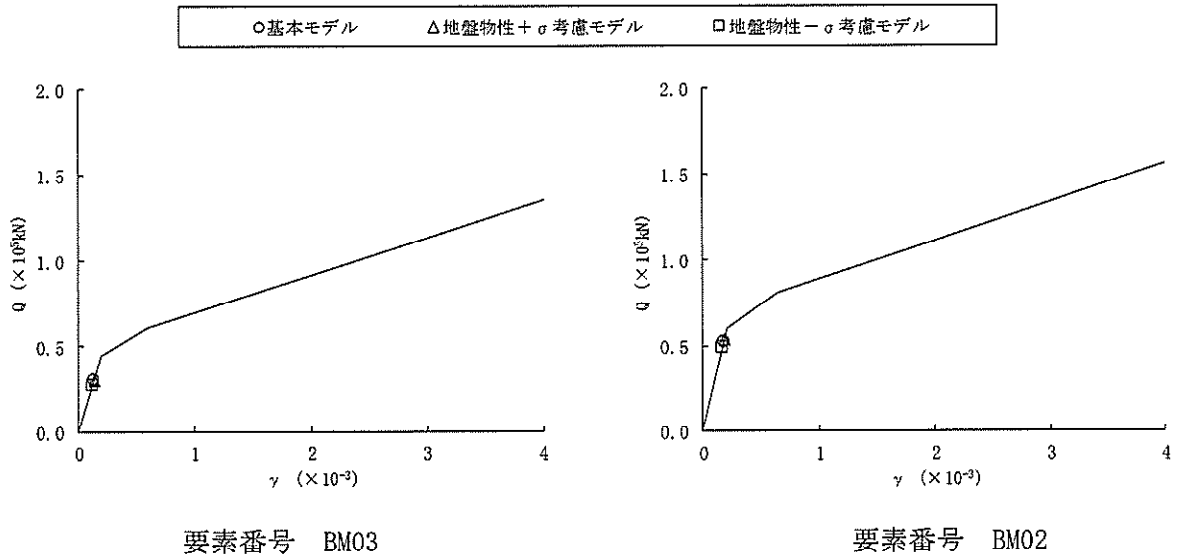
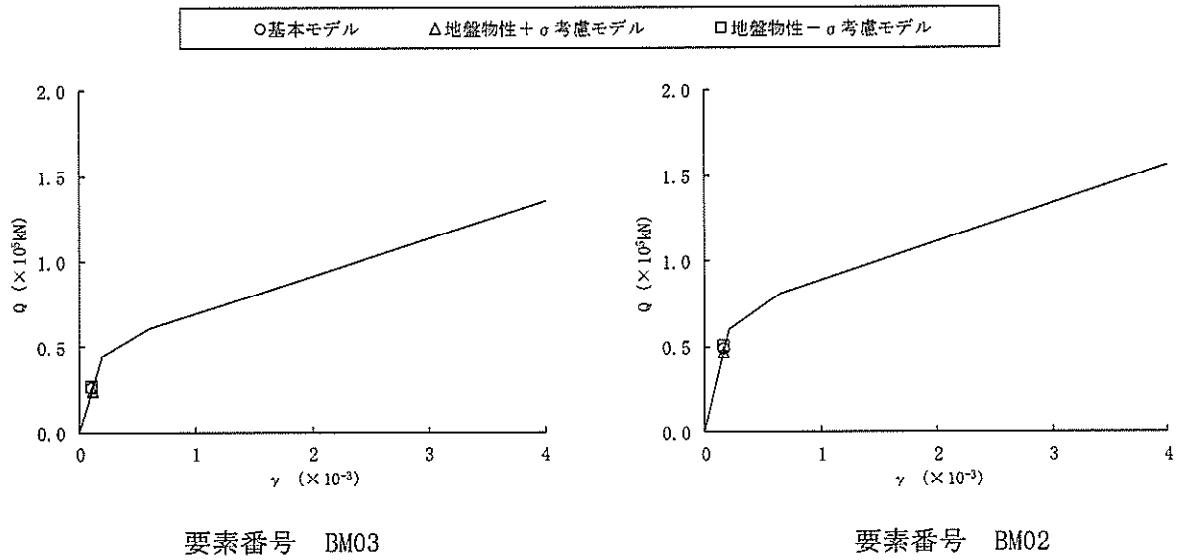


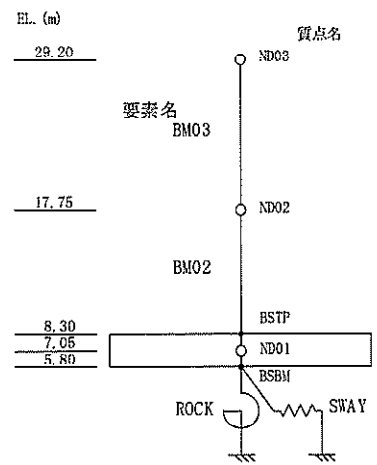
図 2-75 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_d , NS 方向)



(c) S_d-22



(d) S_d-31



地震応答解析モデル

図 2-75 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_d , NS 方向)

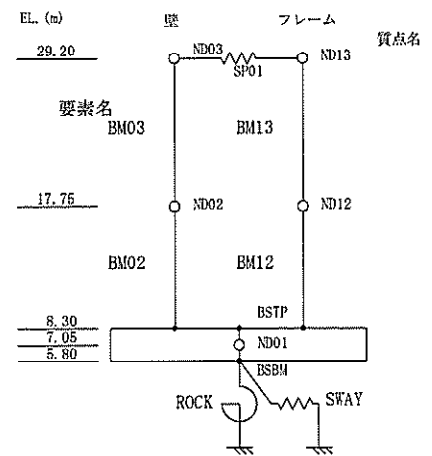
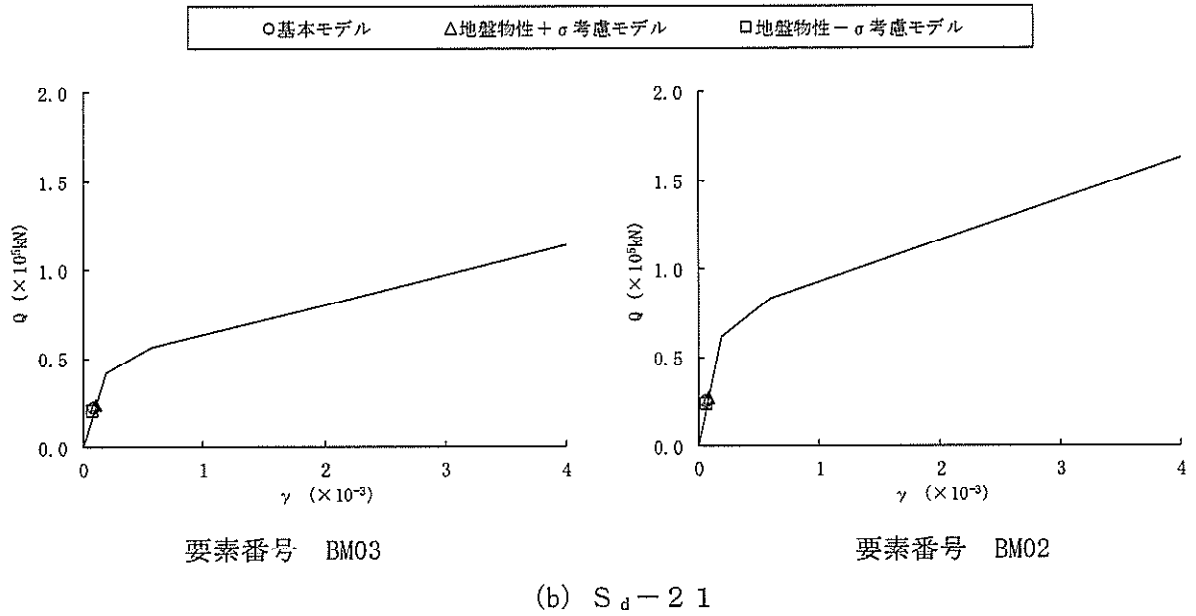
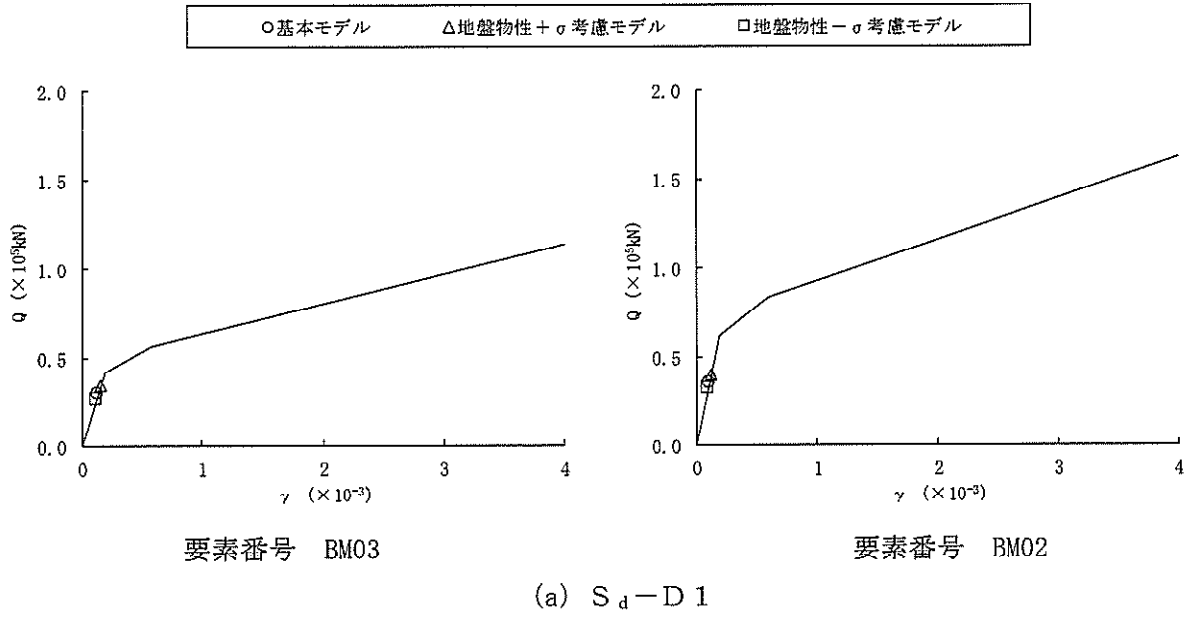


図 2-76 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_d , EW 方向)

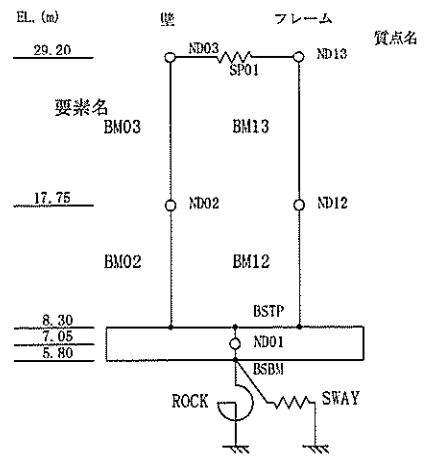
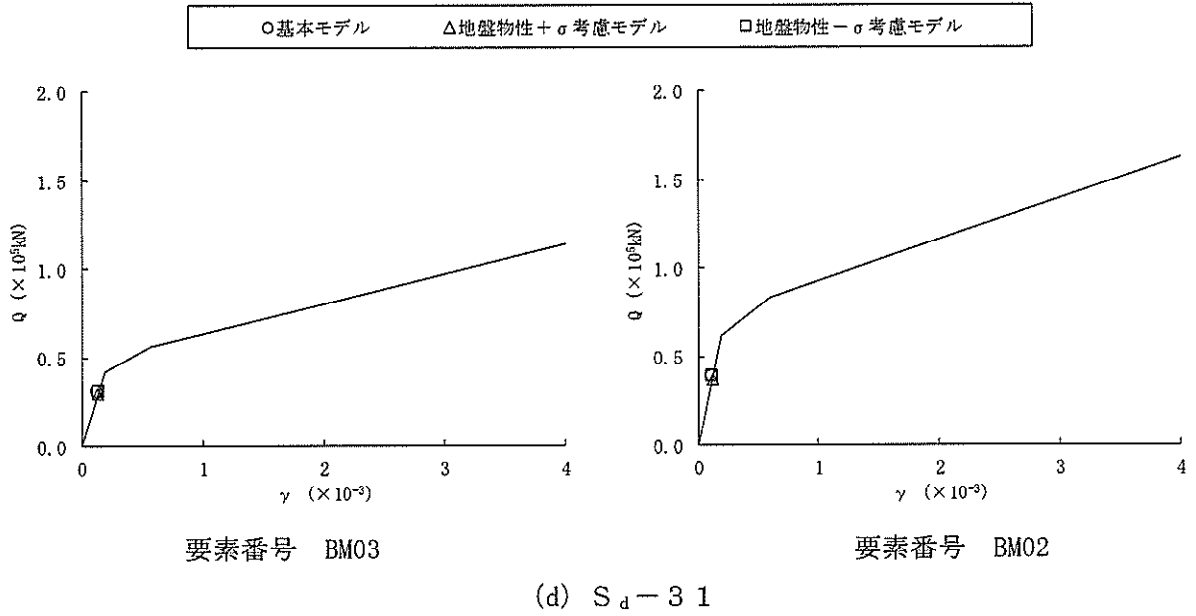
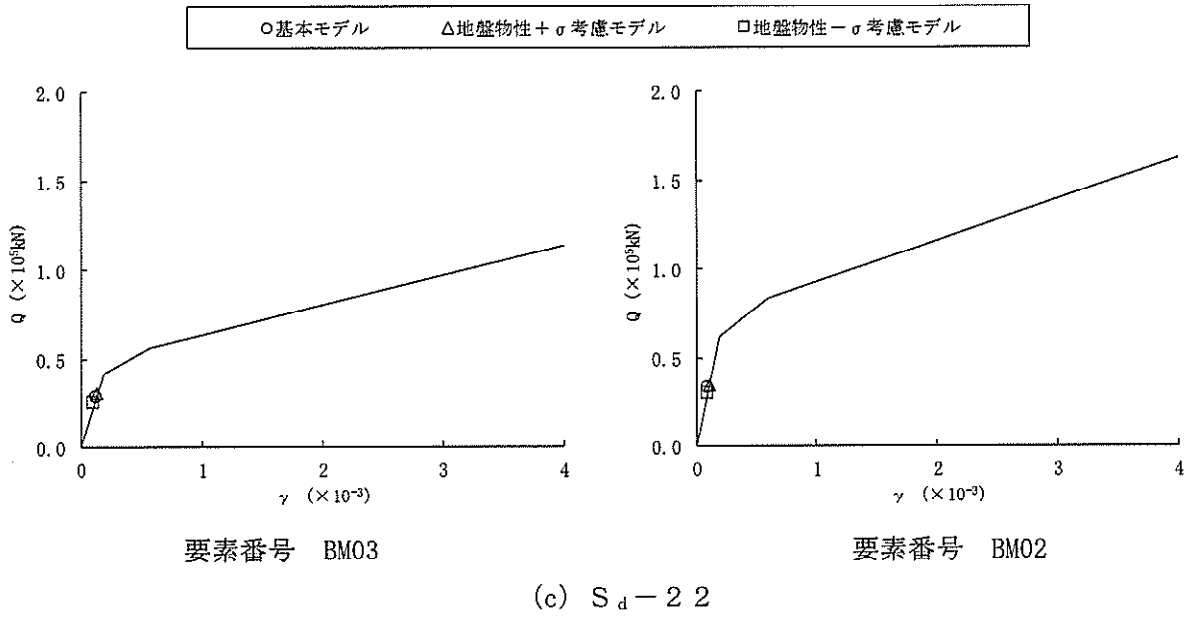


図 2-76 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_d , EW 方向)

2.3 主排気筒

2.3.1 地盤物性のばらつきの設定

地盤物性のばらつきのうち、支持地盤については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは、 $\pm\sigma$ 相当として、変動係数10%を考慮する。また、表層地盤については、地盤改良の実施にあたり改良目標値として設定した値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは、地盤改良を実施する計画であることから、主排気筒近傍にて実施した地盤改良試験施工の試験結果から得られた値の平均値及び試験結果を統計処理して得られた $\pm\sigma$ を考慮する。

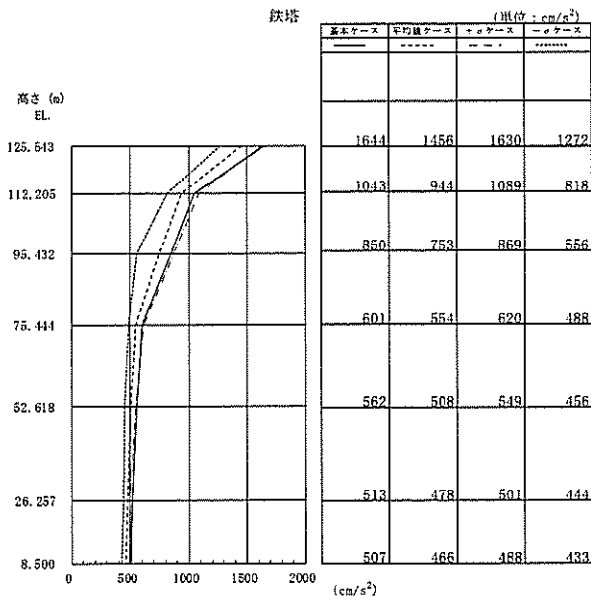
主排気筒における地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケースを表 2-3 に示す。

表 2-3 地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

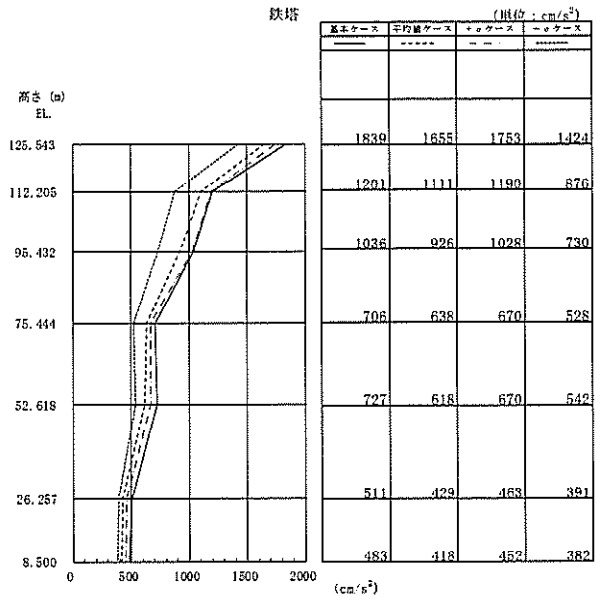
	モデル名称	地盤物性
基本ケース	基本モデル	改良目標値
地盤物性の変動による影響	基本モデル	平均値
	上限値モデル	$+\sigma$ 相当
	下限値モデル	$-\sigma$ 相当

2.3.2 地震応答解析結果

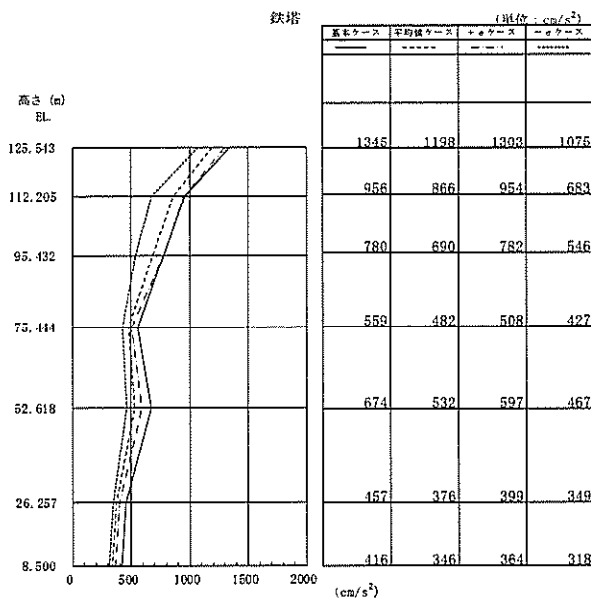
主排気筒の地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果の最大応答値の比較を図 2-77～図 2-114 に示す。



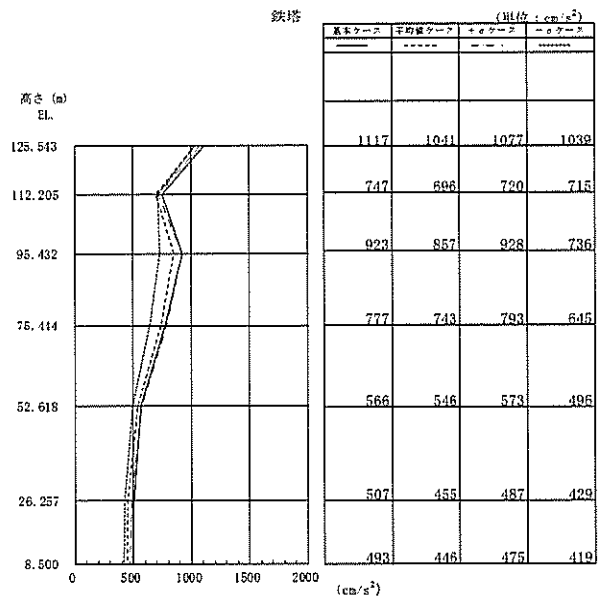
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

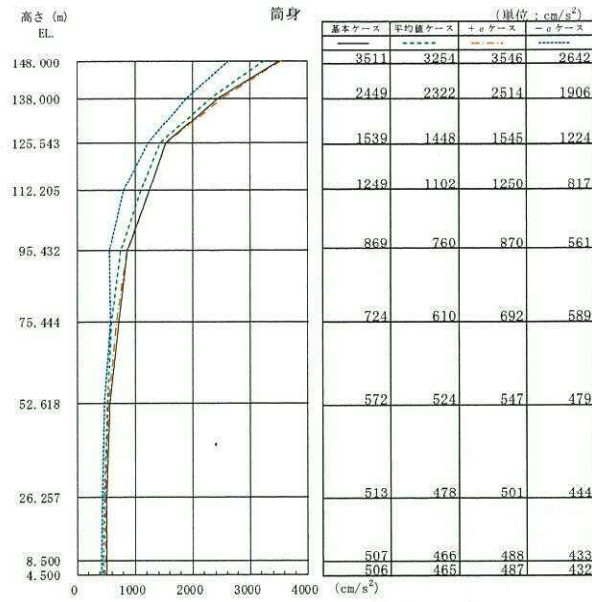


(c) $S_s - 2 2$

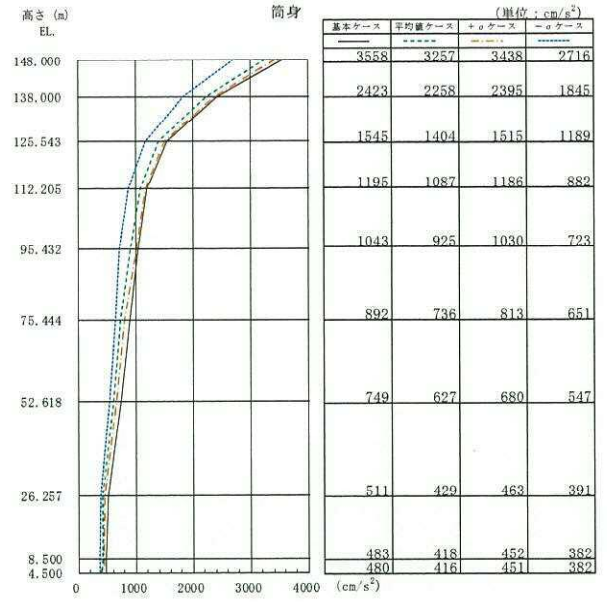


(d) $S_s - 3 1$

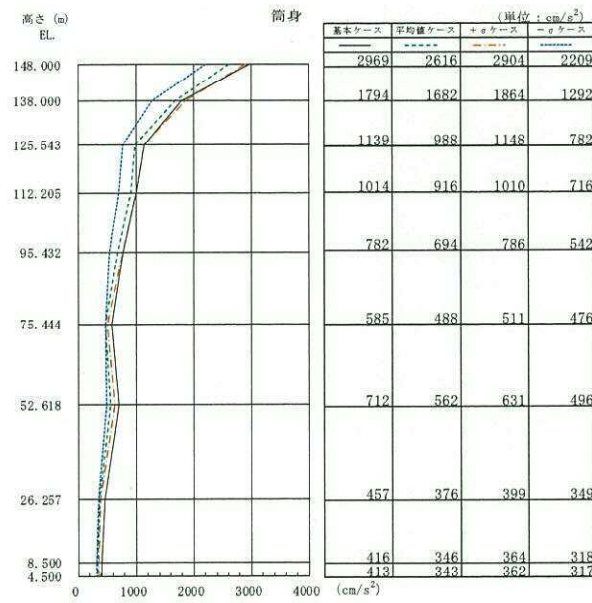
図 2-77 最大応答加速度 (NS 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



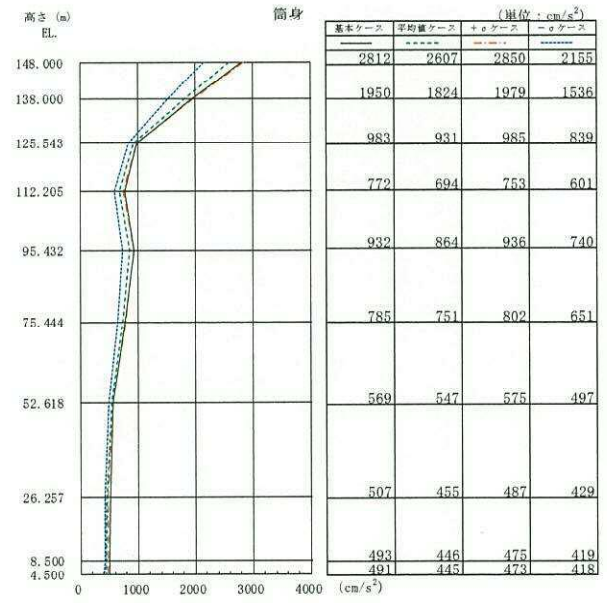
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

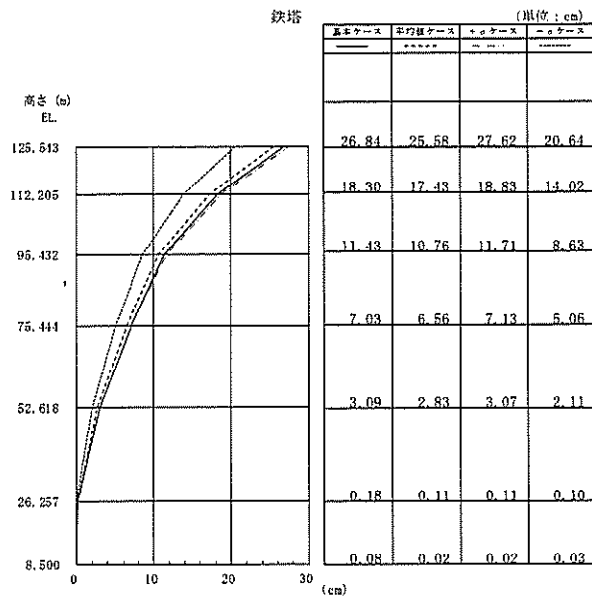


(c) $S_s - 2 2$

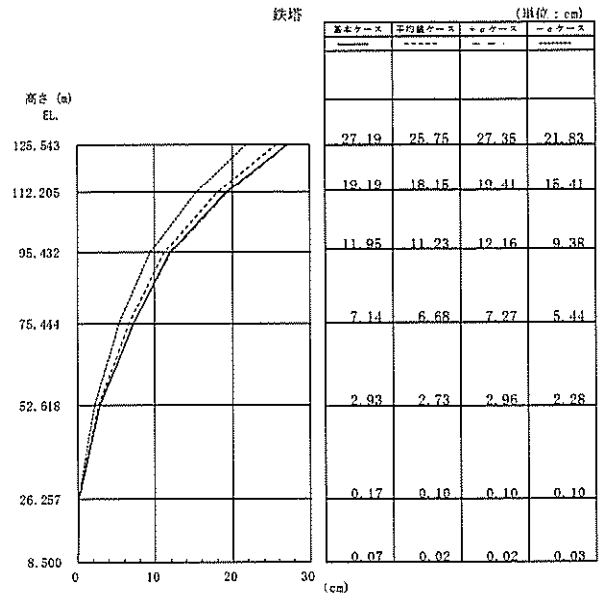


(d) $S_s - 3 1$

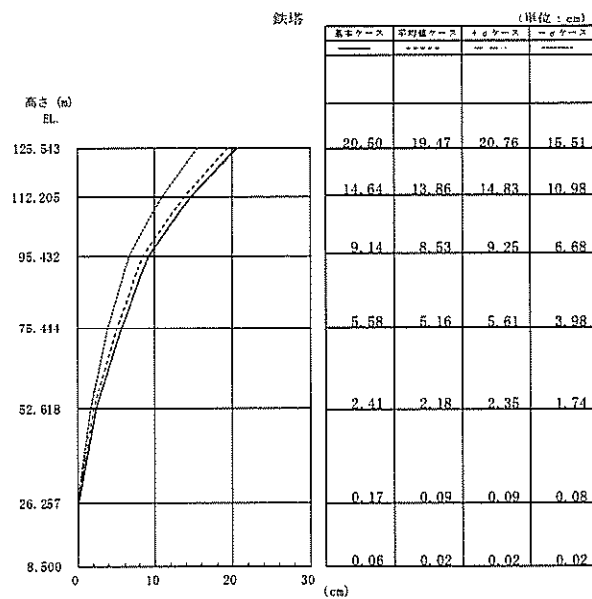
図 2-78 最大応答加速度 (NS 方向, 水平 0 度, 筒身)



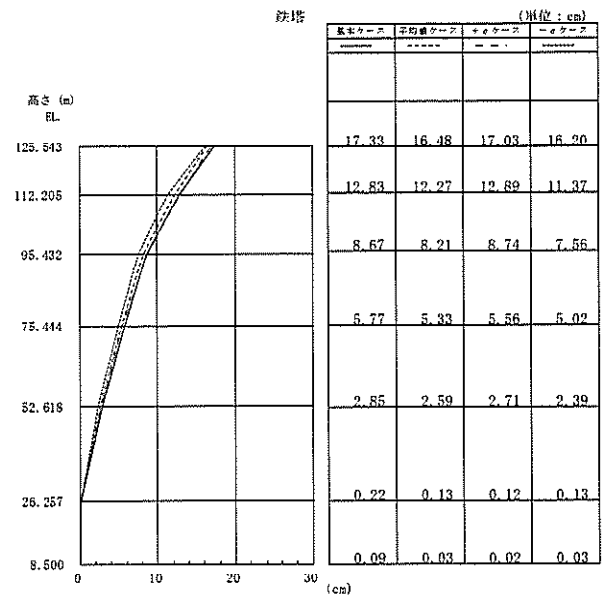
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

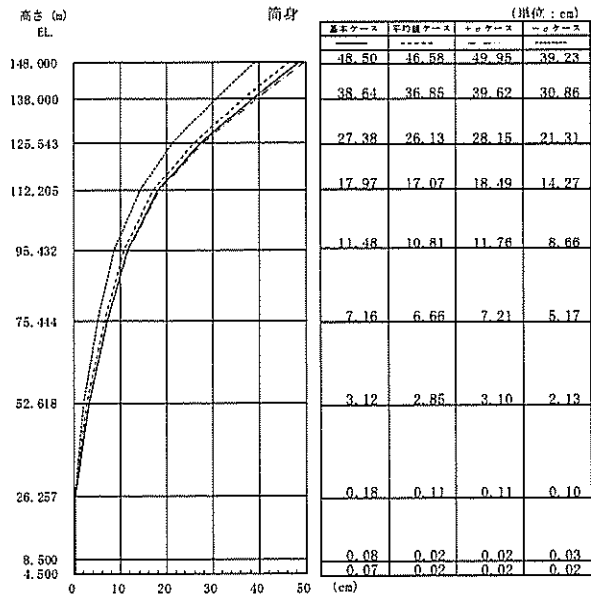


(c) S_s-2 2

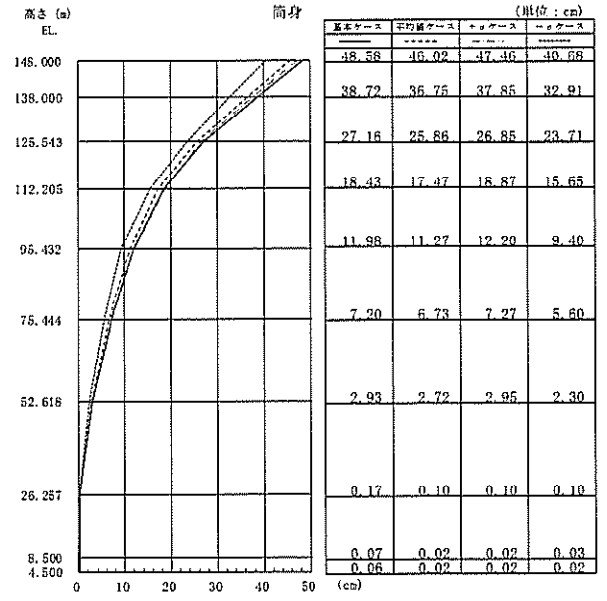


(d) S_s-3 1

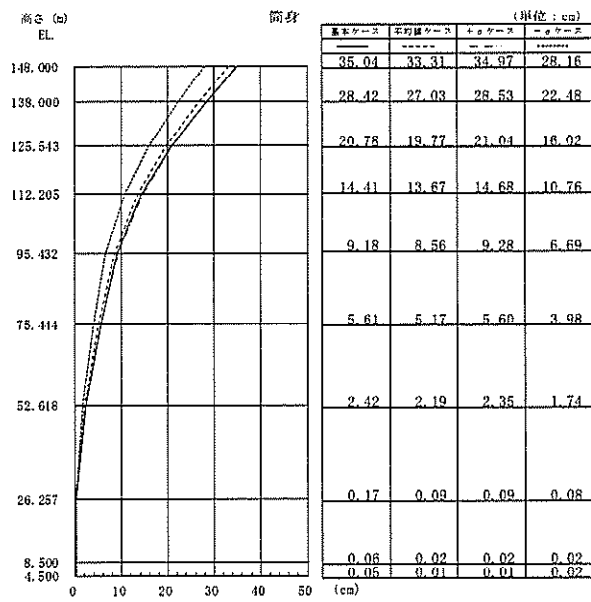
図 2-79 最大応答変位 (NS 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



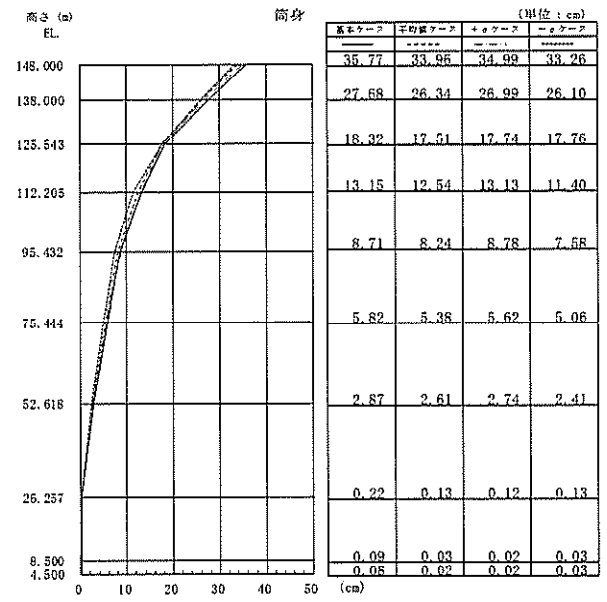
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

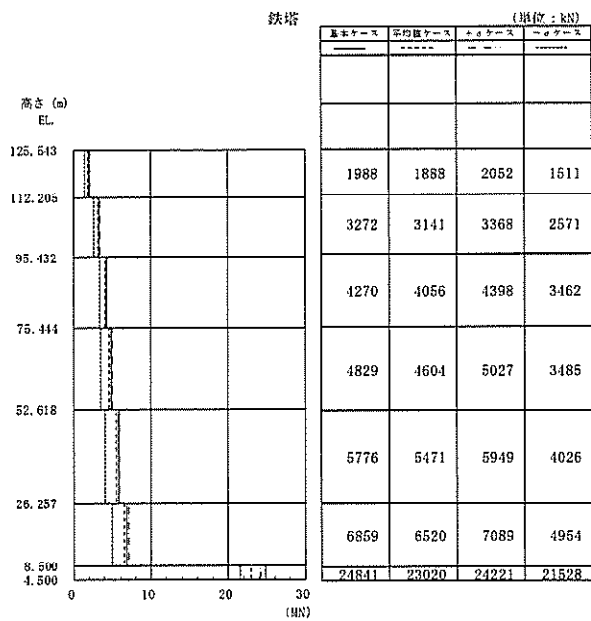


(c) S_s-2 2

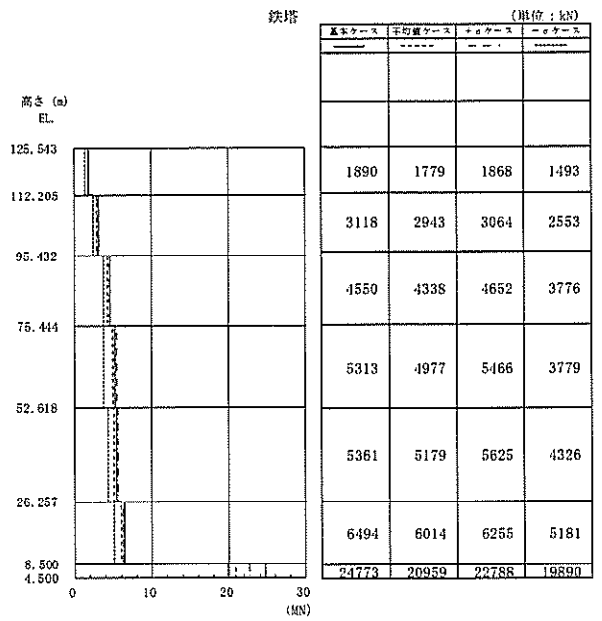


(d) S_s-3 1

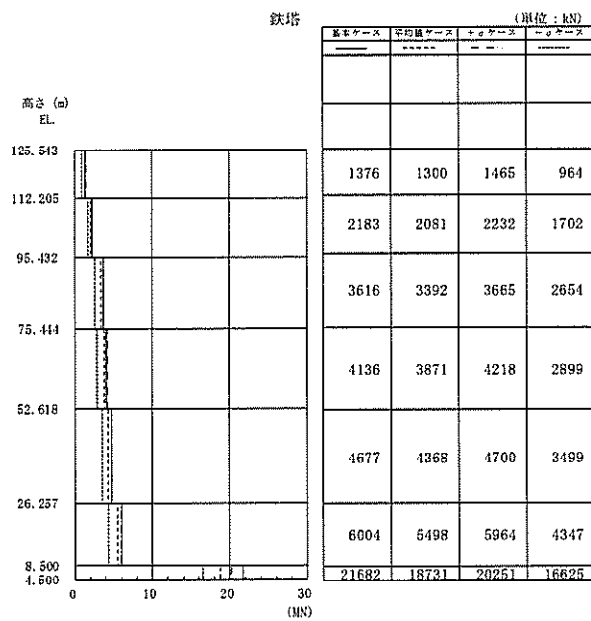
図 2-80 最大応答変位 (NS 方向, 水平 0 度, 筒身)



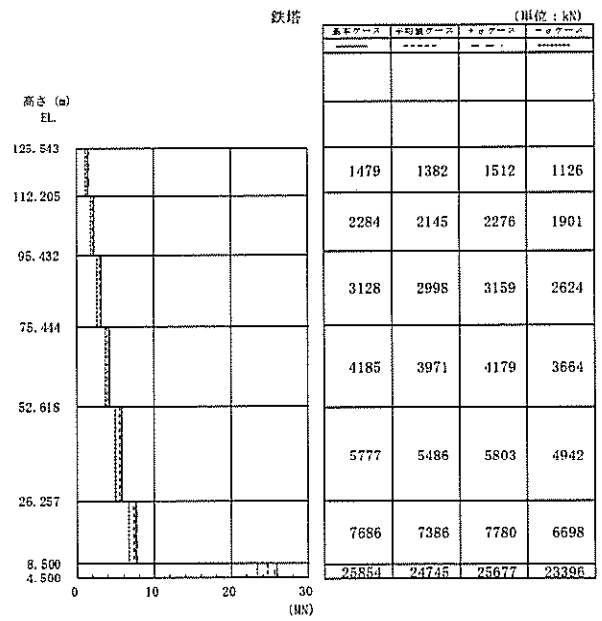
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

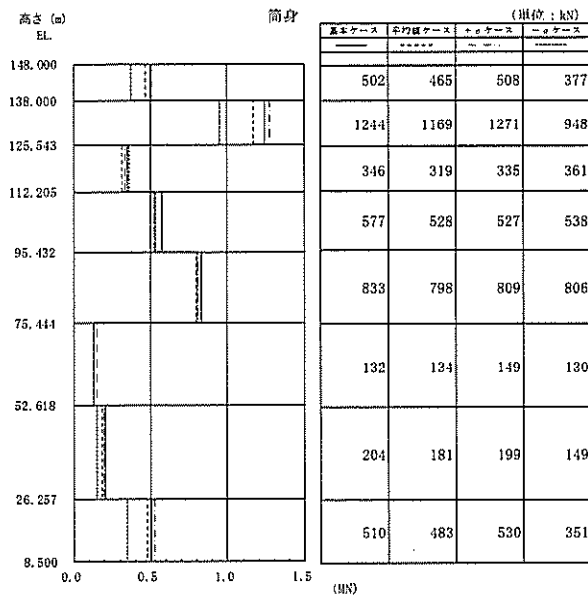


(c) S_s-2 2

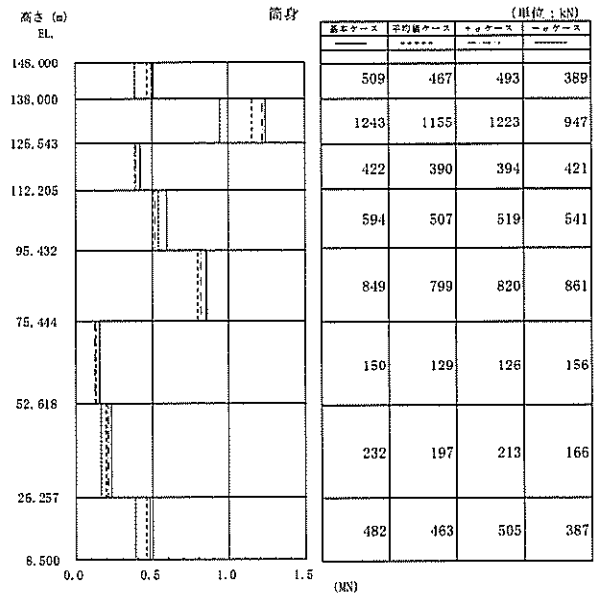


(d) S_s-3 1

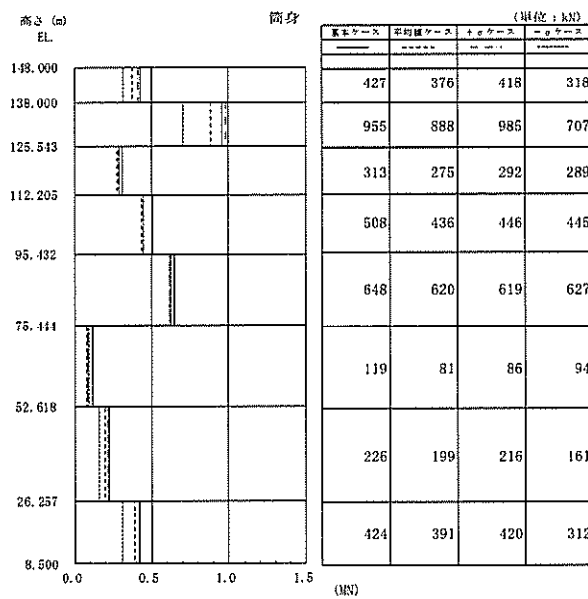
図 2-81 最大応答せん断力 (NS 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



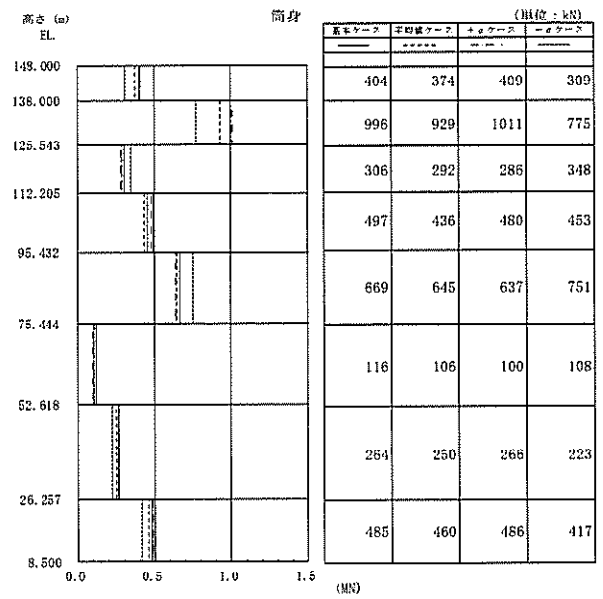
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

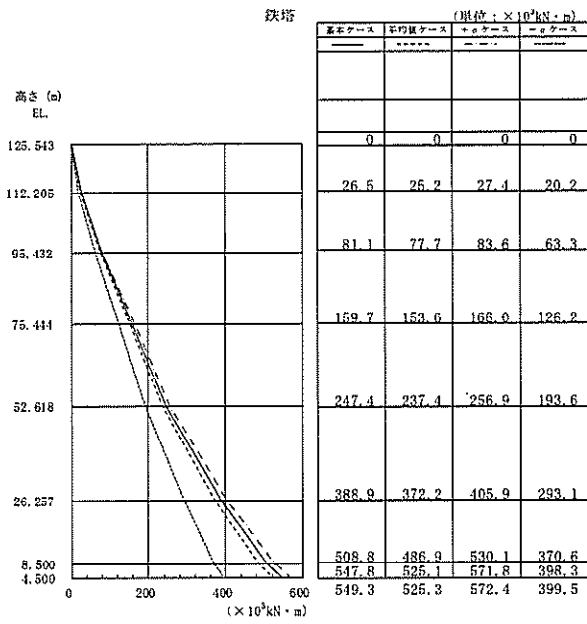


(c) S_s-2 2

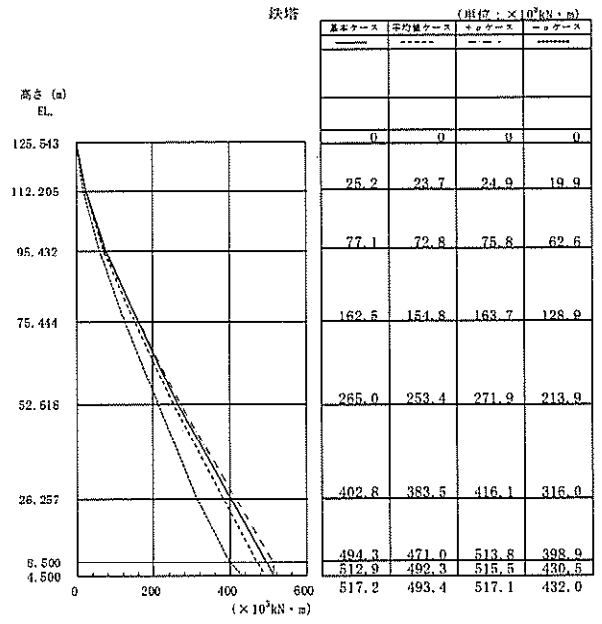


(d) S_s-3 1

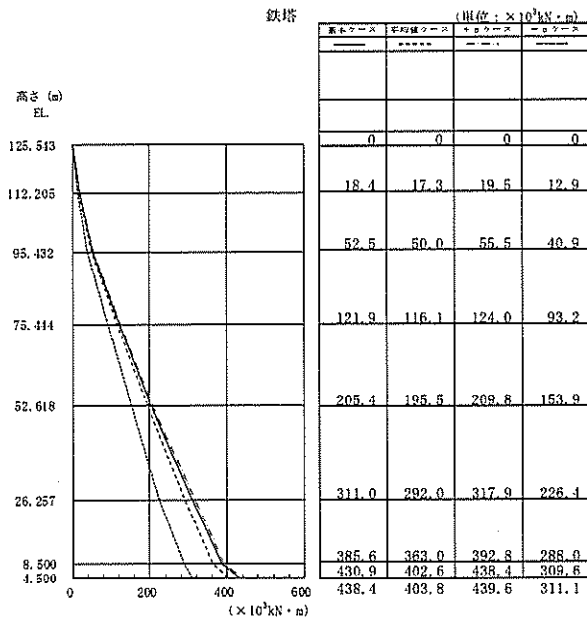
図 2-82 最大応答せん断力 (NS 方向, 水平 0 度, 筒身)



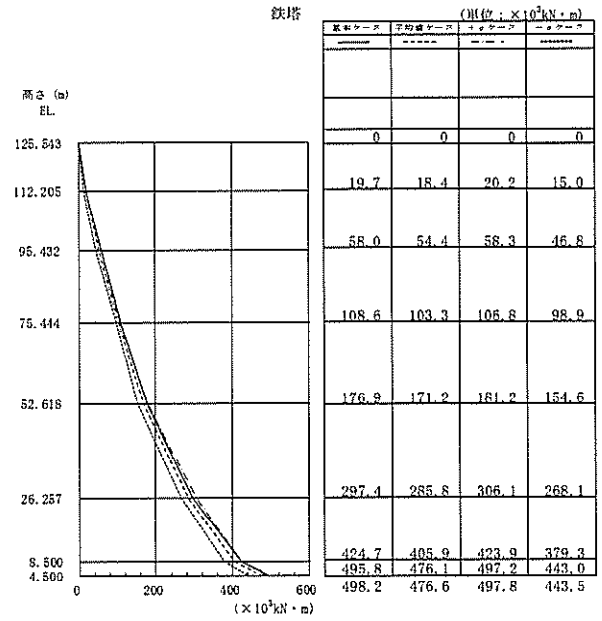
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

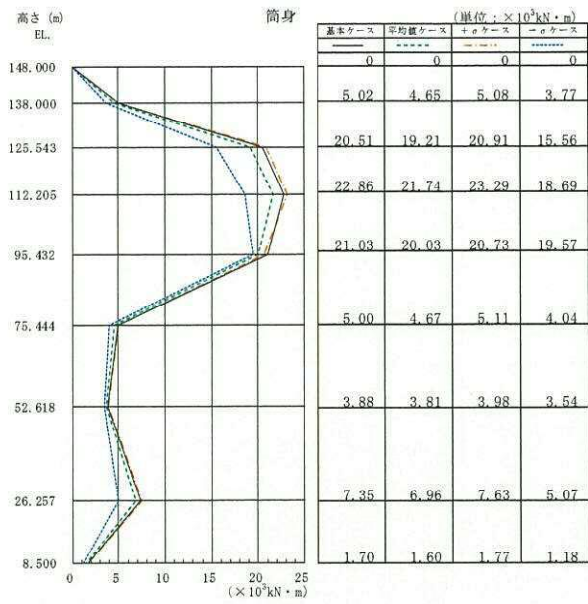


(c) $S_s - 2 2$

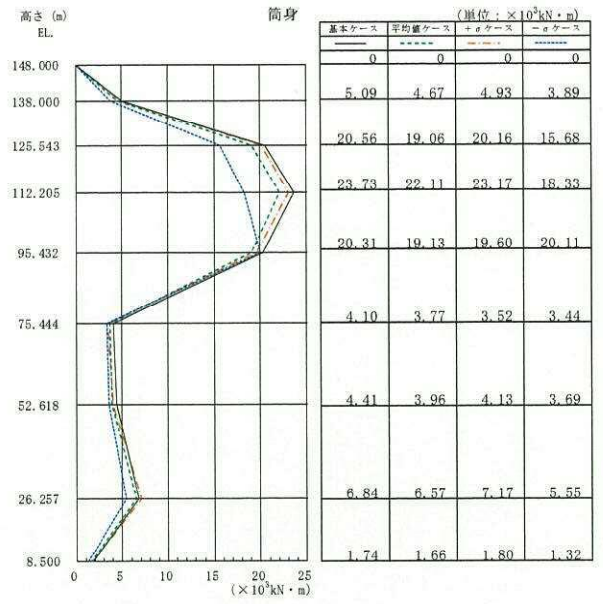


(d) $S_s - 3 1$

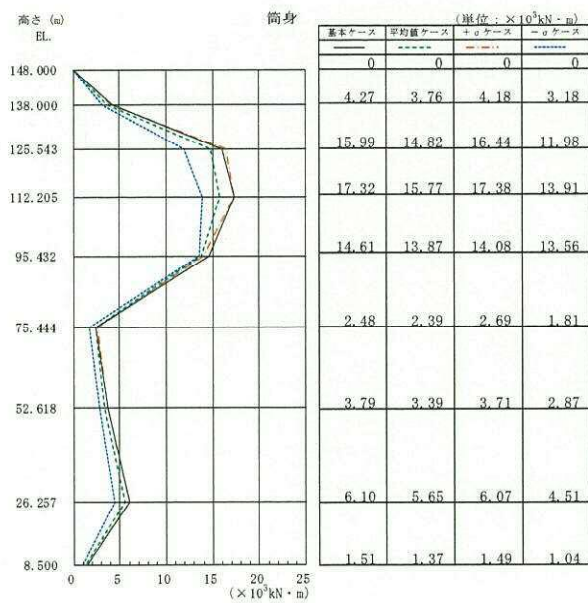
図 2-83 最大応答曲げモーメント (NS 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



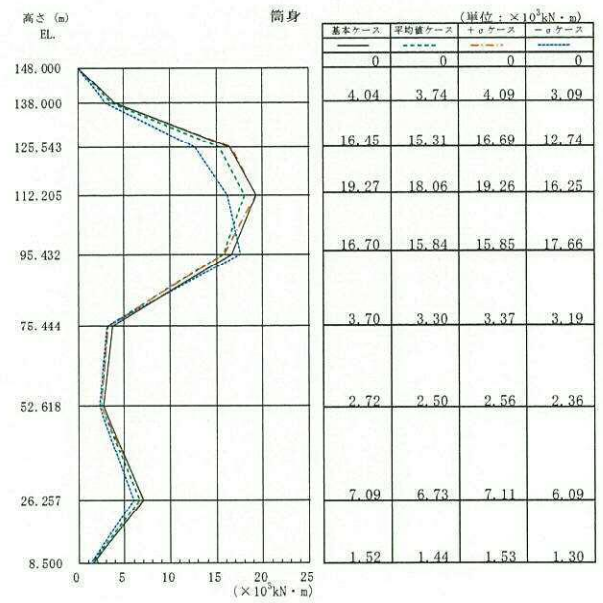
(a) S_s - D 1



(b) S_s - 2 1

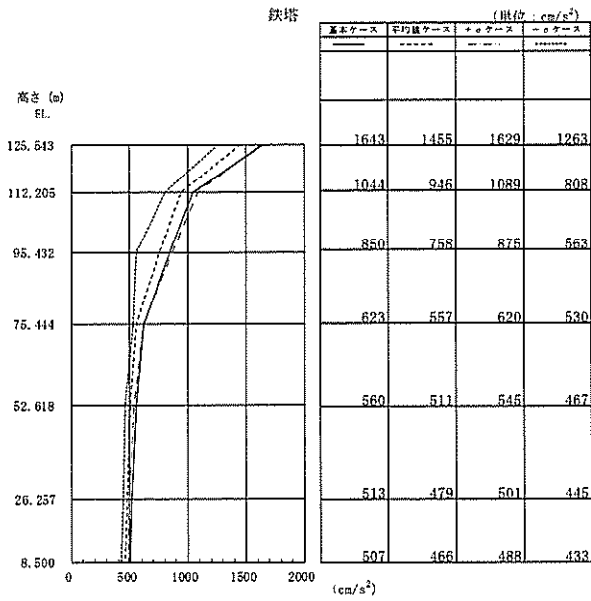


(c) S_s - 2 2

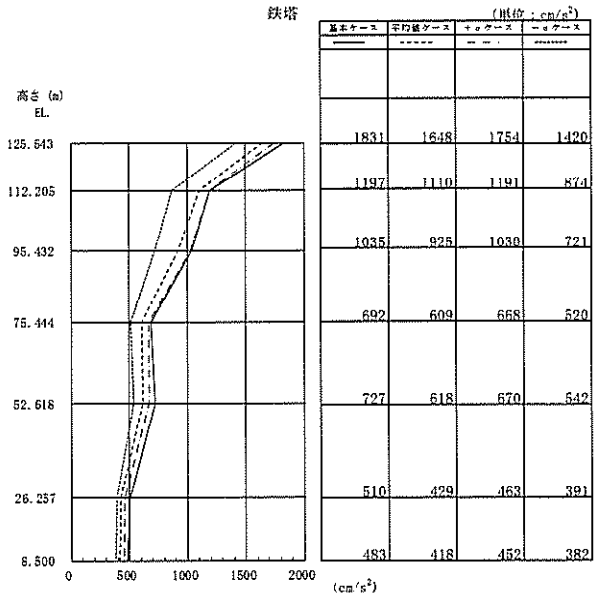


(d) S_s - 3 1

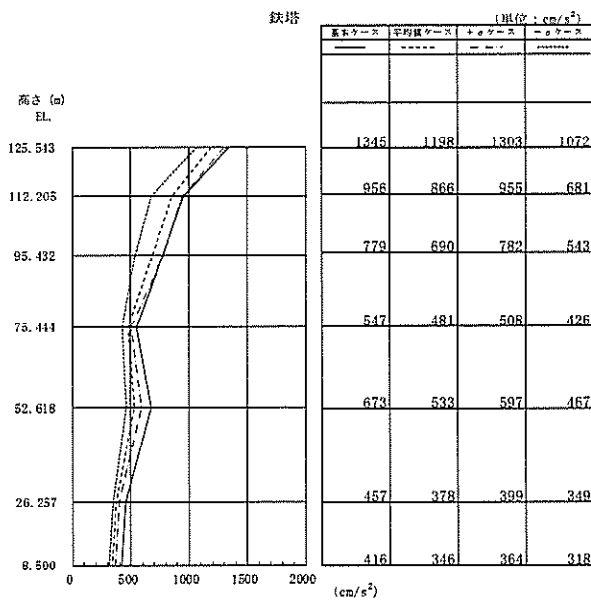
図 2-84 最大応答曲げモーメント (NS 方向, 水平 0 度, 筒身)



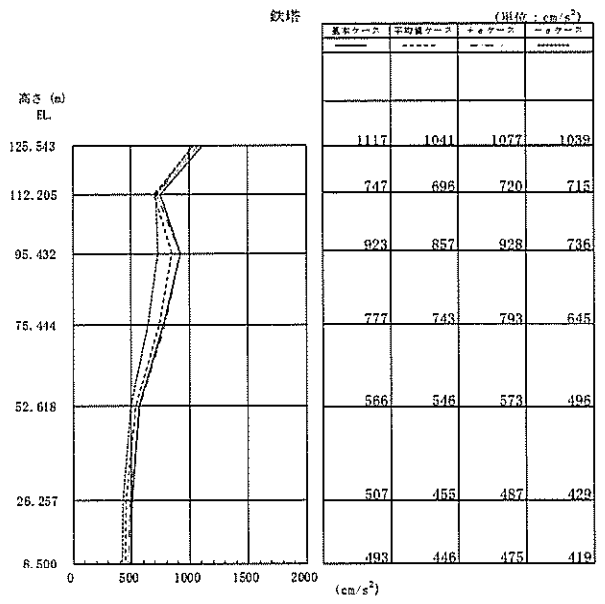
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

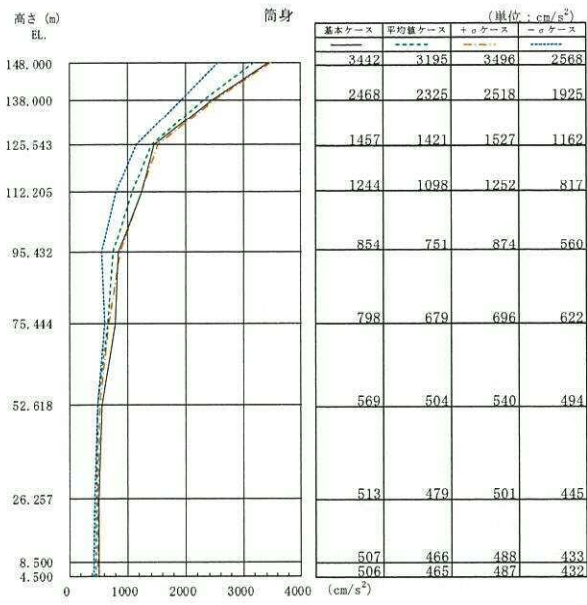


(c) S_s-2 2

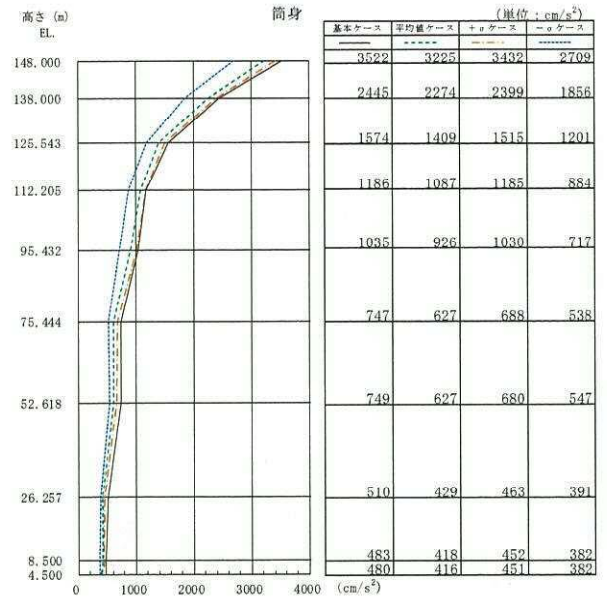


(d) S_s-3 1

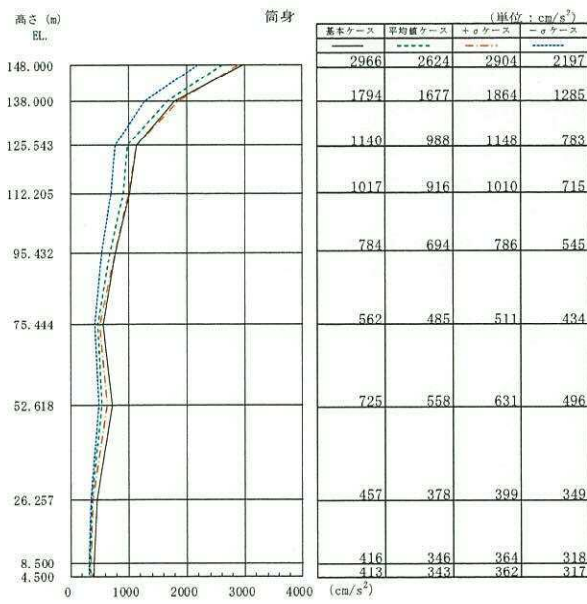
図 2-85 最大応答加速度 (NS 方向, 水平 45 度, 鉄塔)



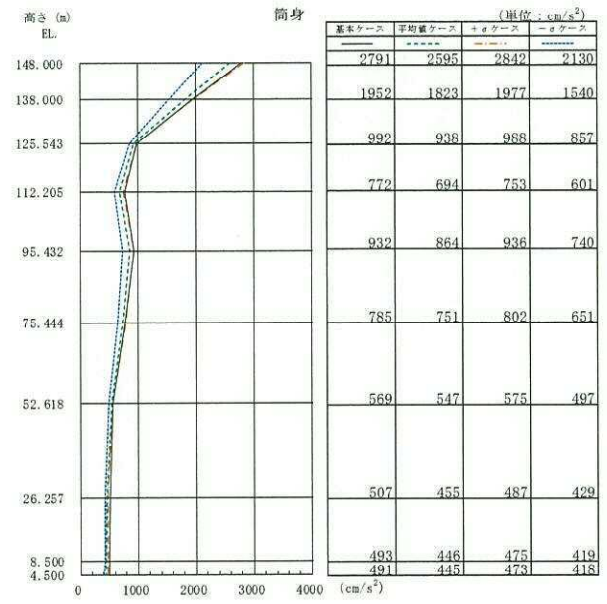
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

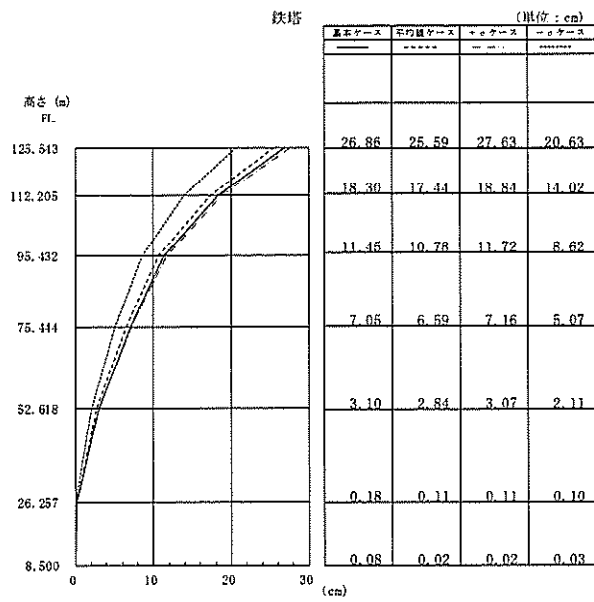


(c) $S_s - 2 2$

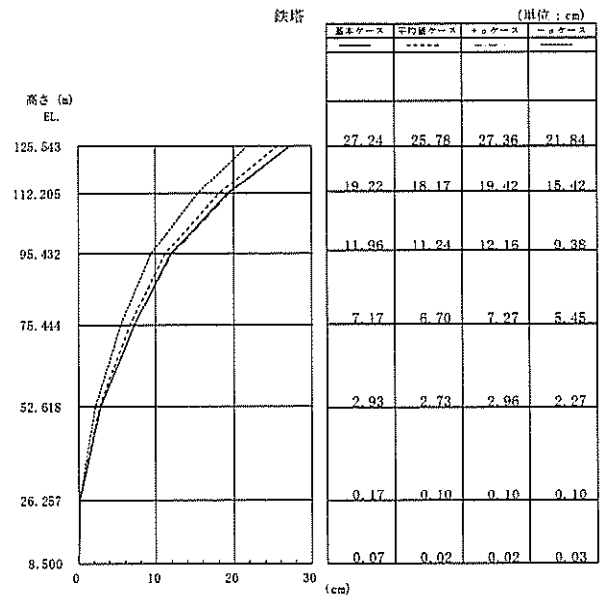


(d) $S_s - 3 1$

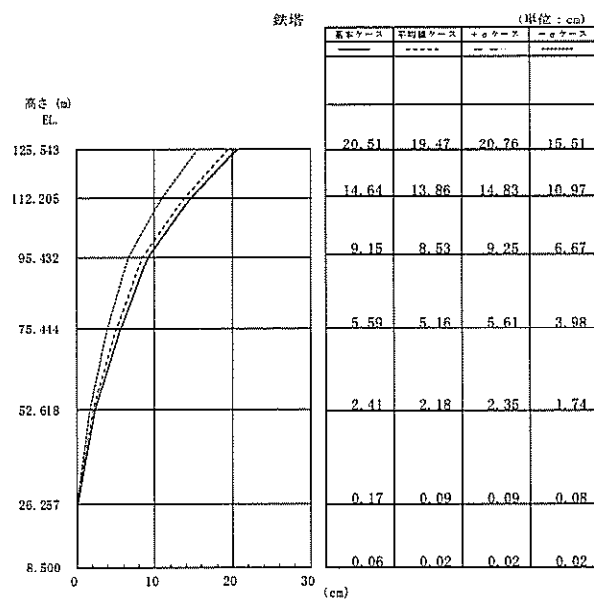
図2-86 最大応答加速度 (NS方向, 水平45度, 筒身)



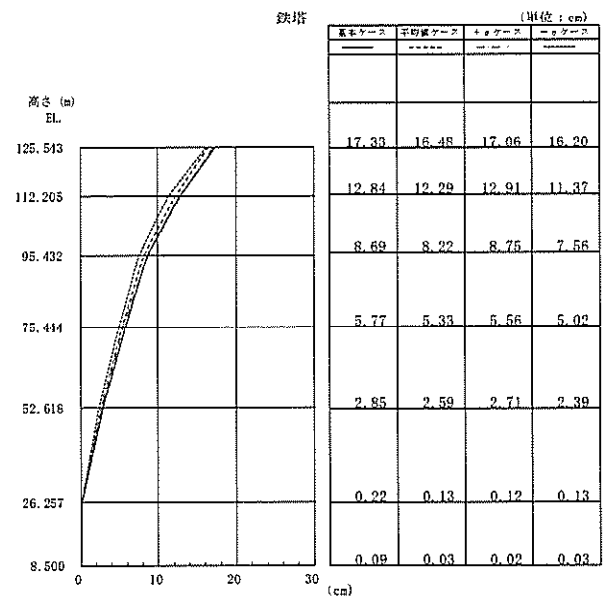
(a) S_s-D1



(b) S_s-21

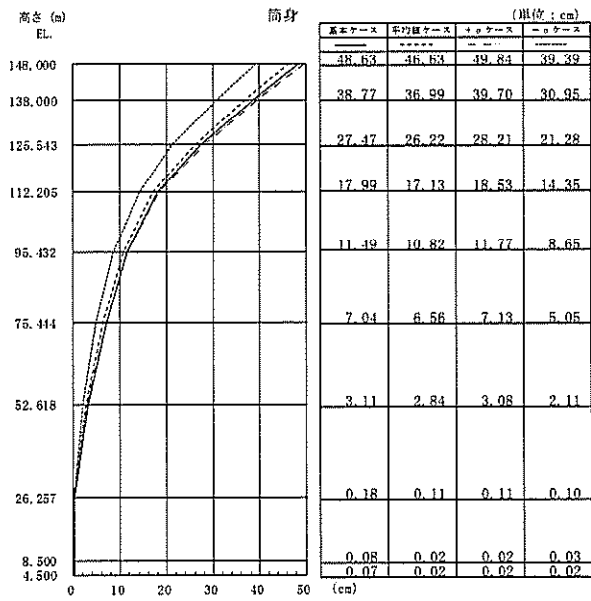


(c) S_s-22

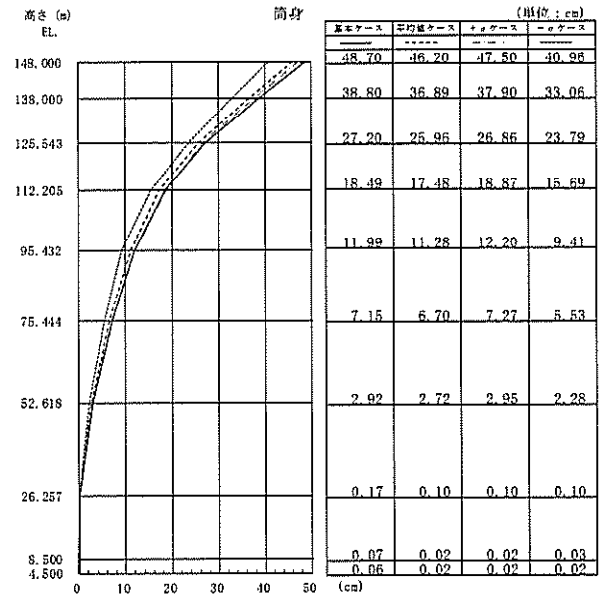


(d) S_s-31

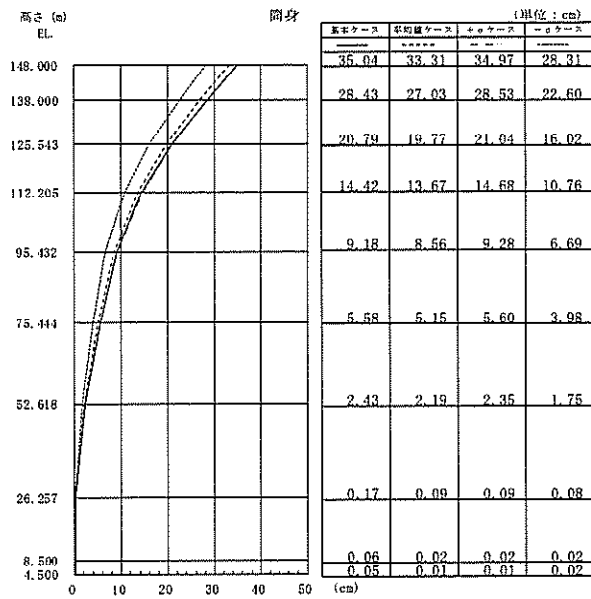
図 2-87 最大応答変位 (NS 方向, 水平 45 度, 铁塔)



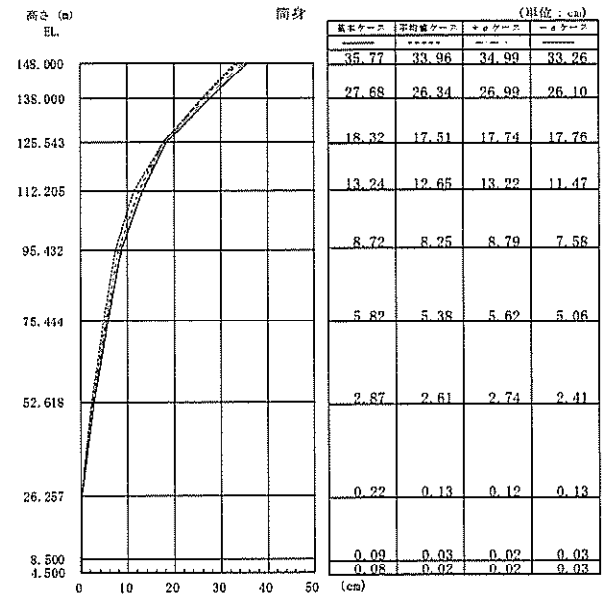
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

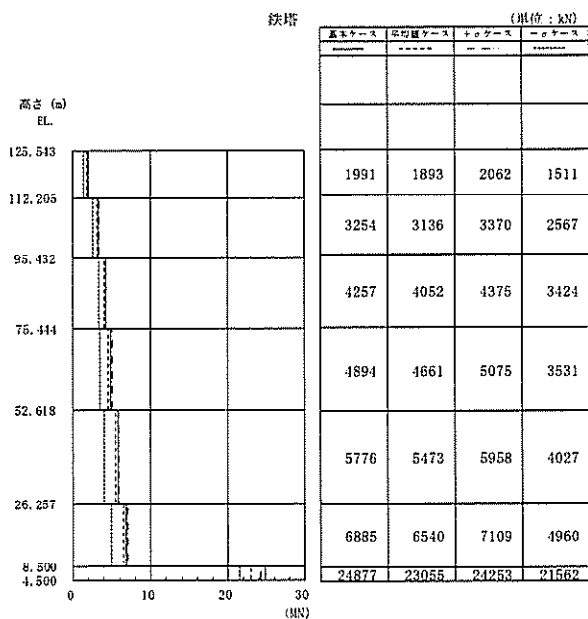


(c) $S_s - 2 2$

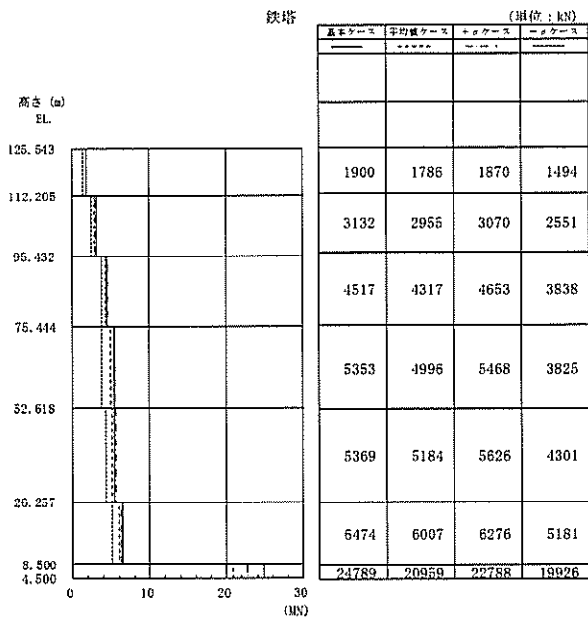


(d) $S_s - 3 1$

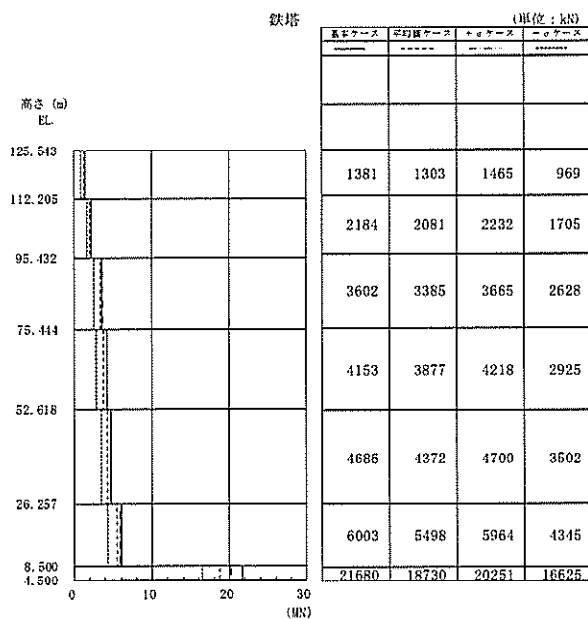
図 2-88 最大応答変位 (NS 方向, 水平 45 度, 筒身)



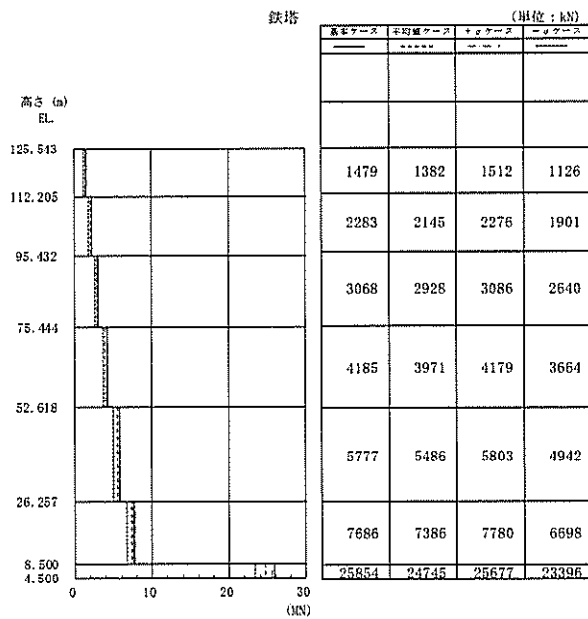
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

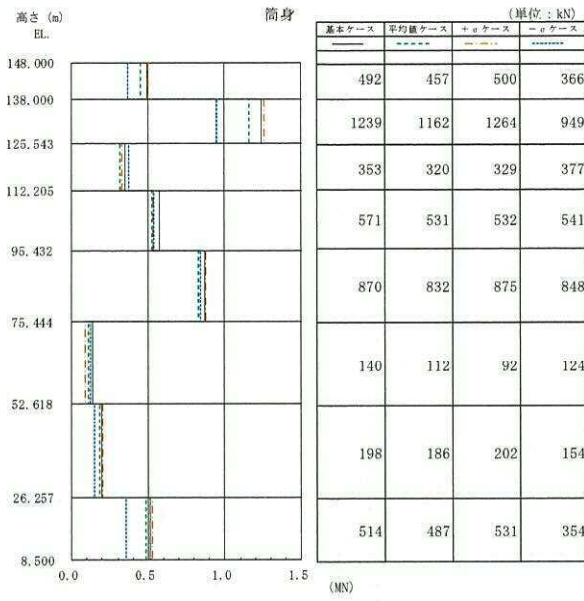


(c) $S_s - 2 2$

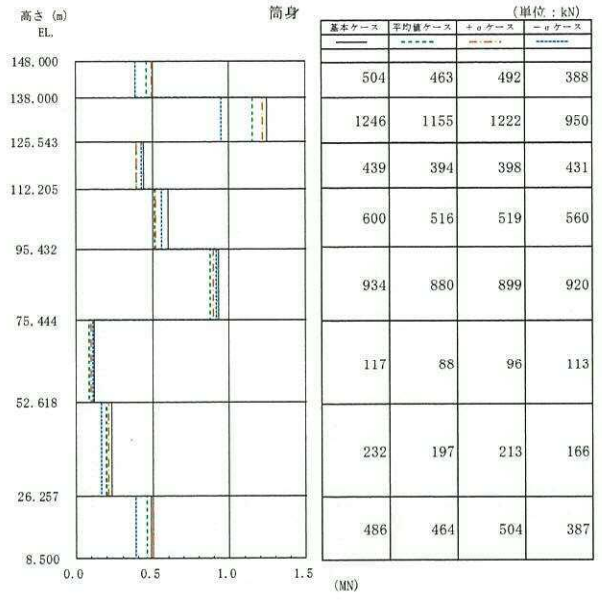


(d) $S_s - 3 1$

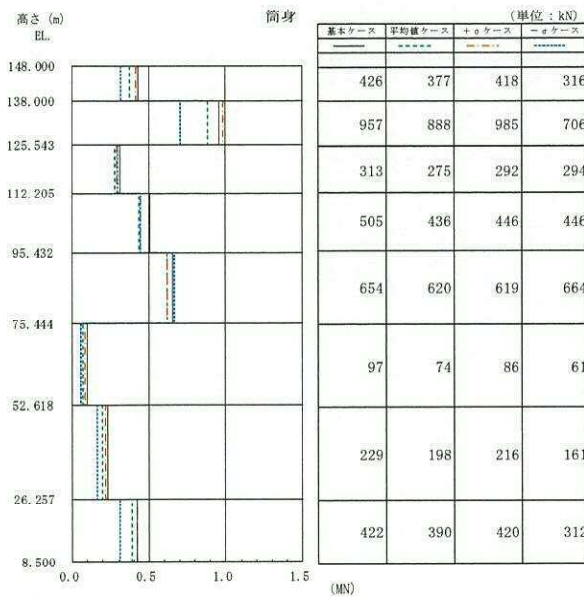
図 2-89 最大応答せん断力 (NS 方向, 水平 45 度, 鉄塔)



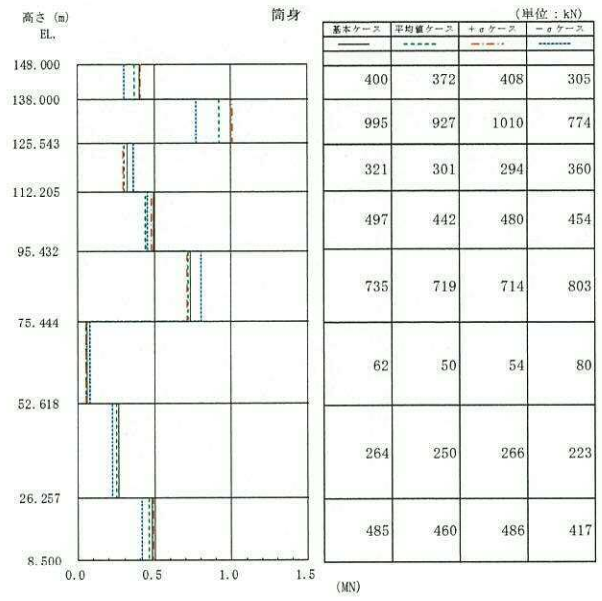
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

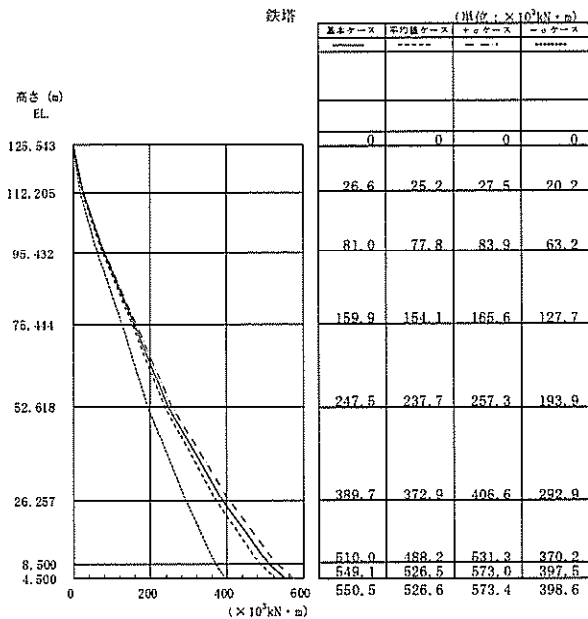


(c) $S_s - 2 2$

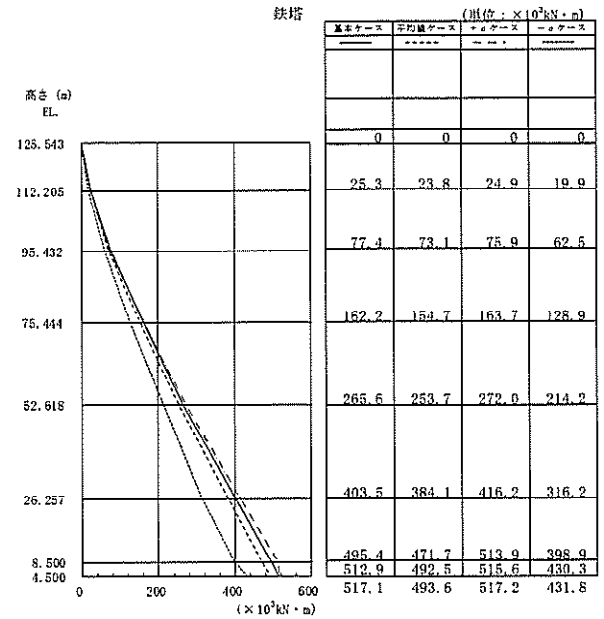


(d) $S_s - 3 1$

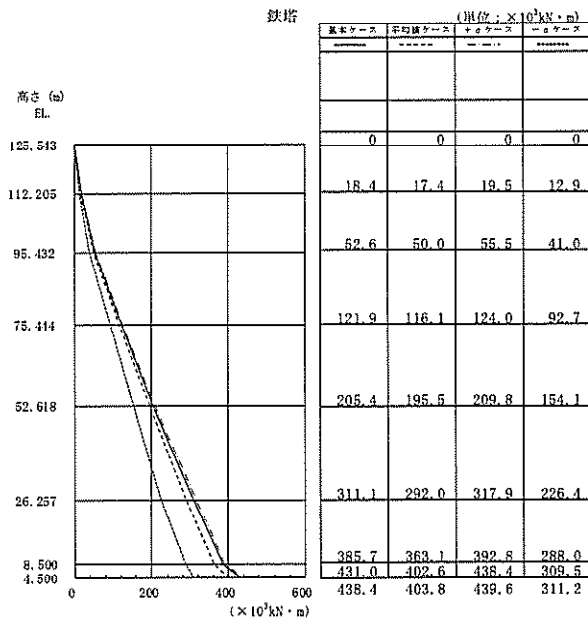
図 2-90 最大応答せん断力 (NS 方向, 水平 45 度, 筒身)



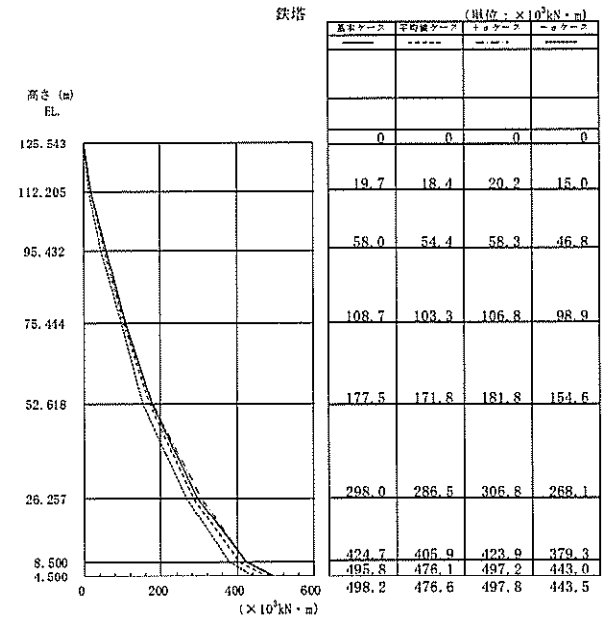
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

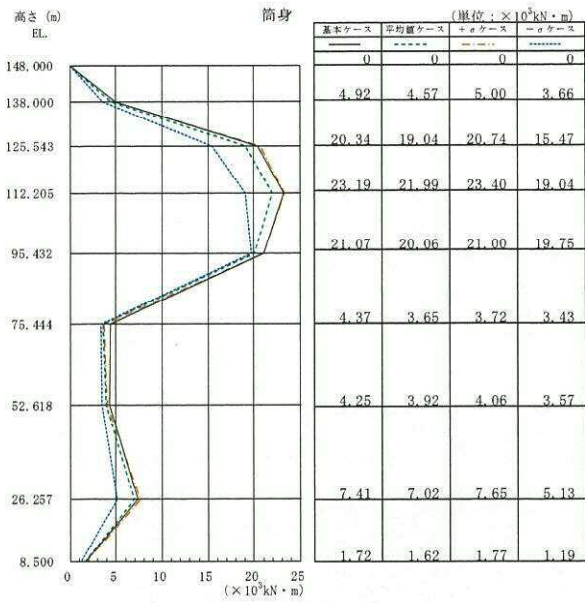


(c) $S_s - 2 2$

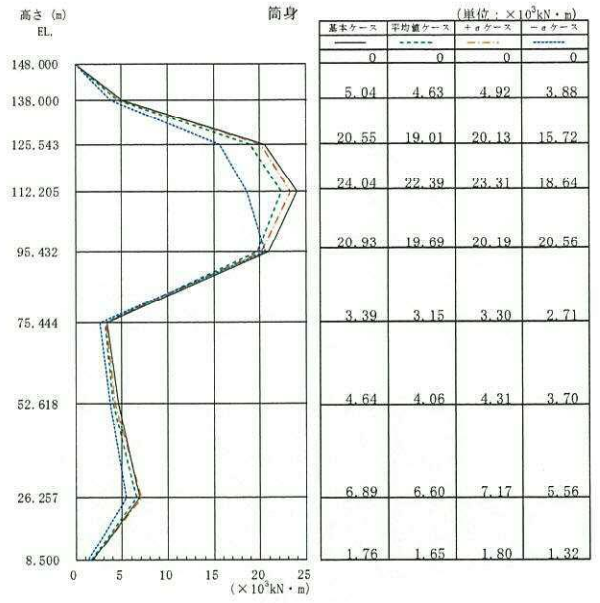


(d) $S_s - 3 1$

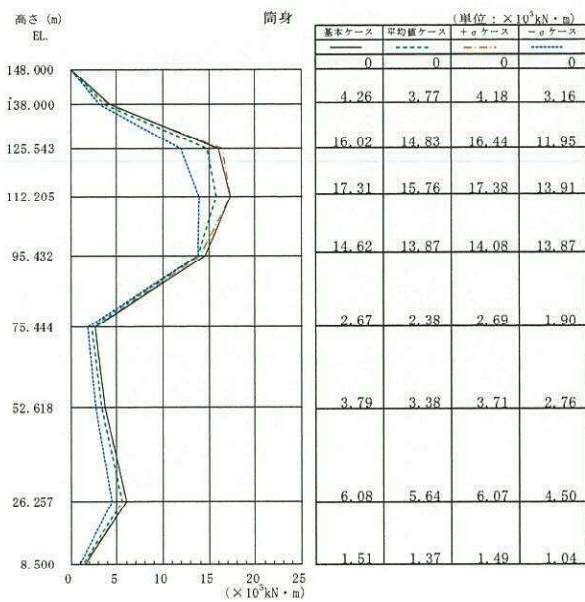
図 2-91 最大応答曲げモーメント (NS 方向, 水平 45 度, 鉄塔)



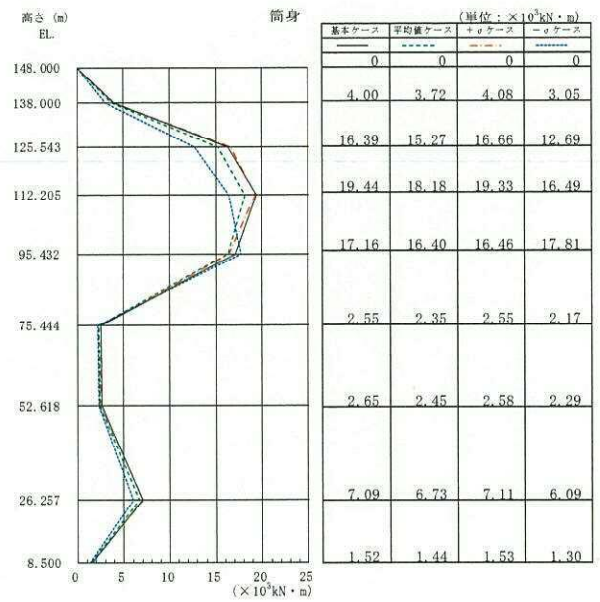
(a) $S_s - D1$



(b) $S_s - 21$

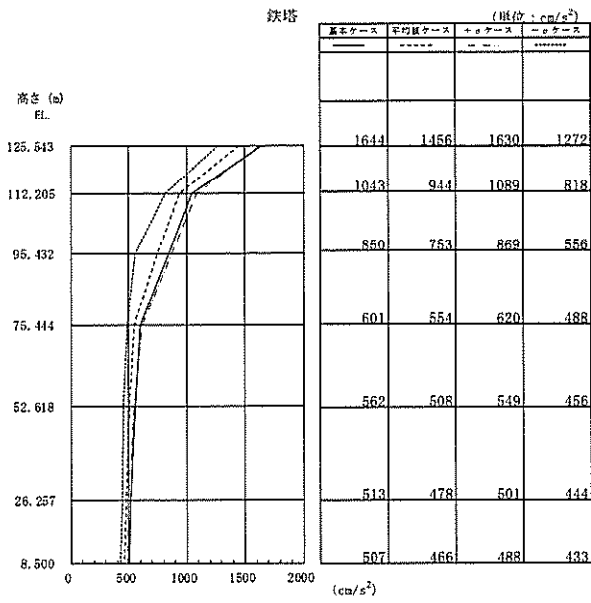


(c) $S_s - 22$

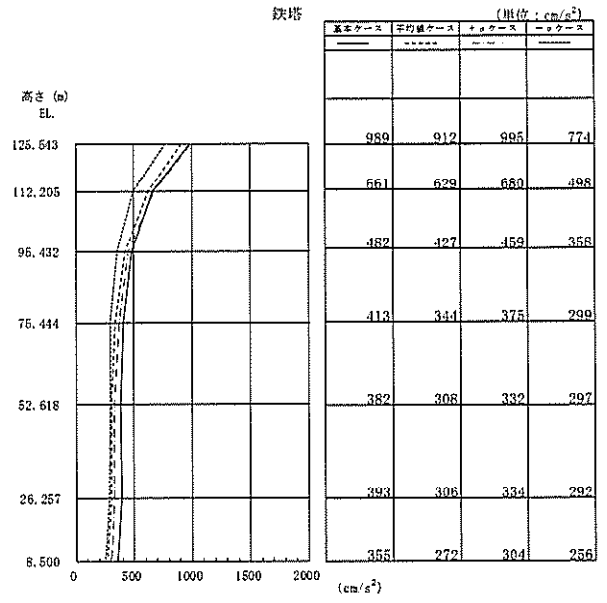


(d) $S_s - 31$

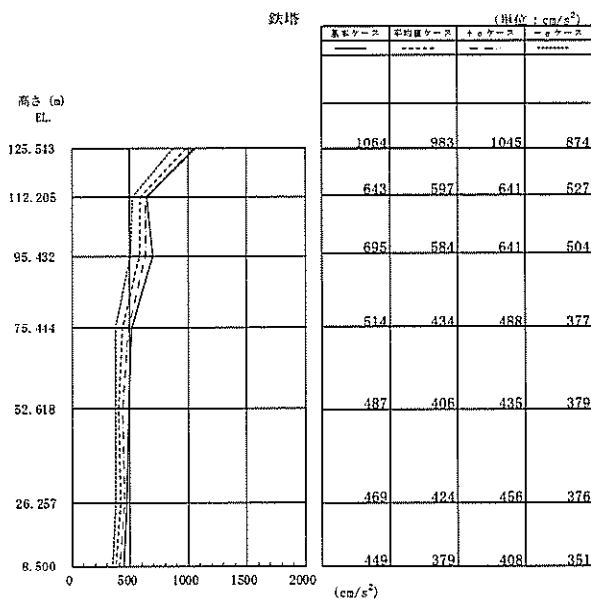
図 2-92 最大応答曲げモーメント (NS 方向, 水平 45 度, 筒身)



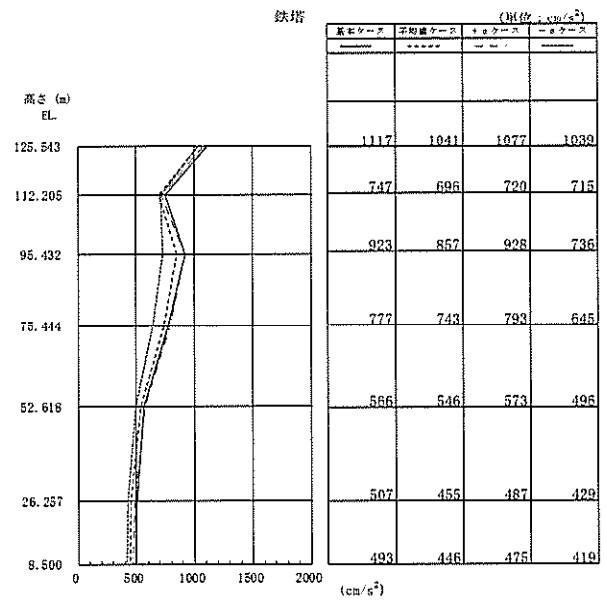
(a) $S_s - D1$



(b) $S_s - 21$

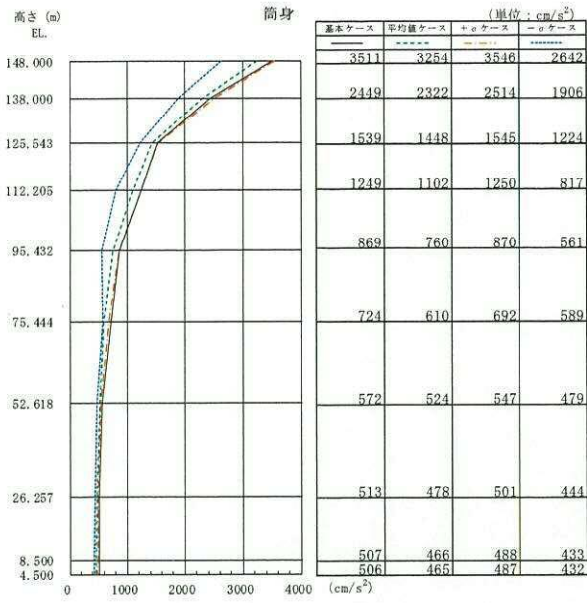


(c) $S_s - 22$

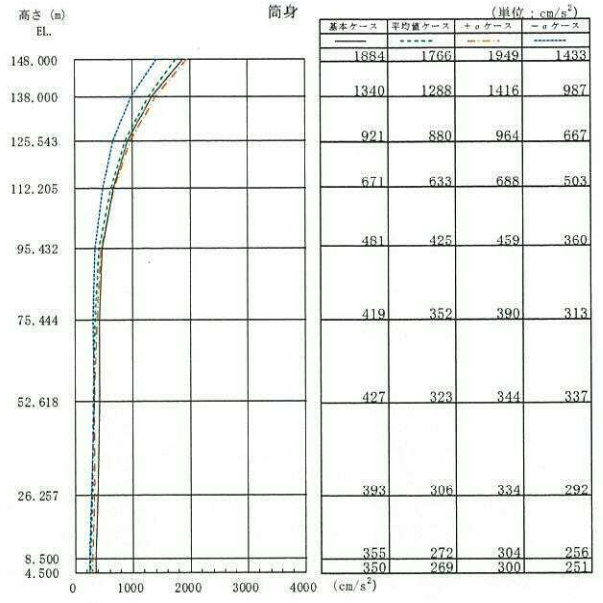


(d) $S_s - 31$

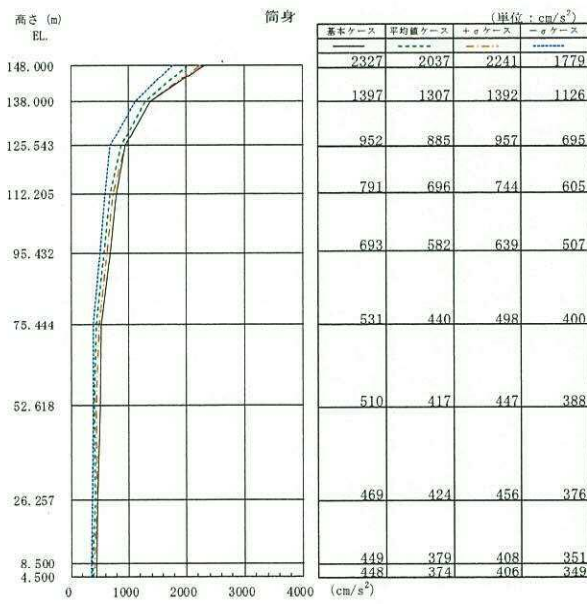
図 2-93 最大応答加速度 (EW 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



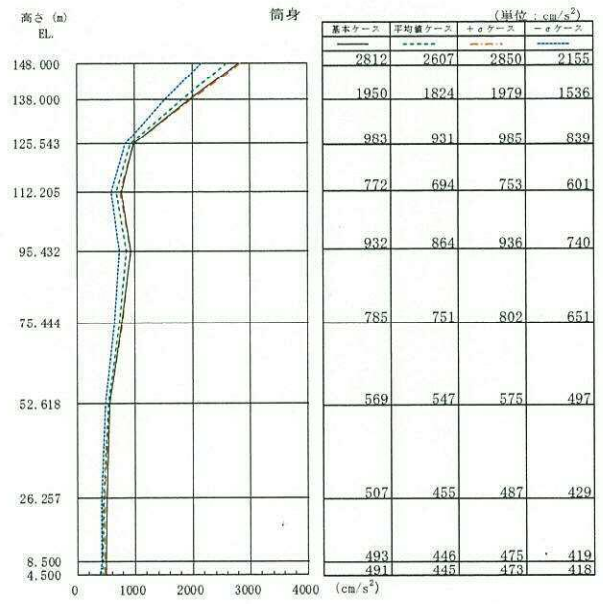
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

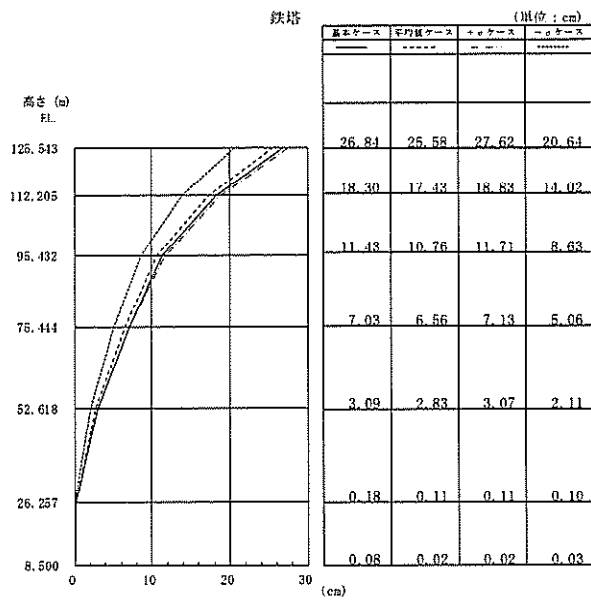


(c) $S_s - 2 2$

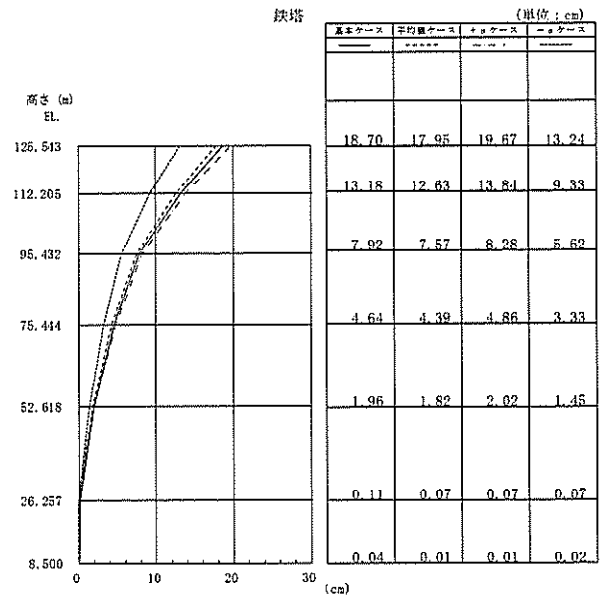


(d) $S_s - 3 1$

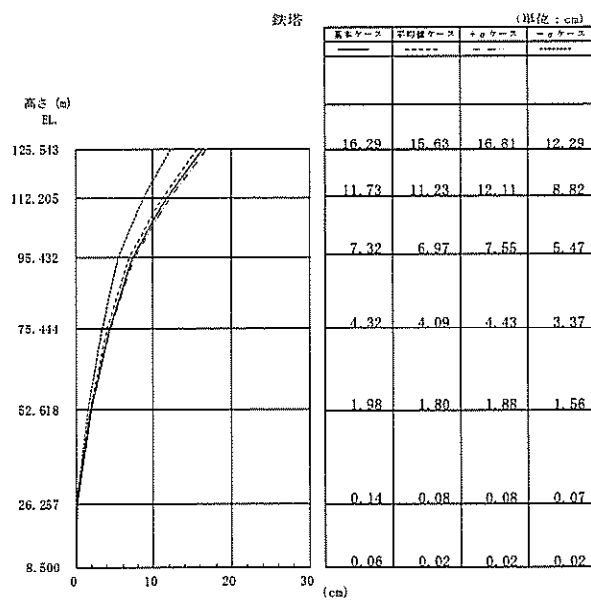
図 2-94 最大応答加速度 (EW 方向, 水平 0 度, 筒身)



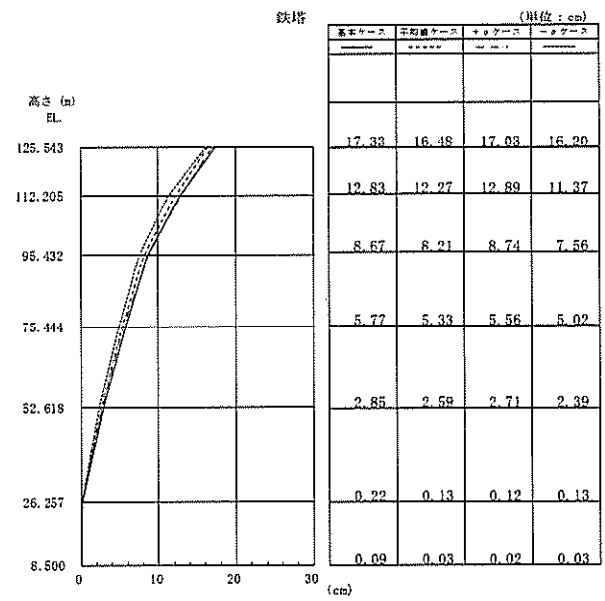
(a) $S_s - D1$



(b) $S_s - 21$

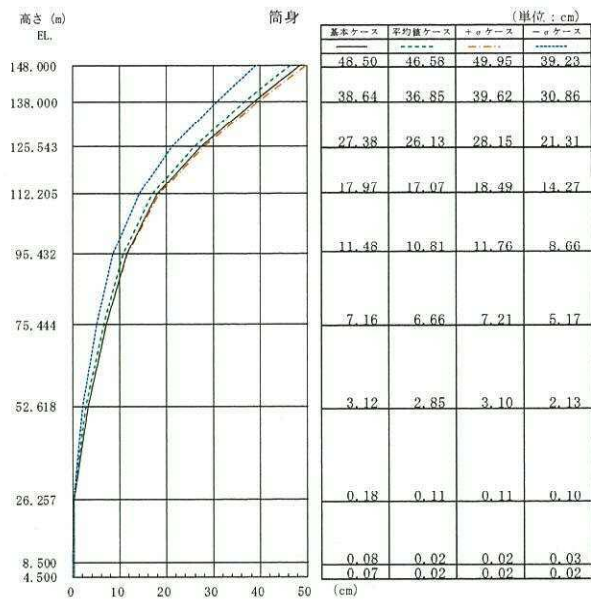


(c) $S_s - 22$

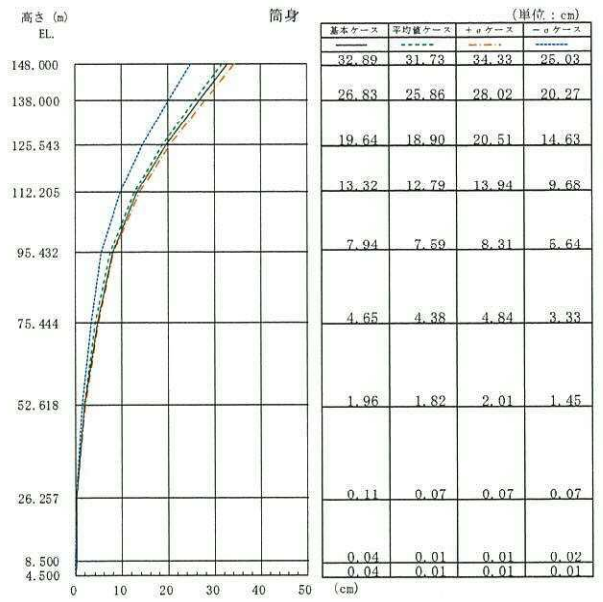


(d) $S_s - 31$

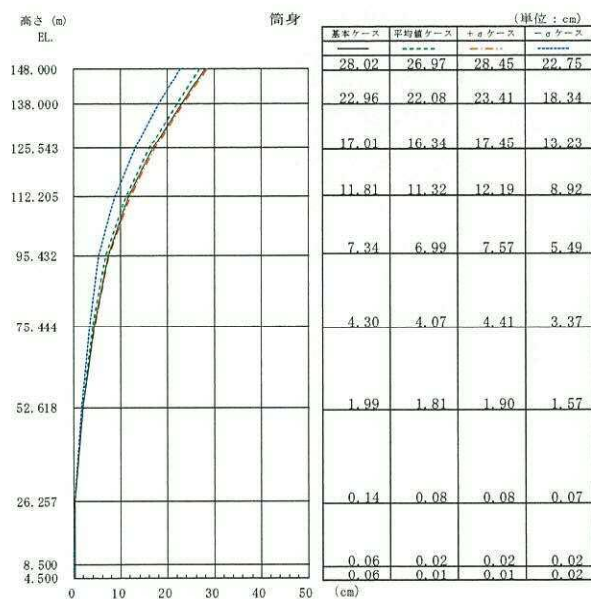
図 2-95 最大応答変位 (EW 方向, 水平 0 度, 鉄塔)



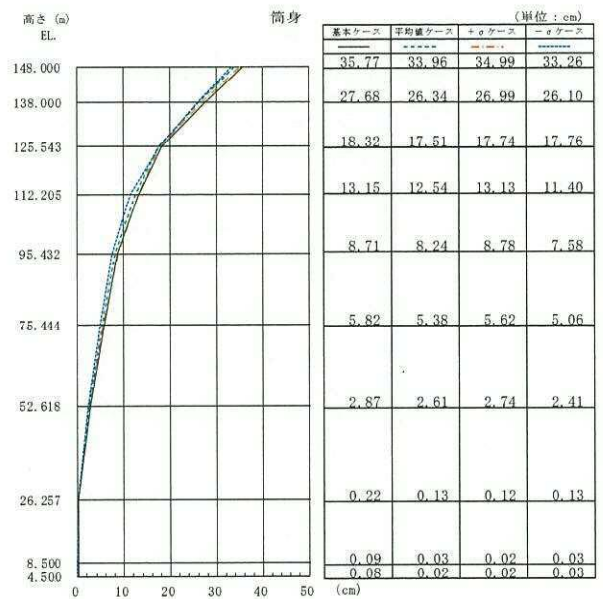
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

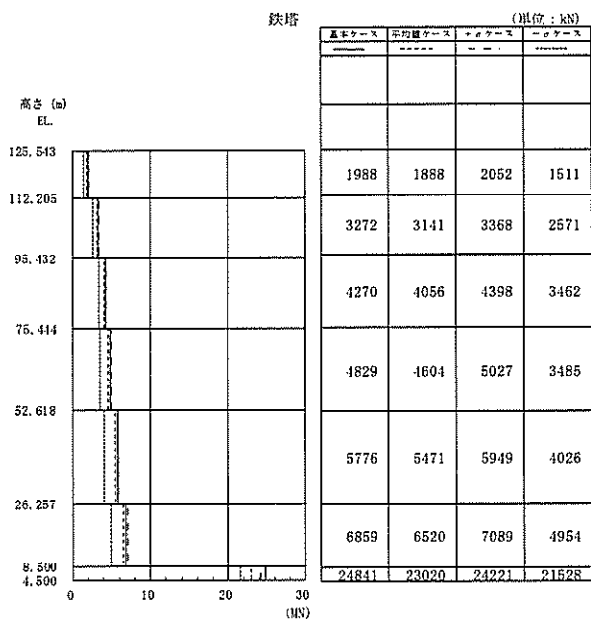


(c) S_s-2 2

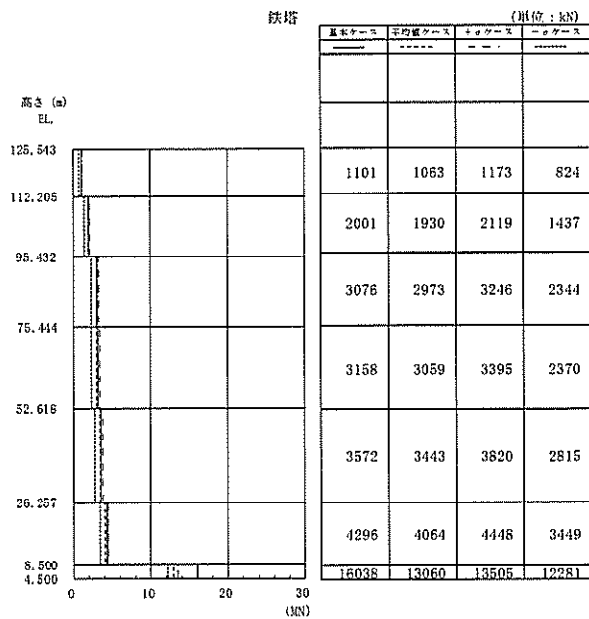


(d) S_s-3 1

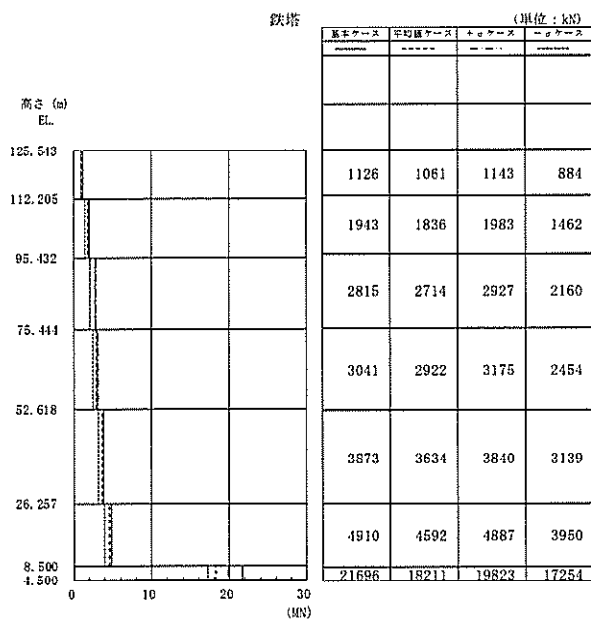
図 2-96 最大応答変位 (EW 方向, 水平 0 度, 筒身)



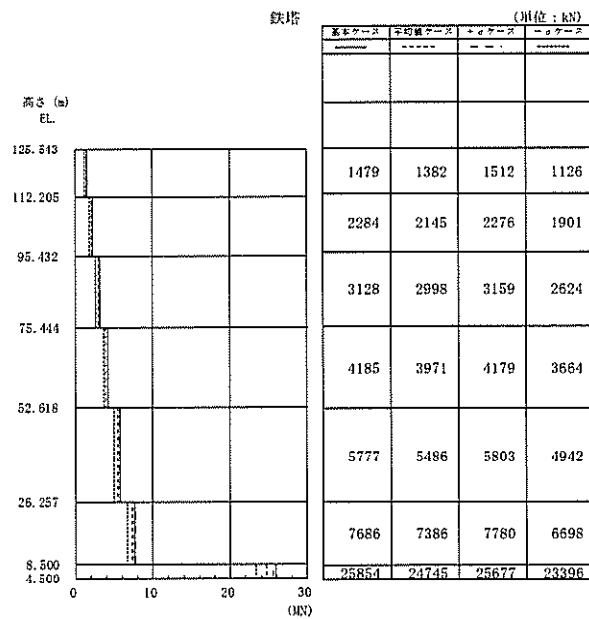
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

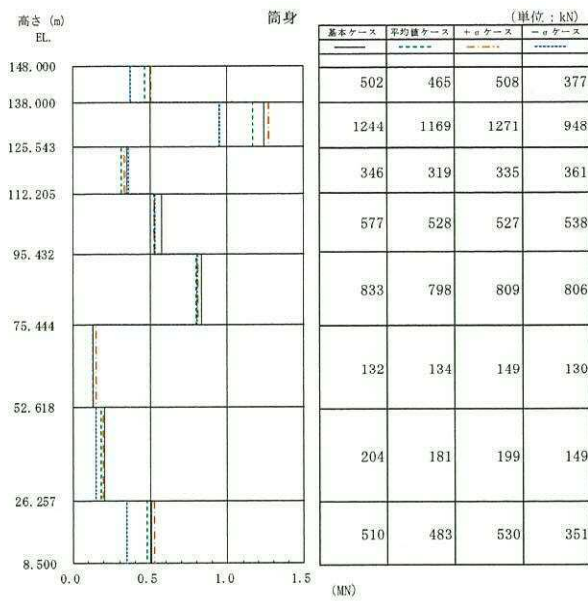


(c) S_s-2 2

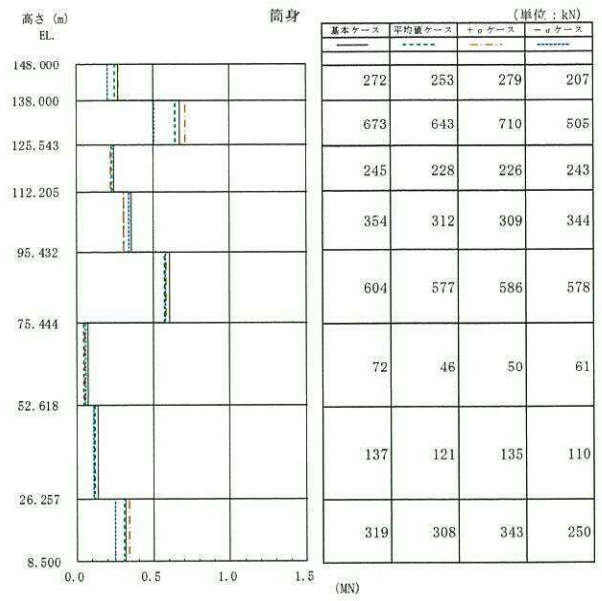


(d) S_s-3 1

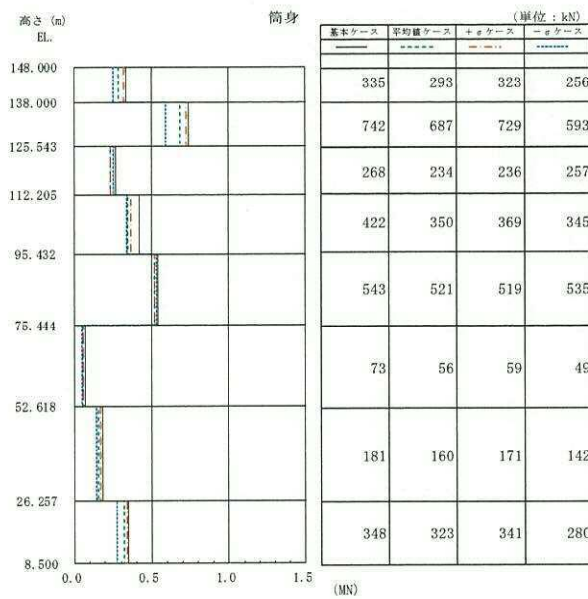
図 2-97 最大応答せん断力 (EW 方向, 水平 0 度, 铁塔)



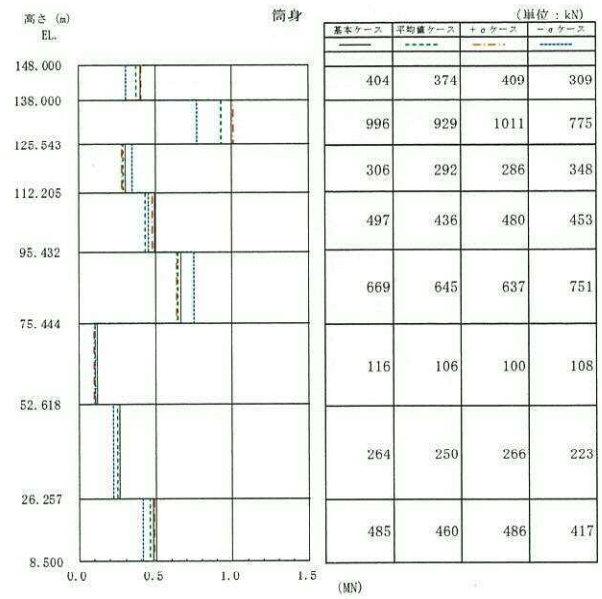
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$



(c) $S_s - 2 2$



(d) $S_s - 3 1$

図 2-98 最大応答せん断力 (EW 方向, 水平 0 度, 筒身)

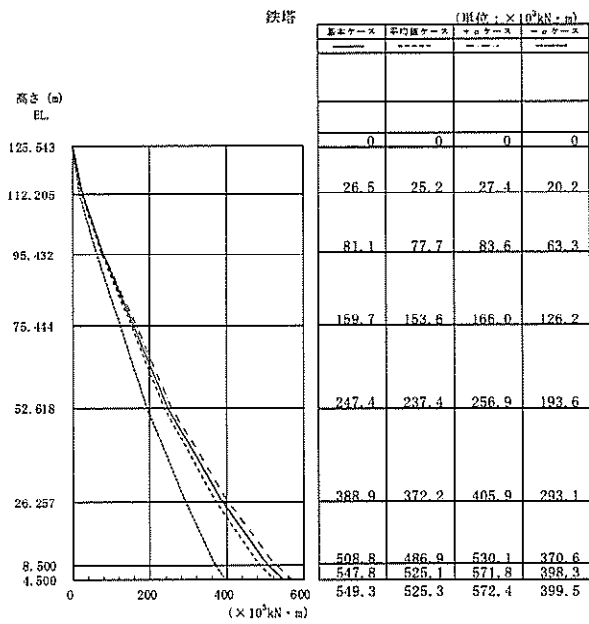
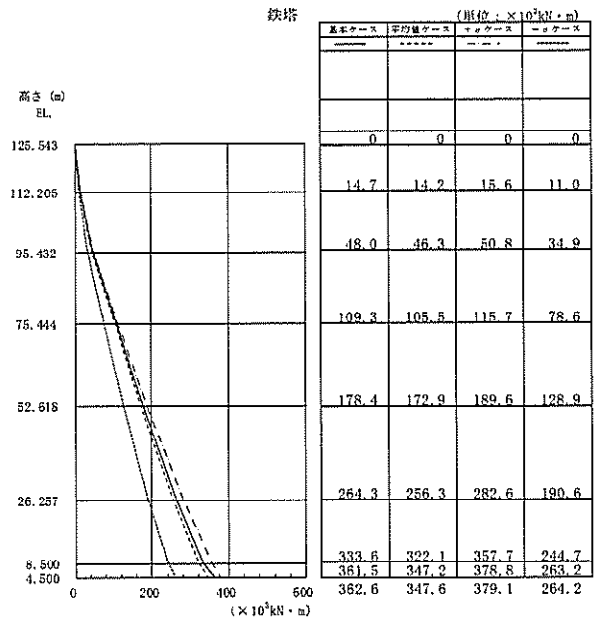
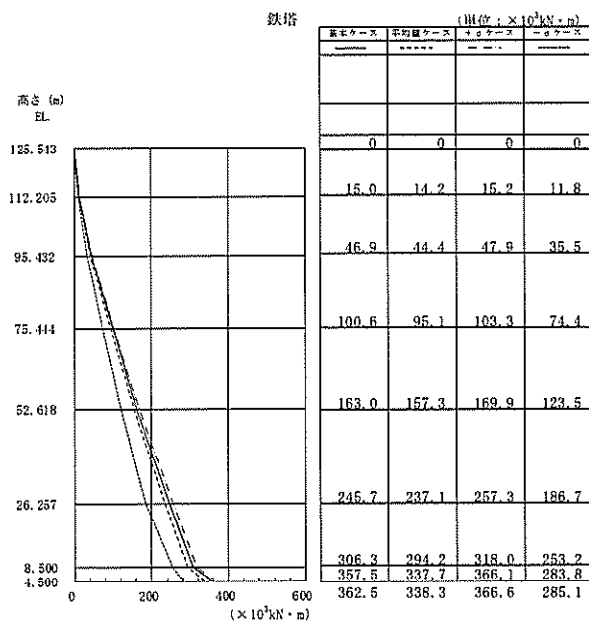
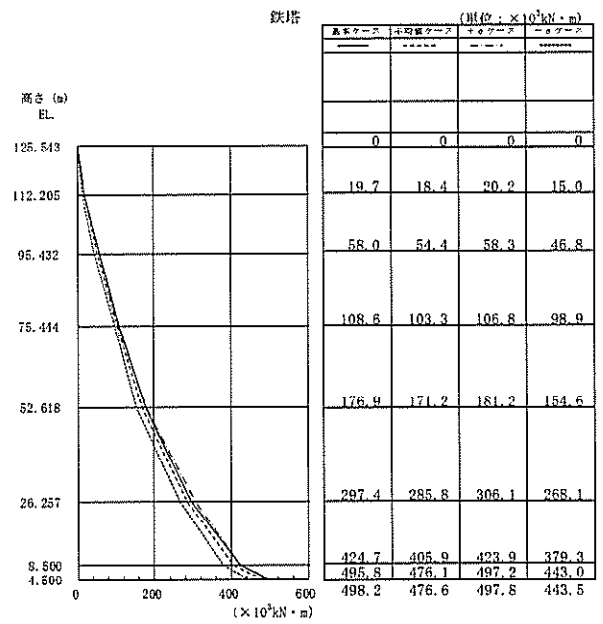
(a) $S_s - D 1$ (b) $S_s - 2 1$ (c) $S_s - 2 2$ (d) $S_s - 3 1$

図 2-99 最大応答曲げモーメント (EW 方向, 水平 0 度, 鉄塔)

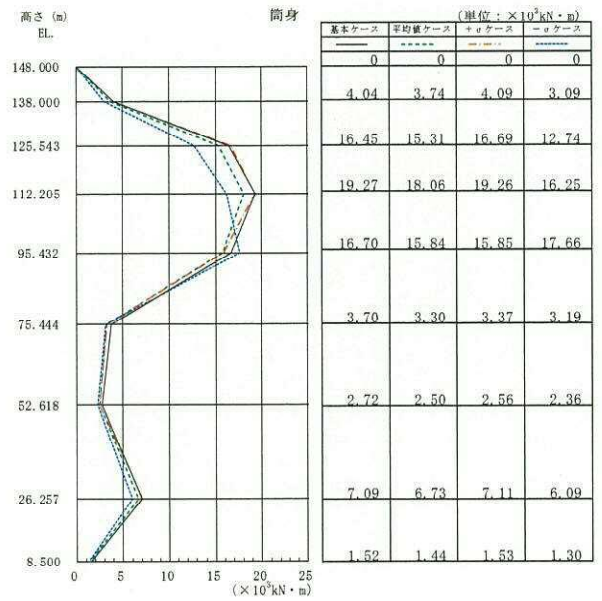
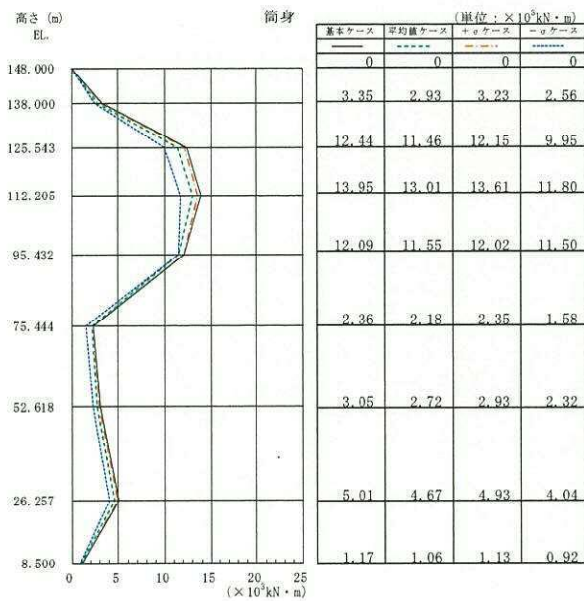
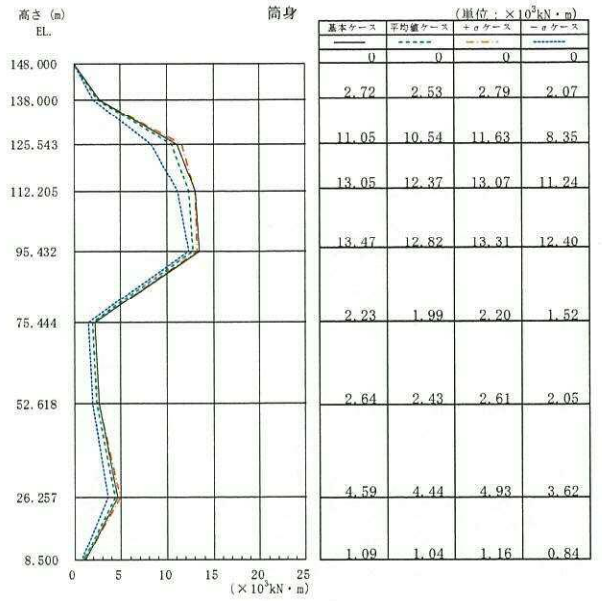
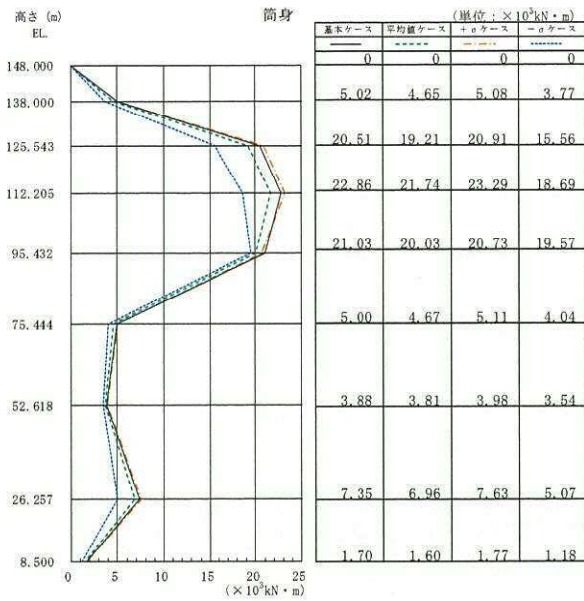
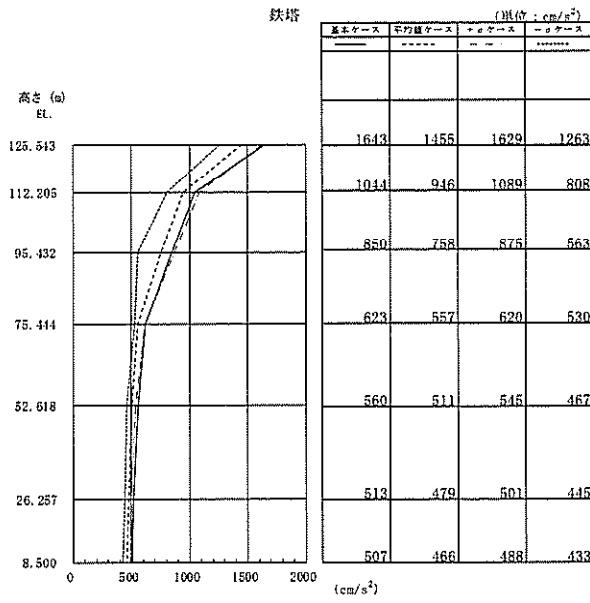
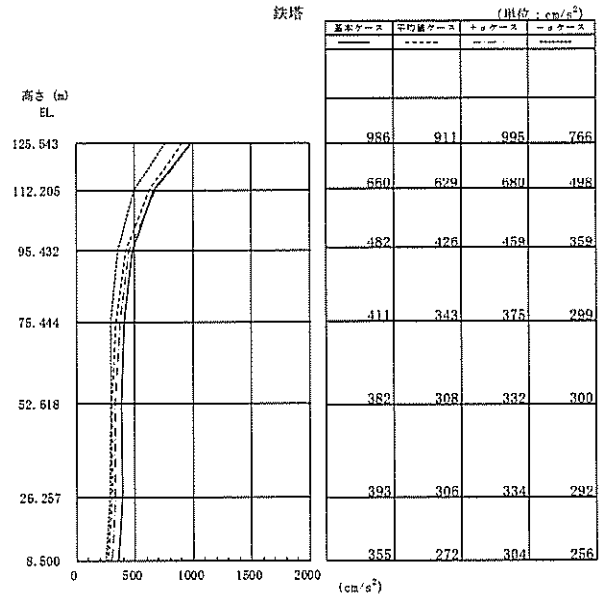


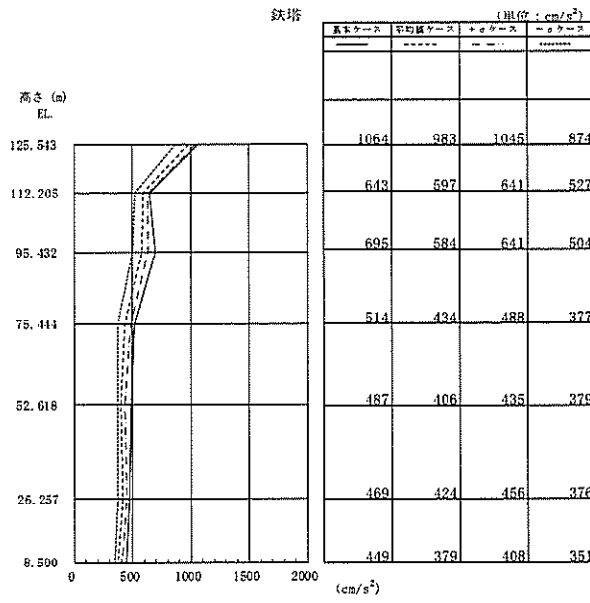
図 2-100 最大応答曲げモーメント (EW 方向, 水平 0 度, 筒身)



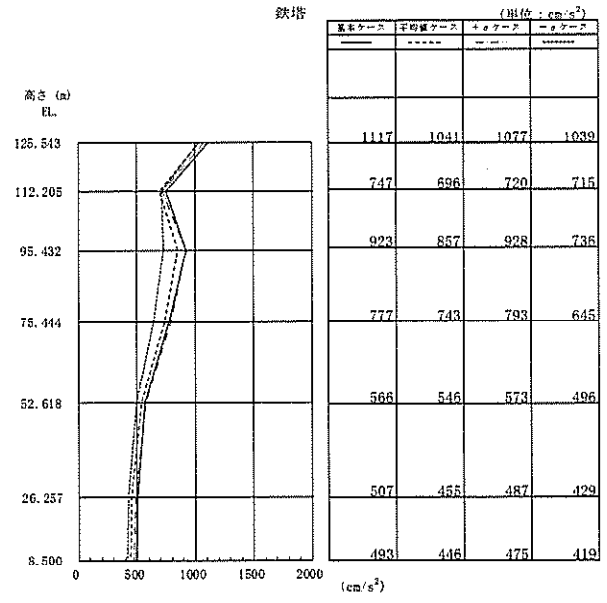
(a) $S_s - D1$



(b) $S_s - 21$

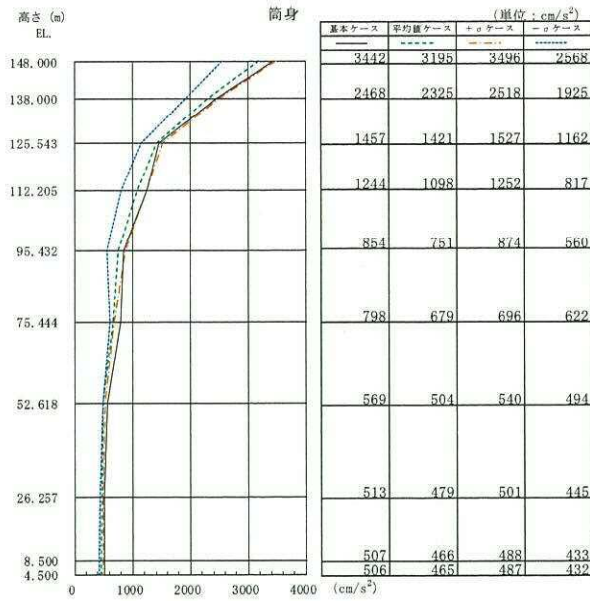


(c) $S_s - 22$

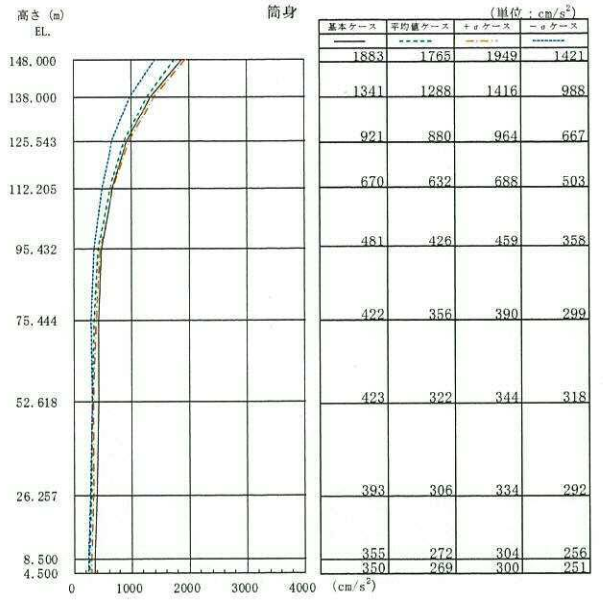


(d) $S_s - 31$

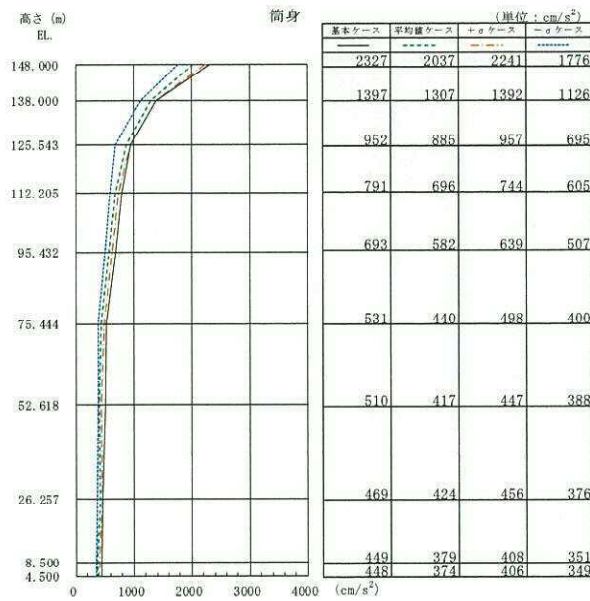
図 2-101 最大応答加速度 (EW 方向, 水平 45 度, 鉄塔)



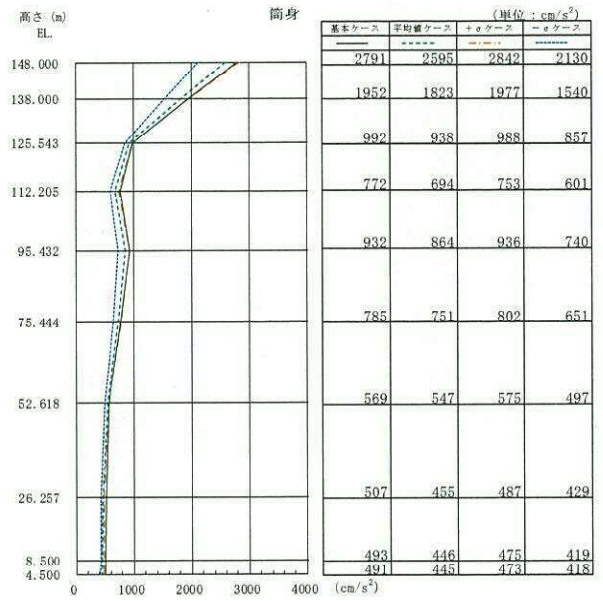
(a) $S_s - D1$



(b) $S_s - 21$

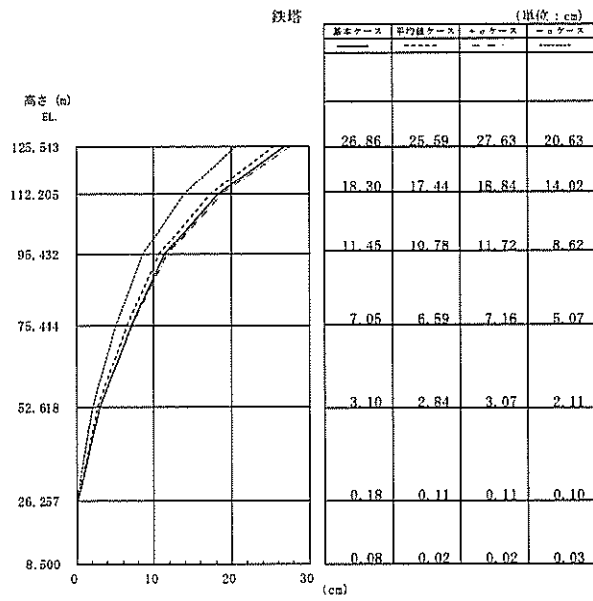


(c) $S_s - 22$

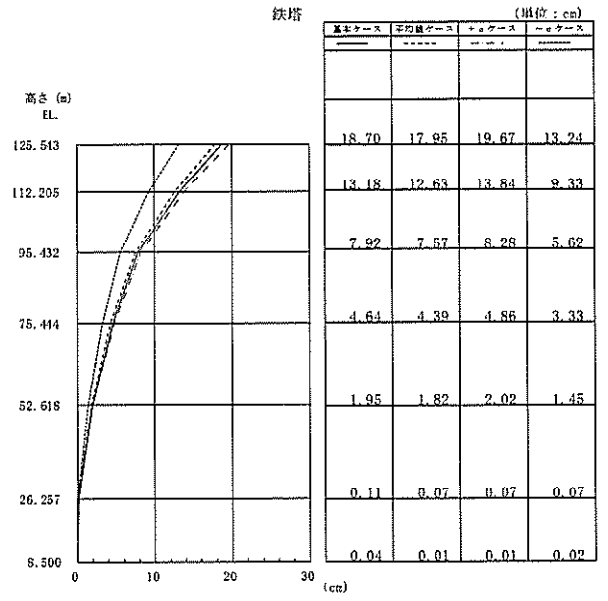


(d) $S_s - 31$

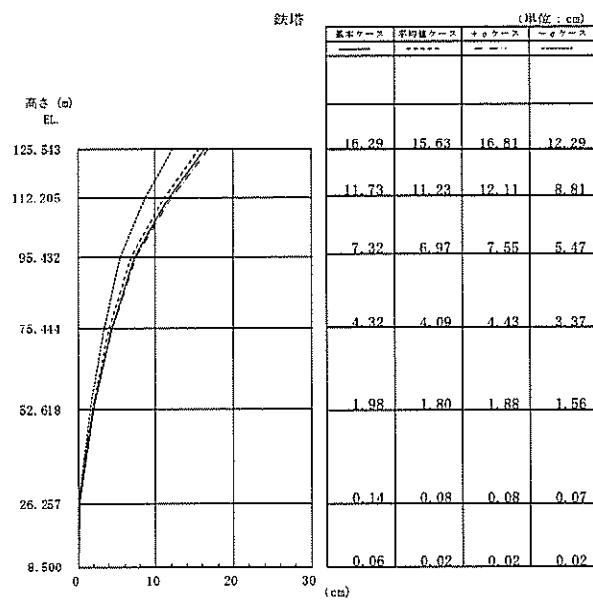
図 2-102 最大応答加速度 (EW 方向, 水平 45 度, 筒身)



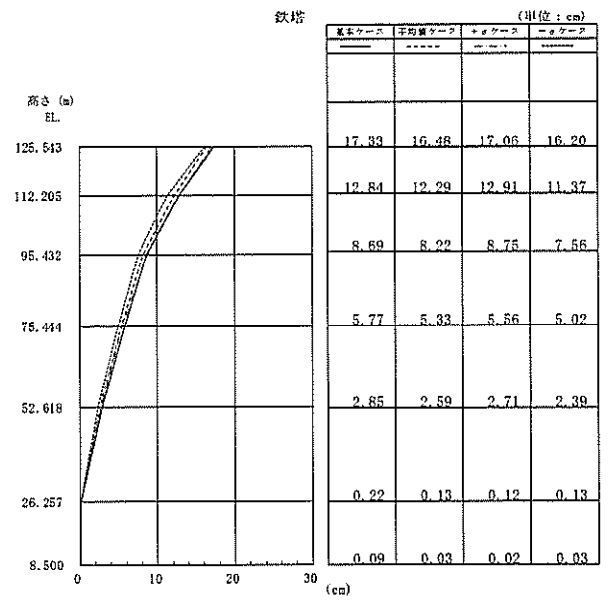
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

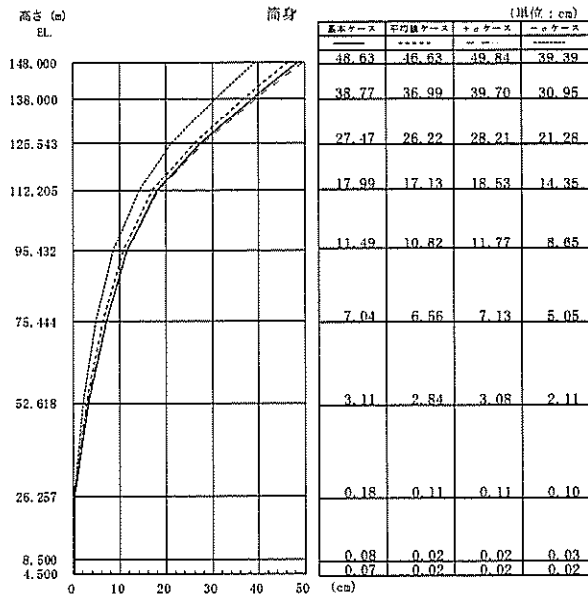


(c) S_s-2 2

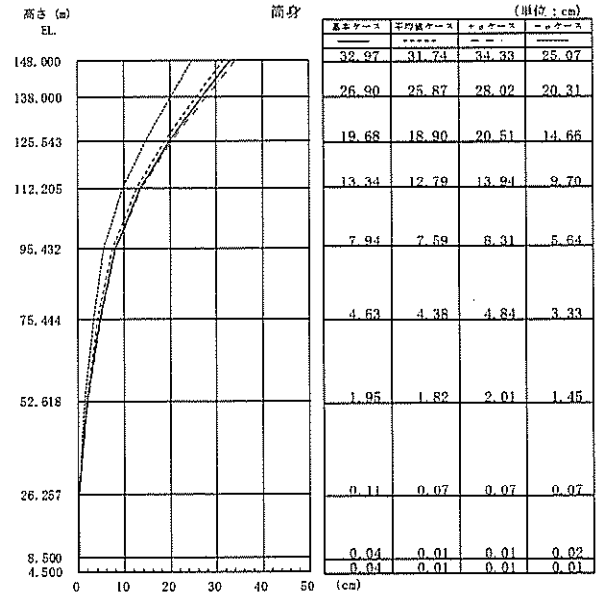


(d) S_s-3 1

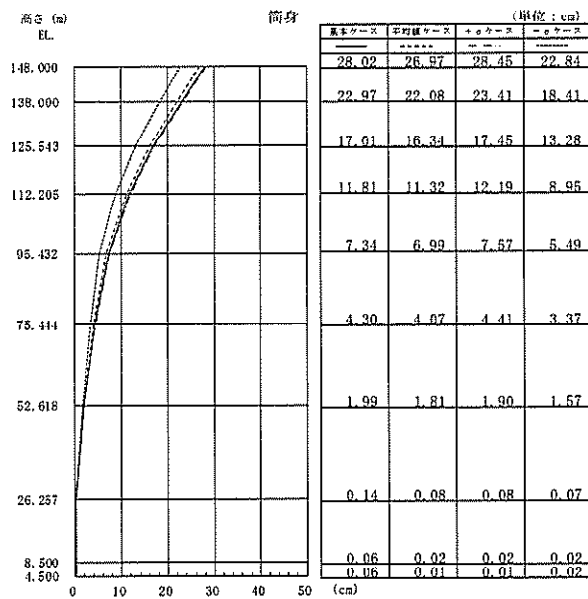
図 2-103 最大応答変位 (EW 方向, 水平 45 度, 鉄塔)



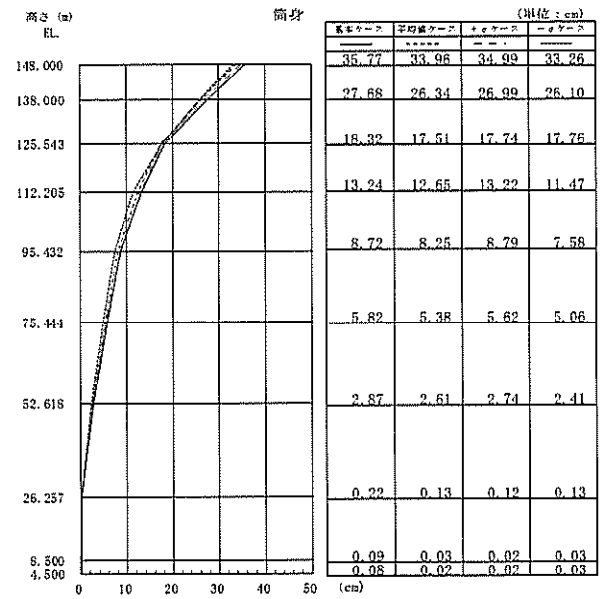
(a) S_s-D1



(b) S_s-21

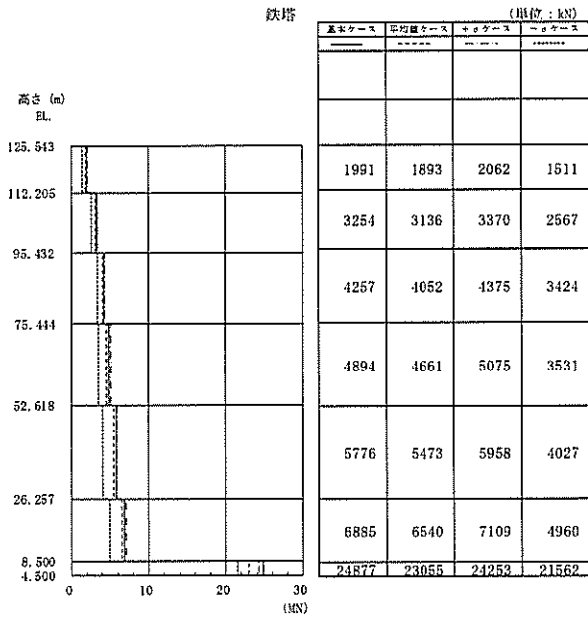


(c) S_s-22

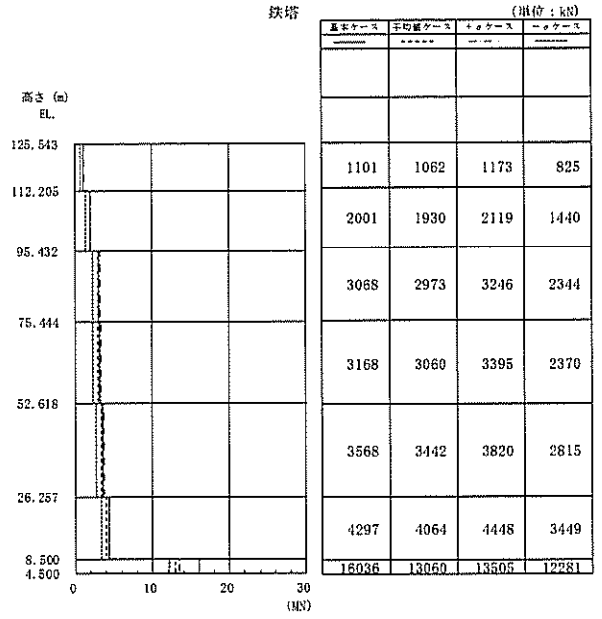


(d) S_s-31

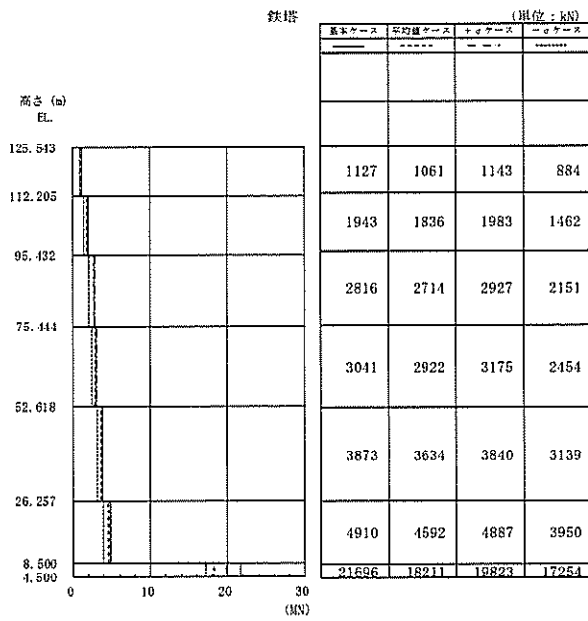
図 2-104 最大応答変位 (EW 方向, 水平 45 度, 筒身)



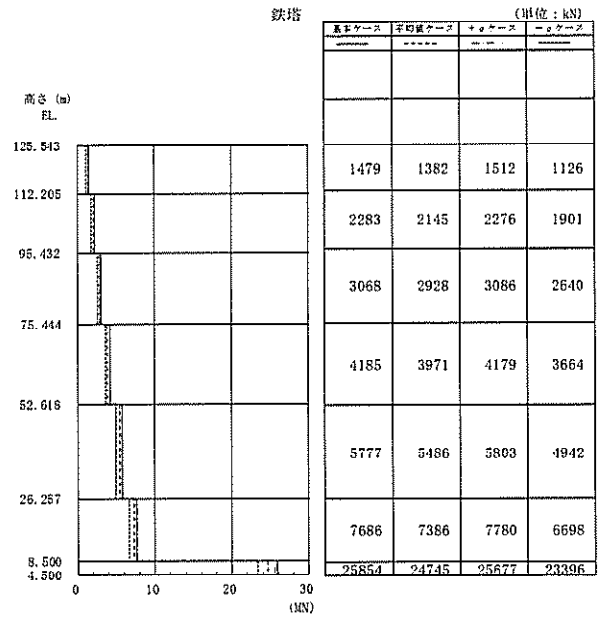
(a) S_s-D 1



(b) S_s-2 1

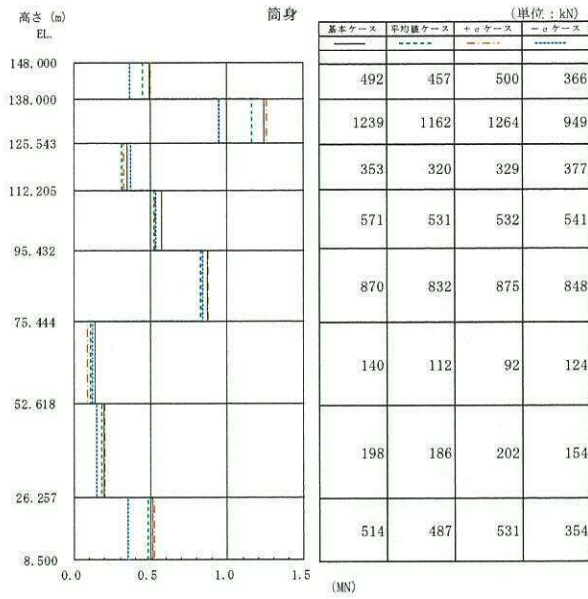


(c) S_s-2 2

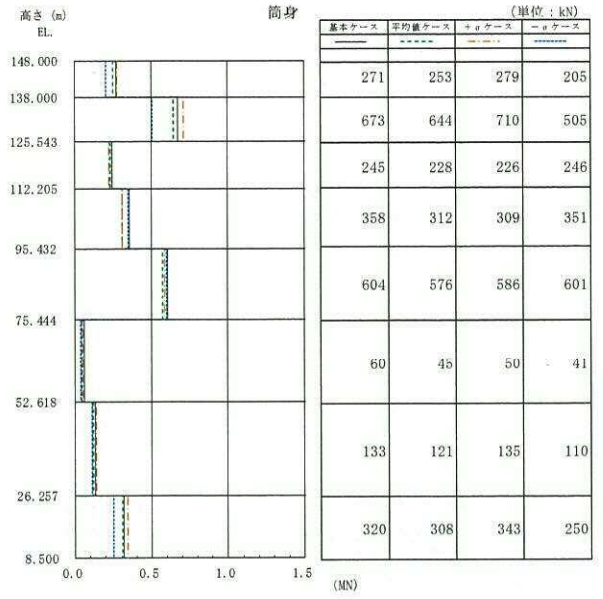


(d) S_s-3 1

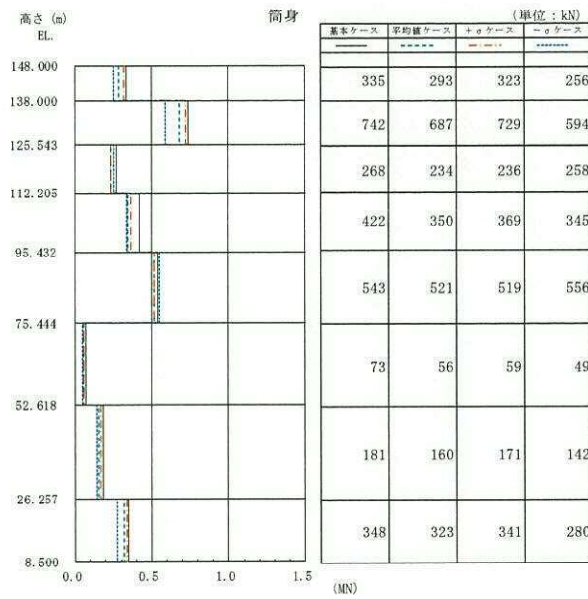
図 2-105 最大応答せん断力 (EW 方向, 水平 45 度, 铁塔)



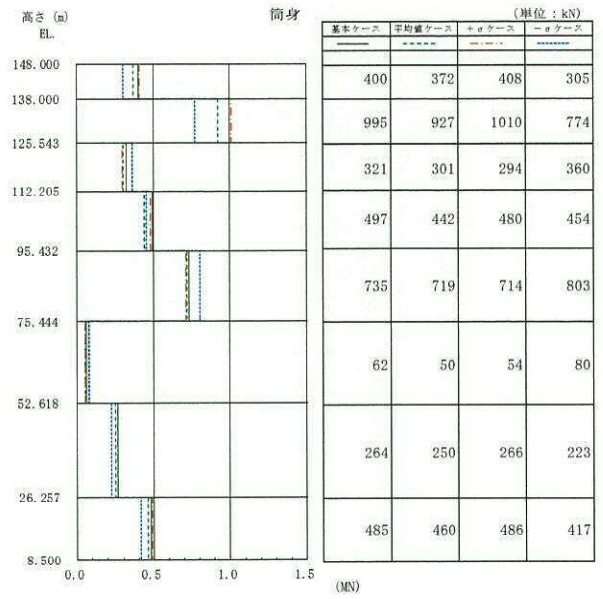
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

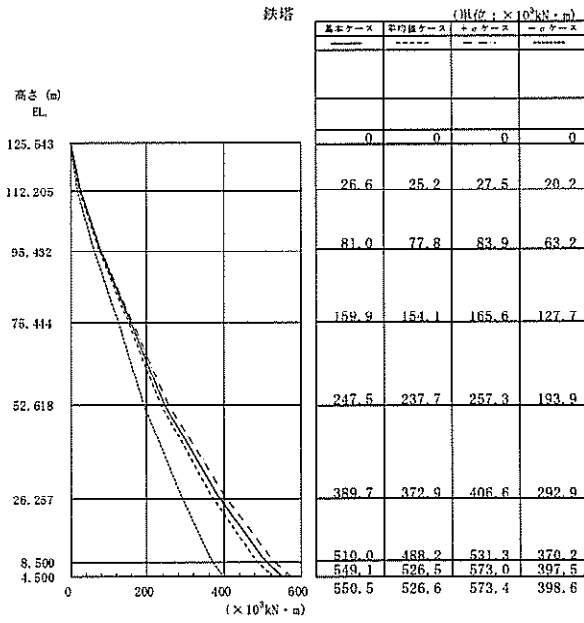


(c) $S_s - 2 2$

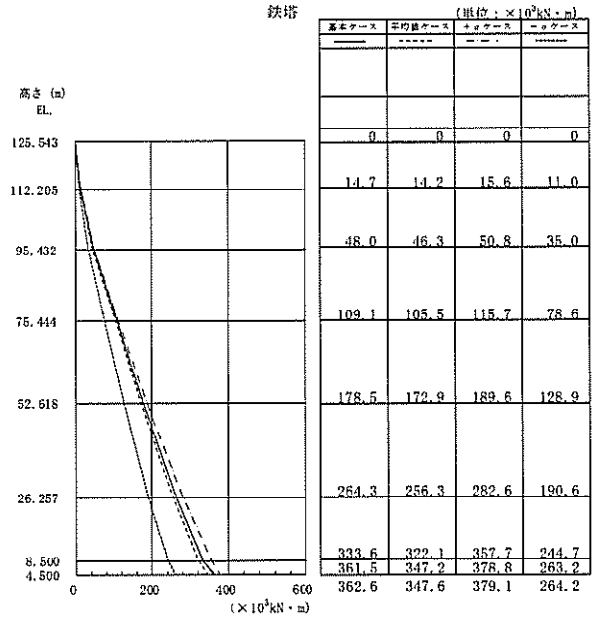


(d) $S_s - 3 1$

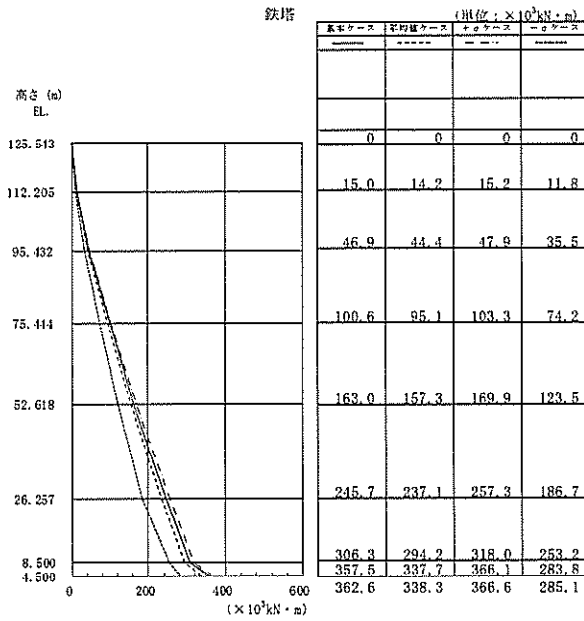
図 2-106 最大応答せん断力 (EW 方向, 水平 45 度, 筒身)



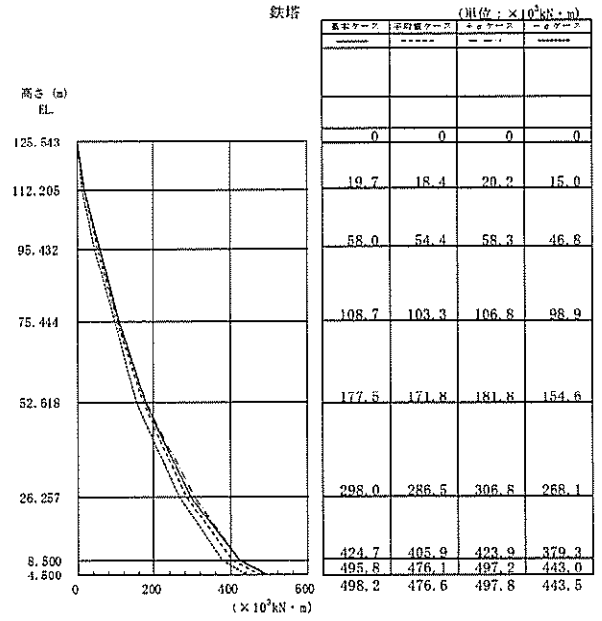
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$



(c) $S_s - 2 2$



(d) $S_s - 3 1$

図 2-107 最大応答曲げモーメント (EW 方向, 水平 45 度, 鉄塔)

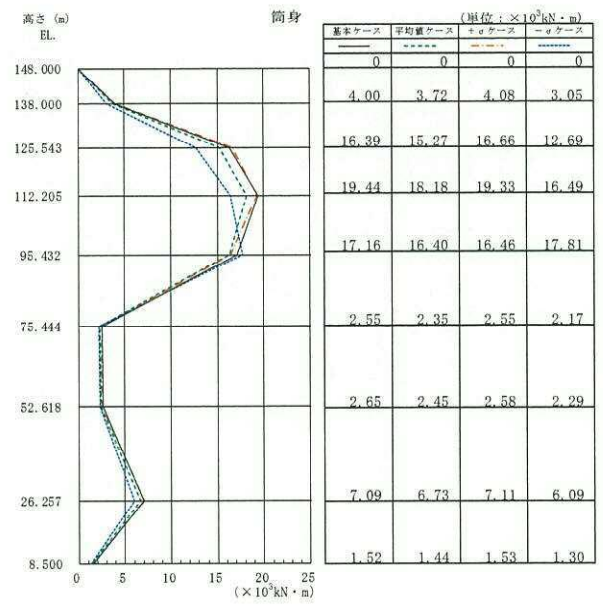
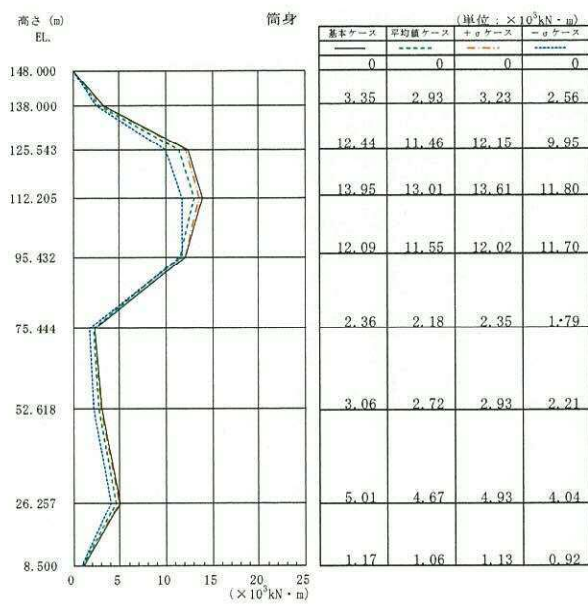
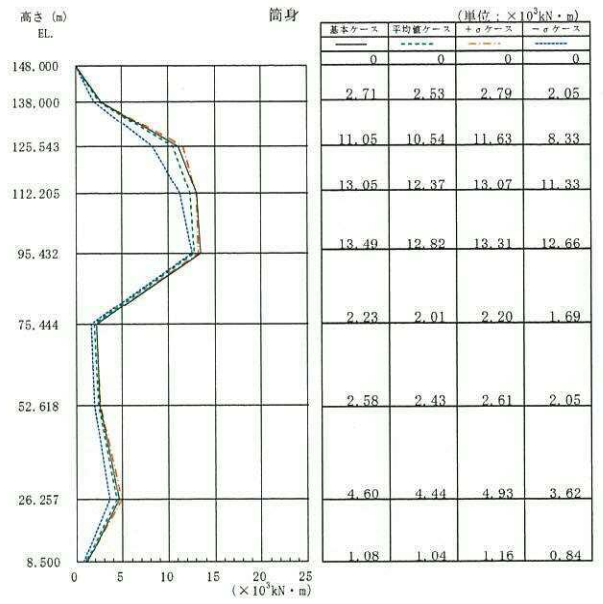
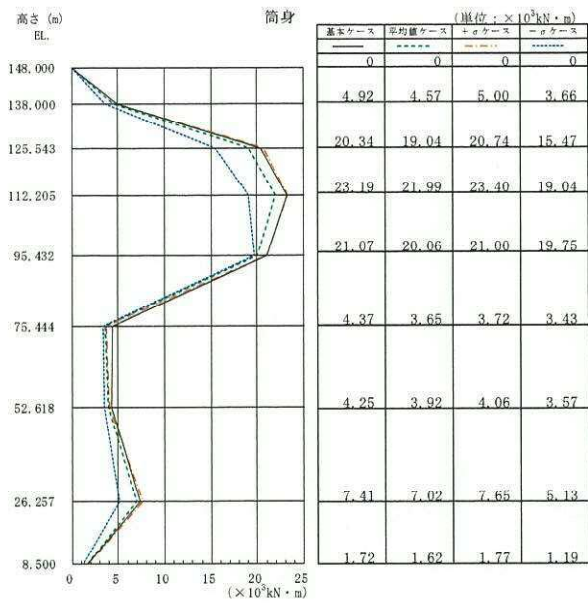
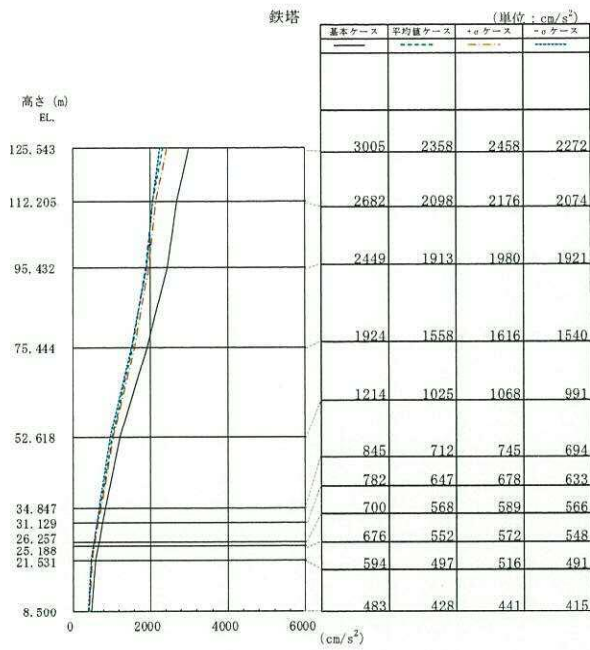
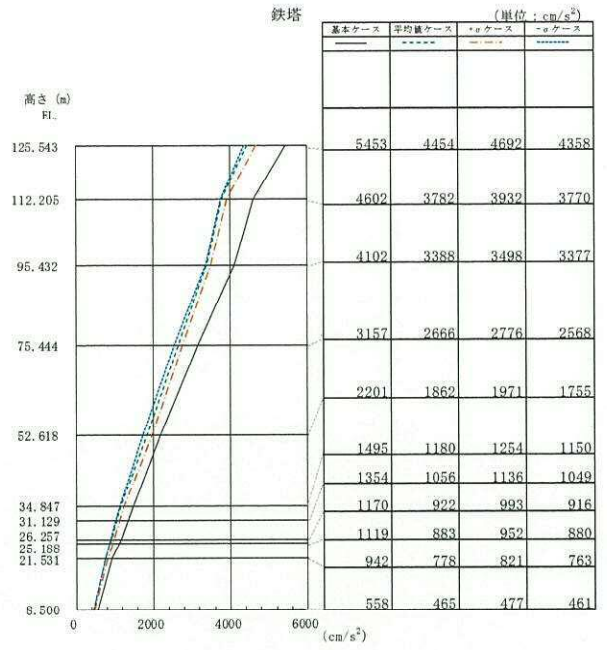


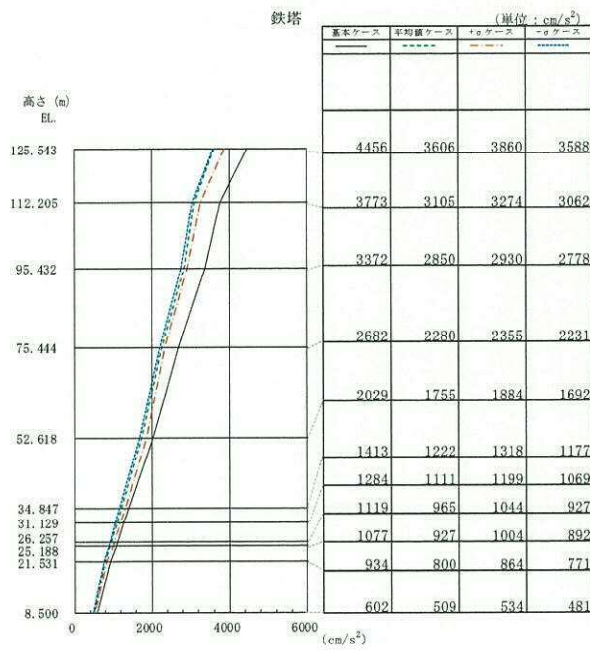
図 2-108 最大応答曲げモーメント (EW 方向, 水平 45 度, 筒身)



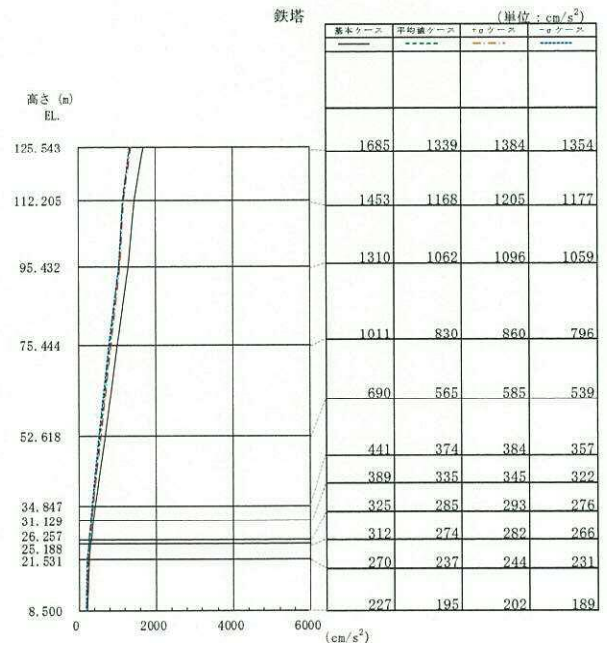
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

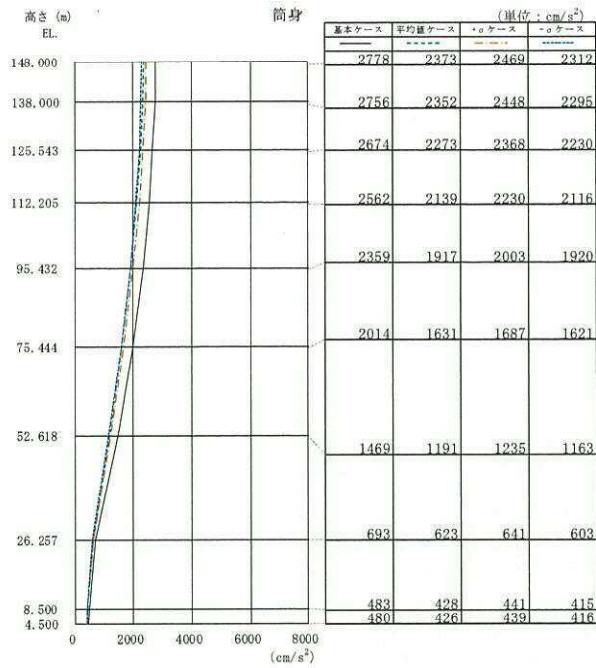


(c) $S_s - 2 2$

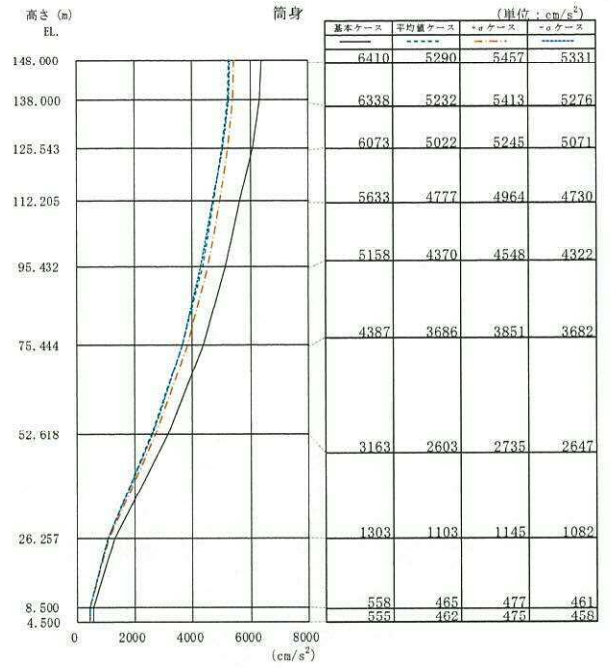


(d) $S_s - 3 1$

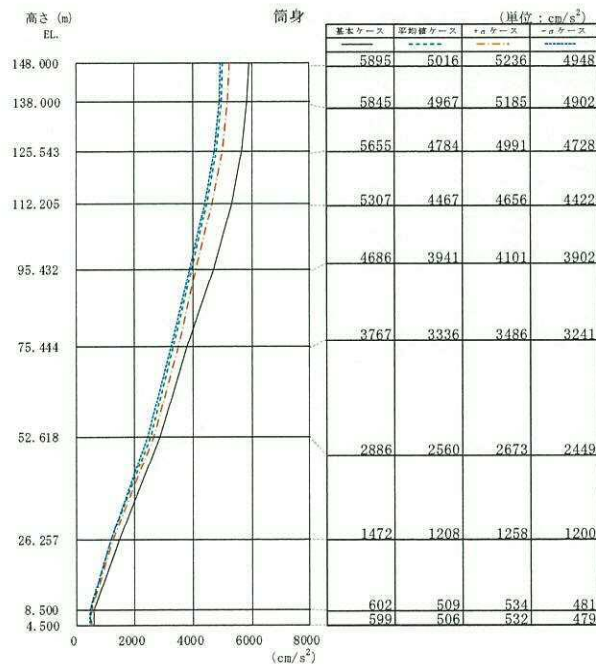
図 2-109 最大応答加速度 (UD 方向, 鉄塔)



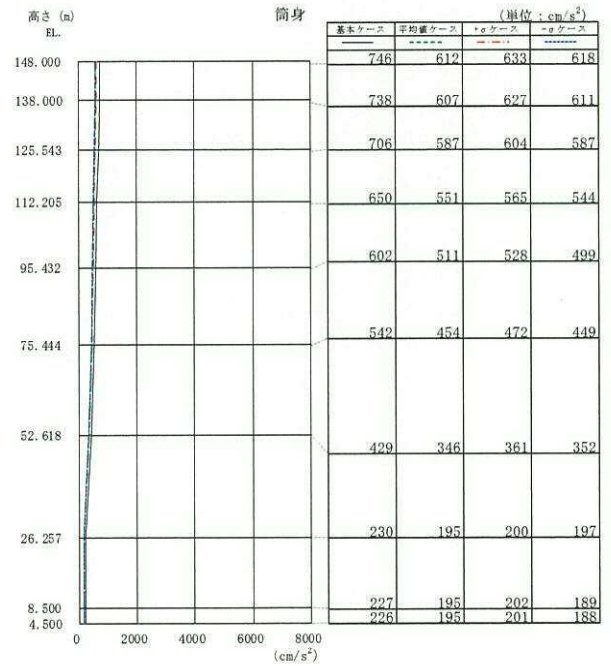
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$

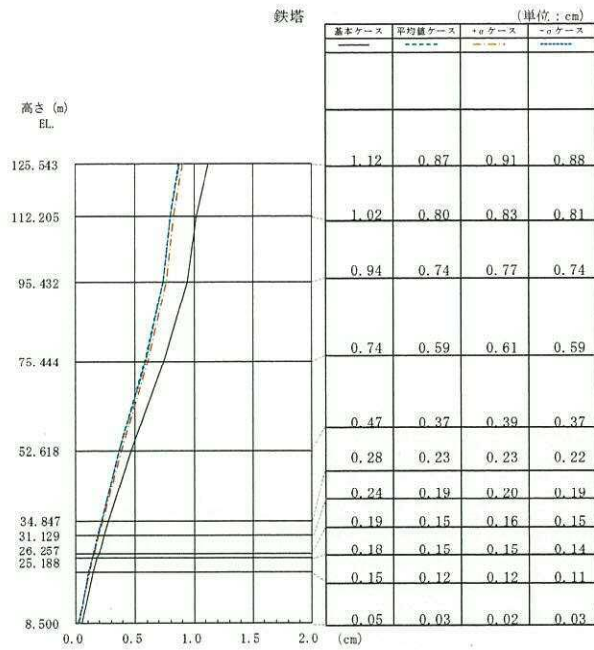


(c) $S_s - 2 2$

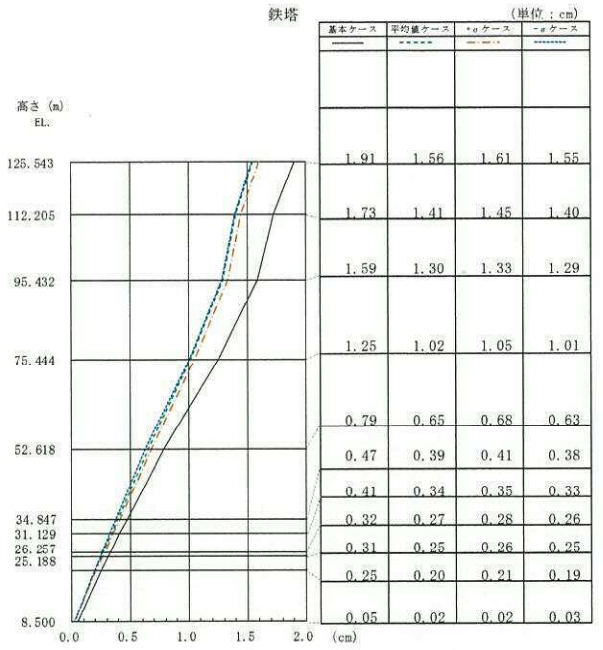


(d) $S_s - 3 1$

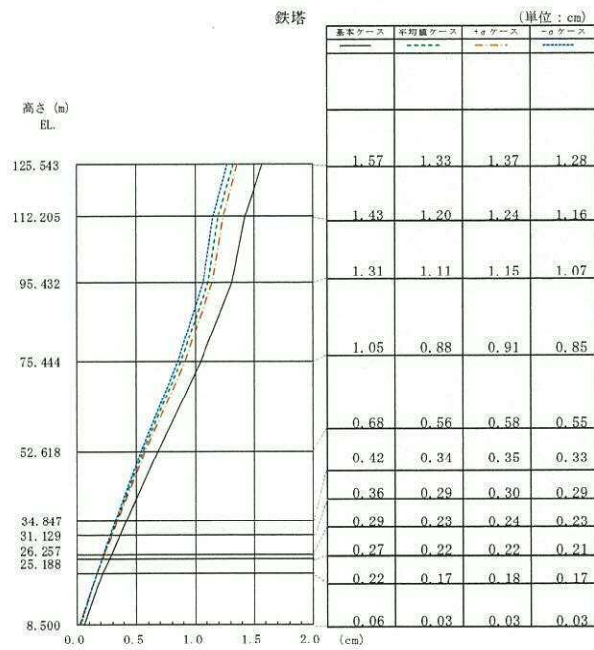
図 2-110 最大応答加速度 (UD 方向, 筒身)



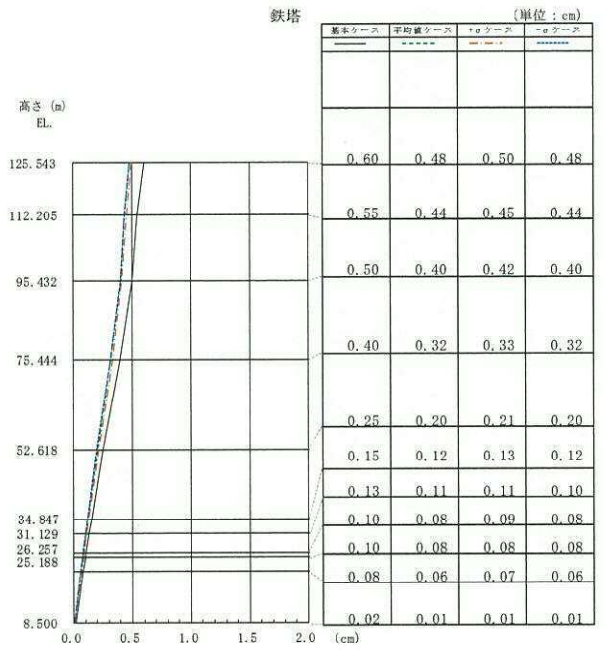
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$



(c) $S_s - 2 2$



(d) $S_s - 3 1$

図2-111 最大応答変位 (UD方向, 鉄塔)

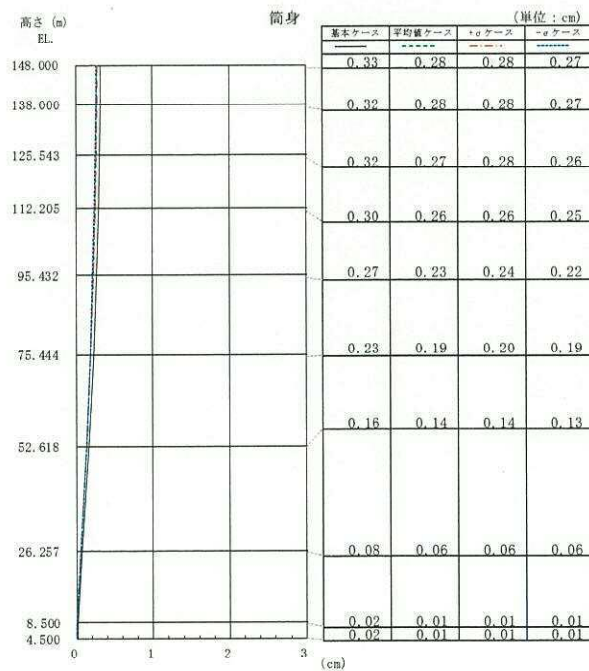
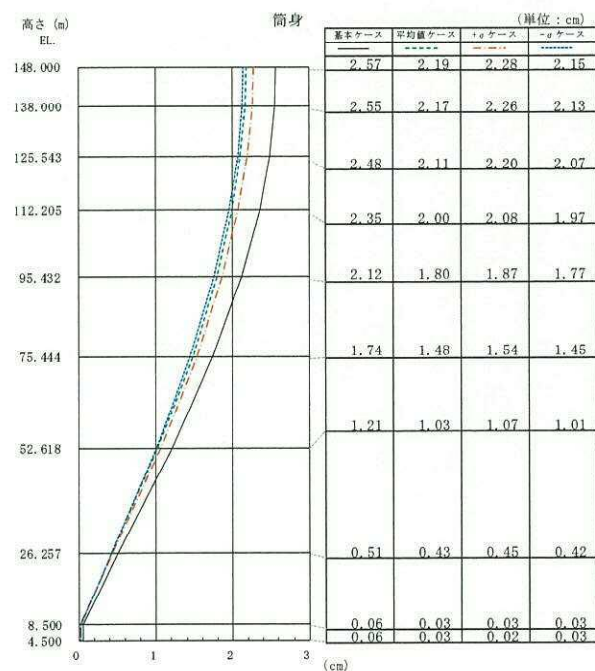
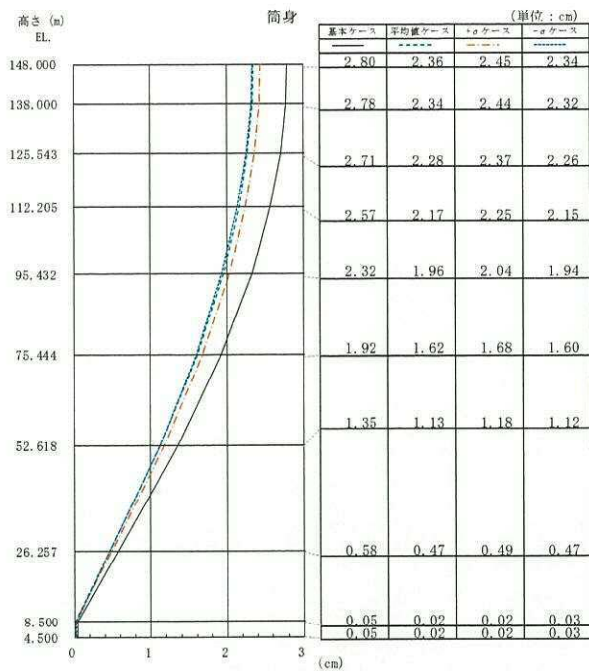
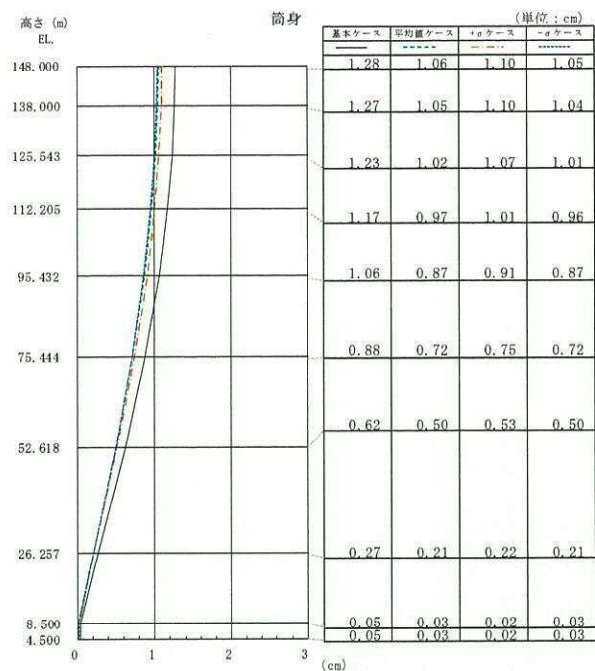


図2-112 最大応答変位 (UD方向, 筒身)

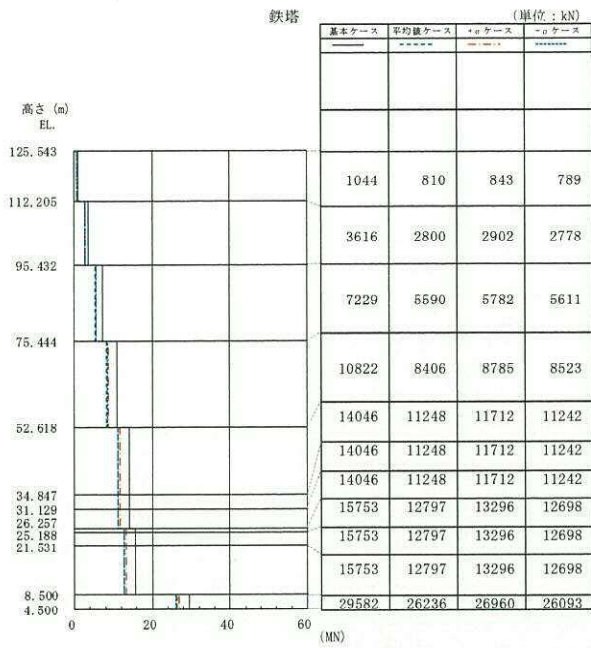
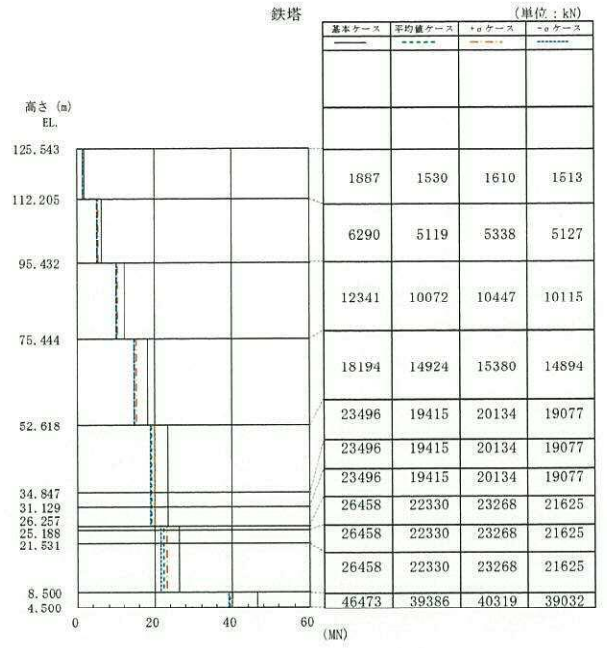
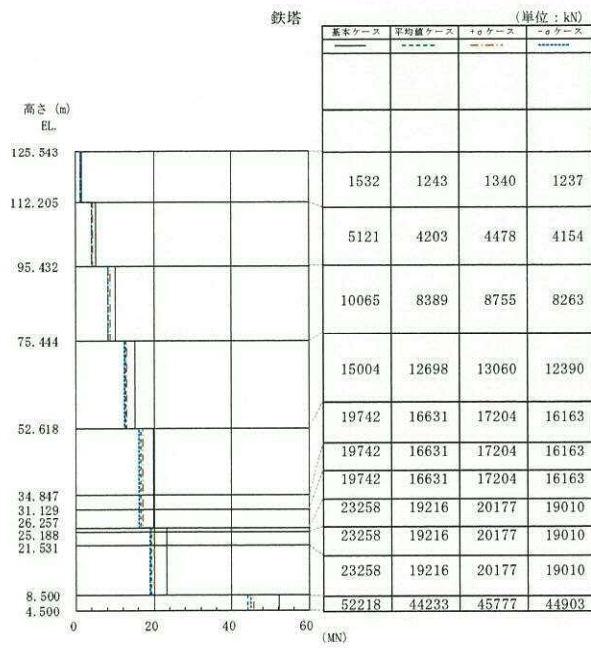
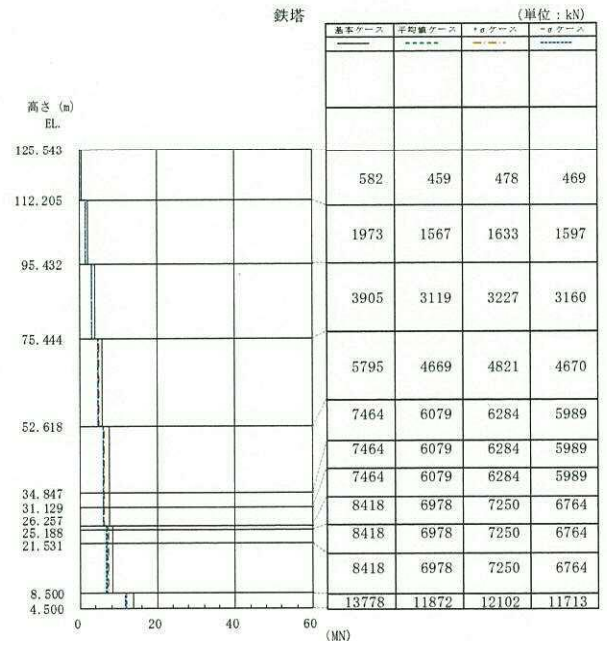
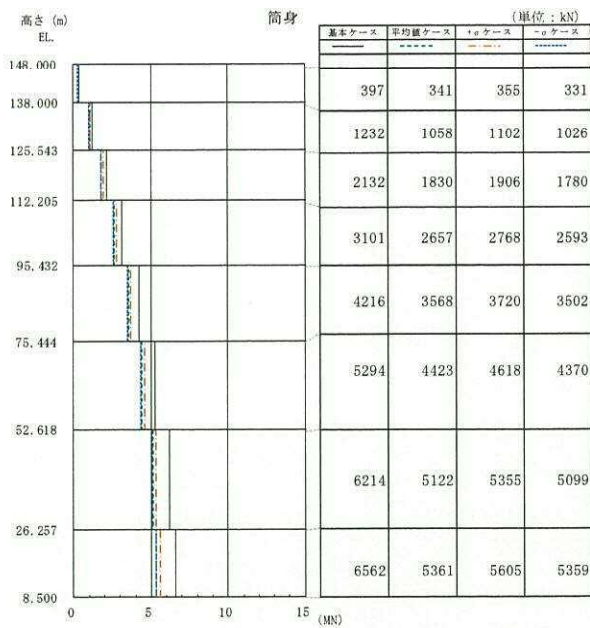
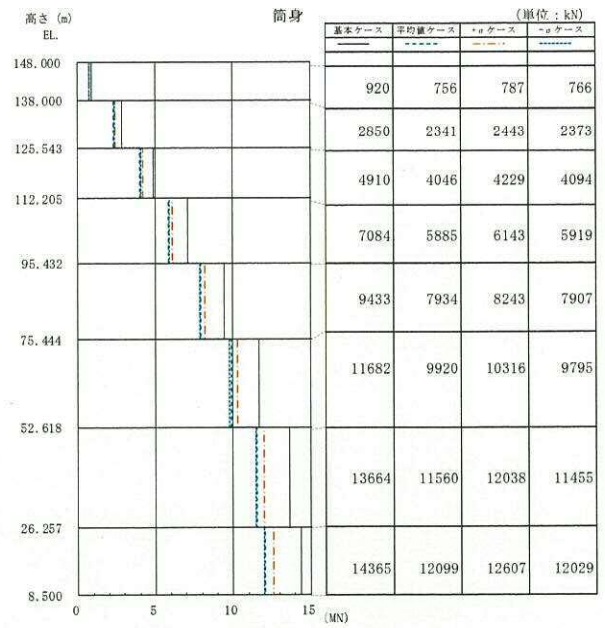
(a) S_s-D 1(b) S_s-2 1(c) S_s-2 2(d) S_s-3 1

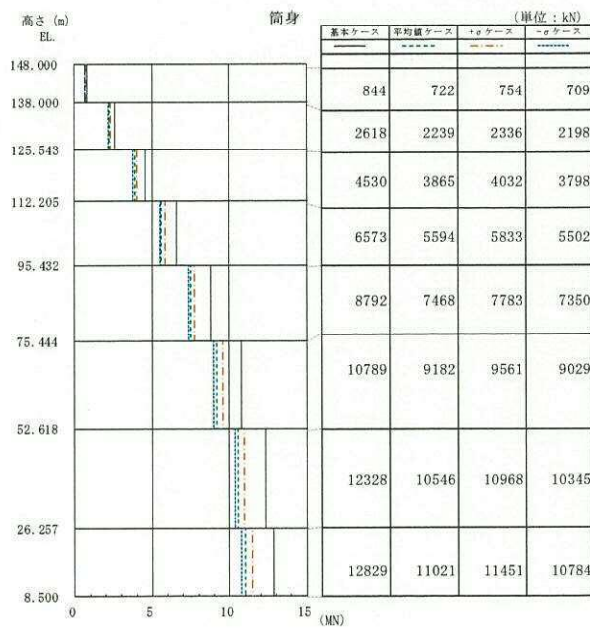
図 2-113 最大応答軸力 (UD 方向, 鉄塔)



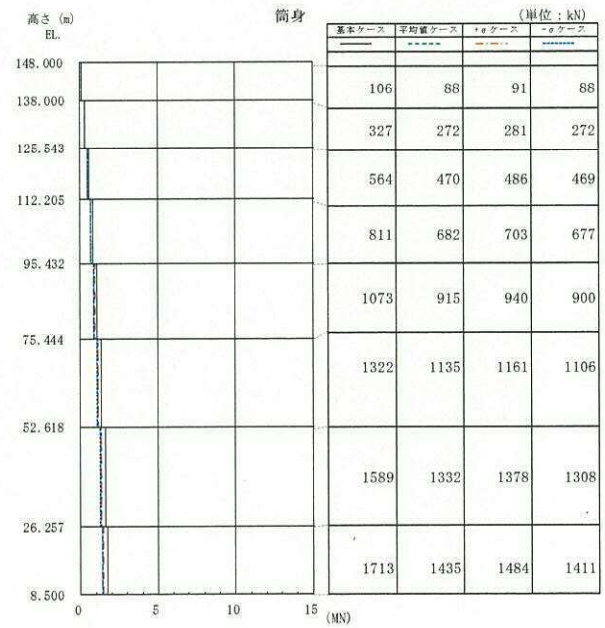
(a) $S_s - D 1$



(b) $S_s - 2 1$



(c) $S_s - 2 2$



(d) $S_s - 3 1$

図 2-114 最大応答軸力 (UD 方向, 筒身)

2.4 非常用ガス処理系配管支持架構

2.4.1 地盤物性のばらつきの設定

地盤物性のばらつきのうち、支持地盤については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは、 $\pm\sigma$ 相当として、変動係数10%を考慮する。また、表層地盤については、地盤改良の実施にあたり改良目標値として設定した値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは、地盤改良を実施する計画であることから、非常用ガス処理系配管支持架構近傍にて実施した地盤改良試験施工の試験結果から得られた値の平均値及び試験結果を統計処理して得られた $\pm\sigma$ を考慮する。

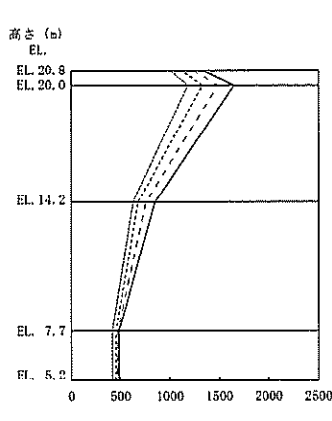
非常用ガス処理系配管支持架構における地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケースを表 2-4 に示す。

表 2-4 地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	モデル名称	地盤物性
基本ケース	基本モデル	改良目標値
地盤物性の変動による影響	基本モデル	平均値
	上限値モデル	$+\sigma$ 相当
	下限値モデル	$-\sigma$ 相当

2.4.2 地震応答解析結果

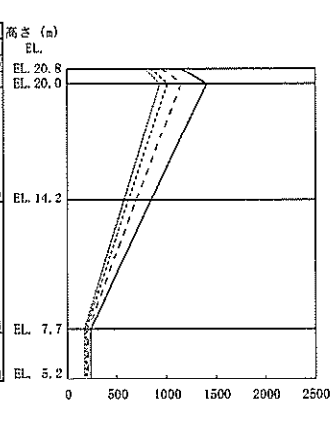
非常用ガス処理系配管支持架構の地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果の最大応答値の比較を図 2-115～図 2-120 に示す。



(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+ σ ケース	- σ ケース
1333	1115	1237	999
1652	1335	1491	1194
853	695	766	639
491	458	460	424
490	458	480	424

(cm/s²)



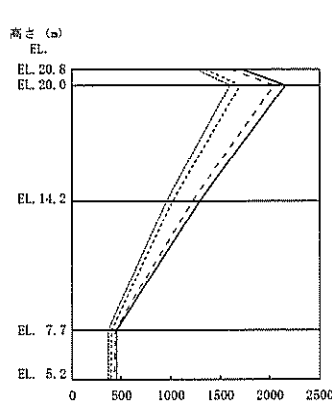
(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+ σ ケース	- σ ケース
1146	847	960	782
1411	1019	1158	940
843	615	699	571
233	194	214	178
233	193	213	177

(cm/s²)

(a) $S_s - D 1$

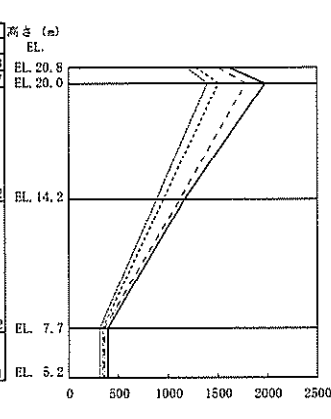
(b) $S_s - 1 1$



(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+ σ ケース	- σ ケース
1718	1357	1619	1273
2162	1715	2053	1607
1294	1030	1224	962
456	405	440	372
453	404	439	371

(cm/s²)



(単位: cm/s^2)

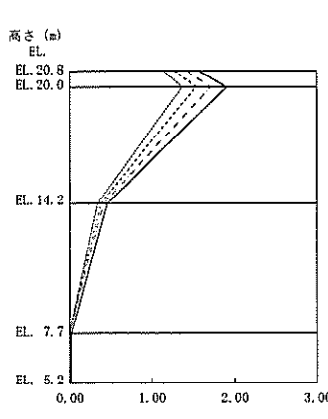
基本ケース	平均値ケース	+ σ ケース	- σ ケース
1613	1285	1513	1195
1984	1510	1787	1396
1165	959	1123	885
391	337	356	311
388	336	355	310

(cm/s²)

(a) $S_s - 2 1$

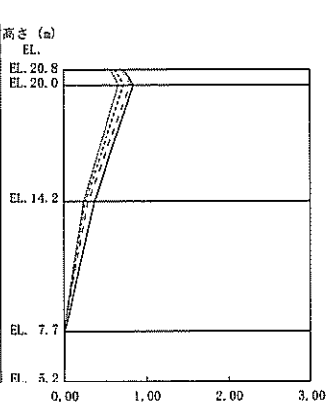
(b) $S_s - 2 2$

図 2-115 最大応答加速度 (NS 方向)



(単位: cm)

基本ケース	平均値ケース	+σケース	-σケース
1.58	1.29	1.43	1.15
1.91	1.54	1.72	1.38
0.46	0.38	0.42	0.35
0.02	0.00	0.00	0.01
0.02	0.00	0.00	0.00

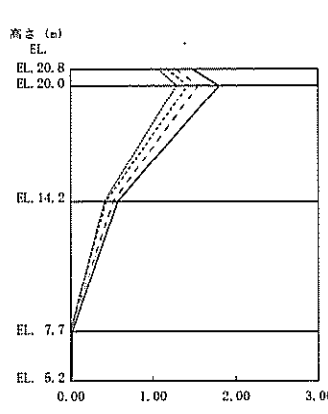


(単位: cm)

基本ケース	平均値ケース	+σケース	-σケース
0.73	0.63	0.71	0.58
0.84	0.73	0.82	0.67
0.37	0.26	0.29	0.24
0.01	0.00	0.00	0.00
0.01	0.00	0.00	0.00

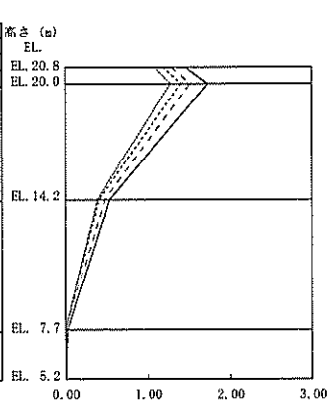
(a) $S_s - D1$

(b) $S_s - I1$



(単位: cm)

基本ケース	平均値ケース	+σケース	-σケース
1.48	1.18	1.28	1.07
1.81	1.43	1.56	1.30
0.58	0.44	0.53	0.41
0.02	0.00	0.00	0.01
0.02	0.00	0.00	0.00



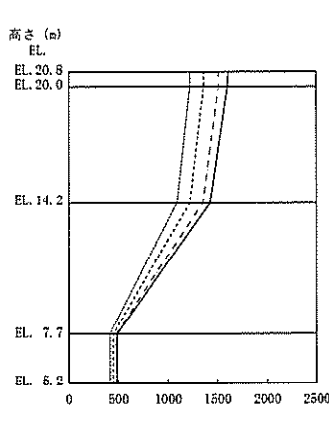
(単位: cm)

基本ケース	平均値ケース	+σケース	-σケース
1.46	1.19	1.29	1.09
1.73	1.41	1.53	1.29
0.54	0.41	0.46	0.39
0.02	0.00	0.00	0.00
0.01	0.00	0.00	0.00

(a) $S_s - 21$

(b) $S_s - 22$

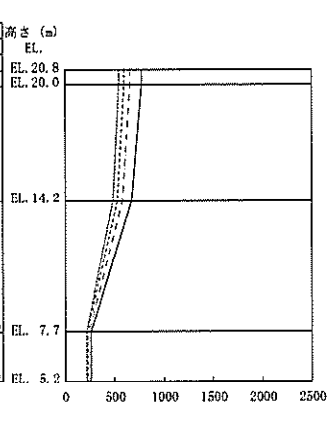
図 2-116 最大応答変位 (NS 方向)



(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+gケース	-gケース
1611	1372	1519	1231
1605	1366	1515	1227
1428	1230	1364	1103
491	458	481	425
490	458	480	424

(単位: cm/s^2)



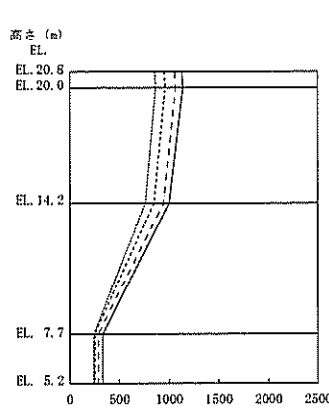
(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+gケース	-gケース
777	604	661	549
777	606	664	551
676	536	588	487
265	229	248	221
267	229	248	221

(単位: cm/s^2)

(a) $S_s - D1$

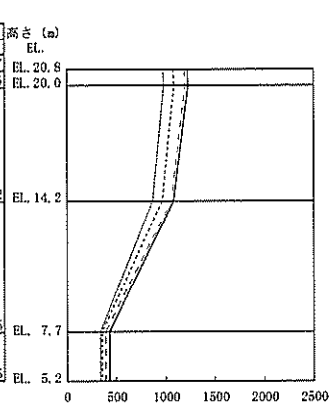
(b) $S_s - 11$



(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+gケース	-gケース
1133	981	1066	867
1142	970	1076	875
1002	855	949	772
334	260	289	245
334	260	289	245

(単位: cm/s^2)



(単位: cm/s^2)

基本ケース	平均値ケース	+gケース	-gケース
1221	1084	1194	974
1230	1093	1204	982
1081	966	1063	870
433	364	396	340
424	365	396	341

(単位: cm/s^2)

(a) $S_s - 21$

(b) $S_s - 22$

図 2-117 最大応答加速度 (EW 方向)

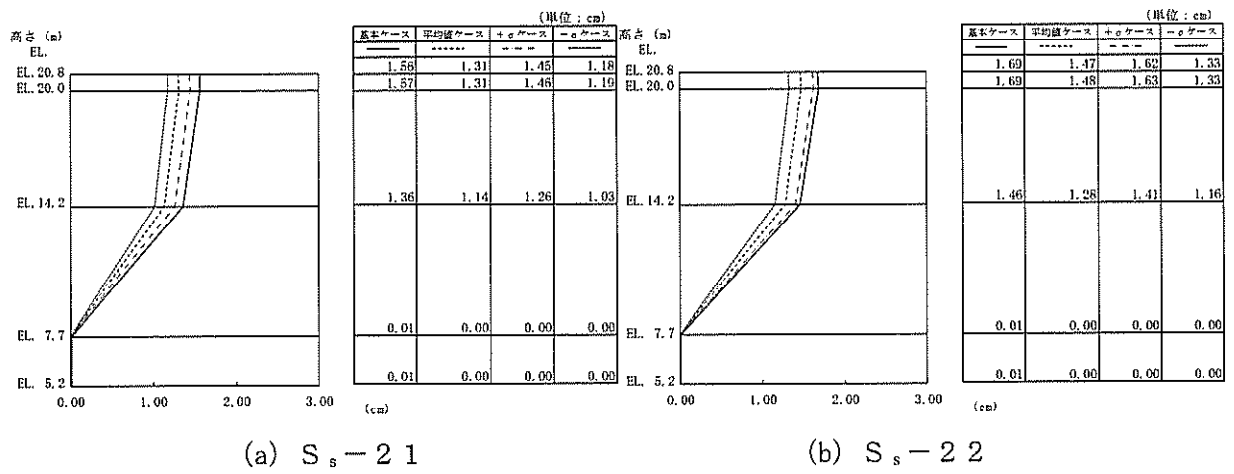
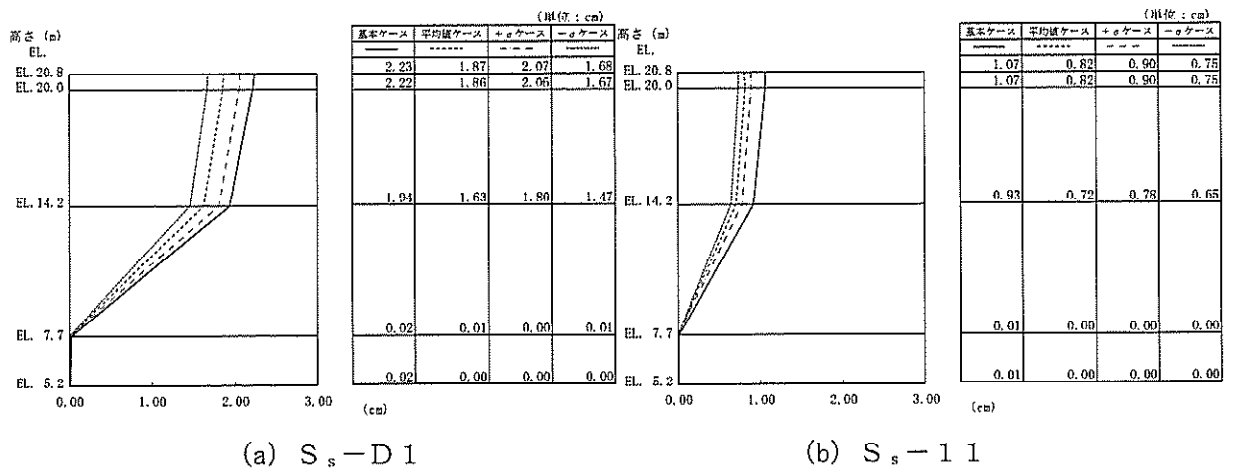


図 2-118 最大応答変位 (EW 方向)

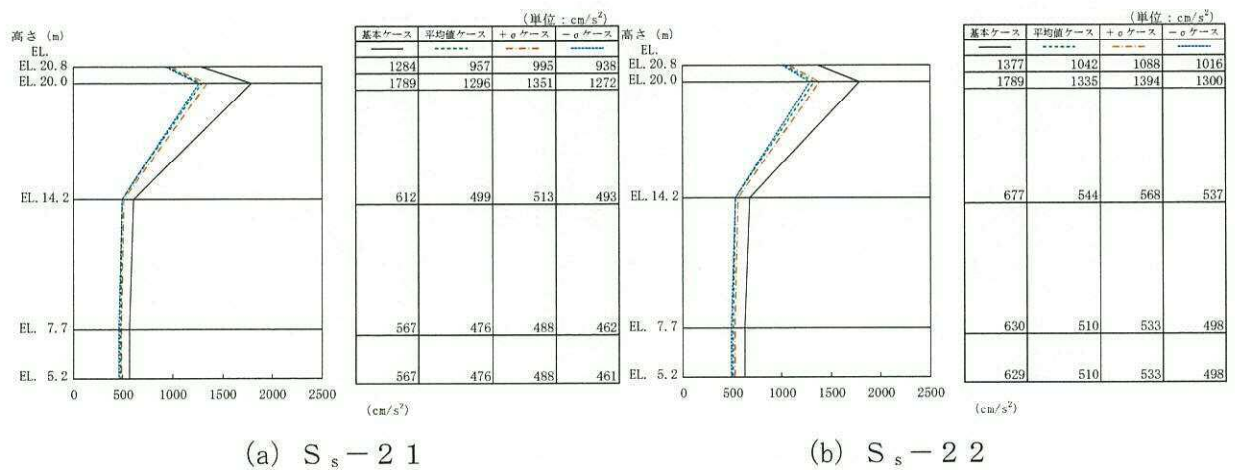
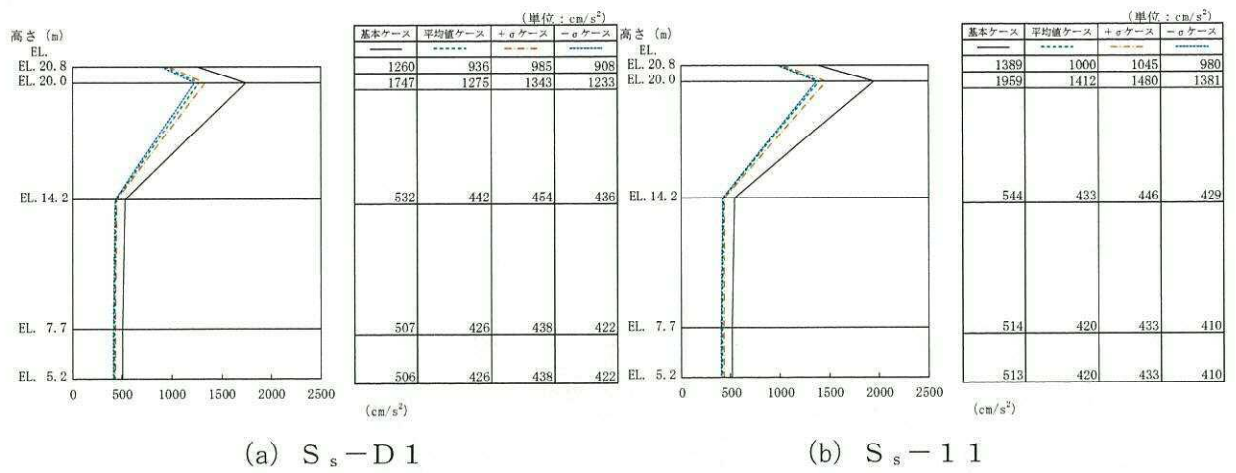


図 2-119 最大応答加速度 (UD 方向)

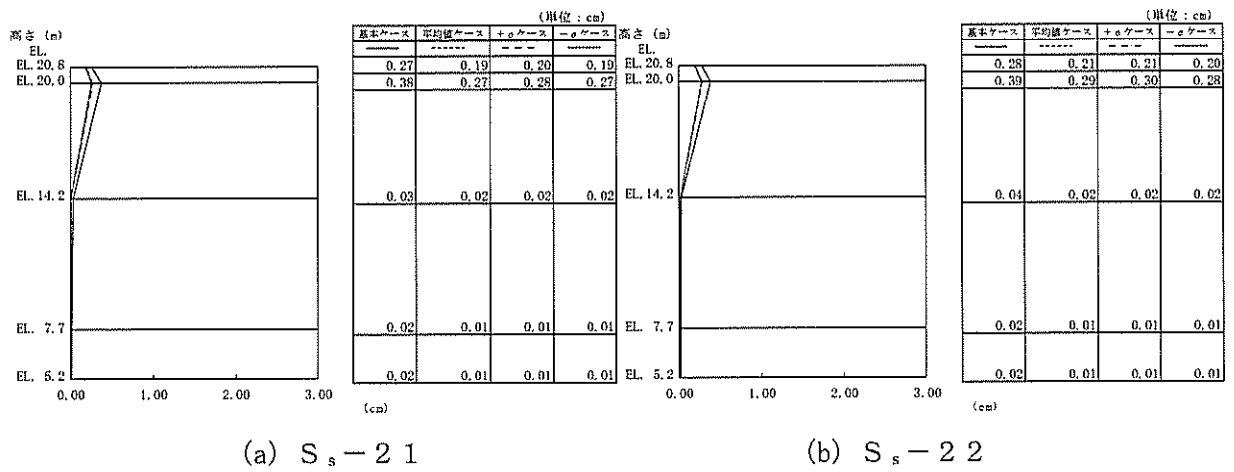
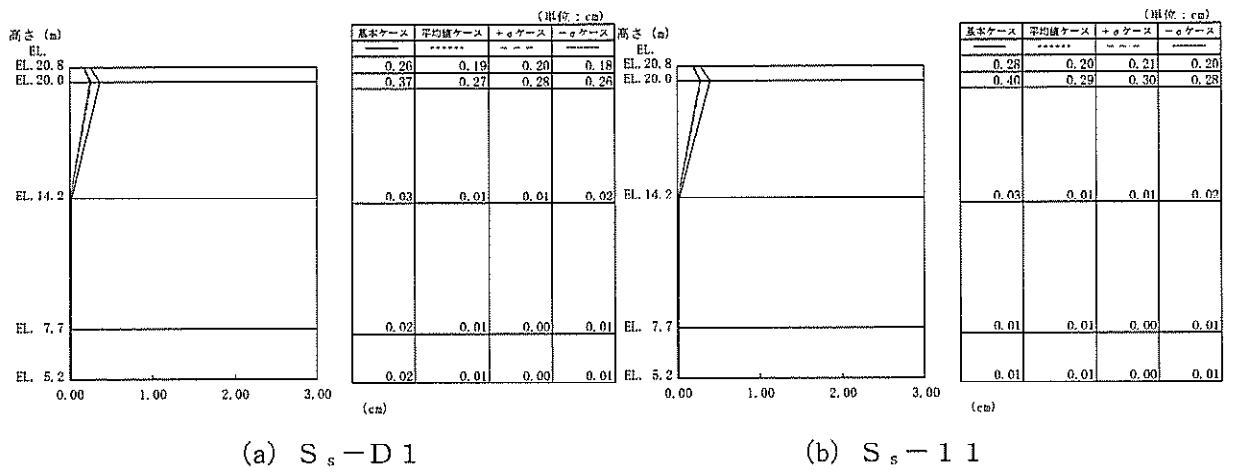


図 2-120 最大応答変位 (UD 方向)

別紙 4 建屋剛性と地盤物性のばらつきを変動させた場合の
鉄骨造屋根トラスの影響について

目次

1. 検討概要	別紙 4-1
2. 屋根トラスに対するばらつきの影響検討	別紙 4-2
2.1 建屋剛性及び地盤物性を変動させたケースと基本ケース（工認基本モデル）の影響確認 ..	別紙 4-5
2.2 地盤物性を変動させたケースと基本ケース（工認基本モデル）の影響確認	別紙 4-2
3. まとめ	別紙 4-8

1. 検討概要

地震応答解析モデルに補助壁及びコンクリート強度のばらつきを考慮し、建屋剛性を上昇させると耐力についても上昇する。また建屋剛性を上昇させるとせん断ひずみは小さくなると考えられることから建屋剛性のばらつきは建屋の耐震性評価に考慮しない。

また、鉄骨造の屋根トラスについては建屋剛性を変動させたケースは基本ケースと概ね同程度の応答であることを確認している。

ただし、鉄骨造の屋根トラスについては建屋剛性が上昇しても耐力は上昇しないため、建屋剛性と地盤物性のばらつきを変動させた場合の影響を原子炉建屋にて確認する。影響確認にあたっては基本ケース及び地盤物性のばらつきを変動させた場合の応答に対して比較評価を行う。

2. 屋根トラスに対するばらつきの影響検討

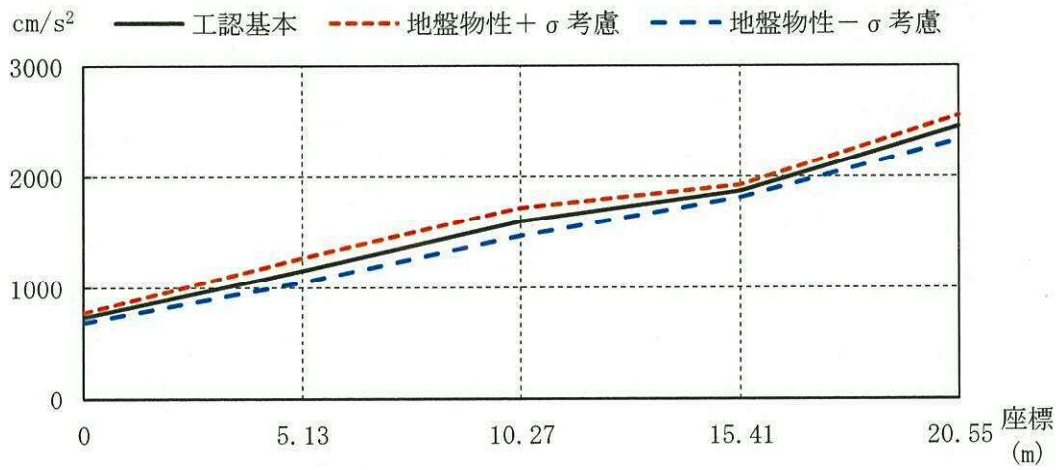
2.1 地盤物性を変動させたケースと基本ケース（工認基本モデル）の比較

建屋剛性は設計基準強度のまま地盤物性を変動させた解析モデルによる地震応答解析を行い基本ケース（工認基本モデル）の結果と比較した。検討ケースを表 2-1 に示す。S_s-D1 に対する最大加速度の比較を図 2-1 に、最大応答変位の比較を図 2-2 に示す。

屋根トラスの最大応答加速度は地盤物性を変動させたケースのうち地盤物性+ σ 考慮モデルの結果が基本ケースを若干上回り、最大応答変位は概ね同程度であることを確認した。

表 2-1 検討ケース

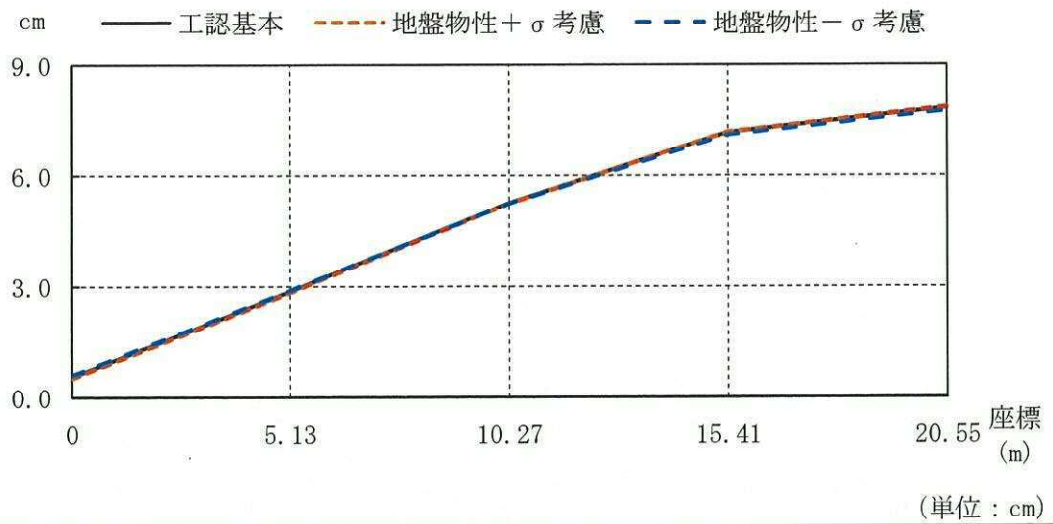
	モデル名称	建屋剛性		地盤物性
		コンクリート強度	補助壁	地盤のせん断波速度
基本ケース	工認基本モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤
地盤物性の変動による影響	地盤物性+ σ 考慮モデル	設計基準強度	非考慮	標準地盤+ σ 相当
	地盤物性- σ 考慮モデル			標準地盤- σ 相当



(単位: cm/s^2)

工認基本	734	1153	1594	1868	2450
地盤物性+ σ 考慮	773	1266	1717	1923	2551
地盤物性- σ 考慮	686	1048	1464	1810	2332

図 2-1 最大応答加速度 (S_s -D 1, UD 方向)



工認基本	0.56	2.87	5.26	7.16	7.84
地盤物性 + σ 考慮	0.52	2.83	5.25	7.17	7.86
地盤物性 - σ 考慮	0.61	2.89	5.25	7.10	7.76

図 2-2 最大応答変位 (S_s -D 1, UD 方向)

2.2 建屋剛性及び地盤物性を変動させたケースの影響確認

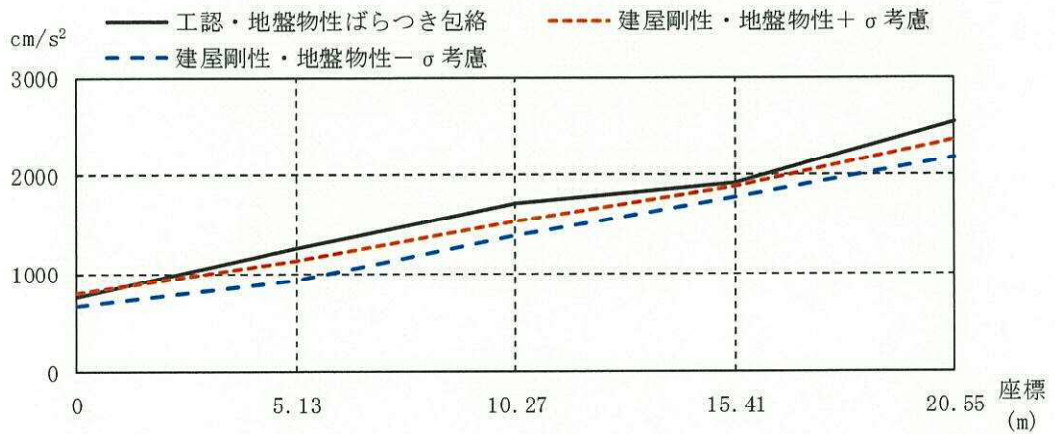
建屋剛性及び地盤物性を変動させた解析モデルによる地震応答解析を行い基本ケース（工認基本モデル）及び地盤物性のばらつきを変動させた場合の包絡値と比較した。検討ケースを表 2-2 に示す。S_g-D 1 に対する最大加速度の比較を図 2-3 に、最大応答変位の比較を図 2-4 に示す。

建屋剛性及び地盤物性を変動させたケースの屋根トラス応答値は、端部の加速度を除き基本ケース及び地盤物性のばらつきを変動させた場合の包絡値以下であることを確認した。

端部の加速度については建屋躯体の加速度であり、屋根トラスの評価に対しては中央部の応答値が支配的であることから建屋剛性及び地盤物性を変動させたケースが屋根トラス評価に与える影響はない。

表 2-2 検討ケース

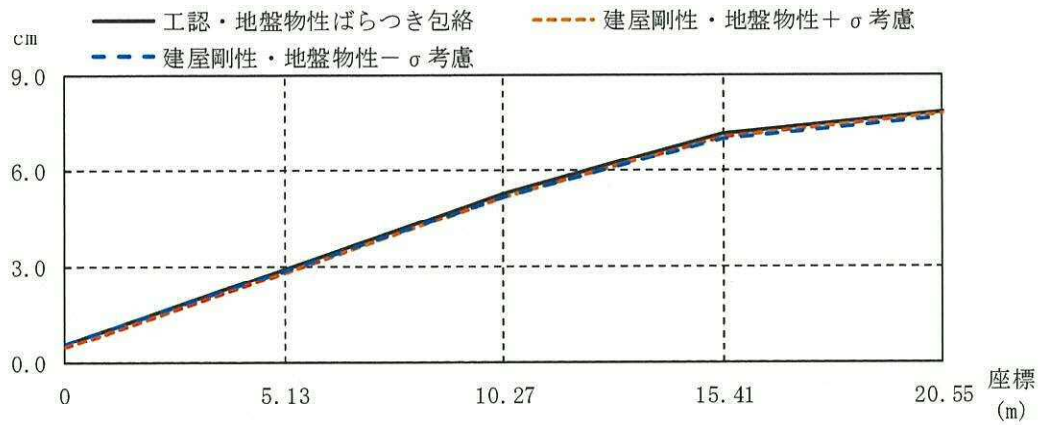
	モデル名称	建屋剛性		地盤物性
		コンクリート強度	補助壁	地盤のせん断波速度
建屋剛性及び地盤物性の変動による影響	建屋剛性・地盤物性+ σ 考慮	実強度	考慮	標準地盤+ σ 相当
	建屋剛性・地盤物性- σ 考慮			標準地盤- σ 相当



(単位: cm/s²)

工認基本・地盤物性ばらつき包絡	773	1266	1717	1923	2551
建屋剛性・地盤物性+ σ 考慮	809	1136	1542	1892	2369
建屋剛性・地盤物性- σ 考慮	681	929	1388	1785	2177

図 2-3 最大応答加速度 (S_s-D 1, UD 方向)



(単位：cm)

工認基本・ 地盤物性ばらつき包絡	0.61	2.89	5.26	7.17	7.86
建屋剛性・ 地盤物性+σ考慮	0.48	2.82	5.20	7.07	7.78
建屋剛性・ 地盤物性-σ考慮	0.58	2.86	5.19	7.00	7.68

図 2-4 最大応答変位 (S_s-D 1, UD 方向)

3. まとめ

東海第二発電所原子炉建屋は軟質岩盤に立地しているため地盤－建屋連成系としての剛性に対して建屋剛性の変動は支配的ではなく、鉄骨造の屋根トラス評価に対して支配的な中央部の応答値が基本ケース地盤物性の変動ケースに包絡されることを確認した。

補足 400-4 【隣接建屋の影響に関する検討】

目次

1. 概要.....	1
1.1 隣接建屋の概要.....	1
1.2 検討概要.....	3
2. 既往の知見に基づく検討	4
2.1 既往の文献に基づく検討	4
2.2 3次元FEMモデルを用いた検討.....	13
2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ	22
3. 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討	23
3.1 建物・構築物への影響検討	23
3.2 機器への影響検討.....	40
4. まとめ.....	44
4.1 既往の知見に基づく検討結果	44
4.2 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討結果	45
別紙1 建屋構造特性の整理	
別紙2 応答増幅の影響について	

1. 概要

1.1 隣接建屋の概要

東海第二発電所は、耐震安全上重要な建物・構築物の原子炉建屋、タービン建屋等の建物・構築物及び屋外重要土木構造物が互いに隣接して配置される構成となっている。

東海第二発電所の構内配置図を図1-1に示す。原子炉建屋に耐震設計上重要な設備を設置する建物・構築物ではないものの規模の大きなタービン建屋が隣接している。このため、隣接建屋としてタービン建屋が原子炉建屋の耐震評価に及ぼす影響について検討する。両建屋の平面規模、質量等の構造特性については、別紙1「建屋構造特性の整理」において整理している。

建物・構築物の主要構造部は、原則として耐震壁を主たる耐震要素とする鉄筋コンクリート造である。また、建物・構築物に隣接する屋外重要土木構造物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物である。各建物・構築物及び屋外重要土木構造物は、砂質泥岩である久米層に支持されている。

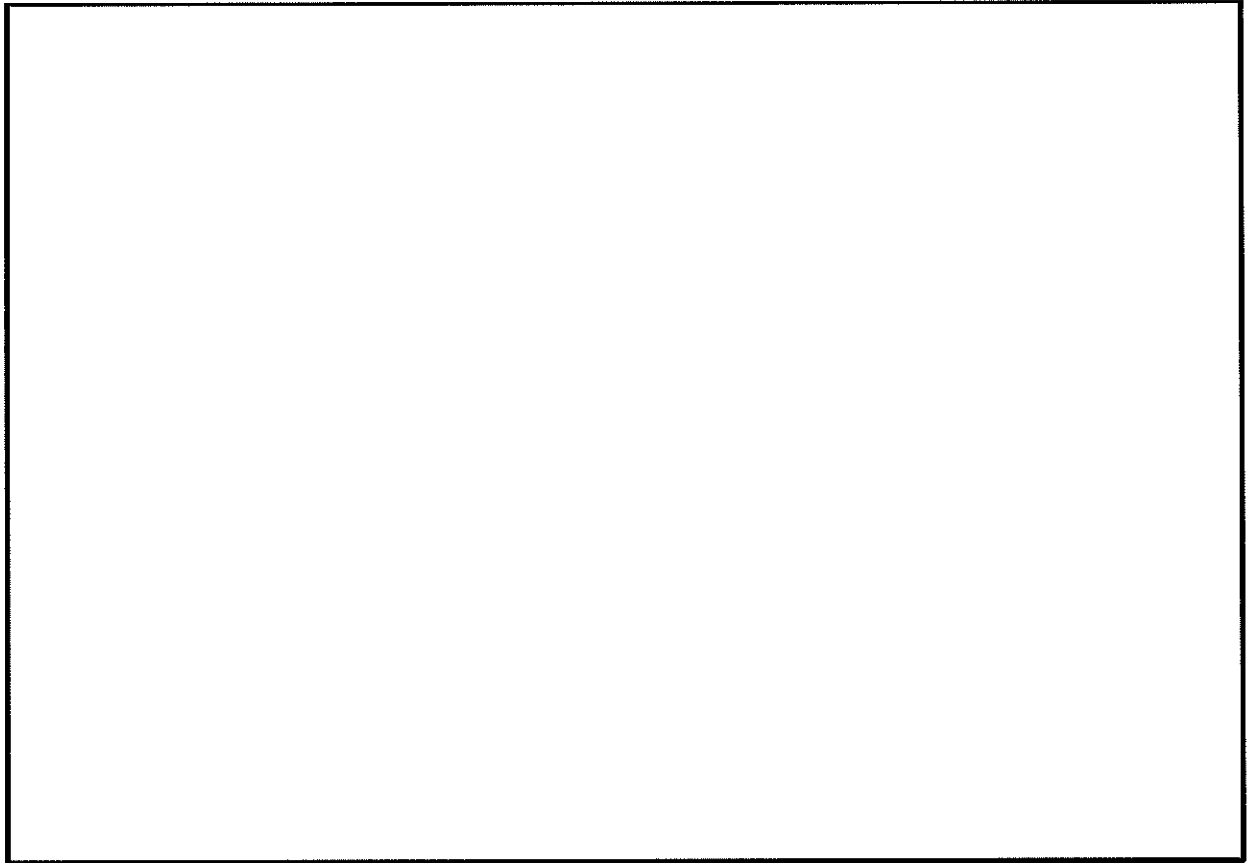


図 1-1 東海第二発電所の構内配置図

1.2 検討概要

建物・構築物の地震応答解析は、構造的に一体となっている建屋ごとに独立して構築した質点系モデルを用いて実施しており、耐震評価においては、隣接建屋の影響は考慮していない。

建物・構築物に隣接する屋外重要土木構造物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であるため、建物・構築物の応答に与える影響は小さいと考えられる。

本資料では、既往の知見に基づく検討結果から一般論として隣接建屋の影響を考察したうえで、東海第二発電所の隣接建屋の影響検討を実施することにより、東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物の地震応答解析の妥当性を確認する。

なお、設置許可申請における地盤・斜面の安定解析モデルを用いて、周辺斜面の建物・構築物の入力に与える影響が十分小さいことを確認し、隣接建屋の影響検討モデルにおいて周辺斜面をモデル化しなくても安全上支障がないことを確認している。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」

2. 既往の知見に基づく検討

本章では、既往の知見に基づく検討として、「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元FEMモデルを用いた検討」を実施し、隣接建屋の影響について考察する。

2.1 既往の文献に基づく検討

(財)原子力発電技術機構において、建屋の隣接効果を明らかにすることを目的とした「原子炉建屋の隣接効果試験¹⁾」(以下「NUPEC試験」という。)の一環として、原子炉施設の実際の建屋配置状況に則して実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体を用いた検討が実施されている²⁾。この試験では、地盤及び試験体に設置された加速度計により地震観測を実施し、建屋が隣接状態にある場合の振動性状について検討が実施されている。ここでは、地震観測に基づく検討結果から隣接効果が建屋応答に及ぼす影響について検討する。

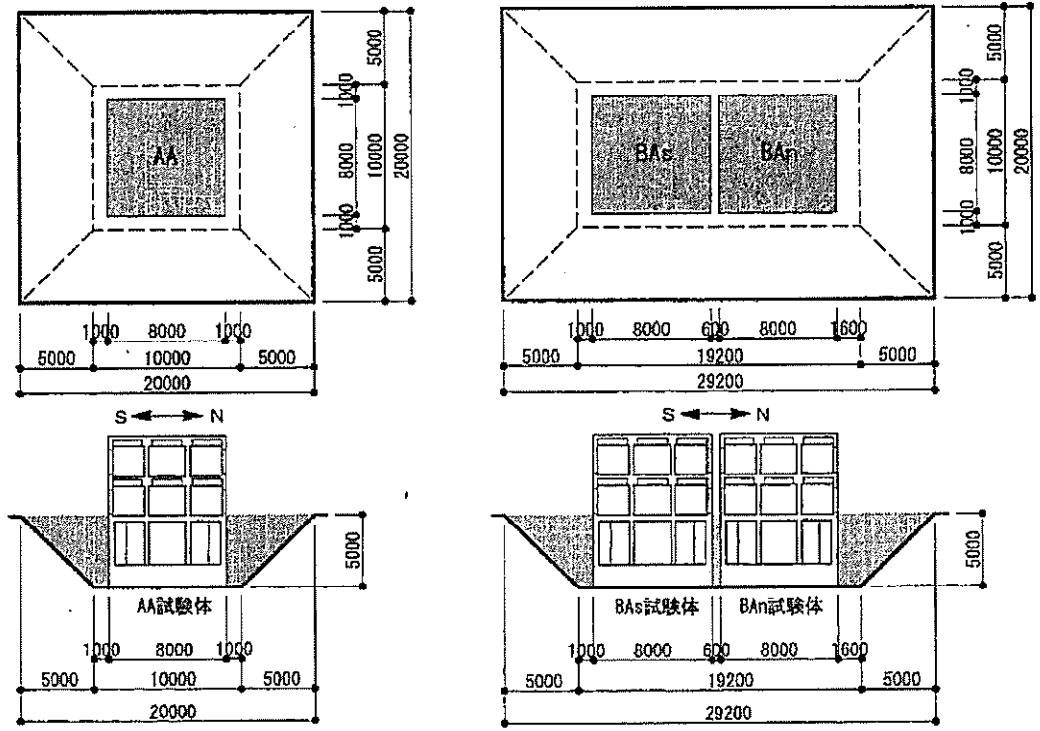
2.1.1 試験概要

「NUPEC試験」の中では、原子炉建屋に対して、原子炉建屋あるいは制御建屋等の振動特性が同種の建屋が隣接する場合について、検討を実施している。ここでは、その検討結果を示す。

試験においては、単独で設置された建屋試験体及び同種2棟の建屋を隣接させた試験体(以下「試験体(単独)」及び「試験体(同種2棟隣接)」という)を用いて、地震観測が実施されている。

試験体(単独)(AA建屋)及び試験体(同種2棟隣接)(BAS建屋及びBAN建屋)の各建屋は、8 m×8 mのほぼ正方形の平面を成し、基礎下端から建屋頂部までの高さは10.5 mである。埋込みの有無が隣接効果に及ぼす影響を把握するため、埋込みのない状態で試験が開始されており、後に試験体下部5 mを埋込んだ状態で地震観測が実施されている。地盤及び建屋各部には加速度計が配置されており、自由地盤及び建屋の応答加速度が計測されている。

試験体の概要を図2-1に、試験体配置図を図2-2に、試験体建屋諸元を図2-3に、試験体内の加速度計配置図を図2-4に、検討ケースを表2-1にそれぞれ示す。



(単独)

(同種2棟隣接)

図 2-1 試験体の概要¹⁾

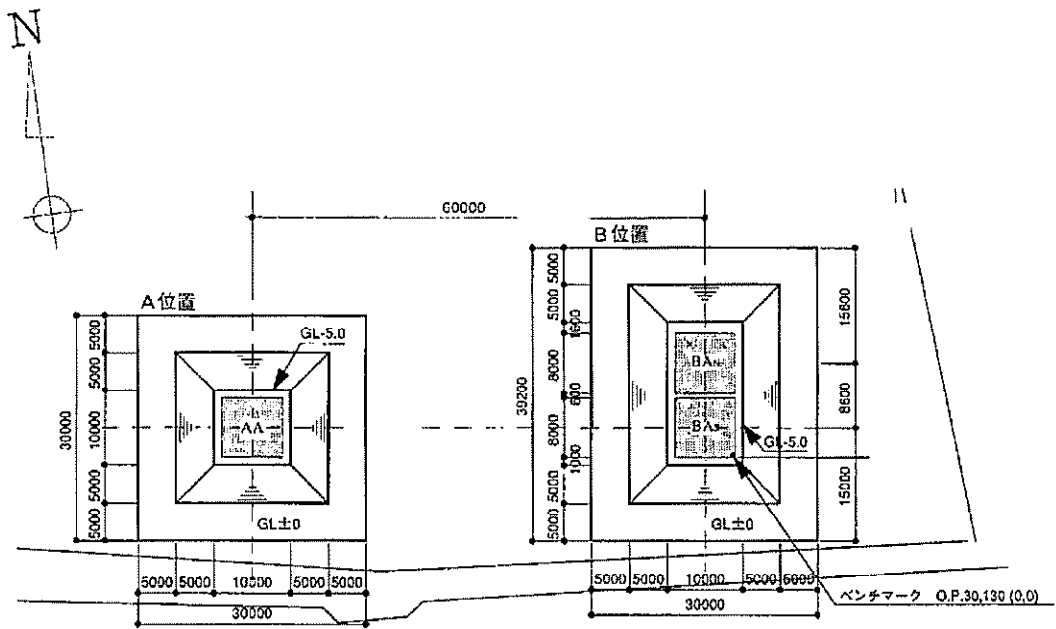


図 2-2 試験体配置図¹⁾

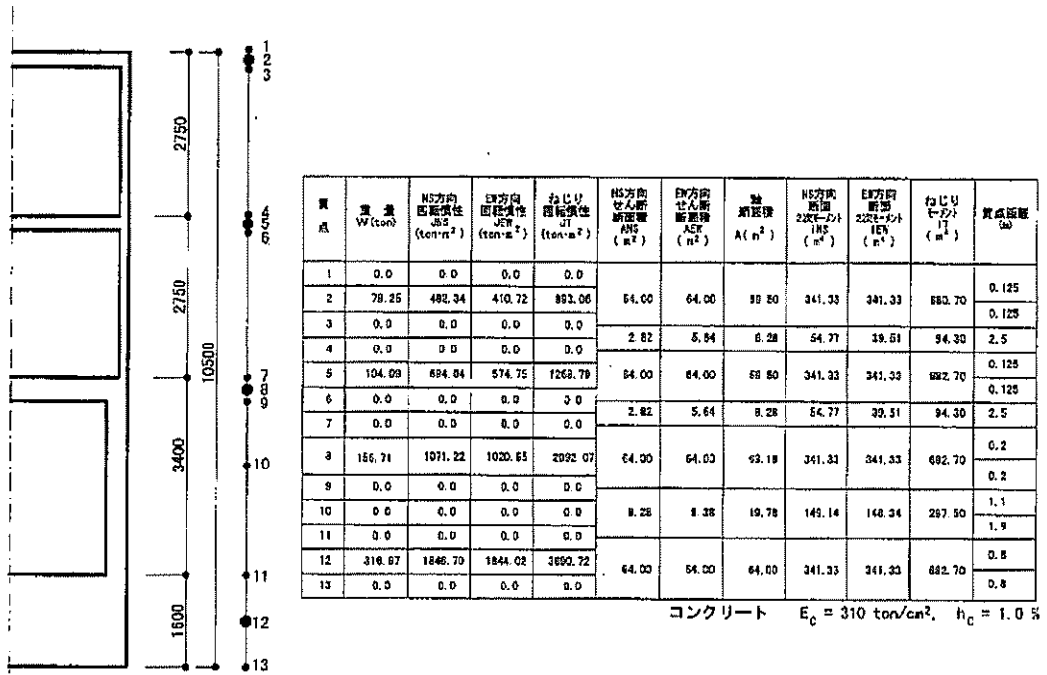


図 2-3 試験体建屋諸元¹⁾

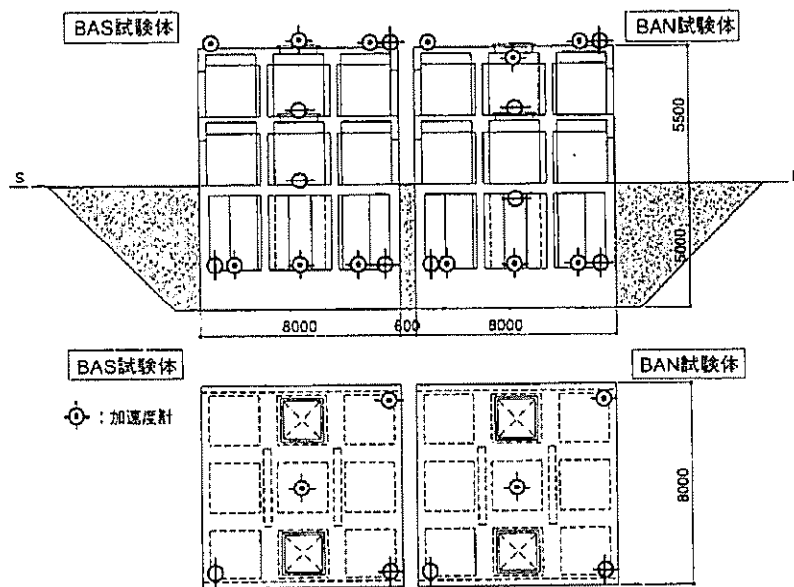
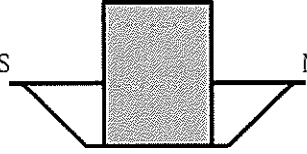
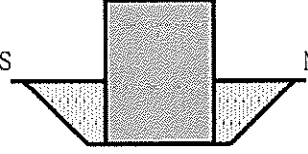
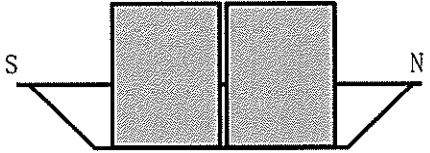
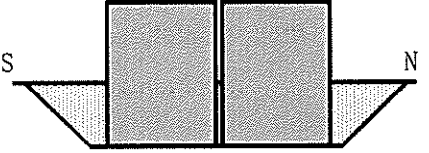


図 2-4 試験体内の加速度計配置図 (BAS, BAN 試験体)¹⁾

注 : AA試験体内の加速度計も, 上記試験体の配置に準ずる。

表 2-1 検討ケース

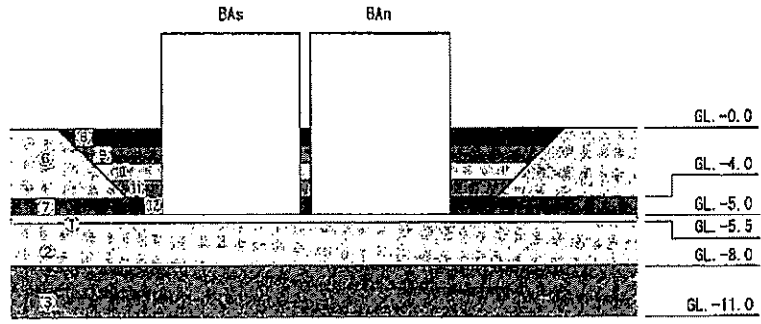
試験体	埋込み無し	埋込み有り
単独		
同種 2 棟隣接		

2.1.2 地盤物性

試験体設置地盤の概要を表2-2及び図2-5に示す。表2-2中の①～⑦層は埋込み無しと埋込み有りの試験体に共通で、⑧～⑫層は、埋め戻し土のため埋込み有りの試験体のみ適用される。

表 2-2 地盤物性値¹⁾

層No.	深度(m)	層厚(m)	S波速度 Vs(m/sec)	P波速度 Vp(m/sec)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)	減衰定数 h(%)
①	-5.0~-5.5 (緩み層)	0.5	150	228	0.120	1.94	5
②	-5.5~-8.0	2.5	340	750	0.371	1.94	5
③	-8.0~-11.0	3.0	430	1130	0.415	1.94	2
④	-11.0~25.0	14.0	1290	2990	0.386	2.21	2
⑤	-25.0~-52.75	27.75	1590	3250	0.343	2.21	2
⑥	0.0~-3.8	3.8	(160)	(380)	(0.392)	(1.64)	-
⑦	-3.8~-5.0	1.2	(320)	(650)	(0.340)	(1.85)	-
⑧	0.0~-1.0	1.0	155	360	0.386	1.77	5
⑨	-1.0~-2.0	1.0	205	370	0.279	1.77	5
⑩	-2.0~-3.0	1.0	215	380	0.265	1.77	5
⑪	-3.0~-4.0	1.0	225	390	0.251	1.77	5
⑫	-4.0~-5.0	1.0	235	420	0.272	1.77	5



④

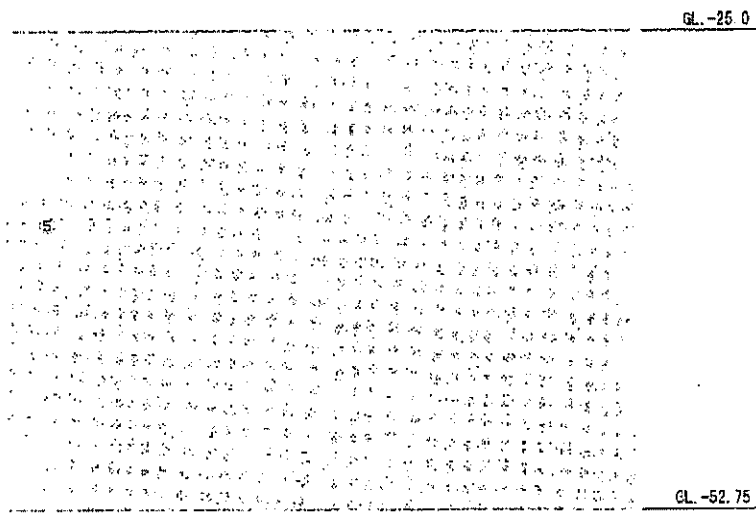


图 2-5 地盤層番号图¹⁾

2.1.3 地震観測記録

本検討に使用した地震観測記録（観測番号：No.157, No.164）の概要を表2-3に示す。観測記録No.157は、試験体の建屋下部を埋め込んでいない状態のときの観測記録であり、観測記録No.164は、埋め込んだ状態のときの観測記録である。

また、図2-6に自由地盤（GL. -3.0 m）の加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトルを示す。両地震ともに震央位置及び震源深さが近接し、観測波形の形状は類似している。鈴木ら²⁾は、表層ではスペクトルに見られる明瞭なピークから、水平の1次卓越振動数は6 Hz前後としており、これは表層地盤の卓越振動数に対応するものと考察している。

表 2-3 地震観測記録²⁾

観測番号	観測日	M	震央	震央距離 (km)	震源距離 (km)
No.157	H10.1.31	5.1	青森県東方沖	66	89
No.164	H10.11.7	4.6	浦賀沖	71	95

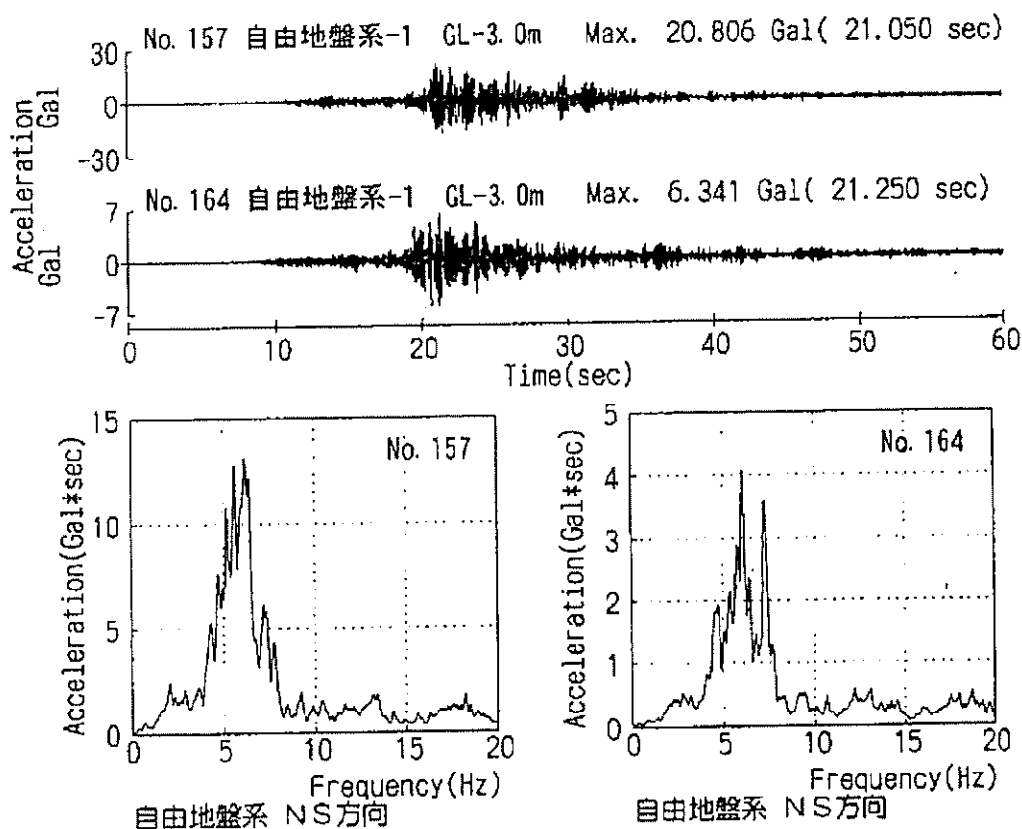


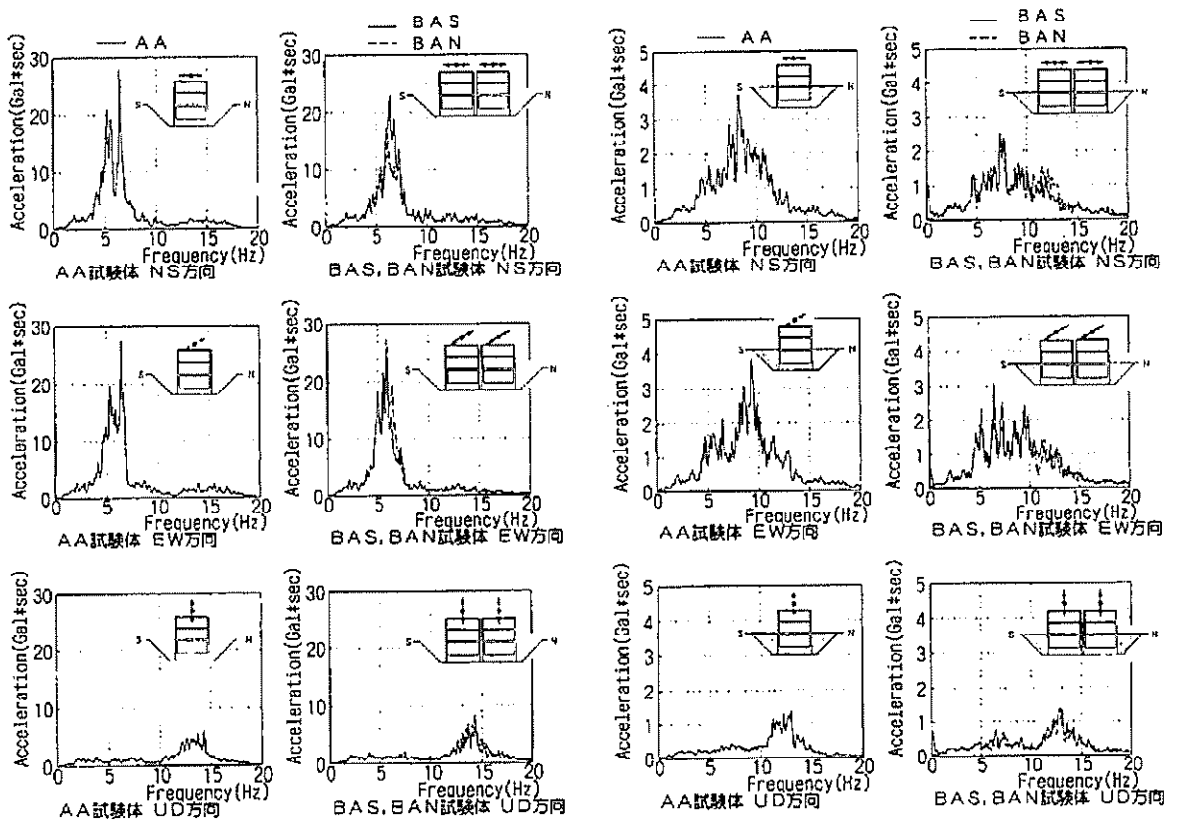
図 2-6 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル²⁾

2.1.4 建屋応答の比較

鈴木ら²⁾は、表2-3の観測記録による試験体（単独）及び試験体（同種2棟隣接）の水平方向の最大加速度は、試験体の建屋下部を埋め込まない状態で計測した観測記録No.157の場合、両試験体の観測結果に明瞭な差が認められないと考察している。

一方、試験体の建屋下部を埋め込んだ状態で計測した観測記録No.164の場合、NS方向、EW方向ともに隣接配置された試験体（同種2棟隣接）の最大加速度が単独に比べ小さくなり、建屋が隣接する方向（NS方向）では単独に比べ、80%～90%程度、建屋隣接方向に直交する方向（EW方向）では、70%前後の低下率になると考察している。

また、両地震による建屋頂部での加速度記録のフーリエスペクトルを図2-7のとおり整理し、単独と同種2棟隣接の比較において、埋込み無しの状態では水平、上下ともに類似のスペクトル形状であるのに対し、埋込み有りの状態では同種2棟隣接の方が水平方向のピーク振幅が明らかに低下する傾向が見られると考察している。



(a) 埋込み無し (N0.157)

(b) 埋込み有り (N0.164)

図 2-7 建屋観測結果の比較（単独と同種 2 棟隣接）²⁾

2.1.5 検討結果

「NUPEC試験」の一環として実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体における地震観測による検討について、単独で設置された建屋試験体と同種2棟の建屋を隣接させた試験体の建屋応答の比較をまとめたものを表2-4に示す。

建屋が隣接する場合の地震応答は、単独の場合と比較してほぼ同等または低減される傾向となることが確認されている。

また、本検討では、平成6年度から平成13年度までの8年間にわたる「NUPEC試験」結果の一例を示したが、一連の試験の中では、他に試験体（単独）と試験体（異種2棟隣接）の地震観測、起振試験及び室内試験、並びにそれらのチェックシミュレーションを通して、様々な条件下における隣接効果について検討が実施されている。これらの検討により、隣接効果は、隣接する建屋が、建屋と地盤との相互作用である「地盤ばね」及び「基礎入力動」に与える影響によるものであることが確認されている。

さらに、隣接効果による建屋応答の性状変化は、建屋条件により固有のものとなることが明らかにされているが、定性的には、建屋が隣接した状態と単独の状態を比較した場合、隣接した状態の方が建屋応答が低減される傾向にあることが確認されている。

表 2-4 建屋応答の比較

	試験体（単独）と試験体（同種2棟隣接）	
	建屋並び方向 (NS方向)	建屋並びに直角な方向 (EW方向)
埋込み無し	ほぼ同等	ほぼ同等
埋込み有り	単独に比べ、同種2棟隣接は 80%~90%程度の低下	単独に比べ、同種2棟隣接は 70%程度の低下

2.2 3次元FEMモデルを用いた検討

中村ら³⁾は隣接建屋が建屋応答に与える影響を把握するため、3次元FEMモデルを用いた検討を実施している。

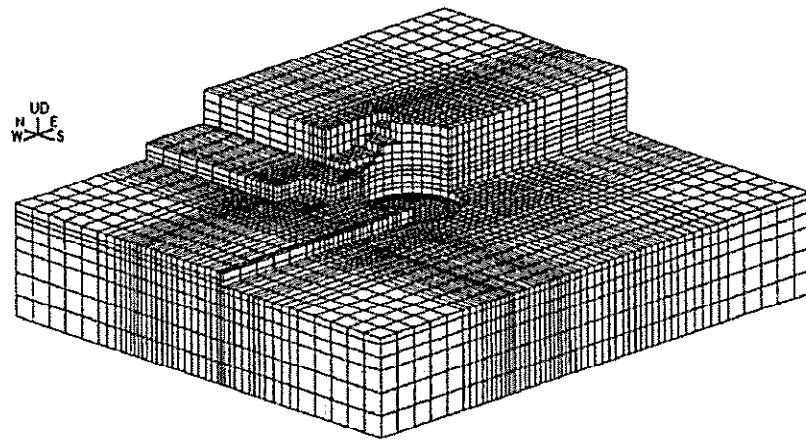
2.2.1 検討概要

本検討では、図2-8に示すような隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））を考慮しないモデルと隣接建屋を考慮したモデルの2種類の3次元FEMモデルを構築し、評価対象である原子炉建屋（R/B）の基礎底面における地盤インピーダンス*及び基礎入力動の加速度応答スペクトルを比較することで、隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋－地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響を確認している。

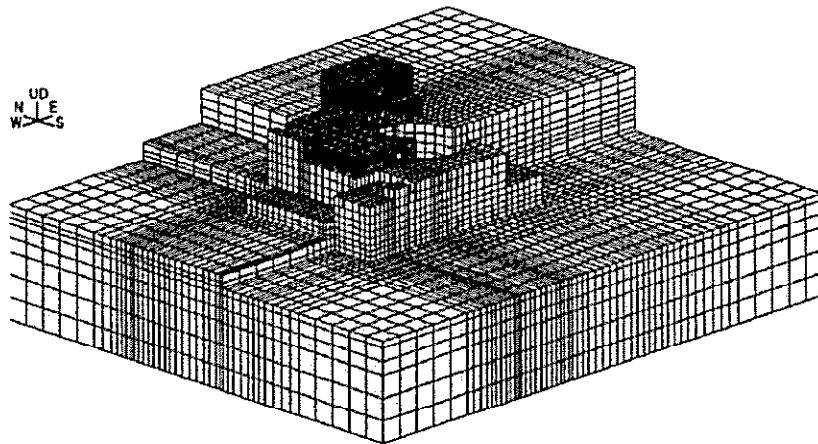
なお、本検討は $V_s=1,650$ m/sの硬質な岩盤に直接支持される原子力施設を対象に実施されている。

注記 *：地盤インピーダンス

地盤－建物間の相互作用を考慮した、基礎底面における動的地盤ばね（剛性と減衰）であり、振動数依存性を有する複素数となる。（図2-9）



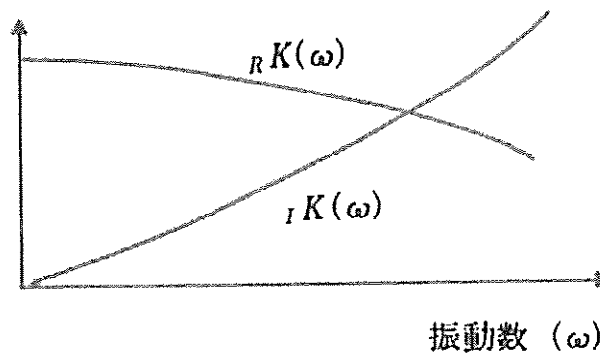
(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

図 2-8 3次元FEMモデル

地盤ばね



${}_R K(\omega)$: 実数部, ${}_I K(\omega)$: 虚数部

図 2-9 地盤ばねの近似

2.2.2 地盤のモデル化

本検討で使用する地盤FEMモデルの形状を図2-10に示す。地盤はソリッド要素でモデル化されている。地盤は硬質で一様な物性の岩盤とし、本検討で想定する地震動に対して弾性状態と考えられることから、線形材料とされている。地盤物性を表2-5に示す。

地盤の境界条件については、底面及び側面ともに粘性境界とされている。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が、評価対象であるR/Bの基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、評価対象であるR/Bの基礎底面に比べて地盤FEMモデルの平面サイズを十分に大きく設定されている（約5～6倍）。

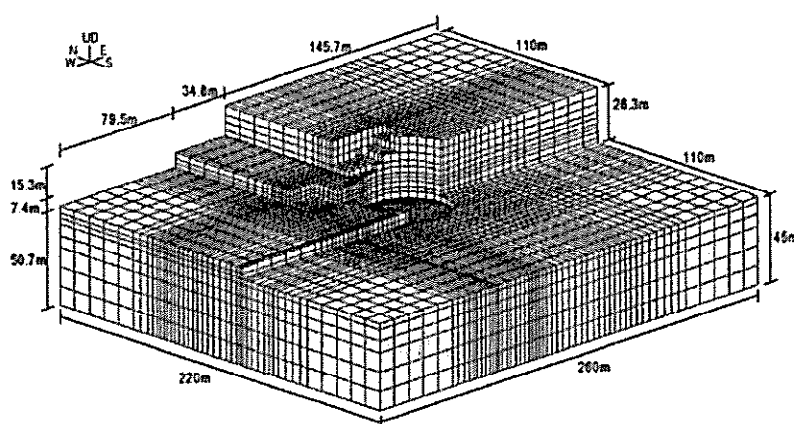


図 2-10 地盤FEMモデル

表 2-5 地盤物性一覧

せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)	単位体積重量 γ (t/m^3)
1650	0.40	3.0	2.6

2.2.3 隣接建屋のモデル化

本検討で使用されている隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状を図2-11に、隣接建屋の各部材のモデル化について表2-6に示す。なお、A/Bの基礎浮上りは考慮されていない。

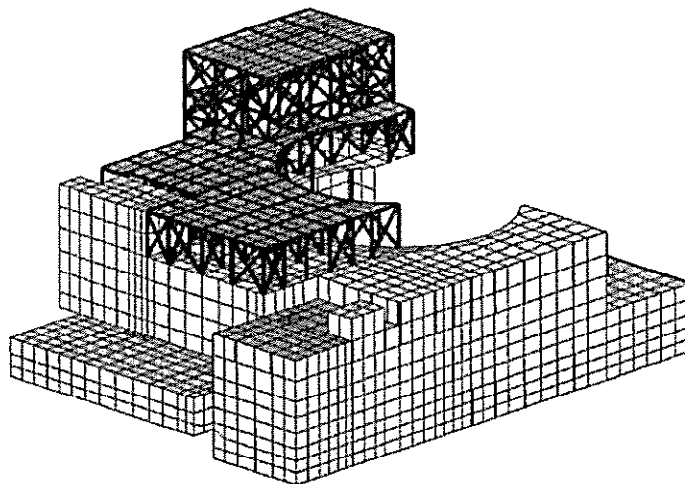


図 2-11 隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状図

表 2-6 原子炉補助建屋（A/B）の各部材のモデル化について

名称	部材	構成要素
原子炉補助建屋 (A/B)	壁	積層シェル要素
	スラブ	線形シェル要素
	鉄骨部	梁要素 トラス要素

2.2.4 検討用地震動及び解析条件

検討用地震動として、水平最大加速度750 galの模擬地震動（図2-12）が用いられており、入力にあたっては、地盤FEMモデル（隣接建屋無し）のR/B基礎底面位置の応答が検討用地震動と等価となるような補正波を作成し、地盤FEMモデル底面に入力されている。

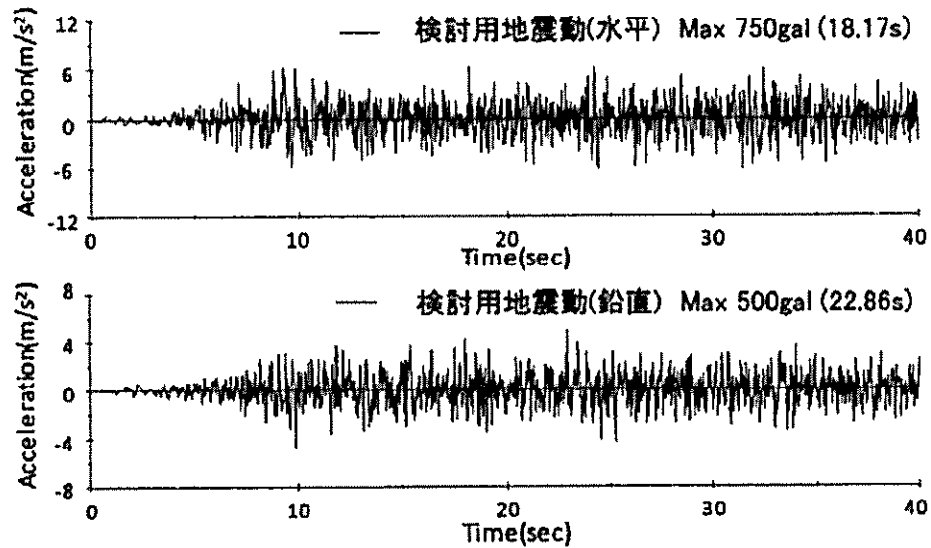


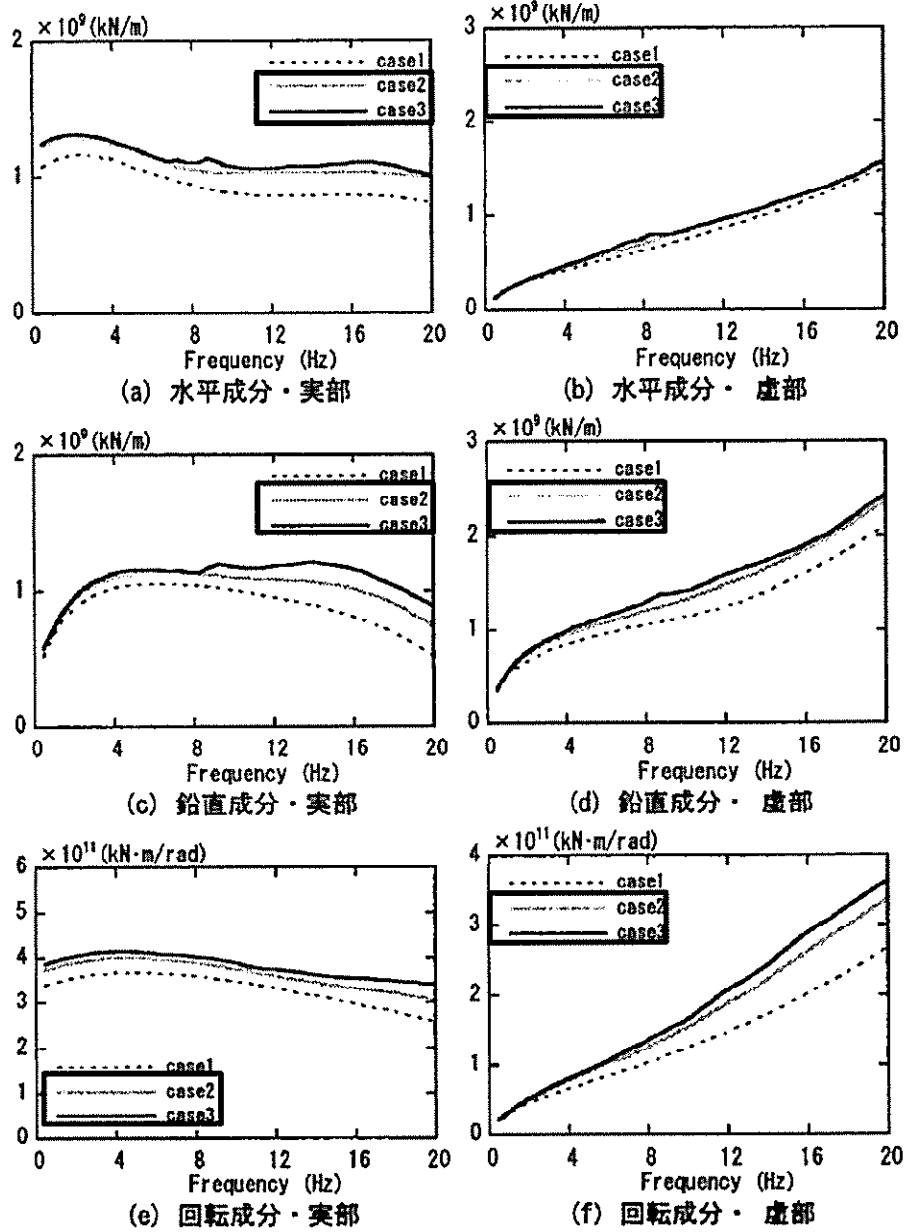
図 2-12 検討用地震動

2.2.5 検討結果

(1) 地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較

検討では解析モデル間の地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較が行われている。解析モデルは図2-8に示したモデルであり、隣接建屋を考慮しないモデルをCase2、隣接建屋を考慮するモデルをCase3と呼称されている。検討は、水平（EW）、鉛直（UD）、回転（NS方向周り）の3成分について行われている。インピーダンス算定においては、R/Bの基礎底面位置の地盤表面を剛とし、インパルス加振が行われている。インパルス加振の時刻歴波と剛板の応答変位時刻歴波をフーリエ変換し、振動数領域で除算を行うことにより、地盤インピーダンスが算定されている。

図2-13に入力成分ごとの各ケースの地盤インピーダンスの比較を示す。Case2及びCase3の地盤インピーダンスは、8 Hz以上で若干差異が見られるが、全体としては良く対応しており、地盤インピーダンス（動的地盤ばね）における隣接建屋の影響は比較的小さいといえると考察している。



□ : 比較するケースを示す。

(Case2 : 隣接建屋を考慮しない, Case3 : 隣接建屋を考慮する)

図 2-13 地盤インピーダンスの比較

(2) 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較

検討では、検討用地震動による基礎入力動の評価が行われている。基礎入力動は、図2-8に示したモデルにおいてR/Bの基礎底面に入力される地震動として定義されている。

図2-10の地盤FEMモデルの底面から、「2.2.4 検討用地震動」の補正波を入力し、R/Bの基礎底面位置の応答が比較されている。検討において設定されている解析ケースを表2-7に示す。水平単独入力と水平鉛直同時入力でケース分けされている。

基礎底面位置における最大加速度の比較を表2-8に、加速度応答スペクトルの比較を図2-14に示す。

検討では、比較の結果、水平・鉛直ともにCase2とCase3の差異は小さく、隣接建屋による基礎入力動への影響は小さいといえりと考察している。

表 2-7 解析ケース

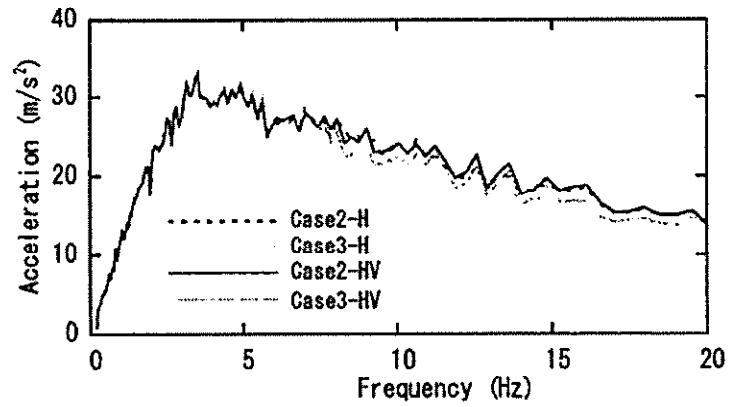
ケース名 ^{*1}	隣接建屋考慮の有無	入力地震 ^{*2}
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記 *1：隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

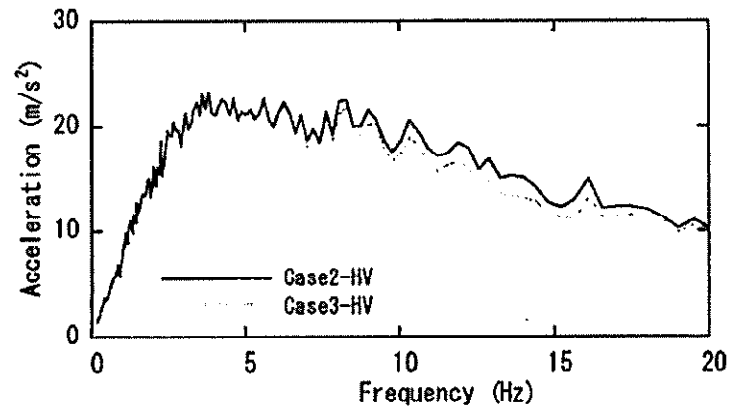
*2：Hは水平単独入力，H+Vは水平鉛直同時入力を意味する。

表 2-8 基礎底面位置における最大加速度 (cm/s²)

ケース名	水平加速度	鉛直加速度
Case2-H	609	—
Case3-H	601	—
Case2-HV	621	454
Case3-HV	618	448



(a) 水平加速度応答スペクトル



(b) 鉛直加速度応答スペクトル

図 2-14 基礎底面位置の加速度応答スペクトルの比較 (h=1 %)

2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ

既往の知見に基づく検討（「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元FEMモデルを用いた検討」）結果より，一般論として隣接建屋が建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

次章では，東海第二発電所の詳細検討を実施することで隣接建屋が建物・構築物及び機器の耐震評価に与える影響を詳細に確認する。

3. 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討

3.1 建物・構築物への影響検討

3.1.1 検討概要

本検討では、東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋及びタービン建屋について、実際の建屋配置状況に則して両建屋を配置する場合と原子炉建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較することで隣接建屋が建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。なお、本検討で算出した床応答スペクトルは、「3.2 機器への影響検討」において機器の耐震評価に与える影響確認に用いる。

検討に当たっては、解析コード「Soil Plus Ver.2015 Build3」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性の確認等の概要については、添付書類「V-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要・Soil Plus」に示す。

モデル化対象建屋の配置を図3-1に示す。

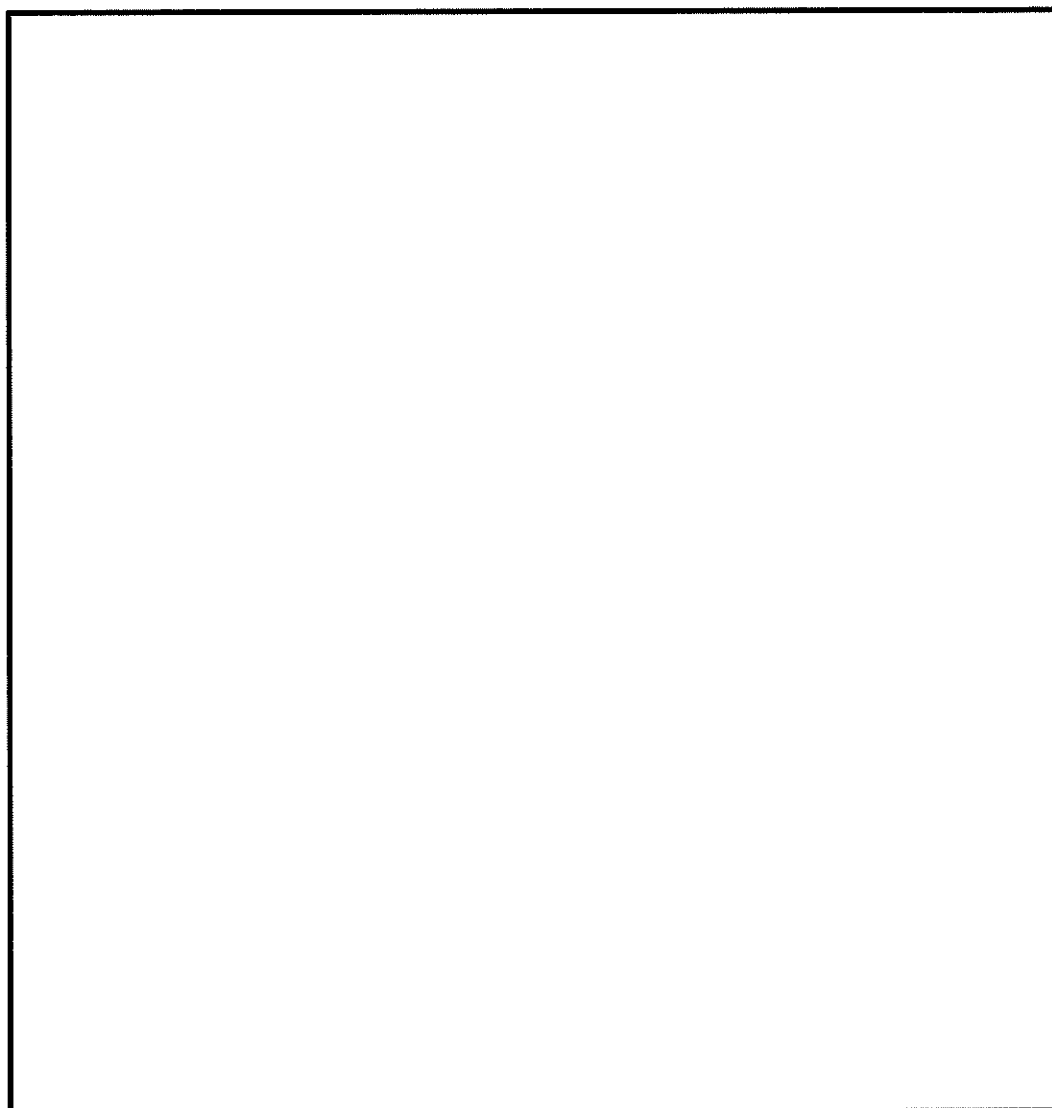


図 3-1 モデル化対象建屋の配置

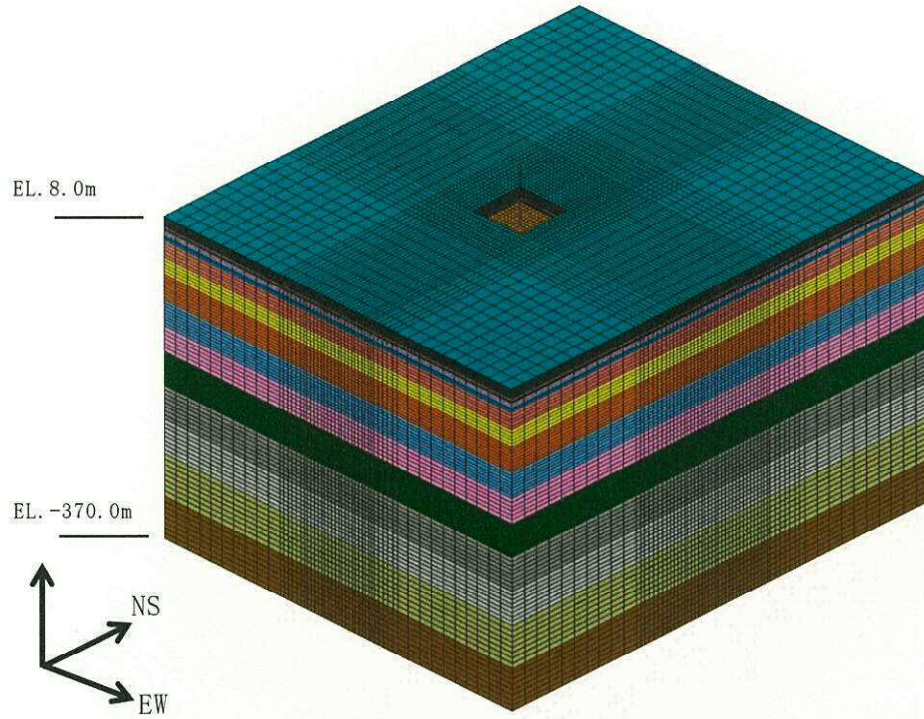
3.1.2 解析ケース

本検討における解析ケースの一覧を表3-1に示す。解析ケース1, 2については、原子炉建屋を単独でモデル化し、NS方向及びEW方向に対して解析を実施する。解析ケース3, 4については、原子炉建屋（以下「R/B」という。）及びタービン建屋（以下「T/B」という。）をモデル化し、同様にNS方向及びEW方向に対して解析を実施する。

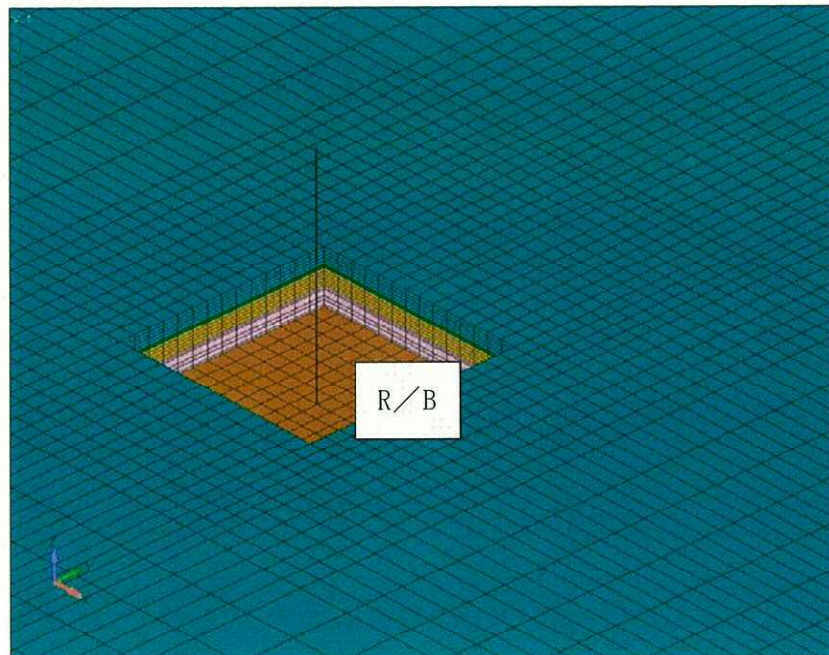
図3-2, 図3-3に各解析モデルの概要を示す。各解析モデルは、ソリッド要素でモデル化した地盤上に、原子炉建屋及びタービン建屋をそれぞれ質点系としてモデル化する。解析は線形とし、周波数領域の複素応答解析を実施する。

表 3-1 解析ケース一覧

解析ケース	方向	原子炉建屋	タービン建屋
1	NS	モデル化	—
2	EW	モデル化	—
3	NS	モデル化	モデル化
4	EW	モデル化	モデル化

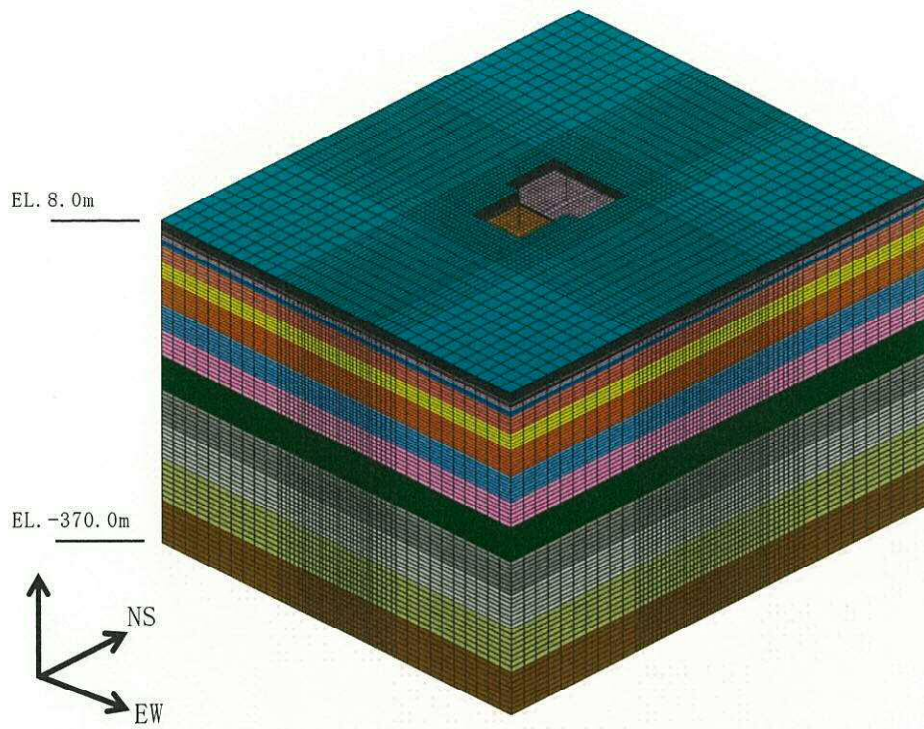


(a) 鳥瞰図：全体

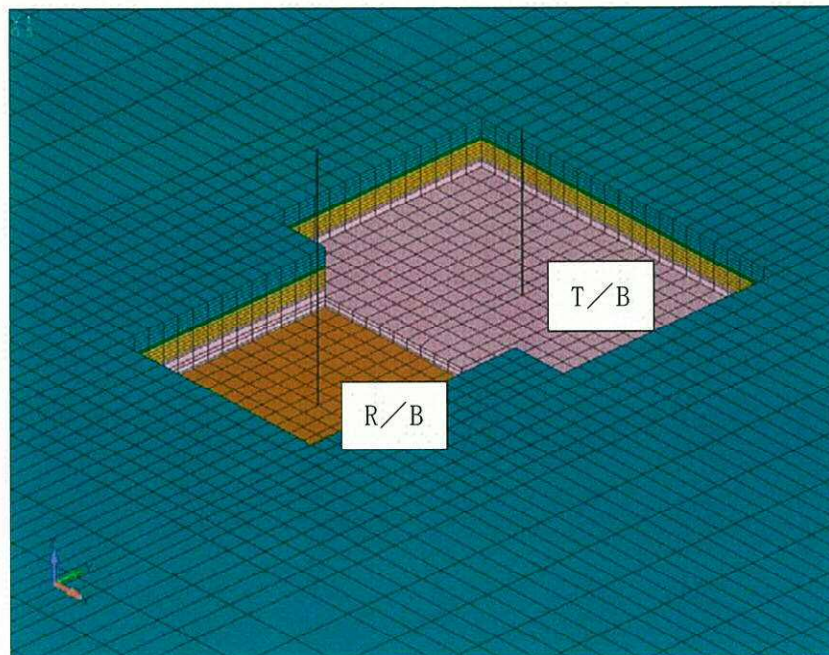


(b) 鳥瞰図：拡大

図 3-2 解析モデルの概要：解析ケース 1, 2 (原子炉建屋単独)



(a) 鳥瞰図：全体



(b) 鳥瞰図：拡大

図 3-3 解析モデルの概要：解析ケース 3, 4 (原子炉建屋, タービン建屋隣接)

注 : T/B の質点系モデルは多軸モデルを同一座標上に記載しているため
1 軸に見えている。

3.1.3 建屋のモデル化

建屋モデルは、東海第二発電所の工事計画認可申請における各耐震計算書（添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」、添付書類「V-2-11-2-12 タービン建屋の耐震性についての計算書」）に記載の質点系モデルの諸元を基本とするが、「3.1.5 検討用地震動」に示す入力レベルでは建屋はほぼ弾性状態と考えられることから、部材の非線形特性は考慮しない。

R/B建屋のモデル及びT/B建屋のモデルは、建屋重心位置がほぼ基礎の中心位置であるため、基礎の中心に各建屋モデルを配置する。

両建屋の解析モデルの基礎寸法を、全体配置とともに図3-4に示す。

図3-5、図3-6に両建屋の建屋モデル図を、表3-3にT/B建屋の建屋モデル諸元を示す。図中の赤丸は、「3.2 機器への影響検討」で用いる床応答スペクトルを算出した質点（以下「床応答算出質点」という）を示している。床応答算出質点は、「基礎上端位置」及び「建屋（軸）の最上部の質点」とする。表3-2に床応答算出質点の一覧を示す。

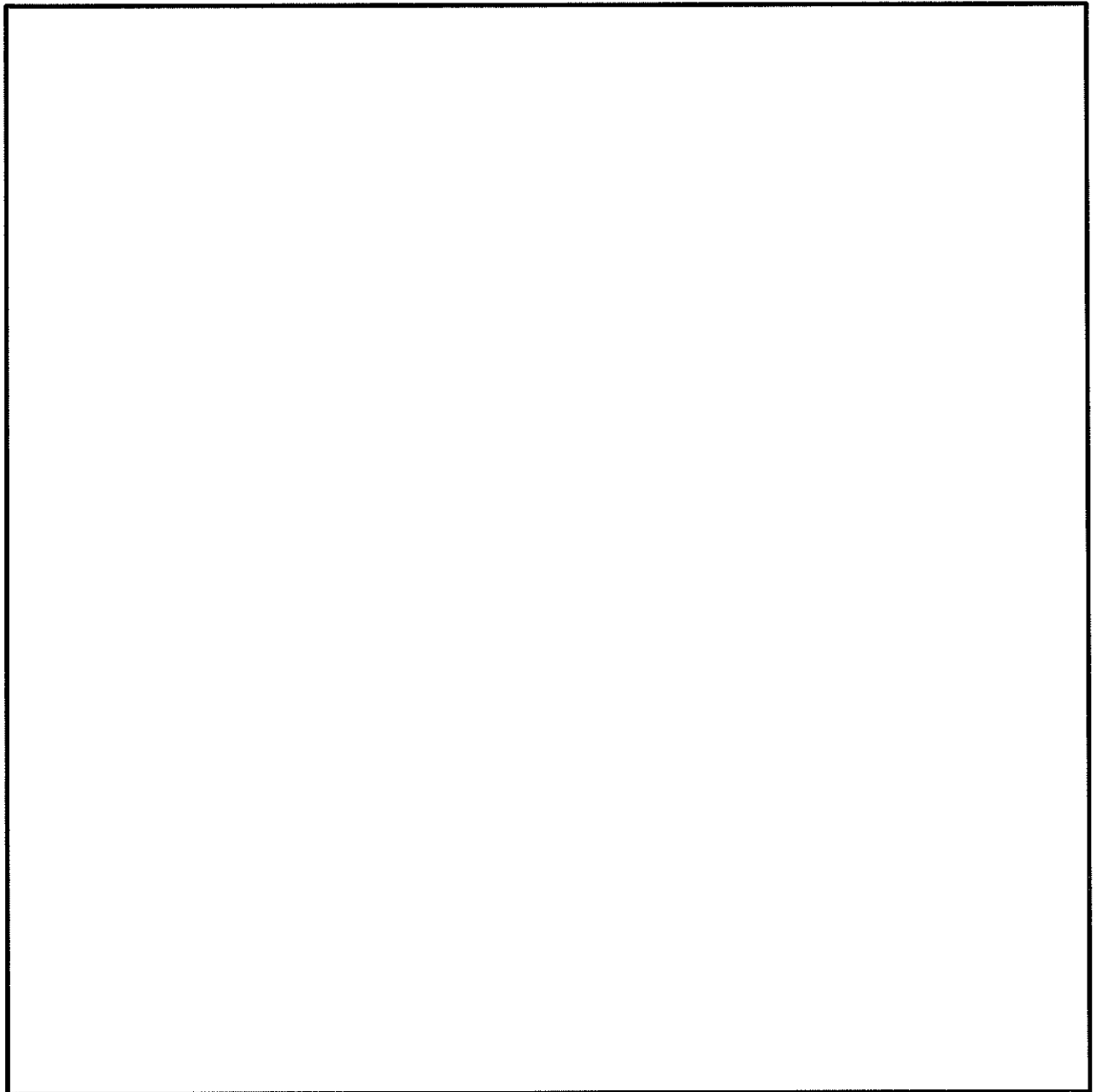
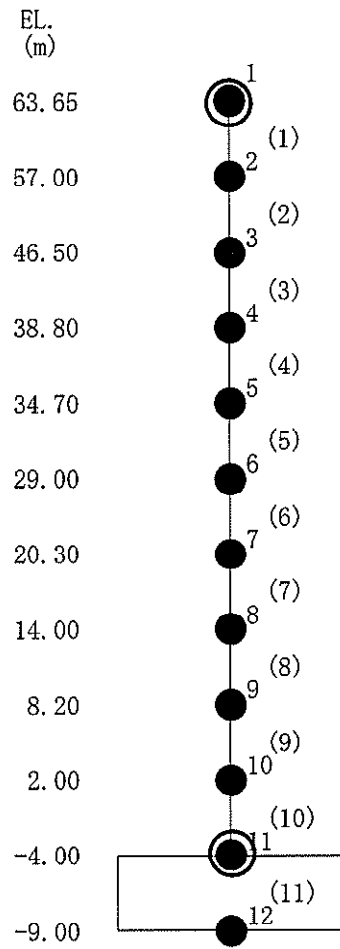



図 3-4 各建屋の解析モデルの基礎寸法及び全体配置図

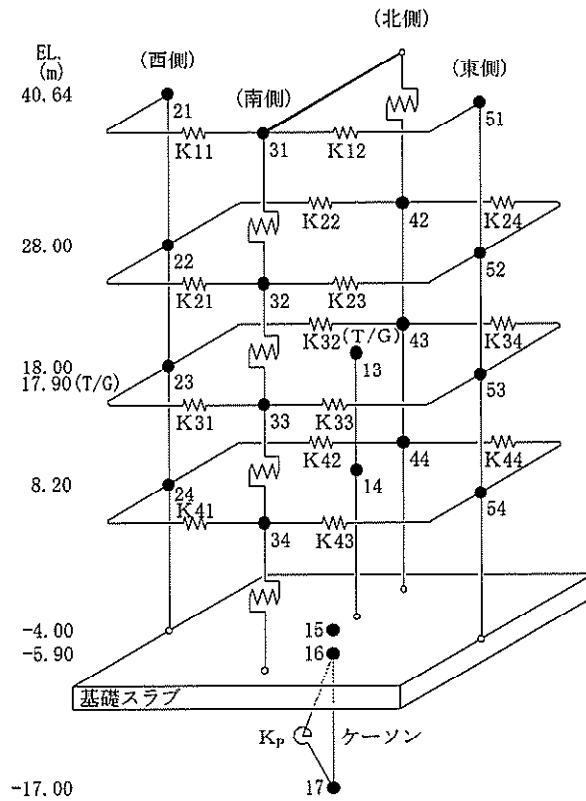
表 3-2 床応答算出質点一覧

建屋	床応答算出質点
R/B	質点1, 質点11

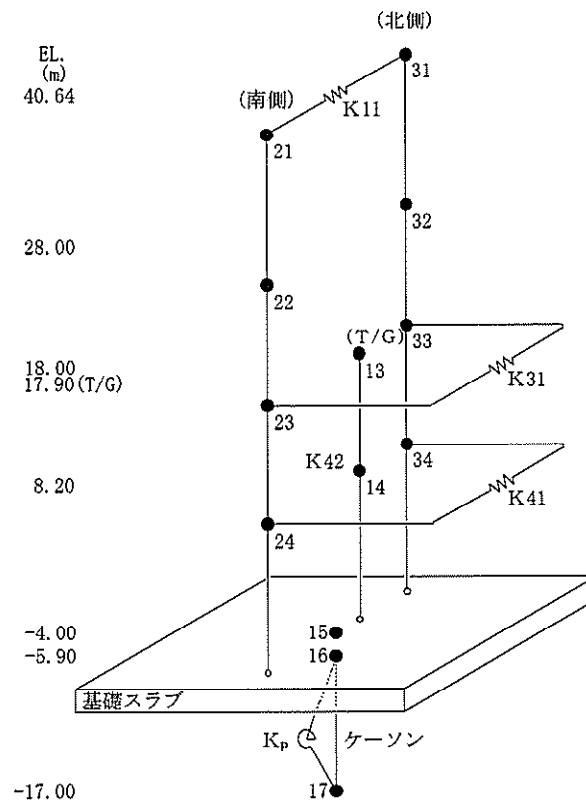


○ : 床応答算出点

図 3-5  (R/B) の建屋モデル



(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-6 の建屋モデル

表 3-3 [] の建屋モデル諸元

(a) NS方向

部位	標高 EL. (m)	質点番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント ($\times 10^8 \text{m}^4$)	部位	標高 EL. (m)	質点番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント ($\times 10^8 \text{m}^4$)	せん断ばね定数 ($\times 10^5 \text{kN/m}$)
西側	40.64	21	15790	20.0	(21)	19.5	2.8	北側	40.64	31	—	—	(41)	—	—	1.40
	28.00	22	66740	448.6	(22)	32.5	13.0		28.00	42	41500	4.6	(42)	26.4	0.33	—
	18.00	23	131280	656.1	(23)	79.8	24.9		18.00	43	97560	35.0	(43)	35.6	1.6	
	8.20	24	159380	733.6	(24)	170	67.0		8.20	44	49970	13.7	(44)	48.8	2.4	
	-4.00	15	—	—					-4.00	15	—	—				
東側	40.64	51	15640	19.8	(51)	19.5	2.8	南側	40.64	31	15480	—	(31)	—	—	1.40
	28.00	52	63860	429.1	(52)	30.6	12.6		28.00	32	62160	—	(32)	—	—	9.28
	18.00	53	158110	694.0	(53)	95.9	32.8		18.00	33	152290	—	(33)	—	—	17.6
	8.20	54	176590	776.5	(54)	178	80.9		8.20	34	138210	—	(34)	—	—	17.7
	-4.00	15	—	—					-4.00	15	—	—				
T/G	17.90	13	157990	32.9	(13)	43.7	4.5	床ばね								
	8.20	14	58180	10.5	(14)	34.7	4.9		$K_{11}=9.72 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{12}=10.4 \times 10^5 \text{ kN/m}$						
	-4.00	15	—	—					$K_{21}=13.1 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{22}=5.97 \times 10^5 \text{ kN/m}$						
基礎	-4.00	15	518590	2,679.8	(15)	8,029	3,663.9	$K_{23}=14.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{32}=22.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$							
	-5.90	16	667550	3,077.4	(16)	816	434.2	$K_{31}=17.9 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{33}=35.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$							
	-17.00	17	292080	1,362.8				$K_{41}=38.4 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{42}=21.1 \times 10^5 \text{ kN/m}$							
総重量		3038950														

基礎スラブ下端回転拘束ばね
 $K_p=3.06 \times 10^{11} \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$

(b) EW方向

部位	高さ m	質点番号	質点重量 kN	回転慣性重量 $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$	要素番号	せん断断面積 m^2	断面2次モーメント $\times 10^8 \text{m}^4$
	E. L.					A_c	I
北側	40.64	31	23,100	214.3	31	31.7	32.8
	28.00	32	93,860	871.5	32	45.5	51.5
	18.00	33	217,810	2,028.2	33	73.1	73.0
	8.20	34	185,900	2,208.7	34	150	173.7
	-4.00	15	—	—			
南側	40.64	21	23,810	220.8	21	31.7	32.8
	28.00	22	140,400	1,303.0	22	61.0	62.9
	18.00	23	321,430	3,144.6	23	107	88.8
	8.20	24	338,250	3,557.6	24	185	162.3
	-4.00	15	—	—			
T/G	17.90	13	157,990	666.3	13	36.6	89.1
	8.20	14	58,180	232.3	14	24.9	95.6
	-4.00	15	—	—			
基礎	-4.00	15	518,590	5,090.7	15	8,029	7,876.6
	-5.90	16	667,550	6,580.1	16	577	564.4
	-17.00	17	292,080	2,895.4			
総重量		3,038,950					

床ばね
 $K_{11}=38.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$
 $K_{31}=61.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$
 $K_{41}=62.5 \times 10^5 \text{ kN/m}$

基礎スラブ下端回転拘束ばね
 $K_p=9.08 \times 10^{11} \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$

3.1.4 地盤のモデル化

地盤モデルを図3-7に示す。地盤はソリッド要素でモデル化する。NS方向600 m、EW方向500 mの領域をモデル化し、地盤モデル底面は解放基盤位置 (EL. -370 m) とする。

地盤物性を表3-4に示す。地盤物性値は、検討用地震動を用いて算定した等価線形解析結果に基づく物性値を用いる。建屋と地盤の減衰は、材料減衰として与えて複素剛性として考慮する。

地盤の境界条件は、底面粘性境界、側方粘性境界かつ繰返し境界とする。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が評価対象である各建屋の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会)」を参考に評価対象である各建屋の基礎底面に比べて地盤 F E Mモデルの平面サイズを十分に大きく設定している (約3倍以上)

建屋の基礎は剛体として考慮し、基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。また、建屋側面と側面地盤間は、軸方向を結合する。

側面粘性境界かつ繰返し境界

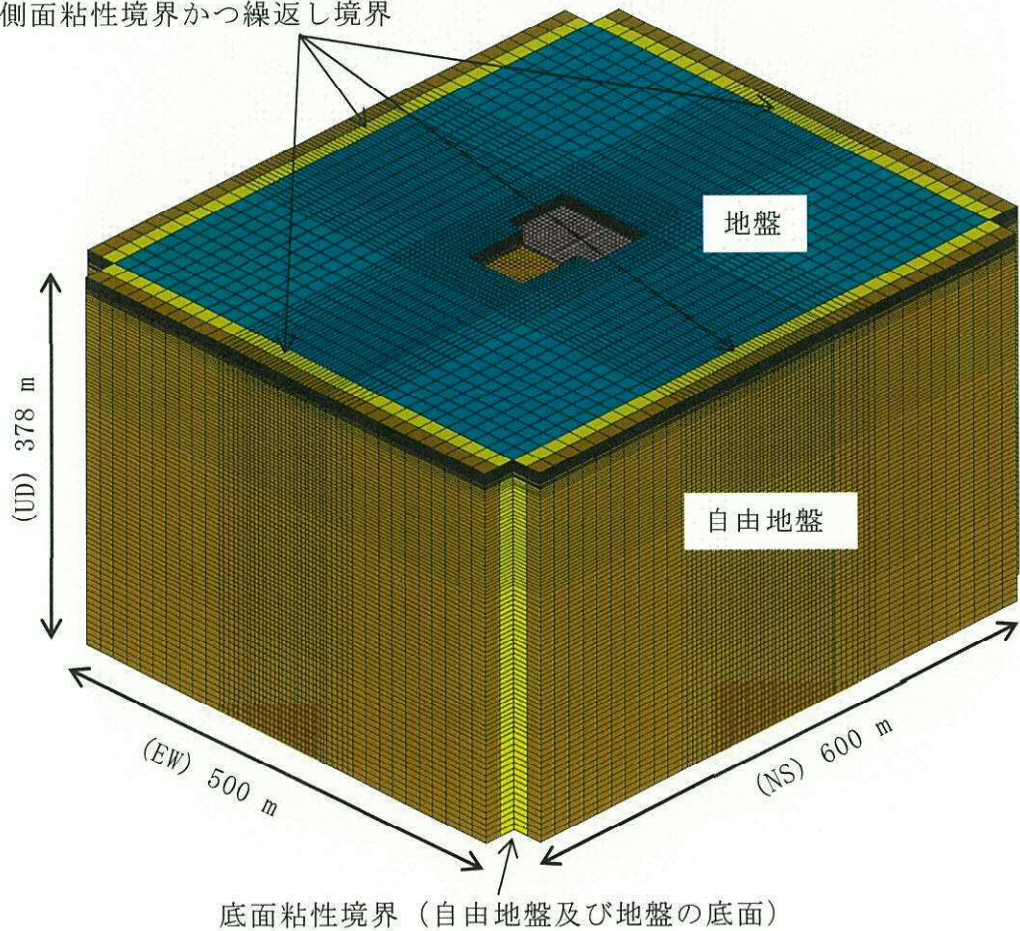


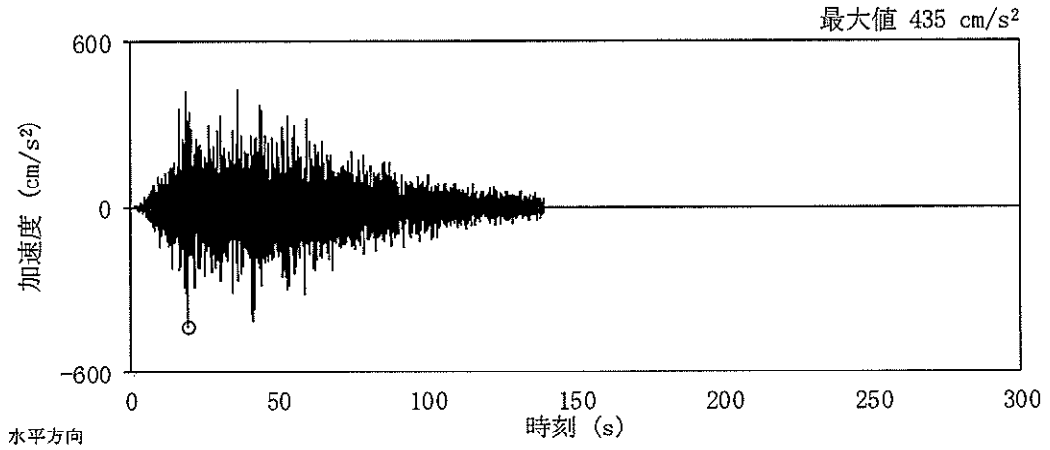
図 3-7 地盤 F E Mモデル

表 3-4 等価地盤物性値 (S_d-D1)

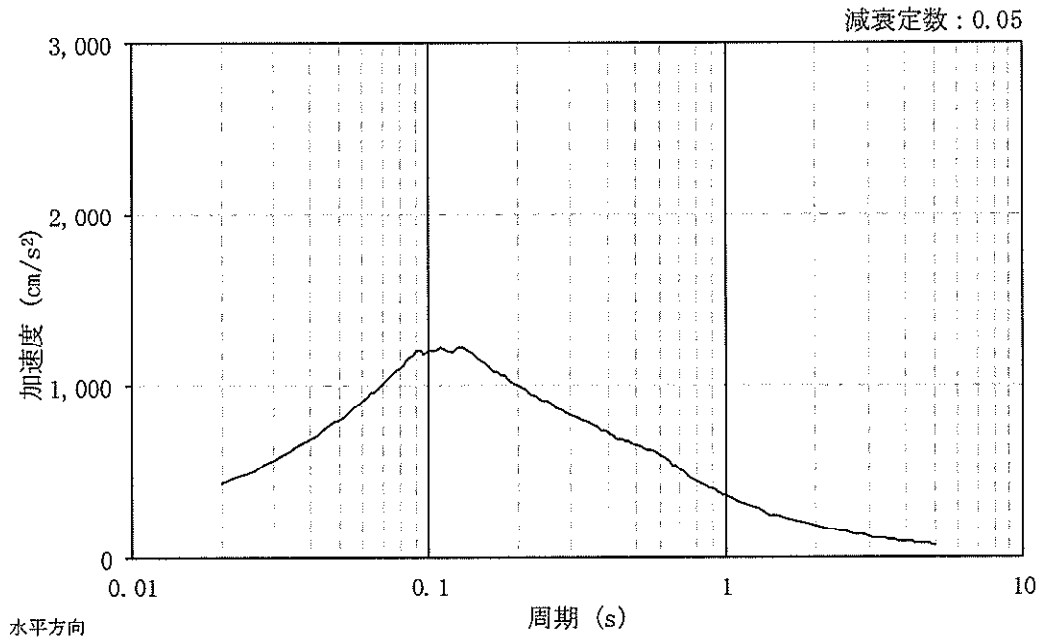
標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	剛性低下率 G/G0	減衰定数 h	等価 S波速度 m/s	等価 P波速度 m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	0.85	0.04	194	449	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	0.83	0.04	219	400	0.286
2.0		4.7	2.01	0.77	0.05	211	1800	0.493
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	0.74	0.04	430	1858	0.472
-14.4								
-20.0	Km	5.6	1.72	0.89	0.02	421	1649	0.465
-40.0		20.0	1.72	0.88	0.02	428	1666	0.465
-60.0		20.0	1.73	0.88	0.02	443	1685	0.463
-90.0		30.0	1.73	0.89	0.02	463	1698	0.460
-120.0		30.0	1.73	0.89	0.02	485	1726	0.457
-150.0		30.0	1.73	0.89	0.02	507	1753	0.454
-190.0		40.0	1.74	0.89	0.02	532	1779	0.451
-230.0		40.0	1.74	0.89	0.02	561	1817	0.447
-270.0		40.0	1.75	0.90	0.02	594	1857	0.443
-320.0		50.0	1.75	0.91	0.02	630	1907	0.439
-370.0	解放基盤	—	1.76	—	0.00	718	1988	0.425

3.1.5 検討用地震動

検討用地震動として、添付書類「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された設計用模擬地震波 S_d-1 （水平最大加速度 435 cm/s^2 ，図3-8）を用い，3次元地盤モデル底面位置（解放基盤位置）に入力する。



(a) 時刻歴



(b) 応答スペクトル

図 3-8 検討用地震動 S_d-1_H （水平最大加速度 435 cm/s^2 ）

3.1.6 解析結果

地震応答解析結果より得られた原子炉建屋の最大応答値について、原子炉建屋単独のケース（ケース1, 2）とタービン建屋隣接のケース（ケース3, 4）の比較結果を図3-9～図3-12に示す。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、R/Bでは0.927（要素番号1, EW方向のせん断力）～1.163（要素番号3, NS方向のせん断力）であり、各建屋単独でモデル化したケースの応答と全建屋を考慮したケースの応答が、概ね同等であることを確認した。

従って、東海第二発電所の工事計画認可申請対象の建物・構築物の耐震評価に与える隣接建屋の影響は小さいと言える。

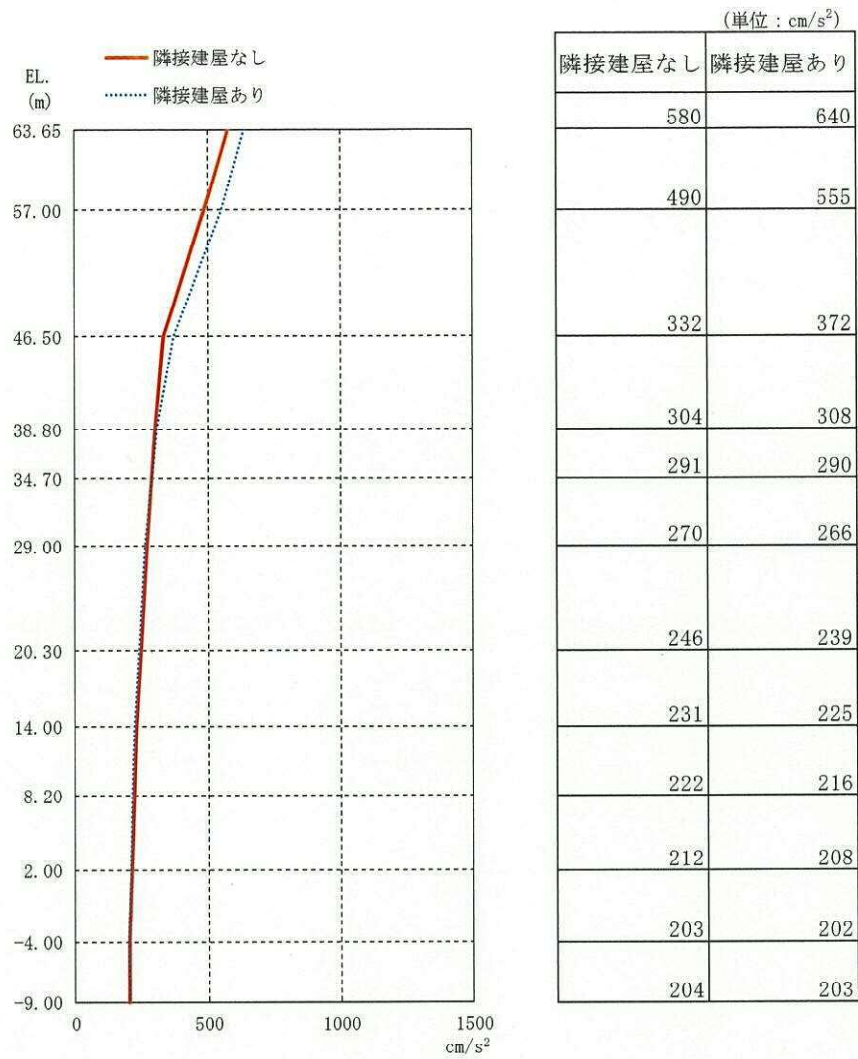
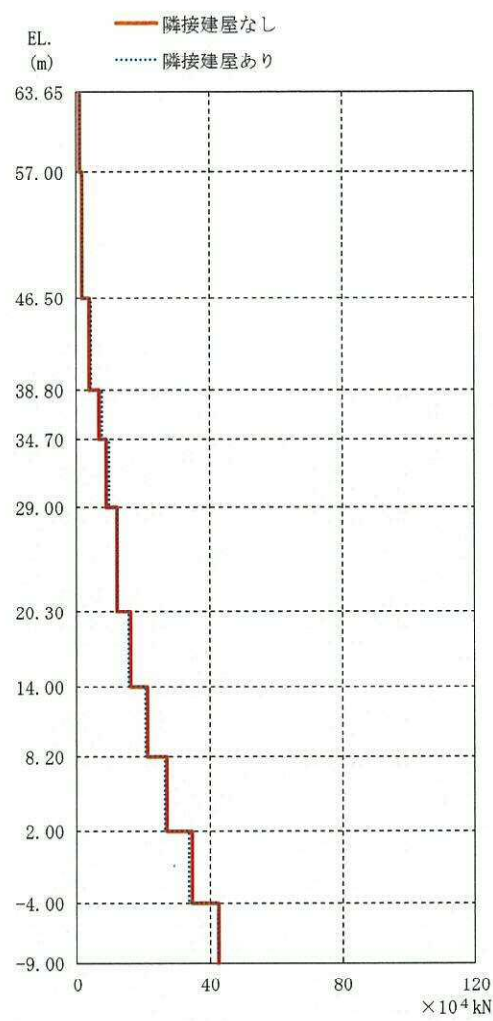


図 3-9 最大応答加速度 (, S_d-D 1, NS 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

隣接建屋なし	隣接建屋あり
0.986	1.02
1.73	2.00
3.86	4.49
6.77	7.55
9.11	9.81
12.3	12.3
16.1	15.8
21.2	20.6
27.1	26.4
34.6	33.7
42.6	42.5

図 3-10 最大応答せん断力 ($S_d - D 1$, NS 方向)

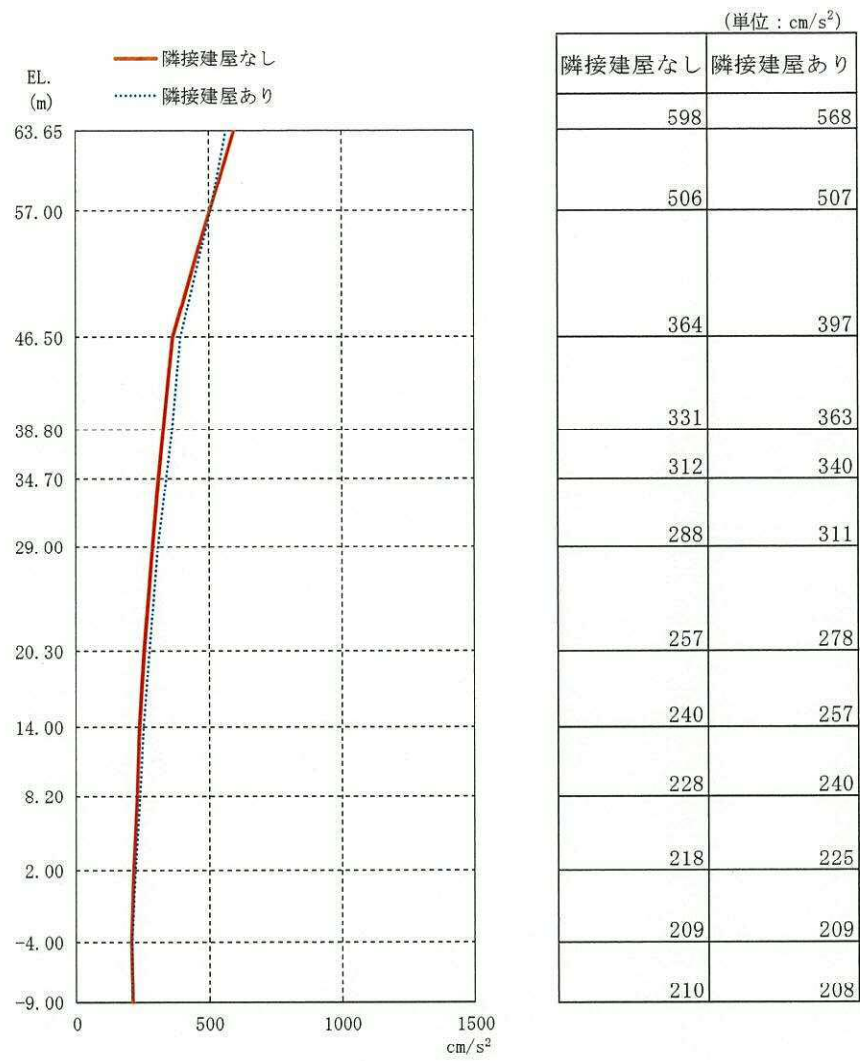


図 3-11 最大応答加速度 (, S_d-D 1 , EW 方向)

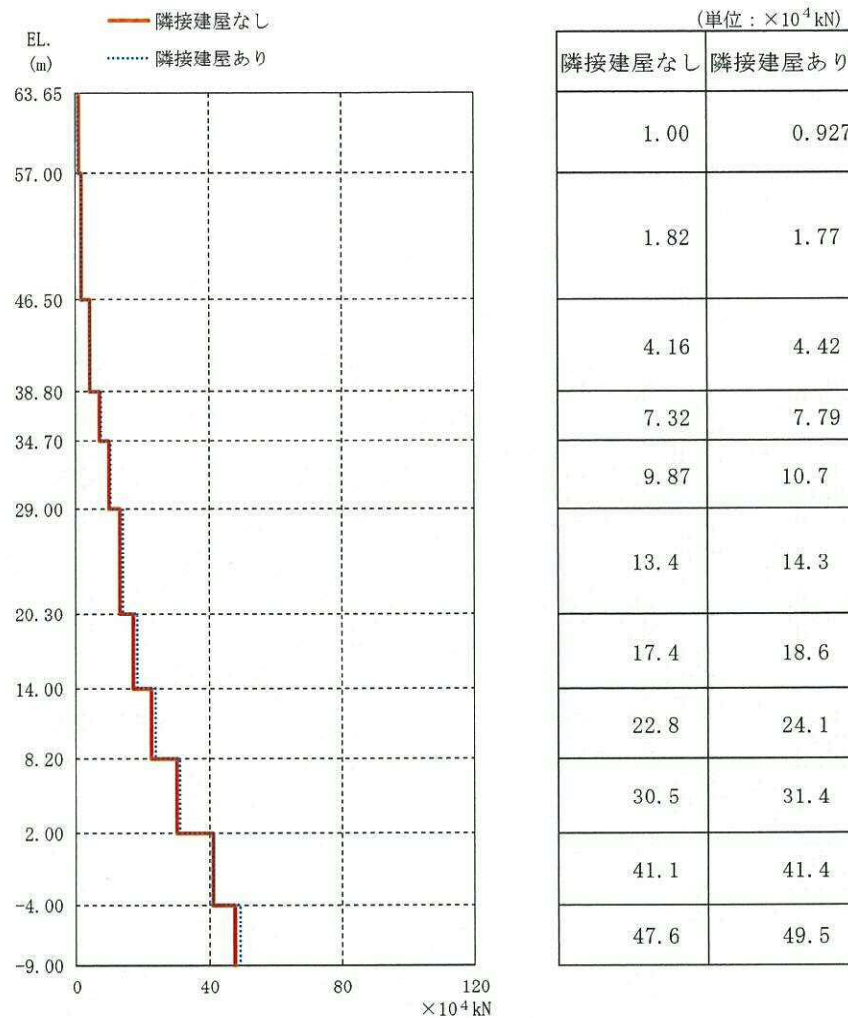


図 3-12 最大応答せん断力 (, S_d-D1 , EW 方向)

3.2 機器への影響検討

図3-13に今回工認の建屋モデルによる地震応答解析結果を用いた床応答スペクトル（図中では「工認基本ケース（×1.5）と表記」と、隣接建屋影響評価モデルにおける原子炉建屋単独ケース（図中では「隣接建屋考慮なし」と表記）と隣接するタービン建屋を模擬したケース（図中では「隣接建屋考慮あり」と表記）との比較を示す。また床応答スペクトルの比較において、工認基本ケース及び隣接建屋影響評価モデルにおける原子炉建屋単独ケースについては、周期軸方向に10%拡幅した床応答スペクトルとした。

3.2.1 隣接建屋の影響

図3-13に示すように、隣接建屋を考慮するとNS、EW方向ともにEL. 20.3 mより上部において、一部周期帯（0.2～0.3秒付近）で隣接建屋を考慮しない場合の床応答スペクトルを超過するが、機器への影響が支配的となる剛領域（0.05秒以下）では概ね同等の応答を示す事が確認された。

なお、原子炉建屋に設置された機器において時刻歴応答解析を実施するものとして、原子炉建屋クレーンが有る。原子炉建屋クレーンにおけるレール直交方向に対する固有周期は、剛であり、隣接建屋の応答が増加していないため、評価結果に影響を与えない。

また、レール方向に対しては、一定の震度にて車輪がレール上を滑ることになるため固有周期はない。

3.2.2 設計への影響

隣接建屋を考慮しない場合の床応答スペクトルを超過する周期帯においても設計に用いている工認基本ケースのスペクトルに包絡されており隣接建屋による設計への影響がないことを確認した。

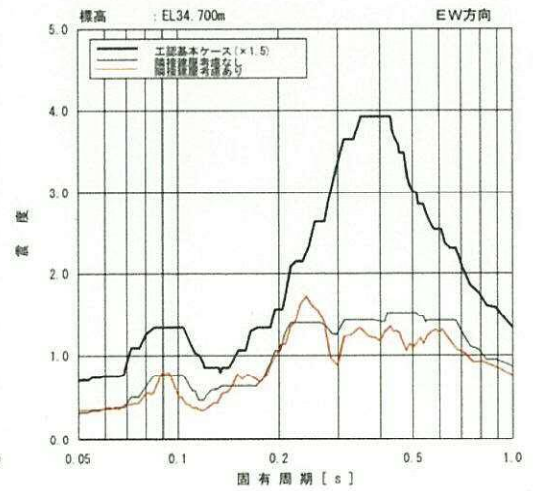
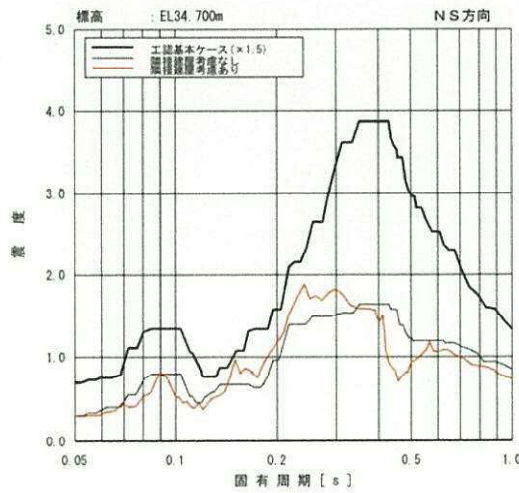
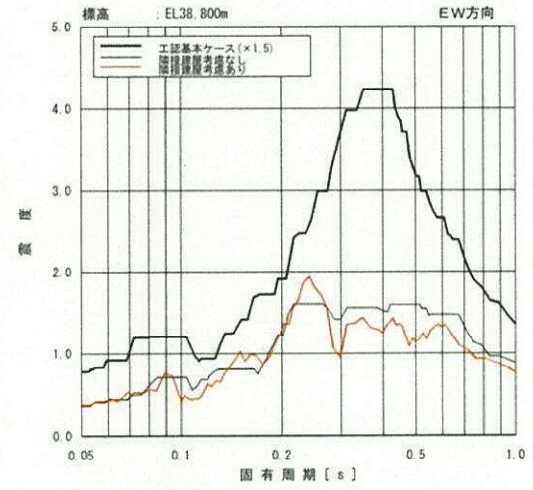
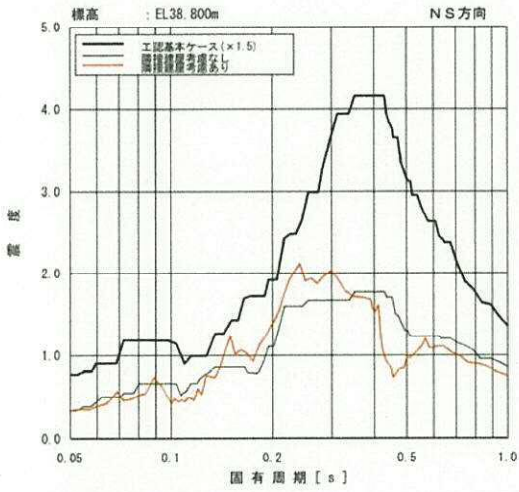
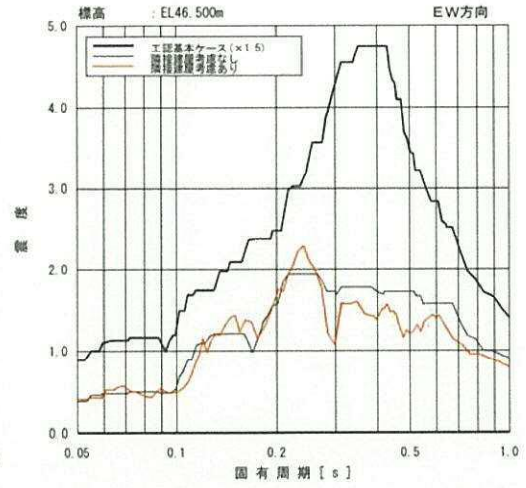
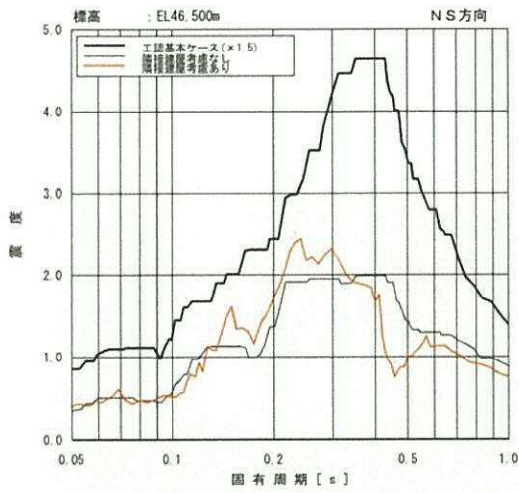


図3-13 (1/3) 床応答スペクトルの比較 h=1.0%

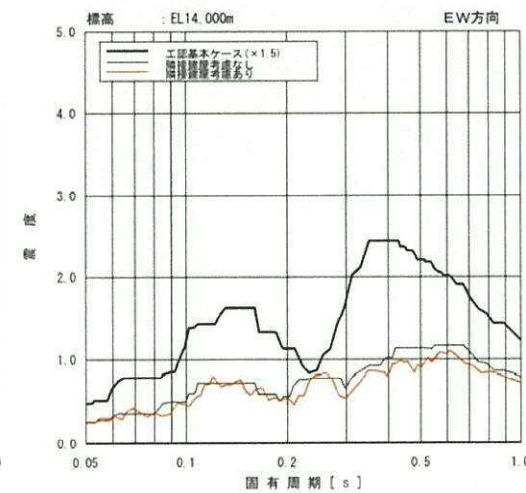
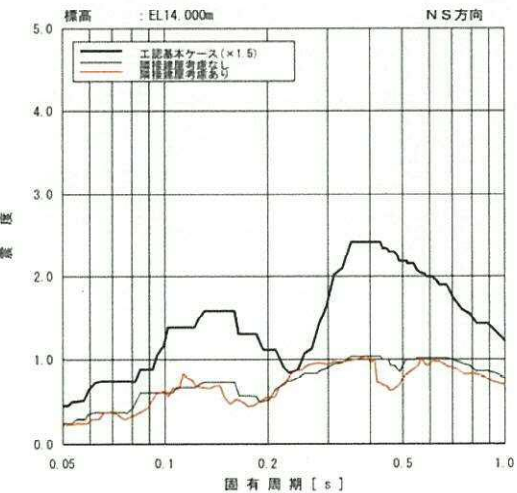
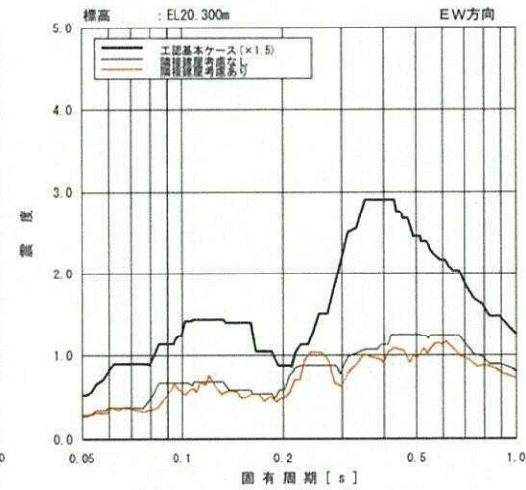
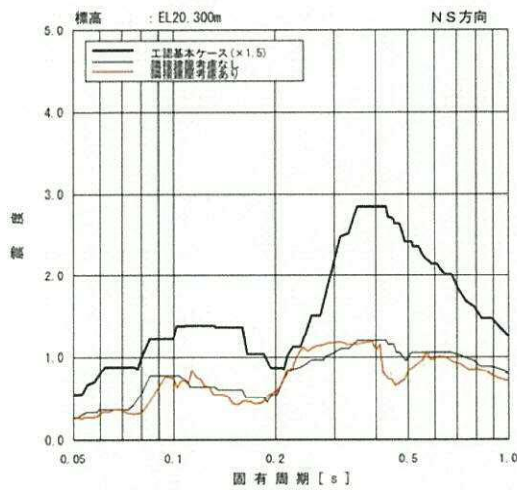
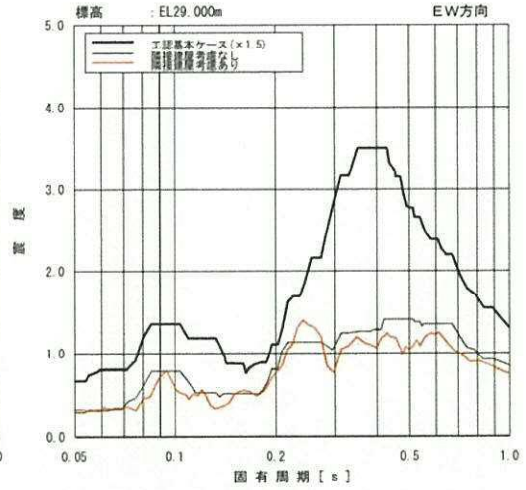
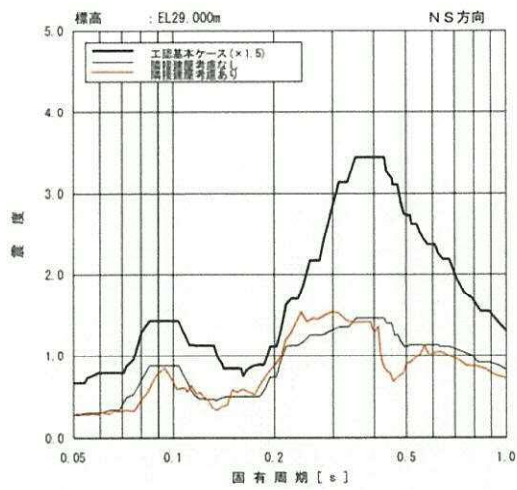


図3-13 (2/3) 床応答スペクトルの比較 h=1.0%

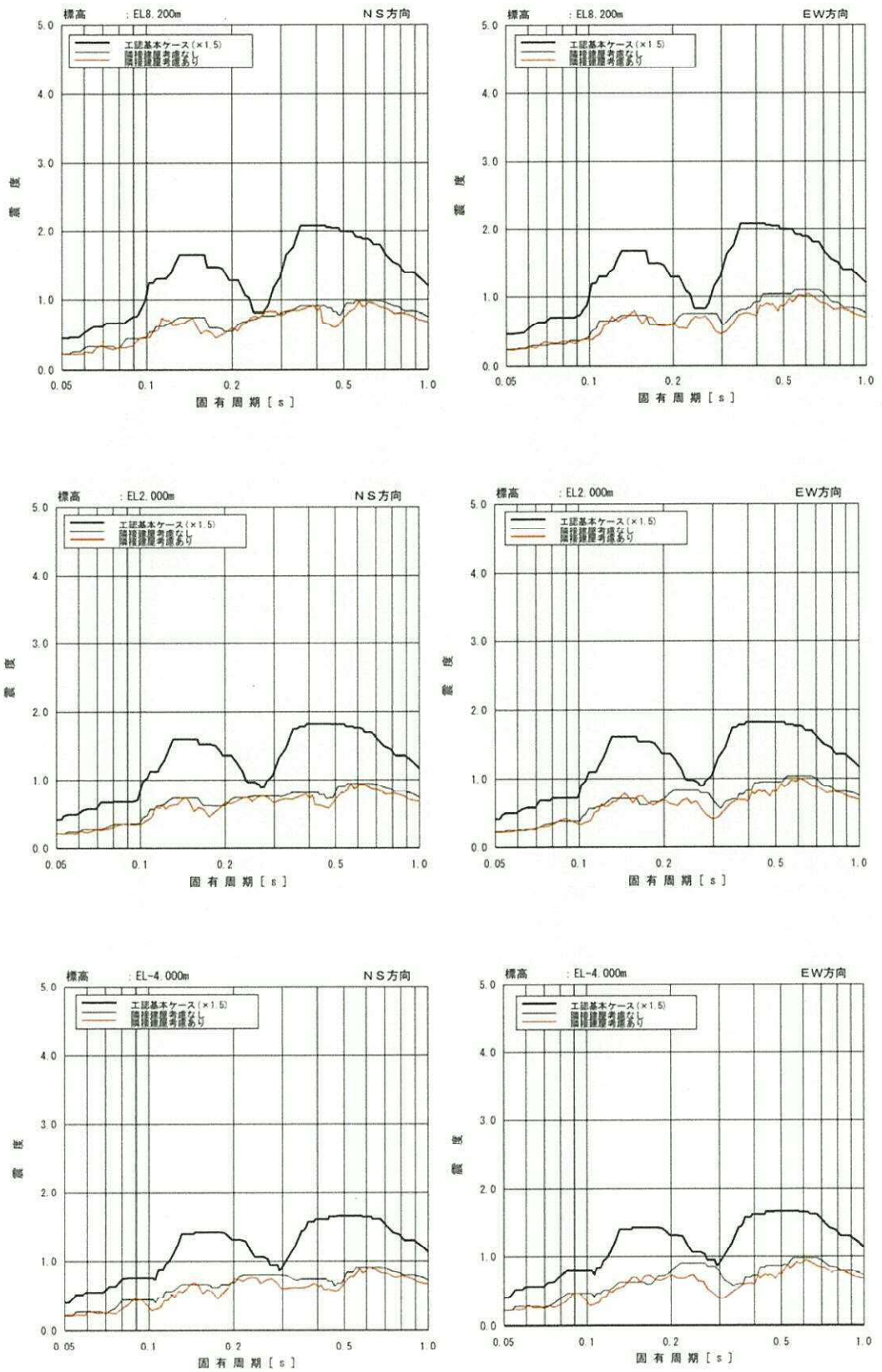


図3-13 (3/3) 床応答スペクトルの比較 ($h=1.0\%$)

4. まとめ

4.1 既往の知見に基づく検討結果

「既往の文献に基づく検討」及び「3次元FEMモデルを用いた検討」により、以下の知見を得た。

(1) 既往の文献に基づく検討

「NUPEC試験」では、実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体における地震観測による検討において、同種2棟の建屋が隣接する場合の地震応答は、単独の場合と比較してほぼ同等または低減される傾向となることが確認されている。

さらに、同試験におけるその他各種試験結果から、隣接効果による建屋応答の性状変化は、建屋条件により固有のものとなることが明らかにされているが、定性的には、建屋が隣接した状態と単独の状態を比較した場合、隣接した状態の方が建屋応答が低減される傾向にあることが確認されている。

(2) 3次元FEMモデルを用いた検討

3次元FEMモデルを用いた検討により、硬質岩盤においては、隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋－地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響が小さいことを確認することで、隣接建屋が検討対象建屋の建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

4.2 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討結果

4.2.1 建物・構築物への影響

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較した。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、R/Bでは0.927（要素番号1，EW方向のせん断力）～1.163（要素番号3，NS方向のせん断力）であり、概ね各建屋単独でモデル化したケースが全建屋を考慮したケースに対して、概ね同等であることから、東海第二発電所の工事計画認可申請対象の建物・構築物の耐震評価に与える隣接建屋の影響は小さいことを確認した。

4.2.2 機器への影響

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合における建屋応答に対する機器への影響を確認した。

建屋を配置した場合の床応答スペクトルは、原子炉建屋単独でモデル化した場合の床応答スペクトルに対して、機器への耐震評価への影響が大きな剛領域では概ね同等であることを確認した。また、工認基本ケースによる床応答スペクトルに応答が収まることをから隣接建屋の影響は小さいことを確認した。

【参考文献】

- 1) 耐震安全解析コード改良試験原子炉建屋の隣接効果試験に関する報告書，
（財）原子力発電技術機構，平成6年度～平成13年度
- 2) 鈴木 篤他，「地震観測に基づく構造物の隣接効果の検討」，日本建築学会学術講演梗概集，21169，PP.337-338，2000年9月
- 3) 中村 尚弘他，「原子力発電所建屋の地震応答性状に与える不整形地盤および隣接建屋の影響に関する研究」，2012年3月，構造工学論文集，日本建築学会

別紙 1 建屋構造特性の整理

1. 建屋構造特性の整理

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である原子炉建屋及びタービン建屋の構造特性を整理した結果を表 1-1 に示す。

表 1-1 建屋構造特性整理表

基礎幅 (m)		68.5 (NS) × 68.25 (EW)	約 70 (NS) × 約 105 (EW)
重量 (kN)	基礎	714380	894060
	建屋	1218560	1560730
	基礎 + 建屋	1932940	2454790
1次固有 振動数* (Hz)	NS	2.44	2.21
	EW	2.43	2.37
質点高さ EL. (m)	上端	63.65	40.64
	下端	-9.00	-5.90
	高さ	72.65	46.54

注記 * : 基準地震動 S_s - D 1 入力の SR モデル解析時の値

別紙2 応答増幅の影響について

目次

1. 概要.....	別紙 2-1
2. 検討方針.....	別紙 2-1
3. 検討結果.....	別紙 2-3
4. まとめ.....	別紙 2-12

付録1 隣接建屋の影響及び改造工事に伴う重量増他の影響を重畳した場合の影響について

1. 概要

本資料は、隣接建屋の影響として、応答増幅の影響検討を行うものである。

2. 検討方針

検討対象は、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールとする。

隣接建屋を考慮した応答比率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。原子炉建屋の最大応答せん断力の応答比率を表 2-1 に示す。

表 2-1 隣接建屋を考慮した応答比率：最大応答せん断力

(a) NS 方向

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)		応答比率 (考慮/非考慮)
		隣接非考慮	隣接考慮	
63.65 ~ 57.00	(1)	0.986	1.02	1.04
57.00 ~ 46.50	(2)	1.73	2.00	1.16
46.50 ~ 38.80	(3)	3.86	4.49	1.17
38.80 ~ 34.70	(4)	6.77	7.55	1.12
34.70 ~ 29.00	(5)	9.11	9.81	1.08
29.00 ~ 20.30	(6)	12.3	12.3	1.00
20.30 ~ 14.00	(7)	16.1	15.8	0.99
14.00 ~ 8.20	(8)	21.2	20.6	0.98
8.20 ~ 2.00	(9)	27.1	26.4	0.98
2.00 ~ -4.00	(10)	34.6	33.7	0.98

(b) EW 方向

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)		応答比率 (考慮/非考慮)
		隣接非考慮	隣接考慮	
63.65 ~ 57.00	(1)	1.00	0.927	0.93
57.00 ~ 46.50	(2)	1.82	1.77	0.98
46.50 ~ 38.80	(3)	4.16	4.42	1.07
38.80 ~ 34.70	(4)	7.32	7.79	1.07
34.70 ~ 29.00	(5)	9.87	10.7	1.09
29.00 ~ 20.30	(6)	13.4	14.3	1.07
20.30 ~ 14.00	(7)	17.4	18.6	1.07
14.00 ~ 8.20	(8)	22.8	24.1	1.06
8.20 ~ 2.00	(9)	30.5	31.4	1.03
2.00 ~ -4.00	(10)	41.1	41.4	1.01

3. 検討結果

各検討対象の隣接建屋の影響検討結果を以下に示す。

(1) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟，中央制御室遮蔽

原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の構造強度については，地震応答解析による評価結果として最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認している。

地震応答解析によって評価された最大せん断ひずみに対して，隣接建屋の影響を考慮した最大応答せん断力の応答比率を乗じて，許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内であることを確認する。

表 3-1 に原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽に対する評価結果を示す。

隣接建屋の影響を考慮した原子炉棟における最大せん断ひずみは 0.65×10^{-3} (要素番号 (5)，NS 方向)，中央制御室遮蔽における最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (要素番号 (7)，EW 方向) で，許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内となり，隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認した。

表 3-1 隣接建屋の影響を考慮した最大せん断ひずみ

(a) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟

要素番号	方向	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	隣接建屋の応答比率	影響考慮の最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	備考
(5)	NS 方向	0.60	1.08	0.65	$S_s - 3\sigma$, 地盤 + σ

(b) 中央制御室遮蔽

要素番号	方向	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	隣接建屋の応答比率	影響考慮の最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	備考
(7)	EW 方向	0.56	1.07	0.60	$S_s - 3\sigma$, 地盤 + σ

(2) 原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤については、1次遮蔽壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）からの基礎への地震時せん断力、軸力等を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0 m～EL. 2.0 m）の応答比率を用いる。

隣接建屋を考慮した最大応答せん断力の応答比率に基づく割増係数を表 3-2 に示す。NS 方向は応答比率が 1.0 以下となっており、EW 方向に係るケースのみ影響評価の対象となる。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの断面評価結果一覧を表 3-3 に示す。最も検定値が大きいのは、荷重状態IVの地震時（2）の面外せん断力 0.953 であり、応答倍率 1.01 を乗じると 0.963 となり、1.0 を下回る。

原子炉建屋基礎盤の断面評価結果一覧を表 3-4 に示す。EW 方向に係るケースで最も検定値が大きいのは、S₁地震時の面外せん断力 0.868 であり、せん断力の応答倍率 1.01 を乗じると 0.878 となり、1.0 を下回る。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-2 割増係数：原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

	NS 方向	EW 方向
要素番号 (10)	0.98	1.01
EW 方向の割増係数	1.01	

表 3-3 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧 (1/3)
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(a) 荷重状態Ⅲ 地震時 (1)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	21	1-22	0.218
	鉄筋	円周	21	1-22	0.398
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	1-22	0.712

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(b) 荷重状態Ⅲ (異常+地震) 時 (1)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	60	2-22	0.286
	鉄筋	円周	21	2-22	0.580
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	2-22	0.681

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(c) 荷重状態Ⅳ 地震時 (2)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	3-6	0.111
	鉄筋	円周	40	3-4	0.129
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	3-6	0.953 (1.13)

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

() 内は、応力平均化前の値を示す。

表 3-3 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧 (2/3)
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(d) 荷重状態Ⅳ (異常+地震) 時 (2)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	4-6	0.096
	鉄筋	半径	26	4-5	0.118
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	4-6	0.634

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(e) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (3)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	5-6	0.125
	鉄筋	円周	21	5-6	0.179
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	131	5-5	0.737

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(f) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (4)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	6-6	0.114
	鉄筋	円周	21	6-6	0.168
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	211	6-5	0.683

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

表 3-3 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧 (3/3)
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)
 (g) 荷重状態V (異常+地震) 時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	7-6	0.142
	鉄筋	円周	21	7-6	0.163
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	30	7-6	0.926 (1.10)

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。
 () 内は、応力平均化前の値を示す。

表 3-4 原子炉建屋基礎盤の検定値一覧

(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 8-3 再掲)

(a) S_d 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm^2)	半径	280	1-22	0.444
	鉄筋引張応力度 (N/mm^2)	NS	851	1-19	0.702
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	280	1-22	0.514

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(b) S_s 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3 kN \cdot m/m$)	NS	851	2-7	0.894
		EW	626	2-6	0.717
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	851	2-1	0.731
		EW	465	2-4	0.868

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(3) 使用済燃料プール

使用済燃料プールは、水平地震時荷重として、せん断力分配解析による内部ボックス壁 (I/W) の EL. 46.5 m~EL. 34.7 m 位置 (要素番号 (3), (4)) でのせん断力を考慮することから要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

隣接建屋を考慮した要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率に基づく割増係数を表 3-5 に示す。

使用済燃料プールの断面評価結果一覧を表 3-6 に示す。最も検定値が大きいのは、 S_d 地震時の軸力+曲げモーメント+面内せん断力の鉄筋 0.908 (ケース No. 1-5, $1.0S_{dNE}-0.4S_{dW}$) であり、EW 方向の応答倍率 1.07 を乗じると 0.972 となり、1.0 を下回る。NS 方向に係るケースで最大の検定値は、 S_d 地震時の軸力+曲げモーメント+面内せん断力の鉄筋 0.832 (ケース No. 2-7, $1.0S_{dSW}-0.4S_{dE}$) であり、EW 方向の応答倍率 1.17 を乗じると 0.974 となり、1.0 を下回る。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-5 割増係数：最大応答せん断力
(使用済燃料プール)

	NS 方向	EW 方向
要素番号 (3), (4) の最大値	1.17	1.07
NS 方向の割増係数	1.17*	
EW 方向の割増係数	1.07*	

注記 *：各方向の最大値

表 3-6 (1/2) 評価結果
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						面内せん断力			面外せん断力		
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート		
			要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.
壁	北側壁	S _a 地震時	2219	0.101	1-8	2272	0.908	1-5	2272	0.342	1-5	2228	0.533	1-8
		S _a 地震時+温度	2204	0.261	2-1	2272	0.869	2-21	2205	0.346	2-6	2228	0.554	2-8
	東側壁	S _a 地震時	1535	0.107	1-5	1546	0.720	1-8	1586	0.552	1-7	1536	0.361	1-5
		S _a 地震時+温度	1582	0.365	2-3	1585	0.832	2-7	1586	0.603	2-7	1536	0.497	2-5
	南側壁	S _a 地震時	3055	0.805	1-15	3037	0.805	1-5	1086	0.572	1-7	7801	0.627	1-6
		S _a 地震時+温度	3055	0.396	2-14	3031	0.770	2-18	3043	0.622	2-2	7801	0.768	2-6
西側壁	S _a 地震時	1035	0.113	1-6	1046	0.719	1-8	1086	0.572	1-7	1033	0.391	1-6	
	S _a 地震時+温度	1082	0.364	2-3	1085	0.827	2-7	1086	0.621	2-23	1033	0.367	2-22	
床	底板	S _a 地震時	4054	0.381	1-7	4054	0.481	1-16				4053	0.544	1-15
		S _a 地震時+温度	4054	0.350	2-23	4054	0.476	2-32				4054	0.584	2-15

表 3-6 (2/2) 評価結果
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						軸力			面内せん断力			面外せん断力						
			コンクリート		鉄筋		鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート		鉄筋コンクリート				
			要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	
壁	北側壁	S _s 地震時	2219	0.048	3-16	2272	0.354	3-5	2272	0.048	3-2	2268	0.329	3-13	2228	0.518	3-16				
	東側壁	S _s 地震時	1535	0.045	3-5	1590	0.356	3-7	1581	0.093	3-8	1590	0.705	3-7	1546	0.333	3-13				
	南側壁	S _s 地震時	3055	0.131	3-15	3037	0.293	3-5	3055	0.215	3-15	3037	0.529	3-5	7803	0.560	3-15				
	西側壁	S _s 地震時	1035	0.049	3-6	1046	0.316	3-8	1090	0.105	3-8	1087	0.576	3-7	1033	0.345	3-6				
	床	底版	S _s 地震時	4054	0.181	3-15	4054	0.212	3-16							4054	0.716	3-15			

4. まとめ

隣接建屋の影響評価として、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールの応答増幅を考慮しても構造健全性に影響がないことを確認した。

付録1 隣接建屋の影響及び改造工事に伴う重量増他の影響を重畳した場合の影響について

原子炉建屋基礎盤に対して、隣接建屋の影響評価に加えて、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した評価結果への影響、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を重畳させた場合の影響評価を実施する。

(1) 原子炉建屋基礎盤の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響に、設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した評価結果を付表 1 に示す。

付表 1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ及び
設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した評価
原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S₀地震時)

(添付資料「V-2-12 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」
表 3-1-6 再掲)

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN·m/m)	NS	851	10.7	1.02	11.0	11.8
		半径	276	43.6	1.02	44.5	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.42*	1.02	1.45	2.12
		半径	279	1.96*	1.02	2.00	2.12

注記 * : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

a. 応答倍率による影響評価

付表 2 に隣接建屋の影響によるせん断力の原子炉建屋基礎盤上層（要素番号 (10) , EL. -4.0 m~EL. 2.0 m) の応答比率に基づく割増係数を示す。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響と設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響及び隣接建屋の影響を考慮した評価結果を付表 3 に示す。

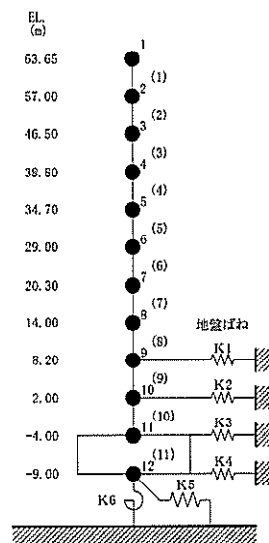
割増係数を考慮した評価値が許容値以内であることを確認した。

以上より、隣接建屋の影響評価に加えて、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した評価結果への影響、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を重畳させた場合においても構造健全性に影響はないことを確認した。

付表 2 割増係数：隣接建屋の影響

影響評価項目	NS 方向	EW 方向
要素番号 (10) の応答比率	0.98	1.01
基礎盤への割増係数	1.01*	

注記 *：各方向の応答倍率の最大値



付表3 評価結果：原子炉棟基礎及び附属棟基礎の評価結果（S_s地震時）

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ①* ²	割増係 数②* ³	割増係 数②* ⁴	①×②×③	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント (×10 ³ kN・m/m)	NS	851	10.7	1.02	1.01	11.1	11.8
		半径	276	43.6	1.02	1.01	45.0	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力 度 (N/mm ²)	NS	438	1.42* ¹	1.02	1.01	1.47	2.12
		半径	279	1.96* ¹	1.02	1.01	2.02	2.12

注記 *1：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

*2：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

*3：設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することによる割増係数

*4：隣接建屋の影響による割増係数

補足-400-5【地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定】

目次

1. 概要	1
2. 耐震壁の非線形特性の設定について	2
2.1 第1折点の設定	3
2.2 第2折点の設定	3
2.3 終局点の設定	4
3. 各建物・構築物のせん断スケルトンカーブの設定について	5
3.1 原子炉建屋	5
3.2 使用済燃料乾式貯蔵建屋	17
3.3 緊急時対策所建屋	25
3.4 格納容器圧力逃がし装置格納槽	33
4. まとめ	43

1. 概要

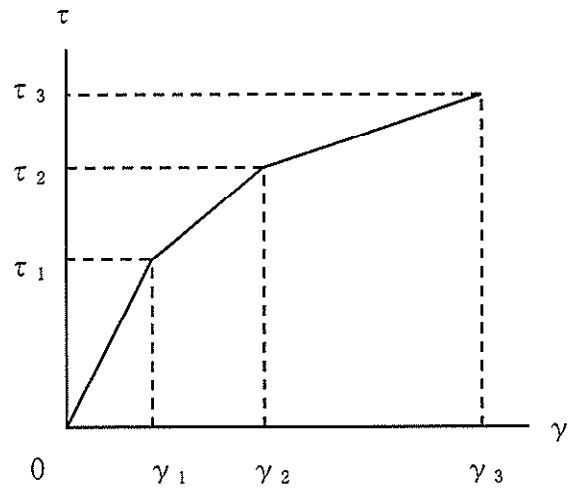
東海第二発電所の原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽については、鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物である。このため、これらの建物・構築物の地震応答解析においては、鉄筋コンクリート造耐震壁（以下「RC造耐震壁」という。）の非線形特性を考慮している。本資料は、これらの耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定について説明するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」
- ・添付書類「V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」
- ・添付書類「V-2-2-10 緊急時対策所建屋の地震応答計算書」
- ・添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」

2. 耐震壁の非線形特性の設定について

RC 造耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ － γ 関係）は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1－1991 追補版」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図 2-1 に示す。



τ_1 : 第1折点のせん断応力度

τ_2 : 第2折点のせん断応力度

τ_3 : 終局点のせん断応力度

γ_1 : 第1折点のせん断ひずみ

γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ

γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 2-1 せん断応力度－せん断ひずみ関係

2.1 第1折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトンカーブの第1折点は、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、以下の式より算出している。

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

$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで、

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

G : コンクリートのせん断弾性係数 (kgf/cm²)

σ_v : 縦軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

2.2 第2折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトンカーブの第2折点は、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、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

RC造耐震壁におけるせん断スケルトンカーブの終局点は、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき、以下の式より算出している。

$\tau_s \leq 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = \left(1 - \frac{\tau_s}{4.5\sqrt{F_c}} \right) \tau_0 + \tau_s$$

$\tau_s > 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

$$\tau_3 = 4.5\sqrt{F_c}$$

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

ここで、

$$\tau_0 = \left(3 - \frac{1.8M}{QD} \right) \sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$ のとき $M/QD = 1$

$$\tau_s = \frac{(P_v + P_H) \cdot s \sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_v + \sigma_H)}{2}$$

ここで、

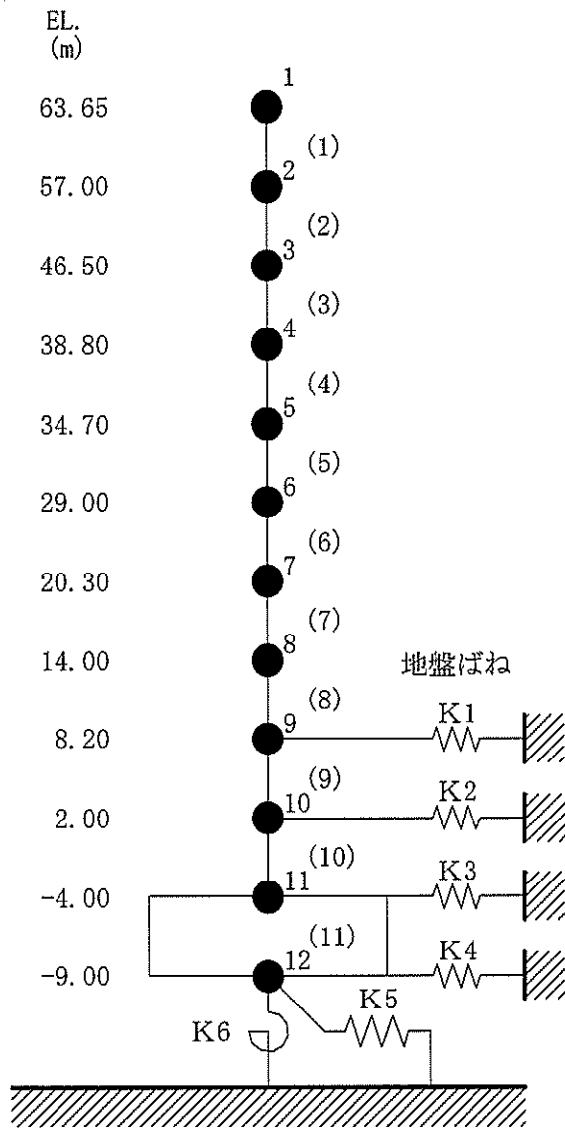
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)
- P_v, P_H : 縦, 横筋比 (実数)
- σ_v, σ_H : 縦, 横軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)
- $s \sigma_y$: 鉄筋降伏応力度 (kgf/cm²)
- M/QD : シアスパン比

3. 各建物・構築物のせん断スケルトンカーブの設定について

3.1 原子炉建屋

3.1.1 水平方向モデル

水平方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁等の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとしている。地震応答解析モデルを図 3-1 に、解析モデルの諸元を表 3-1 に示す。



注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : () 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-1 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント ($\times 10^3 \text{m}^4$)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
63.65	1	15870	35.7	31.5	(1)	27.3	25.5	20.4	18.4
57.00	2	16160	51.2	44.7	(2)	27.3	25.5	20.4	18.4
46.50	3	67320	120.3	104.7	(3)	212	154	64.4	34.7
38.80	4	97130	161.6	99.8	(4)	133	141	45.0	37.3
34.70	5	83270	113.0	68.7	(5)	143	156	45.4	38.7
29.00	6	122370	348.8	250.5	(6)	218	237	77.6	72.9
20.30	7	161820	488.7	543.9	(7)	242	224	86.3	77.6
14.00	8	234650	720.8	779.6	(8)	394	345	178.5	147.4
8.20	9	199260	893.0	886.8	(9)	464	454	218.4	208.5
2.00	10	220710	832.4	830.7	(10)	464	454	218.8	208.9
-4.00	11	439290	1724.6	1712.1	(11)	4675	4675	1828.1	1814.8
-9.00	12	275090	1081.4	1073.5					
総重量		1932940							

3.1.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる原子炉建屋の使用材料の物性値を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-2 使用材料の物性値（コンクリート）

使用材料	ヤング係数 E_c (N/mm^2)	せん断弾性係数 G_c (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
コンクリート： $F_c=22.1$ (N/mm^2) ($F_c=225$ kgf/cm^2)	2.21×10^4	9.21×10^3	5

表 3-3 使用材料の物性値（鉄筋）

使用材料	降伏応力度 $s\sigma_y$ (N/mm^2)
鉄筋：SD345 相当*	345

注記 *：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが、現在の規格 (Sd345) に読み替えた降伏応力度を示す。

3.1.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を表3-4に示す。

表 3-4 (1/2) せん断スケルトンカーブ (τ - γ 関係, 第 1 折点)

(a) NS 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	22.1	9.21×10^3	15870	52.4	0.30	1.60	0.174×10^{-3}
(2)	22.1	9.21×10^3	32030	58.8	0.54	1.71	0.185×10^{-3}
(3)	22.1	9.21×10^3	99350	331	0.30	1.59	0.173×10^{-3}
(4)	22.1	9.21×10^3	196480	243	0.81	1.34	0.145×10^{-3}
(5)	22.1	9.21×10^3	279750	297	0.94	1.28	0.139×10^{-3}
(6)	22.1	9.21×10^3	402120	451	0.89	1.47	0.159×10^{-3}
(7)	22.1	9.21×10^3	563940	461	1.22	1.61	0.174×10^{-3}
(8)	22.1	9.21×10^3	798590	727	1.10	1.68	0.183×10^{-3}
(9)	22.1	9.21×10^3	997850	900	1.11	1.77	0.192×10^{-3}
(10)	22.1	9.21×10^3	1218560	900	1.35	1.85	0.201×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量/断面積

表 3-4 (2/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点)

(b) EW 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	22.1	9.21×10^3	15870	52.4	0.30	1.60	0.174×10^{-3}
(2)	22.1	9.21×10^3	32030	58.8	0.54	1.71	0.185×10^{-3}
(3)	22.1	9.21×10^3	99350	331	0.30	1.60	0.173×10^{-3}
(4)	22.1	9.21×10^3	196480	243	0.81	1.49	0.162×10^{-3}
(5)	22.1	9.21×10^3	279750	297	0.94	1.39	0.151×10^{-3}
(6)	22.1	9.21×10^3	402120	451	0.89	1.31	0.143×10^{-3}
(7)	22.1	9.21×10^3	563940	461	1.22	1.59	0.172×10^{-3}
(8)	22.1	9.21×10^3	798590	727	1.10	1.68	0.182×10^{-3}
(9)	22.1	9.21×10^3	997850	900	1.11	1.77	0.192×10^{-3}
(10)	22.1	9.21×10^3	1218560	900	1.35	1.85	0.201×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-5に示す。

表3-5 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点)

(a) NS方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.16	0.522×10^{-3}
(2)	2.31	0.555×10^{-3}
(3)	2.15	0.519×10^{-3}
(4)	1.81	0.435×10^{-3}
(5)	1.73	0.417×10^{-3}
(6)	1.98	0.477×10^{-3}
(7)	2.17	0.522×10^{-3}
(8)	2.27	0.549×10^{-3}
(9)	2.39	0.576×10^{-3}
(10)	2.50	0.603×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

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

(b) EW 方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.16	0.522×10^{-3}
(2)	2.31	0.555×10^{-3}
(3)	2.16	0.519×10^{-3}
(4)	2.01	0.486×10^{-3}
(5)	1.88	0.453×10^{-3}
(6)	1.77	0.429×10^{-3}
(7)	2.15	0.516×10^{-3}
(8)	2.27	0.546×10^{-3}
(9)	2.39	0.576×10^{-3}
(10)	2.50	0.603×10^{-3}

注記 *1 : $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2 : $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「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。シアパン比 M/QD は、安全側に1を用いている。また、 σ_H は安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素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表3-6に示す。また、原子炉建屋のEL. -4.0 m~EL. 2.0 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-2に示す。

表3-6 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係, 終局点)

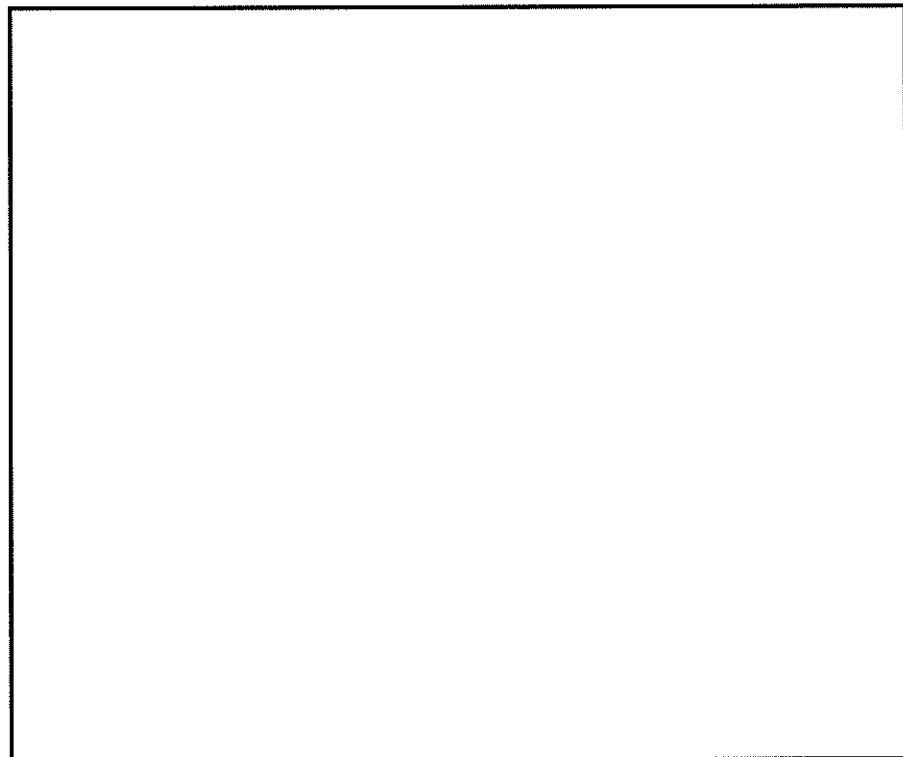
(a) NS方向

要素 番号	P_V	P_H	縦軸応力度 σ_V (N/mm ²)	M/QD	τ_s (N/mm ²)	γ_s
(1)	0.00957	0.00957	0.30	1.0	4.54	4.0×10^{-3}
(2)	0.00957	0.00957	0.54	1.0	4.63	4.0×10^{-3}
(3)	0.00950	0.00858	0.30	1.0	4.38	4.0×10^{-3}
(4)	0.01480	0.01107	0.81	1.0	4.17	4.0×10^{-3}
(5)	0.01480	0.01107	0.94	1.0	3.91	4.0×10^{-3}
(6)	0.01306	0.01052	0.89	1.0	4.26	4.0×10^{-3}
(7)	0.01468	0.01404	1.22	1.0	4.87	4.0×10^{-3}
(8)	0.01053	0.00901	1.10	1.0	4.27	4.0×10^{-3}
(9)	0.01240	0.01136	1.11	1.0	5.02	4.0×10^{-3}
(10)	0.01697	0.01372	1.35	1.0	5.84	4.0×10^{-3}

表 3-6 (2/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点)

(b) EW 方向

要素 番号	P_V	P_H	縦軸応力度 σ_v (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.00957	0.00957	0.30	1.0	4.54	4.0×10^{-3}
(2)	0.00957	0.00957	0.54	1.0	4.63	4.0×10^{-3}
(3)	0.00965	0.01023	0.30	1.0	4.63	4.0×10^{-3}
(4)	0.01334	0.01042	0.81	1.0	4.40	4.0×10^{-3}
(5)	0.01334	0.01042	0.94	1.0	4.01	4.0×10^{-3}
(6)	0.01235	0.01028	0.89	1.0	3.72	4.0×10^{-3}
(7)	0.01227	0.01280	1.22	1.0	4.57	4.0×10^{-3}
(8)	0.01119	0.01060	1.10	1.0	4.52	4.0×10^{-3}
(9)	0.01246	0.01142	1.11	1.0	5.02	4.0×10^{-3}
(10)	0.01631	0.01390	1.35	1.0	5.77	4.0×10^{-3}



記号*	縦筋	横筋
W180	内：428-D38 (3段) 外：428-D38 (3段)	内：D38@200 (3段) 外：D38@200 (3段)
W150	内：D32@200 (2段) 外：D32@200 (2段)	内：D32@200 (2段) 外：D32@200 (2段)
W150A	内：D38@100 (3段) 外：D38@100 (3段)	内：D35@200 (3段) 外：D35@200 (3段)
W150B	内：D35@200 (2段) 外：D35@200 (2段)	内：D32@200 (2段) 外：D32@200 (2段)
W150C	内：D38@200 (2段) 外：D38@200 (2段)	内：D35@200 (2段) 外：D35@200+D35@100
W150D	内：D32@200 (2段) 外：D35@200+D35@100	内：D32@200 (2段) 外：D32@200 (2段)
W150E	内：D35@200 (2段) 外：D35@200+D35@100	内：D35@200 (2段) 外：D35@200+D35@100
W150F	内：D35@200 (2段) 外：D35@200+D35@100	内：D32@200 (2段) 外：D32@200 (2段)
W150G	内：D38@200 (2段) 外：D38@200+D38@100	内：D35@200 (2段) 外：D35@200+D35@100

注記 *：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

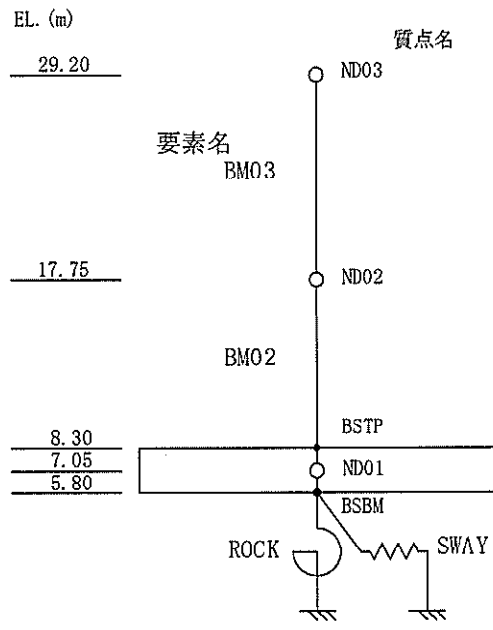
(例：W180 なら 180 cm)

図 3-2 の耐震壁の配筋図 (EL. -4.0 m~EL. 2.0 m)

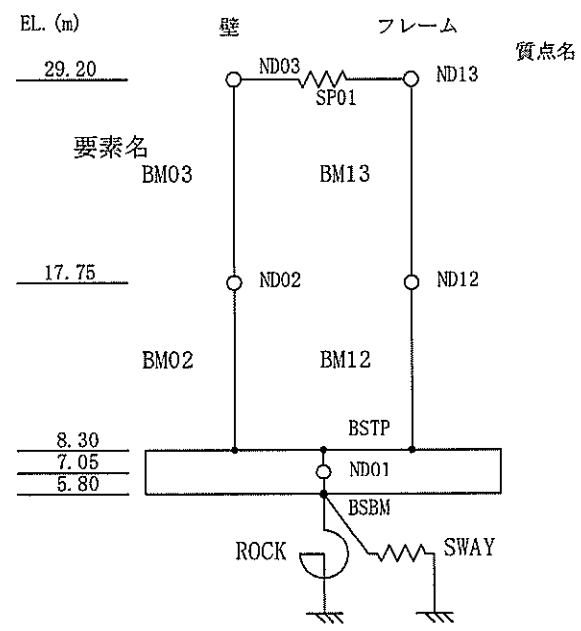
3.2 使用済燃料乾式貯蔵建屋

3.2.1 水平方向モデル

水平方向は、杭を含む地盤との相互作用を考慮し、耐震壁及び柱の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとしている。地震応答解析モデルを図 3-3 に、解析モデルの諸元を表 3-7 に示す。



(NS 方向)



(EW 方向)

図 3-3 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-7 (1/2) 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

標高 EL. (m)	質点名	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^4$ kN \cdot m 2)	要素名	せん断断面積 (m 2)	断面 2 次 モーメント (m 4)
29.20	ND03	40700	981	BM03	24.17	5997
17.75	ND02	40890	1651			
7.05	ND01	163180	4861	BM02	30.09	8000

表 3-7 (2/2) 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向)

標高 EL. (m)	質点名 (ND)		質点重量 (kN)		回転慣性重量 ($\times 10^4$ kN \cdot m 2)		要素名 (BM)		せん断断面積 (m 2)		断面 2 次 モーメント (m 4)	
	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム
29.20	03	13	12330	28370	70	—	03	13	23.40	29.40	3495	7.503
17.75	02	12	13570	27320	77	—						
7.05	01		163180		1497		02	12	33.63	55.44	4429	50.45

屋根スラブせん断ばね

SP01 = 8.38×10^6 kN/m

3.2.2 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表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 使用材料の物性値 (コンクリート)

使用材料	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G_c (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート : $F_c=23.5$ (N/mm ²) ($F_c=240$ kgf/cm ²)	2.25×10^4	9.38×10^3	5

表 3-9 使用材料の物性値 (鉄筋)

使用材料	降伏応力度 $s \sigma_y$ (N/mm ²)
鉄筋 : SD390	390

3.2.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を表3-10に示す。

表3-10 せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第1折点)

(a) NS方向

要素番号	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	当該部分が支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
BM03	23.5	9.38×10^3	36280	48.4	0.75	1.86	0.198×10^{-3}
BM02	23.5	9.38×10^3	68550	63.0	1.09	2.01	0.214×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量 / 断面積

(b) EW方向

要素番号	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	当該部分が支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
BM03	23.5	9.38×10^3	13800	23.4	0.59	1.79	0.191×10^{-3}
BM02	23.5	9.38×10^3	24120	33.8	0.71	1.84	0.197×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量 / 断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-11に示す。

表3-11 せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点)

(a) NS方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
BM03	2.51	0.594×10^{-3}
BM02	2.71	0.642×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) EW方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
BM03	2.42	0.573×10^{-3}
BM02	2.49	0.590×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「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。シアパン比 M/QD を評価するための M 及び Q は、建設工認時の S_2 地震時の最大応答値を用いている。 σ_{\parallel} は安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素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表3-12に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋のEL.8.3m~EL.17.75mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-4に示す。

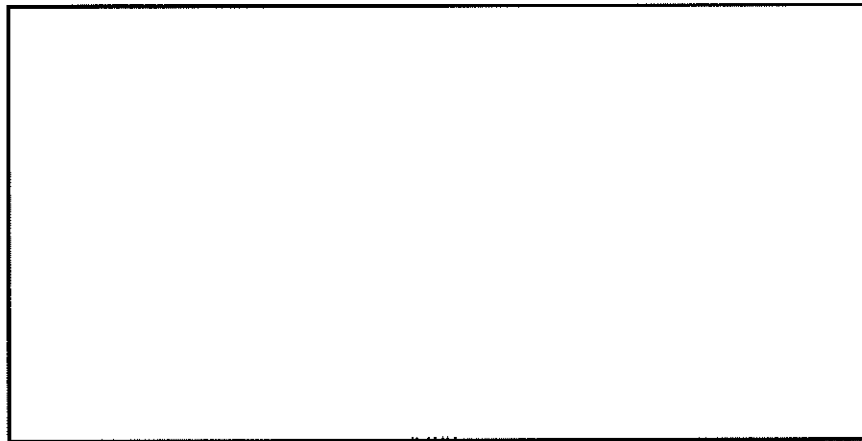
表3-12 せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 終局点)

(a) NS方向

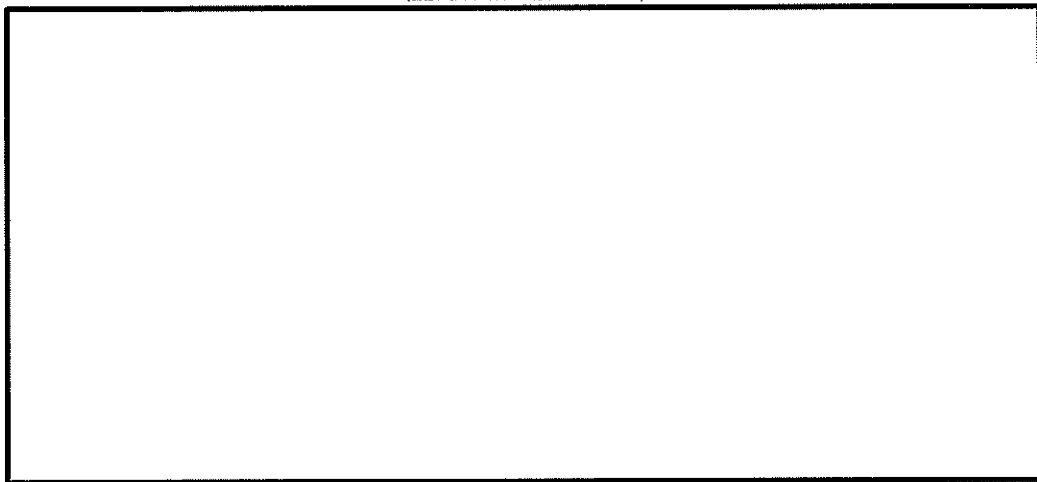
要素 番号	P_v	P_{\parallel}	縦軸応力度 σ_v (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
BM03	0.009013	0.009013	0.75	0.213	5.61	4.0×10^{-3}
BM02	0.008293	0.008681	1.09	0.909	5.20	4.0×10^{-3}

(b) EW方向

要素 番号	P_v	P_{\parallel}	縦軸応力度 σ_v (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
BM03	0.006880	0.006880	0.59	0.440	4.88	4.0×10^{-3}
BM02	0.007949	0.007949	0.71	0.664	4.82	4.0×10^{-3}



中間床伏図 (1)
(EL. 10. 8M~EL. 17. 75M)



1 階 伏 図
(EL. 8. 3M)

記号	縦筋	横筋
W45A	内：D22@250 外：D22@250	内：D22@250 外：D22@250
W45B	内：D25@250 外：D25@250	内：D25@250 外：D25@250
W45C	内：D25@250 外：D25@250	内：D29@250 外：D29@250
W60B	内：D29@250 外：D29@250	内：D29@250 外：D29@250
W70A	内：D29@250 外：D29@250	内：D29@250 外：D29@250

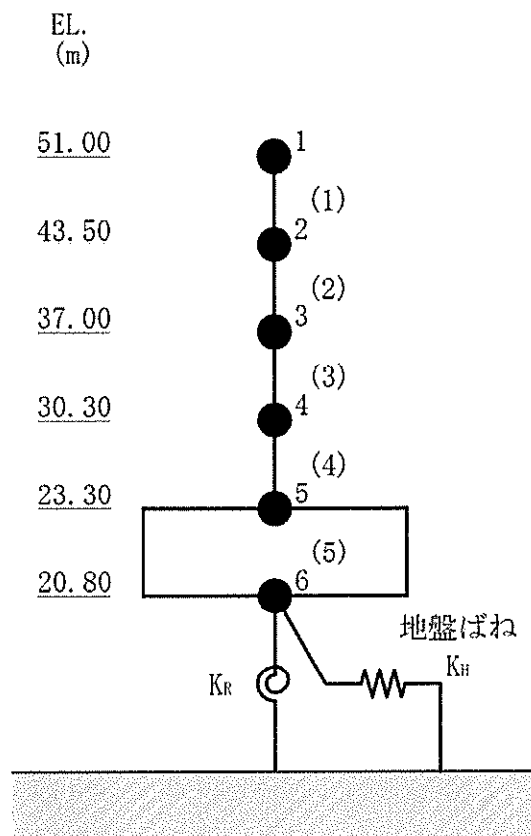
注：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。
(例：W45A なら 45cm)

図 3-4 の耐震壁の配筋図 (EL. 8. 3 m~EL. 17. 75 m)

3.3 緊急時対策所建屋

3.3.1 水平方向モデル

水平方向は、杭を含む地盤との相互作用を考慮し、耐震壁及び柱の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとしている。地震応答解析モデルを図 3-5 に、解析モデルの諸元を表 3-13 に示す。



注1 : 数字は質点番号を示す。
 注2 : () 内は要素番号を示す。

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-13 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント ($\times 10^2 \text{m}^4$)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
51.00	1	20980	134.9	44.1					
43.50	2	66180	786.1	697.3	(1)	65.58	46.84	95.46	30.72
37.00	3	78520	933.9	828.5	(2)	175.3	140.5	383.7	357.6
30.30	4	91950	1095.3	971.9	(3)	167.7	137.2	342.8	324.4
23.30	5	80120	953.1	845.6	(4)	181.4	154.3	424.1	289.3
20.80	6	56950	676.1	599.6	(5)	1326	1326	1555	1401
総重量		394700							

3.3.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる緊急時対策所建屋の使用材料の物性値を表 3-14 及び表 3-15 に示す。

表 3-14 使用材料の物性値 (コンクリート)

使用材料	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G_c (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート : $F_c=30$ (N/mm ²)	2.44×10^4	1.02×10^4	5

表 3-15 使用材料の物性値 (鉄筋)

使用材料	降伏応力度 $s \sigma_y$ (N/mm ²)
鉄筋 : SD345	345

3.3.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を表 3-16 に示す。

表 3-16 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点)

(a) NS 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ	γ
(1)	30.0	1.02×10^4	16360	96.3	0.170	1.80	0.177×10^{-3}
(2)	30.0	1.02×10^4	62800	236.6	0.265	1.84	0.181×10^{-3}
(3)	30.0	1.02×10^4	121550	221.3	0.549	1.96	0.193×10^{-3}
(4)	30.0	1.02×10^4	191000	233.3	0.819	2.08	0.205×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

表 3-16 (2/2) RC 造耐震壁のせん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点)

(b) EW 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ	γ
(1)	30.0	1.02×10^4	14640	86.0	0.170	1.80	0.177×10^{-3}
(2)	30.0	1.02×10^4	50780	211.2	0.240	1.83	0.179×10^{-3}
(3)	30.0	1.02×10^4	101770	194.5	0.523	1.96	0.192×10^{-3}
(4)	30.0	1.02×10^4	156770	192.4	0.815	2.08	0.204×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-17に示す。

表3-17 せん断スケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係, 第2折点)

(a) NS方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.43	0.530×10^{-3}
(2)	2.48	0.542×10^{-3}
(3)	2.65	0.579×10^{-3}
(4)	2.81	0.614×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) EW方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.43	0.530×10^{-3}
(2)	2.46	0.538×10^{-3}
(3)	2.64	0.577×10^{-3}
(4)	2.81	0.613×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「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 1 を用いている。また、 σ_{\parallel} は安全側に 0.0 としている。

RC造耐震壁の各要素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表 3-18 に示す。また、緊急時対策所建屋の EL. 23.3 m~EL. 30.3 m について、各耐震壁の配筋を示したものを図 3-6 に示す。

表 3-18 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係, 終局点)

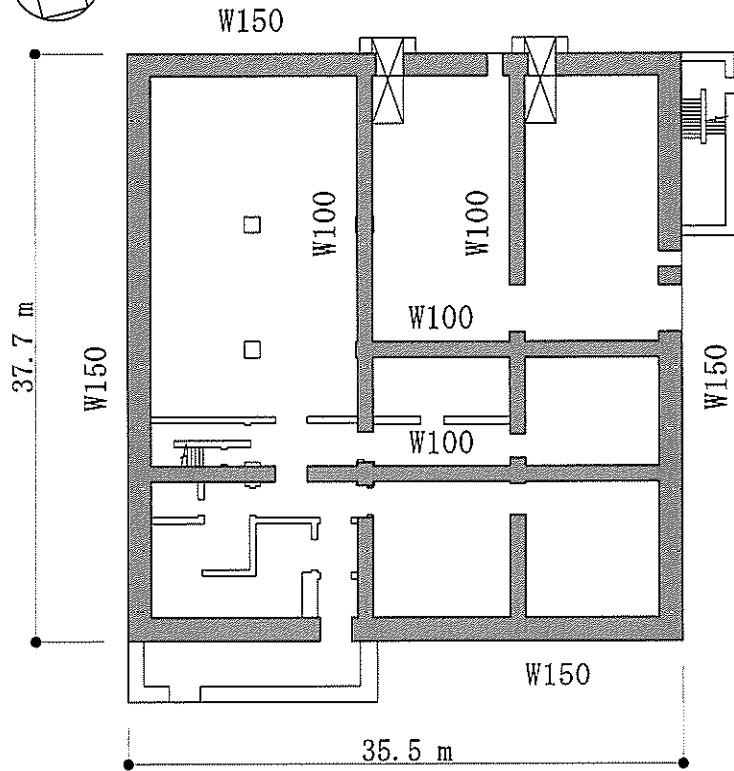
(a) NS 方向

要素 番号	P_v	P_{\parallel}	縦軸応力度 σ_v (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.00950	0.00950	0.170	1.0	4.52	4.0×10^{-3}
(2)	0.00914	0.00914	0.265	1.0	4.42	4.0×10^{-3}
(3)	0.00915	0.00915	0.549	1.0	4.51	4.0×10^{-3}
(4)	0.00923	0.00923	0.819	1.0	4.65	4.0×10^{-3}

表 3-18 (2/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係, 終局点)

(b) EW 方向

要素 番号	P_v	P_{\parallel}	縦軸応力度 σ_v (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.00760	0.00760	0.170	1.0	4.04	4.0×10^{-3}
(2)	0.00883	0.00883	0.240	1.0	4.30	4.0×10^{-3}
(3)	0.00890	0.00890	0.523	1.0	4.41	4.0×10^{-3}
(4)	0.00896	0.00896	0.815	1.0	4.61	4.0×10^{-3}



1階伏図 (EL. 23.3 m)

記号*	縦筋	横筋
W100	内 : D38@200 (1段) 外 : D38@200 (1段)	内 : D38@200 (1段) 外 : D38@200 (1段)
W150	内 : D38@200 (1段) 外 : D38@200 (1段)	内 : D38@200 (1段) 外 : D38@200 (1段)

注記 * : 記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

(例 : W150 なら 150 cm)

図 3-6 緊急時対策所建屋の耐震壁の配筋図 (EL. 23.3 m~EL. 30.3 m)

3.4 格納容器圧力逃がし装置格納槽

3.4.1 水平方向モデル

水平方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁の曲げ及びせん断剛性を評価した多質点系モデルとし、地盤は2次元FEMモデルとしている。地震応答解析モデルを図3-7～図3-8に、解析モデルの諸元を表3-19に示す。

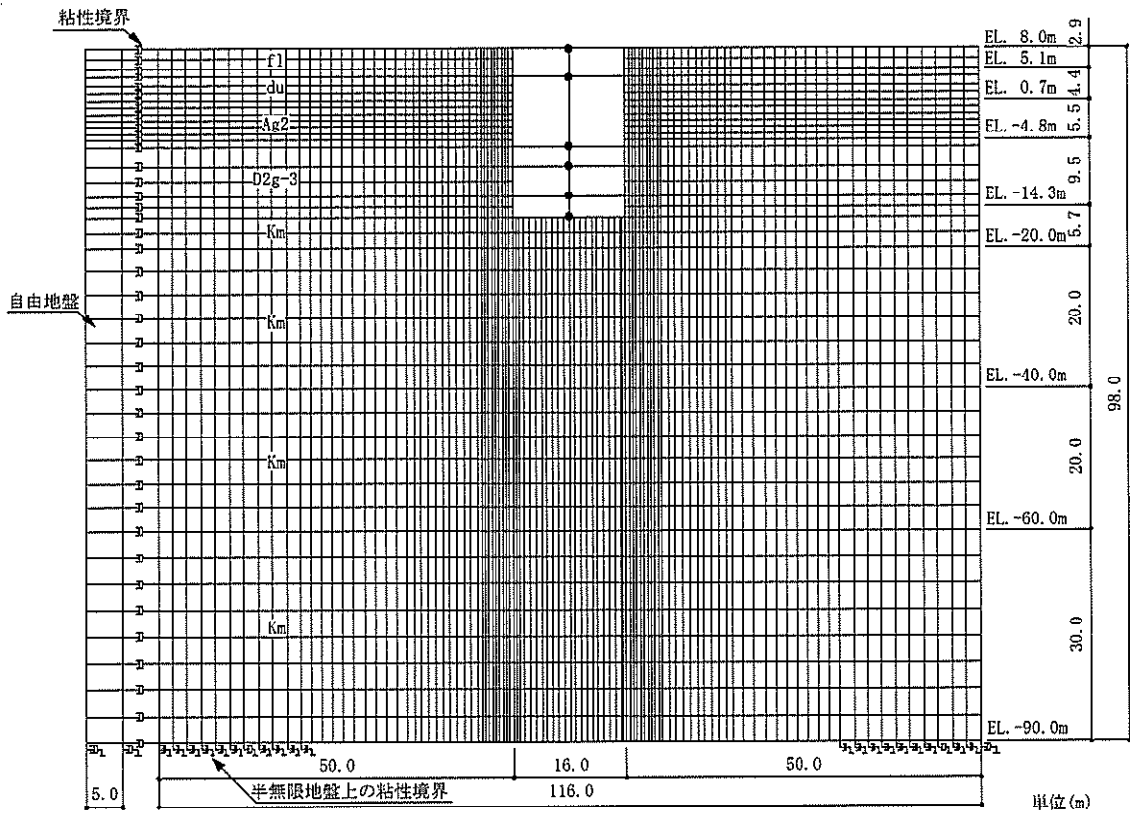


図 3-7 地震応答解析モデル (NS 方向全体)

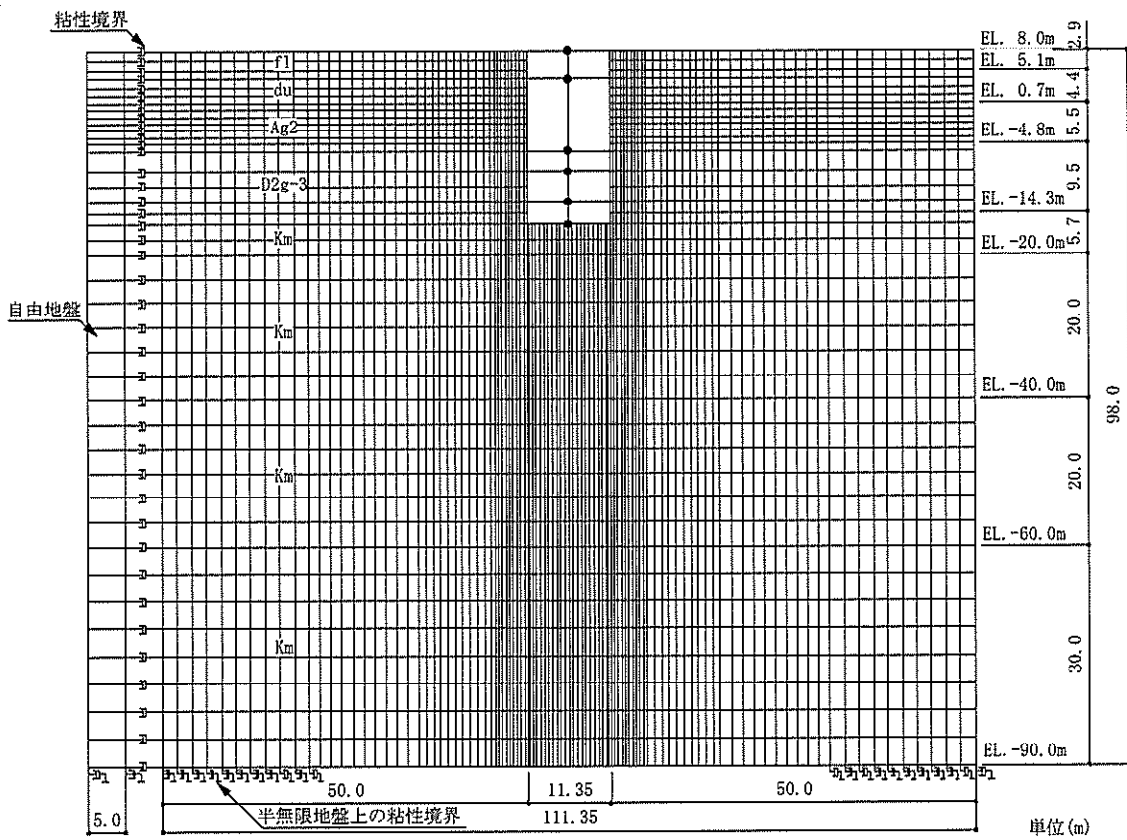
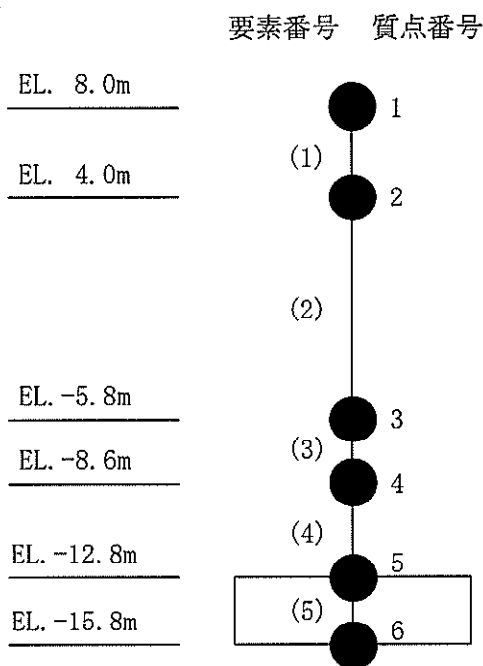


図 3-7 地震応答解析モデル (EW 方向全体)



注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : () 内は要素番号を示す。

図 3-8 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-19 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント (m^4)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
8.0	1	1490	4.0	3.8					
					(1)	13.26	15.19	48.00	45.16
4.0	2	17160	388.3	206.5					
					(2)	57.60	54.74	2402	1369
-5.8	3	16180	363.8	192.3					
					(3)	57.60	54.82	2422	1369
-8.6	4	8490	183.9	93.9					
					(4)	57.60	52.37	2422	1348
-12.8	5	13730	304.3	158.8					
					(5)	181.6	181.6	3874	1950
-15.8	6	6560	141.2	71.7					
総重量		63610							

3.4.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる格納容器圧力逃がし装置格納槽の使用材料の物性値を表 3-20 及び表 3-21 に示す。

表 3-20 使用材料の物性値（コンクリート）

使用材料	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G_c (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート： $F_c=30$ (N/mm ²)	2.44×10^4	1.02×10^4	5

表 3-21 使用材料の物性値（鉄筋）

使用材料	降伏応力度 $s \sigma_y$ (N/mm ²)
鉄筋：SD390	390

3.4.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第1折点の設定根拠を表3-22に示す。

表 3-22 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点)

(a) NS 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ_i (N/mm^2)	γ_i
(1)	30	1.02×10^4	1490	20.4	0.07	1.75	0.172×10^{-3}
(2)	30	1.02×10^4	24560	95.6	0.26	1.84	0.181×10^{-3}
(3)	30	1.02×10^4	40740	95.6	0.43	1.92	0.188×10^{-3}
(4)	30	1.02×10^4	49230	92.3	0.53	1.96	0.193×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

表 3-22 (2/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第 1 折点)

(b) EW 方向

要素番号	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	当該部分が支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^* (N/mm^2)	τ	γ
(1)	30	1.02×10^4	1490	20.4	0.07	1.75	0.172×10^{-3}
(2)	30	1.02×10^4	24560	95.6	0.26	1.84	0.180×10^{-3}
(3)	30	1.02×10^4	40740	95.6	0.43	1.91	0.188×10^{-3}
(4)	30	1.02×10^4	49230	92.3	0.53	1.96	0.192×10^{-3}

注記 * : 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの第2折点の設定根拠を表3-23に示す。

表3-23 (1/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点)

(a) NS方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.36	0.517×10^{-3}
(2)	2.48	0.542×10^{-3}
(3)	2.59	0.565×10^{-3}
(4)	2.65	0.579×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

表3-23 (2/2) せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 第2折点)

(b) EW方向

要素 番号	τ_2^{*1} (N/mm ²)	γ_2^{*2}
(1)	2.36	0.517×10^{-3}
(2)	2.48	0.541×10^{-3}
(3)	2.58	0.564×10^{-3}
(4)	2.64	0.577×10^{-3}

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「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1を用いている。また、 σ_{II} は安全側に0.0としている。

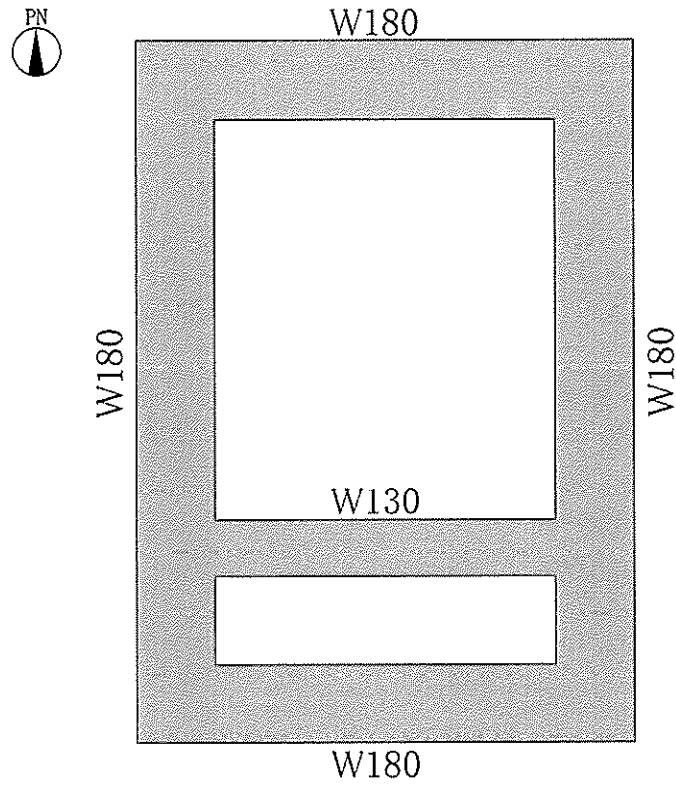
RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-24に示す。また、格納容器圧力逃がし装置格納槽のEL. -8.6 m~EL. 2.2 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-9に示す。

表 3-24 (1/2) せん断スケルトンカーブ
($\tau - \gamma$ 関係, 終局点)
(a) NS 方向

要素 番号	P_V	P_{II}	縦軸応力度 σ_V (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.01754	0.01754	0.07	1.0	7.10	4.0×10^{-3}
(2)	0.01267	0.01267	0.26	1.0	5.78	4.0×10^{-3}
(3)	0.01267	0.01267	0.43	1.0	5.84	4.0×10^{-3}
(4)	0.01267	0.01267	0.53	1.0	5.88	4.0×10^{-3}

表 3-24 (2/2) せん断スケルトンカーブ
($\tau - \gamma$ 関係, 終局点)
(b) EW 方向

要素 番号	P_V	P_{II}	縦軸応力度 σ_V (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.01481	0.01481	0.07	1.0	6.29	4.0×10^{-3}
(2)	0.01444	0.01444	0.26	1.0	6.14	4.0×10^{-3}
(3)	0.01444	0.01444	0.43	1.0	6.19	4.0×10^{-3}
(4)	0.01433	0.01433	0.53	1.0	6.18	4.0×10^{-3}



記号*	縦筋	横筋
W180	内 : D38@200 (2 段) 外 : D38@200 (2 段)	内 : D38@200 (2 段) 外 : D38@200 (2 段)
W130	内 : D38@200 (2 段) 外 : D38@200 (2 段)	内 : D38@200 (2 段) 外 : D38@200 (2 段)

注記 * : 記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

(例 : W180 なら 180 cm)

図 3-9 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震壁の配筋図 (EL. -8.6 m~EL. 2.2 m)

4. まとめ

東海第二発電所の各建物・構築物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。各建物・構築物の耐震壁について算出したせん断スケルトンカーブの諸数値を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 原子炉建屋のせん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a) NS 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.60	0.174×10^{-3}	2.16	0.522×10^{-3}	4.54	4.0×10^{-3}
(2)	1.71	0.185×10^{-3}	2.31	0.555×10^{-3}	4.63	4.0×10^{-3}
(3)	1.59	0.173×10^{-3}	2.15	0.519×10^{-3}	4.38	4.0×10^{-3}
(4)	1.34	0.145×10^{-3}	1.81	0.435×10^{-3}	4.17	4.0×10^{-3}
(5)	1.28	0.139×10^{-3}	1.73	0.417×10^{-3}	3.91	4.0×10^{-3}
(6)	1.47	0.159×10^{-3}	1.98	0.477×10^{-3}	4.26	4.0×10^{-3}
(7)	1.61	0.174×10^{-3}	2.17	0.522×10^{-3}	4.87	4.0×10^{-3}
(8)	1.68	0.183×10^{-3}	2.27	0.549×10^{-3}	4.27	4.0×10^{-3}
(9)	1.77	0.192×10^{-3}	2.39	0.576×10^{-3}	5.02	4.0×10^{-3}
(10)	1.85	0.201×10^{-3}	2.50	0.603×10^{-3}	5.84	4.0×10^{-3}

(b) EW 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.60	0.174×10^{-3}	2.16	0.522×10^{-3}	4.54	4.0×10^{-3}
(2)	1.71	0.185×10^{-3}	2.31	0.555×10^{-3}	4.63	4.0×10^{-3}
(3)	1.60	0.173×10^{-3}	2.16	0.519×10^{-3}	4.63	4.0×10^{-3}
(4)	1.49	0.162×10^{-3}	2.01	0.486×10^{-3}	4.40	4.0×10^{-3}
(5)	1.39	0.151×10^{-3}	1.88	0.453×10^{-3}	4.01	4.0×10^{-3}
(6)	1.31	0.143×10^{-3}	1.77	0.429×10^{-3}	3.72	4.0×10^{-3}
(7)	1.59	0.172×10^{-3}	2.15	0.516×10^{-3}	4.57	4.0×10^{-3}
(8)	1.68	0.182×10^{-3}	2.27	0.546×10^{-3}	4.52	4.0×10^{-3}
(9)	1.77	0.192×10^{-3}	2.39	0.576×10^{-3}	5.02	4.0×10^{-3}
(10)	1.85	0.201×10^{-3}	2.50	0.603×10^{-3}	5.77	4.0×10^{-3}

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

(a) NS 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
BM03	1.86	0.198×10^{-3}	2.51	0.594×10^{-3}	5.61	4.0×10^{-3}
BM02	2.01	0.214×10^{-3}	2.71	0.642×10^{-3}	5.20	4.0×10^{-3}

(b) EW 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
BM03	1.79	0.191×10^{-3}	2.42	0.573×10^{-3}	4.88	4.0×10^{-3}
BM02	1.84	0.197×10^{-3}	2.49	0.590×10^{-3}	4.82	4.0×10^{-3}

表 4-3 緊急時対策所建屋のせん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a) NS 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.80	0.177×10^{-3}	2.43	0.530×10^{-3}	4.52	4.0×10^{-3}
(2)	1.84	0.181×10^{-3}	2.48	0.542×10^{-3}	4.42	4.0×10^{-3}
(3)	1.96	0.193×10^{-3}	2.65	0.579×10^{-3}	4.51	4.0×10^{-3}
(4)	2.08	0.205×10^{-3}	2.81	0.614×10^{-3}	4.65	4.0×10^{-3}

(b) EW 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.80	0.177×10^{-3}	2.43	0.530×10^{-3}	4.04	4.0×10^{-3}
(2)	1.83	0.179×10^{-3}	2.46	0.538×10^{-3}	4.30	4.0×10^{-3}
(3)	1.96	0.192×10^{-3}	2.64	0.577×10^{-3}	4.41	4.0×10^{-3}
(4)	2.08	0.204×10^{-3}	2.81	0.613×10^{-3}	4.61	4.0×10^{-3}

表 4-4 格納容器圧力逃がし装置格納槽のせん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a) NS 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.75	0.172×10^{-3}	2.36	0.517×10^{-3}	7.10	4.0×10^{-3}
(2)	1.84	0.181×10^{-3}	2.48	0.542×10^{-3}	5.78	4.0×10^{-3}
(3)	1.92	0.188×10^{-3}	2.59	0.565×10^{-3}	5.84	4.0×10^{-3}
(4)	1.96	0.193×10^{-3}	2.65	0.579×10^{-3}	5.88	4.0×10^{-3}

(b) EW 方向

要素 番号	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1	τ_2 (N/mm ²)	γ_2	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	1.75	0.172×10^{-3}	2.36	0.517×10^{-3}	6.29	4.0×10^{-3}
(2)	1.84	0.180×10^{-3}	2.48	0.541×10^{-3}	6.14	4.0×10^{-3}
(3)	1.91	0.188×10^{-3}	2.58	0.564×10^{-3}	6.19	4.0×10^{-3}
(4)	1.96	0.192×10^{-3}	2.64	0.577×10^{-3}	6.18	4.0×10^{-3}

補足-400-6 【地震応答解析における原子炉建屋の
重大事故等時の高温による影響】

目次

1. 概要.....	1
2. 原子炉建屋の構造概要.....	2
3. 重大事故等時の温度による影響について.....	6
3.1 検討方針.....	6
3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析.....	7
3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響.....	38
4. 機器・配管系の評価に与える影響.....	60
5. まとめ.....	128

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器を内包する原子炉建屋において、重大事故等により高温状態が一定期間継続することを踏まえ、熱によるコンクリート部材の剛性低下を考慮した地震応答解析を実施し、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」及び「機器・配管系の評価」に与える影響について確認するものである。

本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」
- ・添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」

2. 原子炉建屋の構造概要

原子炉建屋は、下部では南北方向68.5 m、東西方向68.25 mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08 mの鉄筋コンクリート造の建物・構築物であり、同一の基礎盤上に配置された原子炉格納容器、1次遮蔽壁、原子炉棟、付属棟から構成されている。原子炉建屋の概略平面図を図2-1に、概略断面図を図2-2に示す。

a. 1次遮蔽壁

1次遮蔽壁（以下「シェル壁 (S/W)」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎盤から立ち上がっている。シェル壁の壁厚は上部で1.9 m、下部で1.8 mである。

b. 原子炉棟及び付属棟

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁 (I/W)」という。）は基礎盤から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5 m、地上部分では1.5 m～0.3 mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁 (O/W)」という。）の壁厚は地下部分で1.5 m、地上部分では1.5 m～0.9 mである。

c. 原子炉建屋の基礎盤

原子炉建屋の基礎盤は、その上部構造物である原子炉格納容器、1次遮蔽壁、原子炉棟及び付属棟を支持する。

原子炉建屋の基礎盤は厚さ5.0 mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

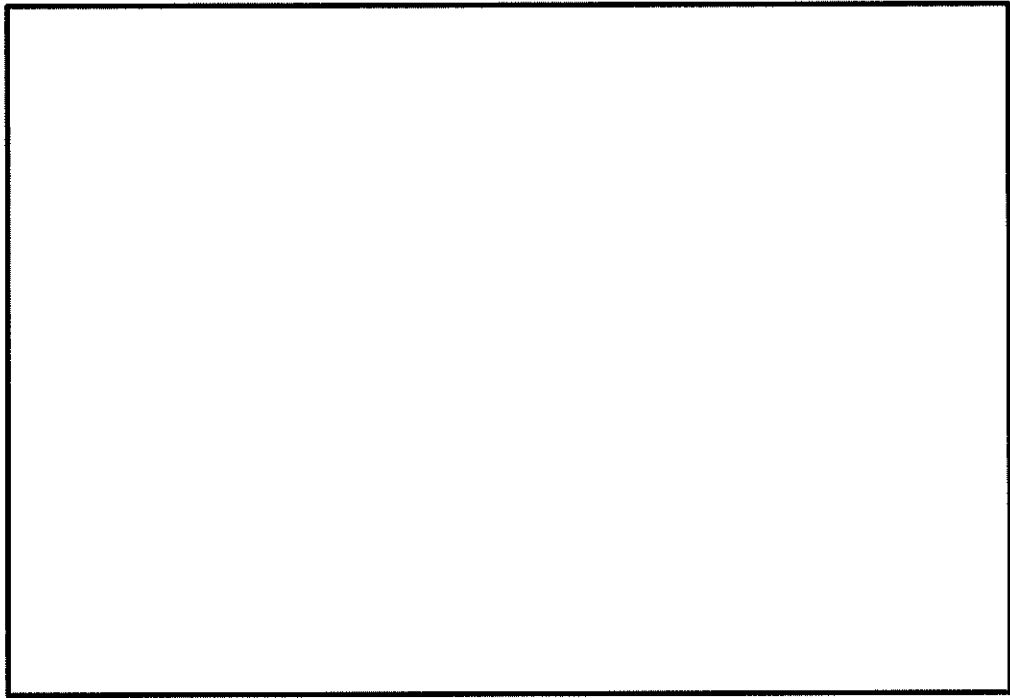


図 2-1 の概略平面図 (EL. 46.5 m) (1/2)

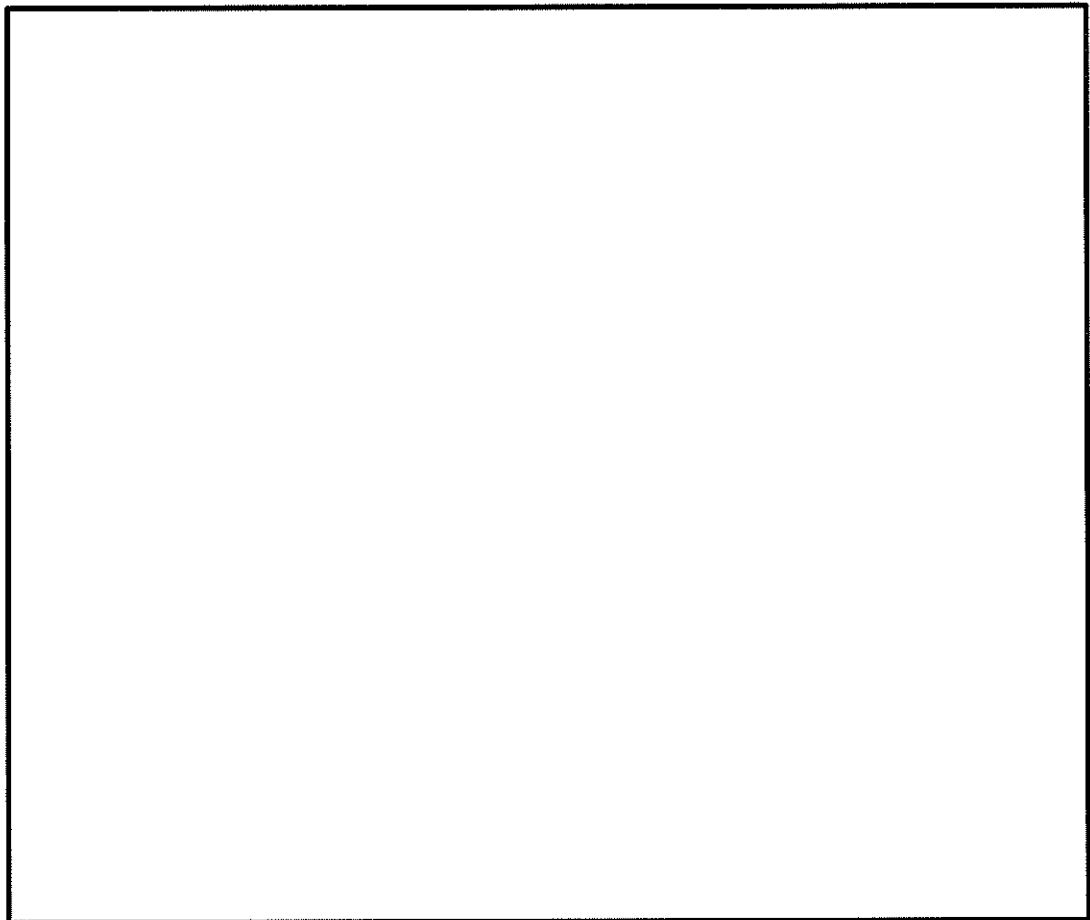


図 2-1 の概略平面図 (EL. -4.0 m) (2/2)

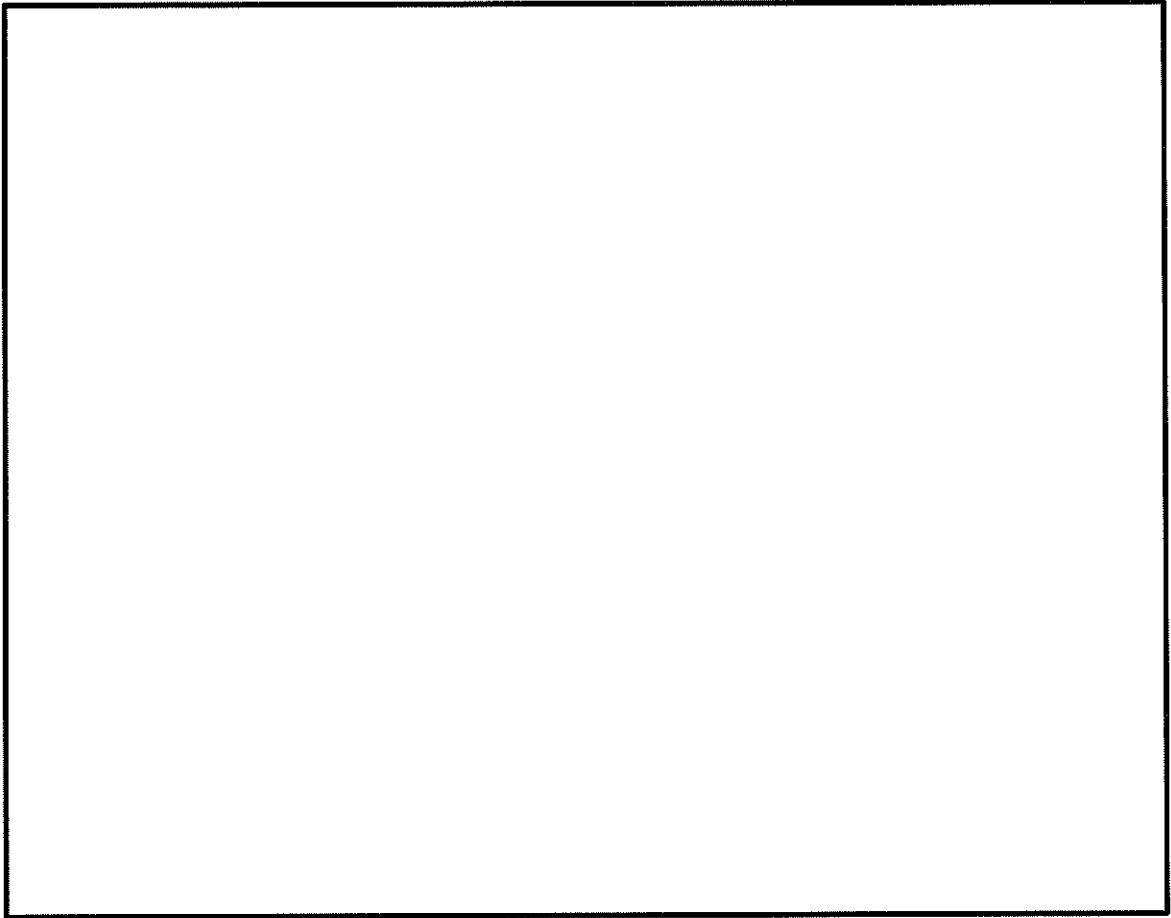


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向 A-A 断面) (1/2)

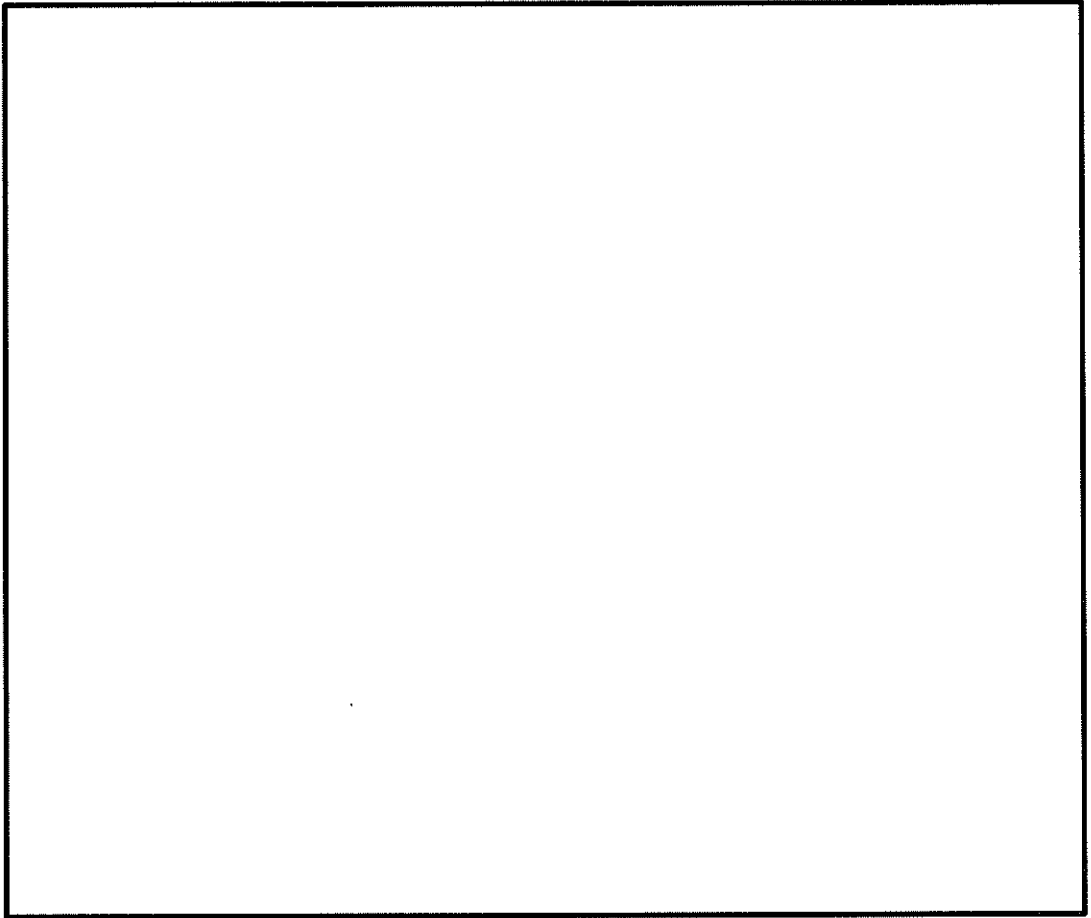


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向 B-B 断面) (2/2)

3. 重大事故等時の温度による影響について

3.1 検討方針

原子炉格納容器を内包する原子炉建屋において、重大事故等により高温状態が一定時間継続することを踏まえ、熱によるコンクリート部材の剛性低下を考慮した地震応答解析を実施し、原子炉建屋の地震応答解析による評価及び機器・配管系の評価に与える影響について確認する。

具体的には、重大事故等における熱の影響を考慮し、原子炉建屋のコンクリート部材の剛性を低減させた地震応答解析モデル（以下「剛性低下考慮モデル」という。）を用いて地震応答解析を実施し、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）を用いた結果との比較を行う。

さらに、「剛性低下考慮モデル」の地震応答解析結果が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響を、「3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響」において確認することとする。

なお、上述の影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「剛性低下考慮モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_{s-D1} に対して実施することとする。さらに、直接的な影響評価として、添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」のうち、地震応答解析による耐震壁の評価において最大せん断ひずみが生じている S_{s-31} （地盤物性+ σ 考慮）に対して水平方向の応答性状及び最大応答せん断ひずみを確認することとする。

3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析

3.2.1 解析条件

(1) 剛性低下率

剛性低下率の評価対象部位は、シェル壁及び内部ボックス壁とする。なお、基礎盤については、高温となる領域は、シェル壁内部の表面付近に限られ、基礎盤版全体に対する影響は軽微であることから、剛性低下は考慮しないこととした。

原子炉格納容器について、原子炉格納容器内を高温状態とし、その温度を重大事故等時の有効性評価における原子炉格納容器の評価温度である200℃に設定した。これは、有効性評価のうち、原子炉格納容器壁面温度が最も高くなる雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損、代替冷却系を使用できない場合）の感度解析結果（注水が遅れた場合）の165℃であり、原子炉格納容器の最高使用温度である171℃を包絡する条件であるが、長期間継続する事象であり、一度経験した剛性低下が復帰しないことを考慮して、ここでは保守的な設定を行った。

原子炉格納容器外の建屋内（原子炉建屋原子炉棟内）については、建屋内に蒸気が十萬する可能性を考慮して100℃に設定した。

外気温については、安全側に平均温度が高くなる夏季の温度（38.4℃）より40℃に設定した。更に、原子炉建屋原子炉棟の外側の付属棟内については、同様に40℃に設定した。

また、剛性低下率の算出に用いるシェル壁（S/W）及び内部ボックス壁（I/W）の温度は、内側と外側の雰囲気温度の平均値とした。

なお、表面温度は環境温度と同一とし、シェル壁の内側表面については格納容器内の温度を用いる。

ここで、100℃以上のコンクリート部材における剛性低下率は、「構造材料の耐火性ガイドブック（2017年 日本建築学会）」による提案値である、100℃の剛性残存比0.80及び200℃の剛性残存比0.68より、線形補間により算出する。また、100℃未満のコンクリート部材における剛性低下率は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（2005年 日本建築学会）」において、通常運転時及び異常時を除く長時間（24時間以上）継続する状態における、一般部分のコンクリート温度制限値としている65℃を用い、線形補間により算出する。

本検討に用いたコンクリート部材の温度を表3-1に、剛性低下率を表3-2に示す。

表 3-1 本検討に用いたコンクリート部材の温度

部位	高さ EL. (m)	表面温度		平均温度 (℃)
		内側 (℃)	外側 (℃)	
シェル壁 (S/W)	-4.0~46.5	200	100	150
内部ボックス壁 (I/W)	-4.0~64.08	100	40	70

表 3-2 本検討に用いたコンクリート部材の剛性低下率

	コンクリート温度 (°C)	剛性低下率	解析用諸元	
			ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)
今回工認モデル		1.0	2.21×10 ⁴	9.21×10 ³
シェル壁 (S/W)	150	0.74	1.64×10 ⁴	6.83×10 ³
内部ボックス壁 (I/W)	70	0.97	2.14×10 ⁴	8.92×10 ³

(2) 解析モデル

シェル壁 (S/W) 及び内部ボックス壁 (I/W) については剛性低下率を考慮したことにより、「今回工認モデル」に対して諸元を変更した。また、既往の知見*によると、コンクリートを175 °C程度、91日間加熱した試験でも、コンクリートの圧縮強度の低下は認められないとされている。本検討においては、原子炉格納容器の最高温度を200 °Cと設定し、シェル壁 (S/W) の温度を150 °Cとしており、温度によるコンクリートの圧縮強度の低下はないと考えられることから、設計基準強度については、「今回工認モデル」と同じ値を用いた。

重大事故等時の温度による剛性低下を考慮した建物・構築物の物性値を表3-3に、水平方向の地震応答解析モデルを図3-1に、諸元を表3-4に、地盤ばね定数を表3-5に、せん断スケルトンカーブの諸数値を表3-6に示す。また、鉛直方向の地震応答解析モデルを図3-2に、諸元を表3-7及び表3-8に、地盤ばね定数を表3-9に示す。

ここで、地震応答解析モデルの諸元は、鉛直方向モデルのトラス端部回転拘束ばね K_{θ} を除き「今回工認モデル」と同一の値（「今回工認モデル」におけるトラス端部回転拘束ばね $K_{\theta}=5.62 \times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ）である。また、地盤ばね定数については、静的な値を用いていることから、「今回工認モデル」と同一の値となる。なお、せん断スケルトンカーブについては、せん断弾性係数の低下に応じて γ_1 および γ_2 を変更している。

注記 *：【参考文献1】

川口他：高温（175 °C）を受けたコンクリートの強度性状（セメント・コンクリート No. 449, July1984）

【参考文献2】

長尾他：高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究（日本建築学会構造系論文集 第457号1994年3月）

表 3-3 建物・構築物の物性値 (1/2)
(a) 鉄筋コンクリート (剛性低下考慮モデル)

EL. (m)	NS 方向		EW 方向		UD 方向	減衰定数 (%)
	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	
63.65						5
57.0	2.14×10 ⁴	8.92×10 ³	2.14×10 ⁴	8.92×10 ³	2.14×10 ⁴	
46.5	2.14×10 ⁴	8.92×10 ³	2.14×10 ⁴	8.92×10 ³	2.14×10 ⁴	
38.8	1.85×10 ⁴	7.24×10 ³	1.99×10 ⁴	7.36×10 ³	1.76×10 ⁴	
34.7	2.10×10 ⁴	7.73×10 ³	2.10×10 ⁴	7.79×10 ³	1.88×10 ⁴	
29.0	2.09×10 ⁴	7.66×10 ³	2.09×10 ⁴	7.70×10 ³	1.84×10 ⁴	
20.3	2.04×10 ⁴	8.01×10 ³	2.07×10 ⁴	8.14×10 ³	1.94×10 ⁴	
14.0	2.02×10 ⁴	7.97×10 ³	2.04×10 ⁴	7.99×10 ³	1.91×10 ⁴	
8.2	2.08×10 ⁴	8.41×10 ³	2.08×10 ⁴	8.31×10 ³	2.00×10 ⁴	
2.0	2.13×10 ⁴	8.49×10 ³	2.13×10 ⁴	8.49×10 ³	2.03×10 ⁴	
-4.0	2.13×10 ⁴	8.49×10 ³	2.13×10 ⁴	8.49×10 ³	2.03×10 ⁴	
-9.0	2.21×10 ⁴	9.21×10 ³	2.21×10 ⁴	9.21×10 ³	2.21×10 ⁴	

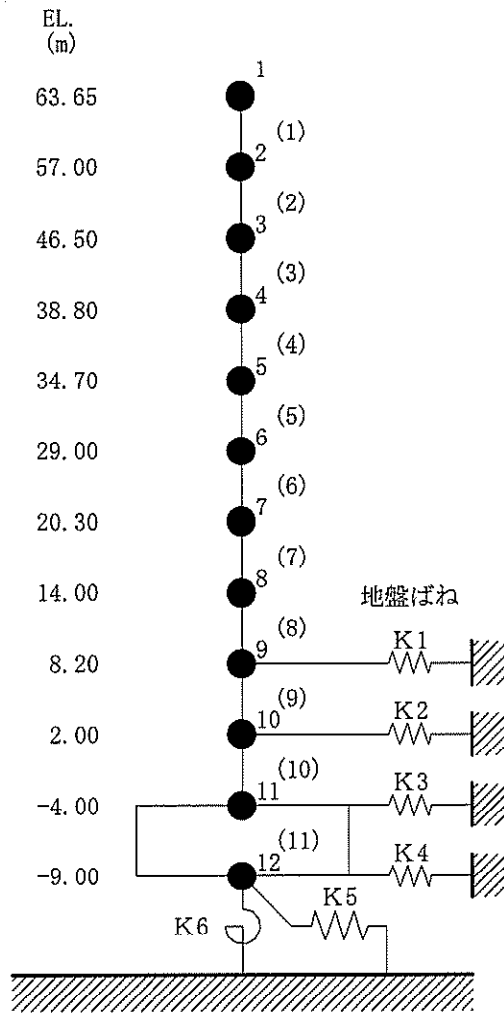
(b) 鉄筋コンクリート (今回工認モデル)

ヤング係数 (N/mm ²)	せん断 弾性係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
2.21×10 ⁴	9.21×10 ³	5

表 3-3 建物・構築物の物性値 (2/2)

(c) 鉄骨 (剛性低下考慮モデルおよび今回工認モデル)

ヤング係数 (N/mm^2)	せん断 弾性係数 (N/mm^2)	減衰定数 (%)
2.05×10^5	7.90×10^4	2



注 1 : 数字は質点番号を示す。
 注 2 : () 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル（水平方向，剛性低下考慮モデル）

表 3-4 地震応答解析モデル諸元（水平方向，剛性低下考慮モデル）

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント ($\times 10^3 \text{m}^4$)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
63.65	1	15870	35.7	31.5					
					(1)	27.3	25.5	20.4	18.4
57.00	2	16160	51.2	44.7	(2)	27.3	25.5	20.4	18.4
46.50	3	67320	120.3	104.7	(3)	212	154	64.4	34.7
38.80	4	97130	161.6	99.8	(4)	133	141	45.0	37.3
34.70	5	83270	113.0	68.7	(5)	143	156	45.4	38.7
29.00	6	122370	348.8	250.5	(6)	218	237	77.6	72.9
20.30	7	161820	488.7	543.9	(7)	242	224	86.3	77.6
14.00	8	234650	720.8	779.6	(8)	394	345	178.5	147.4
8.20	9	199260	893.0	886.8	(9)	464	454	218.4	208.5
2.00	10	220710	832.4	830.7	(10)	464	454	218.8	208.9
-4.00	11	439290	1724.6	1712.1	(11)	4675	4675	1828.1	1814.8
-9.00	12	275090	1081.4	1073.5					
総重量		1932940							

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (S_s-D1, NS 方向) (1/2)

(a) 剛性低下考慮モデル

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46 × 10 ⁵ (kN/m)	2.48 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K2	側面・水平	1.22 × 10 ⁶ (kN/m)	4.20 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64 × 10 ⁶ (kN/m)	9.07 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92 × 10 ⁷ (kN/m)	8.69 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K5	底面・水平	6.41 × 10 ⁷ (kN/m)	3.44 × 10 ⁶ (kN・S/m)
K6	底面・回転	9.26 × 10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.58 × 10 ⁹ (kN・m・s/rad)

(b) 今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46 × 10 ⁵ (kN/m)	2.50 × 10 ⁵ (kN・s/m)
K2	側面・水平	1.22 × 10 ⁶ (kN/m)	4.18 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64 × 10 ⁶ (kN/m)	9.11 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92 × 10 ⁷ (kN/m)	8.70 × 10 ⁵ (kN・s/m)
K5	底面・水平	6.41 × 10 ⁷ (kN/m)	3.45 × 10 ⁶ (kN・s/m)
K6	底面・回転	9.26 × 10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.59 × 10 ⁹ (kN・m・s/rad)

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (S_s-D1, EW 方向) (2/2)

(c) 剛性低下考慮モデル

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46×10 ⁵ (kN/m)	2.46×10 ⁵ (kN・S/m)
K2	側面・水平	1.22×10 ⁶ (kN/m)	4.21×10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64×10 ⁶ (kN/m)	9.05×10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92×10 ⁷ (kN/m)	8.68×10 ⁵ (kN・S/m)
K5	底面・水平	6.42×10 ⁷ (kN/m)	3.45×10 ⁶ (kN・S/m)
K6	底面・回転	9.17×10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.56×10 ⁹ (kN・m・s/rad)

(d) 今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46×10 ⁵ (kN/m)	2.49×10 ⁵ (kN・s/m)
K2	側面・水平	1.22×10 ⁶ (kN/m)	4.19×10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64×10 ⁶ (kN/m)	9.09×10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92×10 ⁷ (kN/m)	8.69×10 ⁵ (kN・s/m)
K5	底面・水平	6.42×10 ⁷ (kN/m)	3.45×10 ⁶ (kN・s/m)
K6	底面・回転	9.17×10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.57×10 ⁹ (kN・m・s/rad)

表 3-6 せん断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, NS 方向) (1/2)

(a) 剛性低下考慮モデル

EL. m	要素 番号	τ_1 N/mm ²	τ_2 N/mm ²	τ_3 N/mm ²	γ_1 ×10 ⁻³	γ_2 ×10 ⁻³	γ_3 ×10 ⁻³
63.65 ~ 57.00	1	1.60	2.16	4.54	0.179	0.537	4.0
57.00 ~ 46.50	2	1.71	2.31	4.63	0.192	0.576	4.0
46.50 ~ 38.80	3	1.59	2.15	4.38	0.220	0.660	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.34	1.81	4.17	0.173	0.519	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.28	1.73	3.91	0.167	0.501	4.0
29.00 ~ 20.30	6	1.47	1.98	4.26	0.184	0.552	4.0
20.30 ~ 14.00	7	1.61	2.17	4.87	0.202	0.606	4.0
14.00 ~ 8.20	8	1.68	2.27	4.27	0.200	0.600	4.0
8.20 ~ 2.00	9	1.77	2.39	5.02	0.208	0.624	4.0
2.00 ~ -4.00	10	1.85	2.50	5.84	0.218	0.654	4.0

(b) 今回工認モデル

EL. m	要素 番号	τ_1 N/mm ²	τ_2 N/mm ²	τ_3 N/mm ²	γ_1 ×10 ⁻³	γ_2 ×10 ⁻³	γ_3 ×10 ⁻³
63.65 ~ 57.00	1	1.60	2.16	4.54	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	2	1.71	2.31	4.63	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	3	1.59	2.15	4.38	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.34	1.81	4.17	0.145	0.435	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.28	1.73	3.91	0.139	0.417	4.0
29.00 ~ 20.30	6	1.47	1.98	4.26	0.159	0.477	4.0
20.30 ~ 14.00	7	1.61	2.17	4.87	0.174	0.522	4.0
14.00 ~ 8.20	8	1.68	2.27	4.27	0.183	0.549	4.0
8.20 ~ 2.00	9	1.77	2.39	5.02	0.192	0.576	4.0
2.00 ~ -4.00	10	1.85	2.50	5.84	0.201	0.603	4.0

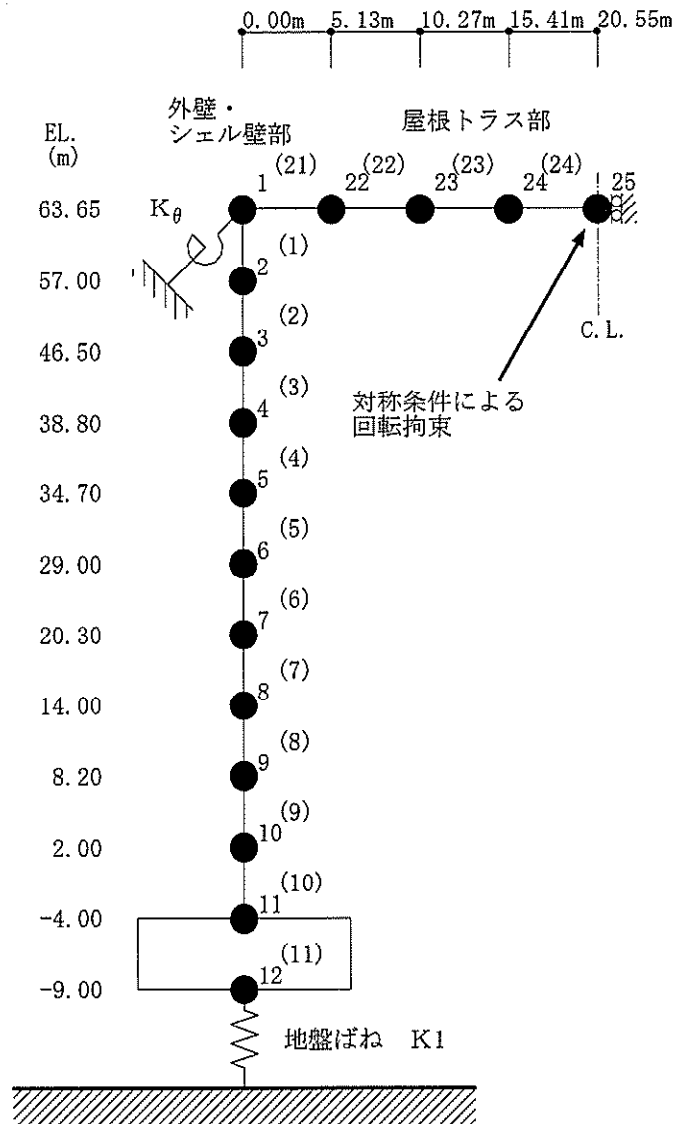
表 3-6 せん断スケルトンカーブ (τ - γ 関係, EW 方向) (2/2)

(c) 剛性低下考慮モデル

EL. m	要素 番号	τ_1 N/mm ²	τ_2 N/mm ²	τ_3 N/mm ²	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
63.65 ~ 57.00	1	1.60	2.16	4.54	0.179	0.537	4.0
57.00 ~ 46.50	2	1.71	2.31	4.63	0.192	0.576	4.0
46.50 ~ 38.80	3	1.60	2.16	4.63	0.217	0.651	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.49	2.01	4.40	0.191	0.573	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.39	1.88	4.01	0.181	0.543	4.0
29.00 ~ 20.30	6	1.31	1.77	3.72	0.161	0.483	4.0
20.30 ~ 14.00	7	1.59	2.15	4.57	0.199	0.597	4.0
14.00 ~ 8.20	8	1.68	2.27	4.52	0.202	0.606	4.0
8.20 ~ 2.00	9	1.77	2.39	5.02	0.208	0.624	4.0
2.00 ~ -4.00	10	1.85	2.50	5.77	0.218	0.654	4.0

(d) 今回工認モデル

EL. m	要素 番号	τ_1 N/mm ²	τ_2 N/mm ²	τ_3 N/mm ²	γ_1 $\times 10^{-3}$	γ_2 $\times 10^{-3}$	γ_3 $\times 10^{-3}$
63.65 ~ 57.00	1	1.60	2.16	4.54	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	2	1.71	2.31	4.63	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	3	1.60	2.16	4.63	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.49	2.01	4.40	0.162	0.486	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.39	1.88	4.01	0.151	0.453	4.0
29.00 ~ 20.30	6	1.31	1.77	3.72	0.143	0.429	4.0
20.30 ~ 14.00	7	1.59	2.15	4.57	0.172	0.516	4.0
14.00 ~ 8.20	8	1.68	2.27	4.52	0.182	0.546	4.0
8.20 ~ 2.00	9	1.77	2.39	5.02	0.192	0.576	4.0
2.00 ~ -4.00	10	1.85	2.50	5.77	0.201	0.603	4.0



注1 : 数字は質点番号を示す。

注2 : () 内は要素番号を示す。

図 3-2 地震応答解析モデル (UD 方向, 剛性低下考慮モデル)

表 3-7 地震応答解析モデル諸元 (UD 方向, 剛性低下考慮モデル)

外壁・シエル壁部					屋根トラス部						
高さ EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	要素 番号	軸断面積 (m ²)	高さ EL. (m)	スパン方向 (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	要素 番号	せん断断面積 (×10 ⁻² m ²)	断面2次モーメント (m ⁴)
63.65	1	8030	(1)	52.4	63.65	20.55	25	1120	(24)	5.68	1.76
57.00	2	16160	(2)	58.8		15.41	24	2240	(23)	5.68	1.76
46.50	3	67320	(3)	331		10.27	23	2240	(22)	8.50	1.76
38.80	4	97130	(4)	243		5.13	22	2240	(21)	11.49	1.76
34.70	5	83270	(5)	297		0.00	1	—			
29.00	6	122370	(6)	451							
20.30	7	161820	(7)	461							
14.00	8	234650	(8)	727							
8.20	9	199260	(9)	900							
2.00	10	220710	(10)	900							
-4.00	11	439290	(11)	4675							
-9.00	12	275090									
総重量		1932940									

表 3-8 トラス端部回転拘束ばね

(a) 剛性低下考慮モデル

ばね 番号	ばね定数 K _c
K _θ	5.44 × 10 ⁶ (kN・m/rad)

(b) 今回工認モデル

ばね 番号	ばね定数 K _c
K _θ	5.62 × 10 ⁶ (kN・m/rad)

表 3-9 地盤ばね定数と減衰係数 (UD 方向, S_u-D1)

剛性低下考慮モデル及び今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	底面・鉛直	1.08 × 10 ⁸ (kN/m)	8.21 × 10 ⁶ (kN・s/m)

注 : 減衰係数については, 剛性低下考慮モデルと今回工認モデルは同じ値となる。

3.2.2 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の固有値解析結果(固有周期及び固有振動数)の比較を表3-10に示す。また、「剛性低下考慮モデル」の刺激関数図を図3-3に示す。

「剛性低下考慮モデル」の固有周期は、コンクリートの剛性を低減させた影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認した。

建屋と地盤の相互作用を考慮したモデルとなっていることから、地盤の変形が支配的となる低次のモードでは、建屋は剛体的な挙動を示すため、建屋の剛性変化が固有値に及ぼす影響は小さいものと考えられる。また、鉛直方向については、建屋の変形が支配的となる4次のモードを除きほぼ同等の結果となったものと考えられる。

表 3-10 固有値解析結果

(a) NS 方向

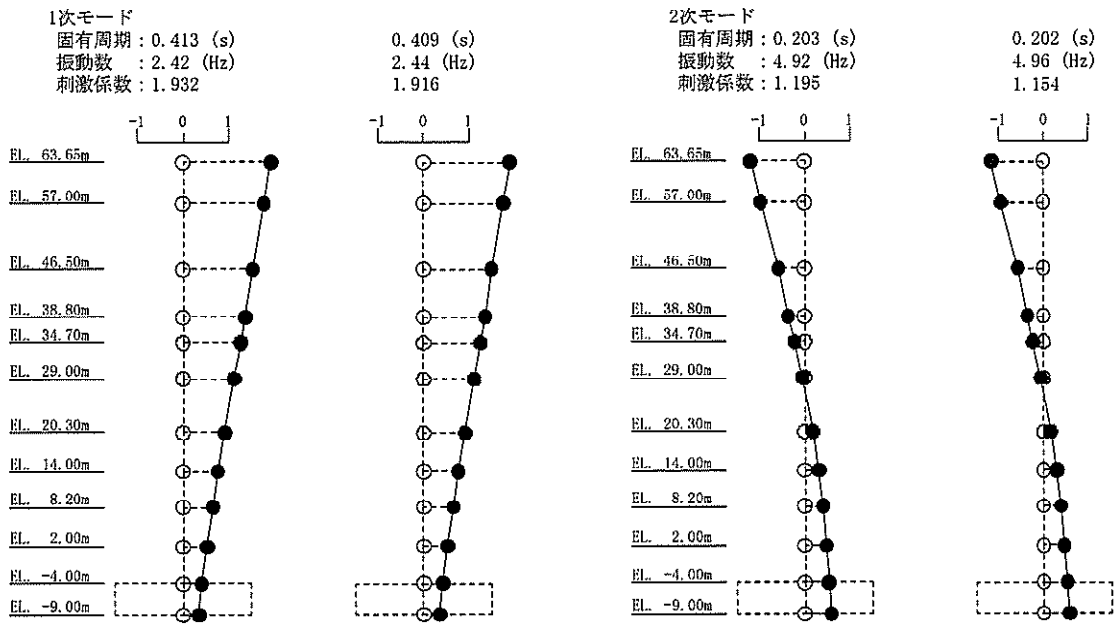
次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下考慮モデル	工認モデル	剛性低下考慮モデル
1	0.409	0.413	2.44	2.42
2	0.202	0.203	4.96	4.92
3	0.104	0.109	9.60	9.21
4	0.085	0.089	11.77	11.24
5	0.064	0.066	15.65	15.15
6	0.052	0.055	19.15	18.27

(b) EW 方向

次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下考慮モデル	工認モデル	剛性低下考慮モデル
1	0.411	0.416	2.43	2.41
2	0.202	0.203	4.96	4.92
3	0.107	0.111	9.32	9.00
4	0.086	0.090	11.59	11.08
5	0.064	0.067	15.53	14.99
6	0.051	0.053	19.76	18.92

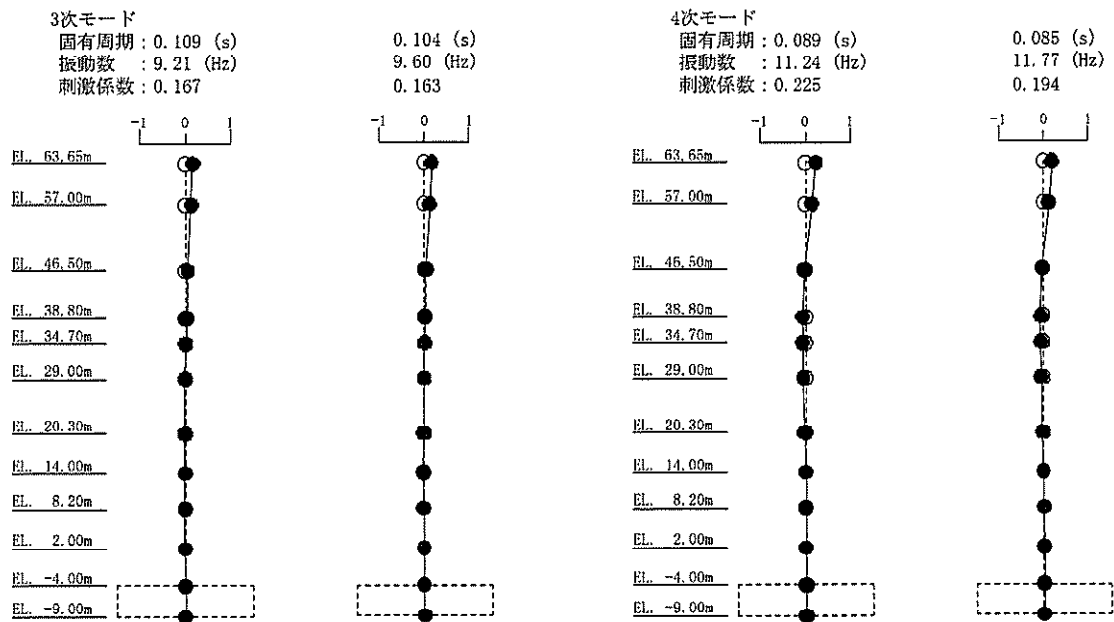
(c) UD 方向

次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下考慮モデル	工認モデル	剛性低下考慮モデル
1	0.399	0.400	2.50	2.50
2	0.274	0.274	3.65	3.65
3	0.093	0.093	10.79	10.79
4	0.060	0.064	16.72	15.68
5	0.057	0.057	17.64	17.62
6	0.048	0.048	20.70	20.69



(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)

(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)



(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)

(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)

図 3-3 刺激関数図 (S_s-D 1, NS 方向, 剛性低下考慮モデル) (1/3)

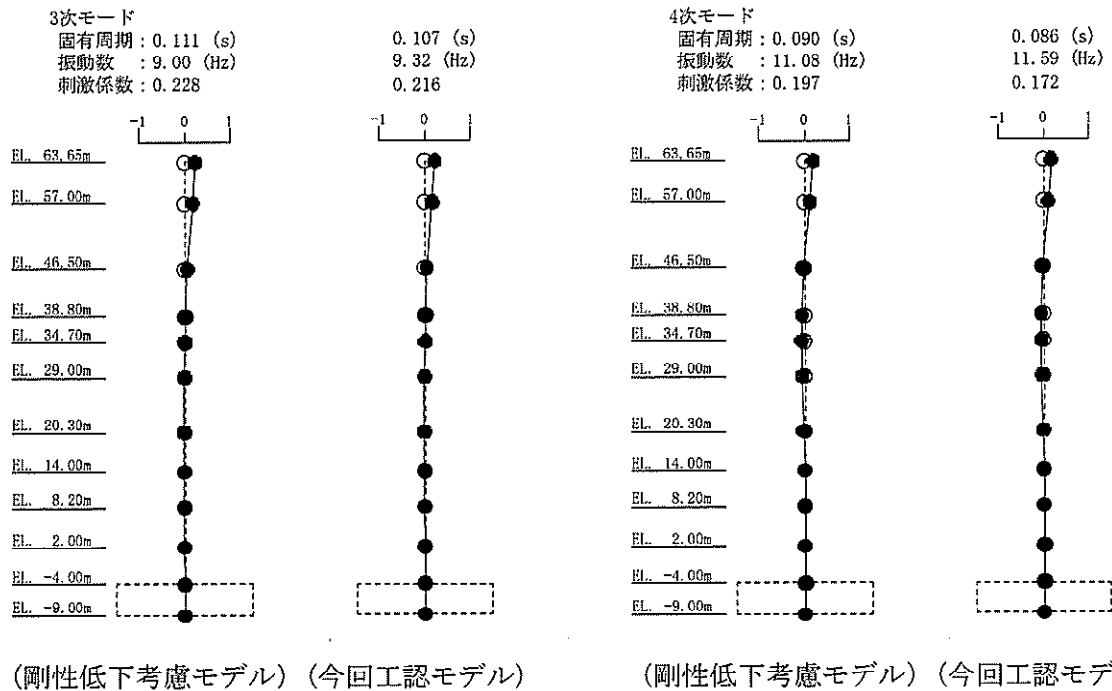
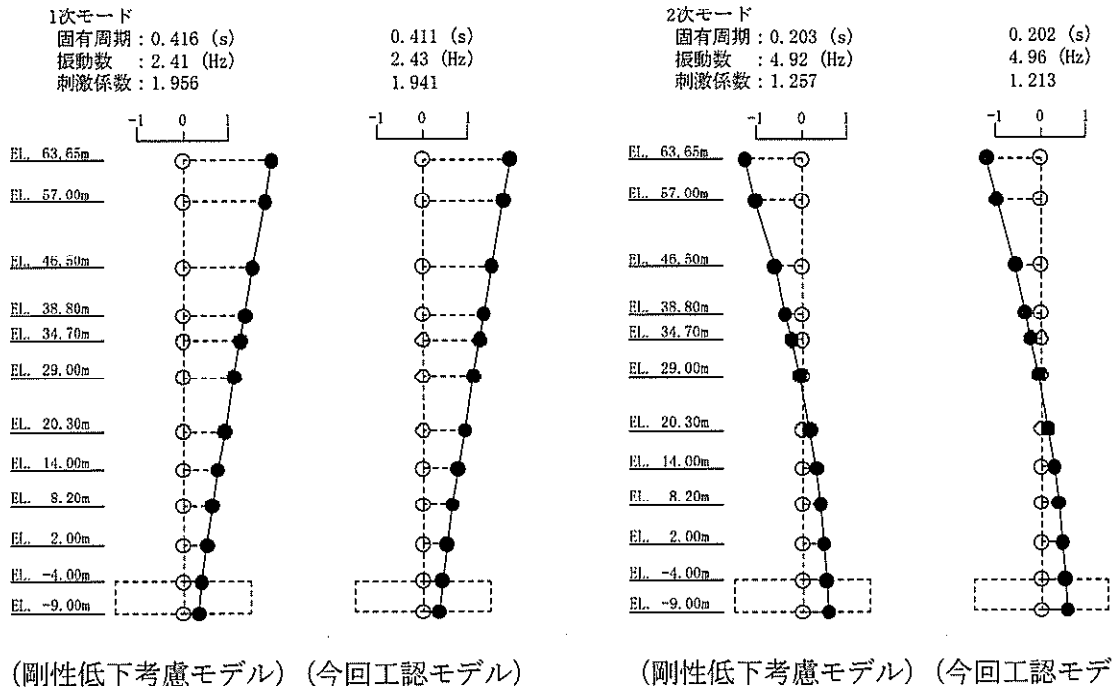
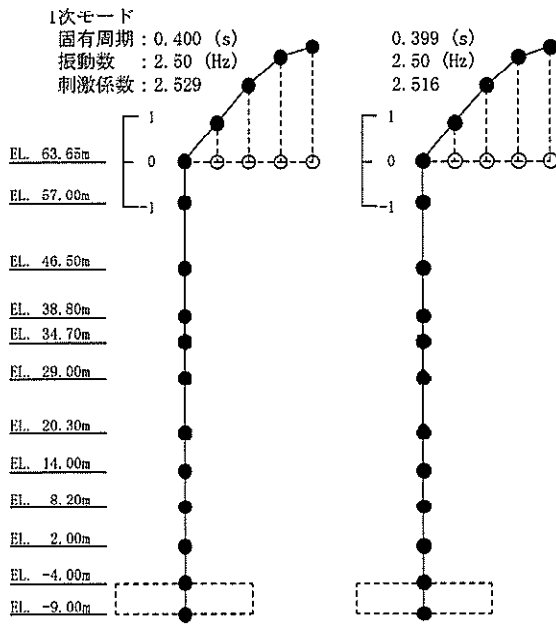
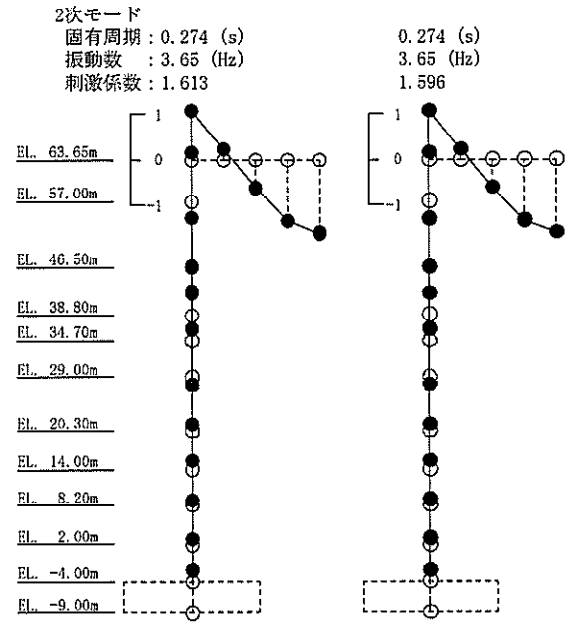


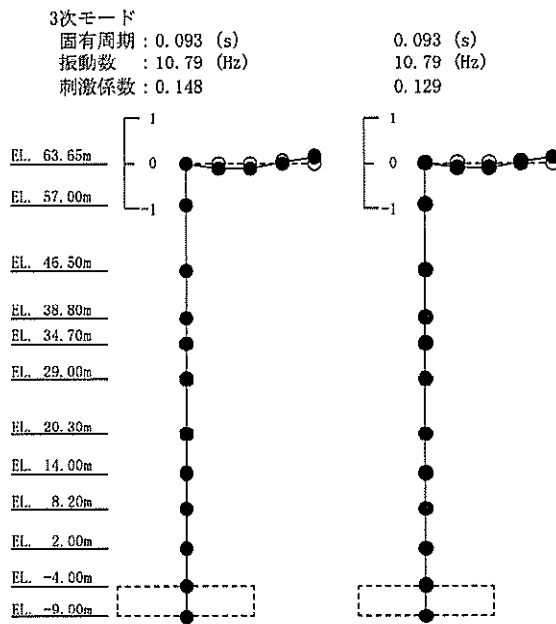
図 3-3 刺激関数図 (S_s-D 1, EW 方向, 剛性低下考慮モデル) (2/3)



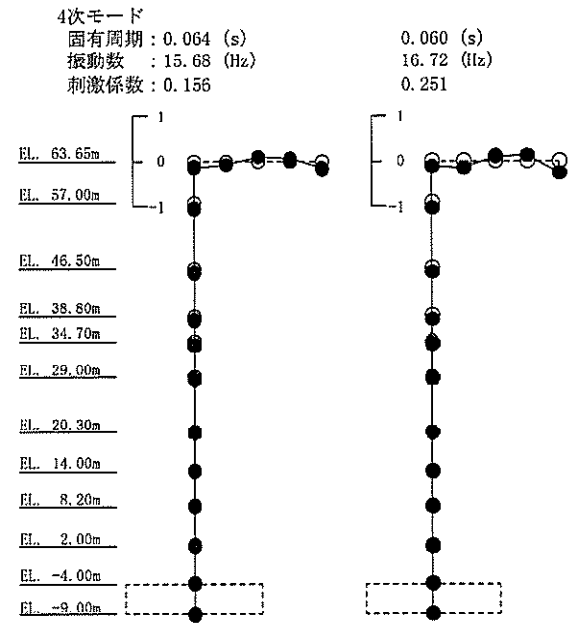
(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)



(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)



(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)



(剛性低下考慮モデル) (今回工認モデル)

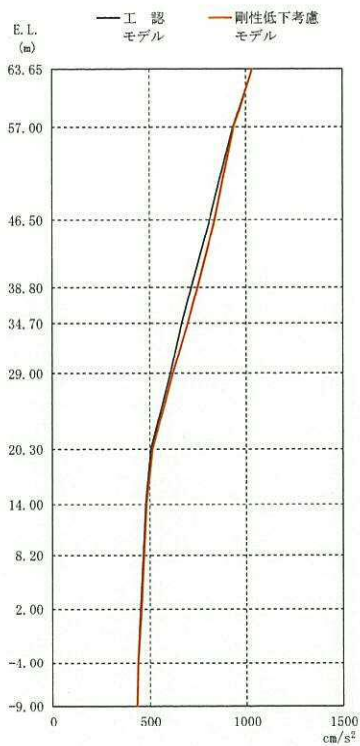
図 3-3 刺激関数図 (S_s-D 1, UD 方向, 剛性低下考慮モデル) (3/3)

(2) 最大応答値及び最大接地圧

基準地震動 S₁-D1 による最大応答値を図 3-4～図 3-16 に、最大せん断ひずみを表 3-11 に、最大接地圧を表 3-12 に示す。「剛性低下考慮モデル」の最大応答値及び最大接地圧は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

ここで、建屋の EL. 29.0 m～EL. 46.5 m については、高温を設定しているシェル壁の層の剛性に占める割合が大きいため、他の部位に比べて剛性低下が大きくなっており、当該部位の層間変形が大きくなることから建屋上部の応答が若干増加したものと考えられる。しかし、固有値解析結果から確認できるように、建屋全体の応答に対して支配的となる低次の振動モードは概ね同程度となっていることから、影響は小さいものと考えられる。

また、NS 方向の要素番号 (5) ならびに EW 方向の要素番号 (5) および要素番号 (7) については、応答が第 1 折れ点を超過し、非線形範囲に入っていることから、せん断力の増加に対するせん断ひずみの増加が大きくなり、せん断ひずみの比率として算定している応答比の値が大きくなったものと考えられる。



(単位: cm/s^2)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1033	1036	1.00
933	940	1.01
813	841	1.03
715	751	1.05
669	700	1.05
611	621	1.02
508	516	1.02
481	486	1.01
467	472	1.01
454	457	1.01
441	441	1.00
437	437	1.00

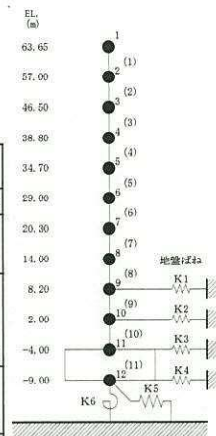
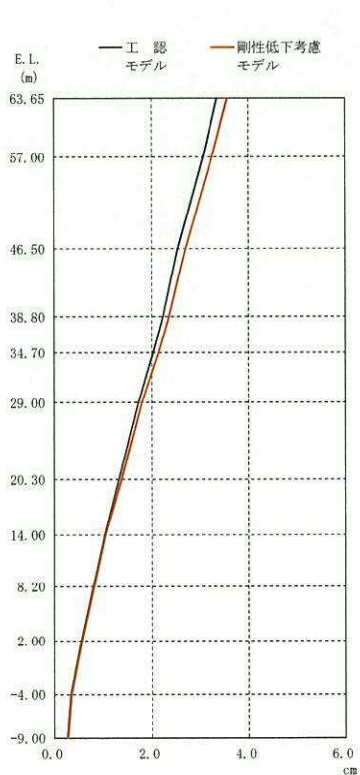


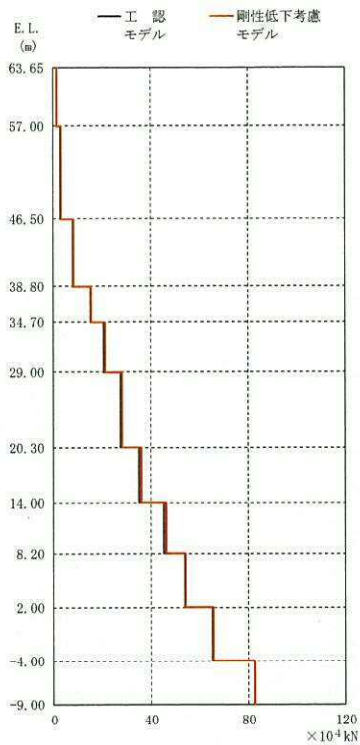
図 3-4 最大応答加速度 ($S_s - D 1$, NS 方向)



(単位: cm)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
3.36	3.57	1.06
3.06	3.26	1.06
2.55	2.70	1.06
2.23	2.36	1.06
2.03	2.14	1.05
1.73	1.81	1.04
1.33	1.38	1.03
1.04	1.06	1.03
0.80	0.81	1.02
0.55	0.56	1.02
0.33	0.34	1.05
0.26	0.28	1.06

図 3-5 最大応答変位 ($S_s - D 1$, NS 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1.66	1.68	1.01
3.13	3.20	1.02
8.21	8.36	1.02
15.2	15.8	1.04
20.9	21.5	1.03
27.5	28.2	1.03
35.3	36.2	1.03
45.4	46.4	1.02
54.2	54.4	1.00
65.3	65.6	1.00
82.7	82.9	1.00

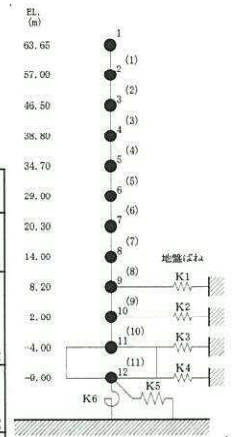
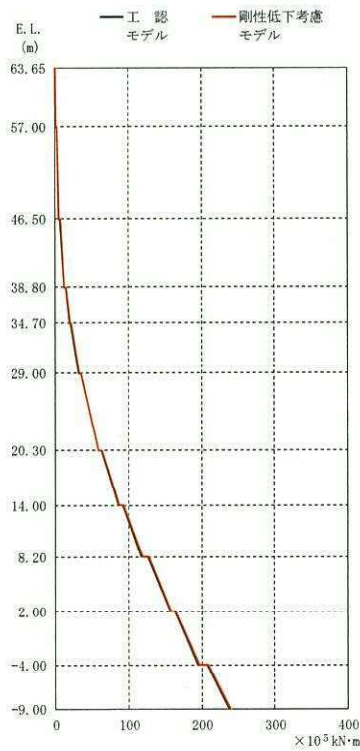


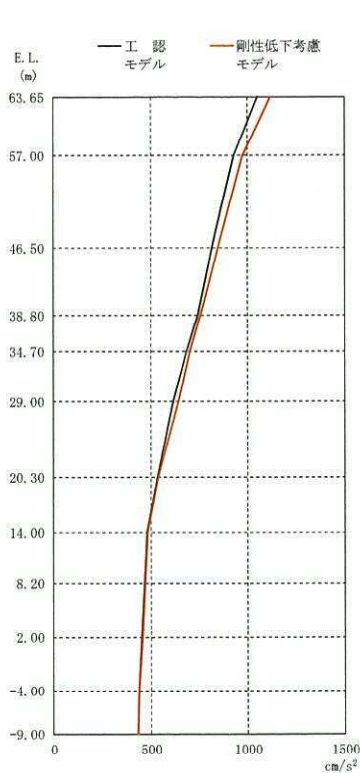
図 3-6 最大応答せん断力 (S_s -D 1, NS 方向)



(単位: $\times 10^5$ kN·m)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
0.572	0.584	1.02
1.48	1.55	1.05
2.29	2.37	1.03
5.24	5.40	1.03
6.77	7.03	1.04
12.5	12.9	1.03
14.3	14.6	1.02
19.9	20.4	1.03
21.0	21.6	1.03
32.1	32.6	1.02
35.0	35.6	1.02
58.9	59.6	1.01
63.3	64.2	1.01
85.5	87.0	1.02
92.1	93.4	1.01
118	120	1.02
126	128	1.02
157	159	1.01
164	165	1.01
195	197	1.01
207	210	1.01
237	240	1.01

図 3-7 最大応答曲げモーメント (S_s -D 1, NS 方向)



(単位: cm/s²)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1054	1121	1.06
931	976	1.05
818	848	1.04
744	758	1.02
685	703	1.03
615	643	1.04
535	541	1.01
482	485	1.01
466	471	1.01
455	458	1.01
442	442	1.00
438	438	1.00

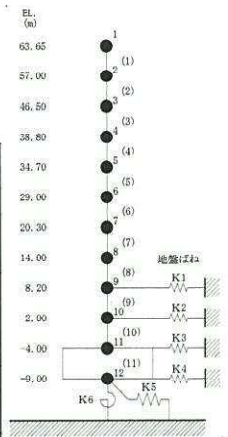
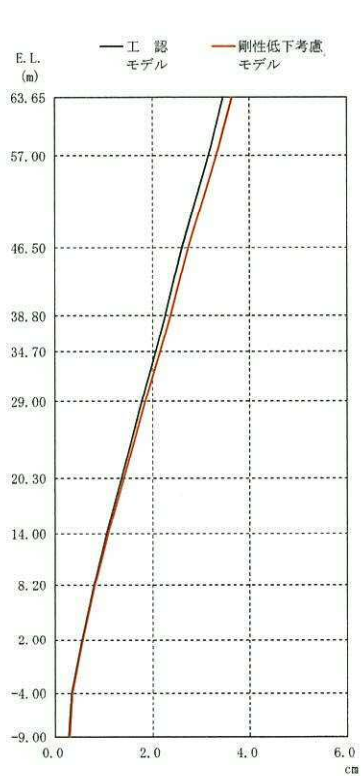


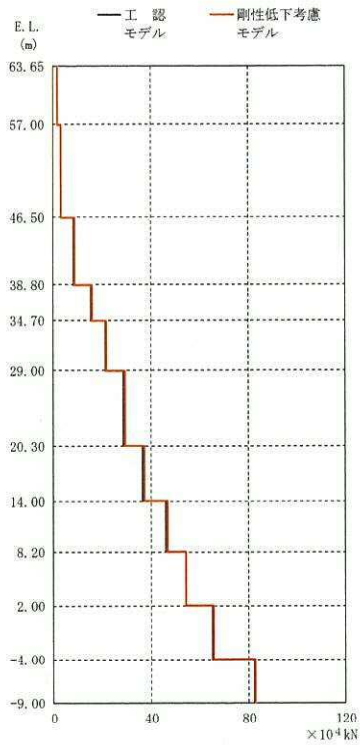
図 3-8 最大応答加速度 (S_s-D 1, EW 方向)



(単位: cm)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
3.47	3.65	1.05
3.16	3.32	1.05
2.61	2.74	1.05
2.27	2.37	1.05
2.07	2.16	1.05
1.78	1.85	1.04
1.37	1.42	1.04
1.06	1.09	1.03
0.81	0.83	1.02
0.56	0.57	1.02
0.34	0.35	1.05
0.27	0.29	1.06

図 3-9 最大応答変位 (S_s-D 1, EW 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1.72	1.82	1.06
3.26	3.43	1.05
8.30	8.7	1.04
15.6	16.1	1.03
21.5	21.9	1.02
28.7	29.4	1.02
36.6	37.4	1.02
46.1	46.9	1.02
54.4	54.6	1.00
65.4	65.6	1.00
82.6	82.9	1.00

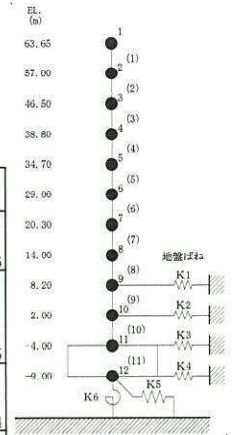
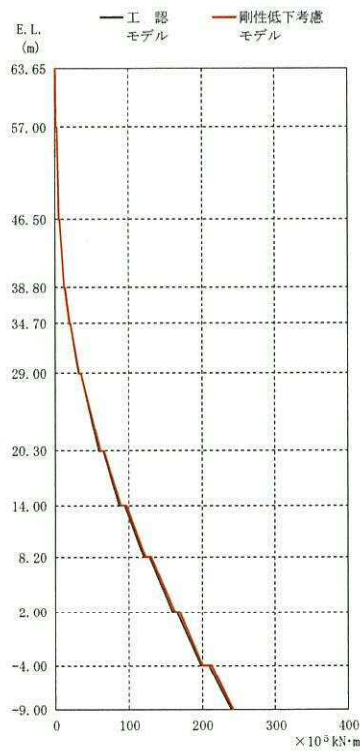


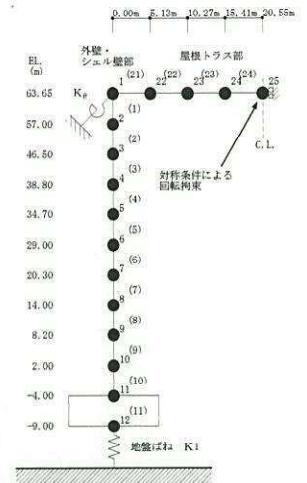
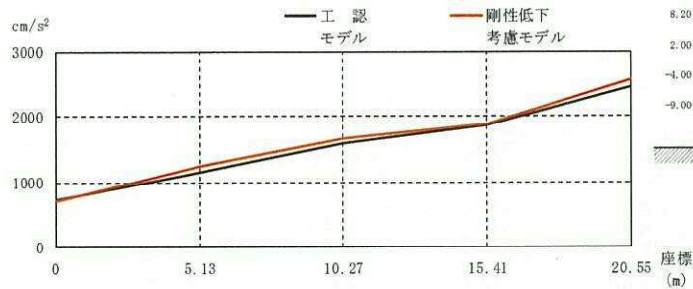
図 3-10 最大応答せん断力 (S_s -D 1, EW 方向)



(単位: $\times 10^5$ kN·m)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
0.529	0.542	1.02
1.47	1.57	1.07
2.22	2.29	1.03
5.32	5.66	1.06
6.63	6.87	1.04
12.3	12.9	1.05
13.4	13.8	1.03
19.5	20.0	1.03
20.2	20.7	1.02
32.2	33.1	1.03
34.9	35.9	1.03
59.8	61.5	1.03
65.2	66.9	1.03
87.9	89.7	1.02
94.8	96.6	1.02
121	124	1.02
129	131	1.02
160	163	1.02
166	169	1.02
198	201	1.02
210	213	1.01
240	242	1.01

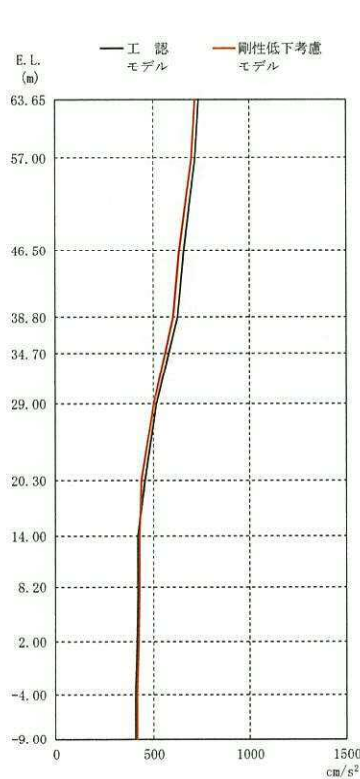
図 3-11 最大応答曲げモーメント (S_s -D 1, EW 方向)



(単位: cm/s^2)

①工認モデル	734	1153	1594	1868	2450
②剛性低下考慮モデル	717	1235	1673	1879	2558
②/①	0.98	1.07	1.05	1.01	1.04

(a) 屋根トラス部

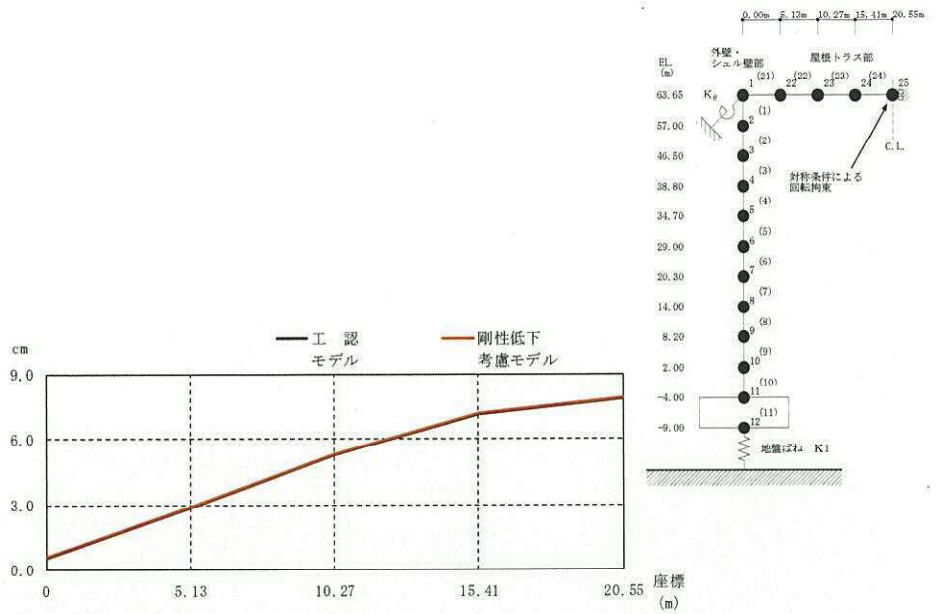


(単位: cm/s^2)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
734	717	0.98
719	698	0.97
657	637	0.97
625	605	0.97
581	565	0.97
519	504	0.97
458	442	0.97
422	433	1.03
421	431	1.02
417	426	1.02
411	418	1.02
407	416	1.02

(b) 外壁及びシェル壁

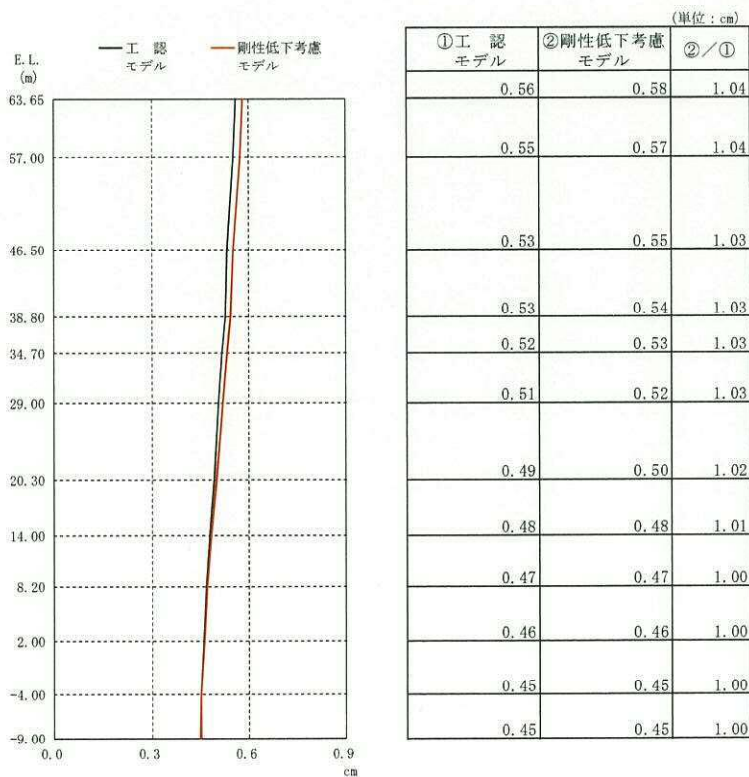
図 3-12 最大応答加速度 ($S_s - D1$, UD 方向)



(単位: cm)

①工認モデル	0.56	2.87	5.26	7.16	7.84
②剛性低下考慮モデル	0.58	2.89	5.30	7.22	7.91
②/①	1.04	1.01	1.01	1.01	1.01

(a) 屋根トラス部

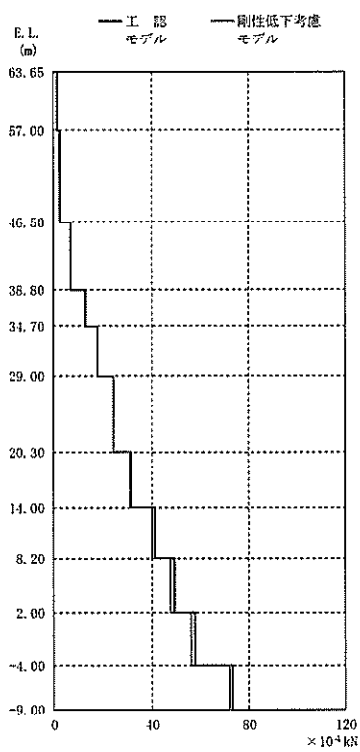
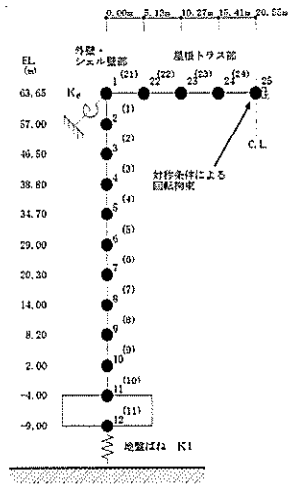


(単位: cm)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
0.56	0.58	1.04
0.55	0.57	1.04
0.53	0.55	1.03
0.53	0.54	1.03
0.52	0.53	1.03
0.51	0.52	1.03
0.49	0.50	1.02
0.48	0.48	1.01
0.47	0.47	1.00
0.46	0.46	1.00
0.45	0.45	1.00
0.45	0.45	1.00

(b) 外壁及びシェル壁

図 3-13 最大応答変位 ($S_s - D1$, UD 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

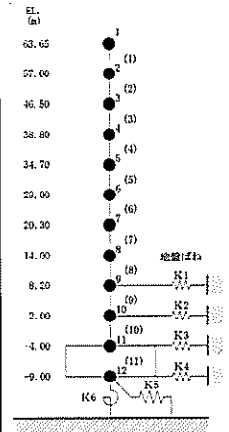
①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1.39	1.43	1.03
2.49	2.60	1.04
6.82	6.99	1.02
12.8	13.0	1.02
17.7	17.9	1.01
24.2	24.3	1.00
31.7	31.3	0.99
41.5	40.2	0.97
49.4	48.1	0.97
57.6	56.4	0.98
73.3	72.4	0.99

図 3-14 最大応答軸力 (S_s -D 1, UD 方向)

表3-11 最大せん断ひずみ

(a) NS方向

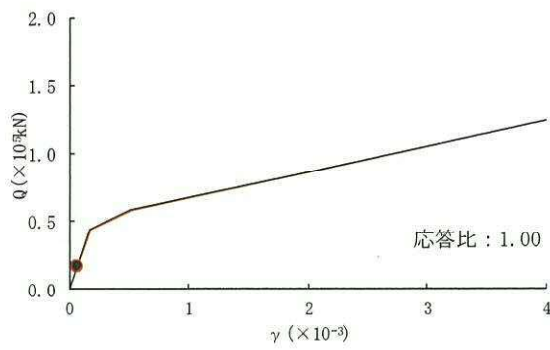
要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - D1$)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②剛性低下考慮 モデル	
(1)	0.07	0.07	1.00
(2)	0.13	0.13	1.00
(3)	0.05	0.05	1.00
(4)	0.13	0.15	1.16
(5)	0.25	0.34	1.36
(6)	0.14	0.16	1.15
(7)	0.16	0.19	1.19
(8)	0.13	0.14	1.08
(9)	0.13	0.14	1.08
(10)	0.16	0.17	1.07



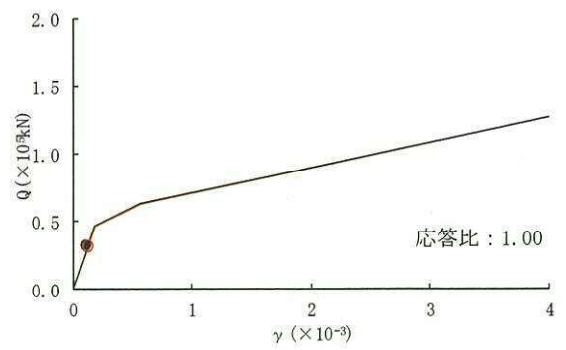
(b) EW方向

要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - D1$)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②剛性低下考慮 モデル	
(1)	0.08	0.08	1.00
(2)	0.14	0.15	1.08
(3)	0.06	0.08	1.34
(4)	0.13	0.15	1.16
(5)	0.15	0.19	1.27
(6)	0.14	0.15	1.08
(7)	0.21	0.26	1.24
(8)	0.15	0.16	1.07
(9)	0.14	0.14	1.00
(10)	0.16	0.17	1.07

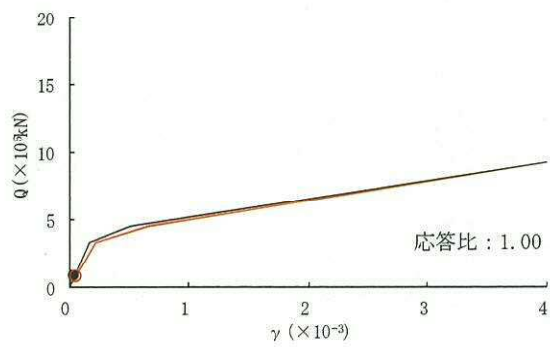
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



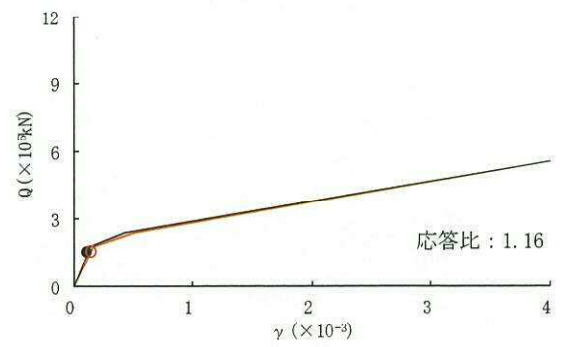
要素番号 (1)



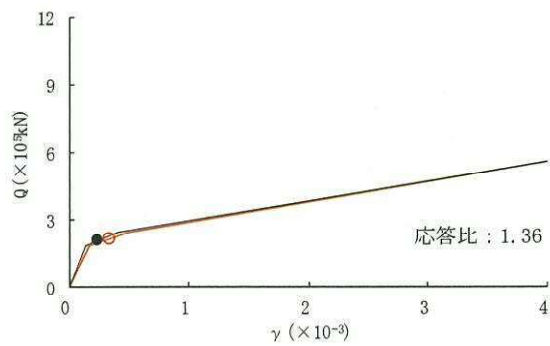
要素番号 (2)



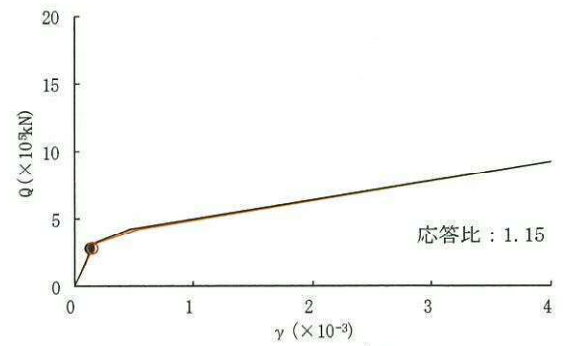
要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)



要素番号 (6)

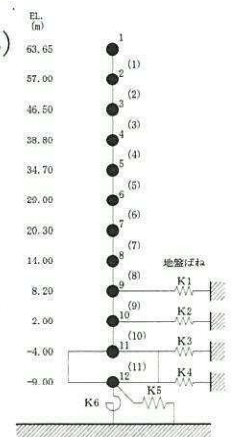
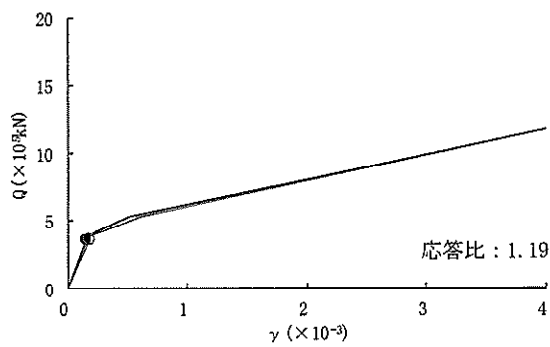
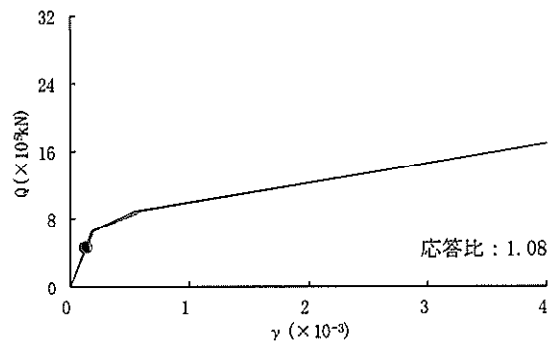


図 3-15 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 ($S_s - D 1$, NS 方向)

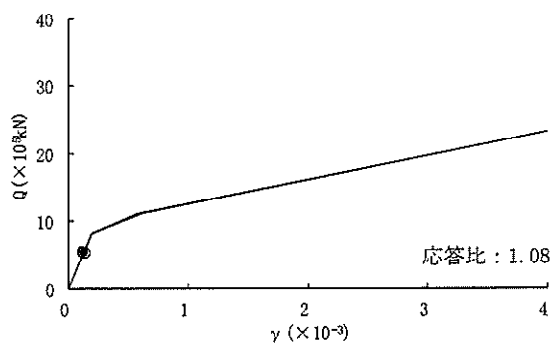
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



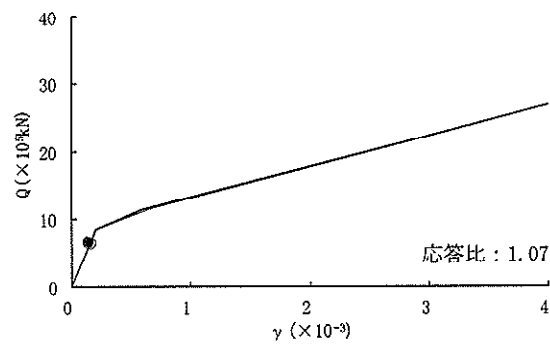
要素番号 (7)



要素番号 (8)



要素番号 (9)



要素番号 (10)

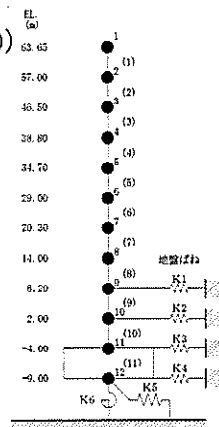
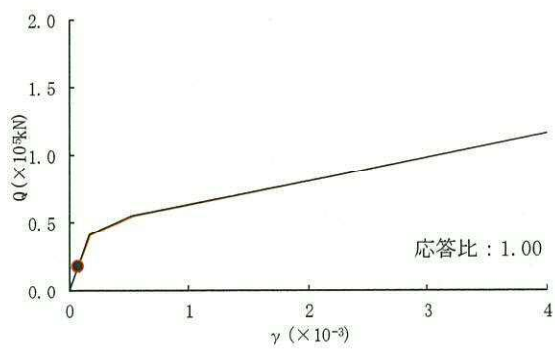
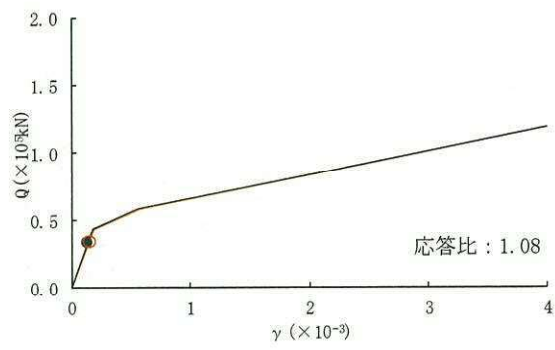


図 3-15 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D 1, NS 方向)

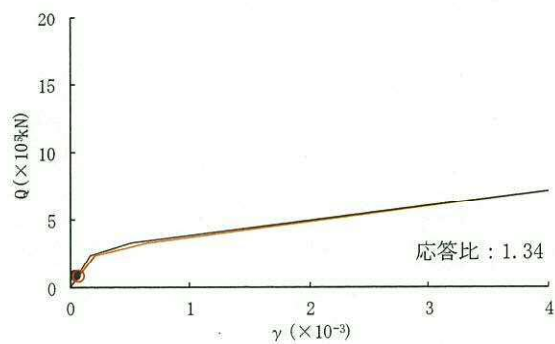
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



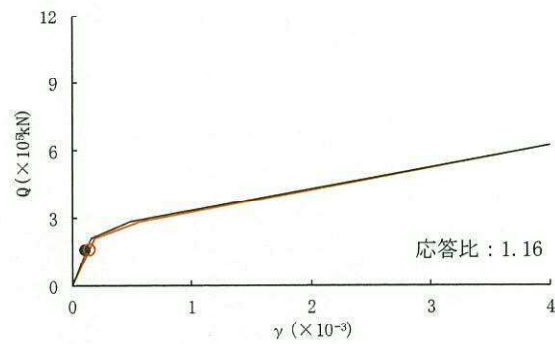
要素番号 (1)



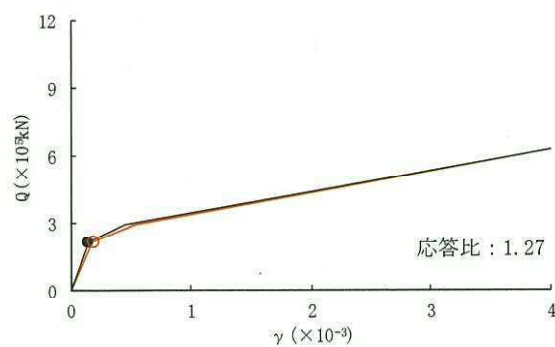
要素番号 (2)



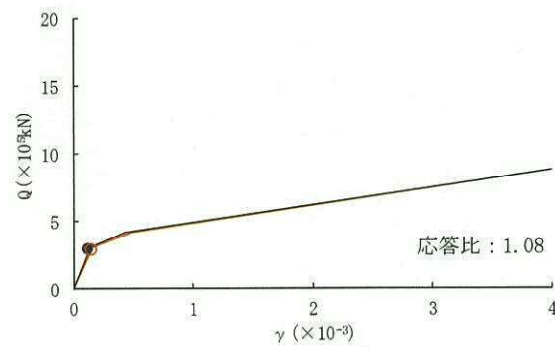
要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)



要素番号 (6)

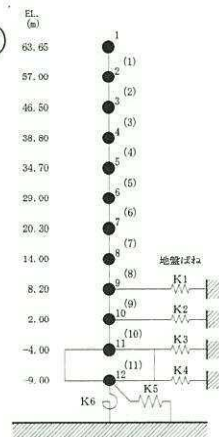
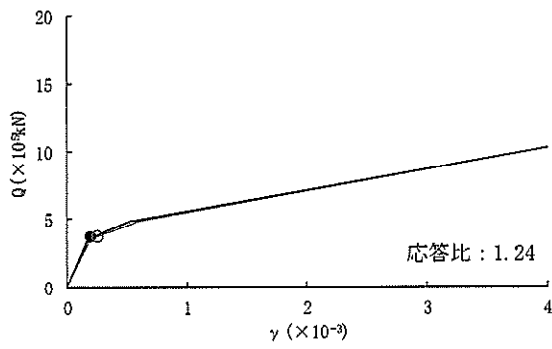
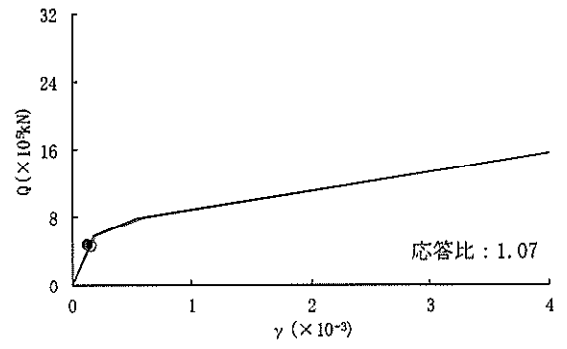


図 3-16 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D 1, EW 方向)

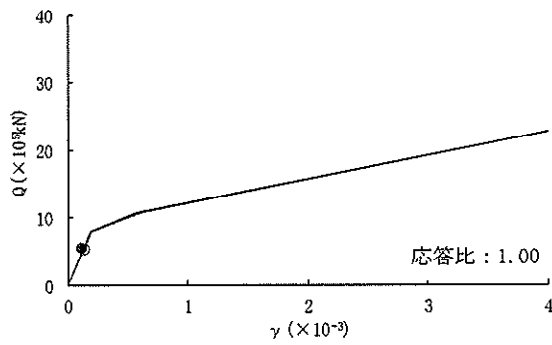
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



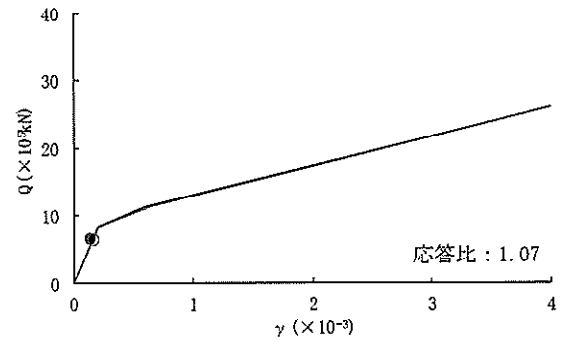
要素番号 (7)



要素番号 (8)



要素番号 (9)



要素番号 (10)

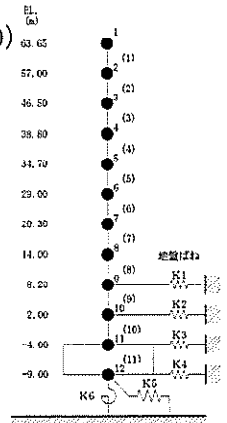


図 3-16 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 ($S_s - D 1$, EW 方向)

表 3-12 最大接地圧

(単位：kN/m²)

地震動		最大接地圧				極限 支持力度
		NS方向		EW方向		
		工認モデル	剛性低下 考慮モデル	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	
S _s -D1	鉛直上向き	826	837	834	842	5360
	鉛直下向き	944	950	951	955	

3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

「3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析」の地震応答解析結果を踏まえ、重大事故等時の熱によるコンクリート部材の剛性低下が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

3.3.1 検討方法

検討は、以下の通り、保守的な評価とする。

せん断ひずみの検討では、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみ（基準地震動 $S_{e-D1} \sim S_{e-31}$ に対する包絡値）に、基準地震動 S_{e-D1} に対する「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「今回工認モデル」）を乗じた値の最大値が許容限界を超えないことを確認する。

接地圧の検討では、地盤物性のばらつきを考慮した最大接地圧（基準地震動 $S_{e-D1} \sim S_{e-31}$ に対する包絡値）に、基準地震動 S_{e-D1} に対する「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「今回工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

また、基準地震動 S_{e-D1} に対する床応答スペクトルについて、「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の比較を行う。

なお、基準地震動 S_{e-31} に対しては、水平方向の応答比が基準地震動 S_{e-D1} と同等となることならびに最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.3.2 検討結果

(1) せん断ひずみの検討結果

最大せん断ひずみの検討における原子炉建屋の応答比及び応答比を乗じた最大せん断ひずみを表3-13に示す。

表3-13より、最大せん断ひずみに応答比を乗じた値の最大値が許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表3-13 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (1/2)

(a) NS方向

要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-D1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s-D1 \sim S_s-31$)	
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②剛性低下考慮 モデル		④地盤物性の ばらつき考慮 モデル	応答比を乗じた値 (③ \times ④)
(1)	0.07	0.07	1.00	0.11	0.11
(2)	0.13	0.13	1.00	0.20	0.20
(3)	0.05	0.05	1.00	0.06	0.06
(4)	0.13	0.15	1.16	0.25	0.29
(5)	0.25	0.34	1.36	0.60	0.82
(6)	0.14	0.16	1.15	0.31	0.36
(7)	0.16	0.19	1.19	0.43	0.52
(8)	0.13	0.14	1.08	0.18	0.20
(9)	0.13	0.14	1.08	0.17	0.19
(10)	0.16	0.17	1.07	0.21	0.23

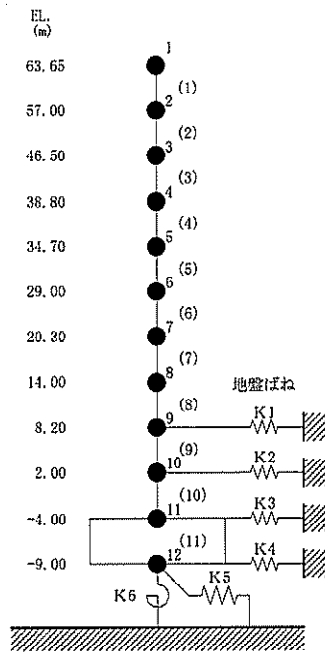
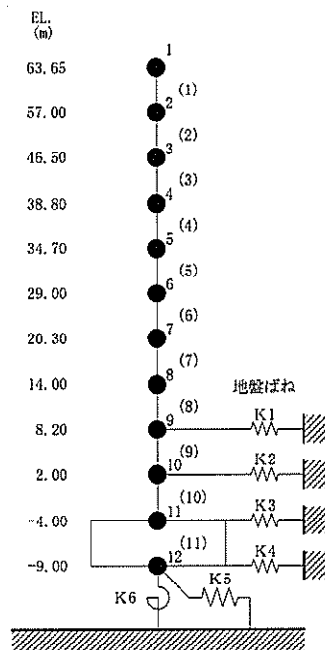


表3-13 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (2/2)

(b) EW方向

要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - D1$)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - D1 \sim S_s - 31$)	
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②剛性低下考慮 モデル		④地盤物性の ばらつき考慮 モデル	応答比を乗じた値 (③ \times ④)
(1)	0.08	0.08	1.00	0.11	0.11
(2)	0.14	0.15	1.08	0.21	0.23
(3)	0.06	0.08	1.34	0.08	0.11
(4)	0.13	0.15	1.16	0.15	0.18
(5)	0.15	0.19	1.27	0.36	0.46
(6)	0.14	0.15	1.08	0.31	0.34
(7)	0.21	0.26	1.24	0.56	0.70
(8)	0.15	0.16	1.07	0.30	0.33
(9)	0.14	0.14	1.00	0.18	0.18
(10)	0.16	0.17	1.07	0.22	0.24



(2) 接地圧の検討結果

添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に記載の地震時の最大接地圧に、最大応答比を乗じた値を表3-14に示す。

表3-14より、地震時の最大接地圧に、最大応答比を乗じた値が、地盤の極限支持力度（5360 kN/m²）を超えないことを確認した。

表 3-14 地震時の最大接地圧に最大応答比を乗じた値

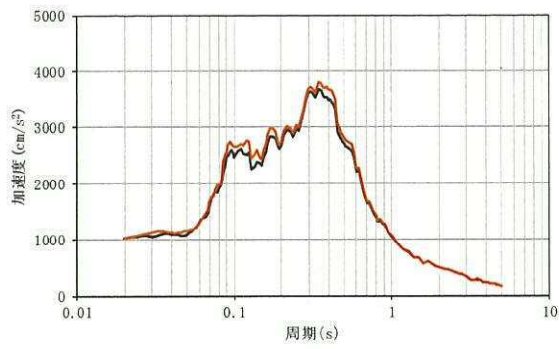
添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に記載の結果			基準地震動 S _s -D 1 に対する応答比 （「剛性低下考慮モデル」/「今回工認モデル」）	確認結果 ①×②
地震動	方向	最大接地圧 ①	最大応答比②	
S _s -3 1	EW方向	1087 kN/m ²	1.01	1098 kN/m ²

(3) 床応答スペクトルの検討結果

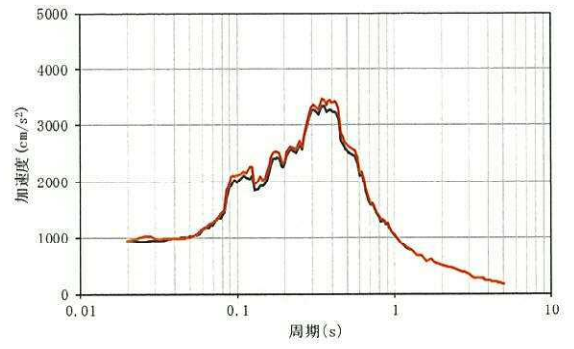
建屋の全質点の床応答スペクトルについて、剛性低下考慮モデルと今回工認モデルの比較結果を図 3-17～図 3-19 に示す。

床応答スペクトルの比較を行った結果、全体的な傾向として、今回工認モデルの応答が剛性低下考慮モデルの応答に対し、概ね同等となった。

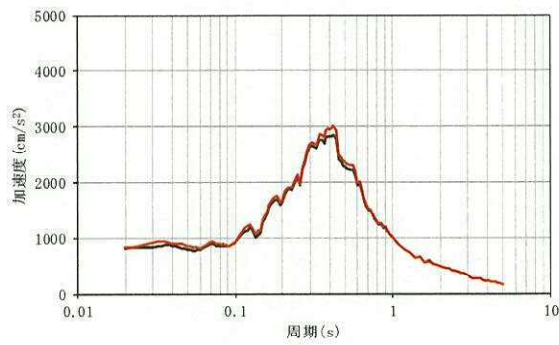
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



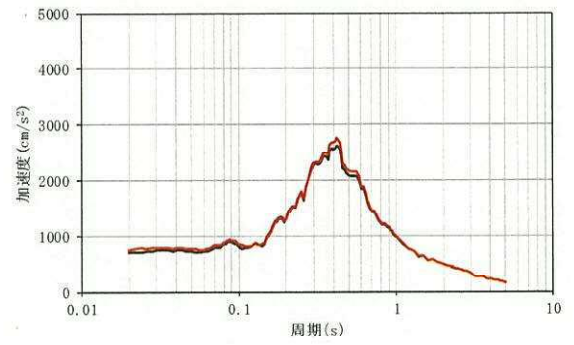
質点番号 1



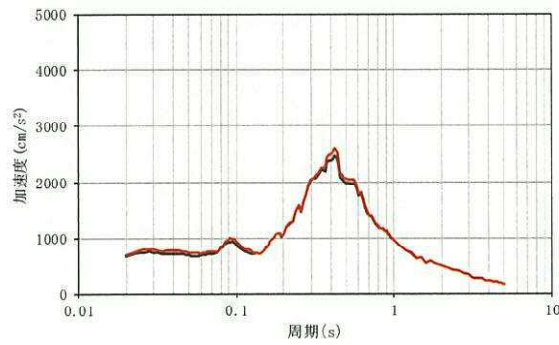
質点番号 2



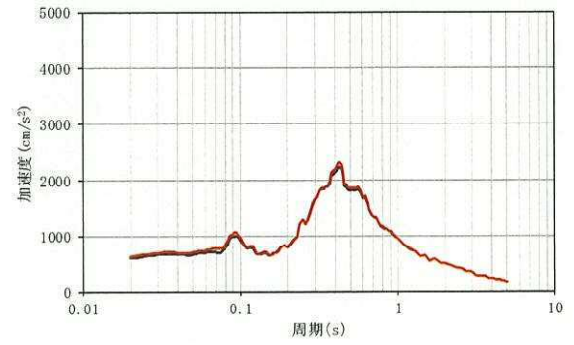
質点番号 3



質点番号 4



質点番号 5



質点番号 6

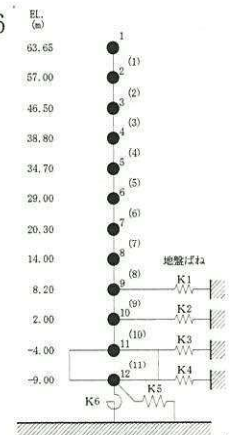
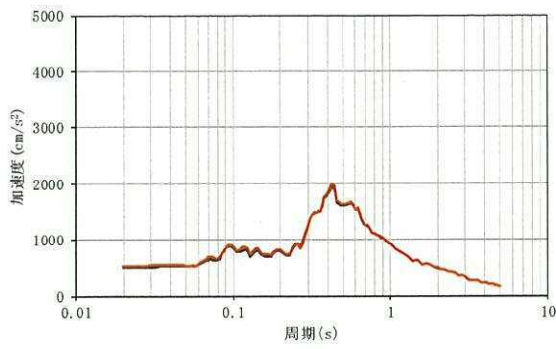
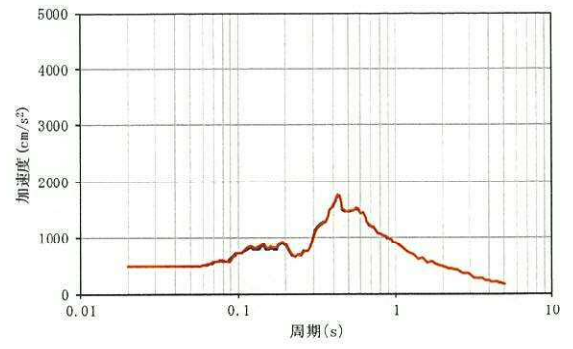


図 3-17 床応答スペクトルの比較 (S_s-D1, NS 方向, 減衰 5 %) (1/2)

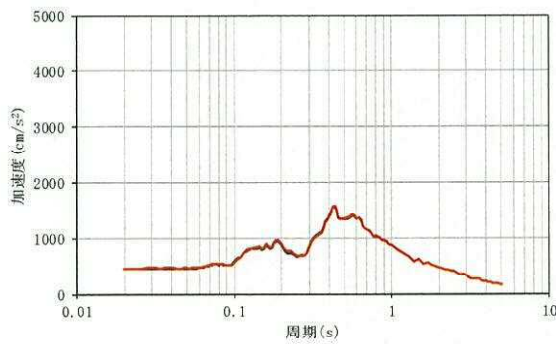
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



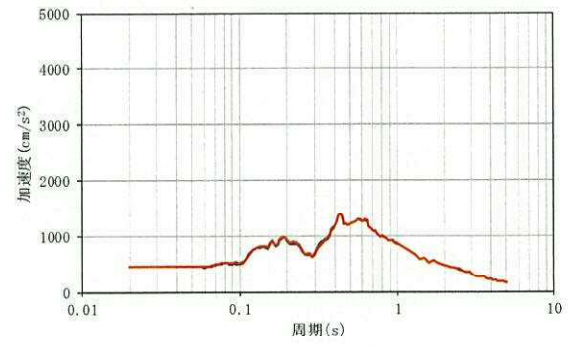
質点番号 7



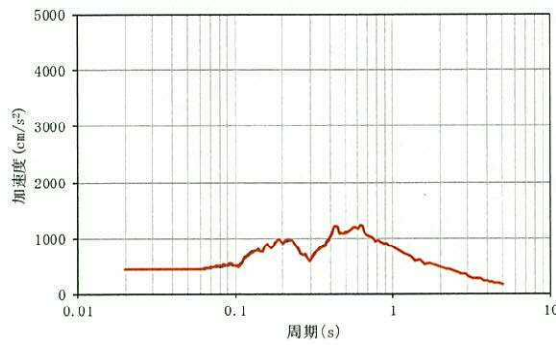
質点番号 8



質点番号 9



質点番号 10



質点番号 11

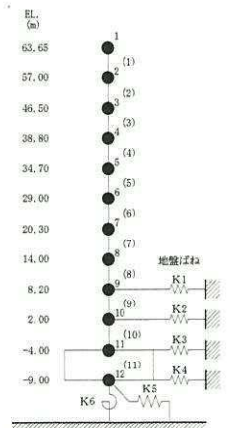
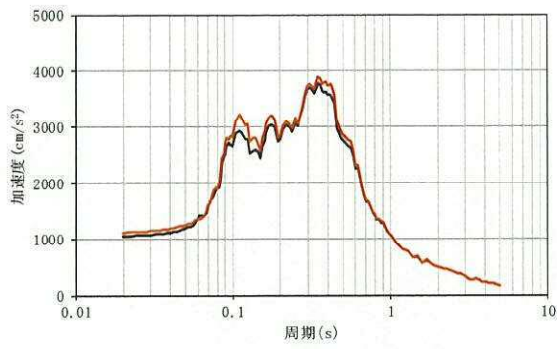
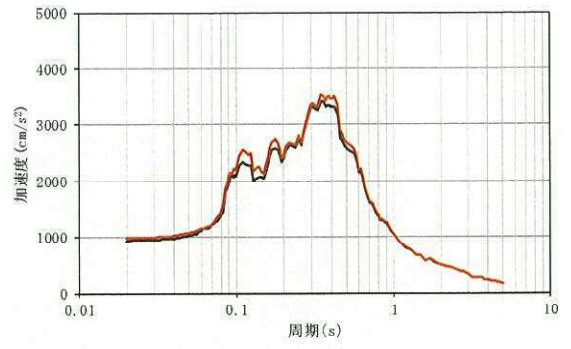


図 3-17 床応答スペクトルの比較 (S_s-D 1, NS 方向, 減衰 5 %) (2/2)

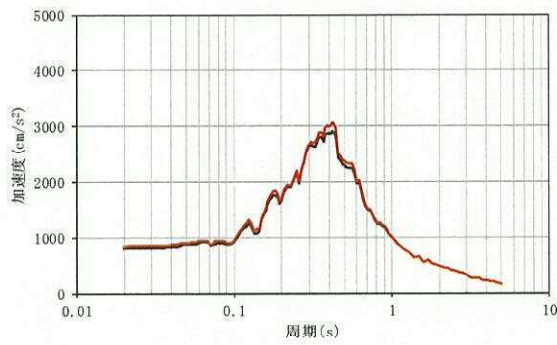
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



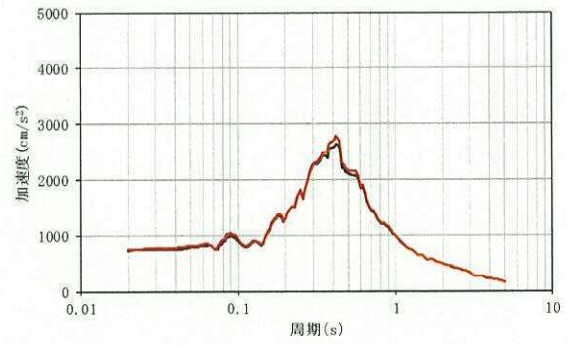
質点番号 1



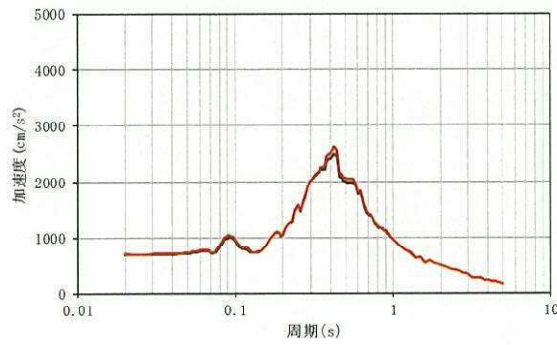
質点番号 2



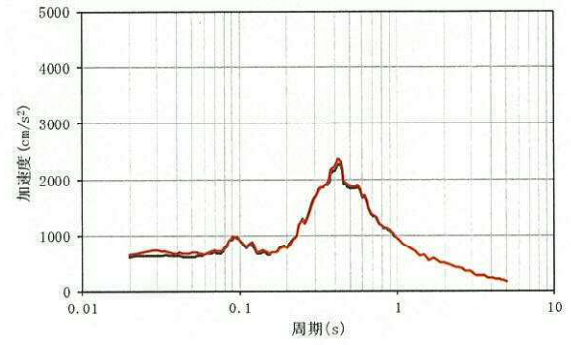
質点番号 3



質点番号 4



質点番号 5



質点番号 6

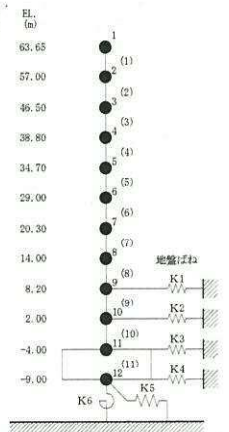
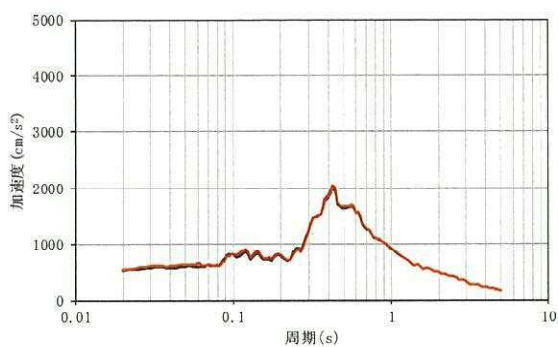
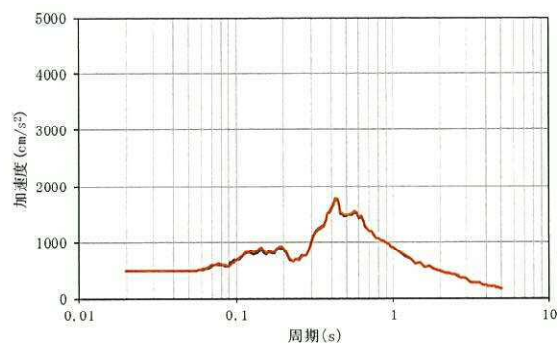


図 3-18 床応答スペクトルの比較 (S_s-D 1, EW 方向, 減衰 5%) (1/2)

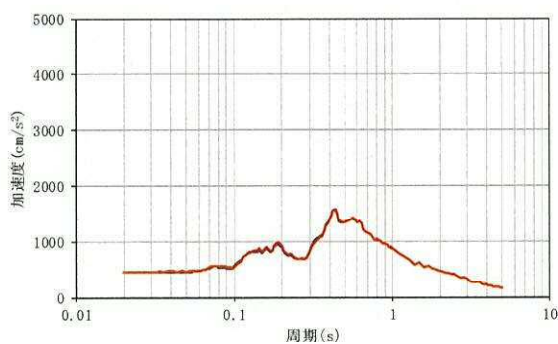
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



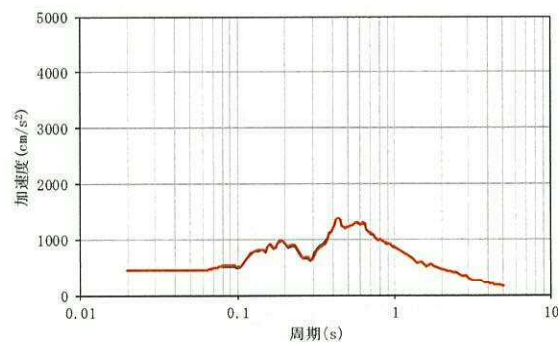
質点番号 7



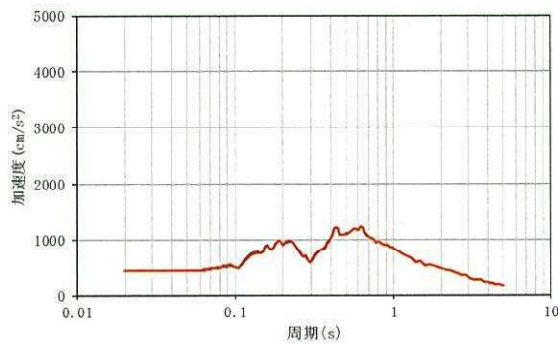
質点番号 8



質点番号 9



質点番号 10



質点番号 11

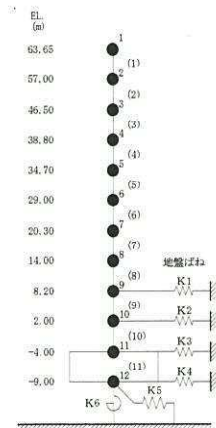
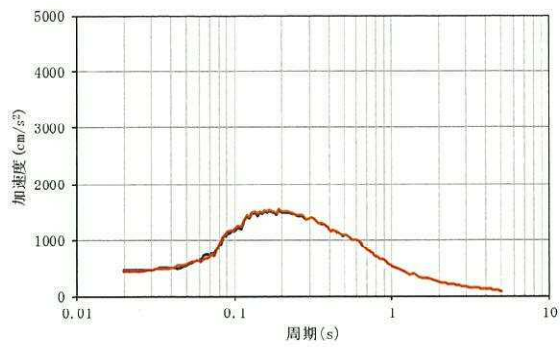
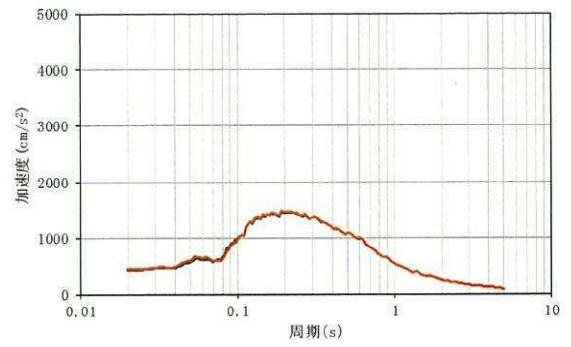


図 3-18 床応答スペクトルの比較 (S_s-D 1, EW 方向, 減衰 5 %) (2/2)

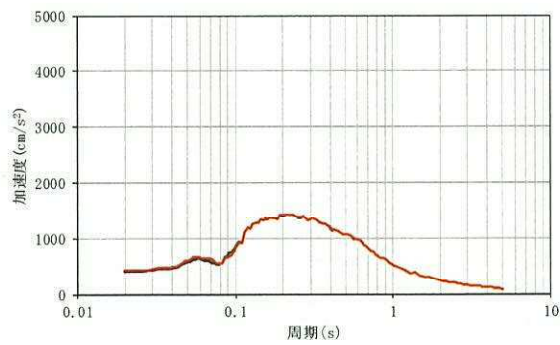
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



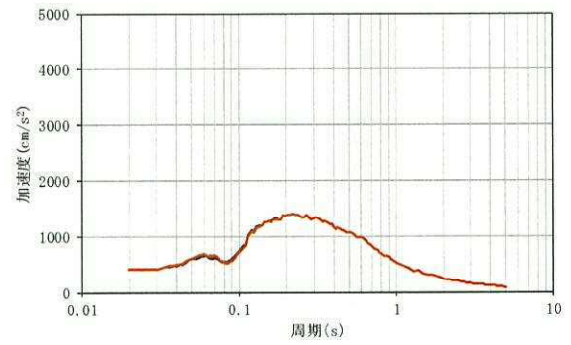
質点番号 7



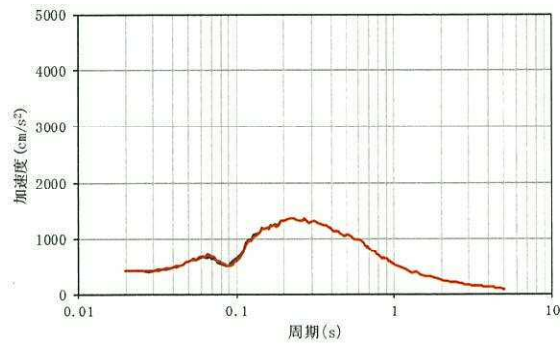
質点番号 8



質点番号 9



質点番号 10



質点番号 11

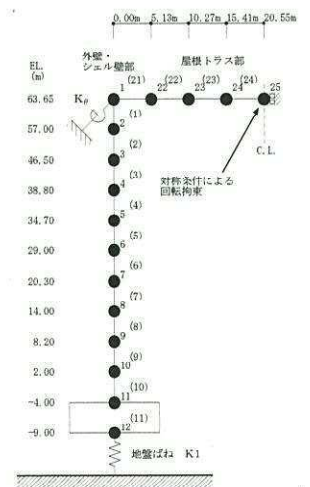
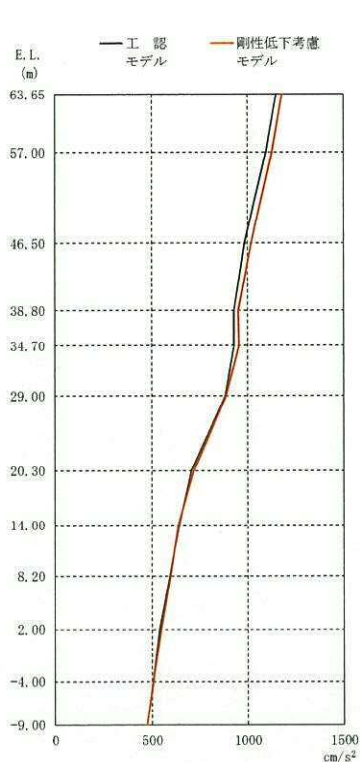


図 3-19 床応答スペクトルの比較 (S_s-D 1, UD 方向, 減衰 5 %) (2/2)

(4) 基準地震動 S_{s-31} に対する検討結果

基準地震動 S_{s-31} (地盤物性+ σ 考慮)による最大応答値を図 3-20～図 3-27 に、最大せん断ひずみを表 3-15 に、床応答スペクトルの比較を図 3-28 及び図 3-29 に示す。

基準地震動 S_{s-31} に対する水平方向の応答比が、基準地震動 S_{s-D1} に対する応答比と同等であることを確認した。また、表 3-15 より、基準地震動 S_{s-31} に対する最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。また、床応答スペクトルの比較を行った結果、基準地震動 S_{s-31} に対しても、今回工認モデルの応答が剛性低下考慮モデルの応答に対し、概ね同等となった。



(単位: cm/s²)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
1153	1185	1.03	1.00
1098	1131	1.03	1.01
987	1023	1.04	1.03
931	953	1.02	1.05
929	959	1.03	1.05
884	891	1.01	1.02
708	721	1.02	1.02
643	641	1.00	1.01
595	601	1.01	1.01
542	550	1.02	1.01
508	511	1.01	1.00
477	478	1.00	1.00

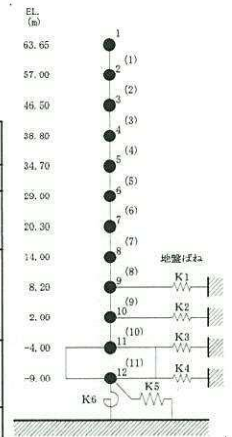
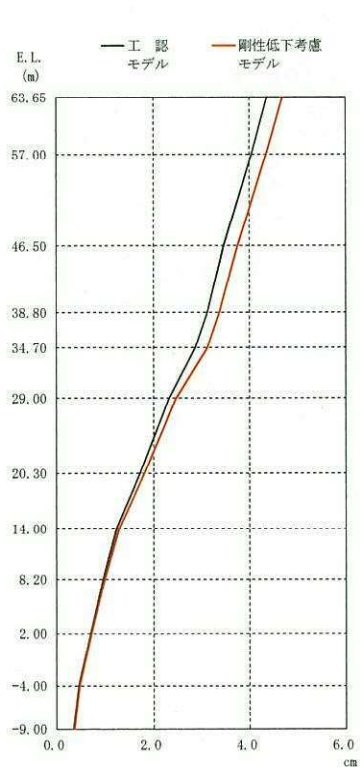


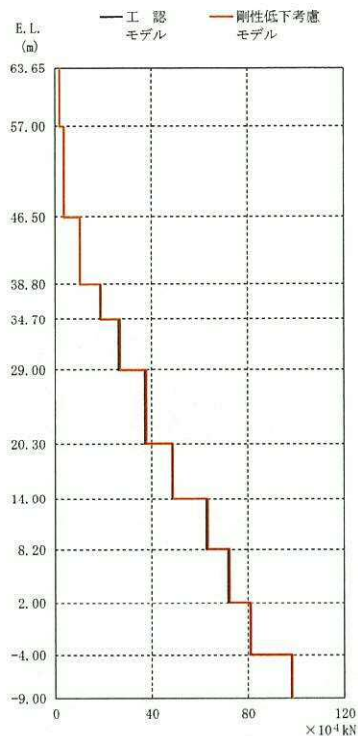
図 3-20 最大応答加速度 (S_s-3 1, +σ ケース, NS 方向)



(単位: cm)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
4.38	4.70	1.07	1.06
4.05	4.36	1.08	1.06
3.47	3.76	1.08	1.06
3.12	3.39	1.09	1.06
2.88	3.12	1.08	1.05
2.32	2.48	1.07	1.04
1.73	1.82	1.06	1.03
1.24	1.28	1.04	1.03
0.96	0.99	1.03	1.02
0.70	0.72	1.03	1.02
0.46	0.48	1.03	1.05
0.35	0.36	1.03	1.06

図 3-21 最大応答変位 (S_s-3 1, +σ ケース, NS 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
1.88	1.92	1.02	1.01
3.61	3.67	1.02	1.02
10.20	10.40	1.02	1.02
18.7	19.1	1.02	1.04
26.3	26.9	1.02	1.03
37.2	37.7	1.01	1.03
48.7	49.1	1.01	1.03
62.8	63.5	1.01	1.02
72.0	72.6	1.01	1.00
80.8	81.3	1.01	1.00
98.0	98.3	1.00	1.00

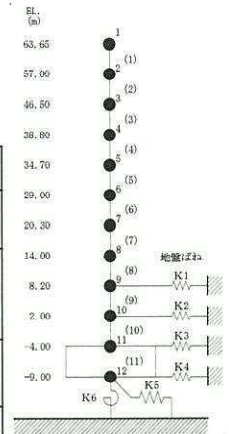
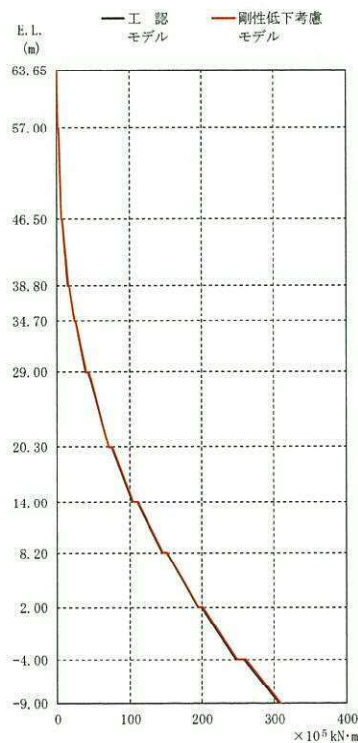


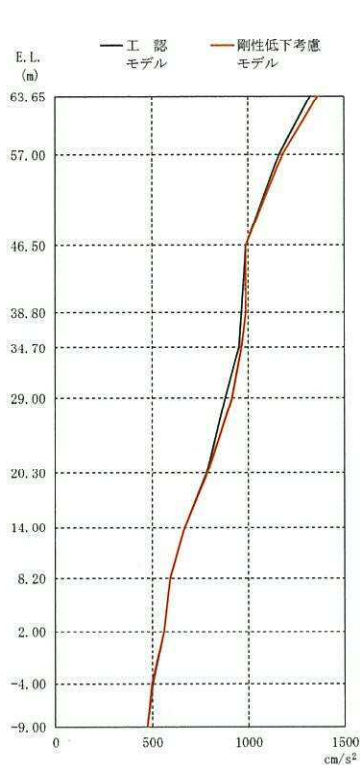
図 3-22 最大応答せん断力 (S_s-31, +σ ケース, NS 方向)



(単位: $\times 10^5$ kN·m)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
0.525	0.608	1.16	1.02
1.75	1.88	1.07	1.05
2.46	2.71	1.10	1.03
6.07	6.46	1.06	1.03
7.51	8.06	1.07	1.04
14.8	15.4	1.04	1.03
16.6	17.2	1.04	1.02
23.9	24.6	1.03	1.03
25.2	25.9	1.03	1.03
39.1	39.7	1.02	1.02
42.5	43.3	1.02	1.02
71.5	71.9	1.01	1.01
75.6	76.4	1.01	1.01
104.0	105.0	1.01	1.02
110.0	111.0	1.01	1.01
145	146	1.01	1.02
151	153	1.01	1.02
195	196	1.01	1.01
200	202	1.01	1.01
247	249	1.01	1.01
258	261	1.01	1.01
306	309	1.01	1.01

図 3-23 最大応答曲げモーメント (S_s-31, +σ ケース, NS 方向)



(単位: cm/s²)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
1325	1366	1.03	1.06
1164	1182	1.02	1.05
987	987	1.00	1.04
967	991	1.02	1.02
953	967	1.01	1.03
880	919	1.04	1.04
786	789	1.00	1.01
674	674	1.00	1.01
596	596	1.00	1.01
561	563	1.00	1.01
502	501	1.00	1.00
475	478	1.01	1.00

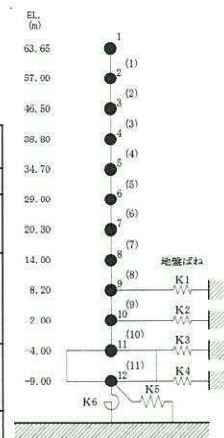
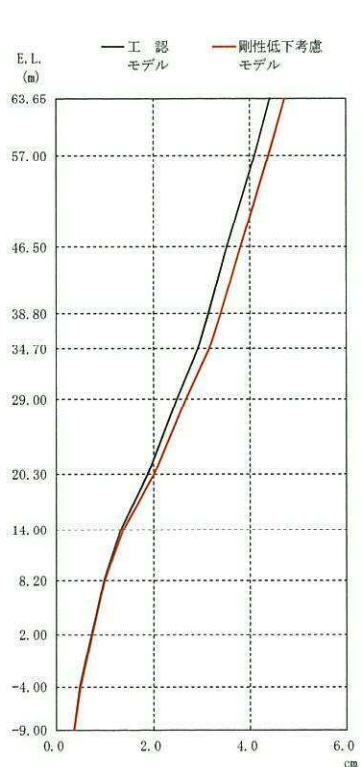


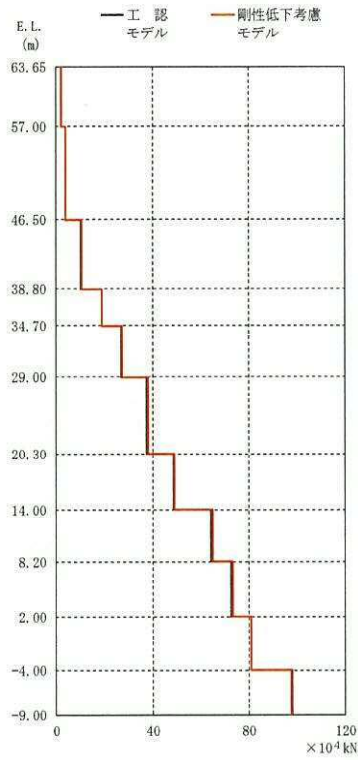
図 3-24 最大応答加速度 (S_s-31, +σ ケース, EW 方向)



(単位: cm)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
4.43	4.73	1.07	1.05
4.10	4.40	1.07	1.05
3.53	3.81	1.08	1.05
3.15	3.40	1.08	1.05
2.92	3.16	1.08	1.05
2.48	2.67	1.08	1.04
1.89	2.03	1.07	1.04
1.33	1.39	1.04	1.03
0.98	1.01	1.03	1.02
0.71	0.73	1.03	1.02
0.47	0.49	1.02	1.05
0.36	0.37	1.03	1.06

図 3-25 最大応答変位 (S_s-31, +σ ケース, EW 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
2.15	2.21	1.03	1.06
3.98	4.13	1.04	1.05
10.30	10.5	1.02	1.04
18.9	19.1	1.01	1.03
26.9	27.3	1.01	1.02
37.3	38.0	1.02	1.02
48.6	49.2	1.01	1.02
64.3	65.0	1.01	1.02
72.8	73.5	1.01	1.00
80.9	81.1	1.00	1.00
97.9	97.8	1.00	1.00

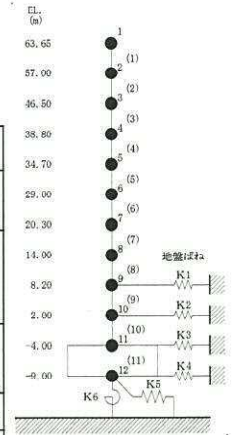
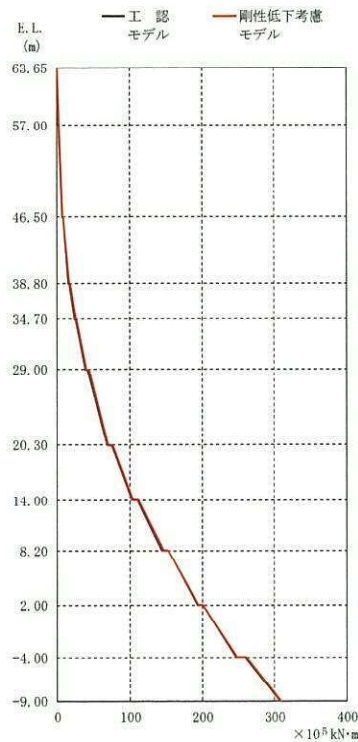


図 3-26 最大応答せん断力 (S_s-31 , $+\sigma$ ケース, EW 方向)



(単位: $\times 10^5$ kN·m)

①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①	Ss-D1 応答比
0.625	0.719	1.15	1.02
2.03	2.19	1.08	1.07
2.84	3.14	1.11	1.03
7.01	7.46	1.06	1.06
8.52	9.16	1.08	1.04
16.1	16.9	1.05	1.05
17.6	18.3	1.04	1.03
24.7	25.8	1.04	1.03
25.6	26.7	1.04	1.02
39.1	40.4	1.03	1.03
41.9	43.3	1.03	1.03
69.5	70.7	1.02	1.03
75.0	75.9	1.01	1.03
103.0	104.0	1.01	1.02
110.0	111.0	1.01	1.02
144	146	1.01	1.02
152	153	1.01	1.02
194	195	1.01	1.02
201	201	1.00	1.02
247	248	1.00	1.02
259	261	1.01	1.01
307	309	1.01	1.01

図 3-27 最大応答曲げモーメント (S_s-31 , $+\sigma$ ケース, EW 方向)

表3-15 に生じる最大せん断ひずみ ($S_s - 31$) (1/2)

(a) NS方向

要素番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - 31$)	
	①今回工認モデル (+ σ ケース)	②剛性低下考慮モデル (+ σ ケース)
(1)	0.08	0.08
(2)	0.15	0.16
(3)	0.06	0.07
(4)	0.19	0.25
(5)	0.60	0.75
(6)	0.31	0.38
(7)	0.43	0.51
(8)	0.18	0.20
(9)	0.17	0.19
(10)	0.19	0.21

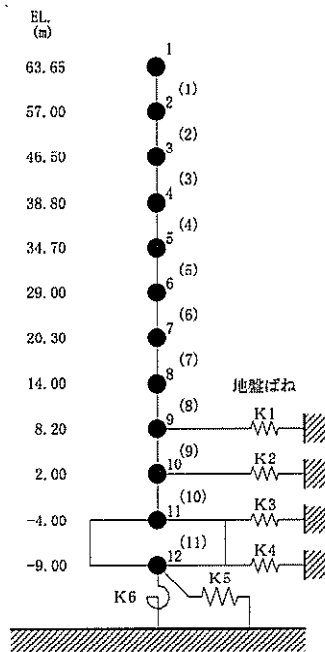
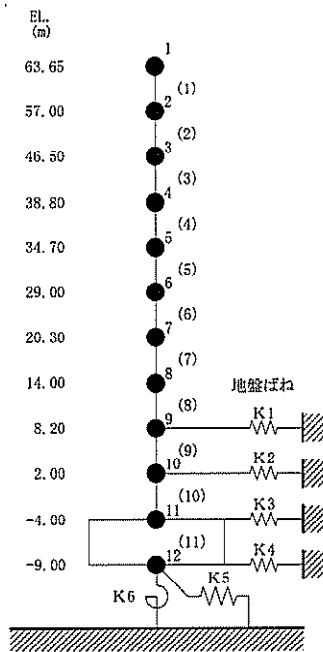


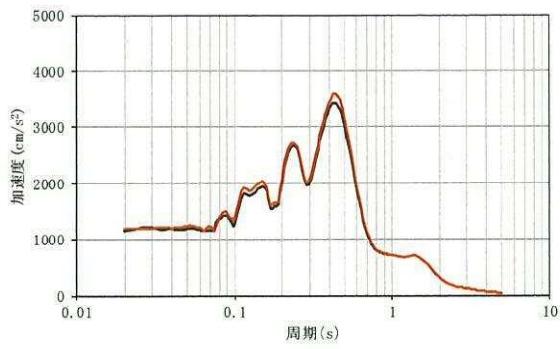
表3-15 に生じる最大せん断ひずみ ($S_s - 31$) (2/2)

(b) EW方向

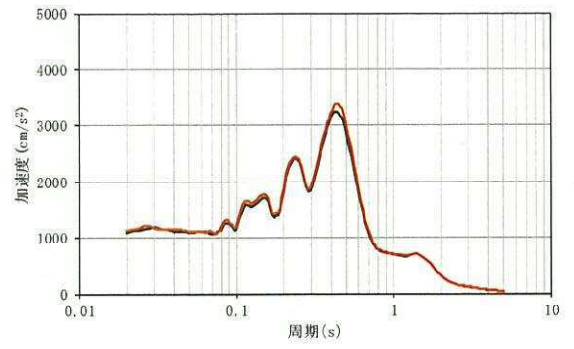
要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) ($S_s - 31$)	
	①今回工認 モデル (+ σ ケース)	②剛性低下考慮 モデル (+ σ ケース)
(1)	0.10	0.10
(2)	0.17	0.19
(3)	0.08	0.10
(4)	0.15	0.18
(5)	0.36	0.45
(6)	0.31	0.37
(7)	0.56	0.66
(8)	0.30	0.35
(9)	0.18	0.20
(10)	0.20	0.22



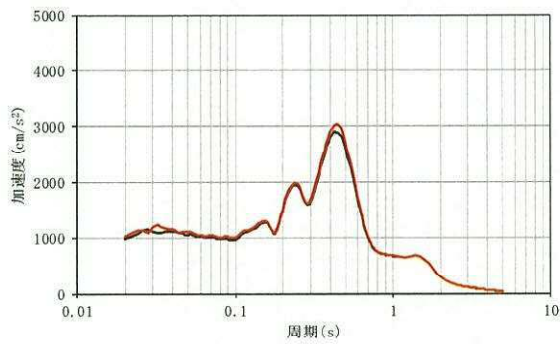
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



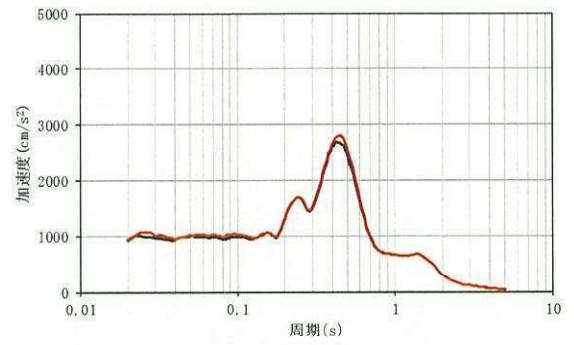
質点番号 1



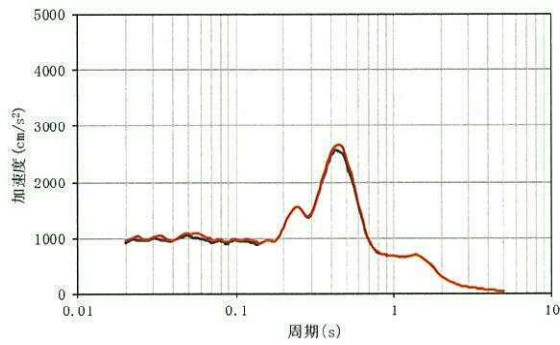
質点番号 2



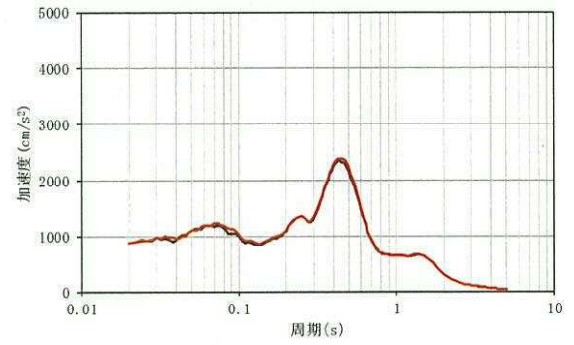
質点番号 3



質点番号 4



質点番号 5



質点番号 6

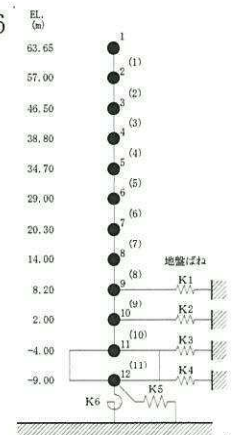
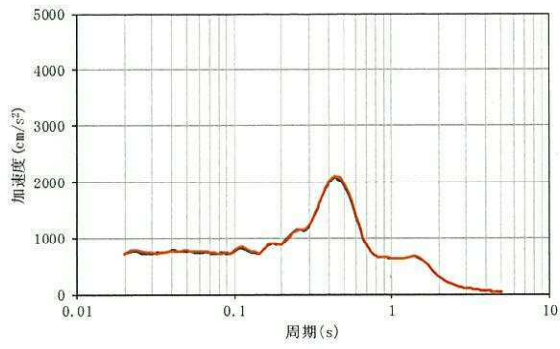
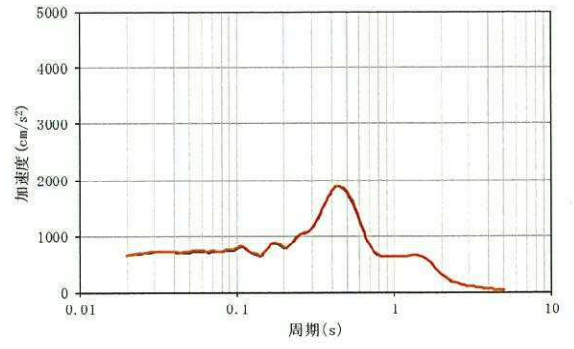


図 3-28 床応答スペクトルの比較 (S_s-31 , $+\sigma$ ケース, NS 方向, 減衰 5 %) (1/2)

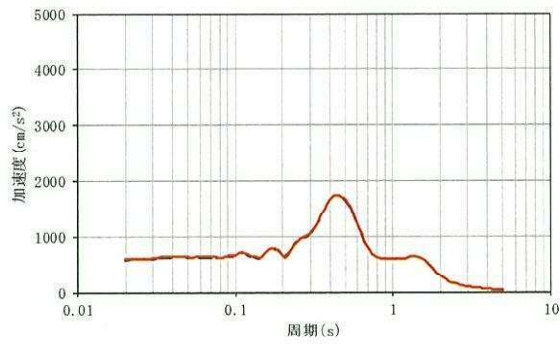
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



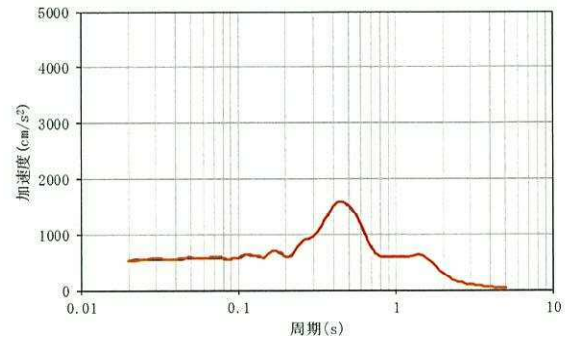
質点番号 7



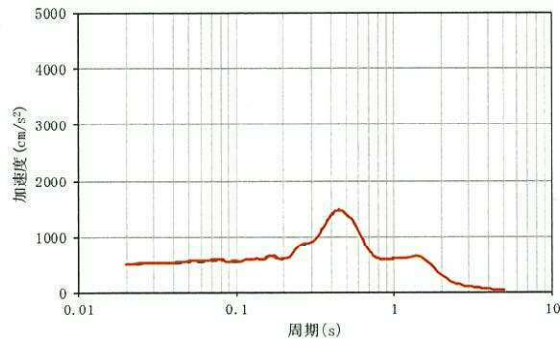
質点番号 8



質点番号 9



質点番号 10



質点番号 11

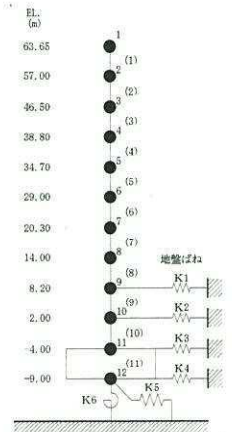
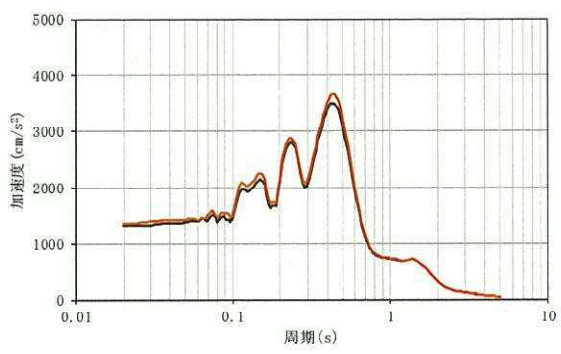
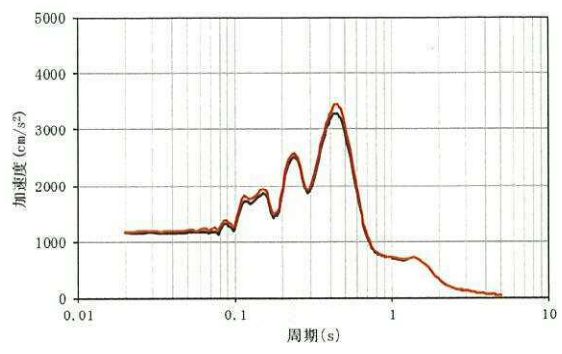


図 3-28 床応答スペクトルの比較 (S_s-31 , $+\sigma$ ケース, NS 方向, 減衰 5 %) (2/2)

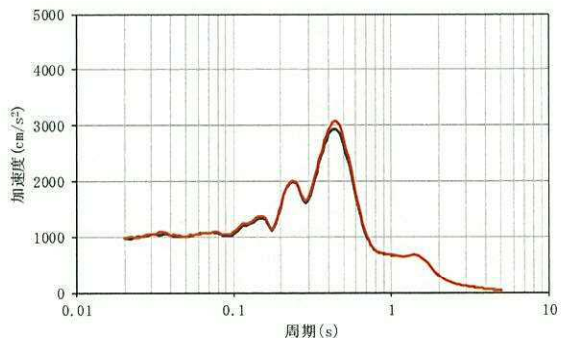
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



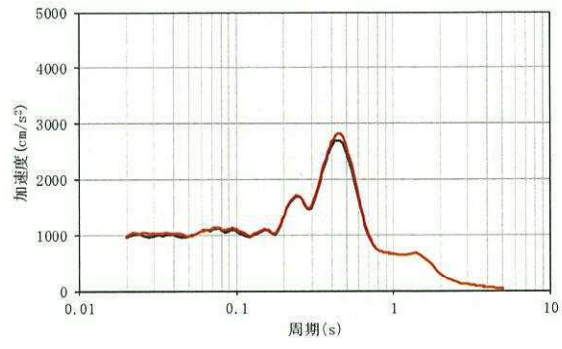
質点番号 1



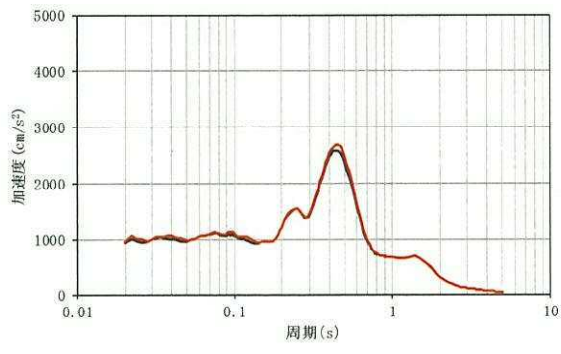
質点番号 2



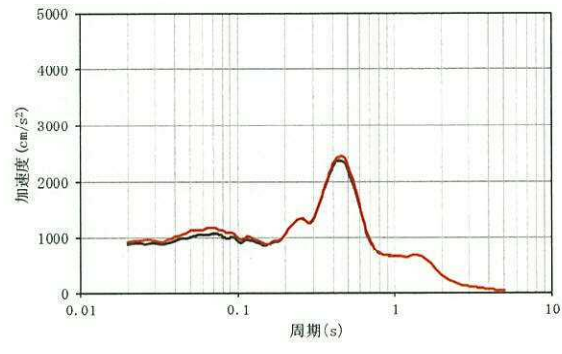
質点番号 3



質点番号 4



質点番号 5



質点番号 6

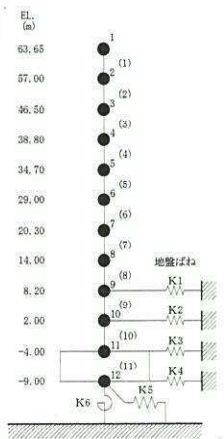
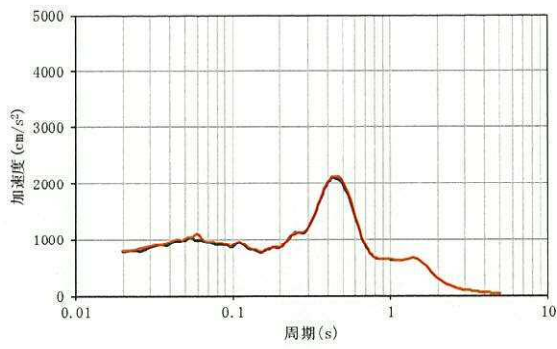
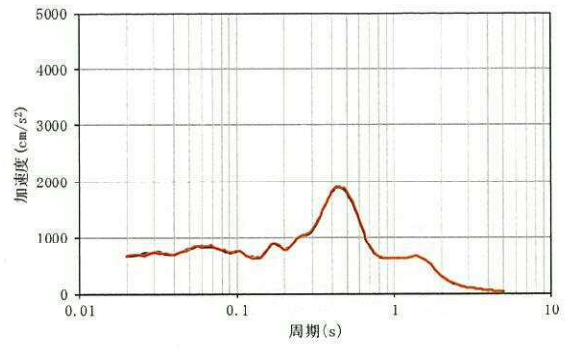


図 3-29 床応答スペクトルの比較 (S_s-3 1, +σ ケース, EW 方向, 減衰 5 %) (1/2)

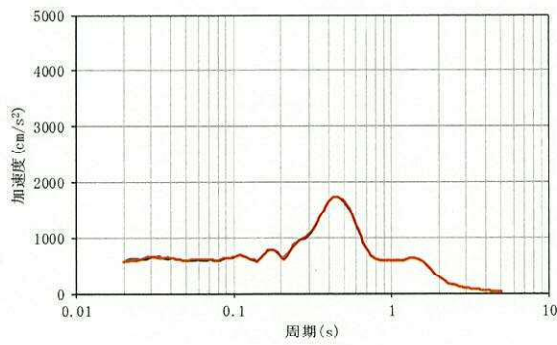
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



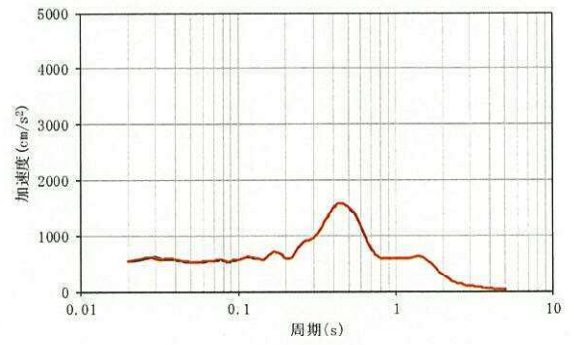
質点番号 7



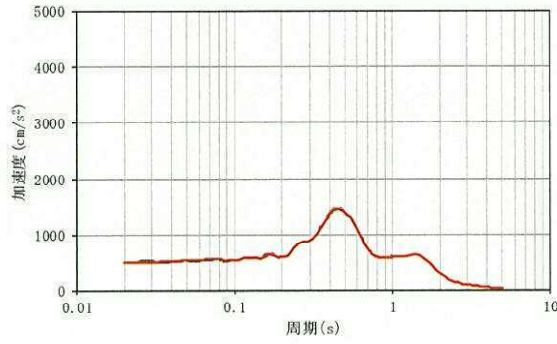
質点番号 8



質点番号 9



質点番号 10



質点番号 11

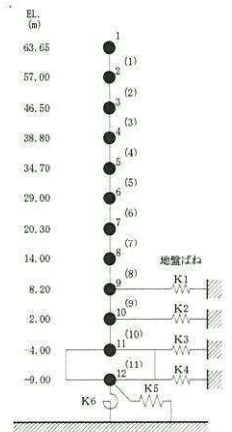


図 3-29 床応答スペクトルの比較 ($S_s=3.1$, $+\sigma$ ケース, EW 方向, 減衰 5 %) (2/2)

4. 機器・配管系の評価に与える影響

重大事故等時の高温による影響に対して設備の評価に与える影響確認を行う。影響確認は、原子炉建屋の地震応答解析結果を適用する設備と建屋－機器連成解析結果を適用して評価を行う設備に対して行う。

4.1 原子炉建屋の地震応答解析結果による影響

原子炉建屋の地震応答解析結果の応答を用いて耐震評価を実施する設備について影響検討を行う。影響検討は、今回工認モデルによる床応答スペクトルと剛性低下考慮モデルによる床応答スペクトルとの比較により行う。また比較に用いる今回工認モデルの床応答スペクトルは、周期軸方向に10%拡幅する。

図4-1に床応答スペクトルの比較を示す。図4-1に示すとおり一部周期帯で剛性低下考慮モデル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。原子炉建屋に設置される設備については、今回工認モデルの床応答スペクトルに設計上の配慮から震度を1.5倍又は材料物性のばらつきを考慮した応答を適用し耐震計算を実施していることから、剛性低下考慮モデルの応答が今回工認モデルの応答を僅かに上回ったとしても問題ないとする。

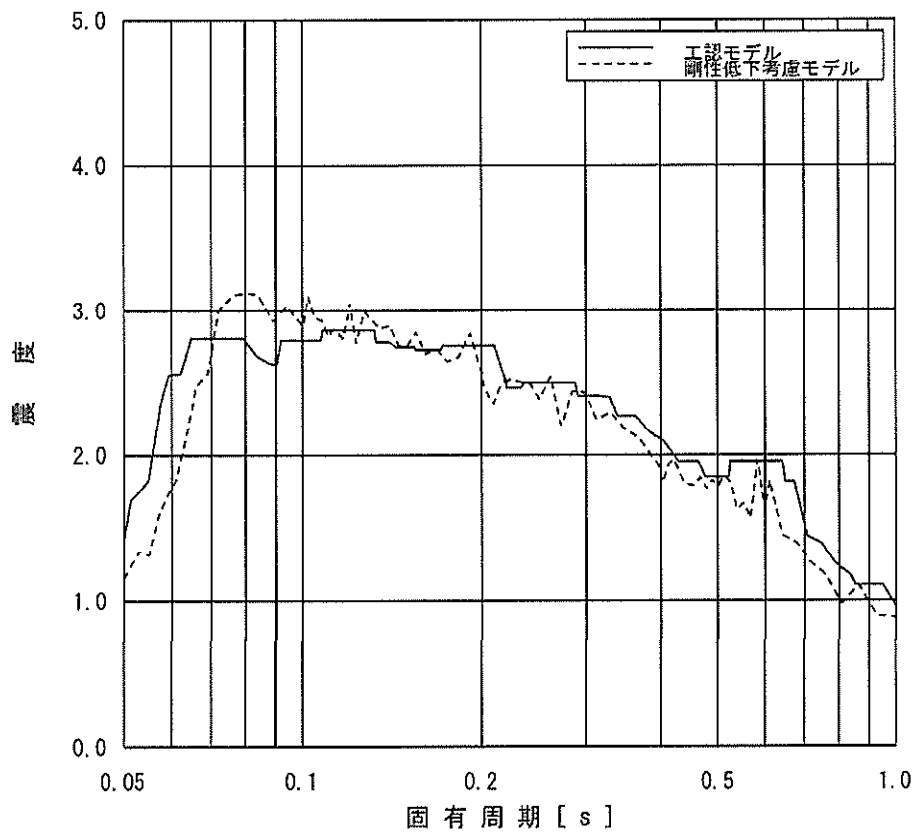
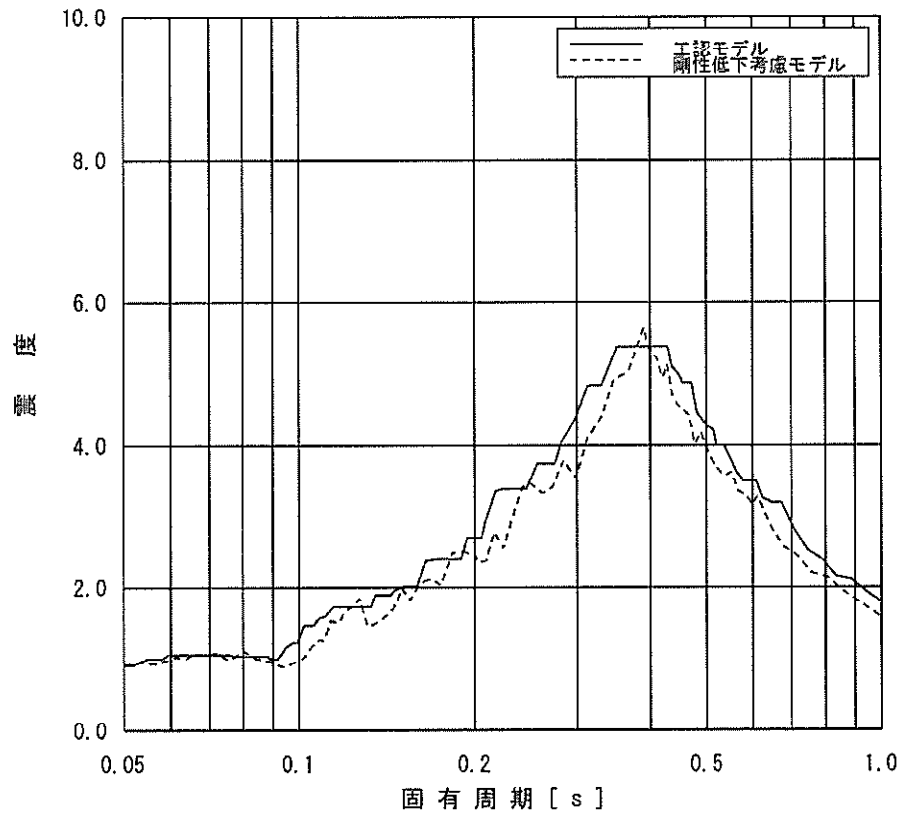


図 4-1 (1) 未応答スペクトルの比較
 (EL. 46.5m, 減衰 1.0%, 上 : 水平, 下 : 鉛直)

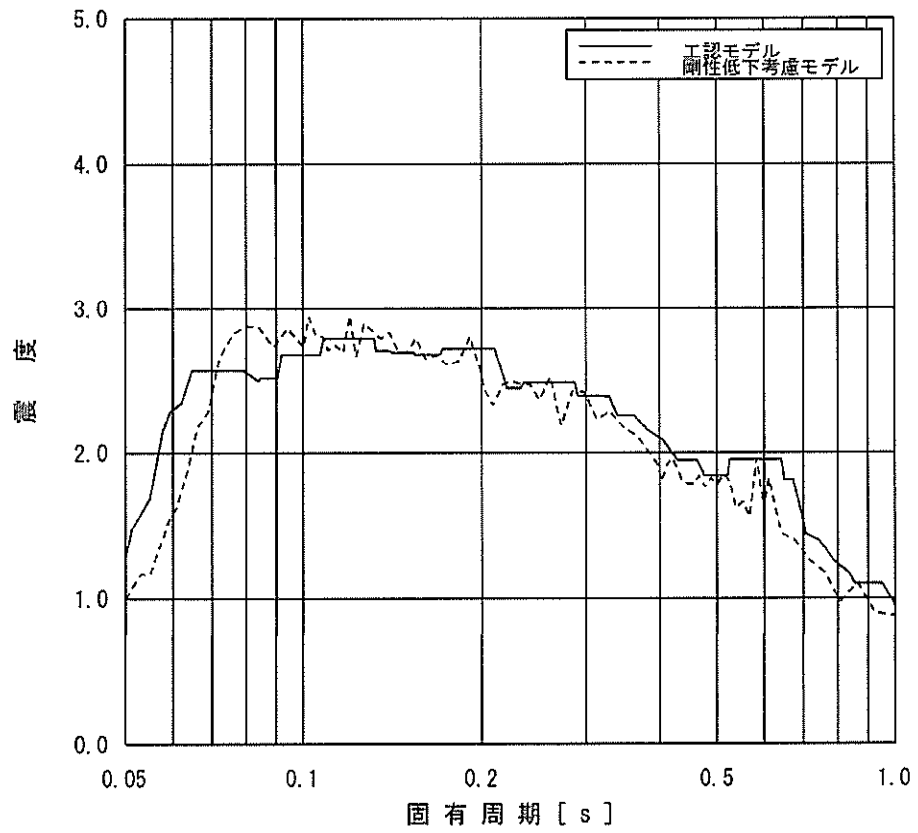
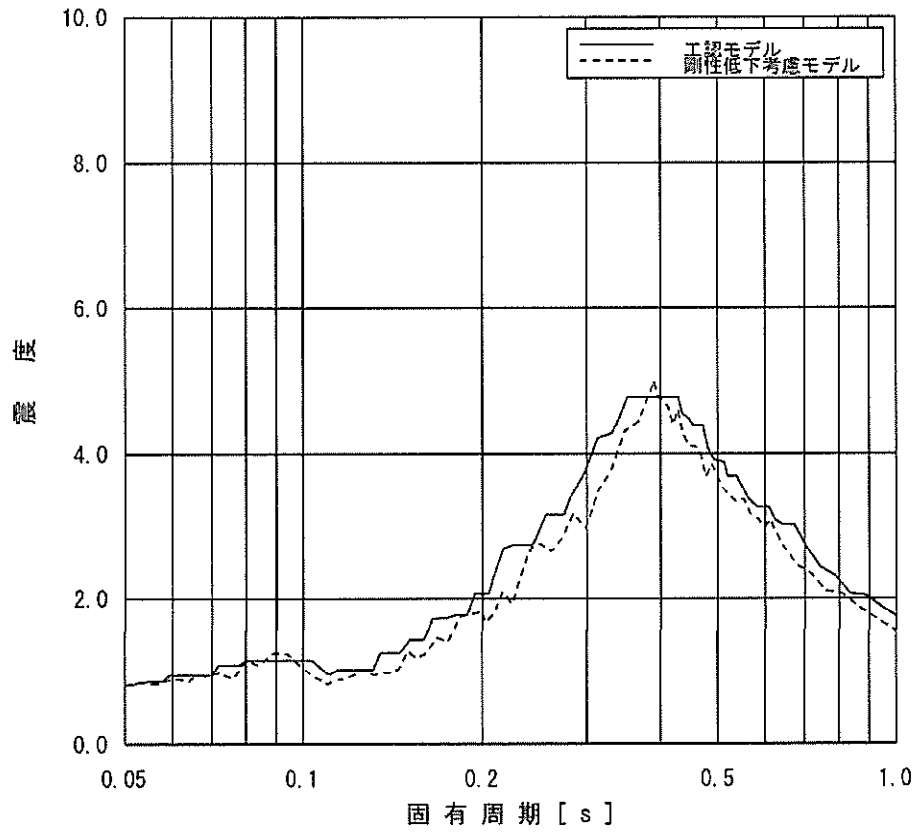


図 4-1 (2) 床応答スペクトルの比較
 (EL. 38.8m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

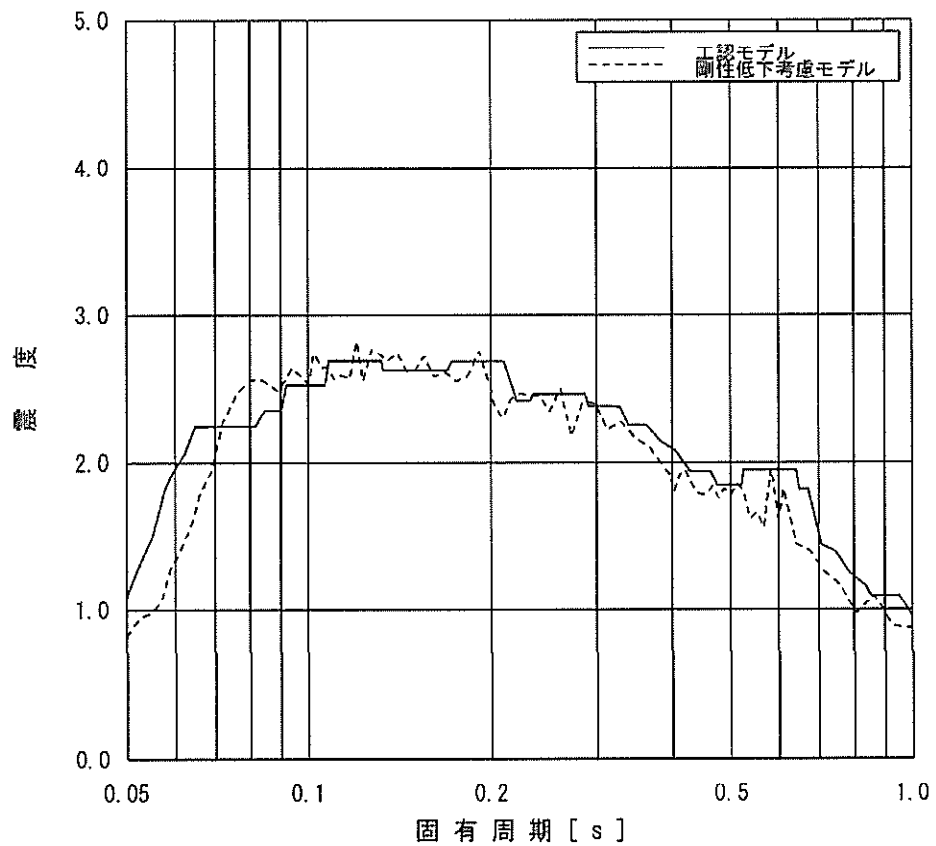
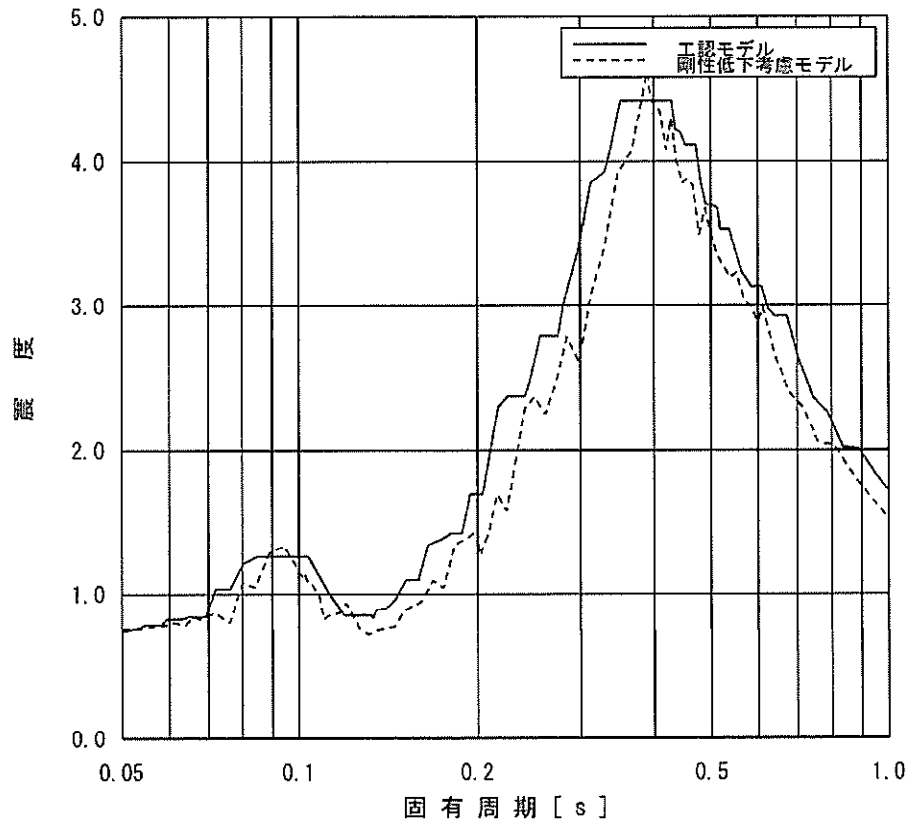


図 4-1 (3) 床応答スペクトルの比較
 (EL. 34.7m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

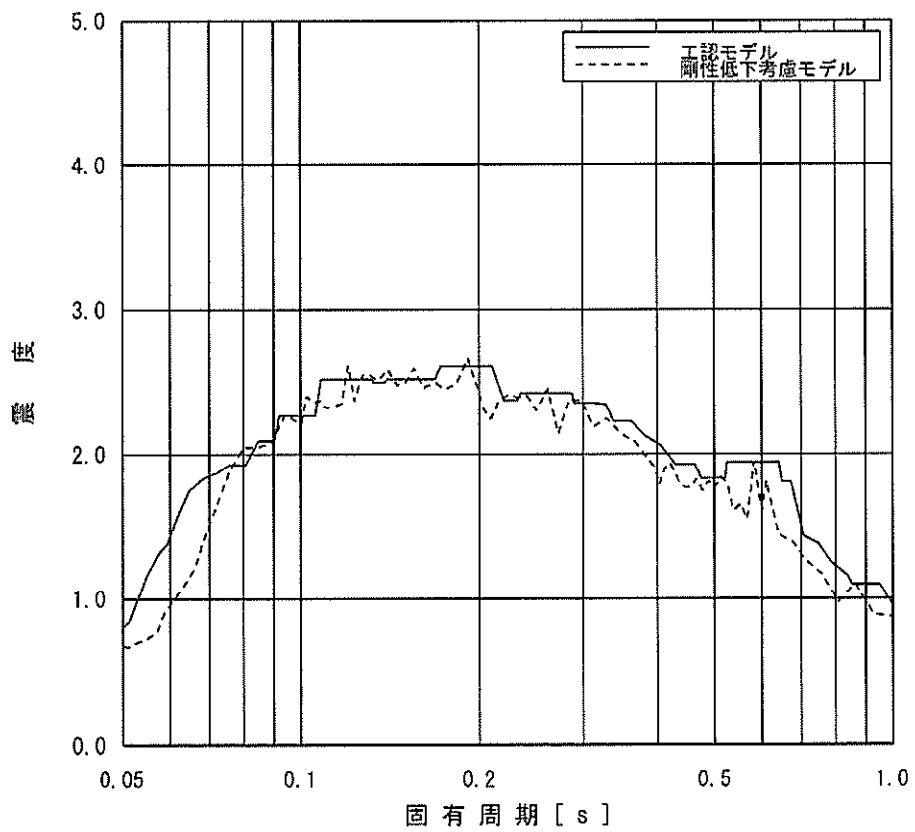
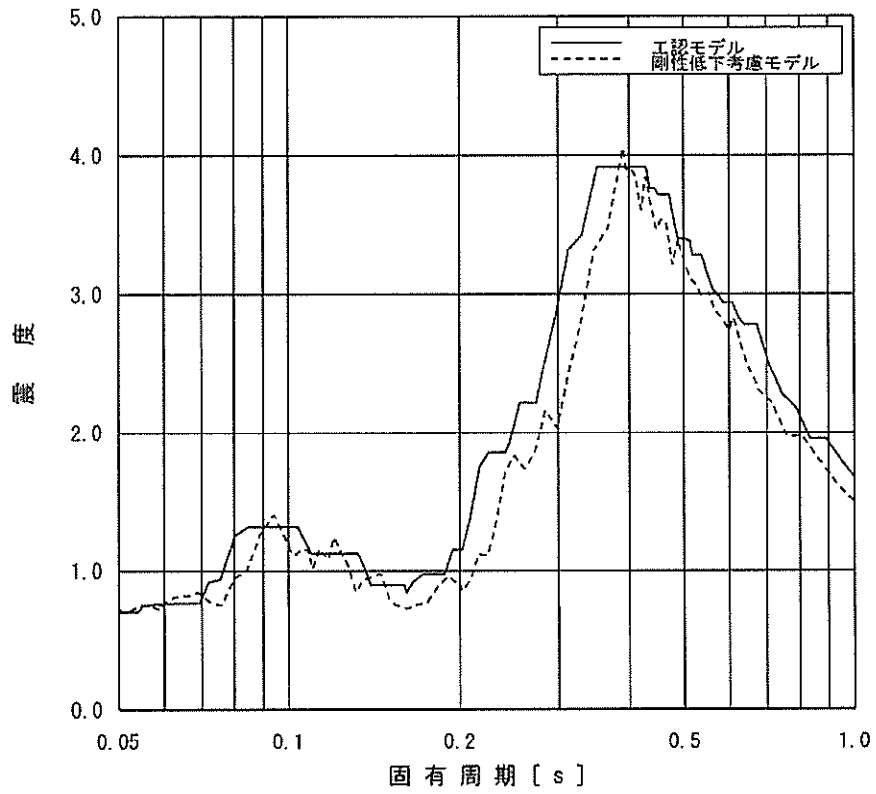


図 4-1 (4) 未応答スペクトルの比較
 (EL. 29.0m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

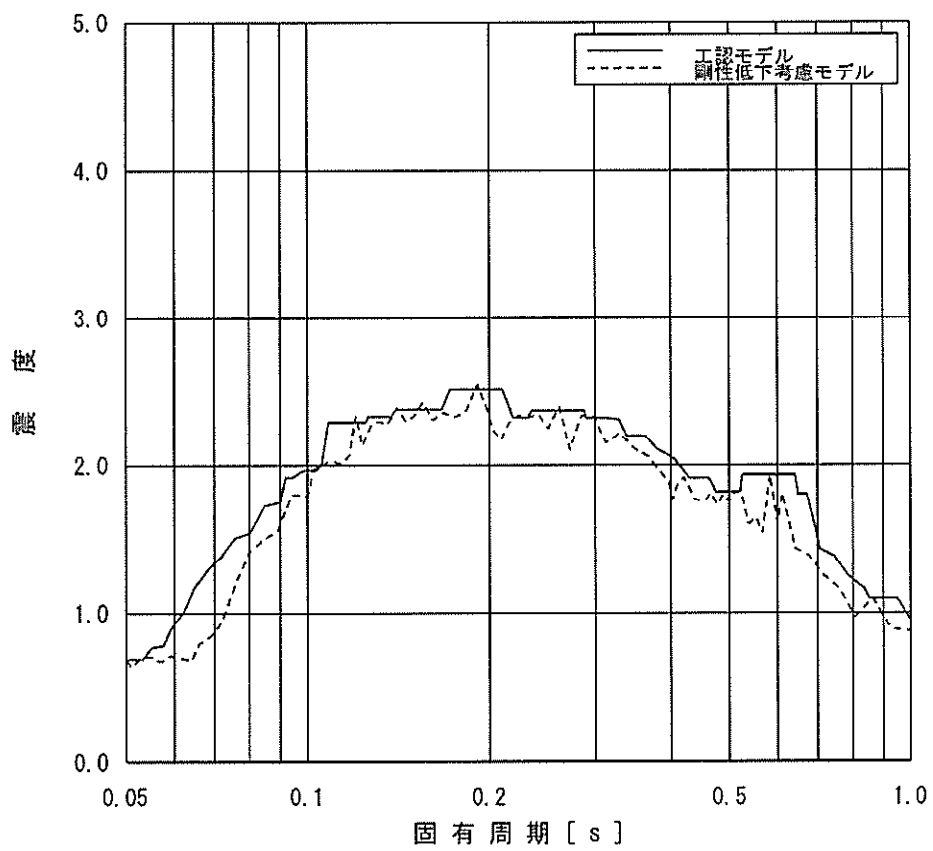
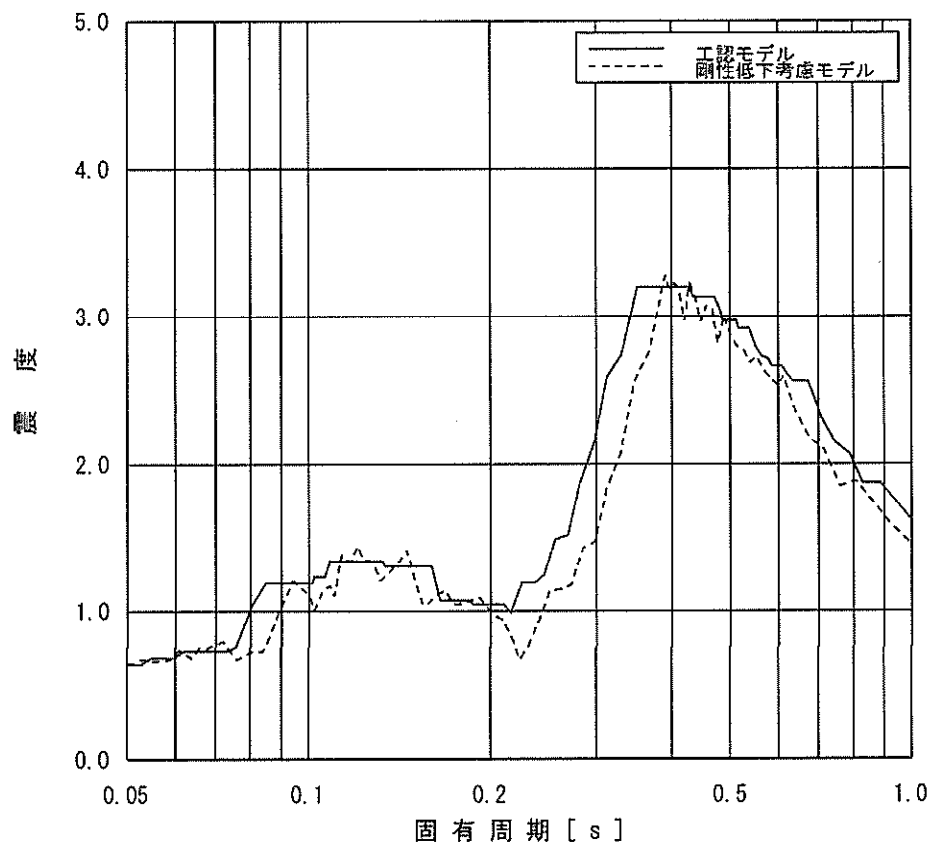


図 4-1 (5) 未応答スペクトルの比較
 (EL. 20.3m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

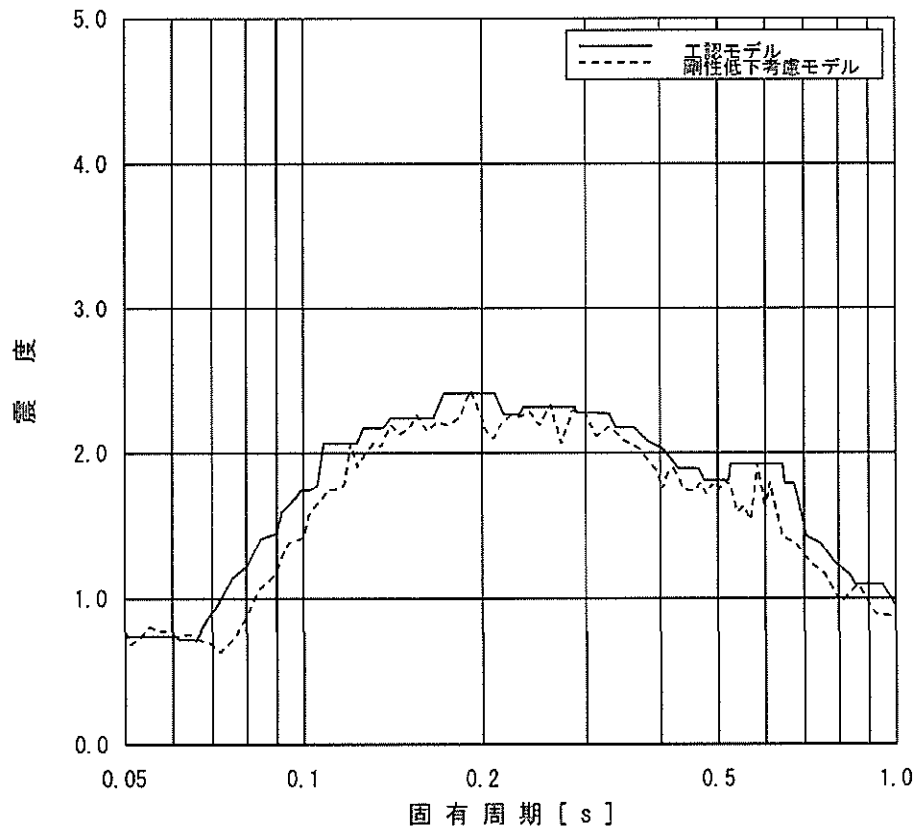
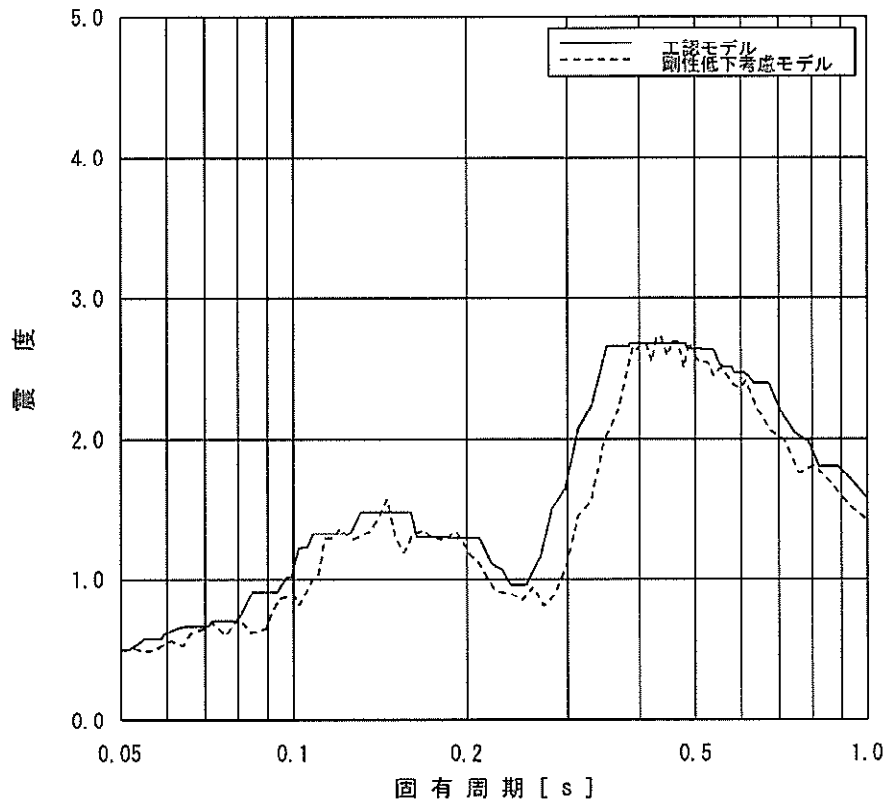


図 4-1 (6) 床応答スペクトルの比較
 (EL. 14.0m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

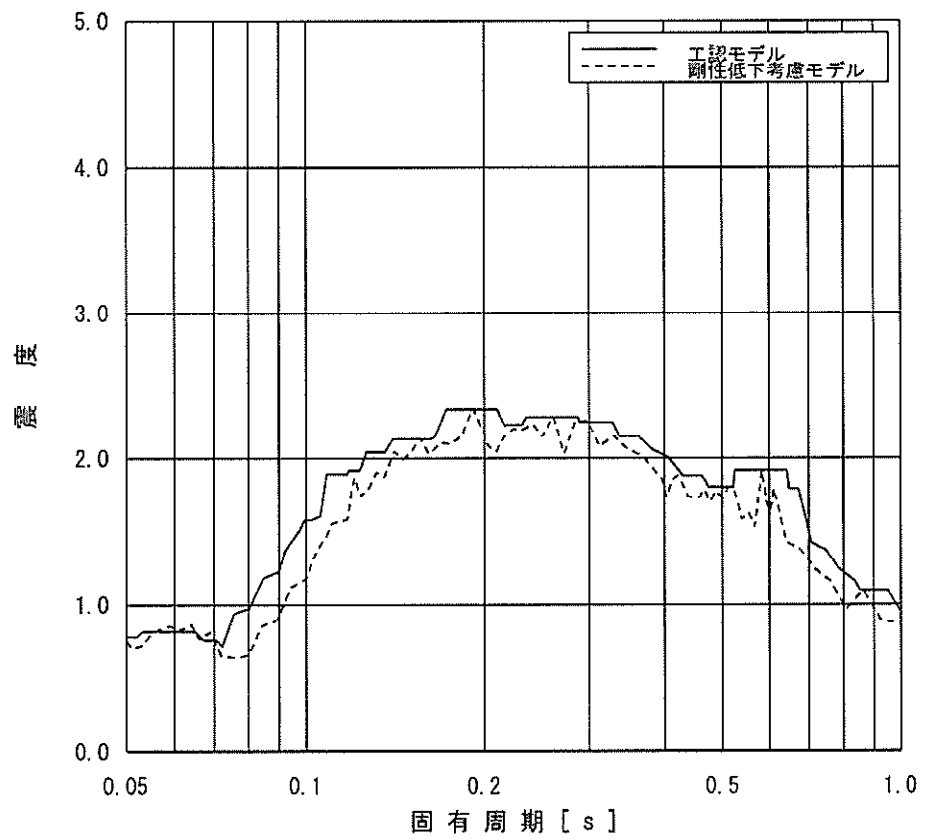
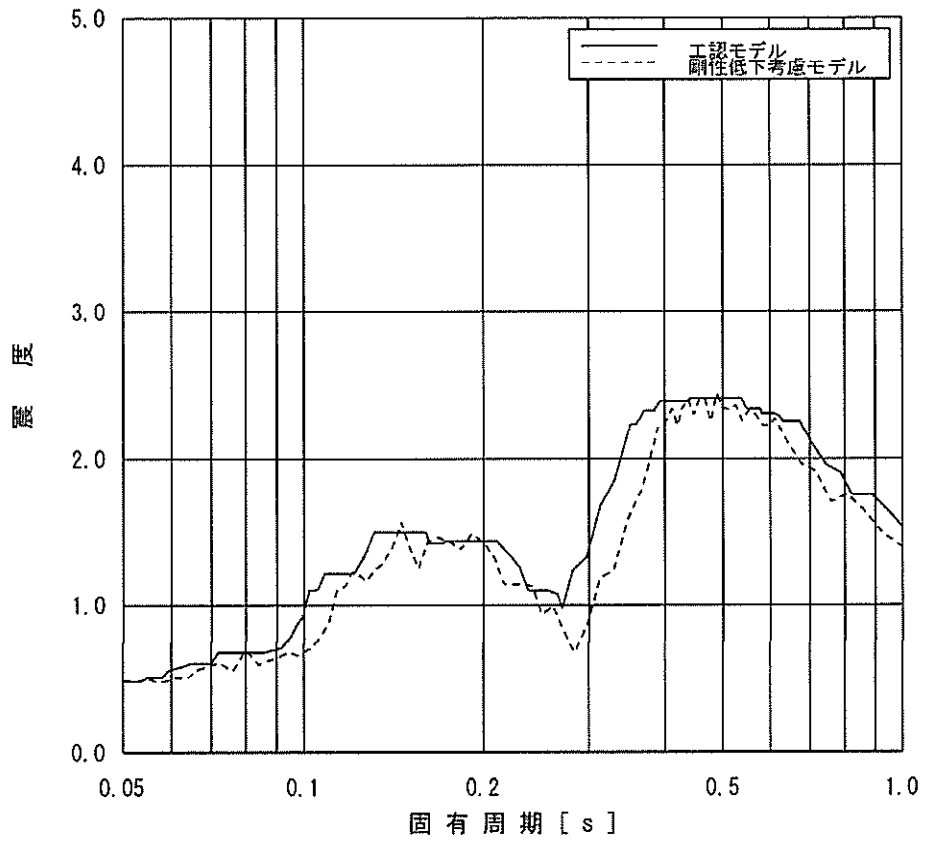


図 4-1 (7) 未応答スペクトルの比較
(EL. 8.2m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

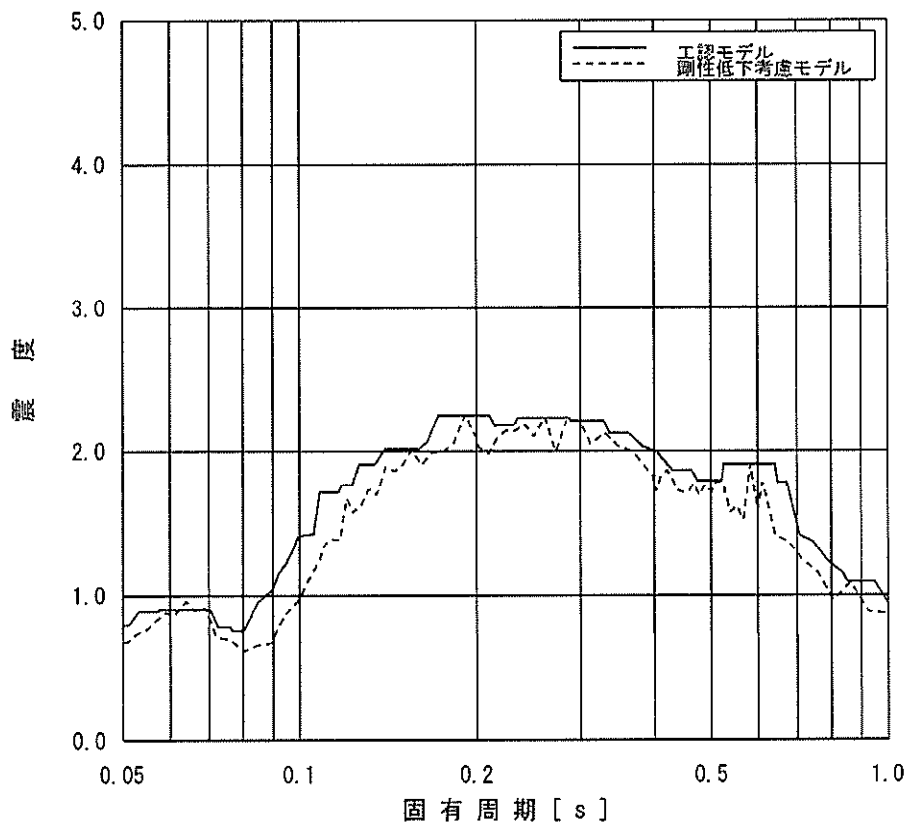
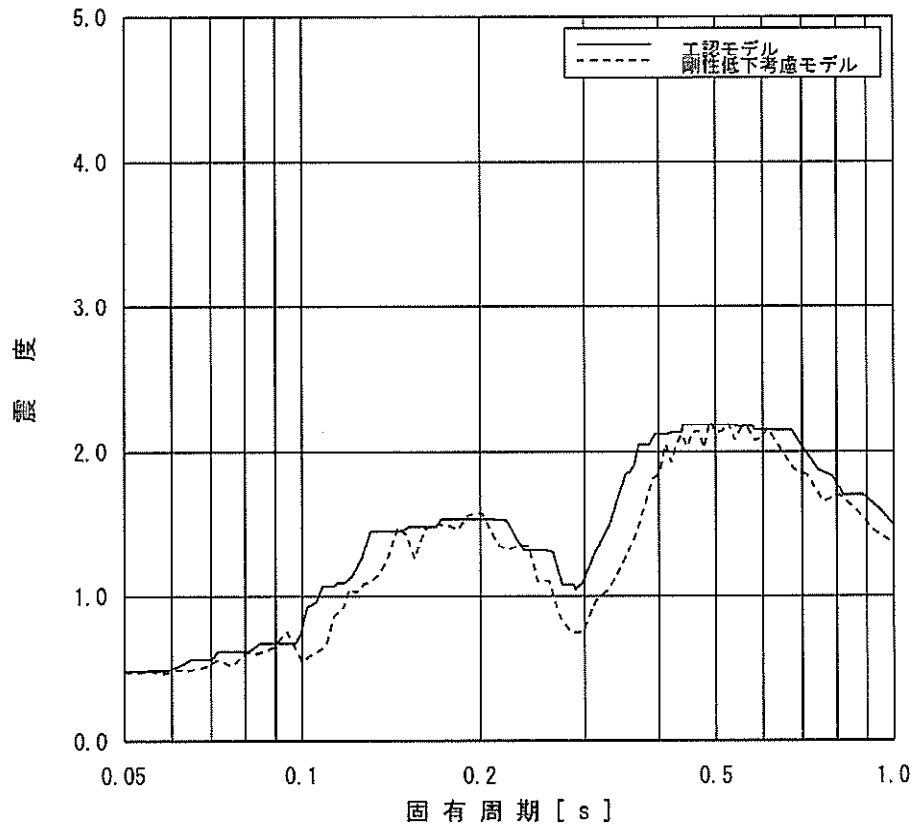


図 4-1 (8) 床応答スペクトルの比較
 (EL. 2.0m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

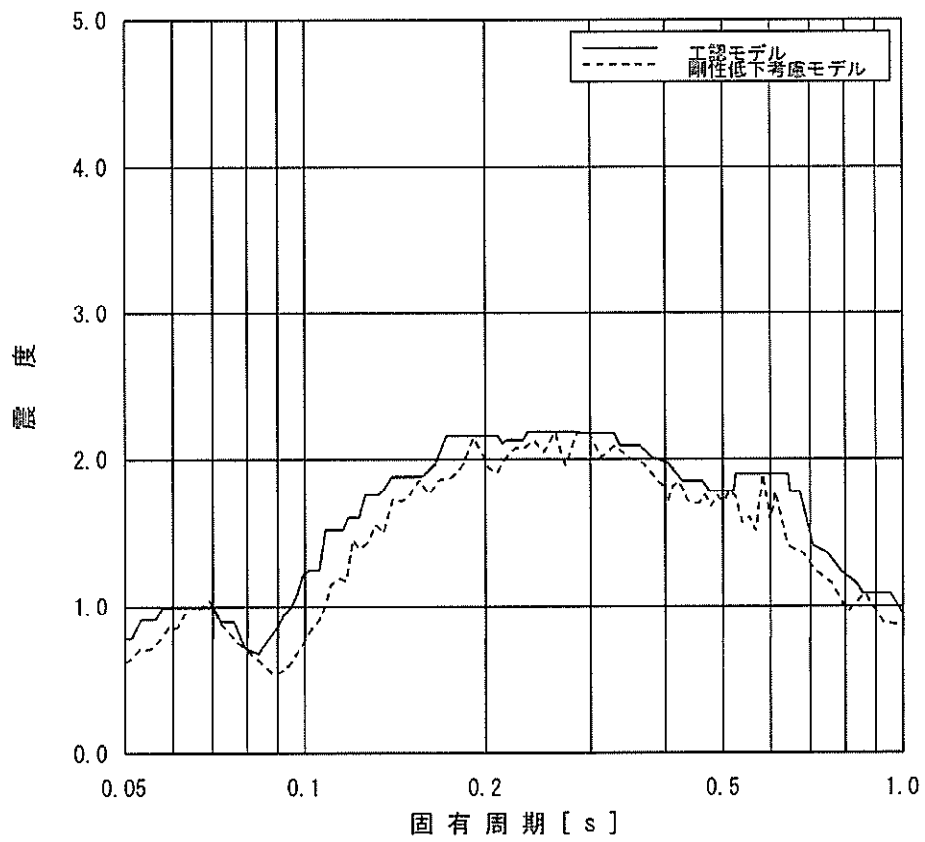
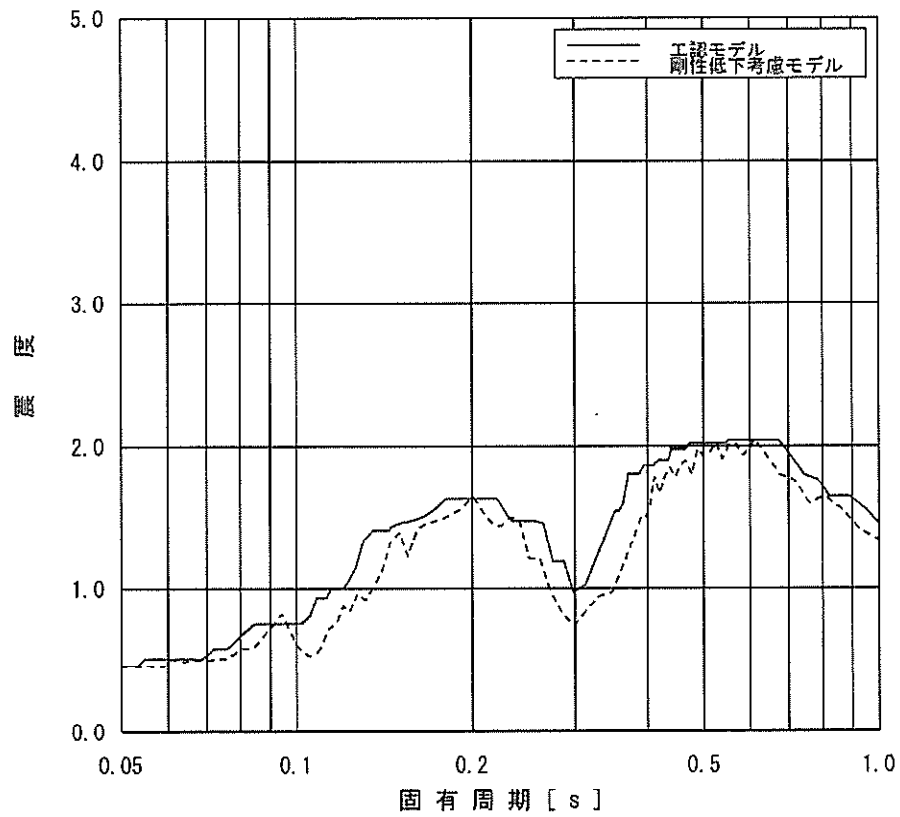


図 4-1 (8) 未応答スペクトルの比較
 (EL. -4.0m, 減衰 1.0%, 上 : 水平, 下 : 鉛直)

4.2 建屋－機器連成解析結果による影響

建屋－機器連成解析結果の応答を用いて耐震評価を実施する設備について影響検討を行う。影響検討は、今回工認に適用する建屋－機器連成解析モデル（以下「今回工認連成モデル」という。）の応答と重大事故等時の環境影響を考慮した建屋－機器連成解析モデル（以下「SA時環境考慮モデル」という。）の応答を比較することにより行う。SA時環境考慮モデルに適用する原子炉建屋部分のモデル化は剛性低下考慮モデルとする。

(1) SA時環境考慮モデルのモデル化

重大事故等時においては、原子炉格納容器内は高温状態となる。先述したとおり、コンクリート部材については、高温状態を経験すると通常運転状態に戻ったとしても、一度低下した剛性は元に戻ることはない。このため建屋－機器連成解析モデルにてコンクリート部材としてモデル化している原子炉本体の基礎、ダイヤフラム・フロアについては、原子炉建屋壁面と同様の剛性低下を見込んだ。表4-1にSA時環境考慮モデルに用いたコンクリート部材の諸元を示す。なお、原子炉遮蔽は鋼製の施設と扱うことから、コンクリート部材としての剛性低下は見込まない。有効性評価において、原子炉格納容器平均温度が最も高くなる雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温、代替冷却系を使用できない場合）による165℃に対して、剛性低下率に適用する温度は保守的な設定として200℃とし、剛性低下率は原子炉建屋の剛性低下考慮モデルと同様に「構造材料の耐火性ガイドブック（2017年 日本建築学会）」による提案値である200℃の剛性残存比0.68とする。

また、基準地震動 S_s と組み合わせる原子炉格納容器の環境条件として、重大事故発生後の 2×10^{-1} 年後の原子炉格納容器内の状態を包含して設定した値として、表4-2の値を適用した。

原子炉圧力容器の水位、燃料状態等の炉内環境は、重大事故等時により変化する。重大事故等時の原子炉圧力容器のモデル化においては、耐震評価では重心位置が高いほうが地震時の応答が大きくなる傾向があることから、SA環境考慮モデルにおける炉内水位及び燃料状態としては、燃料破損や冷却材喪失等の状態を考慮せず今回工認連成モデルの諸元を適用して解析を実施する。本条件を含めて、原子炉圧力容器、原子炉格納容器等の鋼製材料についてのSA環境考慮モデルの諸元設定方法について、表4-3に示す。

SA時環境考慮モデルにおける固有値解析結果を表4-4に、振動モード図を図4-3～図4-5に示す。

表4-1 SA時環境考慮モデルに用いたコンクリート部材の諸元

	検討に用いた コンクリート温度	剛性低下率*1
原子炉本体の基礎	200℃	0.68
ダイヤフラム・フロア	200℃	0.68

* 1 図4-2を参照

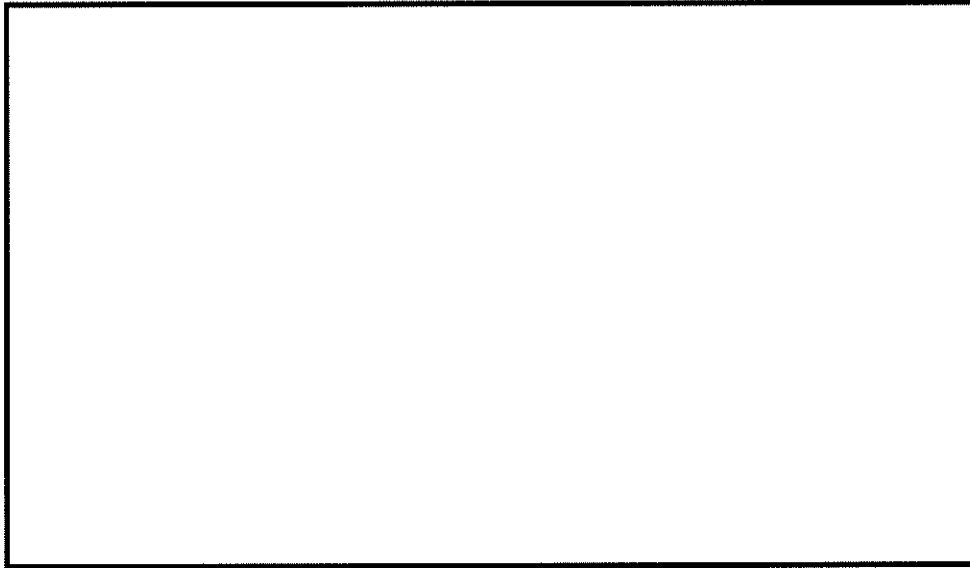


図4-2 コンクリートのヤング係数残存比

表4-2 SA時環境考慮モデルに適用する解析条件

項目		通常運転時	SA時環境考慮モデル	SA時環境考慮モデル設定の考え方
原子炉格納容器鋼板部温度(°C)	ドライウエル部	66		2×10 ⁻¹ 年(70日)後の壁面温度約135°C及びサプレッション・プール水位9.391mを包含させた値。*1
	サプレッション・チェンバ部	32		
サプレッション・プール水位(m)		7.22 (EL+3.22)		

*1 各項目が厳しくなる条件として雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)(代替循環冷却系を使用できない場合)による。(東海第二発電所重大事故等対処設備について(補足説明資料)SA設-C-2)

()

表4-3 SA時環境考慮モデルに用いた鋼製施設の諸元設定方法

施設名称	項目	SA時環境考慮モデル化方法	SA時環境考慮モデル設定の考え方
原子炉圧力容器	炉内環境(水位, 燃料状態)	今回工認連成モデルを適用	重心位置が高く地震応答が大きくなる今回工認連成モデルを適用する。
	温度	150°C	2×10 ⁻¹ 年(70日)後の原子炉格納容器壁面温度約135°Cをもとに各施設同一条件として設定した値。
原子炉格納容器	温度	150°C	
スタビライザ	温度	150°C	
シアラグ	温度	150°C	

表 4-4 固有周期結果 (Ss-D1)

次数	NS 方向		EW 方向		鉛直方向	
	固有周期[s]	刺激係数	固有周期[s]	刺激係数	固有周期[s]	刺激係数
1	0.417	1.936	0.419	1.962	0.400	2.608
2	0.206	-1.204	0.206	-1.266	0.279	-1.688
3	0.197	-0.392	0.196	-0.462	0.093	0.137
4	0.142	-0.633	0.139	-0.704	0.082	-0.006
5	0.118	0.709	0.118	0.875	0.063	-0.159
6	0.108	0.158	0.110	-0.223	0.057	0.116
7	0.091	-0.387	0.092	-0.327		
8	0.085	-0.760	0.084	-0.498		
9	0.083	0.555	0.083	0.364		
10	0.076	-0.154	0.076	-0.154		
11	0.065	-0.143	0.066	-0.138		
12	0.059	-0.078	0.059	-0.085		
13	0.054	-0.017	0.053	0.008		
14	0.050	-0.052	0.050	-0.045		

参考表 今回工認連成モデルの固有周期結果 (Ss-D1)

次数	NS 方向		EW 方向		鉛直方向	
	固有周期[s]	刺激係数	固有周期[s]	刺激係数	固有周期[s]	刺激係数
1	0.411	1.915	0.413	1.941	0.399	2.561
2	0.203	-1.154	0.203	-1.214	0.276	-1.638
3	0.196	-0.175	0.195	-0.251	0.093	0.123
4	0.136	-0.638	0.134	-0.671	0.070	0.059
5	0.114	0.634	0.113	0.788	0.058	-0.374
6	0.103	0.146	0.106	-0.193	0.057	0.356
7	0.086	0.776	0.087	0.586		
8	0.084	-0.892	0.084	-0.650		
9	0.077	0.369	0.076	0.345		
10	0.063	-0.126	0.063	-0.123		
11	0.059	-0.040	0.059	-0.040		
12	0.057	-0.075	0.056	-0.082		
13	0.052	0.024	0.050	0.016		

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びびシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.417 刺激係数 ; 1.936

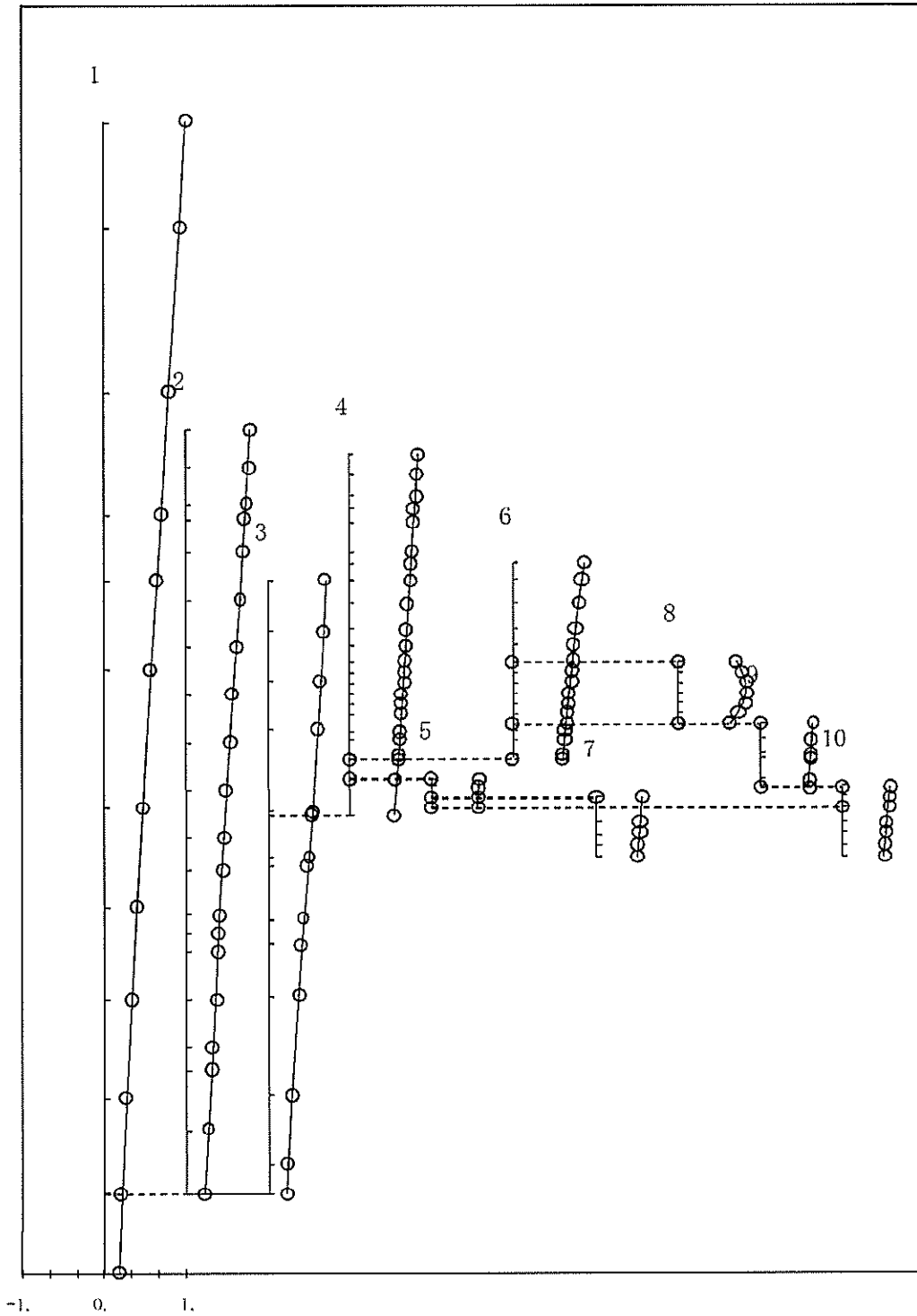


図4-3(1) 第1次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉压力容器
- 5 原子炉压力容器(下脚)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.206 刺激係数 ; -1.204

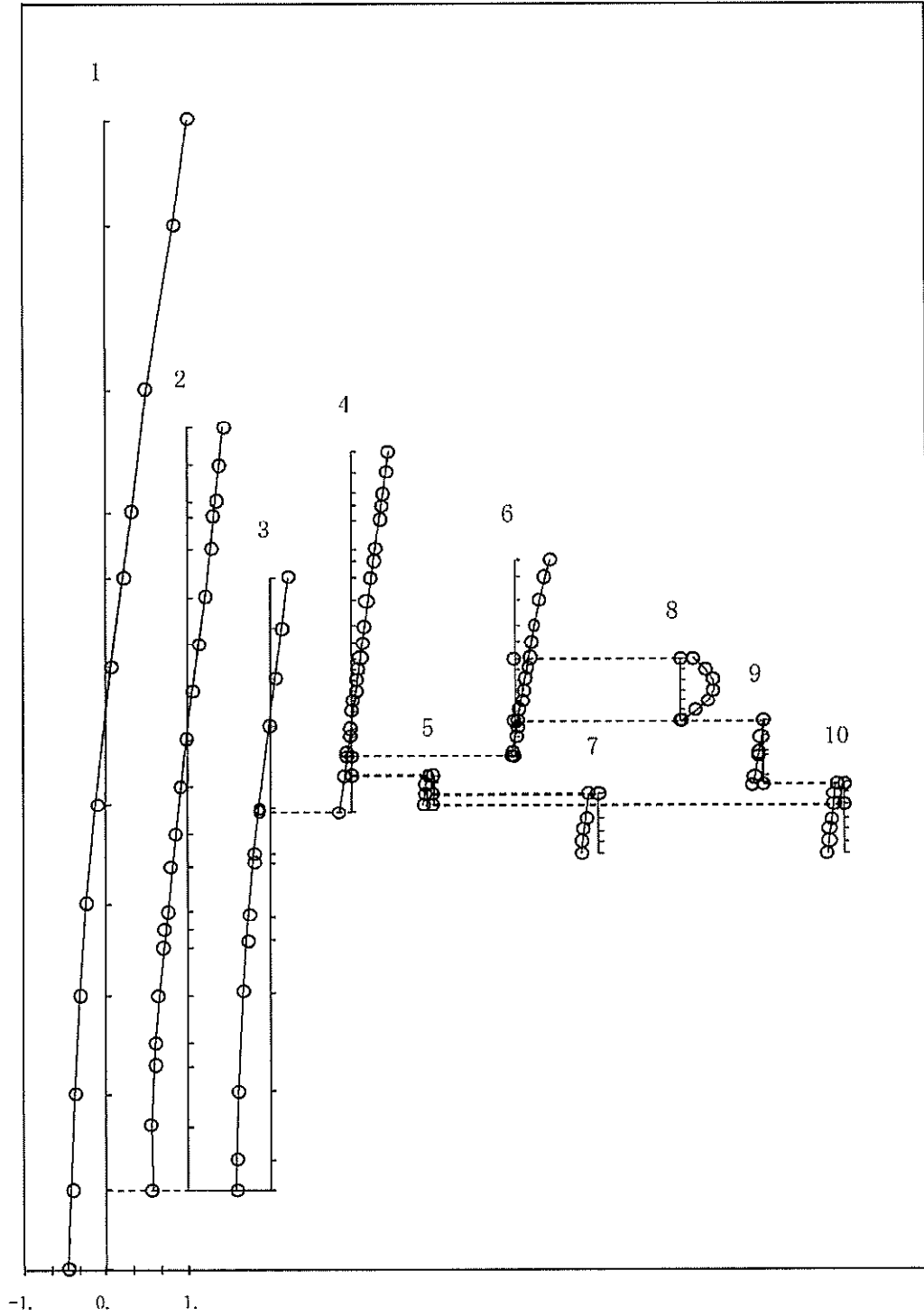


図4-3(2) 第2次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びびシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉压力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉压力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.197 刺激係数 ; -0.392

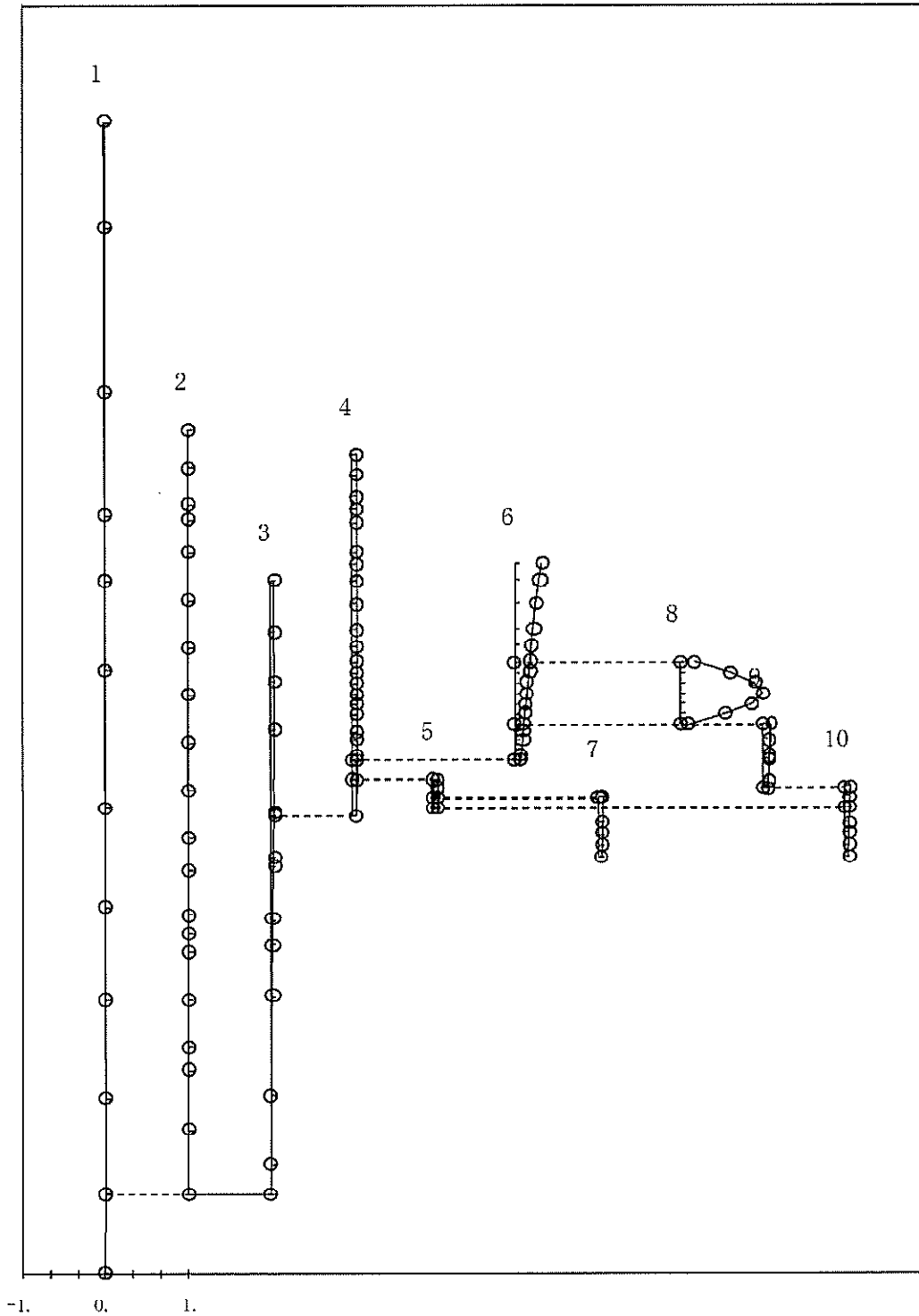


図4-3(3) 第3次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.142 刺激係数 ; -0.633

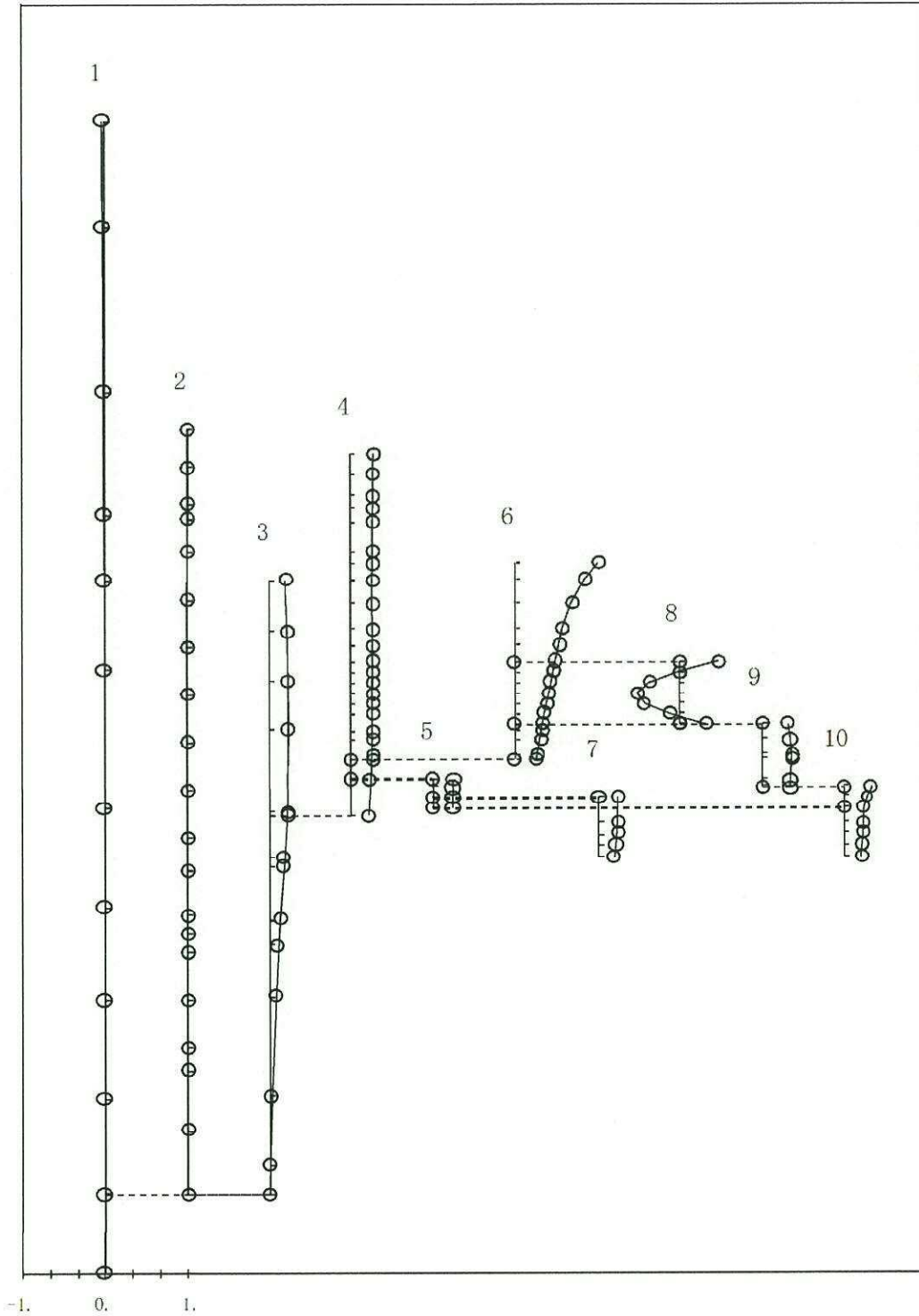


図4-3(4) 第4次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びシユラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.118 刺激係数 ; 0.709

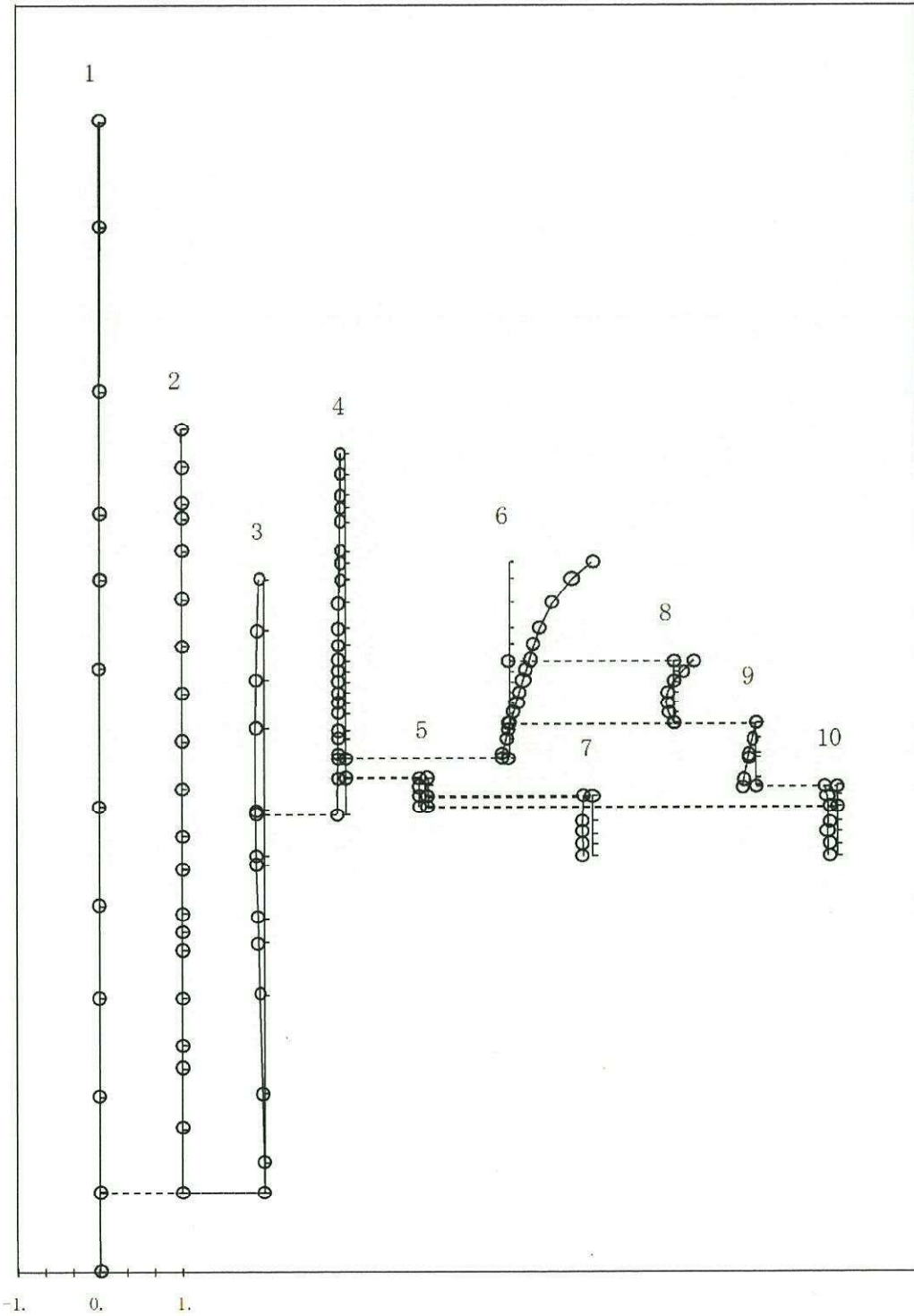


図4-3(5) 第5次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.108 刺激係数 ; 0.158

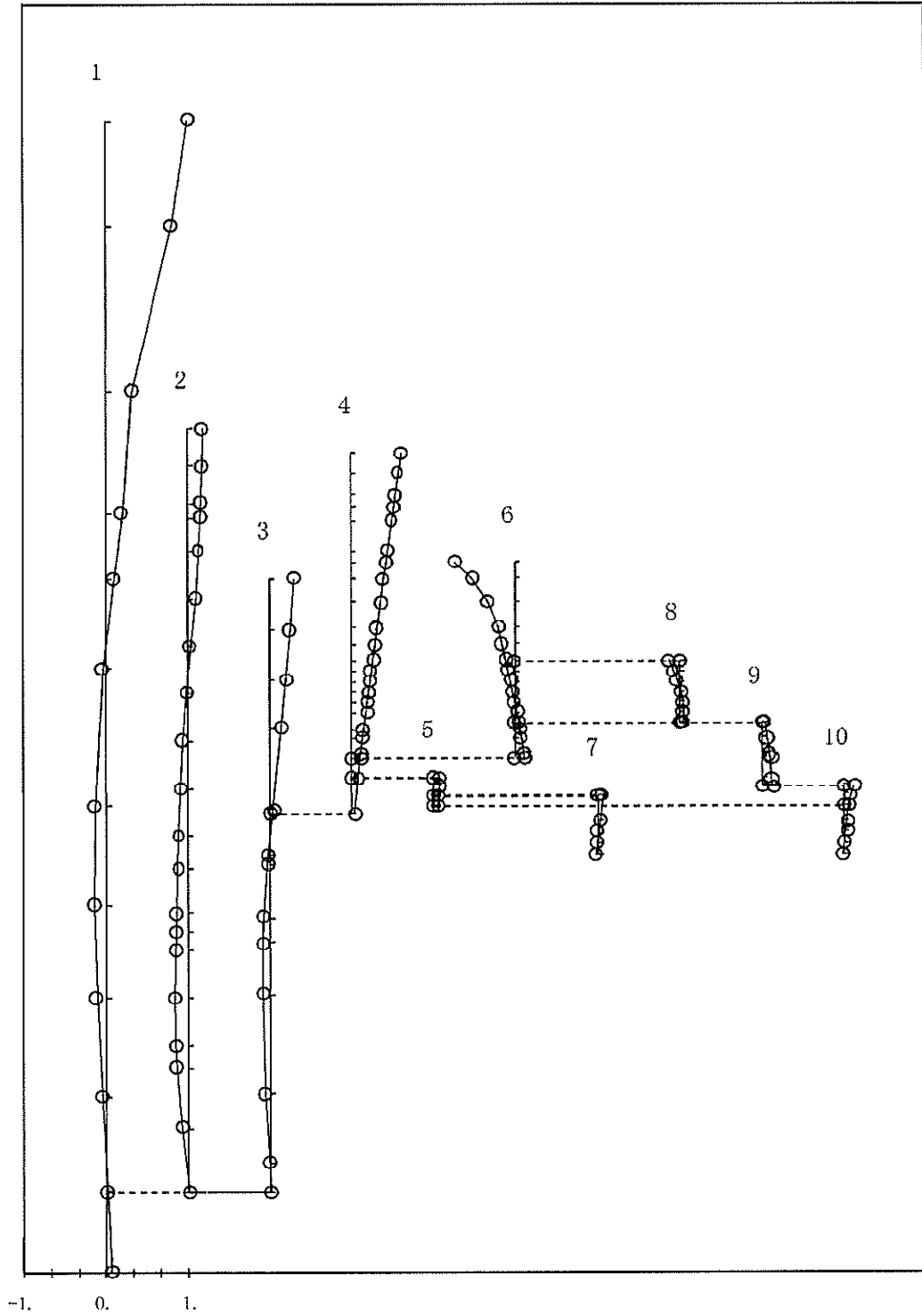


図4-3(6) 第6次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.091 刺激係数 ; -0.387

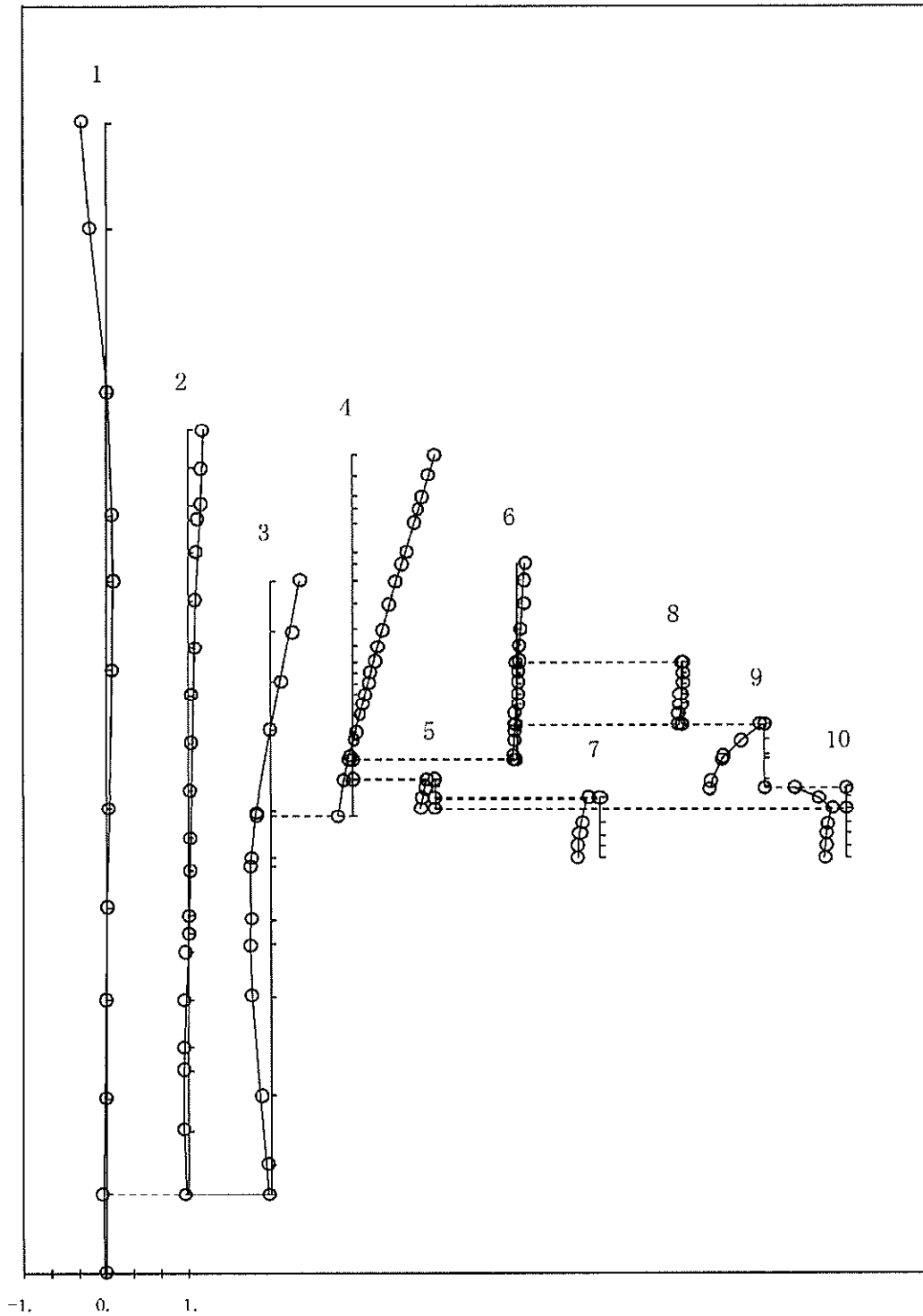


図4-3(7) 第7次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下部)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.085 刺激係数 ; -0.760

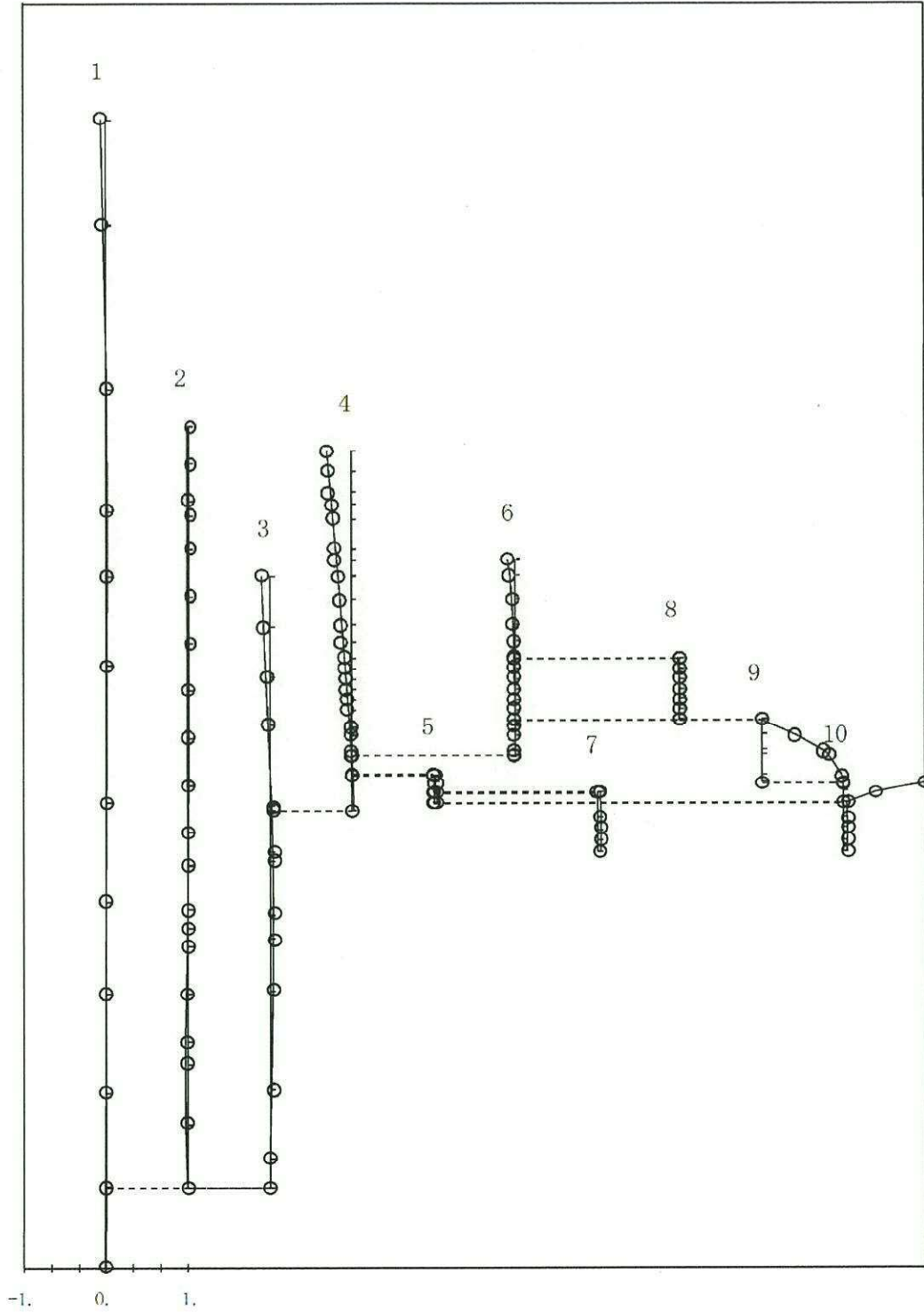


図4-3(8) 第8次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシエラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒突内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.083 刺激係数 ; 0.555

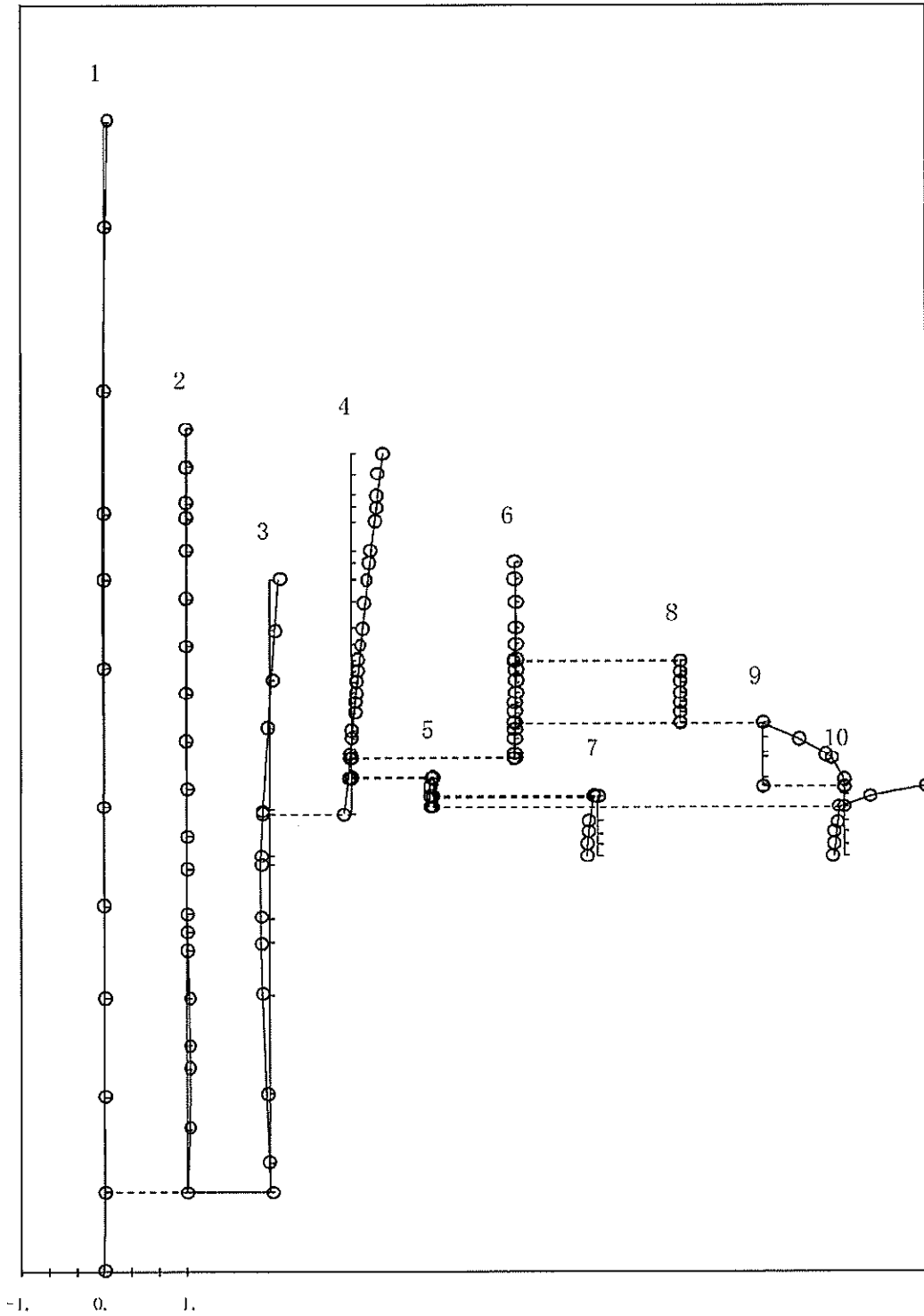


図4-3(9) 第9次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシールド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; -0.154

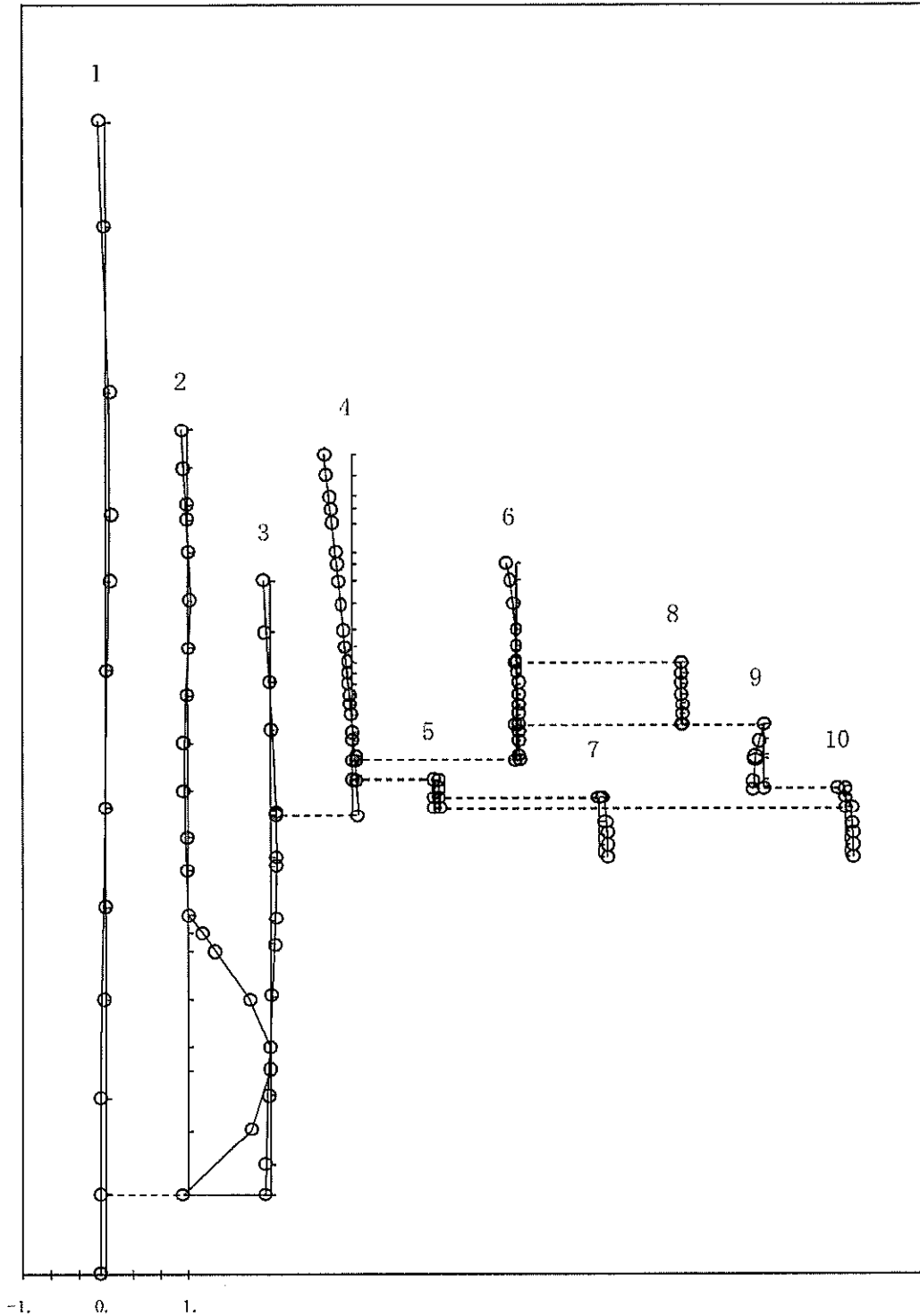


図4-3(10) 第 10次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びびシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.065 刺激係数 ; -0.143

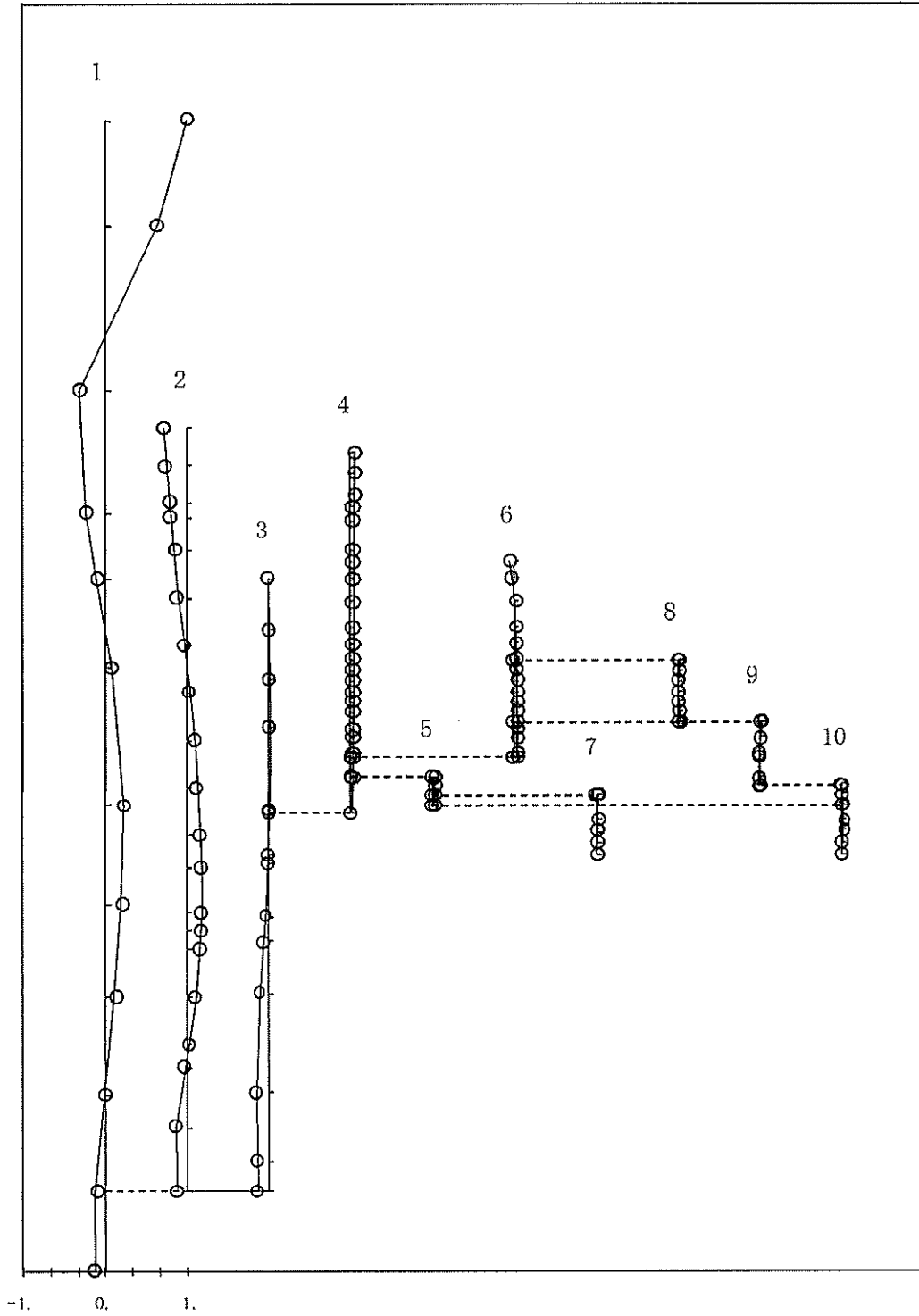


図4-3(11) 第 11次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; -0.078

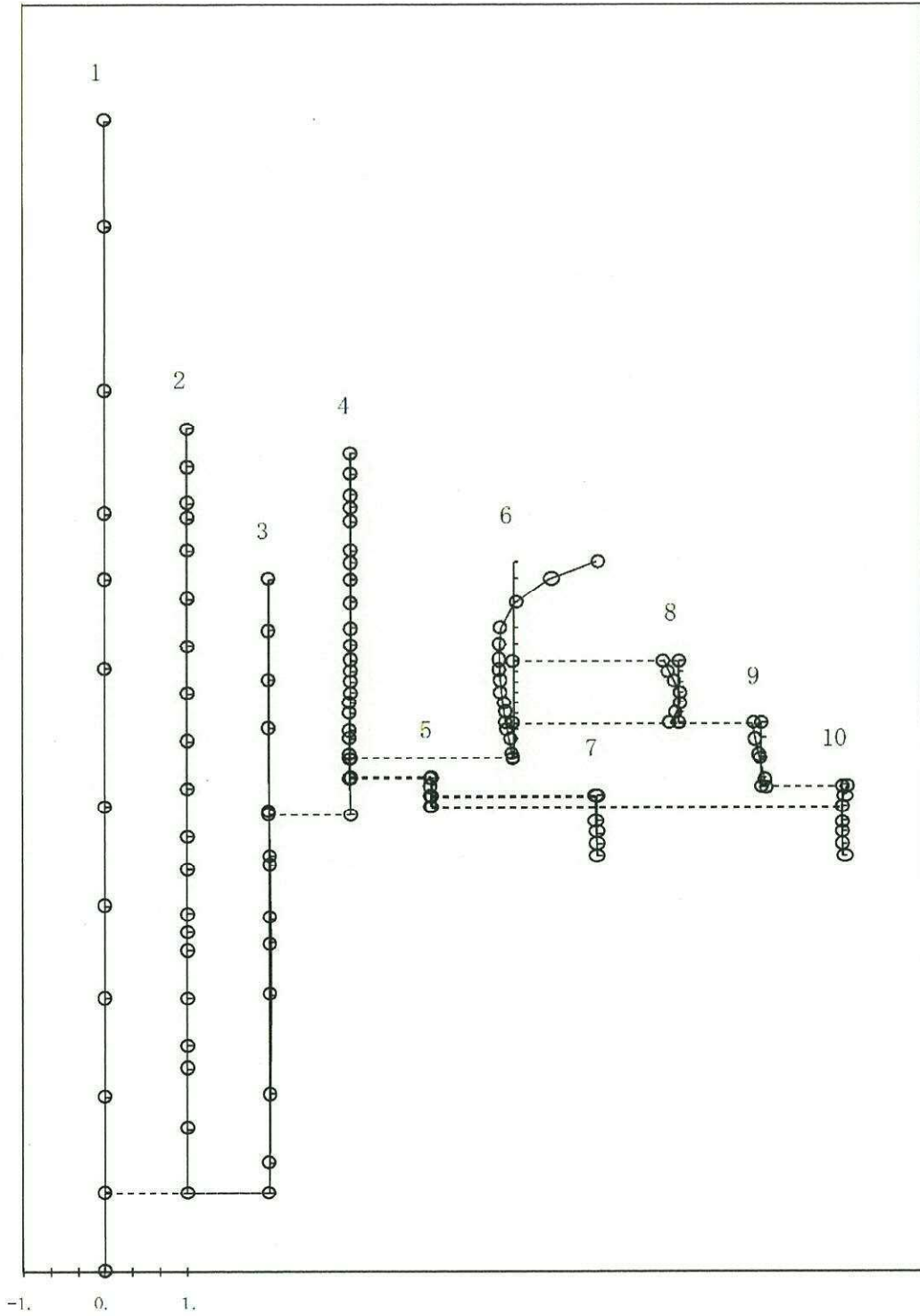


図4-3(12) 第12次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.054 刺激係数 ; -0.017

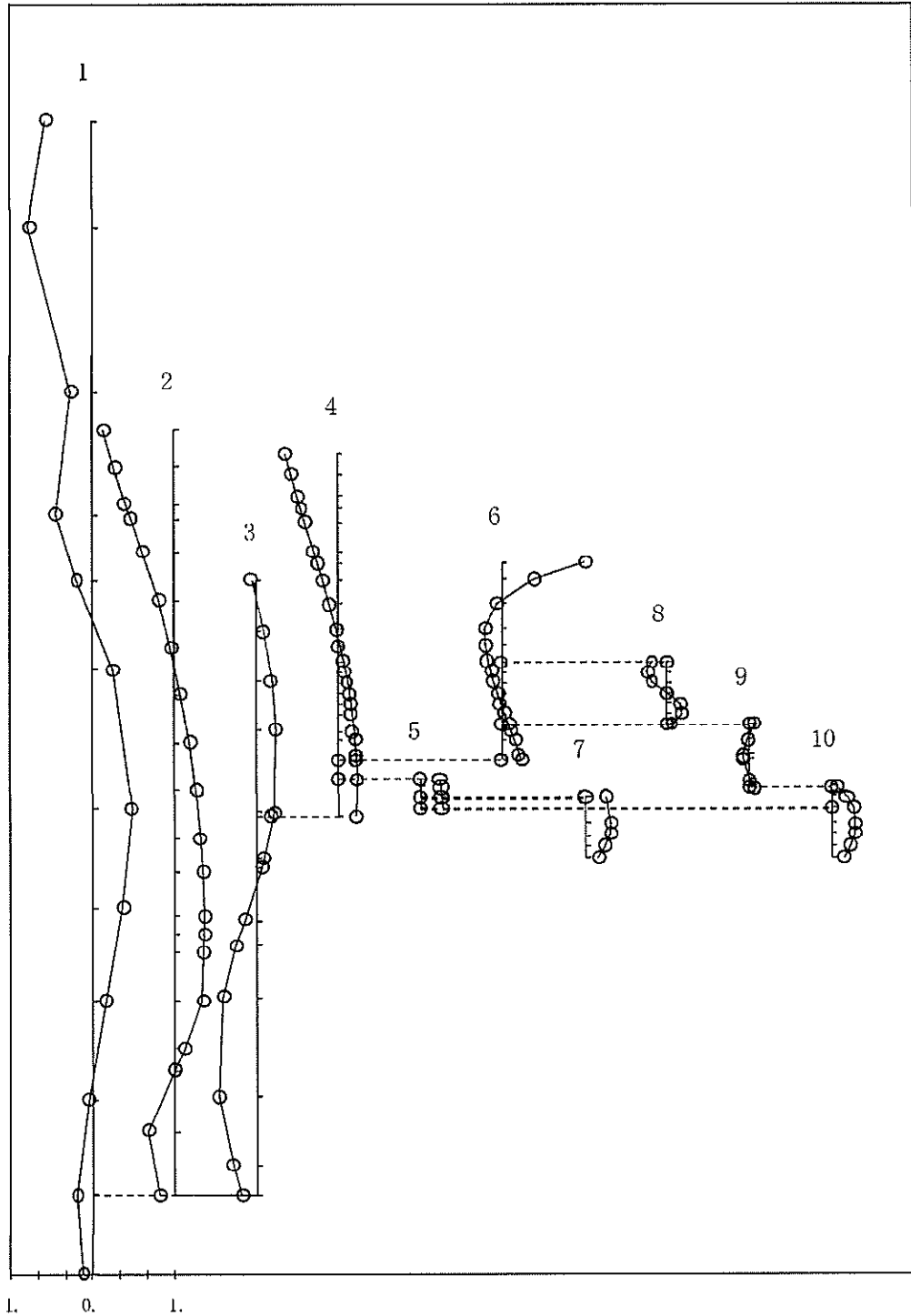


図4-3(13) 第13次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.050 刺激係数 ; -0.052

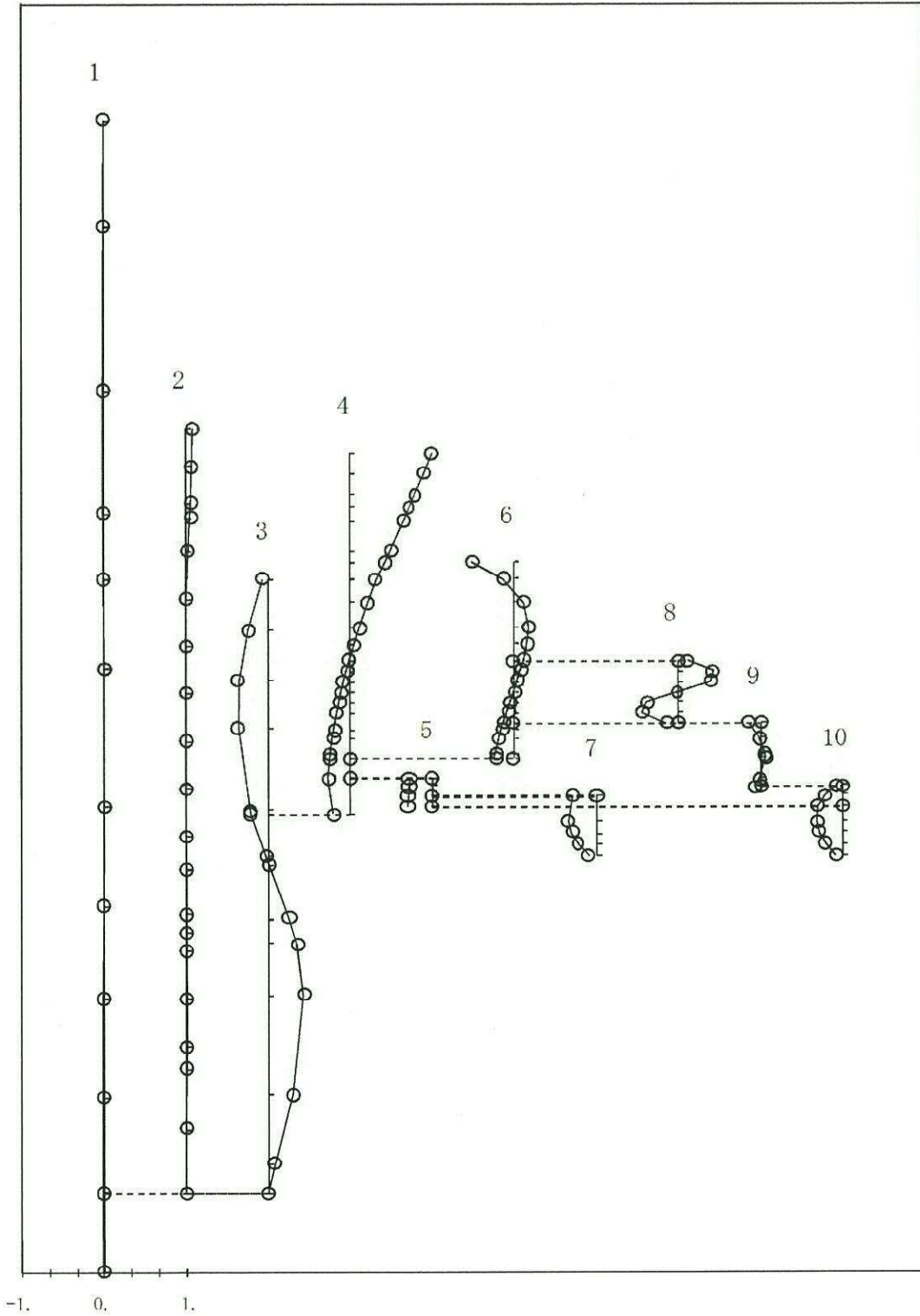


図4-3(14) 第 14次振動モード (NS方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.419 刺激係数 ; 1.962

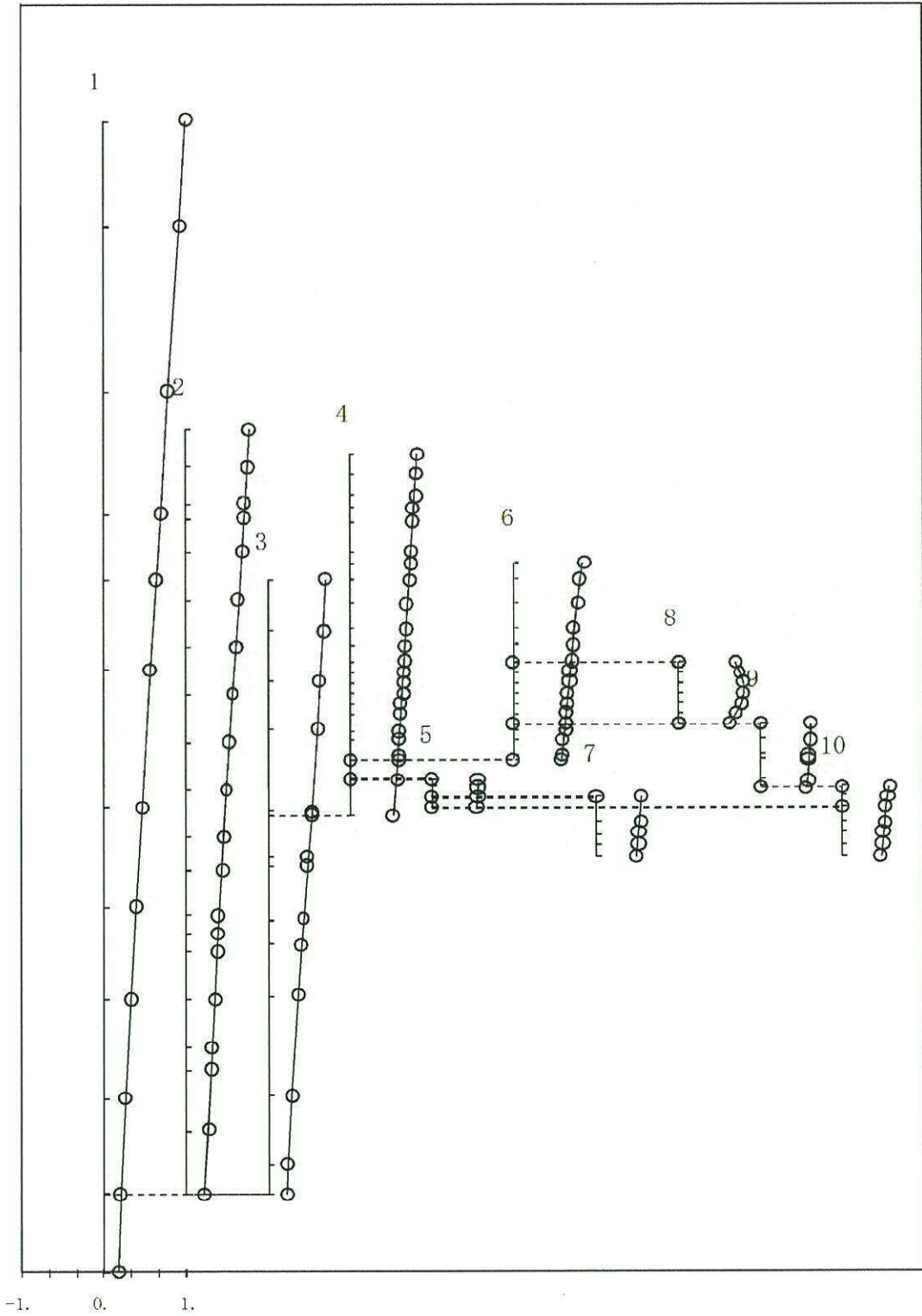


図4-4(1) 第 1次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシユジウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.206 刺激係数 ; -1.266

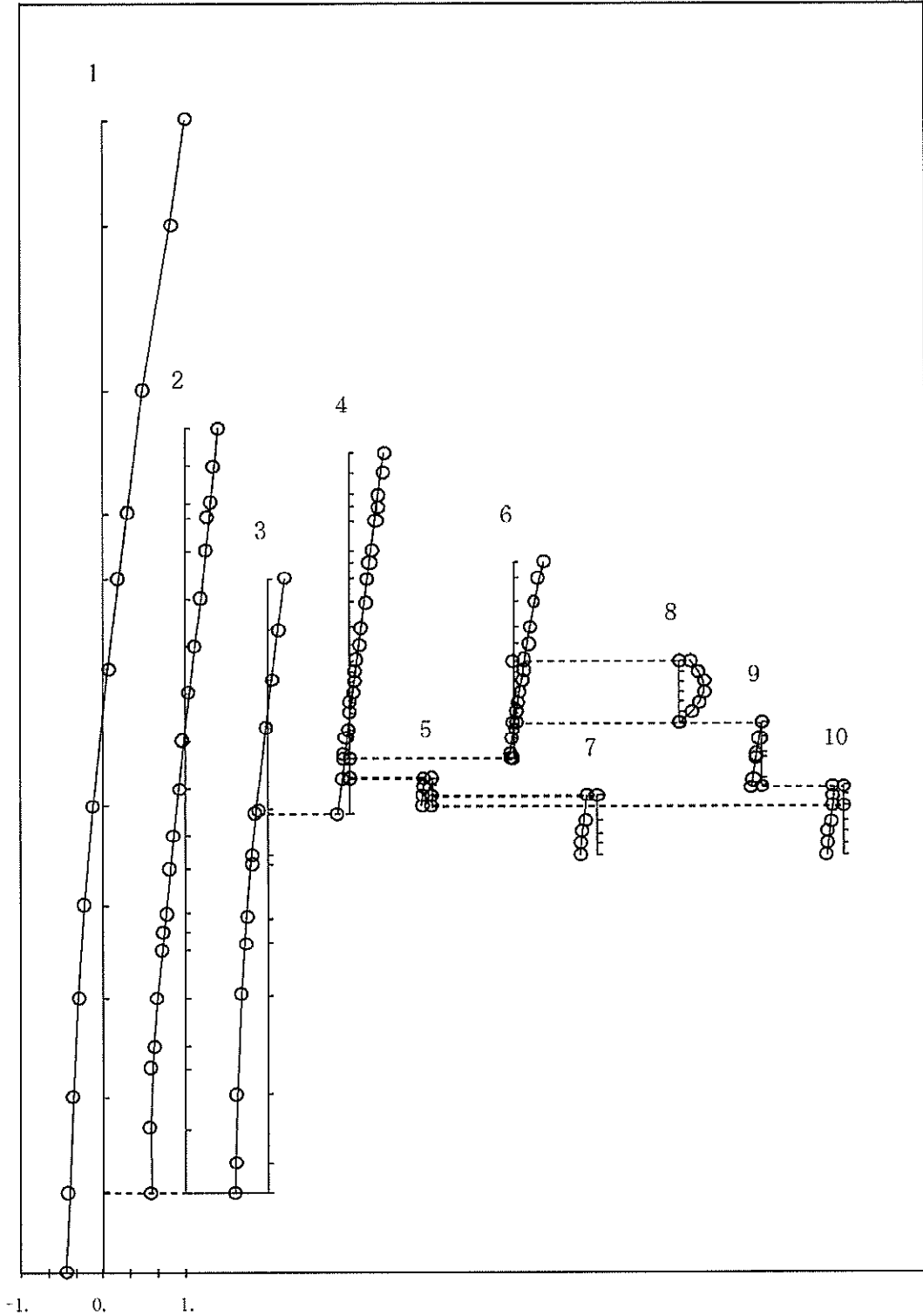


図4-4(2) 第2次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びびシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.196 刺激係数 ; -0.462

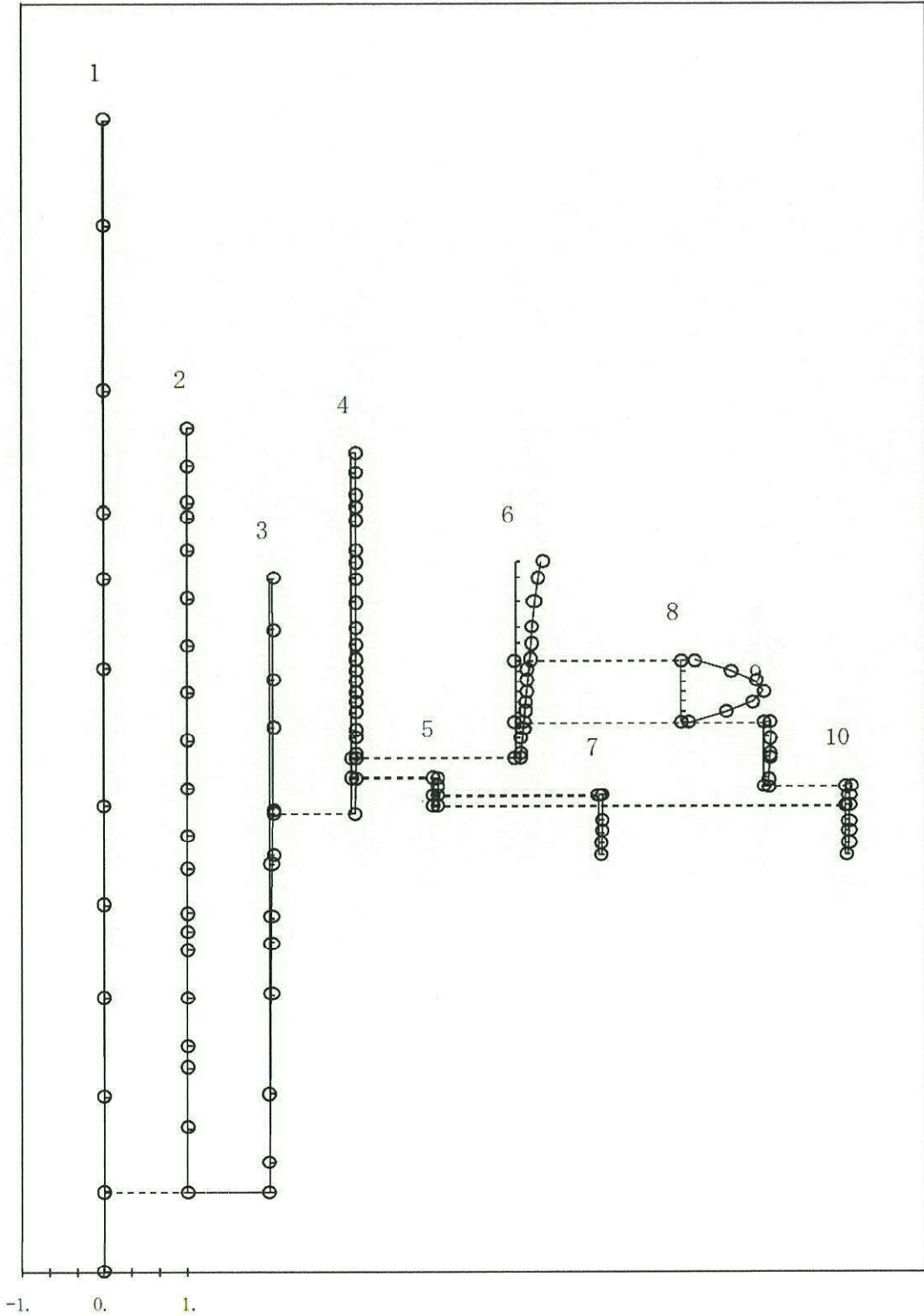


図4-4(3) 第3次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.139 刺激係数 ; -0.704

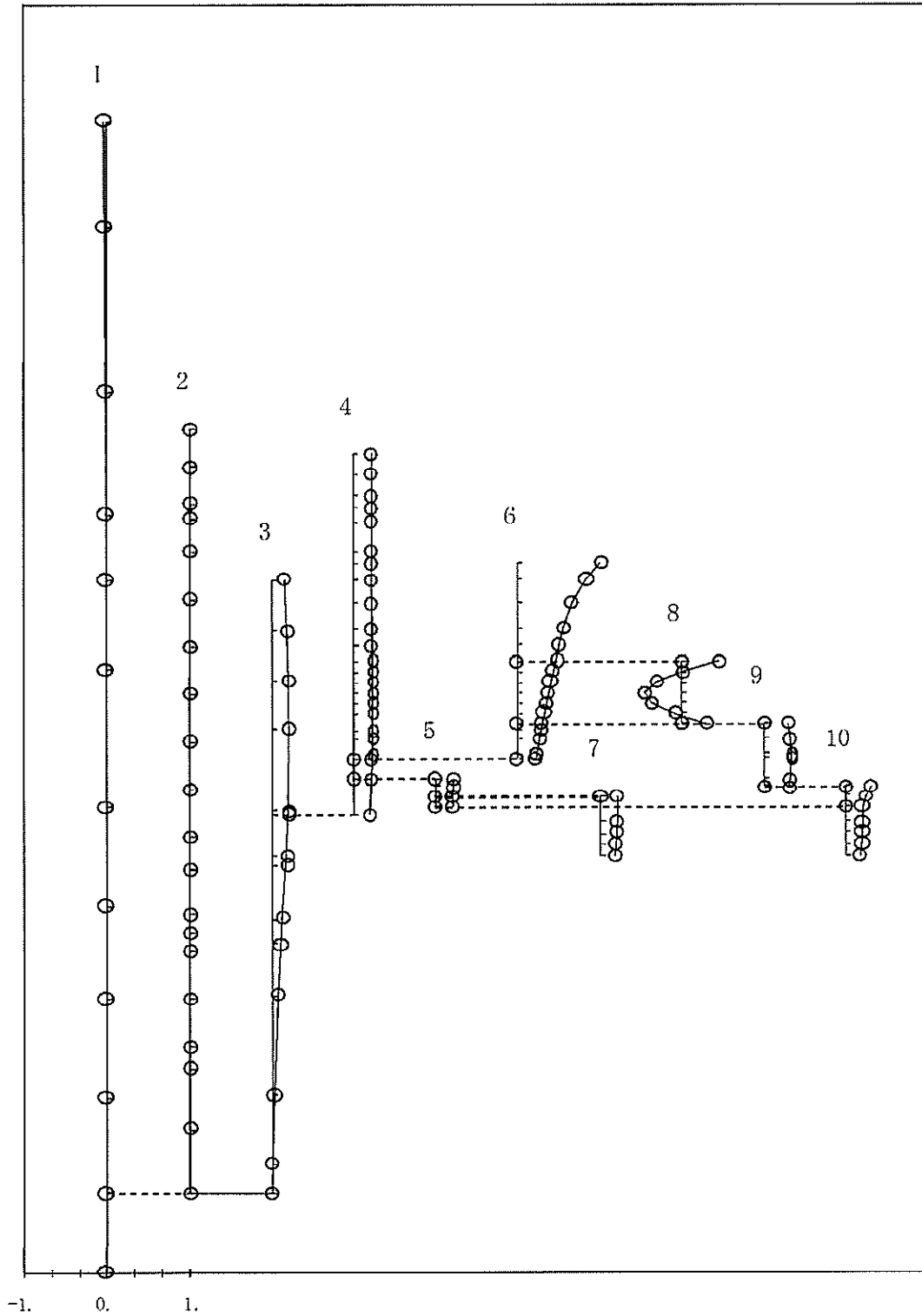


図4-4(4) 第4次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉压力容器
- 5 原子炉压力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.118 刺激係数 ; 0.875

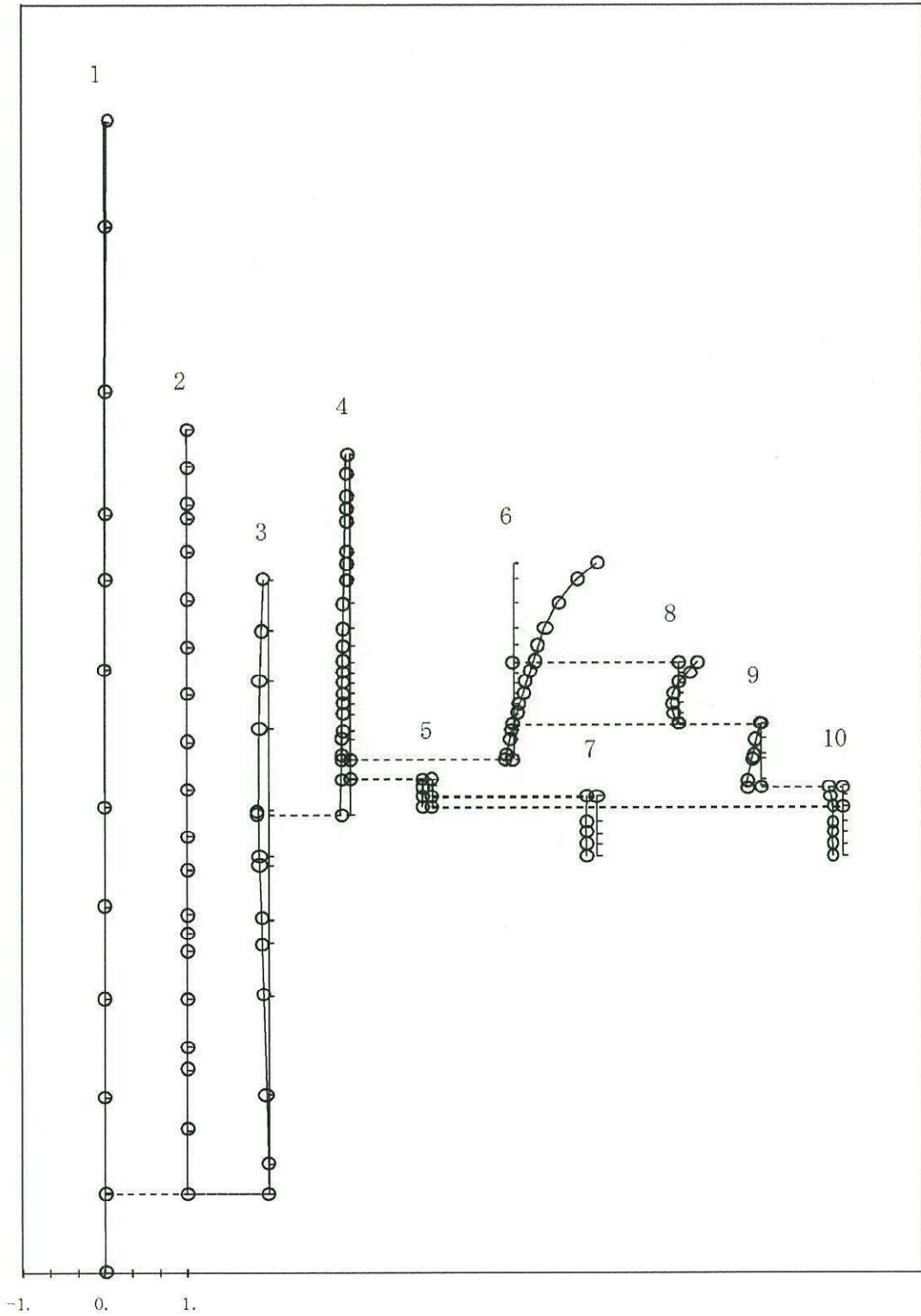


図4-4(5) 第5次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.110 刺激係数 ; -0.223

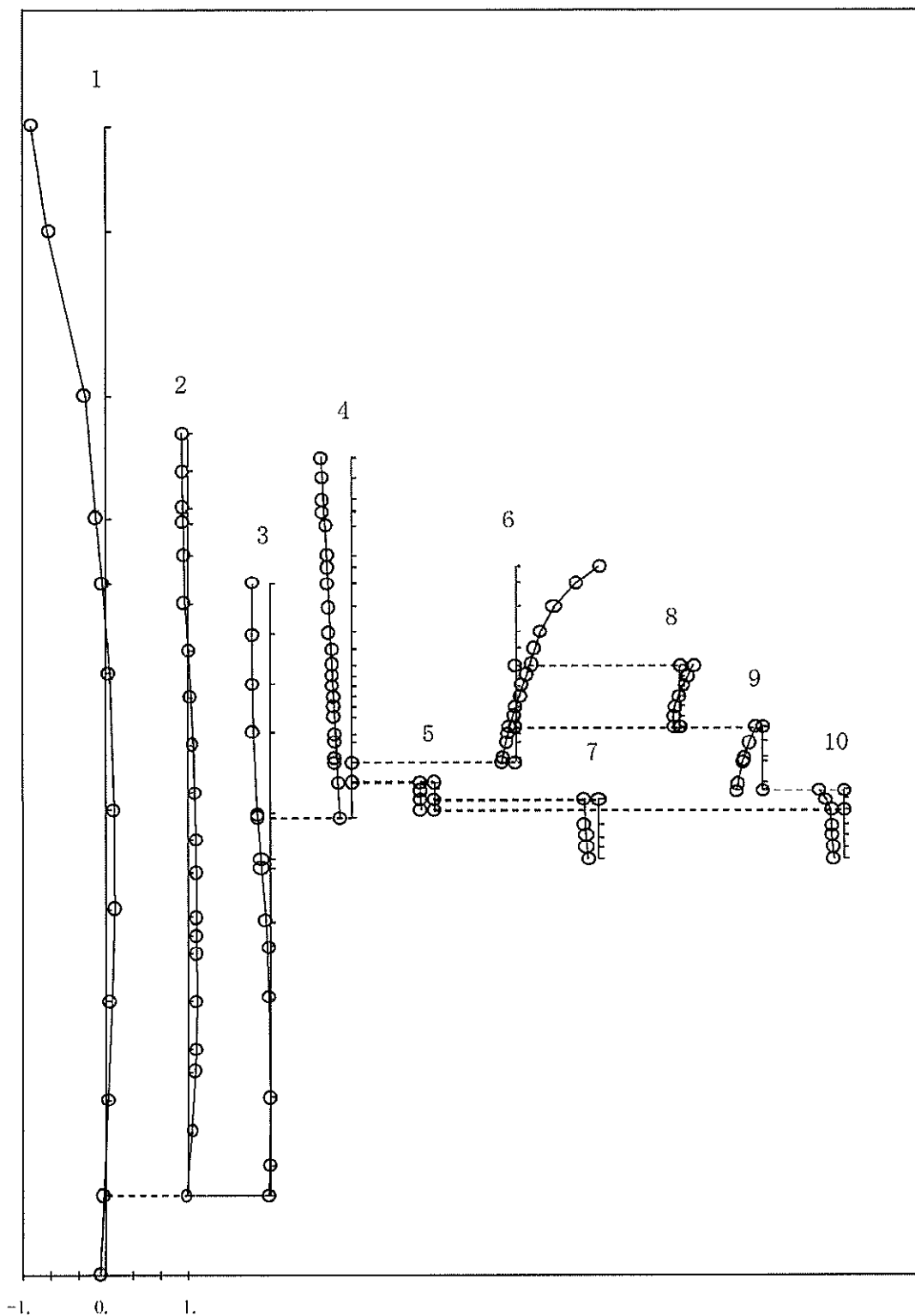


図4-4(6) 第6次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュレウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.092 刺激係数 ; -0.327

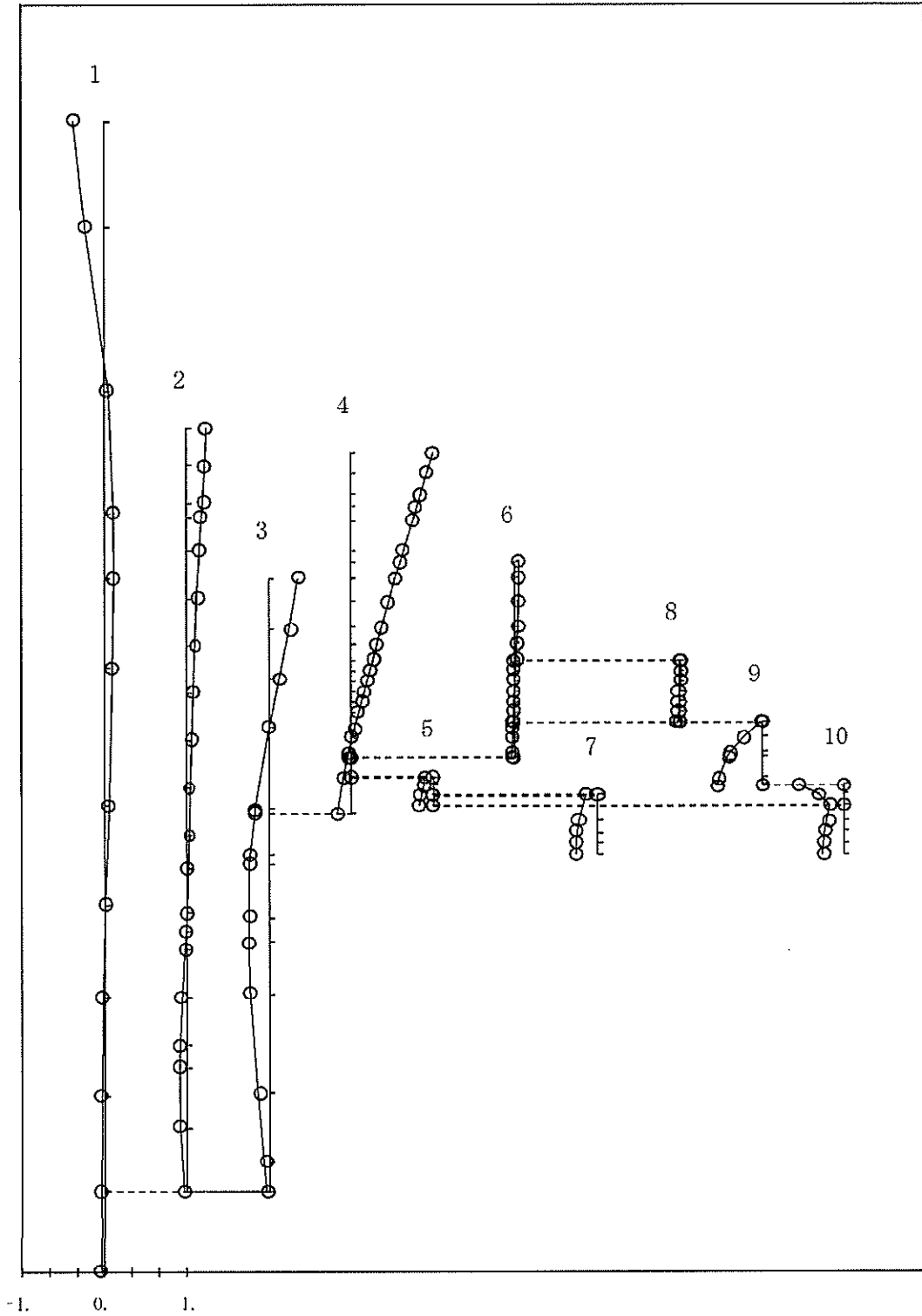


図4-4(7) 第7次振動モード (BW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.084 刺激係数 ; -0.498

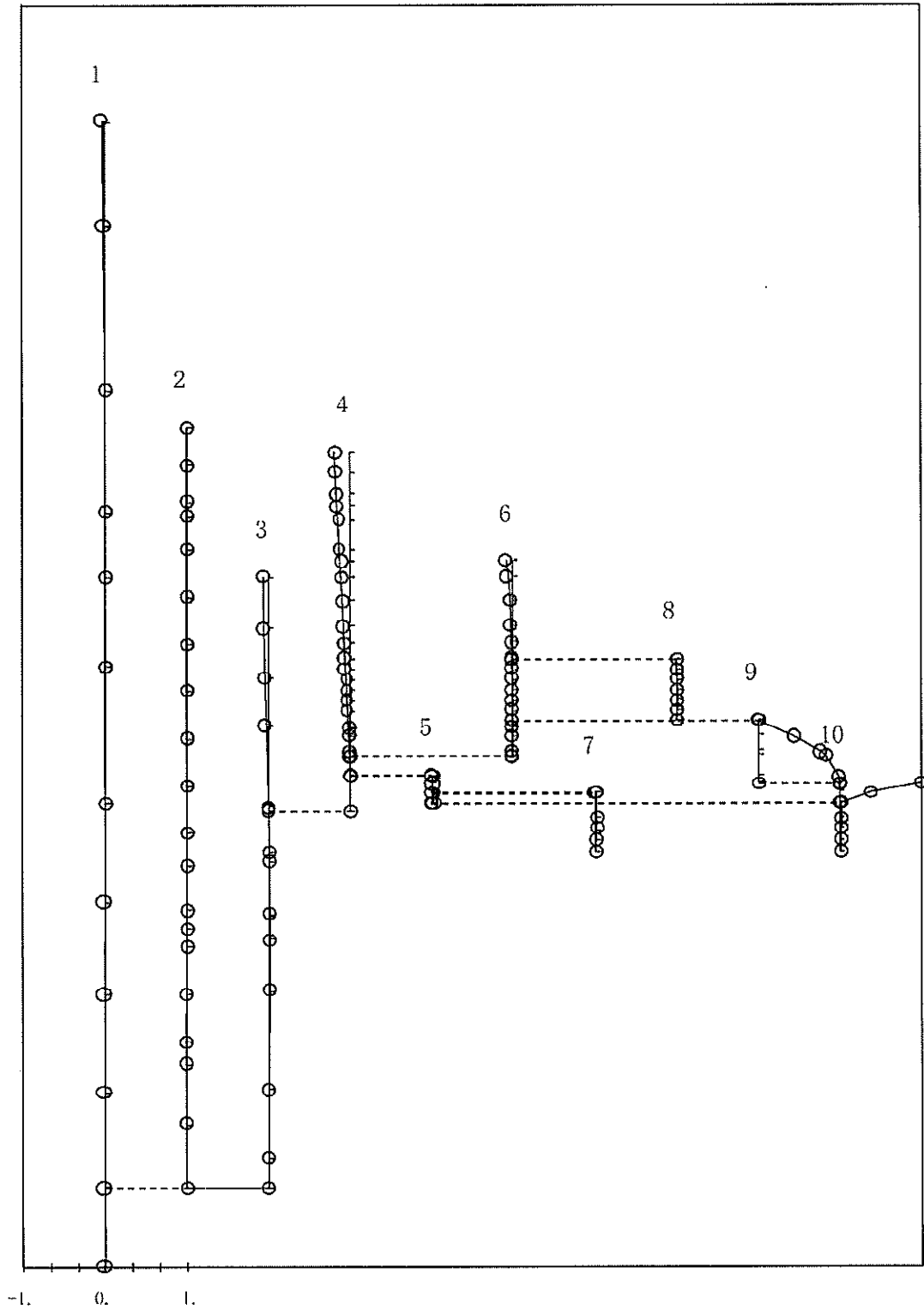


図4-4(8) 第8次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下縮)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.083 刺激係数 ; 0.364

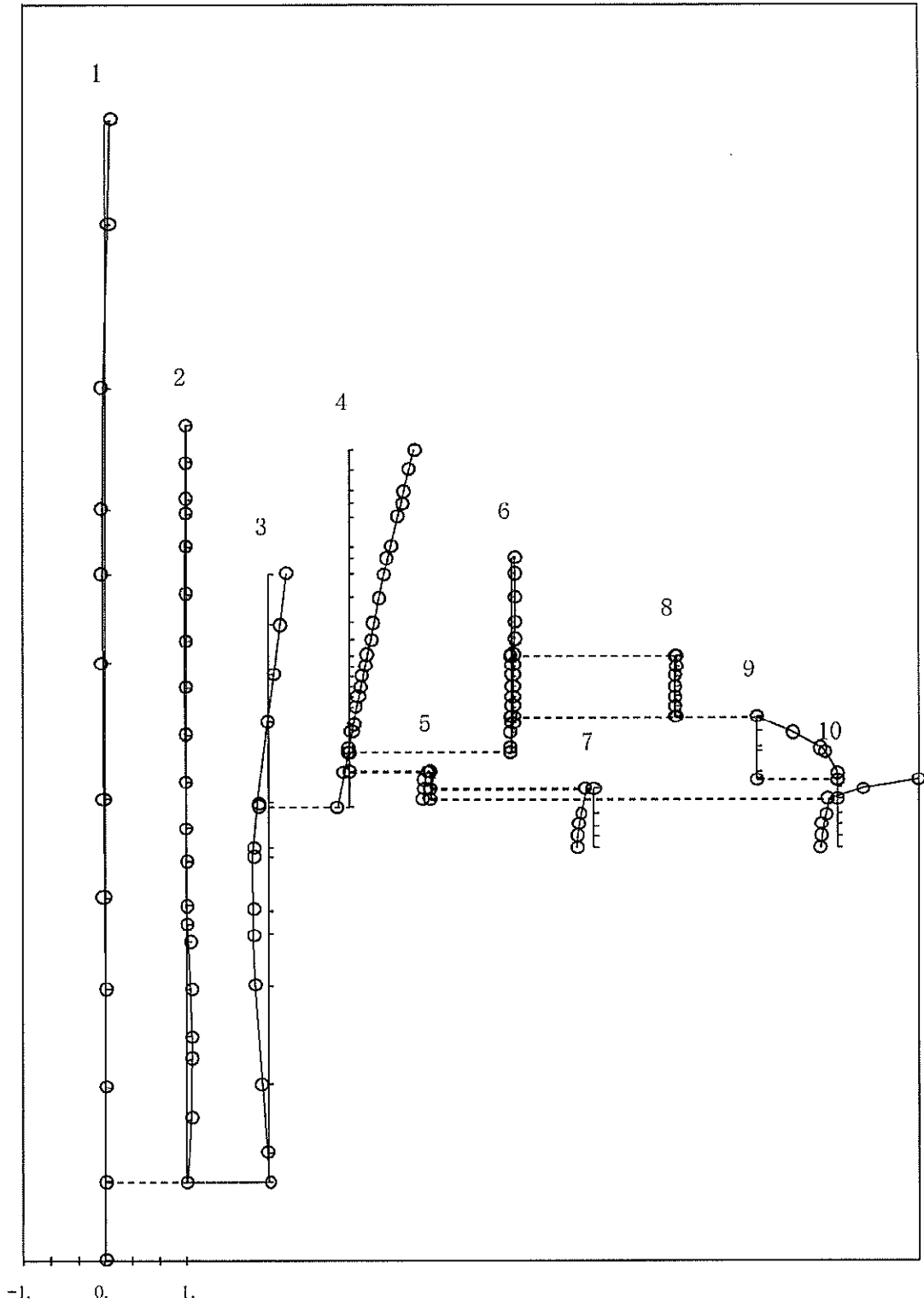


図4-4(9) 第9次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; -0.154

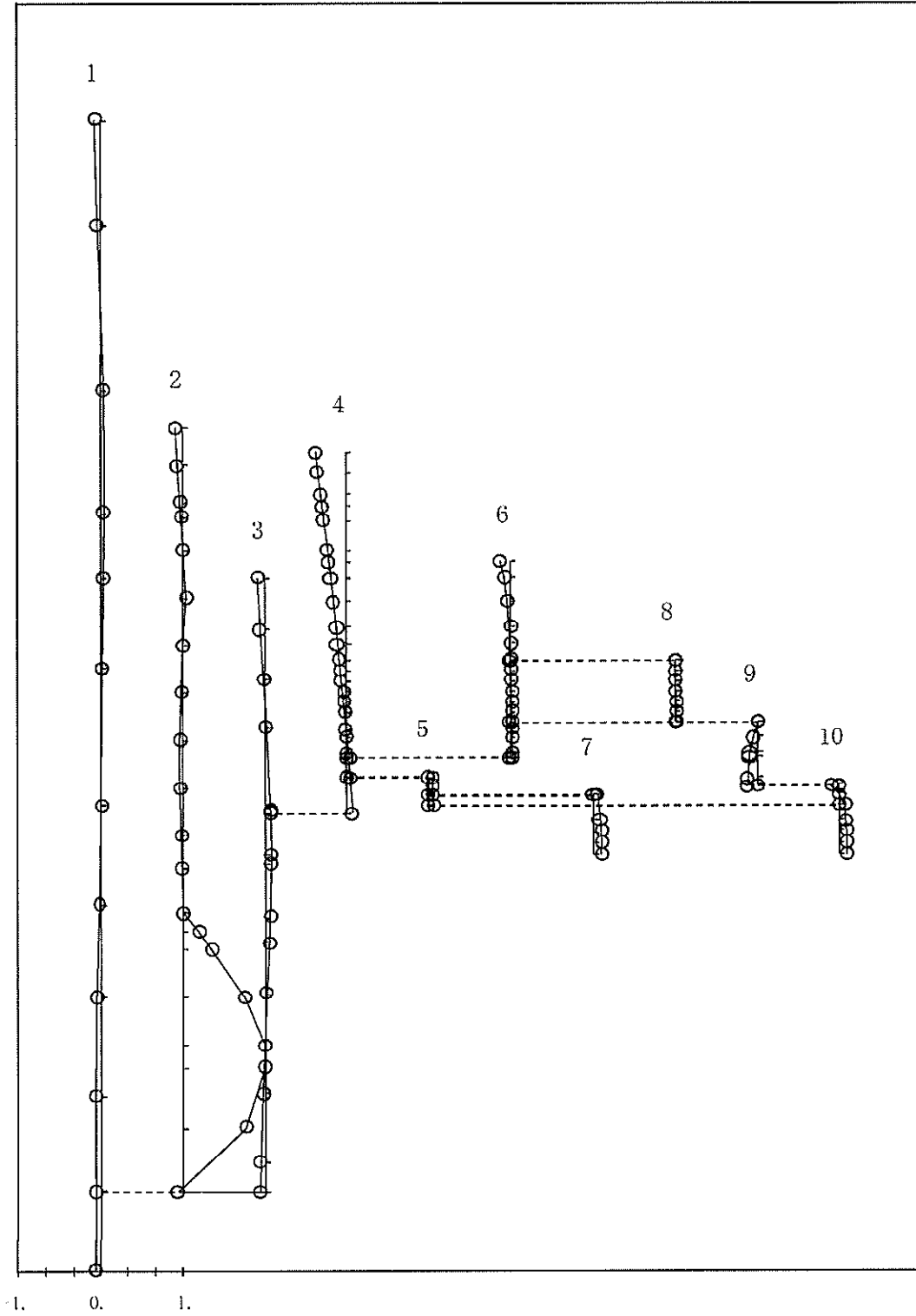


図4-4(10) 第 10次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.066 刺激係数 ; -0.138

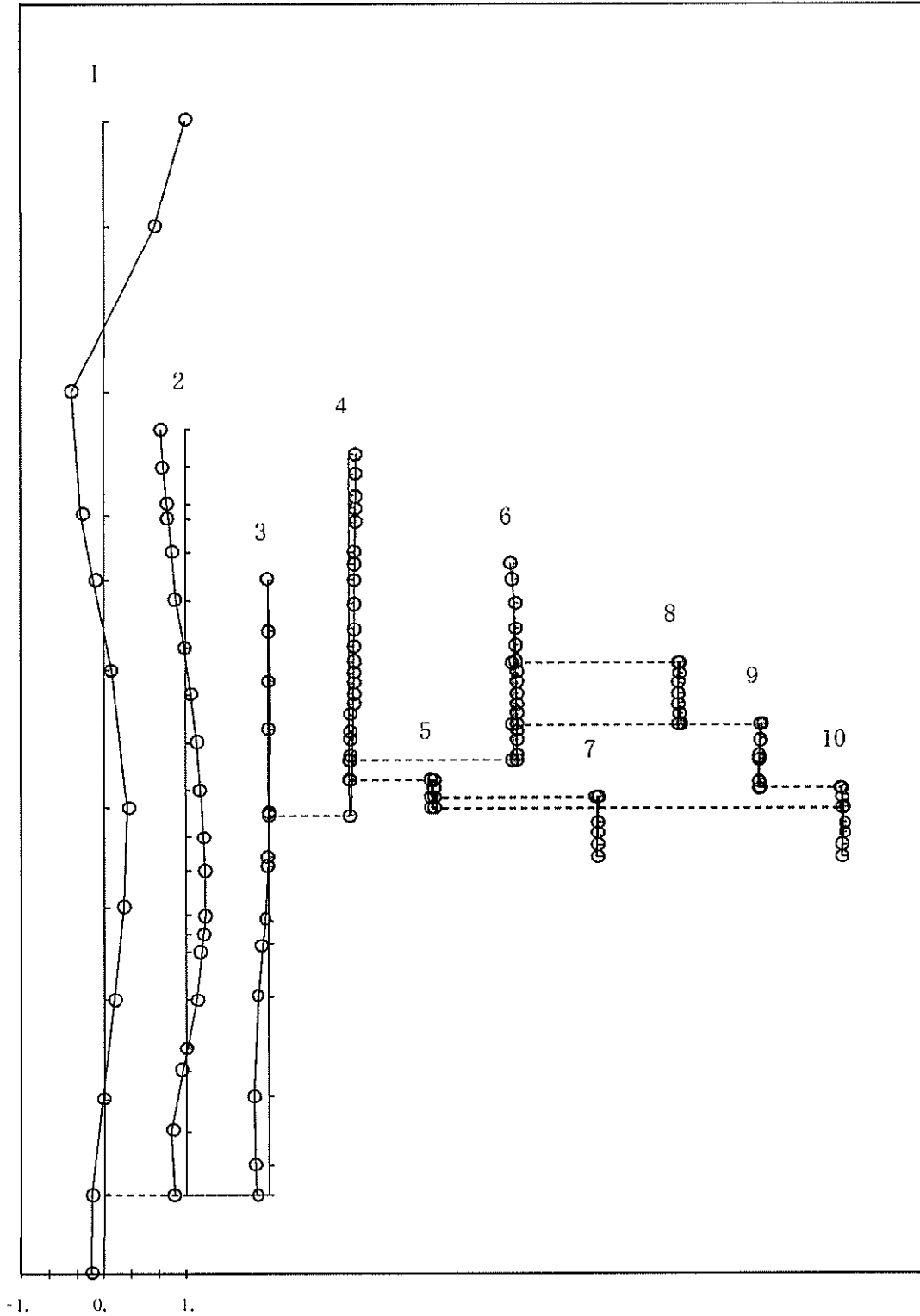


図4-4(11) 第 11次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシュエラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; -0.085

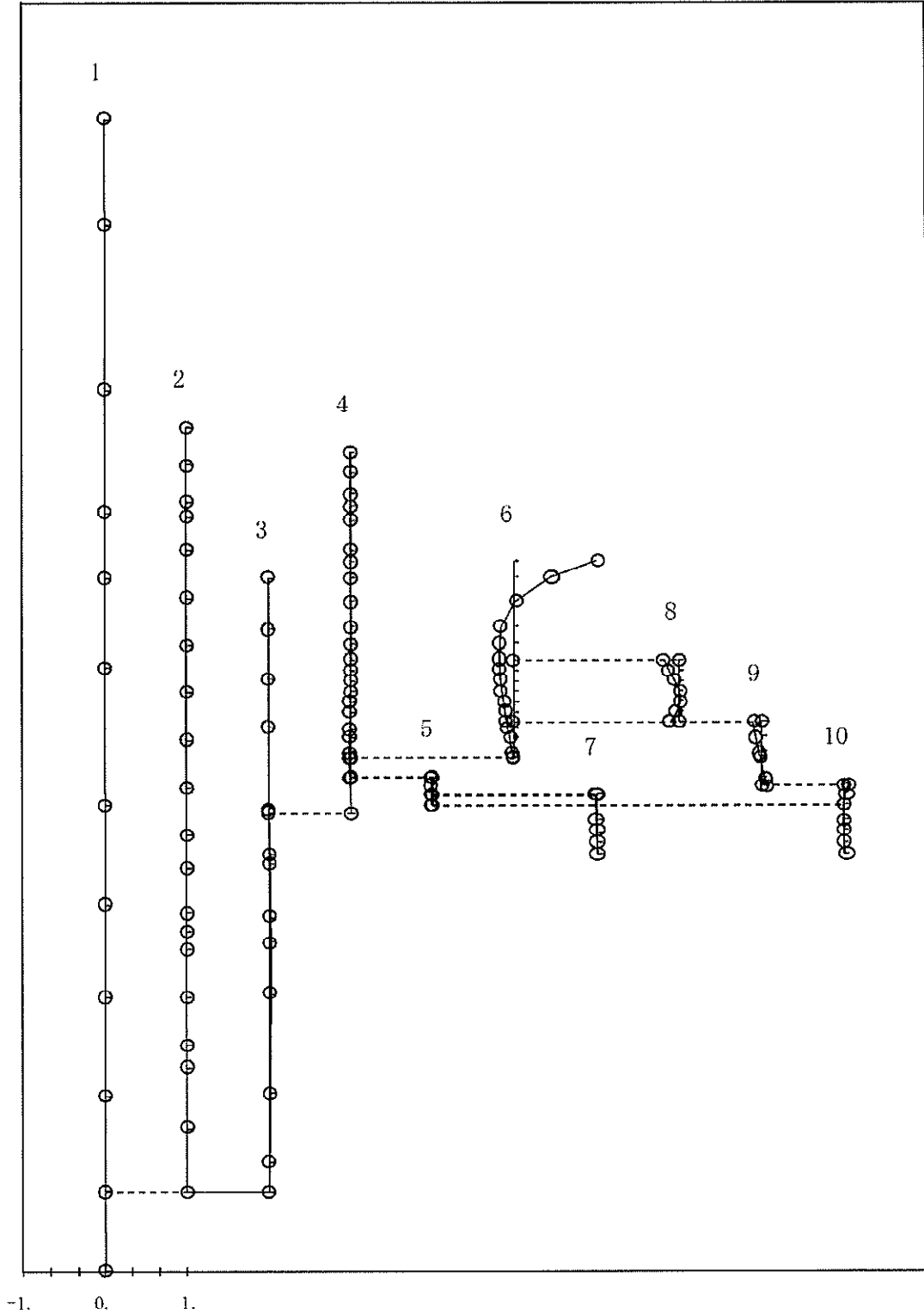


図4-4(12) 第12次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 気水分離器及びシュラウド |
| 2 原子炉格納容器 | 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 8 燃料集合体 |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 制御棒案内管 |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |

固有周期 (s) ; 0.053 刺激係数 ; 0.008

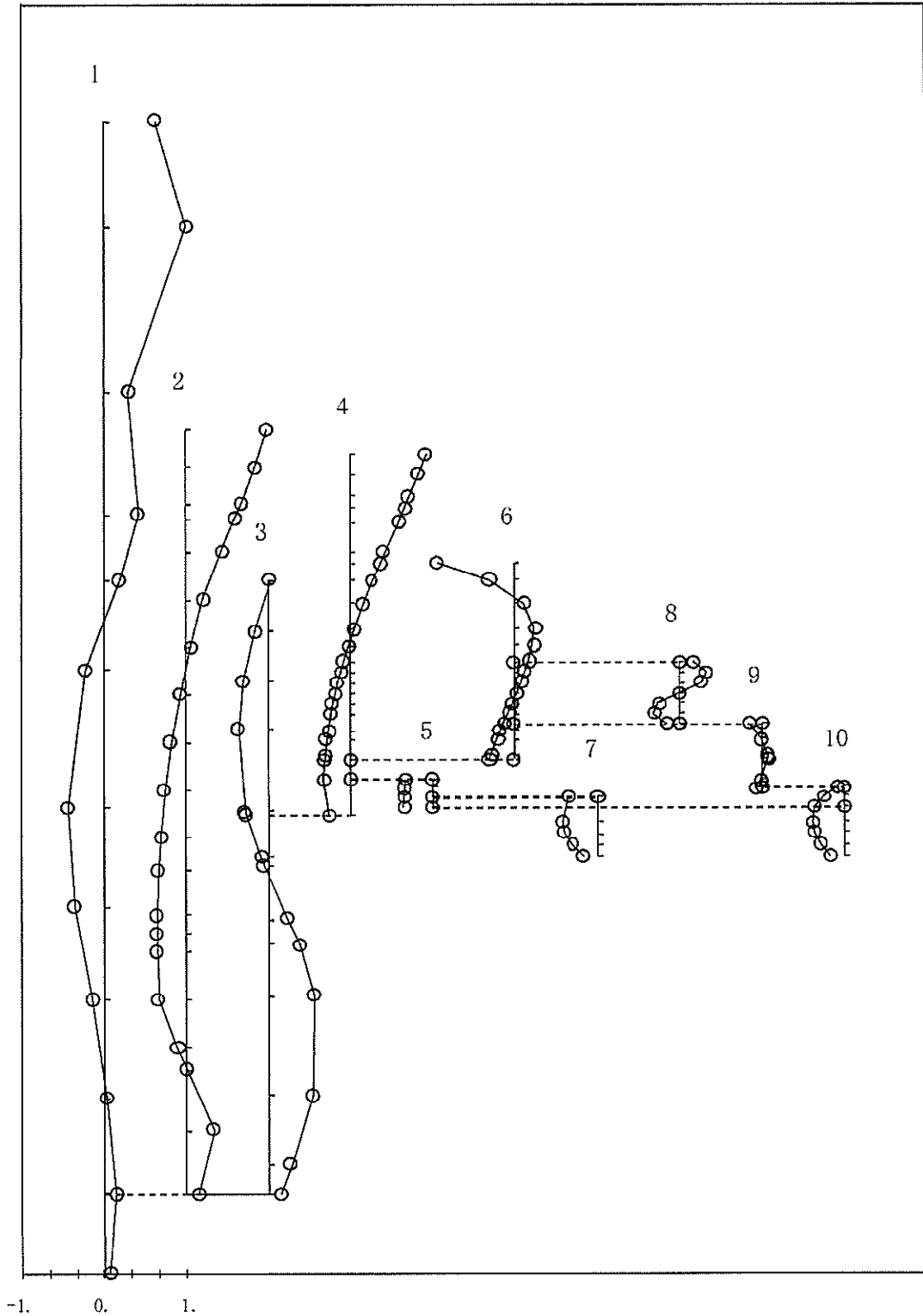


図4-4(13) 第13次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 4 原子炉圧力容器
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 気水分離器及びシユラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 8 燃料集合体
- 9 制御棒案内管
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.050 刺激係数 ; -0.045

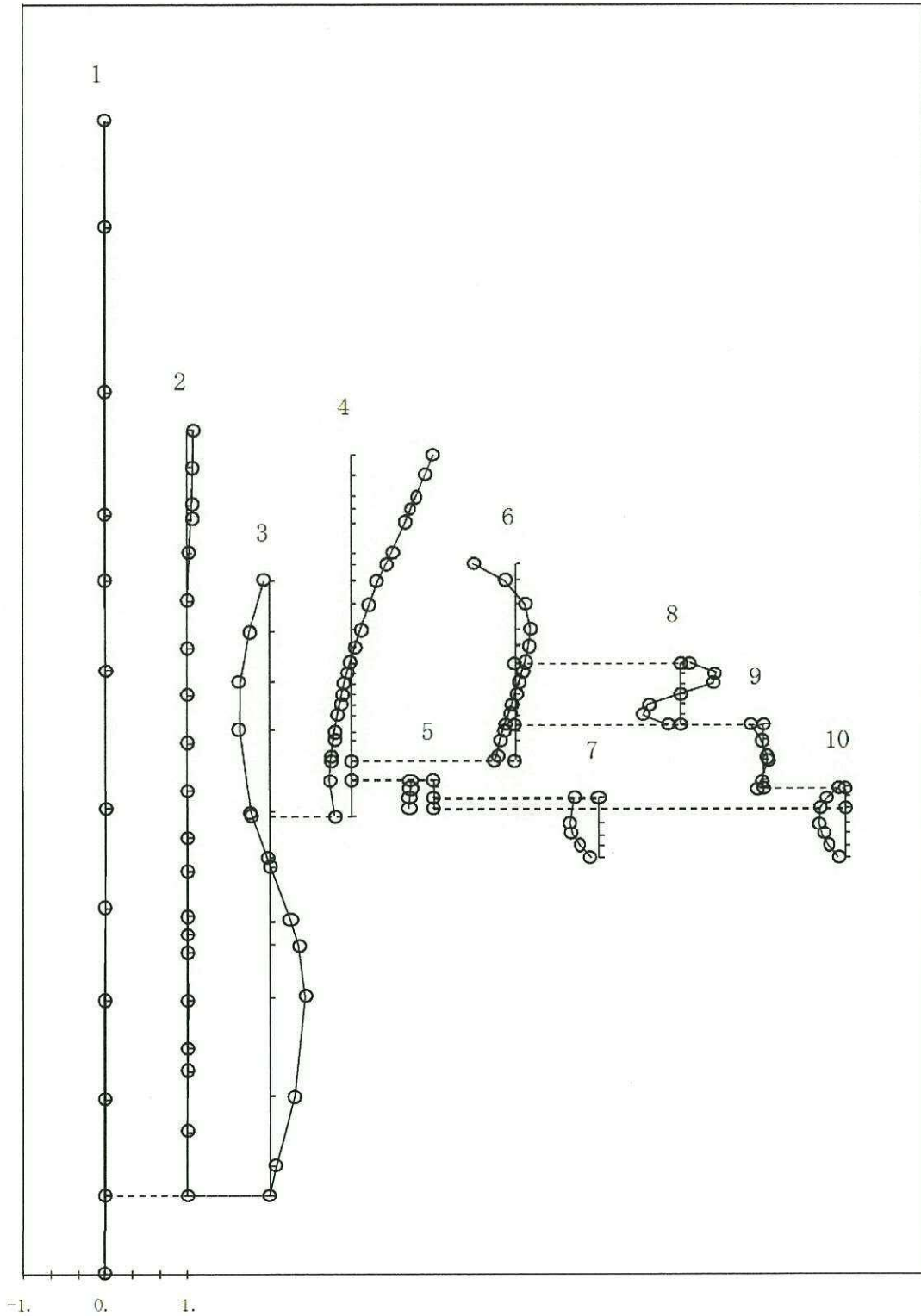


図4-4(14) 第 14次振動モード (EW方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋屋根トラス
- 2 原子炉建屋
- 3 原子炉格納容器
- 4 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 5 原子炉压力容器(下端)

- 6 原子炉压力容器
- 7 気水分離器及びシュラウド
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.400 刺激係数 ; 2.608

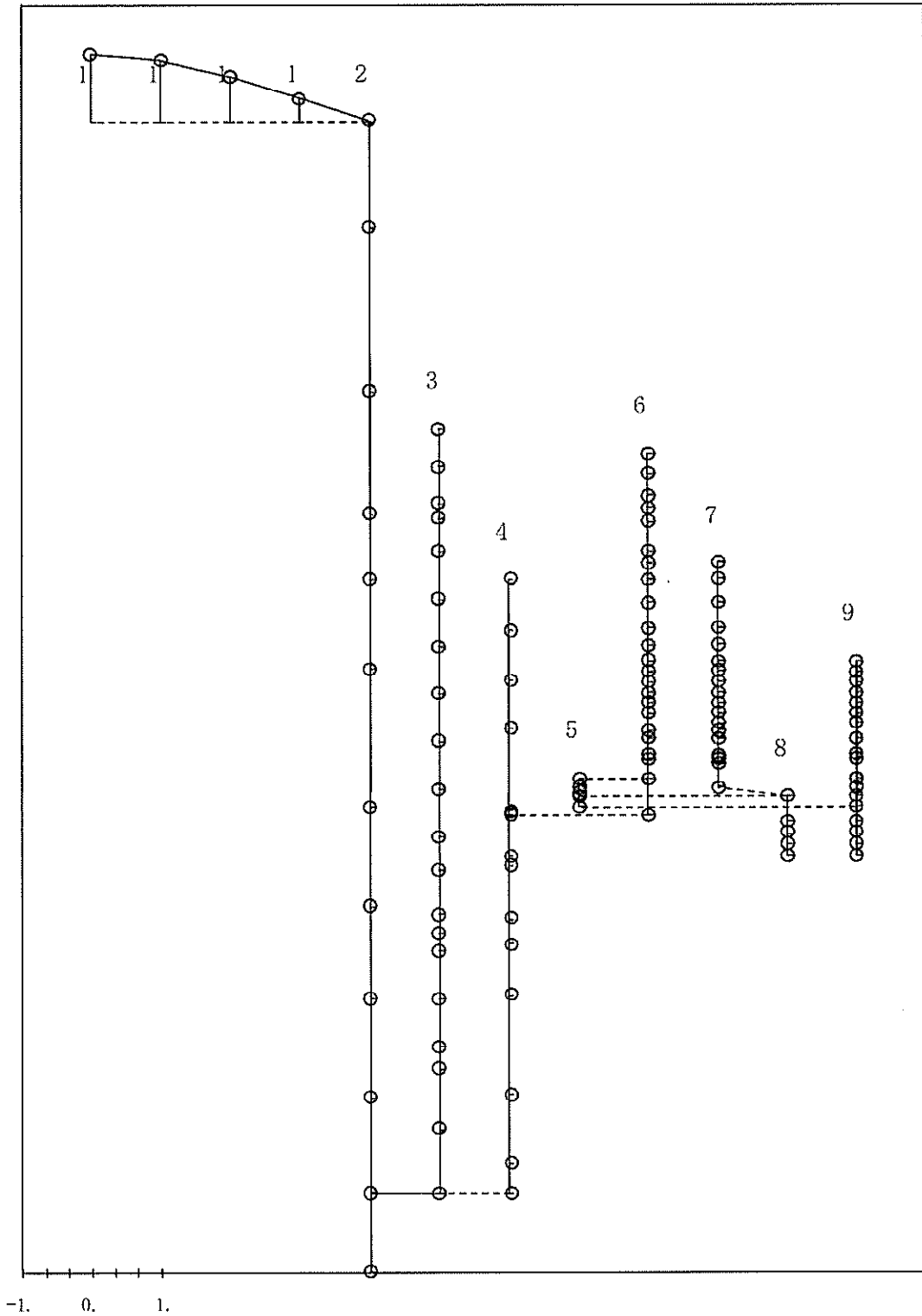


図4-5(1) 第1次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 原子炉建屋屋根トラス | 6 原子炉圧力容器 |
| 2 原子炉塔屋 | 7 気水分離器及びシュラウド |
| 3 原子炉格納容器 | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | |

固有周期 (s) ; 0.279 刺激係数 ; -1.688

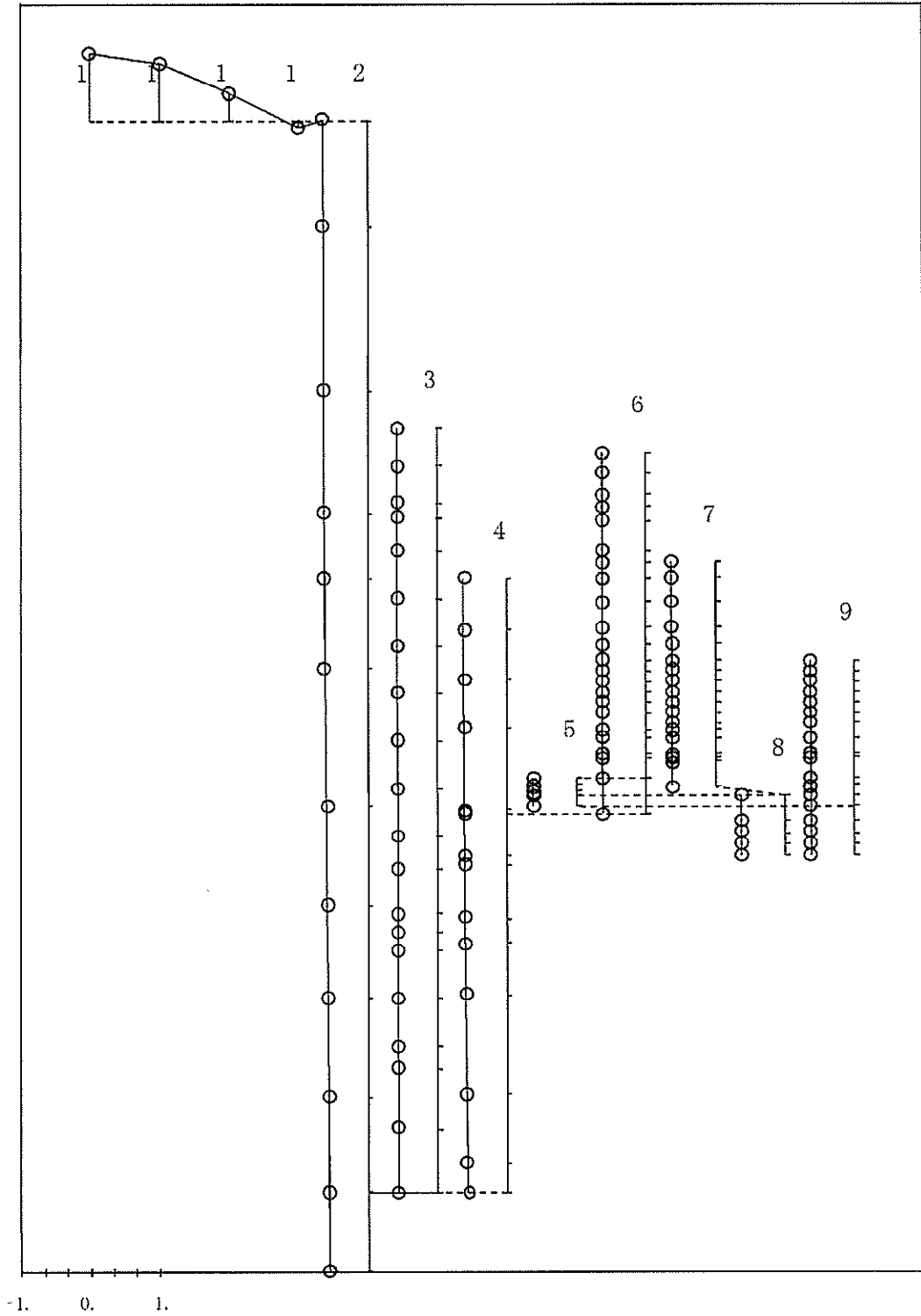


図4-5(2) 第2次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 原子炉建屋隠蔽トラス | 6 原子炉圧力容器 |
| 2 原子炉建屋 | 7 気水分離器及びびシュラウド |
| 3 原子炉格納容器 | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 5 原子炉圧力容器(下脚) | |

固有周期 (s) ; 0.093 刺激係数 ; 0.137

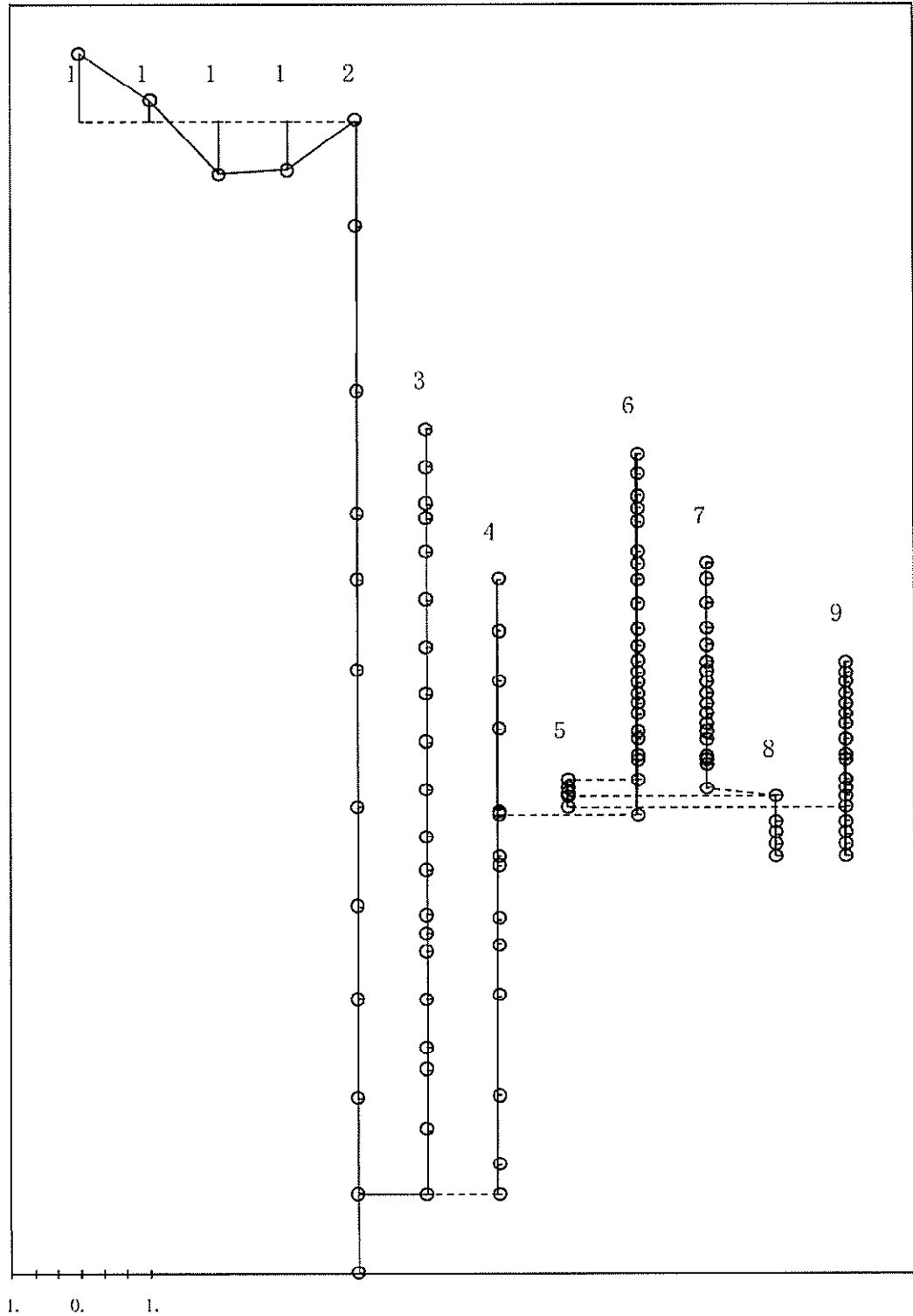


図4-5(3) 第3次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋屋根トラス
- 2 原子炉建屋
- 3 原子炉格納容器
- 4 原子炉送液及び原子炉本体の基礎
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 原子炉圧力容器
- 7 気水分離器及びシユラウド
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.082 刺激係数 ; -0.006

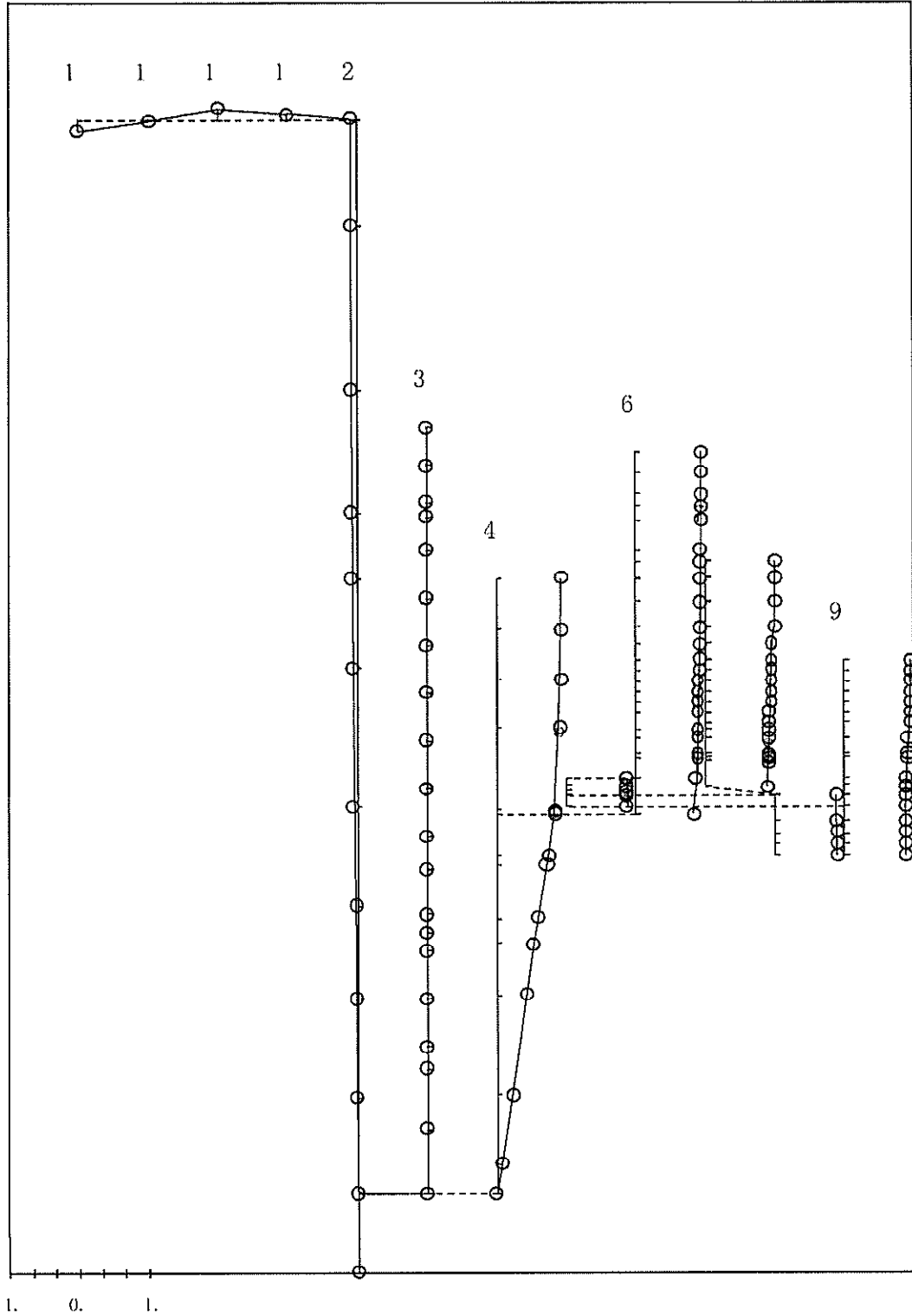


図4-5(4) 第4次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 原子炉建屋屋根トラス | 6 原子炉圧力容器 |
| 2 原子炉建屋 | 7 気水分離器及びシュラウド |
| 3 原子炉格納容器 | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎 | 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 5 原子炉圧力容器(下端) | |

固有周期 (s) ; 0.063 刺激係数 ; -0.159

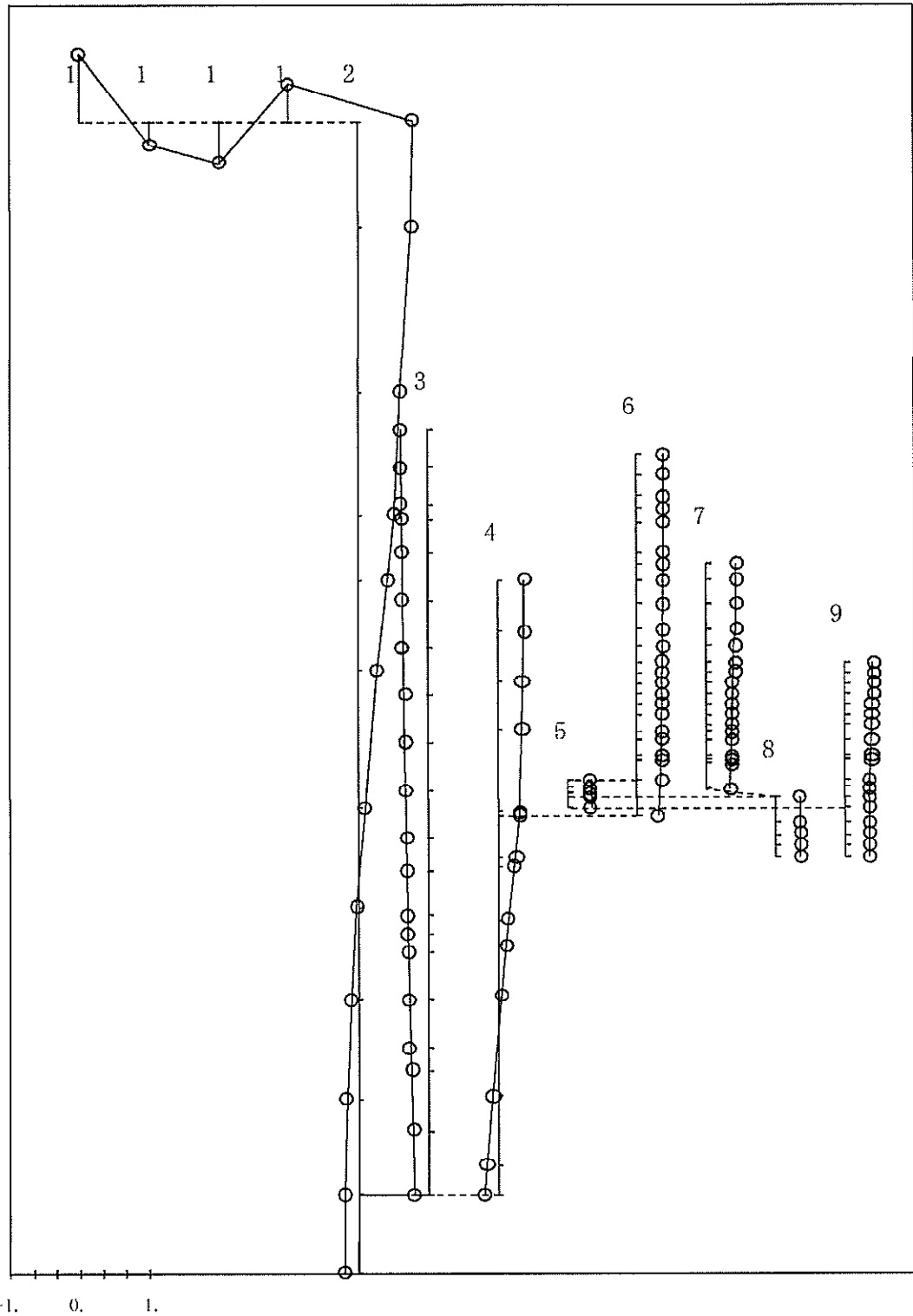


図4-5(5) 第5次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

- 1 原子炉建屋屋根トラス
- 2 原子炉建屋
- 3 原子炉格納容器
- 4 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎
- 5 原子炉圧力容器(下端)

- 6 原子炉圧力容器
- 7 気水分離器及びシュラウド
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 9 燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング(内側)

固有周期 (s) ; 0.057 刺激係数 ; 0.116

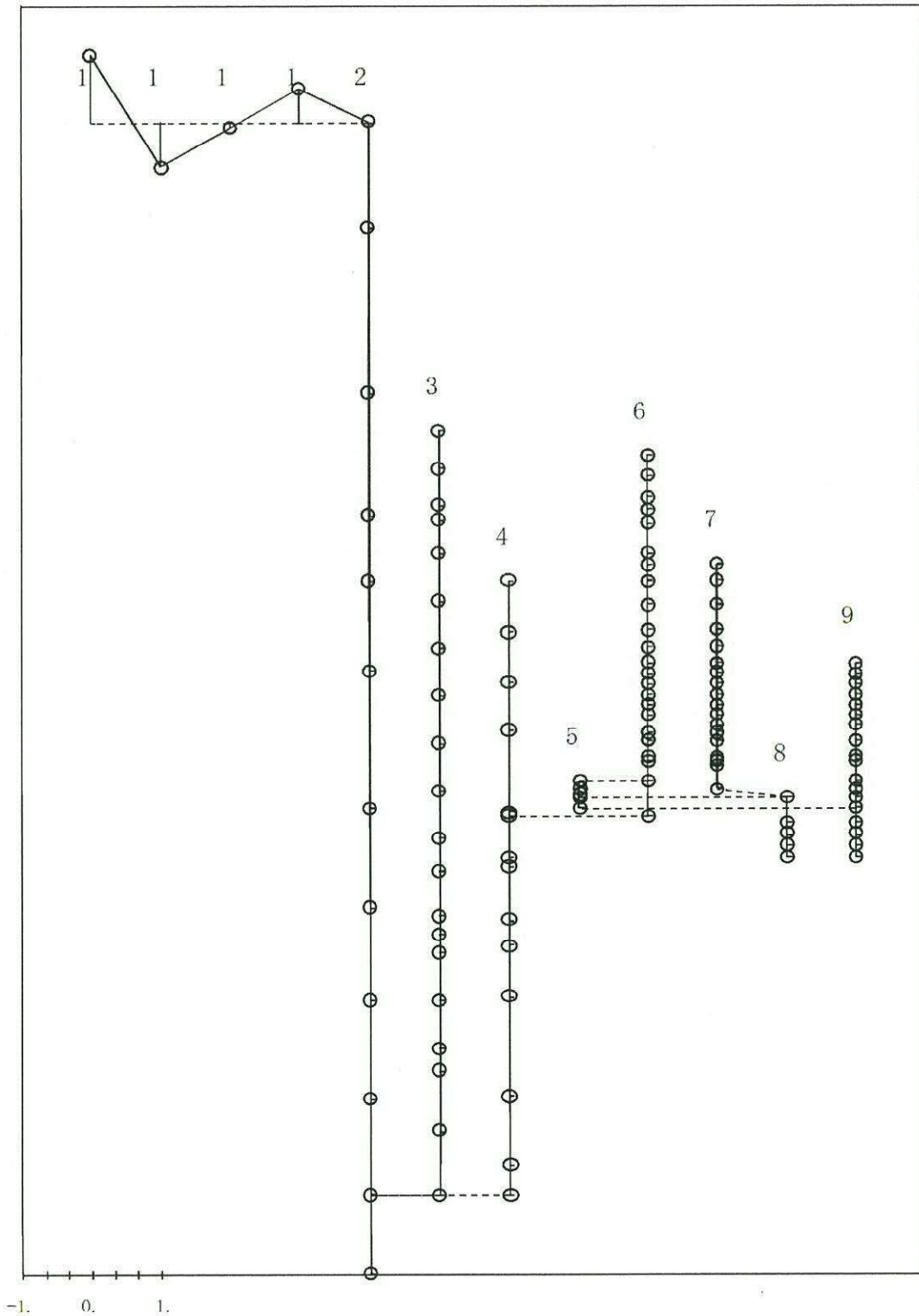


図4-5(6) 第 6次振動モード (鉛直方向、Ss-D1)

(2) 地震応答解析結果を踏まえた影響検討対象設備の抽出

a. 地震応答解析結果

SA 時環境考慮モデルを用いた基準地震動 S_s-D1 による地震応答結果として、今回工認連成モデルの地震応答解析結果と比較して表 4-9 に示す。

SA 時環境考慮モデルによる地震応答解析結果において今回工認連成モデルよりも応答増加が顕著になった部位として原子炉格納容器（サプレッション・チェンバ部），下部シアラグが挙げられる。この理由としては、サプレッション・プール水位が今回工認連成モデルに比べて SA 時環境考慮モデルでは約 2 倍となり質点質量が増加したため、応答増加に至ったものと考えられる。また、配管系評価において適用する床応答曲線の今回工認連成モデルと SA 時環境考慮モデルの比較を図において

b. 影響検討対象設備の抽出

建屋－機器連成解析結果から得られる応答については、基本ケースから得られる応答に 1 対して 1.5 倍している。1.5 倍した今回工認連成モデルの応答に対して SA 時環境考慮モデルの応答が 1.0 倍以上となる応答を用いて耐震評価を実施する設備について影響検討を行う

（表 4-9 参照）。1.5 倍の地震力を適用した設備において、応答比率が 1.0 倍以上となる対象設備を表 4-7 に示す。

また、耐震評価において 1.5 倍した応答を適用せずに材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果を適用した設備については、SA 時環境考慮モデルによる応答が、今回工認連成モデルによる材料物性のばらつきを考慮した応答よりも大きくなる設備について影響検討を行う（表 4-10 参照）。材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果を適用した設備において、SA 時環境考慮モデルの地震力が耐震計算に用いた地震力を超える設備について表 4-4 に示す。

表 4-7 応答比率が 1.0 倍以上となる対象設備（1.5 倍の地震力適用設備）

	建屋－機器連成解析結果			評価対象設備
	評価荷重	構造物，標高等	応答比率*	
①	せん断力	原子炉格納容器 EL. 3.787m～EL. -0.013m	1.03	原子炉格納容器
②	ばね反力	下部シアラグ K10	1.26	下部シアラグ

*：今回工認連成モデルの応答（1.5 倍）に対する SA 時環境考慮モデルの応答比率

表 4-8 応答比率が 1.0 倍以上となる対象設備（ばらつきケースの地震力適用設備）

	建屋-機器連成解析結果			評価対象設備
	評価荷重	構造物, 標高等	応答比率*	
③	せん断力	原子炉格納容器 EL. 5.141~EL. 3.787	1.19	サプレッション・チェンバアク セスハッチ
④	ばね反力	PCVスタビライザ K6	1.03	・原子炉格納容器スタビライザ ・上部シアラグ及びスタビライ ザ
⑤	ばね反力	PRVスタビライザ K4	1.03	原子炉圧力容器スタビライザ

* : 今回工認連成モデルの応答（ばらつきケース）に対する SA 時環境考慮モデルの応答比率

表 4-9(1) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	質点番号	標高 EL (m)	せん断力 (kN)		
			SA 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉格納容器	14	44.173	—	—	—
	15	41.765	150	197	0.76
	16	39.431	503	666	0.76
	17	38.522	1630	2090	0.78
	18	36.431	1730	2220	0.78
	19	33.431	1900	2460	0.77
	20	30.431	9200	11600	0.79
	21	27.432	9380	11900	0.79
	22	24.422	9620	12300	0.78
	23	21.420	10100	12900	0.78
	24	18.420	10500	13400	0.78
	25	16.319	10800	14000	0.77
	26	13.523	11400	14700	0.78
	27	12.344	7520	15300	0.49
	28	11.191	7680	15800	0.49
	29	8.164	7760	16000	0.49
	30	5.141	9830	16400	0.60
	31	3.787	14800	16900	0.88
	32	-0.013	17800	17300	1.03
	211	-4.000	—	—	—
	及びペデスタル	34	34.643	—	—
35		31.432	6330	7550	0.84
36		28.308	4350	5010	0.87
37		25.212	2350	2410	0.98
38		20.061	1100	1400	0.79
39		19.856	4890	7470	0.65
40		17.142	9340	14300	0.65
41		16.624	9650	14700	0.66
42		13.198	15200	22100	0.69
43		11.671	7100	13200	0.54
44		8.395	9620	16200	0.59
45		2.189	13000	20100	0.65
46		-2.167	16300	25000	0.65
211		-4.000	—	—	—

表 4-9(2) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	質点番号	標高 EL (m)	せん断力 (kN)		
			SA 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5 倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48	42.628	—	—	—
	49	41.322	134	144.0	0.93
	50	40.015	428	459	0.93
	51	39.215	908	976	0.93
	52	38.301	833	982	0.85
	53	36.421	1400	1540	0.91
	54	35.723	2270	2460	0.92
	55	34.656	2520	2740	0.92
	56	33.132	5110	6350	0.80
	57	31.535	4690	5720	0.82
	58	30.560	4240	5100	0.83
	59	29.503	4200	4920	0.85
	60	28.845	4130	4740	0.87
	61	28.188	4050	4760	0.85
	62	27.531	3960	4840	0.82
	63	26.874	3850	4880	0.79
	64	26.217	3730	4890	0.76
	65	25.147	3520	4820	0.73
	66	24.596	3310	4710	0.70
	67	23.632	3130	4600	0.68
	68	23.378	3030	4480	0.68
	69	22.095	3450	5100	0.68
	70	19.856	4420	6770	0.65
	71	22.095	—	—	—
	72	21.587	1180	1590	0.74
	73	20.979	959	1310	0.73
	74	20.292	531	744	0.71
及び気水分離器 シラウド	75	35.723	—	—	—
	76	34.656	245	358	0.68
	77	33.132	978	1480	0.66
	78	31.535	1400	2120	0.66
	79	30.560	1640	2450	0.67
	80	29.503	2190	3350	0.65
	81	28.845	3860	5830	0.66
	82	28.188	4060	6160	0.66
	83	27.531	4230	6450	0.66
	84	26.874	4390	6700	0.66
	85	26.217	4520	6900	0.66
	86	25.559	4670	7140	0.65
	87	25.147	6000	9010	0.67
	88	24.596	6060	9120	0.66
	89	23.632	6100	9180	0.66
	90	23.378	6090	9180	0.66

表 4-9(3) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	質点番号	標高 EL (m)	せん断力 (kN)		
			SA 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
燃料 集合体	96	29.503	—	—	—
	97	28.845	1000	1580	0.63
	98	28.188	750	1070	0.70
	99	27.531	300	395	0.76
	100	26.874	255	352	0.72
	101	26.217	742	1060	0.70
	102	25.559	1030	1630	0.63
制御 棒 案内管	103	25.559	—	—	—
	104	24.596	160	227	0.70
	105	23.632	58.0	84.8	0.68
	106	23.378	8.04	12.00	0.67
	107	22.095	82.1	117.0	0.70
	108	21.587	206	294	0.70
制御 棒 駆動機構 (内側)	109	21.587	—	—	—
	110	20.979	437	619	0.71
	111	20.292	476	671	0.71
	112	19.344	63.2	83.1	0.76
	113	18.610	16.7	24.5	0.68
	114	17.876	18.8	20.8	0.90
	115	17.142	53.3	64.0	0.83
制御 棒 駆動機構 (外側)	91	20.979	—	—	—
	92	19.344	59.3	74.4	0.80
	93	18.610	11.6	16.3	0.71
	94	17.876	24.7	28.6	0.86
	95	17.142	59.5	72.3	0.82

表 4-9(4) SA時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5倍) との比較

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		S A時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉格納容器	44.173	42.8	50.2	0.85
	41.765	525	645.0	0.81
	39.431	1840	2350.0	0.78
	38.522	3360	4280.0	0.79
	36.431	7070	9030.0	0.78
	33.431	13000	16700.0	0.78
	30.431	40200	51100.0	0.79
	27.432	68300	86800.0	0.79
	24.422	97300	124000.0	0.78
	21.420	128000	163000.0	0.79
	18.420	159000	203000.0	0.78
	16.319	182000	233000.0	0.78
	13.523	214000	274000.0	0.78
	12.344	216000	290000.0	0.74
	11.191	219000	307000.0	0.71
	8.164	229000	355000.0	0.65
	5.141	258000	404000.0	0.64
	3.787	277000	426000.0	0.65
	-0.013	348000	506000.0	0.69
	-4.000	444000	615000.0	0.72
及びしゃデヘスタ壁ル	34.643	67.1	81.0	0.83
	31.432	20400	24300.0	0.84
	28.308	33800	39700.0	0.85
	25.212	40300	46300.0	0.87
	20.061	43600	48200.0	0.90
	19.856	47700	56700.0	0.84
	17.142	39500	46600.0	0.85
	16.624	39300	50500.0	0.78
	13.198	54900	101000.0	0.54
	11.671	64500	120000.0	0.54
	8.395	90600	169000.0	0.54
	2.189	162000	289000.0	0.56
	-2.167	227000	388000.0	0.59
	-4.000	256000	432000.0	0.59

表 4-9(5) SA時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5倍) との比較

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		SA時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉圧力容器	42.628	—	—	—
	41.322	175	188	0.93
	40.015	734	788	0.93
	39.215	1460	1570	0.93
	38.301	2220	2390	0.93
	36.421	4850	5260	0.92
	35.723	6430	6950	0.93
	34.656	9120	9860	0.92
	33.132	4220	5010	0.84
	31.535	10800	11800	0.92
	30.560	14700	16400	0.90
	29.503	18800	21100	0.89
	28.845	21400	24000	0.89
	28.188	23900	26800	0.89
	27.531	26300	29500	0.89
	26.874	28700	32100	0.89
	26.217	31100	34700	0.90
	25.147	34800	38500	0.90
	24.596	36600	41100	0.89
	23.632	39500	45500	0.87
	23.378	40300	46600	0.86
	22.095	18300	21200	0.86
	19.856	20300	30600	0.66
22.095	1050	1390	0.76	
21.587	451	588	0.77	
20.979	212	307	0.69	
20.292	577	812	0.71	
及び気水分離器	35.723	—	—	—
	34.656	261	382	0.68
	33.132	1750	2630	0.67
	31.535	3980	6000	0.66
	30.560	5570	8390	0.66
	29.503	7880	12000	0.66
	28.845	10400	15800	0.66
	28.188	13100	19800	0.66
	27.531	15900	24100	0.66
	26.874	18800	28500	0.66
	26.217	21700	33000	0.66
	25.559	24800	37700	0.66
	25.147	27300	41400	0.66
	24.596	30600	46400	0.66
	23.632	36500	55100	0.66
23.378	38000	57500	0.66	

表 4-9(6) SA時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答（1.5倍）との比較

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		S A時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
燃料 集 合 体	29.503	—	—	—
	28.845	659	1040	0.63
	28.188	1130	1740	0.65
	27.531	1330	2000	0.67
	26.874	1160	1770	0.66
	26.217	678	1070	0.63
	25.559	—	—	—
制 御 棒 案 内 管	25.559	—	—	—
	24.596	154	218	0.71
	23.632	210	298	0.70
	23.378	210	298	0.70
	22.095	105	150.0	0.70
	21.587	—	—	—
制 御 棒 駆 動 機 構 (内側)	21.587	—	—	—
	20.979	266	376	0.71
	20.292	592	837	0.71
	19.344	40.7	44.9	0.91
	18.610	52.9	62.2	0.85
	17.876	39.1	47.0	0.83
	17.142	—	—	—
制 御 棒 駆 動 機 構 (外側)	20.979	43.6	59.7	0.73
	19.344	53.3	62.5	0.85
	18.610	61.8	74.1	0.83
	17.876	43.7	53.1	0.82
	17.142	—	—	—

表 4-9(7) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	標高 EL (m)	軸力 (kN)		
		S A 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉格納容器	44.173	—	—	—
	41.765	84.9	124	0.68
	39.431	298	436	0.68
	38.522	605	886	0.68
	36.431	671	983	0.68
	33.431	794	1170	0.68
	30.431	1020	1500	0.68
	27.432	1180	1740	0.68
	24.422	1400	2070	0.68
	21.420	1830	2710	0.68
	18.420	2220	3300	0.67
	16.319	2600	3860	0.67
	13.523	3140	4680	0.67
	12.344	3350	4980	0.67
	11.191	3690	5500	0.67
	8.164	3900	5810	0.67
	5.141	4180	6230	0.67
	3.787	4500	6700	0.67
	-0.013	4780	7120	0.67
	-4.000	5140	7650	0.67
しゃへい壁及びピペデスタル	34.643	—	—	—
	31.432	713	1220	0.58
	28.308	2140	3630	0.59
	25.212	3750	6390	0.59
	20.061	4950	8450	0.59
	19.856	8550	14800	0.58
	17.142	17900	30900	0.58
	16.624	17900	30900	0.58
	13.198	21800	38000	0.57
	11.671	24000	42100	0.57
	8.395	25900	45500	0.57
	2.189	28400	49600	0.57
	-2.167	31200	54000	0.58
	-4.000	32600	56100	0.58

表 4-9(8) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	標高 EL (m)	軸力 (kN)		
		S A 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
原子炉圧力容器	42.628	—	—	—
	41.322	62.5	107	0.58
	40.015	232	397	0.58
	39.215	572	978	0.58
	38.301	823	1410	0.58
	36.421	1190	2030	0.59
	35.723	1510	2590	0.58
	34.656	1980	3380	0.59
	33.132	2220	3790	0.59
	31.535	2500	4280	0.58
	30.560	2710	4640	0.58
	29.503	2870	4910	0.58
	28.845	3010	5150	0.58
	28.188	3110	5320	0.58
	27.531	3210	5510	0.58
	26.874	3330	5700	0.58
	26.217	3430	5870	0.58
	25.147	3560	6100	0.58
	24.596	3720	6380	0.58
	23.632	3870	6640	0.58
	23.378	4170	7160	0.58
	22.095	4480	7700	0.58
	19.856	9090	15800	0.58
	22.095	—	—	—
	21.587	4310	7580	0.57
	21.245	4310	7580	0.57
20.979	4310	7580	0.57	
20.292	2370	4100	0.58	
20.292	—	—	—	
35.723	—	—	—	
34.656	27.8	49.6	0.56	
33.132	172	306	0.56	
31.535	284	507	0.56	
30.560	468	835	0.56	
29.503	781	1400	0.56	
28.845	871	1560	0.56	
28.188	895	1610	0.56	
27.531	918	1650	0.56	
26.874	942	1690	0.56	
26.217	966	1730	0.56	
25.559	989	1780	0.56	
25.147	1150	2070	0.56	
24.596	1280	2290	0.56	
23.632	1310	2340	0.56	
23.378	1350	2420	0.56	
23.109	1370	2460	0.56	
21.546	1400	2510	0.56	
21.546	—	—	—	
気水分離器及びシユラウド	35.723	—	—	—
	34.656	27.8	49.6	0.56
	33.132	172	306	0.56
	31.535	284	507	0.56
	30.560	468	835	0.56
	29.503	781	1400	0.56
	28.845	871	1560	0.56
	28.188	895	1610	0.56
	27.531	918	1650	0.56
	26.874	942	1690	0.56
	26.217	966	1730	0.56
	25.559	989	1780	0.56
	25.147	1150	2070	0.56
	24.596	1280	2290	0.56
	23.632	1310	2340	0.56
	23.378	1350	2420	0.56
23.109	1370	2460	0.56	
21.546	1400	2510	0.56	
21.546	—	—	—	

表 4-9(9) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

構造物	標高 El.(m)	軸力(kN)		
		S A時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5倍を考慮) (②)	比率 ①/②
燃料 集 合 体	29.503	—	—	—
	28.845	108	186	0.58
	28.188	324	556	0.58
	27.531	540	927	0.58
	26.874	755	1300	0.58
	26.217	969	1670	0.58
	25.559	1190	2040	0.58
制 御 棒 案 内 管	25.559	—	—	—
	24.596	1420	2440	0.58
	23.632	1450	2500	0.58
	23.378	1470	2530	0.58
	22.095	1490	2570	0.58
	21.587	1520	2620	0.58
制 御 棒 駆 動 機 構 (内 側)	21.587	—	—	—
	20.979	1550	2680	0.58
	20.292	1740	3010	0.58
	19.344	264	460	0.57
	18.610	242	420	0.58
	17.876	222	386	0.58
	17.142	153	266	0.58
制 御 棒 駆 動 機 構 (外 側)	20.979	—	—	—
	19.344	281	489	0.57
	18.610	250	434	0.58
	17.876	230	400	0.58
	17.142	123	214	0.57
		—	—	—

表 4-9(10) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答 (1.5 倍) との比較

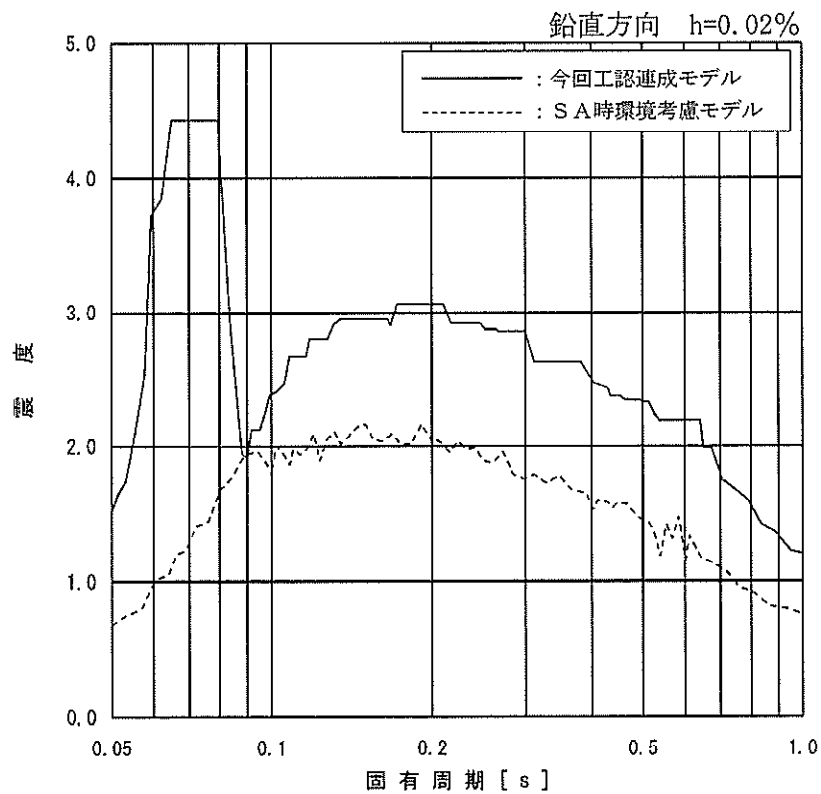
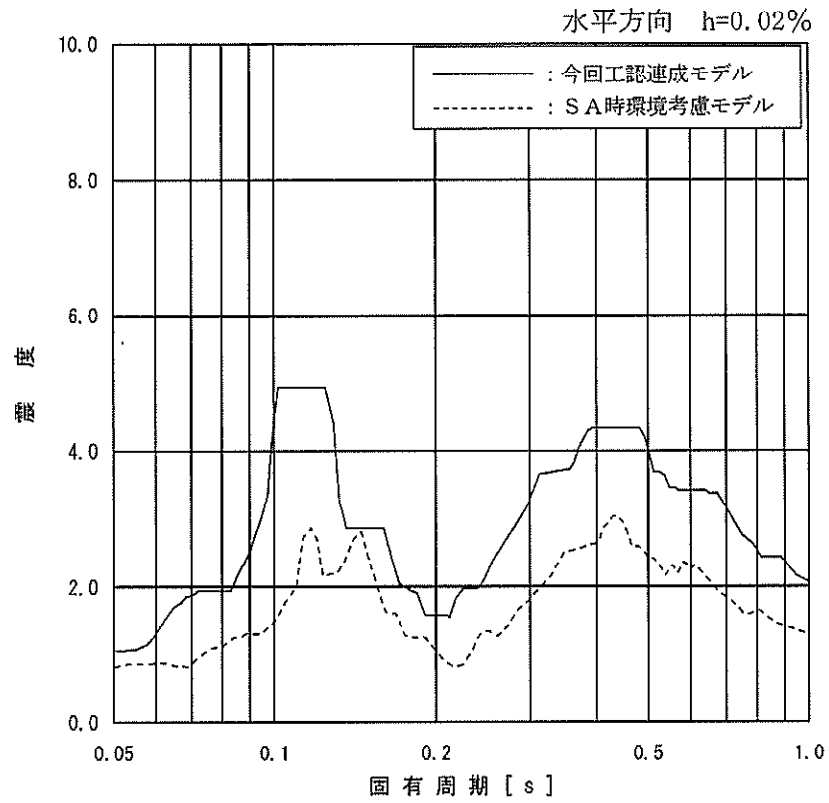
構造物	記号	ばね反力 (kN)		
		SA 時環境考慮モデル (①)	今回工認連成モデル (1.5 倍を考慮) (②)	比率 ①/②
ドライウエル 上部シアラグ	K ₉	9360	11800	0.79
ドライウエル 下部シアラグ	K ₁₀	20700	16400	1.26
PCV スタビライザ	K ₆	15200	18000	0.84
RPV スタビライザ	K ₄	7980	9260	0.86
CRDハウジング レストレントビーム	K ₃	319	403	0.79
ダイヤフラムフロア	K ₇	12000	14000	0.86

表 4-10(1) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答（ばらつきケース）との比較

構造物	質点番号	標高 EL (m)	せん断力 (kN)			
			S A 時環境考慮モデル/今回 工認連成モデル (基本ケー ス) (①)	今回工認連成モデル (ばらつ きケース) / 今回工認連成モ デル (基本ケース) (②)	比率 (①/②)	適用設備
格納 原子 炉 容器	30	5.141	1.31	1.10	1.19	サプレッション ・チェンバア クセスハッチ
	31	3.787	—	—	—	—

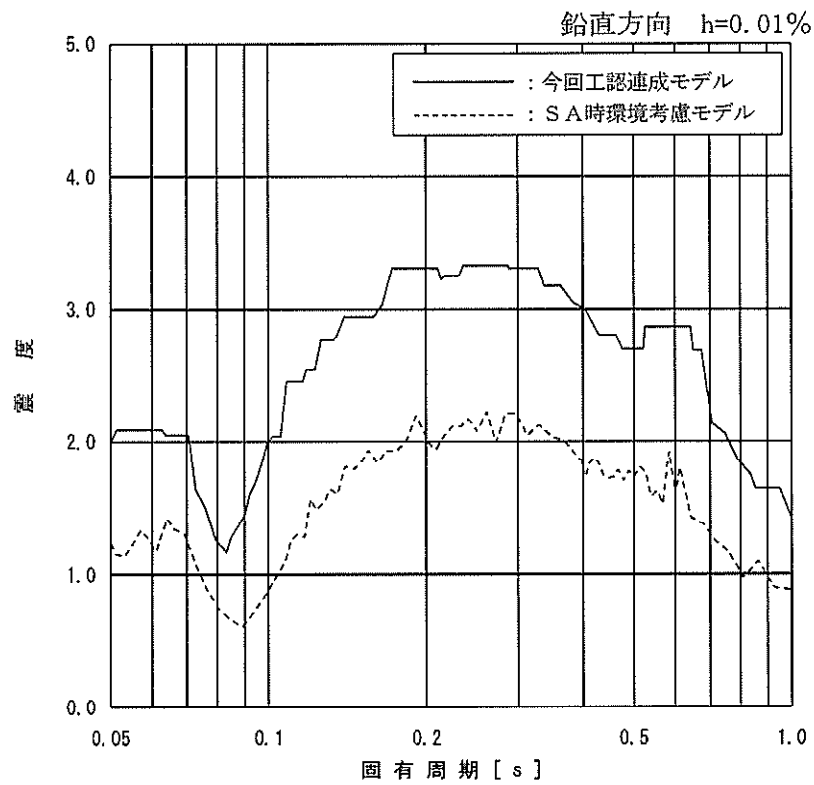
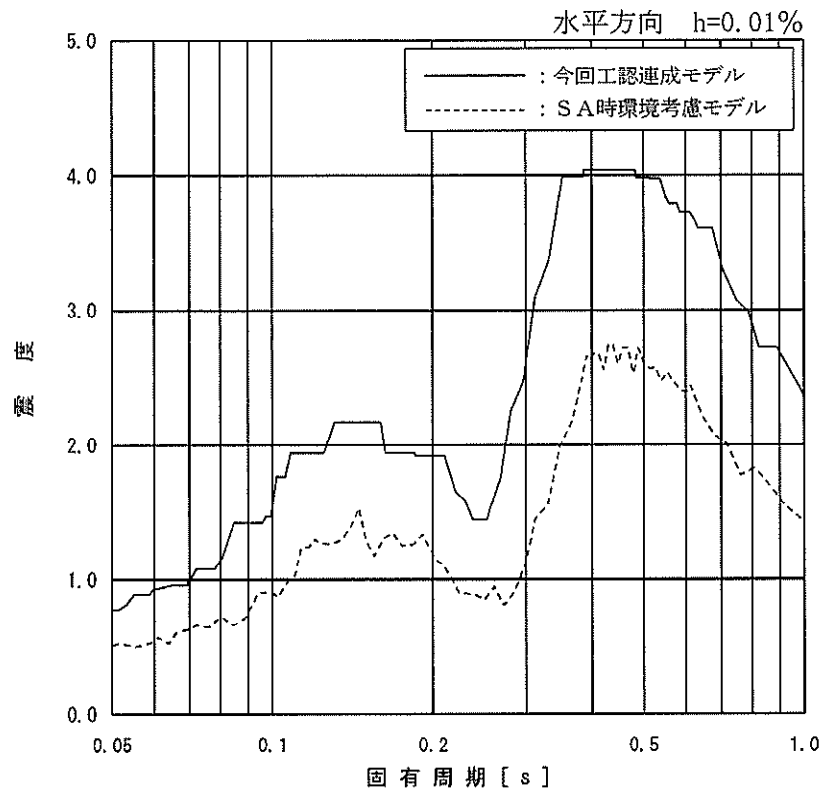
表 4-10(2) SA 時環境考慮モデル応答と今回工認連成モデル応答（ばらつきケース）との比較

構造物	記号	ばね反力 (kN)			適用設備
		S A 時環境考慮モデル/今回 工認連成モデル (基本ケー ス) (①)	今回工認連成モデル (ばら つきケース) / 今回工認連成 モデル (基本ケース) (②)	比率 (①/②)	
PCV スタビライザ	K ₆	1.27	1.24	1.03	・原子炉格納容器スタビライザ ・上部シアラグ及びスラビライザ
RPV スタビライザ	K ₄	1.29	1.26	1.03	・原子炉圧力容器スタビライザ



注記 今回工認連成モデルについては、震度軸方向に1.5倍したものを記載

図 4-4(1) 格納容器内床応答曲線 (原子炉本体の基礎 19.856m 主蒸気管評価位置)



注記 今回工認連成モデルについては、震度軸方向に1.5倍したものを記載
鉛直方向の床応答曲線は、20Hz以上のため評価に用いていないが参考として記載

図 4-4(2) 格納容器内床応答曲線 (原子炉格納容器 EL.13.523m ベント管評価位置)

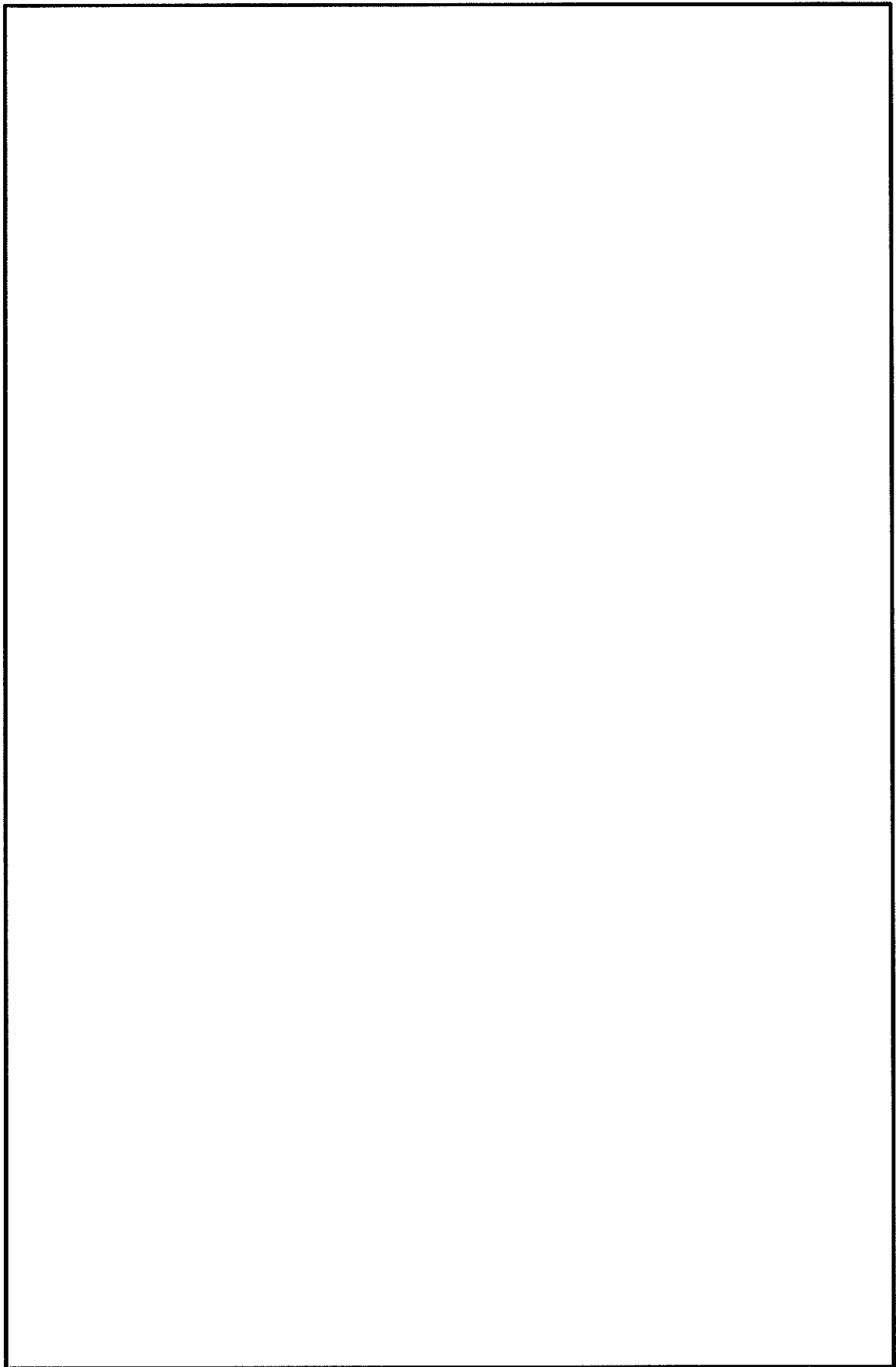


図 4-5(1) 大型機器, 構造物の地震応答解析モデル (水平方向)

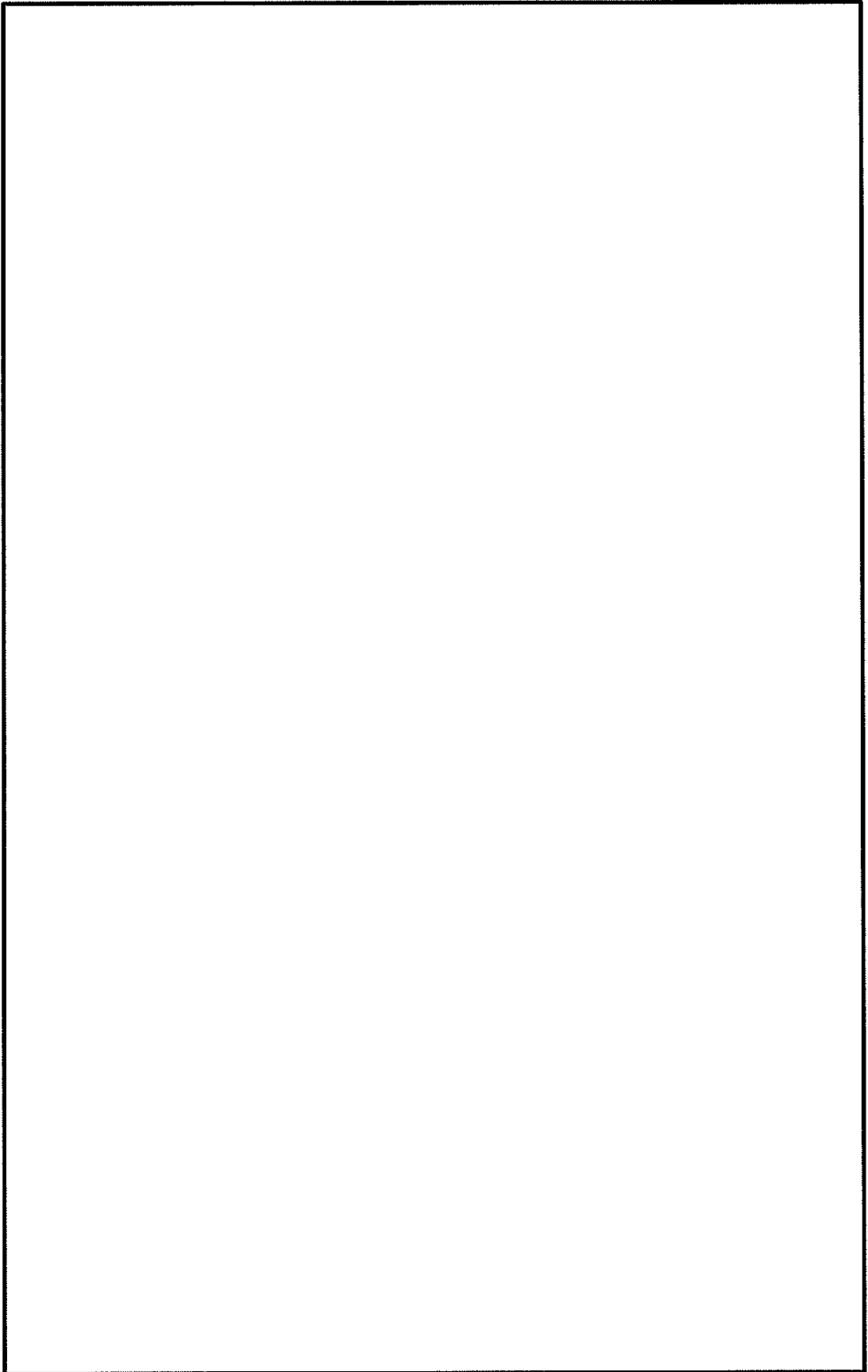


図 4-5 (2) 大型機器, 構造物の地震応答解析モデル (鉛直方向)

(3) 影響検討結果

(2)項で抽出した各設備に対して、SA時環境による影響検討を実施する。影響検討は、今回工認連成モデルによる応答を用いた耐震評価結果における裕度がSA時環境考慮モデルによる応答の増分に収まっていることを確認する。また、今回工認モデルの耐震裕度とSA時環境による増分との比較による影響検討で健全性を示すことが難しい場合は、耐震計算書と同様の手法を適用し影響検討を実施する。

① 原子炉格納容器

応答比率が1.0倍を超えた地震力を適用し評価する部位において、現状の耐震評価で裕度が最小となる部位を選定し影響検討を実施した。影響検討は、今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度が、SA時環境による荷重の増分に収まっていることにより確認する。表4-9に示すとおり今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度がSA時環境による荷重の増分を上回っていることを確認した。

表 4-9 原子炉格納容器の SA 時影響評価結果

評価部位	応力分類	今回工認連成モデルの評価			SA 時環境による増分	評価結果
		発生値	許容値	耐震裕度		
P5 円筒部 (中央部)	一次一般膜 応力強さ	227 MPa	253 MPa	1.11	1.03	○

② 下部シアラグ

応答比率が1.0倍を超えた地震力を適用し評価する部位において、現状の耐震評価で裕度が最小となる部位を設定し影響検討を実施した。影響検討は、SA時環境考慮モデルの地震応答解析結果を用いて、工事計画の耐震計算と同様の手法を適用して実施した。表4-10に示すとおり、発生値は許容応力以下であることを確認した。

表 4-10 下部シアラグの SA 時影響評価結果

評価部位	応力分類	今回工認連成モデルの評価		SA 時環境考慮モデルの評価		評価結果
		発生値	許容値	発生値	許容値	
P5 シアプレート	組合せ	219MPa	278 MPa	278 MPa	278 MPa	○

③ サプレッション・チェンバアクセスハッチ

応答比率が1.0倍を超えた地震力を適用し評価する部位において、現状の耐震評価で裕度が最小となる部位を選定し影響検討を実施した。影響検討は、SA時環境考慮モデルの地震応答解析結果を用いて、工事計画の耐震計算と同様の手法を適用して実施した。表4-11の示すとおり、発生値は許容値以下であることを確認した。

表4-11 サプレッション・チェンバアクセスハッチのSA時影響評価結果

評価部位	応力分類	今回工認モデルの評価		SA時環境考慮モデルの評価		評価結果
		発生値	許容値	発生値	許容値	
P2-3 サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部	一次＋二次応力強さ	668 MPa	393 MPa	755 MPa	393 MPa	×*
	疲労評価	0.428	1	0.687	1	○

* 一次＋二次応力評価結果が許容値を超えたため、疲労評価を行った。

④ 原子炉格納容器スタビライザ，上部シアラグ及びスタビライザ

応答比率が1.0倍を超えた地震力を適用し評価する部位において、現状の耐震評価で裕度が最小となる部位を選定し影響検討を実施した。影響検討は、今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度が、SA時環境による荷重の増分に収まっていることにより確認する。表4-12及び表4-13に示すとおり今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度がSA時環境による荷重の増分を上回っていることを確認した。

表4-12 原子炉格納容器スタビライザのSA時影響評価結果

評価部位	応力分類	今回工認連成モデルの評価			SA時環境による増分	評価結果
		発生値	許容値	耐震裕度		
P4 フランジボルト	引張	509 MPa	534 MPa	1.04	1.03	○

表4-13 上部シアラグ及びスタビライザのSA時影響評価結果

評価部位	応力分類	今回工認連成モデルの評価			SA時環境による増分	評価結果
		発生値	許容値	耐震裕度		
P5 シアプレート	組合せ	209 MPa	229 MPa	1.06	1.03	○

⑤ 原子炉圧力容器スタビライザ

応答比率が 1.0 倍を超えた地震力を適用し評価する部位において、現状の耐震評価で裕度が最小となる部位を選定し影響検討を実施した。影響検討は、今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度が、SA 時環境による荷重の増分に収まっていることにより確認する。表 4-14 に示すとおり今回工認連成モデルの評価結果による耐震裕度が SA 時環境による荷重の増分を上回っていることを確認した。

表 4-14 原子炉圧力容器スタビライザの SA 時影響評価結果

評価部位		応力分類	今回工認連成モデルの評価			SA 時環境による増分	評価結果
			発生値	発生値	発生値		
P1	ロッド	引張り	410 MPa	440 MPa	1.07	1.03	○

5. まとめ

重大事故等における熱の影響を考慮し、「剛性低下考慮モデル」を用いて、基準地震動 S_{e-D1} に対する地震応答解析を実施し、「今回工認モデル」を用いた結果と比較した。

その結果、「剛性低下考慮モデル」の固有周期は、コンクリートの剛性を低減させた影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認し、最大応答値及び最大接地圧については、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。さらに、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響についても確認を行った。確認結果の概要を以下に示す。

(a) 「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響

資料V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」及び資料V-2-9-1-13「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に記載の、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみ及び最大接地圧（地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動 S_{e-D1} ～ S_{e-31} に対する包絡値）に、基準地震動 S_{e-D1} に対する「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「今回工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。また、床応答スペクトルがほぼ同程度となることを確認し、基準地震動 S_{e-31} （地盤物性+ σ 考慮）に対する水平方向の応答比が基準地震動 S_{e-D1} と同等であることならびに最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

(b) 「機器・配管系の評価」に与える影響

原子炉建屋の地震応答解析結果の応答を用いて耐震評価を実施する設備について、今回工認モデルによる床応答スペクトルと剛性低下考慮モデルによる床応答スペクトルとを比較することにより影響検討を行った。一部周期帯で剛性低下考慮モデル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、原子炉建屋に設置される設備については、今回工認モデルの床応答スペクトルに設計上の配慮から震度を1.5倍又は材料物性のばらつきを考慮した応答を適用し耐震計算を実施していることから、剛性低下考慮モデルの応答が今回工認モデルの応答を僅かに上回ったとしても問題ない

原子炉格納容器等の建屋機器連成解析の地震荷重を適用して評価する設備については、SA環境時の地震力が耐震計算に適用した地震力が超える設備を抽出し影響検討を行った。影響検討として、地震応答解析結果の応答増分を考慮しても耐震健全性に影響を与えないことを確認した。

補足-400-7【地震応答解析における保有水平耐力に関する

補足説明】

目次

1. 概要	1
2. 既往の知見に基づく妥当な安全余裕	2
3. 保有水平耐力の安全余裕の確認	3

1. 概要

建物・構築物は、当該建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して耐震重要度分類に応じた安全余裕を有する設計としている。

本資料では、既往の知見に基づき妥当な安全余裕に関する検討を行ったうえで、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-10 緊急時対策所建屋の地震応答計算書」

2. 既往の知見に基づく妥当な安全余裕

「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A G」という。)及び「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会, 2008 年)」(以下「J E A C」という。)では, 保有水平耐力の安全余裕について, 次の通り記載されている。

【J E A G 「5.3.5 安全余裕度」抜粋 (一部加筆)】

「安全余裕殿定量的基準については, (中略) ①1次設計で通常の3倍の地震力で許容応力度設計された建屋の保有耐力を推定して目安値の検討を行っている例 (標・建-3) もある。これに対し, ②1次設計で3倍の余裕度を2次設計ではエネルギーの余裕度と考え, これを耐力に換算してほぼ $\sqrt{3}$ 倍の余裕度とする考え方 (標・建-3) もある。なお, ③最近では原子炉建屋耐震壁の実験データをもとに耐震設計上の許容限界の検討が行われ, 鉄筋コンクリート造の建物・構築物について次のような目安値が提案されている。

$$Q_s = Q_u / 1.5$$

Q_s : せん断力に関する許容限界の目安値

Q_u : 各層の終局せん断耐力 ($=\tau_u \cdot A_s$)

τ_u : 式 (5.2.5-11) による (終局点のせん断応力)

A_s : 有効せん断断面積

この目安値は, 鉄筋コンクリート造耐震壁の終局耐力のバラツキを定量的に評価し, さらに支持機能についても検討した上で工学的に設定したものである。」

(標・建-3) : 改良標準化調査 (建屋系) 「建屋, 構築物の静的地震力の算定法」

①1.6, ② $\sqrt{3}$, ③1.5

【J E A C 「3.6.3 保有水平耐力の検討」抜粋】

「Sクラスの建物・構築物の鉄筋コンクリート造耐震壁については, 各層の保有水平耐力 Q_u を (中略) 必要保有水平耐力 Q_{un} で除した値が 1.5 を下回ってはならない」

上記によると, J E A G では 1.5, 1.6, $\sqrt{3}$ の 3 つの値が提案され, J E A C では 1.5 が規程されている。

3. 保有水平耐力の安全余裕の確認

原子炉建屋及び緊急時対策所建屋の保有水平耐力の検討結果を表 3-1～表 3-2 に示す。必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比で最も小さいのは、原子炉建屋で 2.85 (EW 方向, 要素番号 (6)), 緊急時対策所建屋で 4.42 (EW 方向, 要素番号 (4)) であり, J E A G で提案, J E A C で規程されている数値以上の安全余裕を有していることを確認できた。

表 3-1 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果 ()

(a) NS 方向

要素 番号	EL. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	63.65 ~ 57.00	15300	124000	8.10
(2)	57.00 ~ 46.50	29000	126000	4.34
(3)	46.50 ~ 38.80	73700	929000	12.6
(4)	38.80 ~ 34.70	130000	555000	4.26
(5)	34.70 ~ 29.00	173000	559000	3.23
(6)	29.00 ~ 20.30	250000	929000	3.71
(7)	20.30 ~ 14.00	337000	1180000	3.50
(8)	14.00 ~ 8.20	422000	1680000	3.98
(9)	8.20 ~ 2.00	407000	2330000	5.72
(10)	2.00 ~ -4.00	459000	2710000	5.90

(b) EW 方向

要素 番号	EL. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	63.65 ~ 57.00	15700	116000	7.38
(2)	57.00 ~ 46.50	29700	118000	3.97
(3)	46.50 ~ 38.80	74800	677000	9.05
(4)	38.80 ~ 34.70	131000	620000	4.73
(5)	34.70 ~ 29.00	173000	626000	3.61
(6)	29.00 ~ 20.30	309000	882000	2.85
(7)	20.30 ~ 14.00	284000	1020000	3.59
(8)	14.00 ~ 8.20	454000	1560000	3.43
(9)	8.20 ~ 2.00	407000	2280000	5.60
(10)	2.00 ~ -4.00	459000	2620000	5.70

表 3-2 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果（緊急時対策所建屋）

(a) NS 方向

要素 番号	EL. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	43.50 ~ 51.00	19700	296000	15.0
(2)	37.00 ~ 43.50	74600	775000	10.4
(3)	30.30 ~ 37.00	117000	756000	6.46
(4)	23.30 ~ 30.30	159000	844000	5.31

(b) EW 方向

要素 番号	EL. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	43.50 ~ 51.00	20200	189000	9.36
(2)	37.00 ~ 43.50	70500	604000	8.57
(3)	30.30 ~ 37.00	118000	605000	5.13
(4)	23.30 ~ 30.30	161000	711000	4.42

補足-400-8【原子炉建屋の既工認時の設計用地震力と
今回工認における静的地震力及び弾性設計用地震動 S_d
による地震力の比較】

目次

1. 概要	1
2. 検討方針	1
3. 検討結果	3

1. 概要

設計基準対象施設のうち「Sクラスの施設」については、耐震性の検討において、弾性設計用地震動S_dによる地震力（以下「S_d地震力」という。）又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「S_d地震時に対する評価」という。）を行うこととしている。また、原子炉建屋基礎盤については、建設時にAクラスであったことを踏まえ、S_d地震時の評価を行う。

原子炉建屋については、今回申請における原子炉建屋の地震応答解析モデルに基づくS_d地震力及び静的地震力が、建設時の工事計画（47公第12076号 昭和48年4月9日認可）の設計用地震力（以下「設計時地震力」という。）よりも小さいことから、S_d地震時に対する評価は建設工認の評価に包絡される部位がある。

本資料では、S_d地震力及び静的地震力と設計時地震力を比較し、建物・構築物の評価への影響について確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-8-4-2 中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」

2. 検討方針

原子炉建屋について、S_d地震力及び静的地震力と設計時地震力の比較を行う。なお、S_d地震力及び静的地震力については、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」において実施した地震応答解析に基づき算出したものとし、S_d地震力については地盤物性のばらつきを考慮する。静的地震力の算定について以下に示す。

(1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は地表面（EL. 8.0 m）とし、基準面より上の部分（地上部分）の地震力は、地震層せん断力係数を用いて、次式により算出する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i : 第i層に生じる水平地震力
- n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)
- C_i : 第i層の地震層せん断力係数
- W_i : 第i層が支える重量
- Z : 地震地域係数 (1.0)
- R_t : 振動特性係数 (0.8)
- A_i : 第i層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準層せん断力係数 (0.2)

基準面より下の部分（地下部分）の地震力は、当該部分の重量に、次式によって算定する地下震度を乗じて定める。

$$K = 0.1 \cdot n \cdot (1 - H/40) \cdot \alpha$$

ここで、

K : 地下部分の水平震度
 n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)
 H : 地下の各部分の基準面からの深さ (m)
 α : 建物・構築物側方の地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数 (1.0)

また、 A_i はモーダルアナリシスにより算出する。

$$A_i = A'_i / A'_1$$

ここで、

$$A'_i = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{m=1}^s W_m \cdot \beta_j \cdot U_{mj} \cdot R_t \right)^2} / \sum_{m=1}^s W_m$$

k : 考慮すべき最高次数で通常 3 以上とする。(24 次まで考慮)
 s : 建築物の層数
 W_m : 第 m 層の重量
 $\beta_j \cdot U_{mj}$: 第 m 層の j 次刺激関数
 R_t : 振動特性係数 (0.8)

(2) 鉛直地震力

鉛直地震力は、鉛直震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して、次式によって算定する鉛直震度を用いて定める。

$$C_v = 0.3 \cdot R_v$$

ここで、

C_v : 鉛直震度
 R_v : 鉛直方向振動特性係数 (0.8)

3. 検討結果

比較結果を図 3-1～図 3-3 に示す。中央制御室は EL. 29.00 m～EL. 14.00 m，原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤は EL. -4.00 m，原子炉棟については EL. 63.65 m～EL. -4.00 m の応答が対象となる。

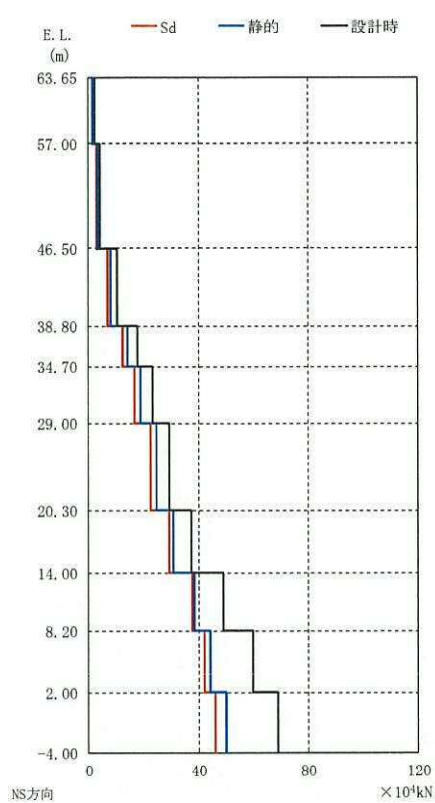
S_d地震力及び静的地震力と設計時地震力と比較すると，せん断力及び曲げモーメントについては，いずれも設計時地震力を下回っている。

また，鉛直方向の地震力については，S_d地震力が設計時地震力を上回っているが，水平及び鉛直方向の地震力の組合せに組合せ係数法を用いることから，水平地震力が評価の上で支配的となる部位については $1.0 \times$ 水平地震力 $+ 0.4 \times$ 鉛直地震力で組み合わせた地震力を用いるため，今回の工認で用いる地震力は設計時地震力を下回る。また，鉛直方向の静的地震力については，EL. 57.00 m～EL. 46.50 m 及び EL. 2.00 m～EL. -4.00 m では，設計時地震力を上回るが，その比は 1.03 及び 1.01 である。同位置における水平方向のせん断力の比の最大値が 0.82 及び 0.73 となっていることから，水平方向の地震力が評価の上で支配的となる部位に対する地震力の組合せとしては，設計時地震力を下回る。

水平方向の地震力が支配的となる部位は耐震壁，鉛直方向の地震力が支配的となる部位は屋根スラブ・床スラブである。基礎スラブは，屋根スラブ・床スラブと同様の方向の水平部材であるが，上部構造からの地震力に対する応力が主となるため，水平方向の地震力が支配的となる。S_d地震時に対する評価部位を表 3-1 に示す。

以上より，水平方向の地震力が評価の上で支配的となる中央制御室の耐震壁，原子炉格納容器底部コンクリートマット，原子炉建屋原子炉棟の耐震壁及び原子炉建屋基礎盤については S_d地震時に対する評価は建設工認の評価に包絡される。

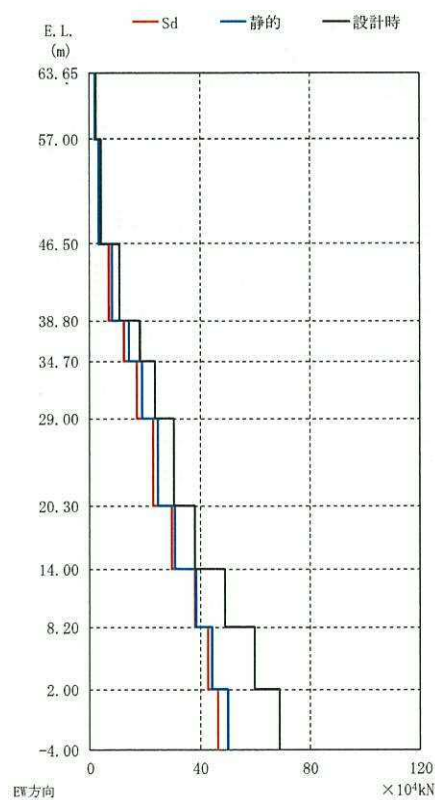
なお，鉛直方向の地震力が評価の上で支配的となる中央制御室の天井スラブ・床スラブ及び原子炉建屋原子炉棟の天井スラブ・床スラブについては S_d地震時に対する評価を行う。



(単位: $\times 10^4 \text{kN}$)

Sd	静的	設計時	Sd/ 設計時	静的/ 設計時
1.66	1.66	2.28	0.73	0.73
3.10	3.16	3.96	0.78	0.80
7.13	8.02	10.4	0.69	0.77
12.3	14.1	17.9	0.69	0.79
16.7	18.8	23.4	0.71	0.80
22.7	24.7	29.6	0.77	0.83
29.3	30.8	37.3	0.79	0.83
37.7	38.4	49.2	0.77	0.78
42.2	44.4	59.8	0.71	0.74
46.1	50.1	69.0	0.67	0.73

(a) NS 方向

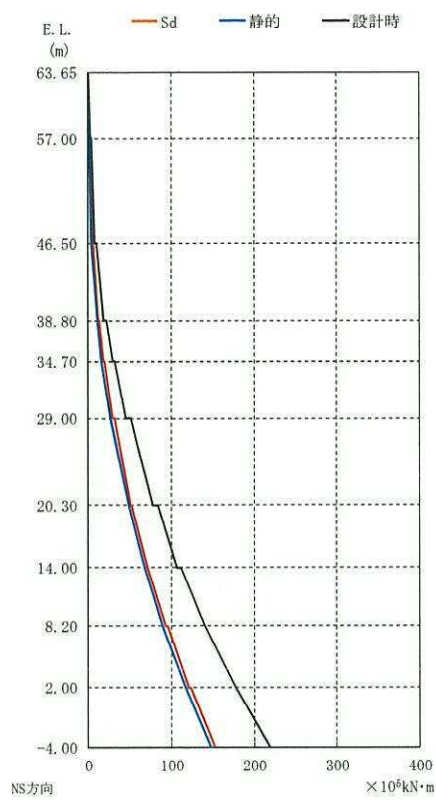


(単位: $\times 10^4 \text{kN}$)

Sd	静的	設計時	Sd/ 設計時	静的/ 設計時
1.77	1.71	2.35	0.75	0.73
3.33	3.23	4.08	0.82	0.79
7.10	8.13	10.7	0.66	0.76
12.5	14.2	18.2	0.69	0.78
17.1	18.9	23.7	0.72	0.80
23.0	24.8	30.4	0.76	0.82
29.7	30.9	38.2	0.78	0.81
38.1	38.4	49.2	0.77	0.78
42.8	44.4	59.8	0.72	0.74
46.6	50.1	69.0	0.68	0.73

(b) EW 方向

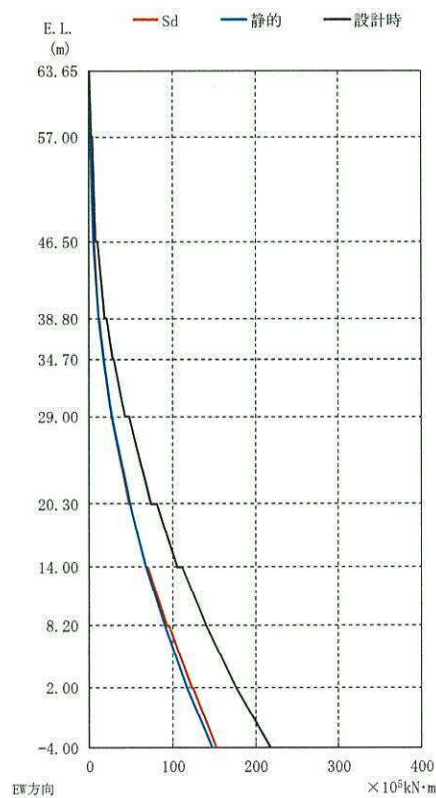
図 3-1 せん断力の比較



(単位: $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

Sd	静的	設計時	Sd/ 設計時	静的/ 設計時
0.565	0.000	0.809	0.70	0.00
1.67	1.10	2.32	0.72	0.47
2.38	1.10	3.34	0.71	0.33
5.64	4.42	7.50	0.75	0.59
6.86	4.42	10.1	0.68	0.44
12.4	10.6	18.1	0.69	0.59
13.6	10.6	21.6	0.63	0.49
18.6	16.4	28.9	0.64	0.57
19.6	16.4	31.3	0.63	0.52
29.1	27.1	44.6	0.65	0.61
31.7	27.1	51.5	0.62	0.53
51.4	48.6	77.2	0.67	0.63
52.6	48.6	84.0	0.63	0.58
71.1	68.0	107	0.66	0.64
71.9	68.0	112	0.64	0.61
93.8	90.3	141	0.67	0.64
95.3	90.3	141	0.68	0.64
121	118	178	0.68	0.66
124	118	178	0.70	0.66
152	148	219	0.69	0.68

(a) NS 方向



(単位: $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

Sd	静的	設計時	Sd/ 設計時	静的/ 設計時
0.439	0.000	0.742	0.59	0.00
1.62	1.14	2.30	0.70	0.50
2.03	1.14	3.26	0.62	0.35
5.53	4.53	7.54	0.73	0.60
6.26	4.53	9.86	0.63	0.46
11.7	10.8	18.1	0.65	0.60
12.4	10.8	20.3	0.61	0.53
17.5	16.6	27.7	0.63	0.60
17.5	16.6	29.2	0.60	0.57
27.3	27.4	42.7	0.64	0.64
27.3	27.4	47.2	0.58	0.58
47.3	49.0	73.7	0.64	0.66
48.9	49.0	81.2	0.60	0.60
67.6	68.4	105	0.64	0.65
70.7	68.4	111	0.64	0.62
92.8	90.7	140	0.66	0.65
96.0	90.7	140	0.69	0.65
123	118	177	0.69	0.67
125	118	177	0.71	0.67
153	148	218	0.70	0.68

(b) EW 方向

図 3-2 曲げモーメントの比較

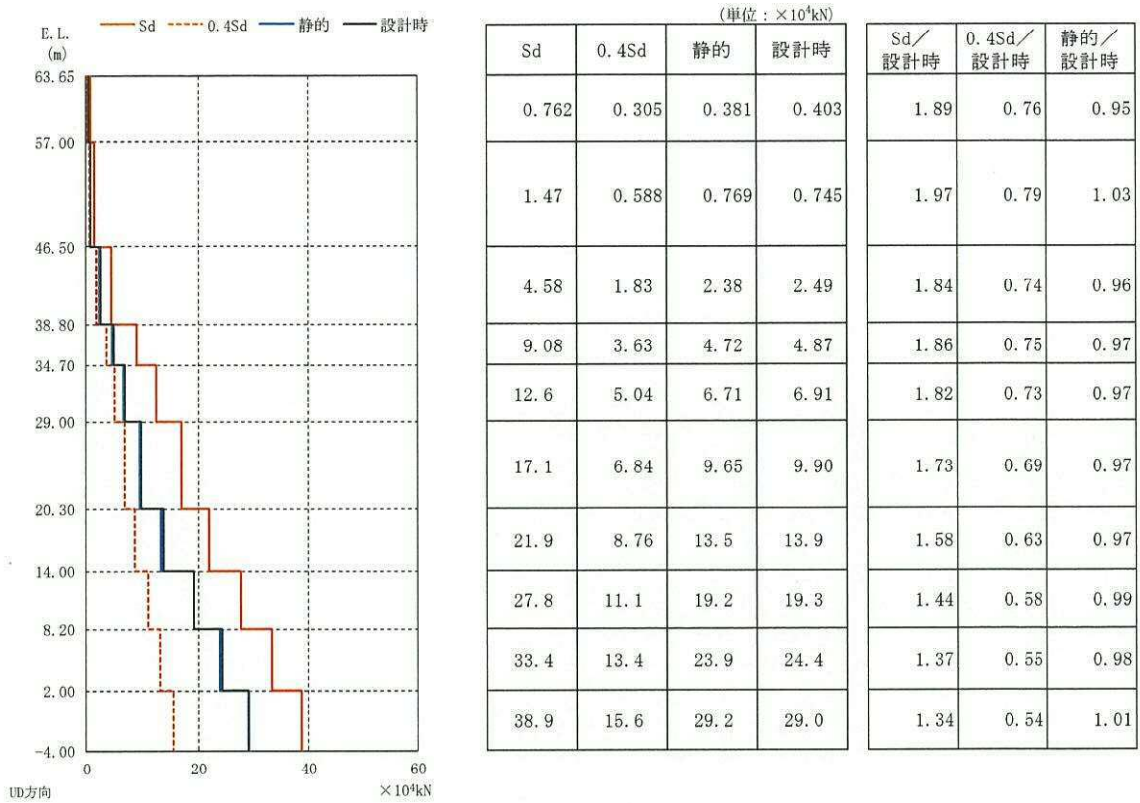


図 3-3 鉛直地震力の比較

表 3-1 S_d 地震時に対する評価部位

施設	部位	支配的となる地震力の方向	S_d 地震時に対する評価
中央制御室	耐震壁	水平	—
	天井スラブ・床スラブ	鉛直	○
原子炉格納容器底部 コンクリートマット	基礎スラブ	水平	○
原子炉建屋原子炉棟	耐震壁	水平	—
	屋根スラブ・屋根トラス	鉛直	○
原子炉建屋基礎盤	基礎スラブ	水平	○

○：評価を実施する

—：建設工認に包絡される