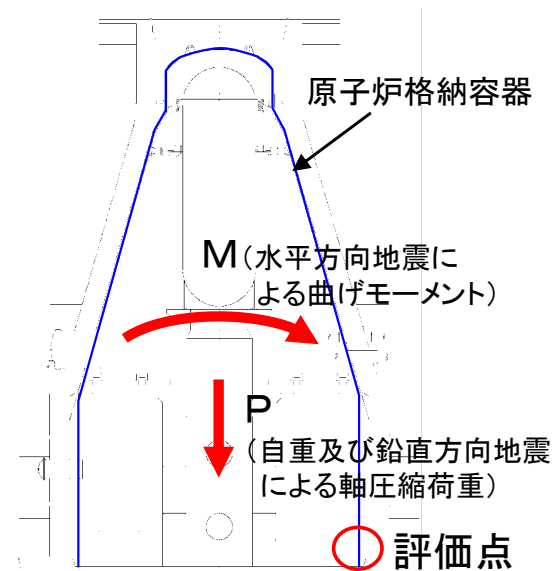
- ・ 座屈評価に用いる許容値は、座屈に重要なパラメータR(半径)/t(板厚)に対して、海外で実施された**広範な座屈実験により定められた下限曲線をもとに設定**されている。
- ・ さらに格納容器の耐震評価に適用している座屈評価式では、**安全率として1.5を考慮**したものととなっている。

【座屈の評価式】

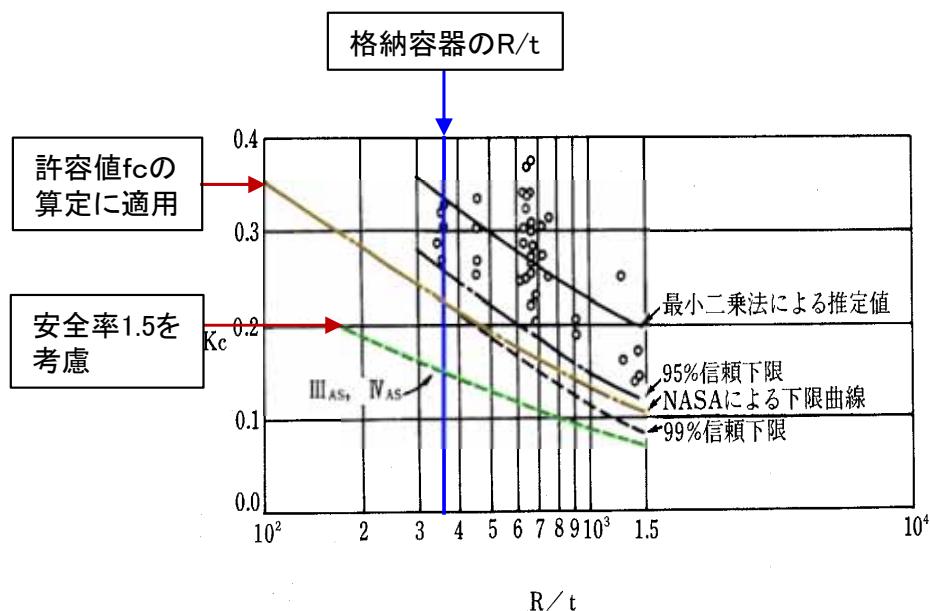
$$\frac{\alpha (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha (M/Z)}{f_b} \leq 1$$

- P: Ss地震及び自重による軸圧縮荷重(N)
- A: 断面積(mm²)
- M: Ss地震による曲げモーメント(N・mm)
- Z: 断面係数(mm³)
- f_c: 半径(R)/板厚(t)の相関(K_c)により求まる軸圧縮応力に対する許容値(MPa)
- f_b: R/tの相関により求まる曲げ応力に対する許容値(MPa)
- α: 安全率(1.5)

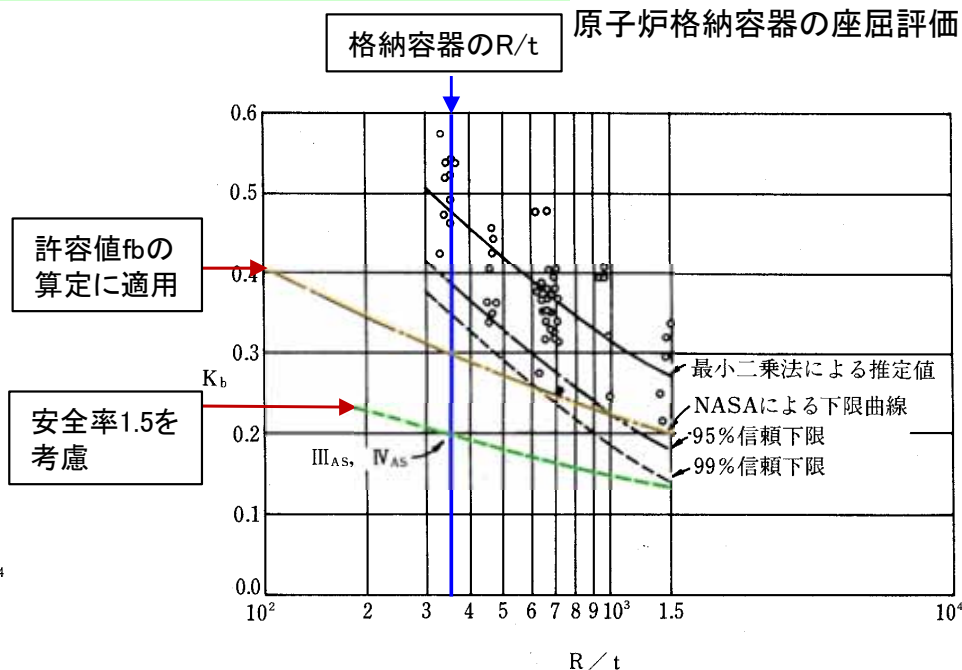
参考文献: 原子力発電所耐震技術指針重要度分類・許容応力編JEAG4601・補-1984



原子炉格納容器の座屈評価に適用する荷重



図II-1 軸圧縮座屈応力値の実験データによる下限曲線



図II-2 曲げ座屈応力値の実験データによる下限曲線

16. 耐震評価における具体的な保守性及び許容値等に対する余裕度
 原子炉格納容器の座屈評価における保守性(㊦の余裕)

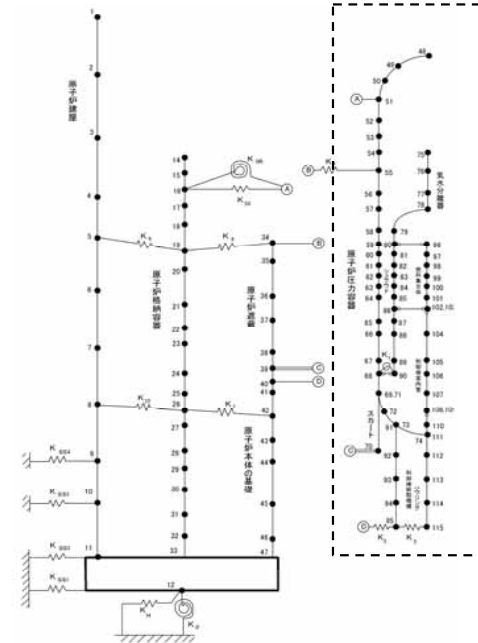


㊦ 地震によって働く力を計算する過程で、評価値が非安全側とならないように計算条件の設定等を保守的に設定

- ・座屈評価に適用する荷重算定に用いる解析モデルは、質点重量等を保守的に設定することで、安全側に大きな荷重として算定されるようにしている。
- ・解析による応答値の算出が保守的に算定されることは、財団法人原子力発電技術機構多度津工学試験センター(当時)にて実施された大型振動台を用いた試験結果との比較により確認がされている。

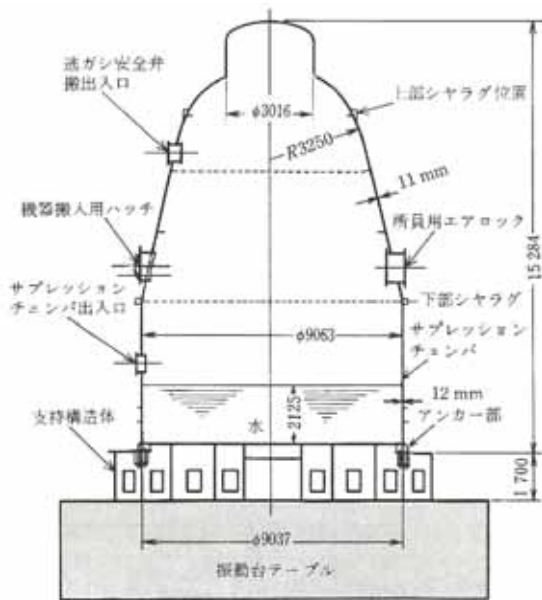
【当該試験の概要】

- 当該試験では、試験より得られる発生応力(下表:実測値)と解析より得られる発生応力(下表:設計解析値)とを比較し、**解析より得られる発生応力が試験より得られる発生応力を上回り安全側の結果となることを確認。**
- この検討に用いた解析より得られる発生応力の算定は、東海第二発電所を含めBWRプラントで一般的に適用される建屋と機器とを連成させた解析モデルの応答を用いた評価を適用

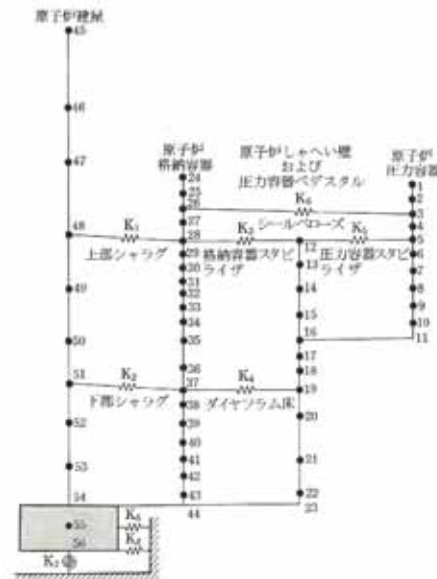


東海第二発電所の解析モデルでは原子炉内部構造物を詳細にモデル化しているが、その他のモデル化は試験体解析モデルと同様である。

東海第二発電所解析モデル(水平方向)



試験体全体概要図
(縮尺1:3.2)



試験体解析モデル(水平方向)

PCV主要部の軸方向最大応力の比較(S₂波加力)(単位:kgf/mm²)

測定位置	実測値		設計解析値
	内面	外面	
サプレッション・チェンバ基部シェル	2.8	3.7	7.2
円筒-円錐接合部	8.9	2.8	12.3
PCV円錐部シェル	2.3	0.8	2.9

Ⅰ 耐震以外の条件や計算手法を保守的に設定

① 鉛直地震による最大値と水平地震による最大値との組合せ

- ・地震により発生する荷重は、交番的に発生する荷重であり最大荷重は瞬間的に発生するため、**水平方向地震による最大荷重と鉛直方向地震による最大荷重が同時に発生することは考えにくい。**(図1)
- ・座屈評価では、**水平方向地震により最大となる曲げ応力と鉛直方向地震により最大となる軸圧縮応力が同時に発生することを考慮した保守的な評価を実施している。**(図2)

② Ss地震(8波)の荷重条件の包絡値の適用

- ・評価に用いる荷重条件は、地震波ごとの荷重条件で評価するのでなく、**全ての地震波における最大値**を用いている。
- ・水平方向地震において最大荷重となる地震波と鉛直方向地震において最大荷重となる地震波とは異なり保守的な評価条件により評価を実施している。(表1)

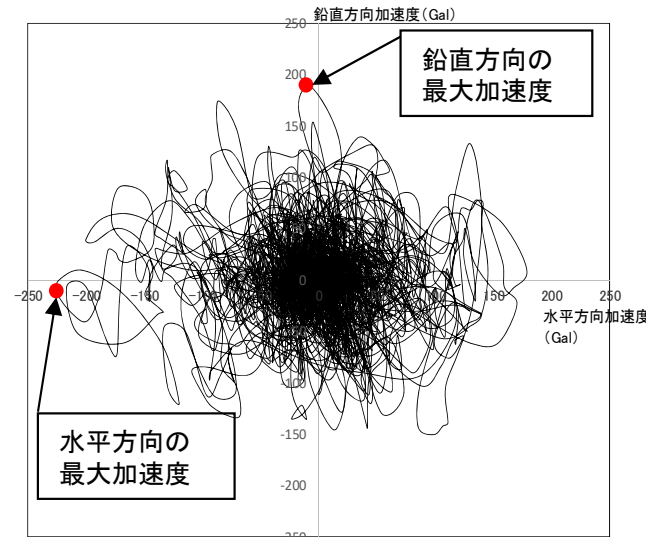


図1 原子炉建屋基礎上でリサージュ波形(東北地方太平洋沖地震における例)

$$\underbrace{\frac{\alpha (P/A)}{f_c}}_{\text{自重及び鉛直方向地震による軸圧縮応力に対する評価}} + \underbrace{\frac{\alpha (M/Z)}{f_b}}_{\text{水平方向地震による曲げ応力に対する評価}} \leq 1$$

自重及び鉛直方向地震による軸圧縮
 応力に対する評価

水平方向地震による曲げ応力に
 対する評価

図2 座屈の評価式

表1 Ss地震波による地震応答解析結果

	Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	最大値*
水平地震による 曲げモーメント(kN・m)	410000	175000	196000	203000	148000	363000	380000	566000	566000 (Ss-31)
鉛直地震による 軸圧縮(kN)	5100	4930	5200	5170	3720	6410	5670	1970	6410 (Ss-21)

* 耐震評価には、当該値に地盤物性等のばらつきを考慮したものの適用している。

- ・ブローアウトパネル閉止装置のチェーンは、加振試験結果を踏まえて設置した**門(かんなき)**により、構造上伸び量は に制限される。チェーンの地震時の**発生荷重(43.8kN)**の算定は、この限界まで伸びたことを想定しており、基準地震動Ssによってこれよりも大きな値となることはない。
- ・許容値は、日本機械学会の設計・建設規格の許容荷重設定の考え方を適用し、実機に適用する実際のチェーンを試験することにより設定している。今回の工認で用いた**許容値(43.83kN)**は、チェーンの破断荷重に対して0.6倍した値に最高使用温度と試験温度との差を補正することにより設定しており、実際に破断するまでには余裕を有している。

チェーンの耐震評価結果

発生荷重	許容値
43.8kN	43.83kN

設計・建設規格における許容荷重設定

許容荷重 A_L は、次の計算式により計算した値を超えないこと。

$$A_L = 0.6T_L \times (Syd/Syt)$$

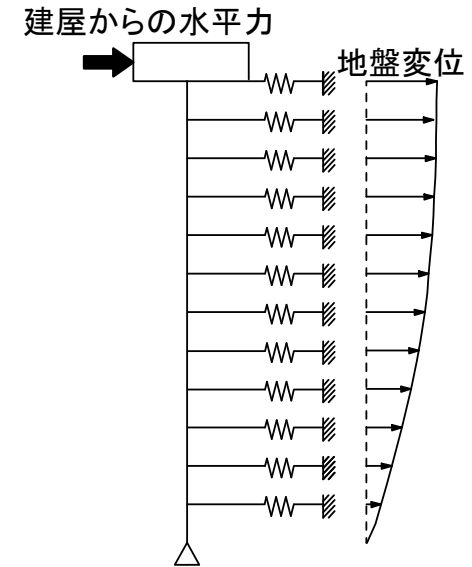
T_L : 荷重試験により破損するおそれのある荷重(試験体3体のうち最小値)

Syd/Syt: 最高使用温度と試験温度との補正值

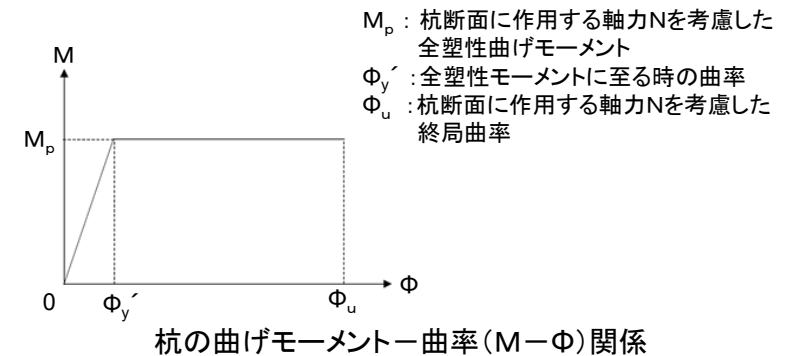
ブローアウトパネル閉止装置用チェーンの試験結果

○ 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

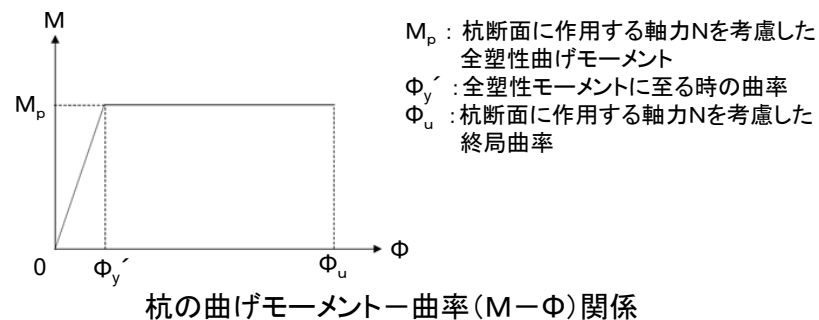
評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
鉛直支持力	1340 (kN/本)	2740 (kN/本)	0.490	可
引抜き力	404 (kN/本)	840 (kN/本)	0.481	可
曲げモーメント	2200 (kN・m/本)	2210 (kN・m/本)	0.996	可
せん断力	571 (kN/本)	2350 (kN/本)	0.243	可

○ 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。



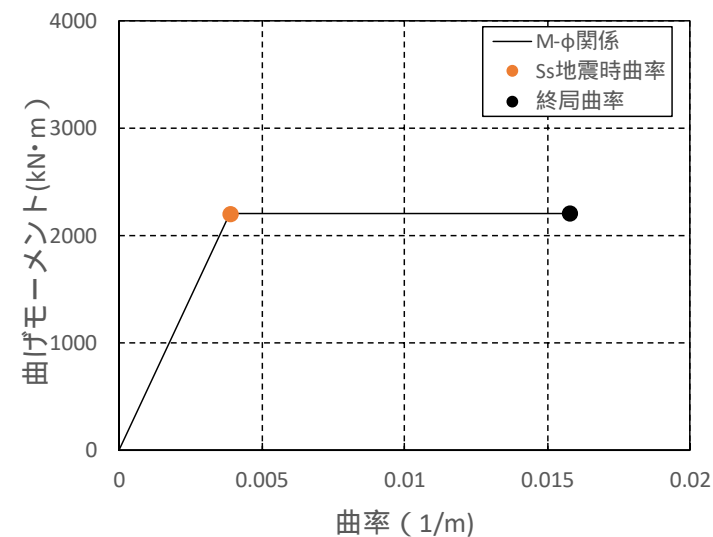
※杭に発生する曲げモーメントが全塑性モーメントに達する場合、曲げモーメントはその値で頭打ちとなるものの変形が進む(曲率が大きくなる)ことでエネルギーを吸収していき、実際の許容限界である終局曲率に達する。

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	Ss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	Ss地震時の発生値	終局曲率	Ss地震時の発生値 / 終局曲率
曲率	0.389×10^{-2} (1/m)	1.58×10^{-2} (1/m)	0.246

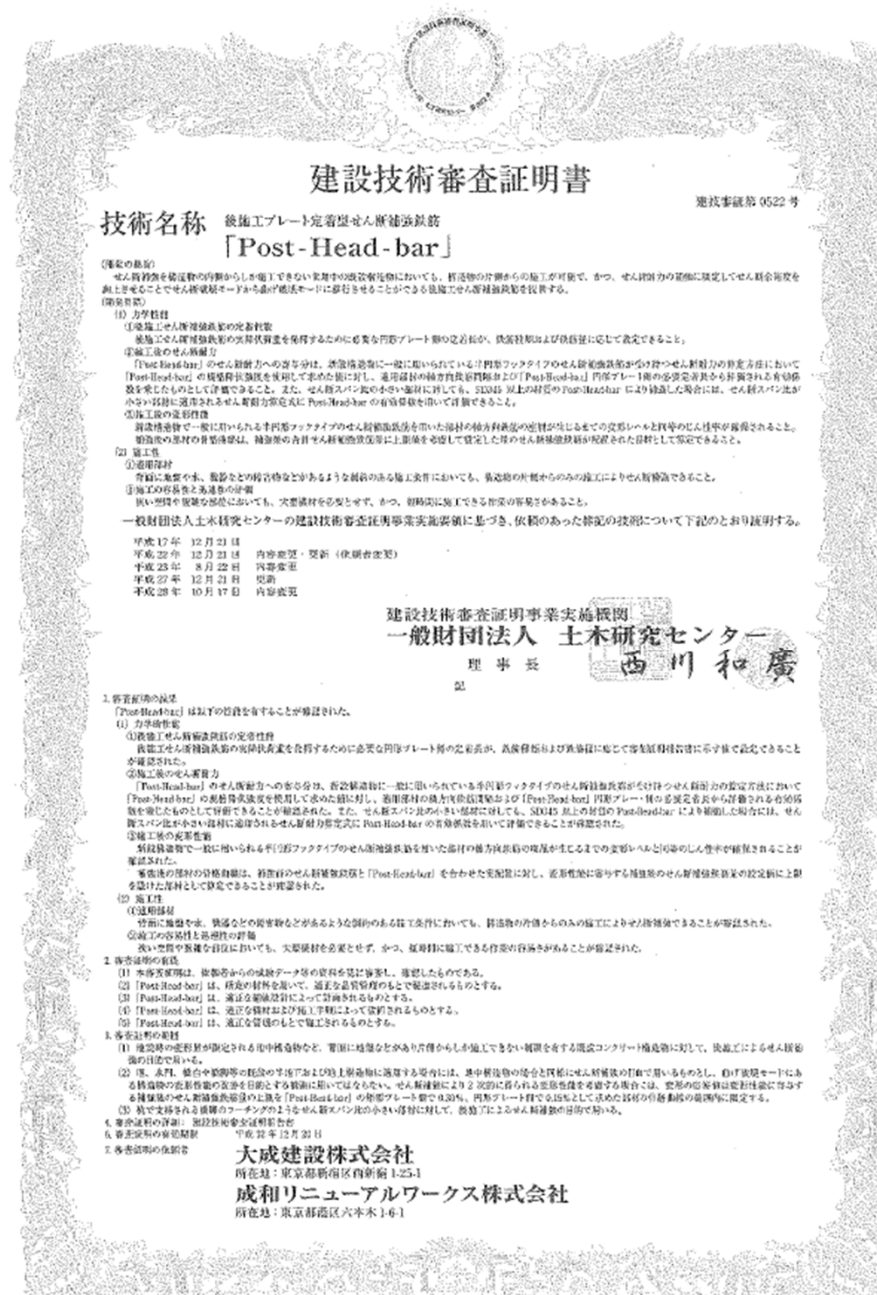


PHb(Post-Head-bar)工法は、平成17年(一財)土木研究センター¹⁾より建設技術審査証明を交付されている。
 また、国土交通省の公共工事等における新技術活用システム²⁾の中核となる新技術情報システム(NETIS)により、令和元年度の準推奨技術³⁾として選定されている。

- 注記 1)一般財団法人土木研究センター
- ・昭和54年4月に設立
 - ・土木に関する調査、試験及び研究の促進に努めるとともに、その成果の普及を図り、もって国土建設技術の発展向上に寄与する目的で設立
- 2)民間企業等により開発された新技術を、公共工事等において積極的に活用していくためのシステム
- 3)公共工事等に関する技術の水準を一層高めるために選定された画期的な新技術で、推奨技術と位置付けるには更なる発展を期待する部分がある新技術

PHb(Post-Head-bar)工法施工実績⁴⁾

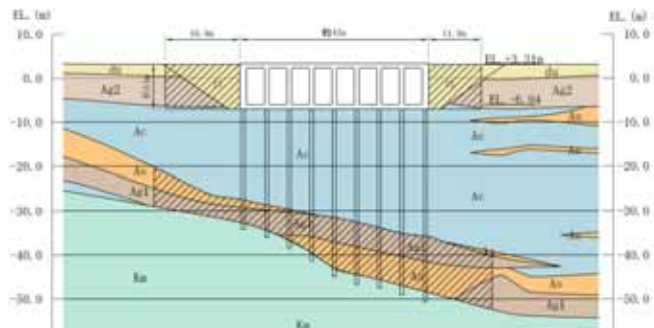
対称施設		施工件数
道路・地下街	空港アクセス地下街・道路橋他	36件
浄化センター(ポンプ場場合)	最終沈澱池、ポンプ室他	385件
鉄道	地下駅舎・トンネル部	11件
浄水場	配水池他	127件
水門	津波対策用防潮水門他	156件
排水機場	排水機場他	31件
排水路	地下排水路	14件
発電所・プラント	貯水池・水路他	6件



注記 4)PHb工法研究会資料より(H31年4月現在)

【地盤改良体(薬液注入)】

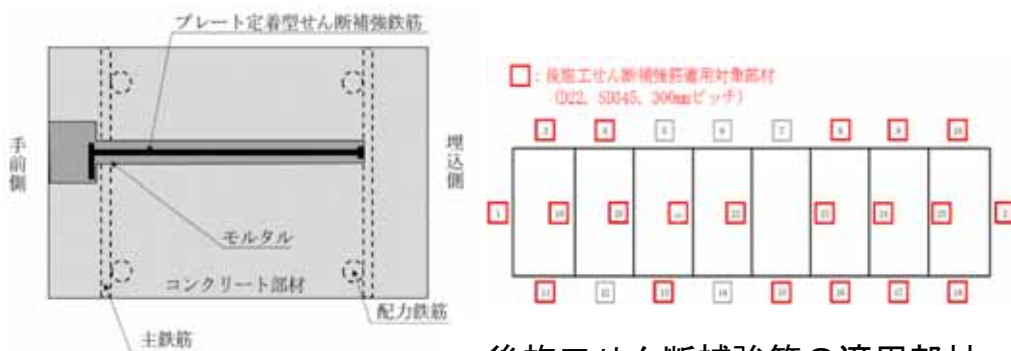
構造物の側方及び深部の地盤に対し、地盤改良(薬液注入)を実施することで、構造物及び鋼管杭に作用する地震時土圧を低減する。



地盤改良範囲(斜線部)

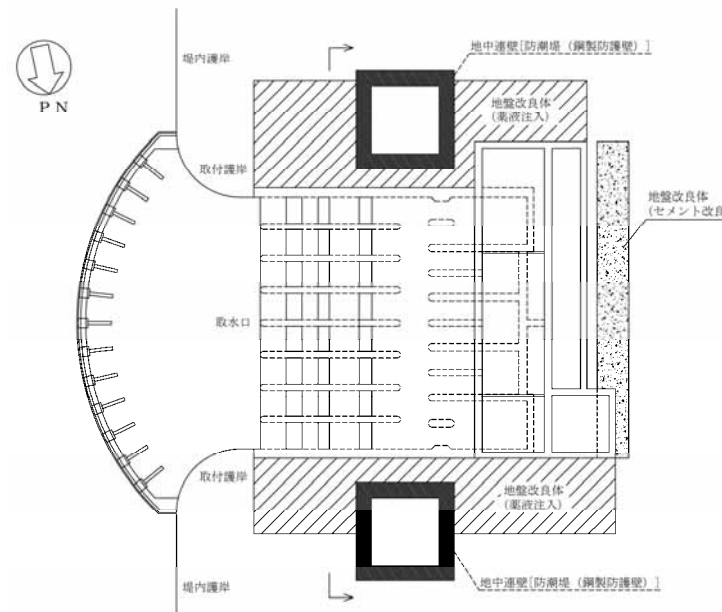
【後施工せん断補強筋(PHb工法)】

既存構造物の表面からPHbドリルで削孔を行い、その孔内に専用モルタルグラウトを充填後、後施工プレート定着型せん断補強鉄筋(PHb)を設置し、構造躯体と一体化をはかり、部材のせん断耐力を向上させる工法である。取水構造物の鉄筋コンクリート部材に対して、耐震性向上を目的として後施工せん断補強筋工法(PHb工法)による耐震補強を行う。



PHb工法の概要

後施工せん断補強筋の適用部材



○ 左記補強結果を踏まえた評価結果

照査値は1を下回り、許容値を満足することを確認した。

鉄筋コンクリート部材における最大照査値(せん断)

評価位置	解析ケース	地震動	断面形状(mm)			鉄筋仕様 PHbせん断補強筋	照査用せん断力 Vd (kN)	せん断耐力 Vyd (kN)	照査値 $\gamma_i \cdot Vd/Vyd$
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)				
			中底版	④	S _s -D1		1000	1000	925

鋼管杭における最大照査値(せん断)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用せん断力	終局せん断耐力	照査値 $\gamma_i \cdot Qd/Qu$
			Qd (kN)	Qu (kN)	
杭⑪	④	S _s -D1	1965	2904	0.677

機器・配管系の耐震健全性では、構造強度評価により強度的に問題がないことを確認することに加え、動的機能要求がある設備に関しては地震発生によっても問題なく動作することも確認している。

動的機能維持の確認については、予め動作が確認された加速度（機能確認済加速度）に対して基準地震動 S_s による加速度が超えないことの確認、又は機能確認済加速度がない設備は、加振試験により動的機能が維持できることを確認している。

本資料では加振試験により動的機能の維持を確認した設備について説明する。

① 予め動作が確認された加速度を有する設備区分

- ・ポンプ
- ・ポンプ駆動用タービン（RCIC用）
- ・電動機
- ・ファン
- ・ダンパ
- ・非常用ディーゼル発電機
- ・弁
- ・制御棒
- ・電気品

② 加振試験により動的機能の維持を確認した設備区分

- ・ブローアウトパネル閉止装置
- ・常設高圧代替注水系ポンプ
- ・車両型設備
- ・可搬型設備

○日本電気協会原子力発電所耐震設計技術指針1991年版(以下「JEAG4601」という。)における加振波の選定方針

JEAG4601において加振波の選定方針が以下のとおり示されている。

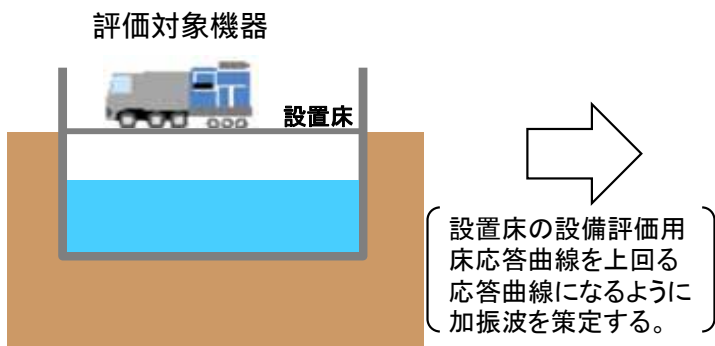
JEAG4601の記載要約

評価対象機器に適用する設計用床応答曲線と等価な加振波を選定することが望ましく、全周期範囲にわたって、設計用床応答曲線と等価な加振波とすることが困難な場合には、少なくとも評価対象機器の主要な固有周期が存在する領域について設計用床応答曲線と等価な加振波を選定する必要がある。

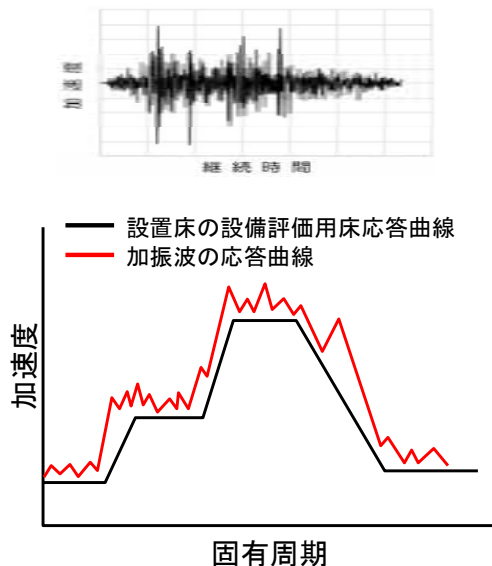
なお、1次固有周期が卓越する機器については正弦波による試験を行ってもよい。

○東海第二発電所の加振波のJEAG4601への適合状況

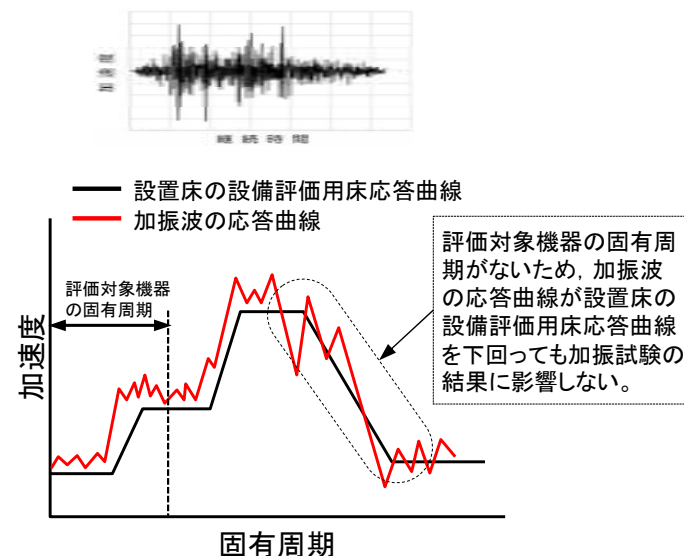
東海第二発電所では、この要求を満足するように加振波を策定した上で加振試験を適用している。なお、加振波の策定には、地盤物性等のばらつきを考慮した設備評価用床応答曲線を適用している。



全周期範囲にわたって加振波の応答曲線が設備評価用床応答曲線を上回っているケースの例



評価対象機器の固有周期の範囲において加振波の応答曲線が設備評価用床応答曲線を上回っているケースの例



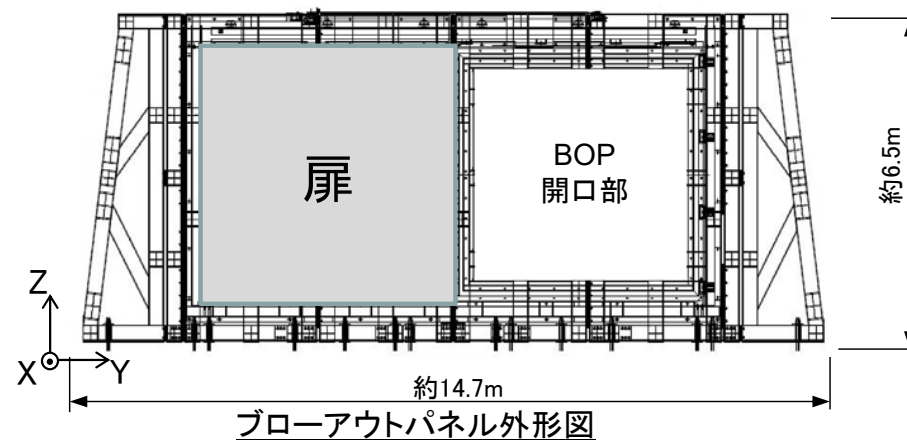
ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

加振試験等の条件

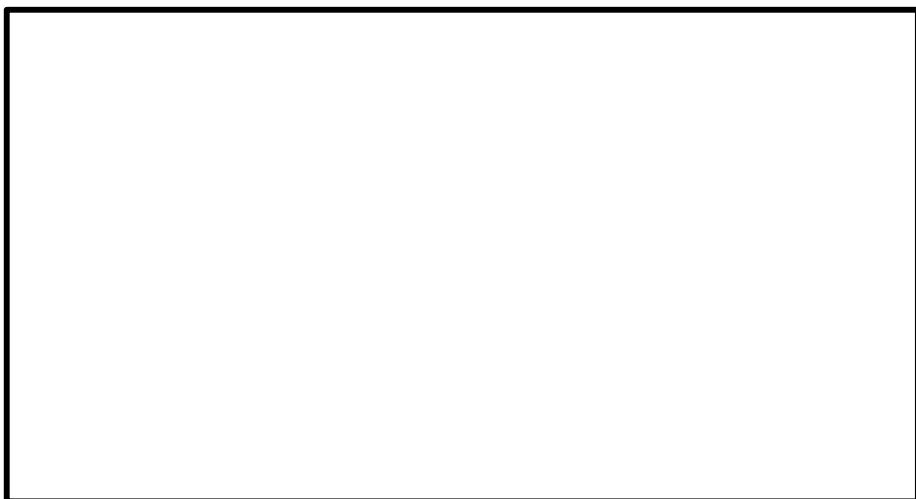
	BOP閉止装置
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (E-ディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



原子炉建屋6階 原子炉建屋5階
 ブローアウトパネル配置図



ブローアウトパネル外形図



模擬地震波の時刻歴波形



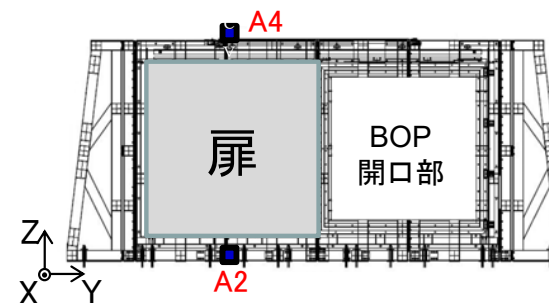
ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

○ 加振試験の妥当性

BOP閉止装置の固有周期範囲において、加振波の応答曲線(図の赤線)は、ブローアウトパネル閉止装置の設置位置である原子炉建屋の設備設計用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

○ 加振試験結果

各部に破損等の異常は確認されず、ブローアウトパネル閉止装置の耐震健全性が確認された。加振試験後においても、気密性が確保でき、原子炉建屋原子炉棟の気密性能も確保できることを確認した。



BOP閉止装置加振試験結果

区分 (扉状態)	試験項目	結果
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・扉閉操作 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好

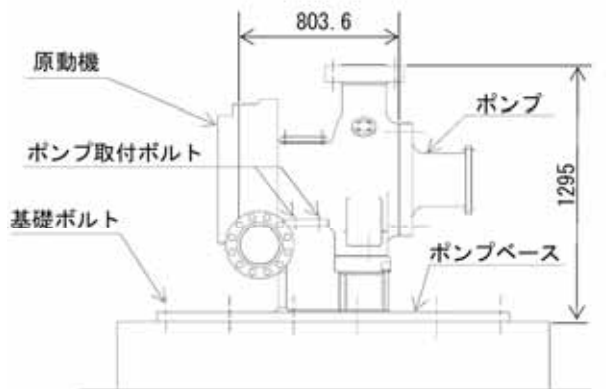


床応答曲線の比較図(扉開時)

常設高圧代替注水系ポンプの動的機能維持の確認について、実機大の加振試験装置を用いた模擬地震波による加振試験により行った。

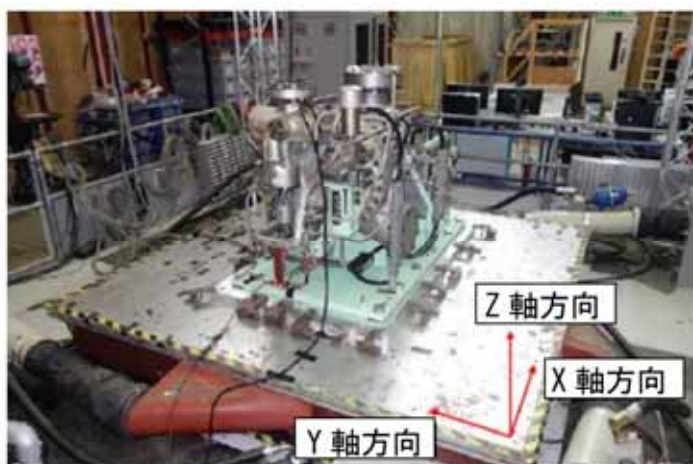
加振試験等の条件

常設高圧代替注水ポンプ	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 3m × 3m ・最大積載量: 15t ・加振台: 英国Bristol大学
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



(単位: mm)

常設高圧代替注水系ポンプ外形図



常設高圧代替注水系ポンプ加振試験装置



模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

振動特性の把握試験から当該ポンプの有する固有周期は、十分な剛構造(固有振動数として20Hz以上)であることが確認できたため、最大加速度の比較より加振試験の妥当性確認を行った。加振波の最大加速度が、設置床の最大加速度以上であることを確認した。

○ 加振試験結果

加振試験後の動作試験にて性能上問題ないこと、分解点検等により各部品に損傷が確認されず常設高圧代替注水系ポンプの耐震健全性が確認された。

各方向の固有周期

方向	固有周期 (S)	固有振動数 (Hz)
X		
Y		
Z		

最大加速度の比較

方向	設置床の最大加速度	加振波の最大加速度
X	0.72	
Y	0.72	
Z	0.75	

常設高圧代替注水系ポンプ加振試験結果

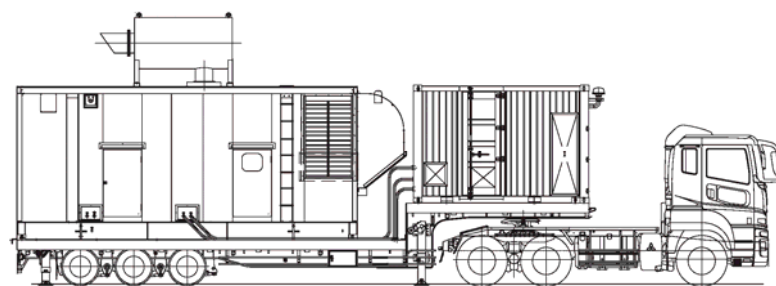
試験項目	結果
漏えいのないこと	良好
構造上損傷のないこと	良好
加振中にガバナが許容値以上変位しないこと	良好
トリップ装置が誤作動しないこと	良好
動作試験として加振試験前後の性能比較により機器の健全性及び動作性に異常がないこと	良好
分解点検の外観目視試験により損傷のないこと	良好

車両型設備の動的機能維持の確認について、実機適用する同型式の車両を用いた模擬地震波による加振試験により行った。車両型設備のうち常設代替高圧電源装置(No.1~No.5)を代表して説明する。

- 《車両型設備一覧》
- ・常設代替高圧電源装置(No.1~No.5)
 - ・常設代替高圧電源装置(No.6)
 - ・可搬型代替注水大型ポンプ
 - ・可搬型代替注水中型ポンプ
 - ・可搬型代替低圧電源車及び窒素供給装置用電源車
 - ・窒素供給装置
 - ・タンクローリ

加振試験等の条件

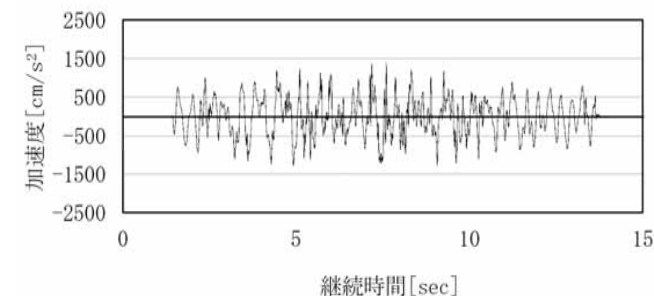
常設代替高圧電源装置	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 20m × 15m ・最大積載量: 1200t ・加振台: 防災科学研究所 (E-ディフェンス)
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



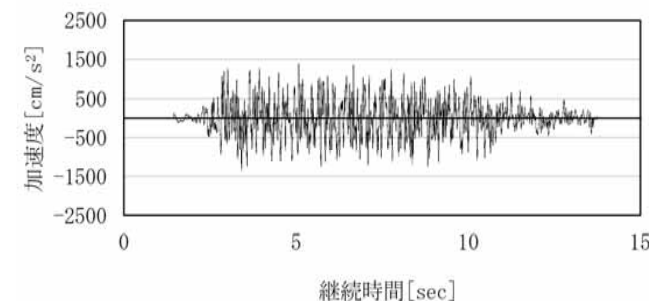
常設代替高圧電源装置外形図



常設代替高圧電源装置加振試験装置



水平方向



鉛直方向

模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

加振波の応答曲線(図の赤線)は、常設代替高圧電源装置の設置位置である常設代替高圧電源装置置場の設備評価用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

○ 加振試験結果

加振試験中において車両が転倒しないこと、また加振後の定格運転において発電機能が維持等の確認をすることで、耐震健全性が確認された。



床応答曲線の比較図

常設代替高圧電源装置加振試験結果

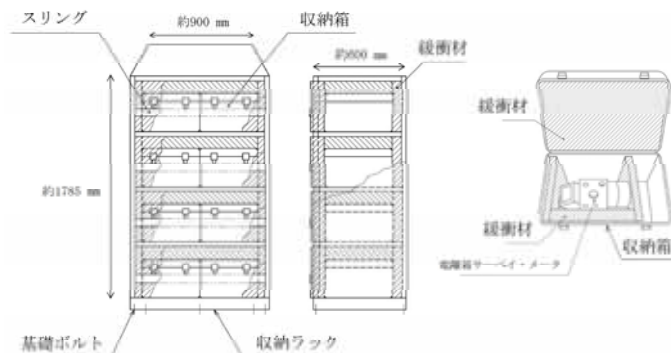
設備名称	確認事項
常設代替高圧電源装置	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、車両型設備が転倒していないことを確認した。また、加振時に固縛装置が作用していることから、固縛装置も健全であることを確認した。 ・外観点検を行い、常設代替高圧電源装置の必要な機能に影響する損傷、燃料漏えい等の異常が無いことを確認した。 ・定格運転状態において、異常な振動、異音等の不具合が無いこと、発電機能が維持されていることを確認した。

可搬型設備の動的機能維持の確認について、実機適用する同型式の設備を用いた模擬地震波による加振試験により行った。可搬型設備のうち電離箱サーベイ・メータを代表して説明する。

- | | | | |
|-----------|---|--|---|
| 《可搬型設備一覧》 | <ul style="list-style-type: none"> ・緊急時対策所エリアモニタ ・可搬型モニタリング・ポスト ・可搬型モニタリング・ポスト端末 ・可搬型ダスト・よう素サンプラ ・β線サーベイ・メータ ・NaIシンチレーションサーベイ・メータ ・ZnSシンチレーションサーベイ・メータ ・電離箱サーベイ・メータ | <ul style="list-style-type: none"> ・可搬型気象観測設備 ・可搬型気象観測設備端末 ・可搬型計測器(温度, 圧力, 水位及び流量計測用) ・可搬型計測器(圧力, 水位及び流量計測用) ・酸素濃度計 ・二酸化炭素濃度計 ・データ表示装置(待避室) ・衛星電話設備(携帯型) | <ul style="list-style-type: none"> ・無線連絡設備(携帯型) ・携行型有線通話装置 ・逃がし安全弁用可搬型蓄電池 ・衛星電話設備(可搬型)(待避室) ・可搬型照明(SA) ・小型船舶 ・可搬型整流器 |
|-----------|---|--|---|

加振試験等の条件

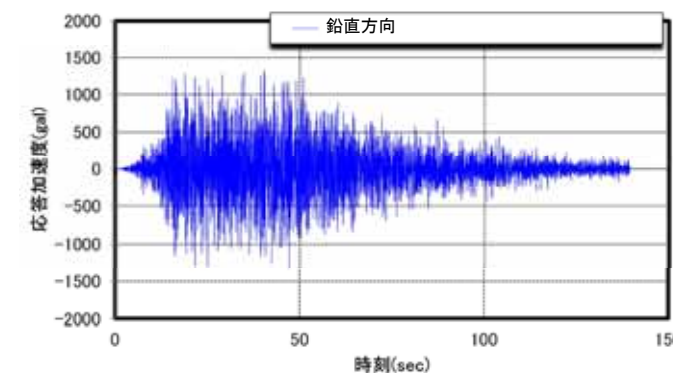
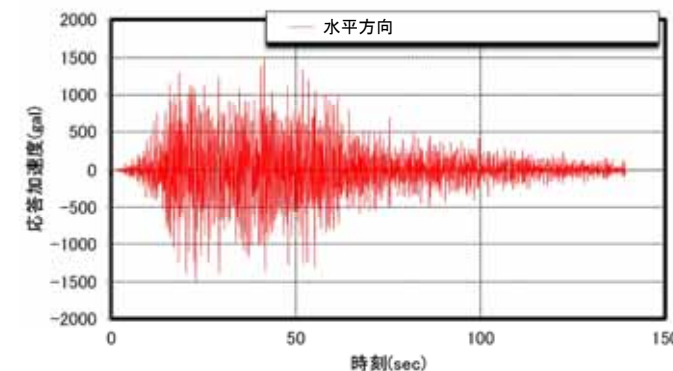
電離箱サーベイ・メータ	
加振台仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法: 4m × 3m ・最大積載量: 7t ・加振台: (株)NTTファシリティーズ
加振方向	3軸(X/Y/Z)同時加振
試験体(縮尺)	実機相当(1/1)



可搬型設備(電離箱サーベイ・メータ)収納状況図



可搬型設備の加振試験



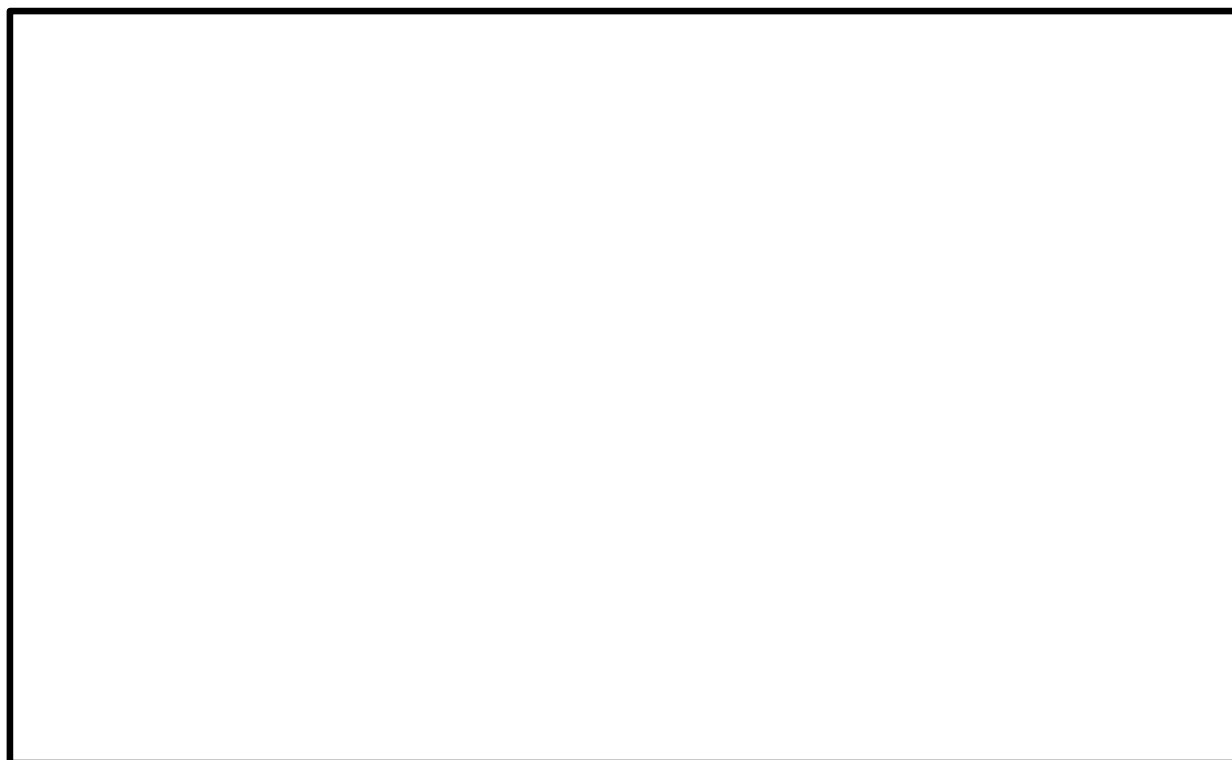
模擬地震波の時刻歴波形

○ 加振試験の妥当性

加振波の応答曲線(図の赤線)は、電離箱サーベイ・メータの設置位置である緊急時対策所建屋の設備評価用床応答曲線(図の黒線)を超えていることを確認した。

○ 加振試験結果

加振試験中において収納ラックが転倒しないこと、また加振後に正常に動作することを確認した。



床応答曲線の比較図

電離箱サーベイ・メータ加振試験結果

設備名称	確認事項
電離箱 サーベ イ・メータ	<ul style="list-style-type: none">・加振試験後の外観点検により、収納ラックと固縛に使用しているスリングが健全であり、転倒していないことを確認した。・外観点検を行い、著しい損傷がないことを確認した。・各動作が正常に動作することを確認した。

- ・設計基準対象施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、定められた該当施設(設置許可基準規則の解釈)により、東海第二発電所の各施設の耐震重要度を定めている。
 - Sクラス: 周辺公衆への放射線被ばくの影響が大きいもの
 - Bクラス: 上記より比較的影響が小さいもの
 - Cクラス: Sクラス及びBクラス以外のもの

耐震重要度	該当する施設
Sクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・ 使用済燃料を貯蔵するための施設 ・ 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・ 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設 ・ 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設 ・ 津波防護機能を有する設備及び浸水防護機能を有する設備* ・ 敷地における津波監視機能を有する施設*
Bクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・ 放射性廃棄物を内蔵している施設 ・ 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設 ・ 使用済燃料を冷却するための施設 ・ 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設
Cクラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

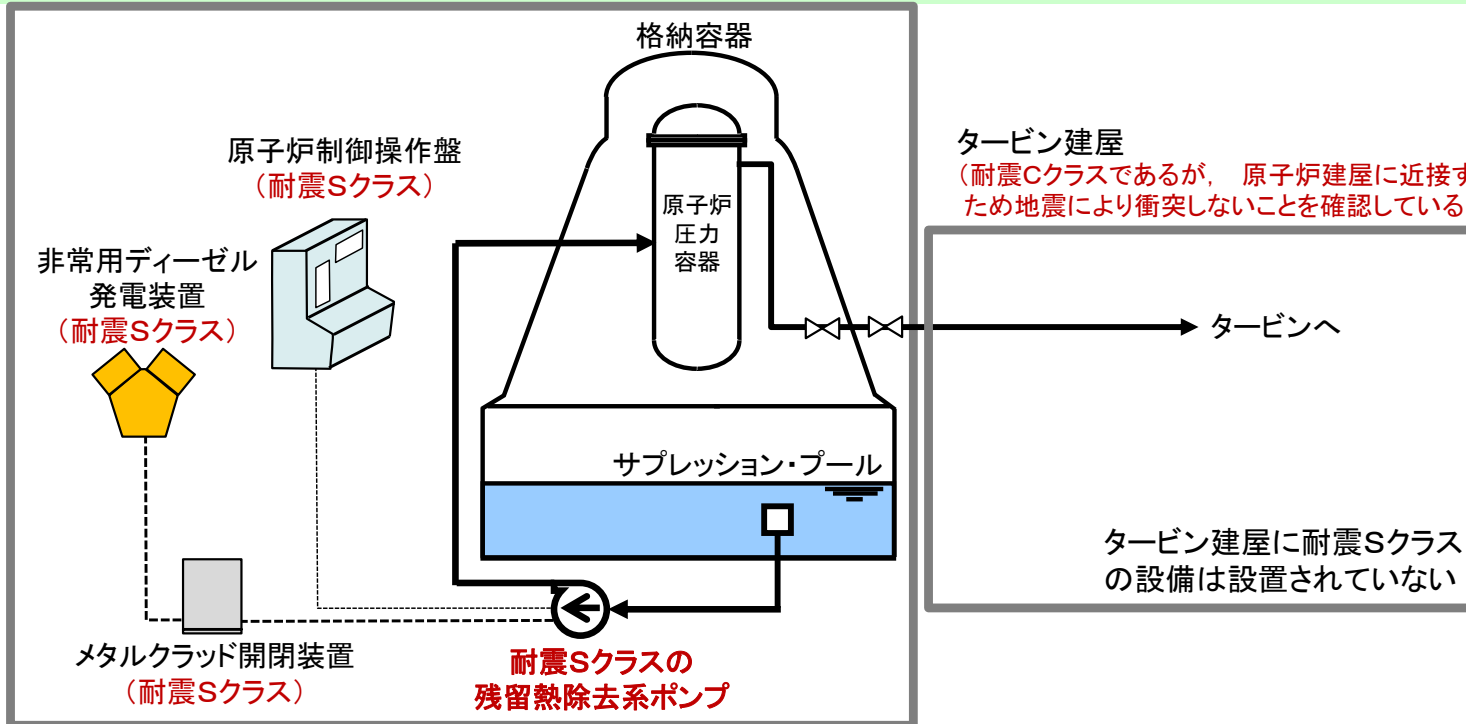
* : 福島第一原子力発電所事故で得られた教訓を踏まえて、新たに耐震Sクラスとなった施設

- 耐震重要度の分類の考え方を耐震Sクラスである残留熱除去系ポンプを例に示す。主に機能が要求される耐震Sクラス設備(残留熱除去系ポンプ)に加え、当該設備の動作に必要な補助設備として、非常用ディーゼル発電装置、原子炉制御操作盤、メタルクラッド開閉装置についても、同様の耐震重要度に分類し、耐震Sクラスとしての耐震健全性の確認を行っている。
- また、耐震Sクラス設備が設置されている建物として、原子炉建屋は、耐震Sクラス設備の機能が維持できるように基準地震動Ssにより耐震評価を行い健全性を確認している。なお、タービン建屋は耐震Cクラスであるが、耐震重要度が高い設備が設置された原子炉建屋に近接するため、基準地震動Ssによって、原子炉建屋に衝突しないことを確認している。

主要設備		補助設備		設置される建屋		波及的影響を*1考慮すべき設備	
適用範囲	耐震重要度分類	適用範囲	耐震重要度分類	適用範囲	確認用地震動	適用範囲	確認用地震動
残留熱除去系ポンプ	S	ポンプ運転に必要な電気計装設備 ・非常用ディーゼル発電装置 ・メタルクラッド開閉装置 ・原子炉制御操作盤	S	原子炉建屋	Ss	タービン建屋	Ss

***1 波及的影響の観点による耐震健全性**
耐震Bクラス及び耐震Cクラスに属する施設の損傷等によって、耐震Sクラス施設の機能に影響を与えないように基準地震動Ssを用いた評価により耐震Sクラス施設の機能に影響を及ぼさないことを確認する。

原子炉建屋
(耐震Sクラスの設備が設置される建物としてSsに対する健全性を確認)



タービン建屋
(耐震Cクラスであるが、原子炉建屋に近接するため地震により衝突しないことを確認している。)

タービン建屋に耐震Sクラスの設備は設置されていない

- 残留熱除去系ポンプ及びその補助設備(非常用ディーゼル発電装置, メタルクラッド開閉装置及び原子炉制御操作盤), さらに設備が設置される原子炉建屋について, 構造強度及び機能維持評価の結果, 基準地震動 S_s による発生値が許容値を下回ることを確認した。
- タービン建屋は, 基準地震動 S_s によって波及的影響を及ぼさないことを確認するとともに, 原子炉建屋に衝突しないことを確認した。

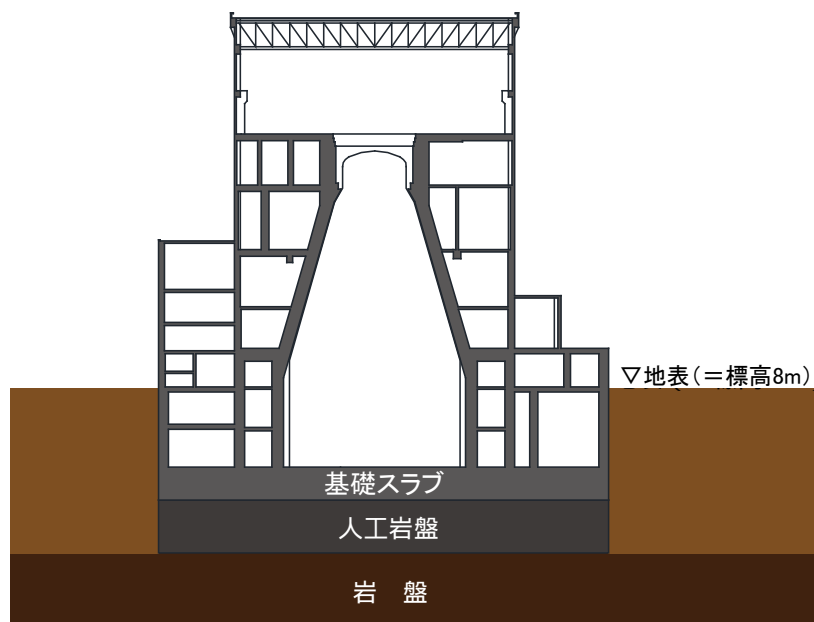
評価対象施設	評価項目	評価部位	応力分類	単位	発生値	許容値
残留熱除去系ポンプ	構造強度	バレルケーシング	一次一般膜応力	MPa	59	< 223
	機能維持	ポンプ/原動機	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
非常用ディーゼル発電装置	構造強度	反直結側軸受台部 基礎ボルト	引張応力	MPa	82	< 182
	機能維持	発電機/ 機関本体/ ガバナ	応答加速度 (鉛直)	G	0.75	< 1
メタルクラッド開閉装置	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	25	< 210
	機能維持	メタルクラッド 開閉装置2D	応答加速度 (鉛直)	G	0.8	< 1
原子炉制御操作盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	MPa	31	< 210
	機能維持	原子炉制御 操作盤	応答加速度 (水平)	G	1.11	< 2.20
原子炉建屋	構造強度	耐震壁	せん断ひずみ	$\times 10^{-3}$	0.6	< 2.0
タービン建屋	波及的 影響	原子炉建屋に衝突 しないこと	相対変位	mm	33.2	< 50

建屋の設置状況

○原子炉建屋

- 原子炉建屋は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持することを目的として、人工岩盤(コンクリート造^{*})を介して岩盤に設置している。

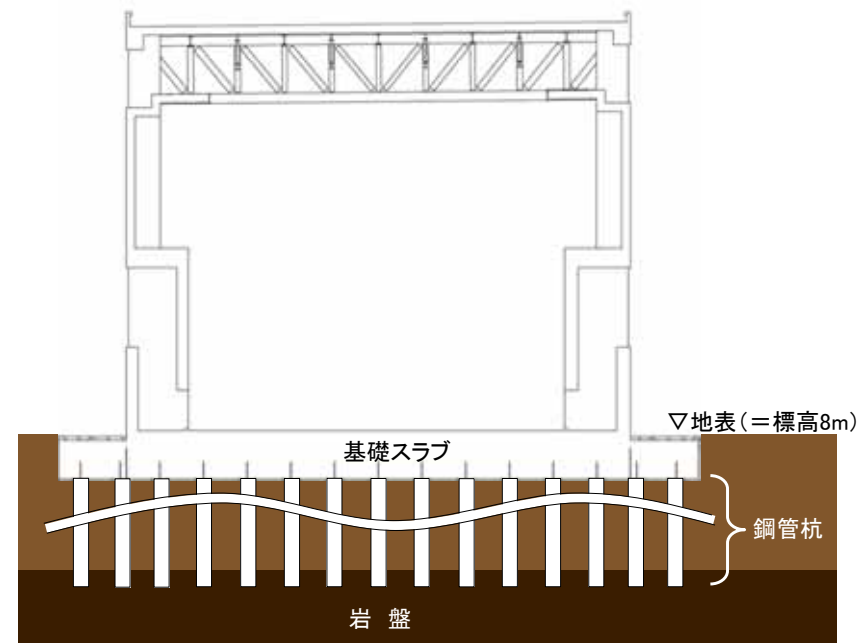
* : 設計基準強度 $F_c=13.7(N/mm^2)$



原子炉建屋の設置状況図

○使用済燃料乾式貯蔵建屋

- 使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地震力に対し十分な支持性能を有する地盤に支持することを目的として、鋼管杭を介して岩盤に設置している。



使用済燃料乾式建屋の設置状況図

原子炉建屋の地震応答解析結果

評価項目	Ss地震時の発生値	許容値	検定比
最大せん断ひずみ	0.60×10^{-3}	2.0×10^{-3}	0.30

杭の評価結果

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

耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)		波及的影響を考慮すべき施設(注5)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)	適用範囲	検討用地震動(注6)
Sクラス	(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	・原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁	S S	・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備	S	・原子炉圧力容器スカート ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S S	・原子炉本体の基礎 ・原子炉建屋	S _s S _s	・原子炉遮蔽 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s S _s
	(ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設	・使用済燃料プール ・使用済燃料貯蔵ラック ・使用済燃料乾式貯蔵容器	S S S	・使用済燃料プール水補給設備(残留熱除去系) ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む)	S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・原子炉建屋クレーン ・燃料取替機 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s S _s S _s S _s
	(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設	・制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)	S	・炉心支持構造物 ・電気計装設備 ・チャンネル・ボックス	S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・原子炉本体の基礎	S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・原子炉隔離時冷却系 ・高圧炉心スプレイ系 ・残留熱除去系(原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S	・残留熱除去系海水系 ・炉心支持構造物 ・高圧炉心スプレイ系 ・ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s
	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低圧注入モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ	S S S S	・残留熱除去系海水系 ・高圧炉心スプレイ系 ・ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設 ・中央制御室の遮蔽と空調設備 ・非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備	S S S S S	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 ・ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物	S _s S _s S _s	・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他	S _s S _s S _s

19. 安全機能を有する構築物、系統及び機器に関する耐震設計方針(重要度分類等含む)

(参考)耐震重要度分類表(2/5)



耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)		波及的影響を考慮すべき施設(注5)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注6)	適用範囲	検討用地震動(注6)
Sクラス	(vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器 原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S _s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉ウエル用遮蔽ブロック タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s S _s S _s S _s
	(vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための設備であり、(vi)以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備) 可燃性ガス濃度制御系 原子炉建屋原子炉棟 非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系 原子炉格納容器圧力低減装置(ダイヤフラム・フロア、ベント管) 冷却水源としてのサブプレッション・チェンバ 	S S S S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 残留熱除去系海水系 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 当該施設の機能維持に必要な空調設備 	S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎(注7) 海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物 排気筒 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s S _s S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s S _s S _s
	(viii) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤 防潮扉 放水路ゲート 構内排水路逆流防止設備 貯留堰 浸水防止蓋 貫通部止水処置 	S S S S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s S _s S _s
	(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> 取水ピット水位計 潮位計 津波・構内監視カメラ 	S S S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 当該の屋外設備を支持する構造物 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s S _s S _s
	(x) その他	<ul style="list-style-type: none"> ほう酸水注入系(注8) 圧力容器内部構造物(注9) 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用電源及び計装設備(非常用ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 原子炉圧力容器 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎 ディーゼル発電機の燃料油系を支持する構造物 	S _s S _s S _s	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 廃棄物処理建屋 その他 	S _s S _s S _s

(参考)耐震重要度分類表(3/5)



耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Bクラス	(i) 原子炉冷却材圧力 バウンダリに直接接 続されていて、一次 冷却材を内蔵してい るか又は内蔵し得る 施設	・主蒸気系(外側主蒸気 隔離弁より主塞止弁ま で)	B (注10)	—	—	・機器・配管等の支持構造 物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋(外側主蒸 気隔離弁より主塞止弁ま での配管・弁を支持する 部分)	S _d S _d
		・主蒸気逃がし安全弁排 気管	B (注11)	—	—	・機器・配管等の支持構造 物	B	・原子炉建屋	S _s
		・主蒸気系及び給水系 ・原子炉冷却材浄化系	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造 物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋	S _B S _B
	(ii) 放射性廃棄物を内 蔵している施設(た だし、内蔵量が少な い又は貯蔵方式によ り、その破損による 公衆に与える放射線 の影響が周辺監視区 域外における年間の 線量限度に比べ十分 小さいものは除く)	・放射性廃棄物処理施設 (Cクラスに属するも のは除く)	B	—	—	・機器・配管等の支持構造 物	B	・原子炉建屋 ・廃棄物処理建屋	S _B S _B
(iii) 放射性廃棄物以外 の放射性物質に関 連した施設で、そ の破損により、公 衆及び従事者に過 大な放射線被ばく を与える可能性の ある施設	・タービン、主復水器、 給水加熱器及びその主 要配管	B	—	—	・機器・配管等の支持構造 物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建 屋	S _B S _B S _B S _B	
	・復水脱塩装置	B							
	・復水貯蔵タンク	B							
	・燃料プール冷却浄化系	B							
	・放射線低減効果の大き い遮蔽	B							
	・制御棒駆動水圧系(放 射性流体を内蔵する部 分)	B							
	・原子炉建屋クレーン	B							
・燃料取替機	B								
・使用済燃料乾式貯蔵建 屋天井クレーン	B								
・制御棒貯蔵ラック	B								

耐震重要度分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動(注5)
Bクラス	(iv) 使用済燃料を冷却するための施設	・燃料プール冷却浄化系	B	・原子炉補機冷却系 ・補機冷却系海水系 ・電気計装設備	B B B	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	B	・原子炉建屋 ・海水ポンプ基礎等の海水系を支持する構造物	S _B S _B
	(v) 放射性物質の放出を伴うような場合に, その外部放散を抑制するための施設で, Sクラスに属さない施設	—	—	—	—	—	—	—	—
Cクラス	(i) 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・再循環流量制御系 ・制御棒駆動水圧系 (Sクラス及びBクラスに属さない部分)	C C	—	—	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	C	・原子炉建屋	S _C
	(ii) 放射性物質を内蔵しているか, 又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	・試料採取系 ・洗濯廃液処理系 ・固化装置より下流の固体廃棄物処理系 (貯蔵庫を含む) ・雑固体減容処理設備 ・放射性廃棄物処理施設のうち濃縮装置の凝縮水側 ・新燃料貯蔵庫 ・その他	C C C C C C C	—	—	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	C	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・固体廃棄物貯蔵庫 ・給水加熱器保管庫 ・固体廃棄物作業建屋	S _C S _C S _C S _C S _C S _C

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備(注1)		補助設備(注2)		直接支持構造物(注3)		間接支持構造物(注4)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Cクラス	(iii) 原子炉施設ではあるが、放射線安全に関係しない施設	<ul style="list-style-type: none"> ・循環水系 ・タービン補機冷却系 ・所内ボイラ及び所内蒸気系 ・消火系 ・主発電機・変圧器 ・空調設備 ・タービン建屋クレーン ・所内用空気系及び計器用空気系 ・その他 	C C C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・廃棄物処理建屋 ・その他 	S _c S _c S _c S _c

(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。

(注2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。

(注3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。

(注4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物(建物・構築物)をいう。

(注5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位の耐震クラスに属する施設の破損によって上位クラスに属する施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。また、その他の施設として「1.3.1.5 設計における留意事項」での検討を踏まえた施設も適用範囲とする。

(注6) S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力

S_B : 耐震Bクラス施設に適用される地震力

S_c : 耐震Cクラス施設に適用される静的地震力

(注7) 原子炉本体の基礎の一部は、間接支持構造物の機能に加えてドライウエルとサブプレッション・チェンバとの圧力境界となる機能を有する。

(注8) ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、Sクラスに準ずる。

(注9) 圧力容器内部構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。

(注10) Bクラスではあるが、弾性設計用地震動S_dに対して破損しないことの検討を行うものとする。

(注11) 地震により主蒸気逃がし安全弁排気管(以下「排気管」という。)がサブプレッション・チェンバ内の気相部で破損した場合、放出された蒸気は凝縮することが出来ないため、基準地震動S_sに対してサブプレッション・チェンバ内の排気管が破損しないことを確認する。また、排気管がドライウエル内で破損した場合であれば、放出された蒸気はベント管を通してサブプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、原子炉格納容器の内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動S_sに対してドライウエル内の排気管が破損しないことを確認する。

- 各施設の重要度に応じて、以下に定める地震力に対して、健全性が確保できるように設計する。また、既設設備については、基準適合のため必要に応じて耐震補強を行った上で、基準地震動 S_s に対する健全性を確保する。

DB/SA	施設区分		静的地震力 ^(注1)		動的地震力 ^{(注1)(注2)}	
			水平	鉛直	水平	鉛直
設計基準対象施設	建物・構築物 ^(注3) 機器・配管系	S	建物: 3.0 C_i ^(注4) 機器: 3.6 C_i	建物: 1.0 C_v ^(注5) 機器: 1.2 C_v	S_s, S_d	S_s, S_d
		B	建物: 1.5 C_i ^(注4) 機器: 1.8 C_i	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)
		C	建物: 1.0 C_i ^(注4) 機器: 1.2 C_i	—	—	—
	土木構造物	C	1.0 C_i ^(注4)	—	S_s ^(注7)	S_s ^(注7)
	津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	—	—	S_s	S_s
重大事故等 対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備 可搬型重大事故防止設備		—	—	S_s	S_s
	常設重大事故緩和設備 可搬型重大事故緩和設備		—	—	S_s	S_s
	常設耐震重要重大事故防止設備 以外の常設重大事故防止設備		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			

(注1) 機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

(注2) S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

(注3) 建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、施設の耐震重要度分類に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数はS, B, Cクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_0 : 標準せん断力係数0.2)

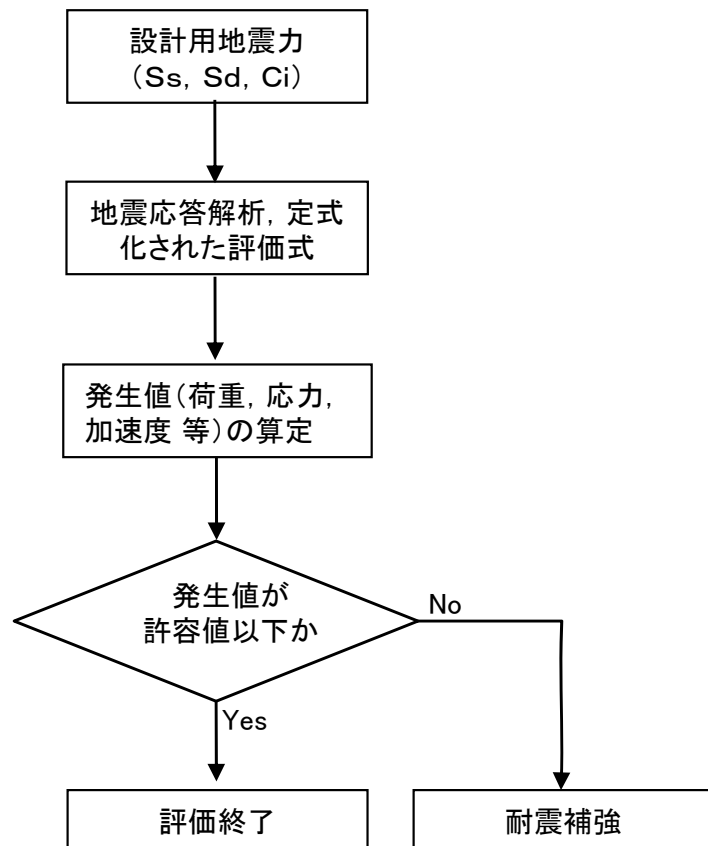
(注5) $C_v = R_v \cdot 0.3$ (R_v : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(注6) 地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

(注7) 屋外重要土木構造物(非常用取水設備, Sクラスの機器・配管系を支持する土木構造物)に適用する。

各施設の耐震評価は、基準地震動 S_s 等に基づく設計用地震力から算定される発生値に対して許容値以下であれば、構造物の健全性が確認でき、評価が終了となる。一方で発生値が許容値を上回れば、耐震補強を実施することで発生値の低減や許容値の向上を図ることになる。

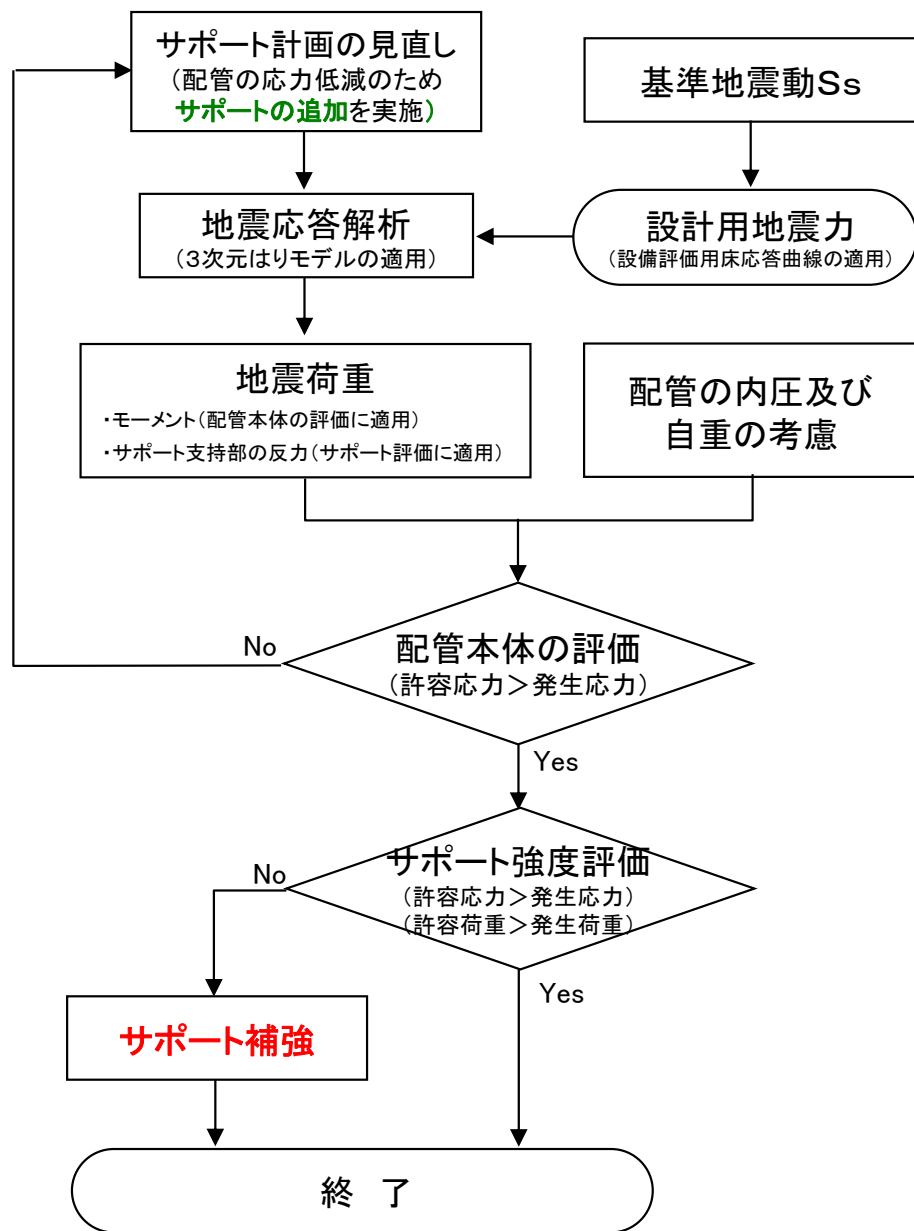
詳細な評価の内容を格納容器スタビライザ及び配管系を代表として説明する。



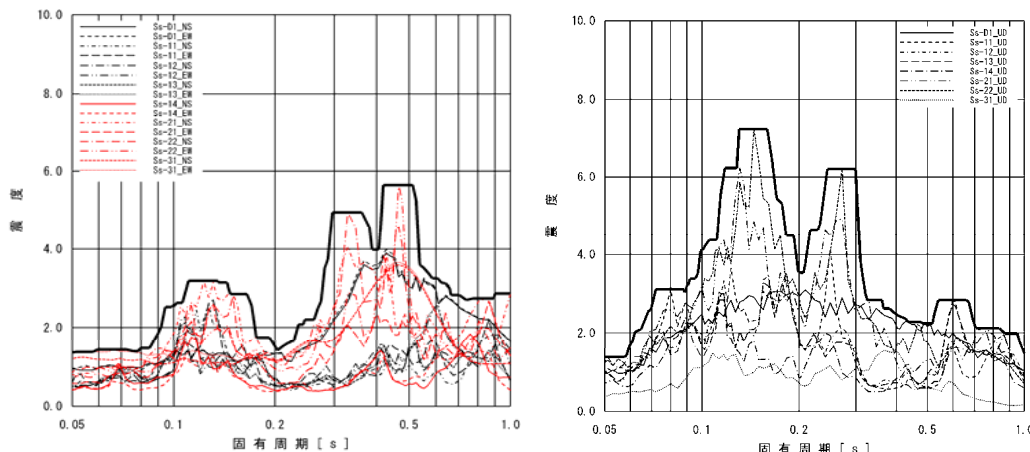
耐震評価の概略フロー

	施設・設備名称	目的	耐震補強内容
機器・配管系	格納容器スタビライザ	フランジボルトの許容限界値の向上	高強度材料適用
	原子炉建屋クレーン	地震時落下防止による波及的影響防止	落下防止対策の追設
	燃料取替機	地震時落下防止による波及的影響防止	ガーダ等の部材強化
	配管系	支持機能強化	サポートの追加及び補強
	残留熱除去系熱交換器	支持機能強化	架台部への耐震補強サポート追設
	水圧制御ユニット	支持機能強化	架構部への補強梁追加
	格納容器シアラグ部	格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策	シアラグ部への補強材追加
	使用済燃料乾式貯蔵容器	支持機能強化	支持構造物の部材のサイズ変更及び高強度材料適用
建物・構築物	主排気筒	支持機能強化	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良
	地下排水設備	地盤の変位の抑制	地盤改良
土木構築物	貯留堰取付護岸	地震時の護岸構造健全性維持による貯留堰への波及的影響防止	地盤改良
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管の支持機能強化	屋外二重管を支持する基礎構造の追設
	取水構築物	地震時の取水構造物の健全性維持	地盤改良

配管系の耐震評価による設計手順



設備評価用床応答曲線の例
(原子炉建屋 EL.20.3m 減衰2.0%)



配管系の耐震補強の例(原子炉再循環系配管)

- ・配管本体の耐震性確保のため**サポートの追加**を実施する。
- ・サポートの耐震性確保のため**サポートの補強**を実施する。

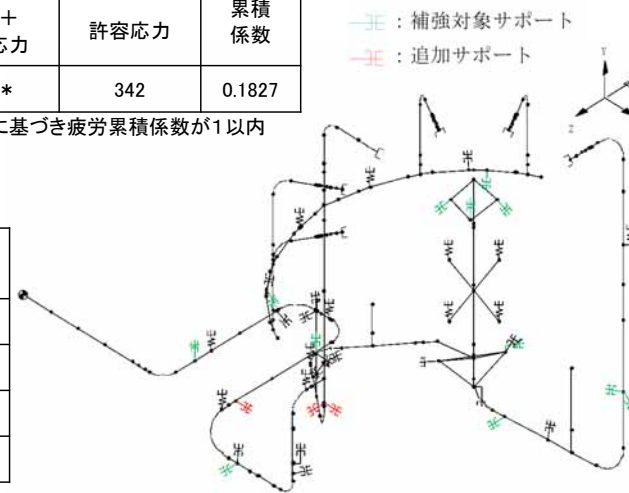
配管本体の耐震評価結果

一次応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労 累積 係数
一次 応力	許容 応力	曲げとねじり 応力	許容 応力	一次+ 二次応力	許容 応力	
182	252	138	273	718 *	342	0.1827

* 一次+二次応力が許容応力を超えているが、規格要求に基づき疲労累積係数が1以内であることを確認している。

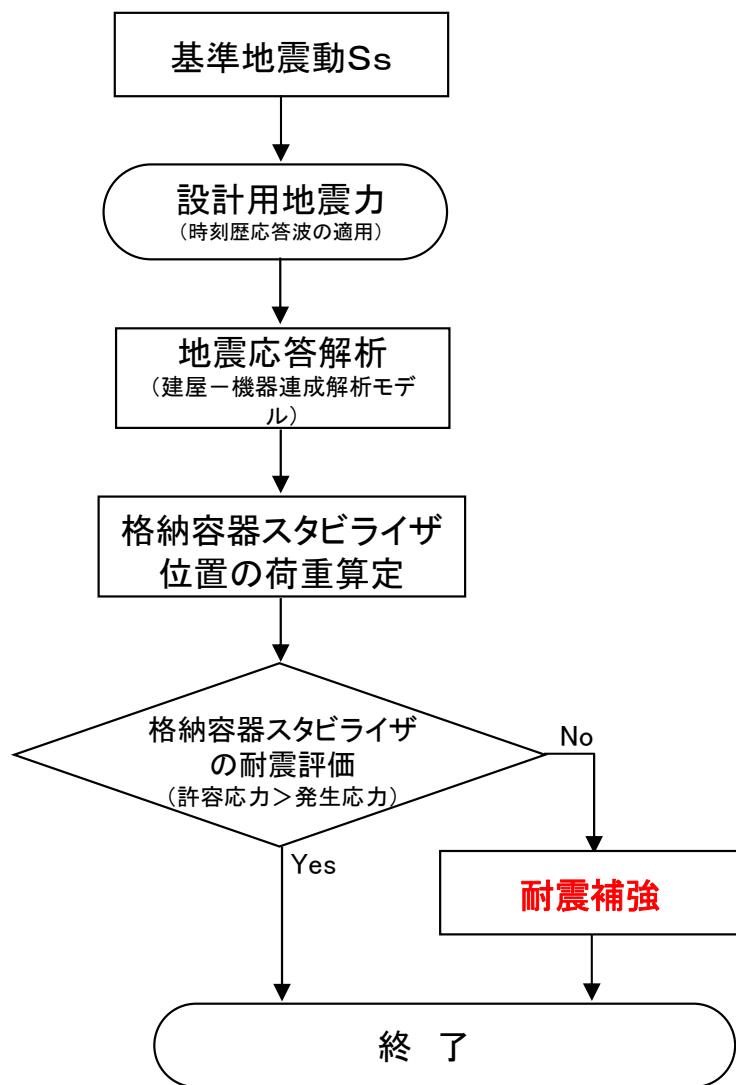
サポートの耐震評価結果

サポート種類	発生 荷重(kN)	許容 荷重(kN)
オイルスナッチ	1430	1500
ロッドレストレイント	852	1080
スプリングハンガ	58.4	72.9
コンスタントハンガ	180.0	207.9

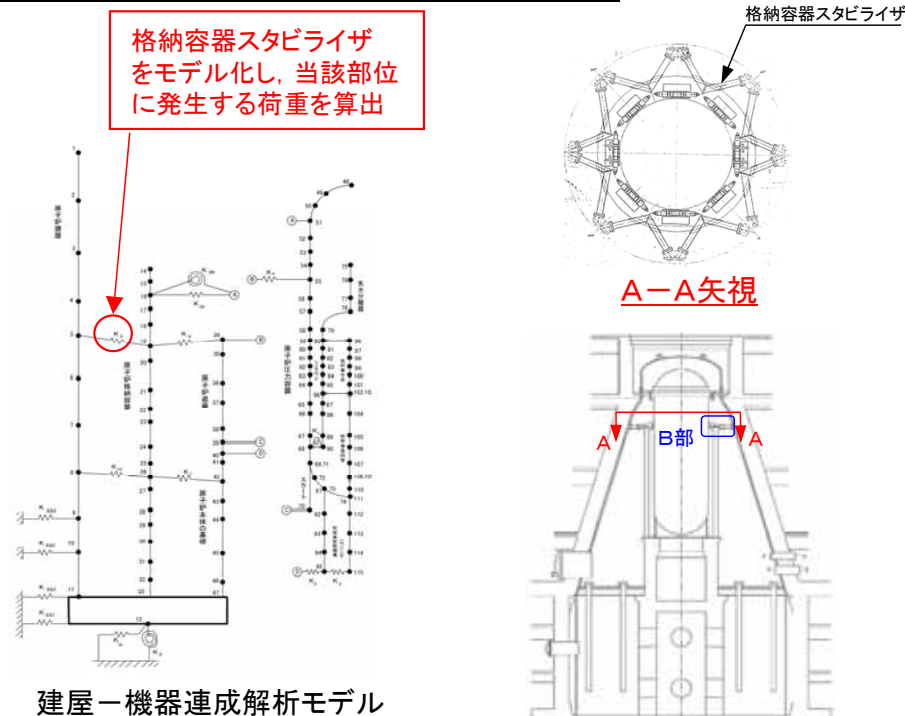


地震応答解析に適用する3次元はりモデル

格納容器スタビライザの耐震評価による設計手順



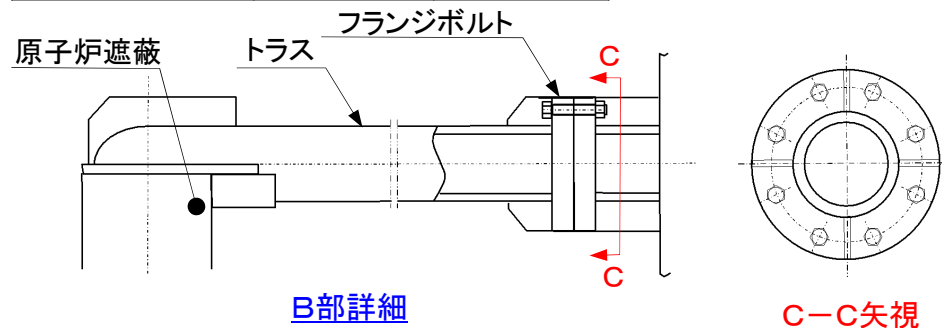
建屋-機器連成解析モデルを用いた地震応答解析



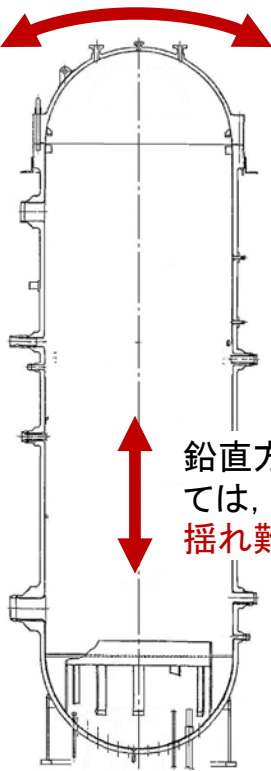
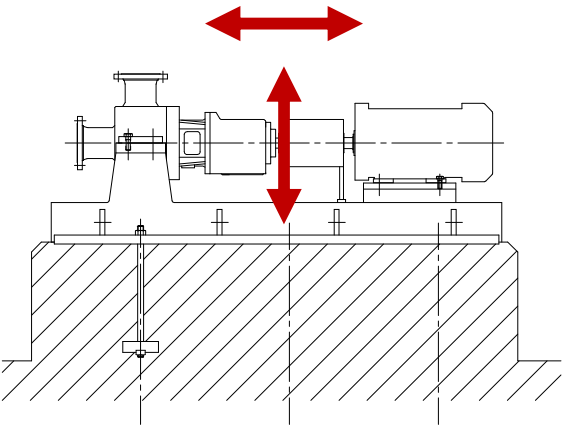
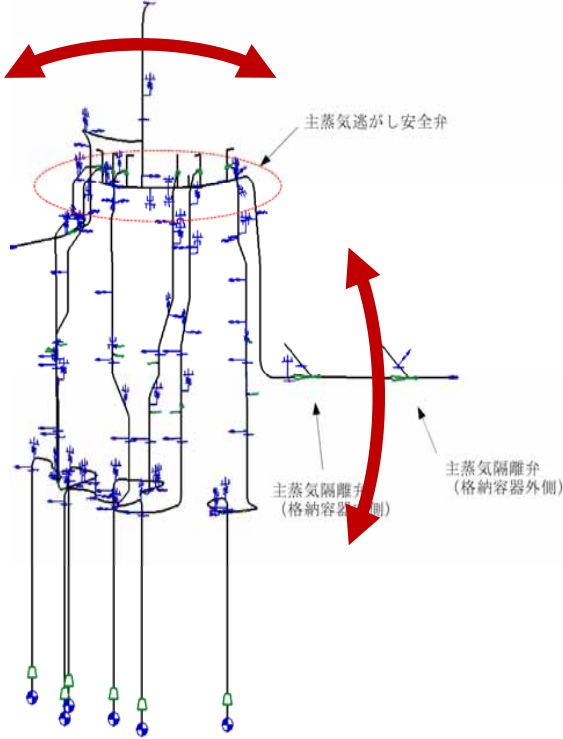
格納容器スタビライザの耐震補強

格納容器スタビライザの構成部材(評価部位)であるフランジボルトの材質を高強度材料(SCM3→SNB24-1)に変更

評価部位	発生応力	許容応力
フランジボルト	509 MPa	534 MPa



- 各設備の構造的な特徴によって地震による揺れがどのように影響を受けるかで、設計用地震力に対する影響が変わる。代表的な設備として、原子炉圧力容器、ポンプ、配管に対して、地震の揺れの影響の受け易さにより、建設時から設計用地震力の増大による設備への影響を概略的に示す。

原子炉圧力容器	ポンプ	配管
<p>水平方向の地震に対しては、長尺構造であるため揺れ易い傾向となる。</p>  <p>鉛直方向の地震に対しては、厚肉容器であり、揺れ難い傾向となる。</p>	<p>モータを含むポンプは基礎に固定されており、水平方向及び鉛直方向の地震に対して揺れ難い傾向となる。</p> 	<p>配管は、水平方向、鉛直方向に3次元的な広がりをもって施工されているため、水平方向の地震及び鉛直方向の地震の両方に揺れ易い傾向となる。</p> 

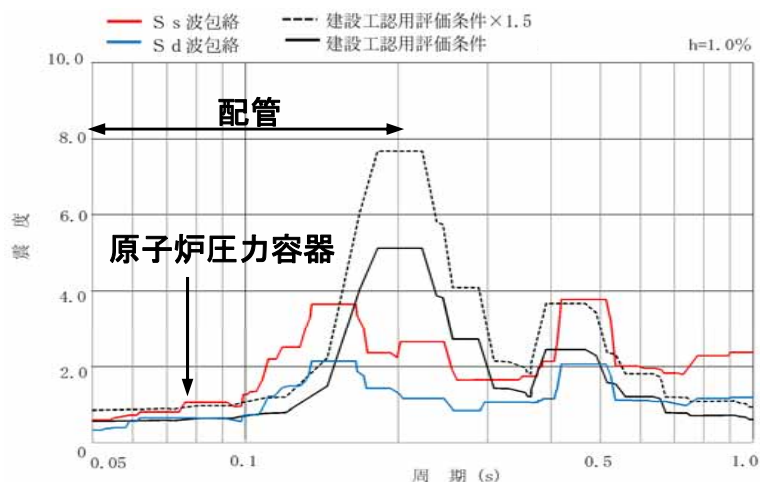
○ 地震に対して揺れ難い特徴を持つ設備(剛設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 水平方向:建設時と今回工認の値はほぼ変わらないため、設備の耐震性への影響はない。
- ・ 鉛直方向:建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、数値として小さく耐震性への影響はほぼない。

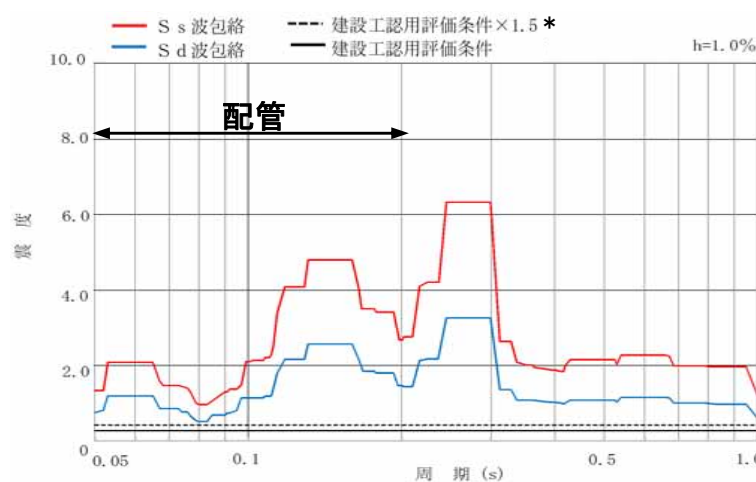
標高	水平方向の設計用地震力(震度)						標高	鉛直方向の設計用地震力(震度)					
	建設時			今回工認				建設時			今回工認		
	評価条件×1.5	評価条件	静的震度	S _s	S _d	静的震度		評価条件×1.5	評価条件	静的震度	S _s	S _d	静的震度
原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	0.795	0.53	0.576	0.58	0.31	0.58	原子炉建屋 基礎上 (EL.-4.0m)	—	—	0.29	0.60	0.32	0.29

○ 地震に対して揺れ易い特徴を持つ設備(柔設備)に対する設計用地震力の増大による影響

- ・ 水平方向:周期によって今回工認(基準地震動S_s, 弾性設計用地震動S_d)と建設時の設計用地震力の大小が変わる。
 - 原子炉压力容器の固有周期位置では、ほぼ変わらないため耐震性への影響はない。
 - 配管系は、複数の固有周期を持っており、一部周期帯(0.1秒超)では影響を受ける。【→耐震補強にて対応】
- ・ 鉛直方向:建設時の値よりも今回工認の値のほうが大きい、影響を受ける。【→耐震補強にて対応】



原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(水平方向)

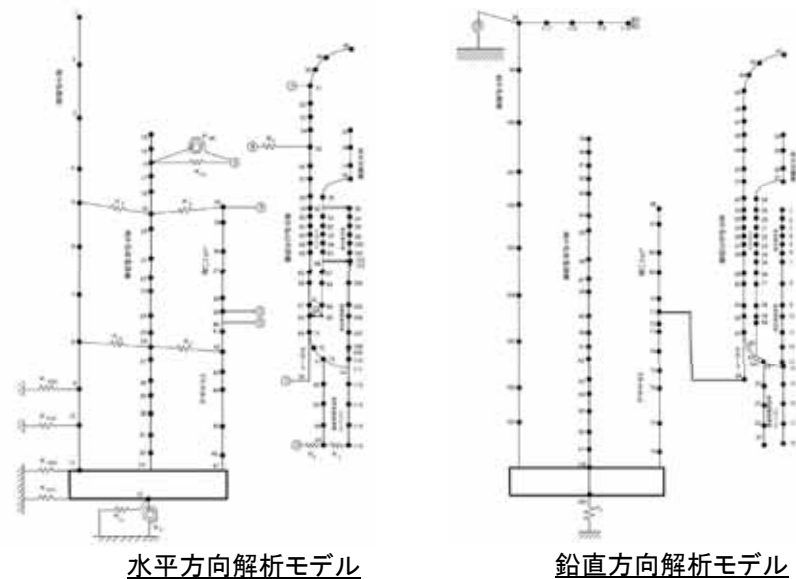


原子炉建屋基礎上(EL.-4.0m)の床応答スペクトル(鉛直方向)

* 建設工認用評価条件は、静的震度の値を全ての周期の値として図を作成した。

・原子炉压力容器の耐震評価のうち、基礎ボルトの耐震評価に用いた建設時工認及び新規制基準による工認における地震時の荷重を例示として示す。

①建屋－機器連成解析



②基準地震動 S_s の荷重を算出

		建設時工認	新規制工認
水平方向地震	せん断力Q (kN)	5960	8340
	曲げモーメントM (kN・m)	91400	52600
鉛直方向地震	重力加速度±鉛直方向地震による加速度(G)	0.71: 下向き* (1±0.29)	-0.40: 上向き* (1±1.4)

* 鉛直方向地震は、数値が小さいほうが原子炉压力容器が浮き上がるように考慮され基礎ボルトの評価が厳しい結果となる。また、評価に際して当該加速度と原子炉压力容器総重量との積により鉛直荷重(N)を算出する。

③地震以外の荷重
(新規制工認での値)

	鉛直方向荷重N(kN)
地震以外 (自重+制御棒挿入時の荷重)	26200(最大) 1030(最小)

④基礎ボルトの応力算定

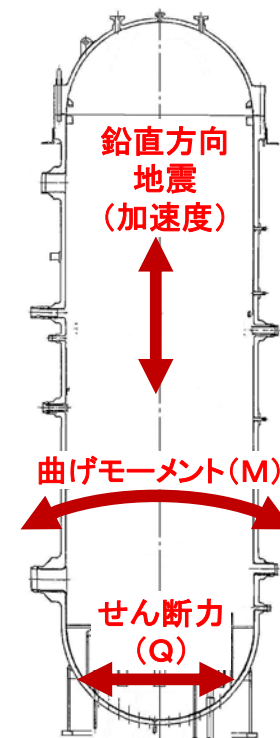
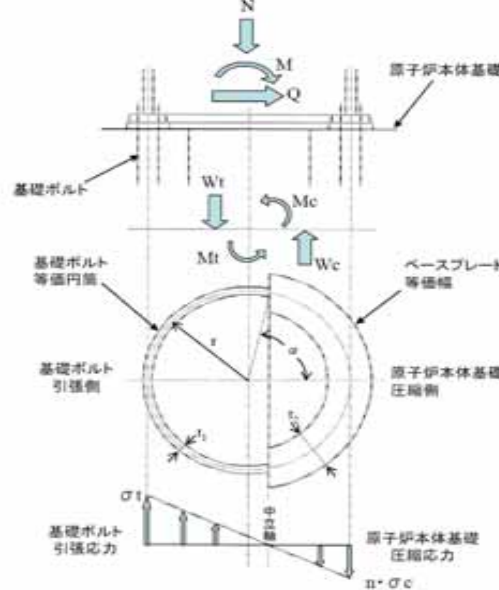
引張応力は下図において、以下の関係が成り立っており、 σ_t , σ_c , α を繰り返して計算により求める。せん断応力はせん断力を基礎ボルト断面積を除することにより求める。

$$N + W_t - W_c = 0$$

$$M - N \cdot r \cdot \cos\alpha - M_t - M_c = 0$$

中立軸の位置と応力の関係

$$\sigma_t / (n \cdot \sigma_c) = (1 + \cos\alpha) / (1 - \cos\alpha)$$

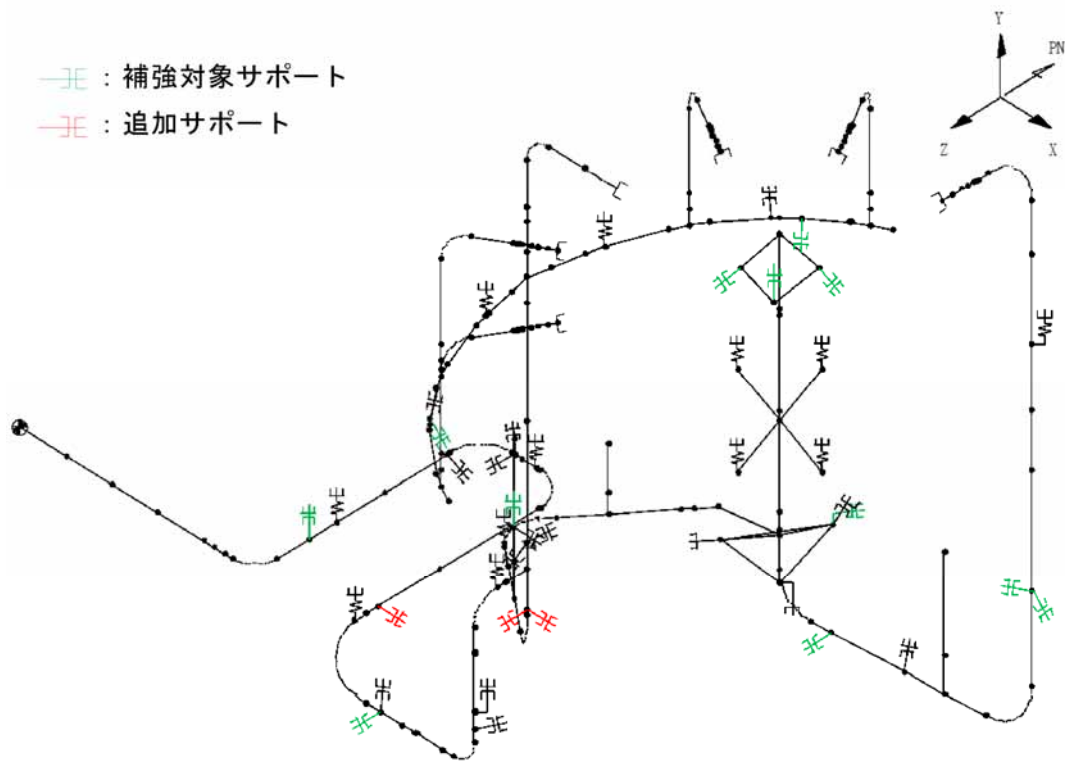


	建設時工認による応力値 (MPa)	新規制工認による応力値 (MPa)	許容値 (MPa)
引張応力	90	118	491
せん断応力	7*	16	378

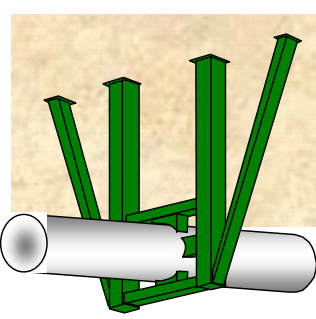
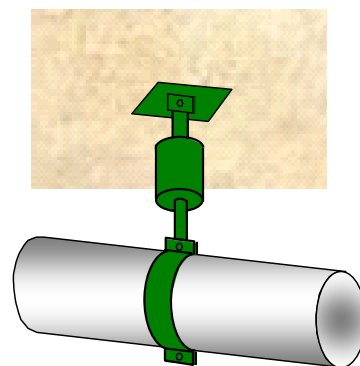
* 建設時工認では基礎部の摩擦の効果を考慮している。

- ・配管本体は自重や地震による揺れに対して耐えるようにサポートにより支持する。配管系の耐震補強は、配管本体の発生値を低減させる目的としてサポートの追加、既往サポートの発生値を低減させる目的としてサポートの補強を実施する。
- ・高温となる配管に対しては熱膨張による配管の伸びを拘束しないように使用環境に応じた構造のものを適切に選定する。

—#— : 補強対象サポート
—#— : 追加サポート



配管系の耐震補強の例(原子炉再循環系配管)

代表的なサポートの例	
架構式レストレイント	オイルスナツバ
	
<p>地震及び熱による変位を拘束するため、熱膨張をしない低温用の配管に適用する。</p>	<p>熱膨張のような緩やかな変位に対しては拘束せず、地震のように急激な変位は拘束するため、熱膨張による伸びが大きな高温用の配管に適用する。</p>

配管本体の応力算定式の例

JEAG4601によるクラス1管の一次応力の評価式

(a) 直管部(管台及びティー継手を除く)

$$S_{prm} = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

(b) 管台及びティー継手を除く

$$S_{prm} = \frac{B_1 P D_0}{2t} + \frac{B_{2b} M_{bp}}{Z_b} + \frac{B_{2r} M_{rp}}{Z_r}$$

【凡例】

- S_{prm} : 一次応力(MPa)
- P : 地震と組み合わせるべき運転状態において配管に作用する圧力(MPa)
- D_0 : 管の外径(mm)
- t : 管の厚さ(mm)
- Z_i : 管の断面係数(クラス1配管)(mm³)
- Z_b : 管台又はティー継手に接続される分岐管の断面係数(mm³)
- Z_r : 管台又はティー継手に接続される主管の断面係数(mm³)
- M_{ip} : 管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
- M_{bp} : 管台又はティー継手に接続される分岐管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
- M_{rp} : 管台又はティー継手に接続される主管に生じる自重及び地震によるモーメント(N・mm)
- B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r} : 応力係数(設計・建設規格PPB-3810に定める値)

許容値の例

JEAG4601による基準地震動 S_s に対するクラス1管の許容応力

許容応力状態	一次一般膜応力	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
IV _A S	$2 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m^{*1}$	$3 \cdot S_m^{*2}$ 地震動のみによる応力振幅について評価する。	地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。

*1:ただし、ねじりによる応力が $0.73 \cdot S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 \cdot S_m$ とする。

*2: $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300(同PVB-3313を除く)又はPPB-3536(1), (2), (4)及び(5)の簡易弾塑性解析を用いる。

【凡例】

- IV_AS : 地震により生じる応力に対する許容応力
- S_m : 設計応力強さ(設計・建設規格 付録材料図表 Part5表1に規定される値)

【建設時】

地震動	最大加速度 (cm/s ²)	
	水平成分	UD成分
EL CENTRO / TAFT / IBARGI	180 *	

* 安全上特に重要な施設（格納容器等）については，270cm/s²を適用

【新規制基準】

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS方向	EW方向	UD成分
S s - D 1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
S s - 1 1	F 1 断層、北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1)	717	619	579
S s - 1 2	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2)	871	626	602
S s - 1 3	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3)	903	617	599
S s - 1 4	F 1 断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2)	586	482	451
S s - 2 1	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
S s - 2 2	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
S s - 3 1	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280

○東海第二発電所では、地震により外部電源系統*¹から受電できない場合でも、所内に設置した耐震性の高い複数の非常用電源や代替電源により、原子炉等の安全を確保するための設備に給電可能

*¹ 当該発電所外の他の発電所、変電所、送電鉄塔・送電線等で構成される送配電網

○東海第二発電所では、基準地震動に対する耐震性を担保していない外部電源系統(開閉所設備等)*²に対しては、大きな地震の発生時には受電できない可能性があるが、地震時の外部電源の信頼性を高め、また外部電源が一旦喪失しても復旧をできるだけ早める観点から、耐震性向上の取り組みを行っている。 *² 耐震重要度分類上のCクラスに区分(一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設)

(1) 所外より発電所につながる変電所設備、送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・発電所に繋がる変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認
- ・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より、仮に1つの鉄塔が倒壊しても、すべての送電線が同時に機能喪失しないように、電線路間の水平距離(離隔)を確保

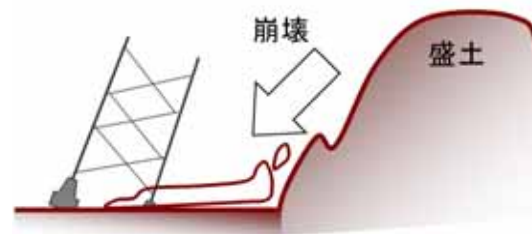
(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

- ・発電所の開閉所設備を気中開閉所から、より耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更
- ・発電所の開閉所の基礎やケーブル洞道等の地震に対する耐性が高いことを確認

△別紙参照▽



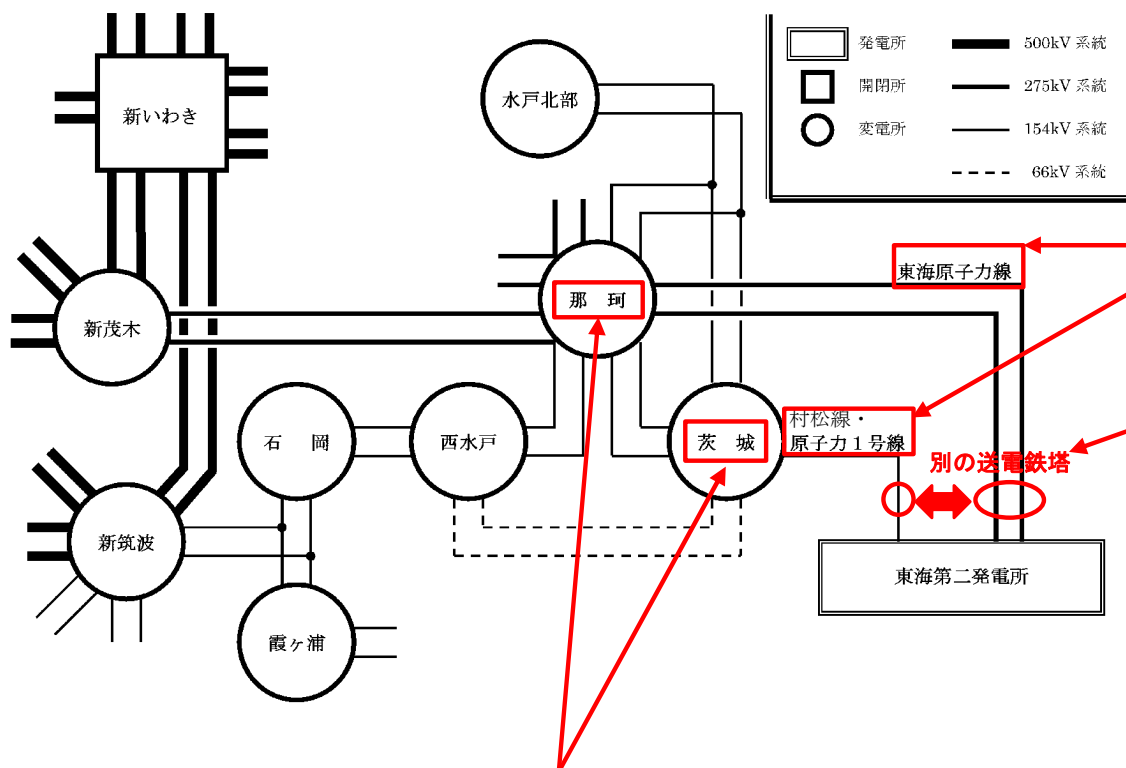
ガス絶縁開閉装置への設備変更



鉄塔基礎の安定性評価



- 1 発電用原子炉施設は, 重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するため, 電力系統に連系したものでなければならない。
- 4 設計基準対象施設に接続する電線路のうち少なくとも二回線は, それぞれ互いに独立したものであって, 当該設計基準対象施設を電力系統に連系するものでなければならない。
- 5 前項の電線路のうち少なくとも一回線は, 設計基準対象施設において他の回線と物理的に分離して受電できるものでなければならない。
- 6 設計基準対象施設に接続する電線路は, 同一の工場等の二以上の発電用原子炉施設を電力系統に連系する場合には, いずれの二回線が喪失した場合においても電力系統からこれらの発電用原子炉施設への電力の供給が同時に停止しないものでなければならない。



275kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線)1ルート2回線及び154kV送電線(東京電力パワーグリッド株式会社村松線・原子力1号線)1ルート1回線で電力系統に連系した設計とする。

東京電力パワーグリッド株式会社東海原子力線2回線及び村松線・原子力1号線1回線は, 同一の送電鉄塔に架線しないよう, それぞれに送電鉄塔を備える設計であることを確認している。

これらの送電線は1回線で発電所の停止に必要な電力を供給し得る容量とされ, いずれの2回線が喪失しても, 発電用原子炉施設が外部電源喪失に至らない構成であることを確認している。*

275kV送電線は, 東京電力パワーグリッド株式会社那珂変電所に連系する。
154kV送電線は, 東京電力パワーグリッド株式会社茨城変電所に連系する。

* 275kV送電線の送電容量: 約1,138MW(1回線当たり)及び
154kV送電線の送電容量: 約269MWは, それぞれ
非常用ディーゼル発電機容量(1基): 5.2MW以上を確保

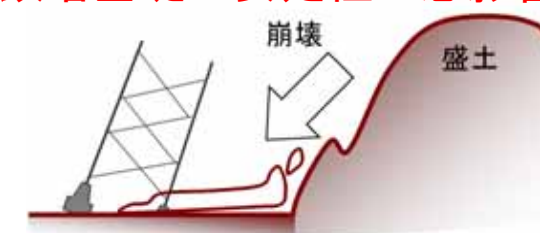
(1) 所外より発電所に繋がる送電設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

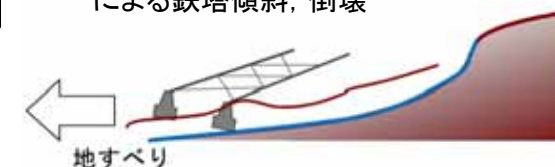
○2011年の東北地方太平洋沖地震では, 東海第二発電所の外部電源が一時的に失われたが, 東海第二発電所に接続する変電所までの各送電鉄塔に傾斜・倒壊等は生じていない。

○各送電鉄塔の基礎の安定性を評価するため, 盛土の崩壊, 地滑り, 急傾斜地の土砂崩壊を対象に, 図面等による机上調査を基に, 地質専門家による現地の調査を行い, 各鉄塔基礎の安定性に悪影響がないことを確認している。

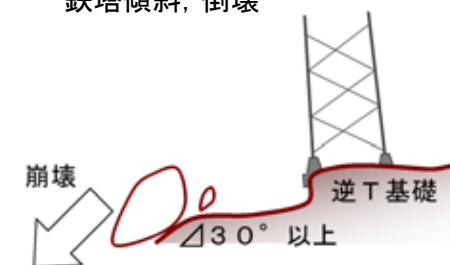
線路名	鉄塔基数	現地の調査による確認基数			対応必要基数
		盛土	地すべり	急傾斜地	
275kV 東海原子力線	44基	2基	0基	3基	0基
154kV 原子力1号線	8基	0基	0基	0基	0基
154kV 村松線	28基	0基	0基	2基	0基



盛土の崩壊に伴う土塊の流れ込みによる鉄塔傾斜, 倒壊



鉄塔を巻込んだ地すべりによる鉄塔傾斜, 倒壊



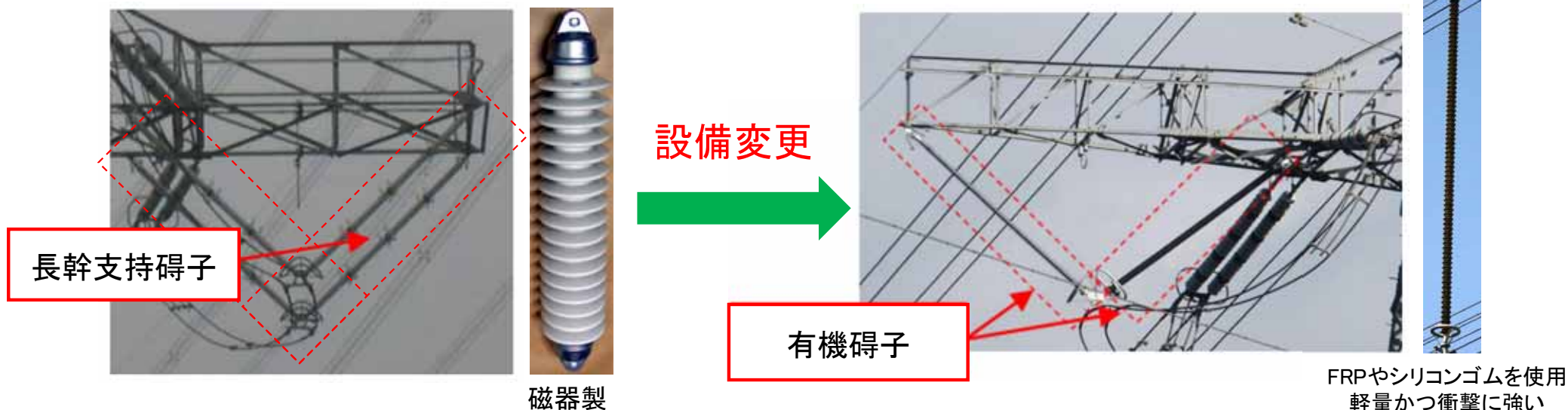
逆T字型基礎における地盤崩壊による鉄塔傾斜, 倒壊

出典: 経済産業省原子力安全・保安院報告「原子力発電所及び再処理施設の外部電源における送電鉄塔基礎の安定性評価について」
(平成24年2月17日, 東京電力株式会社)

(1) 所外より発電所に繋がる送電設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所に接続する送電・変電所設備や送電鉄塔の設置地盤の地震に対する耐性が高いことを確認

○東海第二発電所に変電所から接続する送電線(東海原子力線(275kV) *¹) *²の碍子の耐震性向上対策として, より耐震性の高い碍子への取り替えが実施されている。



* 1: 2011年の東北地方太平洋沖地震にて, 長幹支持碍子の損傷が発生している。

注 碍子の拡大図はイメージ

* 2: 発電所に接続する別の送電系統である, 村松線・原子力1号線(154kV)には長幹支持碍子は使用されていなかった。

出典: 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会電力安全小委員会資料「東北地方太平洋沖地震におけるジャンパ支持V吊長幹支持がいし装置の折損原因分析結果について(平成23年12月27日, 東京電力株式会社)」を基に一部加筆

○東海第二発電所に接続している那珂変電所及び茨城変電所は, 重心が低く, 耐震性の高いガス遮断器 *³が採用されていることを確認している。

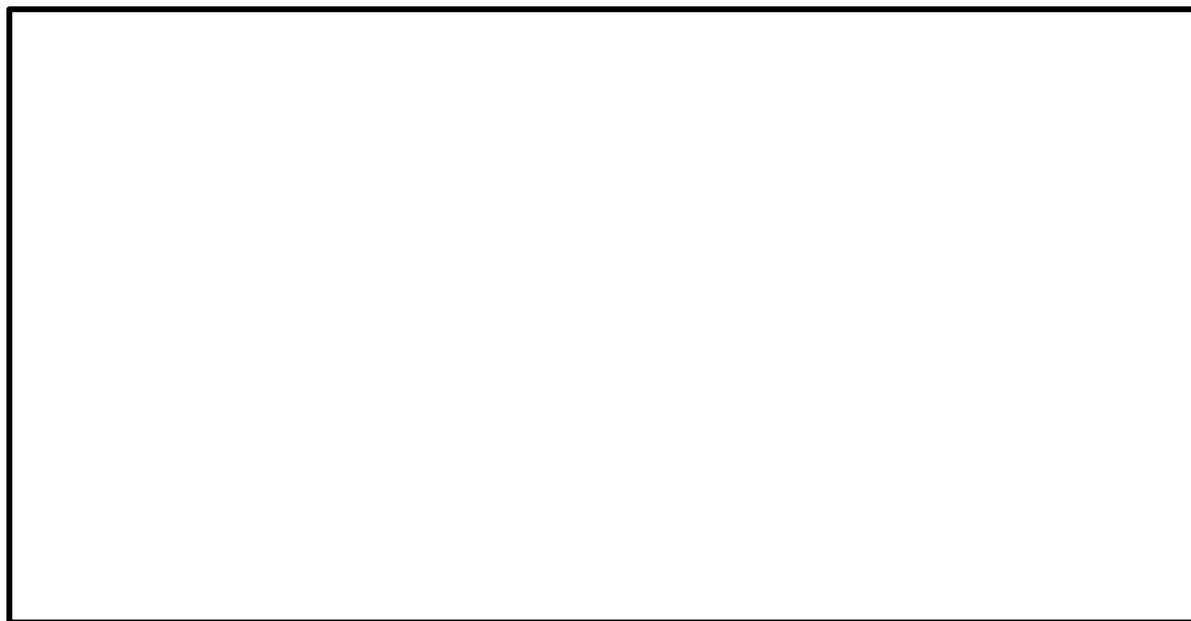
* 3: JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた評価が実施されており, 設計上の裕度を確認している。

(1) 所外より発電所につながる変電所設備, 送電鉄塔等の地震に対する耐性の確認と対策

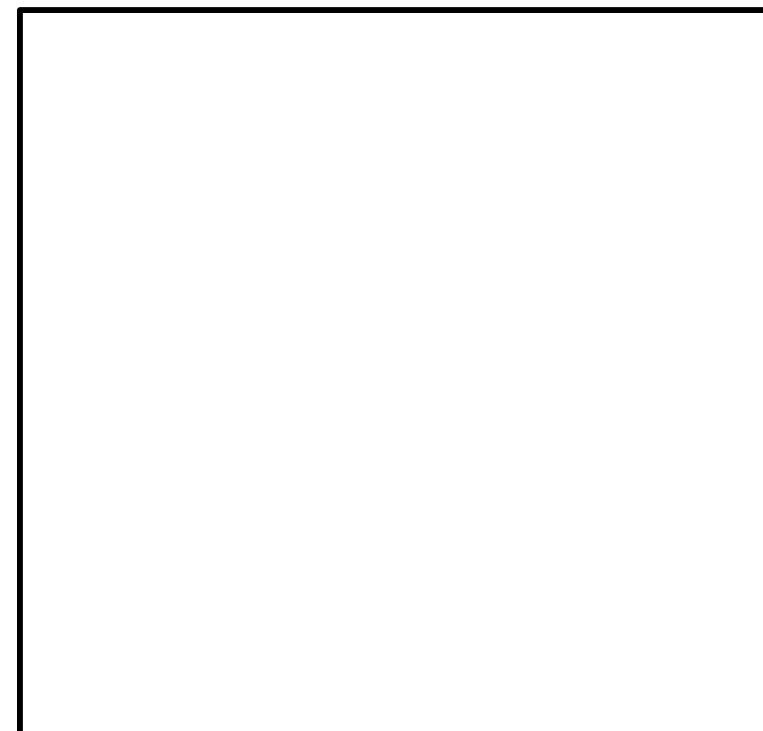
・発電所に繋がる複数系統の送電鉄塔・電線路の経路の配置より, 仮に1つの鉄塔が倒壊しても, すべての送電線が同時に機能喪失しないように, 電線路間の水平距離(離隔)を確保

○275kV東海原子力線No2鉄塔－154kV原子力1号線
No5 鉄塔間が両電線路の近接箇所

○今後, 154kV原子力1号線 No5鉄塔を
275kV東海原子力線 No2鉄塔の
倒壊範囲外へ移設



第1図 外部電源送電線ルート



第2図 発電所敷地周辺の鉄塔配置

○この対策により, 仮に1つの鉄塔が倒壊しても, すべての送電線が同時に機能喪失しない,
電線路間の水平距離を確保可能

(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所の開閉所設備を気中開閉所(取替前)からより耐震性の高いガス絶縁開閉装置に変更

- ガス絶縁開閉装置は, 構造上, 気中開閉所機器よりも重心が低く, より耐震性が高い。
- コンパクトな配置が可能であり, メンテナンス性も良い。

設備変更実施中



気中開閉所(取替前)

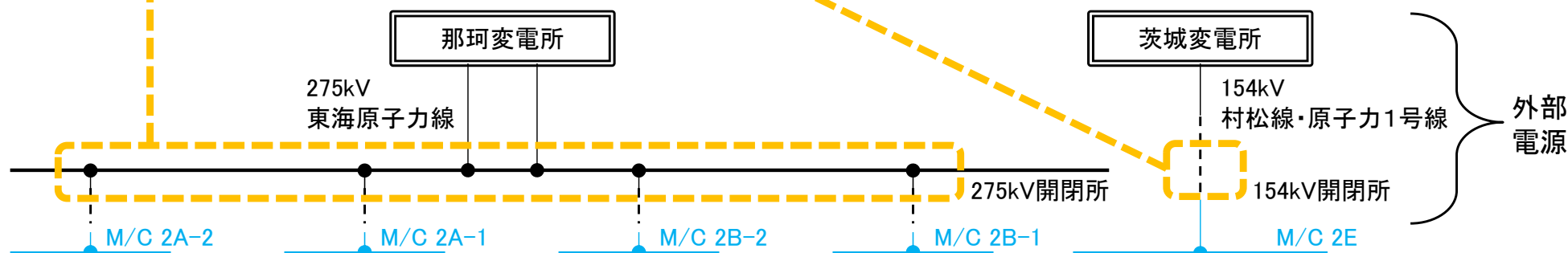


気中開閉所(取替前)

変更済

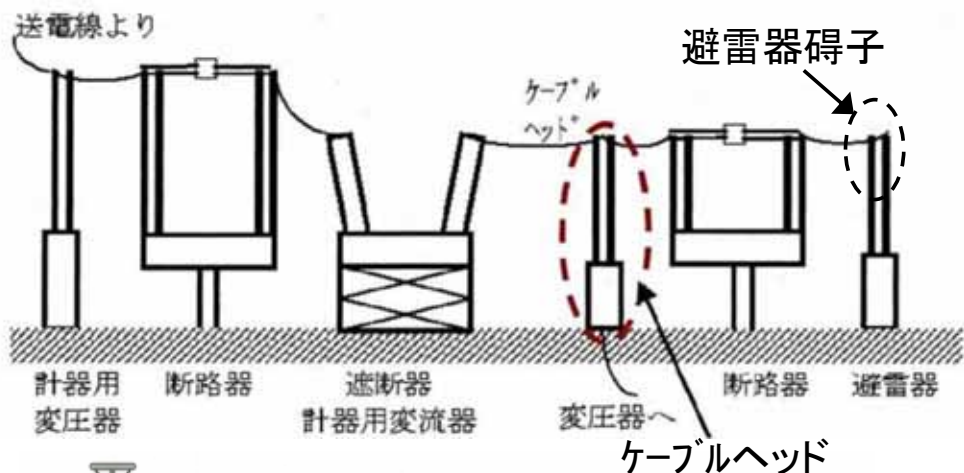


[対策例] 154kV開閉所 ガス絶縁開閉装置(取替後)



○東海第二発電所の従来設備の気中開閉所(275kV東海原子力線, 154kV村松線・原子力1号線)は耐震重要度分類上のCクラスとしての耐震性を十分確保していたが, **外部電源システムの信頼性を高めるため, より耐震性の高いガス絶縁開閉装置に取り替えを実施している。**

○気中開閉所及びガス絶縁開閉装置について, JEAG5003-2010「変電所等における電気設備の耐震設計指針」に基づいた耐震評価を行い, **気中開閉所に比べてガス絶縁開閉装置は, より設計上の裕度が増加したことを確認している。**



開閉所設備の耐震評価結果(従来設備)

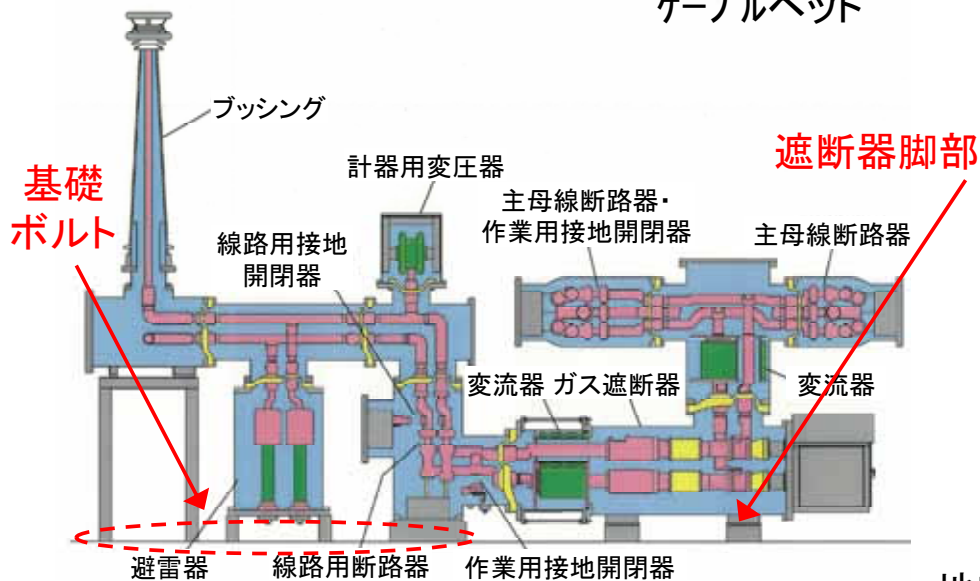
照査項目	耐震裕度*	評価部位
275kV超高压開閉所 気中遮断器	1.32	ケーブルヘッド
154kV特別高压開閉所 気中遮断器	1.31	避雷器碍子

* 過去の地震データをほぼ包含するよう機器下端に3m/s²共振正弦3波を入力した動的解析。1以上であれば耐震性を満足する。

設備変更

開閉所設備の耐震評価結果(取替後)

照査項目	耐震裕度*	評価部位
275kV超高压開閉所 ガス絶縁開閉装置	2.24	遮断器脚部
154kV特別高压開閉所 ガス絶縁開閉装置	1.79	基礎ボルト



(2) 発電所内で外部電源を受電する開閉所設備等の地震に対する耐性の確認と対策

・発電所の開閉所の基礎やケーブル洞道等の地震に対する耐性が高いことを確認

○東海第二発電所の開閉所の基礎の設置地盤の支持性能, 開閉所から原子炉建屋等へ繋がるケーブル洞道等の設置地盤の支持性能及び不等沈下量を評価し, **耐震Cクラスで適用する地震力**に対して設置地盤は十分な支持性能があることを確認している。

開閉所基礎, ケーブル洞道・トラフの支持性能の評価結果

照査項目 (最大接地圧)	評価値	評価基準値	判定
①275kV超高压 開閉所	434 (kN/本) <	2,629 (kN/本)	○
②154kV特別 高压開閉所	62 (kN/m ²) <	192 (kN/m ²)	○
③ケーブル洞道	162 (kN/m ²) <	372 (kN/m ²)	○
④ケーブルトラフ	32 (kN/m ²) <	640 (kN/m ²)	○

ケーブル洞道及びケーブルトラフの最大沈下量の評価結果

	ケーブル洞道 (275kV超高压開閉 所～タービン建屋間)	ケーブルトラフ (154kV特別高压開閉 所～原子炉建屋間)	判定
最大沈下量	9.5mm	1.7mm	○*

* 沈下量が1cm未満であり不等沈下によるケーブル性能への影響は生じない。

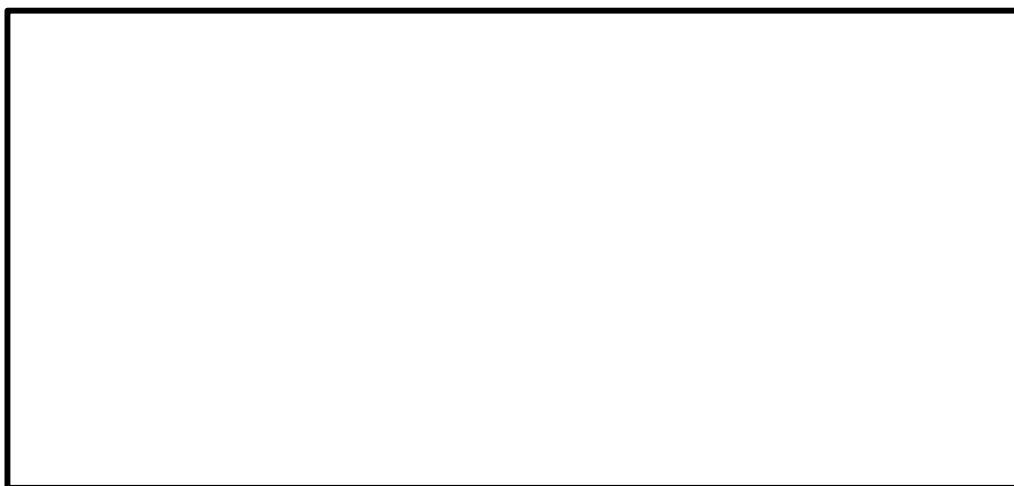
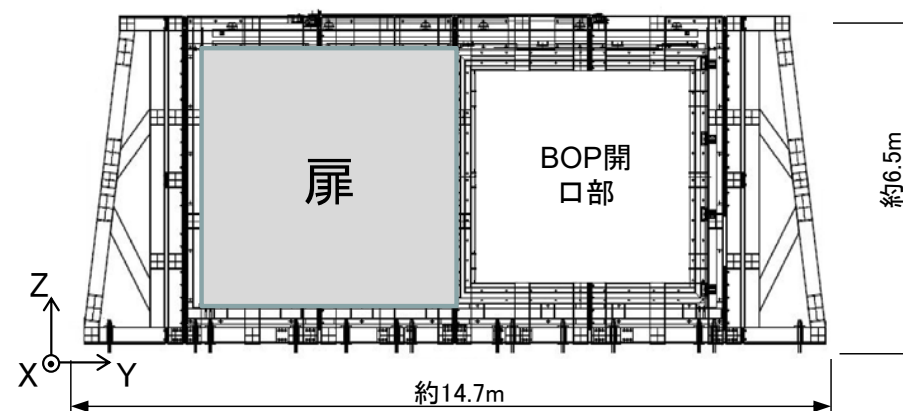
開閉所, ケーブル洞道及びケーブルトラフの配置

●加振試験の実施について

- ブローアウトパネル閉止装置は、ブローアウトパネル開放後に原子炉建屋原子炉棟の機能確保の観点から設置する。当該設備は地震後において動作可能であることを要求されることから、**加振試験を用いて健全性を確認した。**

【加振試験内容】

- 基準地震動 S_s 後においても、**作動性及び扉閉止後の気密性を保持できることを確認する。**
- 加振試験では鉛直方向と水平2方向の**3軸(X/Y/Z)同時に加振した。**(開状態, 閉状態それぞれについて)
- 加振試験は、防災科学研究所(E-ディフェンス, 最大積載量1200t)にて実施した。
- 試験体は**実機と同じ構造・サイズ**を用いた。



原子炉建屋6階

原子炉建屋5階

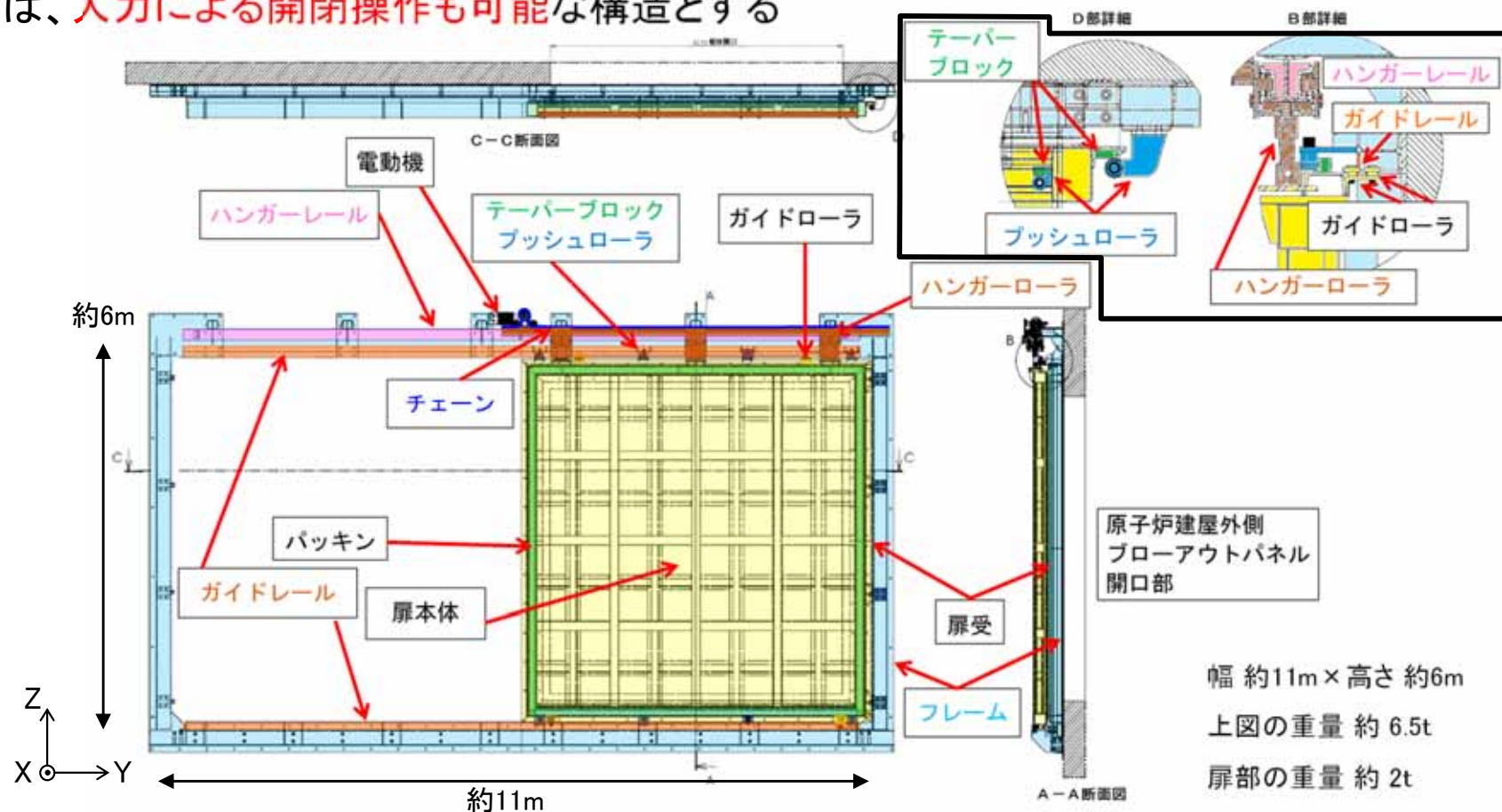
ブローアウトパネルの配置



ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

●ブローアウトパネル閉止装置(試験体)の構造概要

- ✓ 試験体は、幅 11 m × 高さ 6 m 架台を含めた試験体の総重量約 90 ton 扉本体重量約 2 ton
- ✓ 扉は、上下のガイドローラにより面外方向をガイドし、ハンガーローラを介してハンガーレールに吊り下げられた構造
- ✓ 閉止時にプッシュローラにより扉に取り付けているテーパブロック部を押し込むことにより、扉を建屋側に押し付け、気密性を高めるよう工夫
- ✓ 電動機の回転をチェーンにより開閉方向の動作に変換を行い扉を開閉
- ✓ 扉は、人力による開閉操作も可能な構造とする



ブローアウトパネル閉止装置の構造(概要図)

●加振試験(1回目)の結果

試験の結果、**チェーンの破損及び変形**、並びに**扉の移動**(静止位置からのズレ)が認められた。

- ◆ チェーンが破損すると、1.0Ssで開閉機能を喪失する可能性がある
- ◆ 扉のズレ(開放)については、中央制御室運転員の被ばく評価に影響する可能性がある



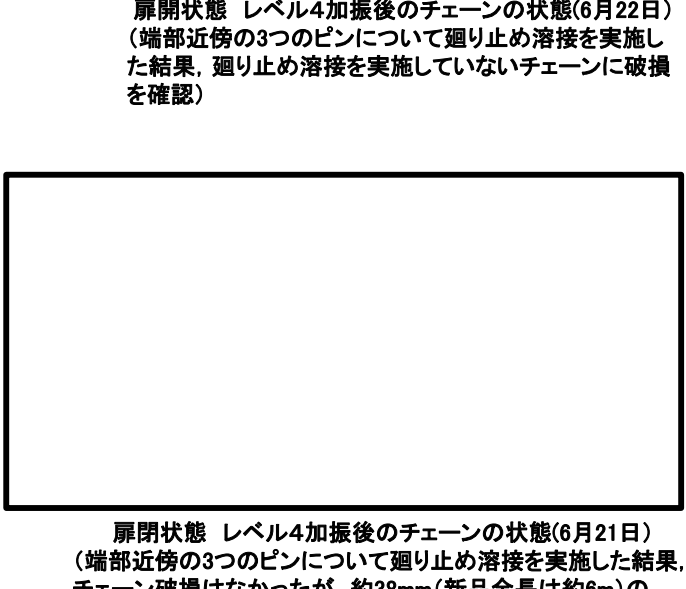
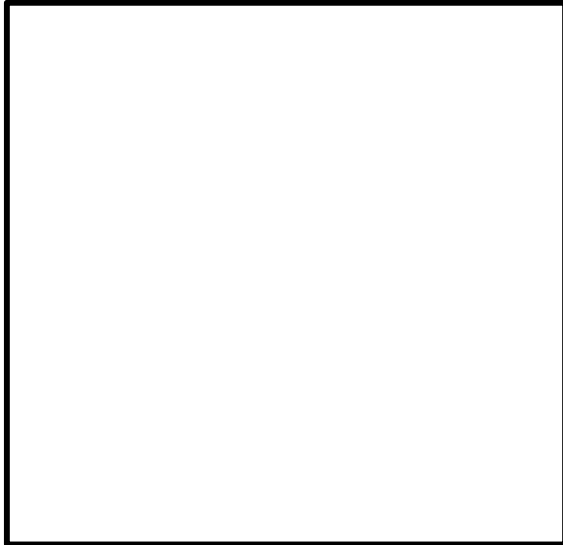
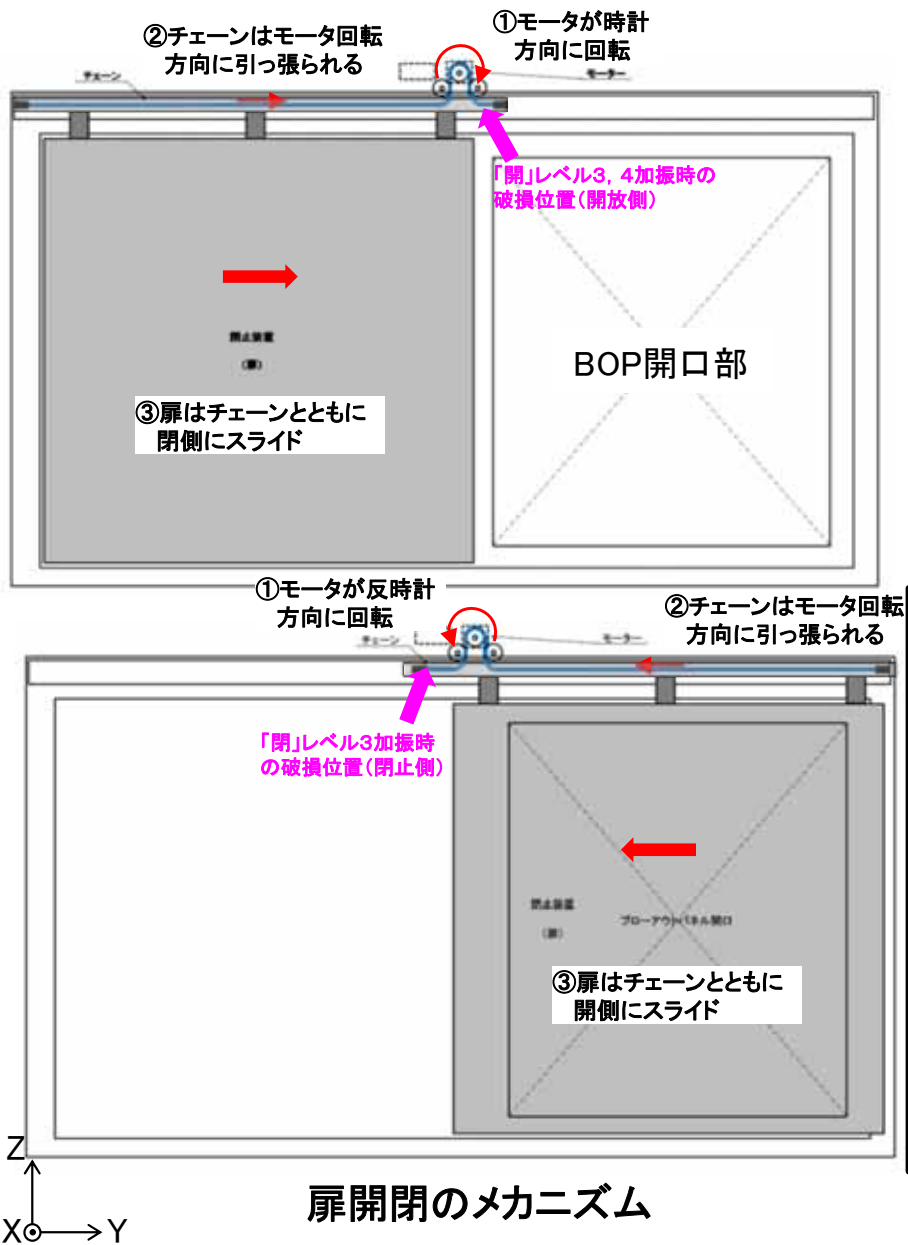
対策を検討し、再試験を実施した

加振時扉状態	試験日	加振条件	試験体下端の計測結果の最大加速度	チェーン補強有無	チェーン破損有無	扉状態	閉機能(電動)	開機能(電動)	備考
開	H30.6.20	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.51G 面内Y:1.56G 鉛直Z:1.64G	無	・破損 (開側)		・有 (破損は扉を開ける側)	・無 (破損は扉を開ける側)	
	H30.6.22	レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.56G 面内Y:1.57G 鉛直Z:1.72G	有	・破損 (開側)		・有 (破損は扉を開ける側)	・無 (破損は扉を開ける側)	
閉	H30.6.20	レベル2 (0.6Ss)	—	無	・破損なし	・扉は完全閉状態から開方向に52mm移動	・有	・有	
	H30.6.21	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.41G 面内Y:1.60G 鉛直Z:1.60G	無	・破損 (閉側)	・扉は完全閉状態から開方向に約300mm移動	・喪失 (破損は扉を閉じる側)	・有 (破損は扉を閉じる側)	
		レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.43G 面内Y:1.58G 鉛直Z:1.62G	有	・破損なし (チェーン全体で38mmの伸び確認)	・扉は完全閉状態から開方向に約85mm移動	・有	・有	

 : 異状が発見された項目

●チェーンの損傷状況(1/2)

電動駆動用チェーンの一部が破損した。破損個所は、扉全開又は全閉時にガイド用歯車(スプロケット)との**チェーン端部までの距離が短い側**(扉開状態では開放側が破損、扉閉状態では閉止側が破損)

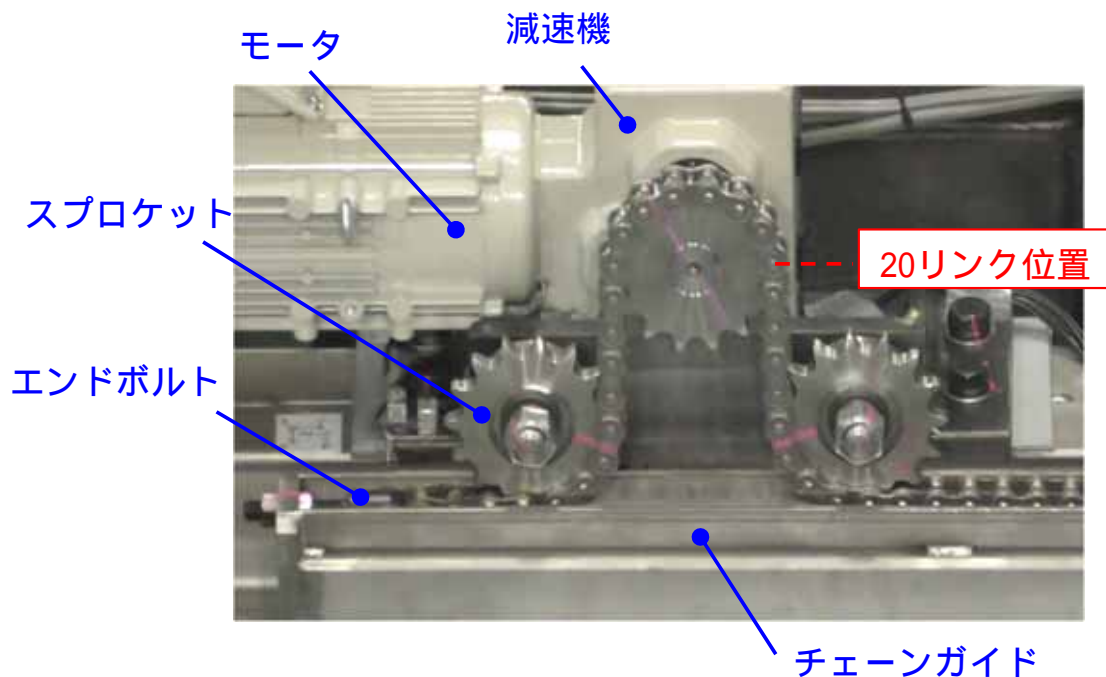


扉開状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月22日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、廻り止め溶接を実施していないチェーンに破損を確認)

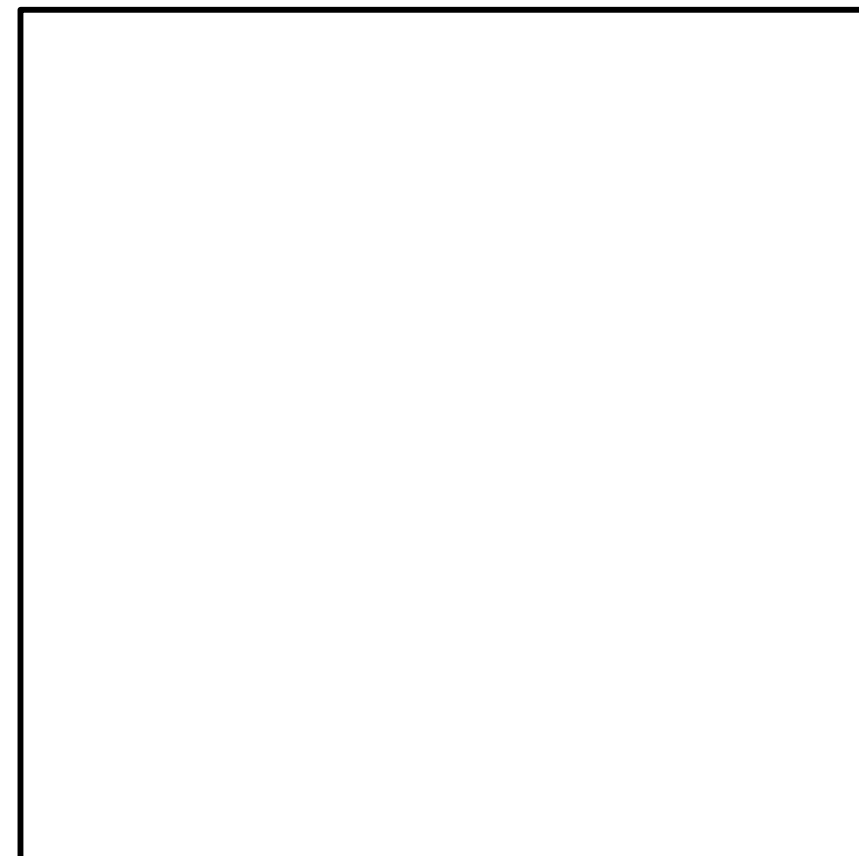
扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが、約38mm(新品全長は約6m)の伸びが確認された)

●チェーンの損傷状況(2/2)

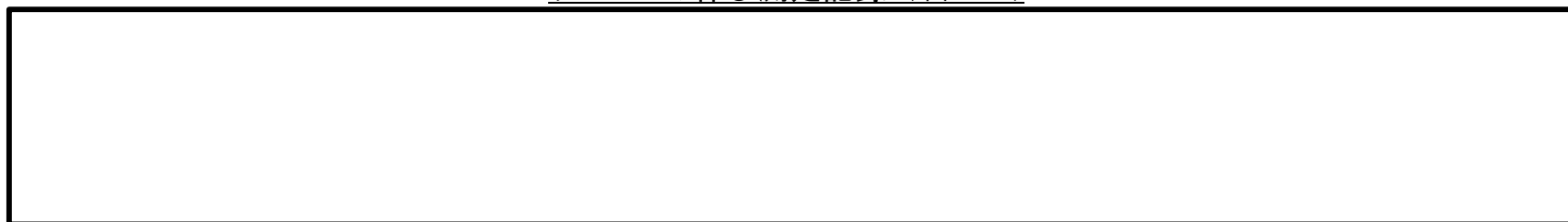
チェーンの伸び箇所とギア等との位置関係を調査した結果、寸法測定の結果から、**エンドボルト側から17リンク目までが伸びが大きい**ことが分かった。



チェーン健全時の設置状況(扉閉側)



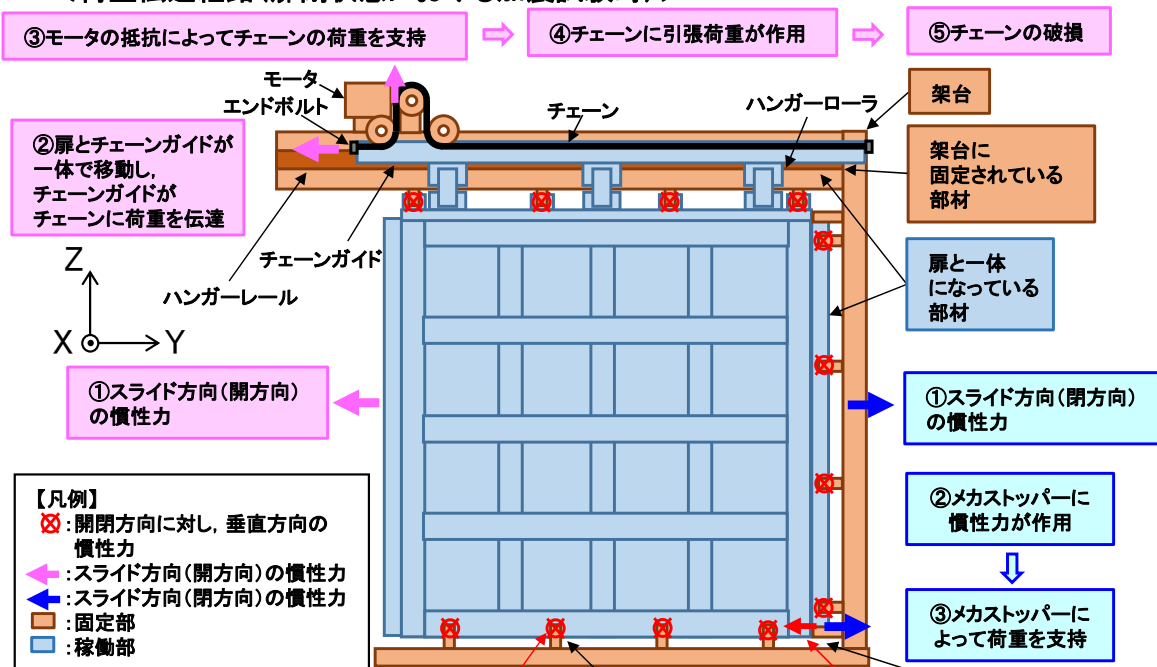
チェーンの伸び測定記録 (単位:mm)



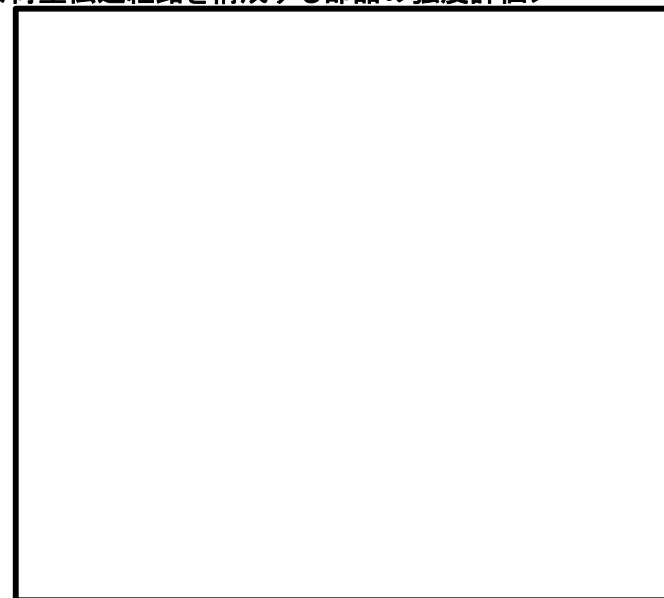
●チェーンの損傷原因

本事象は、加振試験により発生した**スライド方向の慣性力**が扉と一体になってるチェーンガイド等を伝達してチェーンに荷重が加わり、モータのスライド方向支持による反力によって、**チェーンに過大な引張荷重が発生し**、チェーンが塑性変形したものと推定した。また、扉が閉状態を維持できない事象については、チェーンの塑性変形に加え、各部のガツキによるものと推定した。

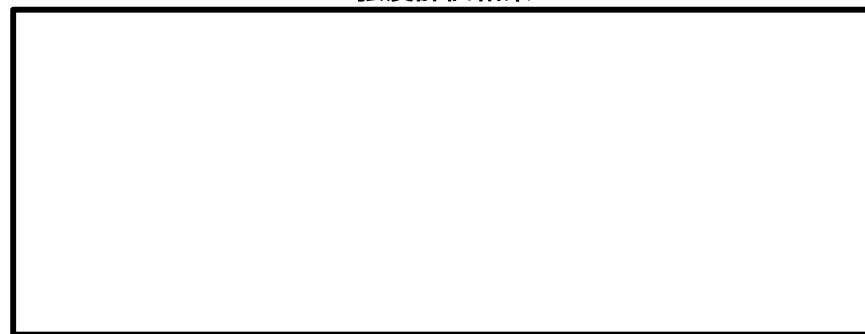
＜荷重伝達経路(扉閉状態における加震試験時)＞



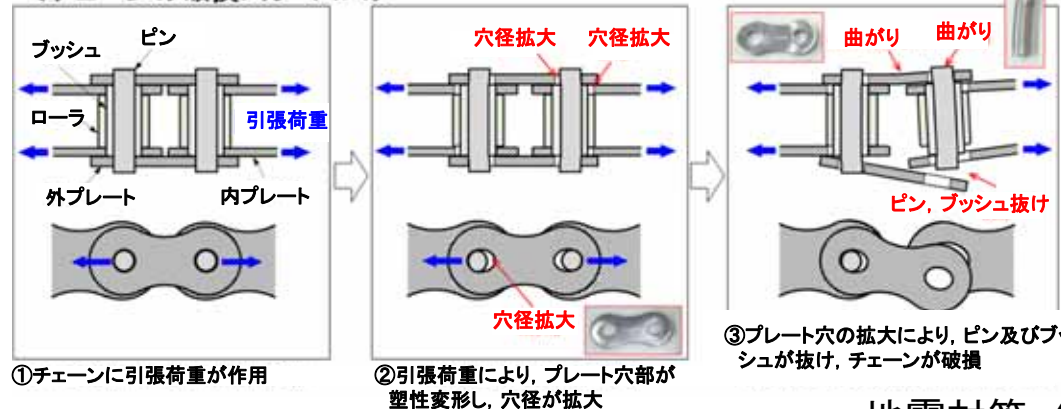
＜荷重伝達経路を構成する部品の強度評価＞



強度評価結果

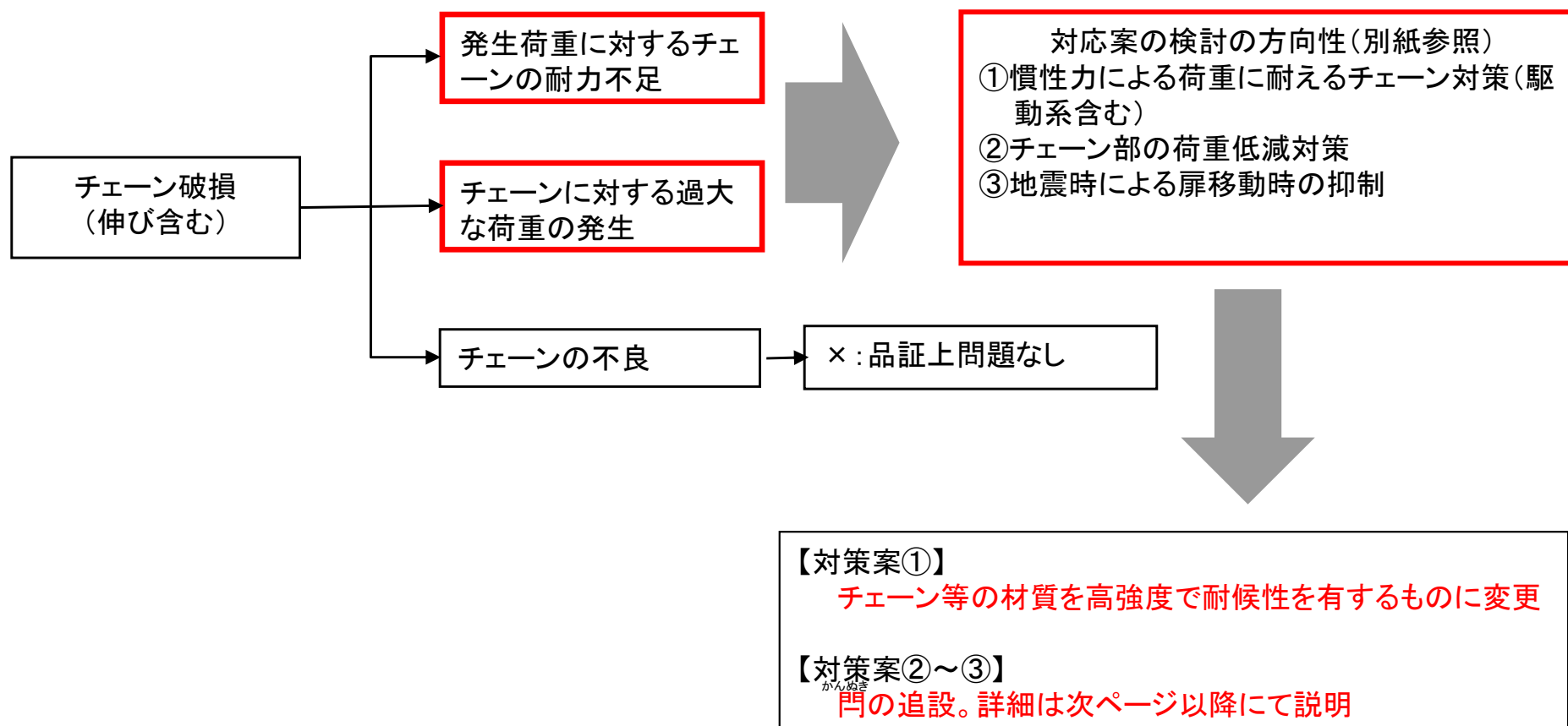


＜チェーンの破損メカニズム＞



⇒強度評価の結果、荷重伝達経路の中でチェーンが一番発生荷重に対する強度上の余裕度が低い

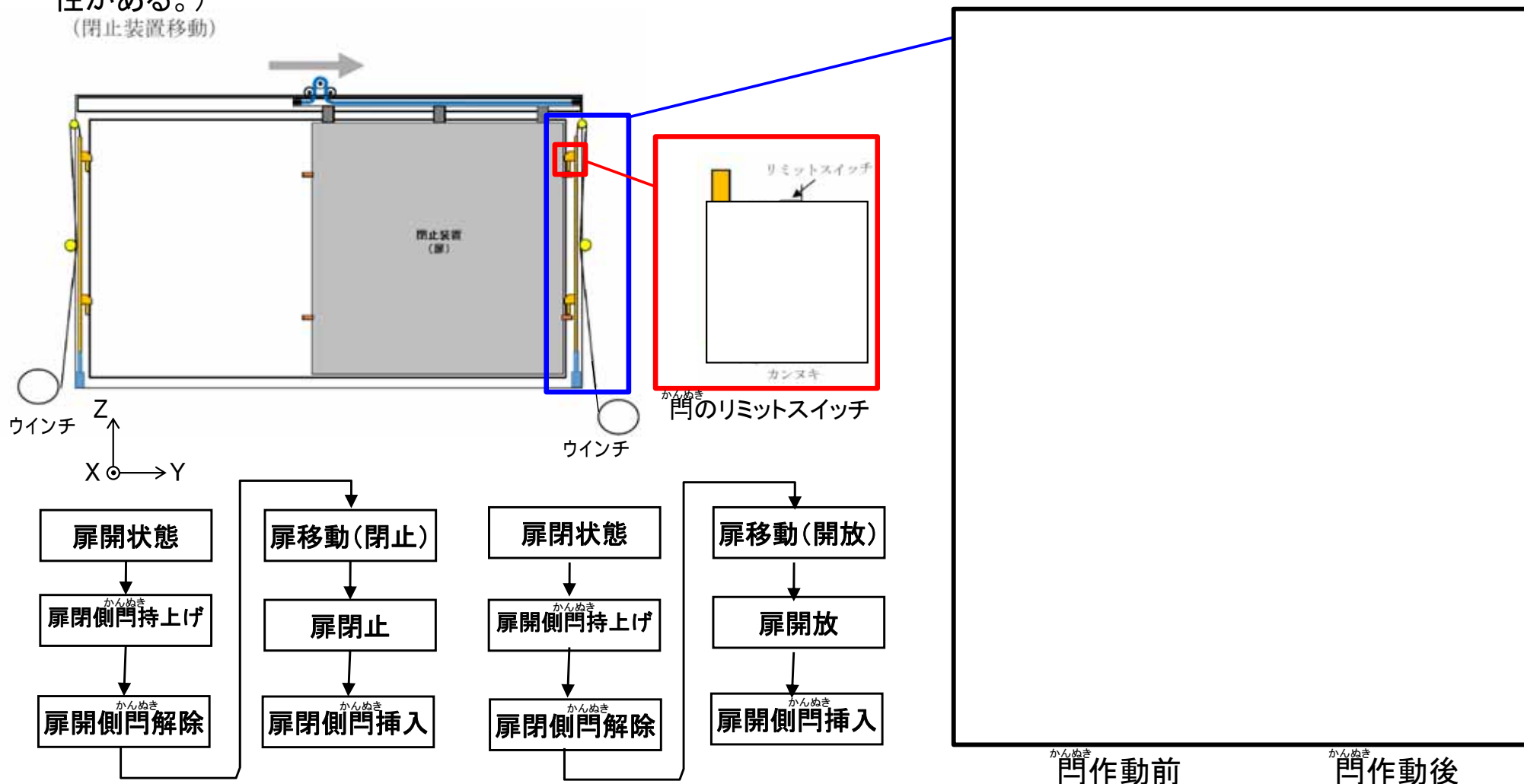
●チェーン損傷対策の方針



●チェーン損傷対策: 門の追設(1/2) チェーン損傷対策の方針のうち②～③の対策

- ・地震時に発生する扉の慣性力を負担する門を追加した。
- ・遠隔操作時は、電動機により門(ピンク色)を持ち上げ、扉が所定位置まで移動し、その後、電動機により門を下げることにより、扉側の門受け(青色)に門を差し込む構造とする。
- ・人力による手動操作も可能な構造とする。(下図のウインチによる方法は一例であり、設計進捗により変更の可能性はある。)

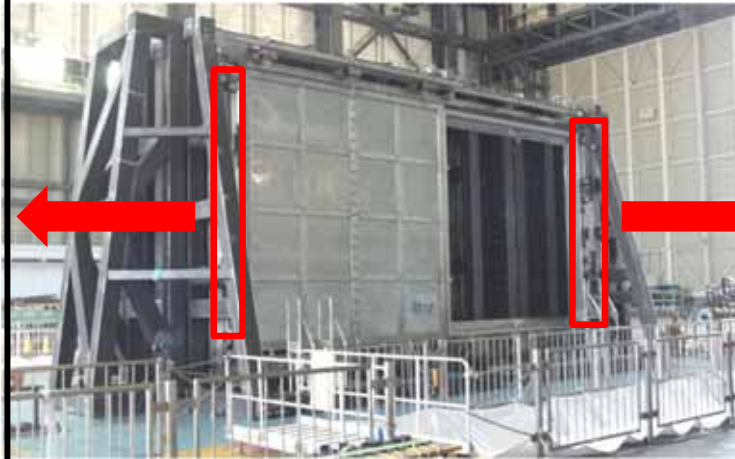
(閉止装置移動)



扉閉止時の動作フロー

扉開放時の動作フロー

●チェーン損傷対策: 門かんぬきの追設(2/2)



扉開側かんぬき(門挿入状態)

扉閉側かんぬき(門挿入状態)

かんぬき
門構造の概要

●再試験(チェーン損傷対策後)

門を追設した閉止装置の耐震性について、以下の試験を実施し、**良好な結果**を得た。
(予備試験及び本試験の詳細は後述)

区分	扉状態	試験項目	目的/試験内容	門有無	H30.7.26	H30.7.25	H30.7.26	H30.7.31
要素試験 (門単体)	開	加振試験1.0Ss ・門作動確認	加振後の門動作確認	有	良好	—	—	—
気密性能確認 (加振無)	閉	気密性能試験	気密性能確認(門間隙を考慮し扉位置を変えて実施)	有	—	良好	—	—
加振試験 (予備試験)	開	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作(門含む) →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での扉開閉確認(門含む)	有	—	—	良好	—
	閉	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での開閉操作(門含む)	有	—	良好	—	—
加振試験 (本試験)	開	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作(門含む) →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む)	有	—	—	—	良好
	閉	加振試験1.0Ss※ ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認(門含む) ・手動での開閉操作(門含む)	有	—	—	—	良好

※前回試験にて計測した加速度が設計加速度以上であることを確認できたことから、再試験は1.0Ssのみで実施。

●再試験結果(1/3)

<チェーンの損傷, 伸び>

門を設置した結果, チェーン破損はなく, 扉開放等の**不具合は認められなかった**。また, 新たに設置した門についても擦れ跡が確認されたが, 割れや変形等の異常は確認されなかった。

試験日	試験条件		外観目視点検結果				備考
	扉	加振	チェーン	扉開閉止	門	その他部位	チェーン伸び
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	約4mm
H30.7.25	閉		破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	約1mm
H30.7.31	閉		破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし	

<チェーンの伸びについて>

- ・チェーンは組立歪と初期なじみにより初期伸びが発生する。
- ・今回の試験で測定されたチェーンの伸びは, 全長(約6m)の0.05%程度であり, メーカーの製造実績も踏まえると初期伸びに相当するものであり, 異状ではないと判断した。

擦れ跡
(門が差し込まれた状態で加振される場合, 門ピンと扉の門受けが接触するため発生)



●再試験結果(2/3)

<扉及び門作動試験(電動/手動)>

- ・扉及び門の作動時間/電流値が判定基準以内であることを確認した。
- ・扉及び門のシリンダの電動機を含む駆動系に異常のないことを確認した。

【門の作動試験】

試験日	試験条件		門位置	電動				手動	
	扉	加振		押上時		挿入時		押上時	挿入時
				作動時間 (15秒以内)	電流 (2.1A以内)	作動時間 (15秒以内)	電流 (2.1A以内)		
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	扉開側	良	良	良	良	異常なし	異常なし
H30.7.25			閉	扉閉側	良	良	良	良	異常なし
H30.7.25	扉開側			良	良	良	良	異常なし	異常なし
	扉閉側		良	良	良	良	異常なし	異常なし	
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	扉開側	良	良	良	良	—	—
H30.7.31			閉	扉閉側	良	良	良	良	—
	扉開側			良	良	良	良	異常なし*	異常なし*
				扉閉側	良	良	良	良	異常なし*

※電動による確認結果に異常はなく省略可能であるが、念のため確認

【扉の作動試験】

試験日	試験条件		電動				手動
	扉	加振	開放→閉止		閉止→開放		
			作動時間 (120秒以内)	電流 (7.48A 以内)	作動時間 (120秒以内)	電流 (7.48A 以内)	
H30.7.26	開	1.0Ss(予備試験)	良	良	良	良	開→閉 異常なし
H30.7.25			閉	良	良	良	良
H30.7.31	開	1.0Ss(本試験)	良	良	良	良	—
H30.7.31			閉	良	良	良	良

※電動による確認結果に異常はなく省略可能であるが、念のため確認

●再試験結果(3/3)

<気密性能試験>

今回の再試験前に新しいパッキンに取替えを行い、気密性能を確認した結果、加振試験前後での通気量の大きな増加は認められず、**加振後においても、気密性が確保できる**ことを確認した。

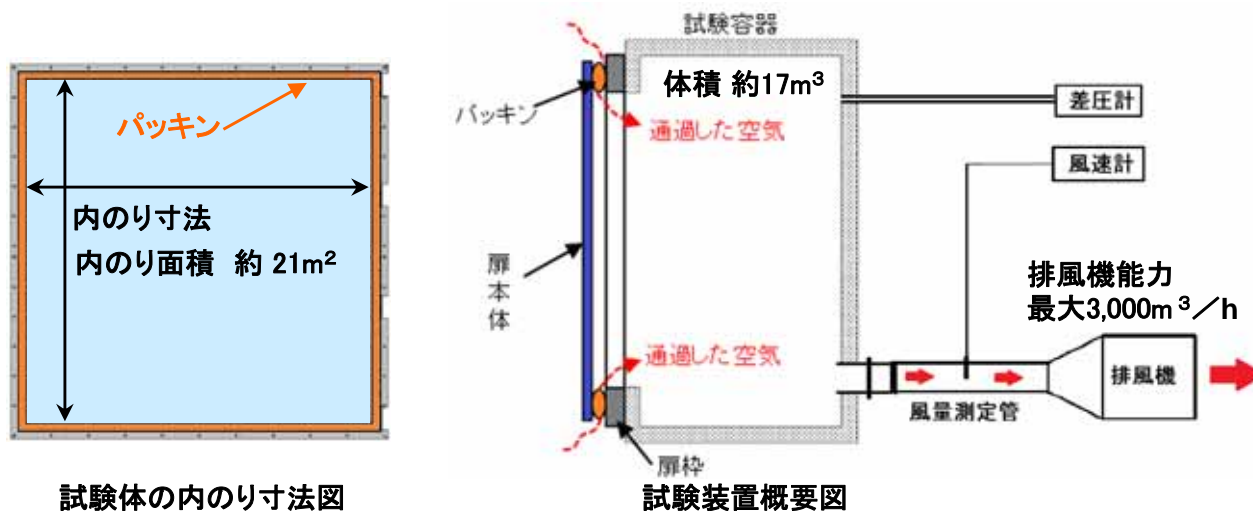
試験日	試験条件		通気量[m ³ /h・m ²] (<input type="text"/> Pa時) [*]	備考	【参考】第1回試験 通気量[m ³ /h・m ²]
	扉	加振			
H30.7.25	閉	初期状態	0.28 0.28 0.32	・ <small>かんぬき</small> 門穴の間隙による扉移動(最大±5mm)を考慮して試験実施 ・数値は上から扉停止位置、閉側に5mm移動させた位置、開側に8mm(設計最大量5mm+保守的に3mm)移動させた位置での試験結果	0.25 — —
H30.7.26	開	1.0Ss (予備試験)	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.25
H30.7.25	閉		0.32	扉閉状態での加振後の状態で試験	—
H30.7.31	開	1.0Ss (本試験)	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.26
H30.7.31	閉		0.35	扉閉状態での加振後の状態で試験	0.26

※目標値は Paにおいて m³/h・m²以下

【参考】気密性能試験について

- ✓ 気密性能試験は, ASTM E283-04※に準じた試験装置を使用

※: Test Method for Determining the Rate of Air Leakage through Exterior Windows, Curtain Walls and Doors Under Special Pressure Differences Across the Specimen



試験体の内寸法図

試験装置概要図



排風機及び風速計設置状況

- ✓ 排風機により試験容器内の空気を排出し, 試験容器内外に圧力差を生じさせ, 試験体のパッキンを通過した空気量を測定

$$q = Q' / A$$

q : 通気量 (m³/h・m²)

A : 試験体の内り面積 (m²)

Q' : 通過した空気量 (20°C, 1,013hPa換算値) (m³/h) $Q' = Q \times \frac{P}{1013} \times \frac{273 + 20}{273 + T}$

Q : 通過した空気量 (試験時) $Q = V \times S \times 3600$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 (°C)

V : 風速計により測定した風速 (m/s)

S : 風量測定管の断面積 (m²)

- ✓ 試験体の設計目標は, JIS A4等級 (Paにおいて m³/h・m²) 以上