

2.4 水平方向モデルにおける上載土重量に関する影響確認

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」の水平方向モデルは、格納槽の地盤として側方に十分な拡がりをもっており、図2-24に示す上載土と側方の地盤は一体挙動すると考えられることから、水平方向モデルには上載土の重量は考慮していない。(以下、「基本モデル」と呼ぶ。)

本節では、格納槽が上載土重量を全て負担した場合の影響について説明する。

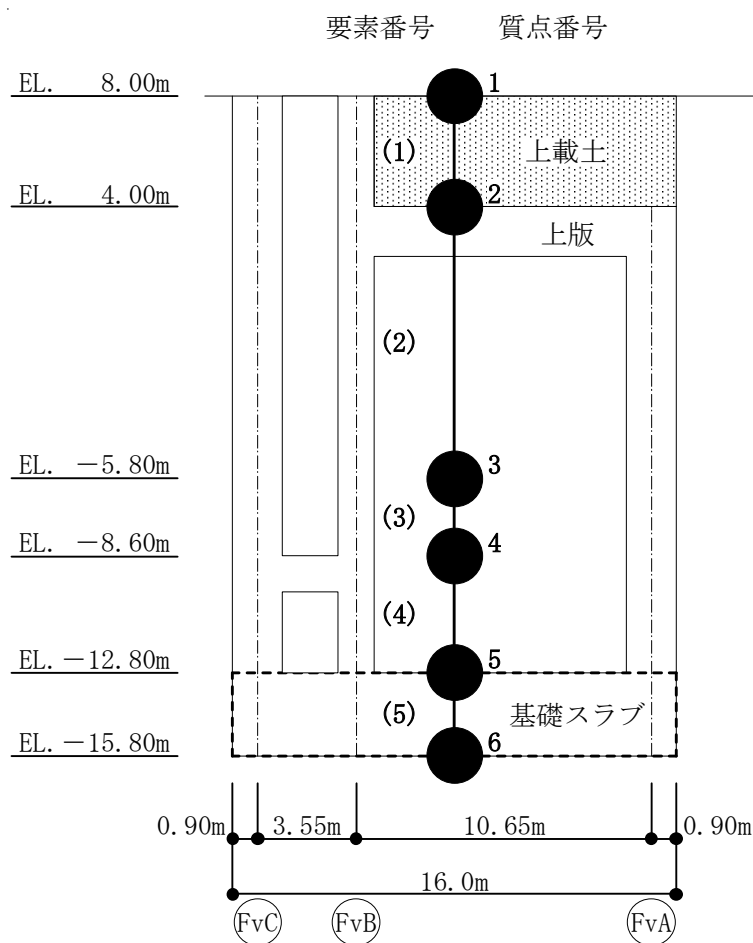


図2-24 格納槽の上載土の概要 (NS 方向)

2.4.1 検討方針

上載土重量に関する影響検討における解析ケースを表 2-11 に示す。

基本ケース及び上載土重量考慮ケースにおける地震応答解析結果の比較を行うことで、格納槽が上載土重量を全て負担した場合の影響を把握する。さらに、格納槽の地震応答解析から得られた各応答値は、格納槽自体の設計用地震力として用いるため、上載土重量考慮ケースが格納槽の耐震評価に与える影響についても確認する。なお、基本ケースでは、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」における基本モデルに対し、「2.2 地盤物性のばらつきを考慮した場合の影響検討」における地盤物性のばらつきを考慮する。

検討フローを図 2-25 に、格納槽への影響検討における評価項目を表 2-12 に示す。

検討に用いる入力地震動は、添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」における地震荷重の算定方針に基づき、基準地震動 S_s のうち、地震応答解析の応答値（最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント）が最大となる S_s-D1 及び S_s-31 を選定した。

表 2-11 上載土重量に関する影響検討における解析ケース

ケース名称	モデル名称	上載土重量のモデル反映
基本ケース	基本モデル	非考慮
	地盤物性+ σ 考慮モデル	非考慮
	地盤物性- σ 考慮モデル	非考慮
上載土重量考慮ケース	上載土重量考慮モデル	考慮

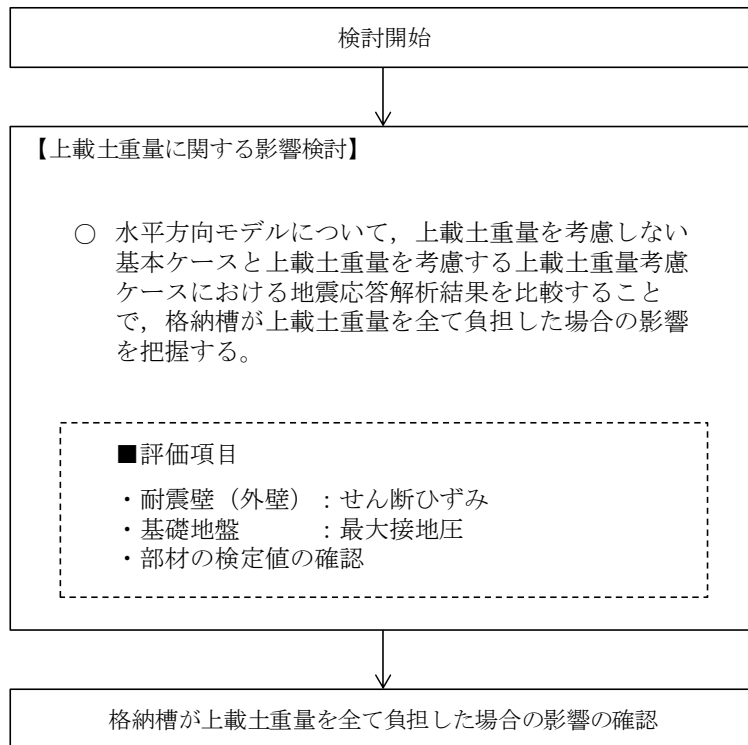


図 2-25 検討フロー

表 2-12 格納槽への影響検討における評価項目

評価項目	部位	許容限界
せん断ひずみ	耐震壁 (地下外壁)	・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社)日本電気協会)」に基づく許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないこと
支持力度	基礎地盤	・基礎地盤の接地圧が，「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)」に基づく極限鉛直支持力度 (4660 kN/m^2) を十分下回ること
部材の検定値	耐震壁 (地下外壁)	・基本ケースの断面算定の検定値 (発生値 / 許容値) に，基本ケースと上載土重量考慮ケースの応答比 (上載土重量考慮ケース / 基本ケース) を乗じた値が許容限界 (1.0) を超えないこと
	基礎 スラブ	
	上版	

2.4.2 上載土重量考慮モデルのモデル化

基準地震動 S_s-D1 及び S_s-31 による地震応答解析を行う。モデル化は、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」に基本的に準拠するものとし、上載土重量を考慮した点のみ異なる。基本ケースの諸元は、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」に示す基本モデルの値と同一である。上載土重量考慮モデルでは、上載土重量をEL. 4.00 m及びEL. 8.00mに載荷するものとする。

上載土重量考慮モデルの諸元を表2-13に示す。

表2-13 上載土重量考慮モデルの諸元

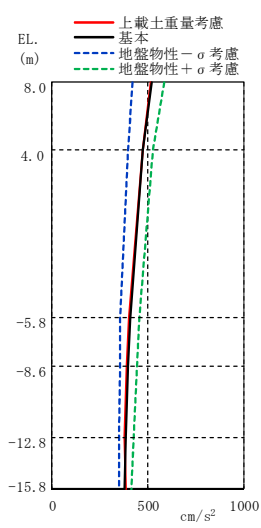
標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント (m^4)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
8.0	1	7330	107.2	105.9	(1) (2) (3) (4) (5)	13.26	15.19	48.00	45.16
4.0	2	23240	550.9	304.6		57.60	54.74	2402	1369
-5.8	3	16180	363.8	192.3		57.60	54.82	2422	1369
-8.6	4	8490	183.9	93.9		57.60	52.37	2422	1348
-12.8	5	13730	304.3	158.8		181.6	181.6	3874	1950
-15.8	6	6560	141.2	71.7					
総重量		75530							

*注：表中の破線枠は、基本ケースからの変更箇所（質点重量、回転慣性重量及び総重量）を示す。

2.4.3 地震応答解析結果

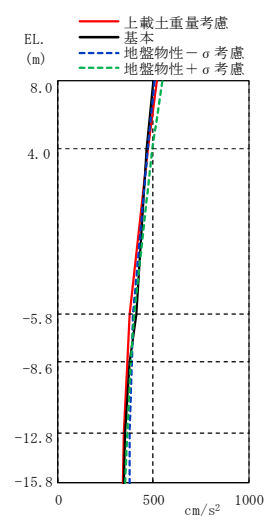
基準地震動 S_s-D1 及び S_s-31 に対する地震応答解析結果の最大応答値を図 2-26～図 2-29 に示す。

基本ケース及び上載土重量考慮ケースの地震応答解析結果を比較すると、両者の結果は類似しており、上載土重量の影響は小さいものと考えられる。



(單位: cm/s^2)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
515	421	520	584
474	398	472	523
403	357	409	455
390	352	397	441
379	347	381	423
382	350	376	416

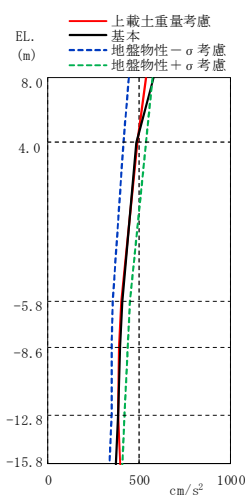


(單位: cm/s^2)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
522	509	500	547
471	469	463	498
379	397	415	402
366	387	376	384
348	377	356	364
341	374	350	353

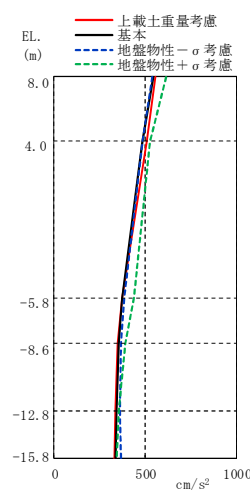
(a) S_s-D1 NS方向

(b) S_s-31 NS方向



(單位: cm/s^2)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
540	445	577	573
490	412	485	536
404	356	409	452
388	351	397	435
382	347	381	419
393	339	374	409



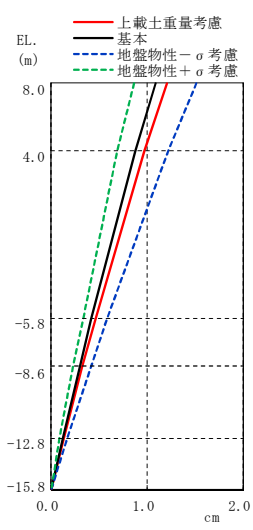
(單位: cm/s^2)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
557	536	541	612
508	484	484	526
373	382	371	440
351	368	352	390
335	361	341	354
334	366	339	344

(c) S_s-D1 EW方向

(d) S_s-31 EW方向

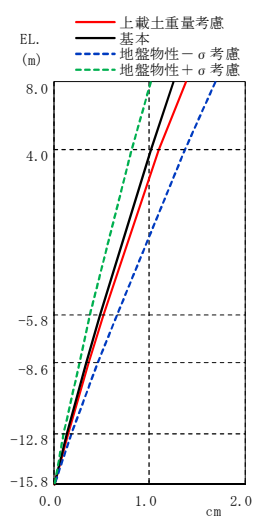
图 2-26 最大応答加速度



(單位: cm)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
1.21	1.51	1.09	0.86
0.98	1.22	0.88	0.70
0.46	0.58	0.42	0.33
0.33	0.41	0.30	0.23
0.13	0.17	0.12	0.09
—	—	—	—

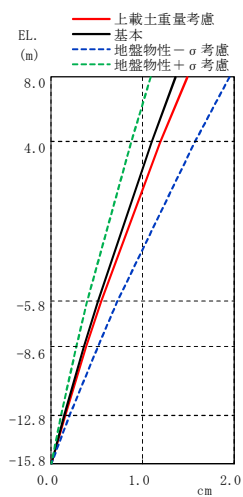
(a) $S_s-D 1$ NS方向



(單位: cm)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
1.39	1.70	1.26	1.02
1.11	1.37	1.01	0.81
0.52	0.66	0.48	0.38
0.37	0.47	0.34	0.27
0.15	0.19	0.14	0.11
—	—	—	—

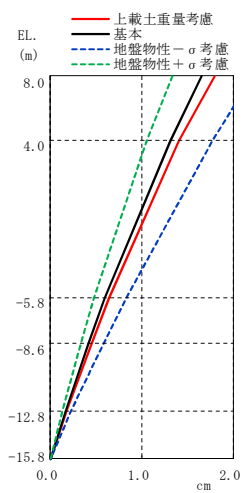
(b) $S_s-3 1$ NS方向



(單位: cm)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
1.49	1.95	1.37	1.09
1.19	1.57	1.10	0.87
0.55	0.73	0.51	0.40
0.39	0.51	0.36	0.28
0.16	0.21	0.14	0.11
—	—	—	—

(c) $S_s-D 1$ EW方向

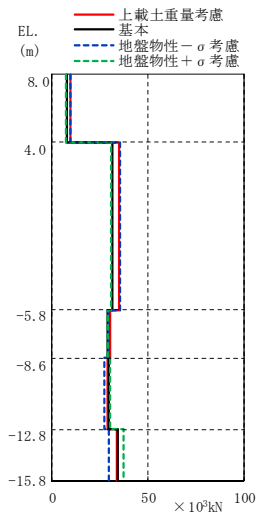


(單位: cm)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
1.80	2.20	1.65	1.34
1.41	1.78	1.32	1.05
0.64	0.83	0.60	0.47
0.45	0.58	0.42	0.33
0.18	0.24	0.17	0.13
—	—	—	—

(d) $S_s-3 1$ EW方向

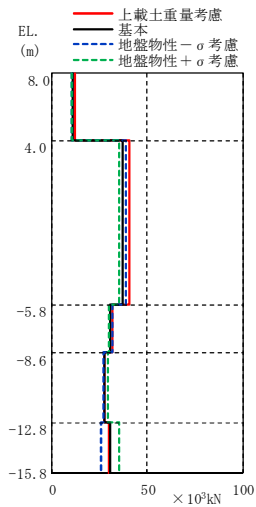
图 2-27 最大応答変位



(単位: $\times 10^3 \text{kN}$)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
9.71	9.70	7.73	7.36
35.0	35.6	31.1	30.7
30.1	29.5	29.1	28.7
29.1	27.0	29.5	29.9
33.6	29.5	34.3	37.0

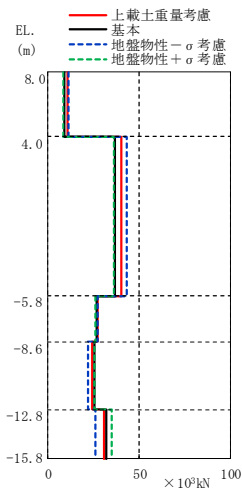
(a) S_s -D 1 NS方向



(単位: $\times 10^3 \text{kN}$)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
12.4	10.7	10.7	10.6
40.7	39.1	37.2	35.2
31.9	32.0	30.7	29.9
27.5	26.8	27.6	29.2
30.0	25.8	30.6	35.2

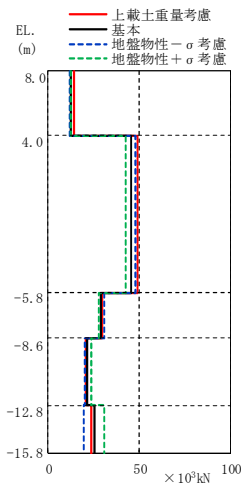
(b) S_s -3 1 NS方向



(単位: $\times 10^3 \text{kN}$)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
10.7	11.1	8.78	8.45
40.3	43.2	36.7	35.9
27.3	27.5	26.9	26.0
24.3	22.1	25.3	25.5
30.8	25.8	31.8	34.6

(c) S_s -D 1 EW方向

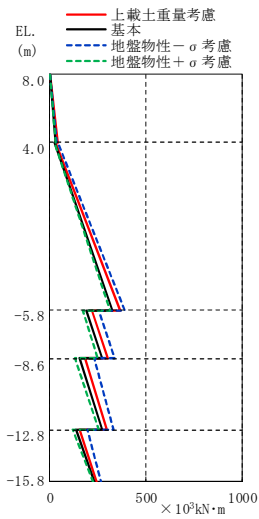


(単位: $\times 10^3 \text{kN}$)

上載土重量考慮	地盤物性 - σ 考慮	基本	地盤物性 + σ 考慮
14.0	12.0	12.4	12.5
49.0	47.8	45.5	42.8
29.3	30.6	28.7	27.7
20.6	20.3	21.3	23.5
23.9	19.4	25.2	31.0

(d) S_s -3 1 EW方向

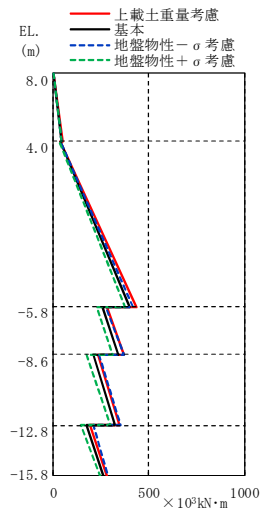
図 2-28 最大応答せん断力



(單位: $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

上載土重量考慮	地盤物性- σ 考慮	基本	地盤物性+ σ 考慮
2.32	0.0745	0.0746	0.0684
40.0	38.9	31.0	29.5
30.6	40.4	26.1	24.5
364	388	324	313
220	255	192	170
303	335	273	250
183	229	157	131
298	329	275	252
153	194	135	118
245	266	230	222

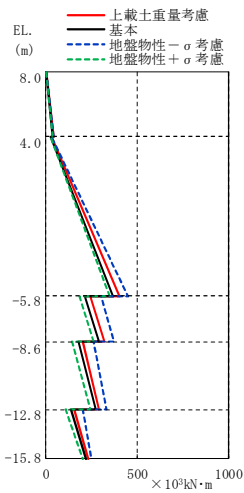
(a) S_s -D 1 NS方向



(單位: $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

上載土重量考慮	地盤物性- σ 考慮	基本	地盤物性+ σ 考慮
1.94	0.0564	0.0491	0.0456
51.0	42.6	42.8	42.2
40.5	37.2	38.3	34.7
439	421	402	378
283	279	256	228
373	368	342	310
235	243	211	176
350	355	326	297
193	209	175	145
283	286	267	249

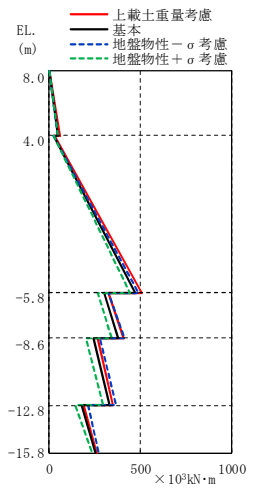
(b) S_s -3 1 NS方向



(單位: $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

上載土重量考慮	地盤物性- σ 考慮	基本	地盤物性+ σ 考慮
2.88	0.0924	0.0874	0.0861
44.1	44.4	35.2	33.9
28.7	32.6	24.9	22.9
403	450	365	350
243	300	215	185
318	374	290	258
201	261	176	143
291	331	272	242
154	199	138	110
230	247	218	204

(c) S_s -D 1 EW方向



(單位: $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$)

上載土重量考慮	地盤物性- σ 考慮	基本	地盤物性+ σ 考慮
3.25	0.129	0.240	0.249
59.0	47.9	49.4	50.0
28.1	25.9	25.0	22.6
508	491	470	441
327	327	300	265
409	413	380	341
265	279	241	202
350	364	330	297
192	214	177	145
263	269	252	238

(d) S_s -3 1 EW方向

図 2-29 最大応答曲げモーメント

2.4.4 格納槽の耐震評価への影響

(1) 耐震壁（地下外壁）を対象としたせん断ひずみの評価

地震応答解析モデルを上載土重量考慮モデルとすることによる格納槽の耐震評価への影響検討として、基本ケースと上載土重量考慮ケースの地震応答解析結果による耐震壁（地下外壁）の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する。

基本ケースと上載土重量考慮ケースの最大せん断ひずみの比較を表 2-14 に示す。

表 2-14 には、基準地震動 S_s -D 1 及び S_s -3 1 に対する地震応答解析結果のうち、最もせん断ひずみが大きい部材の応答値を示している。また、基本ケースの最大せん断ひずみには、基本モデル、地盤物性+ σ 考慮モデル及び地盤物性- σ 考慮モデルによる地震応答解析結果の包絡値を採用する。

表 2-14 より、格納槽の最大せん断ひずみは、基本ケースと上載土重量考慮ケースのどちらにおいても許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表 2-14 基本ケースと上載土重量考慮ケースの最大せん断ひずみの比較

方向	基本ケース			上載土重量考慮ケース		
	地震波	要素番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	地震波	要素番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)
NS 方向	S_s -3 1	(1)	0.0792	S_s -3 1	(1)	0.0914
EW 方向	S_s -3 1	(2)	0.0859	S_s -3 1	(1)	0.0905

(2) 基礎地盤を対象とした接地圧の評価

地震応答解析モデルを上載土重量考慮モデルとすることによる格納槽の耐震評価への影響検討として、基本ケースと上載土重量考慮ケースの地震応答解析結果による基礎地盤の最大接地圧が極限鉛直支持力度（4660 kN/m²）を十分下回ることを確認する。

基本ケースと上載土重量考慮ケースの最大接地圧の比較を表 2-15 に示す。

表 2-15 には、基準地震動 S_s-D 1 及び S_s-3 1 に対する地震応答解析結果のうち、最も接地圧が大きい地盤要素の応答値を示している。

表 2-15 より、格納槽の基礎地盤における最大接地圧は、基本ケースを上回るものの、上載土重量考慮ケースにおいても極限鉛直支持力度（4660 kN/m²）を十分下回ることを確認した。

表 2-15 基本ケースと上載土重量考慮ケースの最大接地圧の比較

方向	基本ケース		上載土重量考慮ケース	
	地震波	最大接地圧 (kN/m ²)	地震波	最大接地圧 (kN/m ²)
NS 方向	S _s -3 1	872	S _s -3 1	913
EW 方向	S _s -3 1	914	S _s -3 1	918

(3) 基礎スラブ及び耐震壁（地下外壁）に対する耐震評価への影響

検討は、添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」に記載の基本ケースによる地震応答解析結果を用いた断面算定の検定値に、基本ケースと上載土重量考慮ケースの応答比（上載土重量考慮ケース／基本ケース）を乗じた値が許容限界（1.0）を超えないことを確認する。

検討においては、基本ケースによる地震応答解析結果を用いた断面算定の検定値が最大となる部位について確認する。基本ケースと上載土重量考慮ケースの応答比は、応力解析において解析モデルへの入力荷重として用いる各部材の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比をそれぞれ算出し、その最大値とする。ただし、最大応答曲げモーメントの応答比の算出では、脚部の応答値を用いる。また、基本ケースについては、基本モデル、地盤物性+σ考慮モデル及び地盤物性-σ考慮モデルによる地震応答解析結果の包絡値を採用する。

検討結果を表2-16に示す。

すべての部材について断面算定の検定値に応答比を乗じた値が許容限界（1.0）を超えないことを確認した。

表2-16 検討結果

基本ケースと 上載土重量考慮ケース の応答比 (上載土重量考慮ケース ／基本ケース)		検討対象 部位	基本ケースの 検定値（発生値／許容値）の最大値 (添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置 格納槽の耐震性についての計算書」に記載の結果)			確認 結果 ①×②
考慮する 応答値	応答比 ①		評価 項目	要素 番号	検定値 ②	
最大応答 せん断力 及び 最大応答 曲げモーメント	1.193*	耐震壁 (地下外 壁)	軸力 + 曲げモーメント+ 面内せん断力 (鉛直方向)	109326	0.557	0.665
		基礎 スラブ	面外せん断力 (NS方向)	1607	0.350	0.418
		上版	面外せん断力 (NS方向)	1637	0.471	0.562

* : S_s-31 (NS 方向), 要素番号(1)における応答比 (最大応答曲げモーメントの比率) を示す。

2.5 剛性（コンクリート強度）のばらつきを考慮した場合の影響検討

評価では、地盤物性のばらつきについて添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」において、設計用地震力の設定にて考慮している。また、剛性のばらつきについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなることから保守的に考慮していない。

本節では、念のため格納槽のコンクリート強度のばらつきについての影響を検討することとした。

2.5.1 建物・構築物としての材料物性のばらつきの設定

(1) コンクリート強度

コンクリート強度のばらつきの設定を表2-17に示す。コンクリート強度は「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」に基づく $1.4 \times F_c$ (42.0 N/mm^2)と原子炉建屋で実施されたコア供試体に対する圧縮強度試験結果の平均値 (42.1 N/mm^2)と比較し、より材料物性としてばらつきの大きくなる 42.1 N/mm^2 で設定する。

表2-17 コンクリート強度のばらつき

	コンクリート強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)
基本ケース 【設計基準強度】	30.0	2.44×10^4
実強度	42.1 (1.41)	2.73×10^4 (1.12)

*：() 内は基本ケースに対する比率

2.5.2 検討内容

格納槽について、コンクリート剛性を実強度とした場合の最大加速度応答分布と床応答スペクトルと地盤のばらつきを考慮した場合の最大加速度応答分布と床応答スペクトルの比較を示す。

追而

2.5.3 検討結果

追而

3. 応力解析に関する補足説明

3.1 土圧荷重の設定方法

本節は、格納槽の応力解析における常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重の設定方法について説明するものである。

土圧荷重算定に用いる地盤物性を表 3-1 に示す。

なお、地下水位は EL. 8.0m とする。

表 3-1 地盤物性値

EL. (m)	地層名	層厚 (m)	単位体積重量 (t/m ³)
8.0	f1	2.9	1.98
5.1	du	4.4	1.98
0.7	Ag2	5.5	2.01
-4.8	D2g-3	9.5	2.15
-14.3	Km	1.5	1.72
-15.8			

3.1.1 常時土圧荷重の算定

常時土圧荷重は、「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。)及び「建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001)」に基づき、下式の通り算定する。

$$p = p_0 + p_w$$

$$p_0 = K_0 \gamma' z$$

$$p_w = \gamma_w (z_w - H_w)$$

ここで、

p : 単位面積当たりの土圧 (kN/m²)

p_0 : 深さ z (m)における単位面積当たりの静止土圧 (kN/m²)

p_w : 地下外壁に作用する水圧 (kN/m²)

K_0 : 静止土圧係数 (0.5)

γ' : 水中単位体積重量 (土の単位体積重量 $\gamma - 9.8$) (kN/m³)

γ_w : 水の単位体積重量 (9.8) (kN/m³)

z_w : 地表面から水圧を求める位置までの深さ (m)

H_w : 地表面から地下水位までの深さ (m)

3.1.2 地震時増分土圧荷重の算定

地震時増分土圧荷重は、修正物部・岡部式及び「J E A G 4 6 0 1－1991 追補版」に基づいて求めた包絡値を用いる。また、「J E A G 4 6 0 1－1991 追補版」による地震時増分土圧荷重は、保守的に加力側および支持側に対してそれぞれ算定し、修正物部・岡部式及び「J E A G 4 6 0 1－1991 追補版」の包絡値を加力側及び支持側両方に考慮する。それぞれの算定方法を以下に示す。

(1) 修正物部・岡部式

格納槽に対し加力側に作用する地震時土圧は地震時主働土圧係数及び鉛直震度を用いた下式により算定する。なお、増分土圧分布は下式による主働土圧を合力とする上端を0、下端を2/H倍とした三角形分布の値より常時土圧荷重を差し引いた値とする。

$$P_{EA} = 1/2K_{AS}\gamma(1 - K_v)H^2$$

ここで、

- P_{EA} : 地震時主働土圧 (kN/m)
- K_{AS} : 地震時主働土圧係数
- γ : 地盤の単位体積重量 (kN/m³)
- K_v : 鉛直震度
- H : 地表面から基礎スラブ底面までの地盤の厚さ (m)

(2) 「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」

a. 加力側増分土圧

格納槽に対し加力側に作用する地震時増分土圧は地盤一般部の加速度を用いた下式により算定する。

$$P_a = 0.6r\rho H_a a_{max}$$

ここで、

- P_a : 地震時増分土圧 (kN/m²)
- r : 埋戻土部分の補正係数 (1.0)
- ρ : 地盤一般部の密度 (= γ/g) (kN · s²/m⁴)
- γ : 地盤の単位体積重量 (kN/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- H_a : 地盤一般部の厚さ (m)
- a_{max} : 地表面の最大応答加速度 (m/s²)

b. 支持側増分土圧

格納槽を支え支持側に作用する地震時増分土圧は地震応答解析による格納槽の慣性力を用いた下式により算定する。なお、支持側増分土圧分布は下式による平均土圧を上端で1.5倍、下端で0.5倍とした直線分布の値とする。

$$\overline{P_{st}} = \beta_i F / (B H_i)$$

ここで、

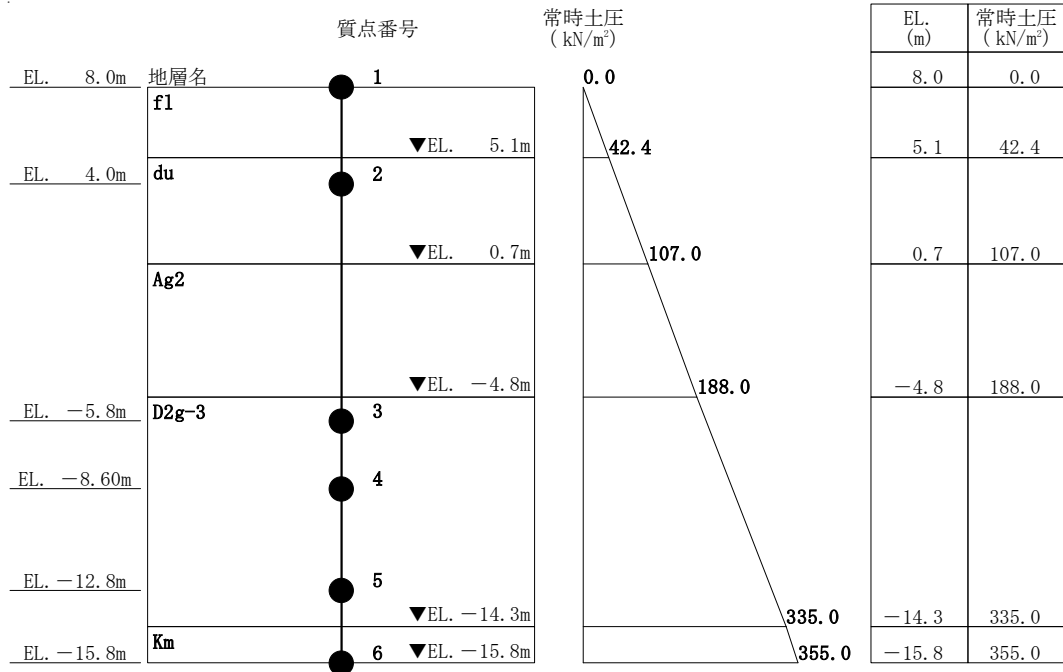
- $\overline{P_{st}}$: i 層の支持側増分土圧の平均値 (kN/m²)
- β_i : 格納槽の慣性力に対する側方地盤部 i 層の分担率
- F : 格納槽の慣性力 (kN)
- B : 格納槽の奥行幅 (m)
- H_i : i 層の厚さ (m)

3.1.3 常時土圧荷重の算定結果

常時土圧荷重の算定結果および設計用常時土圧荷重を表 3-2 に示す。

地下水位レベルは、地表面位置 (EL. 8.0m) とする。

表 3-2 常時土圧荷重



3.1.4 地震時増分土圧荷重の算定結果

地震時増分土圧荷重の算定結果を表 3-3 に、修正物部・岡部式及び「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」にて算定した地震時増分土圧荷重の比較を図 3-1 に示す。

表 3-3 (1/2) 地震時増分土圧荷重

(a) 修正物部・岡部式

H (m)	K_v	P_{EA} (kN/m)	EL. (m)	地層名	K_{AS}
23.8	0.457	6,032	8.0		
				f1	1.983
			5.1		
				du	1.983
			0.7		
				Ag2	1.984
			-4.8		
				D2g-3	2.022
			-14.3		

(b) 「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」加力側

H_a (m)	a_{max} (m/s ²)	EL. (m)	地層名	Pa (kN/m ²)	
12.8	9.0	8.0			
			f1	137.0	
		5.1			
			du	137.0	
		0.7			
			Ag2	139.0	
			-4.8		
				D2g-3	149.0
			-14.3		

表 3-3 (2/2) 地震時増分土圧荷重

(c) 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」支持側

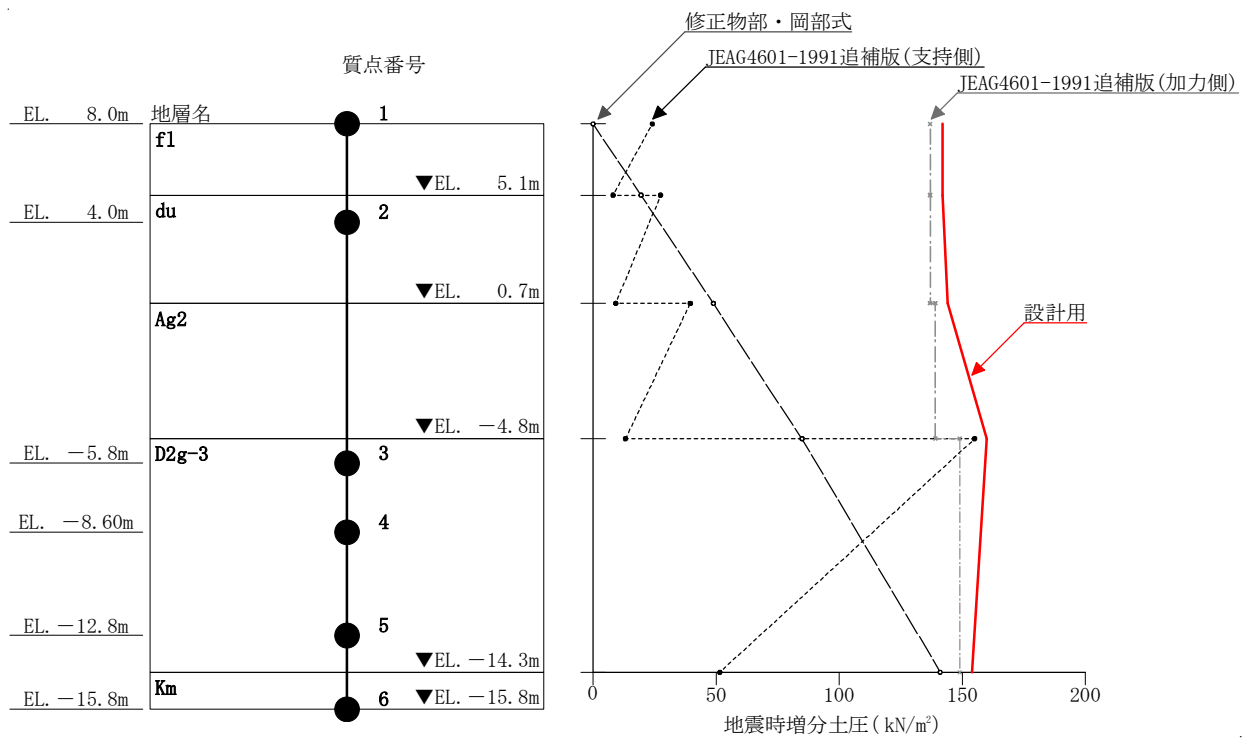
B (m)		EL. (m)	地層名	H _t (m)	F* (kN)		P _{st} (kN/m ²)	
NS 方向	EW 方向				NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
11.35	16.00	8.0	f1	2.9	19175	19175	24.1	17.4
		5.1					8.1	5.8
		0.7	du	4.4	24581	26795	27.4	21.5
							9.2	7.2
		-4.8	Ag2	5.5	32782	38357	39.5	33.2
							13.2	11.1
-14.3	D2g-3	9.5	43190	53028	155.0	137.0		
					51.5	45.5		

* : 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, 格納槽の慣性力 F は該当する地層より上層の加力側増分土圧の合力 P を加えた値とする。

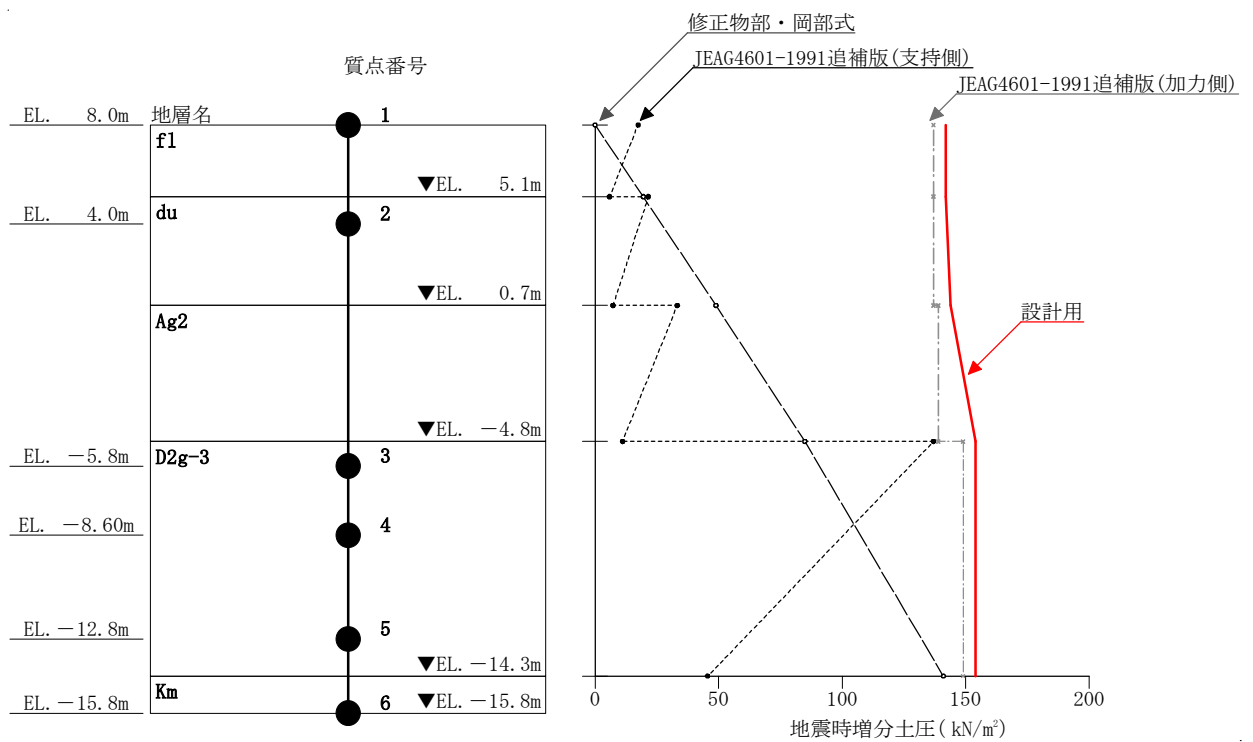
(d) まとめ

EL. (m)	地層名	修正 物部・岡部式 (kN/m ²)	「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」			設計用* (kN/m ²)	
			加力側 (kN/m ²)	支持側 (kN/m ²)		NS 方向	EW 方向
				NS 方向	EW 方向		
8.0	f1	0.0	137.0	24.1	17.4	142.0	142.0
				8.1	5.8	142.0	142.0
5.1	du	19.5	137.0	27.4	21.5	142.0	142.0
				9.2	7.2	144.0	144.0
0.7	Ag2	48.9	139.0	39.5	33.2	144.0	144.0
				13.2	11.1	160.0	154.0
-	D2g-3	84.9	149.0	155.0	137.0	160.0	154.0
4.8				51.5	45.5	154.0	154.0
-		141.0				154.0	154.0
14.3							

* 修正物部・岡部式及び「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づいて求めた包絡値



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-1 地震時増分土圧荷重の比較

3.2 底面地盤ばねの設定方法

3.2.1 概要

本節では、格納容器圧力逃がし装置格納層の応力解析における底面地盤ばねの設定について示す。

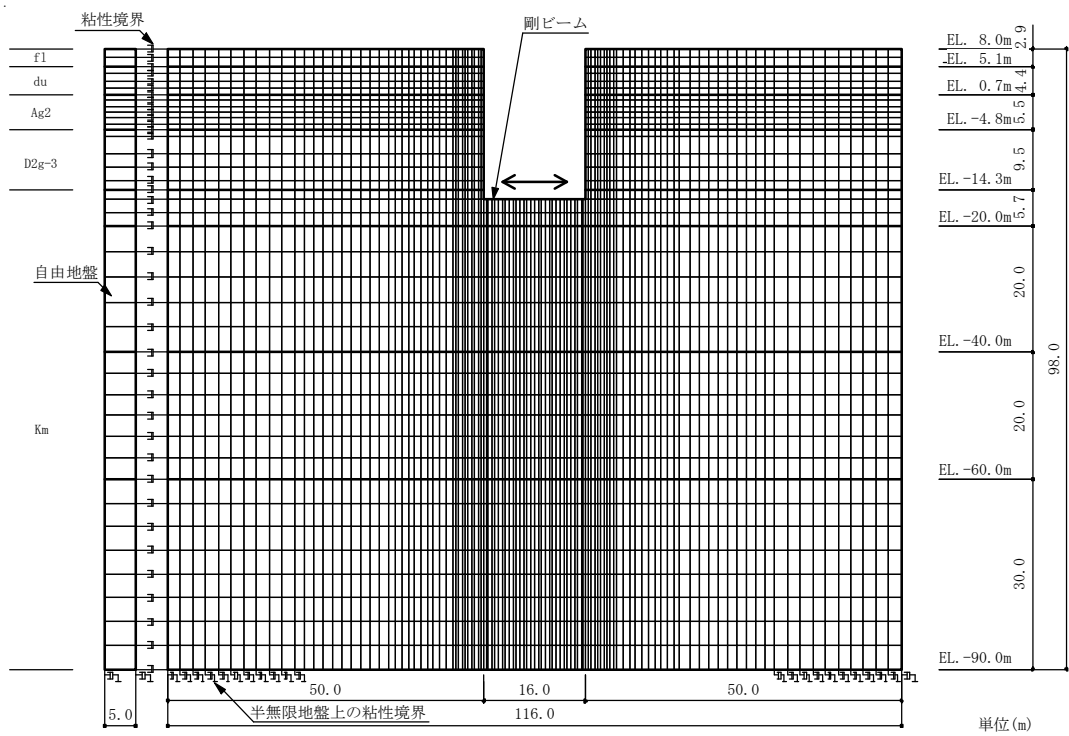
格納容器圧力逃がし装置格納層は、2次元FEMモデルを用いての地震応答解析を行っており、応力解析に用いる基礎スラブ底面の地盤ばね剛性も地震応答解析モデルによる加振解析から算出する。なお、応力解析では、NS方向及びEW方向の地盤ばね剛性の値を平均化して用いる。

3.2.2 算出方法

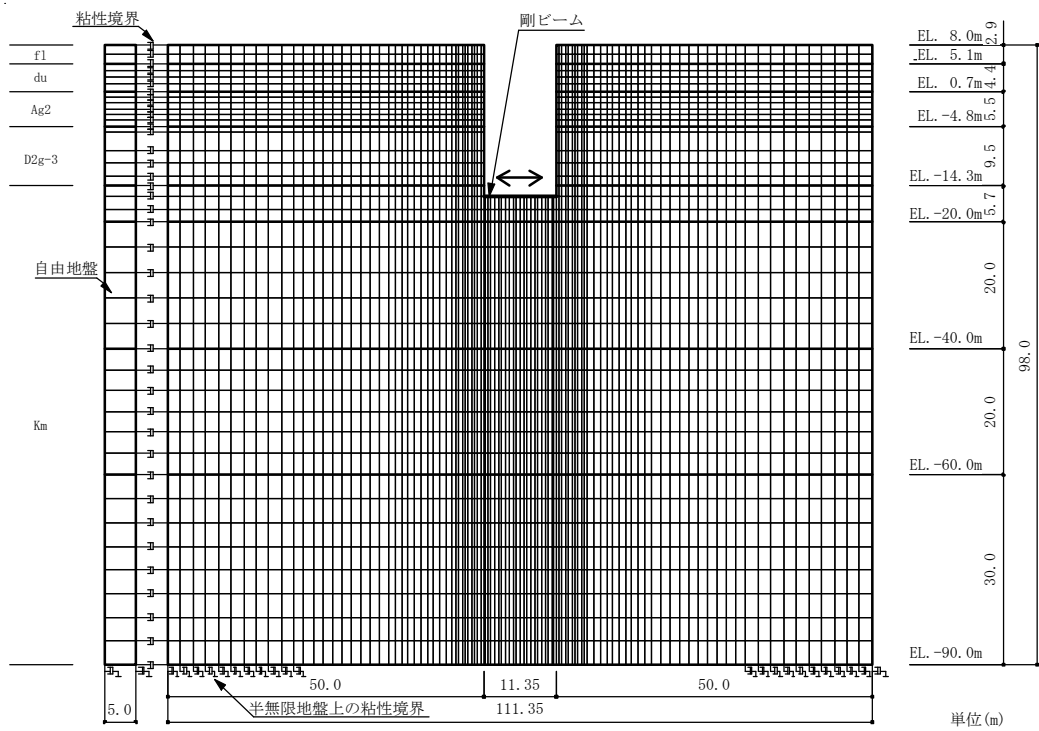
応力解析に用いる地盤ばね剛性は、2次元FEMモデルによる加振解析で算出したインピーダンスの実部の値とする。

(1) 解析モデルと解析方法

2次元FEMモデルを用いたインピーダンス算出用の解析モデルは、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」における地盤2次元FEMモデルのうち、格納槽の基礎スラブ底面位置に無質量の剛ビームを配置したモデルとする。解析モデルはNS方向及びEW方向のそれぞれについて作成する。解析モデルを図3-2に示す。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-2 2次元FEMモデル

(2) 地盤ばね剛性算出方法

地盤ばね剛性(K)は，加振解析で算出したインピーダンスの実部の値とする。

地盤ばね剛性とインピーダンスを図 3-3 に示す。

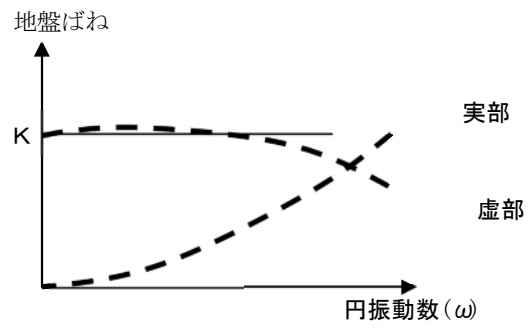
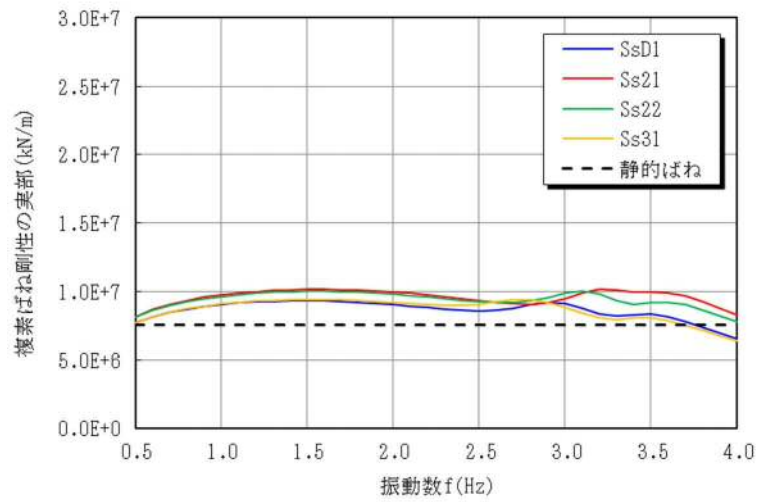


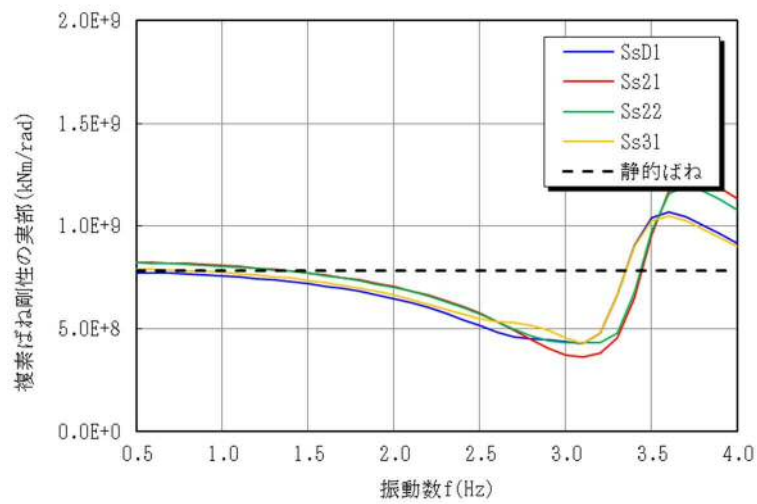
図 3-3 地盤ばね剛性とインピーダンス

3.2.3 算出結果

水平及び回転インピーダンスの算出結果を図3-4及び図3-5に、作成した地盤ばね剛性(K)を表3-4に示す。

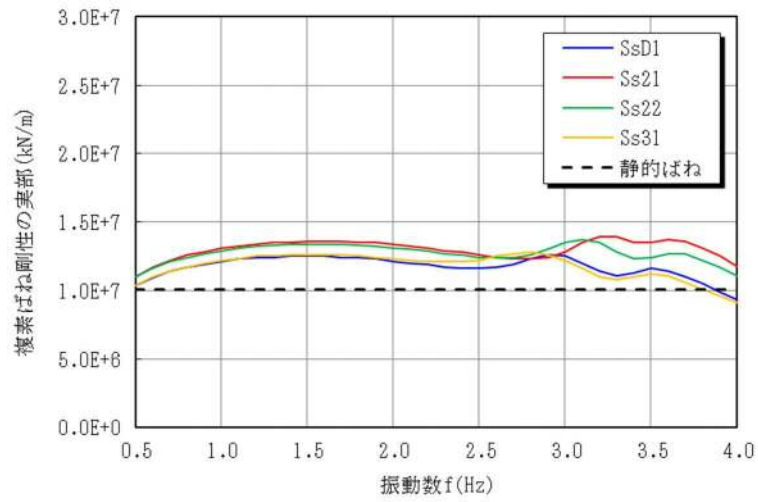


(a) 水平ばね

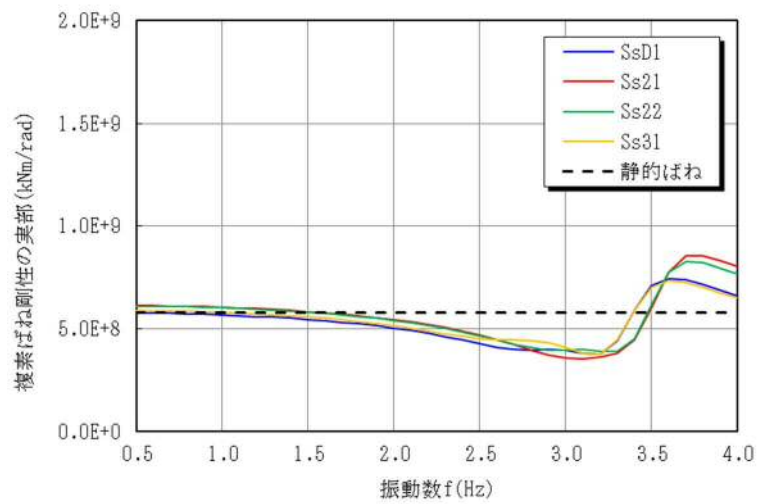


(b) 回転ばね

図3-4 インピーダンスの算出結果 (NS 方向)



(a) 水平ばね



(b) 回転ばね

図 3-5 インピーダンスの算出結果 (EW 方向)

表 3-4 作成した地盤ばね剛性 (K)

方向	水平 (kN/m)	回転 (kN・m/rad)
NS	7.57E+06	7.84E+08
EW	1.01E+07	5.79E+08

3.3 応力解析における二方向入力

本節では、水平2方向及び鉛直方向地震力により、格納槽が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を示す。

3.3.1 評価に用いる動的地震力

基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される動的地震力は、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」に基づく応答値の最大値より算定する。

3.3.2 荷重組み合わせ

(1) 荷重ケース

水平2方向及び鉛直方向地震力の荷重組合せ時の応力は、次の荷重を組合せて求める。

- G : 固定荷重
- E : 機器配管荷重
- S : 積雪荷重
- E_U : 上載土荷重
- E_0 : 常時土圧
- E_{SEW} : S_s 地震時増分土圧荷重 (EW 方向)
- E_{SNS} : S_s 地震時増分土圧荷重 (NS 方向)
- K_{SWE} : W→E 方向 S_s 地震荷重
- K_{SSN} : S→N 方向 S_s 地震荷重
- K_{SDU} : 鉛直方向 S_s 地震荷重

(2) 荷重組合せケース

荷重の組合せケースを表3-5に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法は、米国 REGULATORY GUIDE 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいた評価とする。

* : REGULATORY GUIDE (RG) 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

表 3-5 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	2-1	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}+1.0K_{SWE}+0.4K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-2	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}+1.0K_{SWE}+0.4K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-3	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}+1.0K_{SWE}-0.4K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-4	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}+1.0K_{SWE}-0.4K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-5	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}-1.0K_{SWE}+0.4K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-6	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}-1.0K_{SWE}+0.4K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-7	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}-1.0K_{SWE}-0.4K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-8	$G+E+S+E_U+E_0+1.0E_{SEW}+0.4E_{SNS}-1.0K_{SWE}-0.4K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-9	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}+0.4K_{SWE}+1.0K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-10	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}+0.4K_{SWE}+1.0K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-11	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}+0.4K_{SWE}-1.0K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-12	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}+0.4K_{SWE}-1.0K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-13	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}-0.4K_{SWE}+1.0K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-14	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}-0.4K_{SWE}+1.0K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-15	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}-0.4K_{SWE}-1.0K_{SSN}-0.4K_{SDU}$
	2-16	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+1.0E_{SNS}-0.4K_{SWE}-1.0K_{SSN}+0.4K_{SDU}$
	2-17	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}+0.4K_{SWE}+0.4K_{SSN}-1.0K_{SDU}$
	2-18	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}+0.4K_{SWE}+0.4K_{SSN}+1.0K_{SDU}$
	2-19	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}+0.4K_{SWE}-0.4K_{SSN}-1.0K_{SDU}$
	2-20	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}+0.4K_{SWE}-0.4K_{SSN}+1.0K_{SDU}$
	2-21	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}-0.4K_{SWE}+0.4K_{SSN}-1.0K_{SDU}$
	2-22	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}-0.4K_{SWE}+0.4K_{SSN}+1.0K_{SDU}$
	2-23	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}-0.4K_{SWE}-0.4K_{SSN}-1.0K_{SDU}$
	2-24	$G+E+S+E_U+E_0+0.4E_{SEW}+0.4E_{SNS}-0.4K_{SWE}-0.4K_{SSN}+1.0K_{SDU}$

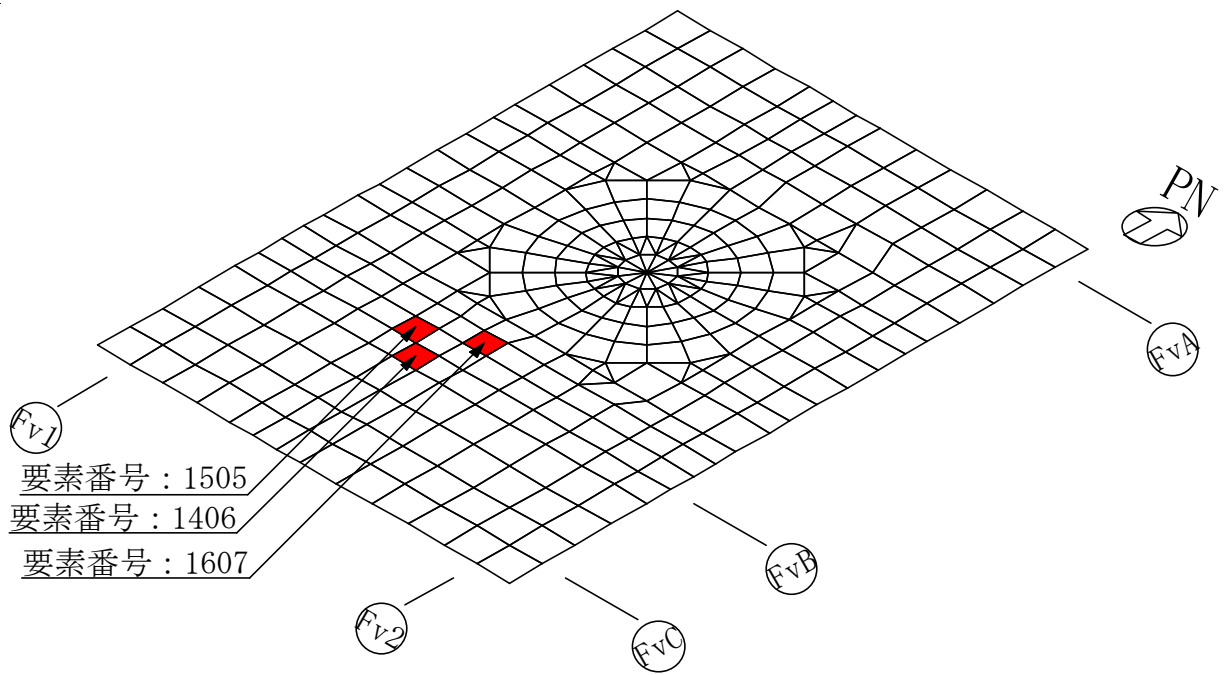
3.3.3 評価結果

基礎スラブ，耐震壁（地下外壁）及び上版について，基準地震動 S_s の動的地震力を用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を評価した。評価は，従来の設計手法の解析モデル及び水平1方向及び鉛直方向地震力の評価結果を用いた。

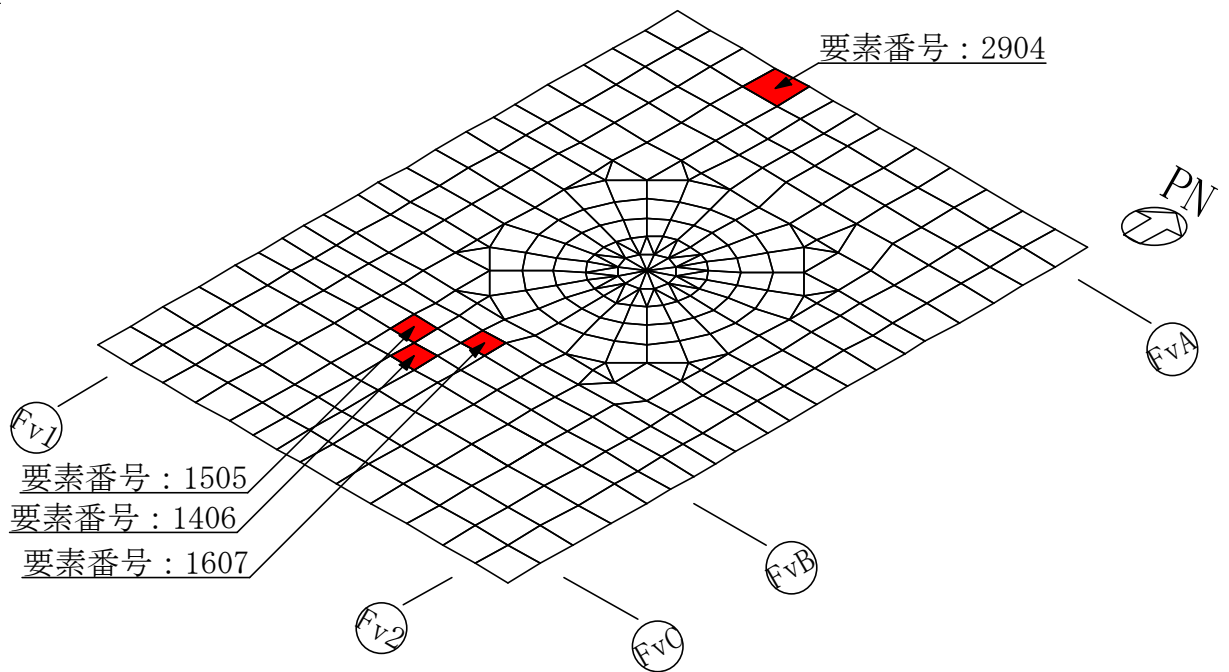
解析結果を記載する要素（許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素）の位置を図3-6～図3-8に，評価結果を表3-6～表3-8に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震の組合せによる解析結果は，水平2方向の地震力の影響により許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素位置が一部で変わり，解析結果の値は増加傾向であるものの，許容値を超えないことを確認した。

以上のことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し，格納容器圧力逃がし装置格納槽の各部材が有する耐震性への影響は無いことを確認した。

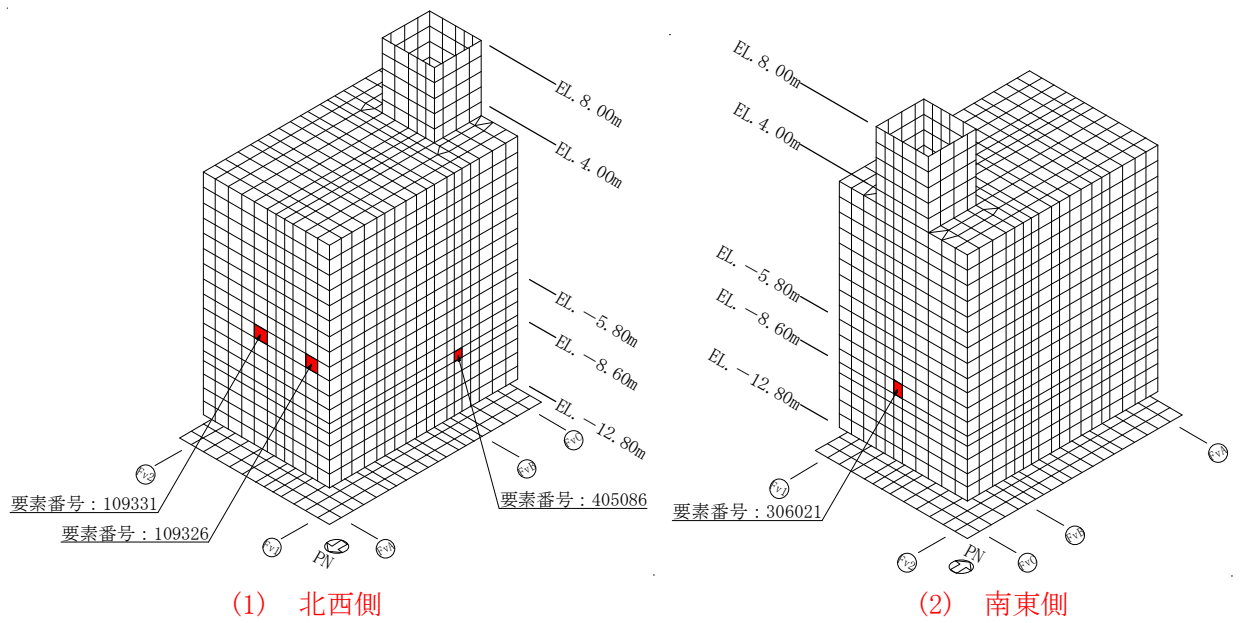


(a) 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せ

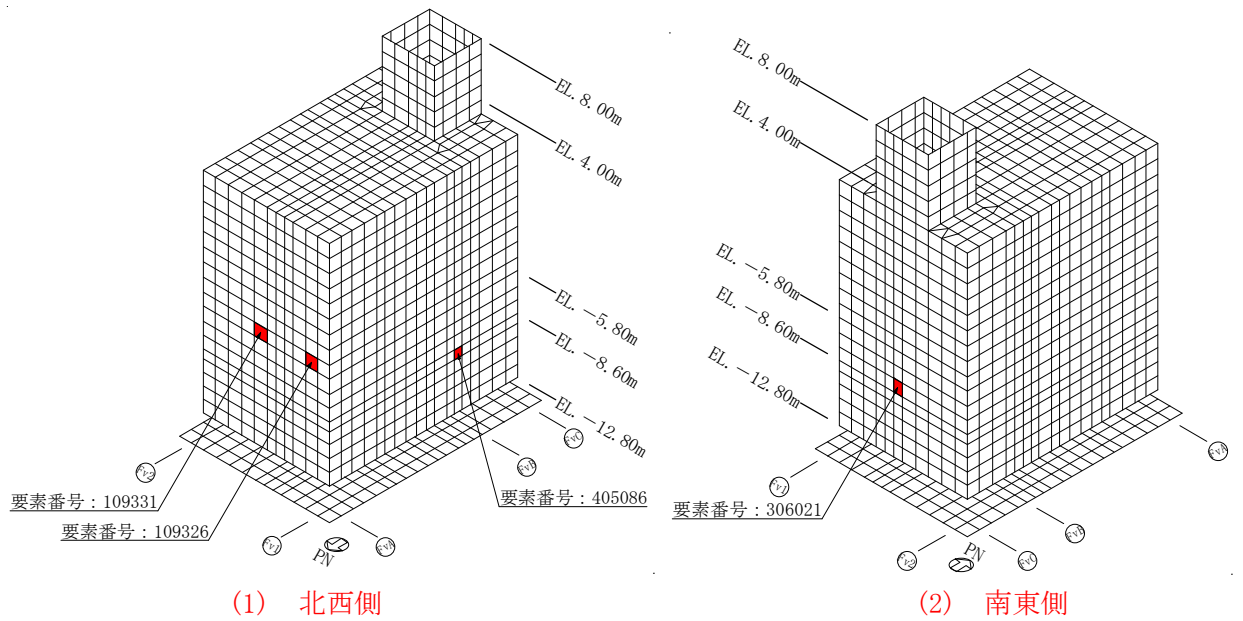


(b) 水平1方向及び鉛直方向地震の組合せ

図3-6 解析結果を記載する要素の位置 (基礎スラブ)

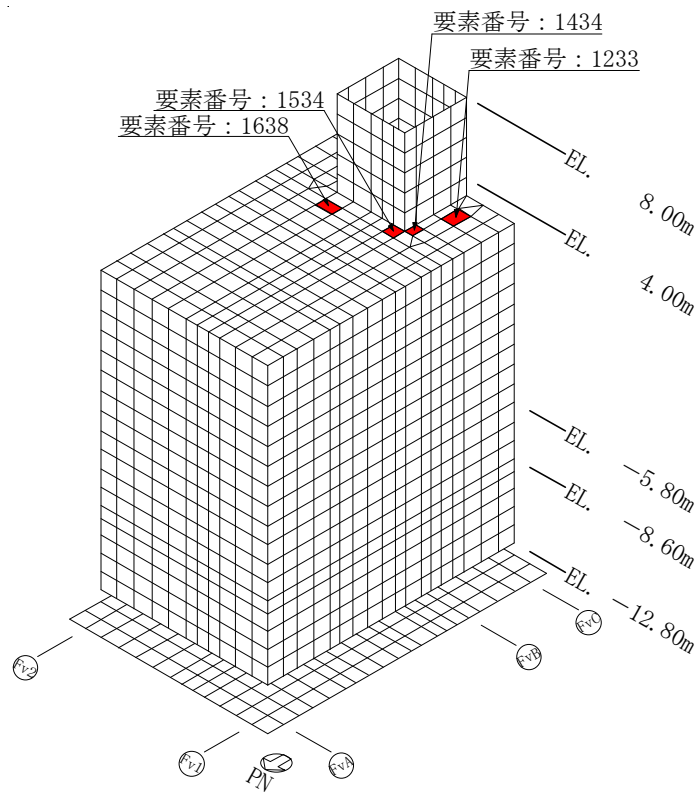


(a) 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せ

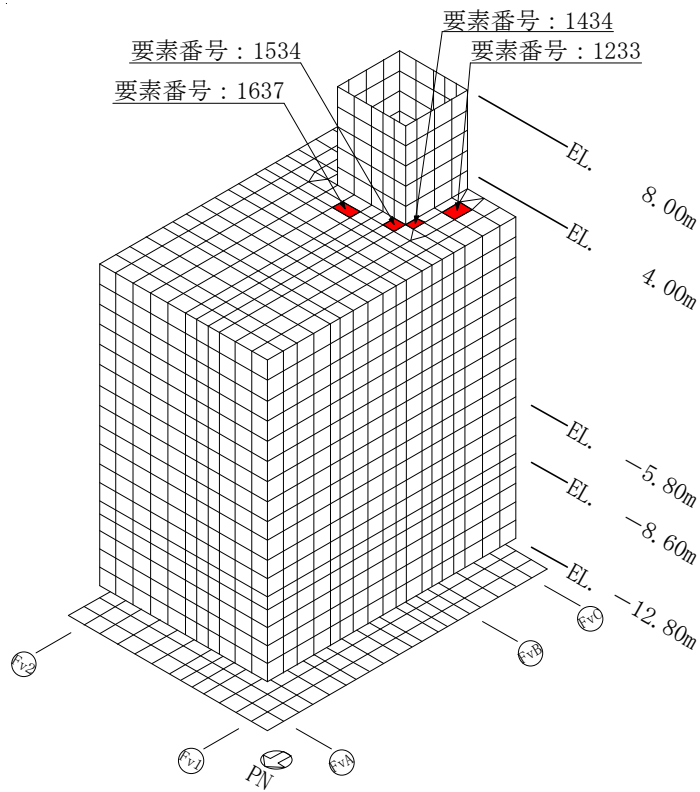


(b) 水平1方向及び鉛直方向地震の組合せ

図3-7 解析結果を記載する要素の位置（耐震壁（地下外壁））



(a) 水平2方向及び鉛直方向地震の組合せ



(b) 水平1方向及び鉛直方向地震の組合せ

図3-8 解析結果を記載する要素の位置 (上版)

表 3-6 評価結果（基礎スラブ）

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素 番号	解析 結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	1406	0.195	1.00	引張鉄筋
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	1505	0.170	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1607	0.945	2.84	せん断 補強筋
	EW 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1505	0.730	2.84	せん断 補強筋

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素 番号	解析 結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	1406	0.180	1.00	引張鉄筋
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	2904	0.157	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1607	0.992	2.84	せん断 補強筋
	EW 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1505	0.687	2.84	せん断 補強筋

表 3-7 評価結果（耐震壁（地下外壁））

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素番号	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	水平 方向	必要鉄筋量/配筋量	109331	0.340	1.00	引張鉄筋
	鉛直 方向	必要鉄筋量/配筋量	109326	0.564	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	水平 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	405086	1.28	3.68	せん断 補強筋
	鉛直 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	306021	0.743	3.10	せん断 補強筋

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素番号	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内 せん断力	水平 方向	必要鉄筋量/配筋量	109331	0.324	1.00	引張鉄筋
	鉛直 方向	必要鉄筋量/配筋量	109326	0.557	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	水平 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	405086	1.23	3.68	せん断 補強筋
	鉛直 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	306021	0.749	3.10	せん断 補強筋

表 3-8 評価結果（上版）

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素 番号	解析 結果	許容値	備考
曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	1534	0.357	1.00	引張鉄筋
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	1434	0.465	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1638	0.600	1.18	コンクリート
	EW 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1233	1.26	3.10	せん断 補強筋

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

		評価項目	要素 番号	解析 結果	許容値	備考
曲げ モーメント + 面内 せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	1534	0.331	1.00	引張鉄筋
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	1434	0.372	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1637	0.555	1.18	コンクリート
	EW 方向	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1233	1.22	3.10	せん断 補強筋

4. 重大事故等時の格納槽の室温に関する補足説明

4.1 概要

添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」において、重大事故等時の格納槽の室温は 65℃以下としている。

本項では、重大事故等時の格納槽の室温について説明する。

4.2 評価結果

「補足-40-12 安全設備及び重大事故等対処設備の環境条件の設定について」に示している重大事故等時の格納槽の室温評価結果を図 4-1 に示す。

これによると、格納槽の室温は 7 日後で 56.2℃、7 日後以降は約 57℃で収束しており、65℃未満であることを確認した。

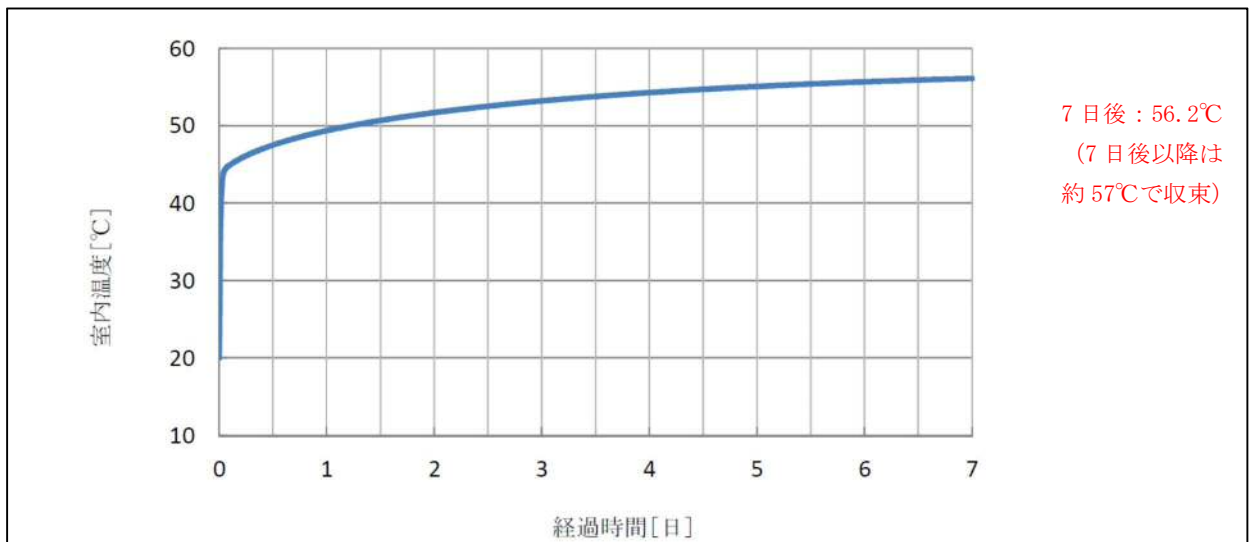


図 4-1 格納槽の室温評価結果

(「補足-40-12 安全設備及び重大事故等対処設備の環境条件の設定について」より抜粋)