

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

伊方発電所設計及び工事計画審査資料	
資料番号	DSF-040 (改1)
提出年月日	令和3年6月10日

伊方発電所3号機  
設計及び工事計画に係る説明資料  
(耐震性に関する説明書)  
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和3年6月  
四国電力株式会社

## 資料 9 に係る補足説明資料

【説明する添付資料】

資料 9 耐震性に関する説明書

## 目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について
3. 周辺施設等の波及的影響の検討について
4. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果について
5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価モデルの妥当性について

# 1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料  
(耐震性に関する説明書)

■資料No. 1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
1-1	地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較	耐震計算における地震荷重と風荷重及び積載荷重と積雪荷重の比較結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-2	鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果	鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-3	地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果	地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-4	地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定	地震応答解析において考慮した耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定方法を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-5	地震応答解析モデルの固定・積載荷重	地震応答解析モデルにおける固定・積載荷重等の設定方法を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析
1-6	地震応答解析モデル及び解析手法の概要について	地震応答解析モデル及び解析手法の概要を示す。	資料9-12-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

### 1-1 地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較

目 次

	頁
1. 概要 .....	1-1-1
2. 地震荷重と風荷重の比較 .....	1-1-3
2.1 速度圧の算定 .....	1-1-3
2.2 荷重の比較 .....	1-1-10
3. 積載荷重と積雪荷重の比較 .....	1-1-14
4. まとめ .....	1-1-15

## 1. 概要

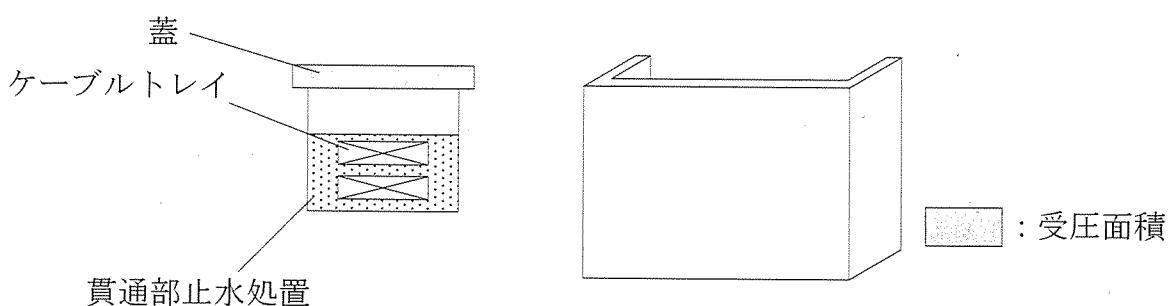
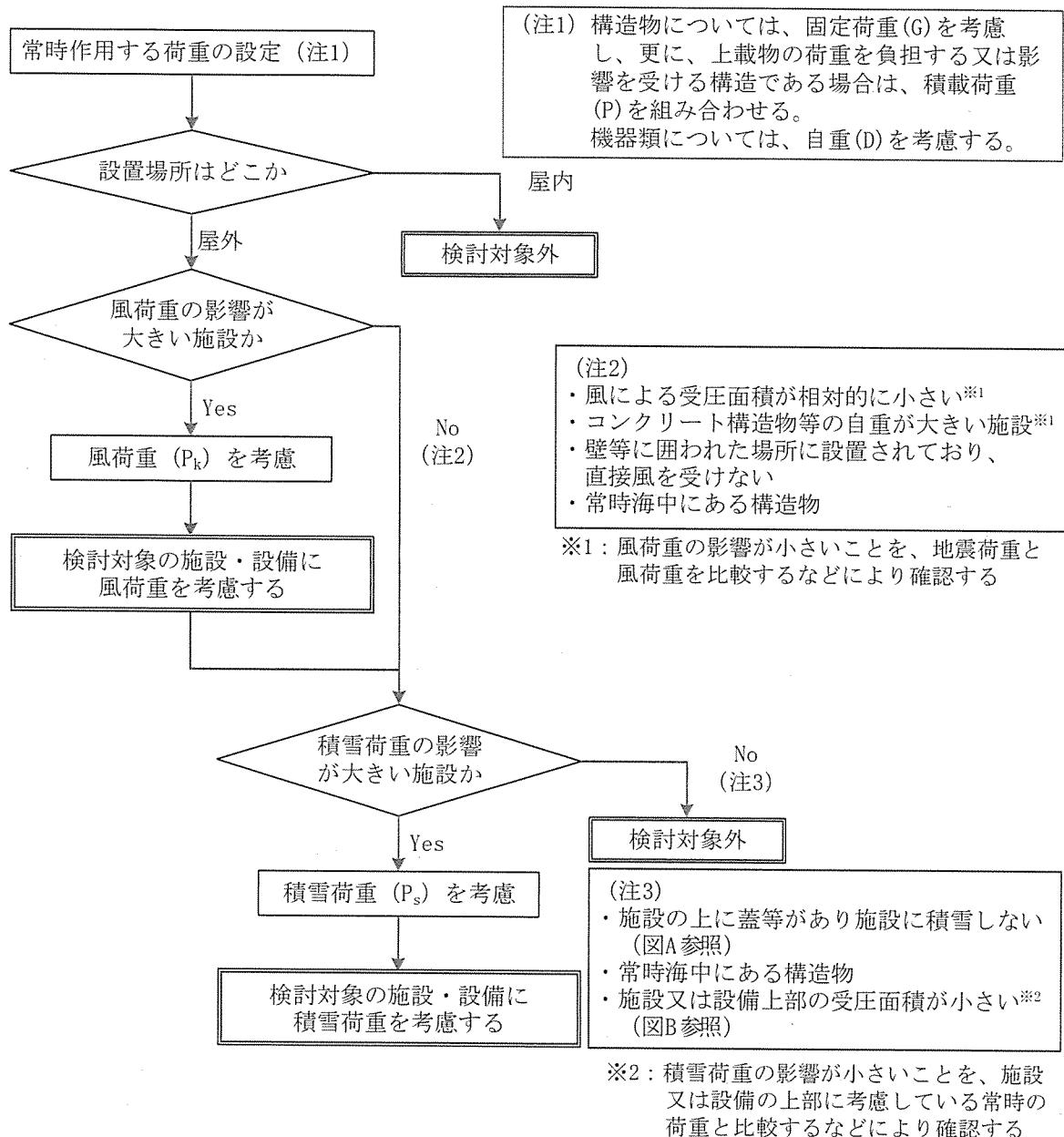
資料9-9 「機能維持の基本方針」において、風荷重については、鉄筋コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除いて、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震荷重と風荷重との比較を行い、風荷重の影響が小さいことを確認することで、風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要がないことを説明するものである。

また、資料9-9 「機能維持の基本方針」において、積雪荷重については、積雪による受圧面積が小さい施設、又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き、地震力と組み合わせることとしている。本資料は、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵建屋について、積雪荷重が積載荷重に包絡されることを確認することで、積雪荷重と地震荷重との組合せは、積載荷重と地震荷重との組合せで考慮されることを説明するものである。

耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フローを第1-1図に示す。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」



図A：蓋等により積雪しない場合の例

図B：上部の受圧面積が小さい場合の例

第1-1図 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フロー

## 2. 地震荷重と風荷重の比較

### 2.1 速度圧の算定

使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重の評価条件である速度圧を表2-1表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第2-1図及び第2-2図に示す。

第2-1表 速度圧

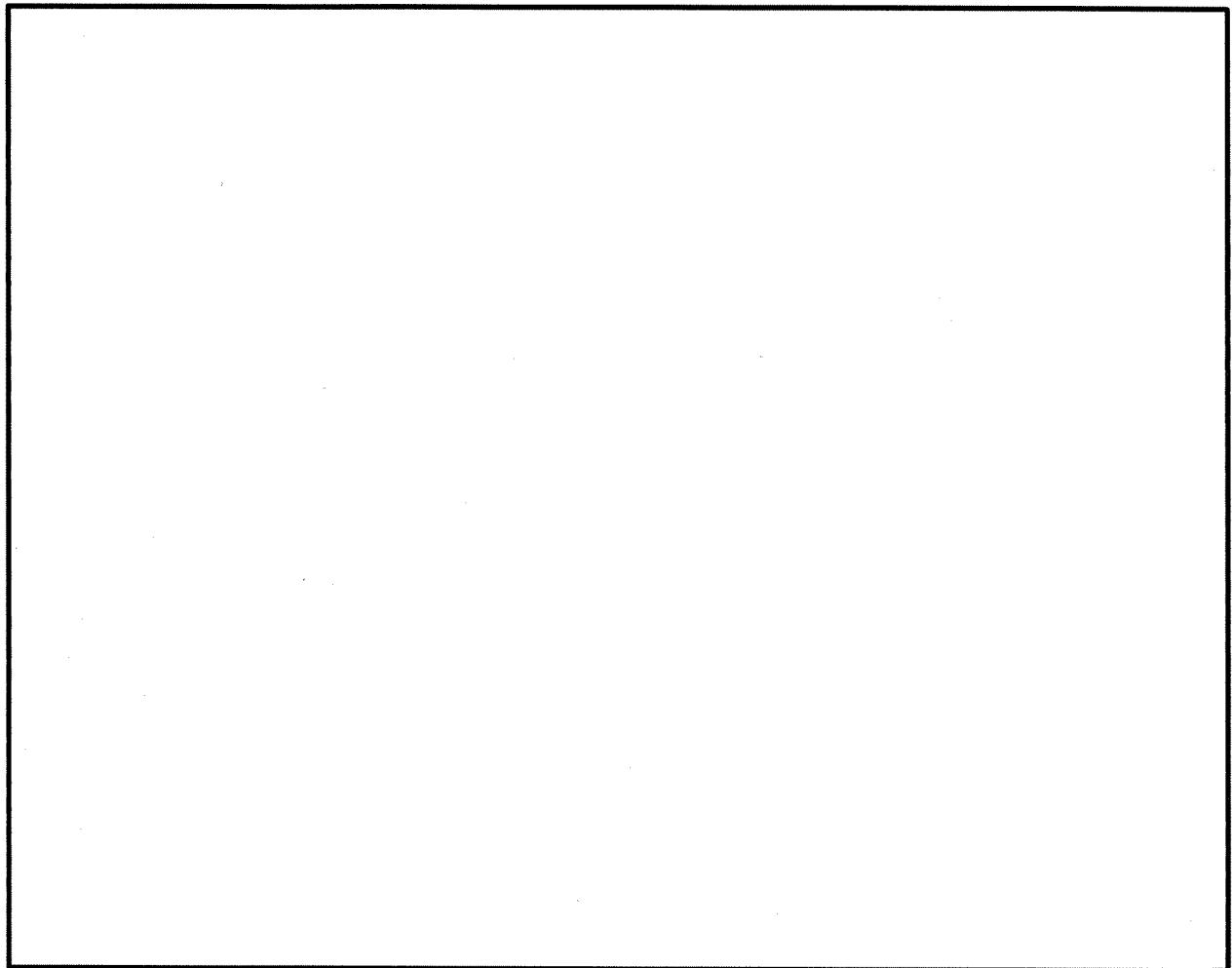
	基準風速 $V_0$ (m/s)	全高H (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$	ガスト 影響係数G	速度圧q (N/m <sup>2</sup> )
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	34		350	0.15	1.0	848

(注) 伊方発電所敷地状況より、地表面粗度区分はⅡとする。

$H$  : GLを基準として設定する。

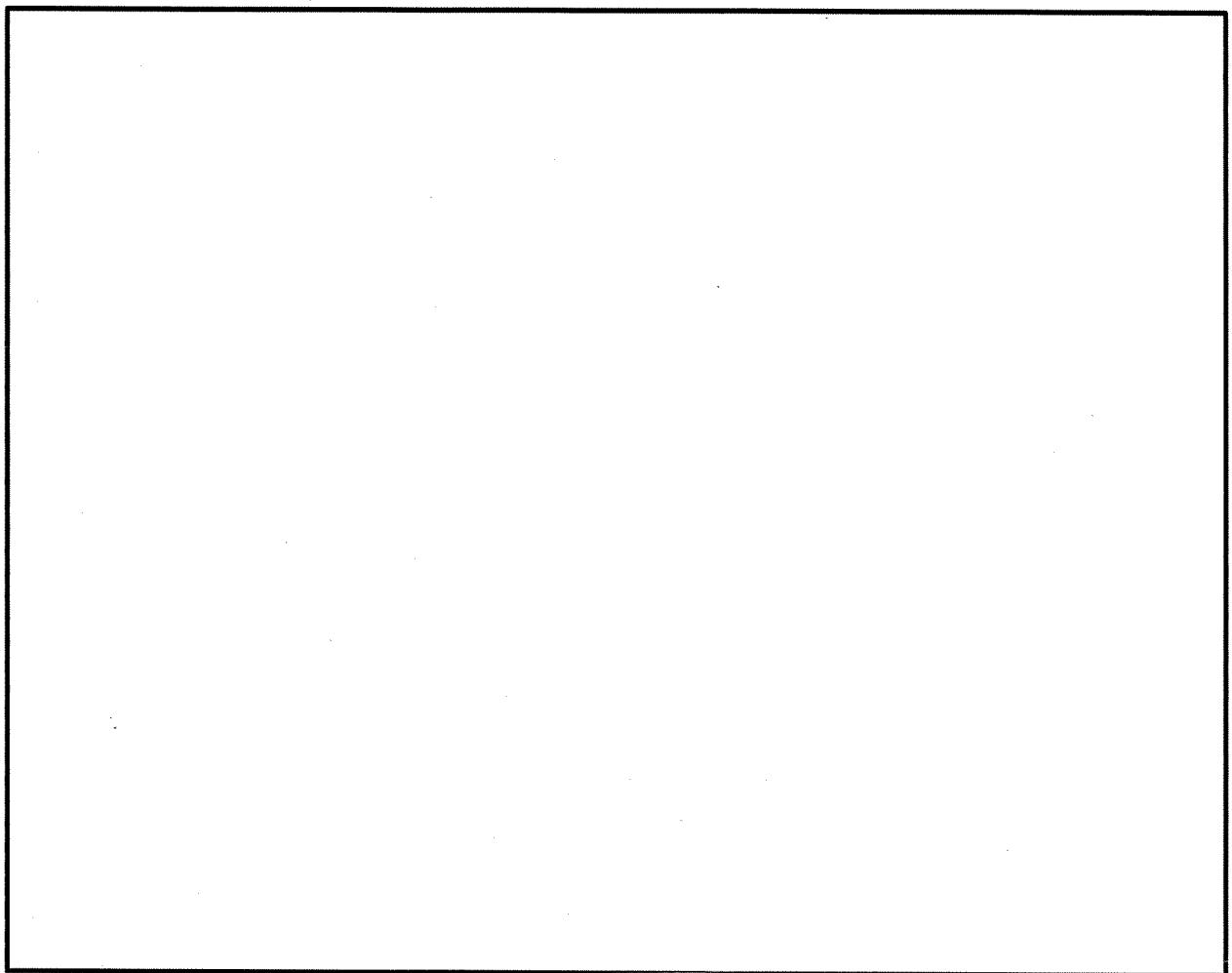
$Z_G$ 、 $\alpha$  : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値

地震と組み合わせる場合のガスト影響係数は1.0とする。

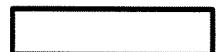


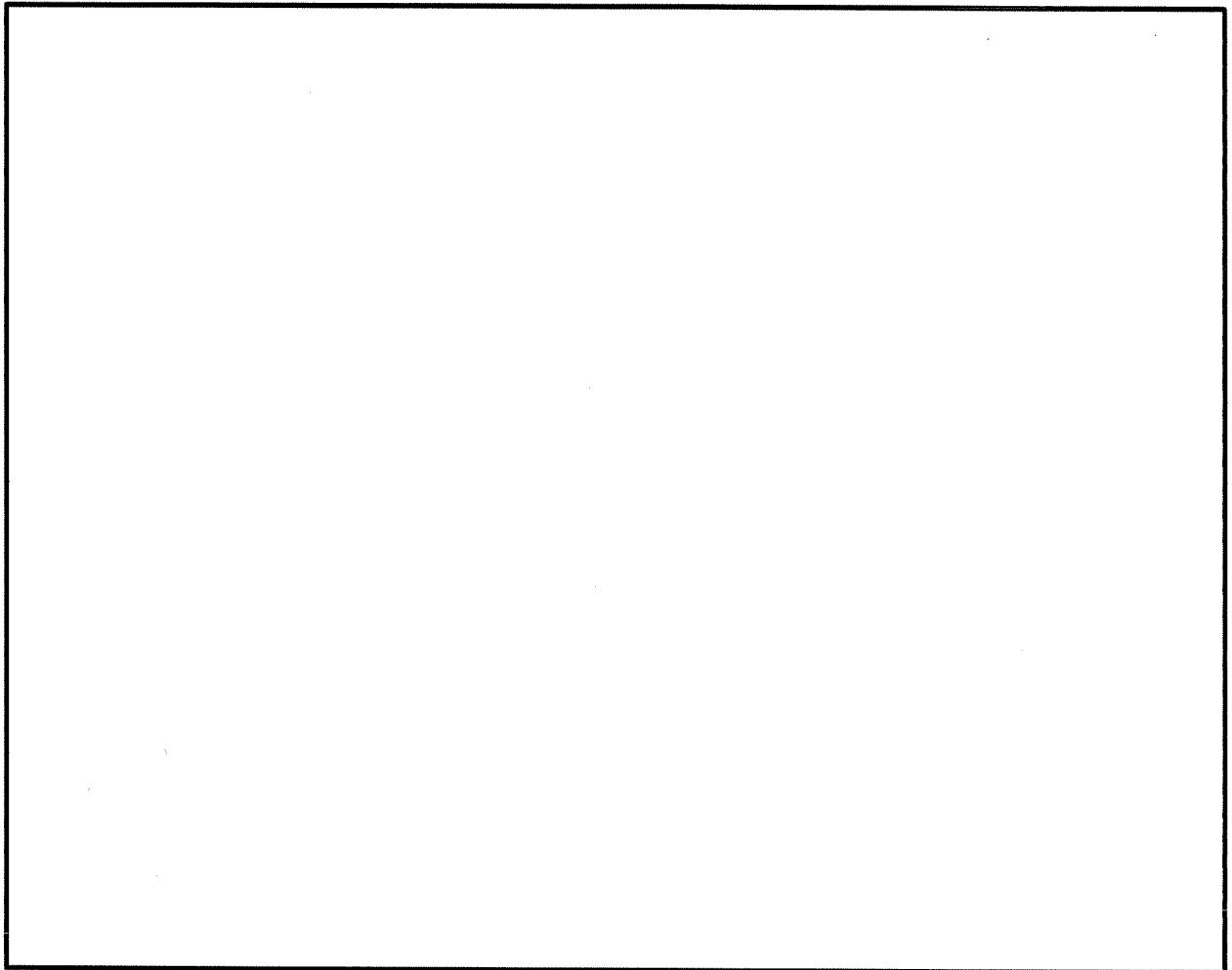
第2-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



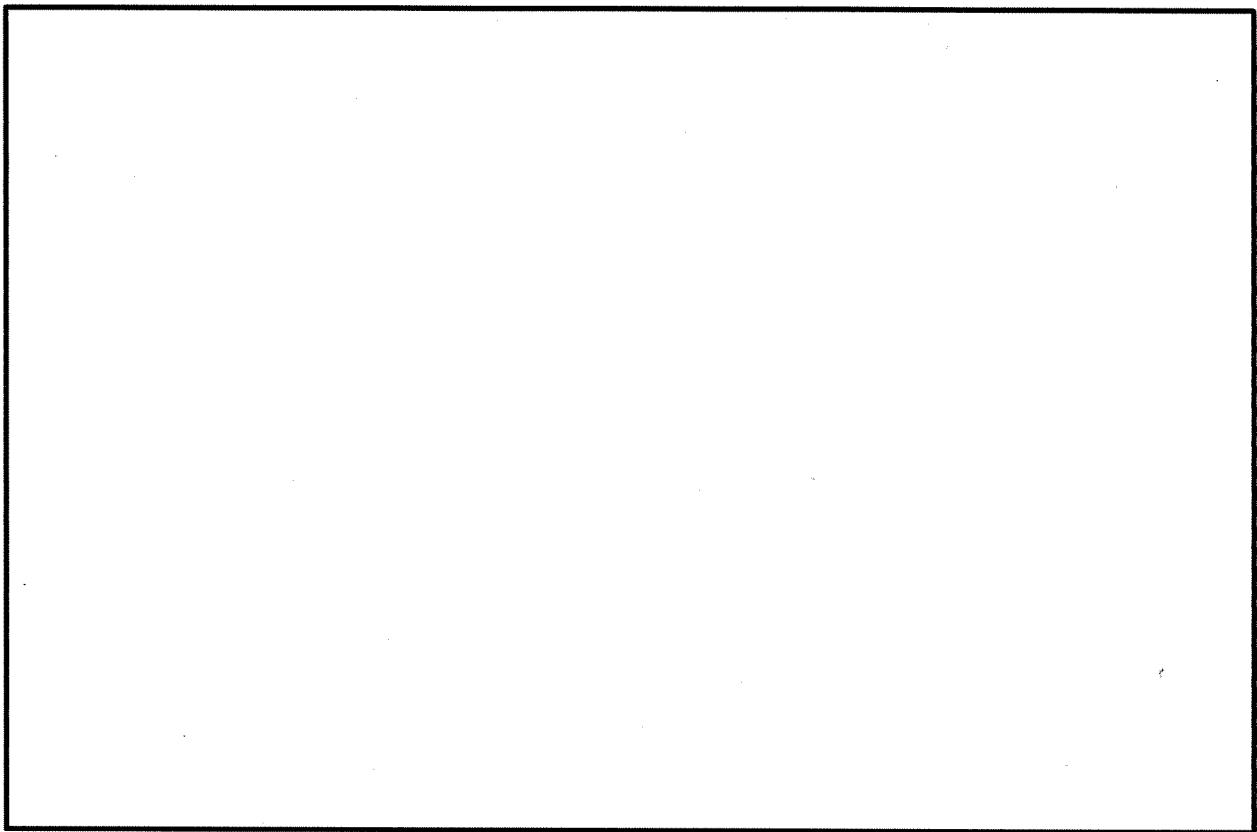


第2-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

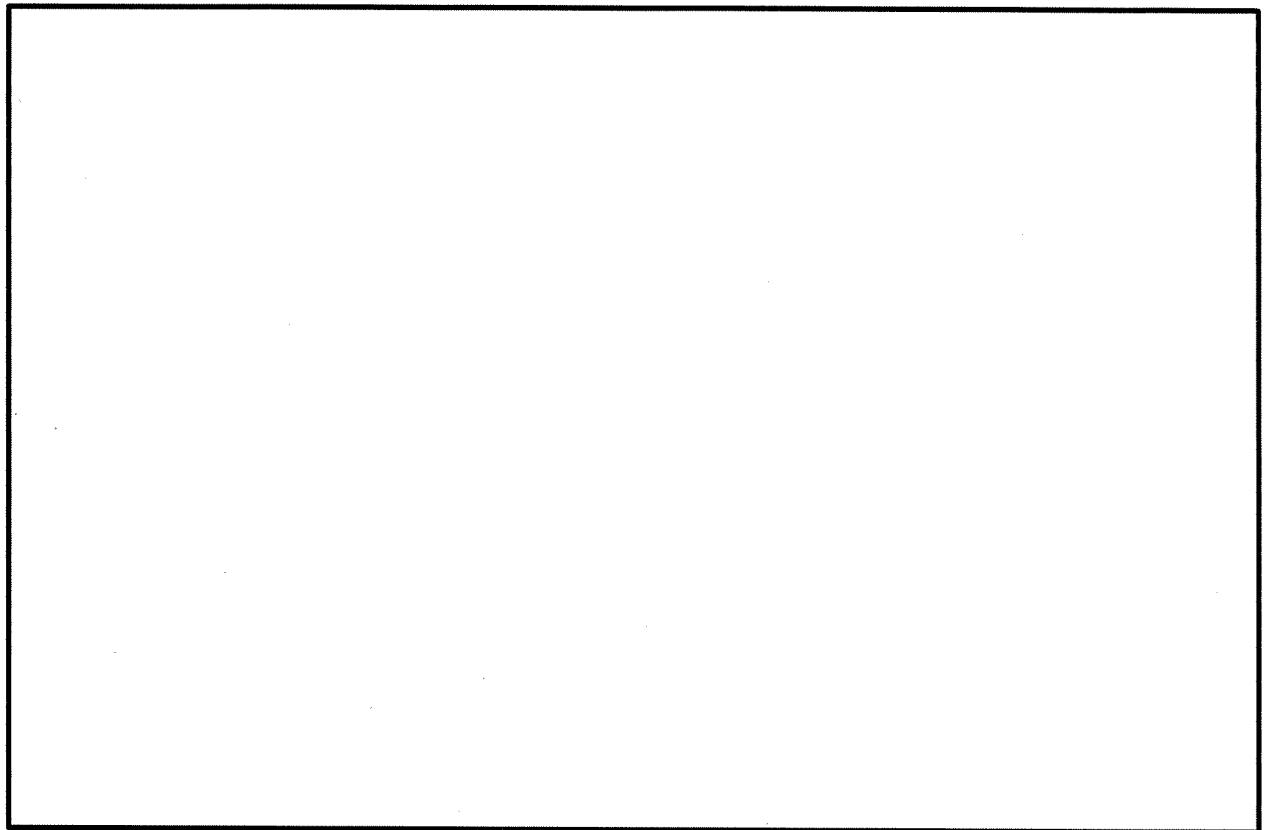




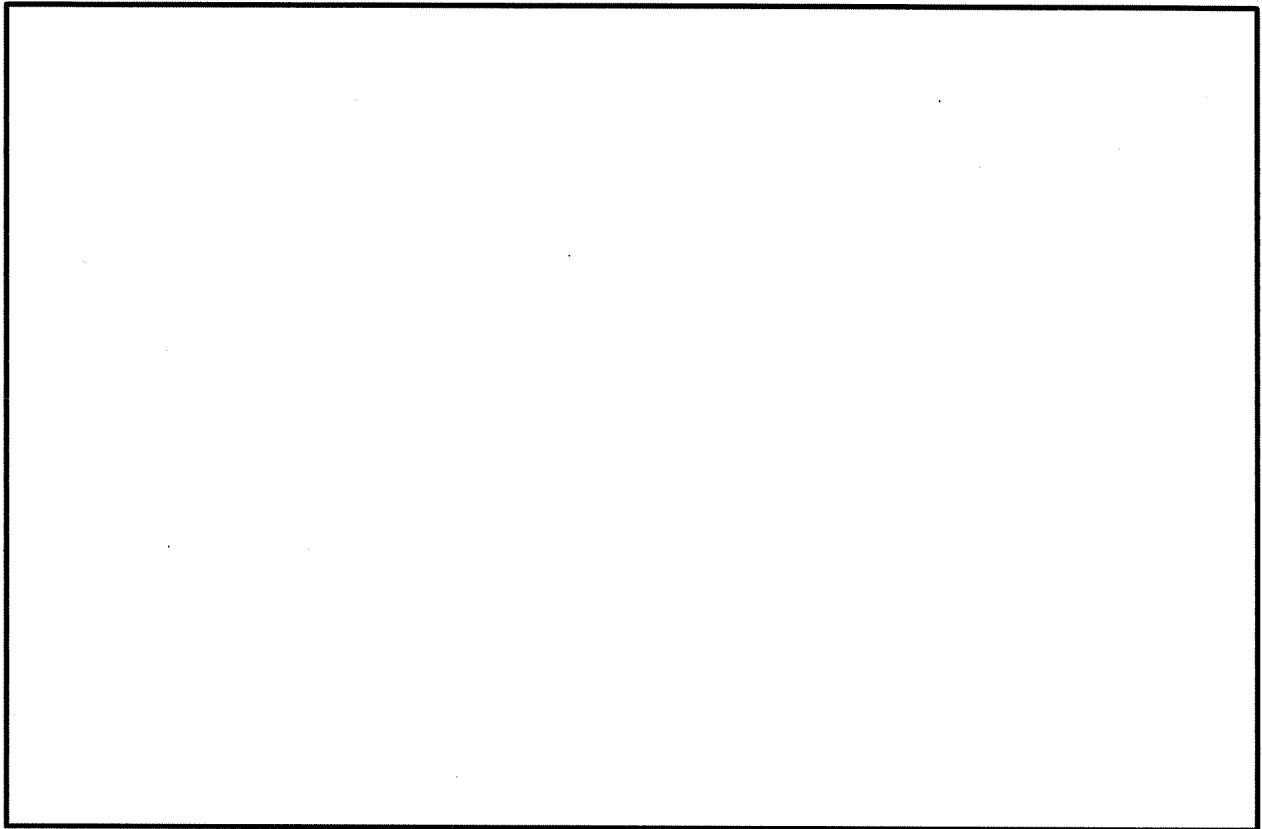
第2-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第 2-2 図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B 断面)

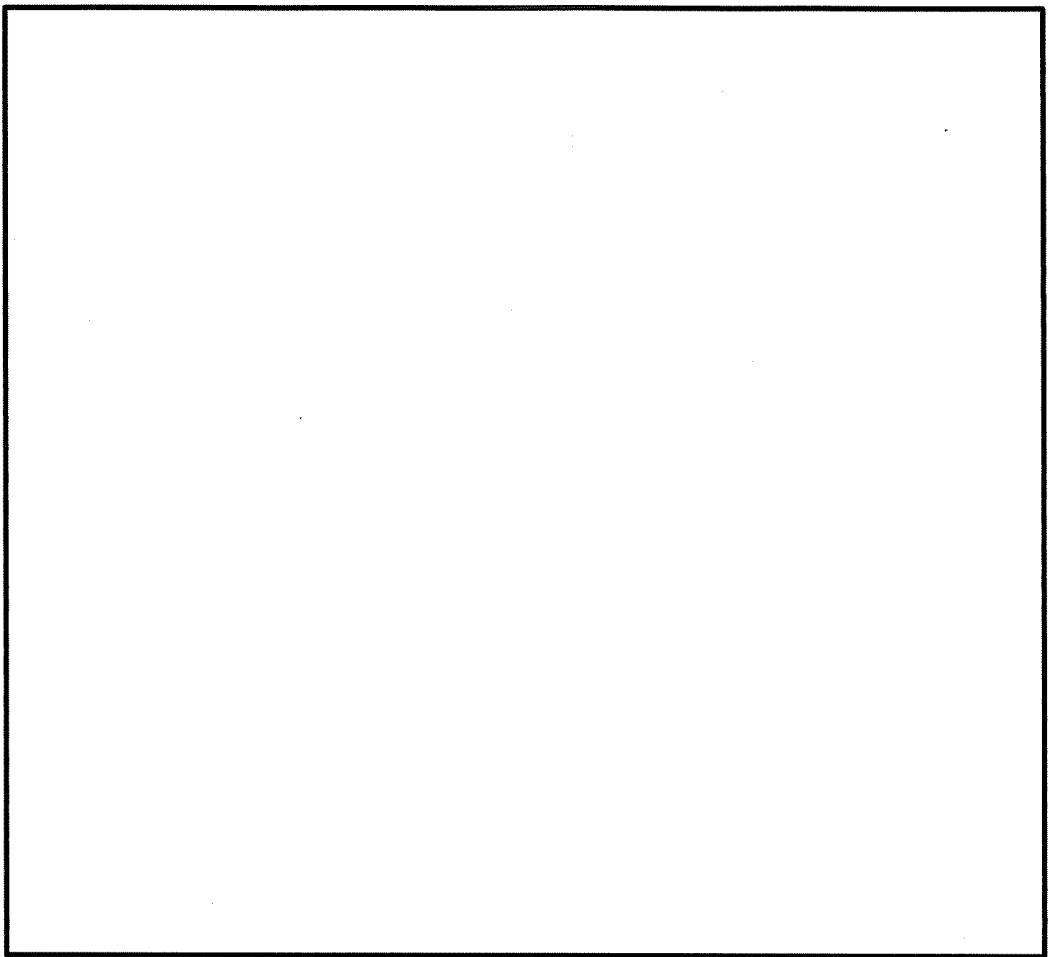


第 2-2 図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C 断面)

## 2.2 荷重の比較

風荷重による層せん断力について、第2-1表に示す速度圧に基づき算出する。ここで、風荷重による層せん断力は、風荷重により発生する建屋の地震応答解析モデルにおける部材の層せん断力である。また、地震荷重による層せん断力は、基準地震動Ssに対する地震応答解析より得られた最大応答せん断力である。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルを第2-3図に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重を第2-2表、風荷重による層せん断力と地震荷重による層せん断力の比較を第2-3表に示す。



第2-3図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル（水平方向）

第2-2表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重 (EW方向)

質点番号	高さ EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	速度圧q (N/m <sup>2</sup> )	風荷重 (kN)
		風上	風下			
1		0.800	-0.4	407	848	414
2		0.748	-0.4	225	848	219
3		0.689	-0.4	268	848	248
4		0.636	-0.4	191	848	168
5		0.567	-0.4	373	848	306

第2-2表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風荷重 (NS方向)

質点番号	高さ EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	速度圧q (N/m <sup>2</sup> )	風荷重 (kN)
		風上	風下			
1		0.800	-0.4	353	848	359
2		0.748	-0.4	296	848	288
3		0.689	-0.4	152	848	140
4		0.636	-0.4	134	848	118
5		0.567	-0.4	280	848	230

第2-3表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断力の比較 (EW方向)

部材番号	風荷重による層せん断力 ① ( $\times 10^3$ kN)	地震荷重による層せん断力 ② ( $\times 10^3$ kN)	層せん断力比 ②/①
1	0.41	82	198
2	0.63	146	231
3	0.88	278	316
4	1.05	344	328
5	1.35	418	309

第2-3表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の層せん断力の比較 (NS方向)

部材番号	風荷重による層せん断力 ① ( $\times 10^3$ kN)	地震荷重による層せん断力 ② ( $\times 10^3$ kN)	層せん断力比 ②/①
1	0.36	77	214
2	0.65	136	210
3	0.79	260	330
4	0.91	322	356
5	1.14	393	346

### 3. 積載荷重と積雪荷重の比較

積載荷重と積雪荷重の比較を第3-1表に示す。

第3-1表 積雪荷重及び積載荷重の比較

	地震荷重と組合 せる積雪荷重 ① <sup>*</sup> (N/m <sup>2</sup> )	地震荷重と組合 せる積載荷重 ② (N/m <sup>2</sup> )	荷重比 ②/①
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	140	3000	21.4

※：建築基準法の多雪区域における積雪荷重及び地震荷重の組合せを適用して「愛媛県垂直積雪量に関する規則」（平成12年6月1日規則第42号）による伊方町の垂直積雪量20cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮して算出。

#### 4. まとめ

本資料では、地震応答解析を実施する使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震荷重と風荷重を比較した結果、風荷重の影響が小さいことから風荷重と地震荷重との組合せを考慮する必要はないことを確認した。また、積雪荷重が積載荷重に包絡されることから、積雪荷重と地震荷重との組合せは、積載荷重と地震荷重との組合せで考慮されることを確認した。

# 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

## 1-2 鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした

### 地震応答解析結果

目 次

	頁
1. 概要 .....	1-2-1
2. 地震応答解析結果 .....	1-2-1

(参考)機器・配管系の耐震性への影響評価

## 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析は、第1-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮しており、鉄筋コンクリート部の減衰定数は5%を基本ケースとし、耐震性向上の観点から3%とした場合についても考慮している。

本資料は、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした地震応答解析結果を示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

第1-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度 $V_s^*$ (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数 $h$ (%)
基本	1,700	2,700	5
$V_s + 1\sigma$	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
$V_s - 1\sigma$	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰 3%	1,700	2,700	3

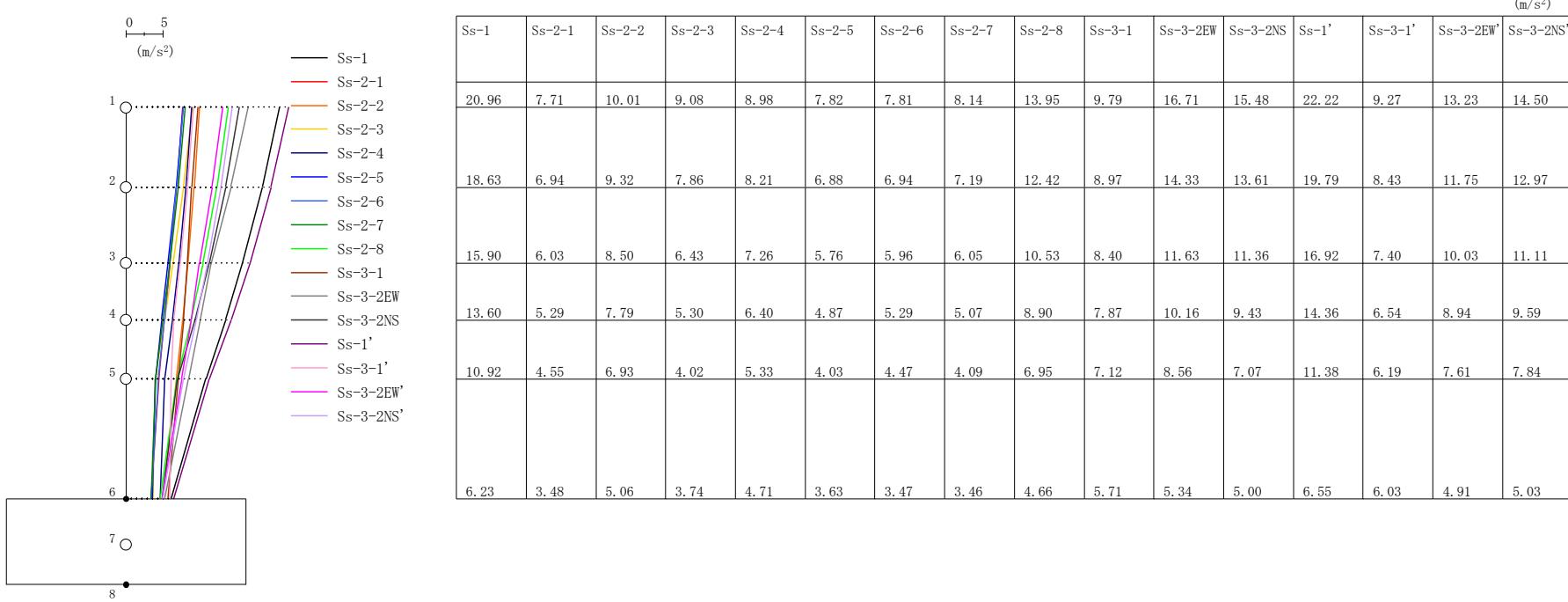
※：基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

( )内は基本ケースに対する比率。

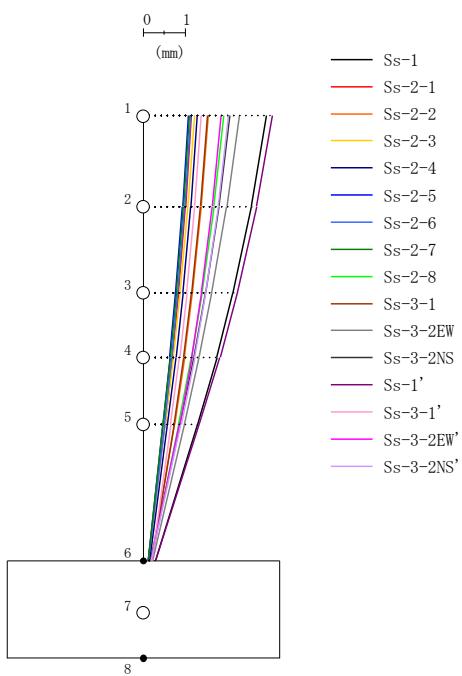
□ は本資料で示す減衰定数を3%とした解析ケース。

## 2. 地震応答解析結果

減衰定数を3%とした基準地震動  $S_s$ に対する地震応答解析結果を第2-1図～第2-16図及び第2-1表に示す。

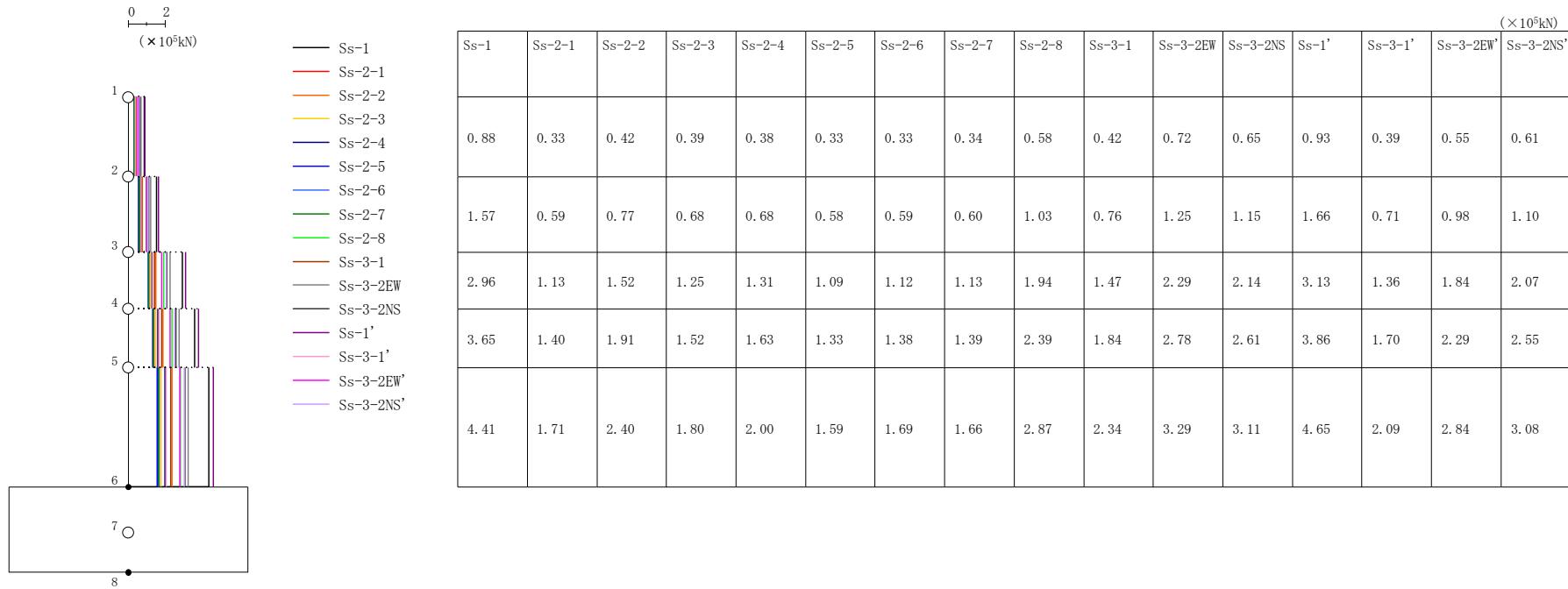


第2-1図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答加速度

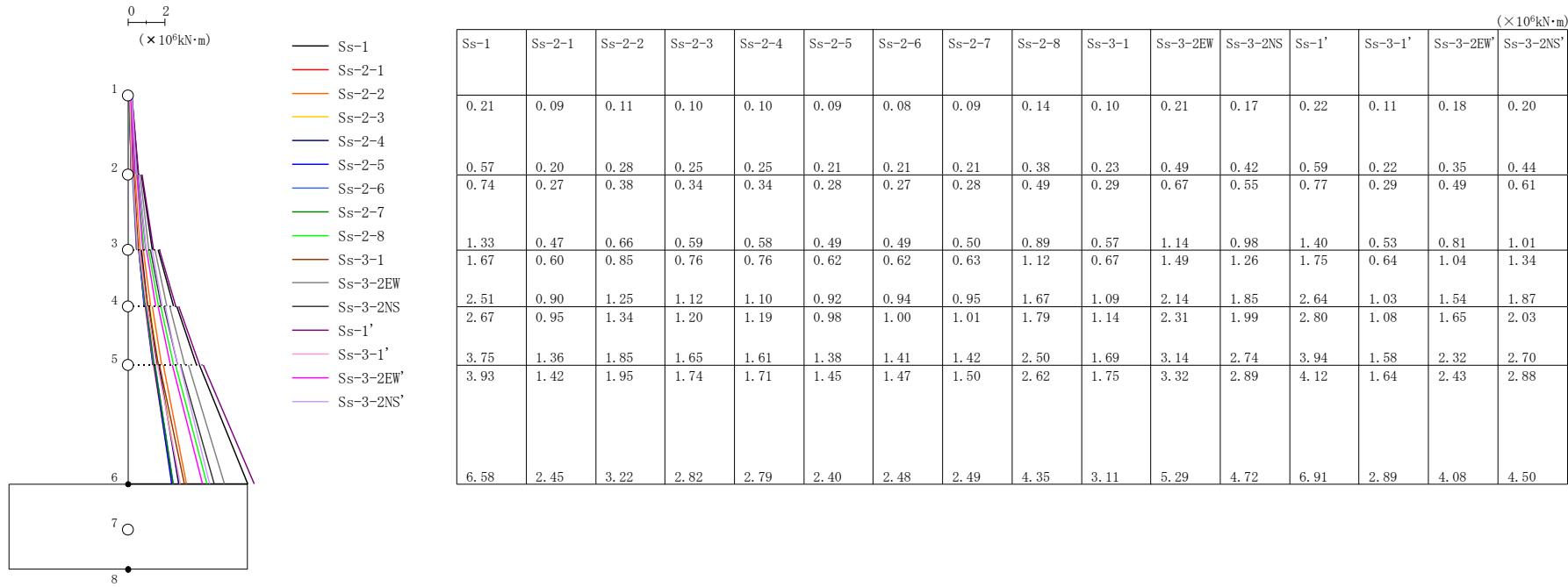


	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.958		1.151	1.569	1.237	1.301	1.080	1.135	1.104	1.942	1.539	2.306	2.079	3.102	1.402	1.875	2.055
2.596			1.400	1.079	1.151	0.947	0.999	0.967	1.703	1.372	2.008	1.817	2.720	1.246	1.664	1.808
2.154	0.854		1.188	0.888	0.964	0.785	0.837	0.799	1.412	1.164	1.651	1.497	2.254	1.051	1.403	1.504
1.768	0.708	0.995	0.725	0.797	0.644	0.696	0.652	1.160	0.976	1.348	1.220	1.847	0.878	1.167	1.237	
1.299	0.530	0.754	0.529	0.590	0.473	0.522	0.475	0.854	0.744	0.996	0.885	1.352	0.663	0.876	0.912	
0.295	0.130	0.202	0.126	0.168	0.121	0.125	0.126	0.193	0.207	0.234	0.175	0.310	0.206	0.205	0.205	

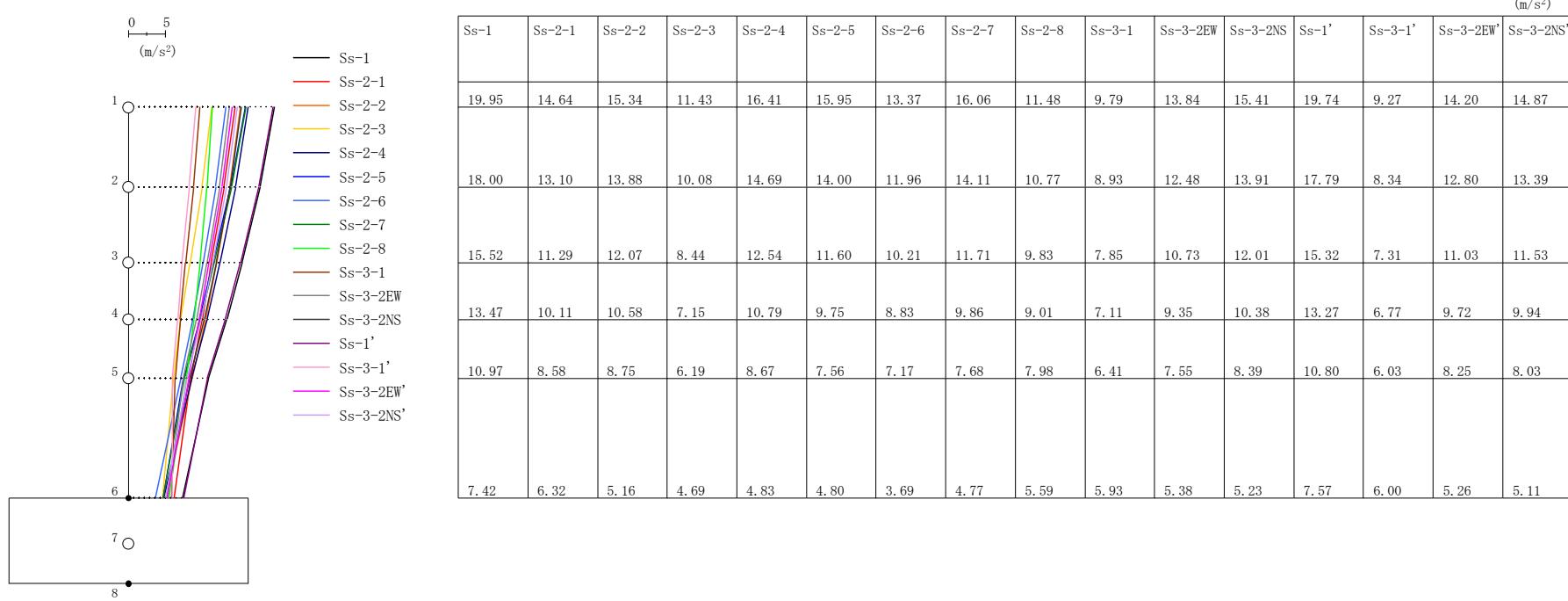
第2-2図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答変位



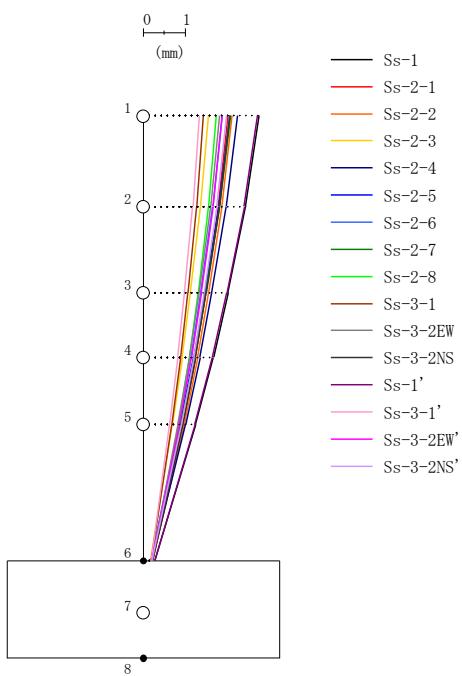
第2-3図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答せん断力



第2-4図 Ss 減衰3%ケース EW方向 最大応答曲げモーメント

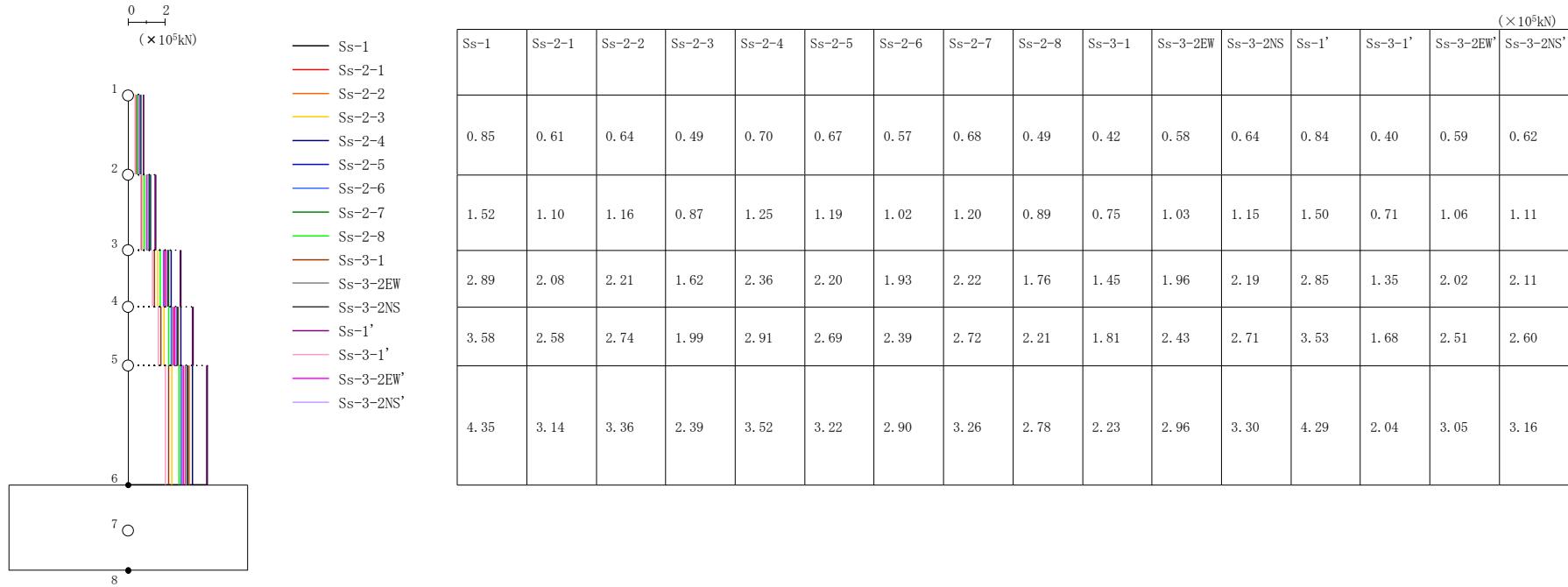


第2-5図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答加速度

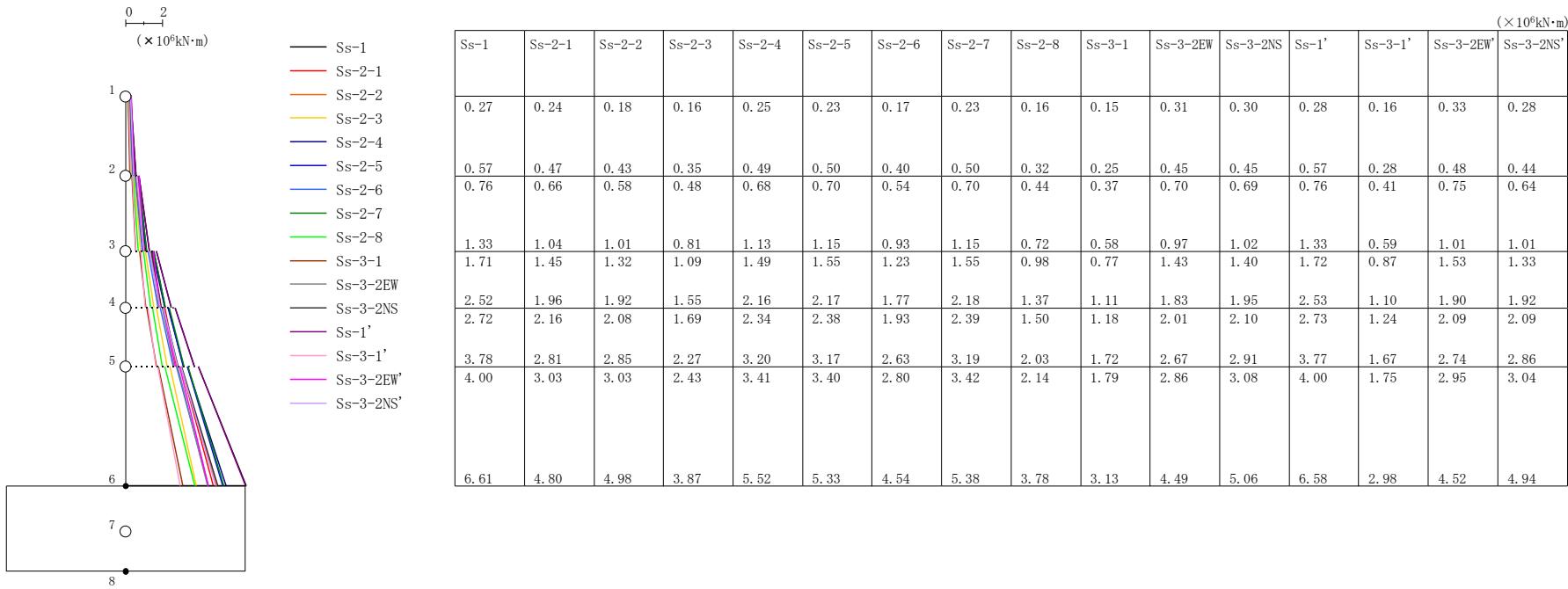


(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.786	2.045	2.141	1.574	2.270	2.074	1.893	2.102	1.751	1.443	1.835	2.074	2.749	1.343	1.904	2.009
2.459	1.810	1.897	1.383	2.000	1.813	1.672	1.839	1.568	1.287	1.625	1.831	2.426	1.194	1.687	1.774
2.036	1.506	1.578	1.139	1.652	1.480	1.385	1.503	1.325	1.081	1.348	1.518	2.007	0.998	1.401	1.471
1.689	1.256	1.315	0.942	1.368	1.213	1.152	1.233	1.118	0.910	1.118	1.264	1.663	0.838	1.164	1.224
1.261	0.950	0.989	0.703	1.020	0.889	0.866	0.906	0.858	0.696	0.833	0.952	1.242	0.639	0.876	0.922
0.281	0.232	0.228	0.180	0.216	0.194	0.198	0.197	0.226	0.204	0.209	0.225	0.277	0.202	0.215	0.217

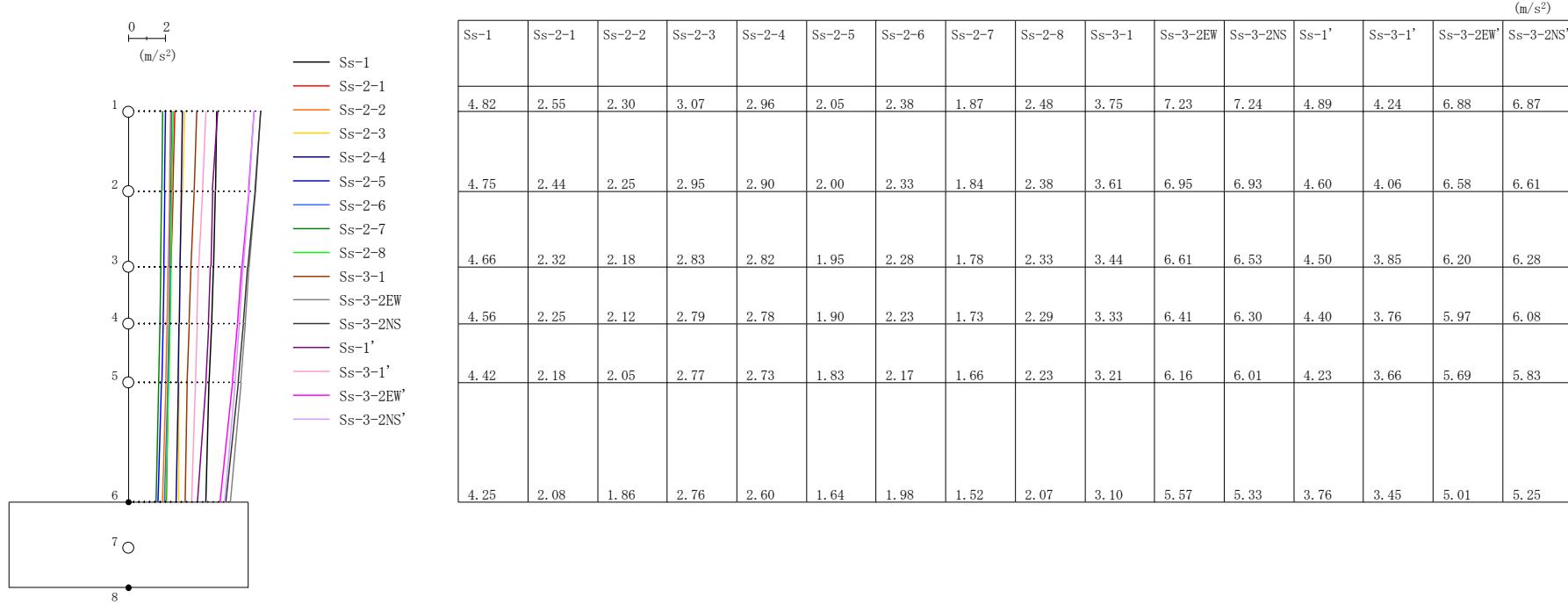
第2-6図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答変位



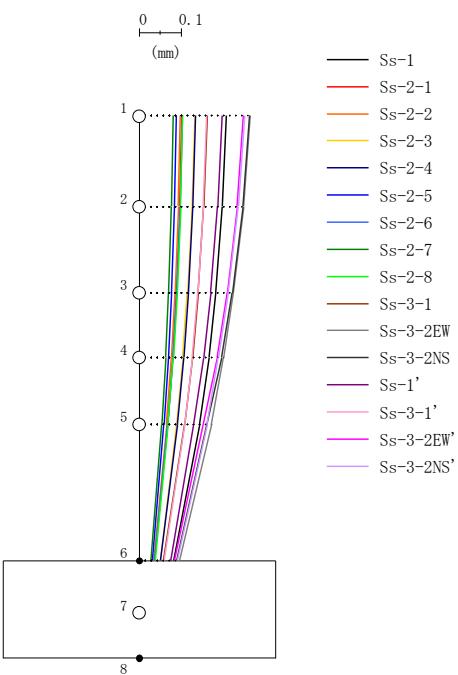
第2-7図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答せん断力



第2-8図 Ss 減衰3%ケース NS方向 最大応答曲げモーメント

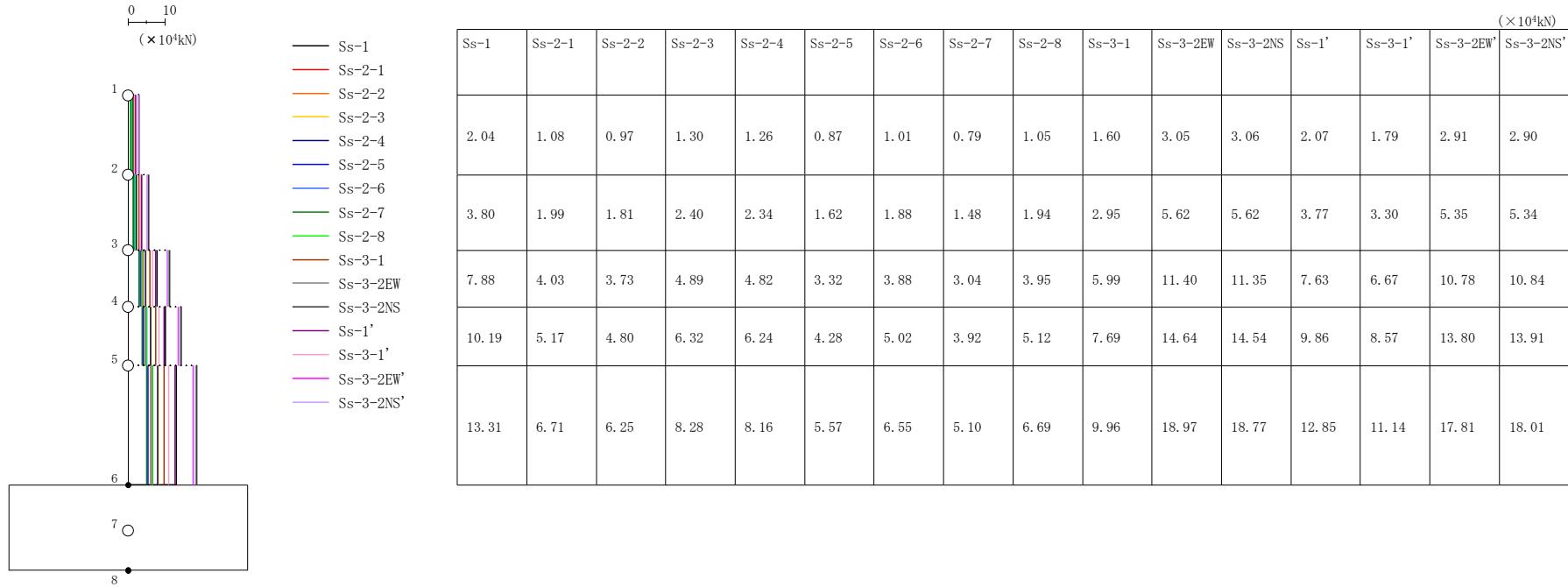


第2-9図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度

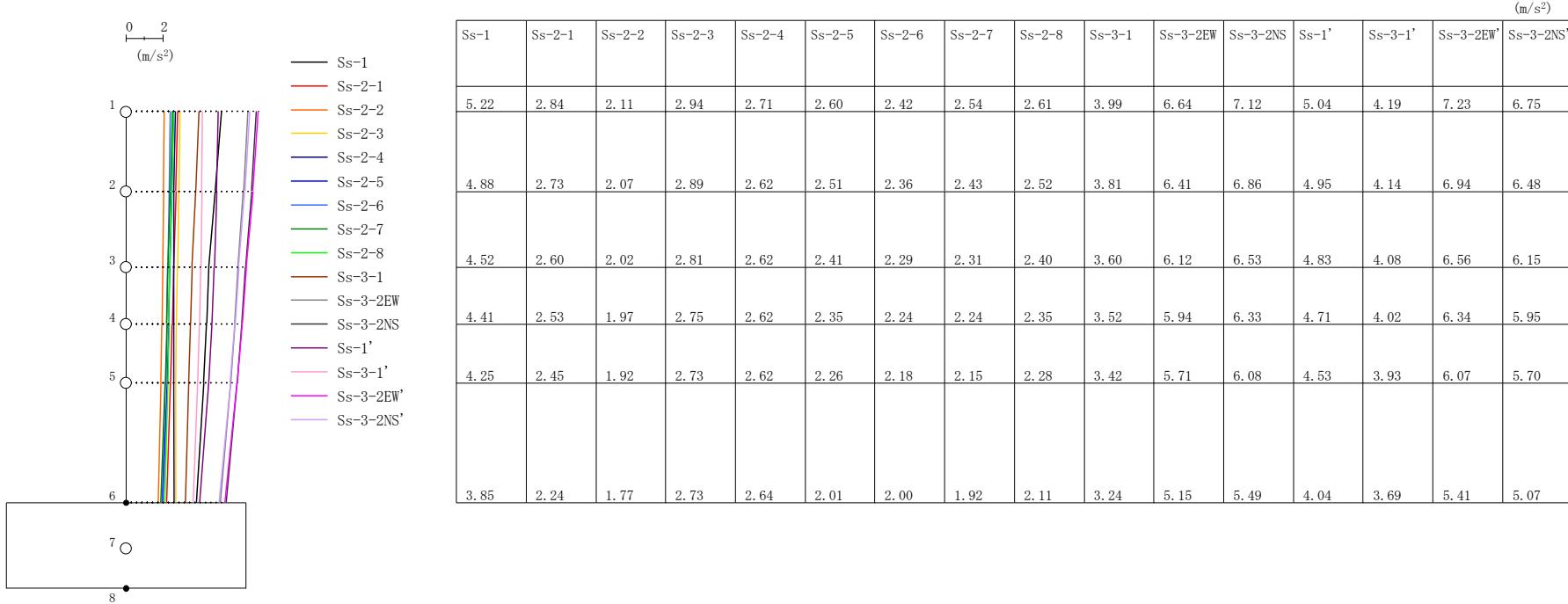


(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.210	0.103	0.100	0.133	0.136	0.089	0.104	0.082	0.105	0.163	0.267	0.265	0.199	0.162	0.251	0.253
0.200	0.098	0.095	0.127	0.129	0.085	0.099	0.078	0.100	0.155	0.251	0.249	0.188	0.154	0.236	0.238
0.185	0.090	0.086	0.116	0.119	0.078	0.090	0.071	0.091	0.142	0.226	0.224	0.172	0.141	0.212	0.214
0.168	0.081	0.078	0.105	0.108	0.070	0.081	0.065	0.083	0.128	0.203	0.199	0.155	0.128	0.188	0.190
0.145	0.069	0.066	0.089	0.092	0.060	0.069	0.055	0.070	0.109	0.174	0.163	0.131	0.109	0.154	0.163
0.082	0.038	0.035	0.051	0.051	0.033	0.038	0.029	0.039	0.059	0.097	0.090	0.076	0.059	0.085	0.091

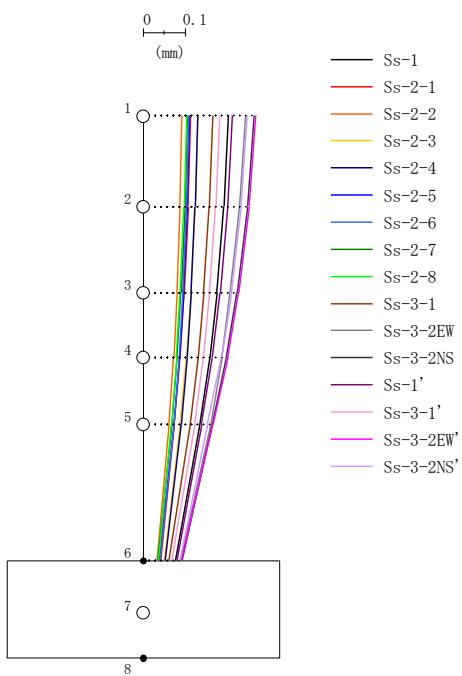
第2-10図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位



第2-11図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力

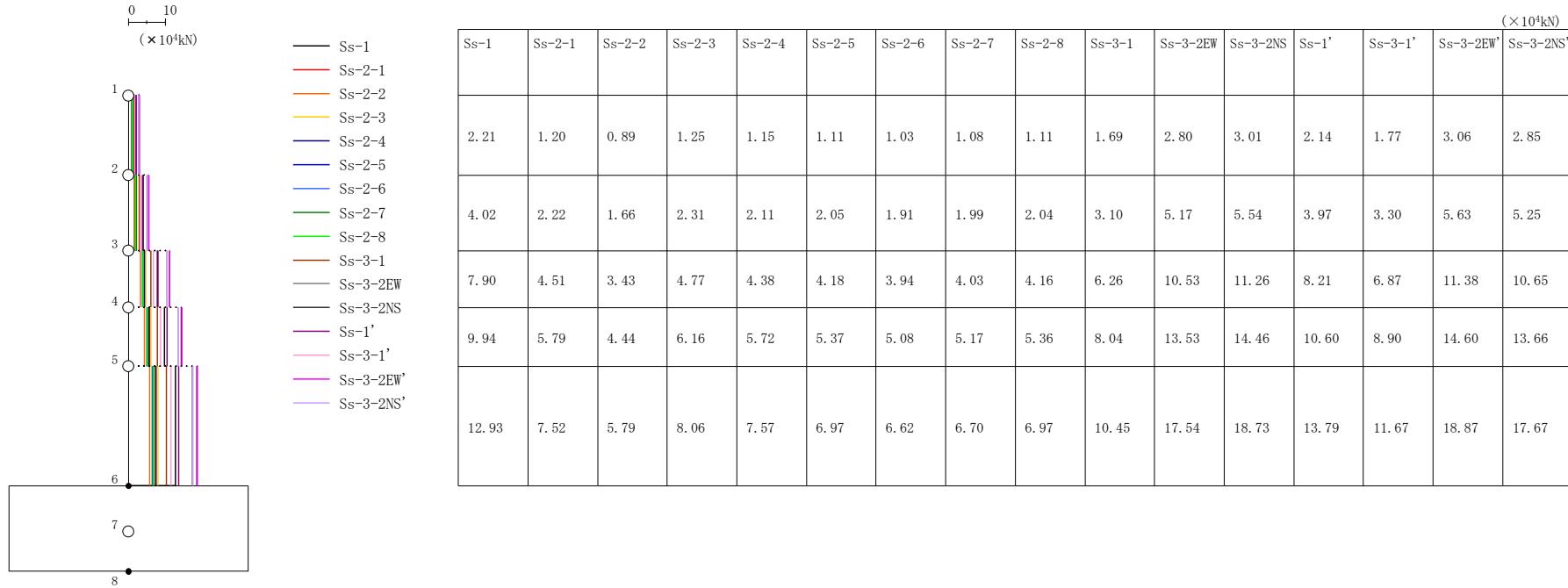


第2-12図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度



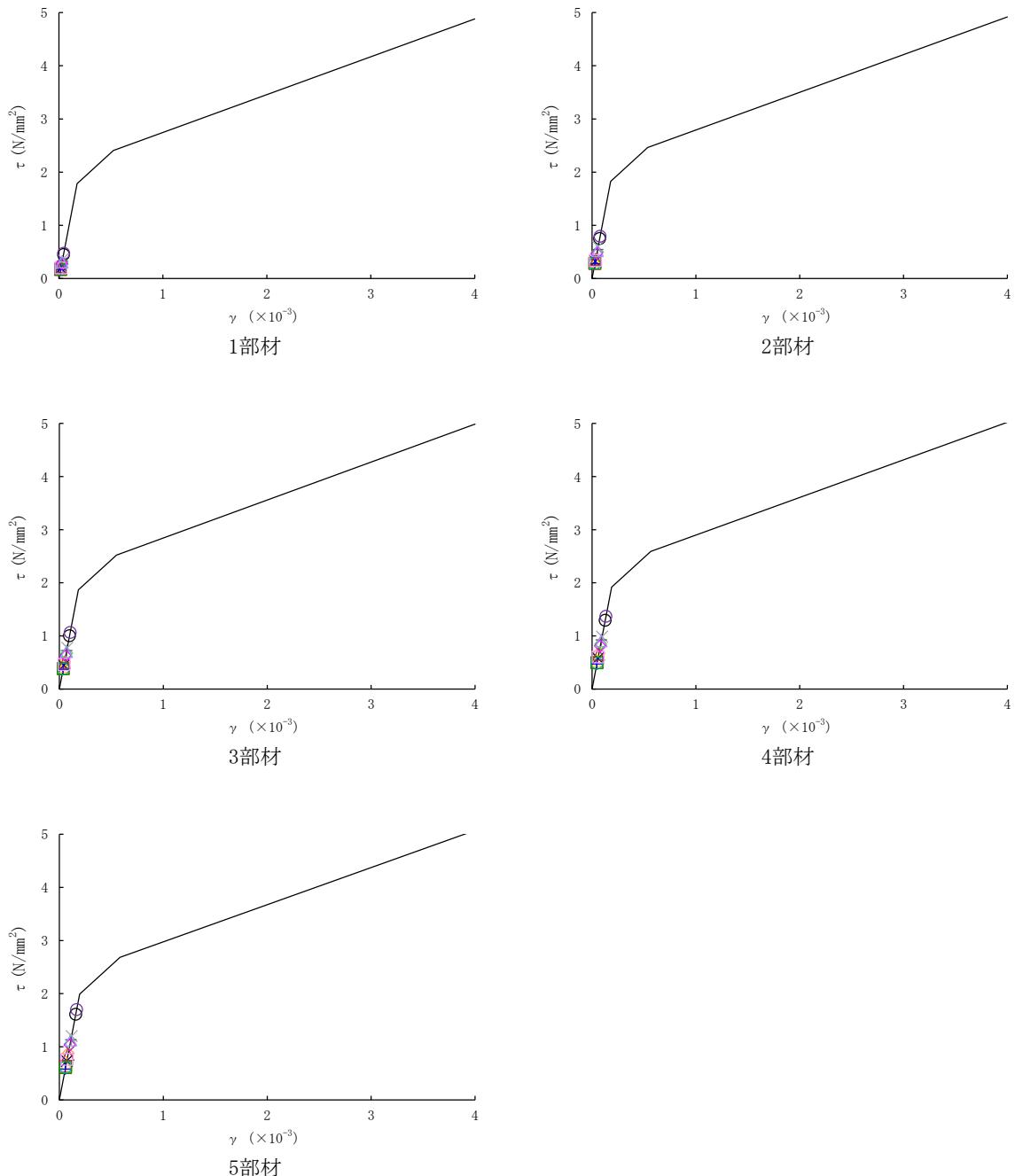
(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.204	0.115	0.094	0.131	0.131	0.113	0.109	0.106	0.104	0.167	0.246	0.266	0.214	0.183	0.270	0.250
0.194	0.108	0.089	0.125	0.125	0.107	0.104	0.100	0.098	0.159	0.231	0.250	0.203	0.174	0.255	0.235
0.177	0.099	0.081	0.114	0.116	0.098	0.095	0.091	0.089	0.145	0.209	0.225	0.185	0.159	0.229	0.212
0.160	0.089	0.074	0.104	0.106	0.088	0.087	0.082	0.080	0.132	0.189	0.200	0.166	0.145	0.204	0.188
0.136	0.074	0.063	0.089	0.092	0.075	0.074	0.069	0.068	0.113	0.162	0.167	0.140	0.124	0.168	0.154
0.078	0.042	0.034	0.051	0.053	0.040	0.040	0.035	0.038	0.061	0.090	0.094	0.081	0.069	0.092	0.088

第2-13図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位



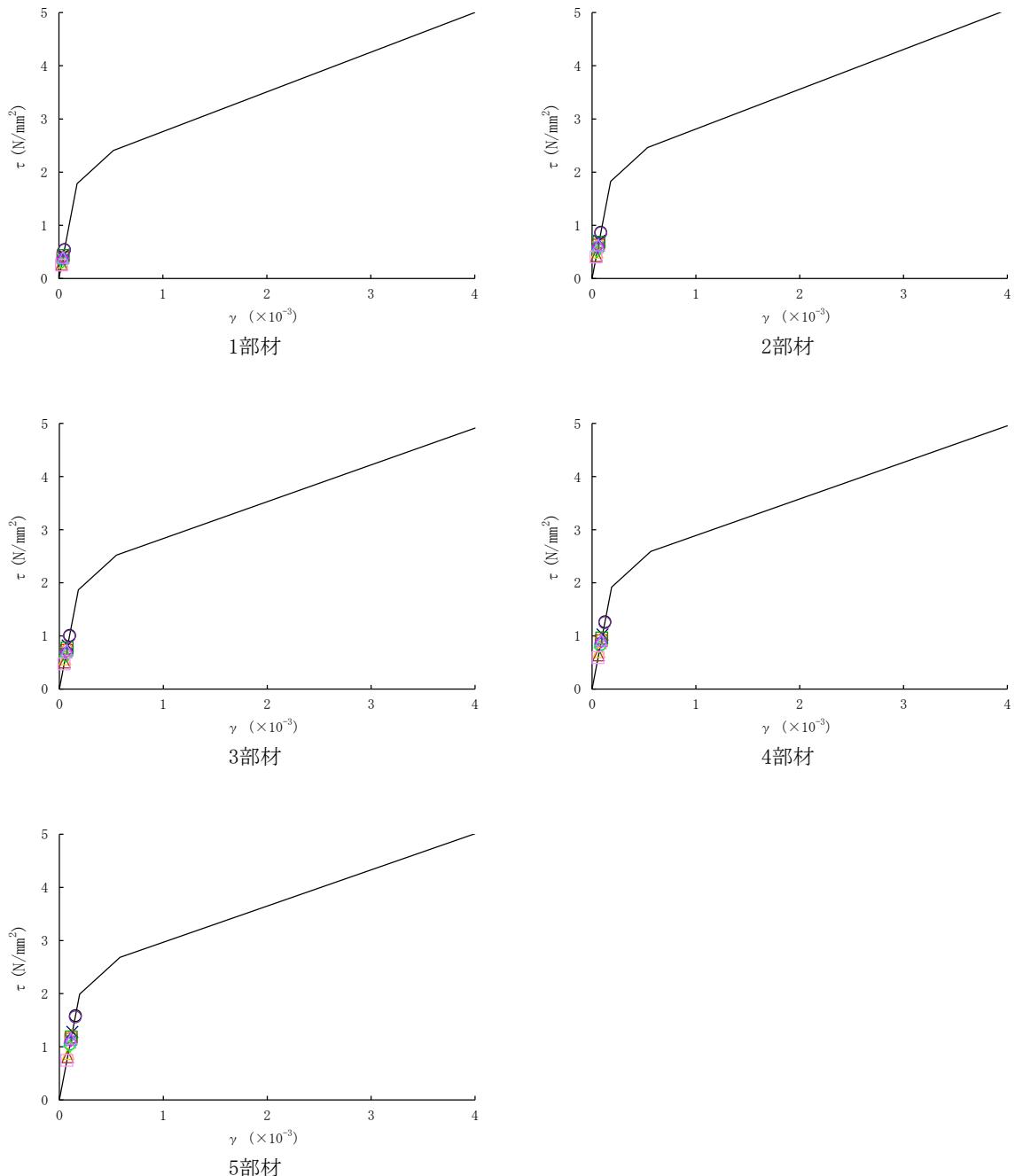
第2-14図 Ss 減衰3%ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-15図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss 減衰3%ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	△ : Ss-2-2	▽ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	△ : Ss-2-8	▽ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	△ : Ss-3-2EW'	▽ : Ss-3-2NS'		



第2-16図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss 減衰3%ケース NS方向)

第2-1表 (1/2) 最大接地圧 Ss 減衰3%ケース

地震動	方向		最大接地圧 <sup>※</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	EW	鉛直上向き	552
		鉛直下向き	578
	NS	鉛直上向き	530
		鉛直下向き	564
Ss-2-1	EW	鉛直上向き	335
		鉛直下向き	369
	NS	鉛直上向き	424
		鉛直下向き	461
Ss-2-2	EW	鉛直上向き	377
		鉛直下向き	408
	NS	鉛直上向き	425
		鉛直下向き	456
Ss-2-3	EW	鉛直上向き	337
		鉛直下向き	382
	NS	鉛直上向き	380
		鉛直下向き	426
Ss-2-4	EW	鉛直上向き	342
		鉛直下向き	388
	NS	鉛直上向き	452
		鉛直下向き	495
Ss-2-5	EW	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	356
	NS	鉛直上向き	429
		鉛直下向き	465
Ss-2-6	EW	鉛直上向き	333
		鉛直下向き	367
	NS	鉛直上向き	416
		鉛直下向き	452
Ss-2-7	EW	鉛直上向き	332
		鉛直下向き	358
	NS	鉛直上向き	435
		鉛直下向き	467

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

第2-1表 (2/2) 最大接地圧 Ss 減衰3%ケース

地震動	方向		最大接地圧 <sup>※</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-2-8	EW	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	456
	NS	鉛直上向き	389
		鉛直下向き	423
Ss-3-1	EW	鉛直上向き	363
		鉛直下向き	415
	NS	鉛直上向き	345
		鉛直下向き	400
Ss-3-2EW	EW	鉛直上向き	452
		鉛直下向き	524
	NS	鉛直上向き	387
		鉛直下向き	467
Ss-3-2NS	EW	鉛直上向き	411
		鉛直下向き	489
	NS	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	500
Ss-1'	EW	鉛直上向き	581
		鉛直下向き	594
	NS	鉛直上向き	524
		鉛直下向き	561
Ss-3-1'	EW	鉛直上向き	345
		鉛直下向き	398
	NS	鉛直上向き	334
		鉛直下向き	395
Ss-3-2EW'	EW	鉛直上向き	398
		鉛直下向き	473
	NS	鉛直上向き	390
		鉛直下向き	471
Ss-3-2NS'	EW	鉛直上向き	407
		鉛直下向き	486
	NS	鉛直上向き	415
		鉛直下向き	490

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

## (参考) 機器・配管系の耐震性への影響評価

### 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合の機器・配管系の耐震性への影響について検討した。

### 2. 検討

#### 2.1 検討方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する機器・配管系の設計に使用している床応答曲線について、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合のケースによる床応答曲線と今回工認モデルによる床応答曲線を比較し、その影響を確認する。

#### 2.2 検討内容

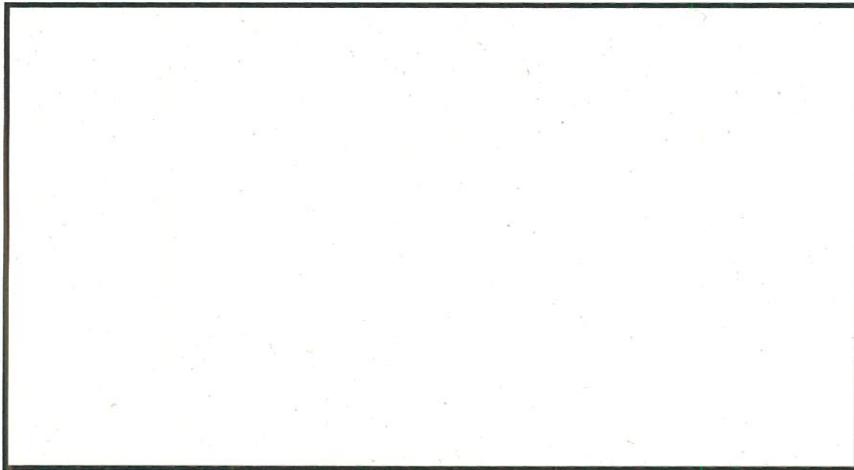
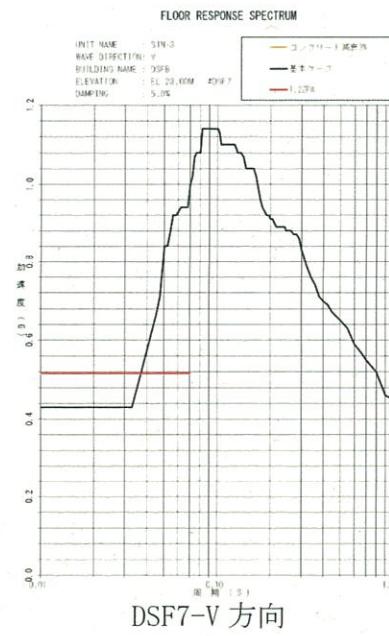
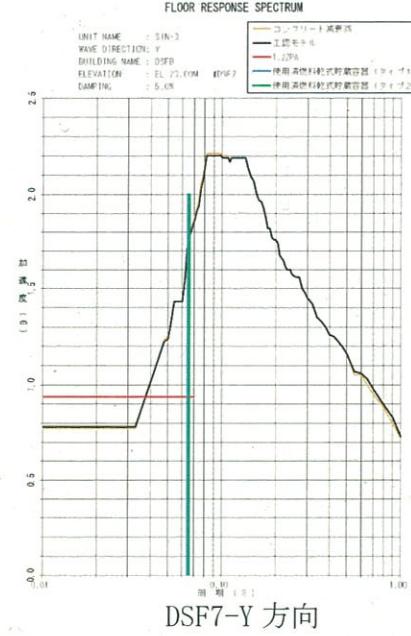
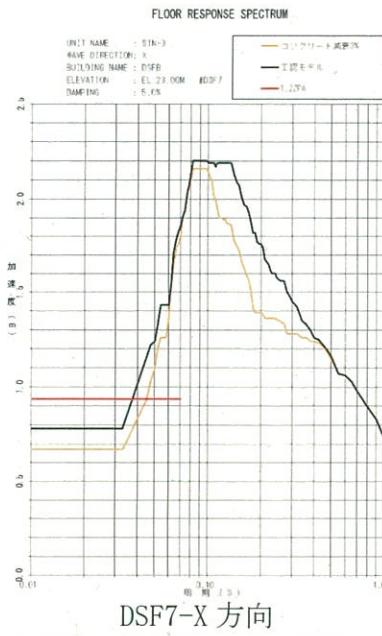
今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器への影響を検討するために、使用済燃料乾式貯蔵容器が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋解析モデルを鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線と、今回工認モデルによる床応答曲線を比較する。

今回工認モデルによる応答を上回る周期帯における使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期の有無を調査し、その周期帯に固有周期が有る場合は応答増分（コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線の読み取り値/今回工認モデルによる設計用床応答曲線の読み取り値）と使用済燃料乾式貯蔵容器が有する耐震裕度（許容値/発生値）の比較から、使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性への影響を確認する。

### 3. 考察

今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器の設置場所である質点7のコンクリート部の減衰定数を3%としたケースの床応答曲線と今回工認モデルによる設計用床応答曲線の比較結果を参考1図に示す。

使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期が有る周期帯において、コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの応答が今回工認モデルの応答を上回ることが確認されたが、応答増分と設備が有する耐震裕度を比較した結果、耐震性への影響はないと判断できた。



水平方向モデル

鉛直方向モデル

方 向		説明
水 平	X 方向	応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。
	Y 方向	コンクリート減衰3%としたケースの応答が超過する周期帯に固有周期がある設備として、使用済燃料乾式貯蔵容器が該当するが、その応答増分は最大1.02であり、資料9-13-1-1「使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震計算書（タイプ1）」に示す発生値と許容値から算出する最小裕度1.61、または資料9-13-1-2「使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震計算書（タイプ2）」に示す発生値と許容値から算出する最小裕度1.61に比べて小さいため、耐震性に影響はないと判断できる。
鉛 直		応答が超過する周期帯に固有周期がある設備はない。

参考 1 図 建屋床応答への影響 (DSF7)

#### 4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、建屋解析モデルを鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%としたケースの応答は、使用済燃料乾式貯蔵容器の固有値の有る周期帯において今回工認モデルによる応答を上回るが、応答増分と設備が有する耐震裕度の比較により、耐震性に有意な影響はないことを確認した。

これより、使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋解析モデルを、鉄筋コンクリート部の減衰定数を3%とした場合において、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性に有意な影響はないことを確認した。

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

### 1-3 地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

目 次

	頁
1. 概要 .....	1-3-1
2. 地震応答解析結果 .....	1-3-1

(参考)機器・配管系の耐震性への影響評価

## 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析は、第1-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮しており、地盤物性の不確かさは、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において、基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度を基本ケースとし、同一岩盤等級である伊方発電所3号機の建設時に試掘坑内で実施した弾性波試験結果に基づき、地盤のせん断波速度の変動係数（標準偏差／平均値）である0.08を変動の比率として考慮している。

本資料は、地盤物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

第1-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度Vs <sup>*</sup> (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数h (%)
基本	1,700	2,700	5
Vs+1 σ	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
Vs-1 σ	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰3%	1,700	2,700	3

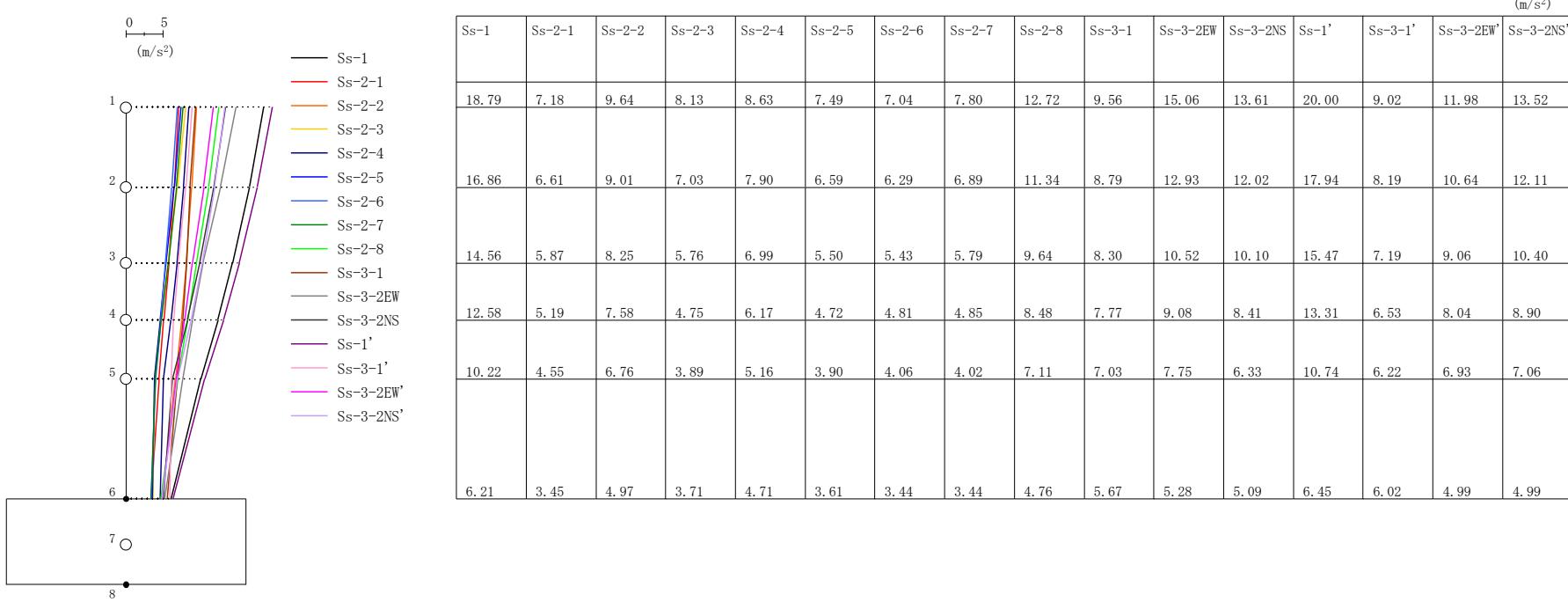
※：基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

( )内は基本ケースに対する比率。

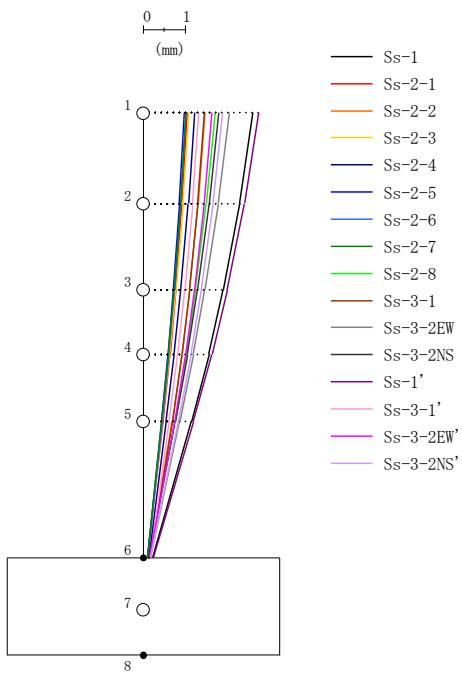
□は本資料で示す地盤物性の不確かさを考慮した解析ケース。

## 2. 地震応答解析結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地盤物性の不確かさを考慮した基準地震動Ssに対する地震応答解析結果について、Vs+1 σ ケースの解析結果を第2-1図～第2-16図及び第2-1表に、Vs-1 σ ケースの解析結果を第2-17図～第2-32図及び第2-2表に示す。

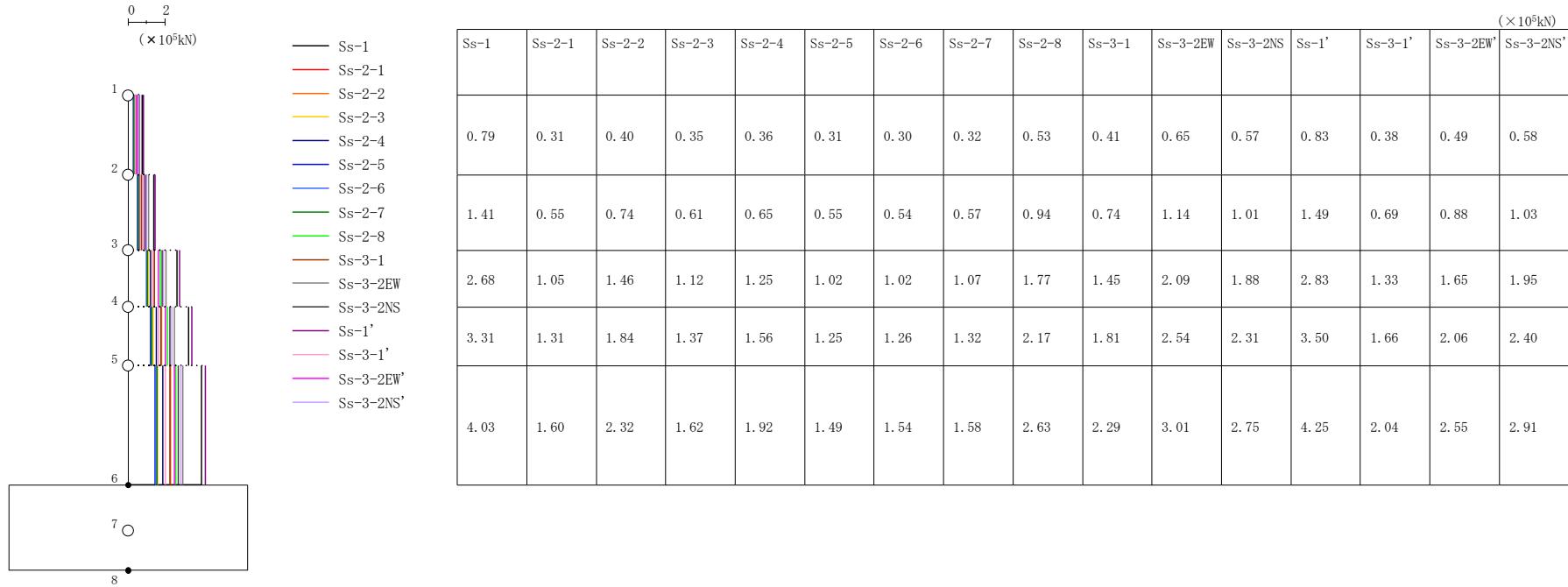
第2-1図 Ss Vs+1  $\sigma$  ケース EW方向 最大応答加速度

1  
1-3-3  
1

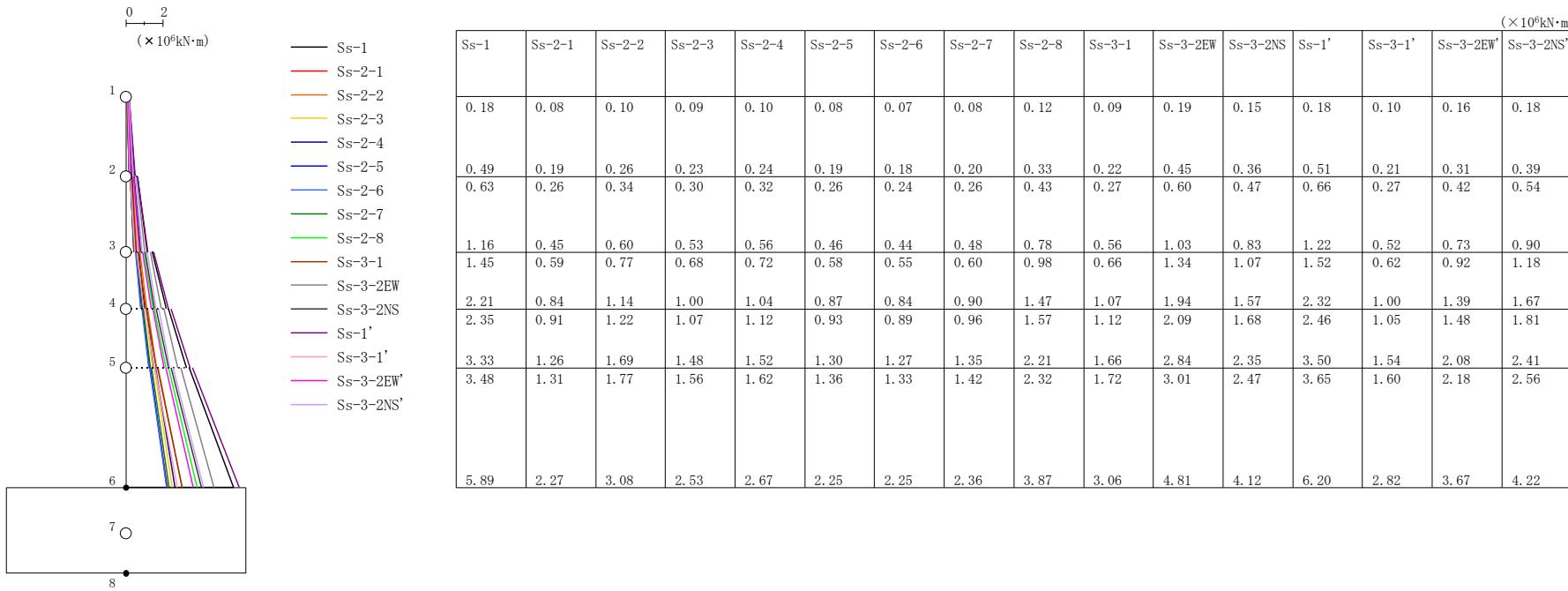


(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.637	1.057	1.481	1.101	1.231	0.994	1.025	1.038	1.726	1.479	2.075	1.814	2.772	1.340	1.653	1.911
2.318	0.934	1.320	0.960	1.088	0.871	0.904	0.908	1.515	1.316	1.807	1.588	2.435	1.189	1.467	1.681
1.926	0.783	1.119	0.789	0.911	0.720	0.754	0.749	1.260	1.112	1.484	1.310	2.021	1.001	1.236	1.398
1.581	0.649	0.934	0.643	0.752	0.596	0.622	0.611	1.043	0.929	1.209	1.067	1.657	0.832	1.027	1.148
1.159	0.483	0.704	0.467	0.555	0.443	0.461	0.443	0.773	0.705	0.880	0.773	1.211	0.624	0.767	0.843
0.235	0.111	0.170	0.106	0.142	0.103	0.105	0.107	0.165	0.175	0.186	0.151	0.246	0.177	0.166	0.172

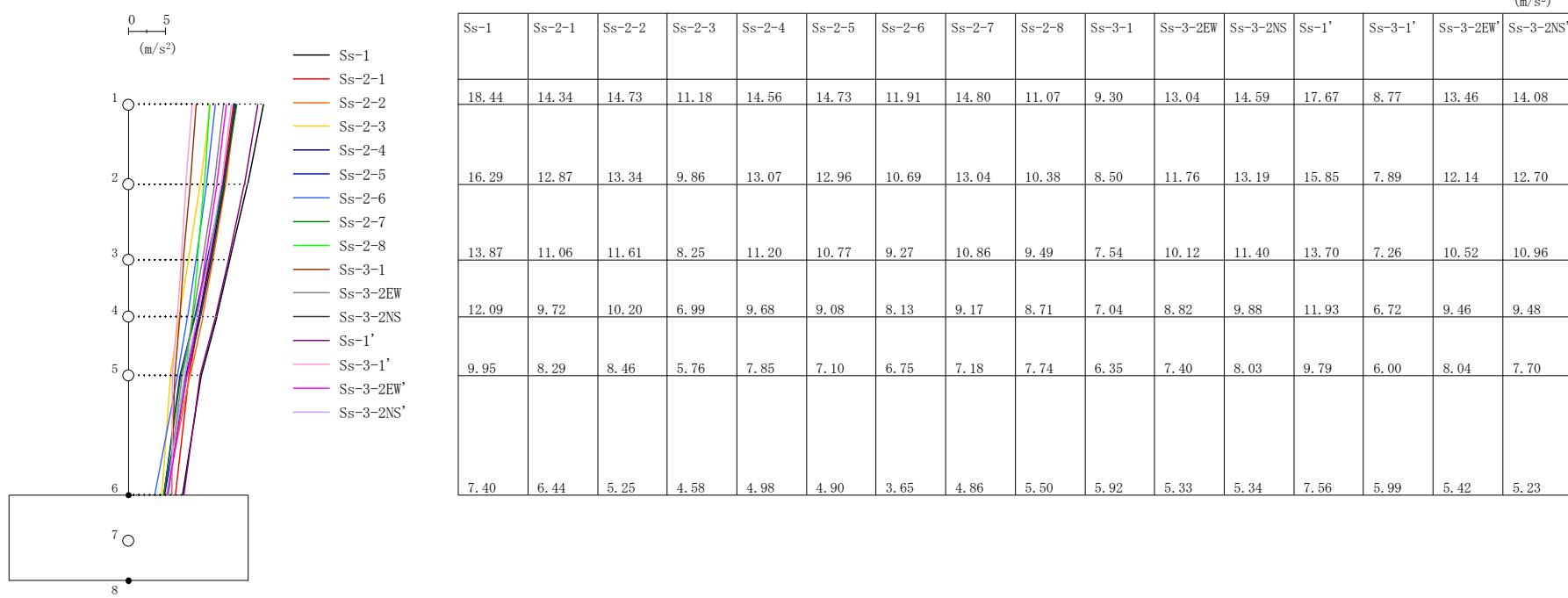
第2-2図 Ss Vs+1  $\sigma$  ケース EW方向 最大応答変位

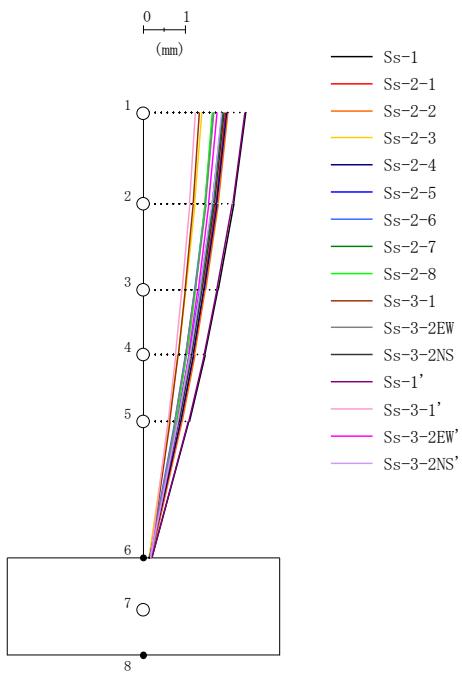


第2-3図 Ss Vs+1 σ ケース EW方向 最大応答せん断力



第2-4図 Ss Vs+1 σ ケース EW方向 最大応答曲げモーメント

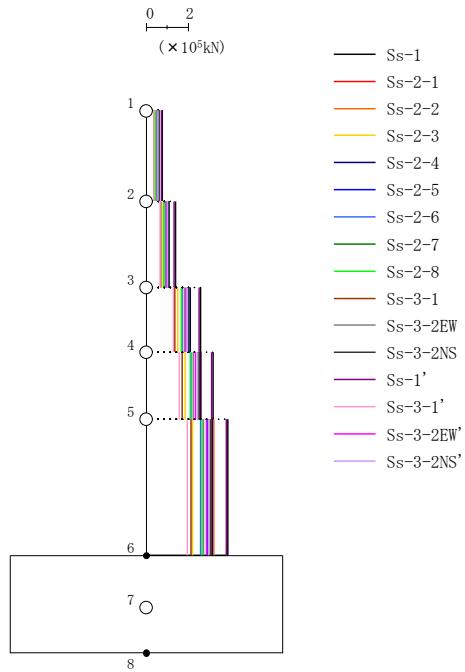
第2-5図 Ss Vs+1  $\sigma$  ケース NS方向 最大応答加速度



	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
	2.463	1.982	2.034	1.416	2.011	1.902	1.687	1.925	1.661	1.357	1.701	1.945	2.433	1.261	1.773	1.876
	2.174	1.754	1.801	1.244	1.772	1.663	1.489	1.685	1.485	1.209	1.506	1.714	2.146	1.120	1.572	1.652
	1.797	1.457	1.496	1.023	1.462	1.357	1.233	1.376	1.252	1.013	1.248	1.414	1.773	0.934	1.319	1.362
	1.488	1.213	1.244	0.845	1.209	1.112	1.024	1.128	1.053	0.850	1.033	1.167	1.467	0.781	1.104	1.123
	1.107	0.912	0.932	0.628	0.899	0.813	0.767	0.827	0.802	0.646	0.767	0.863	1.091	0.595	0.833	0.831
	0.223	0.202	0.193	0.147	0.176	0.156	0.163	0.158	0.190	0.176	0.170	0.184	0.220	0.174	0.178	0.178

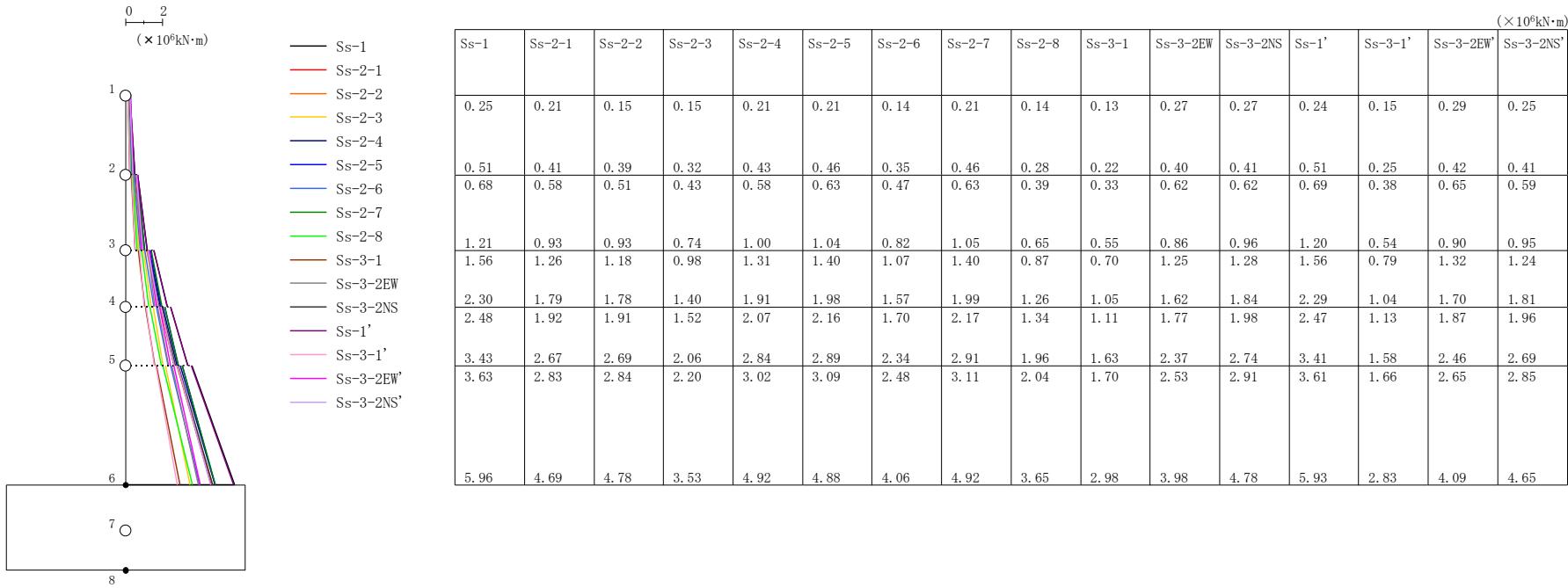
第2-6図 Ss Vs+1  $\sigma$  ケース NS方向 最大応答変位

1 3 8 1

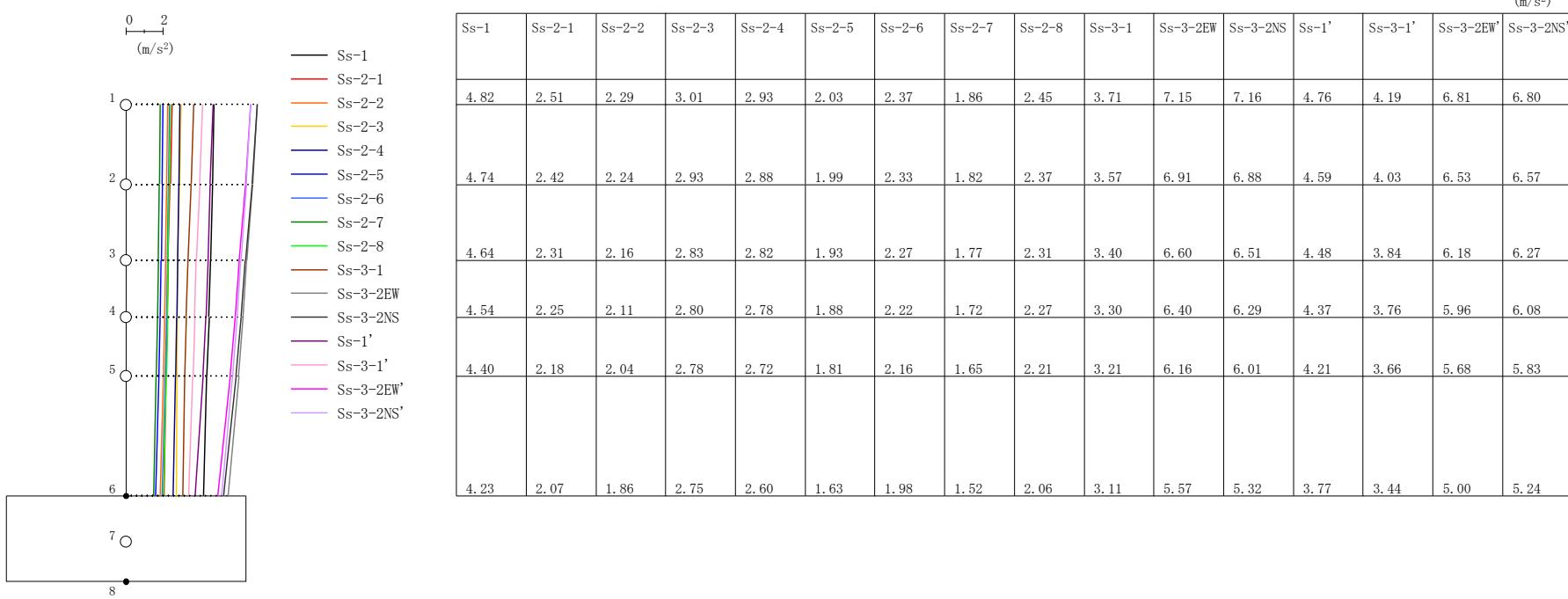


Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS'
0.79	0.60	0.62	0.46	0.62	0.62	0.52	0.62	0.47	0.40	0.54	0.60	0.76	0.38	0.56	0.58
1.40	1.08	1.11	0.81	1.12	1.10	0.92	1.11	0.86	0.72	0.97	1.08	1.34	0.68	1.00	1.05
2.61	2.05	2.12	1.52	2.11	2.03	1.75	2.05	1.70	1.39	1.84	2.07	2.55	1.30	1.90	1.99
3.20	2.54	2.64	1.86	2.61	2.49	2.16	2.52	2.14	1.74	2.28	2.56	3.16	1.61	2.36	2.46
3.91	3.10	3.23	2.24	3.17	2.99	2.63	3.02	2.69	2.14	2.77	3.12	3.85	2.00	2.89	3.00

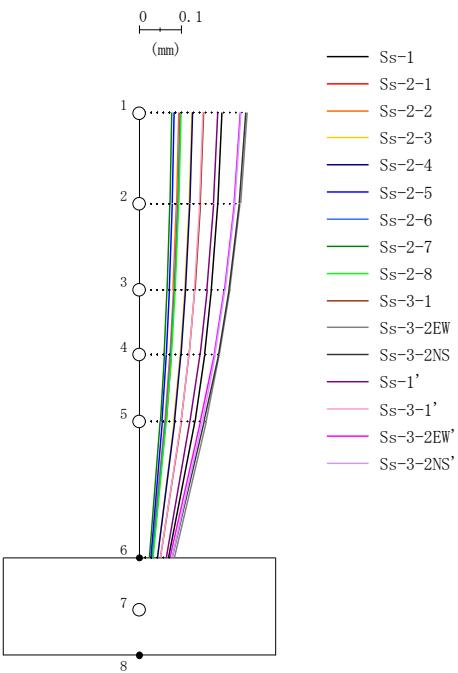
第2-7図 Ss Vs+1 σ ケース NS方向 最大応答せん断力



第2-8図 Ss Vs+1 σ ケース NS方向 最大応答曲げモーメント

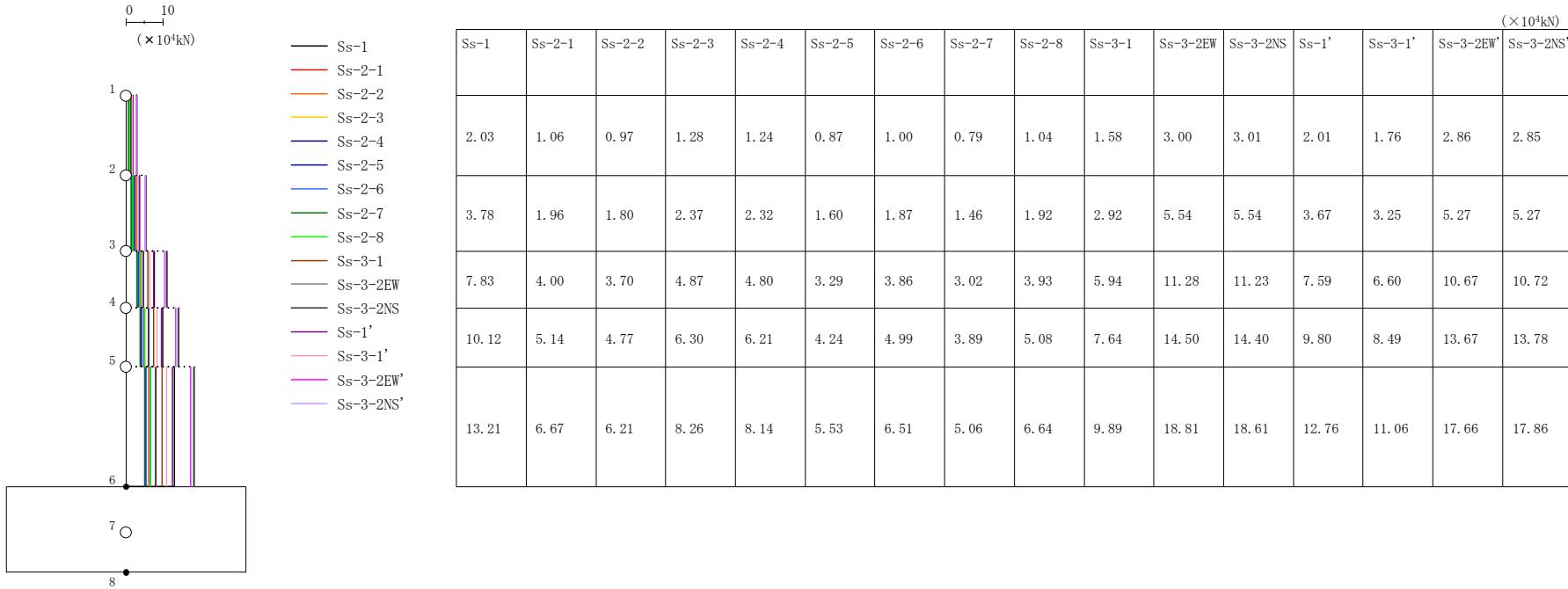


第2-9図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度

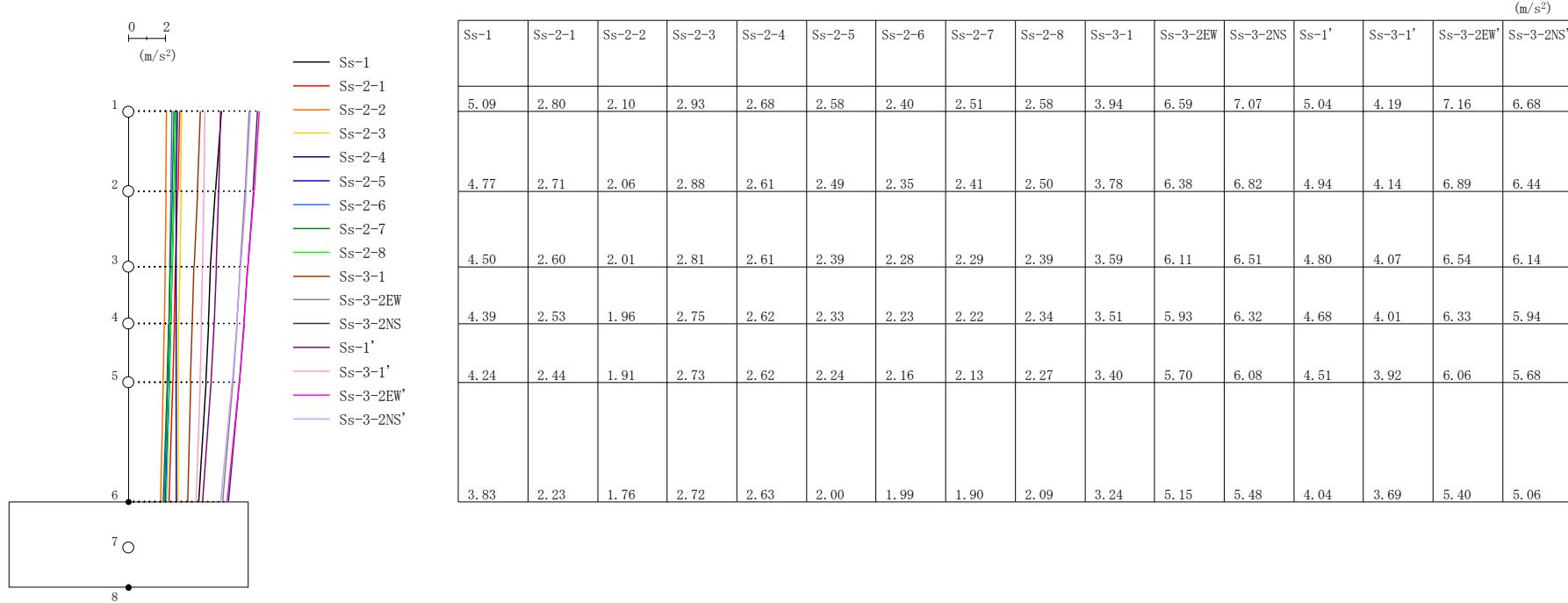


(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.199	0.099	0.095	0.127	0.128	0.085	0.099	0.078	0.100	0.155	0.258	0.257	0.189	0.154	0.243	0.245
0.189	0.093	0.090	0.121	0.122	0.080	0.094	0.074	0.095	0.147	0.243	0.241	0.179	0.146	0.228	0.230
0.174	0.085	0.082	0.110	0.111	0.073	0.085	0.067	0.087	0.134	0.218	0.216	0.163	0.133	0.205	0.206
0.157	0.077	0.074	0.099	0.101	0.066	0.077	0.060	0.078	0.120	0.193	0.191	0.146	0.120	0.181	0.183
0.134	0.065	0.062	0.084	0.085	0.055	0.064	0.051	0.065	0.101	0.162	0.156	0.122	0.101	0.147	0.152
0.071	0.033	0.030	0.044	0.044	0.028	0.033	0.025	0.034	0.051	0.085	0.079	0.066	0.052	0.074	0.080

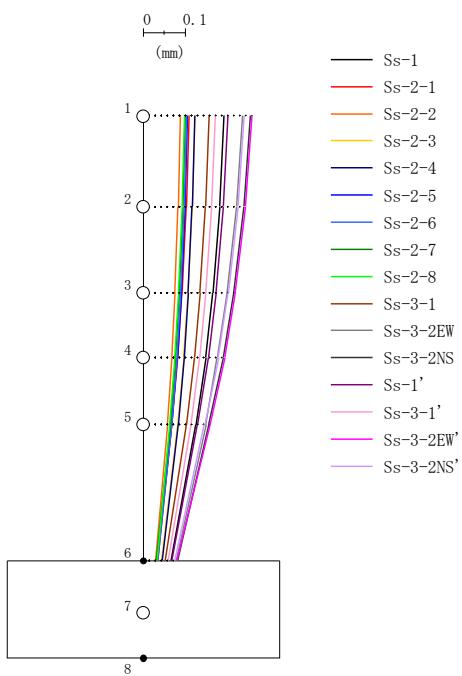
第2-10図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位



第2-11図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力

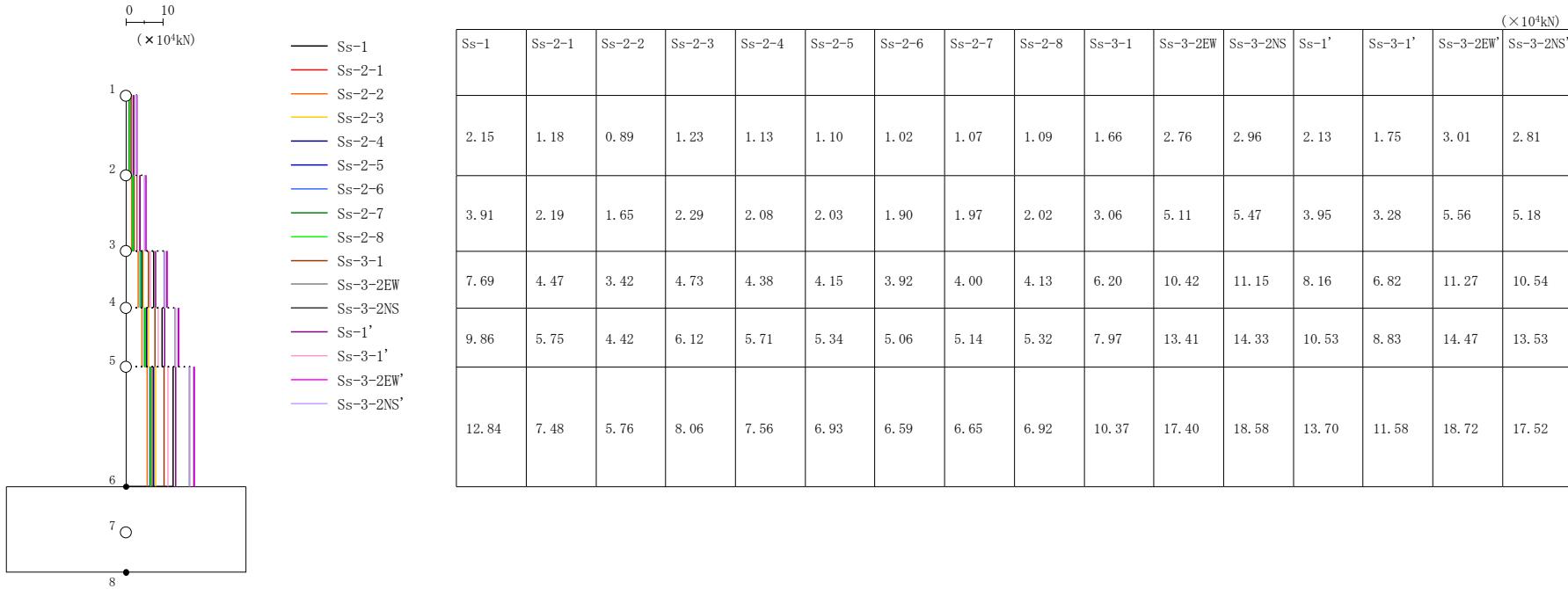


第2-12図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度



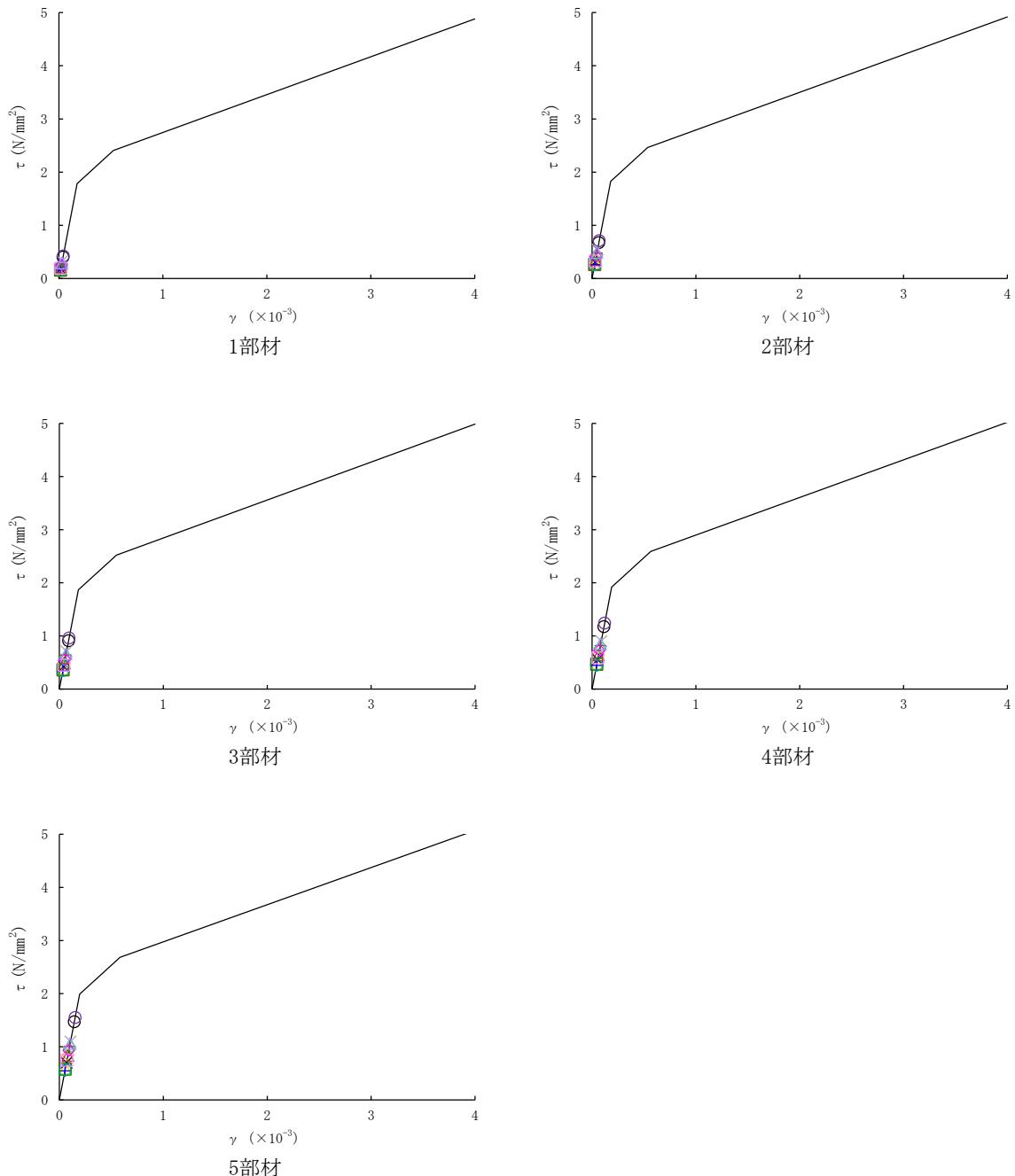
(mm)															
Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
0.194	0.110	0.089	0.125	0.123	0.107	0.104	0.101	0.100	0.158	0.238	0.257	0.204	0.173	0.261	0.242
0.184	0.104	0.084	0.119	0.118	0.101	0.098	0.095	0.094	0.150	0.224	0.242	0.193	0.164	0.246	0.228
0.167	0.094	0.077	0.108	0.108	0.092	0.090	0.087	0.085	0.137	0.201	0.218	0.175	0.150	0.221	0.205
0.150	0.084	0.069	0.098	0.099	0.083	0.081	0.078	0.076	0.123	0.178	0.193	0.157	0.135	0.196	0.181
0.126	0.070	0.058	0.083	0.084	0.070	0.068	0.065	0.063	0.104	0.151	0.157	0.131	0.115	0.160	0.148
0.067	0.036	0.030	0.044	0.046	0.034	0.035	0.031	0.033	0.053	0.079	0.083	0.070	0.060	0.081	0.077

第2-13図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位



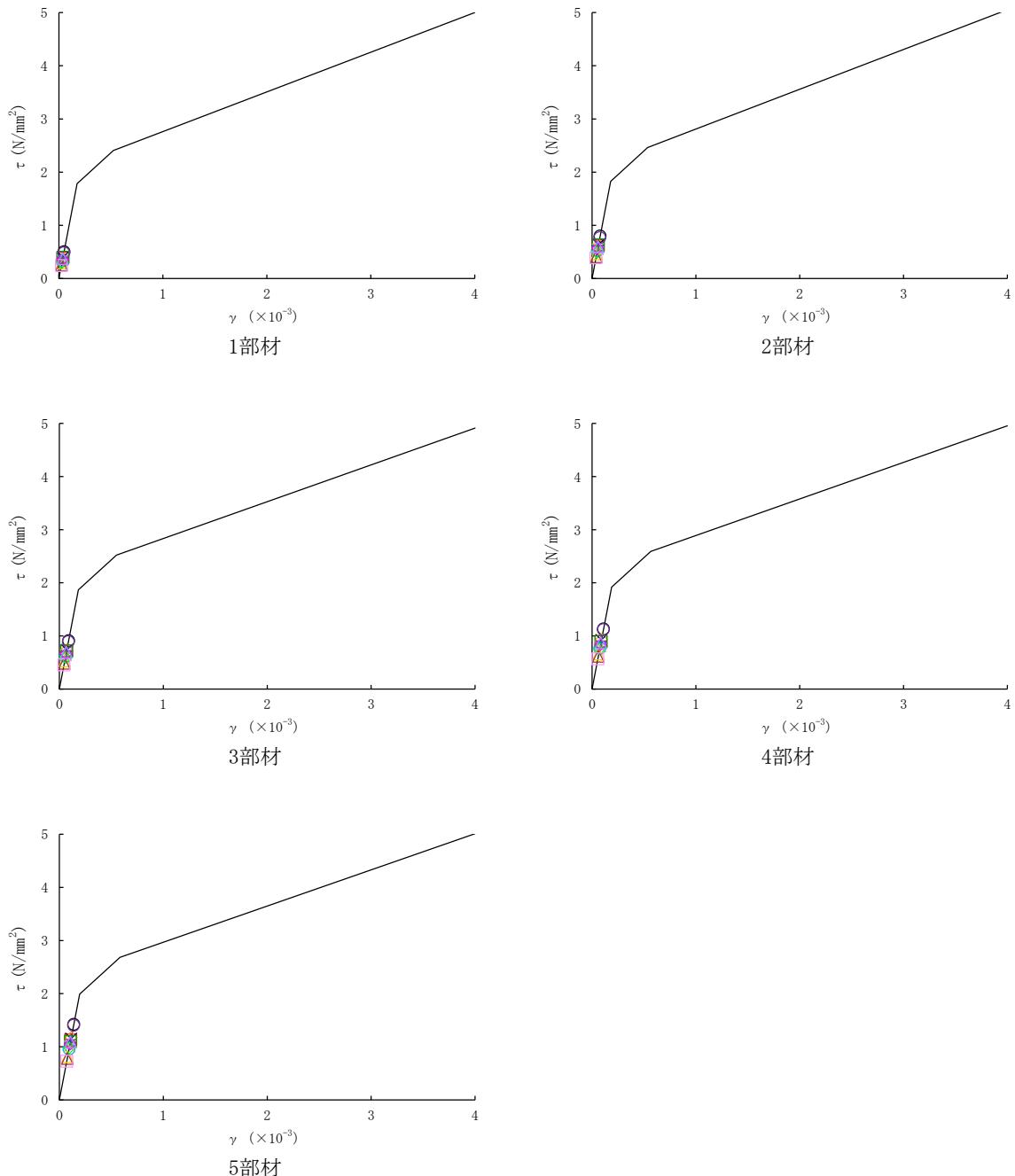
第2-14図 Ss Vs+1 σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	△ : Ss-2-2	▽ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	△ : Ss-2-8	▽ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	△ : Ss-3-2EW'	▽ : Ss-3-2NS'		



第2-15図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss Vs+1  $\sigma$  ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	△ : Ss-2-2	▽ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	△ : Ss-2-8	▽ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	△ : Ss-3-2EW'	▽ : Ss-3-2NS'		



第2-16図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss Vs+1  $\sigma$  ケース NS方向)

第2-1表 (1/2) 最大接地圧 Ss Vs+1 σ ケース

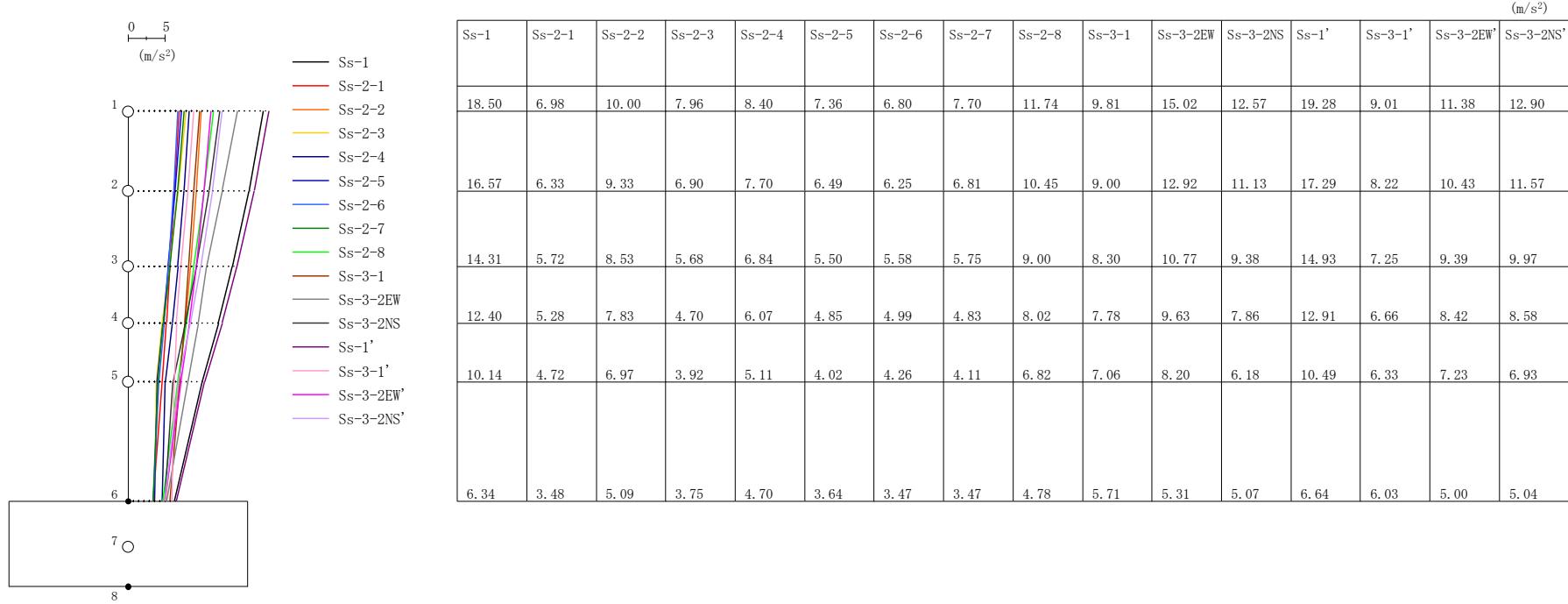
地震動	方向		最大接地圧 <sup>※</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	EW	鉛直上向き	501
		鉛直下向き	547
	NS	鉛直上向き	479
		鉛直下向き	531
Ss-2-1	EW	鉛直上向き	328
		鉛直下向き	361
	NS	鉛直上向き	411
		鉛直下向き	448
Ss-2-2	EW	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	401
	NS	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	452
Ss-2-3	EW	鉛直上向き	324
		鉛直下向き	370
	NS	鉛直上向き	365
		鉛直下向き	411
Ss-2-4	EW	鉛直上向き	338
		鉛直下向き	384
	NS	鉛直上向き	424
		鉛直下向き	471
Ss-2-5	EW	鉛直上向き	320
		鉛直下向き	349
	NS	鉛直上向き	414
		鉛直下向き	450
Ss-2-6	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	357
	NS	鉛直上向き	395
		鉛直下向き	431
Ss-2-7	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	349
	NS	鉛直上向き	419
		鉛直下向き	452

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

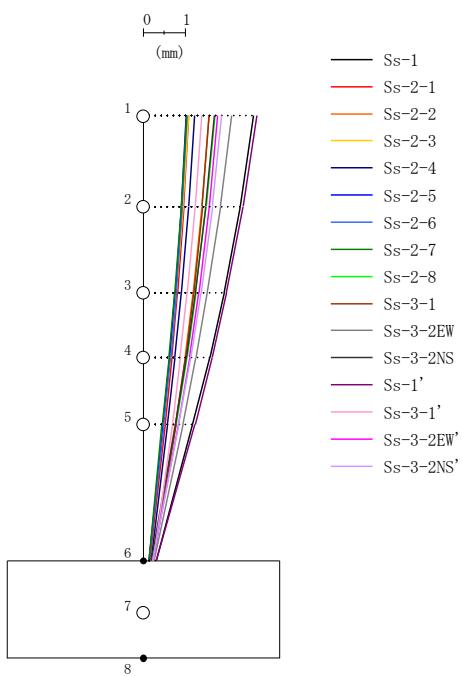
第2-1表 (2/2) 最大接地圧 Ss Vs+1 σ ケース

地震動	方向		最大接地圧 <sup>*</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-2-8	EW	鉛直上向き	401
		鉛直下向き	436
	NS	鉛直上向き	383
		鉛直下向き	417
Ss-3-1	EW	鉛直上向き	359
		鉛直下向き	413
	NS	鉛直上向き	338
		鉛直下向き	394
Ss-3-2EW	EW	鉛直上向き	421
		鉛直下向き	503
	NS	鉛直上向き	366
		鉛直下向き	448
Ss-3-2NS	EW	鉛直上向き	375
		鉛直下向き	458
	NS	鉛直上向き	389
		鉛直下向き	474
Ss-1'	EW	鉛直上向き	518
		鉛直下向き	556
	NS	鉛直上向き	474
		鉛直下向き	530
Ss-3-1'	EW	鉛直上向き	341
		鉛直下向き	395
	NS	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	389
Ss-3-2EW'	EW	鉛直上向き	374
		鉛直下向き	451
	NS	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	453
Ss-3-2NS'	EW	鉛直上向き	393
		鉛直下向き	476
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	465

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

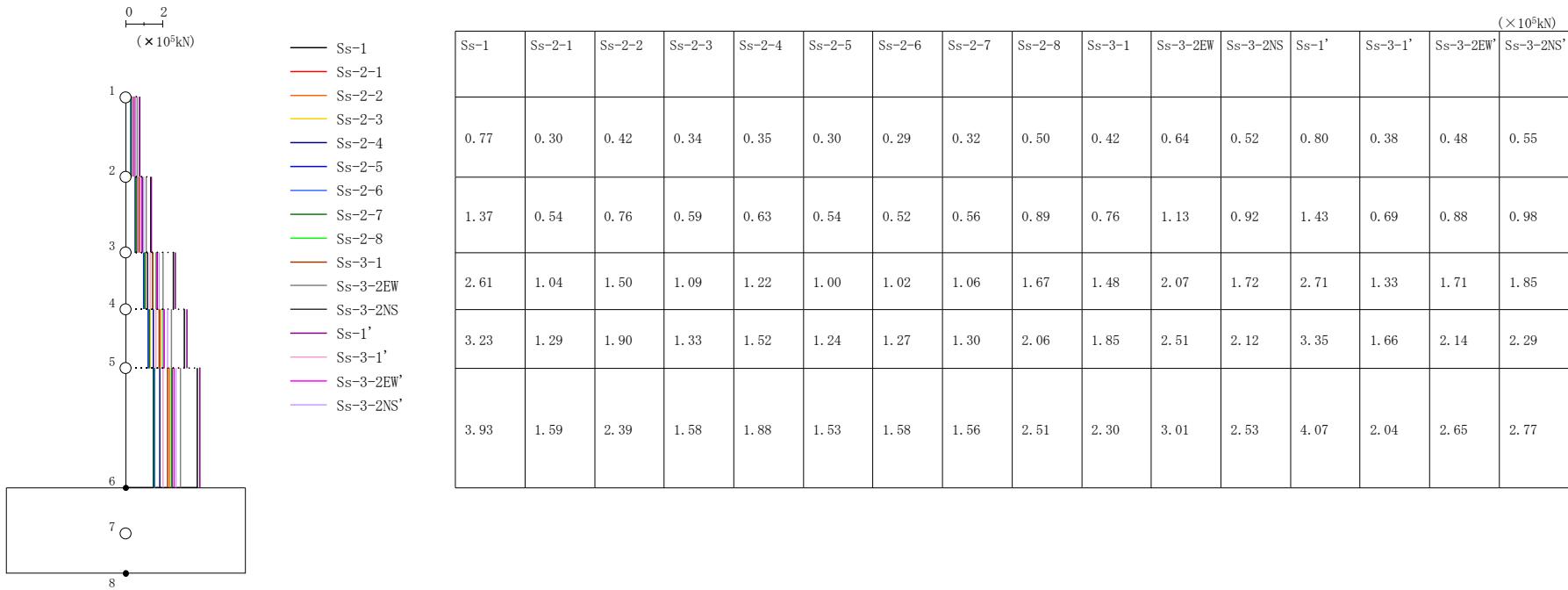


第2-17図 Ss Vs-1 σ ケース EW方向 最大応答加速度

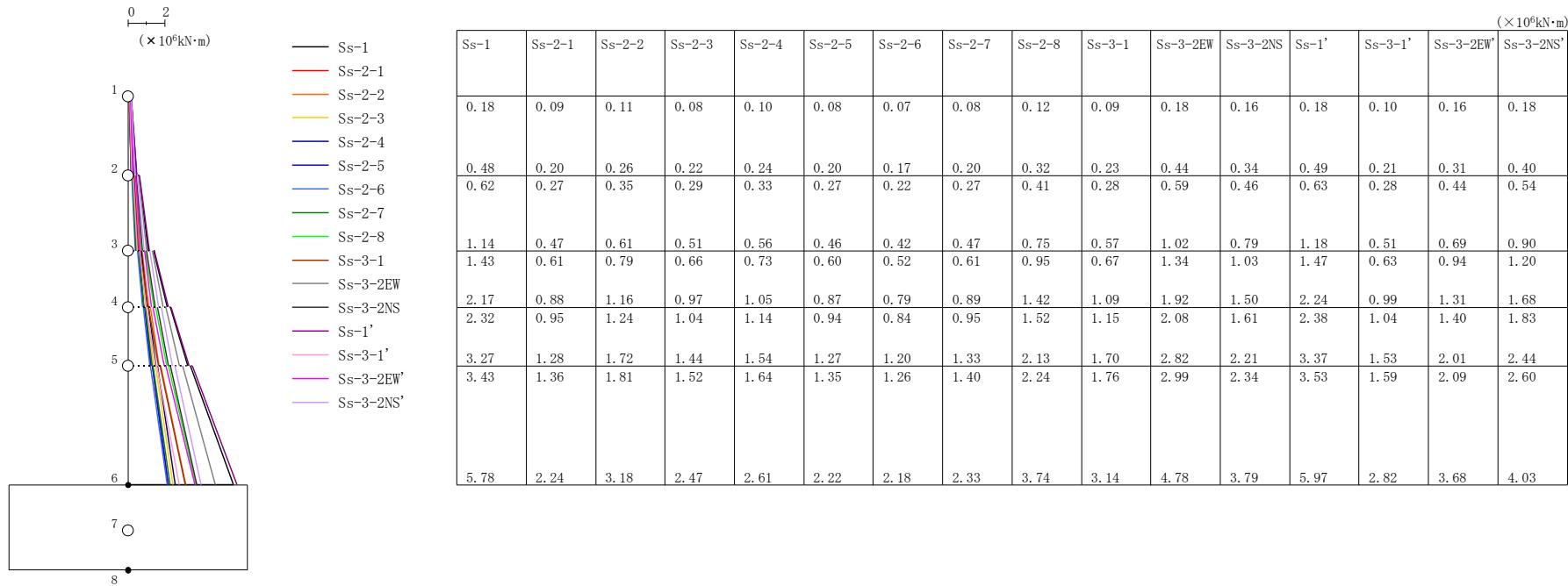


	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.647		1.102	1.588	1.102	1.239	1.027	1.060	1.048	1.718	1.592	2.123	1.717	2.724	1.405	1.782	1.885
2.330		0.979	1.419	0.964	1.099	0.913	0.942	0.918	1.512	1.422	1.853	1.509	2.396	1.252	1.583	1.663
1.942		0.829	1.208	0.796	0.924	0.770	0.796	0.760	1.263	1.211	1.529	1.257	1.995	1.062	1.338	1.390
1.601		0.695	1.015	0.652	0.767	0.642	0.665	0.623	1.052	1.021	1.264	1.044	1.654	0.891	1.118	1.150
1.186		0.530	0.775	0.480	0.585	0.484	0.503	0.456	0.796	0.786	0.955	0.783	1.250	0.702	0.845	0.856
0.319		0.156	0.238	0.145	0.192	0.142	0.144	0.149	0.219	0.241	0.261	0.198	0.329	0.244	0.226	0.230

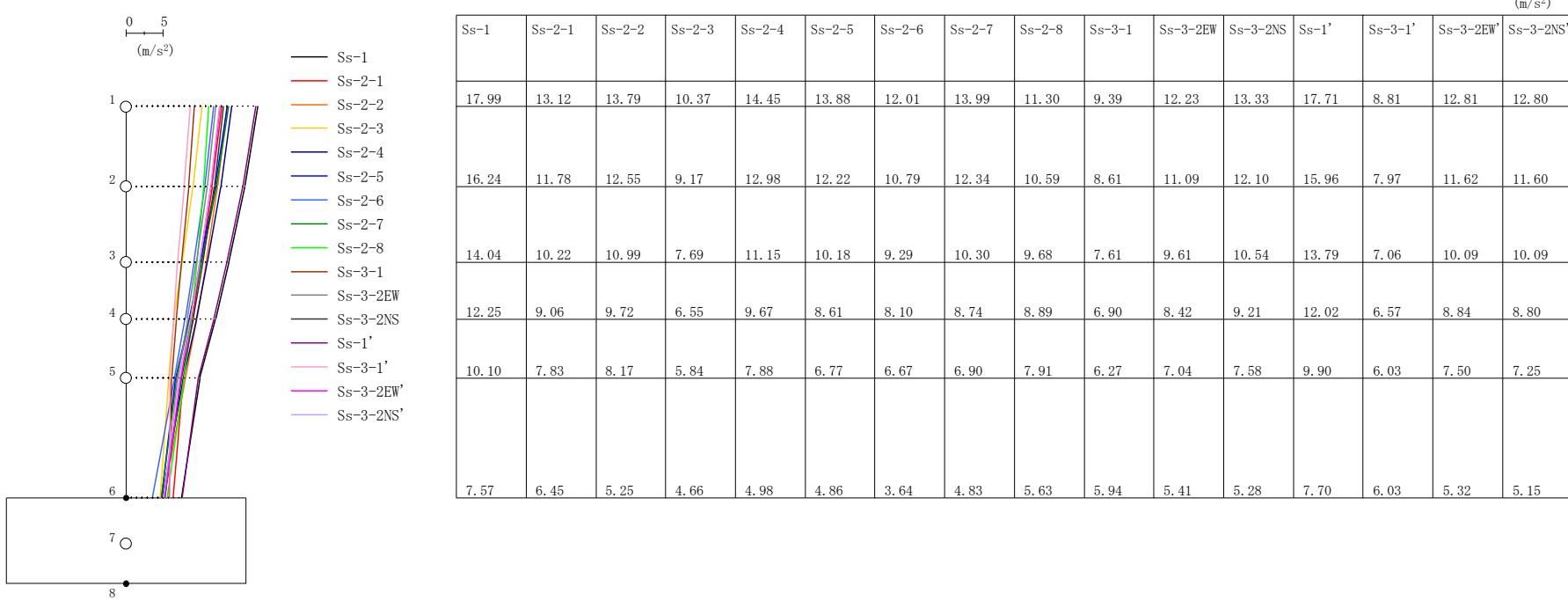
第2-18図 Ss Vs-1  $\sigma$  ケース EW方向 最大応答変位

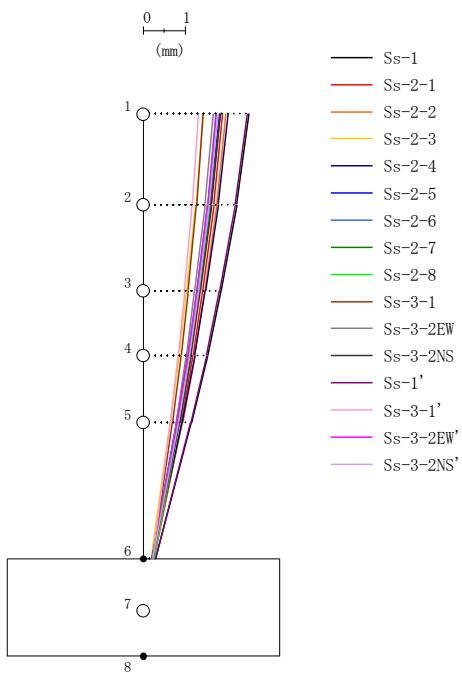


第2-19図 Ss Vs-1 σ ケース EW方向 最大応答せん断力



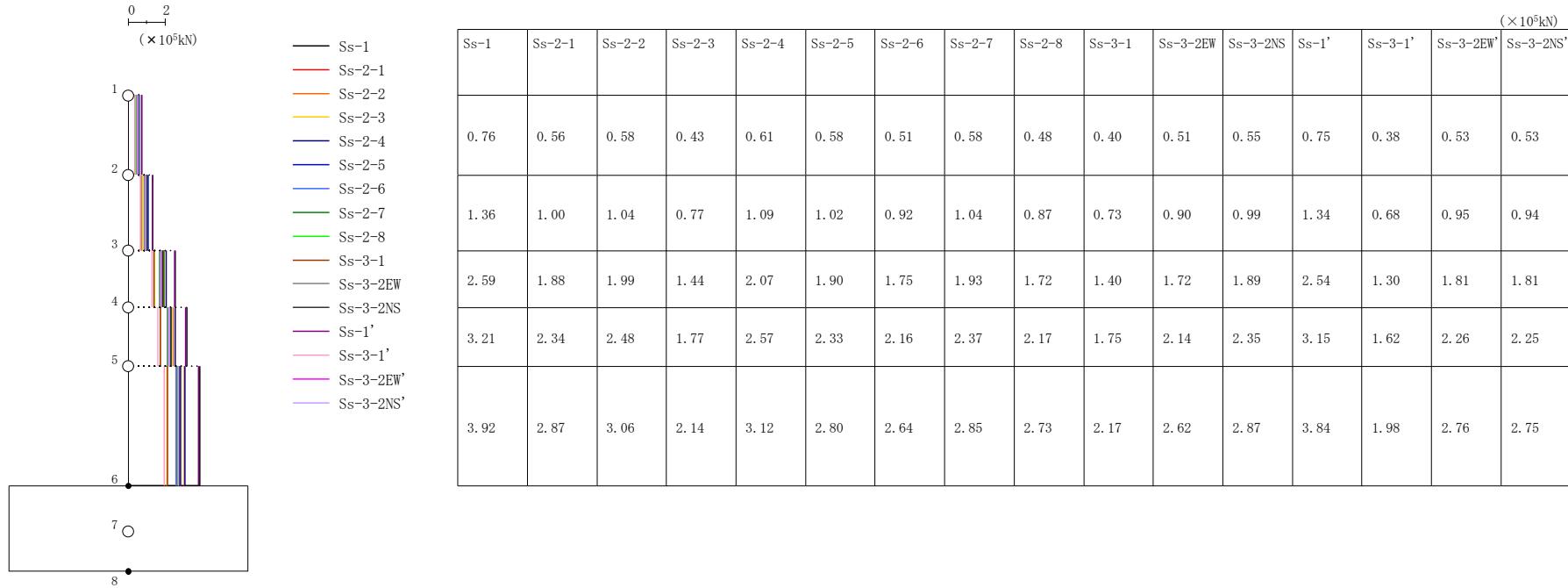
第2-20図 Ss Vs-1 σ ケース EW方向 最大応答曲げモーメント

第2-21図 Ss Vs-1  $\sigma$  ケース NS方向 最大応答加速度

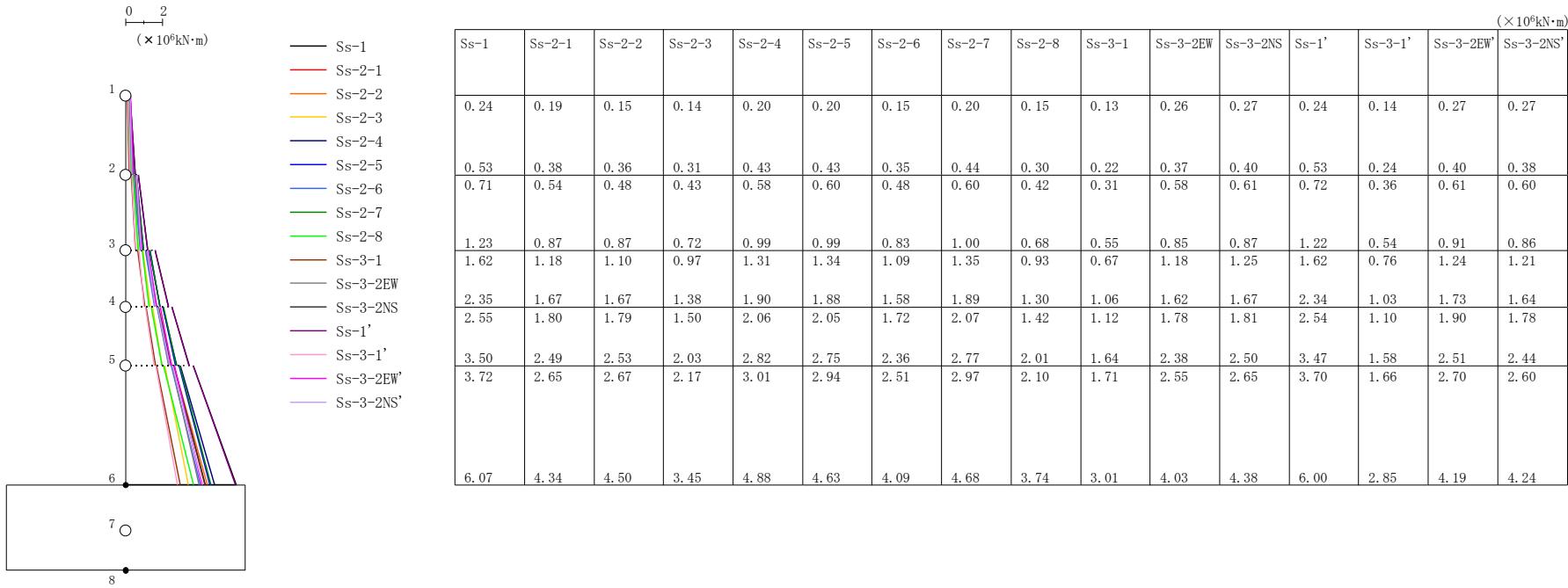


	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'
2.544		1.914	1.994	1.438	2.040	1.827	1.751	1.860	1.761	1.435	1.683	1.861	2.499	1.329	1.743	1.793
2.247			1.773	1.267	1.802	1.600	1.550	1.630	1.580	1.284	1.484	1.650	2.207	1.186	1.550	1.590
1.864		1.430	1.485	1.049	1.494	1.310	1.291	1.337	1.340	1.085	1.229	1.378	1.830	0.998	1.293	1.327
1.550		1.204	1.246	0.872	1.242	1.078	1.080	1.101	1.135	0.919	1.039	1.155	1.521	0.843	1.080	1.112
1.165		0.925	0.950	0.658	0.933	0.795	0.819	0.815	0.878	0.711	0.801	0.881	1.142	0.660	0.823	0.848
0.311		0.265	0.252	0.202	0.232	0.208	0.209	0.208	0.265	0.241	0.228	0.237	0.305	0.238	0.233	0.228

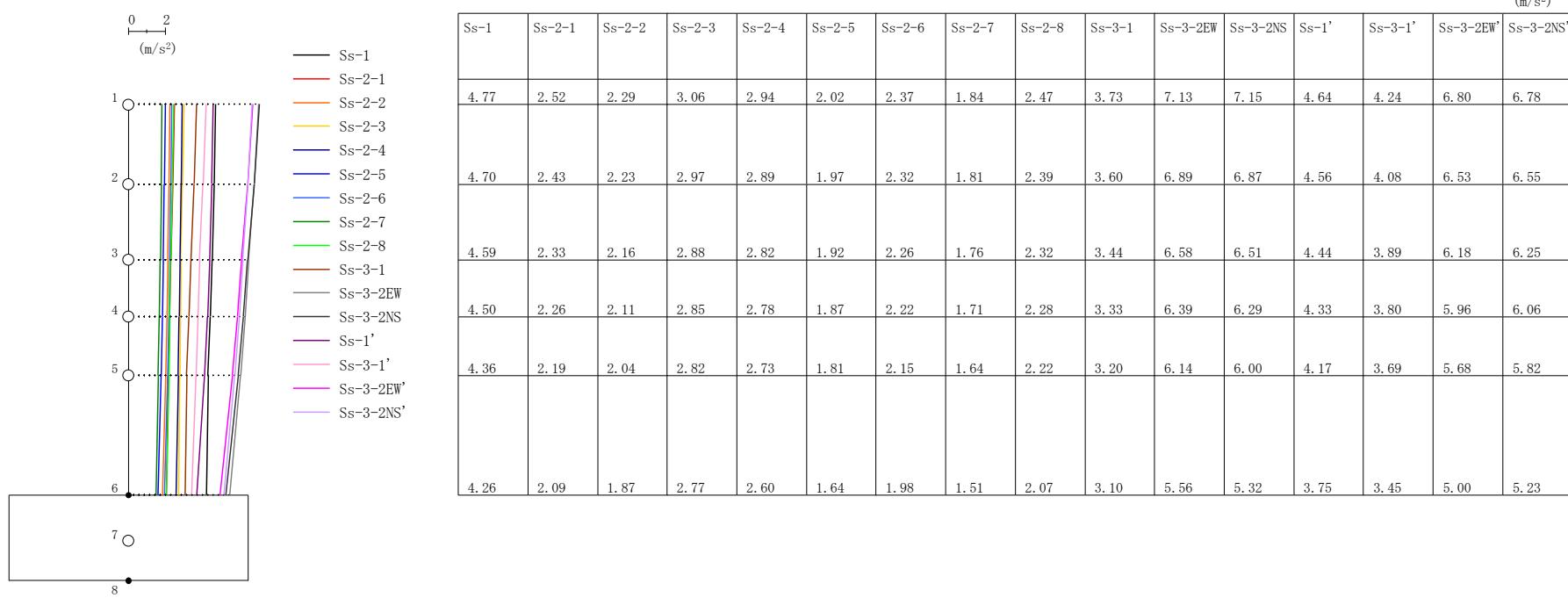
第2-22図 Ss Vs-1 σ ケース NS方向 最大応答変位

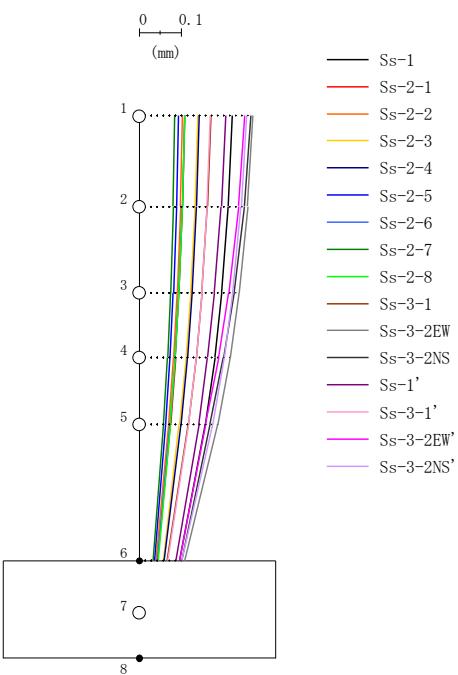


第2-23図 Ss Vs-1 σ ケース NS方向 最大応答せん断力



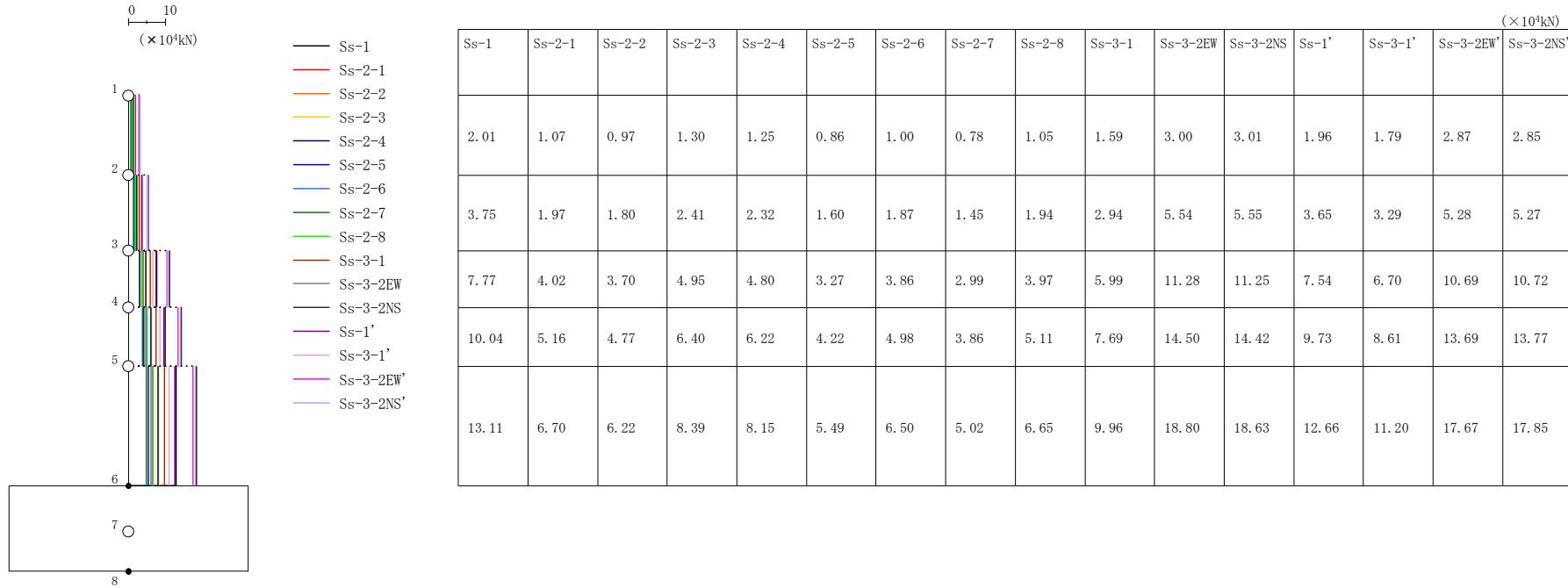
第2-24図 Ss Vs-1 σ ケース NS方向 最大応答曲げモーメント

第2-25図 Ss Vs-1  $\sigma$  ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答加速度

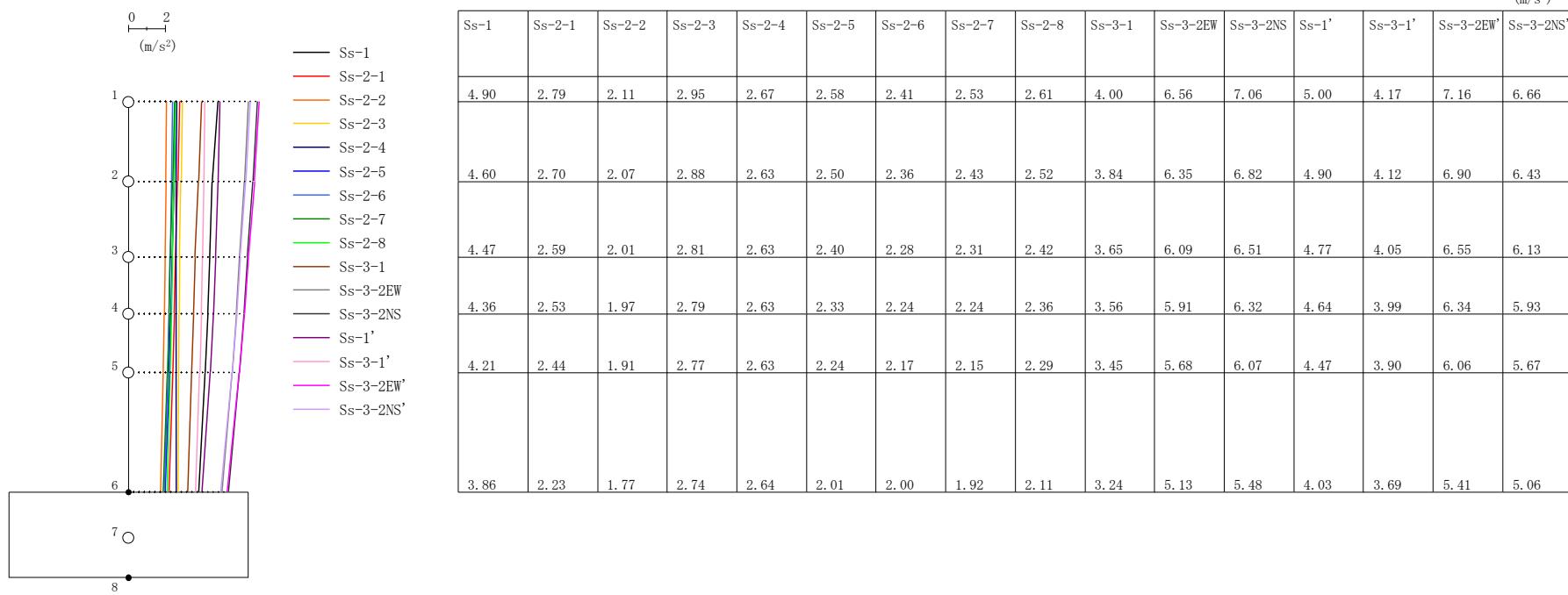


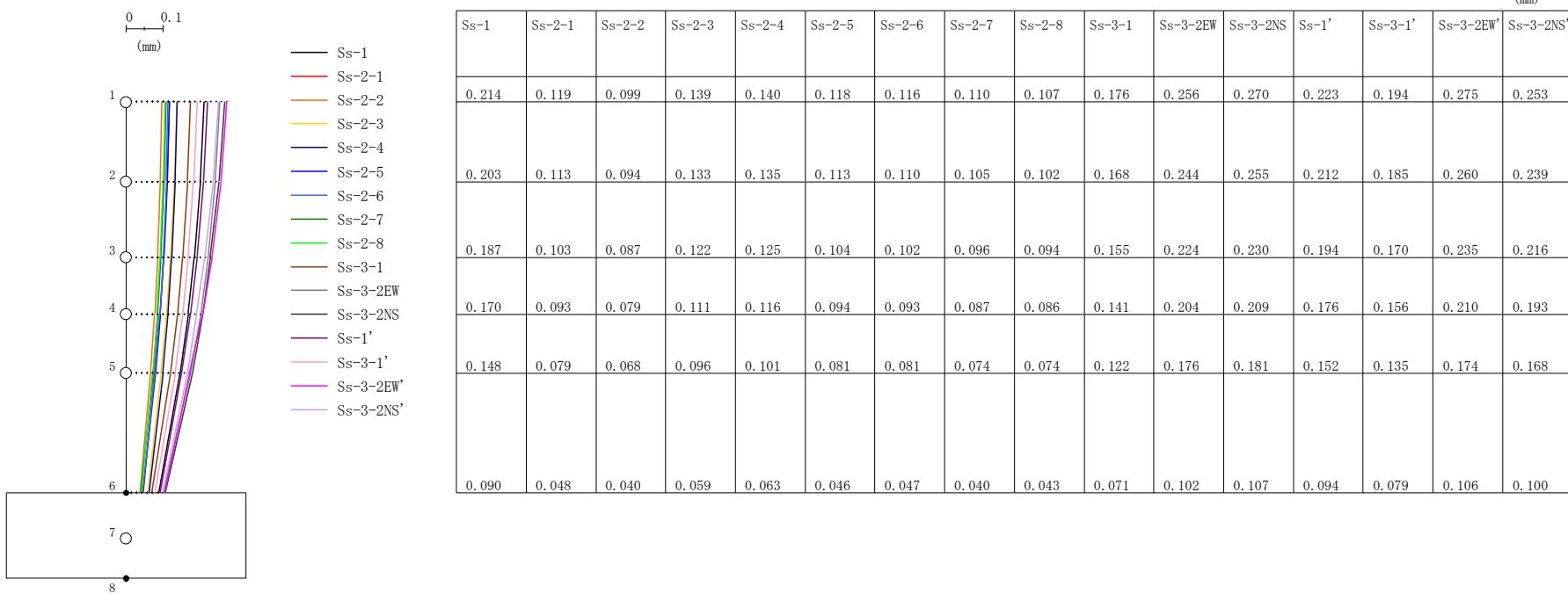
	(mm)																	
	Ss-1	Ss-2-1	Ss-2-2	Ss-2-3	Ss-2-4	Ss-2-5	Ss-2-6	Ss-2-7	Ss-2-8	Ss-3-1	Ss-3-2EW	Ss-3-2NS	Ss-1'	Ss-3-1'	Ss-3-2EW'	Ss-3-2NS'		
0.224		0.110	0.104	0.141	0.144	0.094	0.109	0.086	0.110	0.172	0.274	0.268	0.207	0.171	0.254	0.257		
0.214			0.104	0.099	0.134	0.137	0.089	0.104	0.082	0.105	0.163	0.260	0.253	0.197	0.163	0.239	0.245	
0.198				0.091	0.123	0.127	0.082	0.095	0.075	0.096	0.150	0.239	0.228	0.181	0.150	0.215	0.225	
0.182					0.112	0.116	0.075	0.087	0.069	0.088	0.137	0.218	0.203	0.164	0.137	0.192	0.205	
0.159					0.097	0.101	0.065	0.074	0.059	0.075	0.118	0.189	0.170	0.144	0.118	0.159	0.177	
0.097						0.059	0.061	0.038	0.045	0.034	0.046	0.067	0.110	0.103	0.088	0.068	0.096	0.103

第2-26図 Ss Vs-1 σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答変位

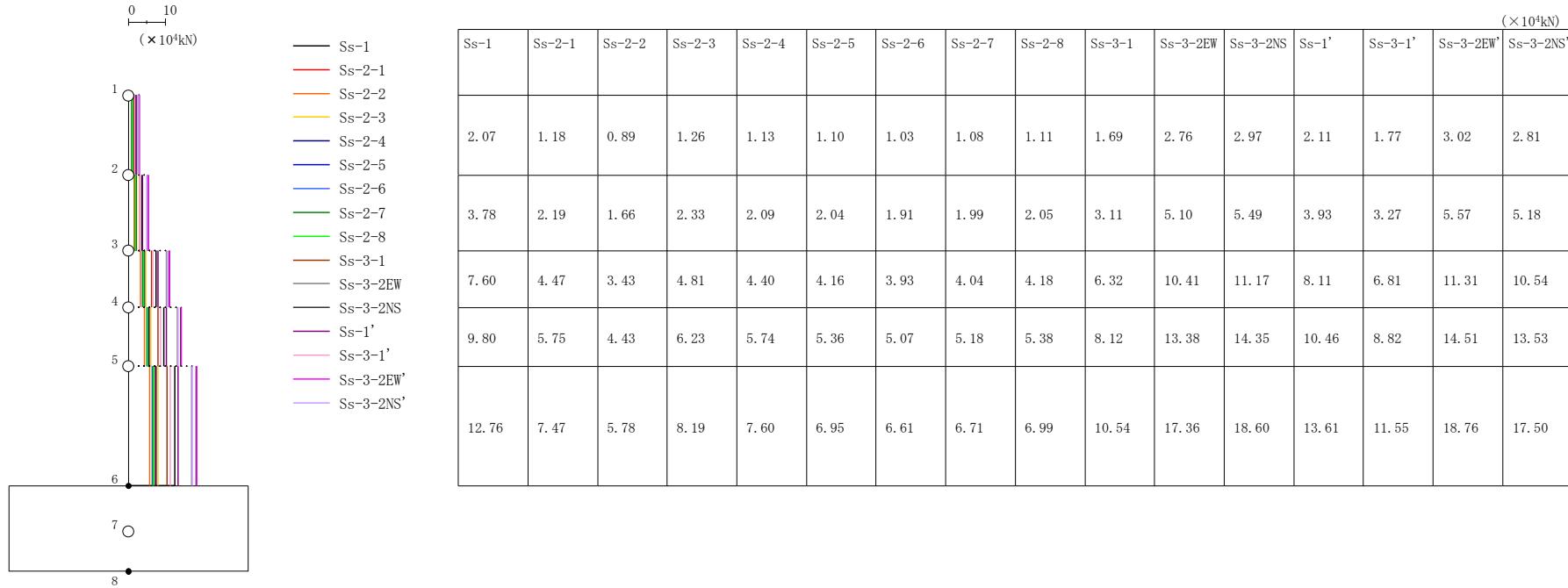


第2-27図 Ss Vs-1 σ ケース 鉛直方向 (EW断面) 最大応答軸力

第2-28図 Ss Vs-1  $\sigma$  ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答加速度

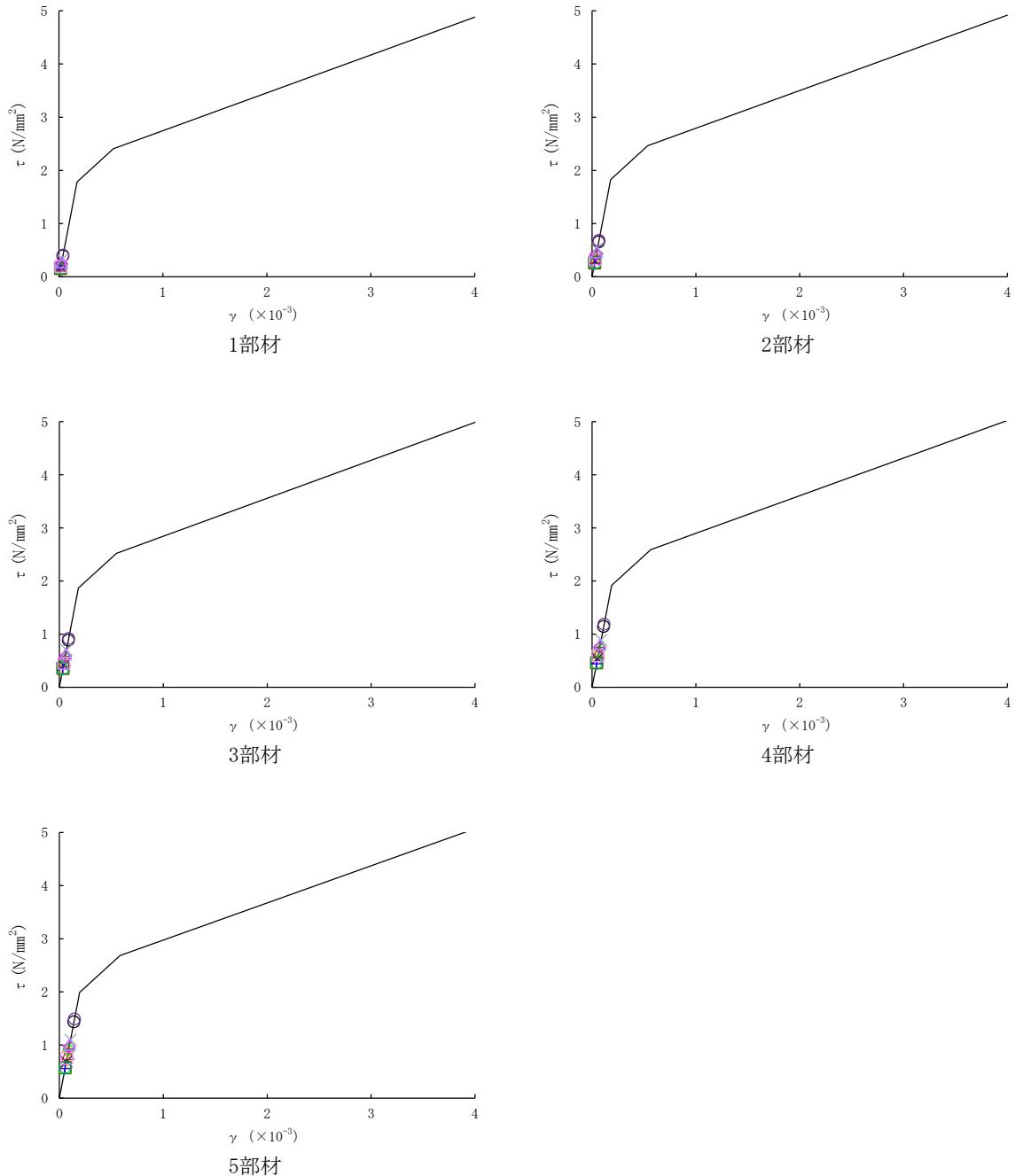


第2-29図 Ss Vs-1 σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答変位



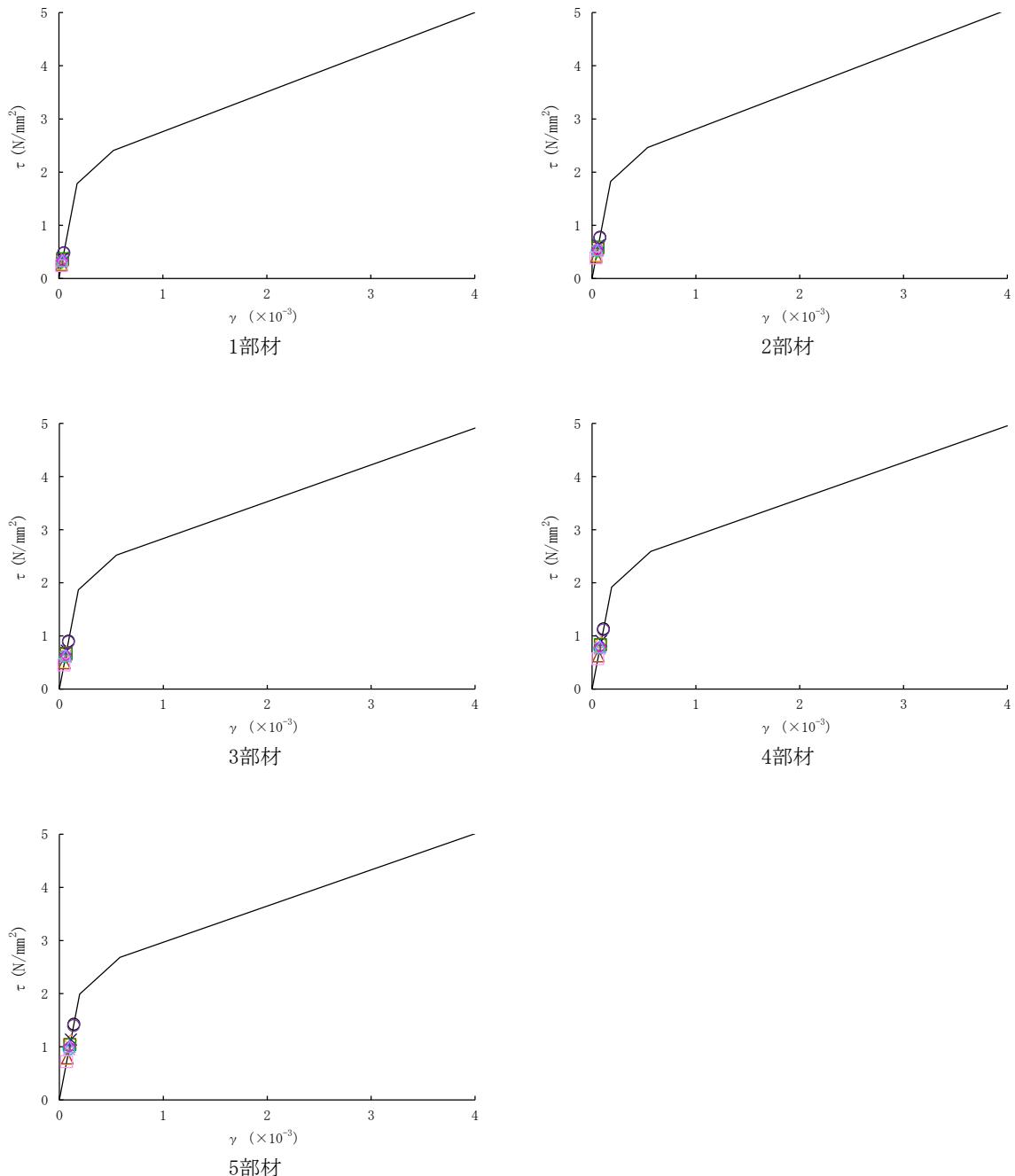
第2-30図 Ss Vs-1 σ ケース 鉛直方向 (NS断面) 最大応答軸力

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	△ : Ss-2-2	▽ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	△ : Ss-2-8	▽ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	△ : Ss-3-2EW'	▽ : Ss-3-2NS'		



第2-31図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss Vs-1  $\sigma$  ケース EW方向)

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第2-32図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(Ss Vs-1  $\sigma$  ケース NS方向)

第2-2表 (1/2) 最大接地圧 Ss Vs-1 σ ケース

地震動	方向		最大接地圧 <sup>※</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	EW	鉛直上向き	485
		鉛直下向き	537
	NS	鉛直上向き	475
		鉛直下向き	527
Ss-2-1	EW	鉛直上向き	326
		鉛直下向き	360
	NS	鉛直上向き	400
		鉛直下向き	437
Ss-2-2	EW	鉛直上向き	373
		鉛直下向き	404
	NS	鉛直上向き	407
		鉛直下向き	437
Ss-2-3	EW	鉛直上向き	319
		鉛直下向き	364
	NS	鉛直上向き	363
		鉛直下向き	408
Ss-2-4	EW	鉛直上向き	336
		鉛直下向き	381
	NS	鉛直上向き	418
		鉛直下向き	465
Ss-2-5	EW	鉛直上向き	322
		鉛直下向き	350
	NS	鉛直上向き	399
		鉛直下向き	434
Ss-2-6	EW	鉛直上向き	323
		鉛直下向き	357
	NS	鉛直上向き	395
		鉛直下向き	430
Ss-2-7	EW	鉛直上向き	327
		鉛直下向き	353
	NS	鉛直上向き	406
		鉛直下向き	436

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

第2-2表 (2/2) 最大接地圧 Ss Vs-1 σ ケース

地震動	方向		最大接地圧 <sup>※</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-2-8	EW	鉛直上向き	393
		鉛直下向き	427
	NS	鉛直上向き	386
		鉛直下向き	419
Ss-3-1	EW	鉛直上向き	365
		鉛直下向き	415
	NS	鉛直上向き	340
		鉛直下向き	394
Ss-3-2EW	EW	鉛直上向き	418
		鉛直下向き	496
	NS	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	446
Ss-3-2NS	EW	鉛直上向き	370
		鉛直下向き	448
	NS	鉛直上向き	390
		鉛直下向き	470
Ss-1'	EW	鉛直上向き	521
		鉛直下向き	557
	NS	鉛直上向き	468
		鉛直下向き	525
Ss-3-1'	EW	鉛直上向き	342
		鉛直下向き	393
	NS	鉛直上向き	329
		鉛直下向き	388
Ss-3-2EW'	EW	鉛直上向き	383
		鉛直下向き	455
	NS	鉛直上向き	375
		鉛直下向き	455
Ss-3-2NS'	EW	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	463
	NS	鉛直上向き	385
		鉛直下向き	460

※：最大接地圧は、組合せ係数法（組合せ係数0.4）により算定した最大値を示す。

## (参考) 機器・配管系の耐震性への影響評価

### 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、地盤物性の不確かさを考慮した場合の機器・配管系の耐震性への影響について検討した。

### 2. 検討

#### 2.1 検討方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する機器・配管系の設計に使用している床応答曲線について、地盤物性の不確かさを考慮したケースによる床応答曲線と今回工認モデルによる床応答曲線を比較し、地盤物性の不確かさによる影響を確認する。

#### 2.2 検討内容

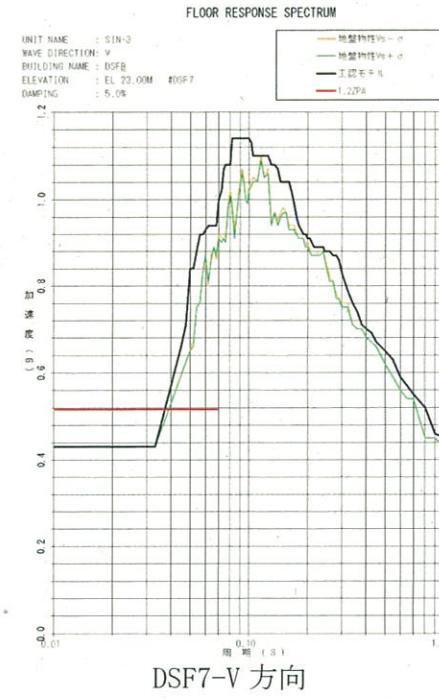
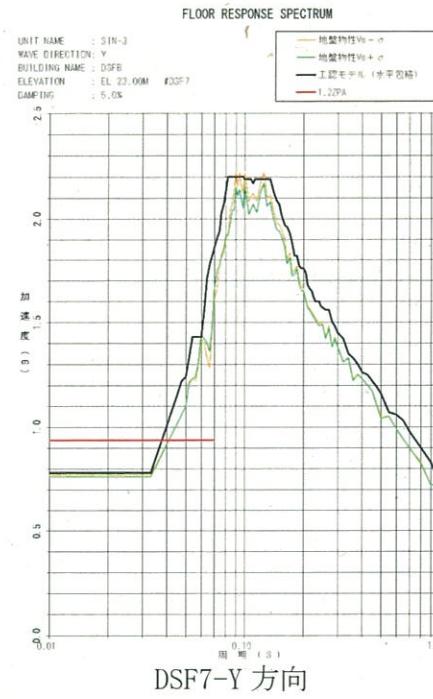
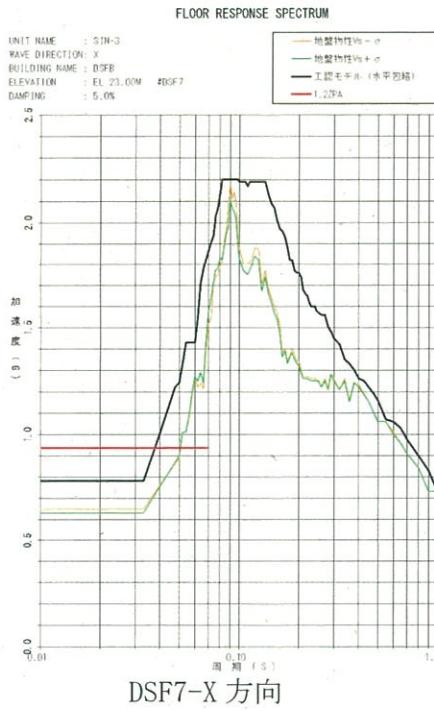
今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵容器への影響を検討するために、使用済燃料乾式貯蔵容器が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋解析モデルを地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの床応答曲線と、今回工認モデルによる床応答曲線を比較する。

今回工認モデルによる応答を上回る周期帯における使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期の有無を調査し、その周期帯に固有周期が有る場合は応答増分（地盤物性の不確かさを考慮した床応答曲線の読取値/今回工認モデルによる設計用床応答曲線の読取値）と使用済燃料乾式貯蔵容器が有する耐震裕度（許容値/発生値）の比較から、使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性への影響を確認する。

### 3. 考察

今回申請設備である使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置場所である質点7の地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの床応答曲線と今回工認モデルによる設計用床応答曲線の比較結果を参考1図に示す

使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期が有る周期帯において、地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの応答は今回工認モデルの応答に包絡されており、耐震性への影響はないと判断できた。



水平方向モデル

鉛直方向モデル

参考1図 建屋床応答への影響 (DSF7)

説明	
水平	応答が超過する周期帯に使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期はない。
鉛直	応答が超過する周期帯に使用済燃料乾式貯蔵容器の固有周期はない。

#### 4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析において、建屋解析モデルの地盤物性の不確かさを考慮し、せん断波速度 $V_s \pm \sigma$ としたケースの応答は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置する使用済燃料乾式貯蔵容器の固有値の有る周期帯では、今回工認モデルによる応答に包絡されることを確認した。

これより、使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋解析モデルの地盤物性の不確かさを考慮した場合において、使用済燃料乾式貯蔵建屋に設置される使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性に有意な影響はないことを確認した。

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

### 1-4 地震応答解析における耐震壁の スケルトンカーブの設定

目 次

	頁
1. 概要 .....	1-4-1
2. 耐震壁の非線形特性の設定について .....	1-4-2
2.1 第1折点の設定 .....	1-4-3
2.2 第2折点の設定 .....	1-4-3
2.3 終局点の設定 .....	1-4-4
3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ の設定について .....	1-4-5
3.1 水平モデル .....	1-4-5
3.2 使用材料の物性値 .....	1-4-13
3.3 せん断スケルトンカーブの諸数値 .....	1-4-14
4. まとめ .....	1-4-25
(別紙) バットレスのせん断断面積の設定について .....	1-4-26

## 1. 概要

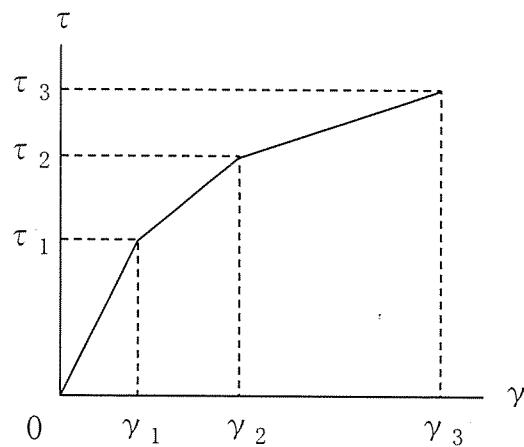
使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋については、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物であるため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁の非線形特性を考慮している。本資料は、これらの耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定について説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

## 2. 耐震壁の非線形特性の設定について

耐震壁のせん断応力度-せん断ひずみ関係 ( $\tau - \gamma$  関係) は、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版 ((社) 日本電気協会)」(以下「JEAG4601-1991」という。)に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。せん断応力度-せん断ひずみ関係を第2-1図に示す。



$\tau_1$  : 第1折点のせん断応力度

$\tau_2$  : 第2折点のせん断応力度

$\tau_3$  : 終局点のせん断応力度

$\gamma_1$  : 第1折点のせん断ひずみ

$\gamma_2$  : 第2折点のせん断ひずみ

$\gamma_3$  : 終局点のせん断ひずみ ( $4.0 \times 10^{-3}$ )

第2-1図 せん断応力度-せん断ひずみ関係

## 2.1 第1折点の設定

せん断スケルトンカーブの第1折点は、JEAG4601-1991に基づき、SI単位系に換算した以下の式より算出している。

$$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)}$$

$$\gamma_1 = \tau_1/G$$

ここで、

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$G$  : コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  : 縦軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>) [圧縮を正とする。]

## 2.2 第2折点の設定

せん断スケルトンカーブの第2折点は、JEAG4601-1991に基づき、以下の式より算出している。

$$\tau_2 = 1.35 \tau_1$$

$$\gamma_2 = 3 \gamma_1$$

### 2.3 終局点の設定

せん断スケルトンカーブの終局点は、JEAG4601-1991に基づき、SI単位系に換算した以下の式より算出している。

$\tau_s \leq 1.4\sqrt{F_c}$  の場合

$$\tau_3 = \left\{ 1 - \tau_s / (1.4\sqrt{F_c}) \right\} \tau_0 + \tau_s$$

$\tau_s > 1.4\sqrt{F_c}$  の場合

$$\tau_3 = 1.4\sqrt{F_c}$$

$$\gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3}$$

ここで、

$$\tau_0 = (0.94 - 0.56M/QD)\sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$  のとき  $M/QD = 1$

$$\tau_s = (P_v + P_h) \cdot s \sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_h) / 2$$

ここで、

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 ( $N/mm^2$ )

$P_v, P_h$  : 縦、横筋比 (実数)

$\sigma_v, \sigma_h$  : 縦、横軸応力度 ( $N/mm^2$ ) [圧縮を正とする。]

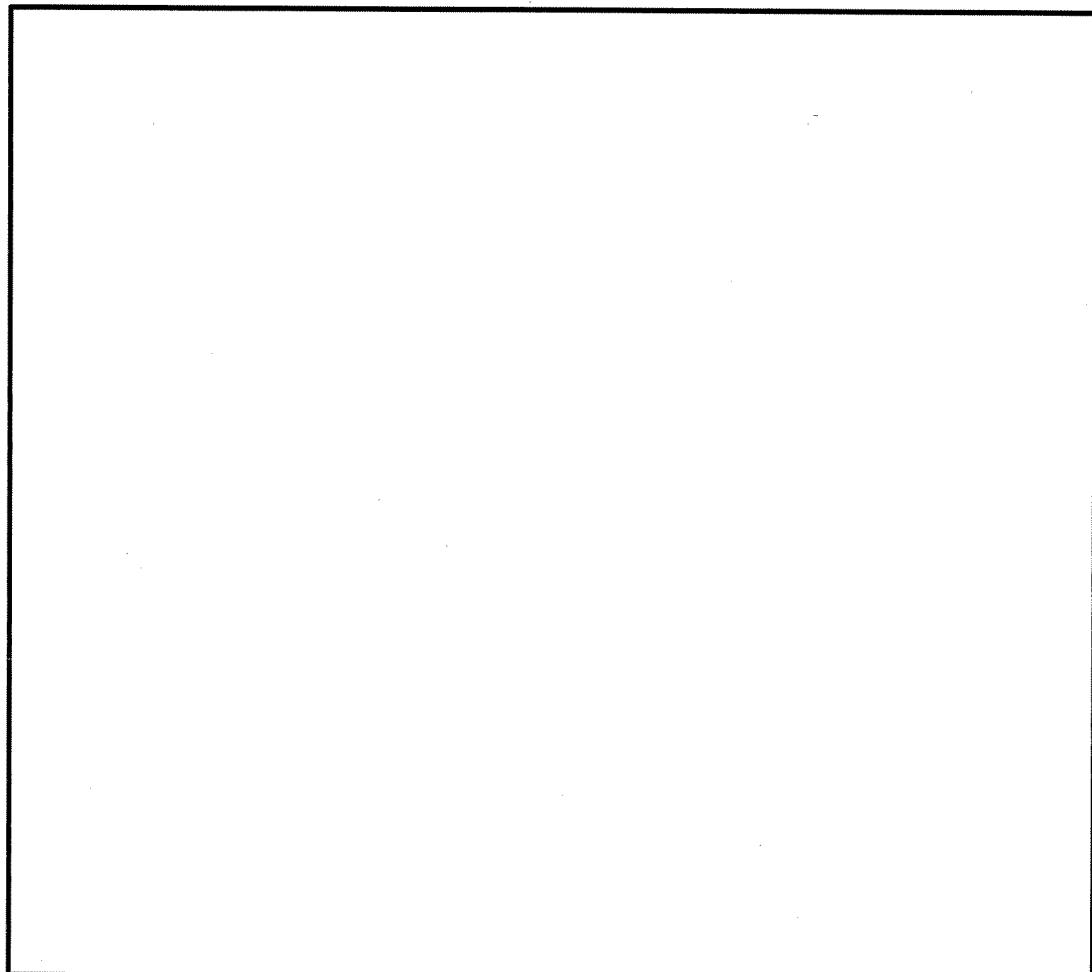
$s \sigma_y$  : 鉄筋降伏応力度 ( $N/mm^2$ )

$M/QD$  : シアスパン比

### 3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブの設定について

#### 3.1 水平モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮して基礎底面に地盤の水平及び回転ばねを設けた多質点系の曲げせん断棒モデルとしている。地震応答解析モデルを第3-1図、解析モデルの諸元を第3-1表に示す。また、せん断断面積として考慮する壁の位置を第3-2図に示す。なお、排気口付近のバットレス部分のせん断断面積は、層における上端と下端の平均長さを考慮することで、高さ方向の平均的なせん断断面積を設定している。第3-3図にバットレス部分のせん断断面積の設定方法の概念図を示す。



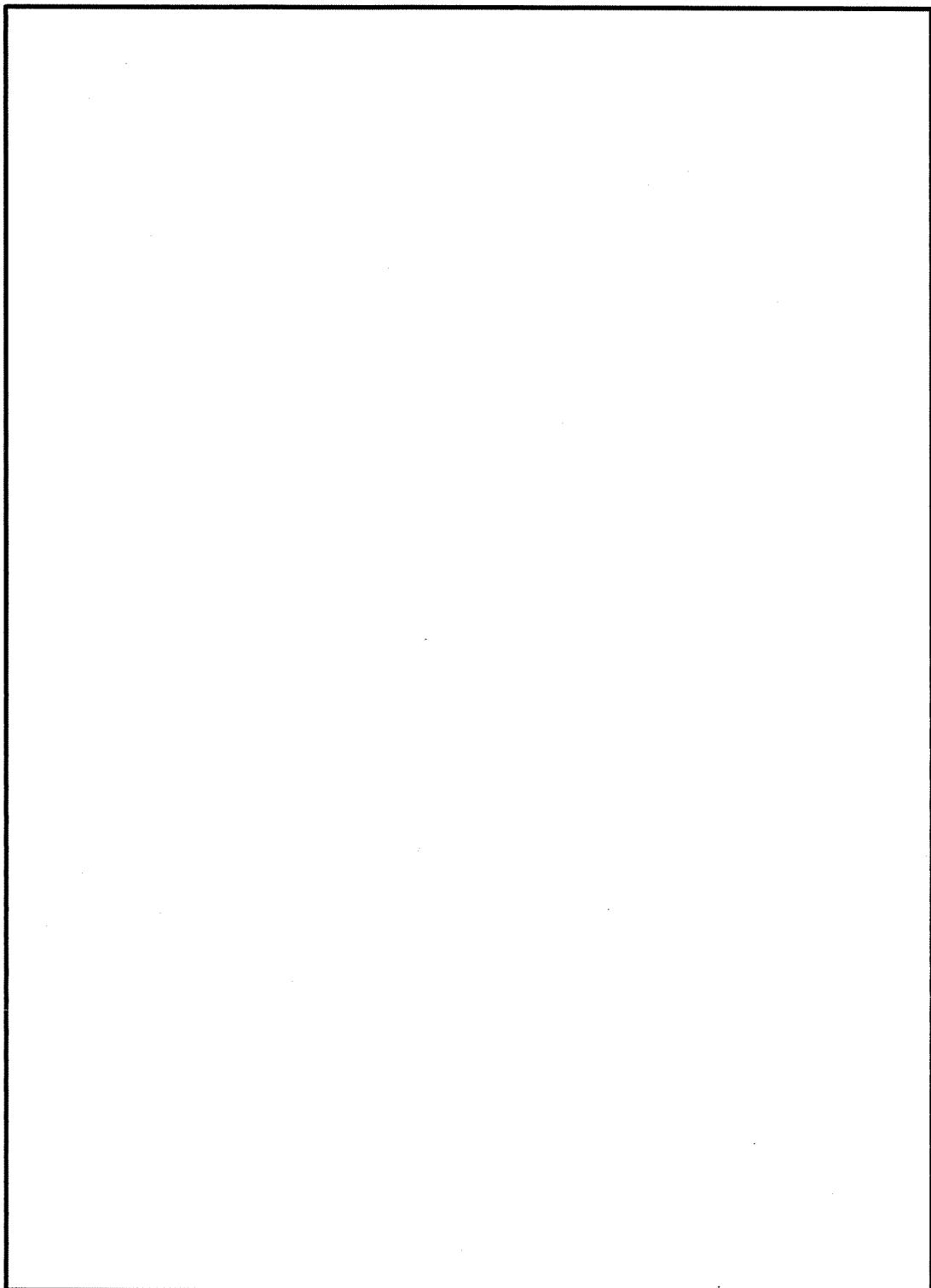
第3-1図 地震応答解析モデル（水平方向）

第3-1表 (1/2) 地震応答解析モデル諸元

質点番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)
1		41,600
2		36,500
3		86,400
4		49,900
5		69,400
7		44,4000

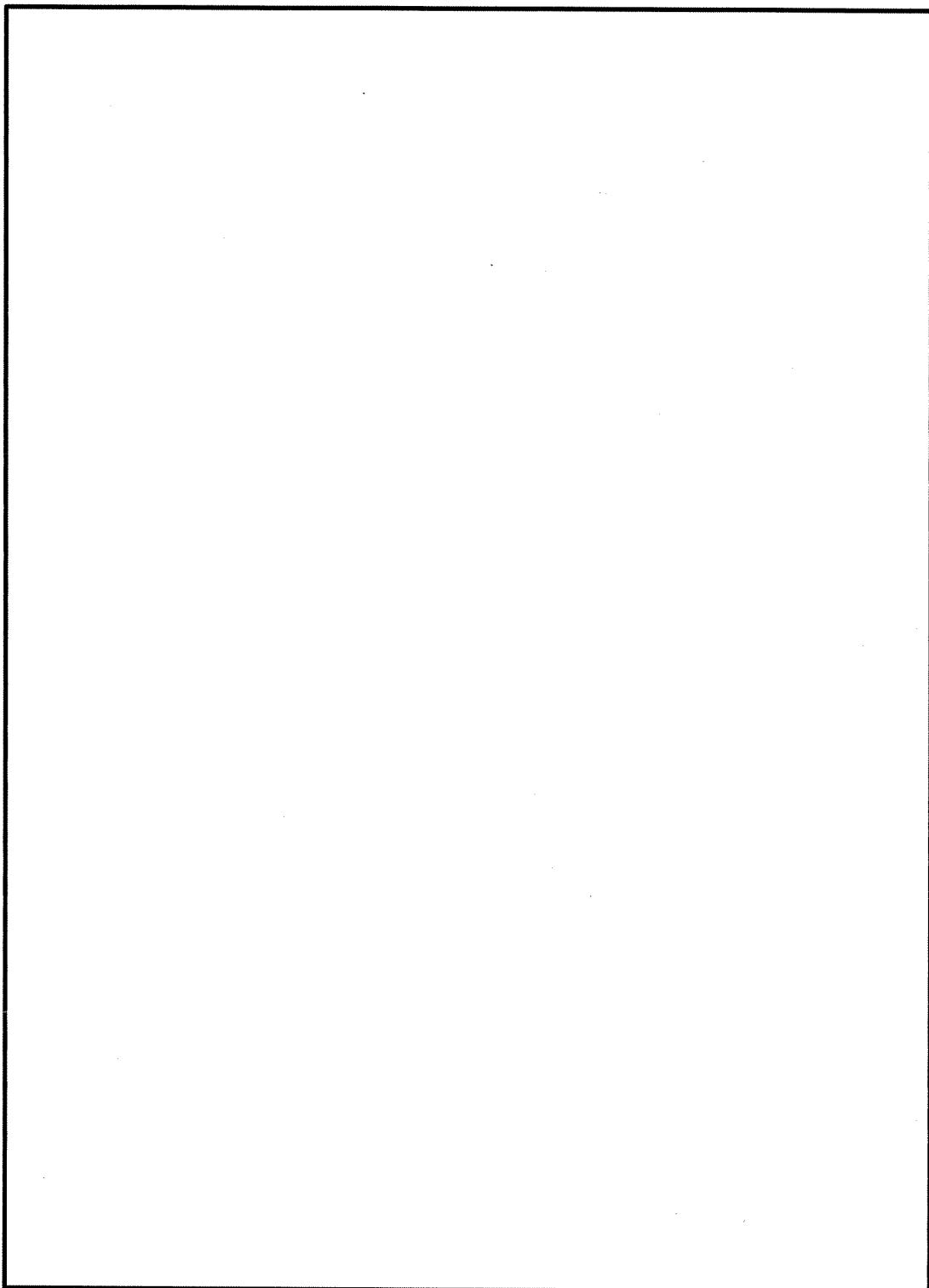
第3-1表 (2/2) 地震応答解析モデル諸元

部材番号	せん断面積 (m <sup>2</sup> )		断面積 (m <sup>2</sup> )
	EW 方向	NS 方向	
1	196	156	316
2	209	175	348
3	295	287	522
4	282	283	491
5	274	275	484



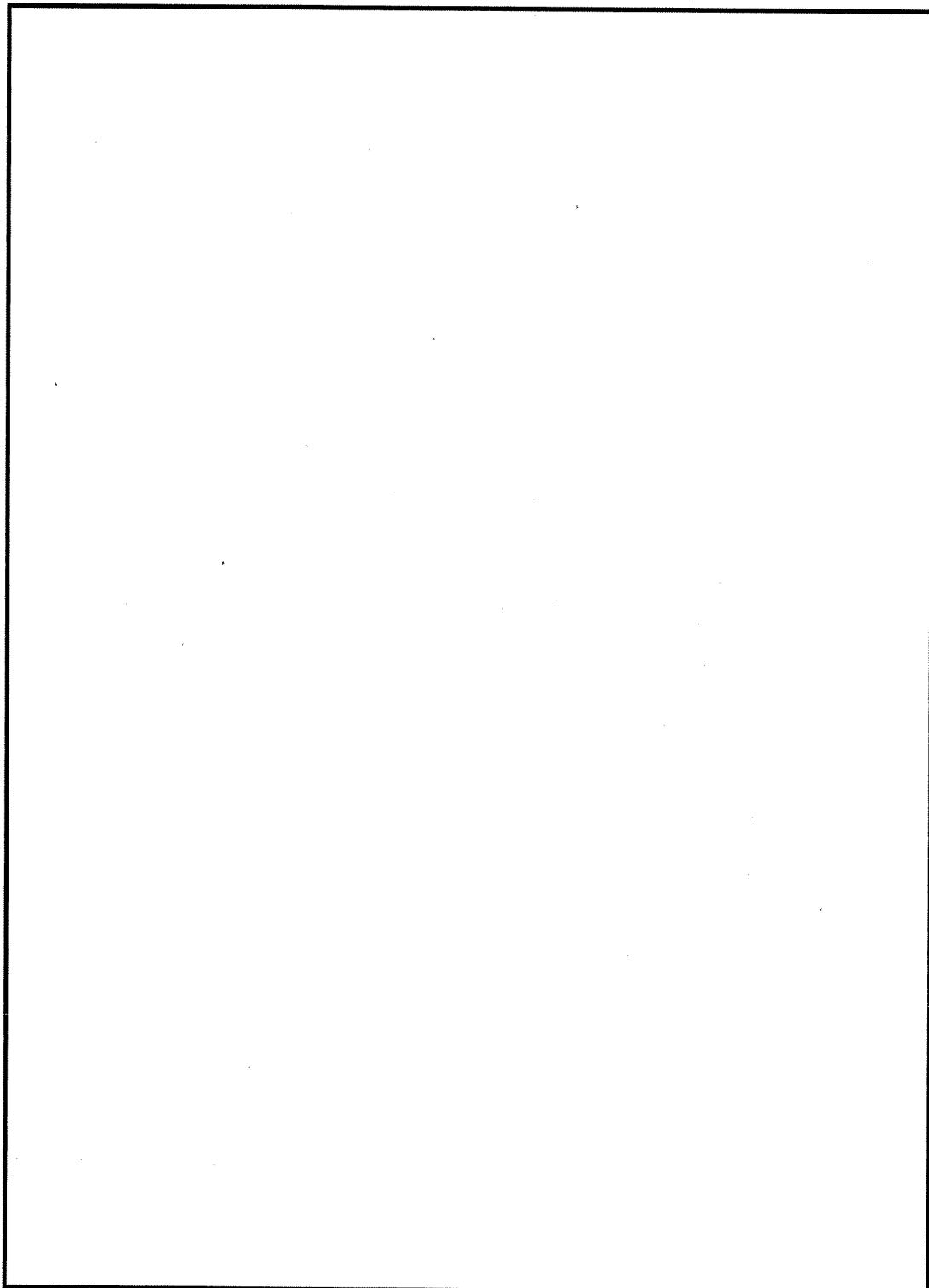
■ :せん断面積として考慮する部分

第3-2図 せん断面積として考慮する壁の位置 (部材番号1)



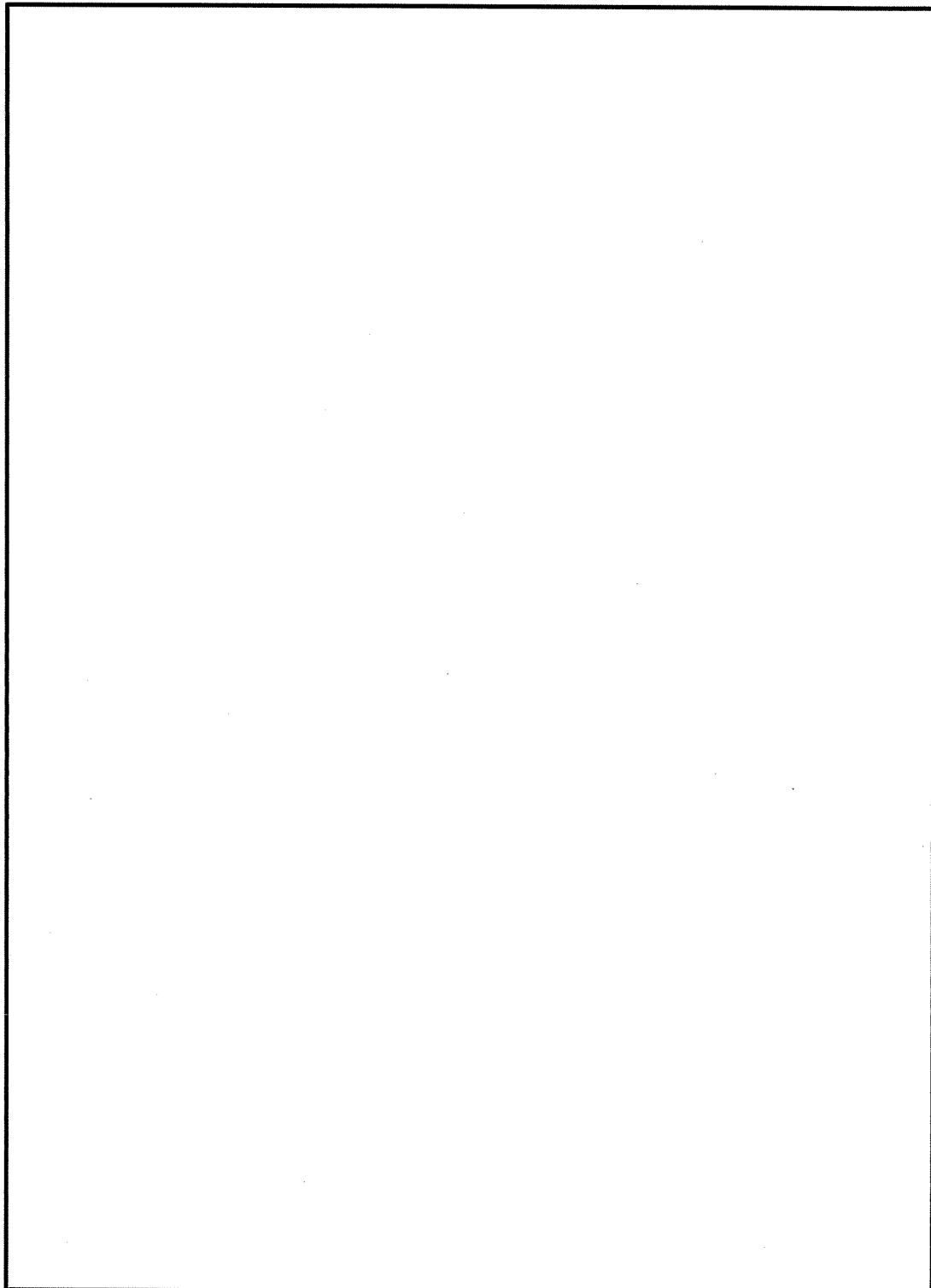
■ :せん断面積として考慮する部分

第3-2図 せん断面積として考慮する壁の位置（部材番号2）



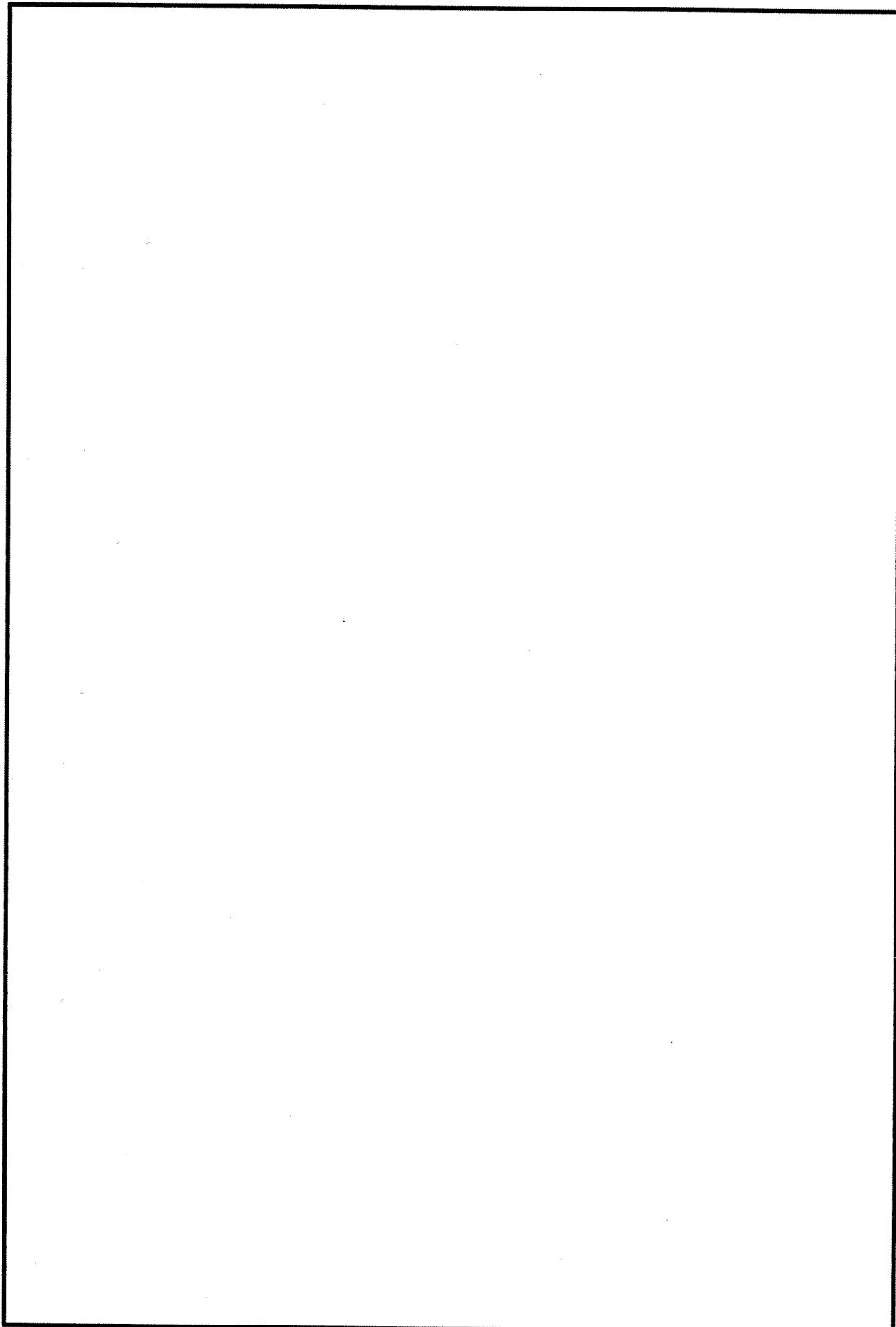
■ : せん断断面積として考慮する部分

第3-2図 せん断断面積として考慮する壁の位置 (部材番号3)



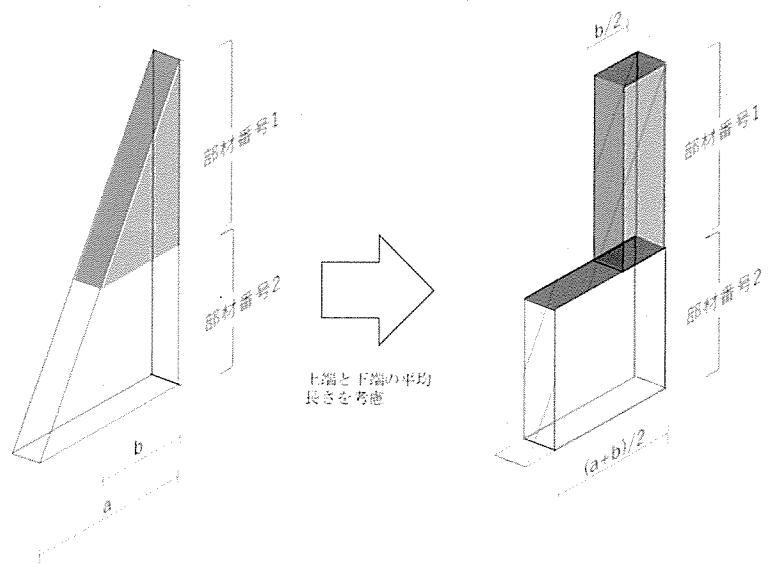
■ : せん断断面積として考慮する部分

第3-2図 せん断断面積として考慮する壁の位置（部材番号4）



■ : せん断断面積として考慮する部分

第3-2図 せん断断面積として考慮する壁の位置 (部材番号 5)



第3-3図 バットレス部分のせん断面積の設定方法の概念図

### 3.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用材料の物性値を第3-2表及び第3-3表に示す。

第3-2表 使用材料の物性値 (コンクリート)

使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
コンクリート： Fc=30 (N/mm <sup>2</sup> )	$2.44 \times 10^4$	$1.02 \times 10^4$	5

第3-3表 使用材料の物性値 (鉄筋)

使用材料	降伏応力度 <sub>s</sub> σ <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
鉄筋 : SD345	345
鉄筋 : SD390	390

### 3.3 せん断スケルトンカーブの諸数値

#### (1) 第1折点

各部材におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を第3-4表に示す。

第3-4表 せん断スケルトンカーブ (Q-γ関係) (第1折点)

(a) EW方向

部材番号	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G$ (N/mm <sup>2</sup> )	当該部分が支える重量 (kN)	せん断面積 (m <sup>2</sup> )	断面積 (m <sup>2</sup> )	縦軸応力度 $\sigma_v^{(注1)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Q_1^{(注2)}$ (kN)	$\gamma_1$
1	30	$1.02 \times 10^4$	41,600	196	316	0.132	$3.50 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$
2	30	$1.02 \times 10^4$	78,100	209	348	0.224	$3.82 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$
3	30	$1.02 \times 10^4$	164,500	295	522	0.315	$5.51 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$
4	30	$1.02 \times 10^4$	214,400	282	491	0.437	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$
5	30	$1.02 \times 10^4$	283,800	274	484	0.586	$5.45 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$

(注1) 縦軸応力度  $\sigma_v$  = 当該部分が支える重量 / 断面積(注2)  $Q_1 = \text{せん断面積} \times \tau_1$ 

(b) NS方向

部材番号	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G$ (N/mm <sup>2</sup> )	当該部分が支える重量 (kN)	せん断面積 (m <sup>2</sup> )	断面積 (m <sup>2</sup> )	縦軸応力度 $\sigma_v^{(注1)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Q_1^{(注2)}$ (kN)	$\gamma_1$
1	30	$1.02 \times 10^4$	41,600	156	316	0.132	$2.78 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$
2	30	$1.02 \times 10^4$	78,100	175	348	0.224	$3.20 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$
3	30	$1.02 \times 10^4$	164,500	287	522	0.315	$5.36 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$
4	30	$1.02 \times 10^4$	214,400	283	491	0.437	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$
5	30	$1.02 \times 10^4$	283,800	275	484	0.586	$5.48 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$

(注1) 縦軸応力度  $\sigma_v$  = 当該部分が支える重量 / 断面積(注2)  $Q_1 = \text{せん断面積} \times \tau_1$

(2) 第2折点

各部材におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を第3-5表に示す。

第3-5表 せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (第2折点)

(a) EW方向

部材番号	$Q_2$ (注1) (kN)	$\gamma_2$ (注2)
1	$4.73 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$
2	$5.16 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$
3	$7.44 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$
4	$7.34 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$
5	$7.36 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$

(注1)  $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

(注2)  $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) NS方向

部材番号	$Q_2$ (注1) (kN)	$\gamma_2$ (注2)
1	$3.75 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$
2	$4.32 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$
3	$7.24 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$
	$7.35 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$
5	$7.40 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$

(注1)  $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

(注2)  $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

### (3) 終局点

終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比  $M/QD$  は、安全側に一律 1.0 とし、 $\sigma_v$  は 0.0 としている。なお、各部材については、耐震壁ごとに終局せん断耐力を算出し、それらを合計することにより層の終局せん断耐力を算出している。

3~5部材におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を第3-6表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の各耐震壁の配筋を示したものを第3-4図及び第3-7表に示す。

第3-6表 (1/4) せん断スケルトンカーブ ( $Q-\gamma$  関係) (終局点)

(a) 3部材 EW方向

位置	せん断面積 ( $m^2$ )	鉄筋比		$\sigma_v$ ( $N/mm^2$ )	$M/QD$	$Q_3$ (kN)	$\gamma_3$
		$P_v$	$P_{II}$				
1通り A~D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.315	1.00	$4.125 \times 10^5$	
1通り+2750 A~B通り間	2.87	0.0101	0.0101		1.00	$1.358 \times 10^4$	
1通り+12550 A~B通り間	4.69	0.0101	0.0101		1.00	$2.224 \times 10^4$	
1通り+17050 A~B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	$1.635 \times 10^4$	
2通り A~D通り間	62.81	0.0096	0.0096		1.00	$3.085 \times 10^5$	
3通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	$1.300 \times 10^5$	
4通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	$1.300 \times 10^5$	
5通り A~D通り間	24.84	0.0107	0.0107		1.00	$1.300 \times 10^5$	
6通り A~D通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	$3.094 \times 10^5$	
						合計 $1.470 \times 10^6$	$4.0 \times 10^{-3}$

第3-6表 (2/4) せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (終局点)  
(b) 4部材 EW方向

位置	せん断面積 (m <sup>2</sup> )	鉄筋比		$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	M/QD	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
		P <sub>V</sub>	P <sub>H</sub>				
1通り A～D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.437	1.00	$4.163 \times 10^5$	
1通り+2750 A～B通り間	2.71	0.0101	0.0101		1.00	$1.298 \times 10^4$	
1通り+12550 A～B通り間	3.78	0.0101	0.0101		1.00	$1.808 \times 10^4$	
1通り+17050 A～B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	$1.650 \times 10^4$	
2通り A～D通り間	58.30	0.0096	0.0096		1.00	$2.889 \times 10^5$	
3通り A～D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	$1.190 \times 10^5$	
4通り A～D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	$1.190 \times 10^5$	
5通り A～D通り間	22.55	0.0107	0.0107		1.00	$1.190 \times 10^5$	
6通り A～D通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	$3.122 \times 10^5$	
合計						$1.420 \times 10^6$	$4.0 \times 10^{-3}$

(c) 5部材 EW方向

位置	せん断面積 (m <sup>2</sup> )	鉄筋比		$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	M/QD	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
		P <sub>V</sub>	P <sub>H</sub>				
1通り A～D通り間	84.00	0.0096	0.0096	0.586	1.00	$4.209 \times 10^5$	
1通り D～D+3050通り間	1.15	0.0101	0.0101		1.00	$5.564 \times 10^3$	
1通り+2750 A～B通り間	2.85	0.0101	0.0101		1.00	$1.377 \times 10^4$	
1通り+9050 A～B通り間	4.46	0.0101	0.0101		1.00	$2.156 \times 10^4$	
1通り+12550 A～B通り間	3.62	0.0101	0.0101		1.00	$1.753 \times 10^4$	
1通り+17050 A～B通り間	3.45	0.0101	0.0101		1.00	$1.669 \times 10^4$	
2通り A～D通り間	50.45	0.0096	0.0096		1.00	$2.528 \times 10^5$	
2通り D～D+3050通り間	1.15	0.0101	0.0101		1.00	$5.564 \times 10^3$	
3通り A～D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	$1.069 \times 10^5$	
4通り A～D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	$1.069 \times 10^5$	
5通り A～D通り間	20.04	0.0107	0.0107		1.00	$1.069 \times 10^5$	
6通り B～C通り間	63.00	0.0096	0.0096		1.00	$3.156 \times 10^5$	
合計						$1.390 \times 10^6$	$4.0 \times 10^{-3}$

第3-6表 (3/4) せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (終局点)  
(d) 3部材 NS方向

位置	せん断面積 ( $m^2$ )	鉄筋比		$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	M/QD	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
		P <sub>v</sub>	P <sub>h</sub>				
A通り 1~6通り間	75.90	0.0096	0.0096	0.315	1.00	$3.727 \times 10^5$	
A通り+3150 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	$2.777 \times 10^5$	
A通り+5200 1~2通り間	1.97	0.0101	0.0101		1.00	$9.332 \times 10^3$	
A通り+5900 1~2通り間	2.50	0.0101	0.0101		1.00	$1.185 \times 10^4$	
A通り+8550 1~2通り間	18.10	0.0099	0.0099		1.00	$9.071 \times 10^4$	
C通り+12250 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	$2.777 \times 10^5$	
D通り 1~6通り間	75.90	0.0096	0.0096		1.00	$3.727 \times 10^5$	
合計						$1.410 \times 10^6$	$4.0 \times 10^{-3}$

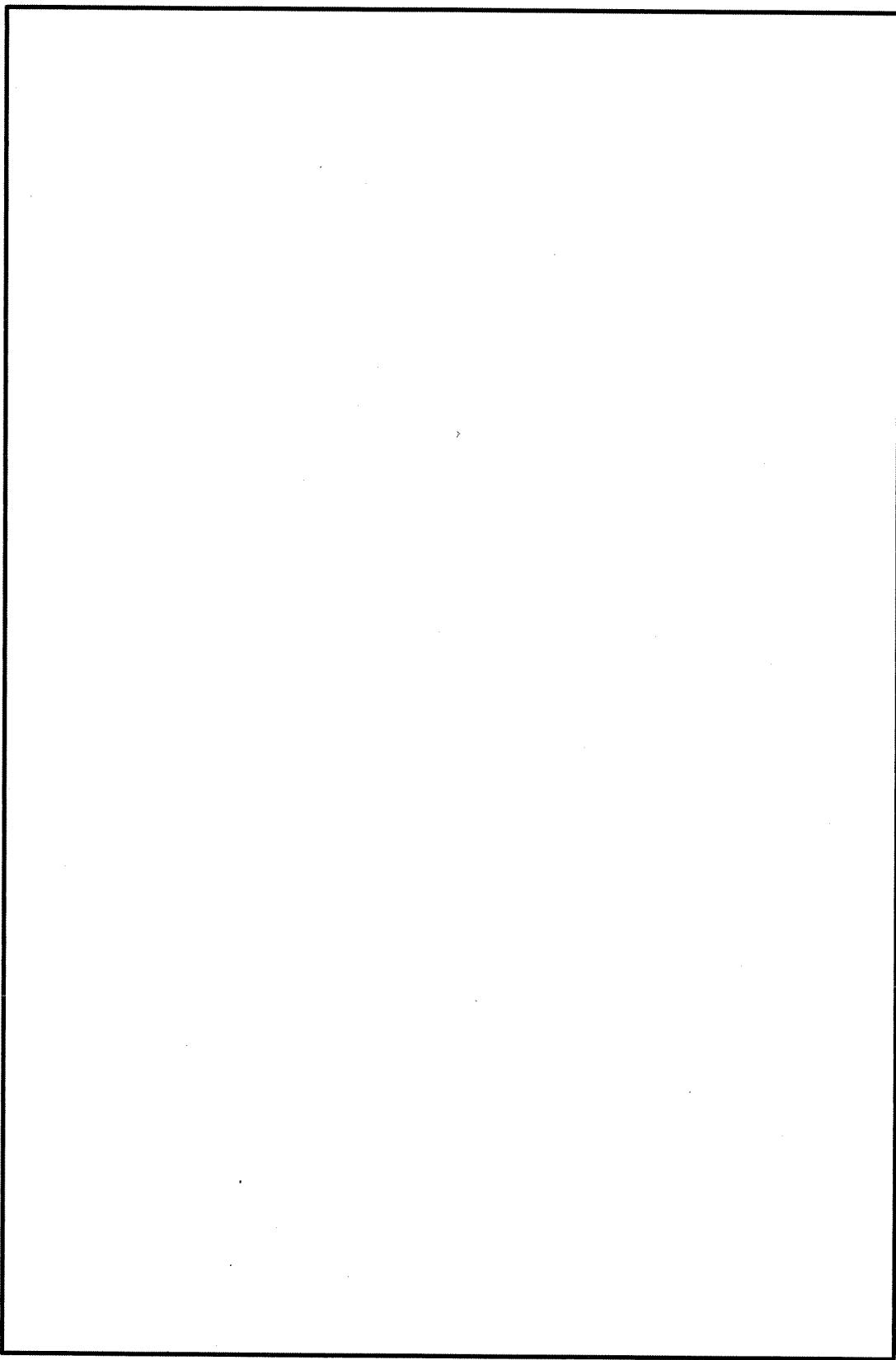
(e) 4部材 NS方向

位置	せん断面積 ( $m^2$ )	鉄筋比		$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	M/QD	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
		P <sub>v</sub>	P <sub>h</sub>				
A通り 1~2通り間	74.09	0.0096	0.0096	0.437	1.00	$3.672 \times 10^5$	
A通り+3150 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	$2.802 \times 10^5$	
A通り+5200 1~2通り間	2.00	0.0101	0.0101		1.00	$9.568 \times 10^3$	
A通り+5900 1~2通り間	2.11	0.0101	0.0101		1.00	$1.010 \times 10^4$	
A通り+8550 1~2通り間	18.24	0.0099	0.0099		1.00	$9.224 \times 10^4$	
C通り+12250 2~6通り間	56.55	0.0096	0.0096		1.00	$2.802 \times 10^5$	
D通り 1~6通り間	73.73	0.0096	0.0096		1.00	$3.654 \times 10^5$	
合計						$1.400 \times 10^6$	$4.0 \times 10^{-3}$

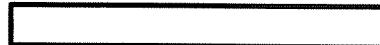
第3-6表 (4/4) せん断スケルトンカーブ (Q- $\gamma$  関係) (終局点)

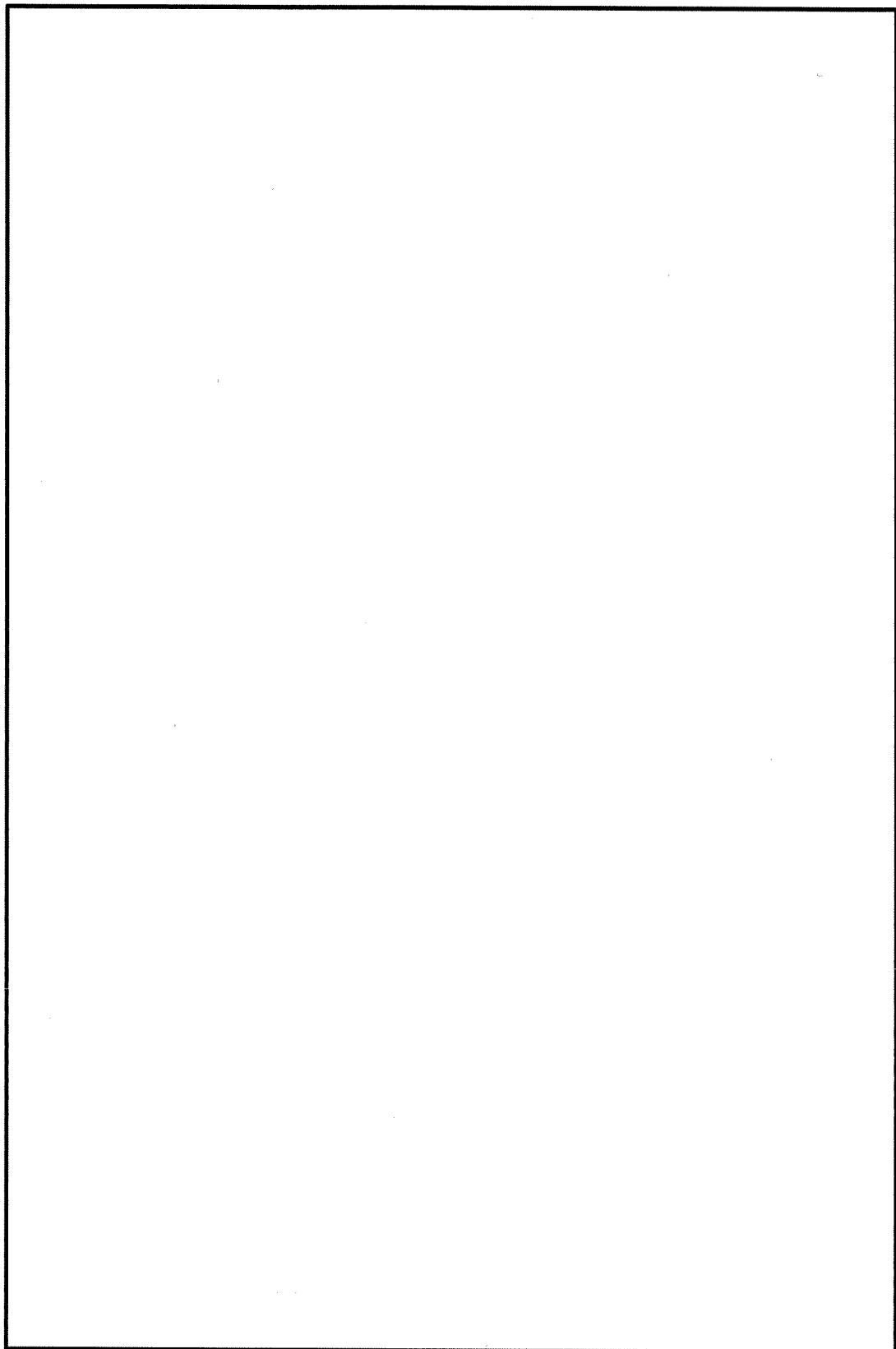
(f) 5部材 NS方向

位置	せん断面積 ( $m^2$ )	鉄筋比		$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	M/QD	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$	
		P <sub>v</sub>	P <sub>h</sub>					
A通り	1~6通り間	85.36	0.0096	0.0096	0.586	1.00	$4.277 \times 10^5$	
A通り+3150	2~6通り間	41.67	0.0096	0.0096		1.00	$2.088 \times 10^5$	
A通り+5200	1~2通り間	1.99	0.0101	0.0101		1.00	$9.606 \times 10^3$	
A通り+5900	1~2通り間	2.29	0.0101	0.0101		1.00	$1.109 \times 10^4$	
A通り+6250	1~2通り間	1.76	0.0101	0.0101		1.00	$8.519 \times 10^3$	
A通り+8550	1~2通り間	17.83	0.0099	0.0099		1.00	$9.112 \times 10^4$	
C通り+12250	2~6通り間	41.67	0.0096	0.0096		1.00	$2.088 \times 10^5$	
D通り	1~6通り間	76.47	0.0096	0.0096		1.00	$3.831 \times 10^5$	
D通り+2800	1~2通り間	6.89	0.0101	0.0101		1.00	$3.334 \times 10^4$	
						合計	$1.380 \times 10^6$	
							$4.0 \times 10^{-3}$	

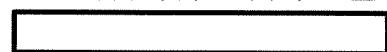


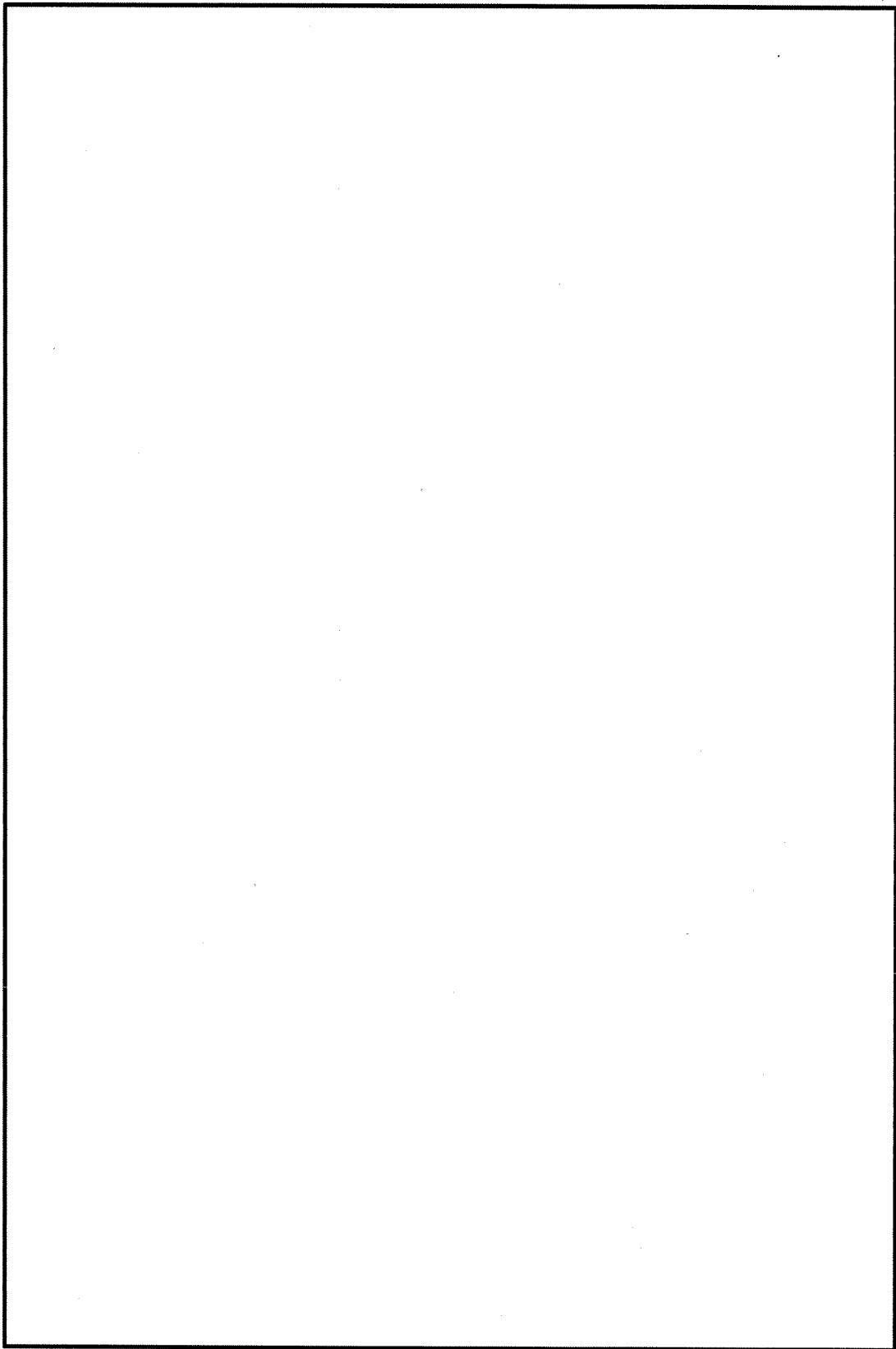
第3-4図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図



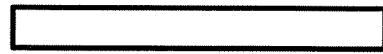


第3-4図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図





第3-4図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図



第3-7表 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋一覧

記号 <sup>(注1)</sup>	縦筋 <sup>(注2)</sup>	横筋 <sup>(注2)</sup>

(注1) 記号に含まれる数値は壁厚(cm)を表す。

(注2) 配筋はすべてダブル配筋とする。

#### 4. まとめ

使用済燃料乾式貯蔵建屋におけるせん断スケルトンカーブの設定について整理した。算出したせん断スケルトンカーブの諸数値を第4-1表に示す。

第4-1表 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ  
(Q- $\gamma$ 関係 EW方向)

部材番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q <sub>1</sub> (kN)	$\gamma_1$	Q <sub>2</sub> (kN)	$\gamma_2$	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
1	$3.50 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$	$4.73 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$	$9.59 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
2	$3.82 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$	$5.16 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
3	$5.51 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$	$7.44 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$	$1.47 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
4	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$	$7.34 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$	$1.42 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
5	$5.45 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$	$7.36 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$	$1.39 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$

第4-1表 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋のせん断スケルトンカーブ  
(Q- $\gamma$ 関係 NS方向)

部材番号	第1折点		第2折点		終局点	
	Q <sub>1</sub> (kN)	$\gamma_1$	Q <sub>2</sub> (kN)	$\gamma_2$	Q <sub>3</sub> (kN)	$\gamma_3$
1	$2.78 \times 10^5$	$1.75 \times 10^{-4}$	$3.75 \times 10^5$	$5.24 \times 10^{-4}$	$7.80 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
2	$3.20 \times 10^5$	$1.79 \times 10^{-4}$	$4.32 \times 10^5$	$5.36 \times 10^{-4}$	$8.86 \times 10^5$	$4.00 \times 10^{-3}$
3	$5.36 \times 10^5$	$1.83 \times 10^{-4}$	$7.24 \times 10^5$	$5.49 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
4	$5.44 \times 10^5$	$1.88 \times 10^{-4}$	$7.35 \times 10^5$	$5.65 \times 10^{-4}$	$1.40 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$
5	$5.48 \times 10^5$	$1.95 \times 10^{-4}$	$7.40 \times 10^5$	$5.84 \times 10^{-4}$	$1.38 \times 10^6$	$4.00 \times 10^{-3}$

## (別紙) バットレスのせん断断面積の設定について

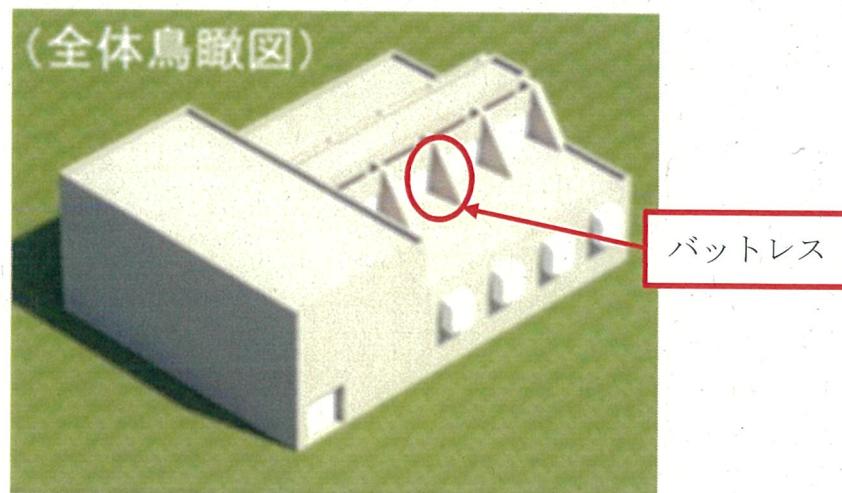
### 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という。）においては、排気口の形状を踏まえ、耐震性向上の観点を考慮し、排気口への地震力を分担する控え壁（以下、「バットレス」という。）を設置している。本資料では、乾式貯蔵建屋の応答解析モデルにおけるバットレスのせん断断面積の設定方法を示すとともに、バットレスのせん断断面積が建屋の高さ方向に変化する形状となっていることを踏まえ、バットレスのせん断断面積の設定方法が耐震評価に及ぼす影響について検討する。

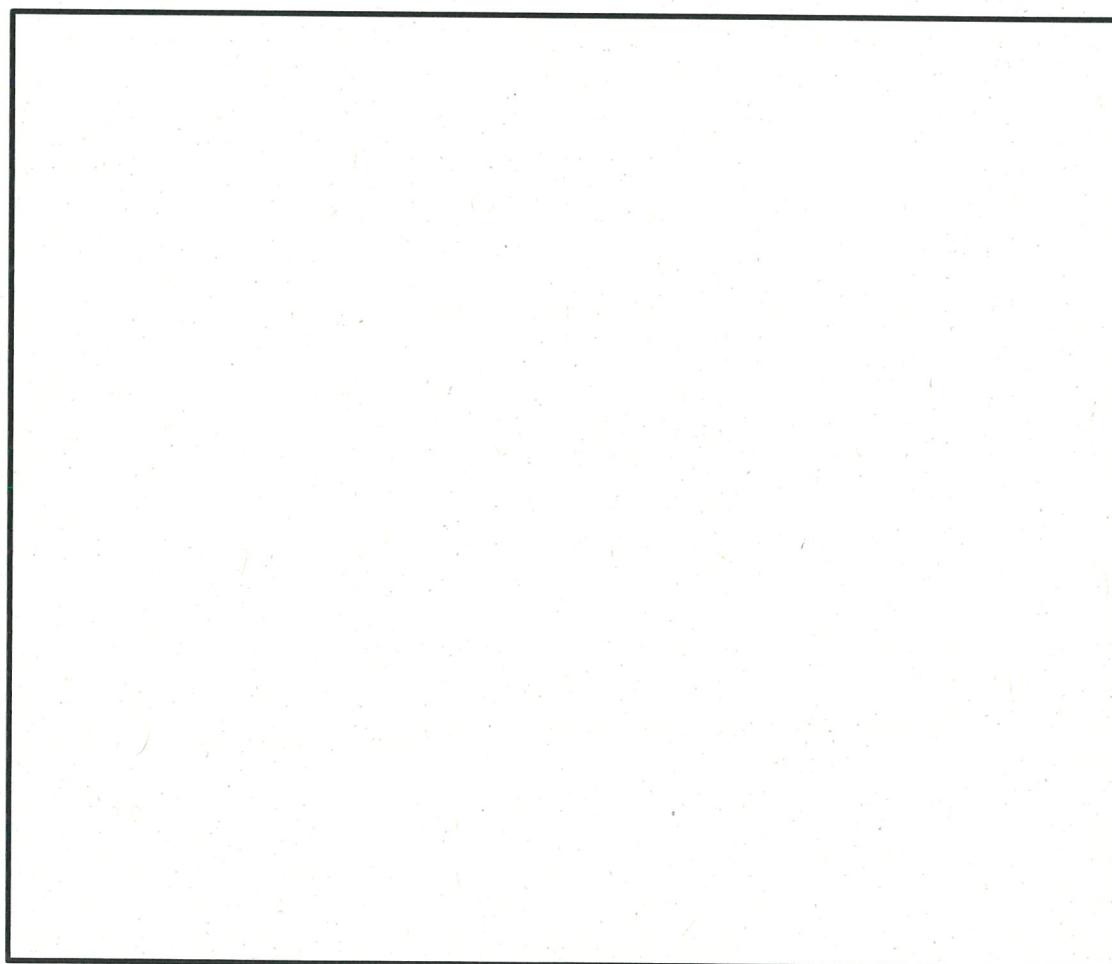
### 2. バットレスのせん断断面積の設定方法

乾式貯蔵建屋の応答解析モデルにおいて、バットレスのせん断剛性は部材 1 (EL [REDACTED] および部材 2 [REDACTED] のせん断断面積として考慮している。乾式貯蔵建屋の鳥観図を第 2-1 図に、地震応答解析モデルを第 2-2 図に示す。また、乾式貯蔵建屋の応答解析モデルの諸元を第 2-1 表、せん断断面積として考慮する壁の位置を第 2-3 図に示す。

バットレスのせん断断面積は、当該部材位置の上端と下端における壁の平均長さを考慮することで、高さ方向の平均的なせん断断面積として設定している。第 2-4 図にバットレスのせん断断面積の設定方法の概念図を示す。



第2-1図 建屋鳥観図

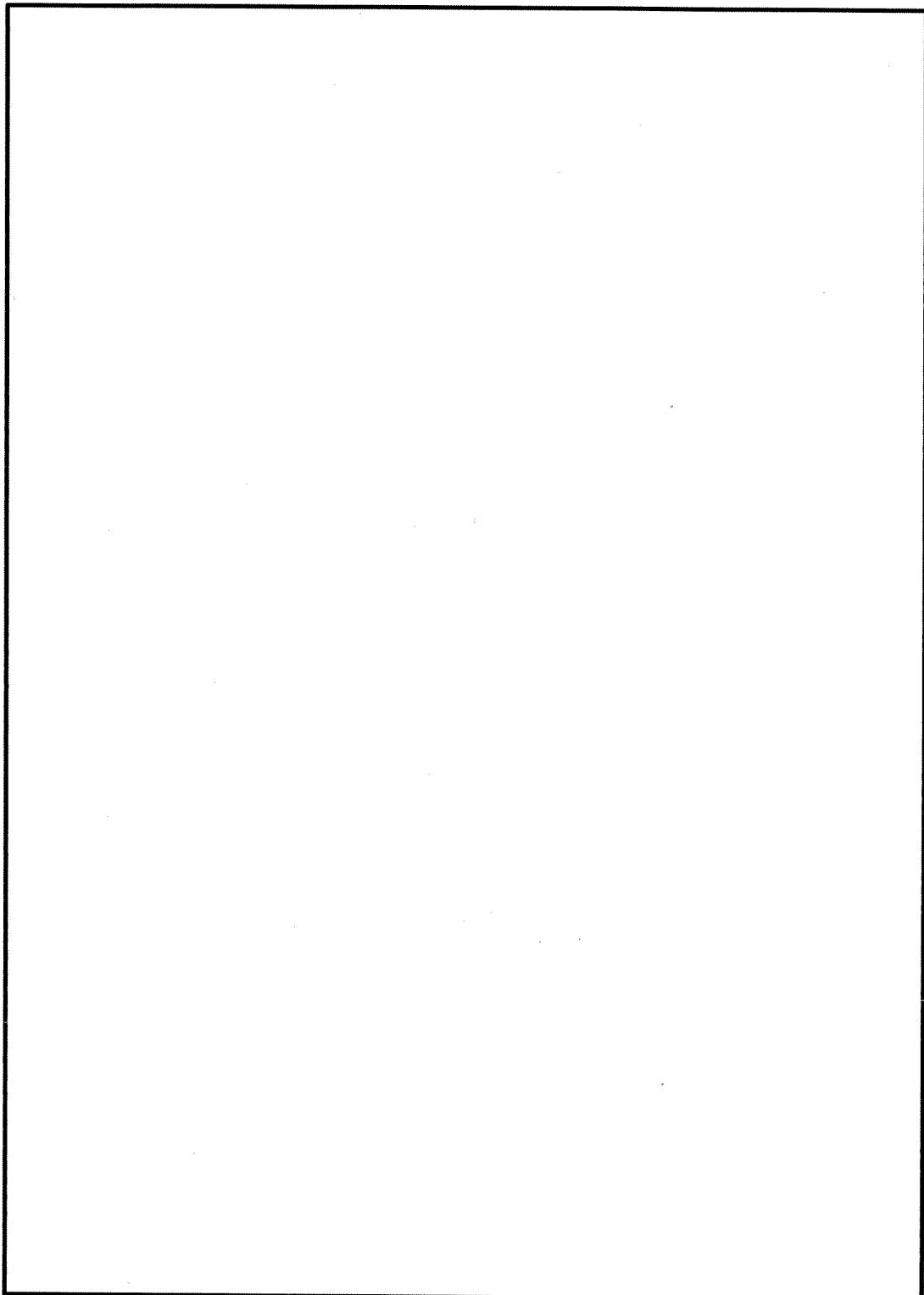


第2-1表 (1/2) 地震応答解析モデル諸元

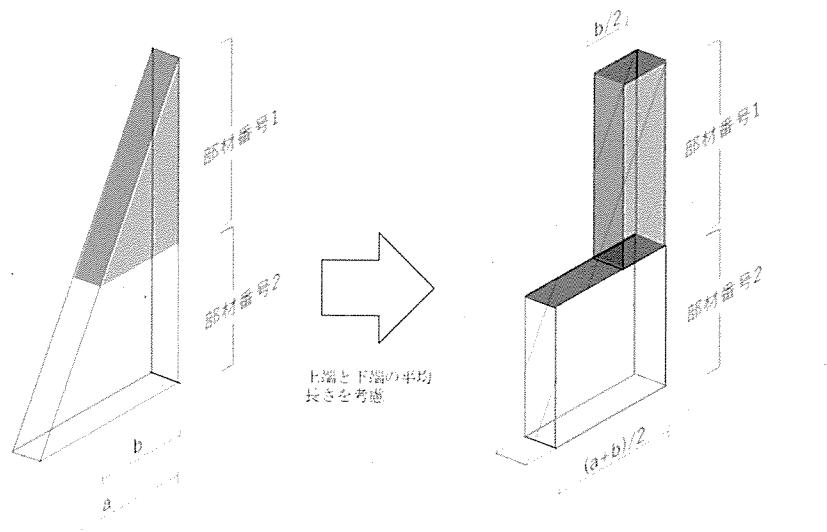
質点番号	質点位置 EL (m)	重量 (kN)
1		41,600
2		36,500
3		86,400
4		49,900
5		69,400
7		44,4000

第2-1表 (2/2) 地震応答解析モデル諸元

部材番号	せん断面積 (m <sup>2</sup> )
	EW 方向
1	196
2	209
3	295
4	282
5	274



第2-3図 せん断断面積として考慮する壁の位置 (EW方向)



第2-4図 バットレス部分のせん断断面積の設定方法の概念図

### 3. バットレスのせん断断面積の設定方法が耐震評価に及ぼす影響

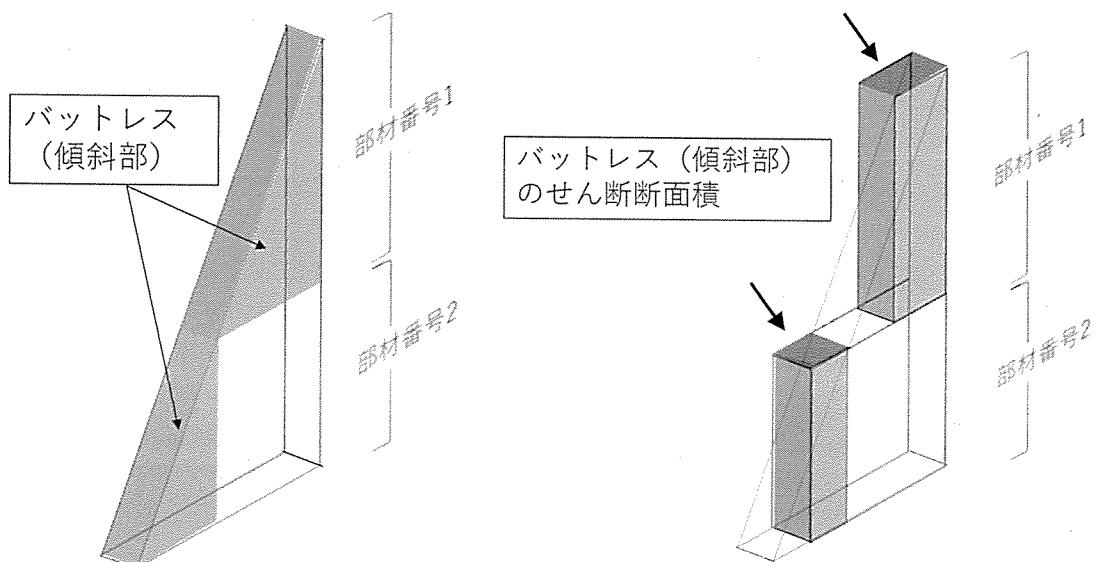
#### 3.1 バットレス（傾斜部）のせん断断面積の寄与度

応答解析モデルにおける各部材のせん断断面積を第3-1表に示す。第3-1表には、せん断断面積が建屋の高さ方向で変化するバットレス（傾斜部）を対象に、2.に示す方法で設定した平均的なせん断断面積を合わせて示している。バットレス（傾斜部）の概念図を第3-1図に示す。

バットレス（傾斜部分）のせん断断面積は、最大でも層全体のせん断断面積の5.8%（部材1）となっており、層剛性に占める割合は小さい。

第3-1表 応答解析モデルにおける各部材のせん断断面積（EW方向）

部材番号	せん断断面積 (m <sup>2</sup> )			比率 (%)	
	①設工認記載値	設工認記載値の内訳			
		②バットレス（傾斜部）	③バットレス（傾斜部）以外の部分		
1	196	11.4	184.6	5.8	
2	209	7.8	201.2	3.7	
3	295	0	295	0.0	
4	282	0	282	0.0	
5	274	0	274	0.0	



第3-1図 バットレス（傾斜部）の概念図

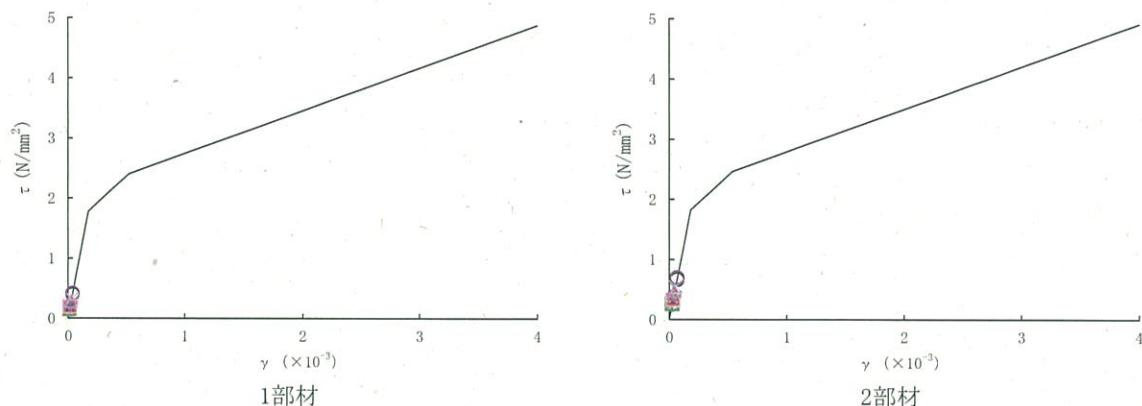
### 3.2 耐震評価に及ぼす影響

資料9-14-2使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋の耐震計算書において、使用済燃料乾式貯蔵容器への波及影響の観点から、乾式貯蔵建屋上屋の耐震評価を行っている。バットレスを含む部材1および部材2の耐震評価結果(Ss基本ケース)を第3-2図に示す。部材1および部材2のせん断スケルトンカーブ上の最大応答値は、第1折点を下回っており、許容限界( $4.0 \times 10^{-3}$ )に対して十分な余裕を有している。

バットレス(傾斜部分)のせん断断面積は、最大でも層のせん断断面積の5.8%であるとともに、部材1および部材2のせん断スケルトンカーブ上の最大応答値は許容限界に対して十分な余裕を有していることを踏まえれば、バットレス(傾斜部分)のせん断断面積の設定方法の違いにより、せん断断面積に変動が生じたと仮定した場合においても、せん断スケルトンカーブ上の最大応答値の変動は僅かであり、施設の耐震安全性に影響を及ぼすものではない。

以上より、バットレスのせん断断面積の設定方法が耐震評価に及ぼす影響はないとの判断している。

○ : Ss-1	□ : Ss-2-1	◇ : Ss-2-2	△ : Ss-2-3	× : Ss-2-4	+ : Ss-2-5
○ : Ss-2-6	□ : Ss-2-7	◇ : Ss-2-8	△ : Ss-3-1	× : Ss-3-2EW	+ : Ss-3-2NS
○ : Ss-1'	□ : Ss-3-1'	◇ : Ss-3-2EW'	△ : Ss-3-2NS'		



第3-2図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(設工認 Ss 基本ケース EW 方向)

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

### 1-5 地震応答解析モデルの固定・積載荷重

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	1-5-1
2. 重量の設定方法 .....	1-5-2
2.1 固定荷重 .....	1-5-3
2.2 積載荷重 .....	1-5-5
3. 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について .....	1-5-12

## 1. 概要

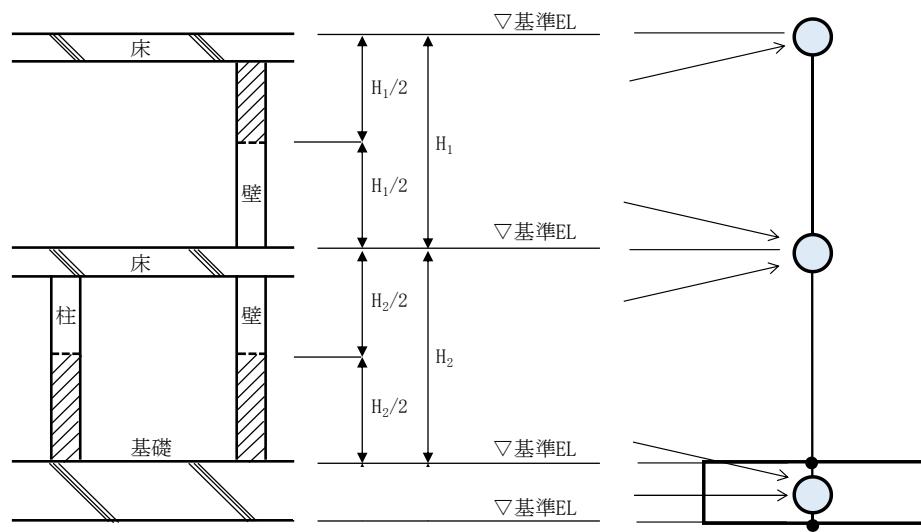
本資料は、今回設工認における地震応答解析モデルの固定・積載荷重等の設定方法について説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

## 2. 重量の設定方法

地震応答解析モデルにおいて質点重量は各階床位置に集中しているものとし、階高の1/2の高さを基準に上下階に振り分けて算出する。また、基礎については、基礎厚の1/2の高さを基準に基礎上端及び下端位置に振り分けて算出する。質点重量の振り分けの概念図を第2-1図に示す。



第2-1図 質点重量の振り分けの概念図

## 2.1 固定荷重

使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋の固定荷重を第2-1表に、その他固定荷重の詳細を第2-2図に示す。

第2-1表 (1/3) 固定荷重 (床、屋根及び壁)

部位	固定荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
床 (貯蔵エリア)	$24.00^{*1}t + 1.2^{*2}$	t : 部材厚さ (m)
屋根 (貯蔵エリア)	$24.00^{*1}t + 3.0^{*3}$	
壁	$24.00^{*1}t$	

\*1 : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

\*2 : その他固定荷重 (フカシコン 第2-2図参照)

\*3 : その他固定荷重 (防水押えコンクリート、防水層等 第2-2図参照)

第2-1表 (2/3) 固定荷重 (基礎)

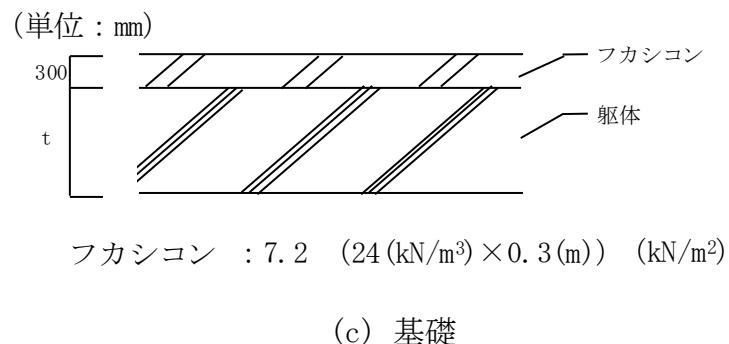
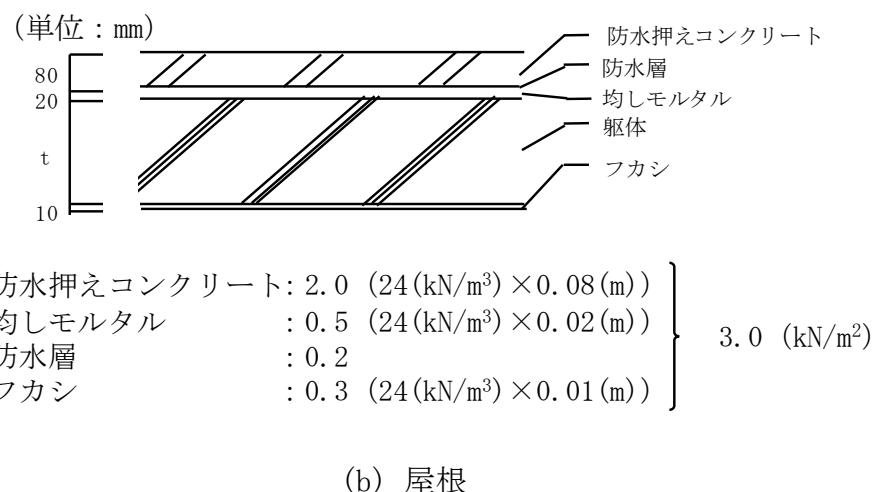
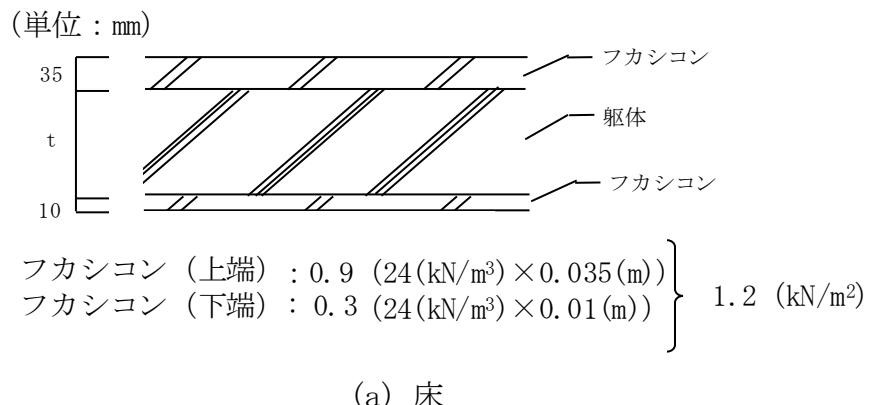
部位	固定荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
基礎 (貯蔵エリア)	$24.00^{*1}t + 7.2^{*2}$	t : 部材厚さ (m)

\*1 : 鉄筋コンクリートの単位体積重量

\*2 : その他固定荷重 (フカシコン 第2-2図参照)

第2-1表 (3/3) 固定荷重 (クレーン自重)

部位	固定荷重
クレーン自重 (kN)	1,883



第 2-2 図 その他固定荷重

## 2.2 積載荷重

使用済燃料乾式貯蔵建屋の積載荷重を第2-2表に示す。また、各階の機器・配管サポート荷重を第2-3図に示す。第2-3図において、機器荷重については代表的なものを示す。

なお、積雪荷重については積載荷重を下回るため、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。積雪荷重の算定方法及び積雪荷重と積載荷重の比較は、補足説明資料1-1「地震荷重と風荷重、積載荷重と積雪荷重の比較」に示す。

第2-2表 積載荷重（床及び屋根）

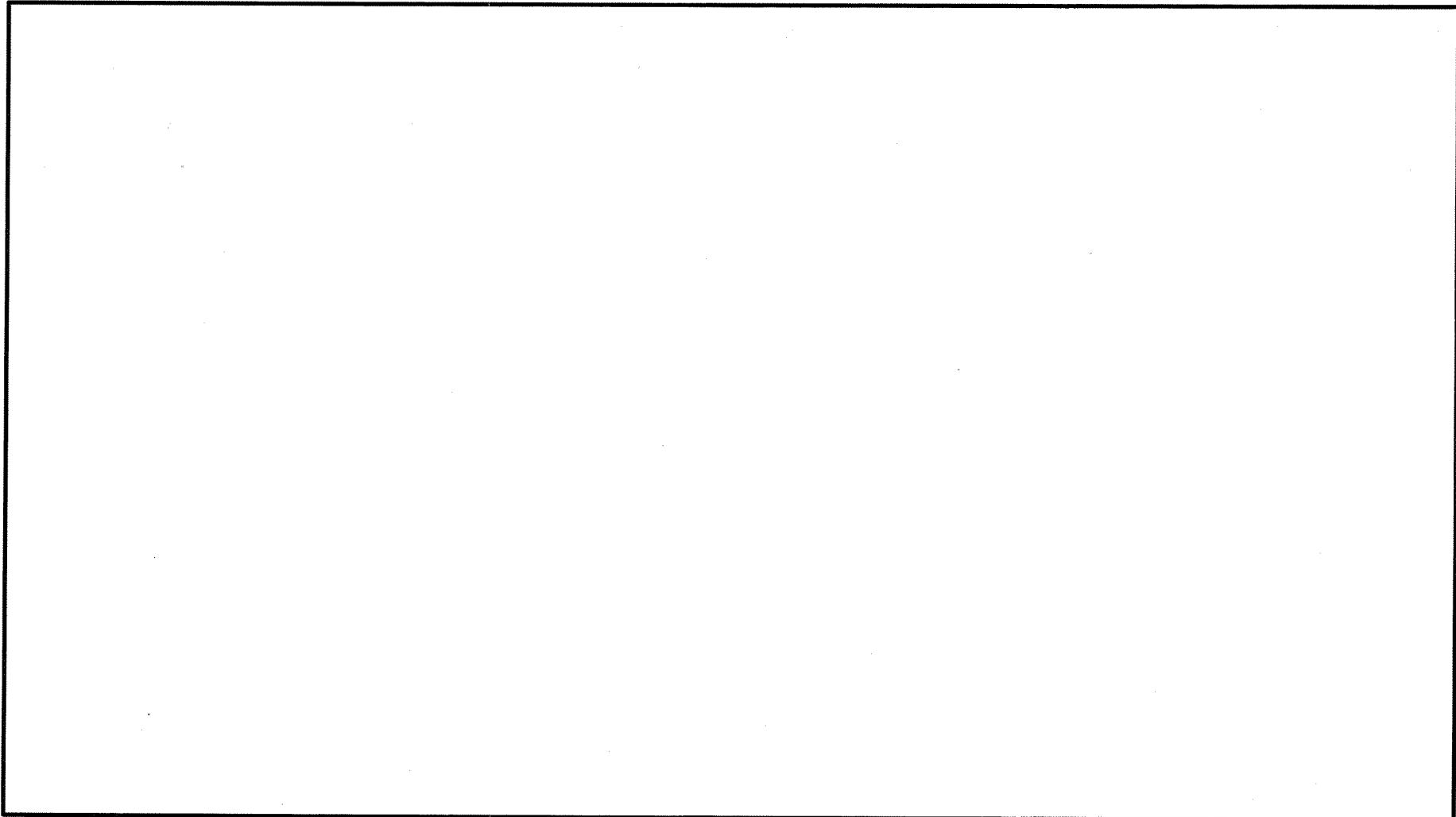
部位	積載荷重(kN/m <sup>2</sup> )
床	機器+配管サポート+1.2 <sup>※1</sup>
屋根	機器+配管サポート+3.0 <sup>※2</sup>
基礎張出部	5.4

※1：建築基準法施行令第85条に基づく積載荷重（0.6kN/m<sup>2</sup>）を含む荷重

※2：建築基準法施行令第85条に基づく積載荷重（0.6kN/m<sup>2</sup>）+建築基準法施行令第86条に基づく積雪荷重（0.14kN/m<sup>2</sup>）を含む荷重

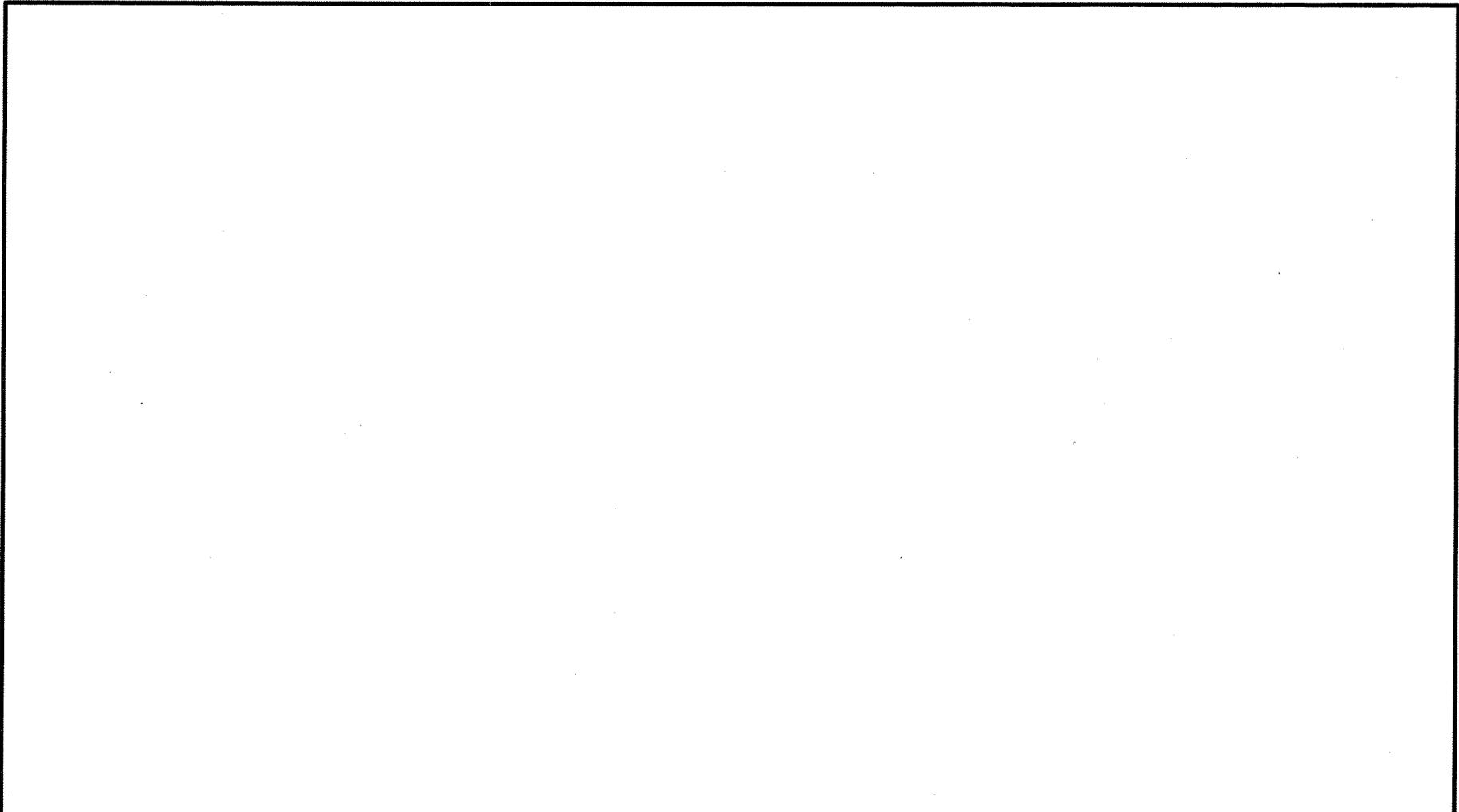
第 2-3 図 (1/6) 機器・配管サポート荷重



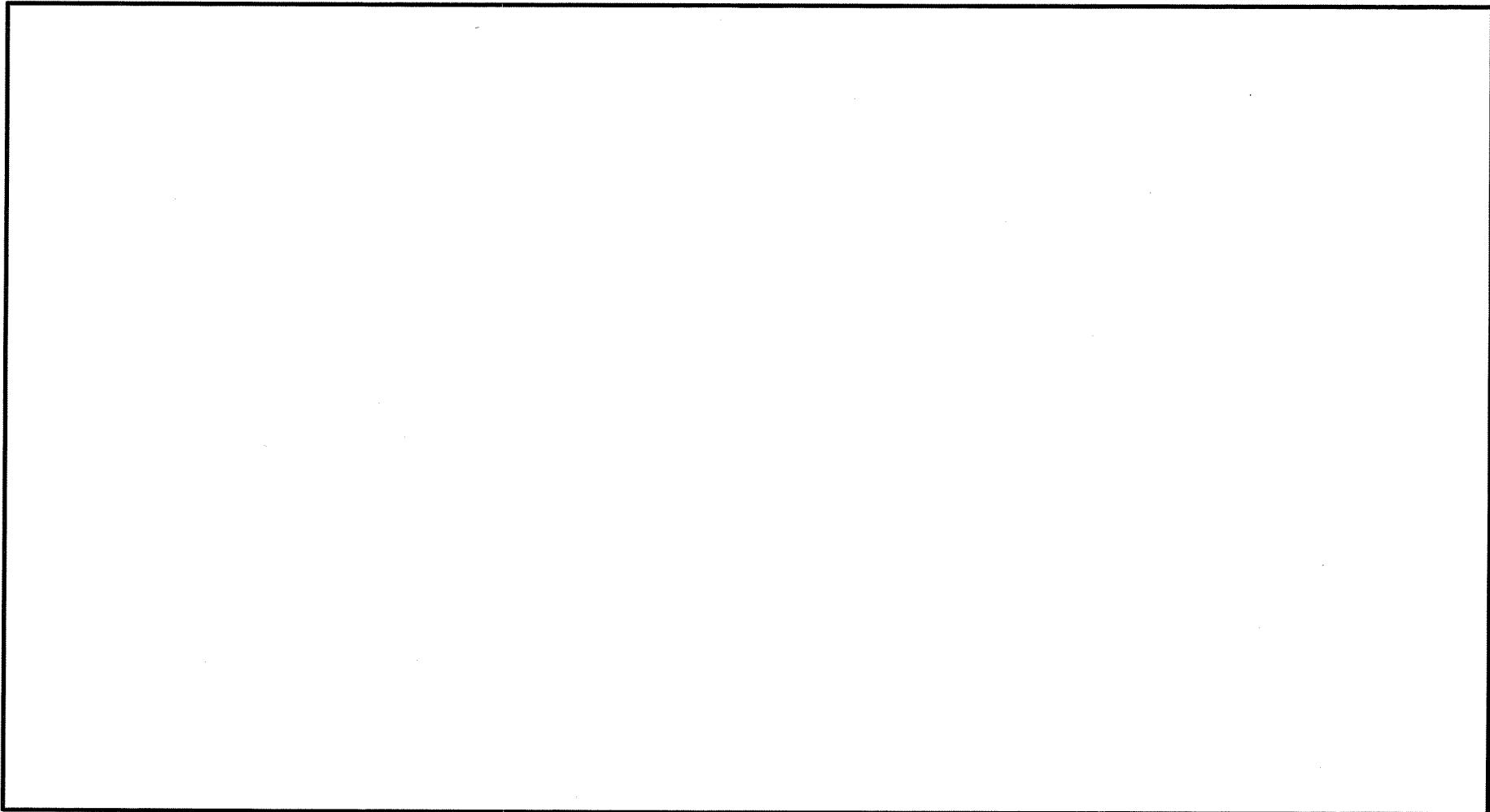


第 2-3 図 (2/6) 機器・配管サポート荷重 

第 2-3 図 (3/6) 機器・配管サポート荷重



第 2-3 図 (4/6) 機器・配管サポー卜荷重



第 2-3 図 (5/6) 機器・配管サポー卜荷重

第 2-3 図 (6/6) 機器・配管サポー卜荷重

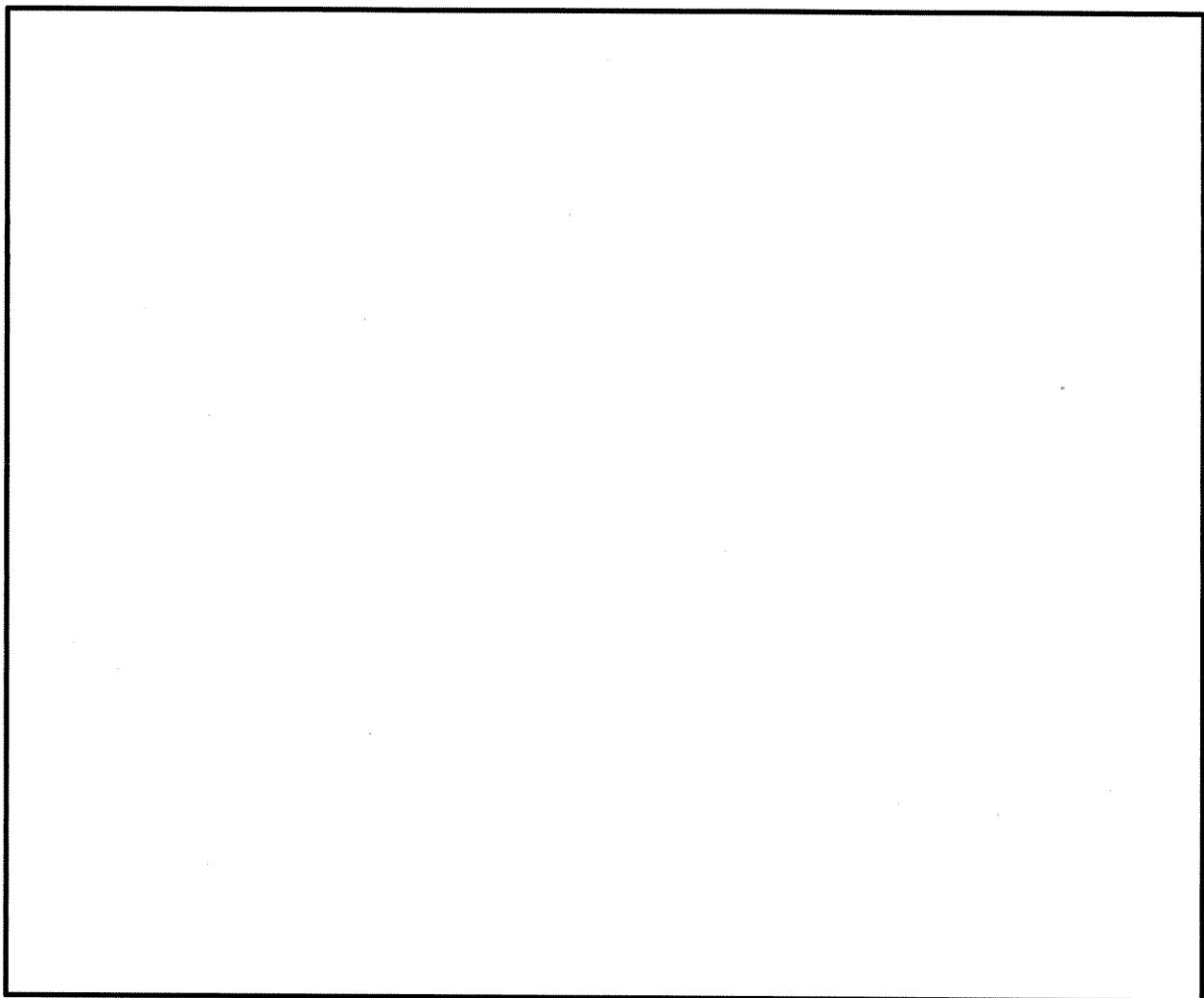
3. 地震応答解析モデルの質点重量の内訳について

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルにおける質点重量の内訳を第3-1表に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルを第3-1図、地震応答解析モデルの諸元を第3-2表に示す。

第3-1表 地震応答解析モデルにおける質点重量の内訳

質点番号		1	2	3	4	5	7	(kN)
固定荷重	壁、床等 <sup>※1</sup>	38,656	35,471	77,795	48,714	62,598	367,917	
積載荷重	機器	1,075	147	2,802	0	4,421	66,632	
	配管 サポート等	1,788	790	5,799	1,180	2,359	9,128	
合計		41,600	36,500	86,400	49,900	69,400	444,000	

※1：デッキプレート、防水仕上を含む。



第3-1図 地震応答解析モデル（水平方向）

第3-2表 地震応答解析モデル諸元（水平方向）

部位	質点番号	質点位置 EL(m)	重量 (kN)	回転慣性 ( $\times 10^5$ kN·m $^2$ )	
				EW方向	NS方向
上部 構造物	1		41,600	61.1	121
	2		36,500	53.6	106
	3		86,400	128	251
	4		49,900	73.4	145
	5		69,400	103	202
基礎	7		444,000	1,100	1,300
総重量			727,800		

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析について

### 1-6 地震応答解析モデル及び解析手法の概要について

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	1-6-1
2. 地震応答解析モデル及び解析手法の概要 .....	1-6-1
(別紙1) 地盤ばねのモデル化について .....	1-6-3
(別紙2) 建屋基礎の滑動に関する評価について .....	1-6-10
(参考1) 基礎底面を通るすべり面の応力状態について .....	1-6-17
(参考2) 建屋基礎と均しコンクリート間の滑動評価について .....	1-6-19

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋について、地震応答解析モデル及び解析手法の概要を説明するものである。

- ・資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」

## 2. 地震応答解析モデル及び解析手法の概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル及び解析手法の概要について、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-16-5「原子炉補助建屋の地震応答解析」における伊方3号機原子炉補助建屋と併せて第2-1表に示す。

第2-1表 地震応答解析モデル及び解析手法の概要

項目	使用済燃料乾式貯蔵建屋		伊方3号機原子炉補助建屋	備考
解析手法	・サブストラクチャ法（入力地震動と地盤ばねを別々に評価）を用いた時刻歴応答解析（非線形）		・同左	
解析コード	・TDAPⅢ Ver. 3.08		・TDAPⅢ Ver. 3.03	
構造物のモデル化	モデル	・水平方向：一軸多質点系 曲げせん断棒モデル (直交2方向をモデル化) ・鉛直方向：一軸多質点系軸棒モデル	・水平方向：多軸多質点系 曲げせん断棒モデル (直交2方向をモデル化) ・鉛直方向：多軸多質点系軸棒モデル	
	材料物性	・コンクリートのヤング係数、ボアソン比 $E=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	・コンクリートのヤング係数、ボアソン比 $E=2.34 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	①
	剛性評価	・面内壁：層のせん断及び曲げ剛性に考慮 ・面外壁：層の曲げ剛性に考慮 ・床、基礎：剛床仮定で質点に縮約	・面内壁：同左 ・面外壁：同左 ・床、基礎：同左	
	減衰定数	・RC：5%	・同左	
地盤のモデル化	底面ばね	・水平方向：水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向：鉛直ばねを考慮	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	別紙 参照
	側面ばね	・水平方向：考慮せず ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	
非線形特性	耐震壁	・水平方向：考慮 ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	②
	地盤	・水平方向：基礎浮上りによる非線形考慮 ・鉛直方向：考慮せず	・水平方向：同左 ・鉛直方向：同左	
入力地震動	入力方法	・地盤ばねを介して入力 ・水平、鉛直方向の地震動による解析をそれぞれ実施	・同左	③
	算定方法	・基準地震動を元に、1次元波動論により引き戻し、2次元FEM解析により立ち上げて算定	・基準地震動を直接入力	
材料物性等の不確かさ		・RC減衰：耐震設計に反映(3%) ・地盤物性：耐震設計に反映(±σ) ・Fc実強度：影響検討	・RC減衰：考慮せず ・地盤物性：同左 ・Fc実強度：同左	④ ⑤

①：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制定)に基づき設定。

②：原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版((社)日本電気協会)に基づき設定。

③：使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋基礎底面 [ ] は、基準地震動の解放基盤表面 [ ] よりも上部に位置していることなどを踏まえ、基準地震動を立ち上げて入力地震動を算定。

④：RC減衰について、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、耐震性向上の観点からRC減衰を3%とした場合も考慮。

伊方3号機原子炉補助建屋は、伊方3号機の工事計画認可申請(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号認可)において、RC減衰を5%とすることの妥当性を確認。

⑤：Fc実強度について、伊方3号機原子炉補助建屋は、剛性の増分に対し耐力の増分が大きいことから保守的に考慮しないこととしており、伊方3号機の工事計画認可申請(平成28年3月23日付け原規規発第1603231号認可)において影響がないことを確認している。使用済燃料乾式貯蔵建屋についても同資料の知見により影響がないことを確認している。

## (別紙1) 地盤ばねのモデル化について

### 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル（以下「SRモデル」という。）における地盤のモデル化については、JEAG4601-1991に基づき、基礎底面に地盤ばねを設けている。

地盤ばねのモデル化の詳細は以下のとおり。

#### 1.1 底面ばね

基礎底面の地盤ばねについては、JEAG4601-1991に基づき、建屋基礎底面下の地盤を2層地盤とみなして成層補正により算出した地盤定数を用いて、弾性波動論（振動アドミッタンス理論）により得られる動的地盤ばねを近似して設定している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋では、以下に示す考察を踏まえ、地盤ばねによるモデル化を行っている。

##### 1.1.1 使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺地盤に関する考察

JEAG4601-1991による地盤ばねは、建屋基礎底面下の地盤を「(1) 一様地盤とみなしてモデル化する手法」又は、「(2) 2層地盤とみなしてモデル化する手法」に大別される。一様地盤及び2層地盤の概念図を第1-1図に示す。

このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺地盤状況を確認し、(1) と (2) のどちらによるモデル化が適切であるかを考察する。

考察にあたり、確認する地盤の範囲（水平方向の長さ）は、JEAG4601-1991に示されている「地盤をFEMによりモデル化する手法」におけるFEMモデルの解析領域に関する記載を参考に、建屋幅の約2～3倍の範囲とする。FEMモデルの概念図及び解析領域の広さを第1-2図に、使用済燃料乾式貯蔵建屋における周辺地盤の水平方向の長さ及び建屋幅の関係を第1-3図に示す。なお、第1-3図には岩級区分に対するせん断速度の関係も示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋幅の2～3倍の領域に着目すると、せん断弾性波速度（以下「Vs」）という。が1.7km/s以上の堅硬なI級岩盤が水平方向及び鉛直方向に続いている。建屋幅の2～3倍の領域よりも外側では、斜面やII級岩盤以下の地盤がみられるものの、建屋応答に対し支配的となる建屋基礎底面位置に着目すると、「第1層がVs1.7km/s、第2層がVs2.7km/sである2層地盤とみなすモデル化」が適切であると考えられる。

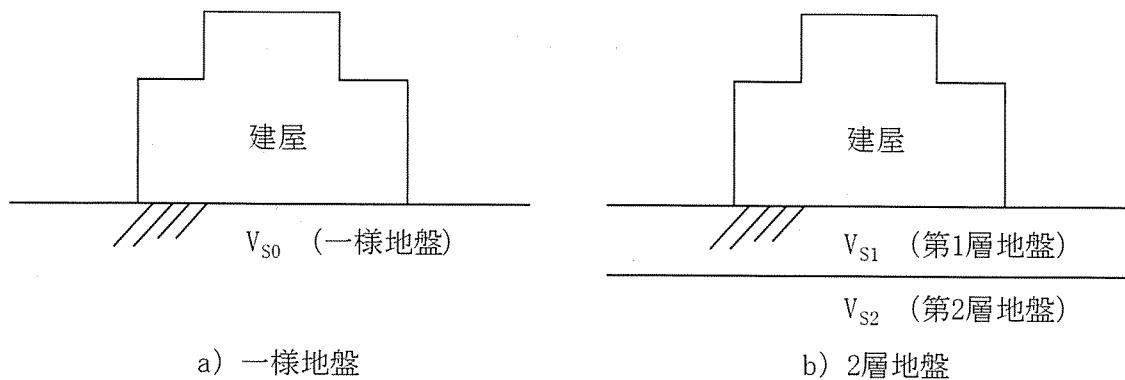
これらのことと踏まえ、使用済燃料乾式貯蔵建屋では、建屋基礎底面下の地盤を2層地盤とみなし、成層補正により算出した地盤定数を用いて地盤ばねを設定している。

## 1.2 側面ばね

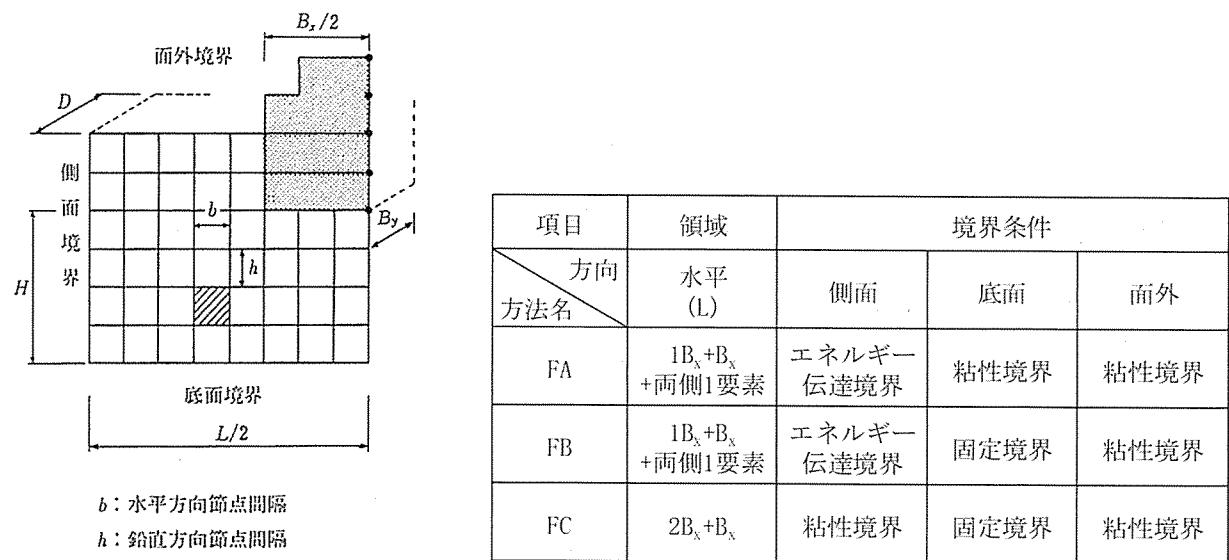
使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地下階のない地上構造物であることから、地震応答解析モデルに側面の地盤ばねを考慮していない。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第1-4図及び第1-5図に示す。

なお、建屋基礎の周囲は、基礎よりも強度の低い埋戻しコンクリートに囲まれているが、JEAG4601-1991には、建屋の埋込まれている影響を無視できる範囲の例として、「基礎版の厚さ程度」との記載もあることから、今回のような比較的浅い範囲の埋込みによる影響はないと考えられる。

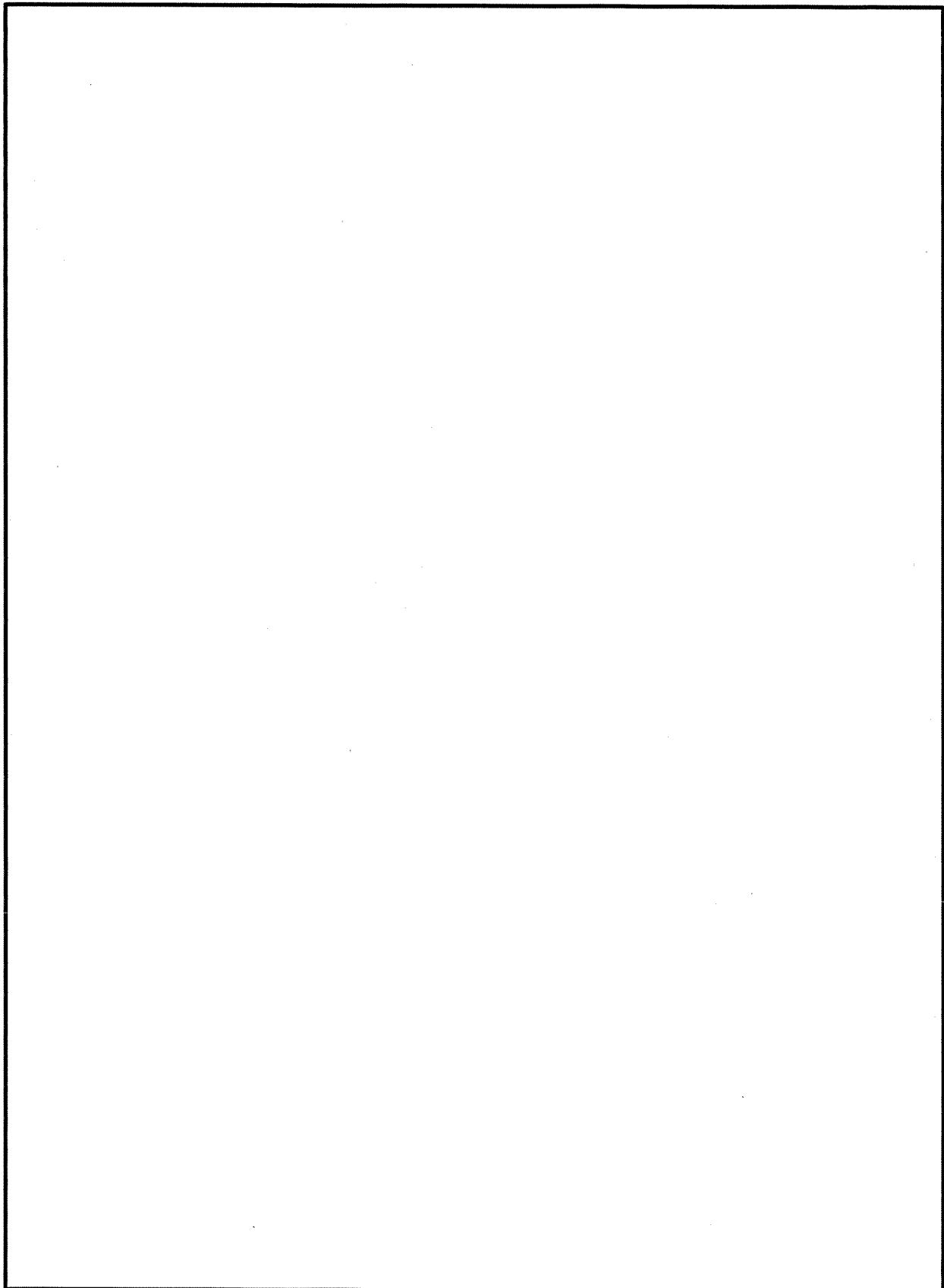


第1-1図 一様地盤及び2層地盤の概念図

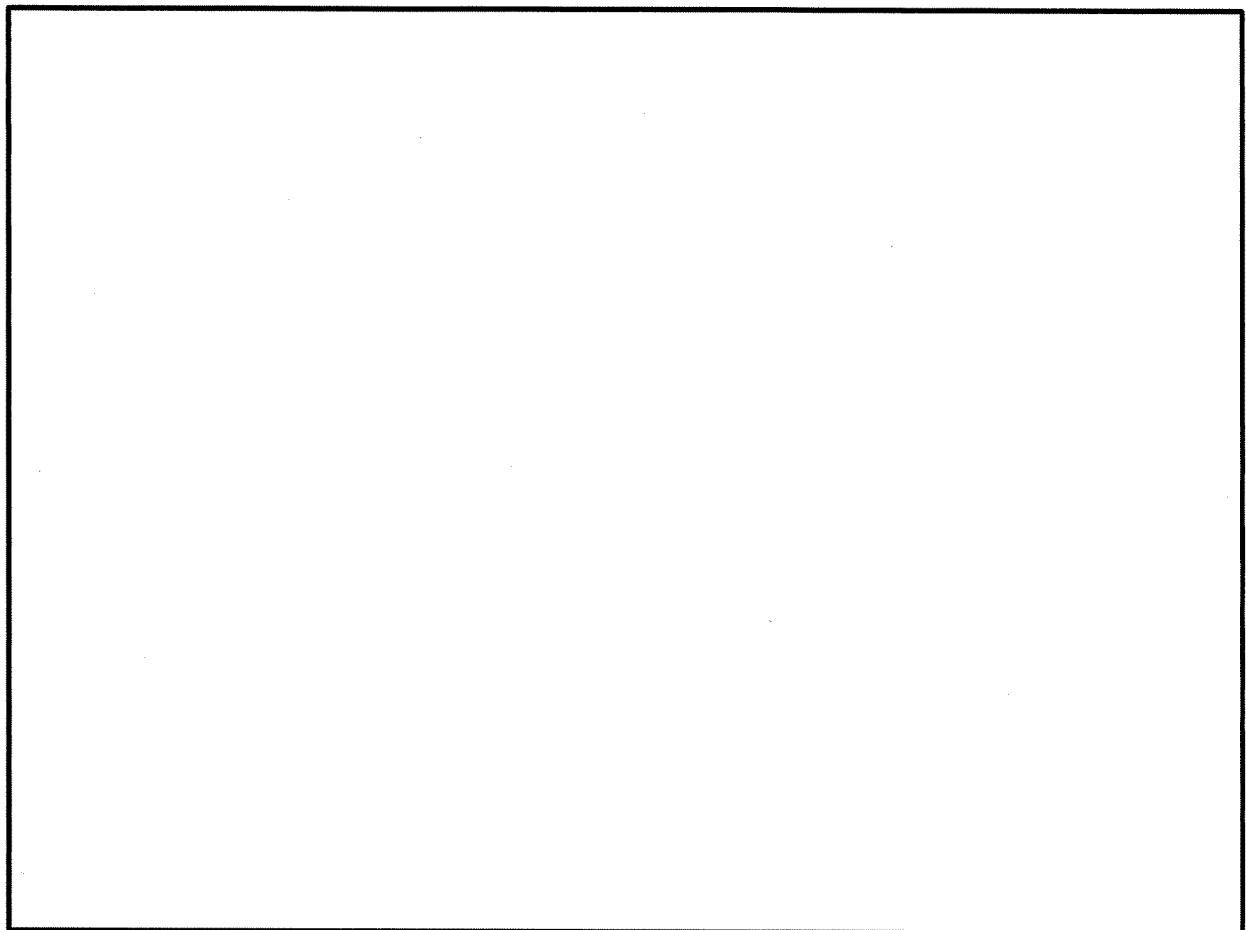


(JEAG4601-1991 P66 より引用)

第1-2図 FEMモデルの概念図及び解析領域の広さ

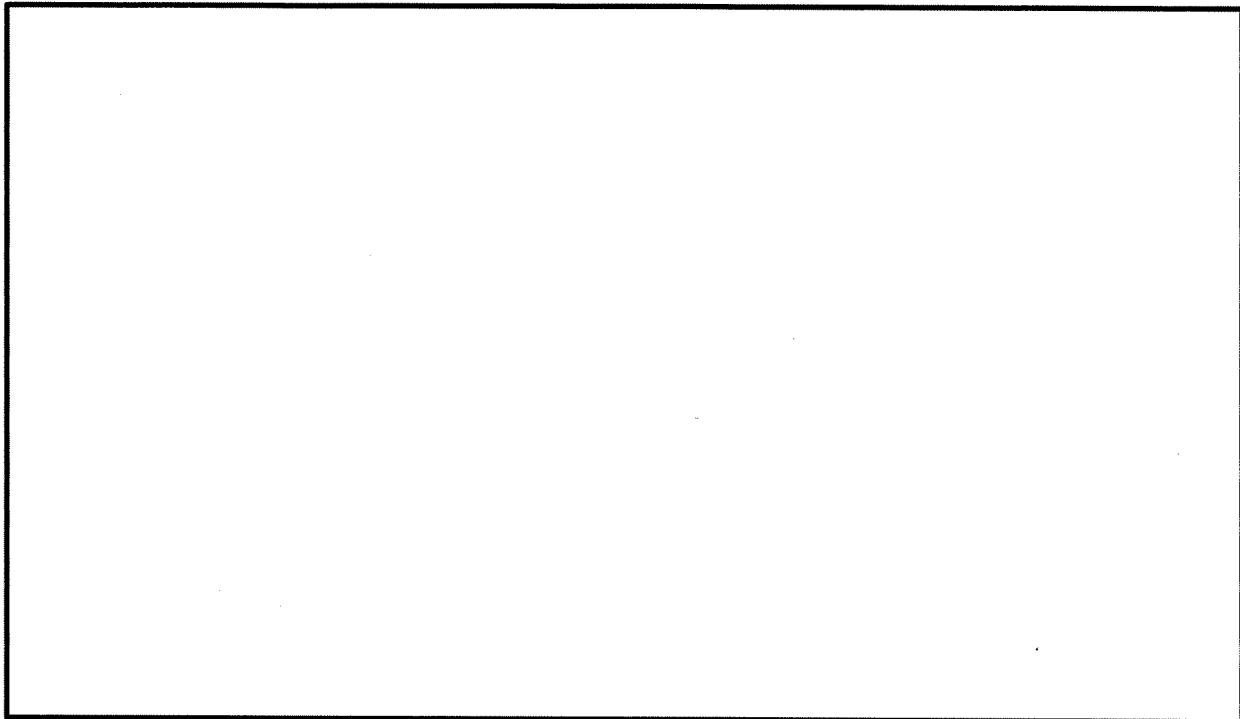


第1-3図 周辺地盤の水平方向の長さ及び建屋幅の関係

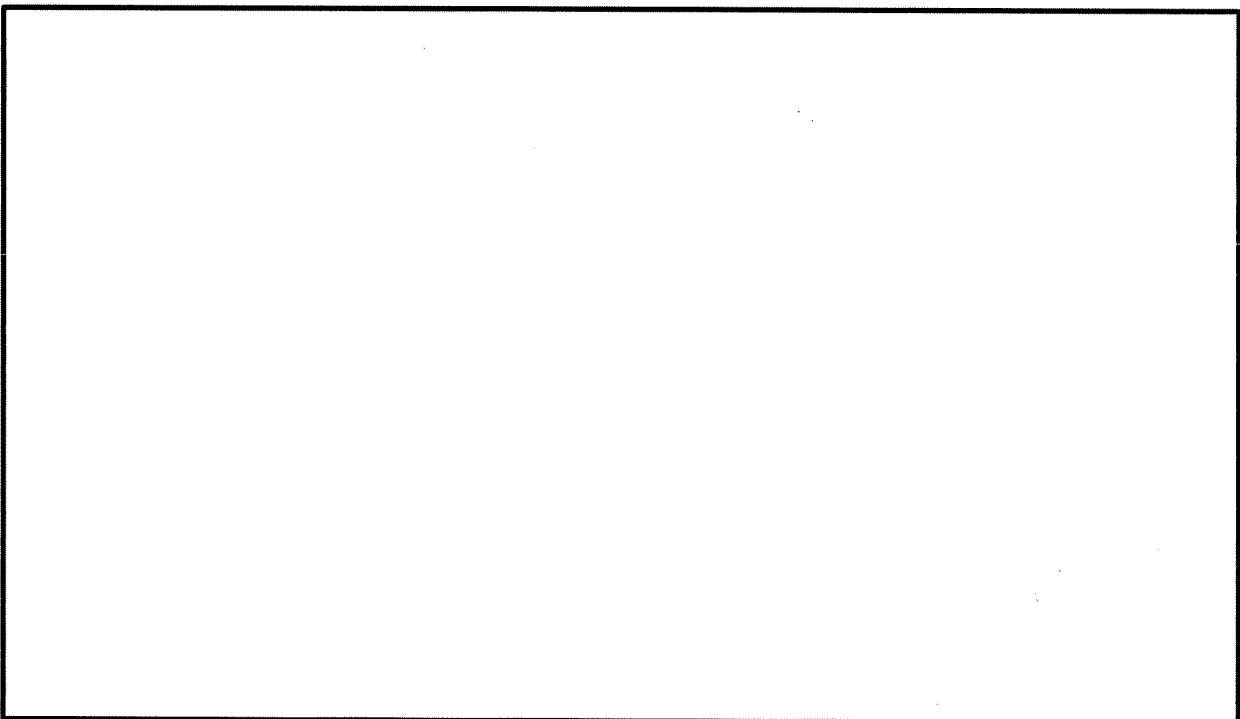


第1-4図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

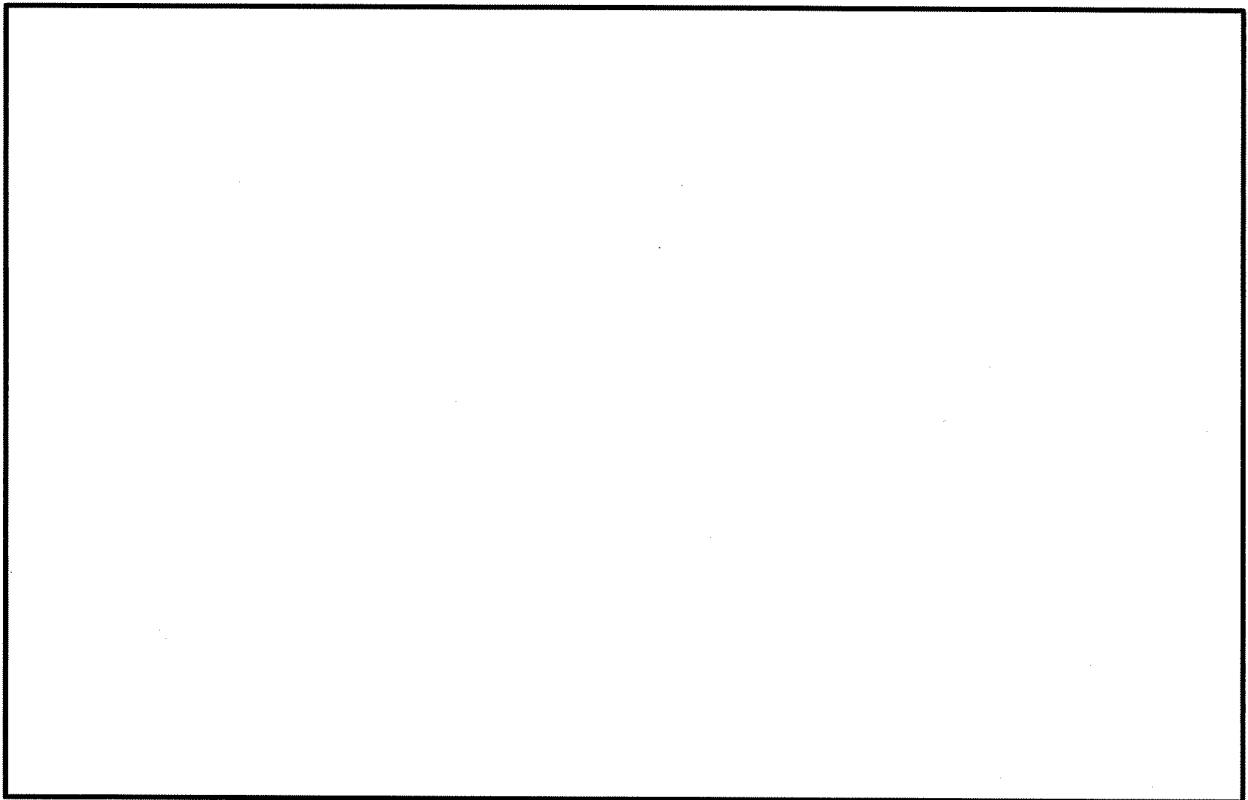




第1-5図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第1-5図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



第1-5図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

## (別紙2) 建屋基礎の滑動に関する評価について

### 1. 各種指針の記載

- (1) 建屋基礎の設計指針である「建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2019改定)」においては、建屋基礎の滑動の評価は、「直下の地盤のせん断抵抗を採用」することとされ、「土質試験等を実施して求めることが望ましい」ものの、「土質試験等を実施しない場合は、摩擦係数としておおむね0.4～0.6を採用すればよい」とされている（第1-1表①）。
- (2) 土木分野の指針「道路土工 擁壁工指針（日本道路協会, 平成24年度版）」においても、「土質試験等により地盤の強度定数を求めることが原則とされ、「土質試験等を行うことが困難な場合には摩擦係数0.7を用いてもよい」とされている（第1-1表②）。
- (3) 上記(1)(2)は、第1-1表①に記載の「基礎底面は支持地盤と十分かみ合っている」ことが前提となる。この点、建屋基礎の打設にあたっては、通常、地盤の不陸の残置、岩盤清掃、湿潤状態での打設等の打ち込み準備工がなされる（第1-1表③）。とりわけ、伊方発電所の支持地盤である塩基性片岩は、片理を有することから、特に不陸が卓越し、基礎底面は支持地盤と十分かみ合う。（第1-1図）
- (4) 一方、建屋基礎～均しコンクリート間の水平打継目については、他の水平打継目と同様、丁寧な打継目処理（第1-1表④）を施すこととしており、この場合、水平打継目のせん断強度はコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値（圧縮強度の1/5）となるとの考え方方が示されている（第1-1表⑤）。

その値は、第1-2表のとおりであり、上記(1)の「直下の地盤のせん断抵抗」の3倍以上である。

第1-2表は、工事計画認可申請（令和元年12月13日付）の再掲であり、認可（令和元年12月24日付）を受けている。

なお、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会, 2013）」に基づくコンクリートの品質管理について、「コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]（土木学会, 2002）」の方が硬練りの調合条件であるなどの差異が見られるものの、その他の条件は概ね同等である（第1-3表）ことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋についても、上記考え方を用いることができると考えられる。

## 2. 規制基準に関する内規（ガイド）の要求

「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（原子力規制委員会、平成25年）」においては、想定すべきすべり面として「基礎地盤の内部を通るすべり面」に加え、「基礎底面を通るすべり面」を規定している（第1-4表）。前者は、断層沿いのすべり面や応力状態を考慮したすべり面などの地盤内部のすべり面に対応し、後者は、建屋基礎の滑動の照査に対応している。

原子炉建屋等の設置許可・工事計画認可を受けた他の耐震重要施設の建屋に対しても、この評価方針に基づき評価を実施している。

## 3. まとめ

以上より、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の滑動に関する評価については、

- ・1. に基づき、原位置試験により求めた「直下の地盤のせん断抵抗を採用」し（第1-2表）、
- ・2. に基づき、「基礎底面を通るすべり面」を評価（第1-5表）

している。その結果、すべり安全率は5.0であり、地盤ガイドの定める所要安全率1.5を大きく上回ることを確認している。（応力状態の詳細は、（参考1）を参照）

なお、1. (4)に述べたとおり、建屋基礎と均しコンクリート間の水平打継目については丁寧な打継目処理を施すこととしており、打継目のせん断強度がコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値となるとの考え方を採用できると考えられるものの、この考え方には必ずしも適用されない場合がある。この考え方によれば、コンクリート同士の粘着力および摩擦力によるせん断抵抗力を考慮した滑動評価を行い、基準地震動Ssによる地震力が作用した際に建屋基礎と均しコンクリート間が滑動しないことを確認している。（滑動評価の詳細は、（参考2）を参照。）

第1-1表 各種指針の記載

出典	記載内容								
① 建築基礎構造設計指針 ((社)日本建築学会, 2019 改定)	<p>直接基礎では、基礎底面に捨てコンクリートが打設され、また、捨てコンクリート下面には根切り底への敷砂利などが設けられる。このため、基礎底面は支持地盤と十分かみ合っている場合が多いと考えられ、通常の地盤では、基礎底面のコンクリートと土の摩擦力よりも、その<u>直下の土のせん断抵抗を摩擦係数に換算して採用する</u>。</p> <p>滑動抵抗の算定に用いる基礎底面の摩擦係数は、基礎底面の状態や地盤条件・施工条件を考慮し、<u>事前に土質試験や原位置試験を実施して求めることが望ましい。土質試験などを実施しない場合には、摩擦係数としておおむね0.4~0.6の範囲の値を採用すれば良い</u>。</p>								
② 道路土工 擁壁工指針 (日本道路協会, 平成24年度版)	<p>2) 擁壁底面と地盤との間の摩擦角 <math>\phi_B</math> と付着力 <math>c_B</math></p> <p><u>土質試験や原位置試験により基礎地盤の強度定数 <math>c</math>, <math>\phi</math> が求められた場合、擁壁底面の摩擦角 <math>\phi_B</math> は、場所打ちコンクリート擁壁では <math>\phi_B = \phi</math> (中略) としてよい。(中略) 土質試験等を行うことが困難な場合には、解表4-9の値を用いてよい</u>。擁壁底面の地盤との付着力 <math>c_B</math> は、施工時の地盤の乱れ等を考慮して決定する。</p> <p style="text-align: center;">解表4-9 (抜粋)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>せん断面の条件</th> <th>支持地盤の種類</th> <th>摩擦係数 <math>\mu = \tan \phi_B</math></th> <th>付着力 <math>c_B</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>岩または礫とコンクリート</td> <td>岩盤</td> <td>0.7</td> <td>考慮しない</td> </tr> </tbody> </table>	せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 $c_B$	岩または礫とコンクリート	岩盤	0.7	考慮しない
せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 $c_B$						
岩または礫とコンクリート	岩盤	0.7	考慮しない						
③ コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会, 2002)	<p>7.2 打込み準備</p> <p>(1) 岩盤上にダムコンクリートを打ち込むときには、岩盤の表面の緩んだ岩、岩くず、その他の異物を除去し、湧水箇所は適切な方法で処理しなければならない</p>								
④ ④-1 建築工事標準仕様書・同解説JASS5N原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 (2013改定)	<p>7.3 打継ぎ計画</p> <p>a. 打継ぎの位置・形状および処理方法は、構造耐力および耐久性を損なわないようなものとし、設計図書による。</p> <p>(解説) 打継ぎ部の形状は、コンクリート打込み前の打継ぎ部の処理が円滑に行え、かつ新たに打ち込むコンクリートの締固めが容易に行えるような形状とする。</p> <p>コンクリート打込み後のブリーディングに伴って、コンクリート中の微細な粒子が浮遊水とともに浮き上がり、コンクリート表面に形成する脆弱な薄膜をレイターンスと呼ぶ。レイターンスが生成したコンクリート面は、高压ジェット水による洗浄、サンダー掛けによる表層の除去などを行い、健全なコンクリートを露出しなければならない。</p>								
④-2 コンクリート標準示方書 [施工編] (土木学会, 2007)	<p>9.3 水平打継目の施工</p> <p>(2) コンクリートを打ち継ぐ場合には既に打ち込まれたコンクリートの表面のレイターンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材粒などを完全に取り除き、十分に給水させなければならない。</p>								
⑤ コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会, 2002)	<p>2.4.3 強度</p> <p>【解説】 水平打継目におけるせん断摩擦安全率を検討する場合には、水平打継目のせん断強度が必要となる。水平打継目のせん断強度は打継目処理の方法によって大きく変化するが、<u>丁寧な打継目処理を施した場合</u>、水平打継目のせん断強度はダムコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値を示す。この値はダムコンクリートの<u>圧縮強度のおよそ1/5</u>である。</p>								

第1-2表 解析用物性値（再掲）

[工事計画認可申請(令和元年12月13日補正申請, 令和元年12月24日認可)資料8-1別紙 再掲]

	岩盤						断層		セメント改良土 (f' ck=18N/mm <sup>2</sup> ) <sup>*5</sup>	置換コンクリート (f' ck=18N/mm <sup>2</sup> ) <sup>*5</sup>	
	I級			II級	III級①	III級②	III級	軟質無	軟質含		
	①	②	③								
単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	29.4			27.5	25.5		18.6	26.5	19.6	23.7	23.0
せん断強度 (kN/m <sup>2</sup> )	981			490	130		39	324	78	913	3.600
内部摩擦 (°)	50			41	23		17	34	24	52	0
残留強度 (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau = 569 + \sigma \tan 43^\circ$			$\tau = \sigma \tan 41^\circ$	$\tau = \sigma \tan 23^\circ$		$\tau = \sigma \tan 17^\circ$	$\tau = \sigma \tan 34^\circ$	$\tau = \sigma \tan 24^\circ$	$\tau = \sigma \tan 52^\circ$	0
静弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	$3.63 \times 10^6$			$1.18 \times 10^6$	$0.49 \times 10^6$		$0.0392 \times 10^6$	$27000 (\sigma_v)^{0.34}$	$1750 (\sigma_v)^{0.60}$	$3.52 \times 10^6$	$22.0 \times 10^6$
静的ボアソン比	0.29			0.32	0.32		0.45	0.36	0.45	0.37	0.20
動弾性係数 ( $\times 10^6$ kN/m <sup>2</sup> )	58.8 <sup>*1</sup>	42.2 <sup>*2</sup>	23.5 <sup>*3</sup>	10.8	3.51	$G_v/G_0 = 1 / (1 + 10.4 \gamma^{0.787})$ $G_0 = 43900 \text{ kN/m}^2$	0.127	$G_v/G_0 = 1 / (1 + 10.4 \gamma^{0.787})$ $G_0 = 294000 \text{ kN/m}^2$	$G_v/G_0 = 1 / (1 + 10.4 \gamma^{0.787})$ $G_0 = 41300 (\sigma_v)^{0.53} \text{ kN/m}^2$	7.78	22.0
動的ボアソン比	0.34			0.36	0.38		0.45	0.40	0.45	0.37	0.20
減衰定数	2.0 (%)			3.0 (%)	3.0 (%)	$h = 1 / (0.062 + (3.90 \times 10^{-3} / \gamma) + 1.3)$	10.0 (%)	$h = 0.08 \log \gamma + 0.36$ $(\gamma > 10^{-3})$ $h = 0.017 \log \gamma + 0.09$ $(\gamma < 10^{-3})$	5.0 (%)	5.0 (%)	

\* 1 Vs=2.7km/s \* 2 Vs=2.3km/s \* 3 Vs=1.7km/s \* 4 動せん断弾性係数  
 \* 5 コンクリート標準示方書【構造性能照査編】(2002) 及びコンクリート標準示方書【ダムコンクリート編】(2002) より設定

第1-3表 コンクリートの品質管理の比較

		JASS5N <sup>※1</sup>		コン示[ダム編] <sup>※2</sup>	
セメント	ポルトランドセメント	JIS R 5210		同左	
骨材	ふるい分け試験	砂	3.4細骨材による	4.4細骨材による	
		碎砂	JIS A 5005による	4.4細骨材による	
		碎石	JIS A 5005による	5.3粗骨材による	
	微粒分量試験 <sup>※3</sup>	砂	3.0%以下	5.0%以下	
		碎砂	7.0%以下	同左 <sup>※4</sup>	
		碎石	3.0%以下	1.5%以下	
	密度試験 <sup>※5</sup>	砂	2.5g/cm <sup>3</sup> 以上	同左	
		碎砂	2.5g/cm <sup>3</sup> 以上	同左	
		碎石	2.5g/cm <sup>3</sup> 以上	同左	
	吸水率試験	砂	3.0%以下	3.5%以下	
		碎砂	2.5%以下	3.0%以下	
		碎石	2.0%以下	3.0%以下	
	硫酸ナトリウムによる安定性試験 <sup>※6</sup>	砂	10%以下	同左	
		碎砂	10%以下	同左	
		碎石	12%以下	同左	
	骨材中の粘土塊量の試験	砂	1.0%以下	同左	
	普通細骨材中の塩分試験	砂	0.02%以下	0.04%以下	
	コンクリート用碎砂・碎石の粒形判定実積率試験	碎砂	55%以上	54%以上	
		碎石	57%以上	56%以上	
	細骨材の有機不純物試験	標準色液又は色見本より淡い		同左	
	アルカリシリカ反応性試験	「無害」と判定されること		同左	
	粗骨材のすりへり試験	40%以下		同左	
水 <sup>※7</sup>	懸濁物質の量 <sup>※8</sup>	2g/ℓ以下		清澄で品質に悪影響を及ぼす油、酸、有機不純物などの物質を有害量含んでいてはならない	
	溶解性蒸発残留物の量 <sup>※8</sup>	1g/ℓ以下			
	塩化物イオン(Cl)の量	200mg/ℓ以下			
	セメントの凝結時間の差	始発30分内、終結60分内			
	モルタルの圧縮強さの比	材齢7日及び材齢28日で90%以上			
混和剤	化学混和剤	JIS A 6204による		同左	
混和材	フライアッシュの試験	JIS A 6201による		同左	
フレッシュコンクリート	コンクリートスランプ試験 <sup>※9</sup>	5.5~20.5cm		2~5cm程度	
	フレッシュコンクリートの空気量試験 <sup>※10</sup>	4.5%±1.5%		同左	
	フレッシュコンクリートの温度測定	5~35℃		同左	
	フレッシュコンクリート中の塩化物量試験	0.30kg/m <sup>3</sup> 以下		同左	
圧縮強度	圧縮強度試験 (JASS5Nは材齢28日) (コン示[ダム編]は材齢91日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1回の試験結果が呼び強度の85%以上</li> <li>3回の試験結果の平均が呼び強度以上</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>設計基準強度の80%を1/20以上の確率で下回らない</li> <li>設計基準強度を1/4以上の確率で下回らない</li> </ul>	

※1：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事 (建築学会, 2013)

※2：コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編] (土木学会, 2002)

※3：コン示[ダム編]の砂・碎砂はダムコンクリートの表面がすりへり作用を受けない場合の値

※4：粘土・シルトなどを含まない場合の値

※5：JASS5Nは絶乾密度、コン示[ダム編]は表乾密度の値

※6：コン示[ダム編]の碎石はコンクリートの設計基準強度が18N/mm<sup>2</sup>以上の場合の値

※7：レディーミキストコンクリートの練混ぜに用いる水 (JASS5Nは上水道以外の水又は回収水のうち上澄み水を用いる場合の条件)

※8：JASS5Nにおける上水道以外の水を用いる場合のみ規定されている値

※9：JASS5Nはスランプの範囲が8cm以上18cm以下の場合の値、コン示[ダム編]は40mmふるいでウェットスクリーニングした試料の一般的な値

※10：コン示[ダム編]は耐凍害性を要求しない部位に用いるコンクリートの場合

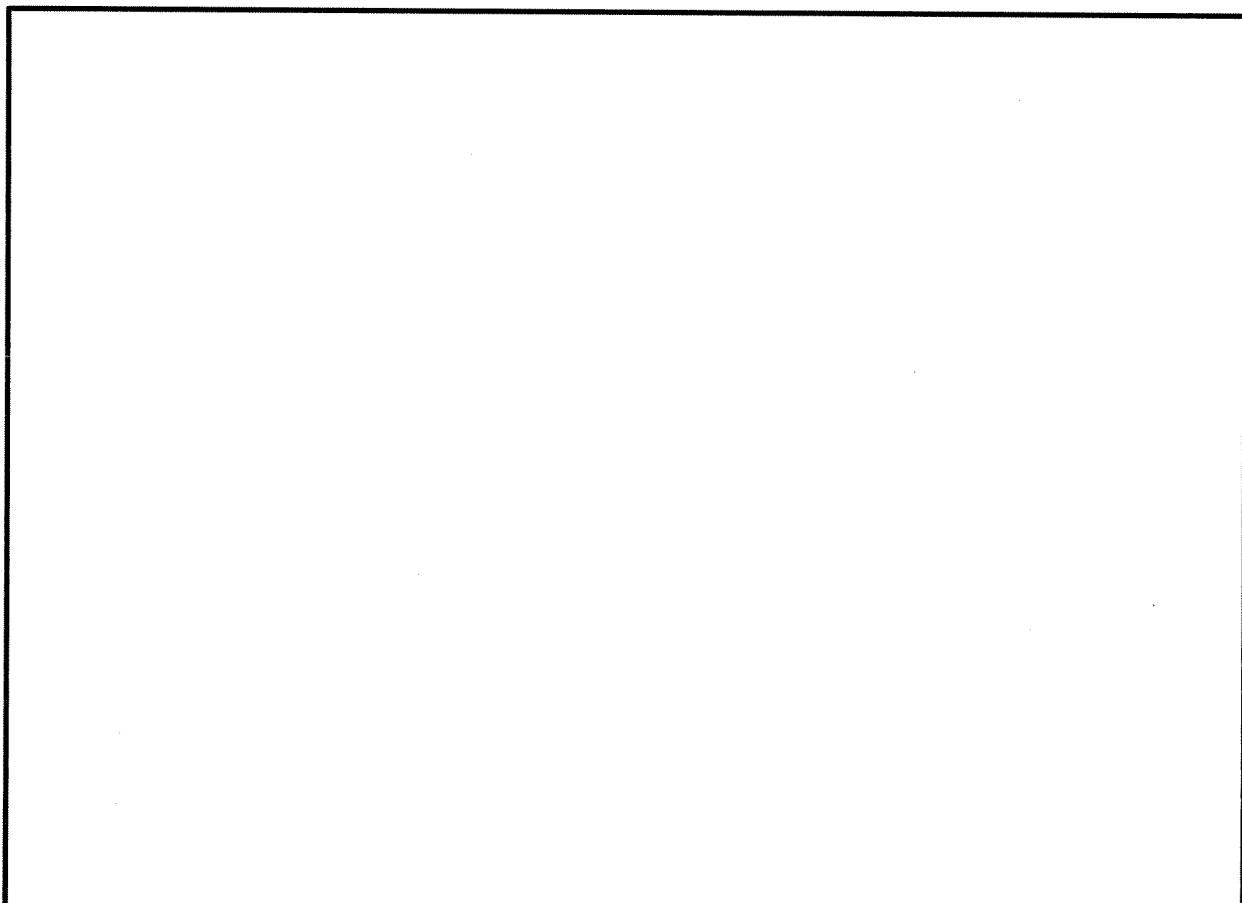
第1-4表 規制基準に関する内規（ガイド）の要求

出典	記載内容
基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（原子力規制委員会、平成25年）	<p>4. 基礎地盤の安定性評価          4. 1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価          (1) 評価項目              1) 基礎地盤のすべり                  動的解析の結果に基づき、基礎地盤の内部及び基礎底面を通るすべり面が仮定され、そのすべり安全率によって総合的に判断されていること。</p> <p>(2) 確認事項          4) 解析モデルの設定と結果の評価          ・すべり安全率を求めるに当たって、基礎底面を通るすべり面のほか、不連続面等の分布、局所安全率、モビライズド面の向き等に基づいてすべり面が適切に想定されていること。</p>

第1-5表 すべり安全率に対する評価結果（N-N' 断面）

〔 黄枠：複数設定した基礎底面を通るすべり面の中で、最小すべり安全率を示すすべり面  
 表下段に追記のとおり、基礎底面に接するすべり面の安全率は5.1（5.0よりも大きい） 〕

〔設計及び工事計画認可申請 資料9-1別紙 再掲・加筆〕





第1-1図 3号炉原子炉建屋基礎岩盤清浄状況  
(平成27年3月20日審査会合資料再掲)



第1-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 均しコンクリート打設状況

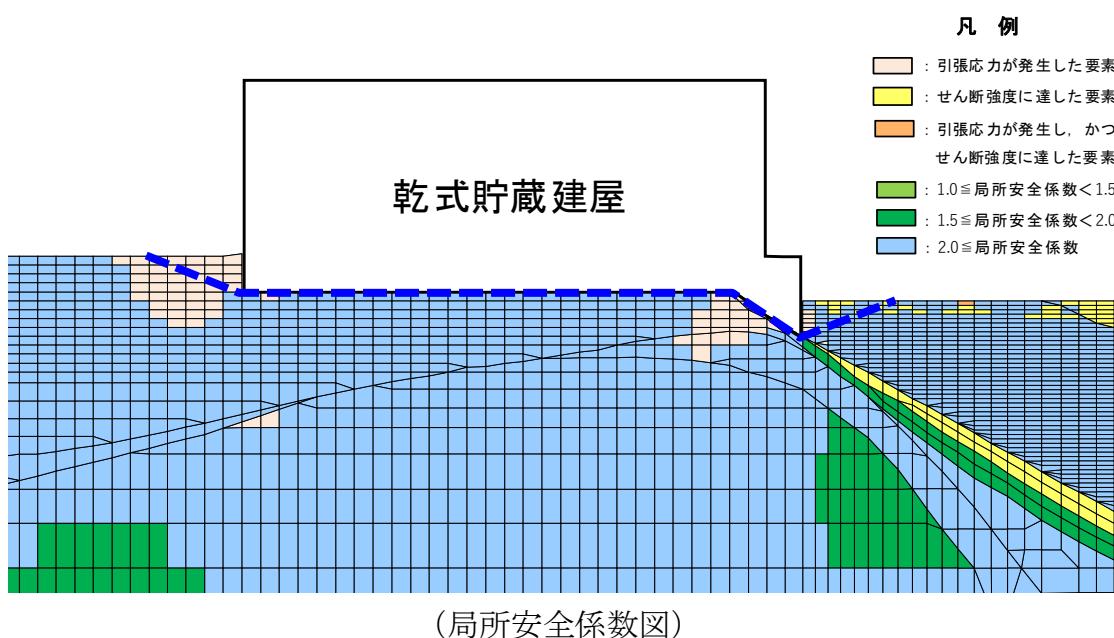
左半分: 均しコンクリート打設済 (打継目処理前)  
右半分: 均しコンクリート打設前 (打ち込み準備工前)

(参考1) 基礎底面を通るすべり面の応力状態について

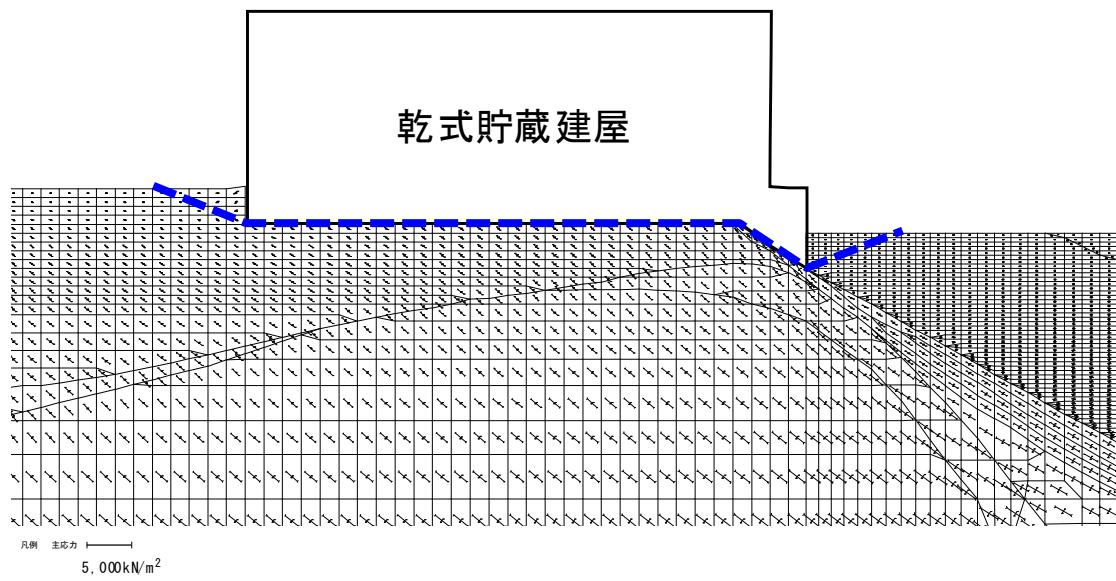
(別紙2) 2. で示した「基礎底面を通るすべり面」の応力状態を第1図に示す。

- すべり面を構成する要素は、健全な要素（局所安全係数 $\geq 1.0$ ）が多い
- 建屋基礎の端部などでは、建屋が地盤を際限なく引っ張る力が地盤に伝達（※等価線形解析の節点共有の影響。現実では発生しない）する影響により、解析上の保守的な効果として、引張破壊が発生している要素がある

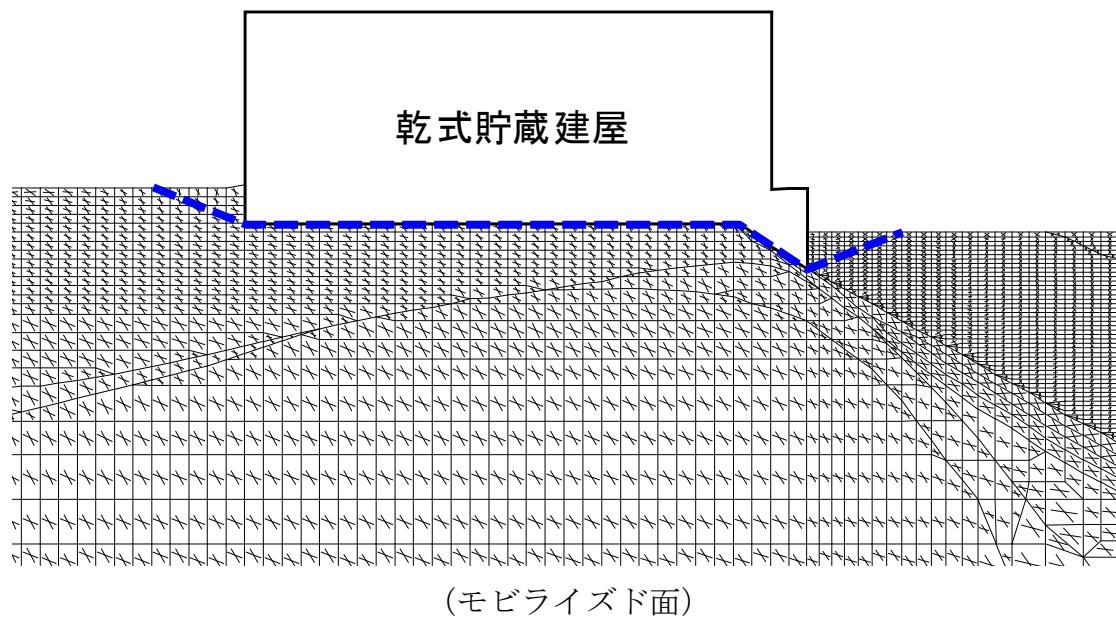
引張破壊した要素は、健全強度よりも著しく小さい残留強度（（別紙2）第1-2表）を参照し、（別紙2）第1-5表のとおり、安全率は5以上である。



第1図(1/2) 「基礎底面を通るすべり面」の最小すべり安全率における応力状態



(主応力ベクトル図)



第1図(2/2) 「基礎底面を通るすべり面」の最小すべり安全率における応力状態

## (参考2) 建屋基礎と均しコンクリート間の滑動評価について

### 1. 概要

本資料では、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、建屋基礎と均しコンクリート間の水平打継目のせん断強度がコンクリート自身のせん断強度とほぼ等しい値（圧縮強度の1/5）となるとの考え方によらず、保守的に、コンクリート同士の粘着力および摩擦力によるせん断抵抗力を考慮した滑動評価を行い、基準地震動Ssによる地震力が作用した際に建屋基礎と均しコンクリート間が滑動しないことを確認する。

### 2. 検討方法

建屋の滑動について、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ((社)日本電気協会) に示される下式を参考に算定した基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力が、基準地震動Ssによって使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用するせん断力より十分大きいことを示す。

$$H_u = CA + V \tan \phi$$

ここで、

- $H_u$  : 底面と地盤に働くせん断抵抗力 (kN)  
 $C$  : 底面と地盤との間の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $A$  : 底面の有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)  
 $V$  : 底面に作用する鉛直力 (kN)  
 $\phi$  : 底面と地盤との間の摩擦角 (度)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間は、丁寧な打継目処理を施す計画としていることから、十分な粘着力が期待できると考えられる。このため、粘着力の設定にあたり、原子力施設の地盤条件やコンクリートの強度条件を念頭に検討が行われている、独立行政法人原子力安全基盤機構<sup>1</sup>（以下「JNES報告書」という。）による基礎と均しコンクリート間の付着力試験の結果を用いて設定する。

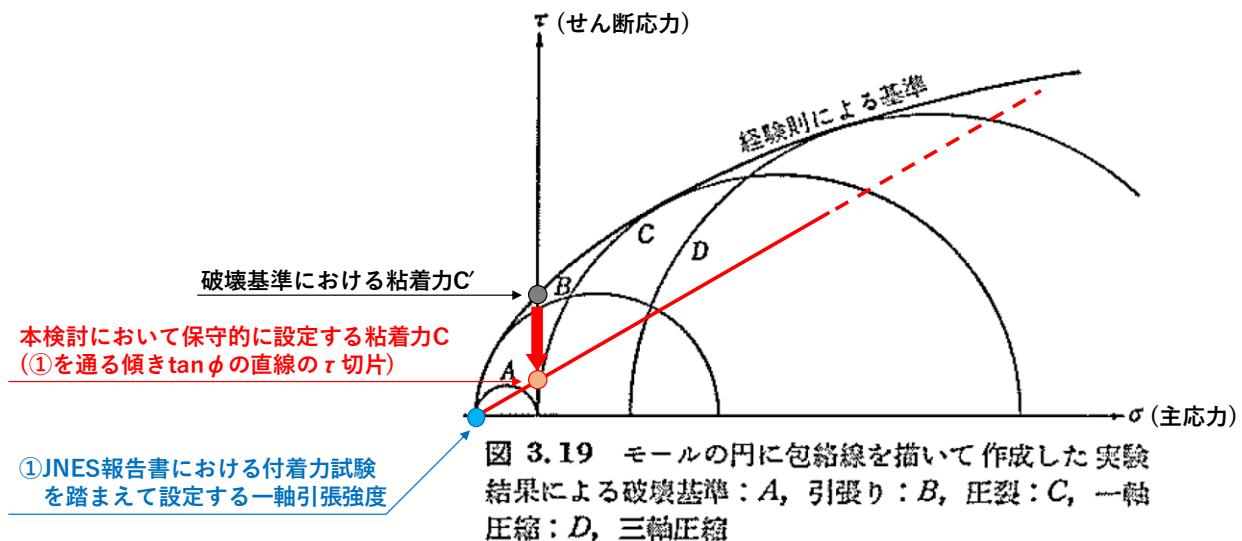
JNES報告書では、コンクリート間の付着力（引張強度）とせん断強度との関係までは明らかにされていないことを踏まえ、本検討で用いるせん断強度としての粘着力は、JNES報告書の付着力試験の結果を用い、モール応力円と破壊基準との関係を考慮した保守的な設定を行うこととする。

---

<sup>1</sup> 独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備基礎浮上り評価手法の調査に係る報告書（平成18年度）」

具体的には、JNES報告書の付着力試験は、打継目の引張強度を評価したものであり、一軸引張強度（第2-1図の①）を示すモール応力円に対応することから、①を通る傾き  $\tan \phi$  の直線の  $\tau$  切片を粘着力  $C$  として設定する。

このように設定した粘着力  $C$  は、第2-1図に示す破壊基準における粘着力  $C'$  と比較して保守的である。



第2-1図 本検討における粘着力  $C$  の設定方針  
(「鹿島出版会 わかりやすい岩盤力学」に一部加筆)

### 3. 検討条件

#### 3.1 基礎底面の面積

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面の面積は3,186(m<sup>2</sup>)である。

#### 3.2 基礎底面に作用する鉛直力

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用する鉛直力は、建屋総重量の727,800(kN)を考慮する。

#### 3.3 摩擦係数 (tan $\phi$ )

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間の摩擦係数は、「道路橋示方書・同解説((社)日本道路協会)」及び「道路土工擁壁工指針((社)日本道路協会)」における摩擦係数の値を参考に、0.6とする。

#### 3.4 粘着力

<補足資料>に示すとおり、JNES報告書における付着力試験の結果、基礎と均しコンクリート間の付着力は0.6N/mm<sup>2</sup> (600kN/m<sup>2</sup>)程度とされていることから、粘着力Cは、摩擦係数 (tan  $\phi$  = 0.6)との関係から、0.36N/mm<sup>2</sup> (360kN/m<sup>2</sup>)とする。

#### 3.5 せん断力

基準地震動Ssによって使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面に作用するせん断力は、添付資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」における地震応答解析モデルの基礎底面地盤ばね反力(水平方向)を考慮する。

### 4. 検討結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎と均しコンクリート間の滑動の検討結果を第4-1表に示す。

検討の結果、基礎底面に作用するせん断力よりも基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力が十分大きいことから、建屋の滑動が起こらないことを確認した。

第4-1表 基礎と均しコンクリート間の滑動の検討結果

①基礎底面に作用するせん断力 (kN)	②基礎と均しコンクリート間のせん断抵抗力 (kN)	安全率 (②/①)
629,800	1,583,640	2.5

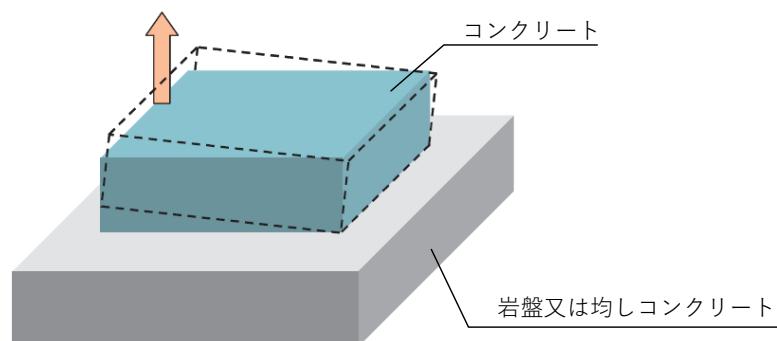
## <補足資料>JNES報告書における付着力試験及び適用性の確認

### 1. JNES報告書における付着力試験

#### (1) 付着力試験の概要

JNES報告書では、より実情に近い状態での付着力を検討するための試験として、150cm×150cmの接合面を用いた中規模試験を実施しており、岩盤と均しコンクリート間を模擬した試験（RCシリーズ）及び基礎と均しコンクリート間を模擬した試験（CBシリーズ）の2種類について試験を行っている。

中規模試験の概念図を補足-1図に、試験変数を補足-1表に示す。



補足-1図 中規模試験の概念図（JNES報告書に一部加筆）

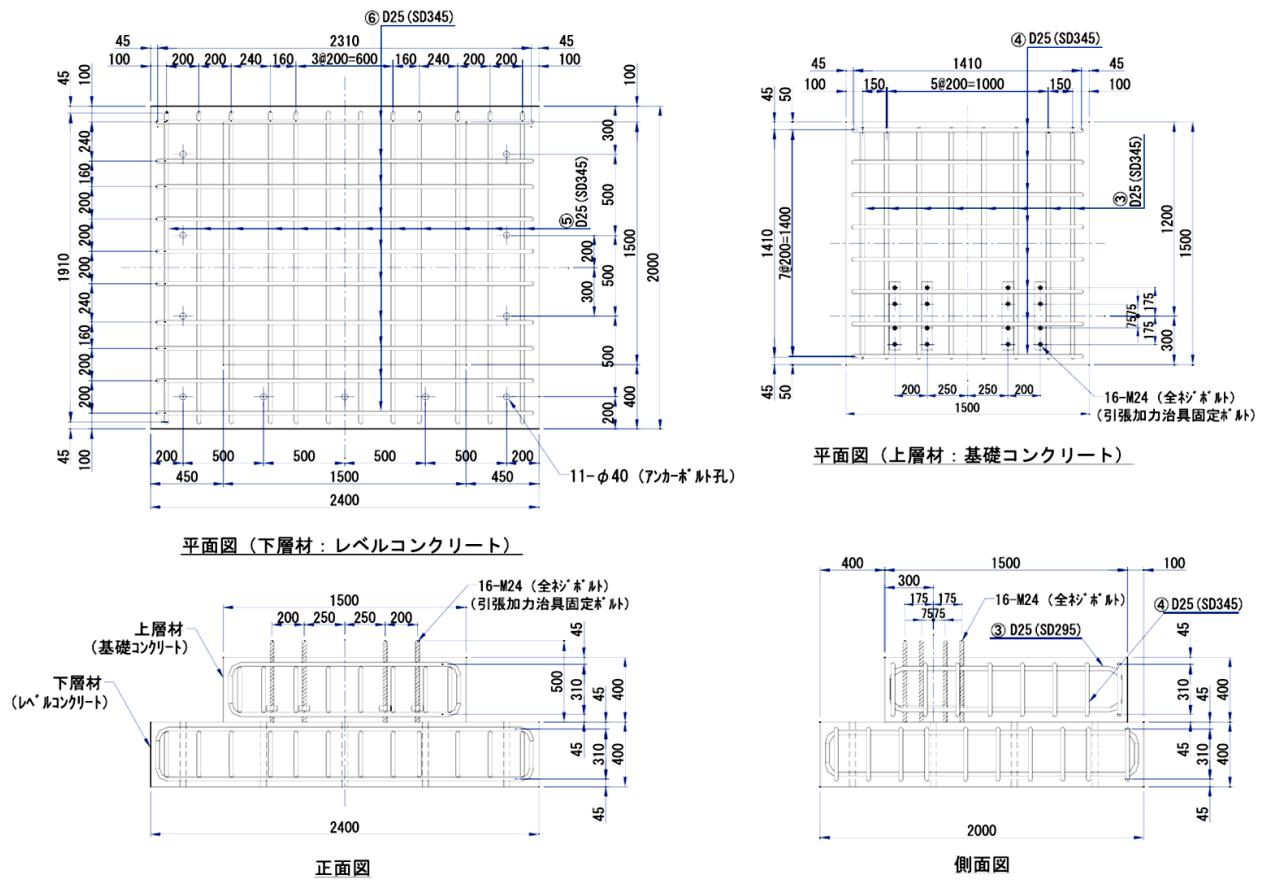
補足-1表 中規模試験シリーズの試験変数

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

## (2) 試験体

CBシリーズの試験体形状・寸法を補足-2図に示す。

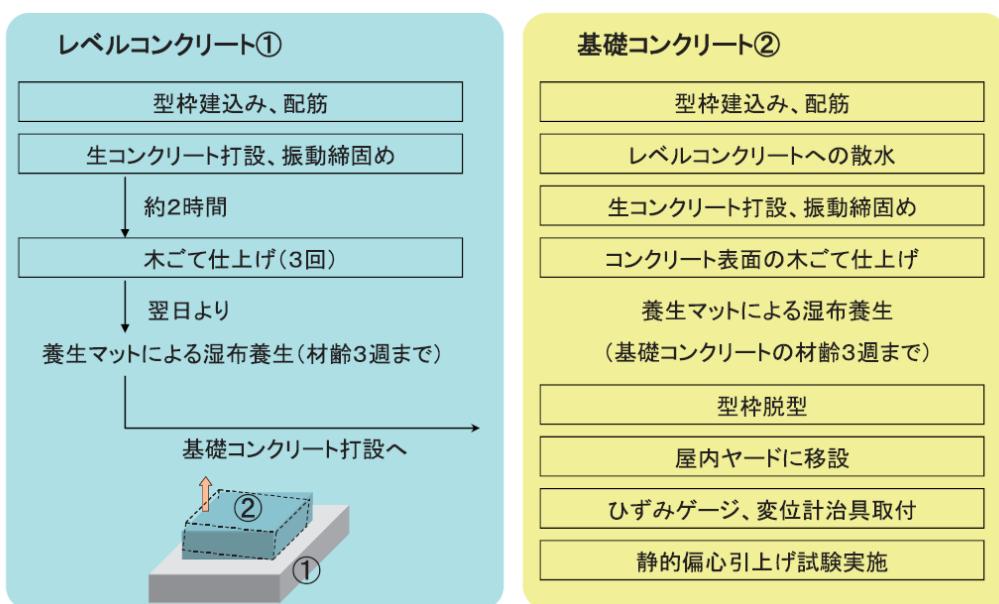
CBシリーズ試験体では、均しコンクリートを模擬した下層材の上に基礎を模擬した上層材を打設している。上層材と下層材の厚さはともに400mmで、接合面の寸法は1.5m×1.5mとし、試験体は3体としている。



### (3) 試験体の製作

CBシリーズの試験体製作手順を補足-3図に、型枠脱型後の試験体を補足-4図に示す。

CBシリーズ試験体は、試験場屋外ヤードにて、均しコンクリートを模擬した下層材の配筋、型枠の建て込みを行い、コンクリートを打設している。下層材コンクリート上面は木ごて仕上げとし、打設翌日より材齢3週までの間、上面を養生マットで覆い湿布養生を行っている。基礎を模擬した上層材コンクリートの打設は、下層材コンクリートの材齢31日で行っている。上層材コンクリートの打設時には、下層材表面に散水したが、上層材との付着力を高めるための特別な処理はしていない。



補足-3図 CBシリーズの試験体製作手順

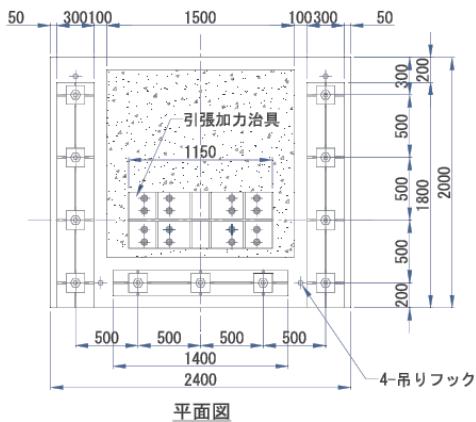


補足-4図 型枠脱型後の試験体

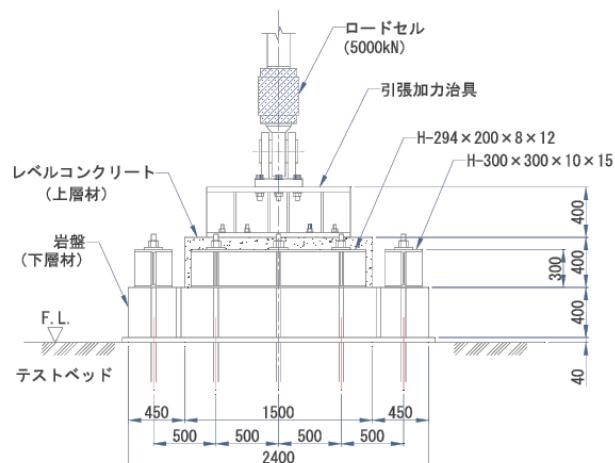
#### (4) 試験方法体の製作

試験体の据え付け方法を補足-5図に示す。

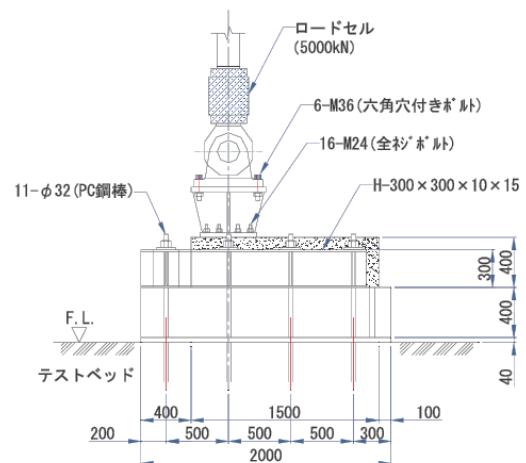
試験体は、下層材の3辺に500mm間隔にPC鋼棒を配置し、各PC鋼棒に500kNの締め付け力を導入することにより、テストベッドに固定している。引き上げ荷重は、上層材にアンカーボルトを埋設し、これに、引張加力治具を取り付けることにより油圧ジャッキで載荷している。加力中心位置は接合面中心から450mm偏心した位置とし、基礎浮上り時に接合面に生じる付着力の応力勾配を模擬している。



平面図



正面図



側面図

補足-5図 試験体据え付け方法

## (5) 試験結果

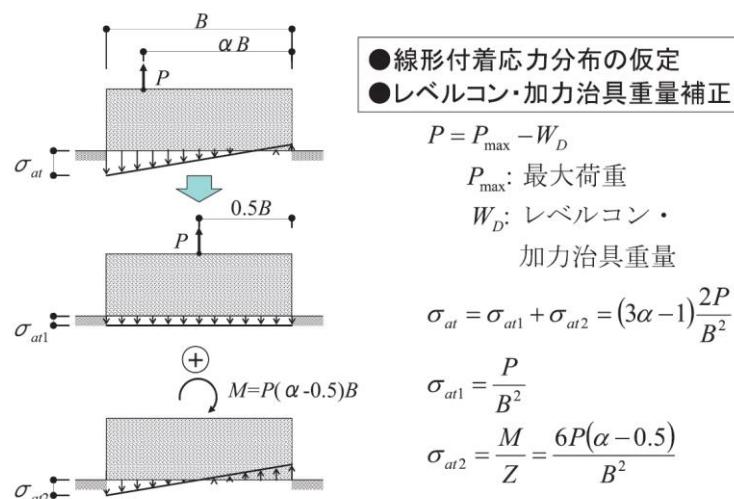
中規模試験の試験結果一覧を補足-2表に示す。また、試験結果を踏まえた付着力の評価方法を補足-6図に示す。

中規模試験によると、上層材と下層材間の変位分布は直線ではなく、加力点側がやや大きい非線形分布を示しており、接合面に全面剥離が生じる際の接合面内の付着力分布は、実際にはより複雑なものと考えられるものの、ここでは、保守的に、偏心引き上げ荷重に対して接合面内における付着応力の分布が線形分布と仮定した場合の付着力を示している。この際、上層材重量と加力治具重量の大きさを最大引き上げ荷重より差し引き、これらの重量の影響を補正している。

中規模試験の結論として、岩盤上の均しコンクリート打設を模擬した場合の付着力は0.5N/mm<sup>2</sup>程度、均しコンクリートを模擬した下層材上に基礎を模擬した上層材を打設した場合の付着力は0.6N/mm<sup>2</sup>程度としている。

補足-2 表 中規模試験の試験結果一覧

試験体	最大荷重 Pmax (kN)	Pmax-上 層材重量 (kN)	付着力 $\sigma_{at}$ N/mm <sup>2</sup>	下層材	上層材	接合面
RC-N1	385.0	360.9	0.45	花崗岩	レベルコンクリート	粗破碎面
RC-N2	487.0	462.9	0.58			
RC-N3	471.2	447.1	0.56			
RC-N平均			0.53			
RC-F1	461.1	437.0	0.54			
RC-F2	466.9	442.8	0.55			
RC-F3	439.6	415.5	0.52			
RC-F平均			0.54			
CB-W1	573.2	550.8	0.69	レベルコンクリート	基礎コンクリート	平滑破碎面
CB-W2	426.7	404.3	0.50			
CB-W3	594.7	572.3	0.71			
CB-W平均			0.63			



補足-6 図 付着力の評価方法

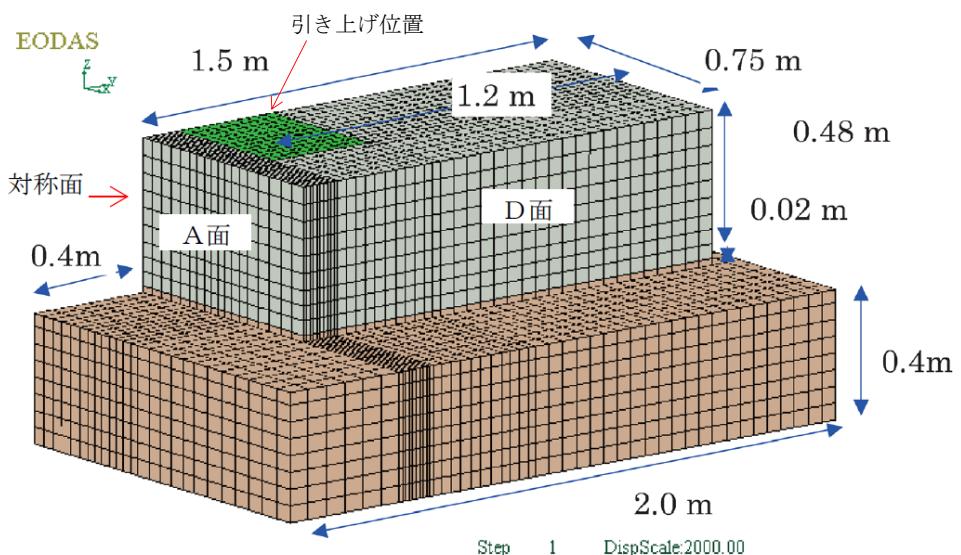
## (6) 中規模試験体を対象とした3次元FEM解析

試験結果の分析で算出した付着力は、補足-6図で示したように、接合面内における付着応力の分布を線形分布と仮定している。一方で、実際の試験ではこの分布形状が直線とは異なる分布をしている可能性があり、この場合求められる付着力も異なってくるため、より試験に近い界面の鉛直応力分布を考慮した付着力について、RCシリーズを対象として有限要素法により解析的に算出している。

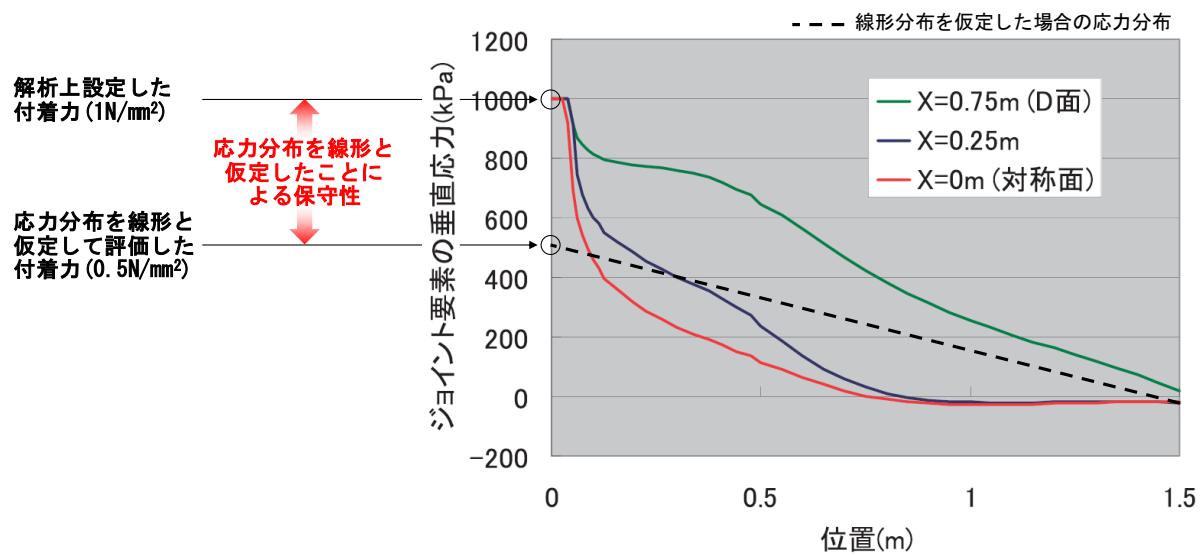
補足-7図に解析モデルを示す。解析モデルは対称性を考慮し、試験体の半分を解析モデルとしている。花崗岩と均しコンクリートはソリッド要素、両者の界面はジョイント要素でモデル化している。花崗岩と均しコンクリートは弾性体とし、材料定数は要素試験で得られた材料試験結果を用いている。また、ジョイント要素は、相対変位が0.002mmまで付着力を保持するものとし、付着力（補足-2表の $\sigma_{at}$ に対応）は要素試験の直接引張試験を参考に1N/mm<sup>2</sup>としている。

解析の結果、引き上げ荷重（補足-2表の最大荷重 $P_{max}$ に対応）が約450kNで接合面前面に剥離が生じており、中規模試験（RCシリーズ）と良い対応を示している。また、最大荷重時のジョイント要素の、対称面（X=0m）とD面（X=0.75m）及び加力治具近傍（X=0.25m）での垂直応力分布を補足-8図に示す。均しコンクリート側面（D面）の応力分布は付着力の算定で仮定している分布に近い分布を示すが、界面に作用する引張力の大半は加力治具近傍（X=0.25m）に近いA面に近い側に偏っており、応力分布は非線形分布を呈している。

したがって、中規模試験で花崗岩と均しコンクリートの界面の応力分布を直線と仮定して算定した付着力（補足-2表の $\sigma_{at}$ ）は、実際の付着力より小さめに評価していると考えられるとしている。



補足-7 図 解析モデル（JNES 報告書に一部加筆）



補足-8 図 ジョイント要素の垂直応力分布 (JNES 報告書に一部加筆)

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋への適用性の確認

JNES報告書の中規模試験（CBシリーズ）について、使用済燃料乾式貯蔵建屋への適用性を以下のとおり検討し、試験条件が使用済燃料乾式貯蔵建屋の施工条件と同等以上であることなどから、付着力試験の結果を使用済燃料乾式貯蔵建屋へ適用することは可能かつ保守的であることを確認した。

### (1) コンクリートの強度条件

コンクリートの強度条件の比較として、JNES報告書の試験体と使用済燃料乾式貯蔵建屋の圧縮強度の比較を補足-3表に示す。補足-3表に示すとおり、コンクリートの圧縮強度は同等であり、強度条件はほぼ等しいと考えられる。

補足-3表 コンクリートの圧縮強度の比較

	均しコンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	基礎コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )
JNES 報告書試験体	15	30
使用済乾式燃料貯蔵建屋	18	30

※圧縮強度の値は、JNES報告書の試験体については4週圧縮強度の目標値、  
使用済燃料乾式貯蔵建屋については設計基準強度を記載

### (2) 接合面の状態

JNES報告書の試験体では、基礎と均しコンクリートとの接合面の処理は、均しコンクリート表面への散水のみであり、付着力を高めるための特別な処理はなされていない。一方、使用済燃料乾式貯蔵建屋の均しコンクリートは、丁寧な打継目処理を施すこととしており、接合面の状態は、少なくともJNES報告書の試験体と同程度以上の付着力を期待できる状態と考えられる。

### (3) 付着力の評価方法

JNES報告書による中規模試験（RCシリーズ）を踏まえた付着力が0.5N/mm<sup>2</sup>程度と評価されているのに対し、中規模試験（RCシリーズ）を対象とした3次元FEM解析では、付着力を1N/mm<sup>2</sup>と仮定した解析により試験を概ね模擬できている。この要因について、JNES報告書では、試験結果を踏まえた付着力は、接合面内における応力分布を線形と仮定して評価しており、実際の付着力より小さめに評価している可能性があると考察されている。

これを踏まえると、中規模試験（CBシリーズ）を踏まえて同様に評価された付着力0.6N/mm<sup>2</sup>程度についても、実際の接合面ではより大きな付着力を期待できると考えられる。

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

伊方3号機（使用済燃料乾式貯蔵建屋）設計及び工事計画に係る説明資料  
(耐震性に関する説明書)

■資料No. 2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

資料 No.	補足説明資料		備考 (該当添付資料)
	(名称)	(概要)	
2-1	応力解析におけるモデル化及び境界条件の考え方	耐震評価に用いる応力解析モデルについて、モデル化及び境界条件の概要を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書
2-2	応力解析における断面の評価部位の選定	応力解析モデルを用いた耐震評価における断面の評価部位の選定結果を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書
2-3	地震荷重の入力方法	応力解析モデルへ入力する地震荷重の設定及び入力方法を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書
2-4	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出と、抽出された部位の影響評価結果を示す。	資料9-15 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果
2-5	応力解析モデル及び解析手法の概要について	応力解析モデル及び解析手法の概要を示す。	資料9-12-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書

## 使用済燃料乾式貯建屋の耐震計算について

### 2-1 応力解析におけるモデル化及び境界条件の考え方

目 次

	頁
1. 概要 .....	2-1-1
2. 応力解析におけるモデル化及び境界条件 .....	2-1-1

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算について説明するものであり、今回設工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の応力解析手法についての概要を示すものである。

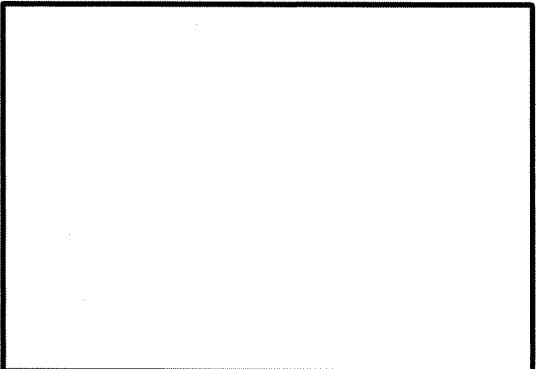
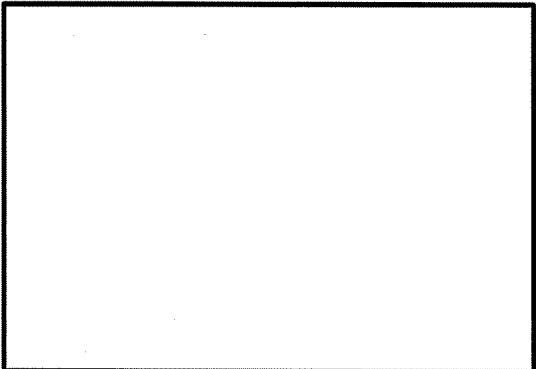
なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2 「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」

## 2. 応力解析におけるモデル化及び境界条件

使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の応力解析におけるモデル化及び境界条件を第2-1表に示す。

第2-1表 使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析におけるモデル化及び境界条件

応力解析モデルの概要	応力解析モデルの境界条件
 <p>図-1 全体鳥瞰図</p>  <p>図-2 基礎の鳥瞰図</p> <p>○モデル化範囲 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の上部構造物と基礎を含む建屋全体をモデル化</p> <p>○使用要素 ・屋根、床、壁及び基礎：シェル要素 ・はり：はり要素</p>	<p>○基礎と上部構造物との境界 ・基礎は、厚さ方向の中心位置にシェル要素でモデル化し上部構造物と剛体要素を介して接続しており、上部構造物からの荷重の伝達や上部構造物の剛性による拘束を考慮している。</p> <p>○基礎と地盤との境界 ・基礎下端には、支持地盤を表現する地盤ばねを設けている。なお、浮上りを生じている部分の基礎下端の地盤反力はないものとして解析を行う。具体的には、基礎下端の鉛直ばねに引張が生じた箇所について、基礎が浮き上がっているものとし、鉛直及び水平ばねと基礎下端の接続を切り離し、応力を負担しないものとして解析を行う。</p> <p>○地盤ばねの設定方法 (Ss地震時) ・水平ばね：JEAG4601-1991<sup>※</sup>に基づき、振動アドミッタンス理論により、地盤の動的物性値を用いて評価した水平ばねを離散化 ・鉛直ばね：同上の方法により評価した回転ばねを離散化</p> <p>○地盤ばねの設定方法 (常時) ・水平ばね：JEAG4601-1991に基づき、振動アドミッタンス理論により、地盤の静的物性値を用いて評価した水平ばねを離散化 ・鉛直ばね：同上の方法により評価した鉛直ばねを離散化</p> <p>図-3 地盤ばね設定位置</p>

※：原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版 ((社)日本電気協会)

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

### 2-2 応力解析における断面の評価部位の選定

目 次

頁

1. 概要 .....	2-2-1
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の断面評価部位の選定 .....	2-2-2

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算について説明するものであり、今回設工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の断面の評価要素及び評価部材の選定結果について示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2 「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の断面評価部位の選定

今回設工認における断面の評価結果は、基礎において、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示している。

本資料では、分類領域を踏まえ、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる結果と位置を示す。

また、基礎において、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果における応力センター図を示す。

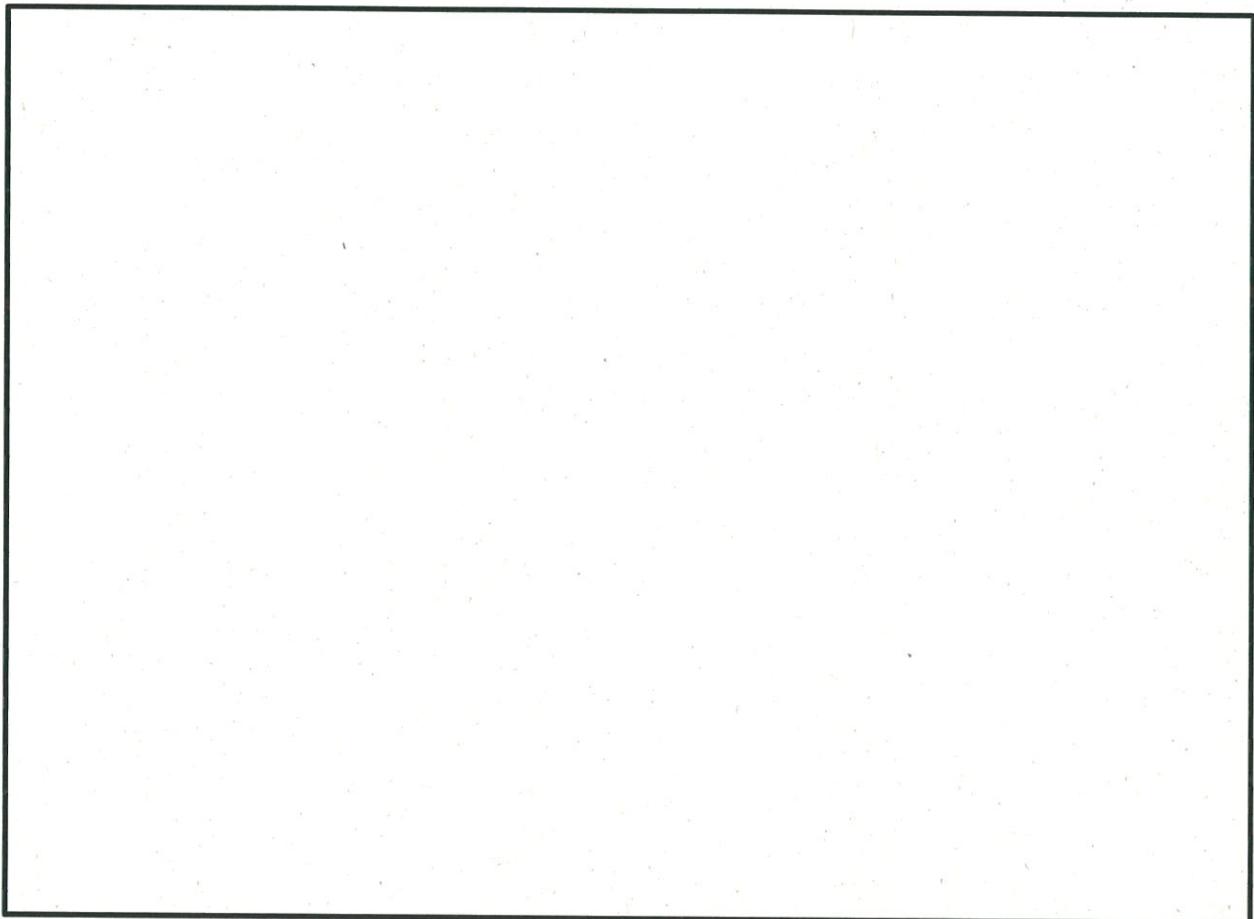
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第2-1図及び第2-2図に、荷重の組合せケースを第2-1表に、分類領域ごとの配筋一覧を第2-2表に、配筋の分類領域図を第2-3図に示す。また、断面の評価における応力の方向を第2-4図に示す。

Ss地震時に対する評価結果をそれぞれ第2-3表に、評価結果の位置を第2-5図に示す。評価結果の応力センター図を第2-6図及び第2-7図に示す。

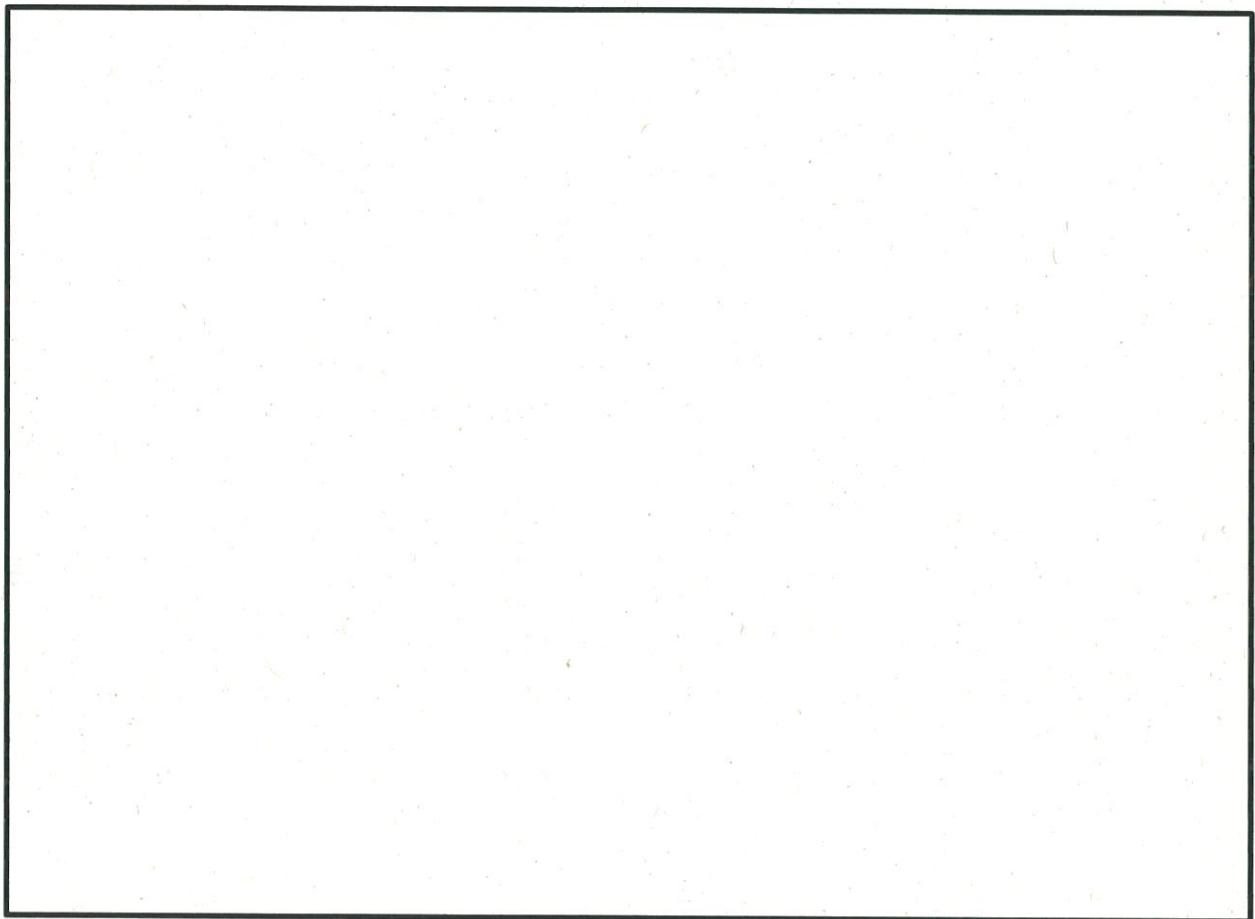
第2-1表の荷重の組合せケースに示す記号の説明については以下に示す。

GP	： 固定・積載荷重
$C_0$	： 長期キャスク荷重
$K_{S_{WE}}^*$	： Ss地震時 W→E方向 地震力
$K_{S_{SN}}^*$	： Ss地震時 S→N方向 地震力
$K_{S_{DU(EW)}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震力 (EW断面)
$K_{S_{DU(NS)}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震力 (NS断面)
$C_{S_{WE}}^*$	： Ss地震時 W→E方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{S_{SN}}^*$	： Ss地震時 S→N方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{S_{DU}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震時荷重によるキャスク反力

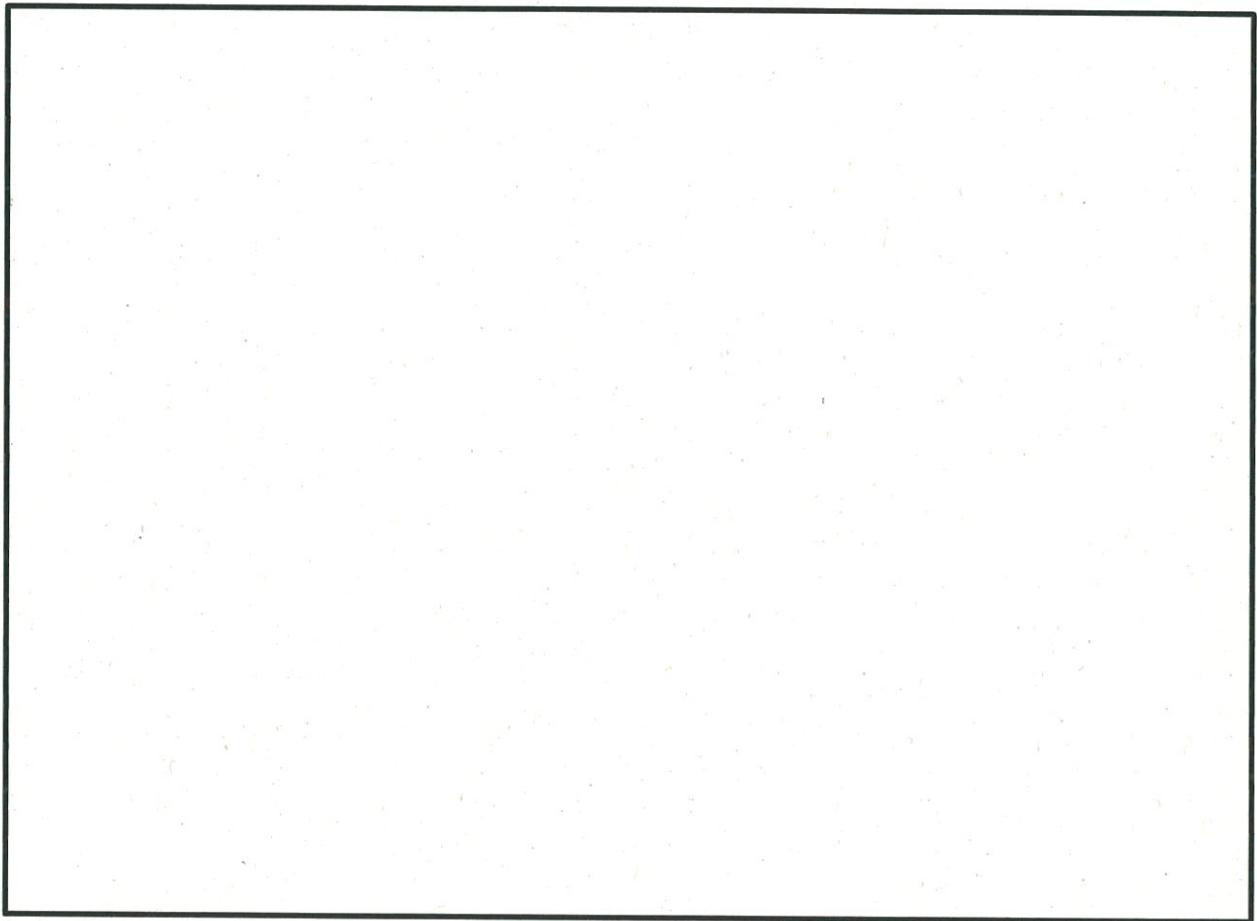
※： 加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、W→E方向、S→N方向及び鉛直上向きを「+」、E→W方向、N→S方向及び鉛直下向きを「-」とする。



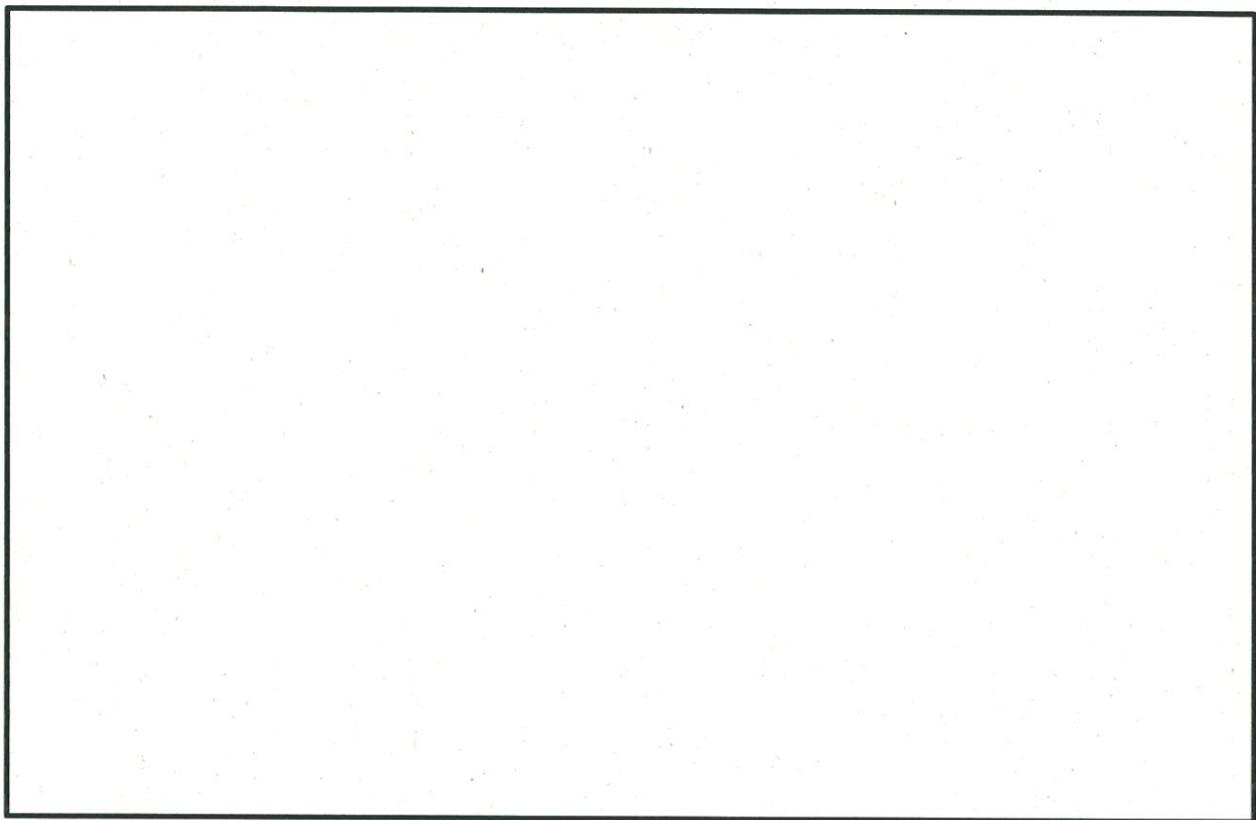
第2-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



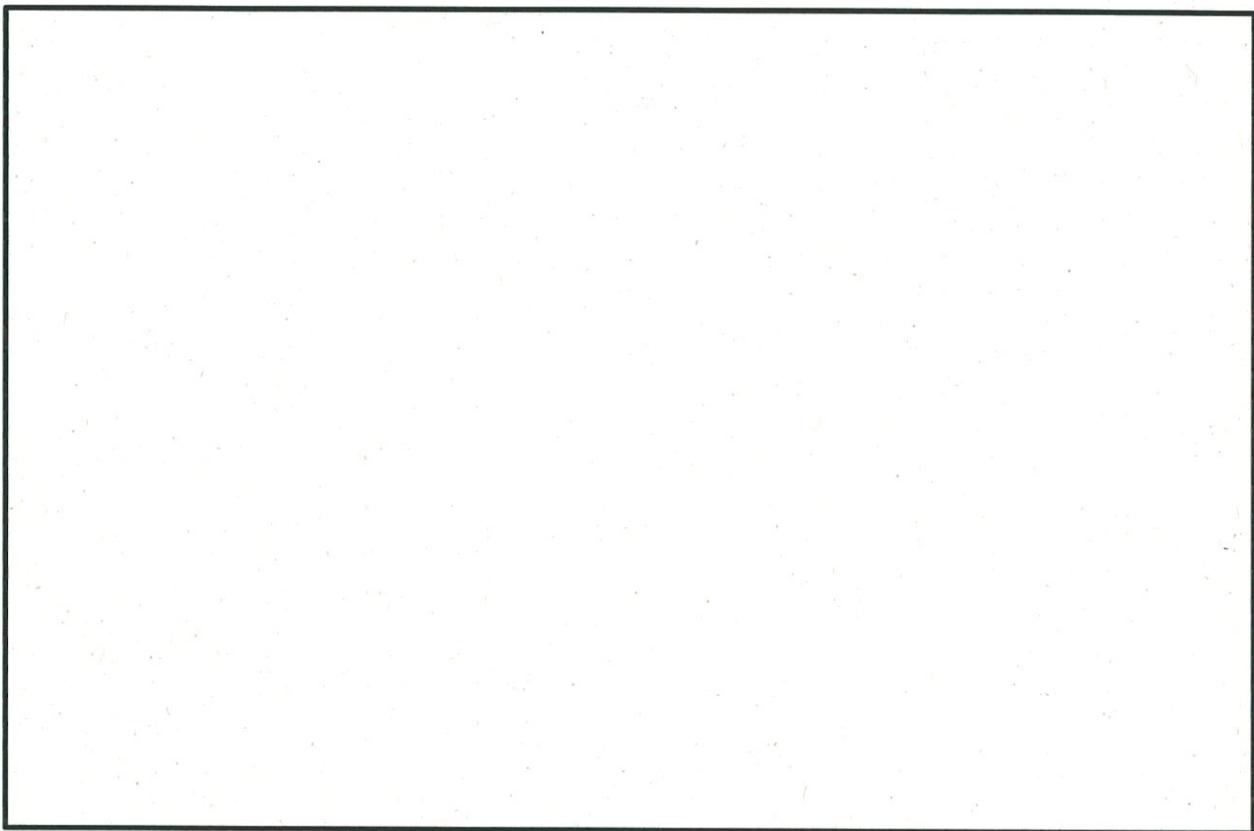
第2-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



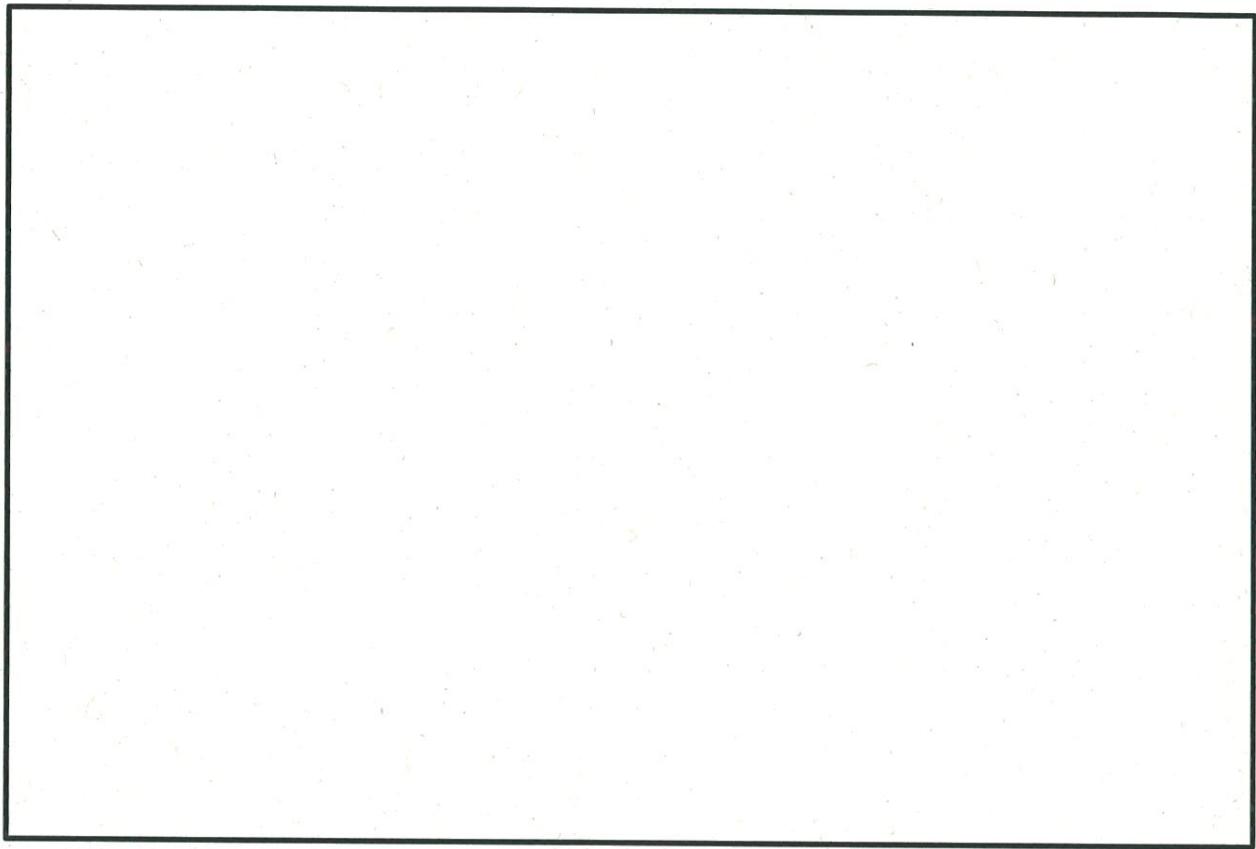
第2-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



第2-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第2-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



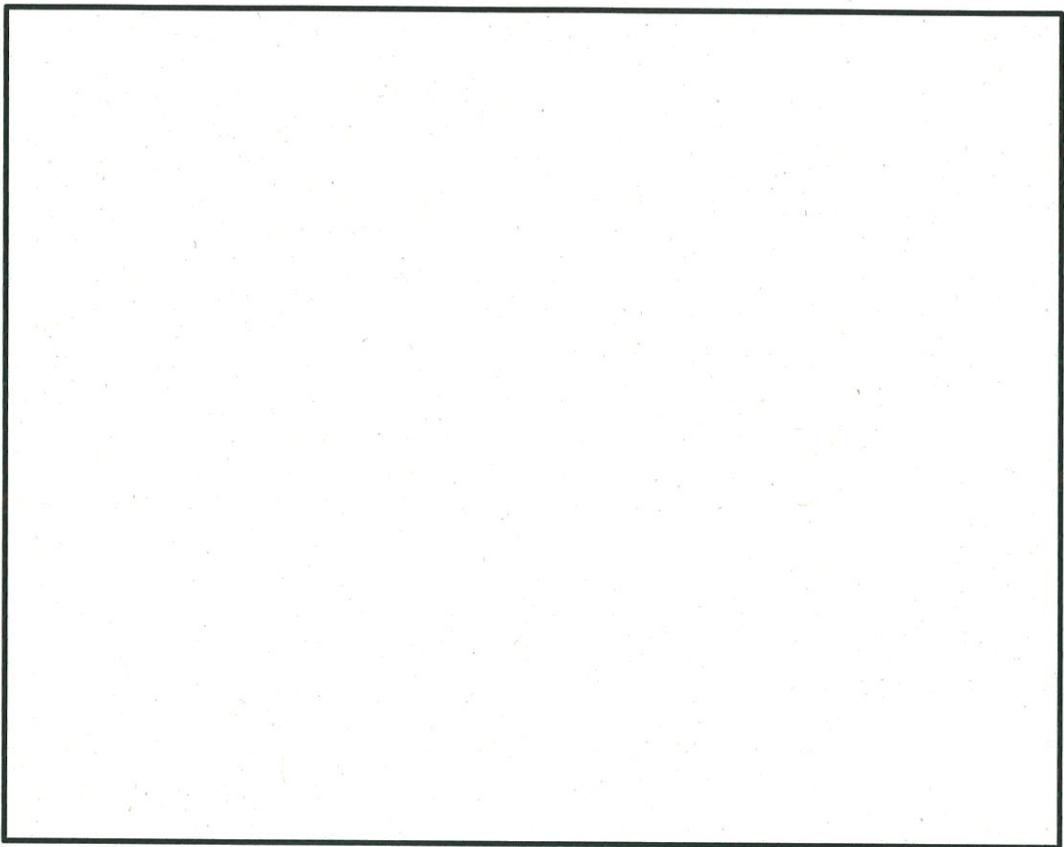
第2-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

第2-1表 荷重の組合せケース (Ss地震時)

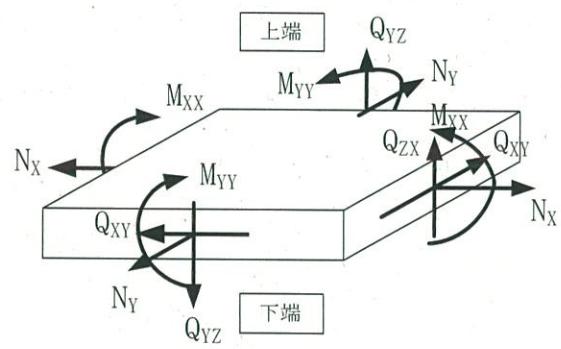
組合せ 係数	加力方向		ケース No.	荷重の組合せケース
	水平	鉛直		
水平1.0 鉛直0.4	W→E	下	1	$GP+C_0+1.0Ks_{WE}+1.0Cs_{WE}-0.4Ks_{DU(EW)}-0.4Cs_{DU}$
	E→W		2	$GP+C_0-1.0Ks_{WE}-1.0Cs_{WE}-0.4Ks_{DU(EW)}-0.4Cs_{DU}$
	W→E	上	3	$GP+C_0+1.0Ks_{WE}+1.0Cs_{WE}+0.4Ks_{DU(EW)}+0.4Cs_{DU}$
	E→W		4	$GP+C_0-1.0Ks_{WE}-1.0Cs_{WE}+0.4Ks_{DU(EW)}+0.4Cs_{DU}$
	S→N	下	5	$GP+C_0+1.0Ks_{SN}+1.0Cs_{SN}-0.4Ks_{DU(NS)}-0.4Cs_{DU}$
	N→S		6	$GP+C_0-1.0Ks_{SN}-1.0Cs_{SN}-0.4Ks_{DU(NS)}-0.4Cs_{DU}$
	S→N	上	7	$GP+C_0+1.0Ks_{SN}+1.0Cs_{SN}+0.4Ks_{DU(NS)}+0.4Cs_{DU}$
	N→S		8	$GP+C_0-1.0Ks_{SN}-1.0Cs_{SN}+0.4Ks_{DU(NS)}+0.4Cs_{DU}$
水平0.4 鉛直1.0	W→E	下	9	$GP+C_0+0.4Ks_{WE}+0.4Cs_{WE}-1.0Ks_{DU(EW)}-1.0Cs_{DU}$
	E→W		10	$GP+C_0-0.4Ks_{WE}-0.4Cs_{WE}-1.0Ks_{DU(EW)}-1.0Cs_{DU}$
	W→E	上	11	$GP+C_0+0.4Ks_{WE}+0.4Cs_{WE}+1.0Ks_{DU(EW)}+1.0Cs_{DU}$
	E→W		12	$GP+C_0-0.4Ks_{WE}-0.4Cs_{WE}+1.0Ks_{DU(EW)}+1.0Cs_{DU}$
	S→N	下	13	$GP+C_0+0.4Ks_{SN}+0.4Cs_{SN}-1.0Ks_{DU(NS)}-1.0Cs_{DU}$
	N→S		14	$GP+C_0-0.4Ks_{SN}-0.4Cs_{SN}-1.0Ks_{DU(NS)}-1.0Cs_{DU}$
	S→N	上	15	$GP+C_0+0.4Ks_{SN}+0.4Cs_{SN}+1.0Ks_{DU(NS)}+1.0Cs_{DU}$
	N→S		16	$GP+C_0-0.4Ks_{SN}-0.4Cs_{SN}+1.0Ks_{DU(NS)}+1.0Cs_{DU}$

第2-2表 分類領域ごとの配筋一覧 (基礎)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断補強筋 (SD345)
			位置	方向		
基礎						



第2-3図 配筋の分類領域図



[記号の説明]

軸力	: $N_X, N_Y$
曲げモーメント	: $M_{XX}, M_{YY}$
面内せん断力	: $Q_{XY}$
面外せん断力	: $Q_{ZX}, Q_{YZ}$

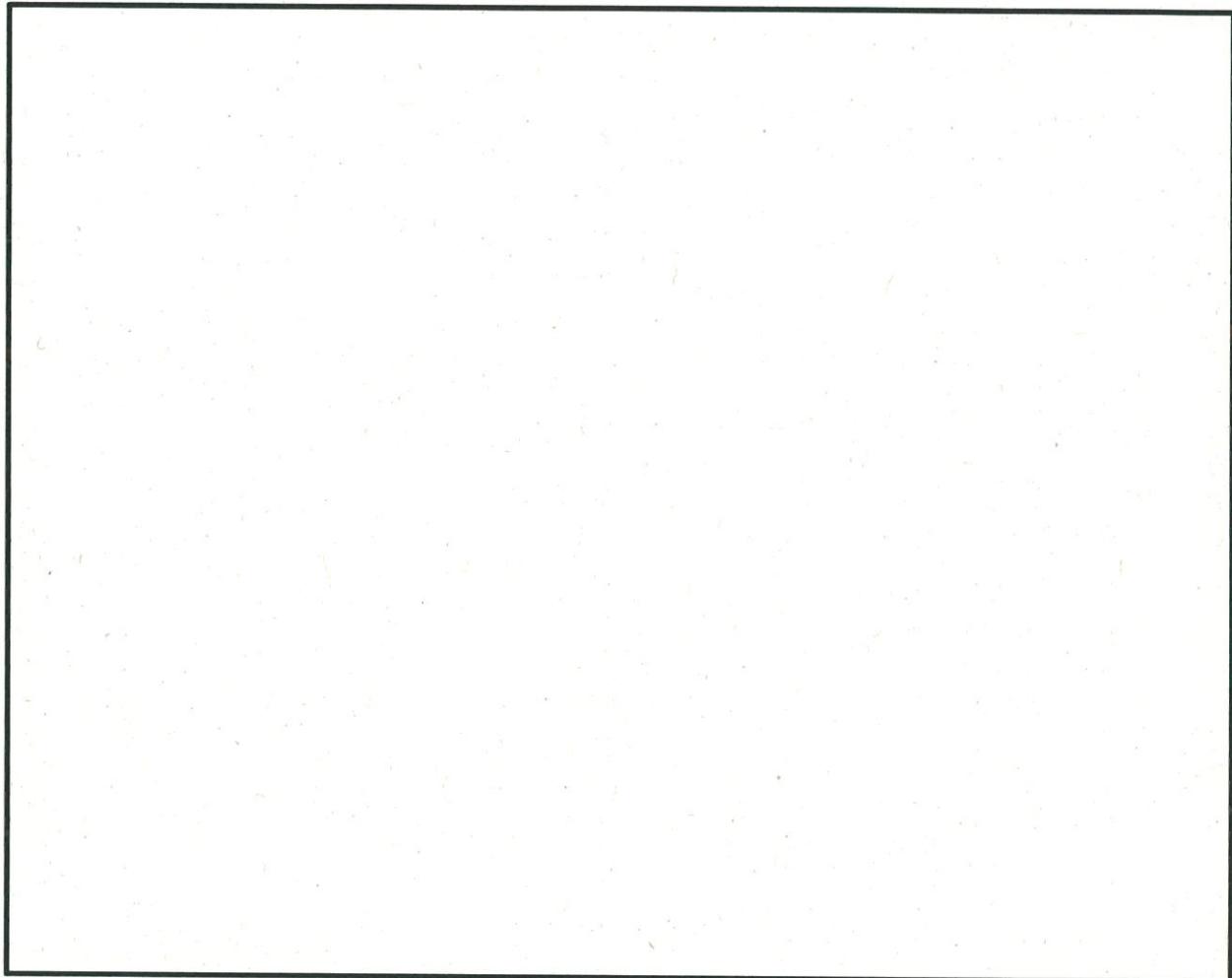
第2-4図 応力の方向

第2-3表 評価結果 Ss地震時 (基礎)

分類 領域	方向	軸力+曲げモーメント+面内せん断力			面外せん断力		
		要素 番号	荷重の 組合せ ケース	解析結果 /許容値	要素 番号	荷重の 組合せ ケース	解析結果 /許容値
	EW	3232504	7	0.44	3234002	4	0.45
	NS	3234103	6	0.47	3230706	8	0.61
	EW	3232643	8	0.61	3231402	3	0.43
	NS	3232402	6	0.49	3234332	7	0.64
	EW	3233217	2	0.20	3234122	4	0.29
	NS	3234119	3	0.13	3234119	8	0.36
	EW	3234714	1	0.42	3234801	4	0.68
	NS	3230602	8	0.60	3230606	8	0.61
	EW	3230544	2	0.44	3230544	3	0.58
	NS	3230544	2	0.03	3230544	3	0.04
	EW	3234701	1	0.48	3234701	4	0.67
	NS	3230501	8	0.23	3230401	3	0.30
	EW	3231013	6	0.06	3231013	3	0.41
	NS	3231011	4	0.10	3230813	8	0.57

(注1) □は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力センター図を第2-6図に示す。

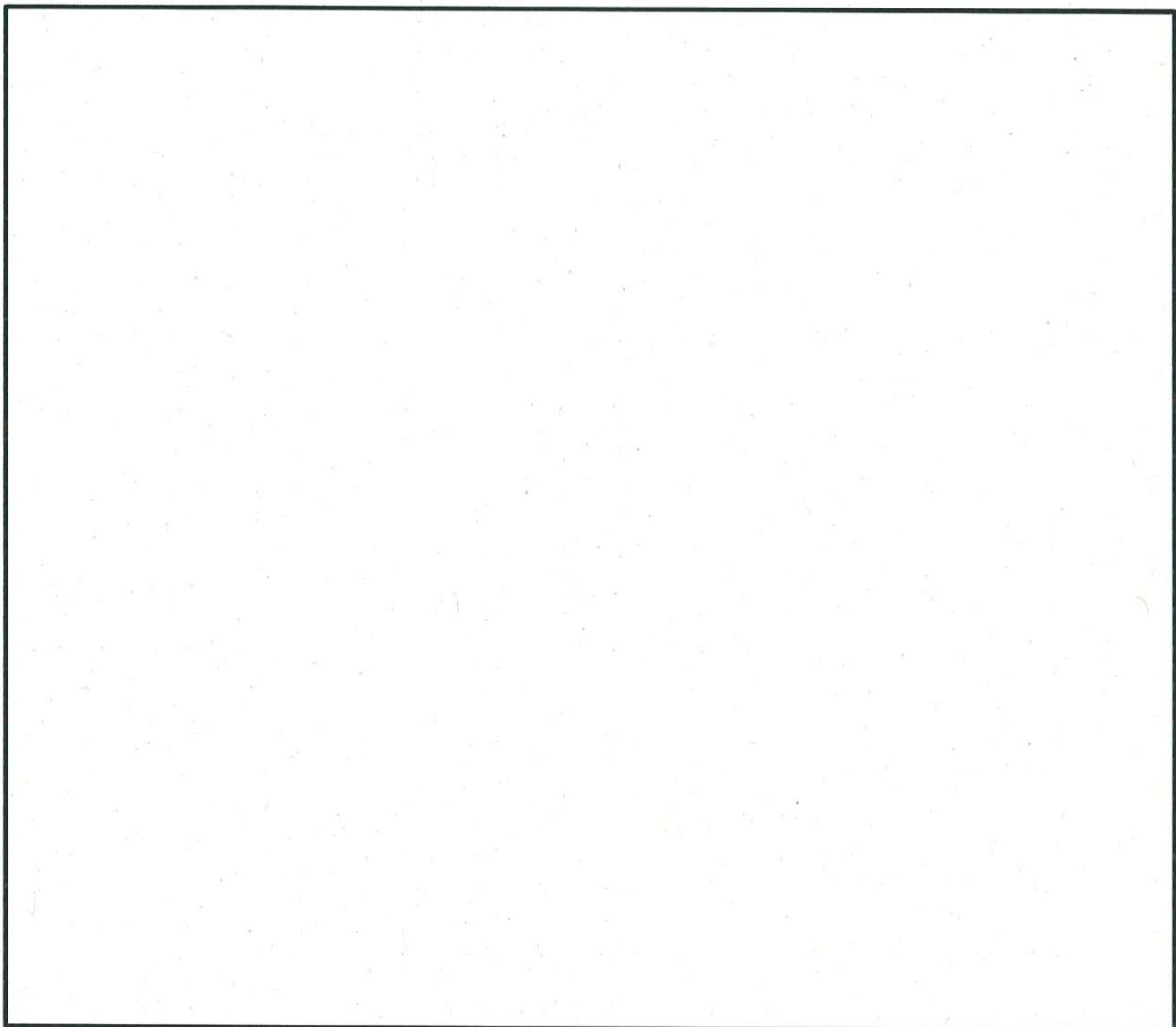


■ : 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力  
■ : 面外せん断力

(注1) □ は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力センター図を示す。

第2-5図 (1/5) 評価結果の位置 □

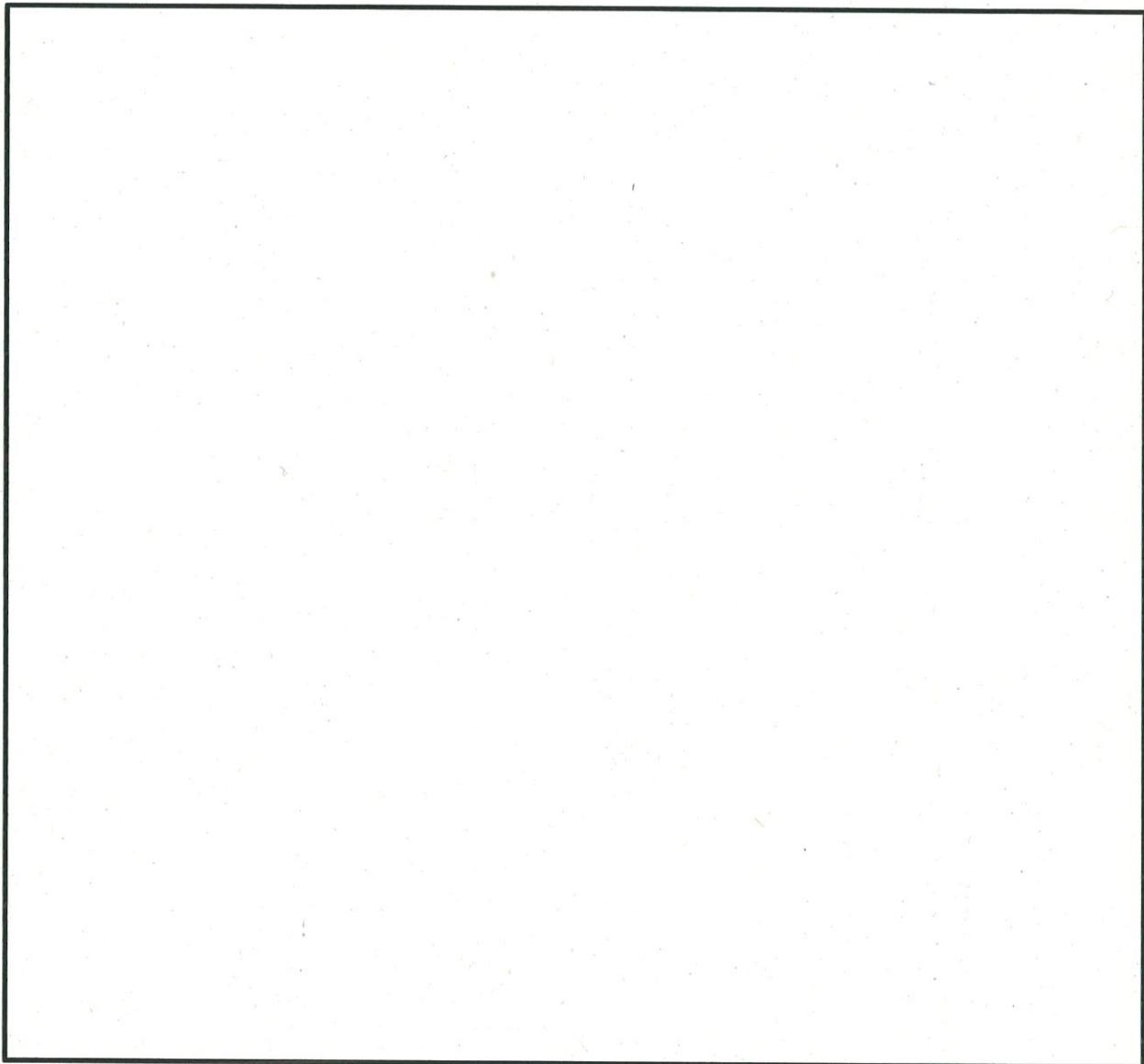


■ : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力  
■ : 面外せん断力

(注1) □ は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) **赤字部**は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (2/5) 評価結果の位置 □

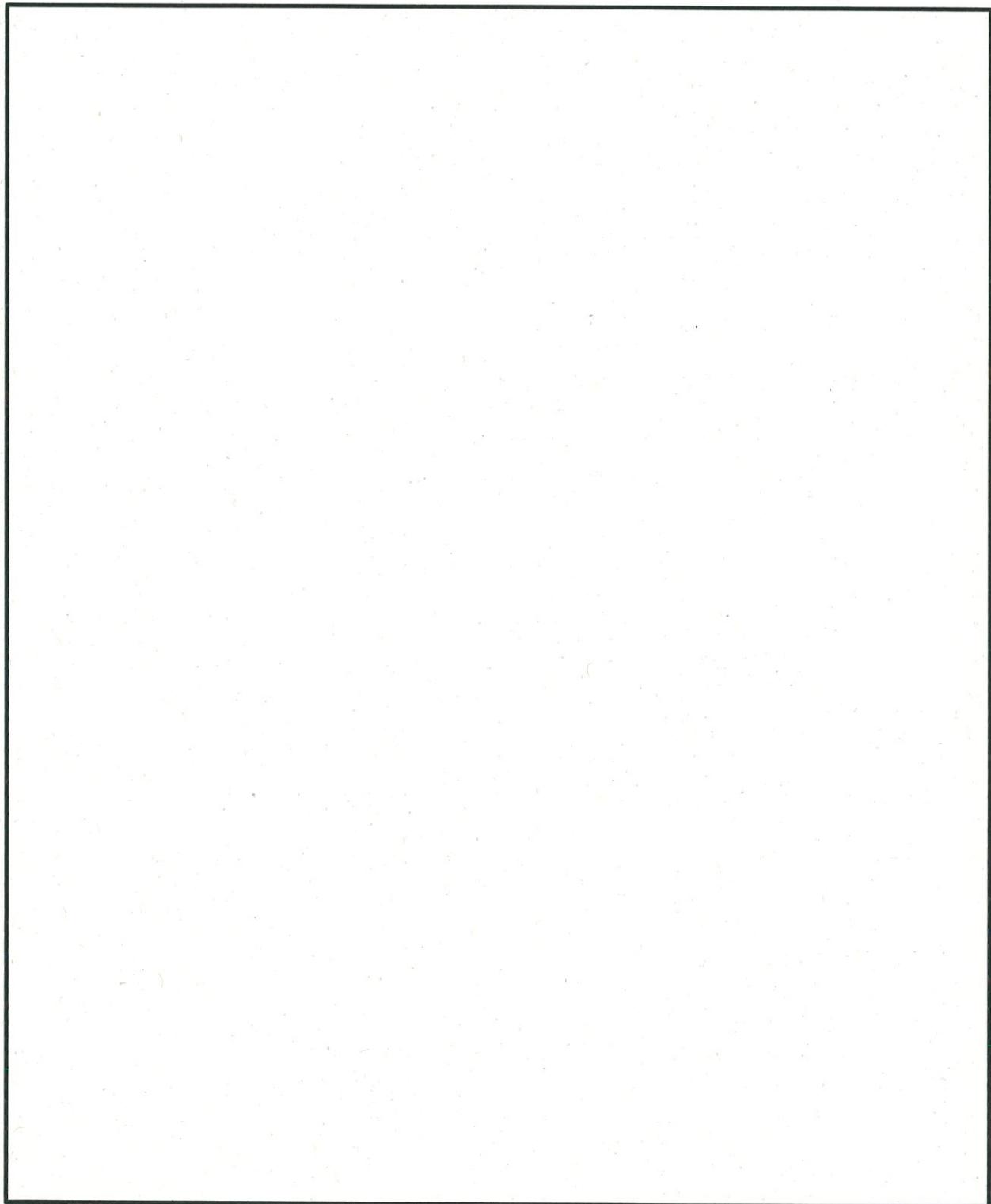


: 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力  
 : 面外せん断力

(注1)  は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) **赤字部**は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (3/5) 評価結果の位置

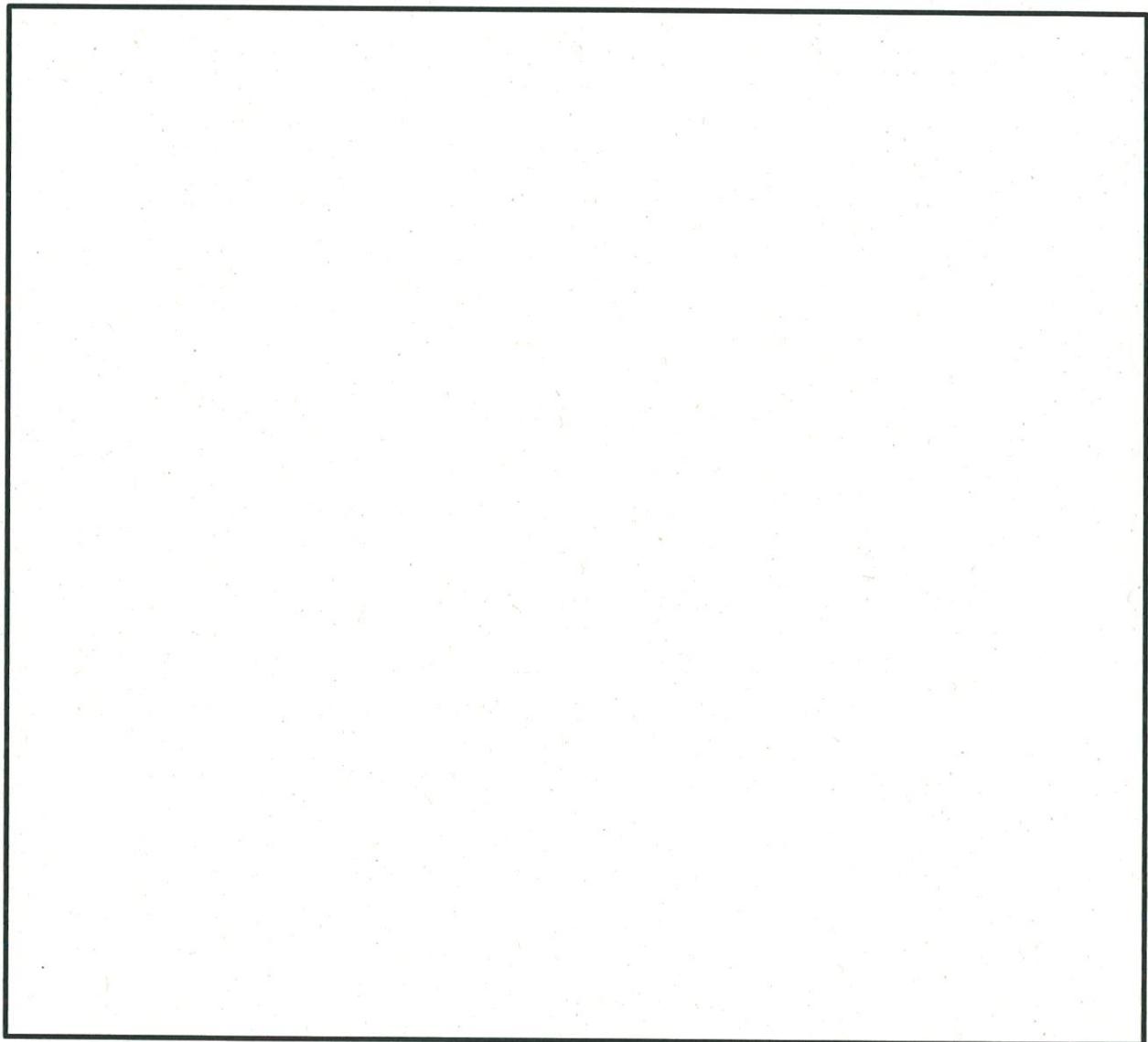


■ : 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力  
■ : 面外せん断力

(注1) ■ は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) **赤字部**は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

第2-5図 (4/5) 評価結果の位置

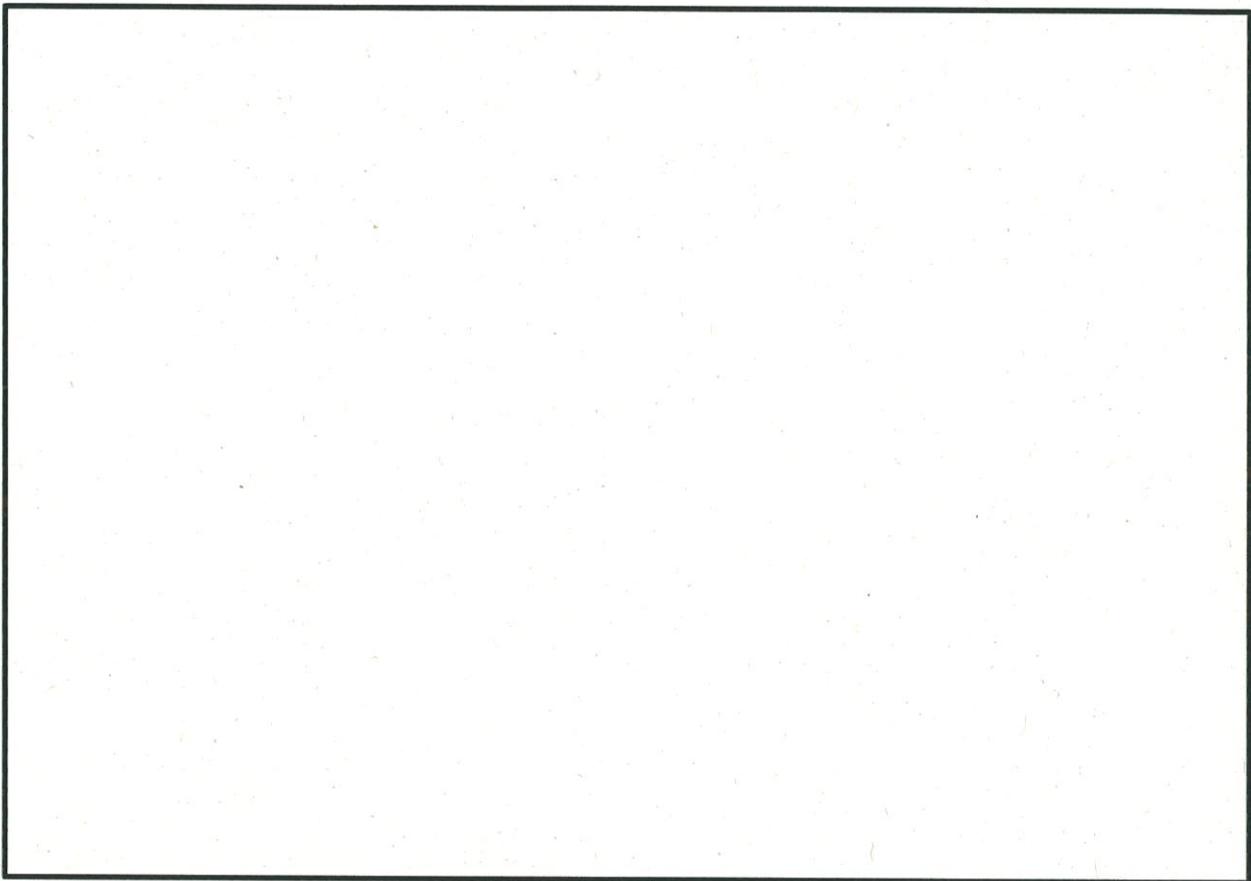


■ : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力  
■ : 面外せん断力

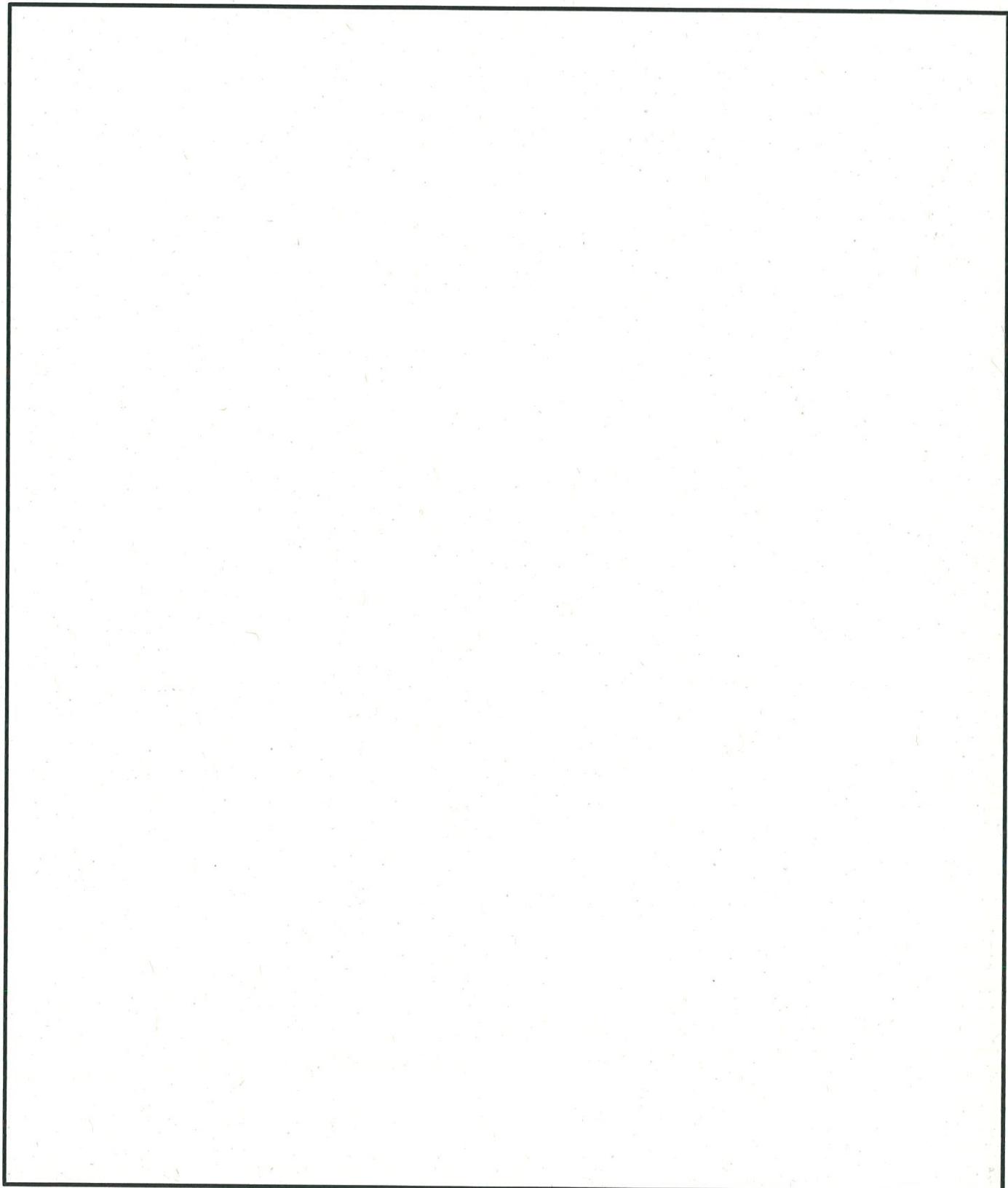
(注1) ■ は、耐震計算書において示した評価結果

(注2) 赤字部は、基礎において配筋量に対する必要鉄筋量の比率または許容値に対する発生値の比率が最大となる評価結果であり、この評価結果における応力コンター図を示す。

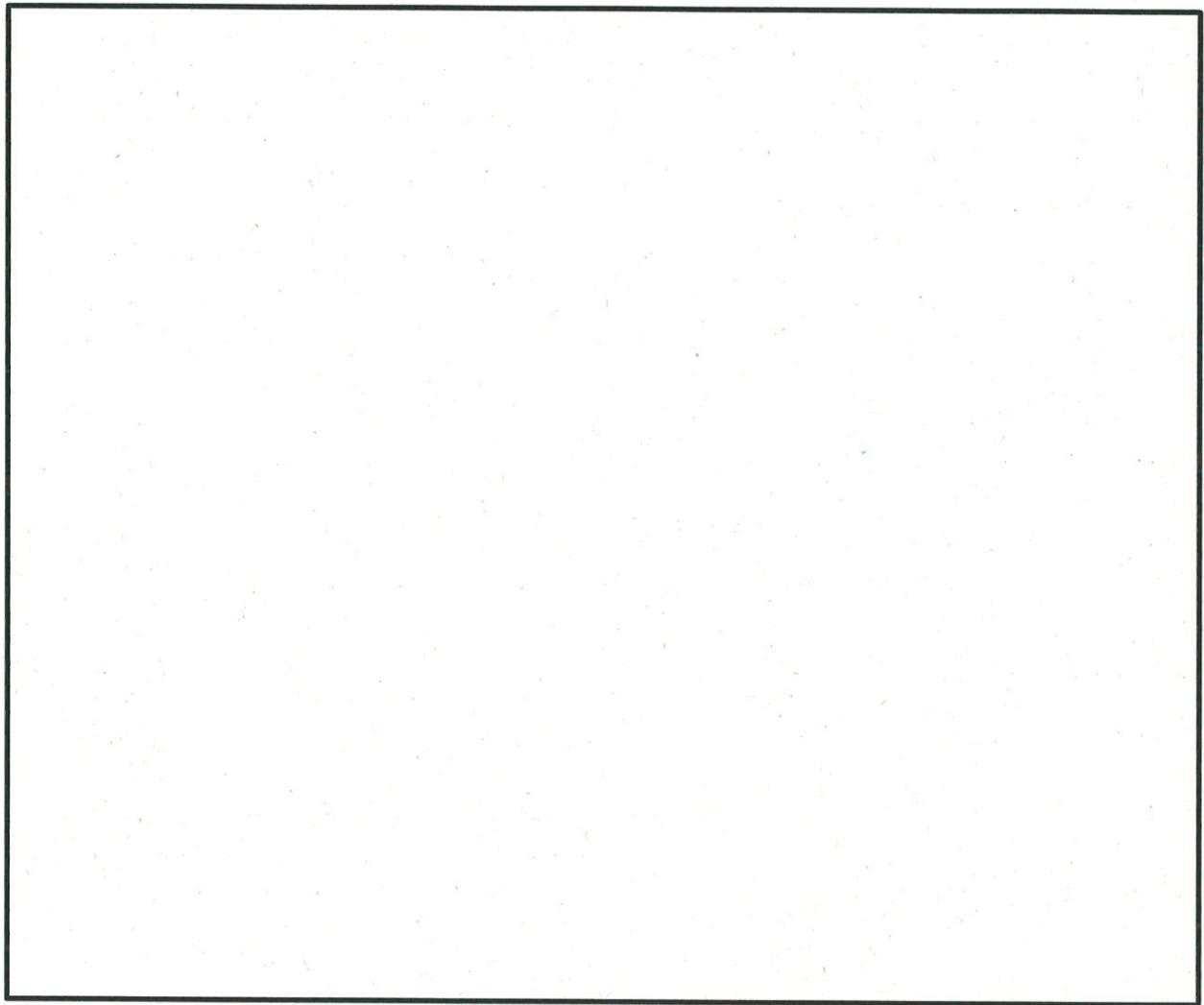
第2-5図 (5/5) 評価結果の位置 ■



第2-6図 (1/2) 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率  
が最大となる評価結果の応力センター図  
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 8)



第2-6図 (2/2) 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率  
が最大となる評価結果の応力コンター図  
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 8)



第2-7図 配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が  
最大となる評価結果の応力コンター図  
(基礎 EW方向 Ss地震時 荷重の組み合わせケースNo. 4)

## 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

### 2-3 地震荷重の入力方法

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	2-3-1
2. 地震荷重の入力方法 .....	2-3-1
2.1 水平地震力及び鉛直地震力 .....	2-3-1
2.2 キャスク反力 .....	2-3-5

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算に関して説明するものであり、今回設工認において、応力解析モデルを用いた評価を行っている基礎の地震荷重の入力方法について示すものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2 「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」

## 2. 地震荷重の入力方法

地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力及び乾式キャスクからの反力（以下「キャスク反力」という。）により構成される。また、地震荷重は、資料9-12-1 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において実施している地震応答解析結果を用いて算出する。

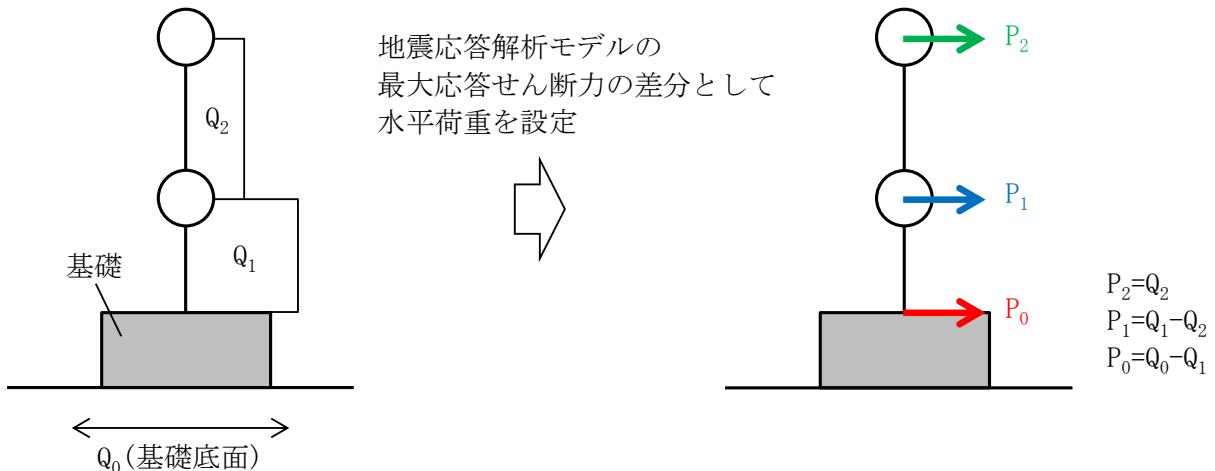
### 2.1 水平地震力及び鉛直地震力

水平地震力及び鉛直地震力は、FEMモデルの各層及び基礎底面に生じるせん断力、曲げモーメント及び軸力が、地震応答解析結果における地震力（せん断力、曲げモーメント及び軸力）をそれぞれ包絡し設定した設計用地震力と等価になるように設定する。なお、設計用地震力は、材料物性のばらつき等を考慮した各ケースにおける基準地震動Ss（Ss-1、Ss-2及びSs-3）に対する地震応答解析結果の最大値を部材ごとに包絡して算出する。

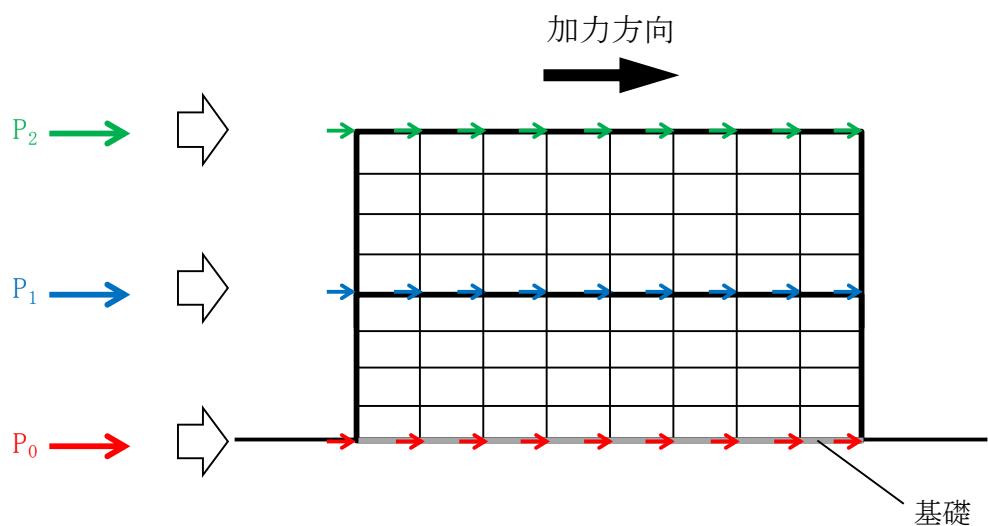
### 2.1.1 せん断力

せん断力については、基準地震動Ssに対する地震応答解析結果における各層の最大応答せん断力に相当する水平力を、各質点位置に対応する各節点の支配領域に応じて分配し、節点力として入力する。

地震荷重（せん断力）の入力概念図を第2-1図に示す。



(a) 地震荷重の設定方法（最大応答せん断力 $Q_n$ と水平荷重 $P_n$ の関係）



上部構造物及び基礎について、モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

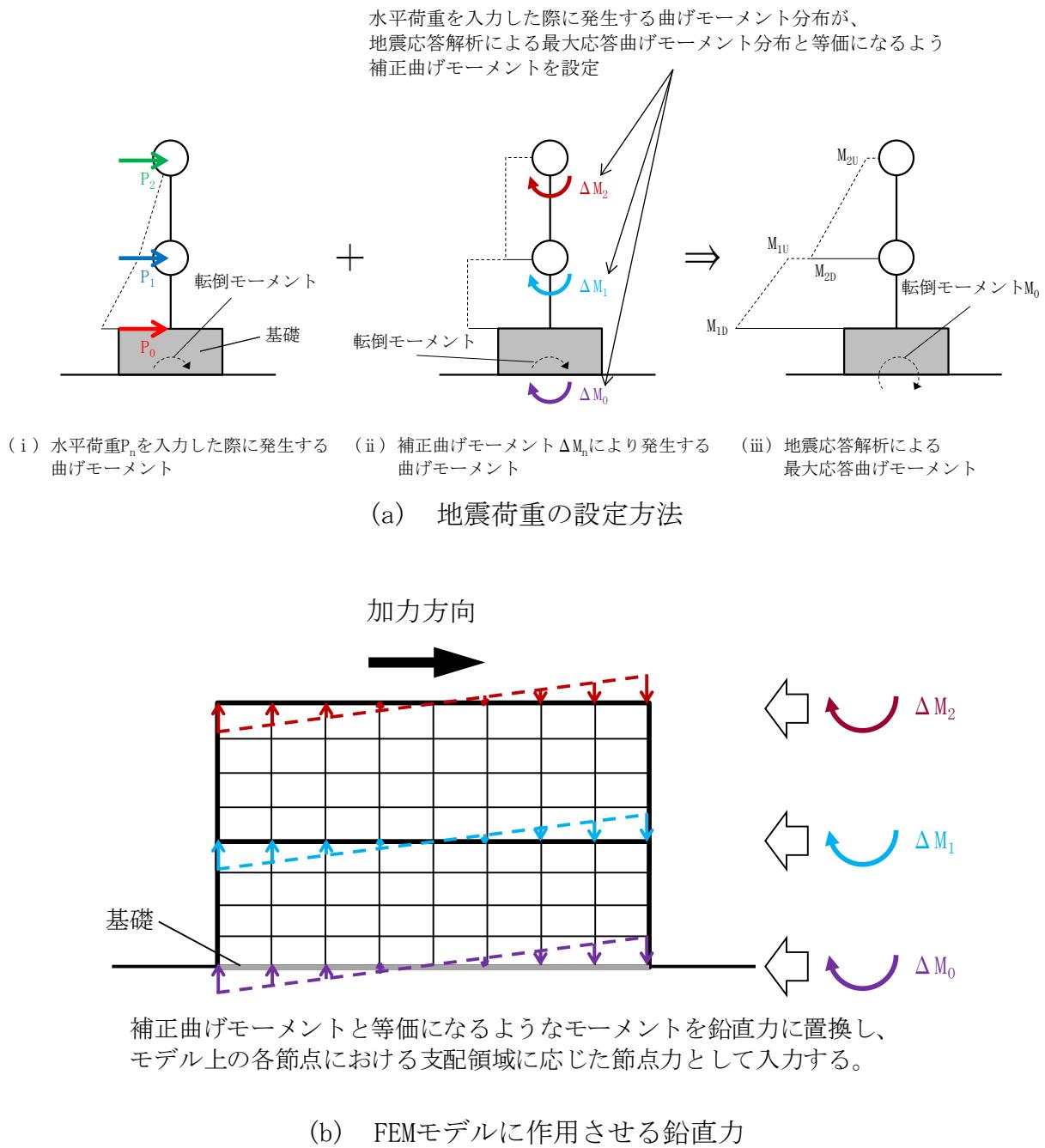
(b) FEMモデルに作用させる水平力

第2-1図 地震荷重の入力概念図（せん断力）

### 2.1.2 曲げモーメント

曲げモーメントについては、基準地震動Ssに対する地震応答解析結果における各質点位置の最大応答曲げモーメントから水平荷重により各床高さに発生する曲げモーメントを差し引いた値を、各質点位置に対応する各節点に鉛直方向の節点力として入力する。

地震荷重（曲げモーメント）の入力概念図を第2-2図に示す。

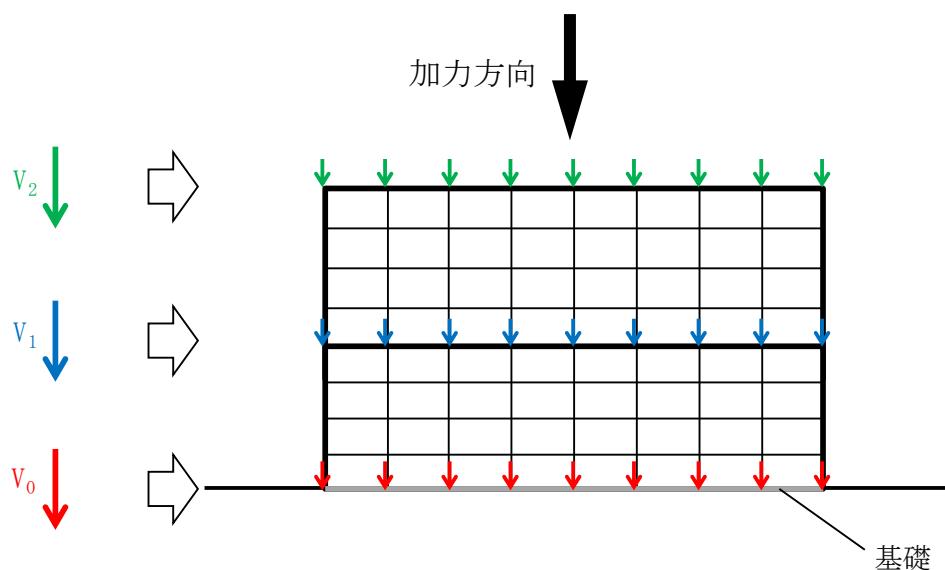
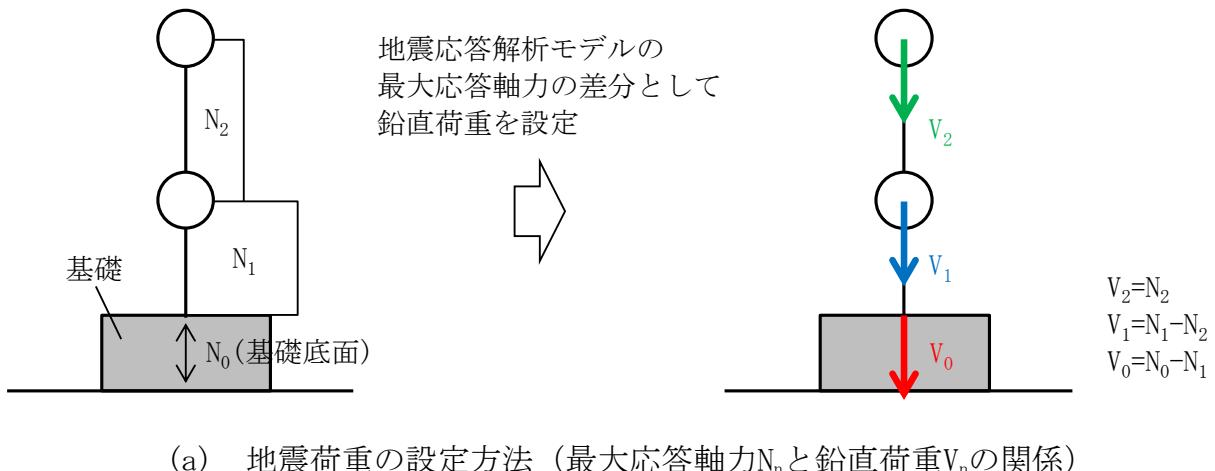


第2-2図 地震荷重の入力概念図（曲げモーメント）

### 2.1.3 軸力

軸力については、基準地震動Ssに対する地震応答解析結果における各層の最大応答軸力に相当する鉛直力を、各質点位置に対応する各節点の支配領域に応じて分配し、鉛直方向の節点力として入力する。

地震荷重（軸力）の入力概念図を第2-3図に示す。



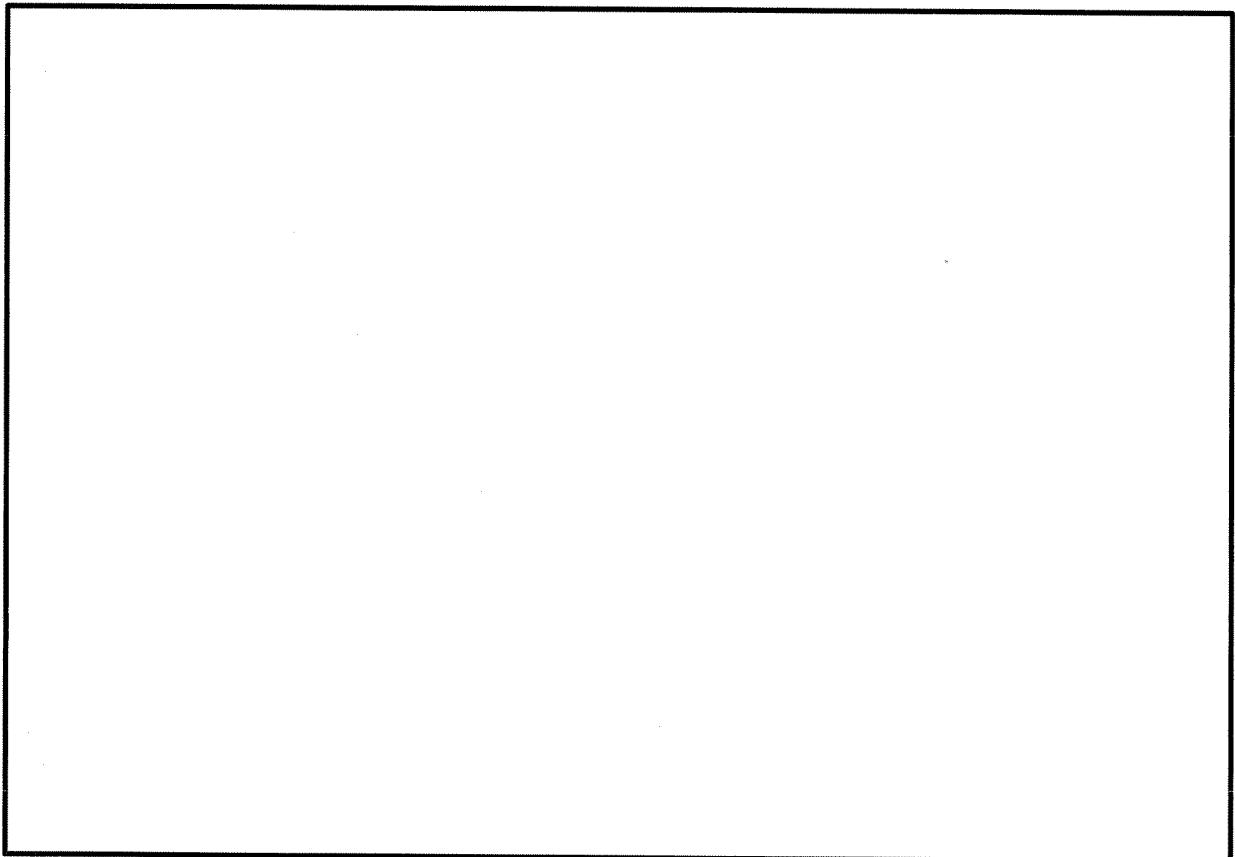
(b) FEMモデルに作用させる鉛直力

第2-3図 地震荷重の入力概念図（軸力）

## 2.2 キャスク反力

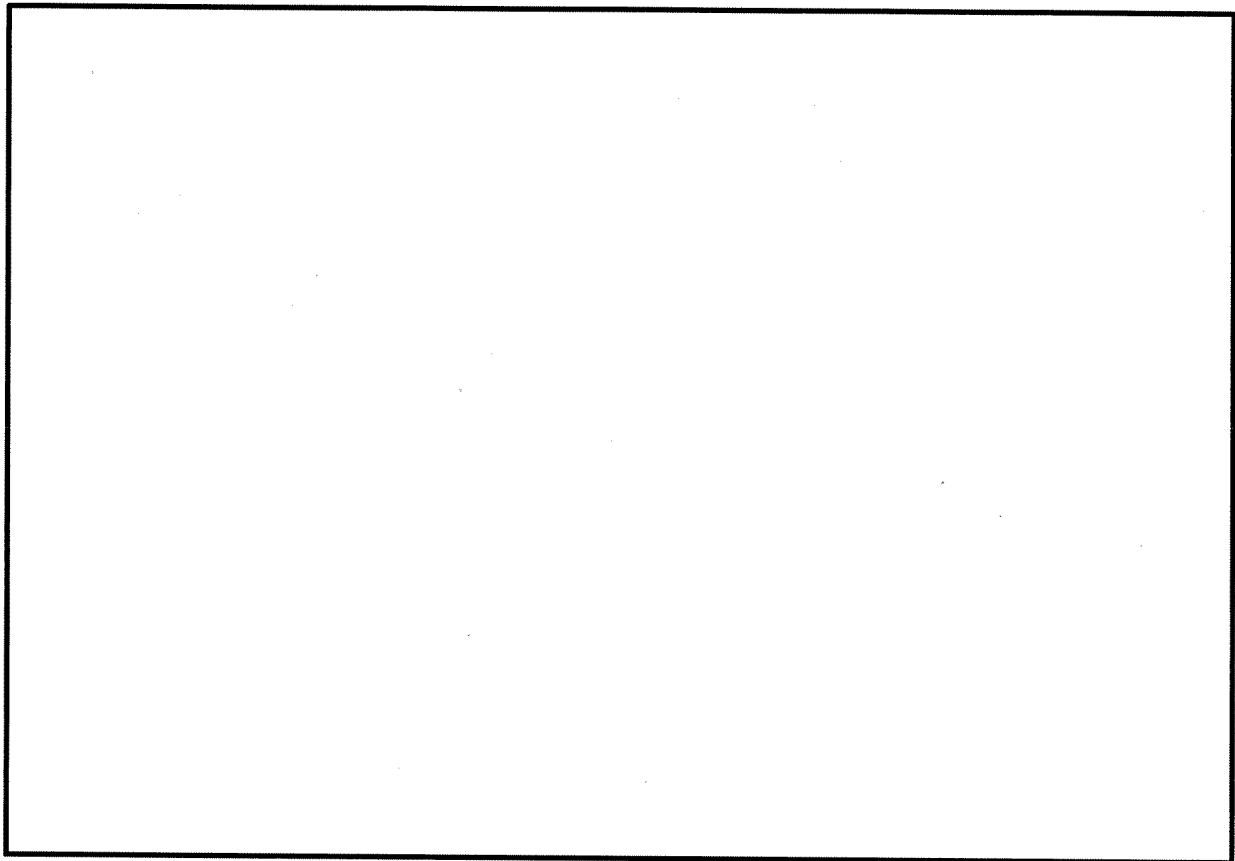
キャスク反力は、乾式キャスクを設置している節点に節点力として入力する。

キャスク反力の入力概念図を第2-4図及び第2-5図に示す。また、長期キャスク荷重の入力概念図を第2-6図に参考として示す。

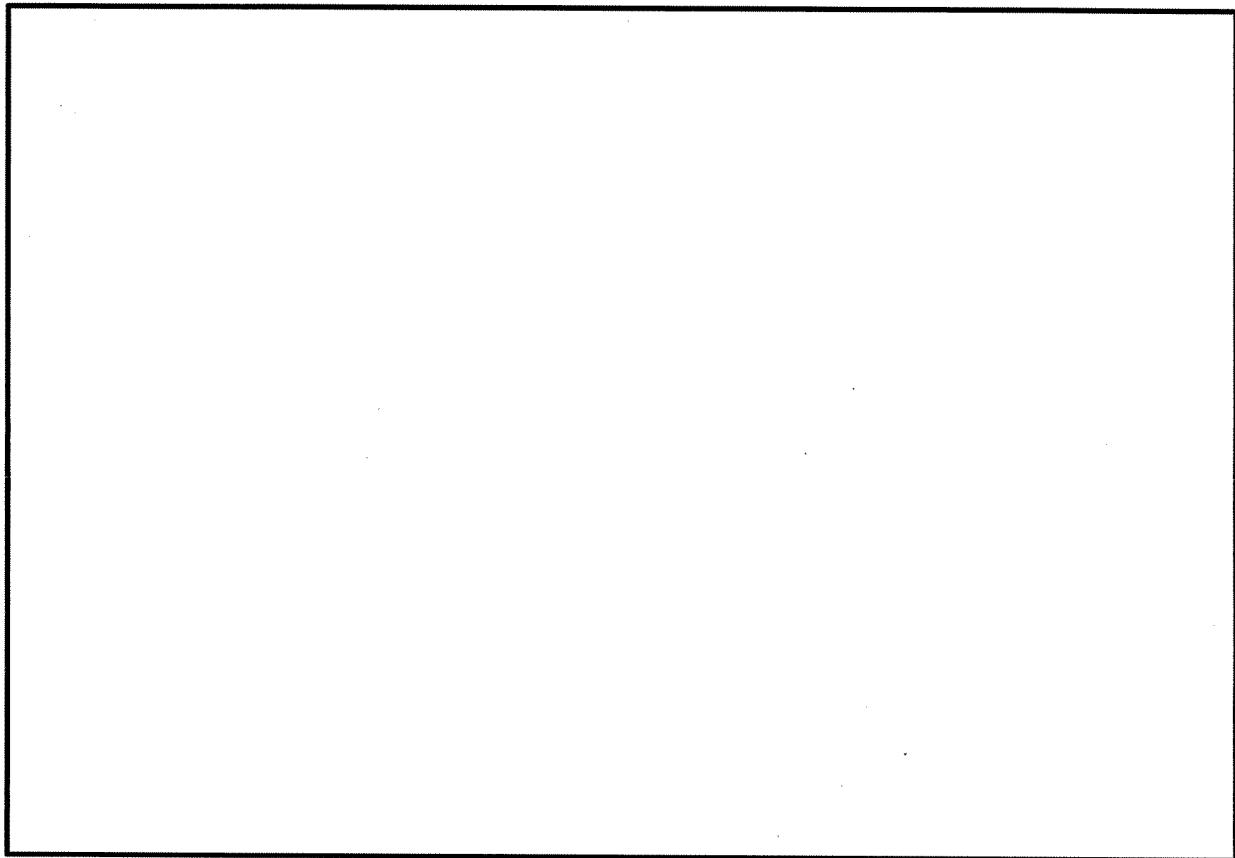


第2-4図(1/2) 水平地震力 (NS方向) によるキャスク反力の入力概念図

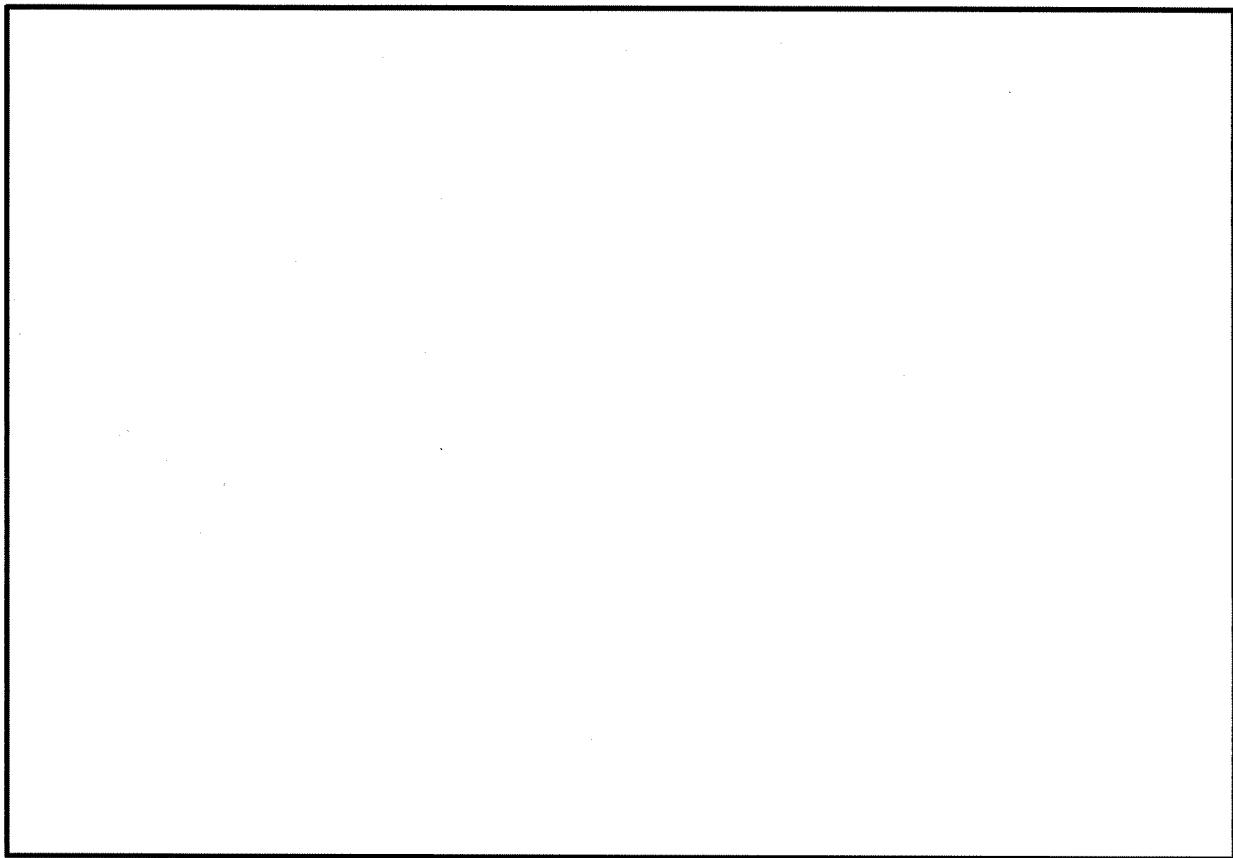
(キャスク反力 S→N)



第2-4図(2/2) 水平地震力(EW方向)によるキャスク反力の入力概念図  
(キャスク反力 E→W)



第2-5図 鉛直地震力によるキャスク反力の入力概念図  
(キャスク反力 鉛直上向き)



第2-6図 長期キャスク荷重の入力概念図 (参考)

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震計算について

2-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

に関する影響評価

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	2-4-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる 地震動 .....	2-4-2
3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価 .....	2-4-3
3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計の考え方 .....	2-4-3
3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法 .....	2-4-5
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出 .....	2-4-8
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の 抽出結果 .....	2-4-20
3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価 .....	2-4-22
3.6 基礎の評価 .....	2-4-23

## 1. 概要

資料9-15「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」では、資料9-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により施設が有する耐震性に及ぼす影響について、令和2年3月26日付け原規規発第2003261号にて認可された工事計画の資料17-17「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」で評価した建屋（以下「既認可建屋」という。）に、使用済燃料乾式貯蔵建屋を加えて評価した結果を説明している。

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出について説明するとともに、抽出された部位の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を説明する。

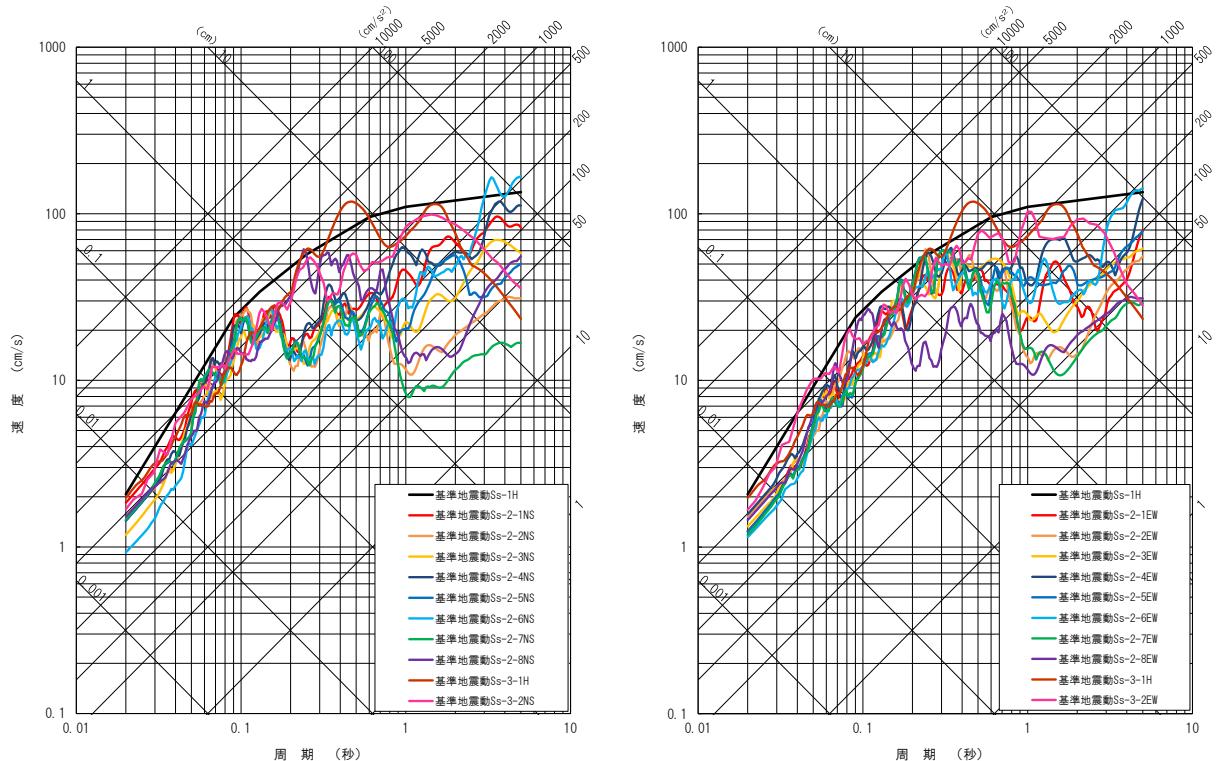
なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-15「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

## 2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

伊方発電所の基準地震動Ssは、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、応答スペクトルに基づく地震動としてSs-1、断層モデルを用いた手法による地震動としてSs-2-1～Ss-2-8を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動Ss-3-1～Ss-3-2を策定している。基準地震動Ss-1～Ss-3の応答スペクトル（水平方向）を第2-1図に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動Ss-1～Ss-3を用いる。ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。



第2-1図 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）

### 3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価

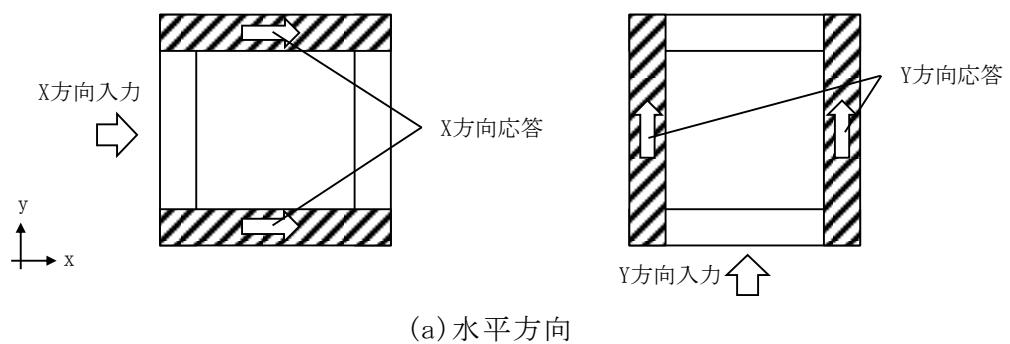
#### 3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計の考え方

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）を45基 収容することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリア（以下「貯蔵エリア」という。）、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリア（以下「取扱エリア」という。）などから構成されている。

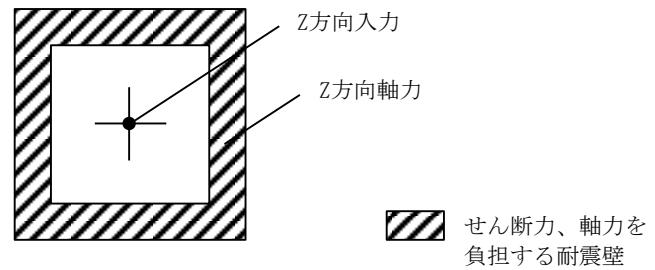
主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行っている。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対してそれぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対し水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。また、鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本とし、地震応答解析は、主な耐震要素である耐震壁の鉛直方向の剛性を評価し、鉛直方向に対して解析を実施している。入力方向ごとの耐震要素について、第3.1-1図に示す。

これを踏まえ、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の応力解析による耐震評価は、地震応答解析により算出された応答を水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて評価を行っている。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 3.1-1 図 入力方向ごとの耐震要素

### 3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された、水平2方向の地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位は、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」に示す荷重を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを第3.2-1図に示す。

#### (1) 影響評価部位の抽出

##### ① 耐震評価上の構成部位の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位を整理し、使用済燃料乾式貯蔵建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

##### ② 応答特性の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

##### ③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

##### ④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、3次元的な応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、有する耐震性への影響が想

定される部位を抽出する。

##### ⑤ 3次元FEMモデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元FEMモデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元FEMモデルによる精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

#### (2) 影響評価手法

##### ⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、荷重を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容限界に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

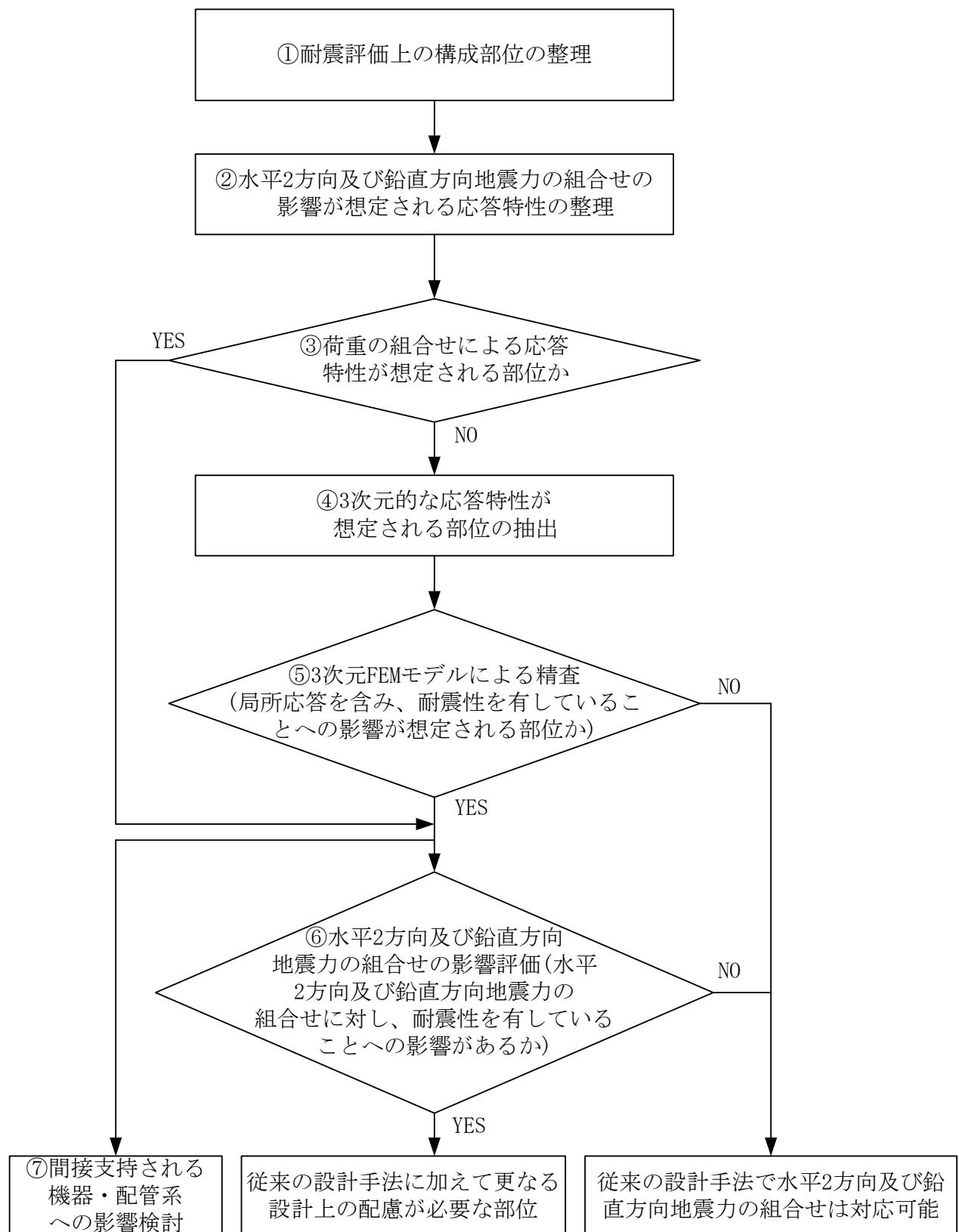
荷重の組合せにおいては、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」に示す水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価で設定した荷重を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92<sup>(注)</sup> の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて設定する。

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

##### ⑦ 機器・配管系への影響検討

「(1) 影響評価部位の抽出」において評価対象として抽出された部位が機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる当該部位の応答値への影響を確認する。

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



第3.2-1図 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討のフロー

### 3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出

#### (1) 耐震評価上の構成部位の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を既認可建屋と併せて第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 建物・構築物<sup>(注1)</sup>における耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価部位		原子炉建屋					原子炉 補助建 屋	緊急時 対策所	タービ ン建屋 (注2)	外周コ ンクリ ート壁 (1号 機) (注 2)	待機 所 <sup>(注2)</sup>	非常用 ガスター ビン 発電機 建屋	使用済 燃料乾 式貯蔵 建屋							
		外周コ ンクリ ート 壁	内部コ ンクリ ート 壁	原子炉 周辺補 機棟	燃料取扱棟															
					使用済 燃料ビ ット	鉄骨 部 <sup>(注2)</sup>														
RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造							
柱	一般部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	—							
	隅部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
梁	一般部	—	—	○	—	○	○	—	○	—	—	—	○							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—							
壁	一般部	○	○	○	○	—	○	○	—	○	○	○	○							
	斜め部	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—							
	鉄骨プレース	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—							
	水密扉	—	—	○ <sup>(注3)</sup>	—	—	○ <sup>(注3)</sup>	—	—	—	—	—	—							
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○							
基礎	矩形	○					○	○	○	—	○	○	○							
	円形	—					—	—	—	○	—	—	—							

凡例 ○：対象となる部位あり、—：対象となる部位なし

(注1) 耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する建物・構築物

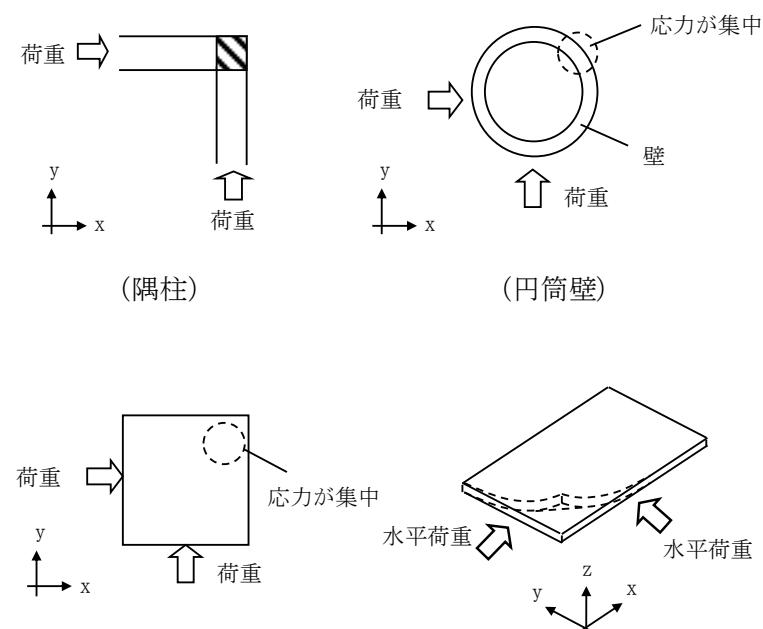
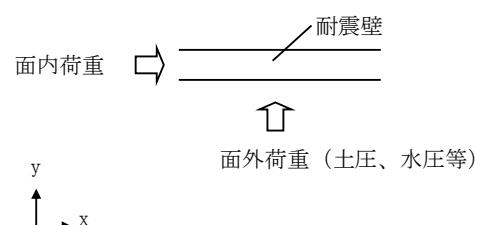
(注2) (注1) のうち、波及的影響防止のために耐震評価を実施する建物・構築物

(注3) 海水ピットポンプ室に設置している水密扉を含む。

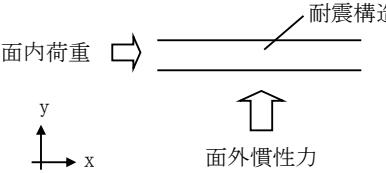
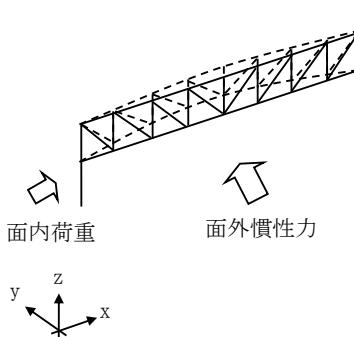
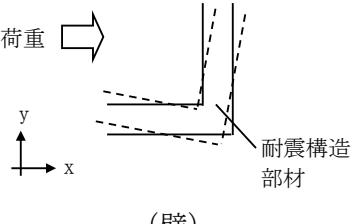
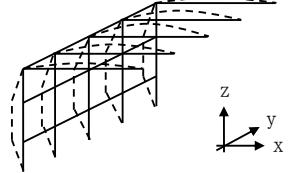
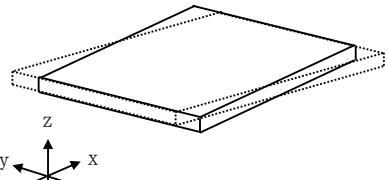
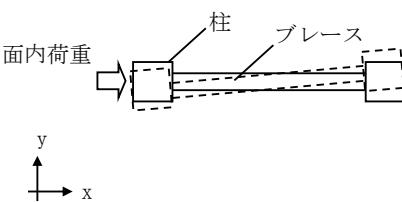
## (2) 応答特性の整理

使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.3-2表及び第3.3-3表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力の考え方を第3.3-4表に示す。

第3.3-2表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性  
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる応答特性	影響想定部位
①-1 直交する水平2方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
①-2 面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するピット等 (例)</p> 

第3.3-3表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性  
(3次元的な応答特性)

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

第3.3-4表 (1/2) 耐震評価上の各部位に対する水平2方向入力の考え方

耐震評価上の構成部材		水平2方向入力の考え方
柱	一般部	耐震壁付の構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>直交する地震荷重が同時に作用。 ただし、耐震壁付きの隅柱は軸力が耐震壁に分散されることで、影響は小さい。</p> <p>(平面図) (立面図)</p>
地下部		<p>外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。 土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p>
梁	一般部	<p>1方向のみ地震荷重を負担し、床による面外地震荷重負担による影響は小さい。 吹き抜け部にある梁の面外地震荷重の影響未把握。</p>
	鉄骨 トラス	1方向のみ地震荷重を負担するため水平入力による影響は小さい。床による拘束があるため、面外荷重の影響は小さい。

第3.3-4表 (2/2) 耐震評価上の各部位に対する水平2方向入力の考え方

耐震評価上の構成部材		水平2方向入力の考え方		
壁	一般部	1方向のみ地震荷重を負担することを基本。直交する方向(面外)、ねじれによる荷重増分は影響未把握。		
	斜め部	1方向地震荷重は角度に応じた等価なせん断剛性としたひずみで評価。 直交する方向(面外)、ねじれによる荷重増分は影響未把握。		<p>(水平に対し、45°の壁を例示)</p> <p>等価剛性 <math>K_x = K/\sqrt{2}</math> →変形 <math>\sqrt{2}</math> 倍で評価</p> <p>□ X方向地震荷重 (Y方向も同様)</p>
	地下部	地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。		<p>面内荷重 □</p> <p>面外荷重(土圧等)</p>
	鉄骨プレース	水平は1方向のみの地震荷重を負担するため、2方向入力による影響は小さい。ただし、ねじれによる荷重増分の影響については確認が必要。		
床・屋根	一般部	四方が壁等で固定された床スラブは、水平方向に変形しにくい構造のため、水平地震力の影響は小さい。 ただし、ねじれによる荷重増分の影響は確認が必要。		<p>荷重 □</p>
	基礎版(矩形)	水平2方向の地震力により、応力が集中するため確認が必要。		<p>荷重 □</p> <p>応力が集中</p> <p>荷重</p>
基礎	基礎版(円形)	鉄筋が放射状に配置されており、円周方向に同一断面としていることから方向性はない。 ただし、上部構造物による影響未把握。		<p>鉄筋</p> <p>荷重</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第3.3-1表に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位のうち、第3.3-2表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を既認可建屋と併せて第3.3-5表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として、基礎を抽出した。

a. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

b. 床及び屋根

床及び屋根は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

c. 基礎

①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する使用済燃料乾式貯蔵建屋は、隅部への応力集中が考えられるため、①-1に該当するものとして抽出した。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎は該当しない。

d. 梁

梁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

第3.3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出（荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング）

耐震評価部位		原子炉建屋					原子炉 補 助建屋	緊急時 対策所	タービ ン建屋	外周コ ンクリ ート壁 (1号 機)	待機所	非常用 ガスター ビン発電機 建屋	使用済 燃料乾 式貯蔵 建屋								
		外周コ ンクリ ート 壁	内部コ ンクリ ート	原子炉 周辺補 機棟	燃料取扱棟																
					使用済 燃料ビ ット	鉄骨部															
RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造							
柱	一般部	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—							
	隅部	—	—	該当なし	—	①-1要	該当なし	—	①-1要	—	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
梁	一般部	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	該当なし							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	該当なし	—	—	—	—	—							
壁	一般部	①-1要	該当なし	該当なし	①-2要	—	該当なし	該当なし	—	①-1要	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし							
	斜め部	—	該当なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	①-2要	—	—							
	鉄骨フレース	—	—	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—	—	—	—							
	水密扉	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—	—	—	—	—	—							
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし							
基礎	矩形	①-1要					①-1要	①-1要	該当なし	—	該当なし	①-1要	①-1要	①-1要							
	円形	—					—	—	—	該当なし	—	—	—	—							

凡例 要：評価必要

①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第3.3-1表に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋における耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第3.3-3表に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を既認可建屋と併せて第3.3-6表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位は抽出されなかった。

a. 壁

壁について②-1の部位及び②-2の部位の検討を行う。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、面外慣性力の影響が大きくなるような大スパン又は吹抜部の壁は存在しないため、②-1の部位には該当しない。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁は、直交する2方向に釣り合いよく耐震壁が配置されており、ねじれ振動の影響が懸念されるような構造ではないため、②-2の部位に関しても該当しない。

b. 床及び屋根

床及び屋根は、釣り合いよく壁が配置されているため、②-1の部位及び②-2の部位に該当しない。

c. 基礎

基礎は、(3)で抽出されている。

d. 梁

梁は、剛性の高い床や耐震壁が付帯しており、面外方向の変形を抑制することから、②-1及び②-2には該当しない。

第3.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		原子炉建屋					原子炉 補 助建屋	緊急時 対策所	タービ ン建屋 (注2)	外周コ ンクリ ート壁 (1号 機)	待機所	非常用 ガスター ビン発電機 建屋	使用済 燃料乾 式貯蔵 建屋								
		外周コ ンクリ ート 壁	内部コ ンクリ ート	原子炉 周辺補 機棟	燃料取扱棟																
					使用済 燃料ピ ット	(注1) 鉄骨部															
RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	S造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造							
柱	一般部	—	—	不要	—	不要	不要	—	不要	—	—	—	—	—							
	隅部	—	—	不要	—	要	不要	—	要	—	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
梁	一般部	—	—	不要	—	不要	不要	—	不要	—	—	—	—	不要							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	不要	—	—	—	—	—							
壁	一般部	要	②-2要	②-1要	要	—	②-1要	不要	—	要	不要	不要	不要	不要							
	斜め部	—	②-2要	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	要	—							
	鉄骨フレース	—	—	—	—	不要	—	—	不要	—	—	—	—	—							
	水密扉	—	—	不要	—	—	不要	—	—	—	—	—	—	—							
床 屋根	一般部	不要 <sup>(注3)</sup>	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要	不要	不要							
基礎	矩形	要					要	要	不要	—	不要	要	要	要							
	円形	—					—	—	—	不要	—	—	—	—							

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニングで抽出済み

不要：評価不要

②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

(注1) S造については、大スパンの梁を有し、下部に耐震Sクラスである使用済燃料ピットがある燃料取扱棟（鉄骨部）は3次元FEMモデルによる精査を行う。

(注2) 平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-18-2における評価内容に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はないと判断できることから、影響評価対象外とする。

(注3) 外周コンクリート壁ドーム部については壁部の3次元的な応答特性に伴う影響が考えられるため、3次元FEMモデルによる精査を行う。

### (5) 3次元FEMモデルによる精査

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、3次元的な応答特性が想定される部位のうち、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位は抽出されなかった。

さらに、耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行った。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、直交する2方向に配置された耐震壁を主な耐震要素としており、構造特性については、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の補足説明資料-9において局所応答の検討を行った原子炉補助建屋と類似している。このため、同資料の知見を用いて、使用済燃料乾式貯蔵建屋の局所応答に対する3次元FEMモデルによる精査を行った。

同資料では、原子炉建屋及び原子炉補助建屋について、水平1方向入力時に対する水平2方向及び鉛直方向入力時の応答値の増分を考慮した局所応答の影響を検討した結果、建屋が有する耐震性への影響は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、使用済燃料乾式貯蔵建屋についても、建屋が有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を行う必要がある部位は抽出しない。3次元FEMモデルを用いた精査の結果を第3.3-7表に示す。

第3.3-7表 3次元FEMモデルを用いた精査

耐震評価部位	評価対象 <sup>(注)</sup>	3次元的な応答特性 (②-1、②-2)	3次元FEMモデルを用いた精査方法	3次元FEMモデルを用いた精査結果
耐震評価部位全般	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・原子炉建屋 ・原子炉補助建屋	局所的な応答	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

(注) 下線を代表して評価する。

### 3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

#### (1) 影響評価部位の抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を既認可建屋と併せて第3.4-1表に示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎については、応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位として抽出されるものの、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋及び原子炉補助建屋を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

ここで、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の基礎に対する影響評価については、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-19「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、水平2方向及び鉛直方向地震力に対して、建物・構築物が有する耐震性への影響がないことを確認している。

なお、耐震性向上の観点から、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎についても、「3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価」に基づき実施し、評価結果を「3.6 基礎の評価」に示す。

#### (2) 機器・配管系への影響の可能性がある部位の抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵建屋において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響から、機器・配管系への影響の可能性がある部位について検討した。

使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であるが、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため機器・配管系への影響の可能性はない。

第3.4-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価 部位		対象建物・構築物 <sup>(注)</sup>	代表評価部位
①-1	柱	隅部	・ <u>燃料取扱棟（鉄骨部）</u>	—
	壁	一般部	・ <u>外周コンクリート壁（円筒部）</u> ・外周コンクリート壁（1号機）	基準地震動Ssに対する裕度が小さい外周コンクリート壁（円筒部）を評価する。
	基礎	矩形	・原子炉建屋 ・原子炉補助建屋 ・緊急時対策所 ・非常用ガスタービン発電機建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋及び原子炉補助建屋を評価する。
①-2	壁	一般部	・ <u>使用済燃料ピット上</u>	上部に床などの拘束がなく、また、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料ピットの壁を評価する。
		地下部	・非常用ガスタービン発電機建屋	

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(注) 下線は評価する建物・構築物を示す。

### 3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価

「3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果」で抽出された使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎について、基準地震動Ssを用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。評価は、資料9-12-2「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」の解析モデル及び地震力を用いる。評価に用いる地震動を第3.5-1表に示す。

影響評価に用いる地震力は、基準地震動Ssの各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92<sup>(注)</sup>の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて評価する。また、本検討が水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価を目的としていること及び耐震設計において水平方向地震力が支配的であることを踏まえ、組合せは鉛直方向地震力の係数0.4のケースに対して検討を実施する。

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

第3.5-1表 評価に用いる地震動

耐震評価部位	影響評価に用いる地震動	備考
基礎	基準地震動 Ss	資料9-12-2と同様の地震力を用いるため、Ss-1～Ss-3の地震力を包絡して用いる。

### 3.6 基礎の評価

#### 3.6.1 検討概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎は、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性がある。

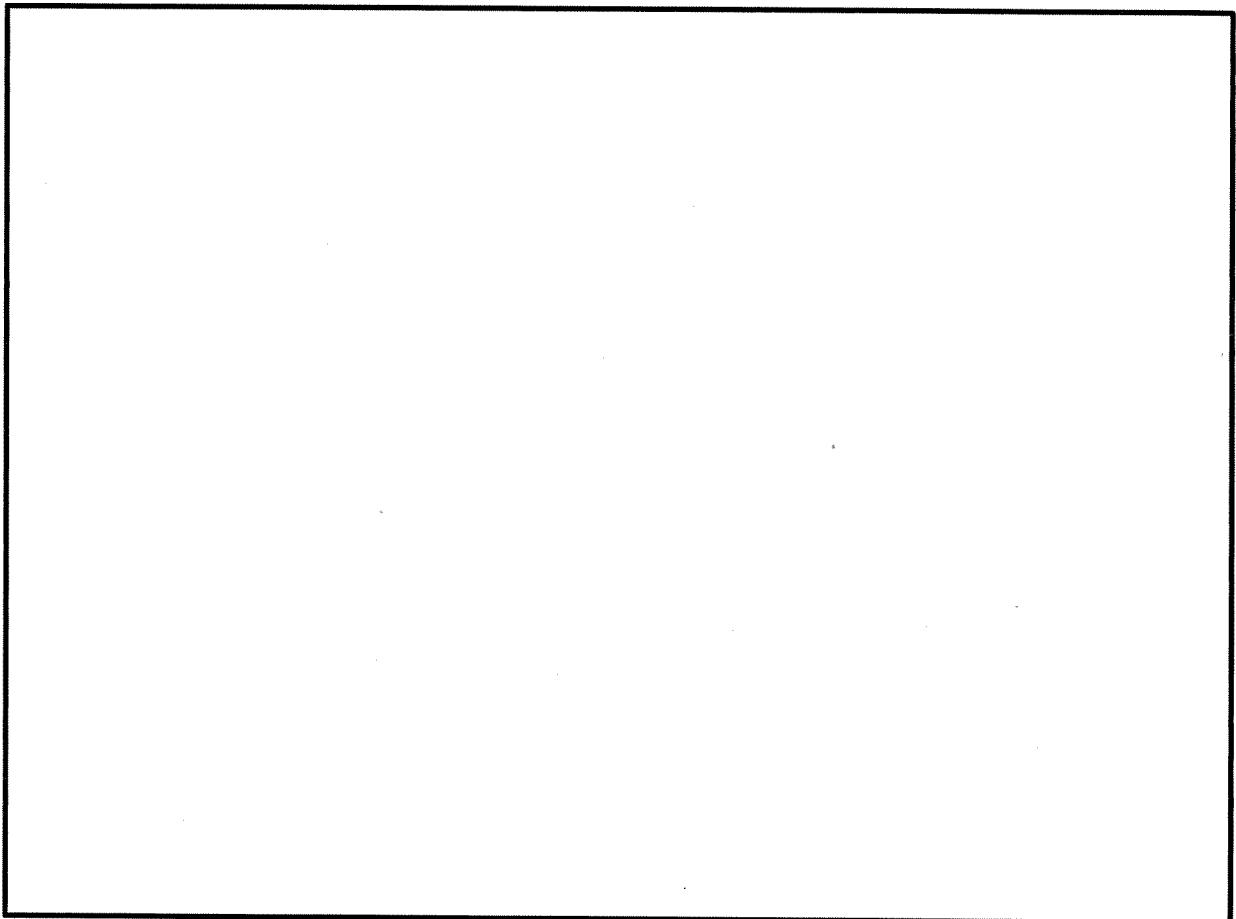
検討は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の各部位に対して、3次元FEMモデルを用いて、地震力を水平2方向及び鉛直方向から作用させた場合の検討を実施する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクを45基収容することができる鉄筋コンクリート造の構造物であり、貯蔵エリア、取扱エリアなどから構成されている。

主要構造は、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体としており、貯蔵エリアの耐震壁には冷却空気取入れのための開口がある。

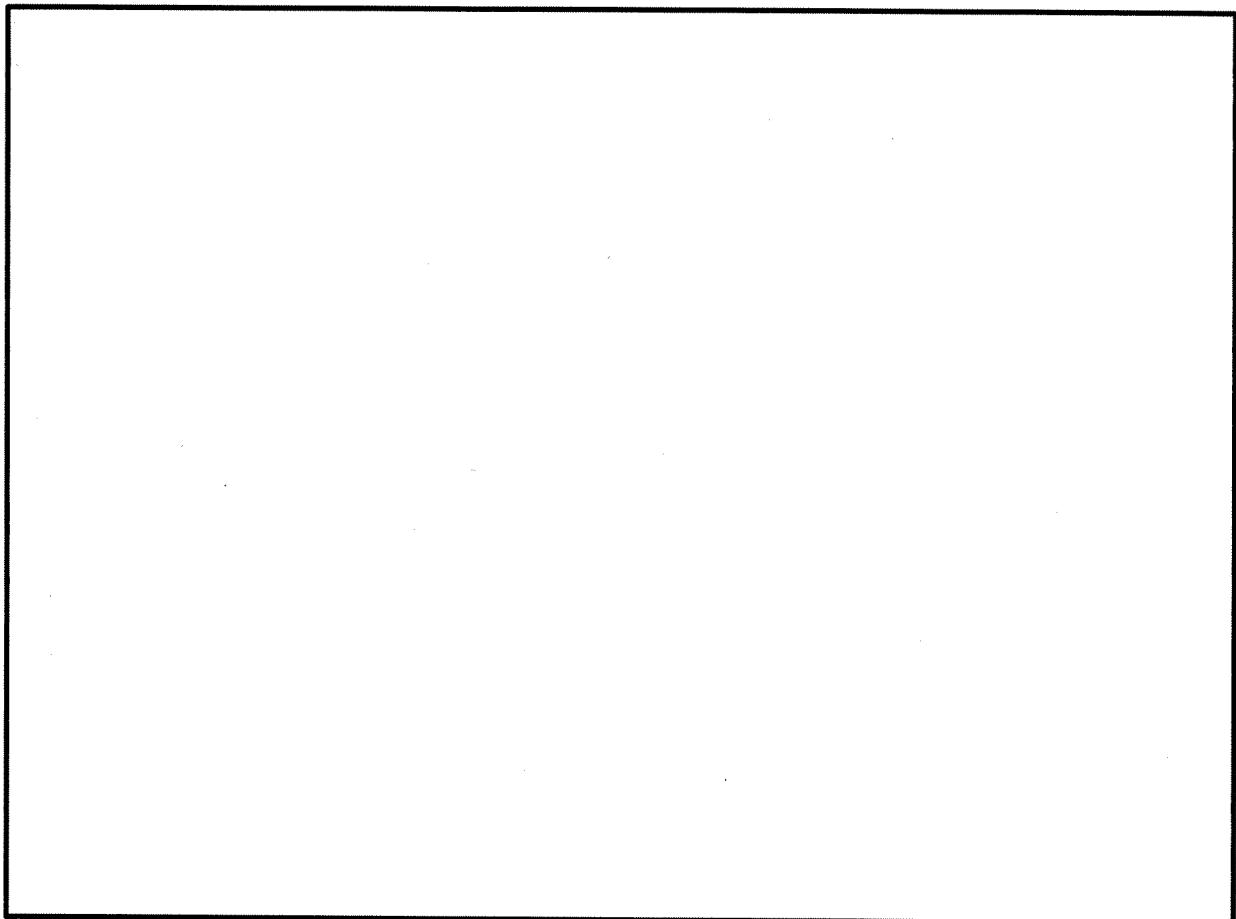
建屋は、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を介して直接岩盤に支持されている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を第3.6-1図及び第3.6-2図に示す。



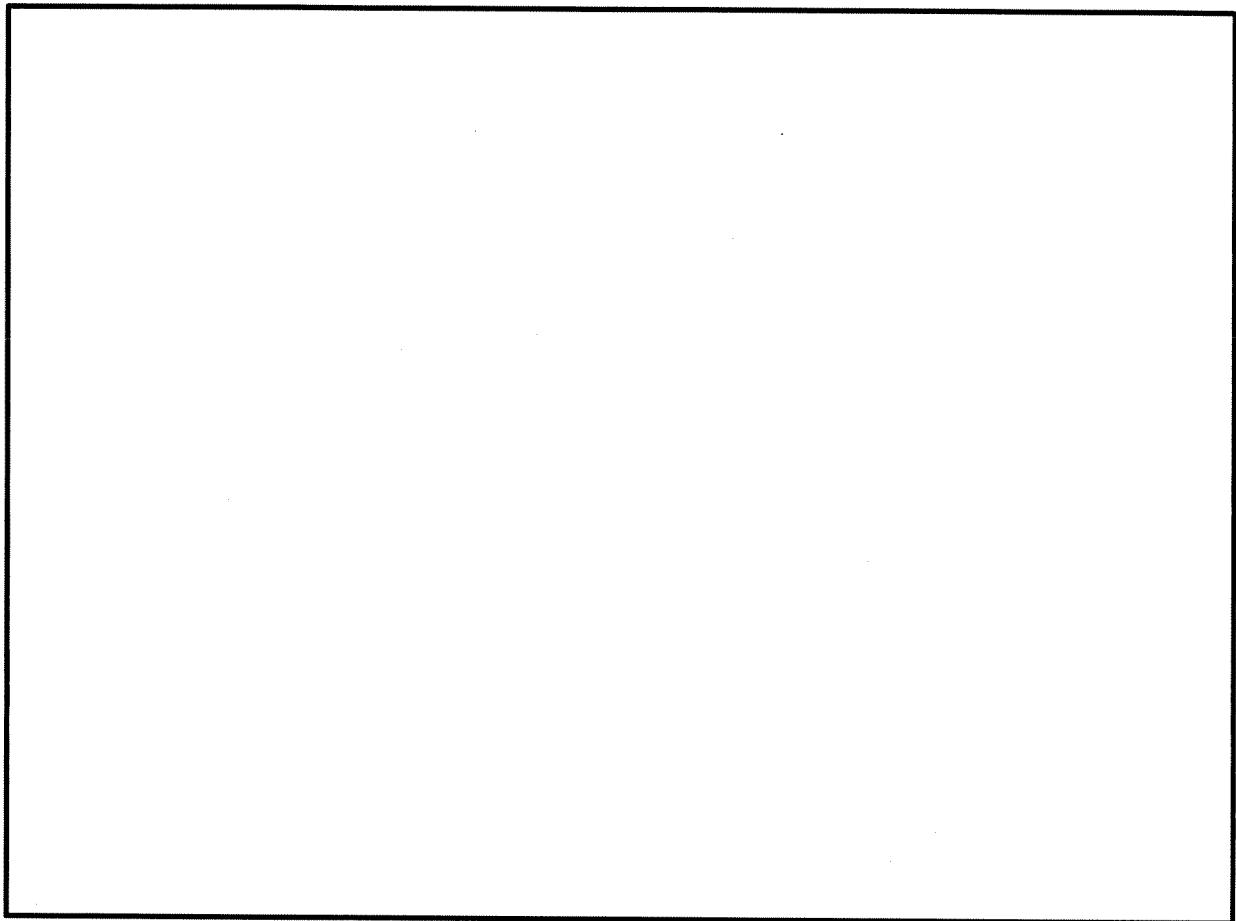
第3.6-1図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



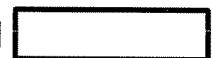


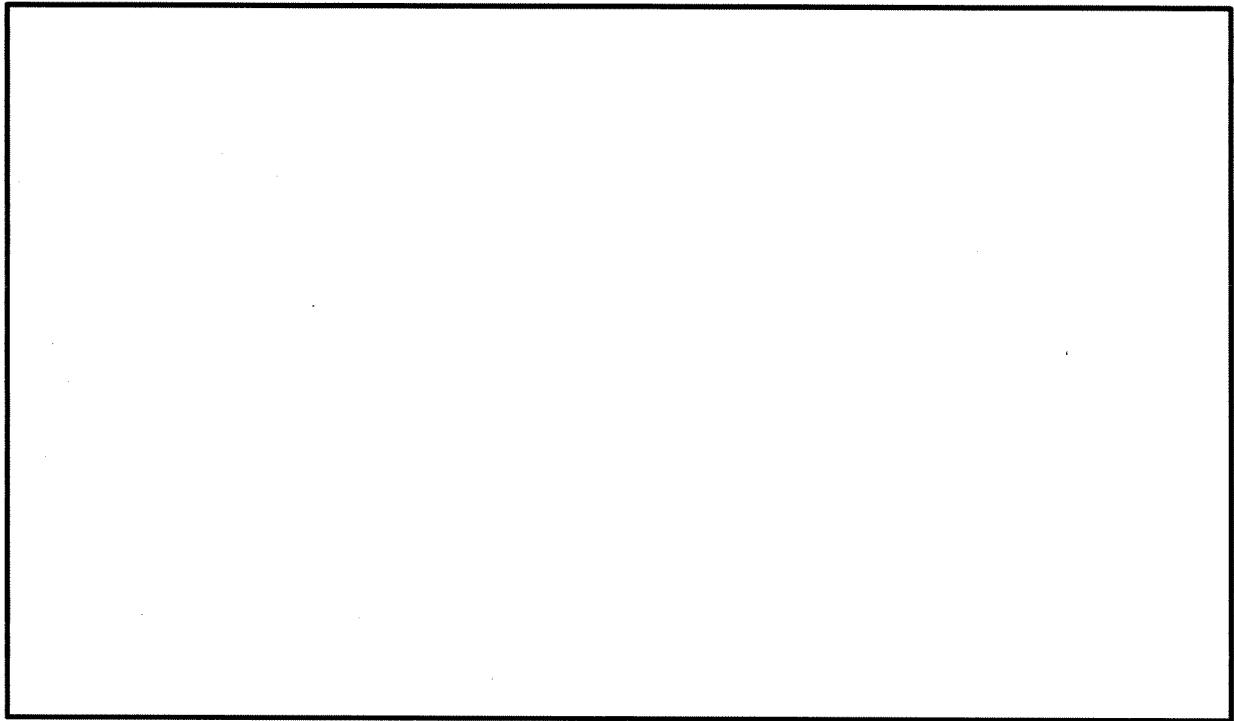
第3.6-1図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図



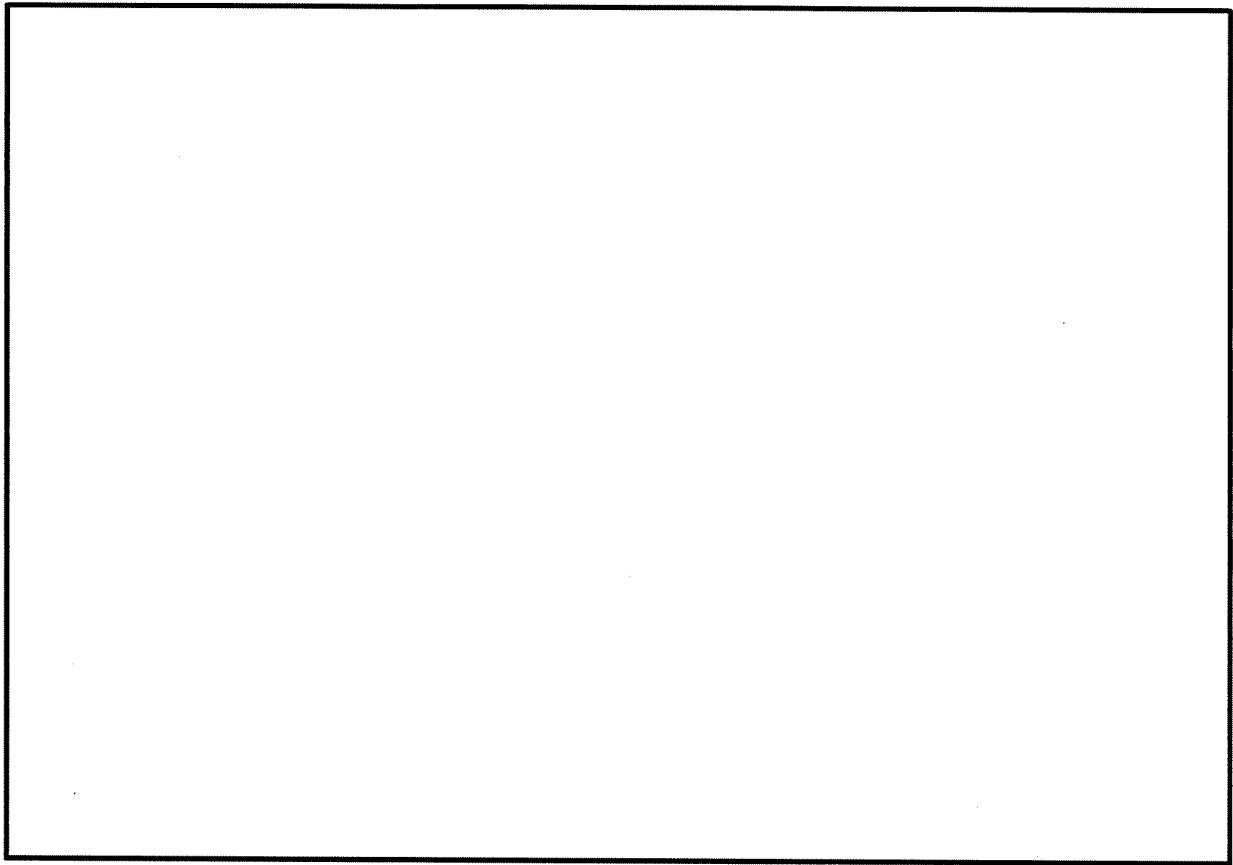


第3.6-1図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

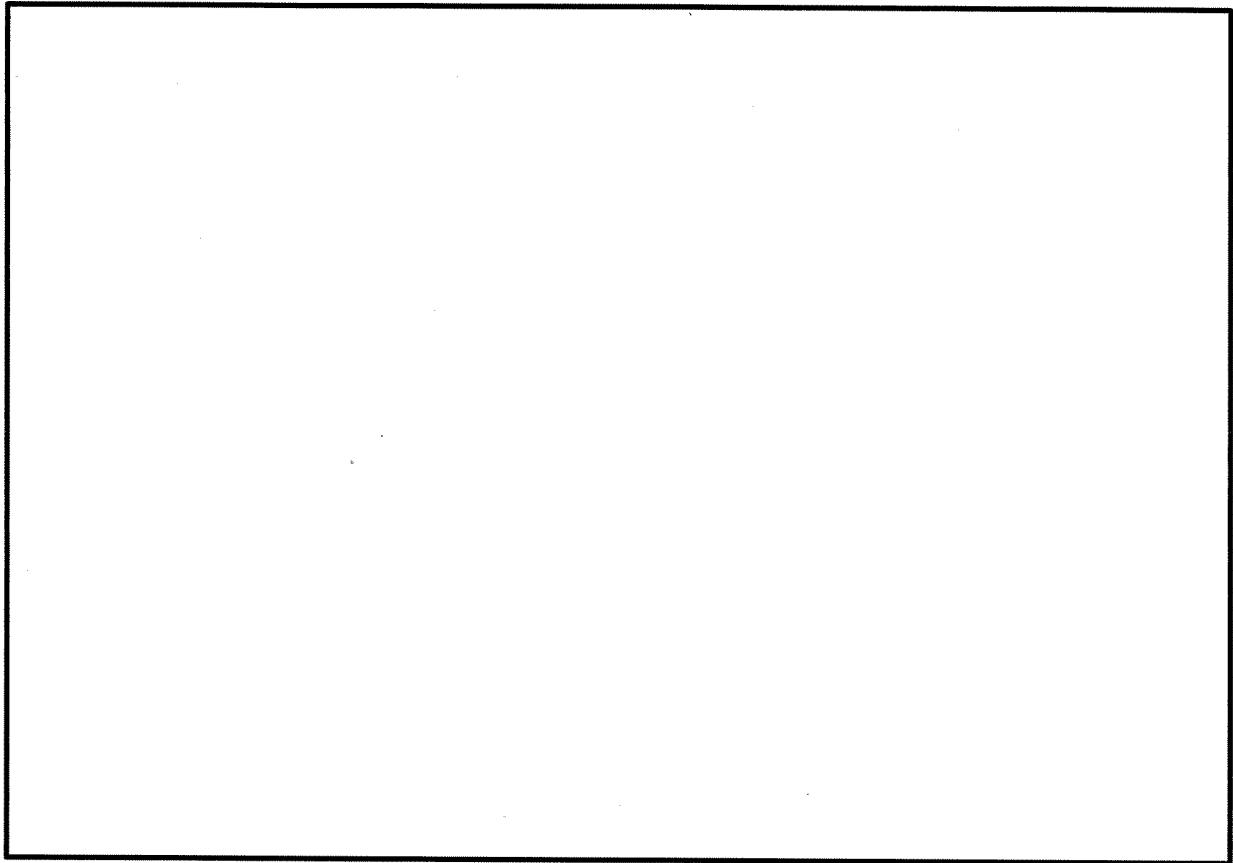




第3.6-2図 (1/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A断面)



第3.6-2図 (2/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B断面)



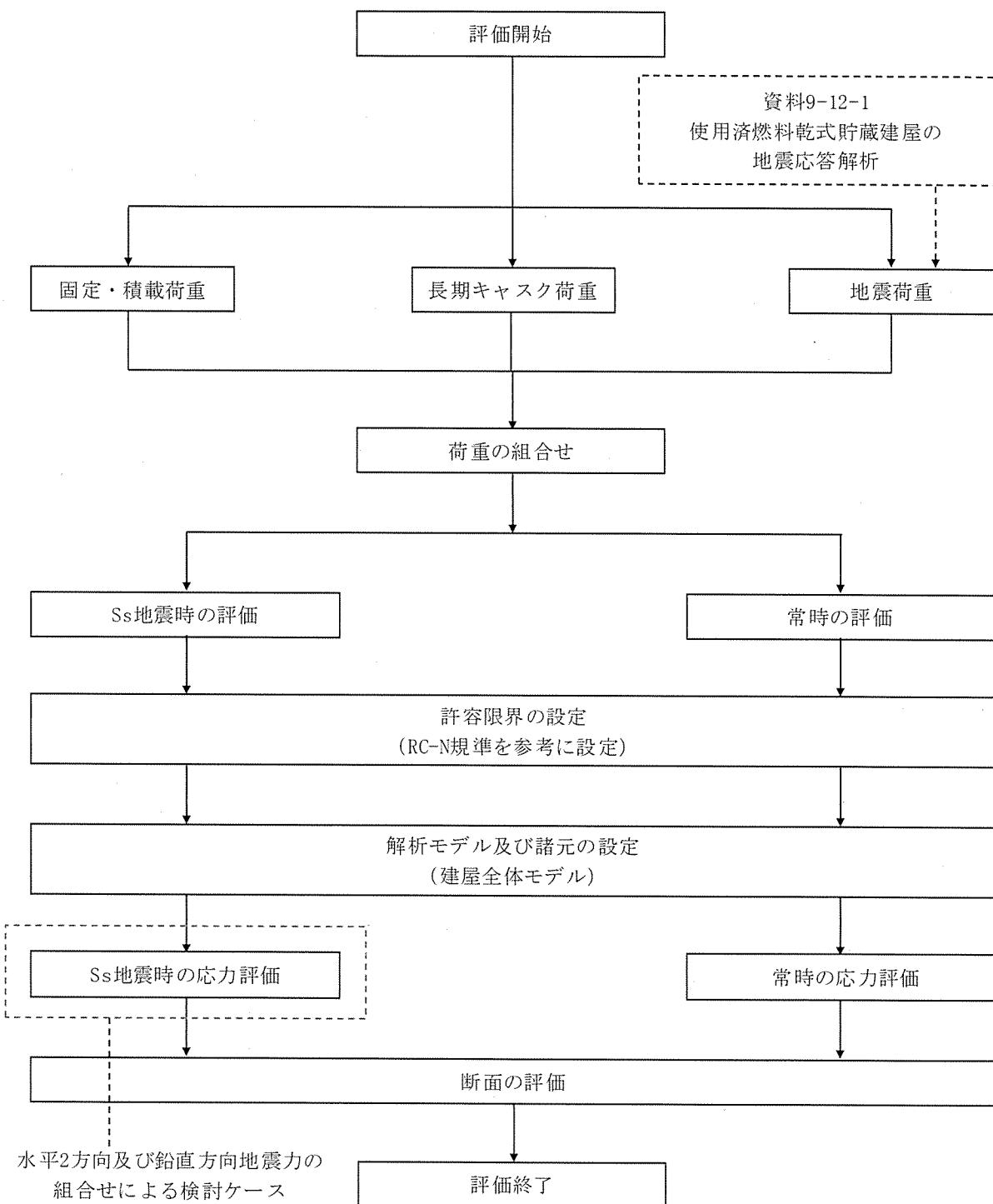
第3.6-2図 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (C-C断面)

### 3.6.2 検討方針

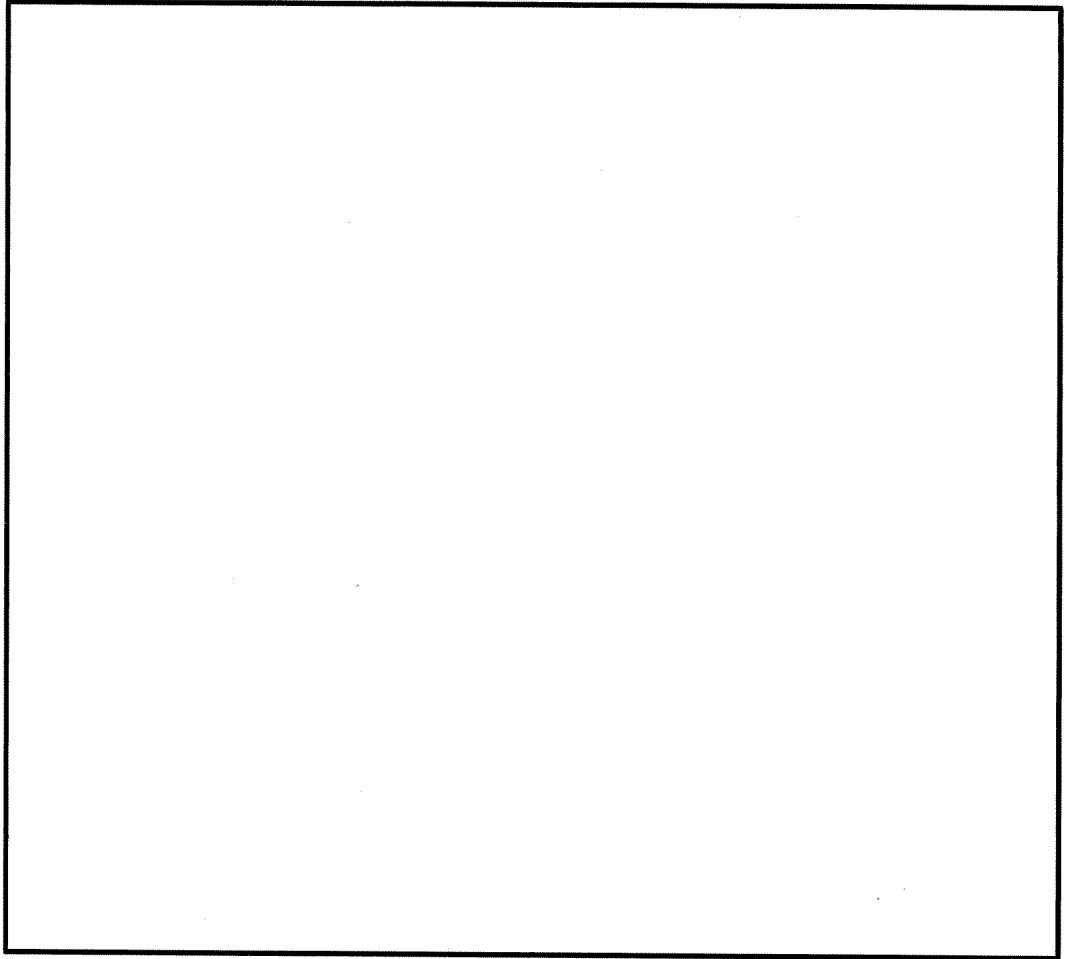
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の評価を実施する。

評価は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根、床、壁及び基礎を含めた建屋全体の3次元FEMモデルを用い、基準地震動Ssによる地震力が作用する状態（以下「Ss地震時」という。）において、地震荷重を水平2方向及び鉛直方向に対して作用させた弾性応力解析に基づき、地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、基礎に発生する応力が、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制定）（以下「RC-N規準」という。）を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。評価に用いる動的地震力は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」による結果を用いて算出する。

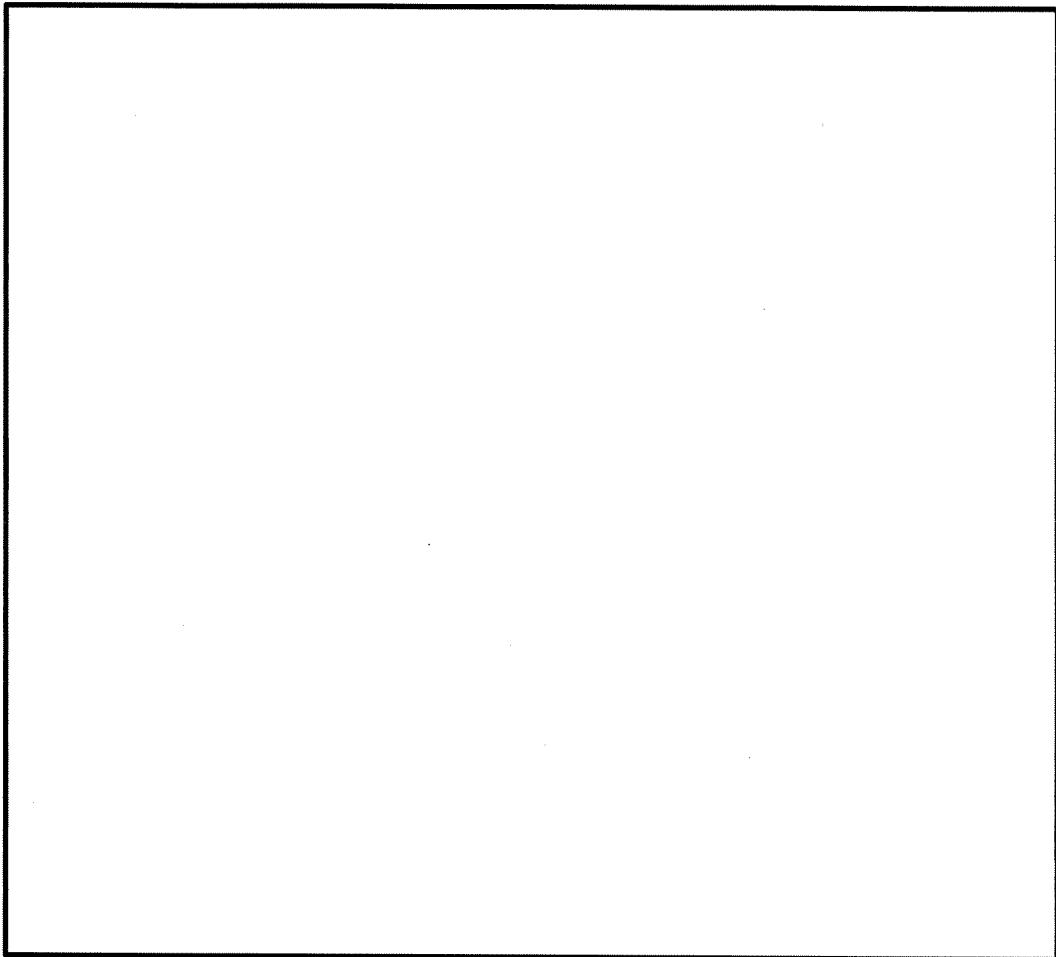
使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の評価フローを第3.6-3図に、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」における地震応答解析モデルを第3.6-4図及び第3.6-5図に、動的地震力に考慮する地盤物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケースを第3.6-1表に示す。



### 第3.6-3 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の評価フロー



第 3.6-4 図 地震応答解析モデル（水平方向）



第3.6-5図 地震応答解析モデル（鉛直方向）

第3.6-1表 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析ケース

ケース名	地盤のせん断波速度Vs <sup>*</sup> (m/s)		鉄筋コンクリート部の 減衰定数h (%)
基本	1,700	2,700	5
Vs+1 σ	1,836 (1.08)	2,916 (1.08)	5
Vs-1 σ	1,564 (0.92)	2,484 (0.92)	5
減衰3%	1,700	2,700	3

※：資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において、

基礎底面の地盤ばねの算定に用いた地盤のせん断波速度。

() 内は基本ケースに対する比率。

### 3.6.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、資料9-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の評価において、積雪荷重は積載荷重に包絡されることから、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎が鉄筋コンクリート構造物であり自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいと判断し、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。

#### (1) 荷重

##### a. 固定荷重(G)及び積載荷重(P)

固定荷重及び積載荷重を第3.6-2表及び第3.6-3表に示す。

第3.6-2表(1/3) 固定荷重(床、屋根及び壁)

部位	固定荷重(kN/m <sup>2</sup> )	備考
床(貯蔵エリア)	24.00t+1.2	t:部材厚さ (m)
屋根(貯蔵エリア)	24.00t+3.0	
壁	24.00t	

第3.6-2表(2/3) 固定荷重(基礎)

部位	固定荷重(kN/m <sup>2</sup> )	備考
基礎(貯蔵エリア)	24.00t+7.2	t:部材厚さ (m)

第3.6-2表(3/3) 固定荷重(クレーン自重)

部位	固定荷重
クレーン自重(kN)	1,883

第3.6-3表 積載荷重(床及び屋根)

部位	積載荷重(kN/m <sup>2</sup> )
床	機器+配管サポート+1.2
屋根	機器+配管サポート+3.0
基礎張出部	5.4

b. 長期キャスク荷重 ( $C_0$ )

長期キャスク荷重を第3.6-4表に示す。

第3.6-4表 長期キャスク荷重

部位	長期キャスク荷重(kN/基)
乾式キャスク：45基	1,177
乾式キャスク架台： 45基	197

c. 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、水平地震力、鉛直地震力及び乾式キャスクからの反力（以下「キャスク反力」という。）により構成される。

(a) Ss地震荷重 (Ks)

Ss地震荷重のうち水平地震力及び鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力より設定する。

水平地震荷重（水平地震力によるキャスク反力を含む）と鉛直地震荷重（鉛直地震力によるキャスク反力を含む）の組合せは、組合せ係数法を用いて次のとおりとする。

$$\begin{aligned} \textcircled{1} & 1.0 \times \text{EW方向地震荷重} + 0.4 \times \text{NS方向地震荷重} \\ & + 0.4 \times \text{鉛直地震荷重} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} & 0.4 \times \text{EW方向地震荷重} + 1.0 \times \text{NS方向地震荷重} \\ & + 0.4 \times \text{鉛直地震荷重} \end{aligned}$$

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第3.6-5表に示す。

第3.6-5表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss地震時	$GP + C_0 + Ks$

GP : 固定・積載荷重

$C_0$  : 長期キャスク荷重

Ks : Ss地震荷重

### 3.6.4 使用材料の許容応力度

RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の許容応力度を第3.6-6表及び第3.6-7表に示す。

第3.6-6表 コンクリートの許容応力度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度Fc	短期	
	圧縮	せん断
30	20.00	1.18

第3.6-7表 鉄筋の許容応力度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋種類	短期	
	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	345	345
SD390	390	390

### 3.6.5 解析モデル及び諸元

#### (1) モデル化の基本方針

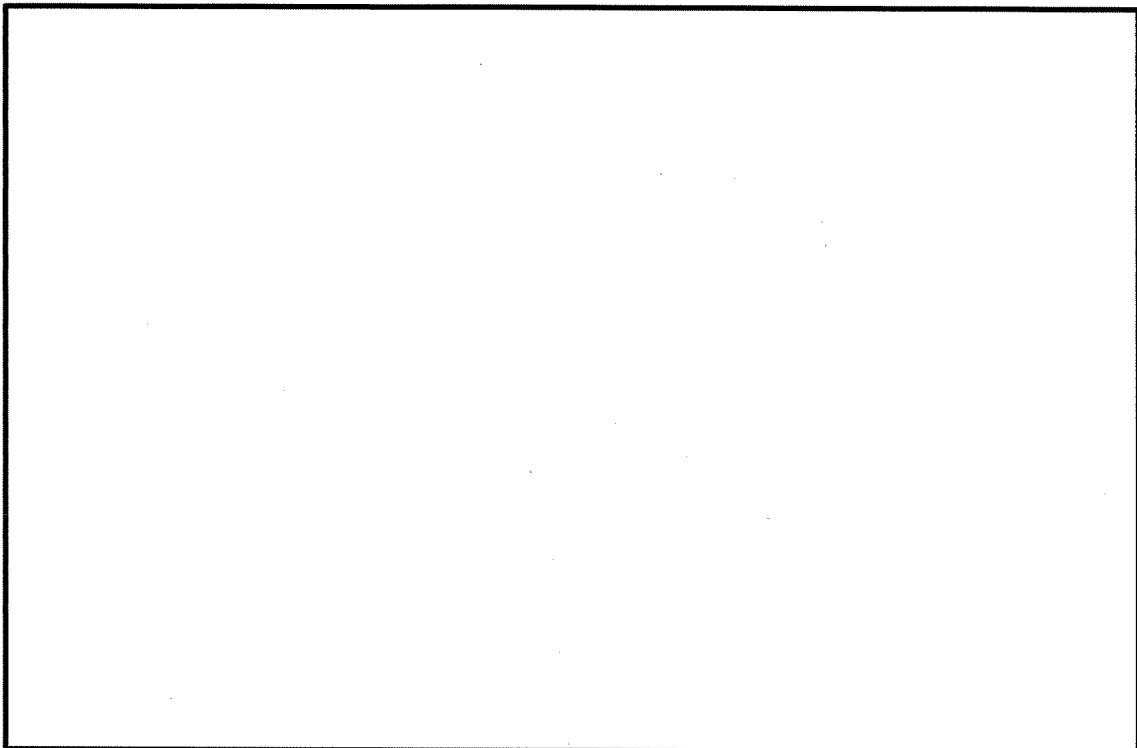
##### a. 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析モデルは、使用済燃料乾式貯蔵建屋の上部構造物と基礎を含めた建屋全体モデルとする。解析モデルを第3.6-6図及び第3.6-7図に示す。モデルの節点数は13245、要素数は17454である。

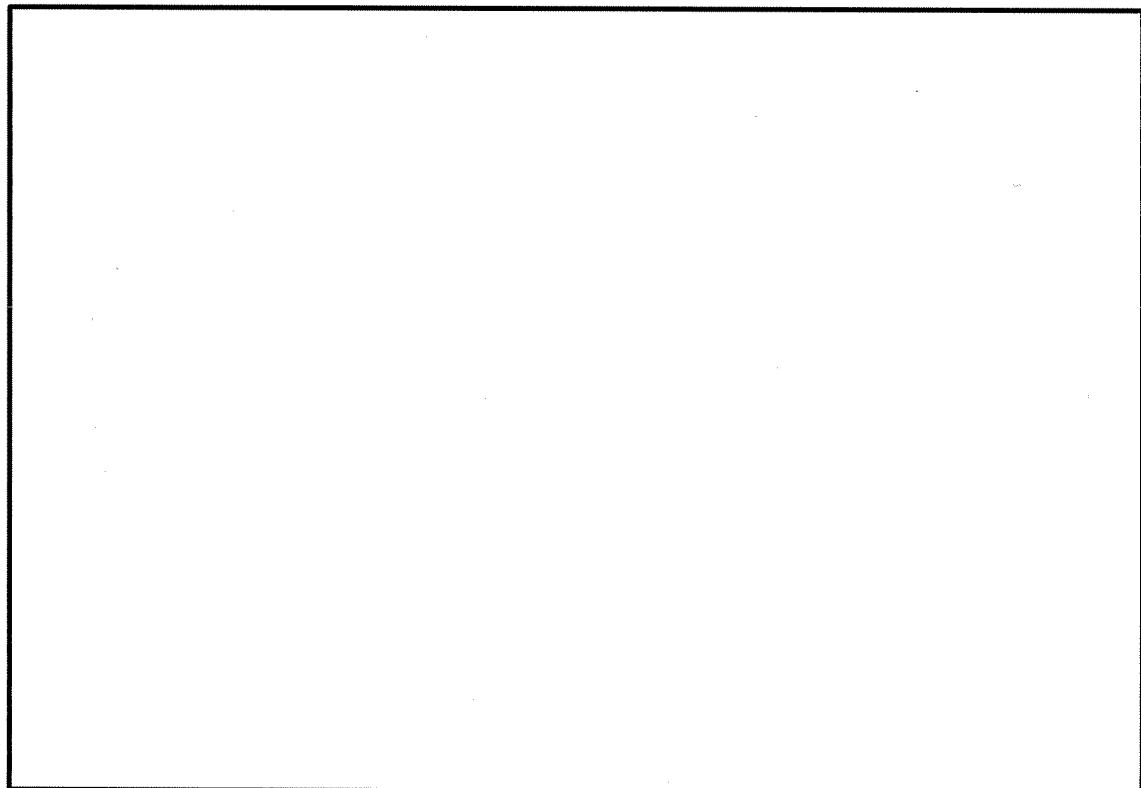
応力解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、資料9別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### b. 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、屋根、床、壁及び基礎について面材として扱いシェル要素、はりをはり要素とする。



第3.6-6図 建屋全体モデル



第3.6-7図 建屋全体モデル（基礎の鳥瞰図）

### c. 境界条件

応力の算定に用いる基礎底面地盤の鉛直及び水平ばねは、以下の方法で求まる地盤反力係数に各ばねの水平投影面積による支配面積を乗じて設定する。また、浮上りを生じている部分の基礎下端の地盤反力はないものとして解析を行う。

$$\text{鉛直方向地盤反力係数 } k_v = {}_D K_R / J \quad (\text{kN/m}^3)$$

$$\text{水平方向地盤反力係数 } k_s = {}_D K_S / A \quad (\text{kN/m}^3)$$

ここで、

${}_D K_R$ 、 ${}_D K_S$  : JEAG4601-1991に基づき、振動アドミッタンス理論により、地盤の動的物性値を用いて評価した回転ばね定数及び水平ばね定数

$J$  : 基礎底面の断面2次モーメント ( $\text{m}^4$ )

$A$  : 基礎底面の面積 ( $\text{m}^2$ )

${}_D K_R$ 、 ${}_D K_S$ の値は、資料9-12-1「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析」において設定している値を用いる。地盤ばね定数の算出に用いる地盤の動的物性値を第3.6-8表に、算出した基礎底面の地盤ばね定数を第3.6-9表に示す。

第3.6-8表 地盤の動的物性値 (Ss 地震時)

地層 EL (m)	地盤のせん断波速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
	1,700	29.4	0.34
	2,700	29.4	0.34

第3.6-9表 地盤ばね定数 (Ss 地震時)

水平ばね	${}_D K_S$	ばね定数 (kN/m)	
		EW 方向	NS 方向
		$2.19 \times 10^9$	$2.17 \times 10^9$
回転ばね	${}_D K_R$	ばね定数 (kN · m/rad)	
		EW 方向	NS 方向
		$1.99 \times 10^{12}$	$2.25 \times 10^{12}$

(2) 解析諸元

基礎について、RC-N規準に基づくコンクリート及び鉄筋の物性値を第3.6-10表に示す。

第3.6-10表 (1/2) コンクリートの物性値

設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
30	$2.44 \times 10^4$	0.2

第3.6-10表 (2/2) 鉄筋の物性値

鉄筋種類	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	
SD390	$2.05 \times 10^5$

### 3.6.6 評価方法

#### (1) 応力解析方法

基礎について、Ss地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行う。

##### a. 荷重ケース

Ss地震時の応力は、組合せるべき荷重を全て同時に作用させて応力解析を行う。

単独荷重の記号を以下に示す。

GP	： 固定・積載荷重
$C_0$	： 長期キャスク荷重
$K_{S_{WE}}^*$	： Ss地震時 W→E方向 地震力
$K_{S_{SN}}^*$	： Ss地震時 S→N方向 地震力
$K_{S_{DU(EW)}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震力 (EW断面)
$K_{S_{DU(NS)}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震力 (NS断面)
$C_{S_{WE}}^*$	： Ss地震時 W→E方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{S_{SN}}^*$	： Ss地震時 S→N方向 地震時荷重によるキャスク反力
$C_{S_{DU}}^*$	： Ss地震時 鉛直方向 地震時荷重によるキャスク反力

※： 加力方向により絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、W→E方向、S→N方向及び鉛直上向きを「+」、E→W方向、N→S方向及び鉛直下向きを「-」とする。

##### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、米国 Regulatory Guide1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第3.6-11表に示す。また、参考として、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第3.6-12表に示す。

第3.6-11表 荷重の組合せケース (水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

組合せ 係数	加力方向			ケース No.	荷重の組合せケース
	EW	NS	鉛直		
EW1.0 NS0.4 鉛直 0.4	W→E E→W	S→N	下	2-1	$GP+C_0+1.0K_{s_{WE}}+1.0C_{s_{WE}}+0.4K_{s_{SN}}+0.4C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(EW)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-2	$GP+C_0+1.0K_{s_{WE}}+1.0C_{s_{WE}}+0.4K_{s_{SN}}+0.4C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(EW)}}+0.4C_{s_{DU}}$
		N→S	下	2-3	$GP+C_0-1.0K_{s_{WE}}-1.0C_{s_{WE}}+0.4K_{s_{SN}}+0.4C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(EW)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-4	$GP+C_0-1.0K_{s_{WE}}-1.0C_{s_{WE}}+0.4K_{s_{SN}}+0.4C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(EW)}}+0.4C_{s_{DU}}$
	W→E E→W	S→N	下	2-5	$GP+C_0+1.0K_{s_{WE}}+1.0C_{s_{WE}}-0.4K_{s_{SN}}-0.4C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(EW)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-6	$GP+C_0+1.0K_{s_{WE}}+1.0C_{s_{WE}}-0.4K_{s_{SN}}-0.4C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(EW)}}+0.4C_{s_{DU}}$
		N→S	下	2-7	$GP+C_0-1.0K_{s_{WE}}-1.0C_{s_{WE}}-0.4K_{s_{SN}}-0.4C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(EW)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-8	$GP+C_0-1.0K_{s_{WE}}-1.0C_{s_{WE}}-0.4K_{s_{SN}}-0.4C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(EW)}}+0.4C_{s_{DU}}$
EW0.4 NS1.0 鉛直 0.4	W→E E→W	S→N	下	2-9	$GP+C_0+0.4K_{s_{WE}}+0.4C_{s_{WE}}+1.0K_{s_{SN}}+1.0C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(NS)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-10	$GP+C_0+0.4K_{s_{WE}}+0.4C_{s_{WE}}+1.0K_{s_{SN}}+1.0C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(NS)}}+0.4C_{s_{DU}}$
		N→S	下	2-11	$GP+C_0-0.4K_{s_{WE}}-0.4C_{s_{WE}}+1.0K_{s_{SN}}+1.0C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(NS)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-12	$GP+C_0-0.4K_{s_{WE}}-0.4C_{s_{WE}}+1.0K_{s_{SN}}+1.0C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(NS)}}+0.4C_{s_{DU}}$
	W→E E→W	S→N	下	2-13	$GP+C_0+0.4K_{s_{WE}}+0.4C_{s_{WE}}-1.0K_{s_{SN}}-1.0C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(NS)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-14	$GP+C_0+0.4K_{s_{WE}}+0.4C_{s_{WE}}-1.0K_{s_{SN}}-1.0C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(NS)}}+0.4C_{s_{DU}}$
		N→S	下	2-15	$GP+C_0-0.4K_{s_{WE}}-0.4C_{s_{WE}}-1.0K_{s_{SN}}-1.0C_{s_{SN}}-0.4K_{s_{DU(NS)}}-0.4C_{s_{DU}}$
			上	2-16	$GP+C_0-0.4K_{s_{WE}}-0.4C_{s_{WE}}-1.0K_{s_{SN}}-1.0C_{s_{SN}}+0.4K_{s_{DU(NS)}}+0.4C_{s_{DU}}$

第3.6-12表 荷重の組合せケース (水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

組合せ 係数	加力方向		ケース No.	荷重の組合せケース
	水平	鉛直		
水平1.0 鉛直0.4	W→E	下	1	GP+C <sub>0</sub> +1.0K <sub>s<sub>WE</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>WE</sub></sub> -0.4K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	E→W		2	GP+C <sub>0</sub> -1.0K <sub>s<sub>WE</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>WE</sub></sub> -0.4K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	W→E	上	3	GP+C <sub>0</sub> +1.0K <sub>s<sub>WE</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>WE</sub></sub> +0.4K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	E→W		4	GP+C <sub>0</sub> -1.0K <sub>s<sub>WE</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>WE</sub></sub> +0.4K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	S→N	下	5	GP+C <sub>0</sub> +1.0K <sub>s<sub>SN</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>SN</sub></sub> -0.4K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	N→S		6	GP+C <sub>0</sub> -1.0K <sub>s<sub>SN</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>SN</sub></sub> -0.4K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	S→N	上	7	GP+C <sub>0</sub> +1.0K <sub>s<sub>SN</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>SN</sub></sub> +0.4K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	N→S		8	GP+C <sub>0</sub> -1.0K <sub>s<sub>SN</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>SN</sub></sub> +0.4K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
水平0.4 鉛直1.0	W→E	下	9	GP+C <sub>0</sub> +0.4K <sub>s<sub>WE</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>WE</sub></sub> -1.0K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	E→W		10	GP+C <sub>0</sub> -0.4K <sub>s<sub>WE</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>WE</sub></sub> -1.0K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	W→E	上	11	GP+C <sub>0</sub> +0.4K <sub>s<sub>WE</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>WE</sub></sub> +1.0K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	E→W		12	GP+C <sub>0</sub> -0.4K <sub>s<sub>WE</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>WE</sub></sub> +1.0K <sub>s<sub>DU(EW)</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	S→N	下	13	GP+C <sub>0</sub> +0.4K <sub>s<sub>SN</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>SN</sub></sub> -1.0K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	N→S		14	GP+C <sub>0</sub> -0.4K <sub>s<sub>SN</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>SN</sub></sub> -1.0K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> -1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	S→N	上	15	GP+C <sub>0</sub> +0.4K <sub>s<sub>SN</sub></sub> +0.4C <sub>s<sub>SN</sub></sub> +1.0K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>
	N→S		16	GP+C <sub>0</sub> -0.4K <sub>s<sub>SN</sub></sub> -0.4C <sub>s<sub>SN</sub></sub> +1.0K <sub>s<sub>DU(NS)</sub></sub> +1.0C <sub>s<sub>DU</sub></sub>

c. 荷重の入力方法

(a) 固定荷重及び積載荷重

応力解析モデルの各節点における支配領域の固定・積載荷重に応じた節点力として入力する。なお、節点力は地震応答解析モデルの各質点位置に対応した各節点に入力する。

(b) 長期キャスク荷重

長期キャスク荷重を乾式キャスクが設置される位置に節点力として入力する。乾式キャスクが設置される位置を第3.6-8図に示す。

(c) 地震荷重

イ. 水平及び鉛直地震力

水平地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材のせん断力及び曲げモーメントをそれぞれ包絡し設定する。せん断力は水平力に置換し応力解析モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力し、曲げモーメントは鉛直力に置換し各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

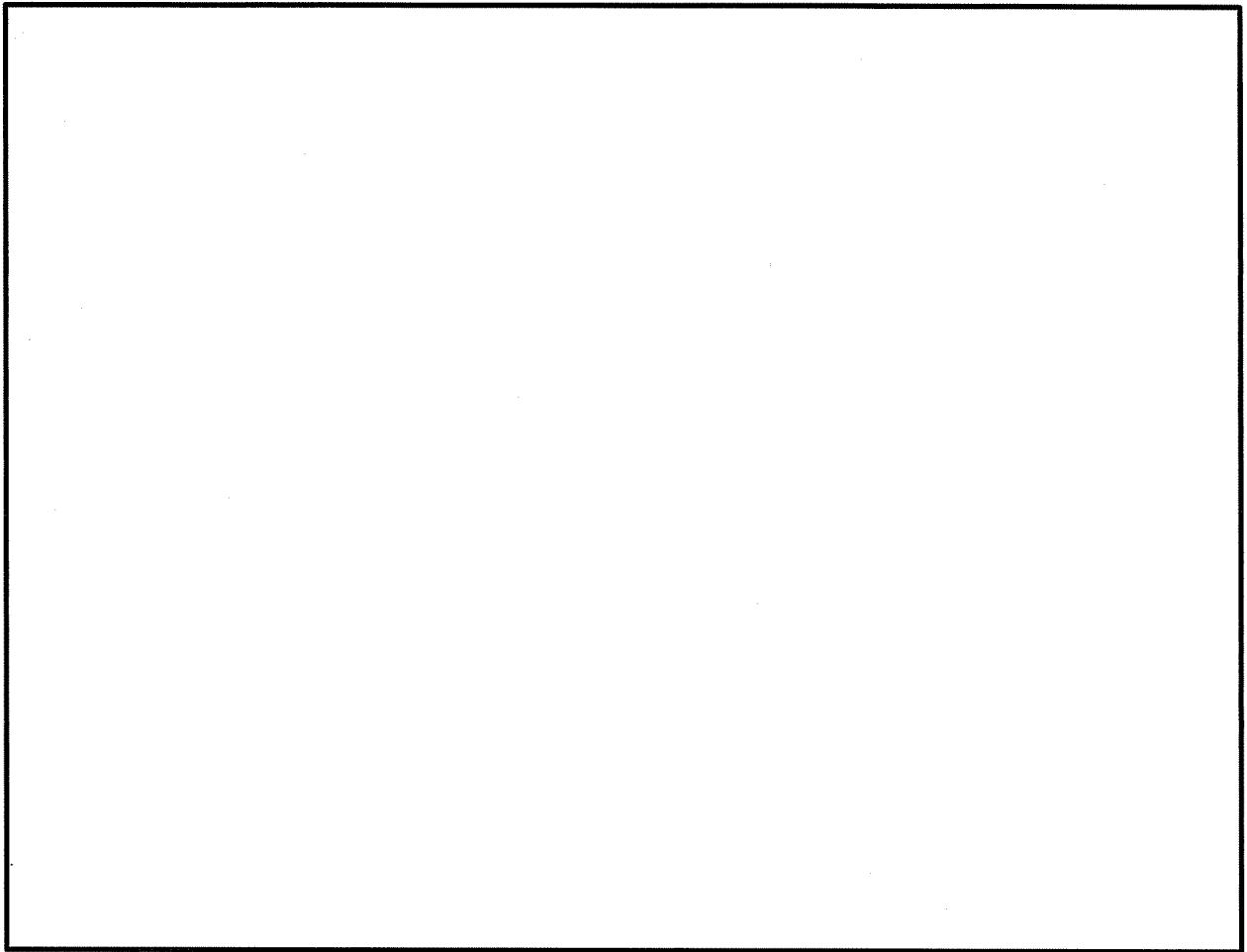
鉛直地震力は、地震応答解析結果における動的地震力のうち、各部材の軸力を包絡し設定する。軸力は鉛直力に置換し応力解析モデル上の各節点における支配領域に応じた節点力として入力する。

なお、節点力は地震応答解析モデルの各質点位置に対応した各節点に入力する。また、水平及び鉛直地震力は、第3.6-1表に示す材料物性の不確かさ等を考慮した各ケースにおけるSs-1、Ss-2及びSs-3の最大値を包絡して用いる。

Ss地震時において応力解析モデルに入力する地震力を第3.6-13表～第3.6-15表に示す。

ロ. キャスク反力

キャスク反力は、キャスクが設置される位置に節点力として入力する。なお、キャスク反力は、水平方向は拡幅した設計用床応答曲線、鉛直方向は設計用の最大床加速度を1.2倍した値に基づき算定していることから、基本ケースの値を用いる。キャスク反力を第3.6-16表に示す。



第3.6-8図 キャスク設置位置

第3.6-13表 (1/2) 水平地震力 せん断力 EW方向 (Ss地震時)

(×10<sup>3</sup>kN)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答せん断力				
			基本※	Vs+1 σ※	Vs-1 σ※	減衰3%※	設計用地震力
上部構造物	1		82.0	83.5	79.8	93.3	93.3
	2		146.5	149.2	142.6	166.1	166.1
	3		278.2	283.3	270.9	313.4	313.5
	4		343.9	350.0	334.9	385.7	385.7
	5		417.9	424.9	407.4	465.4	465.4
基礎底面	7		652.0	657.9	641.4	705.3	705.3

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-13表 (2/2) 水平地震力 せん断力 NS方向 (Ss地震時)

(×10<sup>3</sup>kN)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答せん断力				
			基本※	Vs+1 σ※	Vs-1 σ※	減衰3%※	設計用地震力
上部構造物	1		76.7	78.8	75.8	84.9	84.9
	2		136.4	140.0	135.9	152.0	152.1
	3		259.9	260.8	258.8	289.1	289.2
	4		322.1	320.3	320.8	357.7	357.8
	5		393.1	390.7	391.7	435.4	435.4
基礎底面	7		623.0	617.9	623.4	674.0	674.1

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-14表 (1/2) 水平地震力 曲げモーメント EW方向 (Ss地震時)

(×10<sup>4</sup>kN·m)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本 <sup>※</sup>	Vs+1 σ <sup>※</sup>	Vs-1 σ <sup>※</sup>	減衰3% <sup>※</sup>	設計用地震力
上部構造物	1U		18.6	18.6	18.5	22.1	22.1
	1D		50.4	51.2	49.2	59.4	59.4
	2U		64.9	65.8	63.3	77.1	77.1
	2D		120.6	122.5	117.5	140.2	140.2
	3U		149.9	151.6	146.6	174.6	174.7
	3D		228.9	232.1	223.6	263.7	263.7
	4U		243.3	246.5	238.0	280.3	280.3
	4D		345.1	350.1	337.2	394.5	394.5
	5U		360.4	365.4	352.6	411.7	411.8
	5D		611.1	620.3	597.1	690.9	691.0
基礎底面	—		851.5	865.8	832.9	953.7	953.8

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-14表 (2/2) 水平地震力 曲げモーメント NS方向 (Ss地震時)

(×10<sup>4</sup>kN·m)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答曲げモーメント				
			基本※	V <sub>S+1</sub> σ <sup>※</sup>	V <sub>S-1</sub> σ <sup>※</sup>	減衰3% <sup>※</sup>	設計用地震力
上部構造物	1U		28.4	29.0	27.4	33.4	33.4
	1D		52.3	51.5	52.7	57.1	57.2
	2U		70.6	69.1	71.6	76.3	76.4
	2D		121.9	121.0	122.8	133.2	133.2
	3U		159.6	156.3	161.8	171.6	171.6
	3D		232.7	230.0	235.1	252.6	252.7
	4U		251.5	248.0	254.8	272.5	272.6
	4D		346.8	342.6	349.7	377.5	377.5
	5U		367.8	362.9	371.7	400.2	400.2
	5D		603.6	596.0	606.7	661.4	661.5
基礎底面	—		850.7	840.5	854.0	943.5	943.5

(注) 部材番号におけるUは部材上端位置、Dは下端位置を示す。

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-15表 (1/2) 鉛直地震力 軸力 EW断面 (Ss地震時)

(×10<sup>3</sup>kN)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本※	Vs+1 σ※	Vs-1 σ※	減衰3%※	設計用地震力
上部構造物	1		30.1	30.1	30.1	30.6	30.6
	2		55.5	55.4	55.5	56.2	56.3
	3		112.8	112.8	112.8	114.0	114.1
	4		145.0	145.0	145.0	146.4	146.5
	5		188.1	188.1	188.0	189.7	189.7
基礎底面	7		437.2	437.5	436.6	440.2	440.2

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-15表 (2/2) 鉛直地震力 軸力 NS断面 (Ss地震時)

(×10<sup>3</sup>kN)

部位	部材番号	EL. (m)	最大応答軸力				
			基本※	Vs+1 σ※	Vs-1 σ※	減衰3%※	設計用地震力
上部構造物	1		30.2	30.1	30.2	30.6	30.6
	2		55.7	55.6	55.7	56.3	56.3
	3		112.9	112.7	113.1	113.8	113.9
	4		144.9	144.7	145.1	146.0	146.0
	5		187.5	187.2	187.6	188.7	188.7
基礎底面	7		431.7	431.7	431.4	434.2	434.2

※ : Ss-1、Ss-2及びSs-3の最大値。

第3.6-16表 キャスク反力 (Ss地震時)

	キャスク反力 (Ss地震時) (kN/基)
$C_{S_{WE}}$	3900
$C_{S_{SN}}$	3900
$C_{S_{DU}}$	1000

## (2) 断面の評価方法

断面の評価には、解析コード「DANSANPRO」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、資料9 別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### a. 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力

Ss 地震時及び常時に対する評価において、RC-N 規準に基づき、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が、配筋量を超えないことを確認する。

この際、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 ( $a_t$ ) は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱（コンクリートに対する鉄筋のヤング係数比は13とする）として算出する。また、面内せん断力による必要鉄筋量 ( $a_s$ ) は、評価対象部位に生じる面内せん断力が、コンクリートの許容せん断力以上となる場合において、生じる面内せん断力を鉄筋で全て負担するものとして算出する。なお、Ss 地震時における軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$\frac{a_t + a_s/2}{a} \leq 1$$

ここで、

$a_t$  : 軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量 ( $\text{mm}^2$ )

$a_s$  : 面内せん断力による必要鉄筋量 ( $\text{mm}^2$ )

$$a_s = \frac{Q}{f_t}$$

$Q$  : 面内せん断力 (N)

$f_t$  : 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$a$  : 片側配筋量 ( $\text{mm}^2$ )

b. 面外せん断力

Ss地震時に対する評価において、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$\frac{Q}{Q_A} \leqq 1$$

ここで、

$Q$  : 面外せん断力 (N)

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

$$Q_A = b j \alpha f_s$$

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 応力中心間距離 ( $=(7/8)d$ ) (mm)

$d$  : 有効せい (mm)

$\alpha$  : せん断スパン比による割増係数

なお、引張軸応力度が  $2N/mm^2$  を超える場合は考慮しない ( $\alpha=1$  とする)

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1 \leqq \alpha \leqq 2$$

$M$  : 曲げモーメント (N·mm)

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度 ( $N/mm^2$ )

ただし、Ss地震時において、せん断補強筋を考慮する場合の許容せん断力  $Q_A$  は次式により算出する。

$$Q_A = b j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$$

$w f_t$  : せん断補強筋のせん断補強用許容引張応力度 ( $N/mm^2$ )

$p_w$  : せん断補強筋比

### 3.6.7 断面の評価結果

Ss地震時における断面の評価結果は、基礎について、評価項目・方向ごとに、配筋量に対する必要鉄筋量の比率又は許容値に対する発生値の比率が最大となる要素を選定し示す。

断面の評価における各要素の配筋について、分類領域ごとの配筋一覧を第3.6-17表に、配筋の分類領域図を第3.6-9図に示す。また、断面の評価における応力の方向を第3.6-10図に示す。

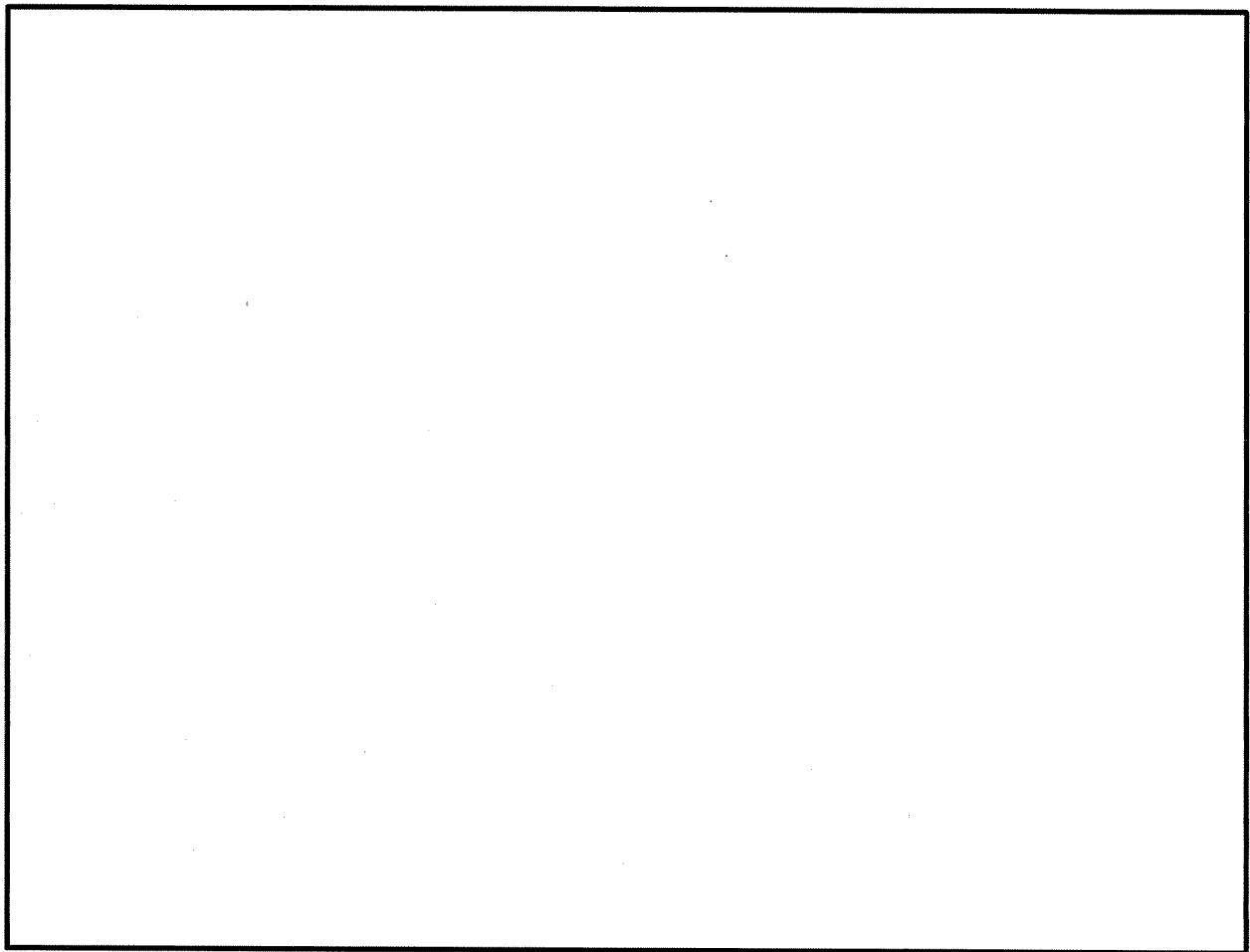
Ss地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を第3.6-18表に、評価結果の位置を第3.6-11図に示す。また、比較用として水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果も併せて示している。

評価の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。

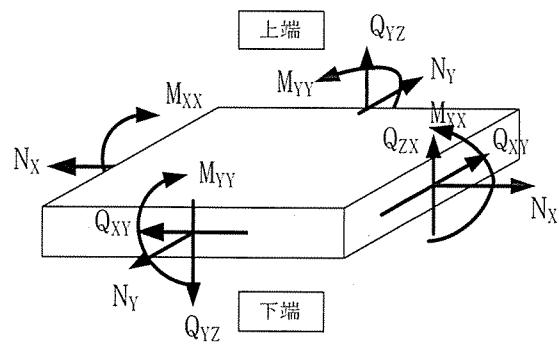
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、基礎の検定値の最大値は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて0.8（領域□、面外せん断力）であり、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて0.68（領域□、面外せん断力）となり、検定値は同等又は増加傾向であることを確認した。

第3.6-17表 分類領域ごとの配筋一覧 (基礎)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断補強筋 (SD345)
			位置	方向		
基礎						



第3.6-9図 配筋の分類領域図



[記号の説明]

軸力	: $N_x, N_y$
曲げモーメント	: $M_{XX}, M_{YY}$
面内せん断力	: $Q_{XY}$
面外せん断力	: $Q_{ZX}, Q_{YZ}$

第3.6-10図 応力の方向

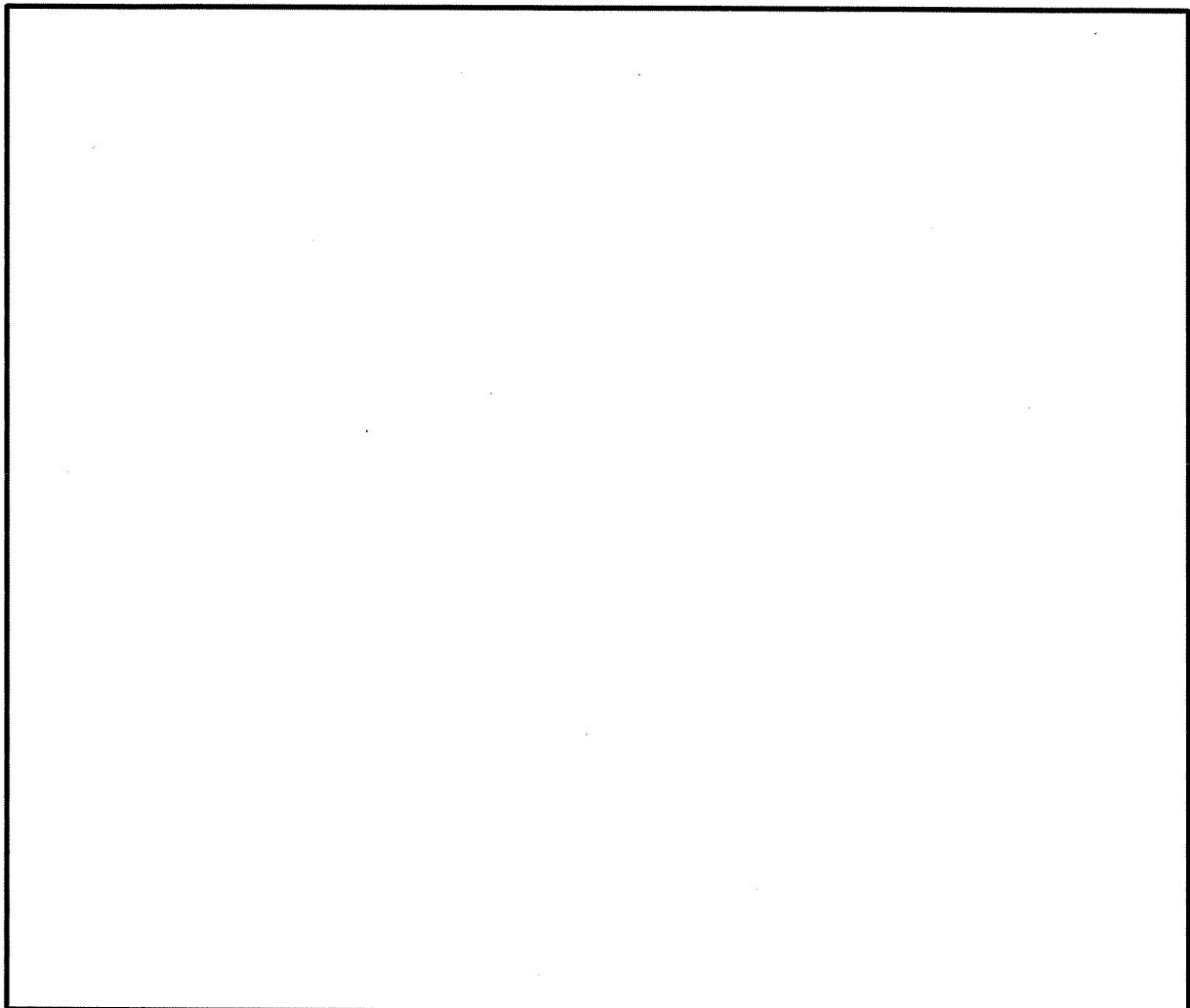
第3.6-18表 評価結果 (Ss地震時)

## (a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ (基礎)

	評価項目	方向	要素番号	① 解析結果	② 許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	EW	3233932			0.78	可
		NS	3233932			0.78	可
面外せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	EW	3234714			0.80	可
		NS	3234339			0.75	可

## (b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ (基礎)

	評価項目	方向	要素番号	① 解析結果	② 許容値	①/②	判定
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	EW	3232643			0.61	可
		NS	3230602			0.60	可
面外せん断力	面外せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN/m)	EW	3234801			0.68	可
		NS	3234332			0.64	可



第3.6-11図 評価結果の位置（基礎）

### 3.6.8 検討のまとめ

基礎は直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性があり、水平2方向の地震力の影響を受ける。このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎について、耐震性向上の観点から、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析に基づき、Ss地震時において地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させた場合の検討を行った。

検討の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による必要鉄筋量が配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容値を超えないことを確認した。また、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果と比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、検定値は同等又は増加傾向であることを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。

## 使用済燃料乾式貯建屋の耐震計算について

### 2-5 応力解析モデル及び解析手法の概要について

目 次

頁

1. 概要 .....	2-5-1
2. 応力解析モデル及び解析手法の概要 .....	2-5-2

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋について、応力解析モデル及び解析手法の概要を説明するものである。

なお、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料9-12-2 「使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の耐震計算書」

## 2. 応力解析モデル及び解析手法の概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力解析モデル及び解析手法の概要について、平成28年3月23日付け原規規発第1603231号にて認可された工事計画の資料13-16-6「原子炉補助建屋の耐震計算書」における伊方3号機原子炉補助建屋と併せて第2-1表に示す。

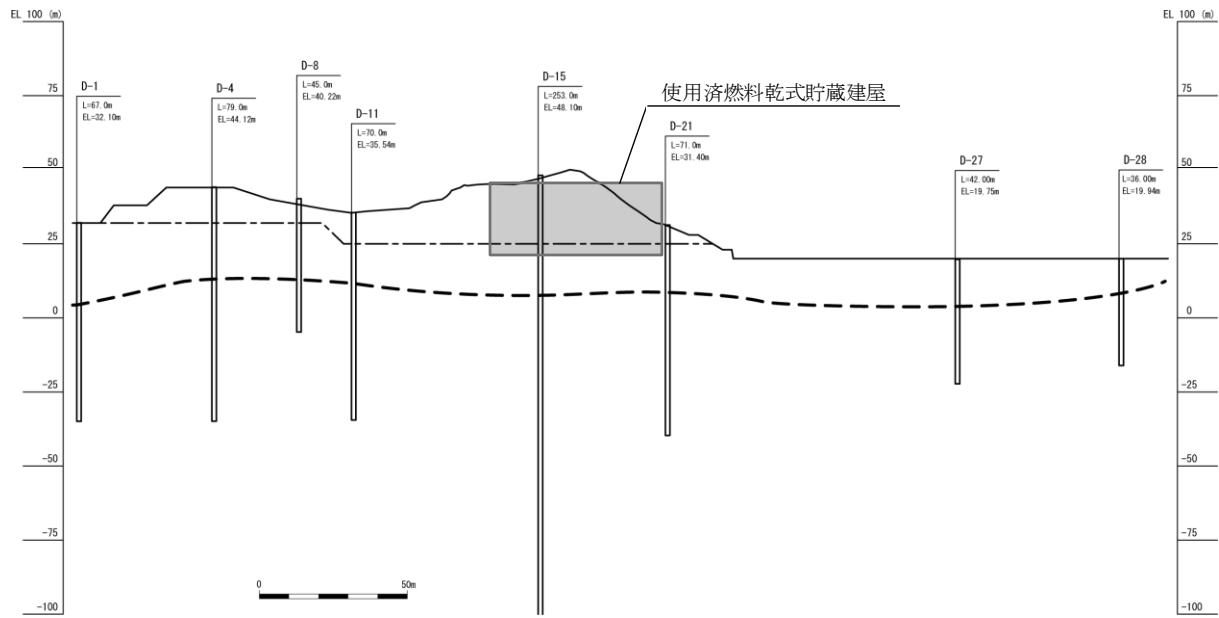
第2-1表 応力解析モデル及び解析手法の概要

項目		使用済燃料乾式貯蔵建屋	伊方3号機原子炉補助建屋	備考
解析手法		・3次元FEMモデルを用いた静的弾性応力解析	・同左	
解析コード		・NX NASTRAN Ver 11.0.2	・MSC NASTRAN Ver 2013.1.0	
モデル化	モデル(要素)	・3次元FEMによりモデル化 壁(シェル)、床(シェル)、基礎(シェル) はり(ビーム)	・同左 壁(シェル)、柱(ビーム)、はり(ビーム)、床(シェル)、基礎(ソリッド)	
	材料物性	・コンクリートのヤング係数、ボアン比 $E=2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	・コンクリートのヤング係数、ボアン比 $E=2.34 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu=0.2$	①
	境界条件	・地盤と基礎の境界に地盤ばねを考慮 (基礎浮上り考慮)	・同左	
荷重の組合せ		・ $GP+C_0+Ks$ GP: 固定・積載荷重 Ks: 地震荷重 $C_0$ : 長期キャスク荷重	・ $GP+Ks$ GP: 固定・積載荷重 Ks: 地震荷重	②
荷重の設定	固定・積載	・モデル化範囲の固定・積載荷重を考慮	・同左	
	長期キャスク荷重	・乾式キャスクの長期荷重を考慮	・- (該当なし)	
	地震荷重	・地震時の固定・積載荷重に対する慣性力を考慮 (地震応答解析結果に基づき算定)	・同左	
	キャスク反力	・地震時に作用する乾式キャスクの反力を考慮	・- (該当なし)	
評価手法		・ $S_s$ 地震時: 機能維持	・ $S_s$ 地震時: 同左	③
水平2方向		・評価対象: 矩形基礎 ・評価方法: 水平2方向+鉛直方向の荷重を考慮 (組合せ係数法 1.0:0.4:0.4)	・評価対象: 同左 ・評価方法: 同左	

①: 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制定)に基づき設定。

②: 地下水位が静水頭として作用するような環境にない(使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面は□)ため、揚圧力等の水圧は作用しない。(次ページ図参照)

③: 機能維持について、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、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制定)に基づく終局強度を許容限界として設定。伊方3号機原子炉補助建屋は、発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格((社)日本機械学会、2003)に基づく荷重状態IVの許容値を許容限界として設定。



第3.9.22図 乾式貯蔵建屋設置位置付近の地下水位調査結果

—地下水位

※伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書（令和2年9月16日付け原規規発第2009168号許可）添付書類六より抜粋（一部加筆）

### 3. 周辺施設等の波及的影響の検討について

## 目 次

	頁
1. 概要 .....	3-1
2. 波及的影響に関する評価方針 .....	3-2
2.1 基本方針 .....	3-2
2.2 周辺施設等の抽出方法 .....	3-2
2.3 影響評価方法 .....	3-2
2.4 運転状態等による評価対象の考え方 .....	3-3
3. 事象検討 .....	3-4
3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討 .....	3-4
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討 .....	3-5
3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価 .....	3-5
4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認 .....	3-6
5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法 .....	3-7
5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響 .....	3-7
5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響 .....	3-11
5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響 .....	3-13
6. 周辺施設等の抽出 .....	3-19
6.1 屋外施設の評価対象の抽出 .....	3-19
6.2 屋内施設の評価対象の抽出 .....	3-22
6.3 接続部の評価対象の抽出 .....	3-31
7. 影響評価結果 .....	3-33
7.1 屋外施設の評価結果 .....	3-33
7.2 屋内施設の評価結果 .....	3-33
7.3 接続部の評価結果 .....	3-33
8. まとめ .....	3-35

別紙 【抜粋】「伊方発電所3号炉 設置許可基準規則等への適合性について（使用済燃料乾式貯蔵施設）（令和2年5月）」

## 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響によって、それぞれの安全機能及び支持機能を損なわないことについて、設計図書類を用いた机上検討及び現地調査（プラントウォークダウン）による敷地全体を俯瞰した調査・検討を行い、必要な評価を実施することとしている。

ここで、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器、その直接支持構造物及び間接支持構造物を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等」と定義し、それぞれの安全機能及び支持機能を合わせて「使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能」と定義する。また、周辺施設等とは、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置する周辺施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を維持するために必要な機能を有していない設備、並びに使用済燃料乾式貯蔵建屋周辺に位置する施設をいう。なお、使用済燃料乾式貯蔵建屋外の周辺施設等を検討する際は、使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋<sup>\*</sup>に波及的影響を及ぼす周辺施設等が存在する場合、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎への波及的影響が否定できないため、「使用済燃料乾式貯蔵容器等」には、使用済燃料乾式貯蔵建屋全体を含むものとする。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器等については全て本設計及び工事計画による新設の施設であることから、設計（工事計画）段階における周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出については、設計図書類を用いた机上検討により行うこととし、現地調査（プラントウォークダウン）については、工事段階において実施する。工事段階の現地調査では設計段階で検討した配置・補強等が設計どおりに施工されていることを確認する。

※ 使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は、使用済燃料乾式貯蔵建屋を構成する部材のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器の支持機能を有しない範囲のみを指す。

## 2. 波及的影響に関する評価方針

### 2.1 基本方針

波及的影響評価は以下に示す方針に基づき実施する。

- (1) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の別記4（以下「別記4」という。）に記載された3つの事項を基に、検討すべき事象を整理する。また、原子力発電所の地震被害情報を基に、別記4の3つの事項以外に検討すべき事象の有無を確認する。
- (2) (1)で整理した検討事項をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。
- (3) (2)で抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、配置、設計、運用上の観点から使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響評価を実施する。

### 2.2 周辺施設等の抽出方法

使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出は、設計図書類を用いた机上検討による敷地全体を俯瞰した調査・検討により実施する。

#### (1) 机上検討

伊方発電所構内配置図、機器配置図、系統図等の設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置状況を確認する。

次に設計図書類を用いて、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器のうち、波及的影響を及ぼすおそれのあるものを抽出する。

### 2.3 影響評価方法

波及的影響を及ぼすおそれがあるとして抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器について、影響評価により使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する。

影響評価において、抽出された周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器が耐震性を有していることの確認によって使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なわないことを確認する場合、適用する地震動（以下「検討用地震動」という。）は、原則として使用済燃料乾式貯蔵容器等の設計に用いる地震動又は地震力とする。

## 2.4 運転状態等による評価対象の考え方

使用済燃料乾式貯蔵容器の運転状態等には、貯蔵時、取扱時があり、各状態において要求される使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を考慮して波及的影響評価を実施する。

貯蔵時は、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、基準地震動に対して安全機能を損なわないことを確認する。

取扱い時は、JEAG4601・補-1984において地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、基準地震動と組み合わせるべき状態において、周辺施設等及び隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の波及的影響も考慮したうえで、安全機能を損なわないことを確認する。

### 3. 事象検討

#### 3.1 別記4に記載された事項に基づく事象検討

別記4に記載された3つの事項を基に、具体的な事象を整理する。

① 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

(1) 地盤の不等沈下による影響

- ・地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊に伴う使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突

(2) 建屋等の相対変位による影響

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突、又は建屋等の渡り配管の損傷

② 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器の変位に伴う隣接した使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突

③ 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響（周辺施設等の損傷、転倒、落下等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を含む。）

(1) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋外）

- ・屋外の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突

(2) 損傷、転倒及び落下等の観点による設計（屋内）

- ・屋内の周辺施設等の転倒、落下、倒壊に使用済燃料乾式貯蔵容器等への衝突

(3) 接続部の影響

- ・使用済燃料乾式貯蔵容器等に接続する周辺施設等の損傷

### 3.2 地震被害事例に基づく事象の検討

地震被害事例に基づく事象の検討については、原子力施設情報公開ライブラリ(NUCIA：ニューシア)から、同公開ライブラリに登録された地震を対象に原子力発電所の被害情報を抽出し、これらの地震被害の発生要因(原因)から、波及的影響の具体的な検討事象となる被害要因がないか定期的に検討しており、波及的影響の具体的な検討事象に加えるべき新たな被害要因がないことを確認している。

### 3.3 周辺斜面の崩壊による影響評価

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、基準地震動Ssによる地震力により周辺斜面の崩壊の影響がないことが確認された場所に設置する。具体的にはJEAG4601-1987の安定性評価の対象とすべき斜面や、土砂災害防止法での土砂災害警戒区域の設定離間距離を参考に、個々の斜面高を踏まえて対象斜面を抽出する。

上記に基づく対象斜面の抽出とその耐震安定性評価については、設置(変更)許可申請書(令和2年9月16日許可)に記載しており、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能に対して影響ないことを確認していることから本検討の対象外とする。

#### 4. 使用済燃料乾式貯蔵容器等の確認

今回、波及的影響評価を実施するに当たって、防護対象となる使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち、屋外施設一覧を第4-1表に、屋内施設一覧を第4-2表に示す。

第4-1表 屋外施設一覧表

No.	設備名	区分
O01	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む)	S クラス施設の間接支持構造物

第4-2表 屋内施設一覧表

No.	設備名	区分	設置場所
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	S クラス施設	使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎

## 5. 周辺施設等の抽出及び影響評価方法

3. 項で整理した各検討事象を基に、使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フローを作成し、当該フローに基づき、影響評価を実施する。

### 5.1 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響

#### (1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

##### a. 周辺施設等の抽出

地盤の不等沈下による周辺施設等の傾きや倒壊を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

##### b. 耐震性の確認

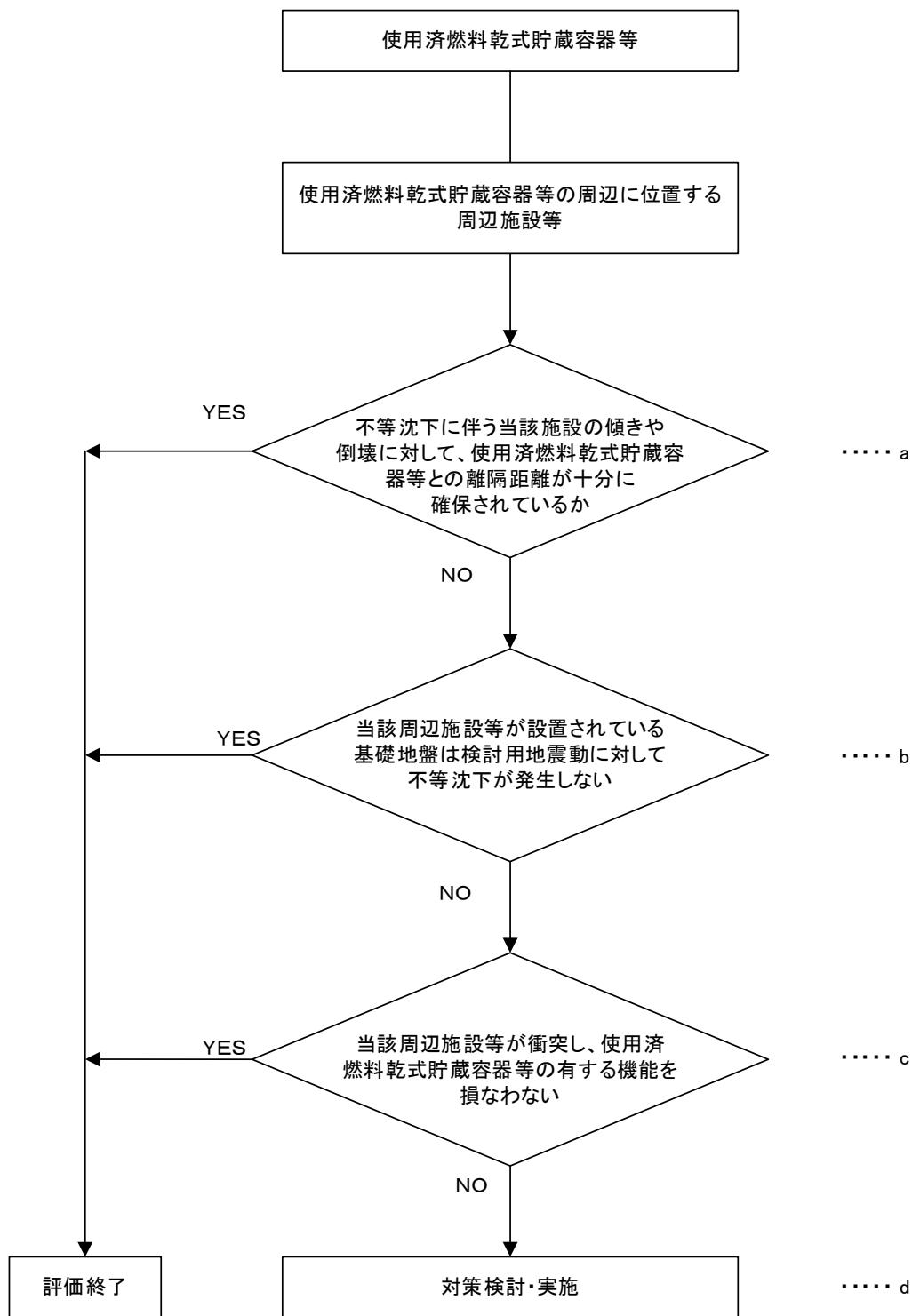
a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、基礎地盤が十分な支持性能を持つ岩盤に設置されていることの確認により、不等沈下しないことを確認する。

##### c. 不等沈下に伴う波及的影響の評価

b. で地盤の不等沈下のおそれが否定できない周辺施設等については、傾きや倒壊を想定し、使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を確認し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を損なわないことを確認する。

##### d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、基礎地盤の補強や周辺の地盤改良等を行い、不等沈下による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-1図 不等沈下により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

## (2) 建屋等の相対変位による影響

第5-2図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

### a. 周辺施設等の抽出

地震による周辺施設等との相対変位を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない周辺施設等を抽出する。

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

### b. 耐震性の確認

a. で抽出した周辺施設等について、検討用地震動に対して、建屋の相対変位による使用済燃料乾式貯蔵建屋への衝突がないことを確認する。

また、建屋等の相対変位の考慮が必要な場合には、建屋等を渡って敷設されている配管等が建屋境界にて破損することを想定する。

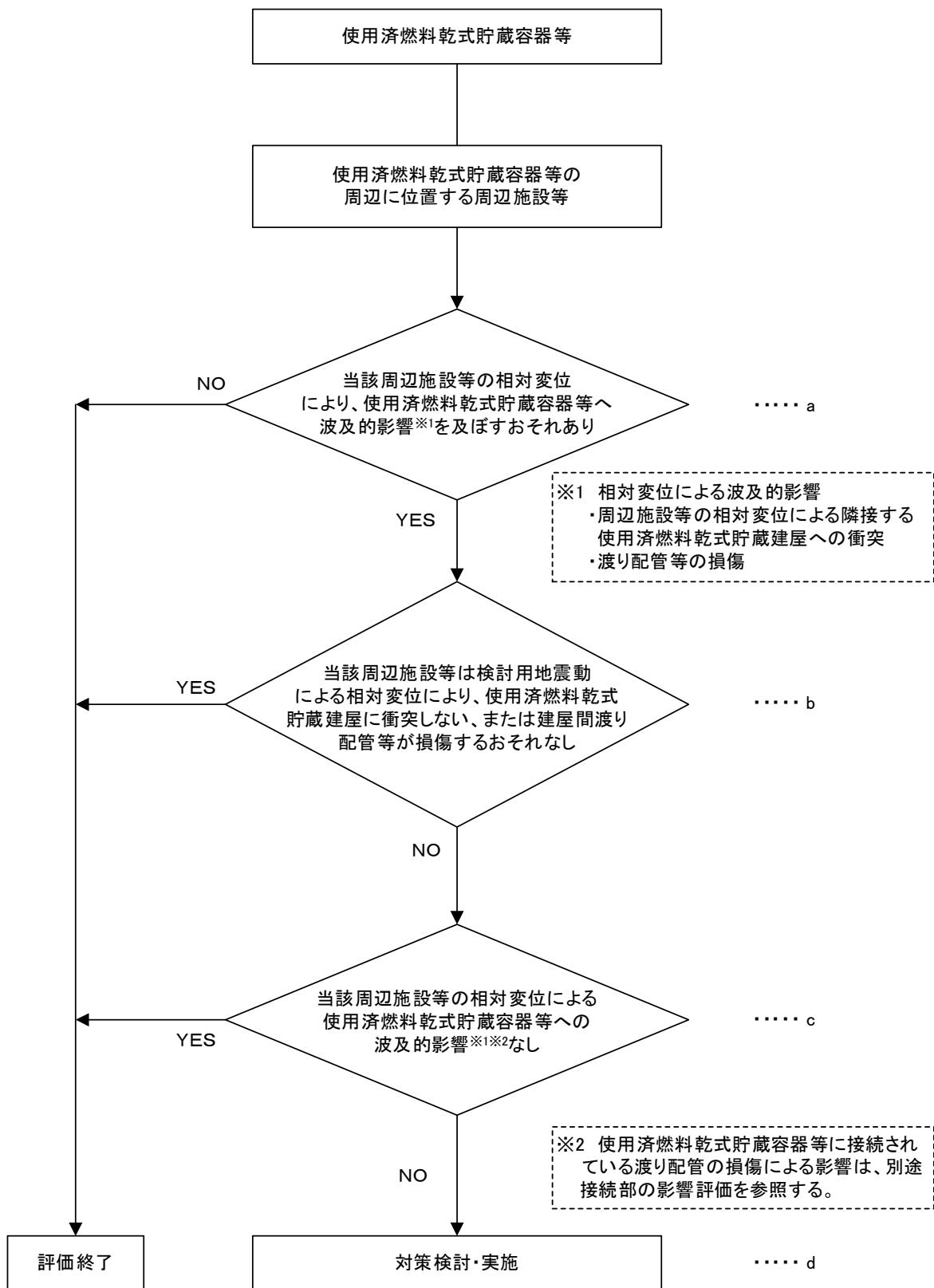
### c. 相対変位に伴う波及的影響の評価

b. で衝突のおそれが否定できない周辺施設等について、衝突部分の接触状況を確認し、建屋全体又は局部評価を実施し、衝突に伴い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の機能を損なうおそれがないことを確認する。

また、建屋等を渡って敷設されている配管等の破損により、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

### d. 対策検討

c. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれが否定できない周辺施設等に対して、建屋の補強等を行い、建屋の相対変位等による周辺施設等の波及的影響を防止する。



第5-2図 相対変位により使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

## 5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-3図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出し、波及的影響を検討する。

### a. 隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出

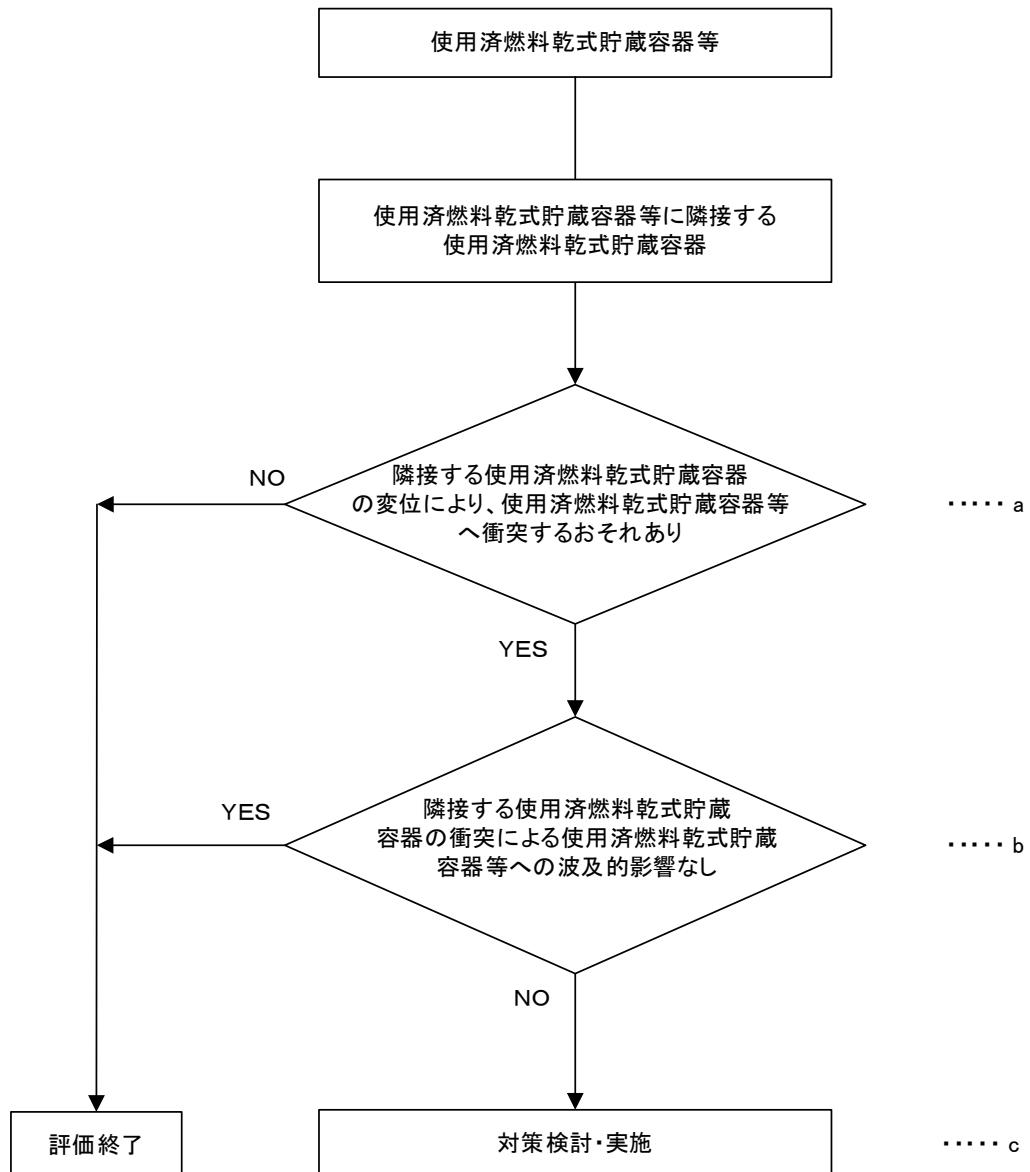
検討用地震動による使用済燃料乾式貯蔵容器の変位を想定しても隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な離隔距離をとって配置されていることを確認し、離隔距離が十分でない使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

### b. 使用済燃料乾式貯蔵容器の衝突に伴う波及的影響の評価

a. で抽出された使用済燃料乾式貯蔵容器について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、衝突を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

### c. 対策検討

b. で衝突を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できなかった使用済燃料乾式貯蔵容器について、検討用地震動による変位を想定しても、衝突が生じないように、離隔距離を十分に確保する等の対策により波及的影響を防止する。



第5-3図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器の抽出及び評価フロー

### 5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響

#### (1) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋外）

第5-4図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

##### a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、転倒防止措置等の対策を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵建屋に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

##### b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

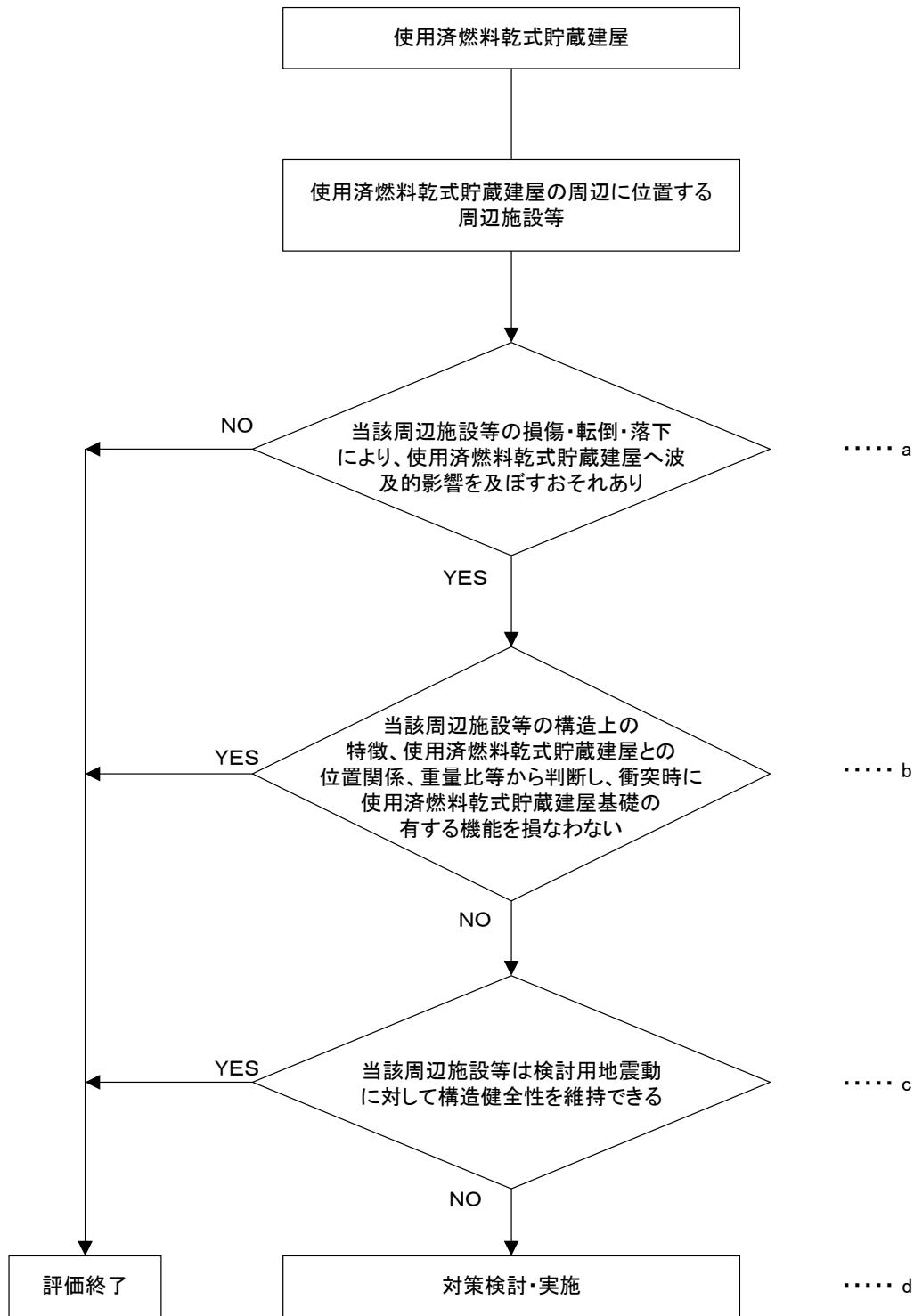
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵建屋との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵建屋への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の機能を損なうおそれがないことを確認する。

##### c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

##### d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-4図 損傷、転倒及び落下等により使用済燃料乾式貯蔵建屋へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

## (2) 損傷、転倒及び落下等による影響（屋内）

第5-5図のフローに従い、屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に位置する波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

### a. 周辺施設等の抽出

周辺施設等の抽出にあたって、周辺施設等の損傷、転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器等に衝突しない程度の十分な距離をとって配置されていることを確認する。離隔距離が十分でない場合には、落下防止措置等を適切に実施していることを確認する。

以上の確認ができなかった周辺施設等を、損傷、転倒及び落下等により、使用済燃料乾式貯蔵容器等に波及的影響を及ぼすおそれのあるものとして抽出する。

### b. 損傷、転倒及び落下等に伴う波及的影響の評価

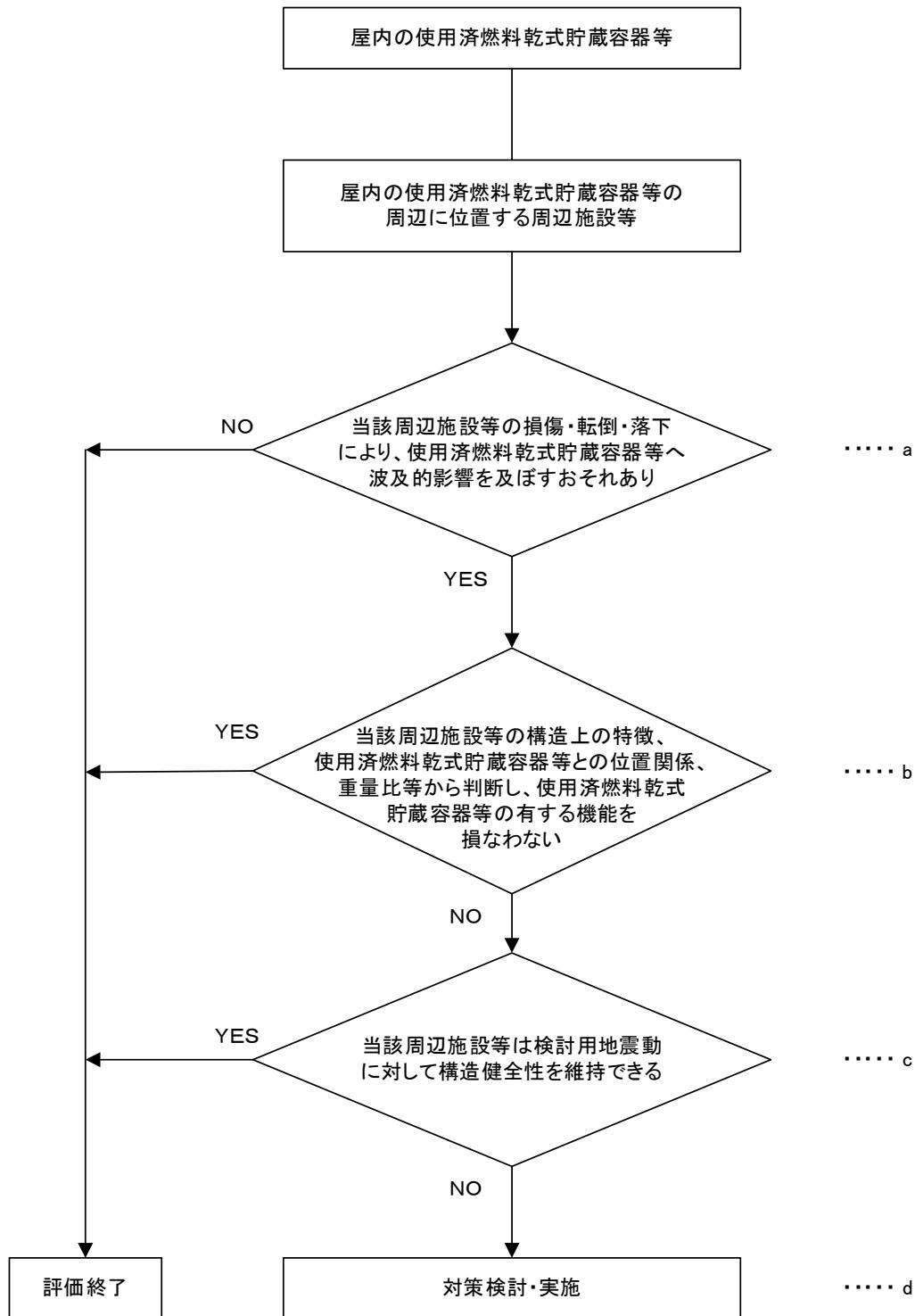
a. で抽出された周辺施設等について、構造上の特徴、使用済燃料乾式貯蔵容器等との位置関係、重量比等を踏まえて、損傷、転倒及び落下等を想定した場合の使用済燃料乾式貯蔵容器等への影響を評価し、使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがないことを確認する。

### c. 耐震性の確認

b. で損傷、転倒及び落下等を想定した場合に使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能への影響が否定できない周辺施設等について、検討用地震動に対して、損傷、転倒及び落下等が生じないように、構造健全性が維持できることを確認する。

### d. 対策検討

c. で構造健全性の維持を確認できなかった周辺施設等について、検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改造、使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との間に衝撃に耐えうる緩衝体の設置、周辺施設等の移設等により波及的影響を防止する。



第5-5図 損傷、転倒及び落下等により屋内の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出及び評価フロー

### (3) 接続部における相互影響

第5-6図のフローに従い、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等を抽出し、波及的影響を検討する。

#### a. 接続部の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等が接続する箇所を抽出する。

#### b. 影響評価対象の選定

a. で抽出した接続部のうち、耐震Sクラス設計の弁又はダンパにより常時閉隔離されているものは、接続する周辺施設等が破損した場合においても健全性は確保されるため、評価対象外とする。

#### c. 影響評価

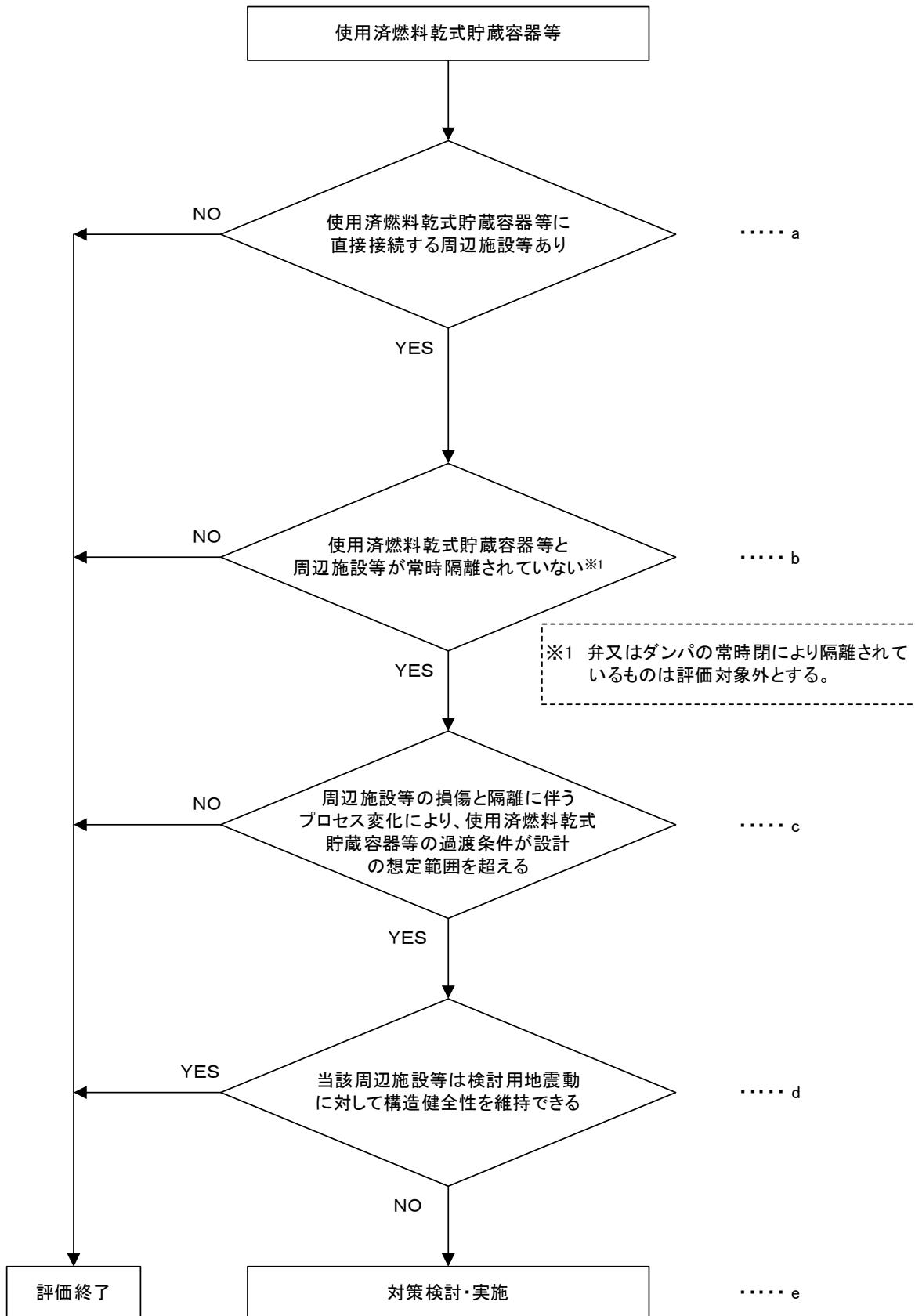
b. で抽出した周辺施設等について、周辺施設等が損傷した場合の系統隔離等に伴うプロセス変化による使用済燃料乾式貯蔵容器等の過渡条件が設計の想定範囲内であることを確認する。

#### d. 耐震性の確認

c. で設計の想定範囲を超えるものについて、検討用地震動に対して、構造健全性が維持され、内部流体の内包機能等の必要な機能を維持できることを確認する。

#### e. 対策検討

d. で使用済燃料乾式貯蔵容器等の機能を損なうおそれがあるが否かを検討用地震動に対して健全性を維持できるように構造の改修、接続部から使用済燃料乾式貯蔵容器等の配管・ダクト側に同じく健全性を維持できる隔離弁の設置等により、波及的影響を防止する。



第5-6図 使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等の抽出及び評価フロー

## 6. 周辺施設等の抽出

使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出は、屋外施設、屋内施設、接続部に分けて実施し、屋外施設については3.1項に示す①及び③の観点、屋内施設については①、②及び③の観点、接続部については③の観点から評価対象となる周辺施設等を抽出した。

なお、今回新設する使用済燃料乾式貯蔵施設は、第6-1図に示すとおり、周辺に自然現象等に対して機能を維持する必要のある既設の上位クラス施設等及びアクセスルートがない使用済燃料乾式貯蔵建屋内に設置するとともに、当該建屋は、地震を含む自然現象等に対して、建屋内に設置する使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を損なうおそれがないように設計することとしている。このことから、新設する使用済燃料乾式貯蔵施設は、自然現象等により既設の耐震重要施設やアクセスルート等に波及的影響を及ぼすおそれはない。

### 6.1 屋外施設の評価対象の抽出

#### 6.1.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置図を第6-1図に示す。（配置図上の番号は第4-1表の整理番号に該当する）。

##### (1) 地盤の不等沈下による影響

第5-1図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、地盤の不等沈下により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。

##### (2) 建屋等の相対変位による影響

第5-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等のうち使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、建屋等の相対変位により波及的影響を及ぼすおそれがある周辺施設等を抽出する。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

##### (3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響(屋外)

第5-4図のフローに従い、机上検討及び現地調査をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼすおそれがある屋外の周辺施設等を抽出する。

#### 6.1.2 抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵容器等が設置される使用済燃料乾式貯蔵建屋の周辺に設置される周辺施設等である2-1固体廃棄物貯蔵庫、送電鉄塔、ろ過水タンク及び非常用開閉所について、設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する不等沈下又は相対変位による影響の観点から、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、波及的影響を及ぼすおそれがないか検討する。

また、渡り配管及び渡り電路について、建屋等の相対変位による影響の観点から、これらの損傷を想定した上で、使用済燃料乾式貯蔵容器等の有する機能を損なうおそれがないか検討する。

(1) 2－固体廃棄物貯蔵庫

2－固体廃棄物貯蔵庫は、使用済燃料乾式貯蔵建屋東側 EL. 84m 盤に設置された耐震 C クラスの建物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(2) 送電鉄塔

送電鉄塔（伊方北幹線 No. 1 及び伊方南幹線 No. 1）は、使用済燃料乾式貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された構造物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(3) ろ過水タンク

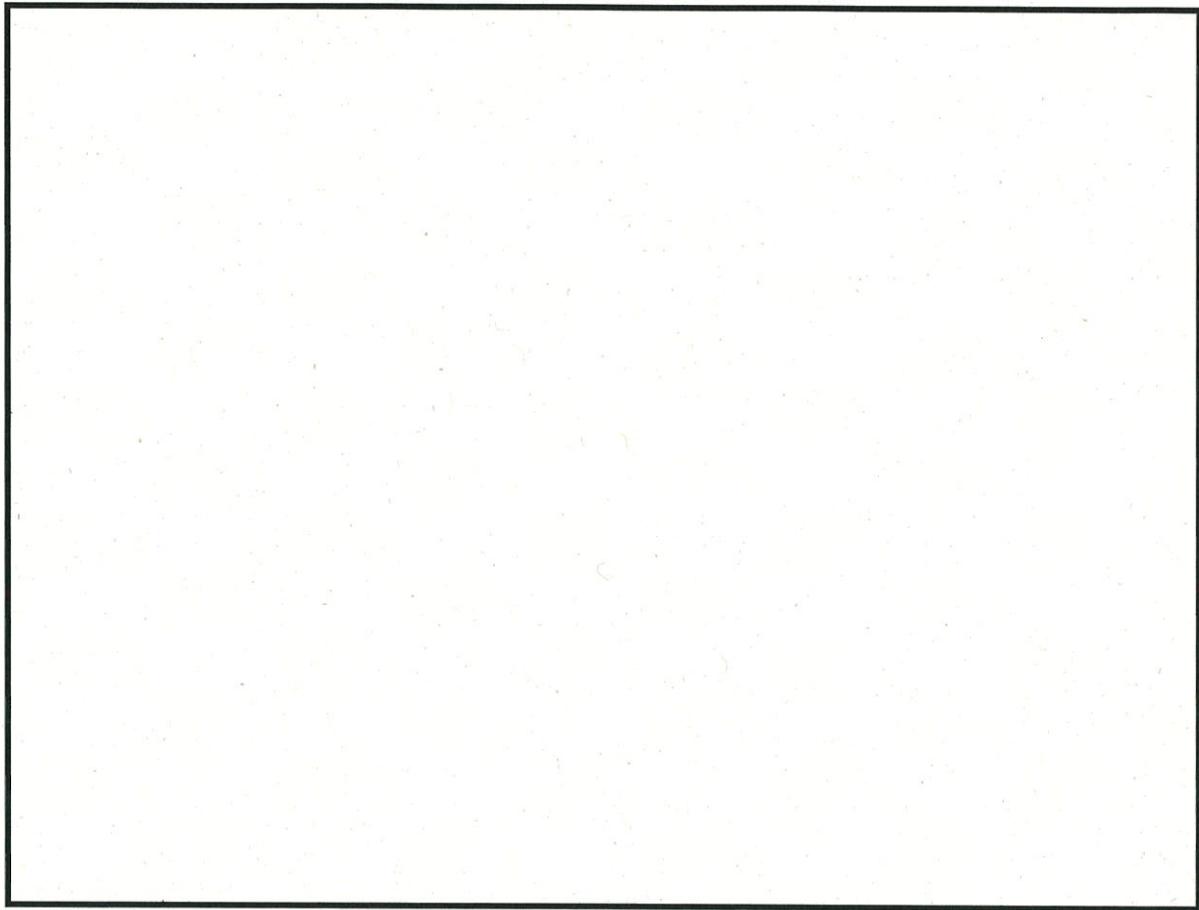
ろ過水タンクは、使用済燃料乾式貯蔵建屋南側 EL. 20m 盤に設置された耐震 C クラスの屋外タンクであるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(4) 非常用開閉所

非常用開閉所は、使用済燃料乾式貯蔵建屋西側 EL. 10m 盤に設置された建物であるが、使用済燃料乾式貯蔵建屋に対して十分な離隔距離を有していることから、波及的影響を及ぼすおそれはない。

(5) 渡り配管及び渡り電路

使用済燃料乾式貯蔵施設への消火水の給水又は給電等のため、使用済燃料乾式貯蔵建屋外から使用済燃料乾式貯蔵建屋内へ渡り配管及び渡り電路を設置するが、使用済燃料乾式貯蔵容器は自然循環による空冷式であるため、渡り配管及び渡り電路が損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器等の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。



■: 平成 28 年 3 月 23 日付け原規規発第 1603231 号にて認可された工事計画の資料 2-1-2 「防護対象施設の範囲」の第 2.4 項に示す「防護対象施設」、資料 6 別添 1 「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及び屋外、屋内アクセスルートについて」の第 2.1 項に示す「地震時にその機能を期待する可搬型重大事故等対処設備」及び資料 13-5 「波及的影響に係る基本方針」の第 2 項に示す「上位クラス施設」が設置されているエリアを示す。

■: 地震時に優先するアクセスルート\*を示す。

\*屋外アクセスルートに対し想定される自然現象のうち、津波については、基準津波高さ以上の敷地高さを設定していること、風、竜巻、火山等の影響により発生する障害物等については、ホイルローダ等の重機により撤去する体制を確保していることから、アクセスルートに大きな影響を及ぼす可能性がある自然現象は地震と整理し、既工認において自然現象のうち地震時の影響を評価しているため、アクセスルートのうち地震時の影響を評価している地震時に優先するアクセスルートを示す。

第 6-1 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋配置図

## 6.2 屋内施設の評価対象の抽出

### 6.2.1 抽出手順

使用済燃料乾式貯蔵容器等の配置図を第6-2図及び第6-3図に示す。（配置図上の番号は第4-2表の整理番号に該当する）。

#### (1) 建屋等の相対変位による影響

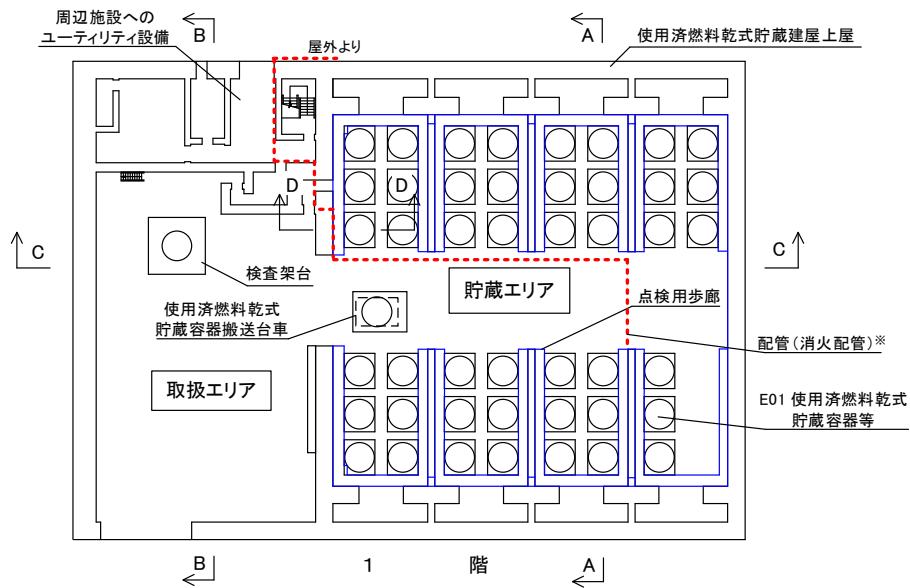
第5-2図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵建屋と周辺施設等を渡って敷設されている配管等を抽出する。

#### (2) 使用済燃料乾式貯蔵容器間の相互影響

第5-3図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、変位により波及的影響を及ぼすおそれがある使用済燃料乾式貯蔵容器を抽出する。

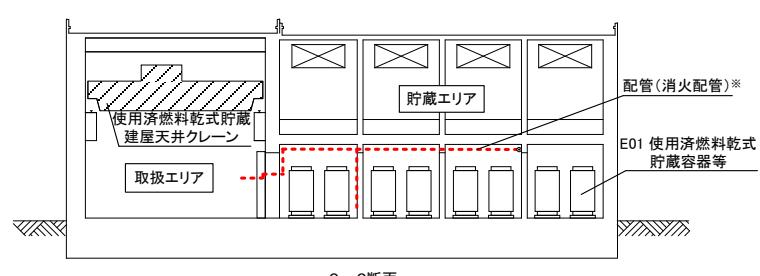
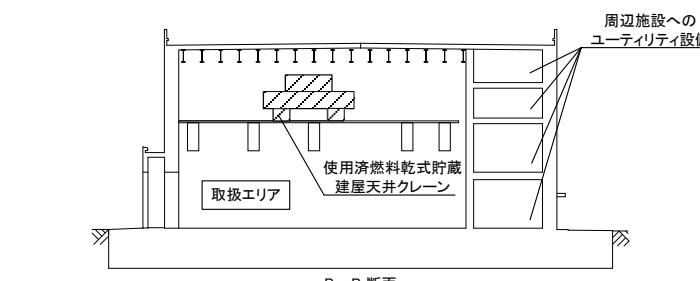
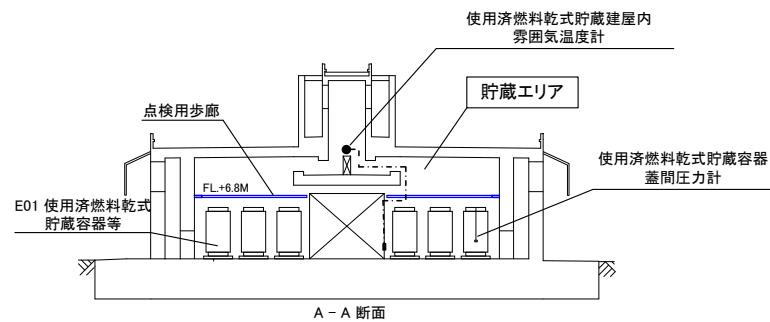
#### (3) 施設の損傷、転倒及び落下等による影響（屋内）

第5-5図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、損傷、転倒及び落下等により影響を及ぼす可能性のある屋内の周辺施設等を抽出する。



※配管及び電路のうち代表的な消火配管について図示する。

第 6-2 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 平面図



※配管及び電路のうち代表的な消火配管について図示する。

第 6-3 図 使用済燃料乾式貯蔵建屋 断面図

### 6.2.2 抽出結果

使用済燃料乾式貯蔵容器等の周辺に設置される屋内の周辺施設等である使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車、検査架台、点検用歩廊、周辺施設へのユーティリティ設備、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、配管及び電路について、損傷、転倒及び落下等の観点から、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して、波及的影響を及ぼすおそれがないか検討する。

#### (1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は、離隔距離を確保するなどの配置上の対策は困難であり、地震により損壊した場合に、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突することにより、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれがある。このため、使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋は基準地震動 Ss に対して損壊しない設計とする。(第 6-2 図)

#### (2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、取扱エリアにおいて使用済燃料乾式貯蔵容器を取り扱うものであり、使用済燃料乾式貯蔵建屋の貯蔵エリアには走行レールを敷設せず、貯蔵エリア上を走行することができない構造とし、取扱エリアと貯蔵エリアは  m の壁で完全に仕切られる設計とするため、貯蔵エリアにおいては、使用済燃料乾式貯蔵容器へ波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-3 図)

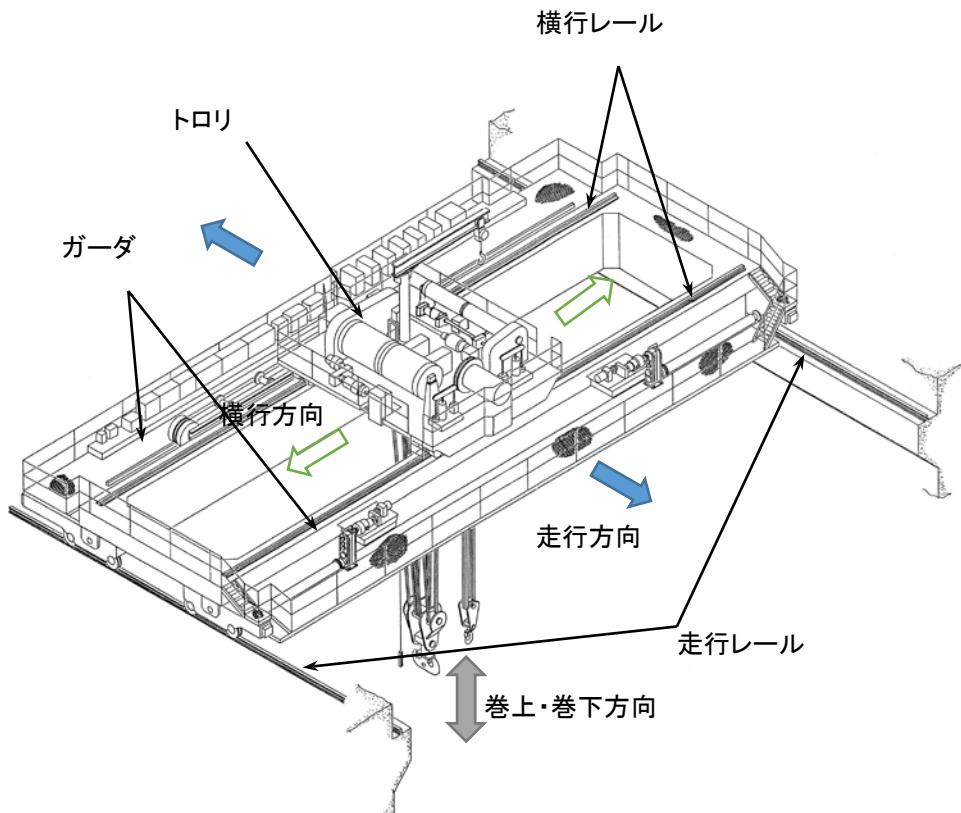
取扱エリアにおいては、使用済燃料乾式貯蔵容器を取り扱うために取り扱い中の使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に移動するが、走行及び横行レールからガーダ及びトロリが浮き上がることがないよう浮き上がり防止機能を設ける等の落下防止対策を講じる。さらに、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが落下しないよう配慮した上で自然現象に対して頑健な使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造が維持されることで、走行レール間距離は維持されるため、ガーダは落下しない構造が維持される。同じく横行レール上に設置されるトロリも横行レール間距離は維持されるため、トロリが落下しない構造が維持される。(第 6-4 図)

次に、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する事象は、基準地震動 Ss と組み合わせるべき事象か検討する。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置するのは年間 1.5 時間程度(約 3 基程度) (第 6-1 表参照) と想定される。ここで、基準地震動 Ss の発生確率は、第 6-5 図及び第 6-6 図に示す伊方発電所の地震ハザード解析から得られる超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984 で記載されている S<sub>2</sub> の発生確率( $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  / サイト・年)を Ss の超過確率に読み替え、最大値である  $5 \times 10^{-4}$  / 年を適用する。その上で、JEAG4601 の地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する時間及び地震動の超過確率を考慮し、検討した結果、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器上方に位置する時に Ss が発生する確率は  $5 \times 10^{-4}$  / 年  $\times$  1.5 時間  $\div$  (365 日  $\times$  24 時間) で算出され、 $10^{-7}$  / 年を下回ることを確認した。そのため、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンが使用済燃料乾式貯蔵容器の上方に位置する事象は、基準地震動 Ss と組み合わせるべき事象として選定されない。

なお、仮に使用済燃料乾式貯蔵容器に対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンのトロリ<sup>\*</sup>が落下したとしても使用済燃料乾式貯蔵容器の機能に影響がないことを、設置（変更）許可審査時に確認しており、その確認内容について、「伊方発電所3号炉 設置許可基準規則等への適合性について（使用済燃料乾式貯蔵施設）（令和2年5月）」の「16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」の抜粋を示す。（別紙）

また、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンのトロリ<sup>\*</sup>が取扱エリアに落下した場合、間接支持構造物であるコンクリート基礎の機能が損なわれることが懸念されるため、添付資料10別添1-2の22頁に記載の飛来物における衝撃荷重 $W_M$ の考え方に基づき、コンクリート基礎に生じる圧縮応力を評価することで、コンクリート基礎が波及的影響を受けるおそれがないことを確認する。確認の結果、コンクリート基礎に生じる圧縮応力は、3MPa程度であり、添付資料9-12-2の第4-6表に記載したコンクリートの短期許容応力度20MPaに対し、十分な余裕を有しております。加えて、取扱エリアと貯蔵エリアの間には十分な離隔距離を有していることから、間接支持構造物の機能に波及的影響を及ぼすおそれがないと判断できる。

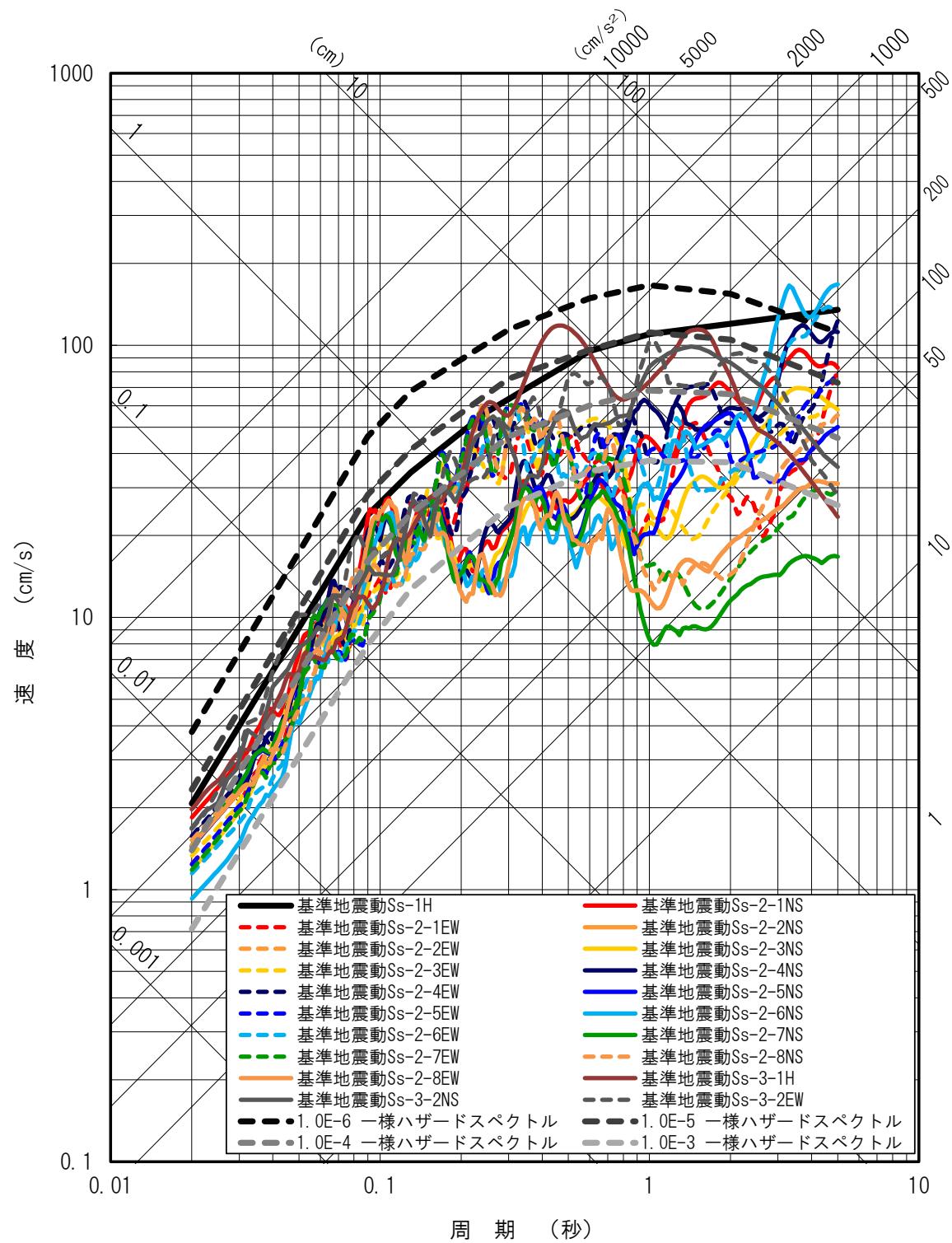
※使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリは、クレンフック等と比べて、重量が大きいこと、及び落下高さが高いことから、評価対象とした。



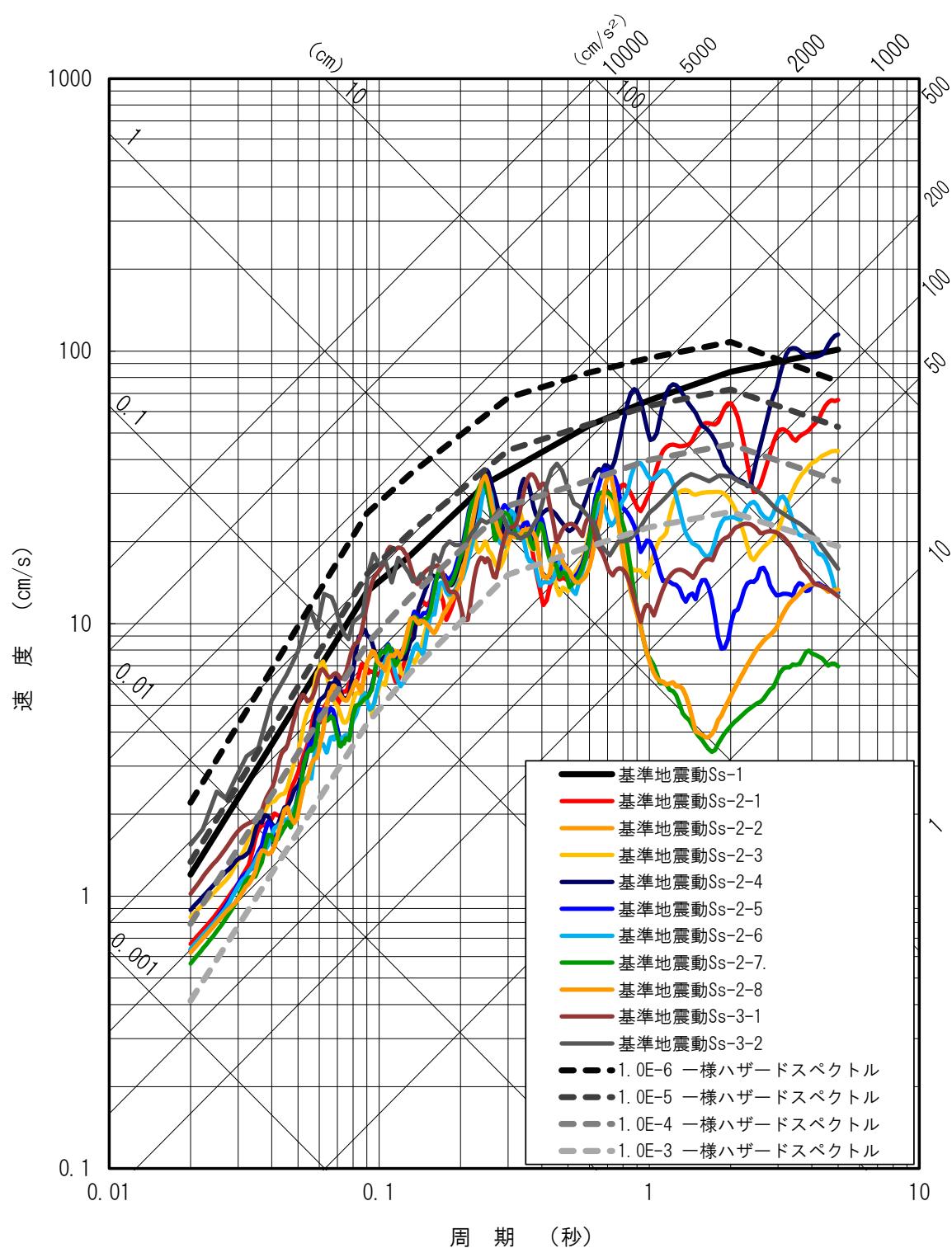
第6-4図 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンの構造イメージ

第 6-1 表 使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンによる使用済燃料乾式貯蔵容器 1 基あたりの取扱時間

取扱様態	クレーン操作	クレーン 移動速度	クレーン 移動距離	使用済燃料乾式貯 蔵容器取扱時間
緩衝体取外し	クレーン巻き上げ	約 1.8 m/分	約 1 m	約 1 分
	クレーン横行	約 6 m/分	約 4 m	約 1 分
			合計	約 2 分
使用済燃料乾式貯蔵容器縦起 こし	クレーン巻き上げ	約 0.6 m/分	約 4 m	約 7 分
	クレーン走行	約 0.9 m/分	約 4 m	約 7 分
			合計	約 14 分
吊り上げ、検査架台への移動	クレーン巻き上げ 巻き下げ	約 0.6 m/分	約 2 m	約 3 分
	クレーン走行	約 6 m/分	約 5 m	約 1 分
			合計	約 4 分
3 次蓋取り外し	クレーン巻き上げ	約 4.5 m/分	約 2 m	約 1 分
	クレーン走行	約 18 m/分	約 2 m	約 1 分
			合計	約 2 分
			合計	約 22 分



第6-5図 基準地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（水平方向）



第6-6図 基準地震動の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一様ハザードスペクトル（鉛直方向）

### (3) 使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器を取扱エリアから貯蔵エリアに搬送するものであり、使用済燃料乾式貯蔵容器は貯蔵架台に載せた状態で搬送される。搬送に要する時間は年間 1.5 時間程度（約 3 基程度）

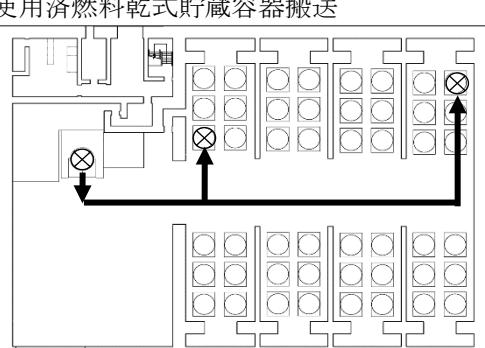
（第 6-2 表参照）と想定される。ここで、基準地震動  $S_s$  の発生確率は、第 6-5 図及び第 6-6 図に示す伊方発電所の地震ハザード解析から得られる超過確率を参考し、JEAG4601・補-1984 で記載されている  $S_2$  の発生確率（ $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$  / サイト・年）を  $S_s$  の超過確率に読み替え、最大値である  $5 \times 10^{-4}$  / 年を適用する。

以上より、JEAG4601 の地震と組み合わせるべき事象に対する発生頻度及びその状態の継続時間の考え方を準用し、使用済燃料乾式貯蔵容器の搬送に要する時間及び地震動の超過確率を考慮し、検討した結果、使用済燃料乾式貯蔵容器を使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車に載せ、搬送している時に  $S_s$  が発生する確率は  $5 \times 10^{-4}$  / 年 × 1.5 時間 ÷ (365 日 × 24 時間) で算出され、 $10^{-7}$  / 年を下回ることを確認した。そのため、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車により使用済燃料乾式貯蔵容器を搬送する事象は、基準地震動  $S_s$  と組み合わせるべき事象として選定されない。

また、仮に使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車が搬送中に逸走した場合には、貯蔵されている使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵架台と、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車または搬送中の貯蔵架台が衝突するおそれがあるが、その際に使用済燃料乾式貯蔵容器同士が衝突しないように、衝突時の使用済燃料乾式貯蔵容器の接近量※に対して貯蔵架台端部と使用済燃料乾式貯蔵容器間の水平距離を十分に確保する設計とする。（第 6-2 図、第 6-3 図）

※：使用済燃料乾式貯蔵容器は貯蔵架台に固定されていることから、衝突時には使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車及び使用済燃料乾式貯蔵容器（貯蔵架台含む）が一体で傾く。この場合の貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への接近量は、直立状態の使用済燃料乾式貯蔵容器端部から、傾いた後の使用済燃料乾式貯蔵容器端部までの水平距離を指す。

第 6-2 表 使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車による使用済燃料乾式貯蔵容器 1 基あたりの取扱時間

取扱様態	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車移動速度	使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車移動距離	使用済燃料乾式貯蔵容器取扱時間
使用済燃料乾式貯蔵容器搬送 	2m/分	平均約 45m (約 25m～約 65m)	約 22 分

#### (4) 検査架台

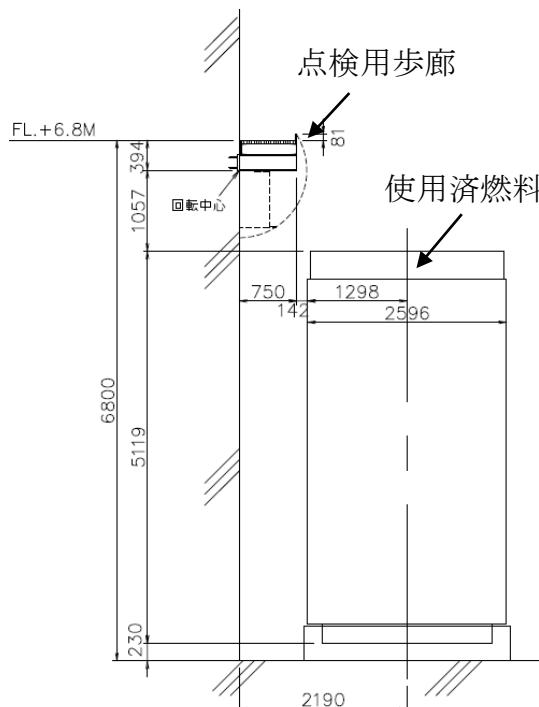
検査架台は、使用済燃料乾式貯蔵容器の検査等のため、使用済燃料乾式貯蔵容器の周囲に配置されるものである。

検査架台については、使用済燃料乾式貯蔵容器と検査架台の衝突を想定しても、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に影響がないことを確認しているため、損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-2 図)

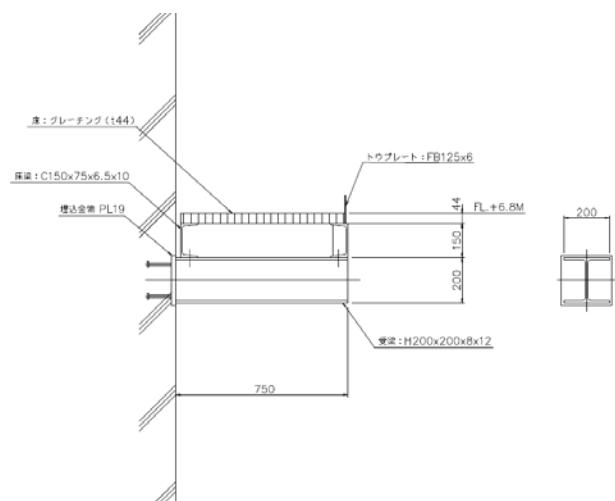
#### (5) 点検用歩廊

点検用歩廊は、貯蔵状態の使用済燃料乾式貯蔵容器の点検等のため、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器の周囲に設置される。点検用歩廊は、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を及ぼさないように、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない配置とする。

具体的には、点検用歩廊は、第 6-7 図に示すとおり設置することとしており、構造上最も弱い付け根部が損傷すると、使用済燃料乾式貯蔵容器から遠ざかる方向に破壊が進むよう配置する。(第 6-2 図、第 6-3 図、第 6-7 図)



キャスクと点検用歩廊の位置関係  
(第 6-2 図 D-D 断面)



点検用歩廊拡大図

第 6-7 図 点検用歩廊詳細図

#### (6) 周辺施設へのユーティリティ設備

周辺施設へのユーティリティ設備は、主に使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン、使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等への電気・圧縮空気供給設備、作業用の給排気ファンが該当し、使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない配置をしていることから、周辺施設へのユーティリティ設備の転倒及び落下等を想定しても、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。

(第 6-2 図、第 6-3 図)

#### (7) 使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計

使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計を構成する設備は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の雰囲気温度を監視するため、使用済燃料乾式貯蔵建屋排気口付近に設置される。温度計を構成する設備は軽量であり、使用済燃料乾式貯蔵容器内部との接続はないため、損傷した場合にも使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-3 図)

#### (8) 配管及び電路

使用済燃料乾式貯蔵施設への消火水の給水及び給電等のため、取扱エリア及び貯蔵エリア内に配管及び電路を設置する。配管及び電路は使用済燃料乾式貯蔵容器に衝突しない程度に、十分離隔距離を確保する設計方針としていることから、配管及び電路の転倒及び落下等を想定しても使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能に波及的影響を及ぼすおそれはない。(第 6-2 図、第 6-3 図)

#### (9) 隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵時に、地震が発生した場合に、隣接する使用済燃料乾式貯蔵容器同士が衝突しないように、衝突時の使用済燃料乾式貯蔵容器の揺れ幅に対して使用済燃料乾式貯蔵容器間の水平距離を十分に確保する設計とする。(第 6-2 図、第 6-3 図)

### 6.3 接続部の評価対象の抽出

#### 6.3.1 抽出手順

第5-6図のフローに従い、机上検討をもとに、使用済燃料乾式貯蔵容器等と接続する周辺施設等のうち、周辺施設等の損傷又は隔離によるプロセス変化により使用済燃料乾式貯蔵容器等に影響を及ぼす可能性がある周辺施設等を抽出する。

#### 6.3.2 抽出結果

##### (1) 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計

使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計は、貯蔵状態の使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋間の圧力を監視するため、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋部及び胴部に設置される。使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計又はその計装備管が損傷した場合においても、使用済燃料乾式貯蔵容器のバウンダリは維持される設計とする。(第 6-3 図)

使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出結果を、第 6-3 表に示す。

第6-3表 使用済燃料乾式貯蔵容器等へ波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等の抽出結果

No.	施設	波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等	波及的影響のおそれ (○:あり、×:なし)	備考
			損傷・転倒・落下	
O01	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (使用済燃料乾式貯蔵容器の間接支持構造物である使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎を含む)	-	×	
E01	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	○	

## 7. 影響評価結果

### 7.1 屋外施設の評価結果

6.1の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

### 7.2 屋内施設の評価結果

6.2で抽出された周辺施設等による使用済燃料乾式貯蔵容器等への波及的影響の評価結果を第7-1表に示す。

### 7.3 接続部の評価結果

6.3の抽出の結果、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等として抽出されるものはなかった。

第7-1表 屋内施設の評価結果

屋内施設	波及的影響を及ぼすおそれのある 周辺施設等	評価結果	備考
使用済燃料乾式 貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	建屋の構造物全体としての変形性能評価を行 い、基準地震動 Ss に対して建屋が倒壊に至ら ないことを確認した。	設工認資料 9-14-2 参照

## 8. まとめ

今回申請範囲の使用済燃料乾式貯蔵容器等への周辺施設等の波及的影響について、別記4に記載された事項を踏まえ、考慮すべき事象を検討した上で、敷地全体を俯瞰した調査・検討を実施し、波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等を抽出した。

抽出した周辺施設等について、影響評価を実施した結果、使用済燃料乾式貯蔵容器等に対して波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等はないことを確認した。影響評価のうち、耐震評価が必要として添付資料に耐震計算書を添付している周辺施設等を、第8-1表に整理する。

第8-1表 抽出した周辺施設等のうち耐震評価を実施する施設

検討事象	対象施設	波及的影響を及ぼすおそれのある周辺施設等	検討用地震動	設工認資料
③使用済燃料乾式貯蔵容器等と周辺施設等との相互影響	使用済燃料乾式貯蔵容器等	使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋	Ss	9-14-2

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密または防護上の機密に属しますので公開できません。

伊方発電所 3号炉  
設置許可基準規則等への適合性について  
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

令和2年5月  
四国電力株式会社

## 16 条

### 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

乾式貯蔵建屋取扱エリアにおける乾式貯蔵建屋  
天井クレーンによる乾式キャスクに対する  
波及的影響について

### 3. 乾式貯蔵建屋天井クレーンの落下による影響について

1、2より、構造上および運用上においても、取扱エリアで乾式キャスク上に乾式貯蔵建屋天井クレーンが落下することは無いと考えているが、仮に、落下した際の影響を以下の観点から評価した。

- ・乾式キャスクの頑健性を確認する観点から、乾式キャスクを検査架台に設置した状態で、乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリ<sup>※2</sup>を落下させた場合の閉じ込め機能維持評価
- ・乾式キャスク内の燃料集合体が全数破損（被覆管 100%破損、ペレットからの放出率 100%）し、且つ、乾式キャスクの閉じ込め機能が喪失した場合の敷地境界線量への影響評価

※2：乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリは、クレーンフック等と比べて、重量が大きいこと、及び落下高さが高いことから、評価対象とした。

#### (1) 乾式キャスクの閉じ込め機能維持評価（天井クレーンのトロリ落下）

乾式キャスクを検査架台に設置した状態で、乾式貯蔵建屋天井クレーンの主要部分であるトロリを落下させた場合に、乾式キャスクの閉じ込め機能維持について、図6及び表1に示すモデル及び緒元を用いて LS-DYNA により衝突解析を行い、表2に示すとおり各部材について基準値を満足することを確認した。LS-DYNA での解析の妥当性については別紙2に示す。

ここで、閉じ込め機能を維持する部材である一次蓋シール部（胴側）、一次蓋シール部（蓋側）及び一次蓋ボルトについては、閉じ込め機能維持のため、密封境界部がおおむね弾性範囲内<sup>※3</sup>であることが要求事項であり、おおむね弾性範囲である 0. 2 %ひずみ以内であることを基準とした。

※3：「原子力発電所敷地内の輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の以下の【確認内容】を参考に、0. 2 %ひずみ以内であることを基準とした。

##### 【確認内容】

“衝突物又は落下物による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。”

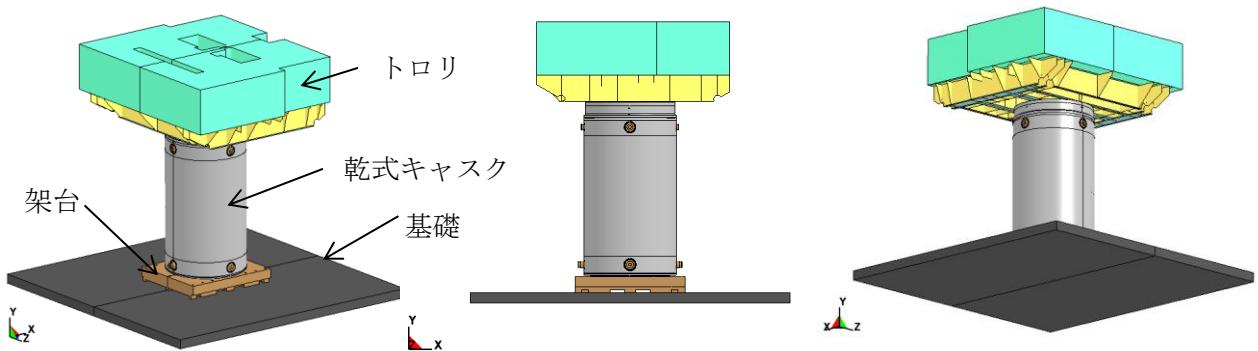


図6. トロリ落下衝突解析に係るモデル

表1. 解析緒元

部材	質量	材質	落下高さ
トロリ (落下物)	57 ton	SS400	9 m
乾式キャスク	117 ton	GLF1 (本体胴、蓋)	—
貯蔵架台	18 ton	SF490	—
基礎	—	コンクリート	—

表2. 評価結果

機能	対象部位	評価指標・基準		評価結果 <sup>(注1)</sup>
閉じ込め	一次蓋シール部 (胴側)	相当塑性 ひずみ	おおむね弾性 範囲内 (ひずみ 0.2%以下)	○ (ひずみ 0.00%)
	一次蓋シール部 (蓋側)			○ (ひずみ 0.00%)
	一次蓋ボルト			○ (ひずみ 0.01% <sup>(注2)</sup> )

(注1) : 小数点以下第3位を切り上げ

(注2) : 一次蓋ボルトに残留する塑性ひずみは 0.2%以下であること、かつ、残留した塑性ひずみは局所的であることから、閉じ込め機能に影響はない。

## 動的解析手法( LS-DYNA )の検証

### 1. 検証方針

MSF型キャスクの動的解析手法は、実規模スケールモデルを用いた落下試験で計測された蓋密封部のひずみを基に動的解析による落下試験再現解析を実施し、その結果と比較することで評価手法の妥当性を検証している。以下に検証内容を記載する。

### 2. 落下試験

#### 2.1. 落下試験モデル

落下試験モデルとして、MSF型キャスク（プロトタイプ）を実規模スケールで模擬した実規模スケールモデルを用いた。落下試験モデルの外形図を図1に示す。

本体は、胴（鍛造材）-レジン層-外筒（炭素鋼）から構成され、胴と外筒の間には銅製の伝熱フィンが溶接されている。蓋密封部は、一次蓋と二次蓋の二重構造とし、本体胴フランジに、金属ガスケットを取り付けた一次蓋及び二次蓋をボルトにより締結することで密封性を維持する構造としている。

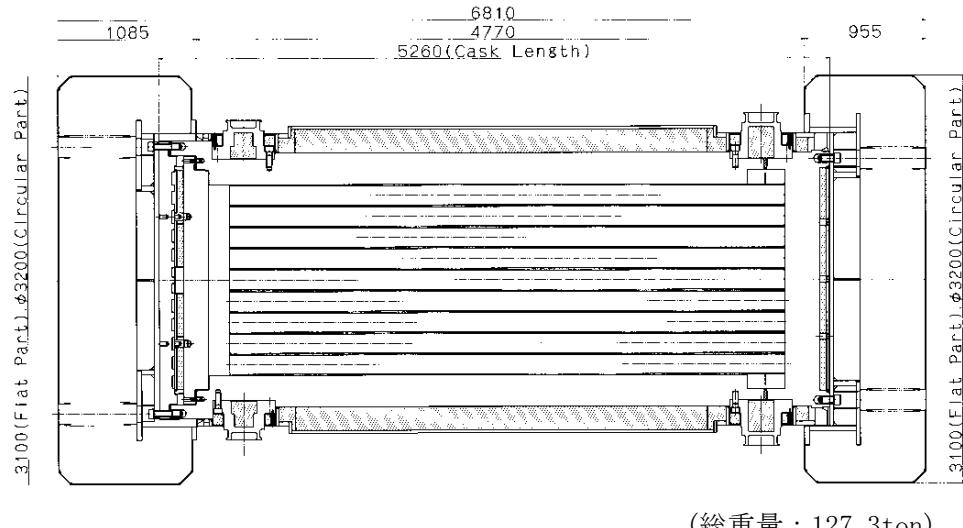


図1 落下試験モデルの外形図

## 2.2. 落下試験条件

IAEA 輸送規則に従い、9.3m からの落下試験を実施した。落下試験状態図を図 2 に示す。

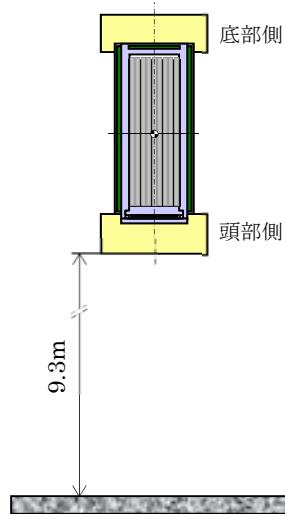


図 2 落下試験状態図

## 2.3. 落下試験結果

9.3m 頭部垂直落下の試験時の試験体写真を図 3 に示す。試験結果は 3 項の解析結果と併せて記載する。



図 3 9.3m 頭部垂直落下試験時の試験体写真

### 3. 落下解析

#### (1) 解析モデル

蓋、ボルト、胴本体、内部収納物(バスケット及び模擬重量体)、外筒、レジン、上部緩衝体内鋼板、木材及び緩衝体外鋼板をモデル化した。下部緩衝体については、内鋼板のみをモデル化した。下部緩衝体解析モデルの重量が、設計重量と等価になるように、内鋼板の密度を調整した。図4に解析モデルを示す。

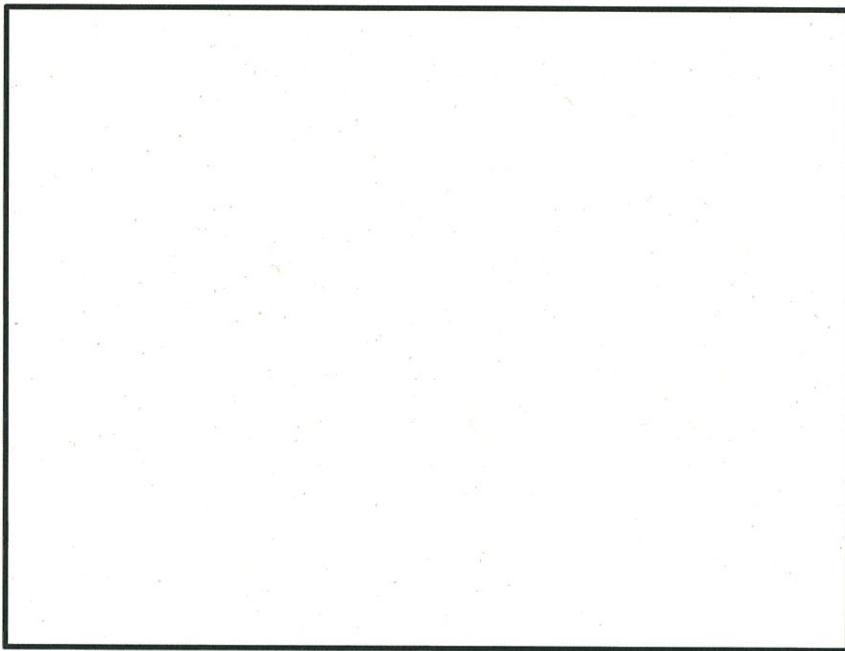


図4 9.3m頭部垂直落下の解析モデル

#### (2) 初速度条件

9.3m落下高さの位置エネルギーがすべて運動エネルギーに変換されたと考え、13.5m/sの初期速度を与える。

#### (3) 寸法及び材料

製作時の寸法を用いてモデル化した。材料の応力-ひずみ関係は、実際の引張試験の結果に基づいて設定した。

#### (4) 検証結果

##### a. 加速度

図5に加速度時刻歴の試験結果と解析結果の比較を示す。内部収納物が蓋に衝突する前のキャスク胴体中央の落下方向の加速度は、試験と解析で得られた最大加速度で10%の精度で再現できている。つまり、上部緩衝体から蓋への荷重が、解析で精度良く評価できていることを示している。一方、内部収納物の蓋への衝突の影響については、内部収納物が蓋に衝突するタイミングは一致しているものの、加速度応答に差がある。この原因是以下の通りと推定される。解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に一次蓋へ衝突しているため、加速度が急激に大きくな

っている。一方、試験では、燃料とバスケットセルが個別に一次蓋へ衝突し、ややなだらかな加速度応答になっているものと考えられる。このため、加速度の最大値に差異が生じたと考えられる。

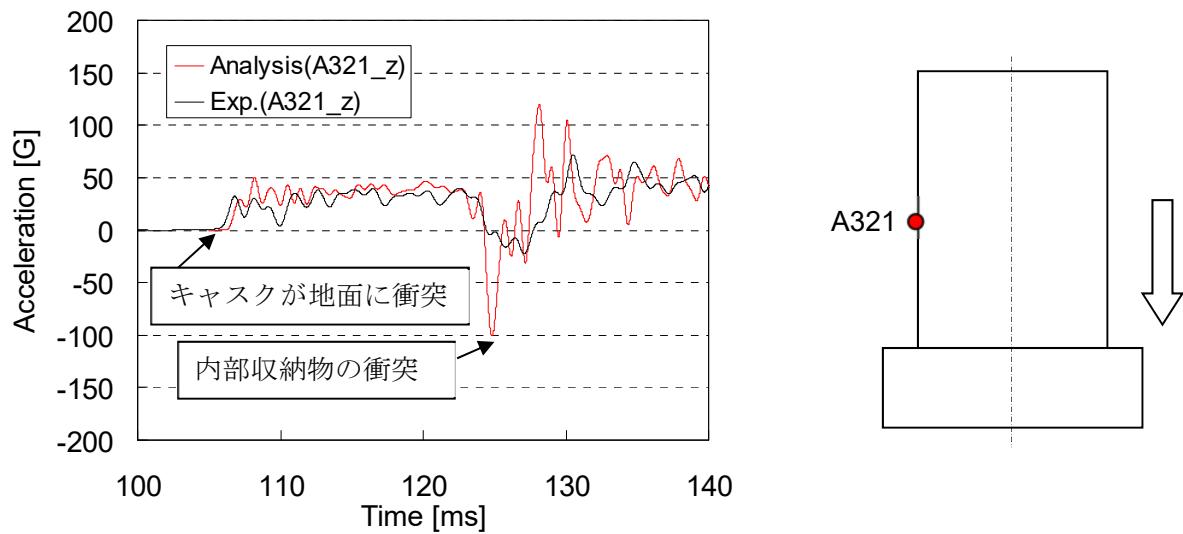


図 5 9.3m 垂直落下加速度時刻歴の比較

### b. ひずみ

フランジ根元及び蓋等の代表的なひずみに関する解析結果と試験結果の比較を以降に示す。

一次蓋中央のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 6 に示す。一次蓋の最大ひずみは、試験と解析で±10%で一致している。ただし、試験で得られた E121 の X 方向のひずみのみが、解析結果のひずみに比べて大きい結果となっている。この原因は以下の通りと推定される。

解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に蓋に衝突する条件としている。一方、試験では、燃料とバスケットセルが個別に衝突したため、蓋が一様に変形せず E121 の X 方向と Y 方向のひずみ量に差異が生じたと推定される。

また、解析では E121 の X 方向のひずみが  $2000 \mu$  以下であり弾性範囲内であるが、試験ではひずみが  $2000 \mu$  を超過しており最大約  $3500 \mu$  のひずみが発生している。E121 の X 方向以外の 3 データの最大ひずみは±10%の範囲内に入っていることから、X 方向と Y 方向の変形に大きな差はなかったものと推定される。E121 の X 方向については、ひずみが塑性域に入ったためにより大きなひずみが発生し、試験と解析で誤差が大きくなつたと推定される。

二次蓋中央のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 7 に示す。試験で得られた二次蓋のひずみは一次蓋のひずみと同じ時刻及び同じ方向に生じており、一次蓋の変形により一次蓋と二次蓋が衝突し同じ方向に変形が生じていることが読み取れる。解析で得られた二次蓋のひずみも同様に、一次蓋のひずみと同じ時刻及び同じ方向に生じており、一次蓋の変形に伴う二次蓋の衝突挙動が再現できている。

ただし、解析では燃料の全数とバスケットセルの全数が同時に一次蓋に衝突しているが、試験では燃料とバスケットセルが個別に衝突していると推定されるため、解析で得られた最大ひずみの方が試験よりも大きく、かつ、その発生時刻が早くなっている。

フランジ根元のひずみの解析結果と試験結果の比較を図 8 に示す。落下方向(Z 方向)及び周方向(θ 方向)のひずみが、試験と解析で±10%で一致しており、解析でよく再現されている。

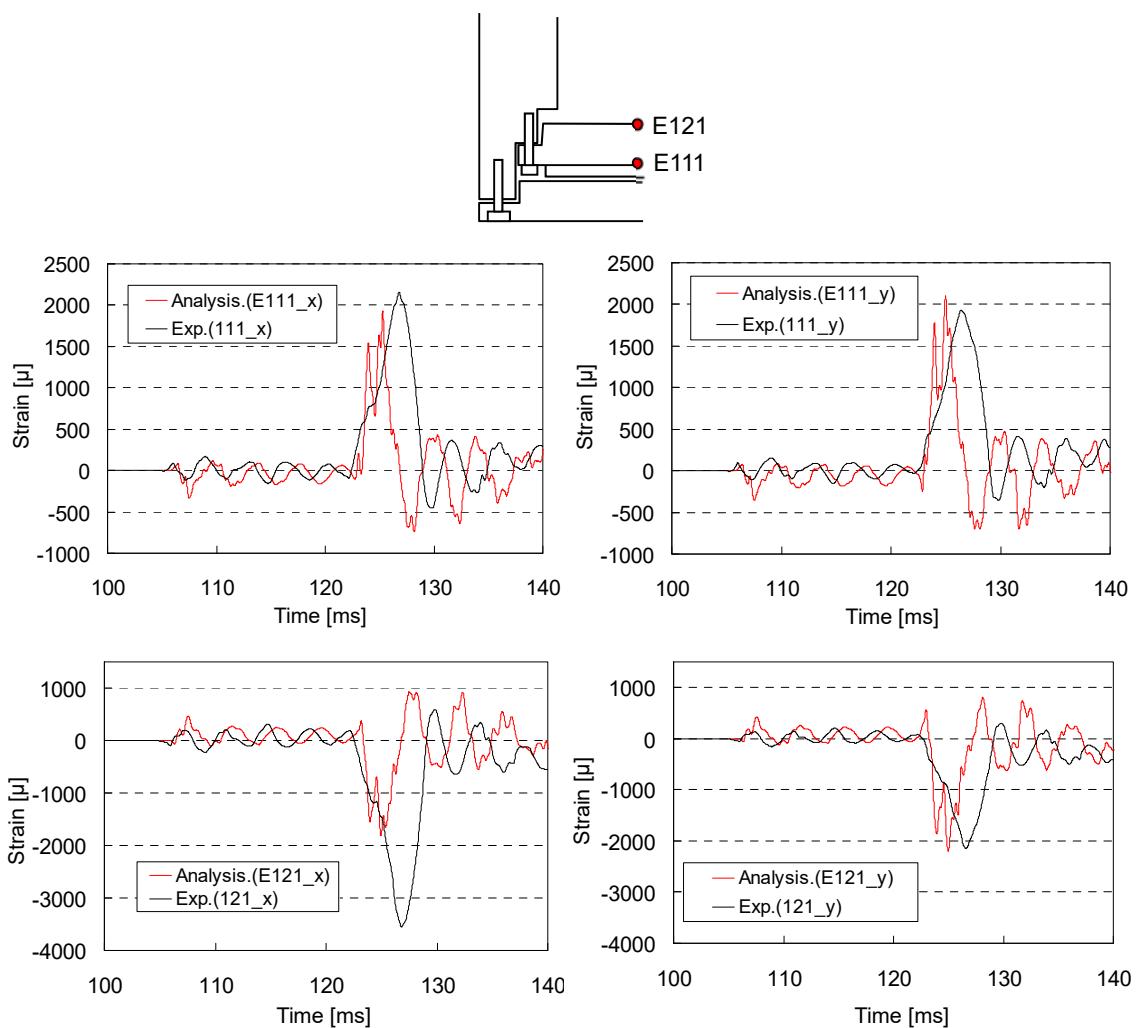


図 6 9.3m 垂直落下時の一次蓋ひずみ時刻歴の比較

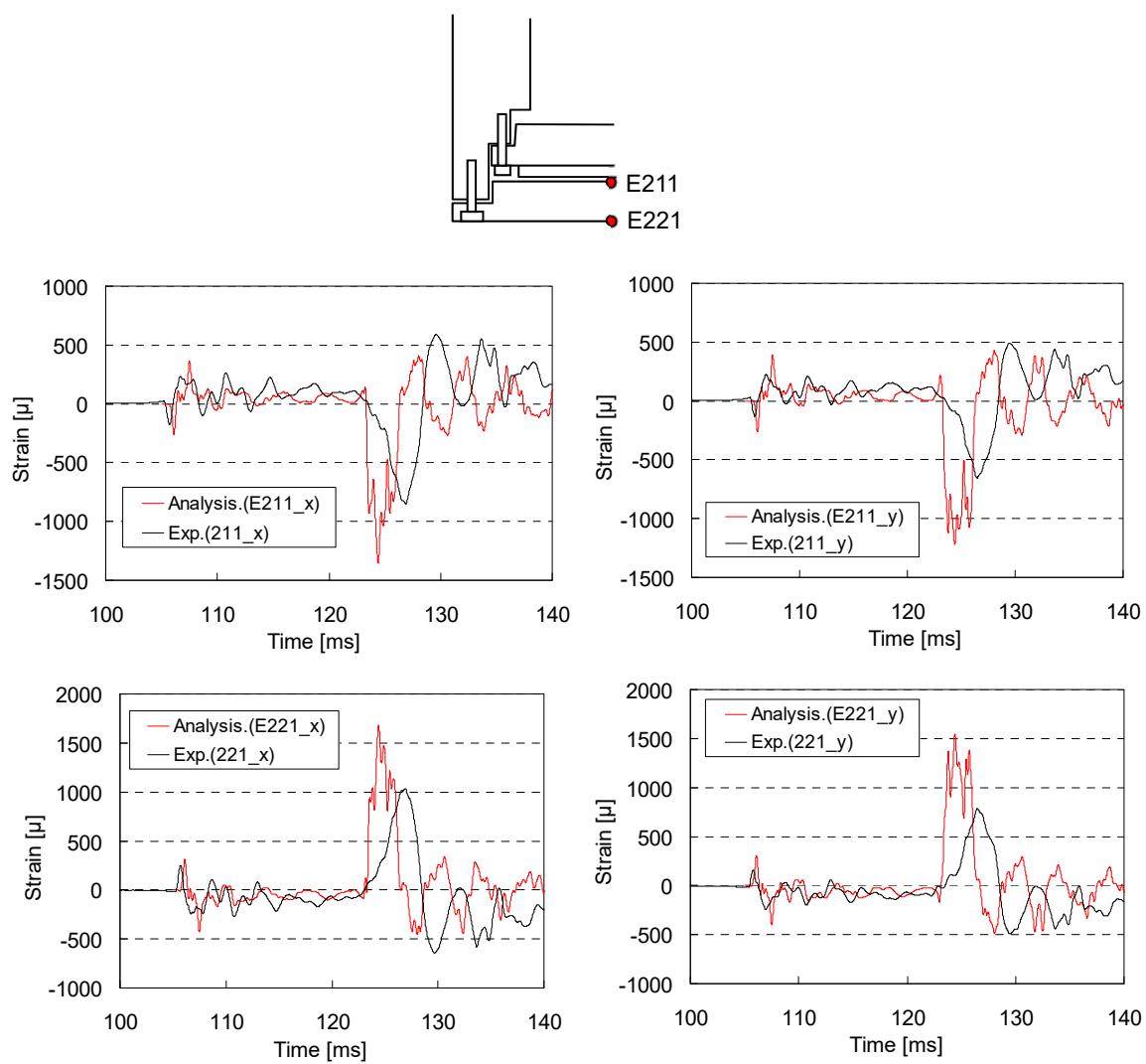


図 7 9.3m 垂直落下時の二次蓋ひずみ時刻歴の比較

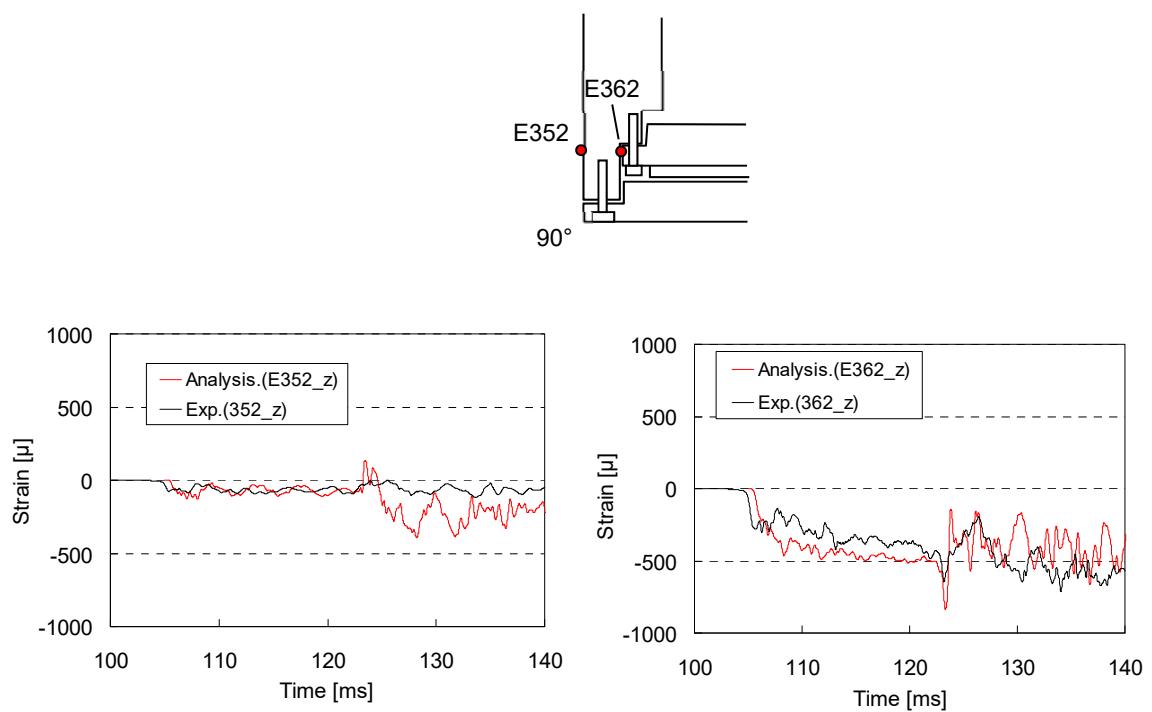


図 8 9.3m 垂直落下時の胴フランジひずみ時刻歴の比較

#### 4. 落下解析に対する動的解析の検証

落下試験において、密封境界部周辺（胴フランジや蓋）のひずみを測定し、解析結果と比較することで動的解析手法の検証を行った。また、キャスク全体の挙動を検証する観点で加速度の比較を行った。

上述のとおり、落下試験の計測結果と解析結果を比較した結果、落下挙動としては内部収納物の衝突時の挙動に差異はあるものの、緩衝体からの荷重による加速度応答を再現できることを確認した。また、密封境界である胴フランジ及び蓋の変形挙動を再現できることを確認した。これらの結果により、蓋密封部の閉じ込め性能に関する評価手法として本動的落下解析手法を適用できることを検証した。

#### 5. 天井クレーンに対する動的解析の適用性

天井クレーン落下事象は、静止している乾式キャスクの胴フランジ部へ荷重が作用する事象であるが、胴フランジに入力される荷重方向や負荷範囲は図9に示すとおり頭部垂直落下と同様であるため、落下試験により検証した動的落下解析手法は、天井クレーン落下事象にも適用可能である。

また、天井クレーン落下事象は使用済燃料集合体及びバスケットが一次蓋へ衝突する事象ではないため、使用済燃料集合体及びバスケットの挙動の違いによる影響を、本評価で考慮する必要はない。

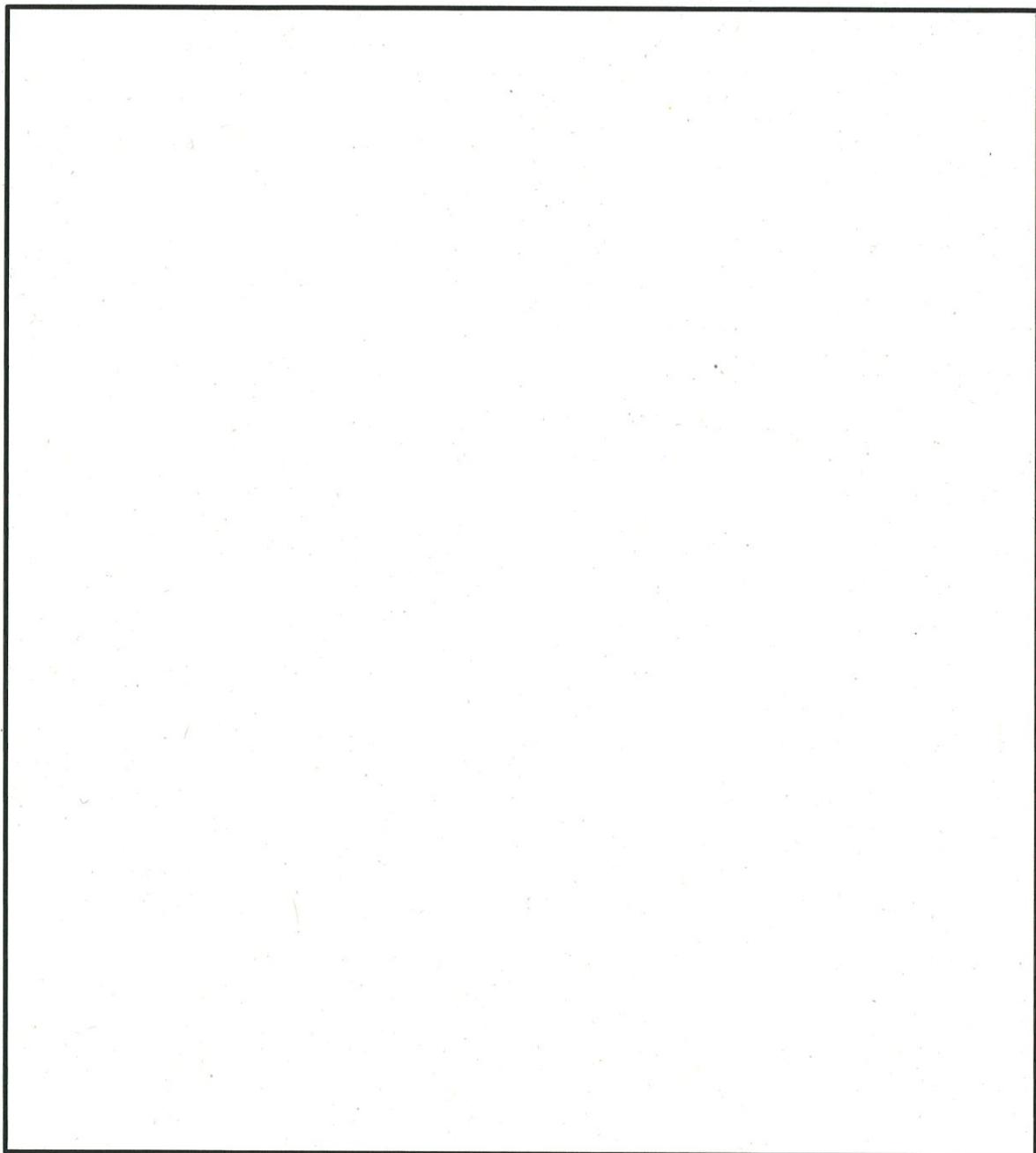


図9 荷重作用方向及び負荷範囲  
(天井クレーン落下解析時と頭部垂直落下時の比較)

## 4. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する 影響評価結果について

目 次

	頁
1. 検討の目的 .....	4-1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動 .....	4-2
3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価 .....	4-3
3.1 建物・構築物 .....	4-3
3.2 機器・配管系 .....	4-3

別紙1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

## 1. 検討の目的

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」（以下「技術基準」という。）にて、要求されている水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについて、「耐震設計に係る工認審査ガイド」に示す内容を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関し、従来の設計手法での水平1方向及び鉛直方向地震力に対する配慮に加え、更なる設計上の配慮が必要となる可能性のあるものを抽出して影響を評価する。

### 耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

#### 3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.4.2及び5.5.2も同様）

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを適切に行っていることを確認する。

##### （1）動的な地震力の組合せ

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の構造、応答特性に留意し、非安全側の評価にならない組合せ方法を適用していること。

なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

## 2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価には、基準地震動Ss-1～Ss-3を用いる。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

### 3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価

#### 3.1 建物・構築物

建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出、及び抽出された部位の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果については「補足説明資料2-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」にて、補足説明する。

#### 3.2 機器・配管系

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

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

設備配置及び応答軸の概念図を図3.2-1に示す。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮等を保守的に行うなど、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

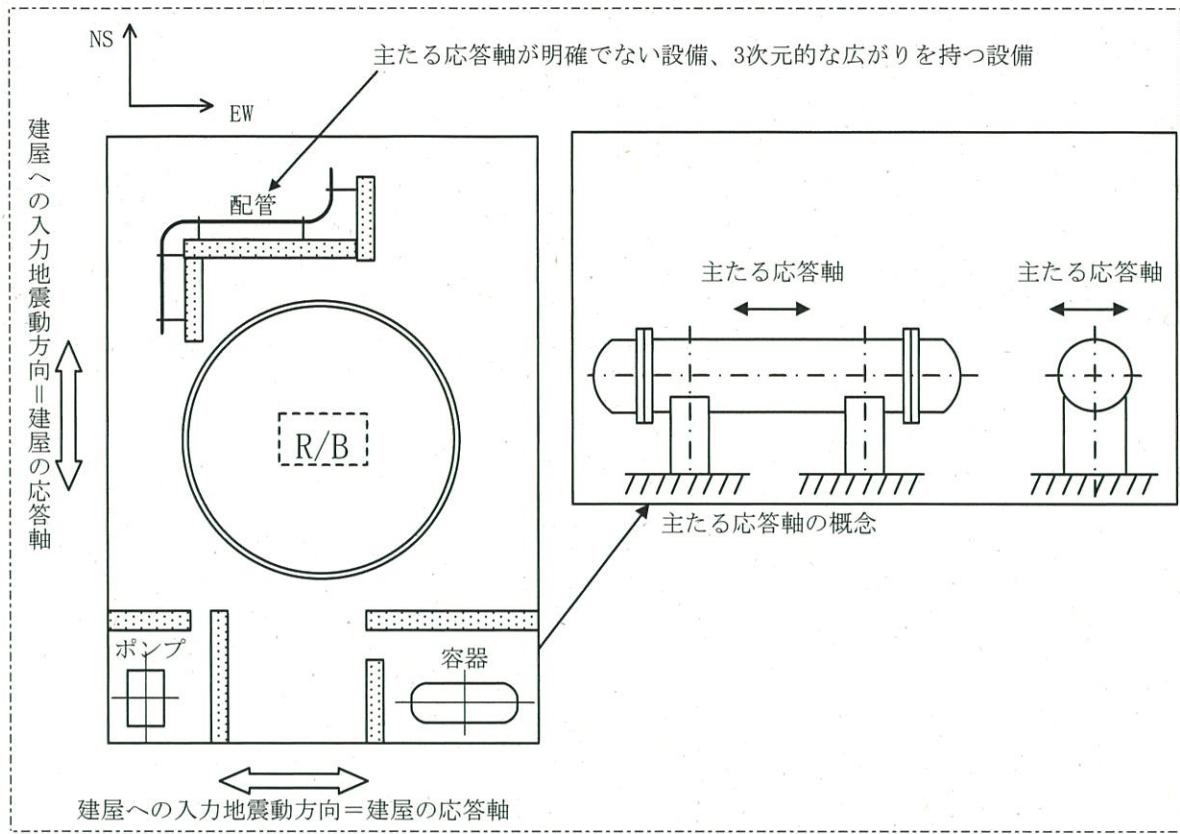


図3.2-1 設備配置及び応答軸の概念図

### 3.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、今回申請対象の使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1:1で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響のない設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

今回の水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動Ss-1～Ss-3を包絡した設計用床応答曲線により行う。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法も用いる場合もある。

### 3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図3.2-2に示す。

#### ① 評価対象となる設備の整理

今回申請対象の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。(図3.2-2①)

#### ② 構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。(図3.2-2②)

#### ③ 発生値の増分による抽出

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

また、建物・構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。(図3.2-2③)

なお、耐震評価は基本的におおむね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れる事から、米国Regulatory Guide1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方であるSquare-Root-of-the-Sum-of-the-Squares法(以下「非同時性を考慮したSRSS法」という。)を適用する。

#### ④ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。(図3.2-2④)

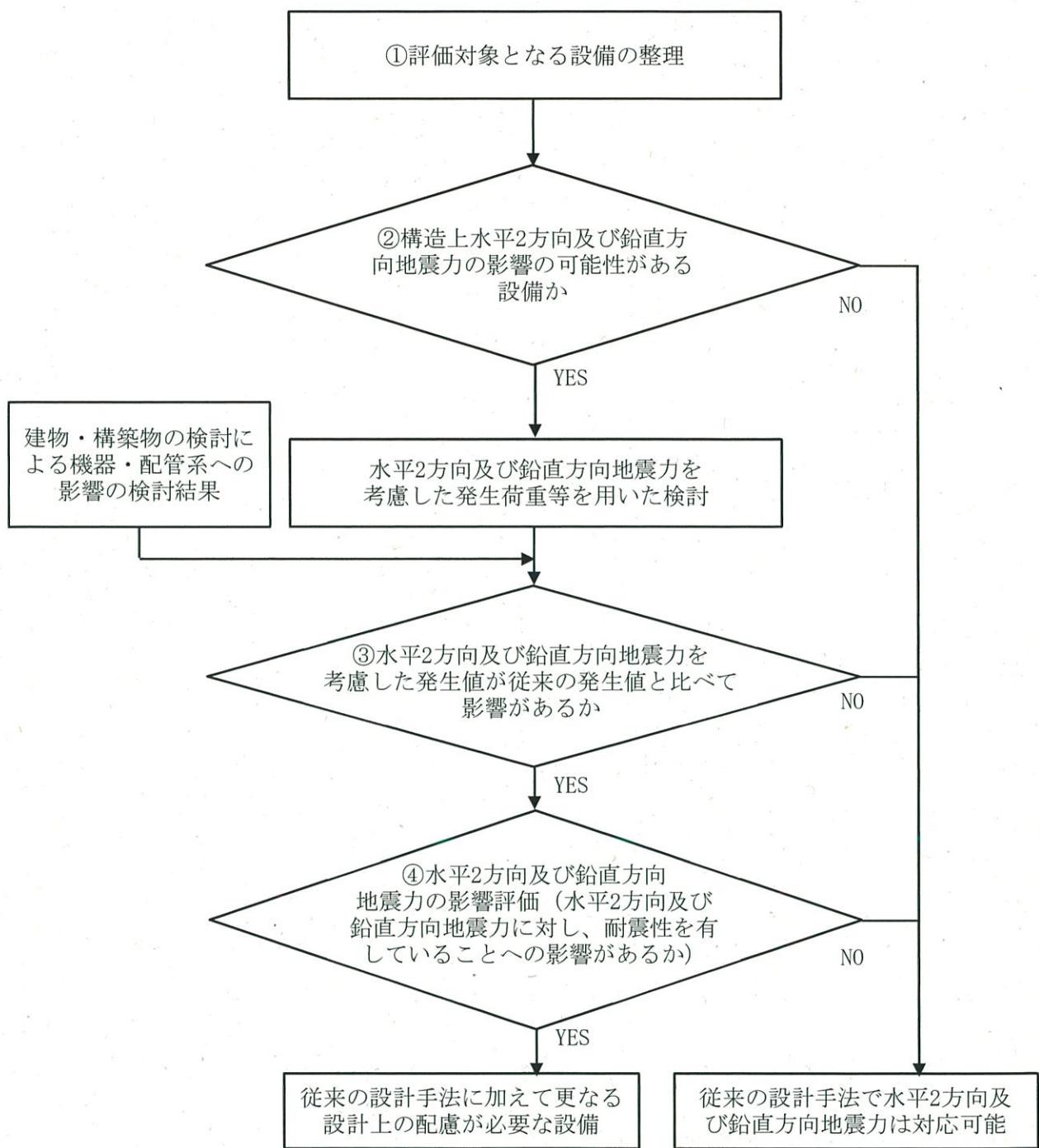


図3.2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価のフロー

### 3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を表3.2-1に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力及び鉛直方向地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性がある設備を抽出した。

表3.2-1 水平2方向及び鉛直方向入力の影響検討対象設備

設備	部位
使用済燃料乾式貯蔵容器	胴
	胴（底板）
	一次蓋シール部（胴側）
	外筒
	下部端板
	底部中性子遮蔽材カバー
	伝熱フィン
	一次蓋
	一次蓋シール部（蓋側）
	一次蓋ボルト
貯蔵架台	蓋部中性子遮蔽材カバー
	カバープレート
	カバープレートボルト
	二次蓋
貯蔵架台	二次蓋ボルト
	トラニオン
	バスケット
	押さえボルト
貯蔵架台	トラニオン押さえ
	固定装置固定ボルト
	基礎ボルト

### (1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合は、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。（別紙1-1参照）

- 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの
- 貯蔵架台の基礎ボルト（引張）は、水平2方向の地震力を想定した場合においても、その構造により水平1方向の地震力と同程度の地震

力しか負担しないことから、水平2方向の影響が軽微であるものとして分類した。

- b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

使用済燃料乾式貯蔵容器の容器本体（胴及び伝熱フィン以外）、一次蓋、二次蓋は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。

- c. 水平2方向の地震を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等といえるもの

使用済燃料乾式貯蔵容器の伝熱フィンは、水平2方向の地震力を想定した場合においても、その構造により水平1方向の地震力と同程度の地震力しか負担しないことから、水平2方向の影響が軽微であるものとして分類した。

- d. 従来評価にて保守性を考慮しており、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても影響が軽微であるもの

今回申請設備の各部位について、該当するものは無い。

- (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じ、さらに新たな応力成分が作用する可能性のある設備を抽出する。

今回申請設備の各部位について、該当するものは無い。

- (3) 地震力を水平2方向入力したことによる発生応力等の増分の観点

(1) (2) にて影響の可能性がある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国Regulatory Guide1.92

の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSRSS法により組合せ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

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

使用済燃料乾式貯蔵容器（容器本体（胴）、トラニオン、バスケット）、貯蔵架台（押さえボルト、トラニオン押さえ、固定装置固定ボルト、基礎ボルトせん断）は、応答軸が明確な設備であり、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力しているため、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

### 3.2.5 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

建物・構築物の影響評価において、機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

### 3.2.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.4(1)及び(2)で抽出した結果を別紙1-1、3.2.4(3)で抽出した結果を別紙1-2に示す。

### 3.2.7 まとめ

使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の増分による耐震性への影響の懸念がある設備（部位）は抽出されなかった。

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

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

## ①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の構造上の影響有無整理結果

表1 構造強度評価 (1/2)

設備	部位	応力分類	影響軽微とした分類 A: 水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B: 水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C: 水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D: 従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの ○: 影響あり △: 影響軽微 ①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応) 振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×: 発生しない ○: 発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由 新たな応力成分が発生しないことの理由
使用済燃料乾式貯蔵容器	容器本体	胴	一次応力 (膜、膜+曲げ)	○	—	トラニオン取り付け部近傍においては、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。
			一次+二次応力	○	—	トラニオン取り付け部近傍においては、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。
		胴 (底板)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		一次蓋シール部 (胴側)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		外筒	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		下部端板	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		底部中性子遮蔽材カバー	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
	一次蓋	一次蓋	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		一次蓋シール部 (蓋側)	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		一次蓋ボルト	平均引張応力 平均引張応力+曲げ応力	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		蓋部中性子遮蔽材カバー	一次応力 (引張、せん断、圧縮、曲げ、組合せ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
			一次+二次応力 (引張圧縮、せん断、曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		カバープレート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。
		カバープレートボルト	平均引張応力 平均引張応力+曲げ応力	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。

## ①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の構造上の影響有無整理結果

表1 構造強度評価 (2/2)

設備	部位	応力分類	影響軽微とした分類 A: 水平2方向の地震力を受けた場合で も、構造により水平1方向の地震力し か負担しないもの B: 水平2方向の地震力を受けた場合、構 造により最大応力の発生箇所が異なる もの C: 水平2方向の地震を組み合わせても1方 向の地震による応力と同等といえるも の D: 従来評価にて保守性を考慮しており水 平2方向の地震力を考慮しても影響が 軽微であるもの ①-1 水平2方向 の地震力の重複に による影響の有無 (3.2.4項(1)に対 応) ○: 影響あり △: 影響軽微	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応) 振動モード及び 新たな応力成分の発生有無 ×: 発生しない ○: 発生する	左記の振動モードの影 響がないことの理由 新たな応力成分が発生 しないことの理由	
使用済燃料乾式 貯蔵容器	二次蓋	一次応力 (膜、膜+曲げ)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異 なり影響は軽微である。	×	-
		一次+二次応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異 なり影響は軽微である。	×	-
		二次蓋ボルト	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点 が異なり影響は軽微である。	×	-
	トラニオン	せん断	○	-	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直 角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方 向入力の影響がある。	×	-
		曲げ	○	-	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直 角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方 向入力の影響がある。	×	-
		支圧	○	-	トラニオンにおいては、1方向の地震においても軸直 角方向のトラニオンへも影響が生じることから、2方 向入力の影響がある。	×	-
	押さえボルト	引張	○	-	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押 さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向 入力の影響がある。	×	-
		曲げ	○	-	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押 さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向 入力の影響がある。	×	-
		せん断	○	-	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押 さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向 入力の影響がある。	×	-
	固定装置 固定ボルト	引張	○	-	1方向の地震においても軸直角方向のトラニオン押 さえ及び固定装置へも影響が生じることから、2方向 入力の影響がある。	×	-
		引張	△	A	基礎ボルト・取付ボルトは矩形配置であり、水平2方 向入力の入力で対角方向に転倒することなく、2方 向入力の影響は軽微である。	×	-
		せん断	○	-	水平地震力は貯蔵架台取付面の摩擦力により取付部 に伝達することを基本としている。ここで、水平地 震力が上回るものに対しては、据付ボルト全断面で 水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	-
	基礎ボルト	組合せ	○or△	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低 減することから影響が生じる。	×	-

①・②機器・配管系の耐震評価における水平2方向及び鉛直方向入力の構造上の影響有無整理結果

表2 動的機能維持評価

設備	部位	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○: 影響あり △: 影響軽微	影響軽微とした分類 A: 構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B: 構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C: 水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D: 従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響がないといえるもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相關する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
					振動モードの発生有無 ×: 発生しない ○: 発生する	左記の振動モードの影響がないことの理由
使用済燃料乾式貯蔵容器	伝熱フィン	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
	バスケット	○	—	バスケットセル (曲げ、せん断) については、水平2方向入力の影響を受ける。	×	—

## ③水平2方向及び鉛直方向の地震力による増分影響検討結果

表1 構造強度評価

設備	部位	応答軸が明確か (3.2.4項(3)に対応) ○:応答軸が明確 ×:応答軸が明確でない設備 【別紙1-2補足①、②】	応力分類	従来 発生値 (水平1方向 及び鉛直方向)	発生値 (水平2方向 及び鉛直方向)	発生値の増分 (=発生値 (水平2方向 及び鉛直方向) ÷ 従来発 生値 (水平1方向及び鉛直 方向))	増分の判定 ○:影響が軽微 ×:影響が無視 できない	発生値 (水平2方向) の算出方法 (3.2.4項(3)に対応するが、発生値の組合せ方法はよ り詳細な区分としている。) ①:応力をSRSS (必要に応じて地震・地震以外に分離) ②:X・Y方向別々の応力をSRSS (地震・地震以外は分離 せず) ③:X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外 の応力と足し合わせ ④:標準設計荷重が水平2方向荷重を上回ることを確認 (発生値、裕度は従来から不変) ⑤:その他 (算出方法を記載)
使用済燃料乾式貯蔵容器	容器本体 脇	○	—	—	—	—	—	—
	トラニオン	○	—	—	—	—	—	—
貯蔵架台	押さえボルト	○	—	—	—	—	—	—
	トラニオン押さえ	○	—	—	—	—	—	—
	固定装置 固定ボルト	○	—	—	—	—	—	—
	基礎ボルト	○	—	—	—	—	—	—

## ③水平2方向及び鉛直方向の地震力による増分影響検討結果

表2 動的機能維持評価

設備	部位	応答軸が明確か (3.2.4項(3)に対応) ○:応答軸が明確 ×:応答軸が明確でない設備 【別紙1-2補足②】	応答加速度 (水平1方向)	応答加速度 (水平2方向)	発生値の増分 (=発生値 (水平2方向) ÷ 従来発生値 (水平1方向 及))	増分の判定 ○:影響が軽微 ×:影響が無視で きない	発生値 (水平2方向) の算出方法 (3.2.4項(3)に対応するが、発生値の組合せ方法はよ り詳細な区分としている。) ①:応力をSRSS (必要に応じて地震・地震以外に分離) ②:X・Y方向別々の応力をSRSS (地震・地震以外は分 離せず) ③:X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以 外の応力と足し合わせ ④:標準設計荷重が水平2方向荷重を上回ることを確認 (発生値、裕度は従来から不変) ⑤:その他 (算出方法を記載)
使用済燃料乾式貯蔵容器	バスケット	○	—	—	—	—	—

## 水平2方向の影響検討結果（円筒形容器）

## 1. はじめに

本資料は、水平地震動が水平2方向に作用した場合の円筒形容器に対する影響検討結果をFEMで確認した結果をまとめたものである。容器については、3.2項にて説明している通り、X方向地震とY方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組合せても影響軽微としている。本資料には、3.2項にて説明していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器のFEMモデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は胴板の応力強さ対象としたものである。具体的な確認項目として、以下2点を確認した。① X方向地震とZ方向地震とで最大応力点が異なることの確認。② 最大応力点以外に、X方向地震とZ方向地震による応力を組合せた場合に影響のあるような点があるかを確認。

## 2. 評価検討

評価検討モデルを図1に示す。検討方法を以下に示す。

- ・検討方法：水平地震力 2.63G を、X方向（90°方向）へ入力。  
周方向の 90°方向から 270°方向にかけて応力分布を確認。
- ・検討モデル：使用済燃料乾式貯蔵容器をソリッド要素にてモデル化
- ・拘束点：下部トラニオン、胴底面
- ・荷重条件：モデル座標のX方向に 2.63G、Y方向に 0.69G の静的加速度
- ・解析手法：静的解析
- ・対象部位及び応力：胴板に対する組合せ応力

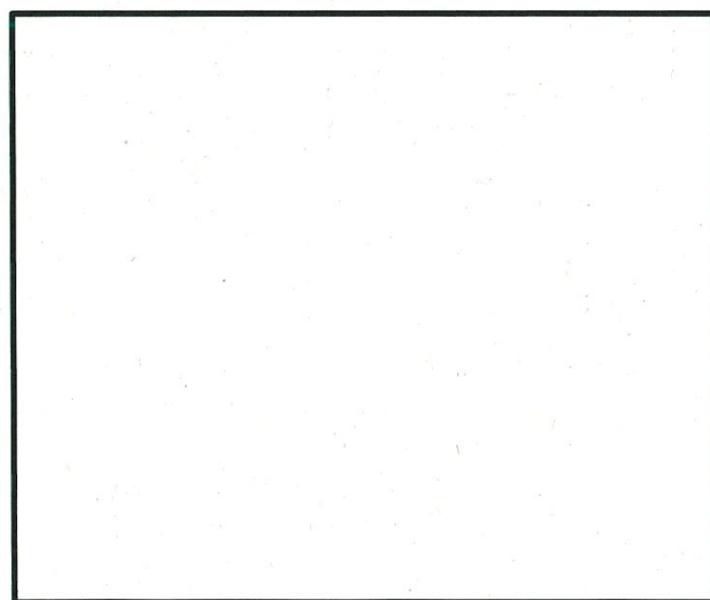


図1 評価検討モデル

### 3. 検討結果

胴板中央部における地震時のミーゼス応力コンター図を図2に示す。この結果より、最大応力点は135° 位置に発生していることが分かる。-Z方向へ水平地震力を入力した場合は、最大応力点は225° 位置に発生することは円筒形容器であることから明白であり、最大応力点が異なることについて確認できた。

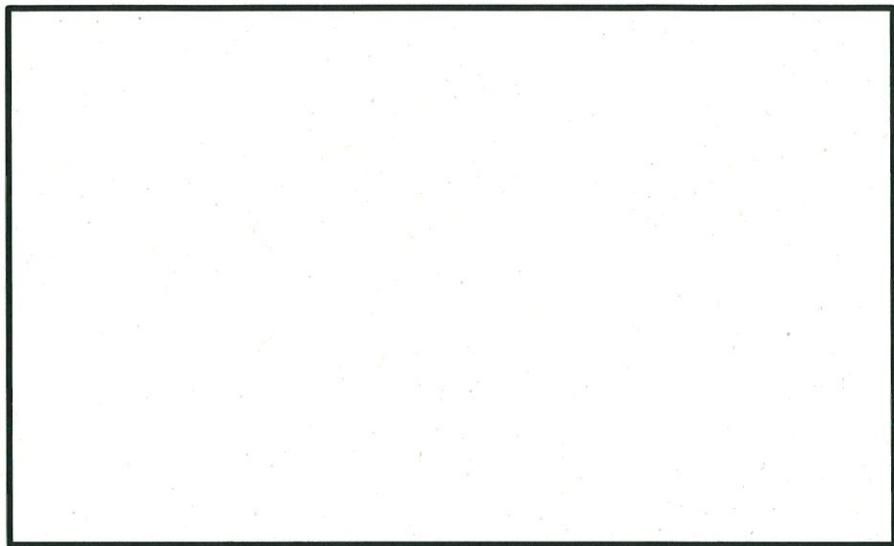
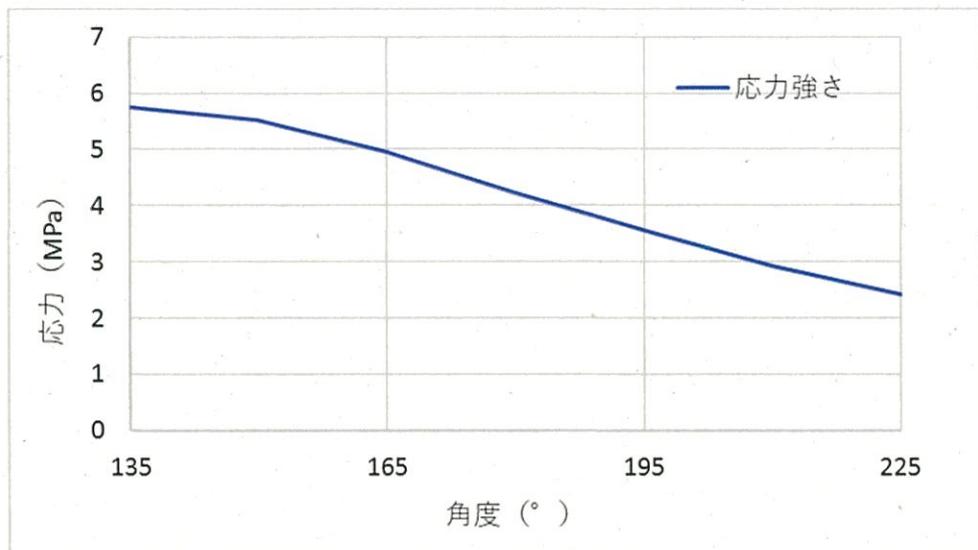


図2 地震時ミーゼス応力コンター図

表 1 地震時の周方向応力分布

	X 方向へ入力した場合 応力 [MPa]	Y 方向へ入力した場合 応力 [MPa]	2 方向を考慮した場合※ 応力 [MPa]
135° 方向	5.74	2.42	6.23
180° 方向	4.22	4.22	5.97
225° 方向	2.42	5.74	6.23

$$\text{※2 方向を考慮した応力} = \sqrt{X \text{ 方向入力時応力}^2 + Y \text{ 方向入力時応力}^2}$$



以上より、中間点の水平2方向地震時応力は最大応力以下の結果となり、円筒形構造に対する水平2方向地震時の影響は軽微であることが確認できる。また、水平1方向の地震時の応力に対して水平2方向地震時を考慮した場合、組合せ応力は若干上回るが数%程度であり、水平各方向1:1にて想定していることも考慮し、影響は軽微であると考える。

本検討においては地震力のみの応力値であり、耐震評価においては水平地震の影響を受けない応力（自重や鉛直地震による応力）が含まれるため、X方向へ入力した場合の応力に対する2方向を考慮した場合の応力の比率は小さくなる。

水平2方向の地震力を考慮した場合でも設備の有する  
耐震性に対して影響がないことについて  
～応答軸が明確である設備～

1. はじめに

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

2. 設備の有する耐震性に対して影響がないことの説明

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

●設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

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

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

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

なお、2.で述べたとおり、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、設計手法として、地震力の入力をNS方向・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて保守的な評価を実施している場合も考えると、応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であることが分かる。

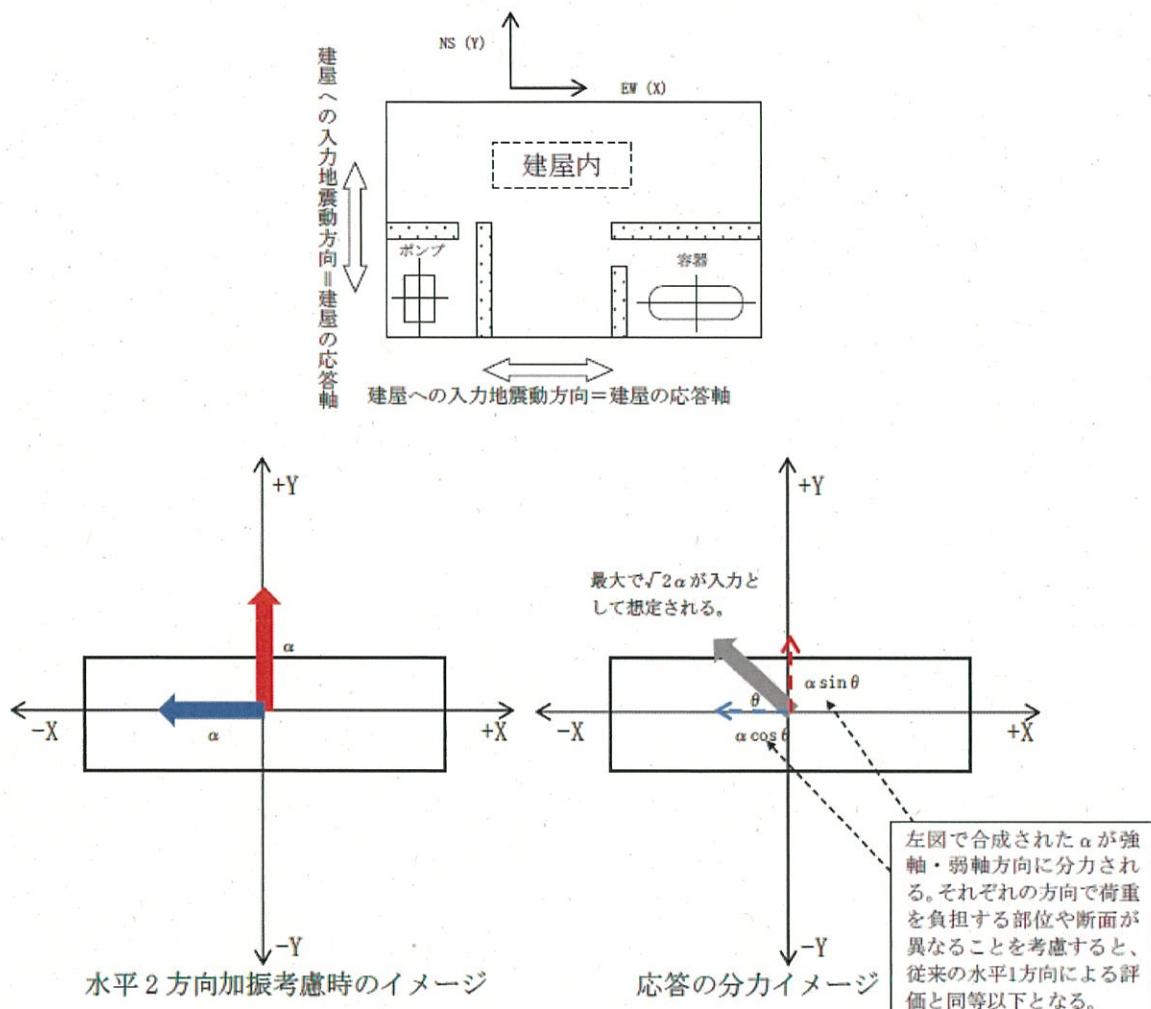


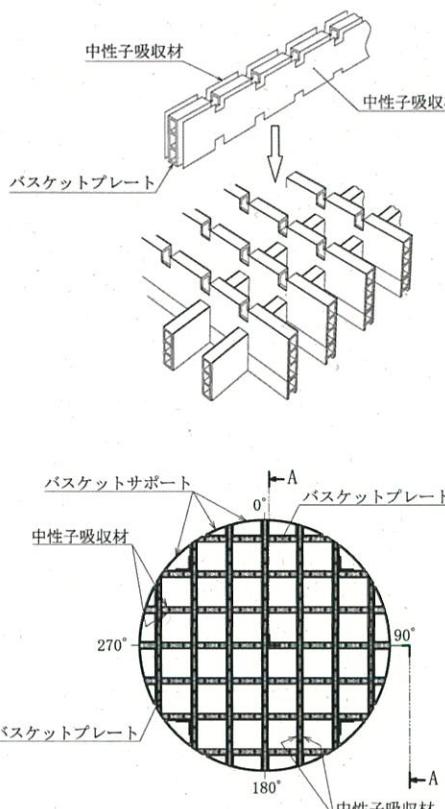
図1 水平2方向加振考慮時の応答イメージ

### ●設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

本考えは設備の応答軸の方向と入力の方向の関係によるものであることから、部位・応力分類によらず、各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。表1に使用済燃料乾式貯蔵容器及び貯蔵架台に対する本考え方の説明を示す。

表1 応答軸が明確な評価部位について

評価部位	構造図	説明	備考
胴、下部トラニオン、固定装置 固定ボルト、押さえボルト、トラニオン押さえ		<p>使用済燃料乾式貯蔵容器は、4つの下部トラニオンを介して、貯蔵架台の固定装置により、直交する水平2方向に支持されている。地震力は下部トラニオンを介して入力されるため、応答軸は明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	NS・EW 包絡FRSを用いている。
基礎ボルト		<p>貯蔵架台は矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く、水平地震力に対して斜め方向へ転倒することなく、弱軸／強軸方向にしか応答せず、その方向に地震を入力した評価を実施している。</p>	NS・EW 包絡FRSを用いている。

評価部位	構造図	説明	備考
バスケット		<p>バスケットは、バスケットプレートを菓子折りに組んだ構造であり、直交するバスケットプレート同士で水平2方向に支持されている。地震力はバスケットプレート同士の支持点を介して入力されるため、応答軸は明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	NS・EW 包絡FRS を用いている。

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震評価モデルの 妥当性について

目 次

	頁
1. はじめに .....	5-1
2. 耐震評価方法 .....	5-1
2.1 乾式キャスクのモデル化の考え方 .....	5-3
2.2 下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方 .....	5-7
3. まとめ .....	5-15

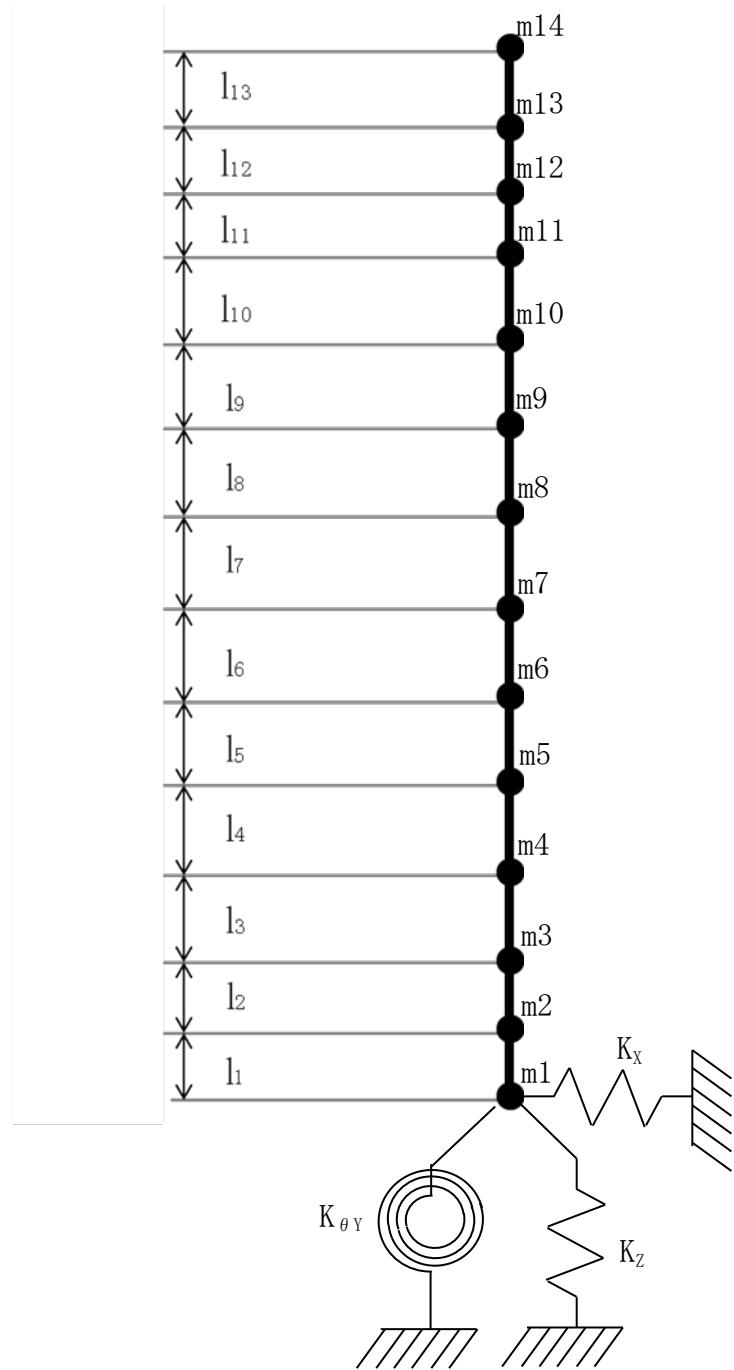
## 1. はじめに

本書は、設工認における使用済燃料乾式貯蔵容器（以下「乾式キャスク」という。）及び使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵架台（以下「貯蔵架台」という。）の耐震評価のうち、固有値解析に適用した解析方法の妥当性について説明する資料である。

## 2. 耐震評価方法

今回の設工認において乾式キャスクの耐震評価では、既工認の解析方法に倣い、乾式キャスク及び貯蔵架台をはり要素及び線形ばね要素でモデル化して固有値を算出し、FRS から固有値に対応した評価用加速度を適用している。乾式キャスク及び貯蔵架台を連成した固有値解析モデル（以下「工認適用モデル」という。）を第 2.1 図に示す。工認適用モデルは、乾式キャスクをはり要素及び質点でモデル化し（以下「はりモデル」という。）、下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性をばね要素でモデル化している。耐震評価に適用した解析におけるモデル化の考え方を以下に示す。

具体的には、工認適用モデルにおける乾式キャスクのモデル化の考え方を 2.1 項に示す。また、下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方を 2.2 項に示す。



第 2.1 図 工認適用モデル

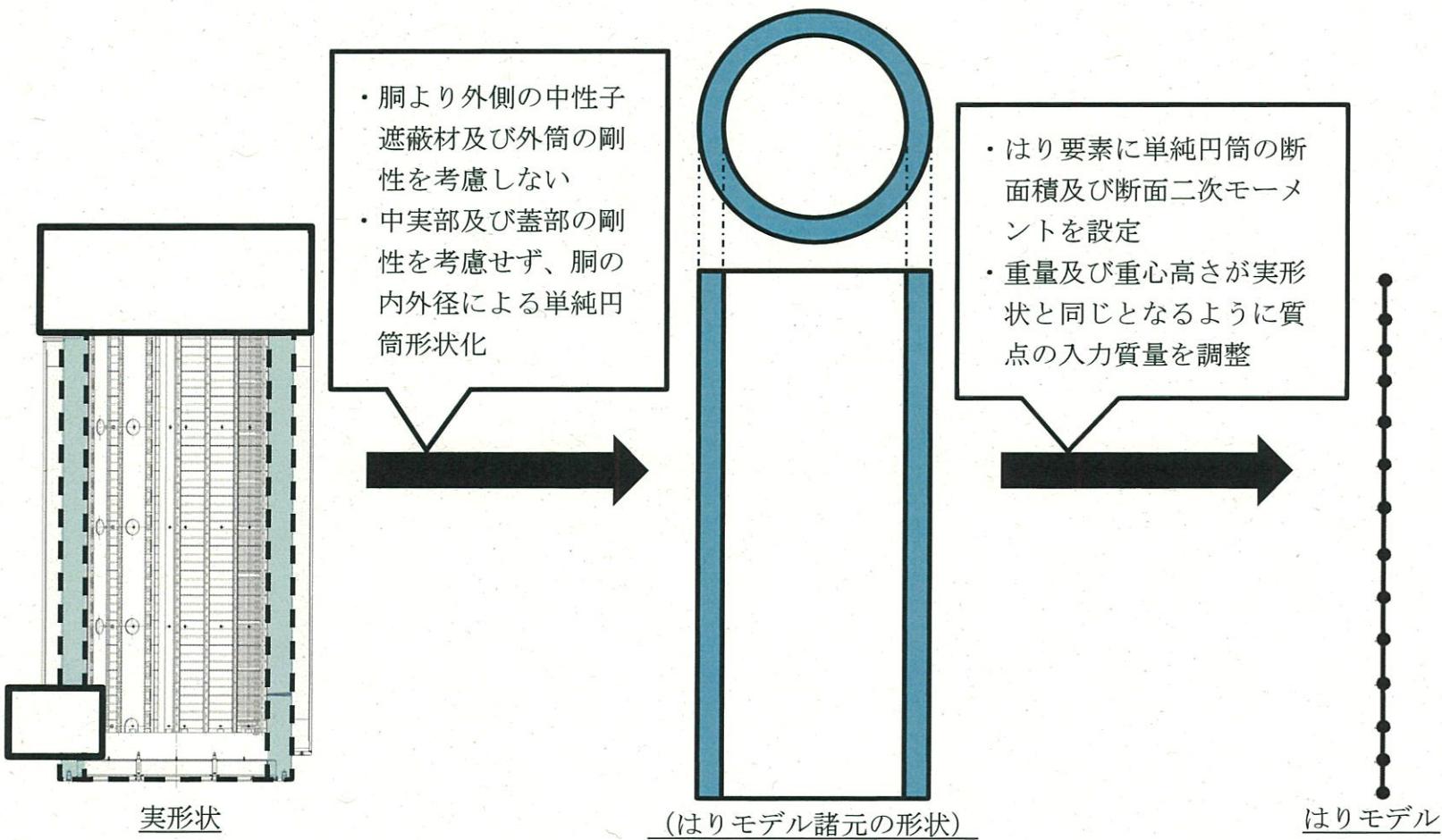
## 2.1 乾式キャスクのモデル化の考え方

乾式キャスクは、地震時にオーバル変形及びねじれ変形は生じないため、耐震評価で考慮すべき変形は曲げ変形のみであることから、はり要素及び質点でモデル化している。

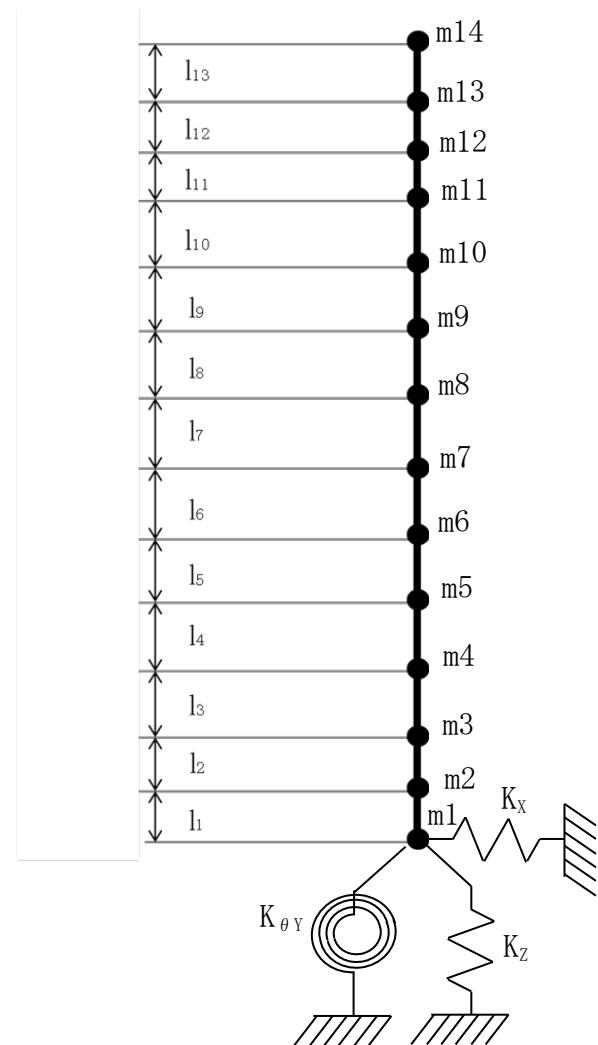
はりモデルの諸元は、胴の内外径による単純円筒を仮定した形状から設定している（第2.2図1/3を参照）。なお、胴より外側（中性子遮蔽材及び外筒）の重量については、モデルに組み込んでいる一方で、剛性についてはモデルに組み込んでいないため、実機よりも保守的な剛性となっている。また、燃料集合体については、乾式キャスク内の燃料集合体が存在する高さ及びその近傍の複数の質点に質量を分散して設定している。（第2.2図2/3を参照）。

さらに、はりモデルの各質点の高さは、基本的に乾式キャスクの構造不連続部に設定し、バスケット及び燃料集合体が収納される範囲については、形状に有意な構造不連続部がないため、均等に分割している（第2.2図3/3を参照）。

なお、はりモデルの1次固有振動モード及び1次固有振動数が実機を精緻に模擬したモデルとよく一致しており、上記のモデル化方法が問題ないことを確認している（添付1を参照）。

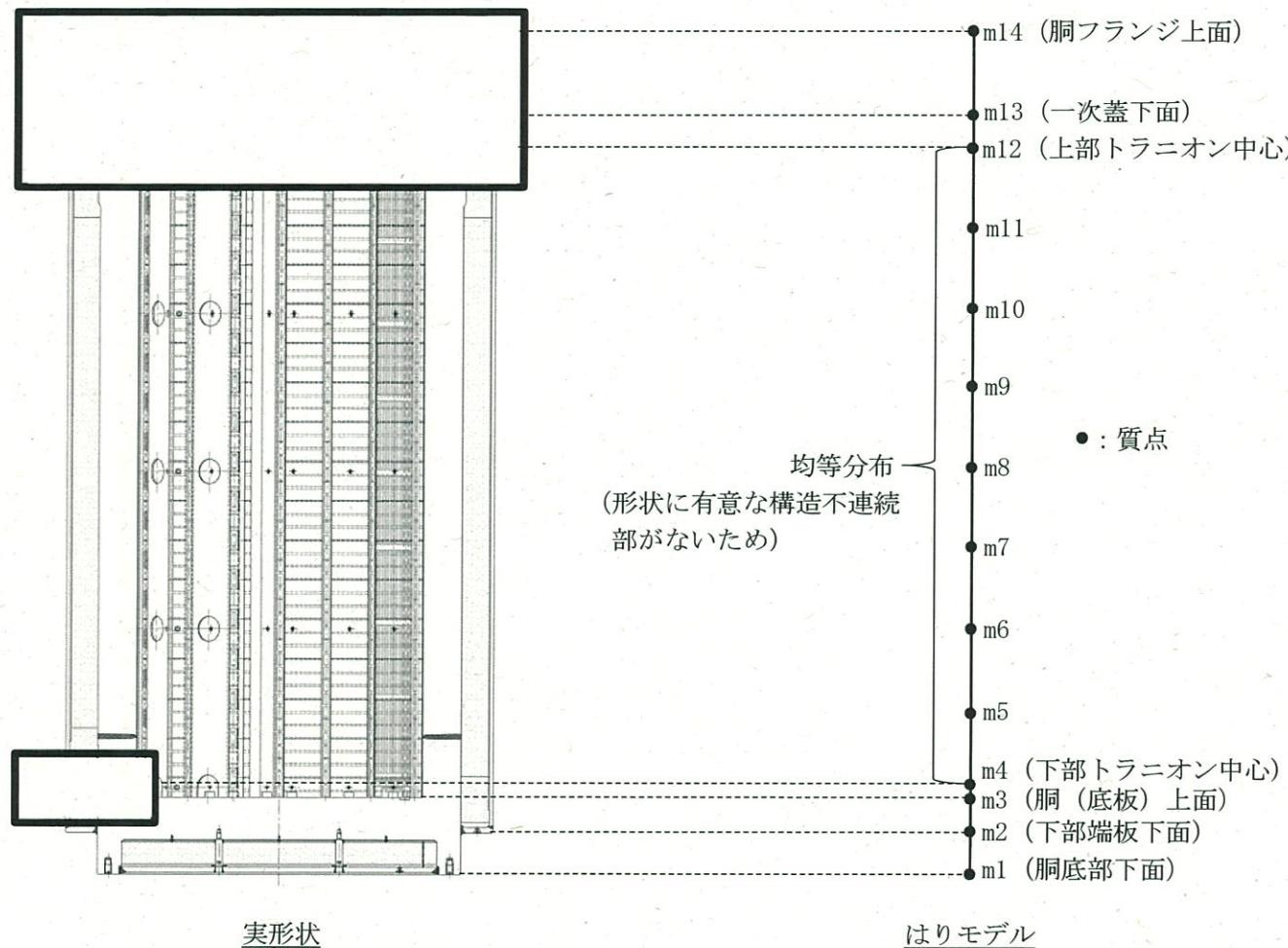


第2.2図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(1/3)



質点番号	燃料集合体の質量(ton)	
	乾式キャスク (タイプ1)	乾式キャスク (タイプ2)
m14	0	0
m13	0.0806	0.0753
m12	1.6173	1.4273
m11	2.2868	2.0180
m10	2.2868	2.0180
m9	2.2868	2.0180
m8	2.2868	2.0180
m7	2.2868	2.0180
m6	2.2868	2.0180
m5	2.2868	2.0180
m4	1.3330	1.1763
m3	0.1896	0.1673
m2	0	0
m1	0	0

第2.2図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(2/3)



第2.2図 乾式キャスクのはりモデル化の概要(3/3)

## 2.2 下部トラニオン及び貯蔵架台の剛性のモデル化の考え方

乾式キャスクは貯蔵架台に下部トラニオンを介して固定されており、地震時の乾式キャスクの応答挙動は下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）により抑制される。この時の下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性を線形ばねでモデル化している。

下部トラニオン及び貯蔵架台（固定装置）の剛性を模擬した線形ばねは、水平方向の並進ばね、鉛直方向の並進ばね及び回転ばねの3種類であり、全てばね剛性算出モデル（以下、三次元FEMモデルと称す）による解析結果から算出している。線形ばねの算出方法の詳細を2.2.1項に示す。なお、三次元FEMモデルは、地震時の乾式キャスクの挙動を精緻に模擬するために、乾式キャスクの底面及び貯蔵架台の間に非線形性を有する接触要素を設定しているが、傾き角、水平変位及び鉛直変位と入力加速度の関係が全て線形であり、回転剛性、水平方向の並進剛性及び鉛直方向の並進剛性を全て線形ばねとするモデル化に問題がないことを確認している（添付2を参照）。

ここで、水平方向の並進ばね及び回転ばねは、第2.3図に示す2方向（ケース1<sup>(注)</sup>及び2）で算出している。これは、乾式キャスクの傾き方向に応じた固有値を確認するためであり、ケース1の固有値がケース2よりも小さいことから（第2.1表及第2.2表を参照）、評価にはケース1の固有値を適用している。ただし、トラニオンに生じる荷重の計算条件は、ケース2の傾き方向としている。これは、ケース1よりもトラニオンに生じる荷重の計算値が大きくなるためである。

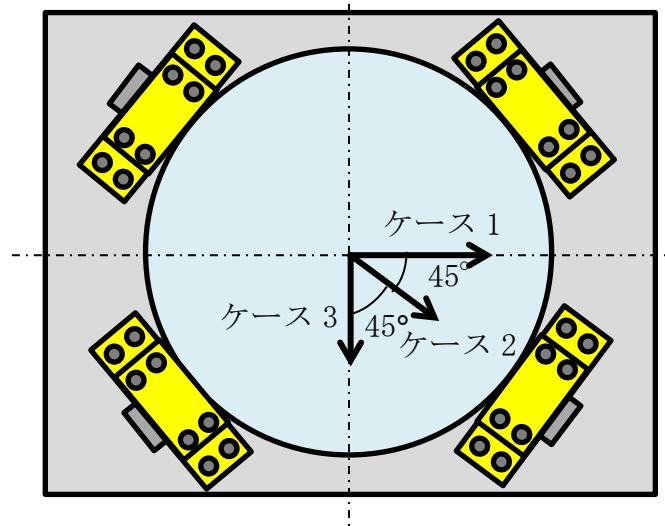
そのため、今回の工認評価では、ケース1の固有値に応じた入力加速度を用いながら、ケース2の傾き方向でトラニオンに生じる荷重を計算することで、保守的な荷重による評価を行っている。

なお、今回の工認のように、機器の挙動に係る周辺構造物の剛性を線形ばねでモデル化し、はりモデルと組み合わせる方法は伊方3号機の再稼働工認で炉内構造物等の地震応答解析に適用した実績がある。

(注) 断面2次モーメントが小さいほど、また、モーメント長さが長いほど柔となるため、第2.3図に示すケース1およびケース3の貯蔵架台の曲げ剛性を比較すると、架台の短辺側に断面2次モーメントが、長辺側にモーメント長さが設定されるケース1の方が柔側となる。

貯蔵架台の曲げ剛性に比べて、トラニオン及び固定装置の剛性の方が十分小さいことから、貯蔵架台の曲げ剛性の影響は軽微であるが、ケ

ス3よりも貯蔵架台の曲げ剛性が柔側に算出されるケース1にて固有周期を算出している。



第2.3図 ばね剛性算出における乾式キャスクの傾き方向

第2.1表 乾式キャスク（タイプ1）における1次固有振動数の比較

	ケース1	ケース2
水平方向の1次固有振動数 (Hz)	15.5	16.7
鉛直方向の1次固有振動数 (Hz)	38.8	

第2.2表 乾式キャスク（タイプ2）における1次固有振動数の比較

	ケース1	ケース2
水平方向の1次固有振動数 (Hz)	15.2	16.4
鉛直方向の1次固有振動数 (Hz)	37.5	

## 2.2.1 線形ばねの算出方法

線形ばねの算出結果を第 2.3 表及び第 2.4 表に示す。これらは全て、第 2.4 図及び第 2.5 図に示す三次元 FEM モデルによる静解析結果から算出している。この三次元 FEM モデル<sup>(注)</sup>は、下部トラニオン及び固定装置をはり要素で、それ以外の部位を三次元要素で、剛性をモデル化している。なお、燃料集合体については、乾式キャスクと締結しておらず、モデル全体の剛性に寄与しないため、考慮していない。

各線形ばねの算出方法を(1)～(3)に示す。

なお、第 2.4 図に示す三次元 FEM モデル（回転ばね剛性及び水平ばね剛性の算出に適用）は、乾式キャスクが傾こうとする方向の下部トラニオン及び固定装置をモデル化していない。この方向に位置する下部トラニオンの運動方向は鉛直下向きであり、乾式キャスクの運動を抑制する力を受け持たないためである（第 2.6 図を参照）。

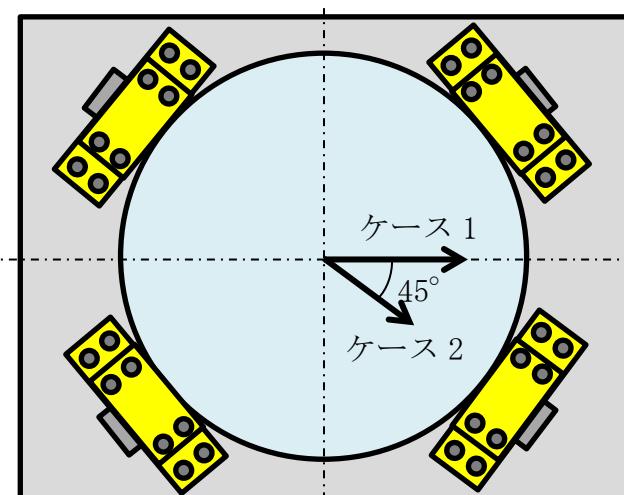
(注) 線形ばねの算出に適用した三次元 FEM モデルは、妥当な条件で固有値解析を行うことが困難である。この三次元 FEM モデルには、乾式キャスク底面及び貯蔵架台の接触状態を模擬するために、これらの接触面に接触要素を設定しているが、固有値解析には、これらの接触面を固着する条件しか適用できないためである。なお、固着条件で算出した固有値は約 25Hz であり、評価に適用している固有値（15.4Hz）と比較して大幅に非保守側の結果となる。

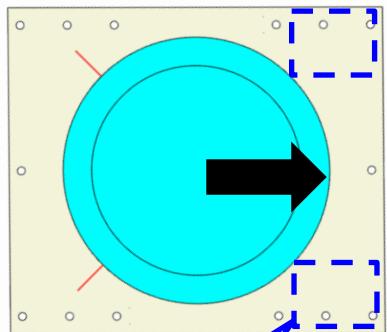
第2.3表 乾式キャスク（タイプ1）におけるばね剛性の算出結果

ばね剛性	剛性値	
	ケース1 (下図参照)	ケース2 (下図参照)
回転ばね剛性 (N・m/rad)	$1.924 \times 10^{10}$	$1.904 \times 10^{10}$
水平ばね剛性 (N/m)	$2.889 \times 10^9$	$5.164 \times 10^9$
鉛直ばね剛性 (N/m)		$7.286 \times 10^9$

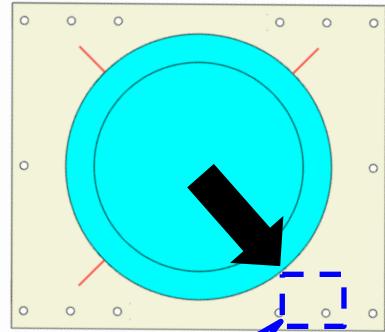
第2.4表 乾式キャスク（タイプ2）におけるばね剛性の算出結果

ばね剛性	剛性値	
	ケース1 (下図参照)	ケース2 (下図参照)
回転ばね剛性 (N・m/rad)	$1.766 \times 10^{10}$	$1.740 \times 10^{10}$
水平ばね剛性 (N/m)	$2.860 \times 10^9$	$5.126 \times 10^9$
鉛直ばね剛性 (N/m)		$6.748 \times 10^9$

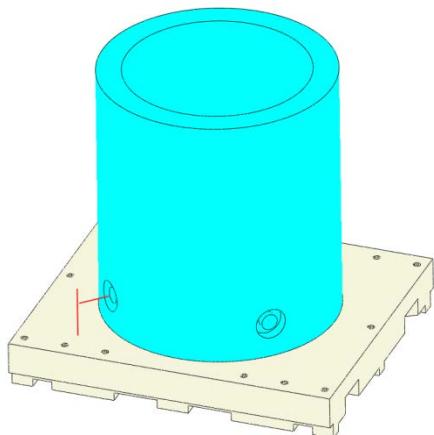




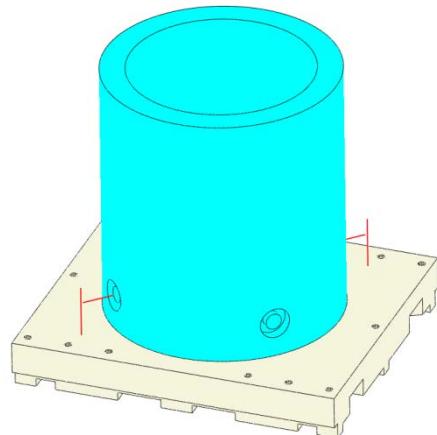
はり要素なし



はり要素なし

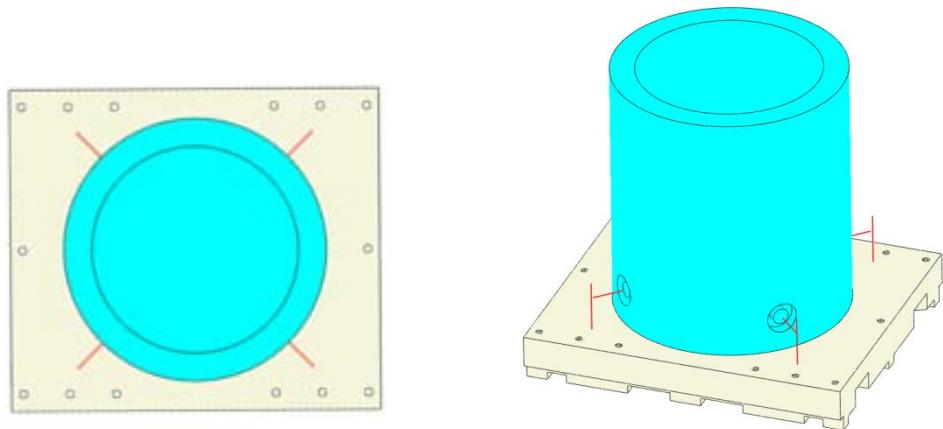


ケース 1 の傾き方向

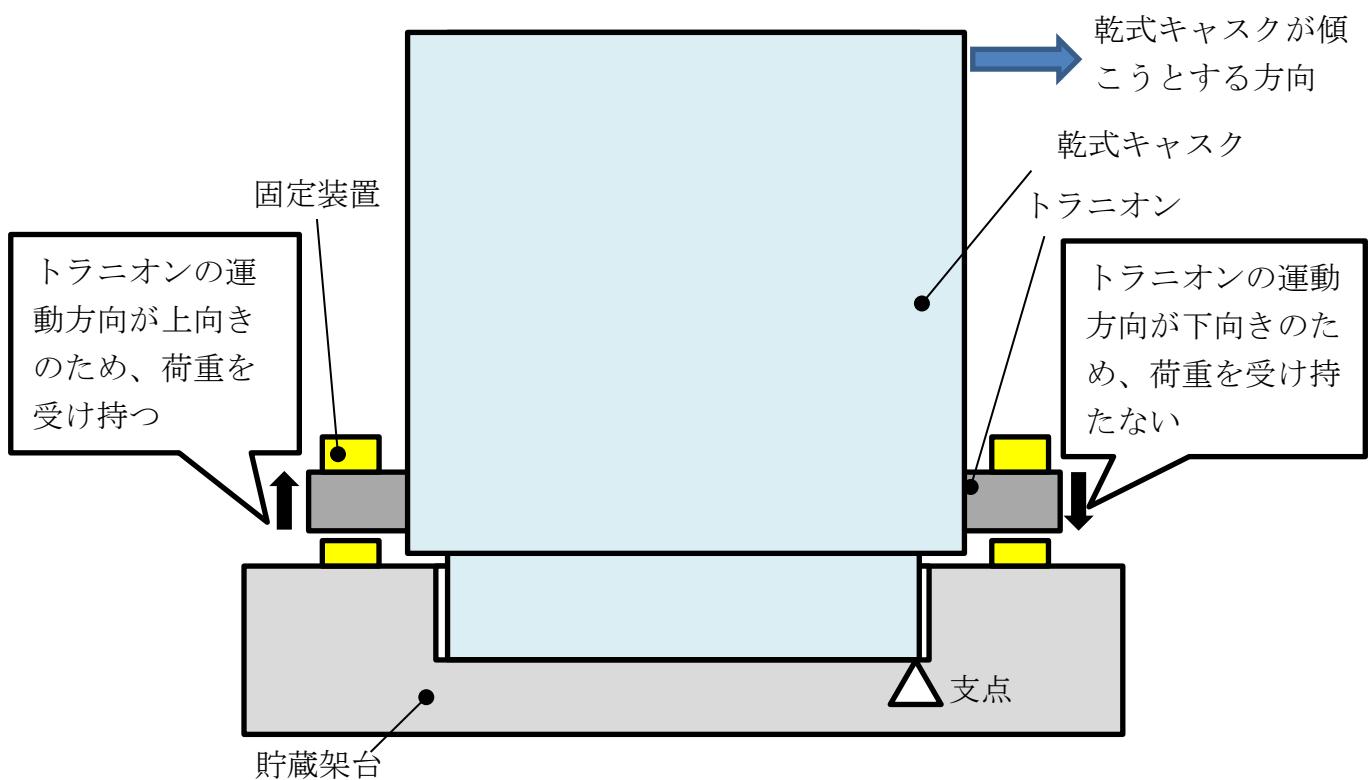


ケース 2 の傾き方向

第 2.4 図 三次元 FEM モデル (水平方向)



第2.5図 三次元FEMモデル（鉛直方向）

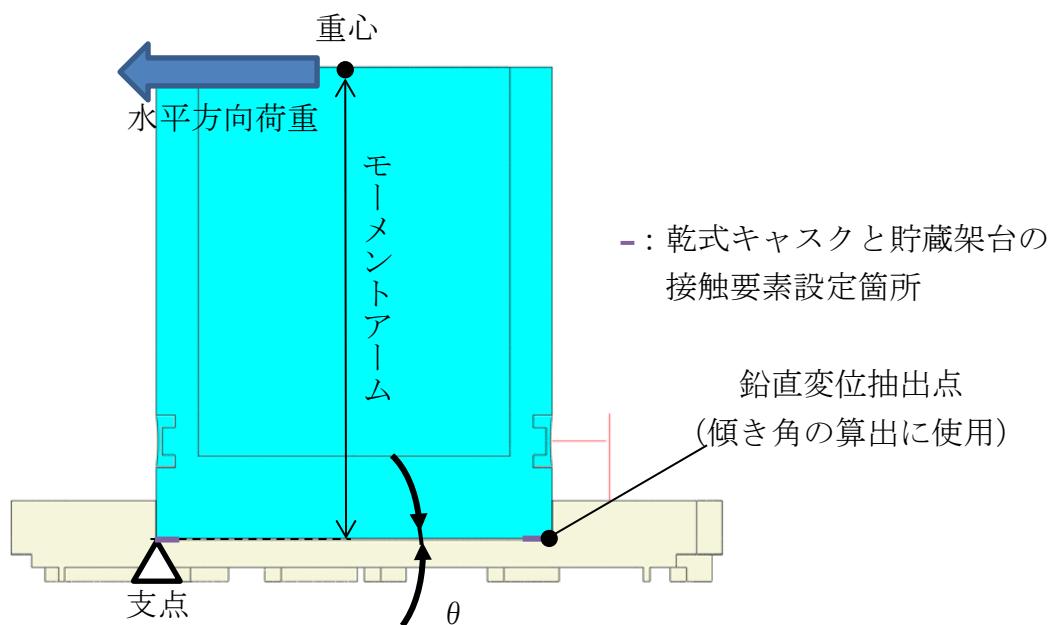


第2.6図 回転モーメントのつり合い

### (1) 回転ばね剛性の算出方法

三次元 FEM モデルの乾式キャスクの重心に水平方向荷重を負荷することで、第 2.7 図のように乾式キャスクが傾こうとする。その時の傾き角、負荷した荷重及びモーメントアームを(1)式に代入して算出している。

$$\text{回転ばね剛性} = \frac{\text{水平方向荷重} \times \text{モーメントアーム}}{\text{傾き角 } \theta} \cdots (1)$$



第2.7図 回転ばね剛性算出の概要

## (2) 水平ばね剛性の算出方法

剛性算出に用いる解析は、回転ばね剛性と同じである。水平ばね剛性は、(2)式のように、水平方向の負荷荷重を乾式キャスクの横滑りによる変位で割ることで算出している。

$$\begin{aligned} \text{水平ばね剛性} &= \frac{\text{水平方向荷重}}{\text{乾式キャスクの横滑りによる変位}} \\ &= \frac{\text{水平方向荷重}}{\text{解析で算出した水平変位} - \text{傾きによる水平変位}} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

$$\text{傾きによる水平変位} = \text{乾式キャスク底部外径} \times (1 - \cos \theta) \quad \dots (3)$$

## (3) 鉛直ばね剛性の算出方法

鉛直ばね剛性は、三次元 FEM モデルの乾式キャスクの重心に鉛直上向き方向<sup>(注)</sup>の荷重を負荷した時の重心の鉛直方向変位量、及び負荷した荷重を(4)式に代入して算出している。

$$\text{鉛直ばね剛性} = \frac{\text{鉛直方向荷重}}{\text{重心の鉛直方向変位}} \quad \dots (4)$$

(注) 鉛直下向き方向に荷重を負荷した場合は、乾式キャスクが貯蔵架台に押し付けられることから、上向きに荷重を負荷した場合よりも高い剛性となるため、上向きを代表としている。

### 3. まとめ

本資料では、乾式キャスク及び貯蔵架台の耐震評価に適用した固有値解析モデルについて、2.1 項にて乾式キャスクのモデル化の考え方を、2.2 項にて剛性のモデル化の考え方を検討した。

本モデル化の考え方は、炉内構造物等の地震応答解析に適用した実績があり、各検討において、工認適用モデルと三次元 FEM モデル等の比較により、適切にモデル化されていることを確認した。

### 三次元要素モデルとはりモデルの固有値解析結果の比較

乾式キャスク（タイプ1）における三次元要素モデル及びはりモデルにおける固有値解析結果の比較を第1表に示す。また、乾式キャスク（タイプ2）における三次元要素モデル及びはりモデルにおける固有値解析結果の比較を第2表に示す。乾式キャスク（タイプ1）及び乾式キャスク（タイプ2）において、はりモデルの1次固有振動モード及び1次固有振動数は共に三次元要素モデルとよく一致している。

第1表 1次固有振動数の比較 (乾式キャスク (タイプ1))

モデル化要素	三次元要素	はり要素及び質点
1次固有振動モード		
1次固有振動数 [Hz]	41.5	41.2

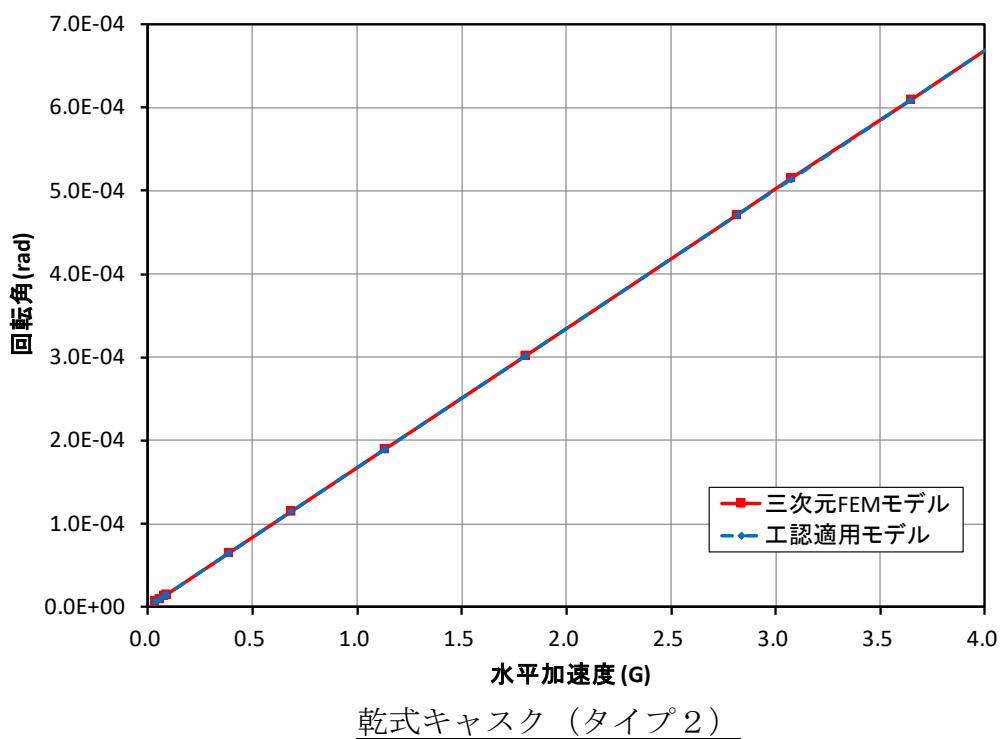
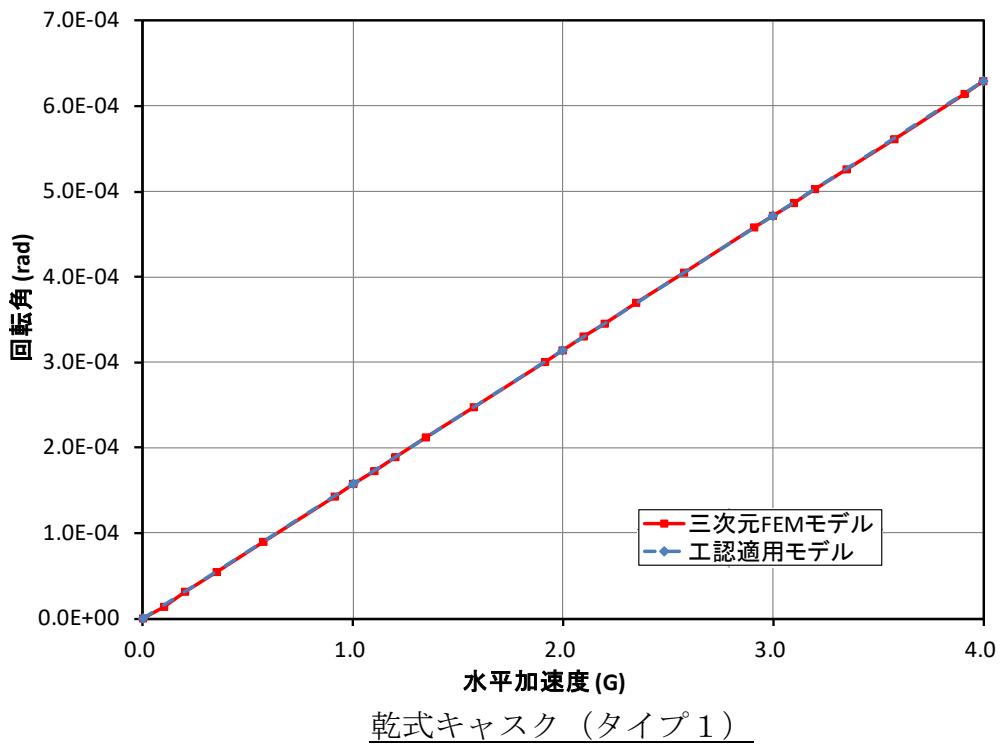
第2表 固有振動数の比較 (乾式キャスク (タイプ2))

モデル化要素	三次元要素	はり要素及び質点
1次固有振動モード		
1次固有振動数 [Hz]	42.1	42.0

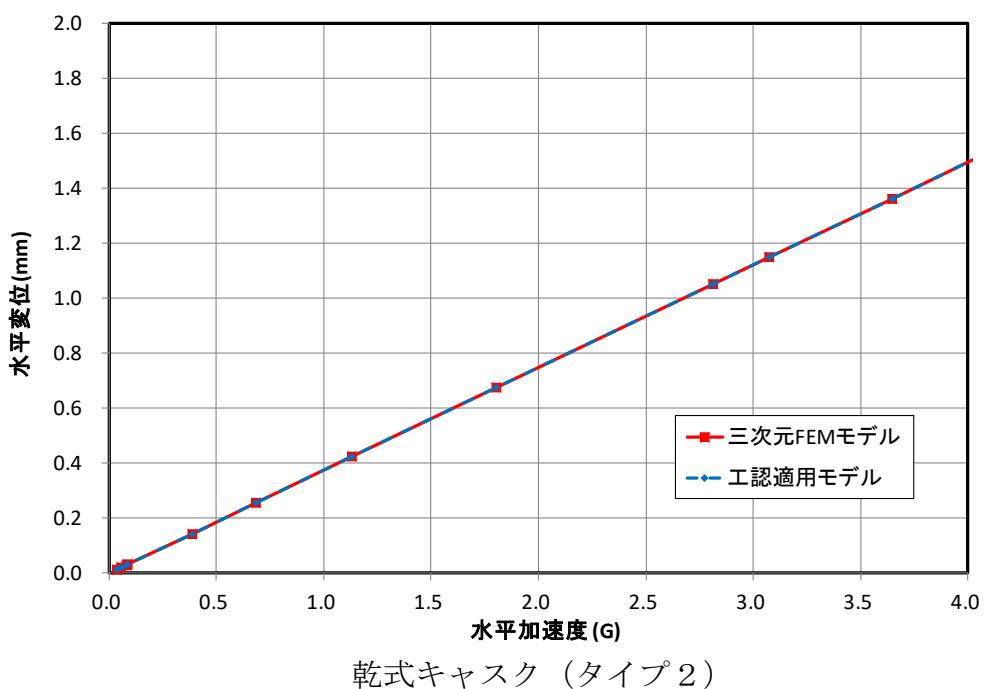
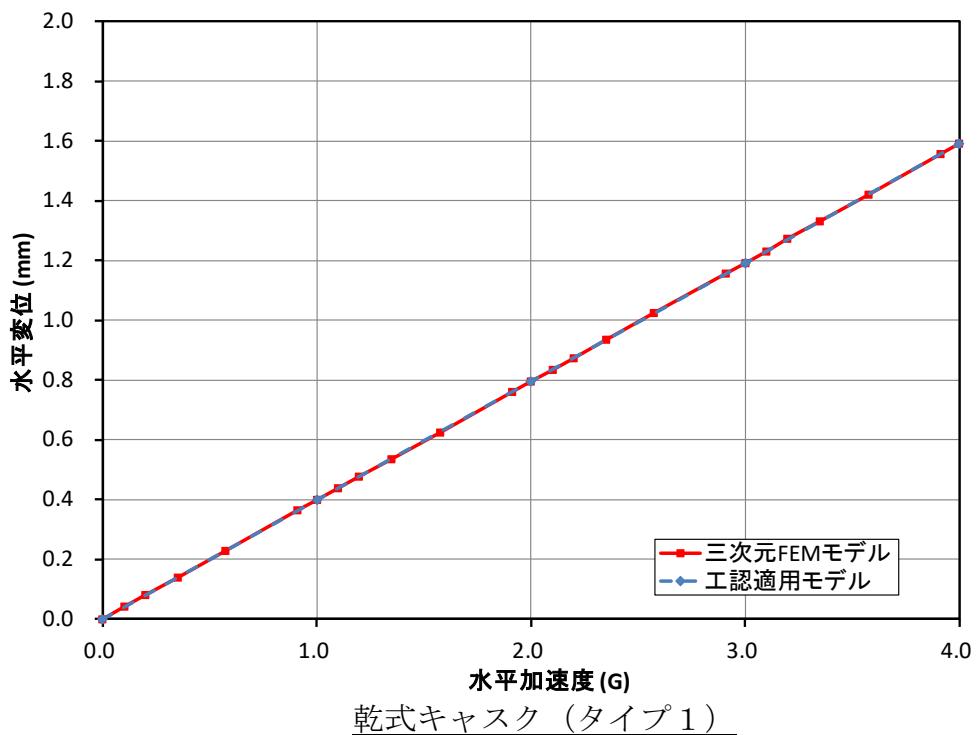
### 三次元 FEM モデルで算出した傾き角及び変位と入力加速度の関係

工認適用モデルにおける乾式キャスクの重心位置に加速度を入力して算出した傾き角、水平方向変位及び鉛直方向変位について、乾式キャスク（タイプ 1）及び乾式キャスク（タイプ 2）の結果を第 1 図～第 3 図に示す。

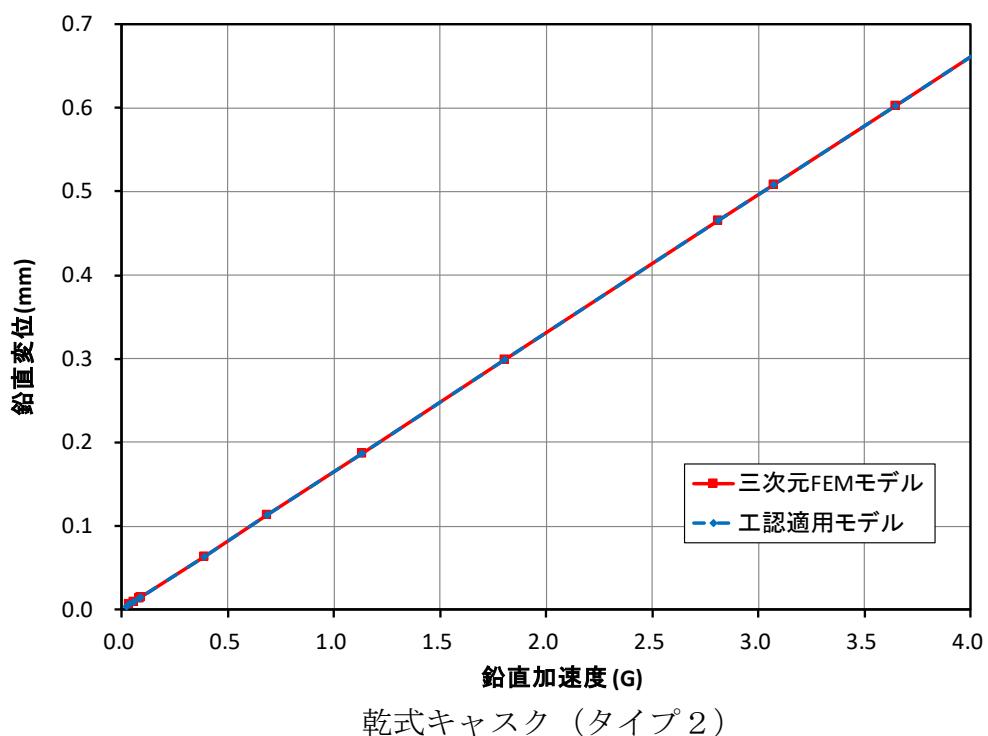
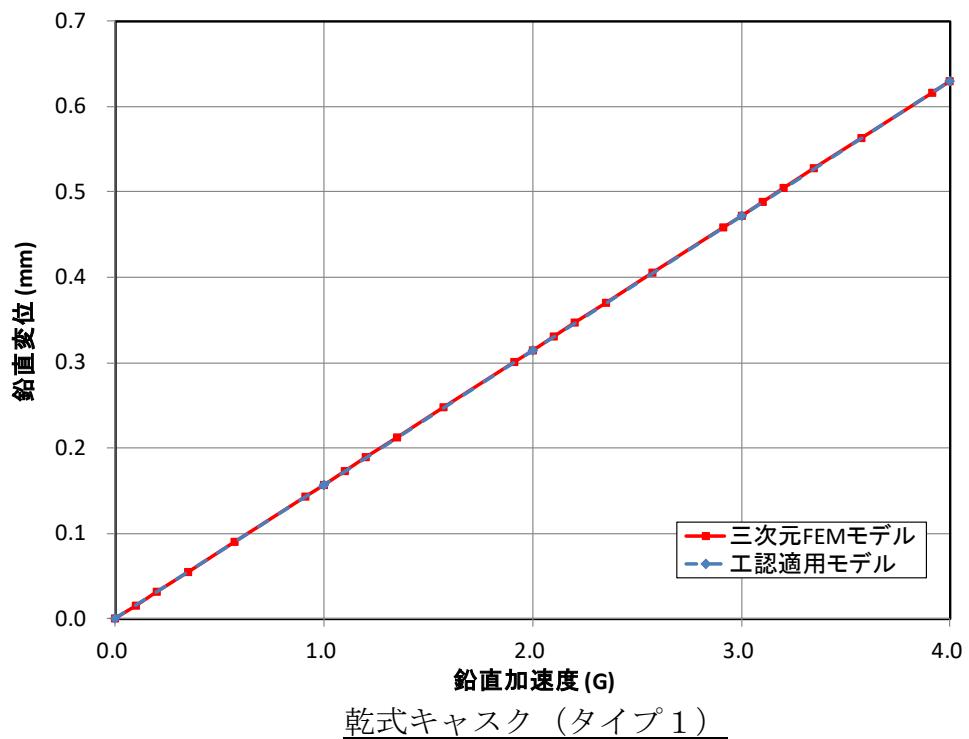
第 1 図～第 3 図に示した結果より、工認適用モデルの重心位置に加速度を入力して算出した傾き角、水平方向変位及び鉛直方向変位が、三次元 FEM モデルの算出値とよく一致していることを確認した。



第1図 乾式キャスクの傾き角の比較



第2図 乾式キャスクの水平変位の比較



第3図 乾式キャスクの重心位置における鉛直方向変位の比較