

5. 機器・配管系構造概要 (1/9)



常設高圧代替注水系ポンプ

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形横軸ポンプ</p>	<p>(単位:mm)</p>

5. 機器・配管系構造概要 (2/9)



緊急用直流125V蓄電池

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
緊急用 125V 系蓄電池は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に固定する。	直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> </div> </div> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>4 個並び 2 段 1 列</th> <th>3 個並び 2 段 1 列</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>約 960 mm</td> <td>約 960 mm</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>約 1580 mm</td> <td>約 1240 mm</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>約 1230 mm</td> <td>約 1230 mm</td> </tr> </tbody> </table>		4 個並び 2 段 1 列	3 個並び 2 段 1 列	たて	約 960 mm	約 960 mm	横	約 1580 mm	約 1240 mm	高さ	約 1230 mm	約 1230 mm
	4 個並び 2 段 1 列	3 個並び 2 段 1 列												
たて	約 960 mm	約 960 mm												
横	約 1580 mm	約 1240 mm												
高さ	約 1230 mm	約 1230 mm												

5. 機器・配管系構造概要 (3/9)



可搬型代替低圧電源車

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サスペンションを有し、自走にて移動できる構造とし、車両、発電機、内燃機関により構成する。</p>	<p>発電機、内燃機関は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。発電機、内燃機関を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。</p>	

常設低圧代替注水系ポンプ

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形横軸ポンプ</p>	<p>(単位 : mm)</p>

5. 機器・配管系構造概要 (5/9)

常設代替電源装置

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>車載式のディーゼル発電装置で、発電機は内燃機関と共通台板に取付ボルトにて固定する。</p>	<p>防滴保護, 空気冷却自己自由通風型三相交流発電機</p>	

5. 機器・配管系構造概要 (6/9)

可搬型代替注水大型ポンプ

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サスペンションを有し、自走にて移動できる構造とし、車両、ポンプ、内燃機関により構成する。</p>	<p>ポンプ、内燃機関は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。ポンプ、内燃機関を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。</p>	

5. 機器・配管系構造概要 (7/9)

可搬型代替注水中型ポンプ

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サスペンションを有し、自走にて移動できる構造とし、車両、内燃機関により構成する。</p>	<p>内燃機関は、コンテナに直接支持構造物である取付ボルトにて固定する。内燃機関を収納したコンテナは、間接支持構造物であるトラックに積載し取付ボルトにより固定し、保管場所に固定せずに保管する。</p>	

残留熱除去系熱交換器

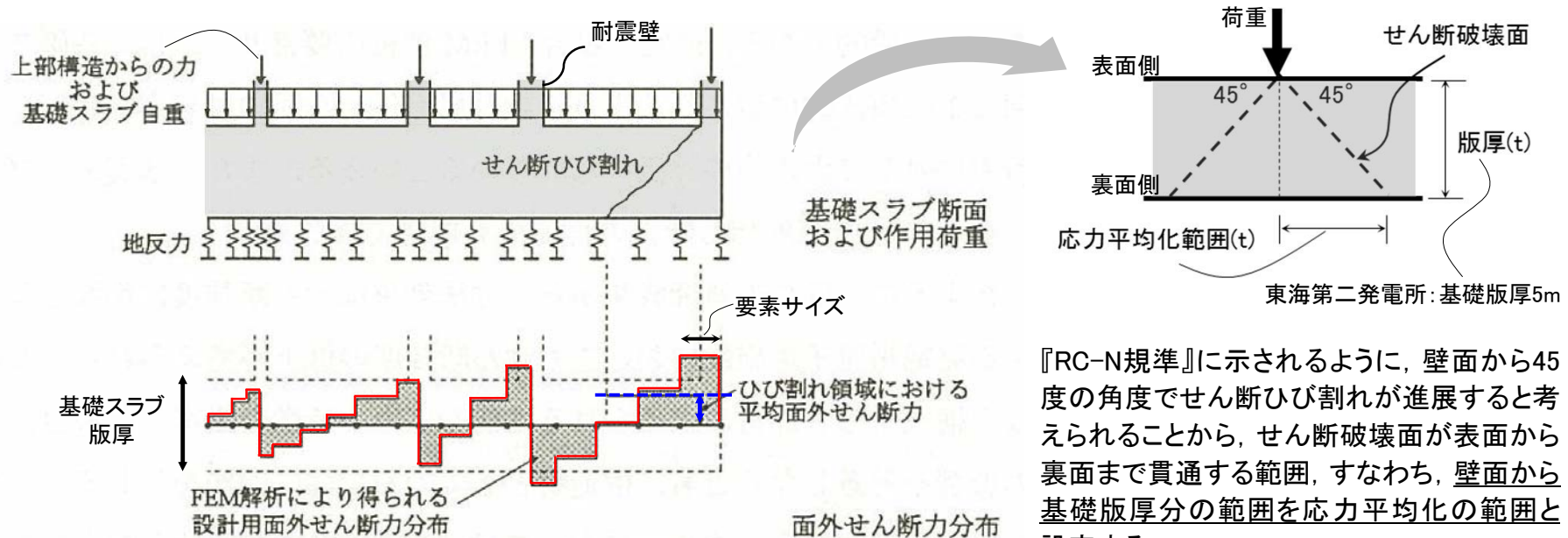
構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を4個のラグで支持し、ラグをそれぞれ架台に取付ボルトで取り付ける。</p>	<p>水室、管板、胴を有するラグ支持たて置円筒形容器</p>	

水圧制御ユニット

構造概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水圧制御ユニットのフレームは、十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。</p>	<p>配管ユニット, スクラム弁, セクタ弁, スクラムパイロット弁, 端子箱, アキュムレータ, 窒素容器, 計装ユニット等の水圧制御ユニット構成部品がフレームに固定された構造。</p>	

○ 応力平均化の考え方

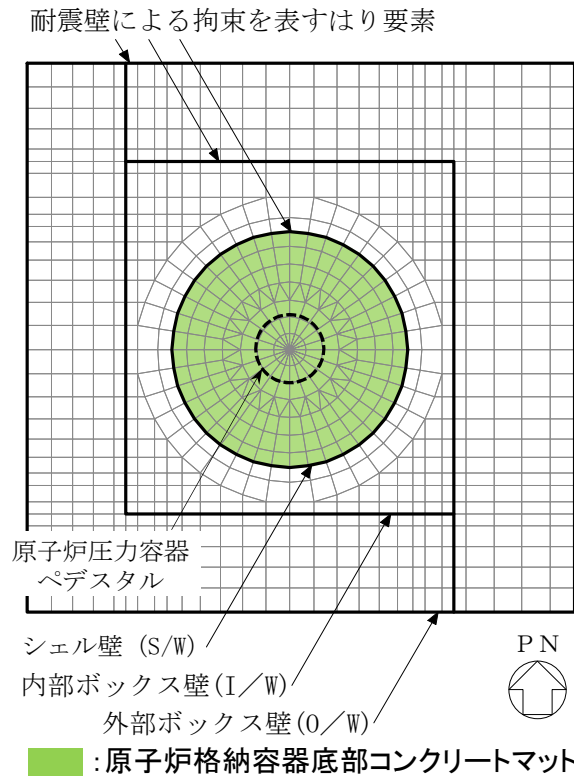
『原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社)日本建築学会、2005）』（以下「RC-N規準」という。）では、基礎のような大断面を有する面材の面外せん断力について、『基礎スラブの設計用応力はFEM 解析により算定し、断面設計はその要素応力を用いて行うことが一般的である。通常の場合、FEM 解析の要素サイズは、基礎スラブ版厚より小さいため、付図2.2 に模式的に示されるように設計用面外せん断力は想定されるひび割れ領域での平均面外せん断力に対して大きめの評価になっているといえる。また、基礎スラブにおいても、耐震壁と同様、面材における面外せん断力の再配分も期待できる。』とされている。



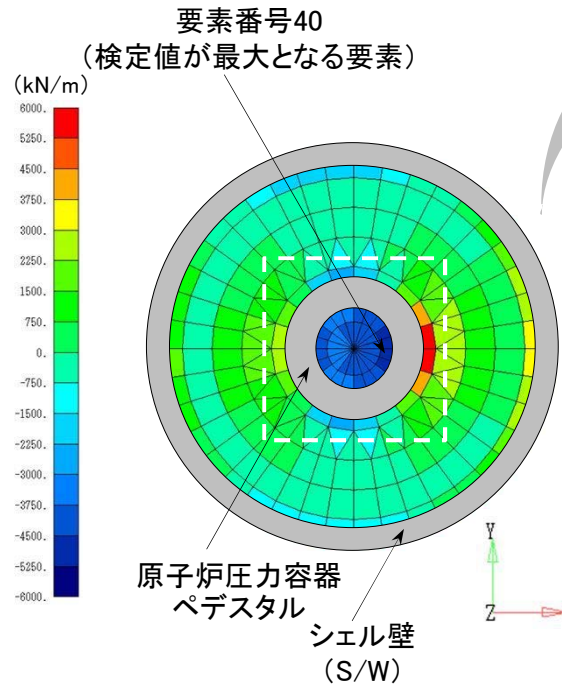
付図2.2 床スラブにおける設計用面外せん断力（RC-N規準抜粋）

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

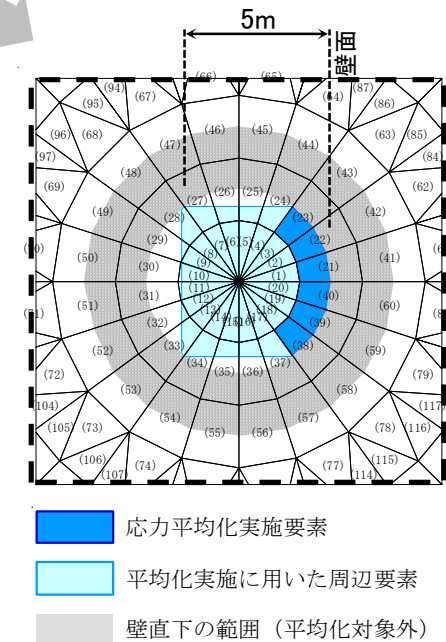
6. 建物・構築物の評価手法（応力平均化）（2/2）



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



面外せん断力コンター図
(S_s地震時 X方向)



応力平均化の範囲

評価結果(平均化前→平均化後)

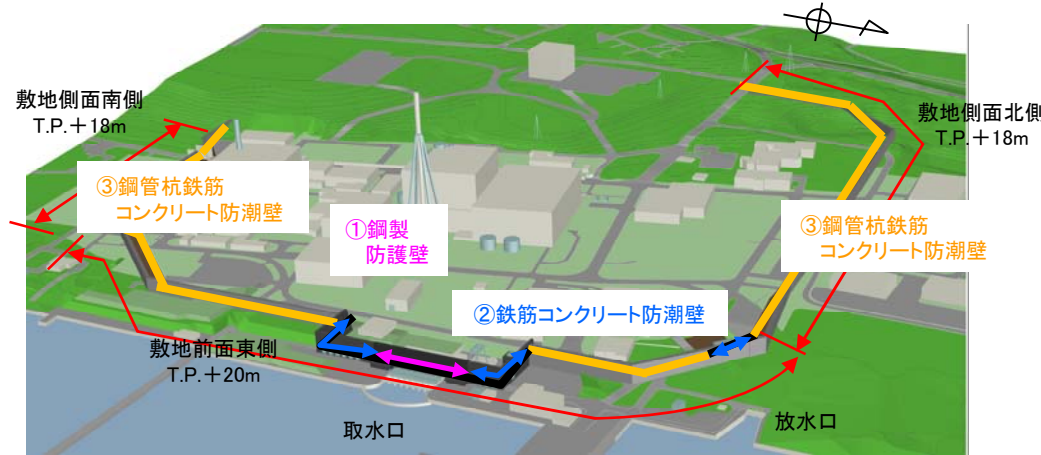
要素番号	応力成分	方向	応力平均化前			応力平均化後		
			発生値 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値*1	発生値 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値*1
40	面外せん断力	X方向	1.20	1.06	1.14	1.01	1.06	0.95

*1: 検定値 = (発生値 / 許容値)

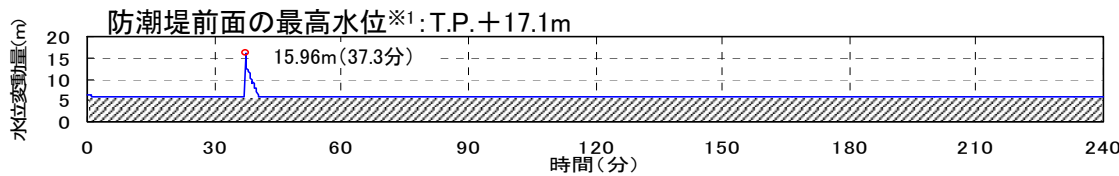
FEM解析においては、集中荷重等が発生する部位は、局所的な応力集中が発生しやすい。当該部は、RPVペデスタルの脚部反力を入力している節点を含んだ要素であり、応力が集中し、大きな面外せん断力が発生していることが分かる。そのため、『RC-N規準』の考えに基づき、壁面から基礎盤の部材厚である5mの範囲で応力平均化を行った。

7. 防潮堤の構造 (1/8)

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



防潮堤設置イメージ

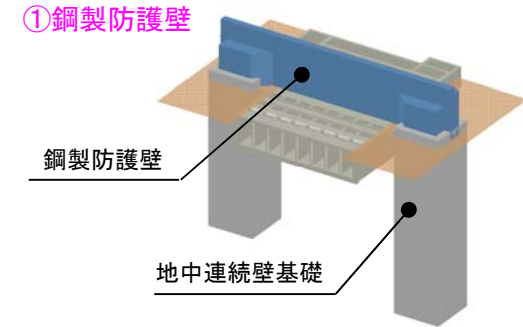


※1: 最大水位上昇量(15.96m)に期望平均満潮位(T.P.+0.61)及び地殻変動量(2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動量も含む)を考慮(0.31m, 0.2m) * 15.96+0.61+0.31+0.2 = 17.1 m

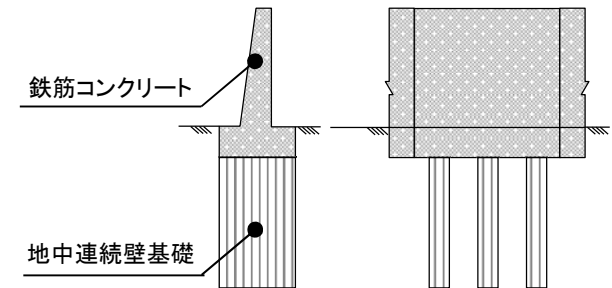
防潮堤前面の最高水位の時刻歴波形

敷地区分毎の入力津波高さとの防潮堤高さ

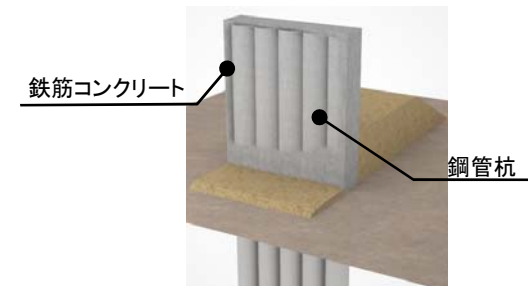
敷地区分	基準津波による防潮堤前面最高水位等 (参考)	①津波高さの数値シミュレーション (地盤沈下の有無, 防波堤の有無を考慮し, 最も高い値を選定)	②入力津波高さの策定 (①に潮位のばらつき 0.18m等を考慮)	防潮堤高さ (②に対し余裕があることを確認)
敷地側面北側	T.P.+11.7m	T.P.+15.2m	T.P.+15.4m	T.P.+18m
敷地前面東側	T.P.+17.1m	T.P.+17.7m	T.P.+17.9m	T.P.+20m
敷地側面南側	T.P.+15.4m	T.P.+16.6m	T.P.+16.8m	T.P.+18m



②鉄筋コンクリート防潮壁



③鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

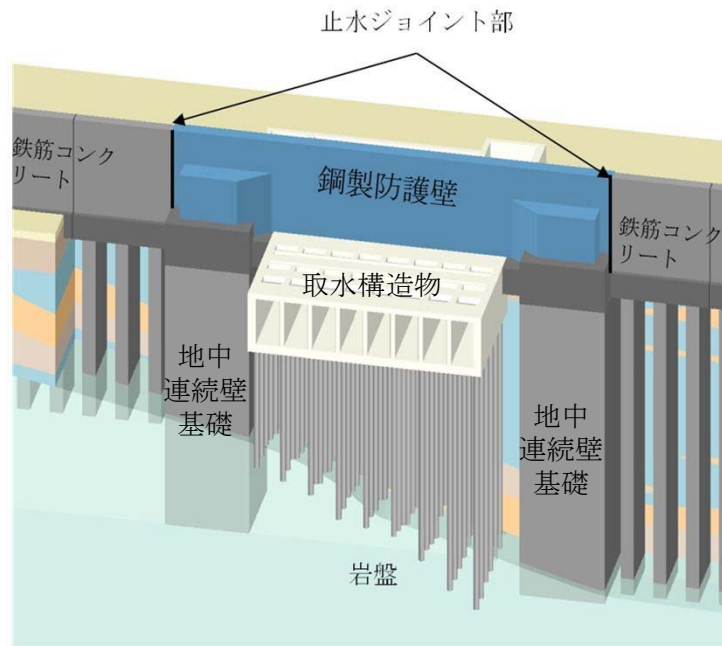


防潮堤の構造イメージ

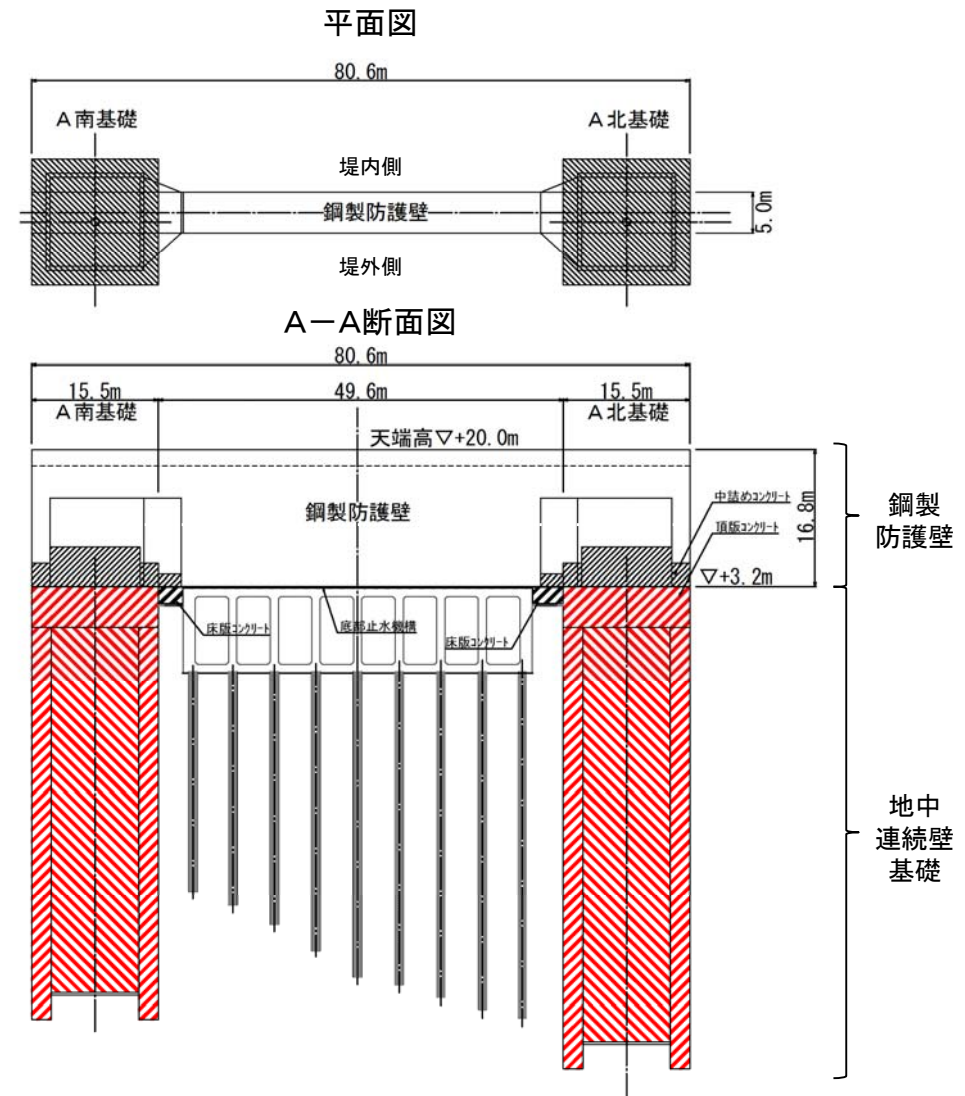
7. 防潮堤の構造 (2/8)

① 鋼製防護壁の構造

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



構造概要図(イメージ図)

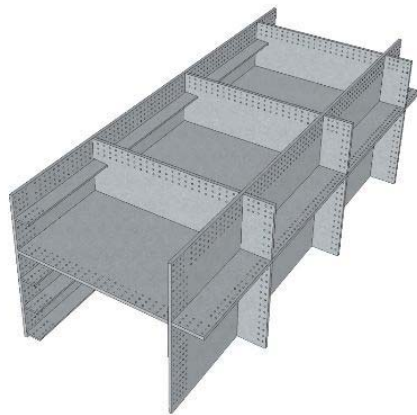


7. 防潮堤の構造 (3/8)

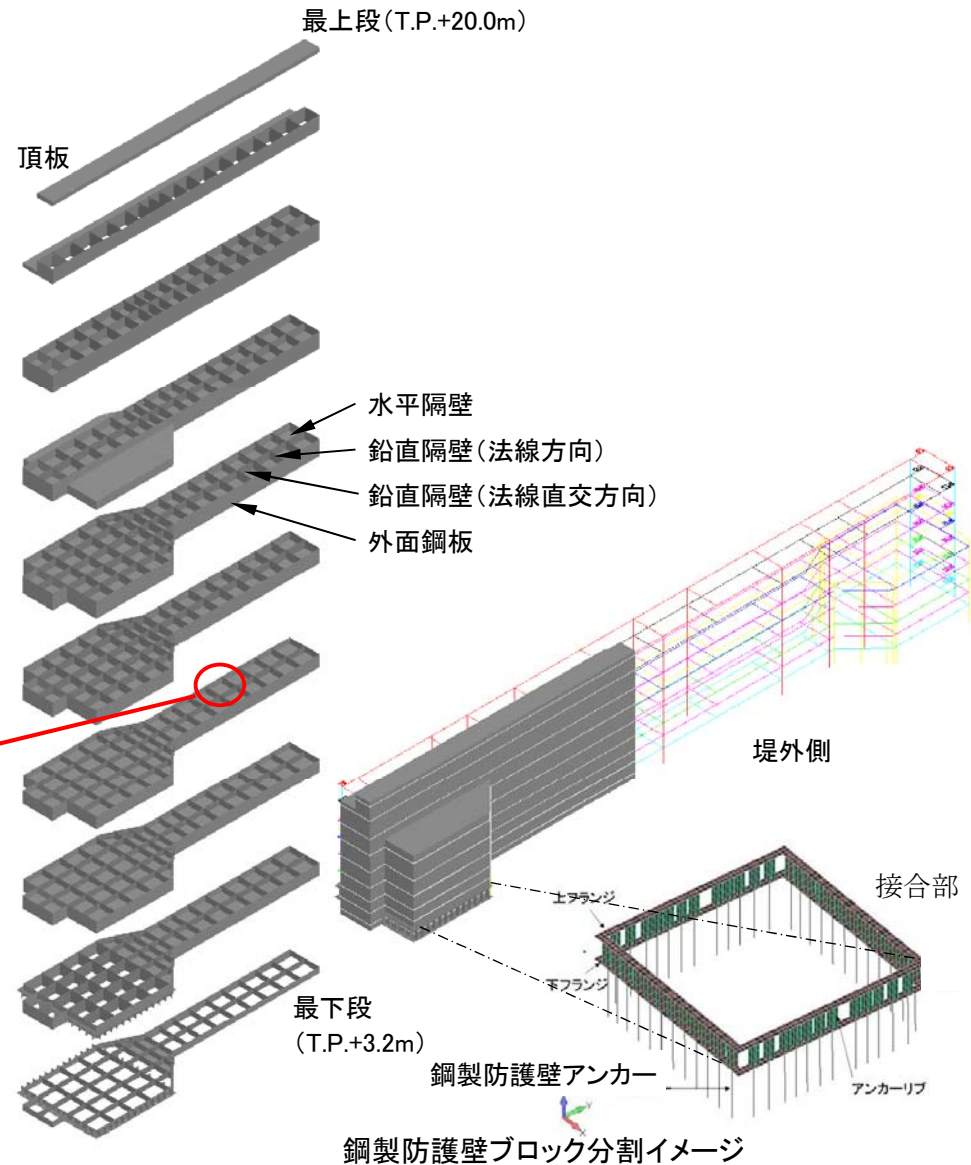
① 鋼製防護壁の構造

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。



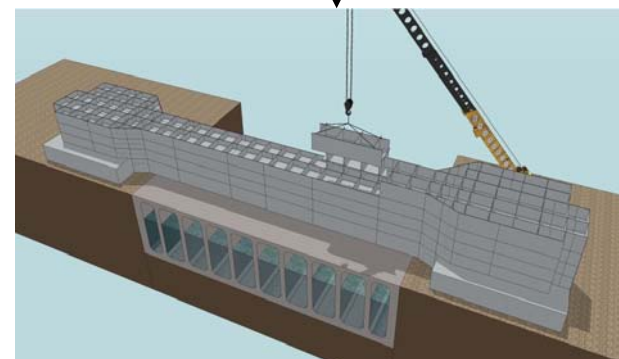
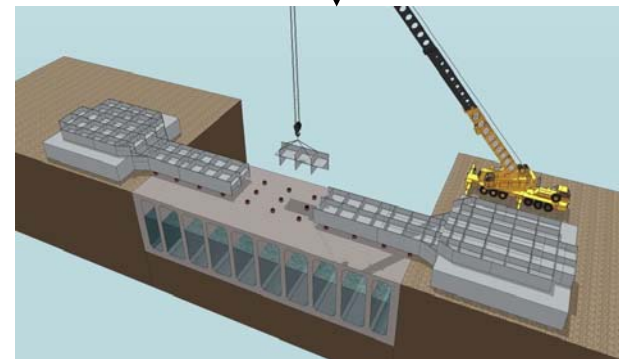
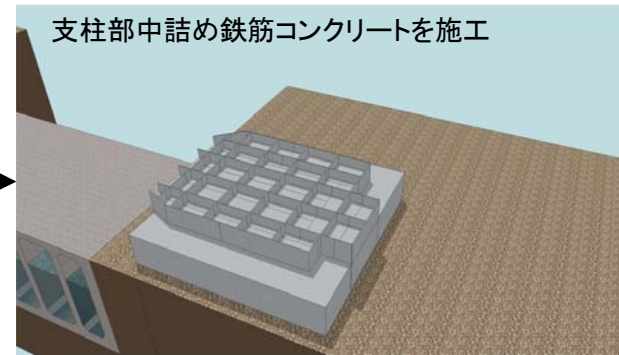
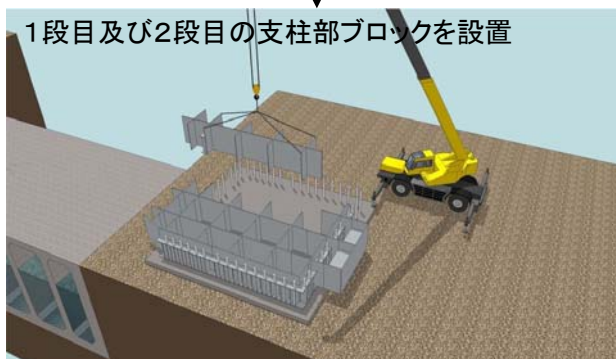
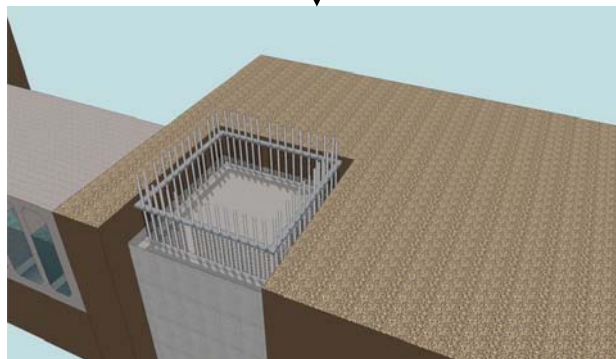
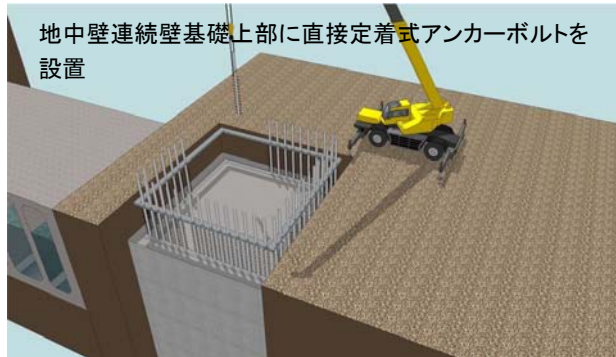
ブロックのイメージ図



7. 防潮堤の構造 (4/8)



① 鋼製防護壁の構造 施工ステップ図



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

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

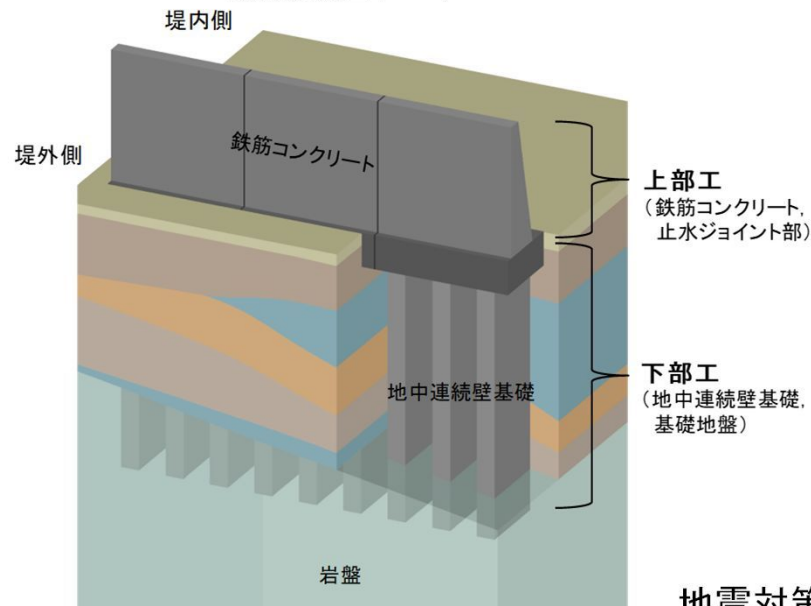
7. 防潮堤の構造 (5/8)

② 鉄筋コンクリート防潮壁(取水口)

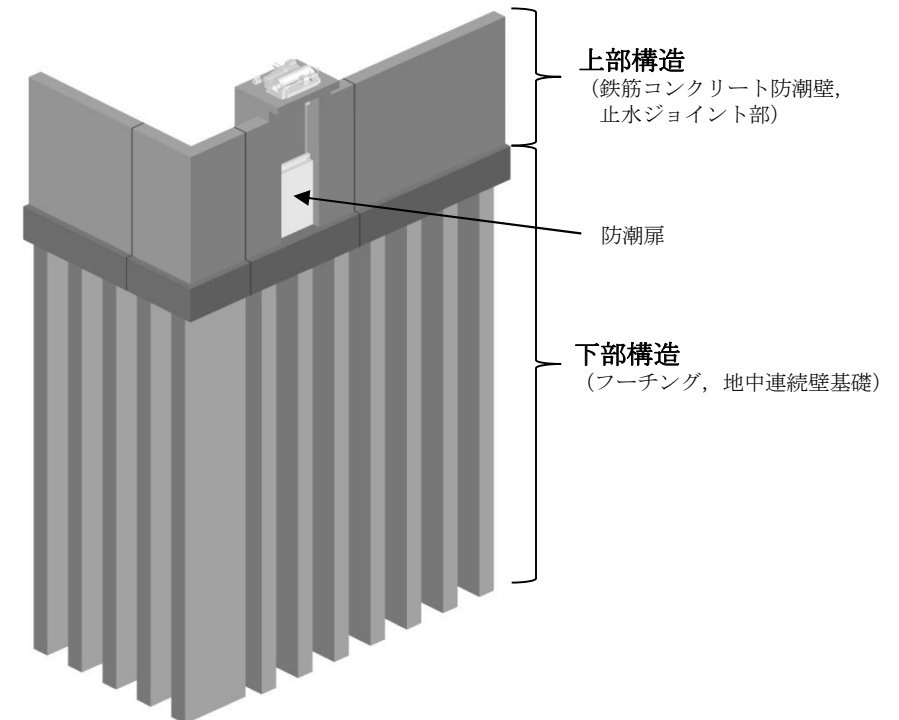
- 鉄筋コンクリート製の地中連続壁基礎の上に鉄筋コンクリート製の防潮壁を構築する。
- 防潮壁及び地中連続壁基礎はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とする。
- 防潮壁間には、地震時や津波時の変形量に追随し、津波の浸水を防止する止水ジョイントを設置する。



防潮堤設置イメージ



地震対策-79



取水口北側エリアイメージ

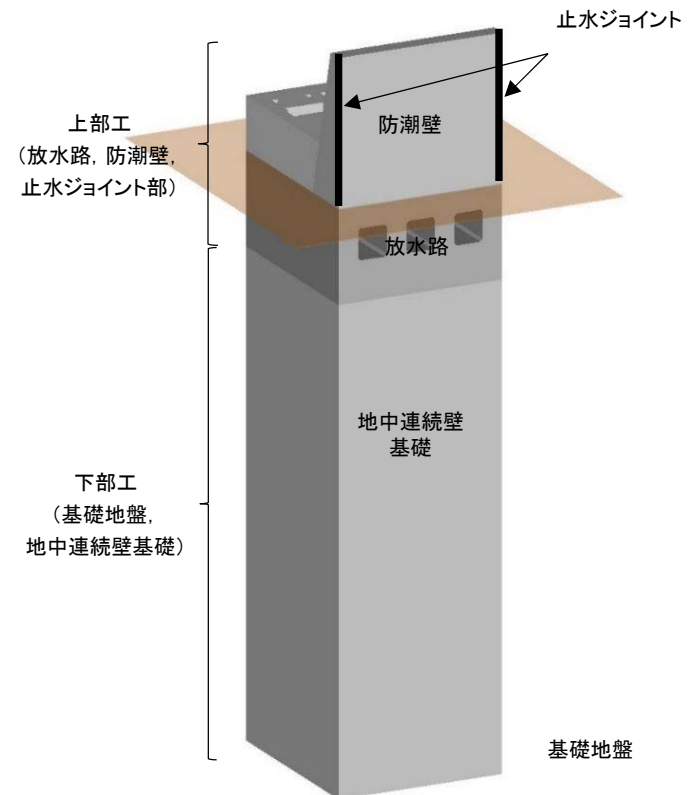
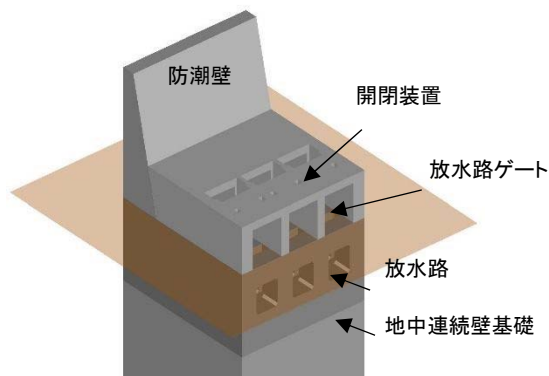
7. 防潮堤の構造 (6/8)

② 鉄筋コンクリート防潮壁(放水口)

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



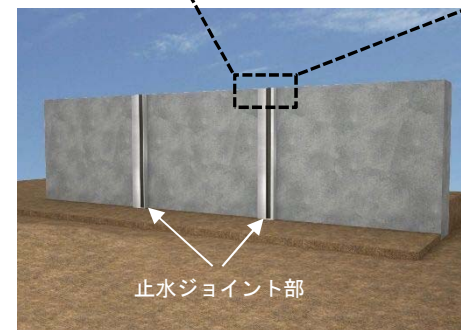
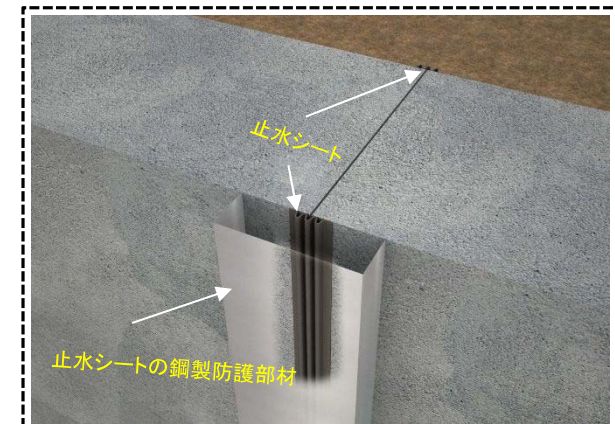
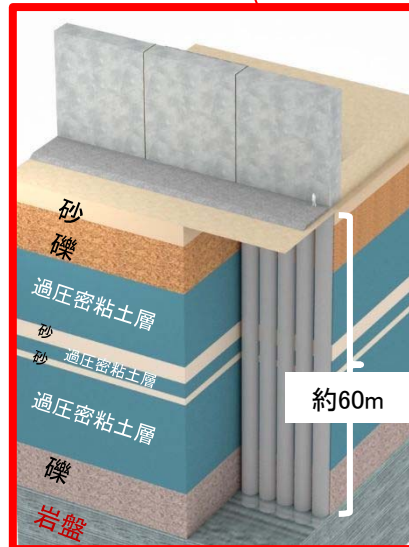
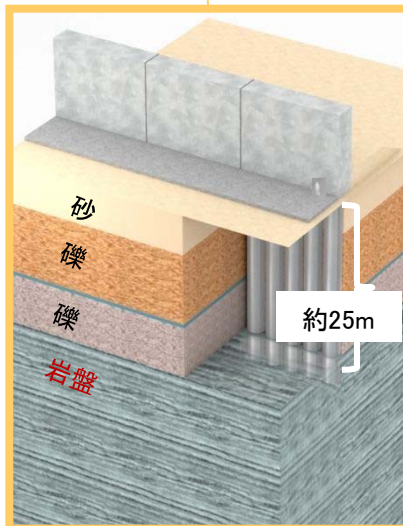
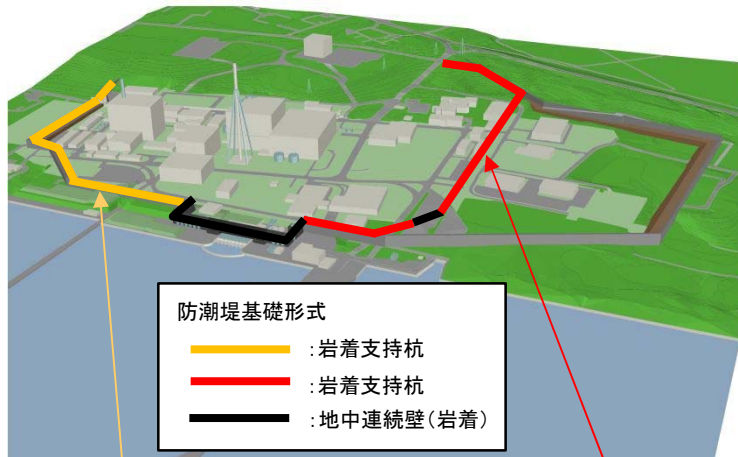
防潮堤設置イメージ



7. 防潮堤の構造 (7/8)

③ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

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



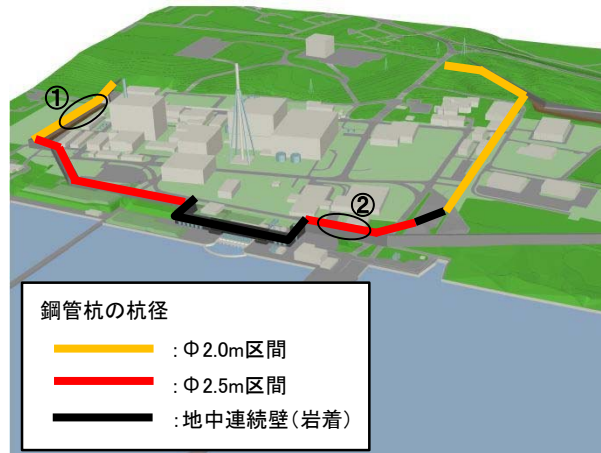
止水ジョイント部イメージ

7. 防潮堤の構造 (8/8)

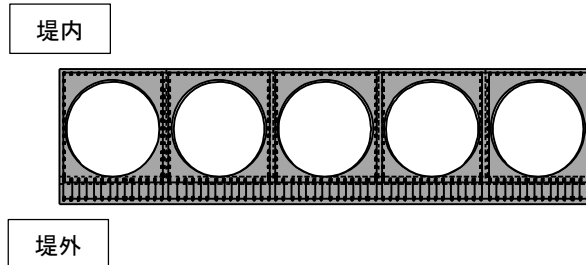


③ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

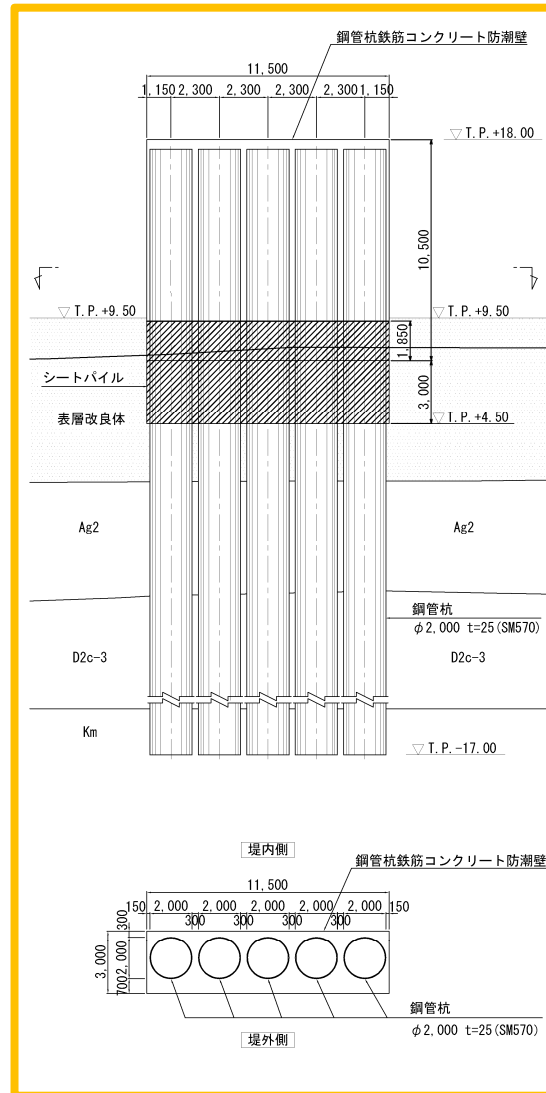
○ 鋼管杭の杭径は、地震・津波荷重に応じてΦ2.0m区間及びΦ2.5m区間として区分する。



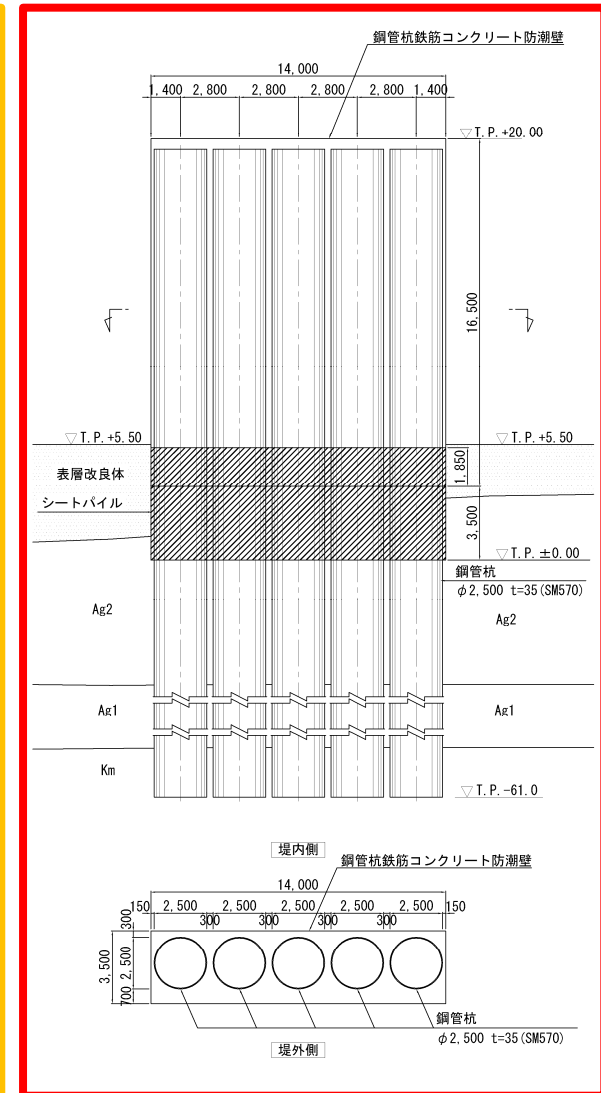
	杭径 Φ2.0m	杭径 Φ2.5m
杭の間隔	2.3m	2.8m
防潮壁サイズ	11.5m × 3.0m	14.0m × 3.5m
防潮堤天端	T.P.+18.0m	T.P.+20.0m



上部構造の配筋イメージ図



① 構造図(Φ2.0m区間)

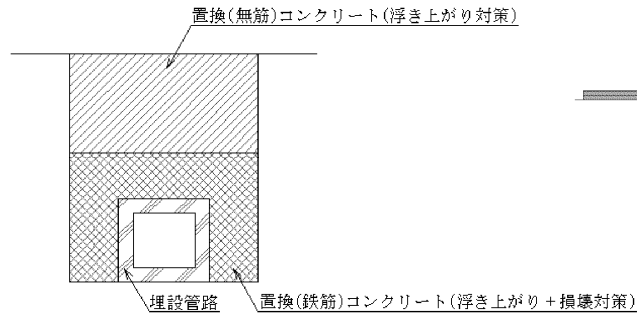


② 構造図(Φ2.5m区間)

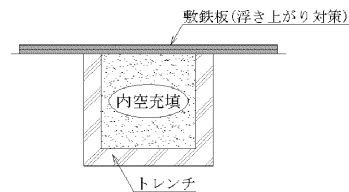
8. 屋外アクセスルートへの補強対策 (1 / 3)

○ アクセスルートの補強対策

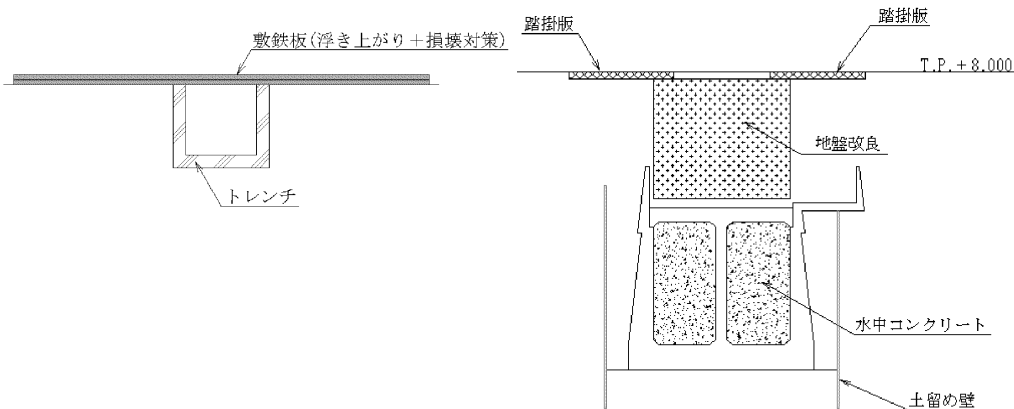
不等沈下, 浮き上がり, 地中埋設構造物の損壊により段差が発生すると評価された箇所に対し, 補強対策を実施する。



タイプA: 置換コンクリート (No.6 他)

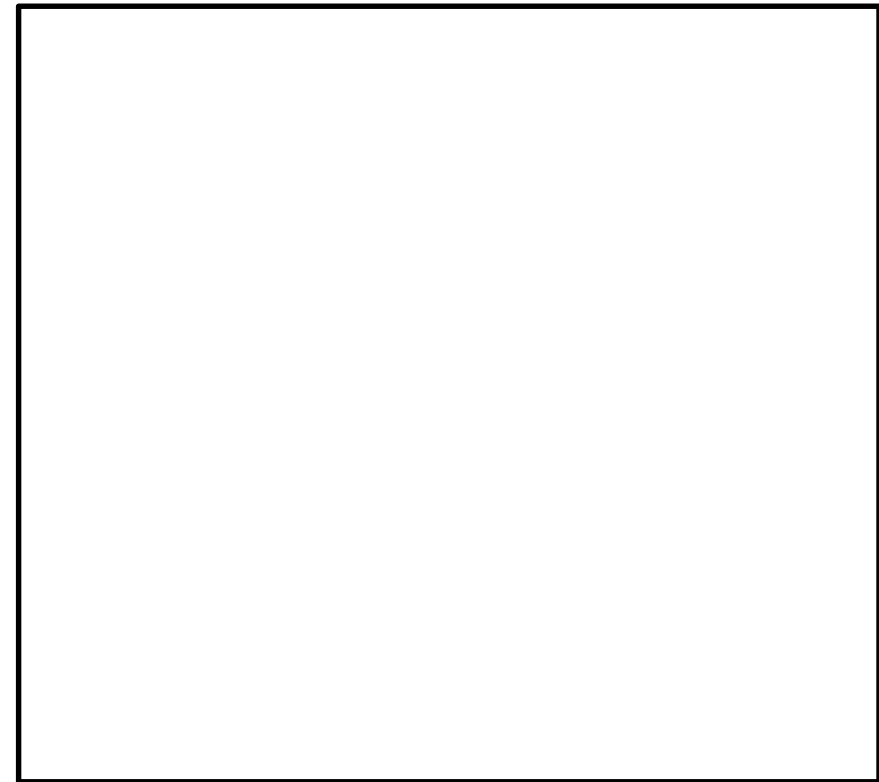


タイプC: 内空充填 (No.70 他)



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	予備変圧器河道	-	-	-	○	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。

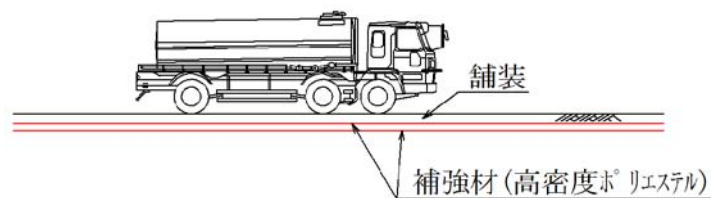
8. 屋外アクセスルートへの補強対策 (3/3)

○ 確実性を高めるための更なる対策

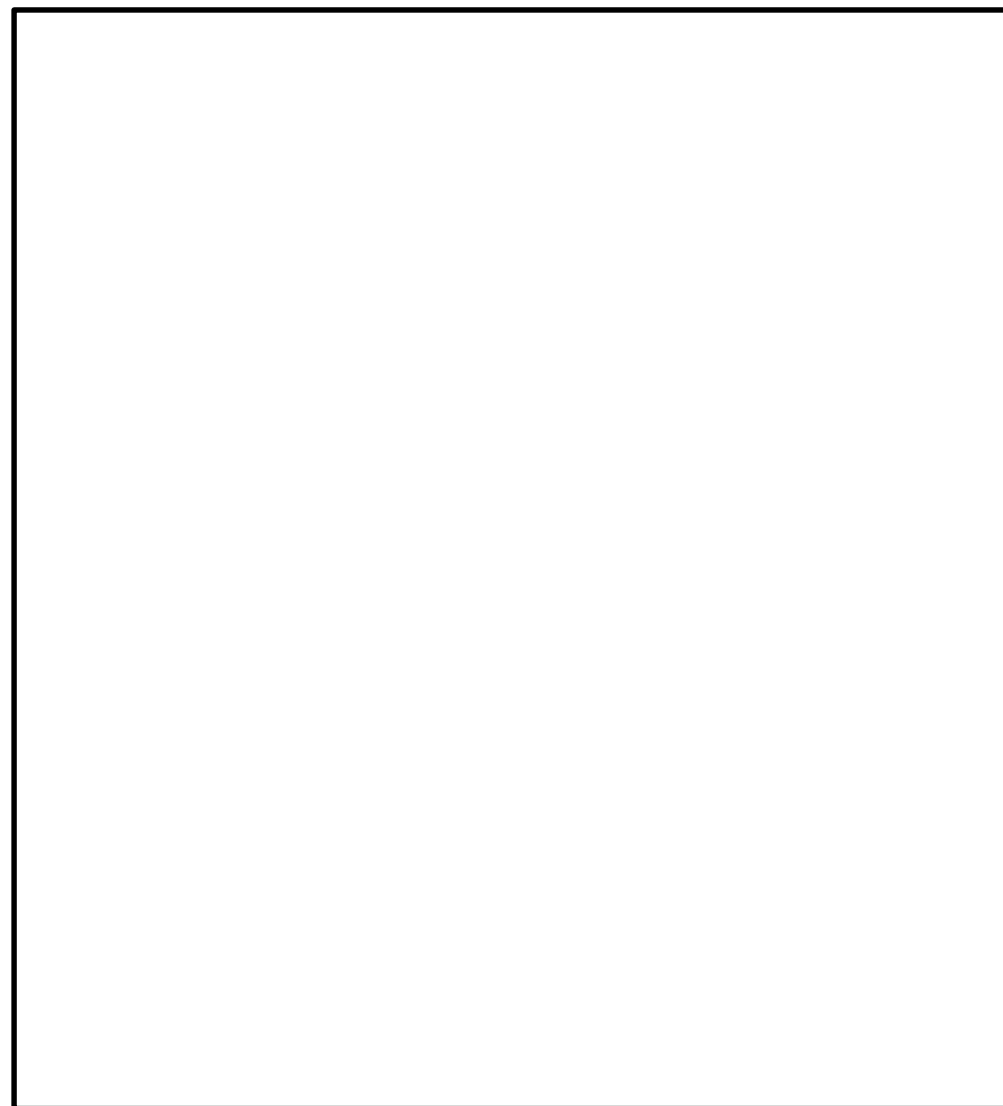
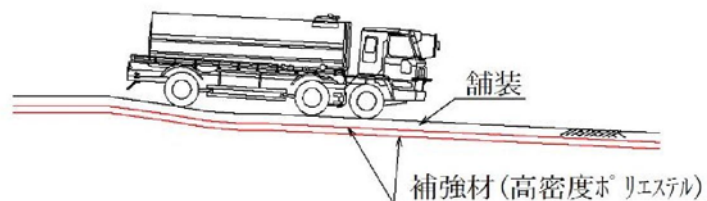
補強対策を実施する箇所以外は、地質状況から、液状化及びゆすり込み沈下により地表面がほぼ一定に沈下することから、局所的な沈下は発生しにくいと考えられる。

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

地震前



地震後

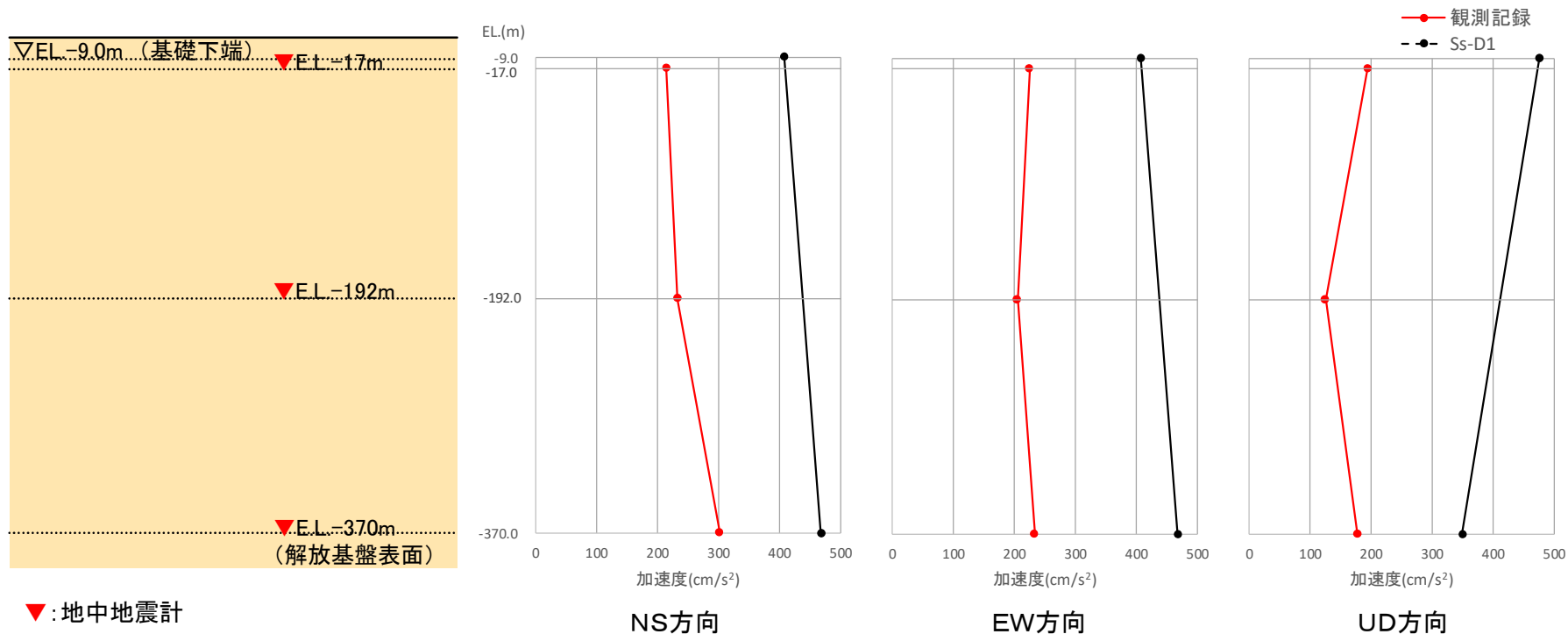


路盤補強等の実施箇所図

2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録とS_s-D1の最大加速度値の比較



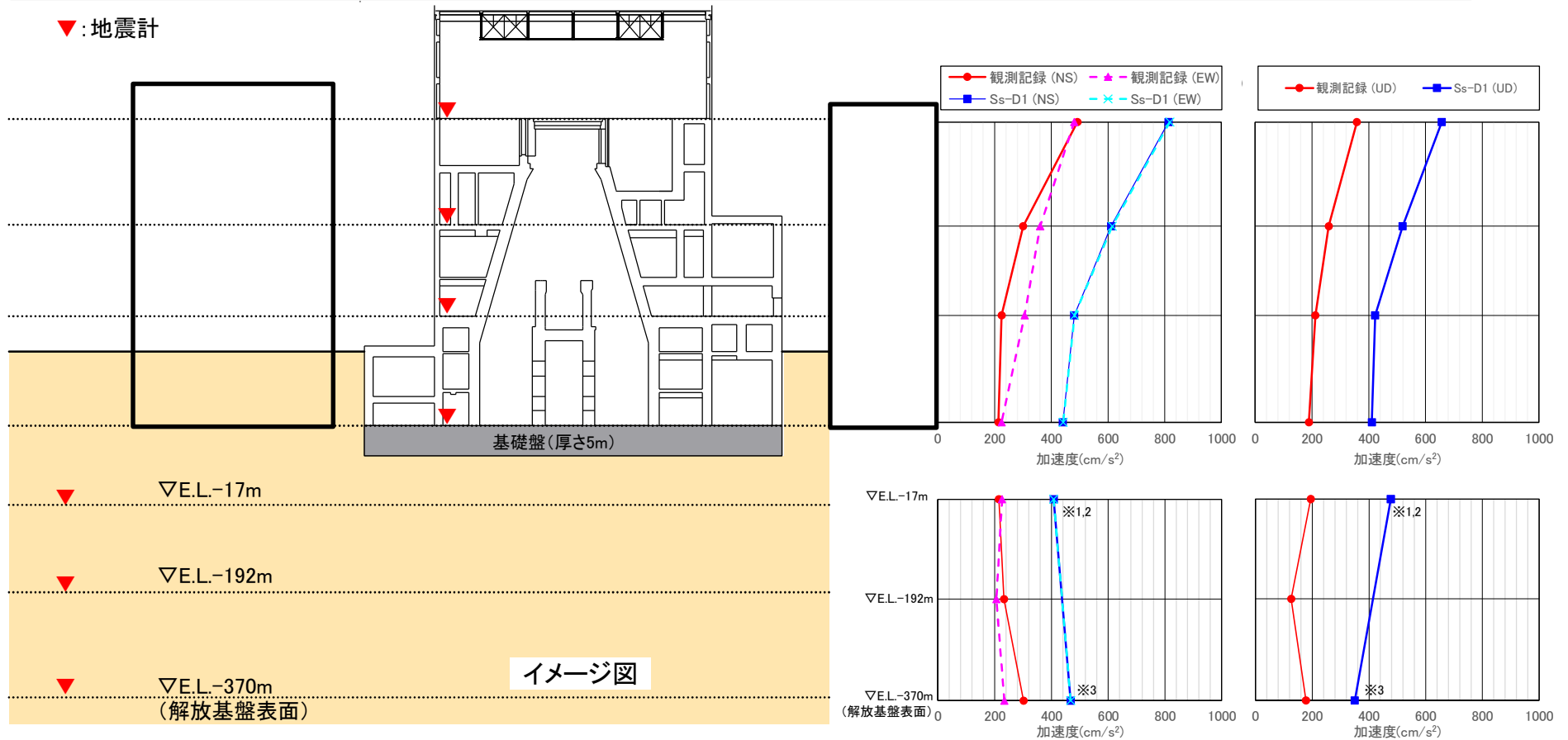
○2011年東北地方太平洋沖地震における地中地震計の観測記録の最大加速度と、S_s-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中における両者の最大加速度の増幅傾向は概ね整合的であることを確認した。
 S_s-D1は周期特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答となることから代表して比較している。
 なお、S_s-D1以外の基準地震動S_sについても概ね同様の傾向を示している。



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。



水平方向

上下方向

※1 E.L.-9mにおける値。

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

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

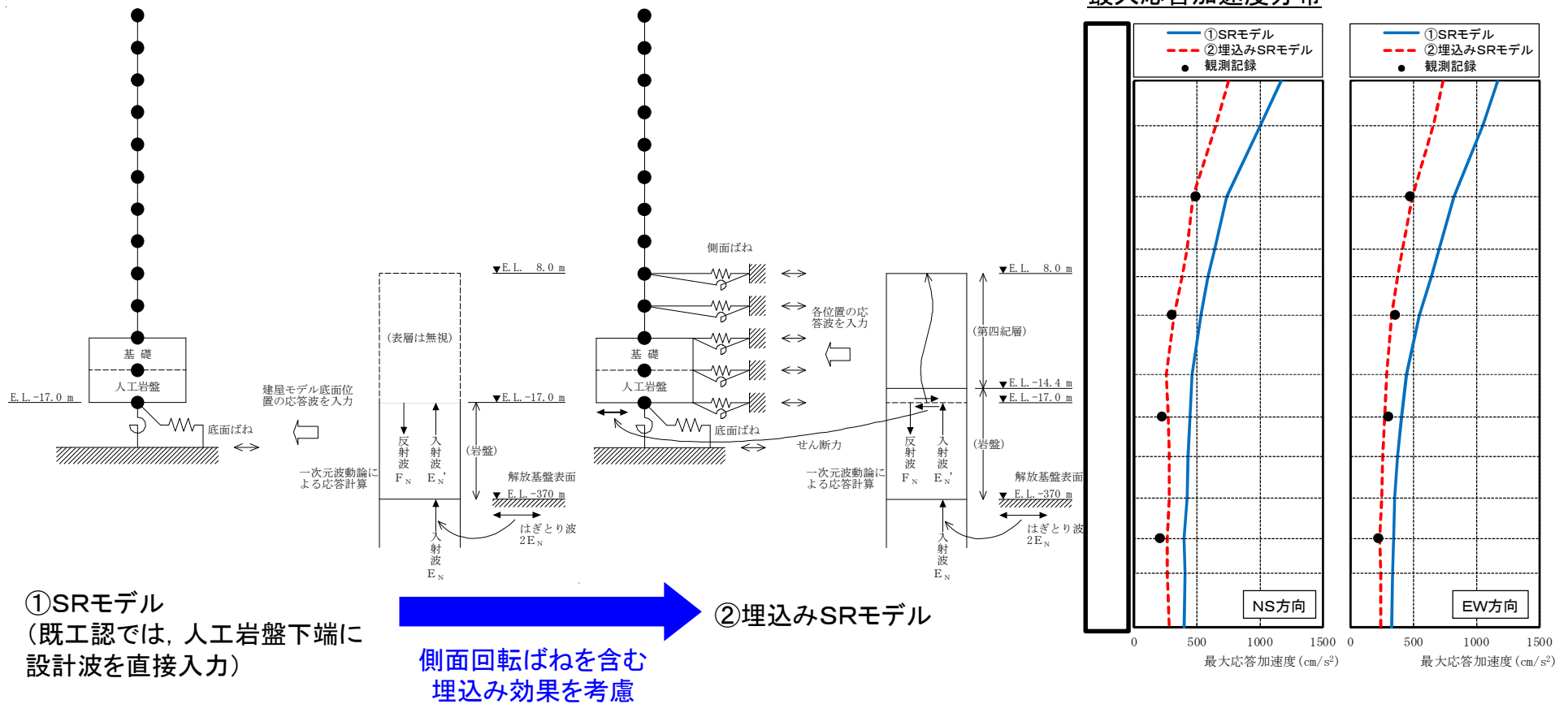
参考 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(1/3)



・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。

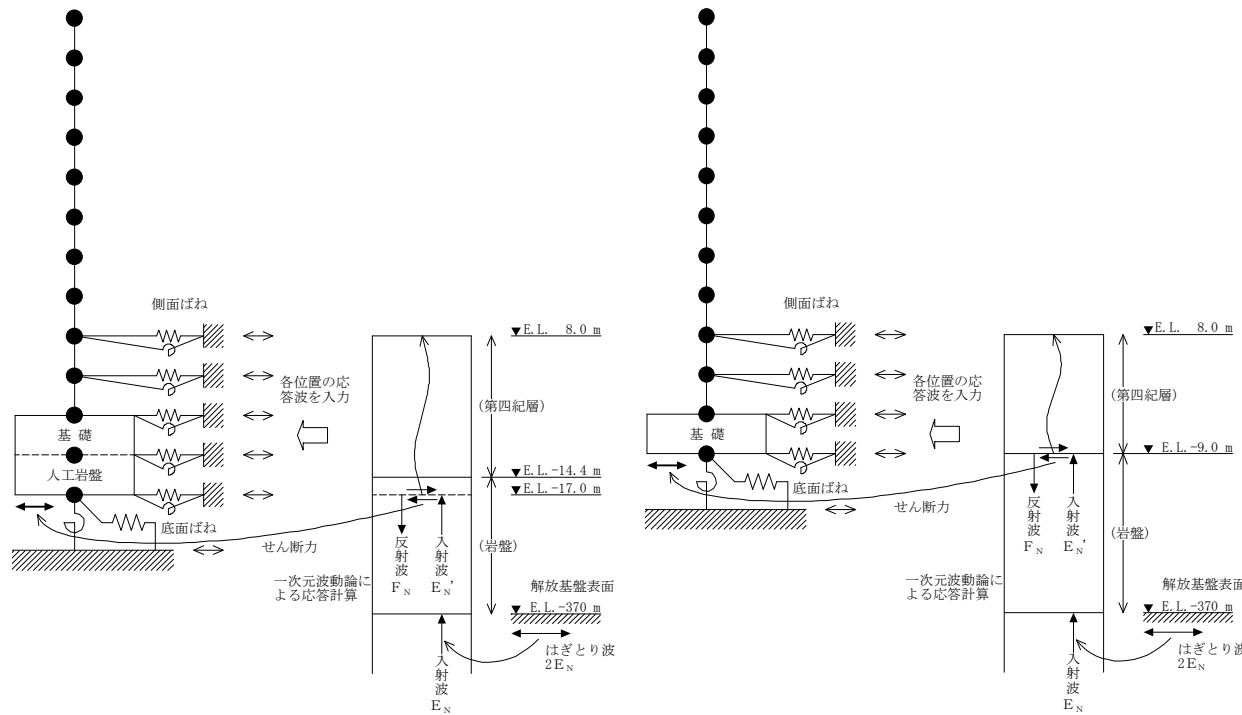
参考 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)



・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

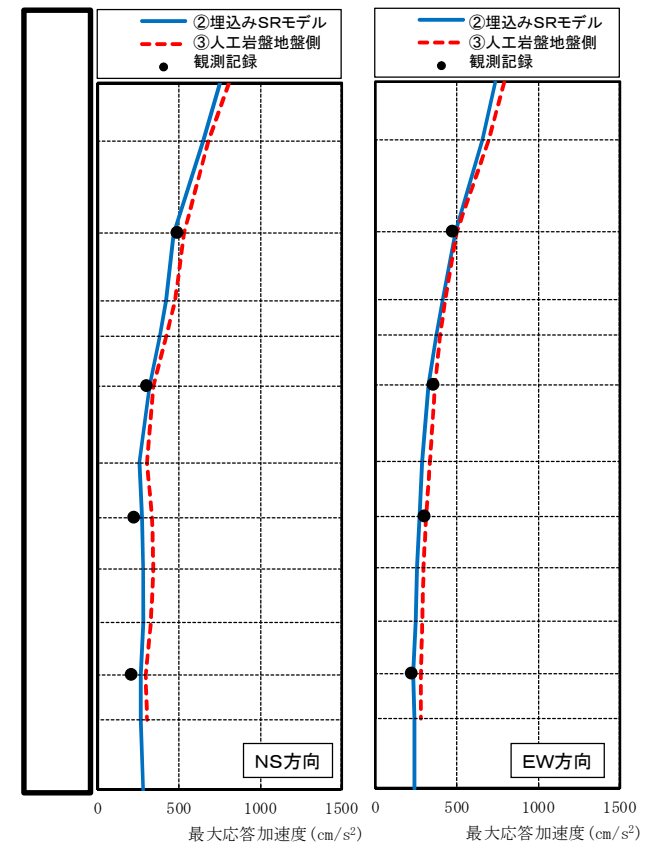


②埋込みSRモデル

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



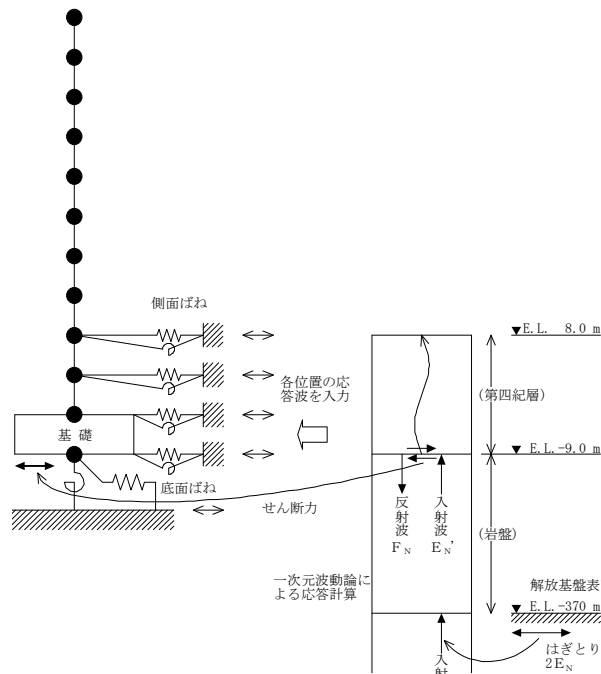
②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

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。

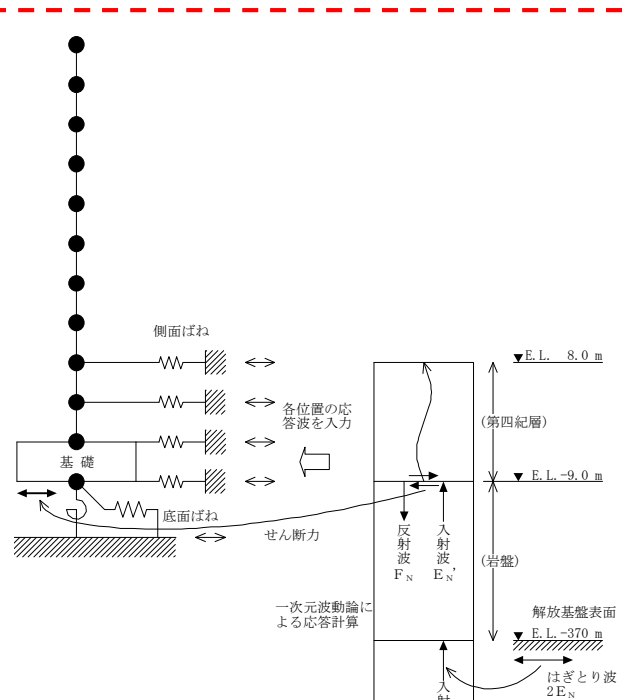
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

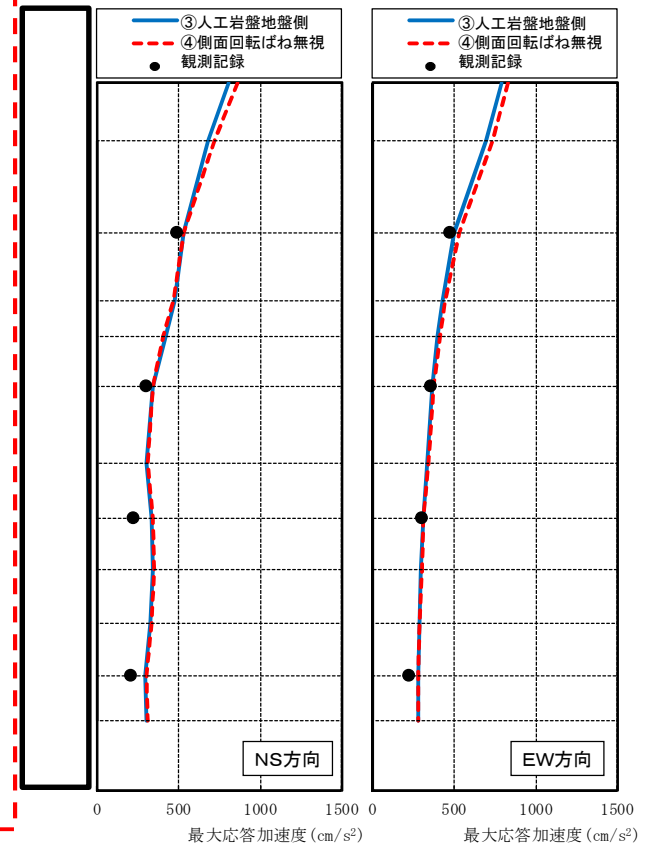
側面回転ばねを
考慮しない場合



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



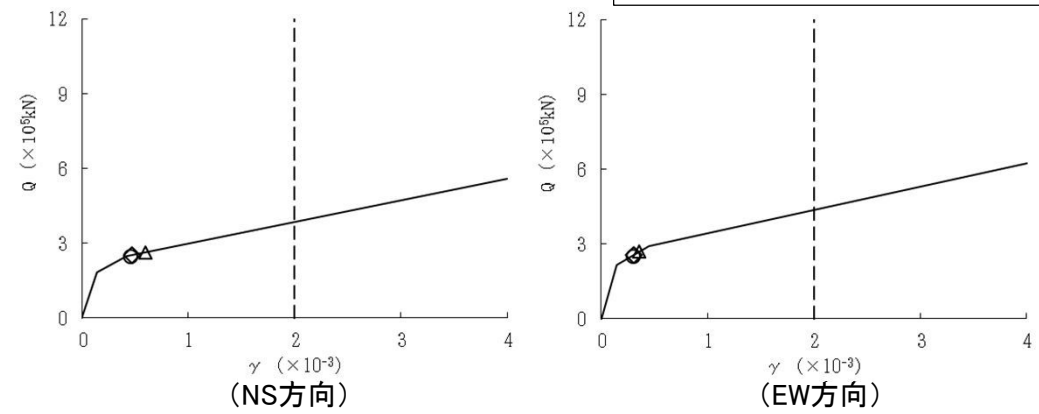
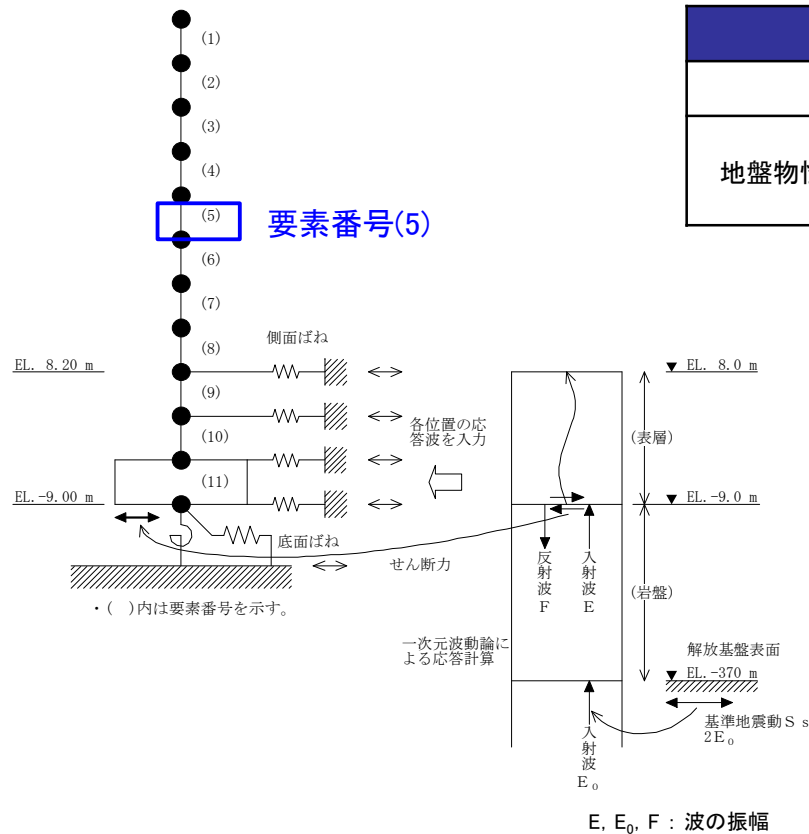
③と④を比較した結果、側面回転ばねを考慮しないモデルとする方が、応答を保守側に評価することを確認した。

○ 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)



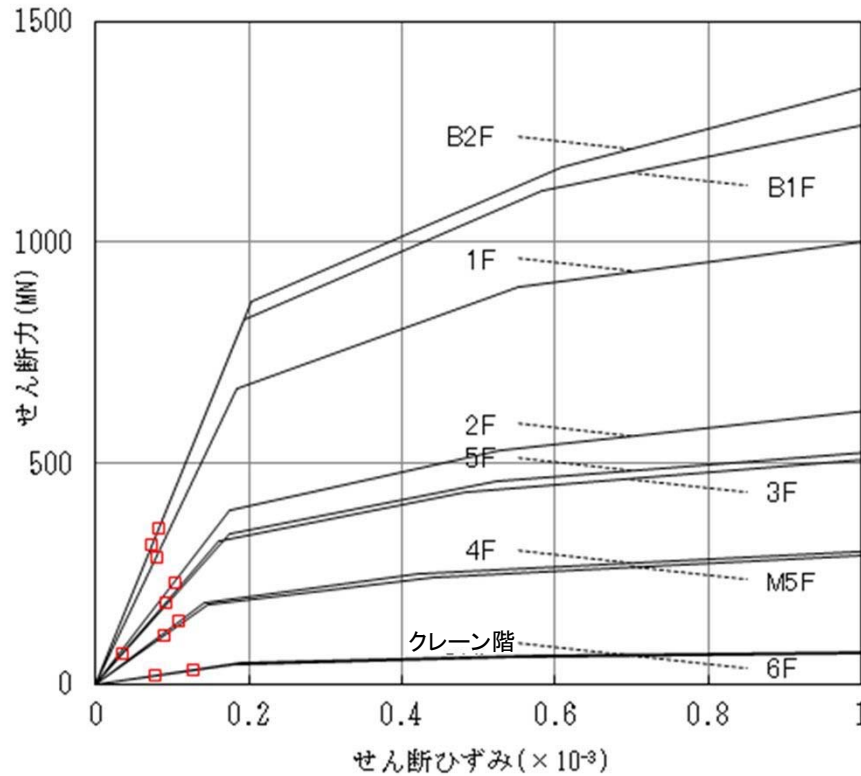
せん断スケルトン曲線上の最大応答値(S_s-31、要素番号(5))

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

地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)

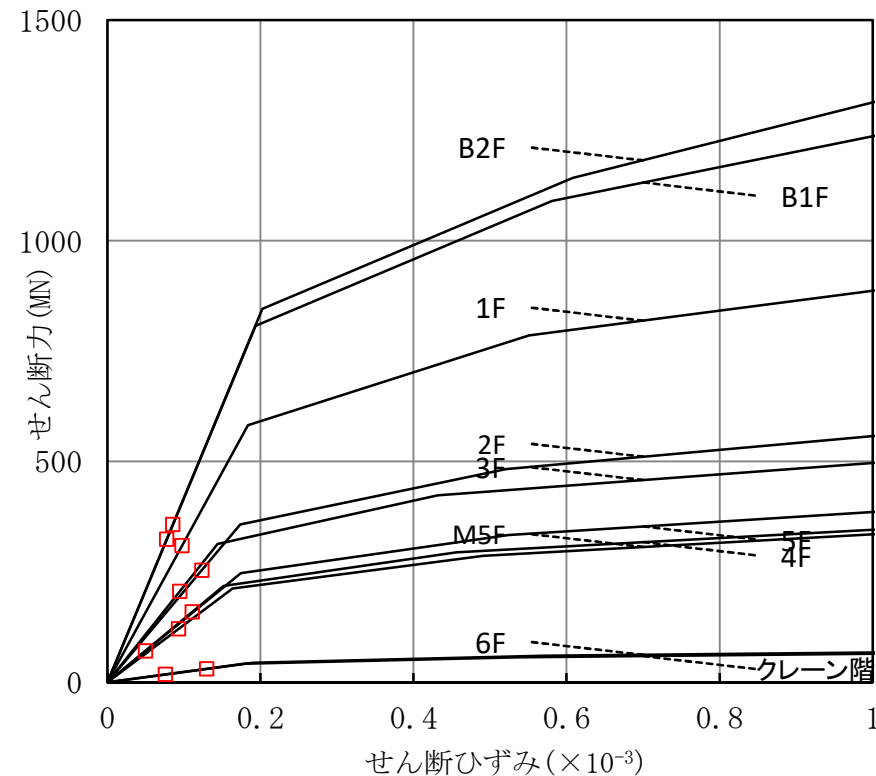
○前頁に示す原子炉建屋の地震応答解析モデルに2011年東北地方太平洋沖地震のはざとり波を入力し、影響検討を行った。

【せん断スケルトン上の最大応答値:Q-γ】



NS方向

図中凡例
□:最大応答値(シミュレーションモデル)



EW方向

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

敷地内の液状化検討対象土層の抽出方針

① 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編, 平成24年3月, 社団法人 日本道路協会)の液状化検討対象土層を基本とする。

- 地下水位が地表面から-10m以内であり, かつ地表面から-20m以内の飽和土層
- 細粒分含有率 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

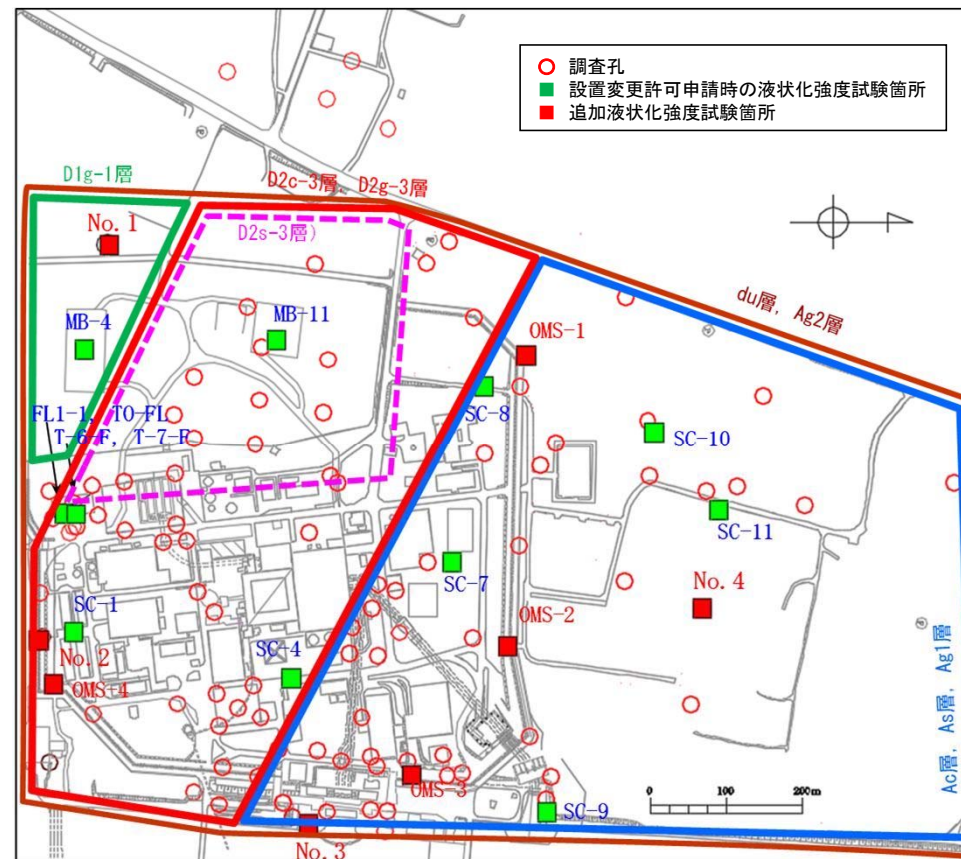
地質記号	層相	道路橋示方書における液状化検討対象層	当社の液状化検討対象層	備考	
al	du	砂	○		
	Ag2	砂礫	○		
	Ac	粘土	—		
	As	砂	○		
	Ag1	砂礫	—	□	• GL-20m以深に分布するが、保守的に検討対象とする。
D2	D2c-3	シルト	—	—	
	D2s-3	砂	—	□	• 更新統であるが保守的に検討対象とする。
	D2g-3	砂礫	—	□	• 更新統であるが保守的に検討対象とする。
D1	lm	ローム	—	—	
	D1c-1	シルト	—	—	
	D1g-1	砂礫	—	□	• 更新統であるが保守的に検討対象とする。

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

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

↑
敷地に分布する地層名

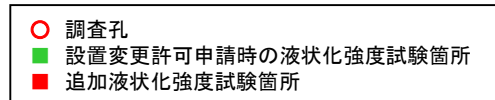
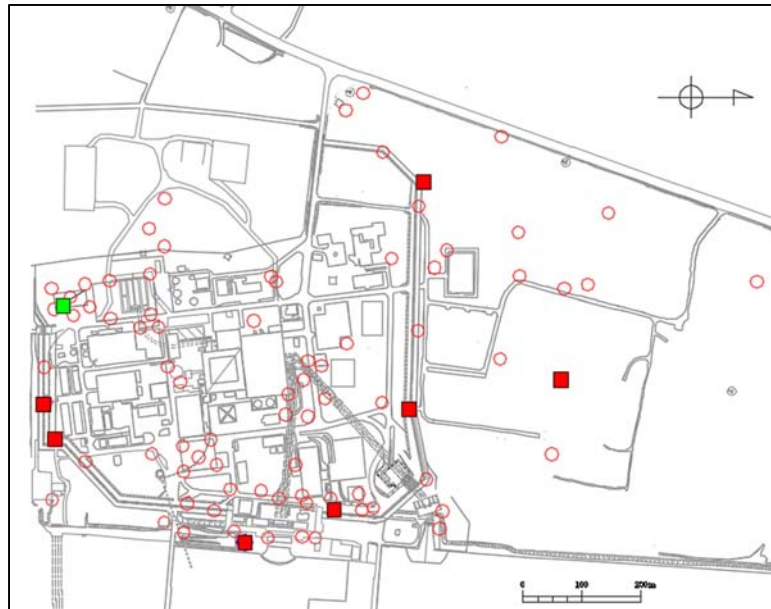
液状化強度試験のための試料採取は、その地層の標準貫入試験のN値、細粒分含有量 F_c 及び道路橋示方書式から算定される液状化強度比 R_L のデータを吟味して、保守的な液状化強度データが得られると想定される個所で行った。次頁に液状化強度試験試料採取位置の代表性確認方法を示す。



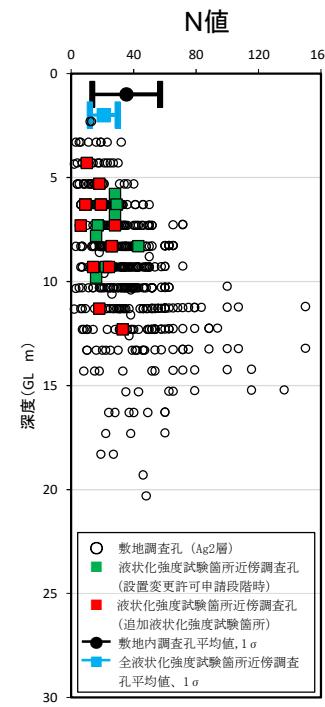
液状化検討対象層の分布範囲及び敷地内調査孔、液状化強度試験試料採取箇所

10. 液状化に関する考慮

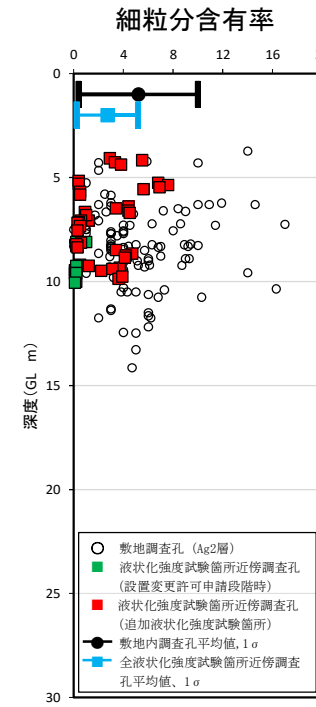
1-1. 液状化強度試験 内容(3/3)



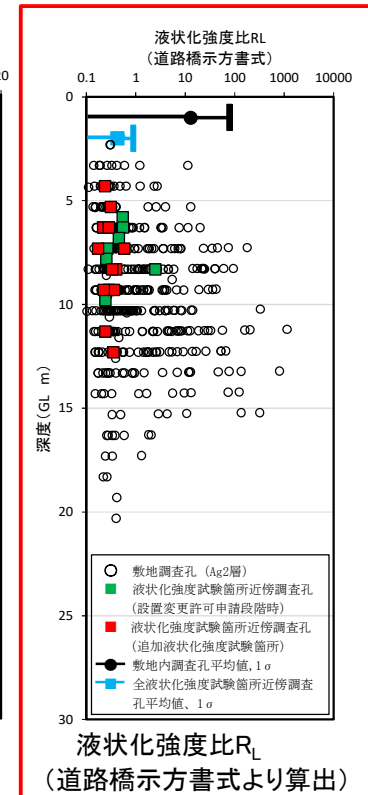
調査孔と液状化強度試験箇所 (Ag2層)



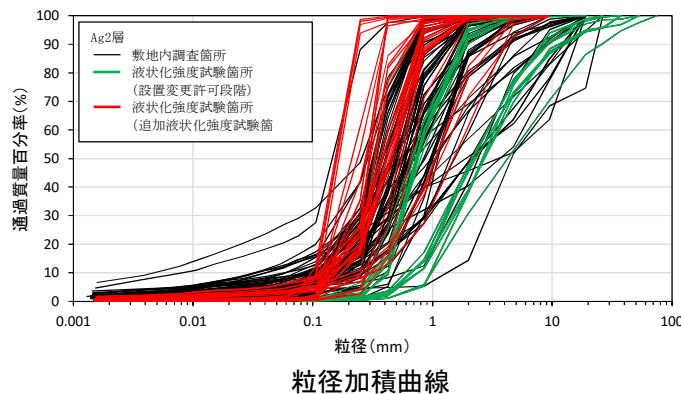
N値



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。

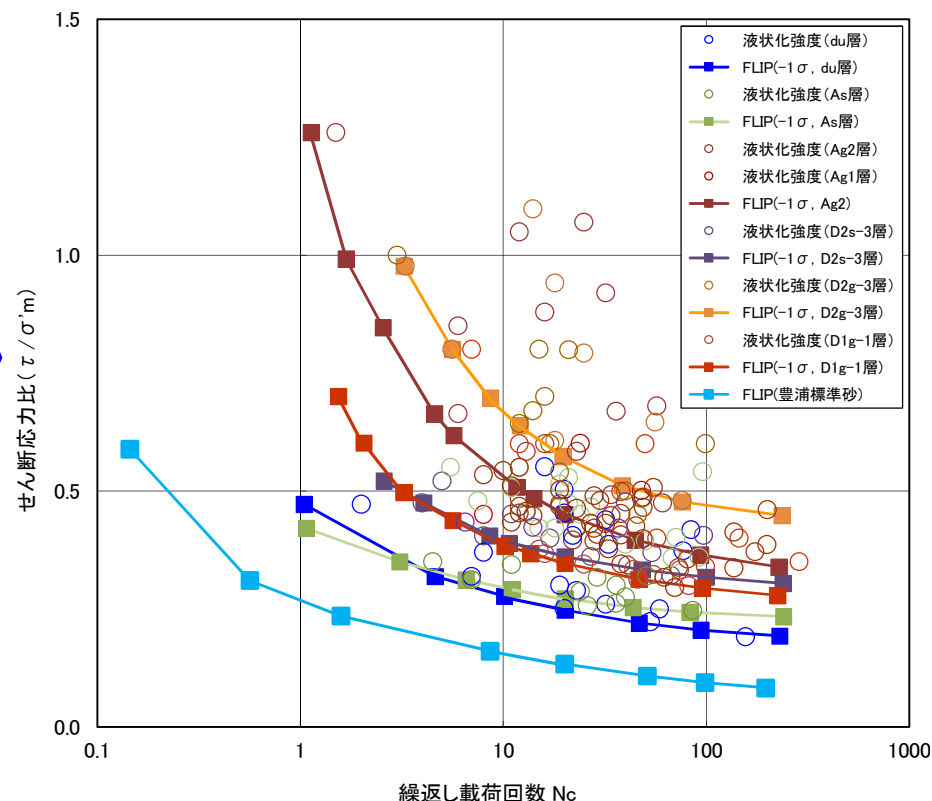
✓液状化強度比 R_L の比較により、
液状化強度試験箇所近傍孔平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L を確認した。

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1σ (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)

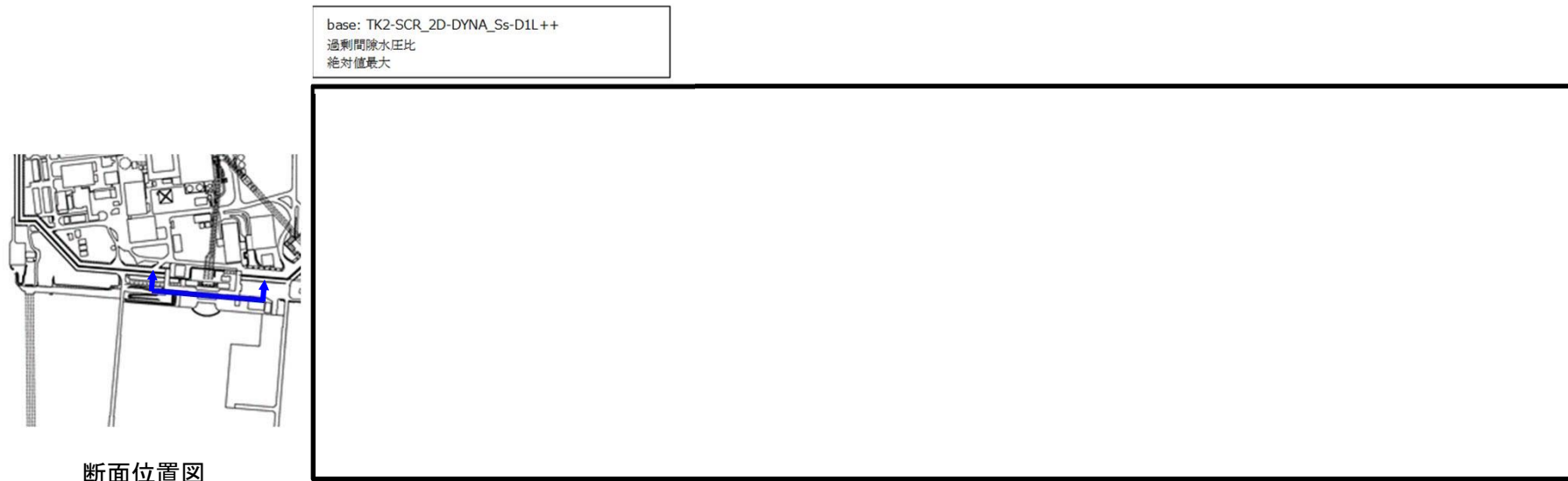


原地盤の液状化検討対象土層及び豊浦標準砂の液状化強度特性

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

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。



断面位置図

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。

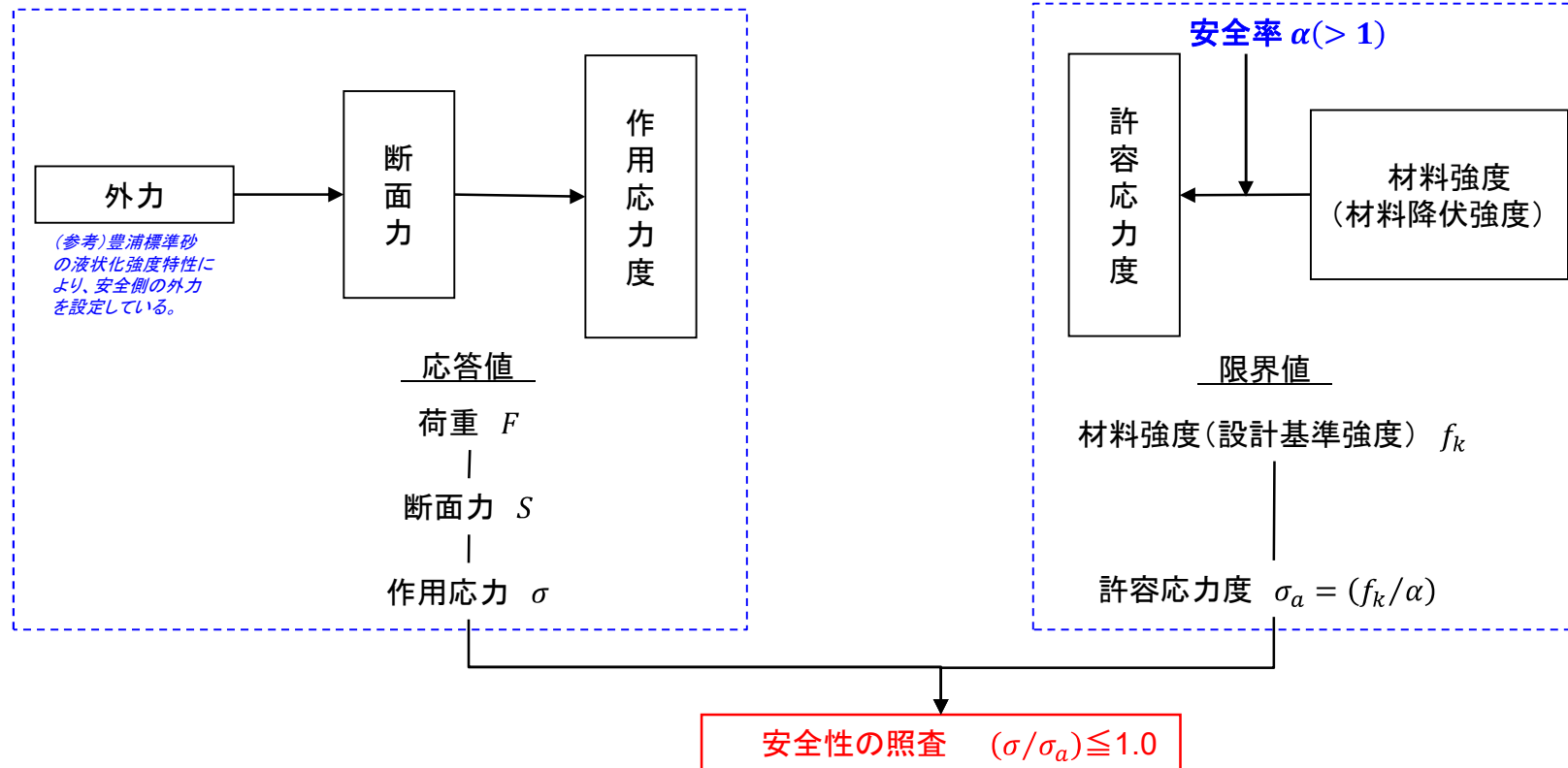
なお、評価においては、許容値に安全裕度(安全率 $\alpha(> 1)$)を見込んだ設計を行っている。さらに安全側の評価となるよう、敷地には存在しない液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた設計も行っている。

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
対設計 施設 基準 設計	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 等 対 施設 基準 設計	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 施設 基準 設計	緊急時対策所建屋	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.629	OK
	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.70	OK
	緊急用海水ポンプビット	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層	●	—	—	0.93	OK
	緊急用海水取水管	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.14	OK
	S A用海水ビット	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.98	OK
	海水引込み管	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.15	OK
	S A用海水ビット取水塔	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.81	OK
	格納容器圧力逃がし装置格納槽 【格納容器圧力逃がし装置等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.557	OK
	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 【格納容器圧力逃がし装置用配管】	久米層	du層, D2g-3層	●	—	—	0.84	OK
	代替淡水貯槽	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.83	OK
	常設低圧代替注水系ポンプ室 【常設低圧代替注水系ポンプ】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.74	OK
	常設低圧代替注水系配管カルバート 【常設低圧代替注水系配管】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.76	OK
	可搬型設備用軽油タンク基礎(西側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	南側で代表	OK
	可搬型設備用軽油タンク基礎(南側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D1g-1層	●	—	地盤改良	0.76	OK

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

設計は許容応力度設計法を適用している。

【許容応力度設計及び照査法】



- ・許容応力度設計法は、構造物の破壊に対する安全性の保証として、線形弾性理論に基づいている。
- ・照査値 $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$ は、材料(部材)の挙動が可逆性を有する、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。



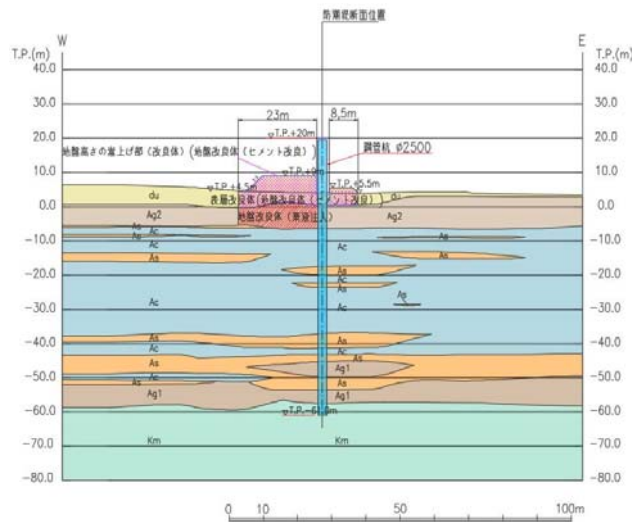
主要構造物の原地盤の液状化による耐震性評価(照査)結果は、 $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$ を満たしており、なお敷地には存在しない、かつ最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を適用していることから十分な裕度を有すると判断できる。

○ 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1σ(σ:標準偏差)低減)した液状化強度特性に加え、液状化の発生は認められないことを確認しているが、保守的に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施した。

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

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



地震応答解析対象断面図

鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

鋼管杭仕様			発生断面力		発生応力度 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】

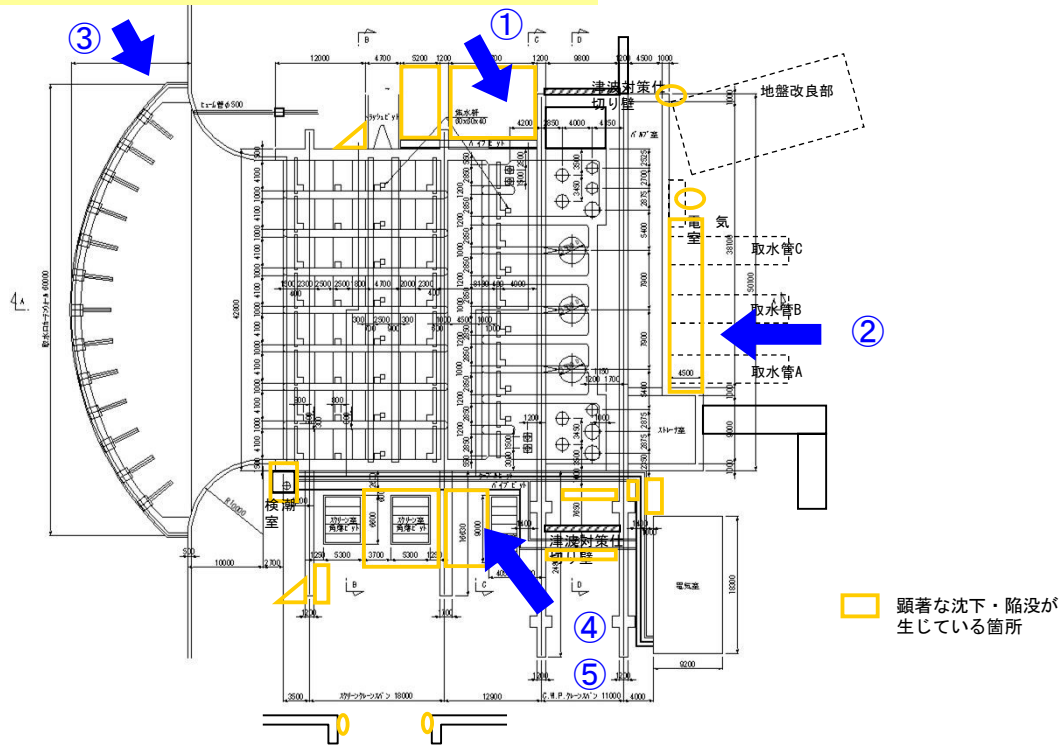
沈下は取水構造物近傍の埋戻し個所で局所的に発生しており、敷地内においては液状化時の痕跡とされる噴砂や地中埋設物の浮き上がりは認められなかった。

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)



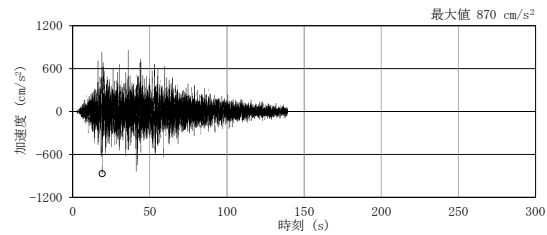
写真⑤: 地盤沈下に伴う段差の発生(取水口エリア)

耐震設計上の考慮について 建屋

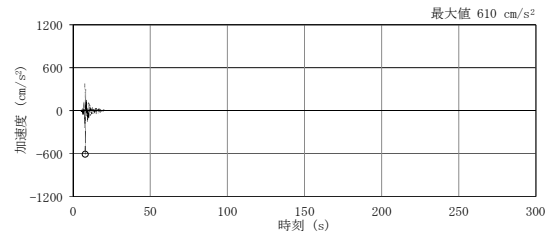


地震動の波形や継続時間に関する建屋の地震応答解析結果の比較

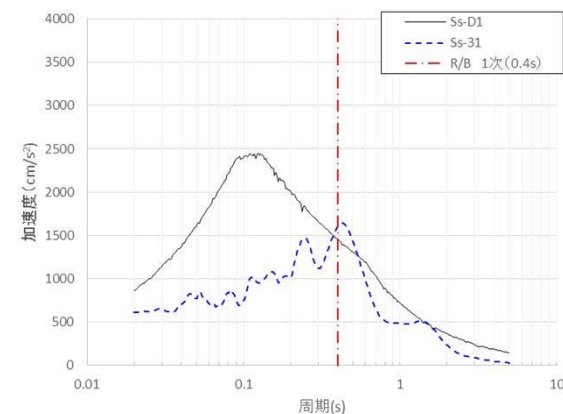
- ・建屋の耐震評価では、複数の手法に基づいて策定された基準地震動Ssを用いて地震応答解析を実施することにより、地震動の継続時間の違いによる影響を考慮している。
- ・原子炉建屋の地震応答解析結果を以下に示す。最大応答値は、建屋全体の応答を把握できるように最下層、中間層及び最上層の3箇所を抽出した。
- ・建屋の耐震評価に用いた基準地震動Ss(8波)のうち、継続時間の長いSs-D1と継続時間の短いSs-31による応答を比較した結果、Ss-31による応答値が大きくなっており、地震動の継続時間による影響よりも建屋の固有周期に関する地震動の周期特性による影響が大きくなっている。



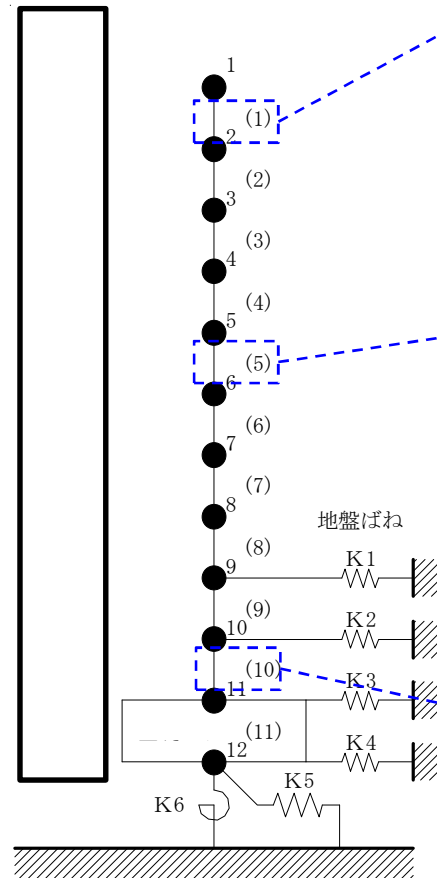
加速度時刻歴波形 (Ss-D1)



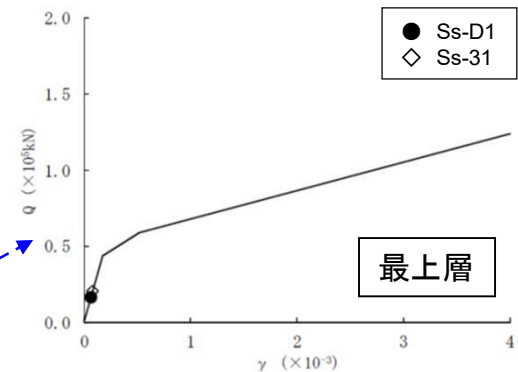
加速度時刻歴波形 (Ss-31)



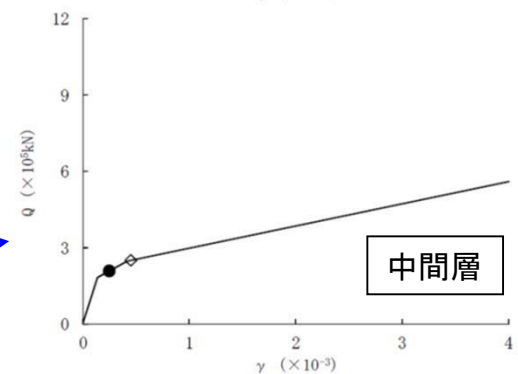
加速度応答スペクトル



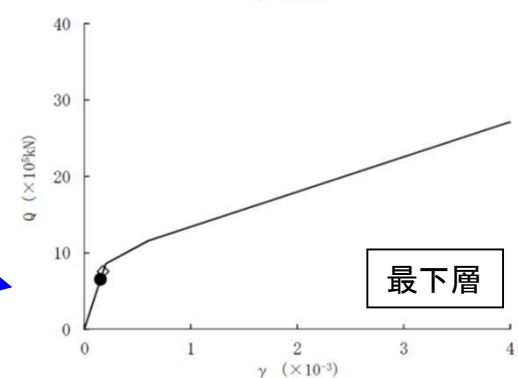
地震応答解析モデル



最上層



中間層



最下層

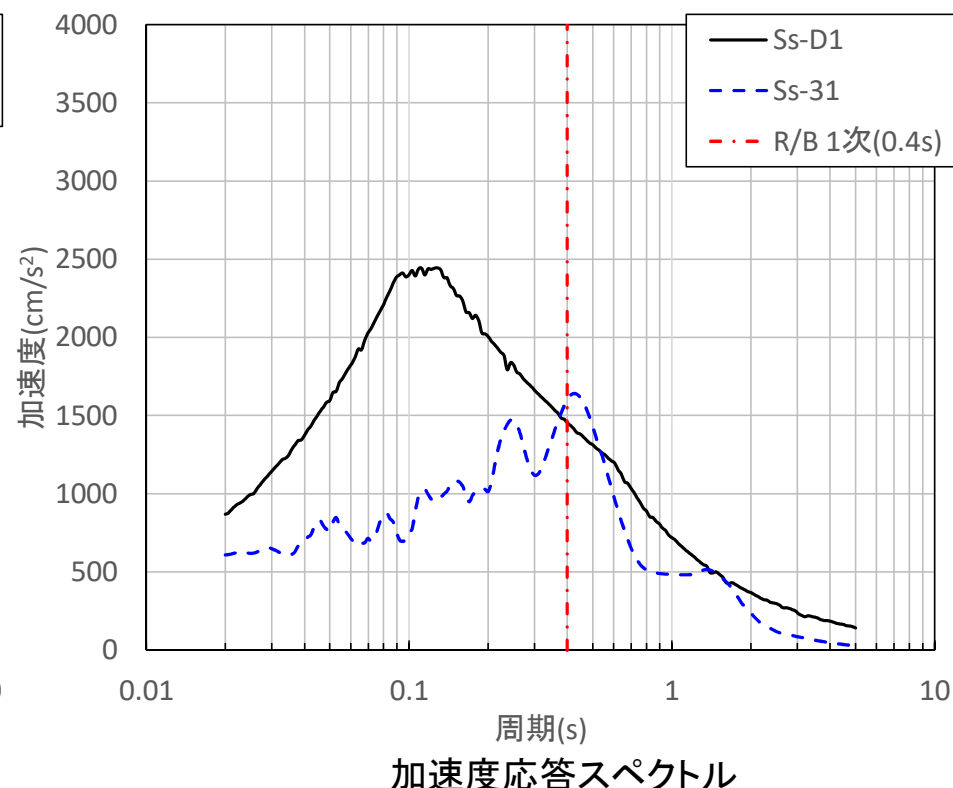
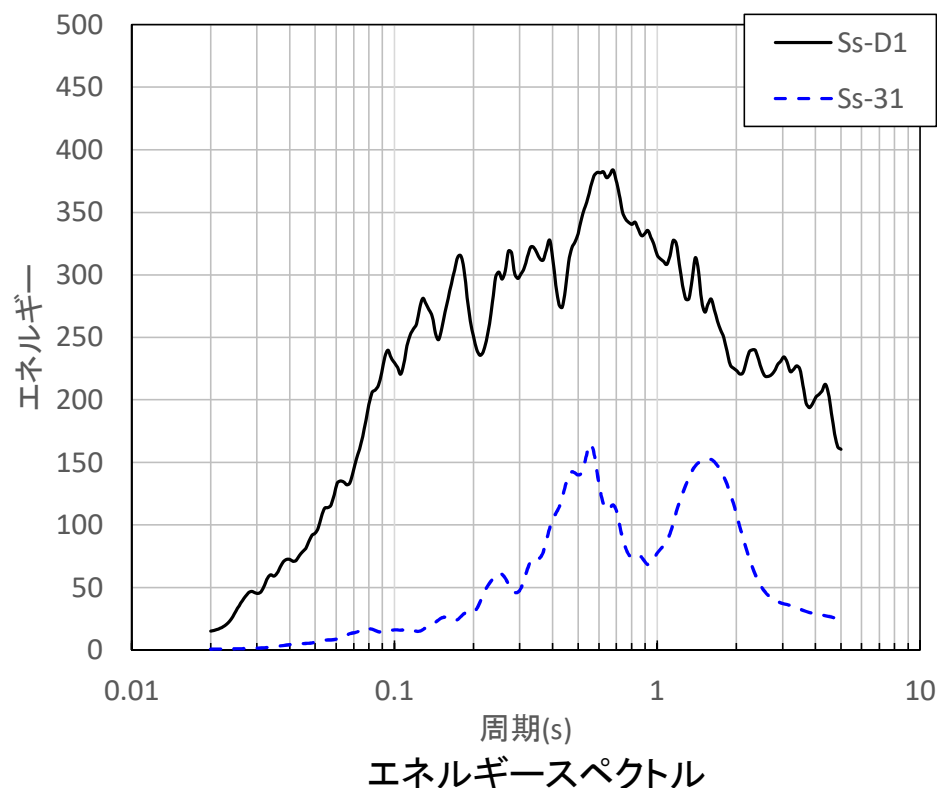
せん断スケルトンカーブ※上の最大応答値

※ 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Ss-D1とSs-31のエネルギースペクトルの比較

○評価内容

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



○評価結果

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

耐震設計上の考慮について 機器



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

疲労評価の対象設備

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

- ・ 疲労評価の結果, 疲労累積係数は許容値以下であることを確認した。なお, 運転延長認可申請における低サイクル疲労評価と基準地震動 S_s とを組み合わせた疲労評価結果を例示する。

配管系の疲労評価結果 *1

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

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

*2 環境を考慮



＜低サイクル疲労評価の震災影響評価＞

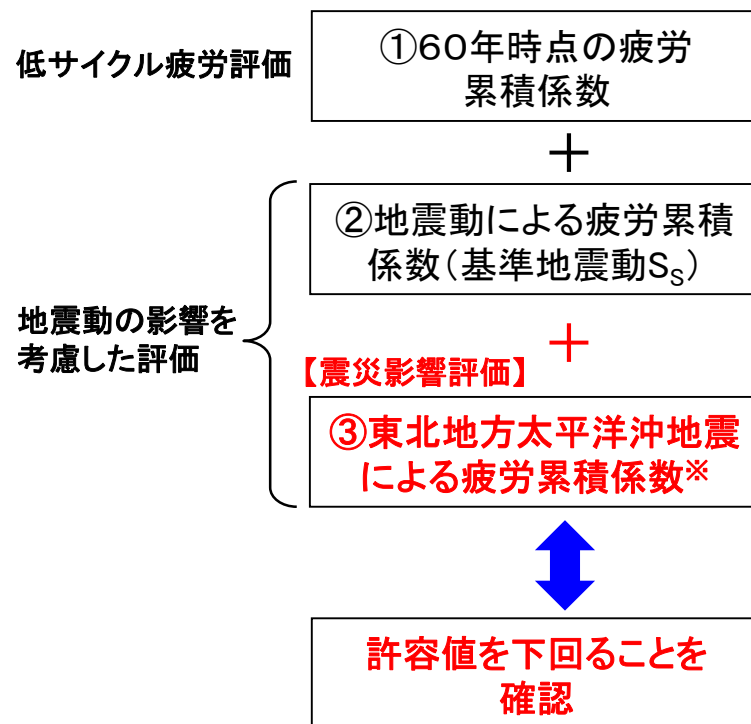
2011年の東北地方太平洋沖地震による影響を考慮し、**低サイクル疲労評価に基準地震動 S_S と東北地方太平洋沖地震を組み合わせた耐震安全性評価**を行い、健全性を確認する。

(a) 評価内容

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

(b) 評価結果

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



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

低サイクル疲労評価及び東北地方太平洋沖地震を考慮した耐震安全性評価の概念

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

原子炉建屋に対する入力地震動の算定



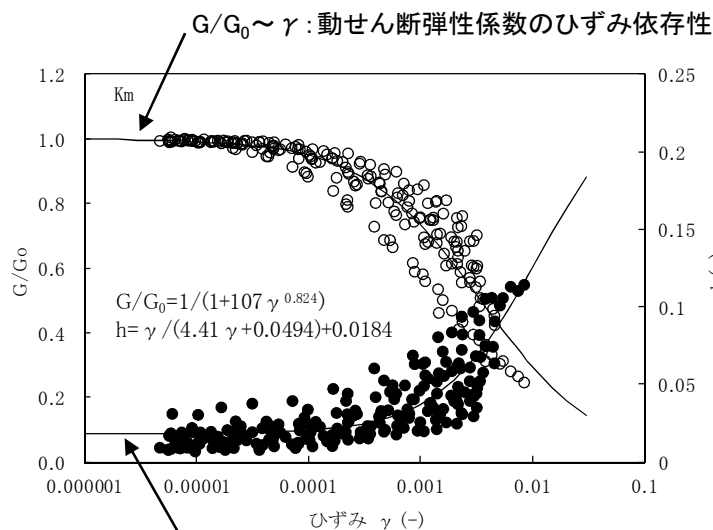
○ 入力地震動の算定

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

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

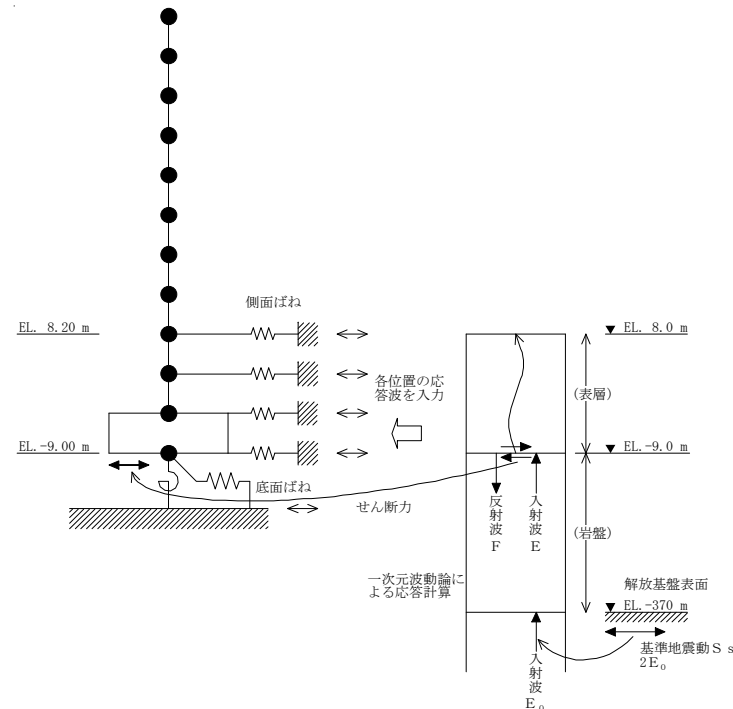
標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	S波速度 V_s m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0		4.7	2.01	240	0.491
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		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



(Km層)

動せん断弾性係数 G/G_0 及び減衰定数 h のひずみ依存性



地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

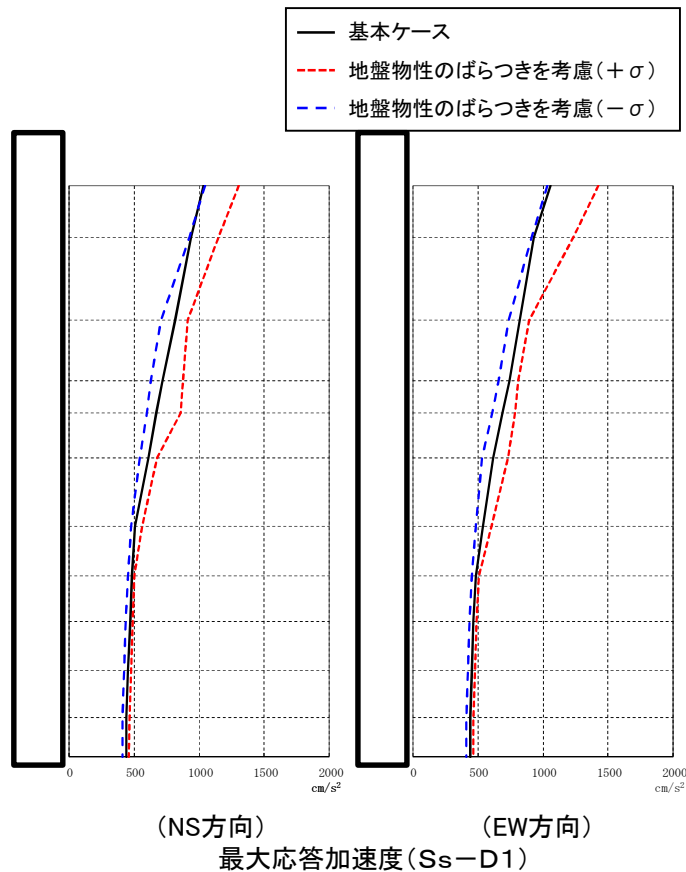
原子炉建屋の保守性(1/2)



○ 地盤物性のばらつき

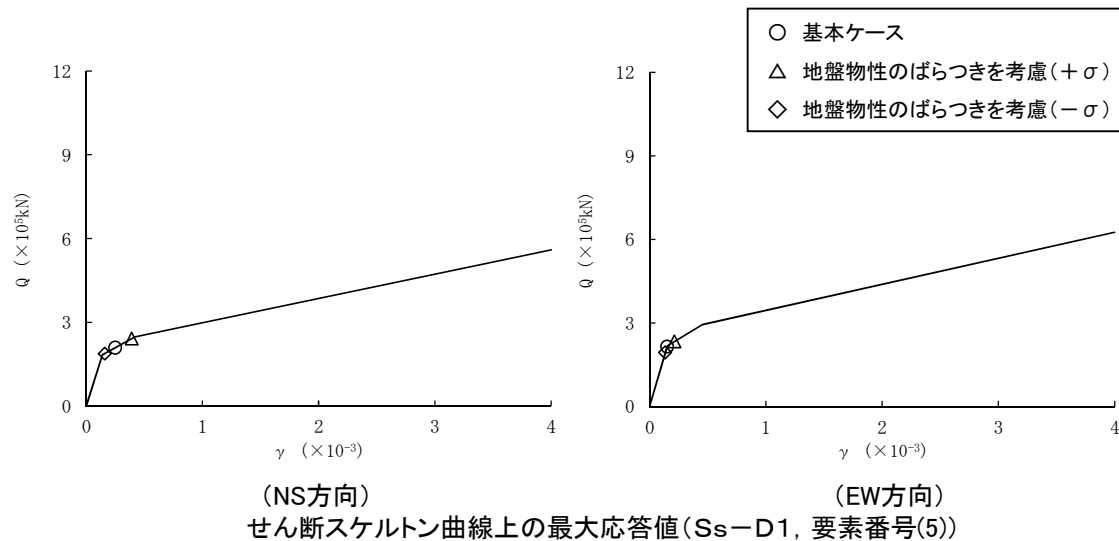
建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性のばらつきが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすと考えられるため、**建物・構築物の耐震評価においては、地盤物性のばらつきを考慮した設計用地震力を設定することで、保守性を持たせている。**なお、地盤物性は、実測した地盤のせん断波速度Vsを用いて算出している。

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



地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

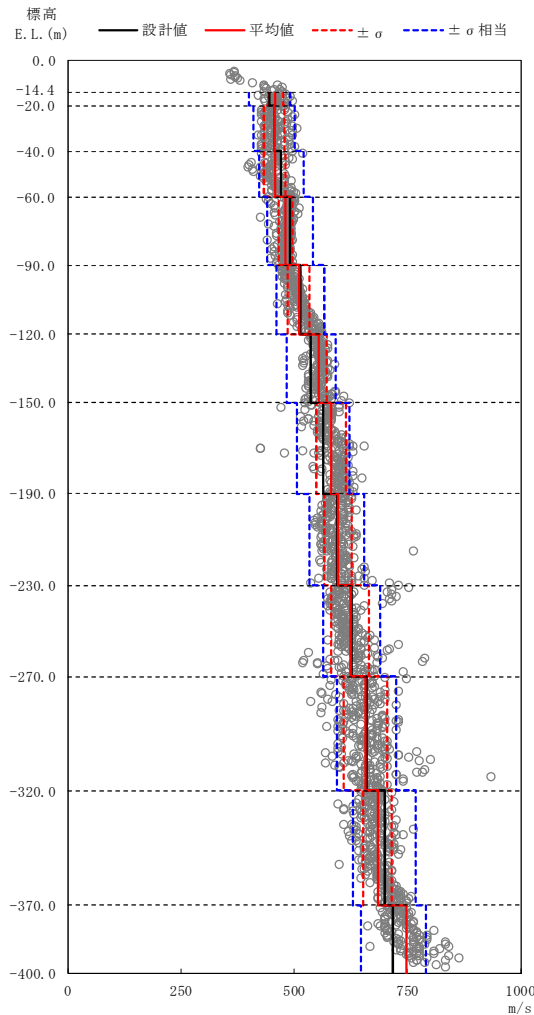
	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤+ σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(+ σ)
	標準地盤- σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(- σ)



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	

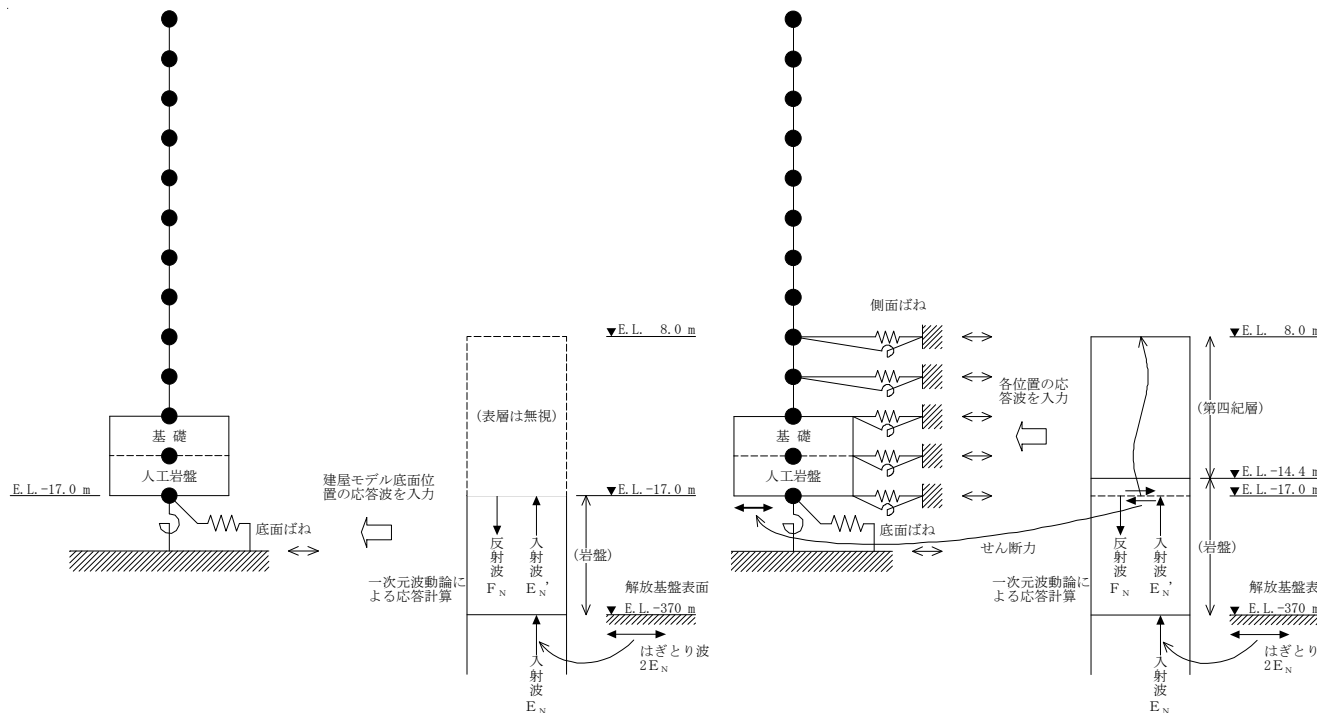
原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(1/3)



・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

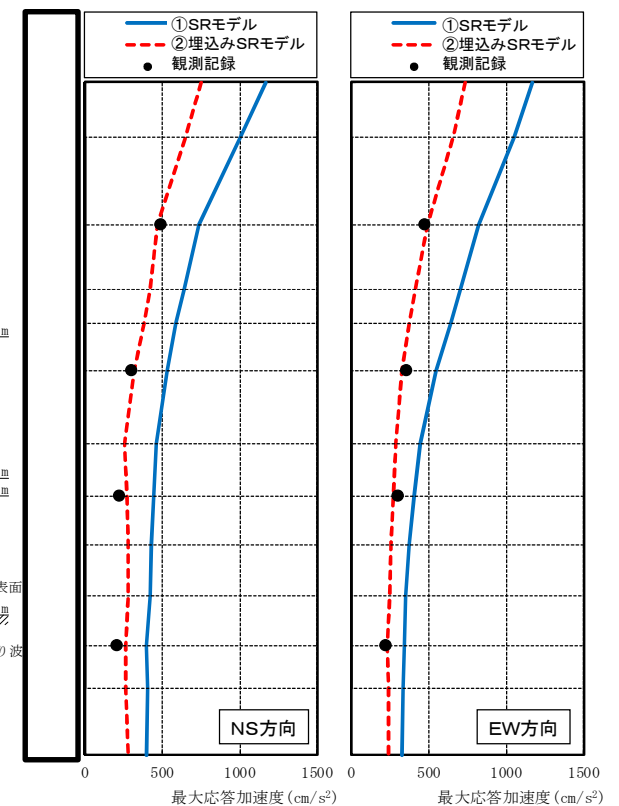


①SRモデル
(既工認では、人工岩盤下端に設計波を直接入力)

側面回転ばねを含む埋込み効果を考慮

②埋込みSRモデル

最大応答加速度分布



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。

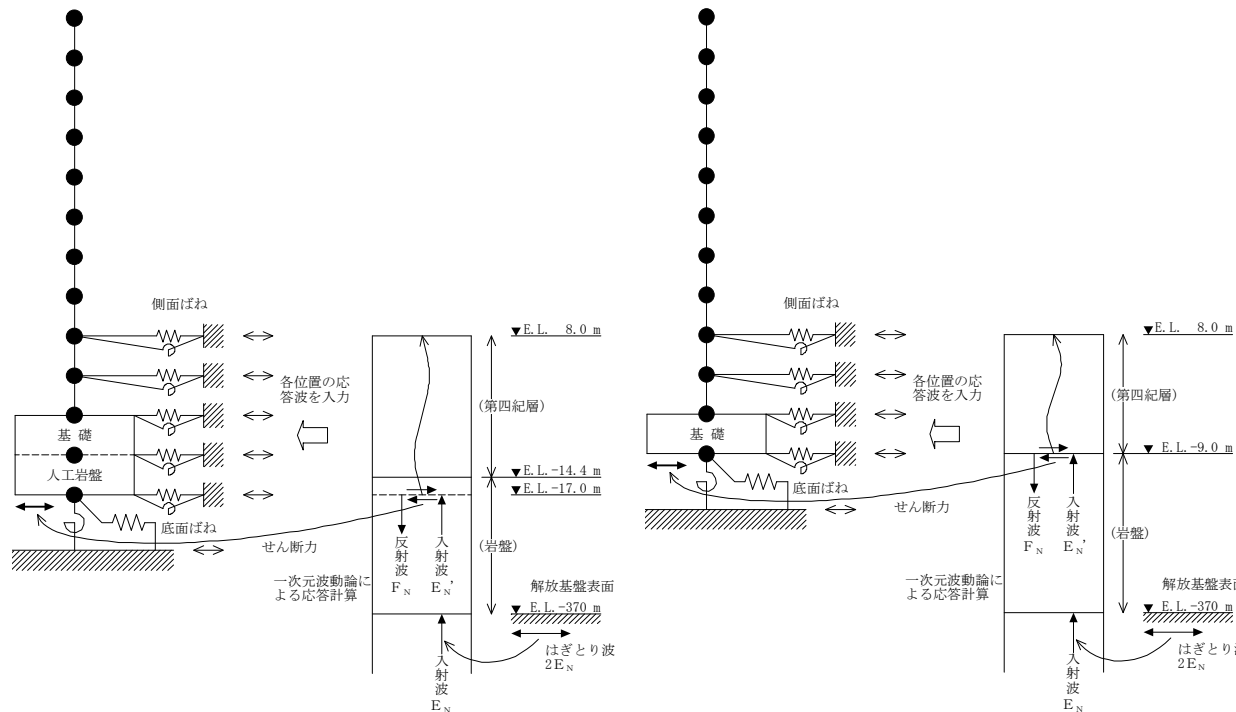
原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)



・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

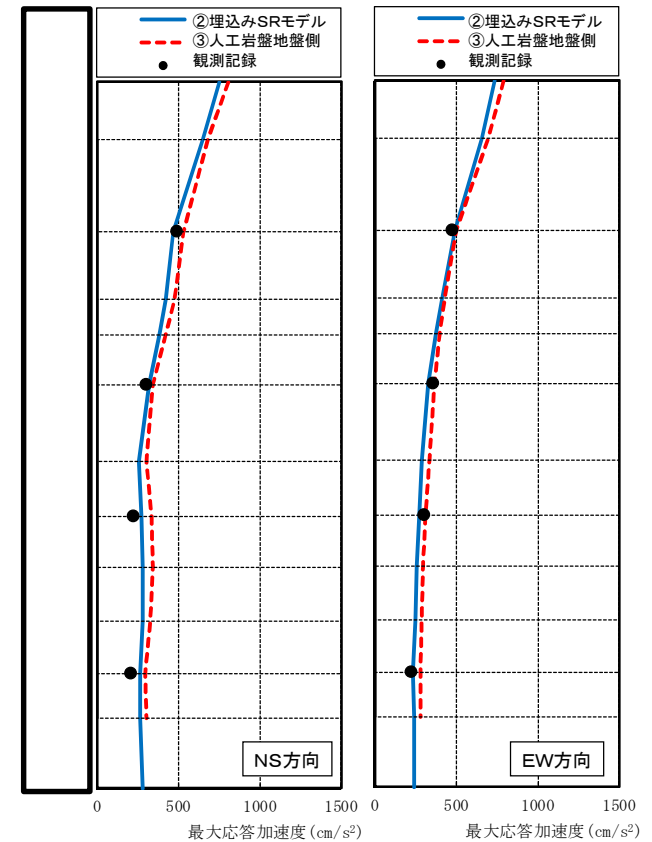


②埋込みSRモデル

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



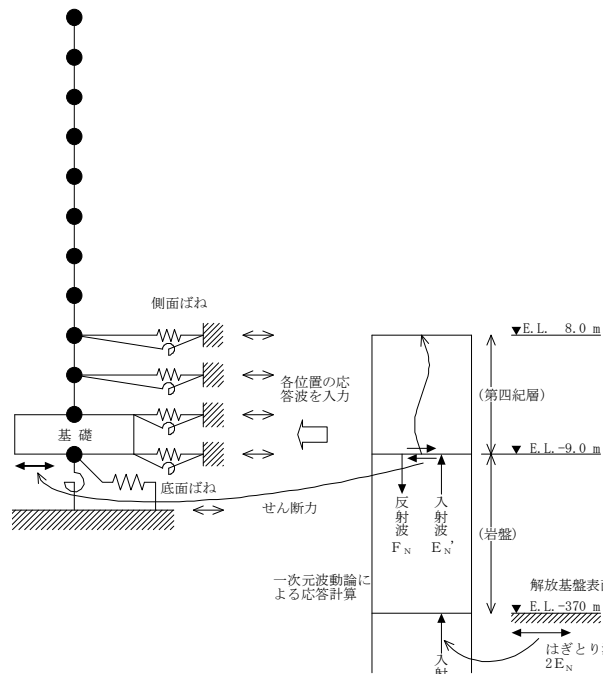
②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

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(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。

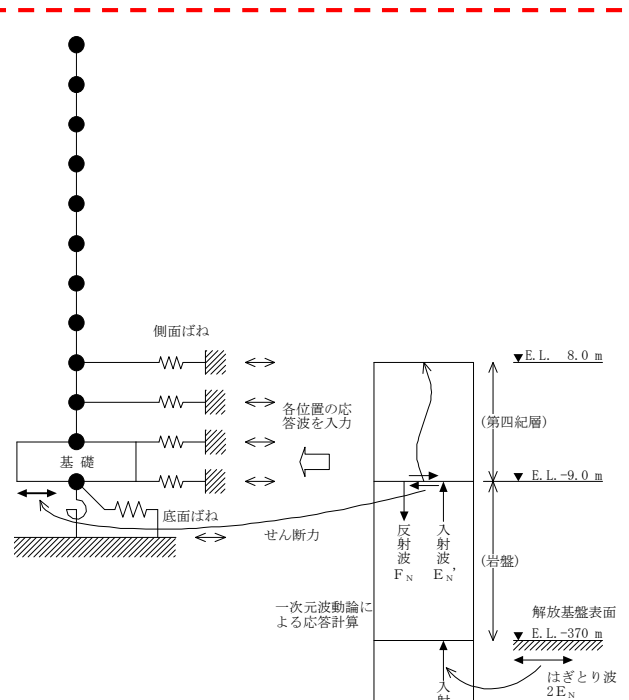
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

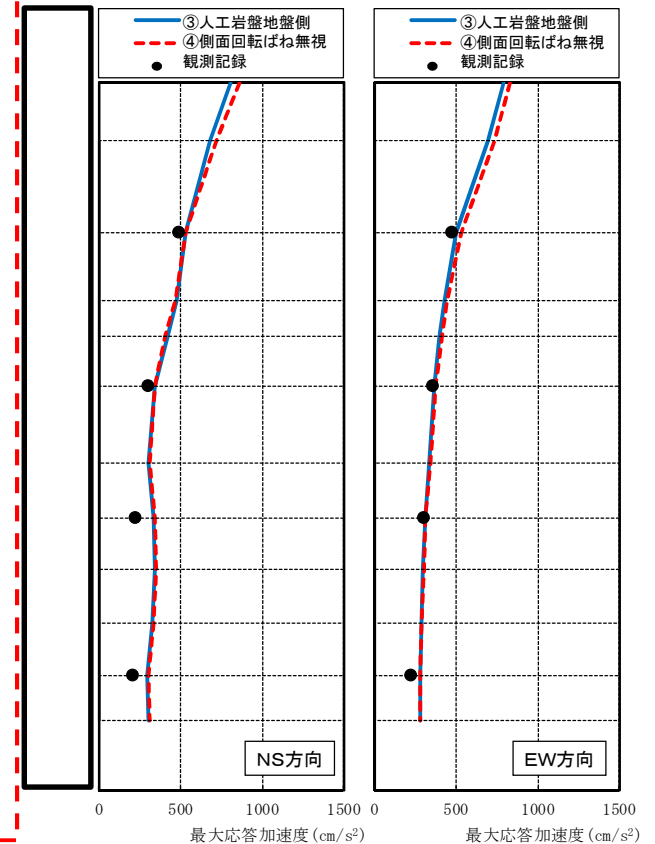
側面回転ばねを考慮しない場合



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。

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。

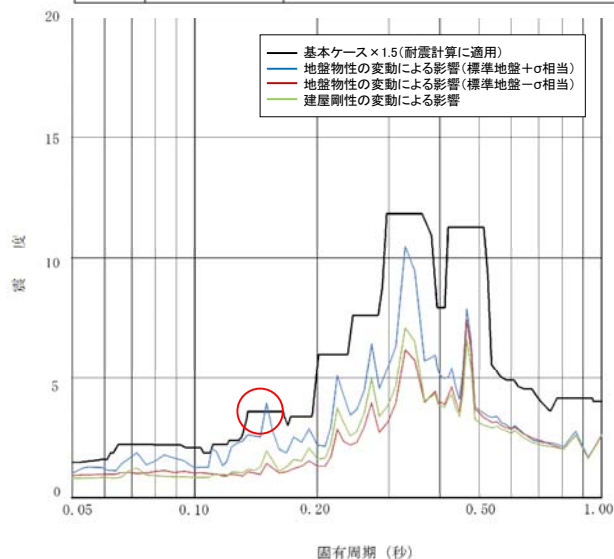
機器・配管系評価の影響確認に用いた の地震応答解析ケース

	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

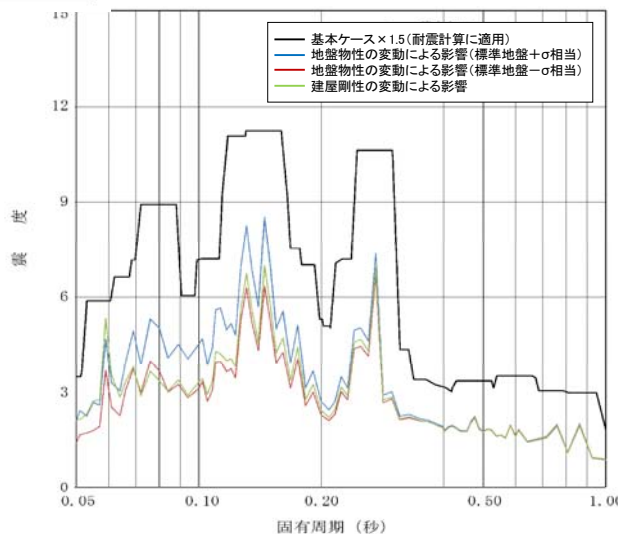
地盤物性のばらつき等への影響評価の例

【EL. 38.8 m 応答スペクトルの説明】

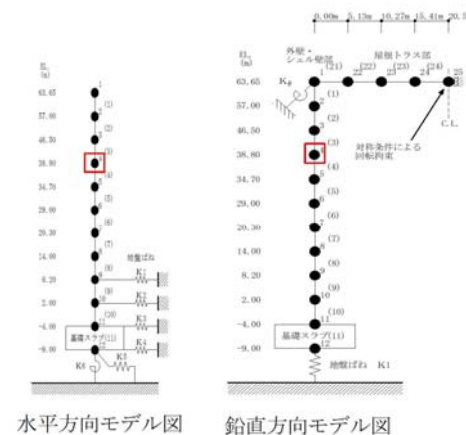
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.152	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

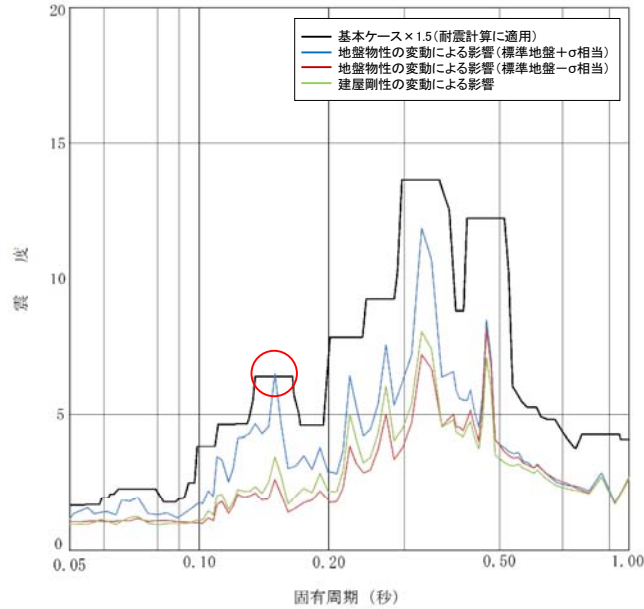


床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)

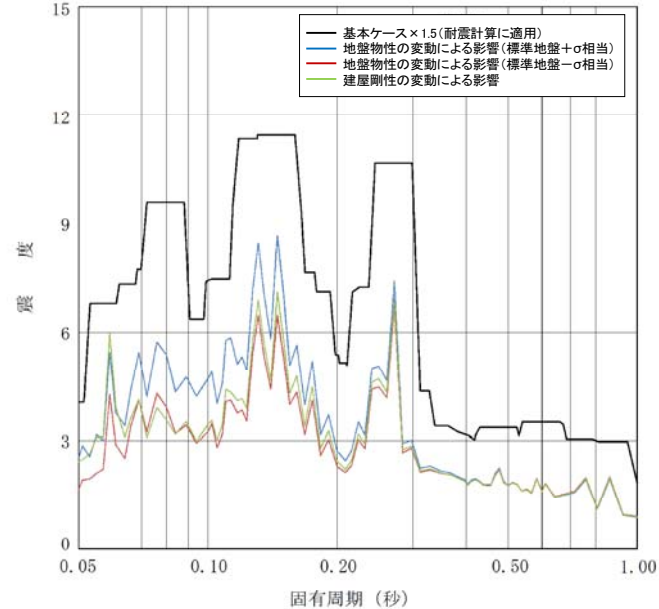


床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

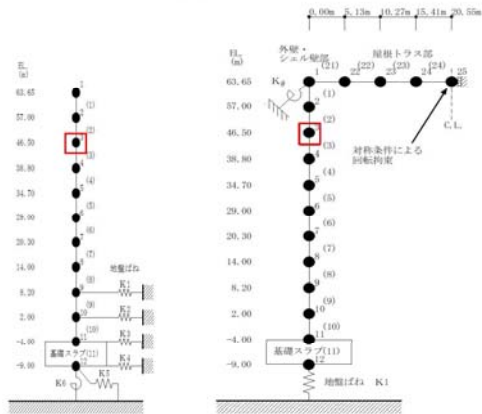




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

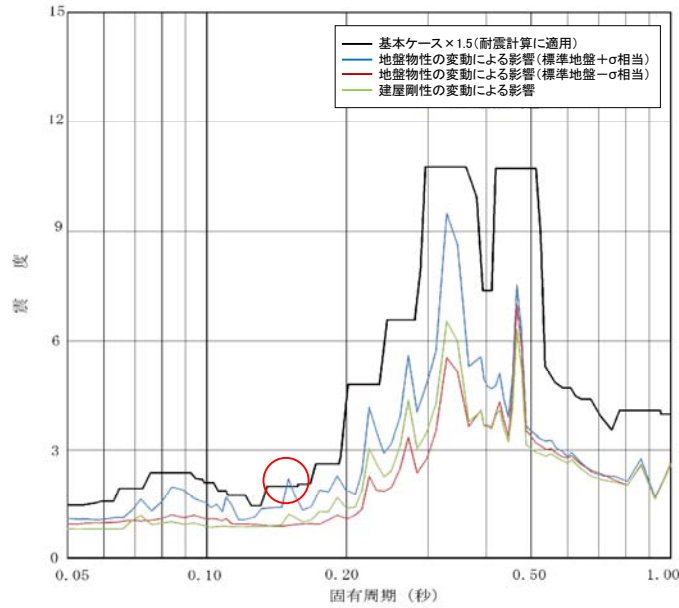


水平方向モデル図

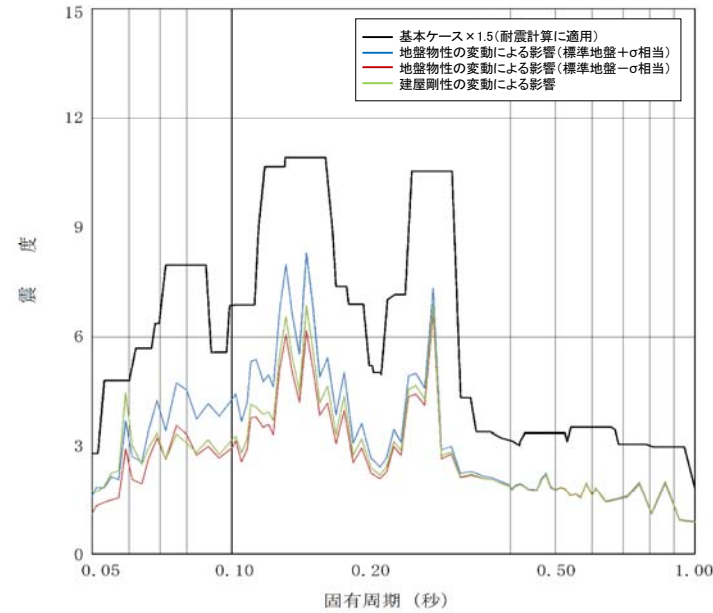
鉛直方向モデル図

【EL. 46.5 m 応答スペクトルの説明】

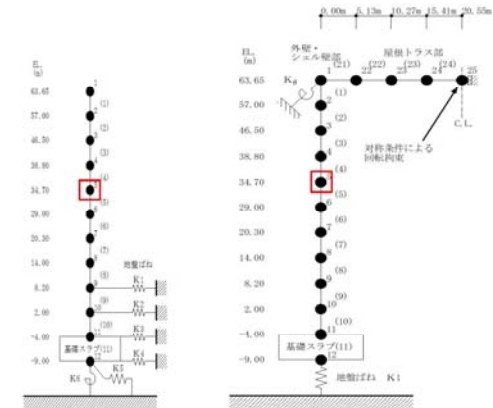
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.149~0.151	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

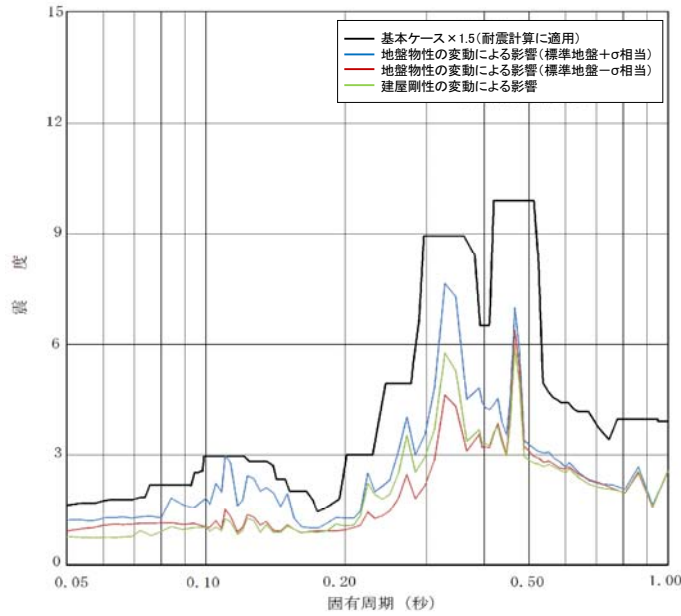


水平方向モデル図

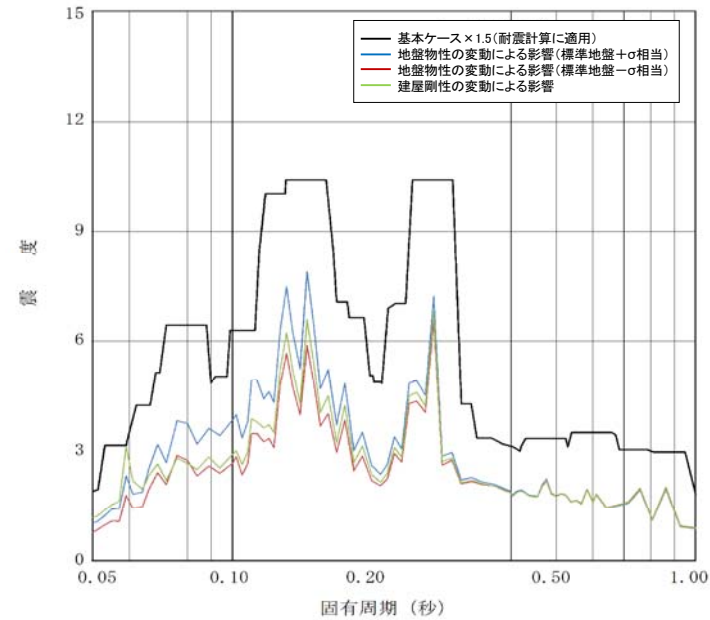
鉛直方向モデル図

【EL. 34.7 m 応答スペクトルの説明】

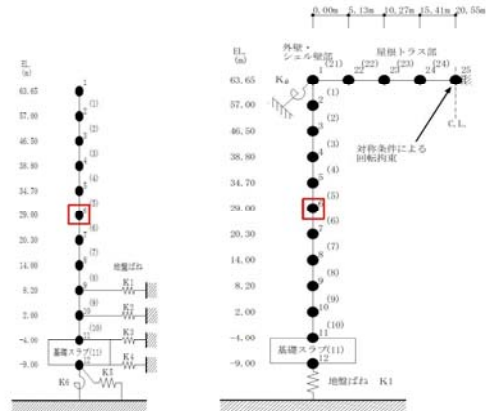
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.153	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



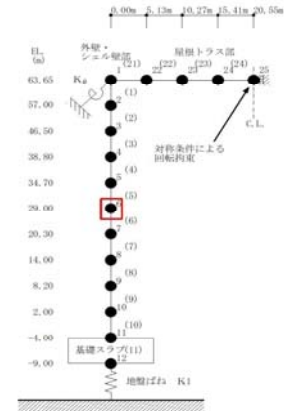
床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



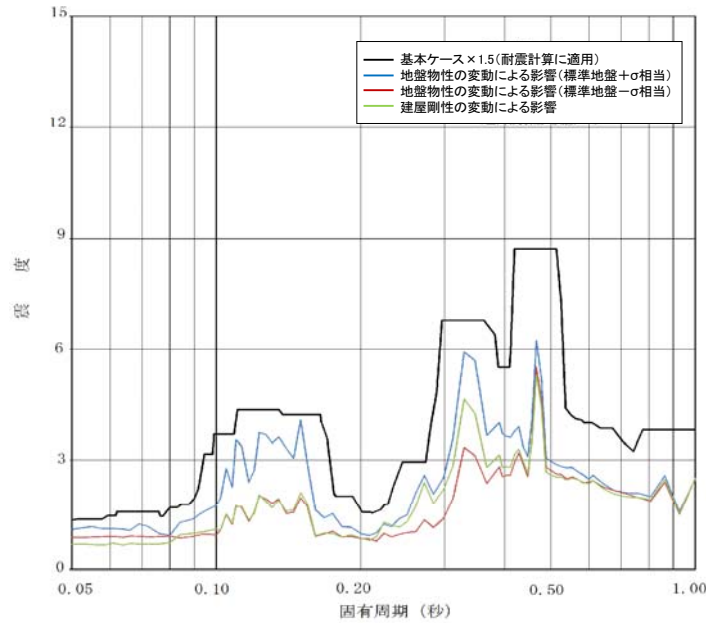
水平方向モデル図



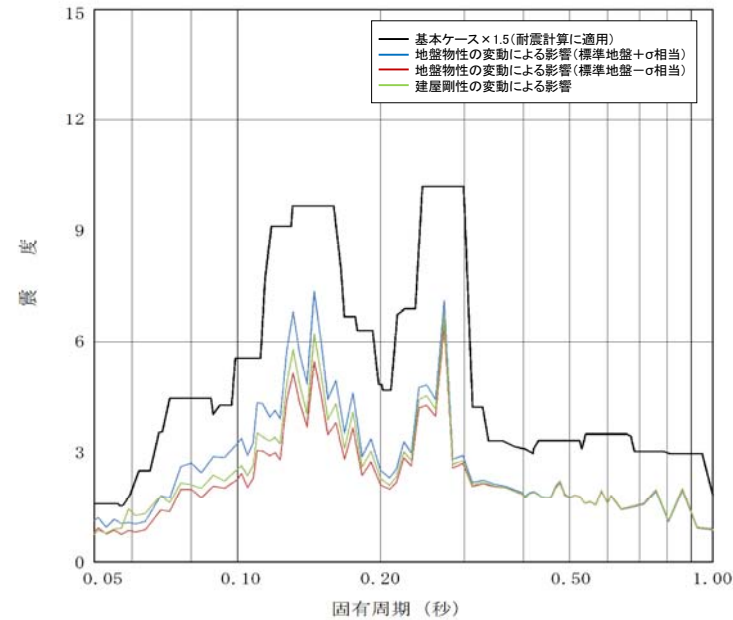
鉛直方向モデル図

【EL. 29.0 m 応答スペクトルの説明】

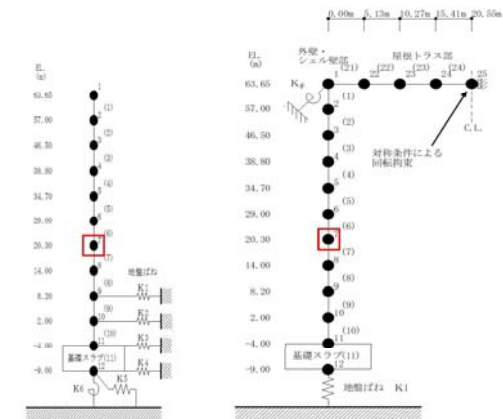
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

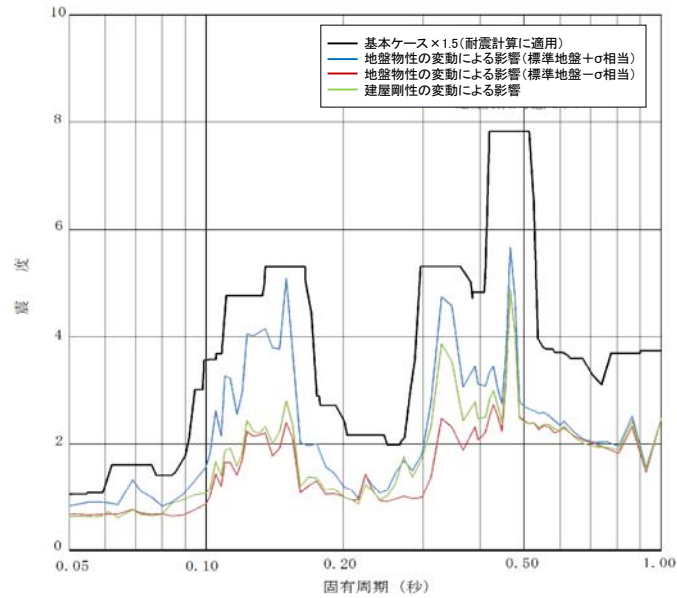


水平方向モデル図

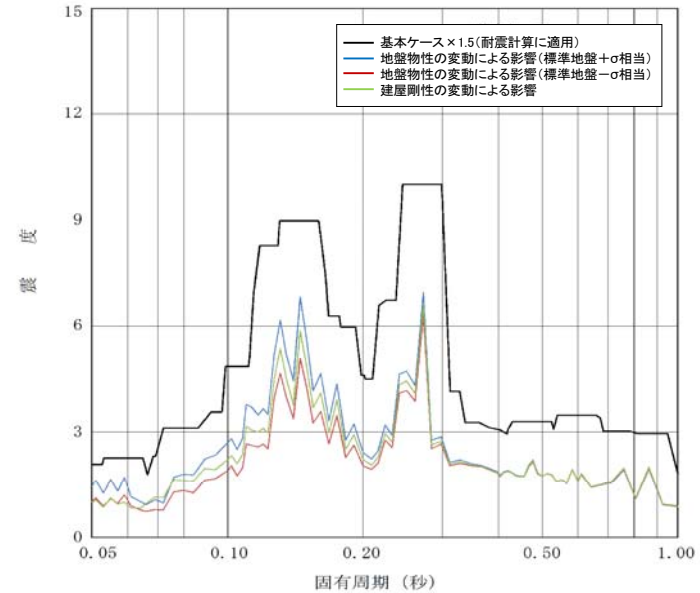
鉛直方向モデル図

【EL. 20.3 m 応答スペクトルの説明】

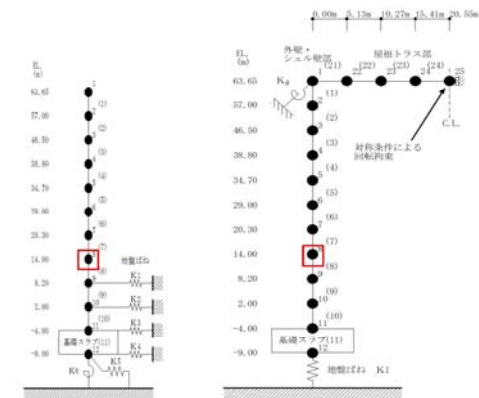
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

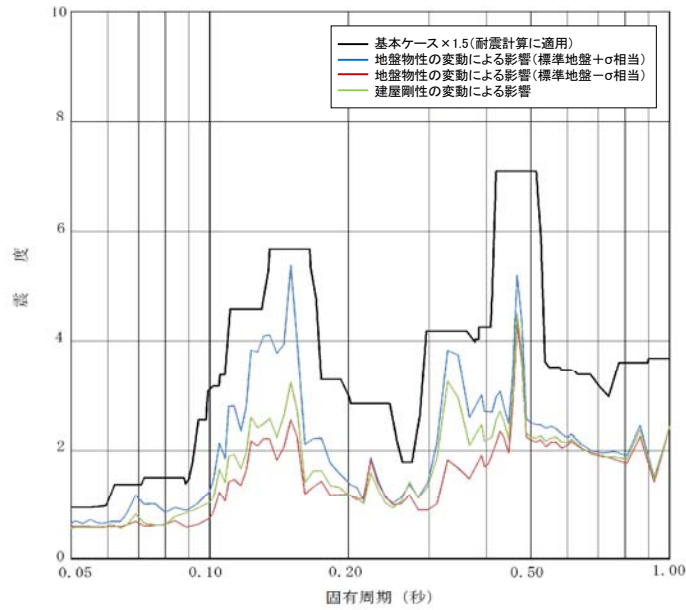


水平方向モデル図

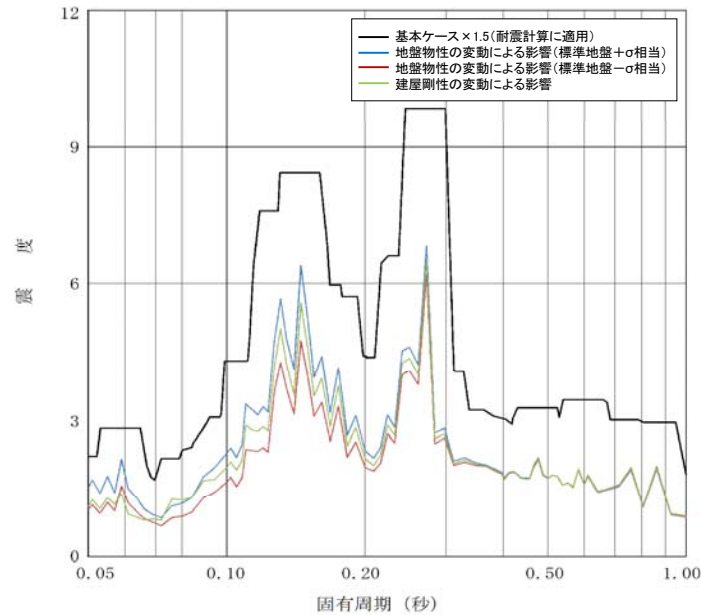
鉛直方向モデル図

【EL. 14.0 m 応答スペクトルの説明】

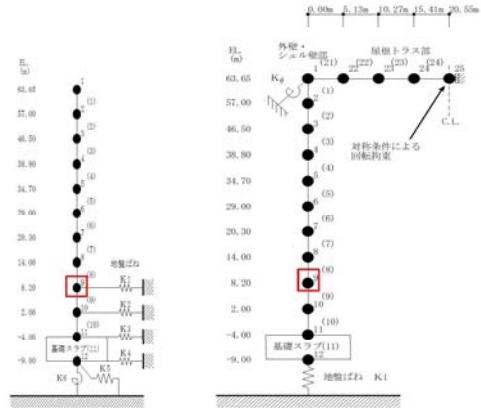
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

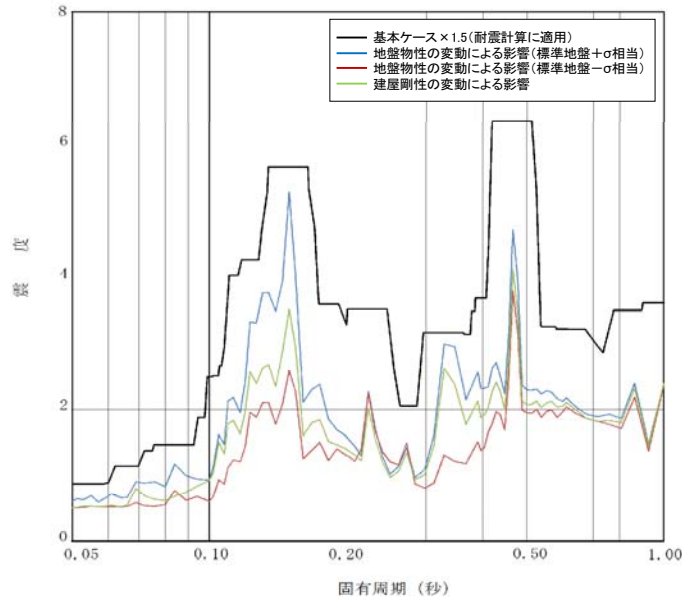


水平方向モデル図

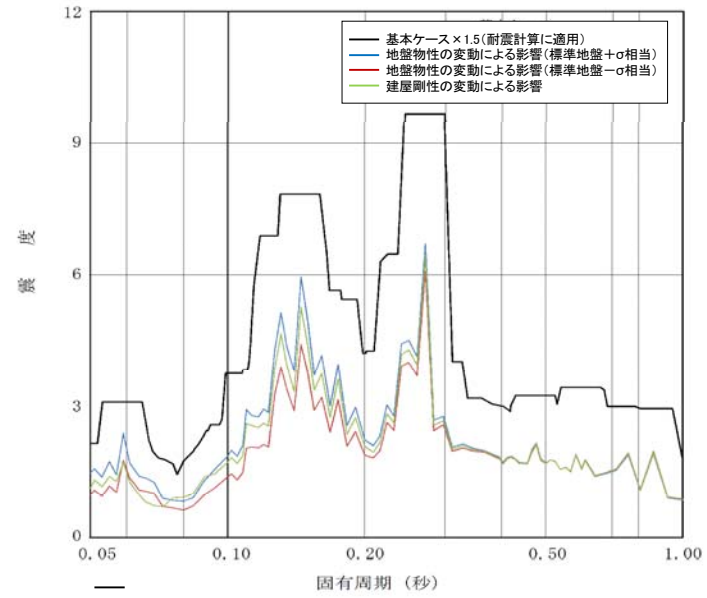
鉛直方向モデル図

【EL. 8.2 m 応答スペクトルの説明】

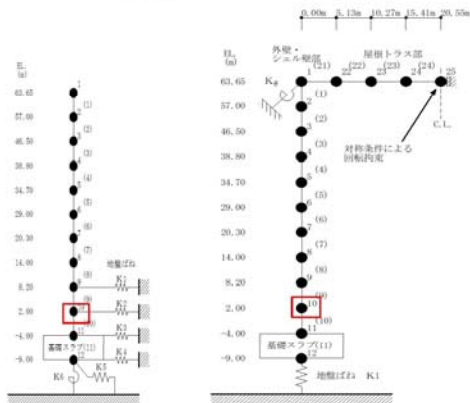
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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%)

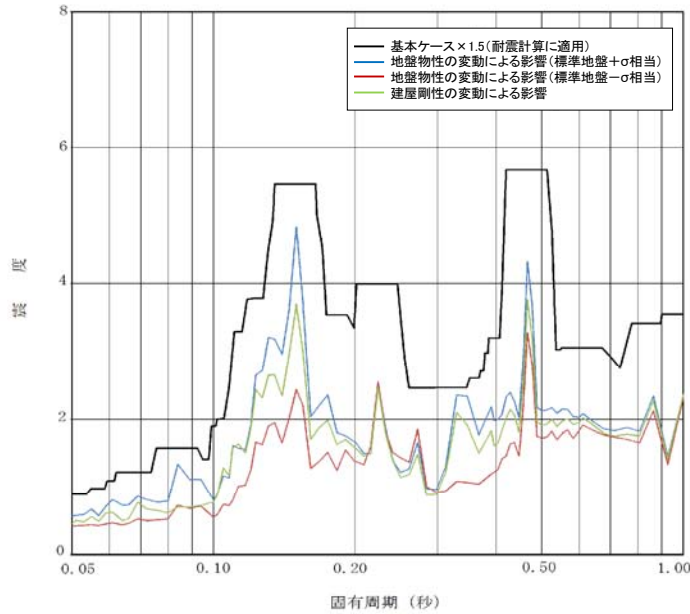


水平方向モデル図

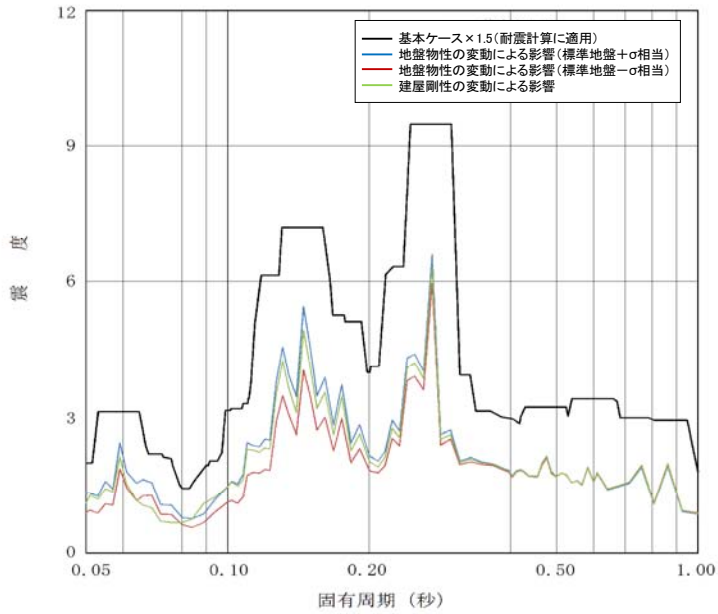
鉛直方向モデル図

【EL. 2.0 m 応答スペクトルの説明】

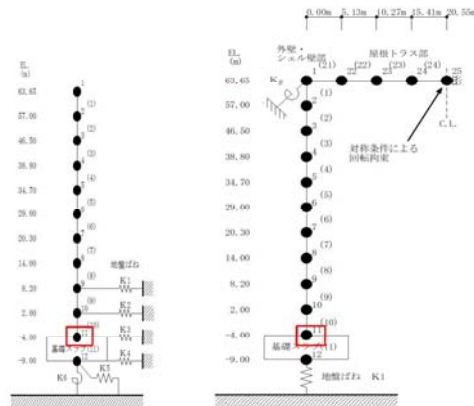
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



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。