

柏崎刈羽原子力発電所5号機

建物・構築物の耐震安全性評価について

平成22年4月27日

東京電力株式会社



東京電力

本日のご説明内容

■建物・構築物の耐震安全性評価結果について

- 原子炉建屋（屋根トラスを含む）、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒の耐震安全性評価結果についてご報告する。（ご説明項目は下記の通り）

- I. 基準地震動 S_s の概要
- II. 地震応答解析モデルの条件比較
- III. 原子炉建屋の耐震安全性評価
- IV. 原子炉建屋屋根トラスの耐震安全性評価
- V. タービン建屋の耐震安全性評価
- VI. 海水熱交換器建屋の耐震安全性評価
- VII. 排気筒の耐震安全性評価

耐震安全性評価結果の概要

■耐震安全性評価結果の概要

- 原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋について、基準地震動 S_s に対する地震応答解析（弾塑性解析）を実施し、耐震壁のせん断ひずみが 2.0×10^{-3} を下回ることを確認する。
 - ◆解析の結果、原子炉建屋の耐震壁、タービン建屋および海水熱交換器建屋の機能維持部位の耐震壁について、ひずみは評価基準値を下回ることを確認した。
- 原子炉建屋屋根トラス、排気筒については、3次元モデルを用いて基準地震動 S_s に対する地震応答解析を実施し、各部材の応力比等が評価基準値を満足するかについて確認した。なお、原子炉建屋屋根トラスおよび排気筒については、耐震強化工事を実施しており、耐震強化工事を反映したモデルを用いている。
 - ◆解析の結果、原子炉建屋屋根トラス、排気筒の応力比等は評価基準値を下回ることを確認した。
- 以上のことから、原子炉建屋、タービン建屋、海水熱交換器建屋、排気筒の耐震安全性が確保されているものと評価した。

耐震安全性評価結果の概要

■先行機（1,6,7号機）と異なる主な事項

- 基準地震動 S_s は、1号機とは異なるものの、6,7号機とは全く同じものである。
 - 地盤の条件は、比較的6,7号機に類似しているものの、いくつかの点で異なっているので、新しいものと考えていただく方が良い。
 - 原子炉建屋を含めた建物の配置関係は、基本的に1号機と同様。ただし、建物のサイズはやや小さめとなっている。なお、5号機における「海水熱交換器建屋」は、1号機における「海水機器建屋」と名称が異なるだけでほぼ同じ建物である。
 - 当初の設計については、動的地震力と静的地震力の設定方法は、1号機とは異なり、6,7号機と同じである。
-
- ✓結果として、大湊側の基準地震動 S_s が荒浜側の基準地震動 S_s よりもおおむね小さいことがあり、1号機よりは応答が小さめである。
 - ✓屋根トラス、排気筒の耐震強化方法については、1,6,7号機の耐震強化方法とは異なる方法を採用している。

I. 基準地震動Ssの概要

基準地震動Ssの概要

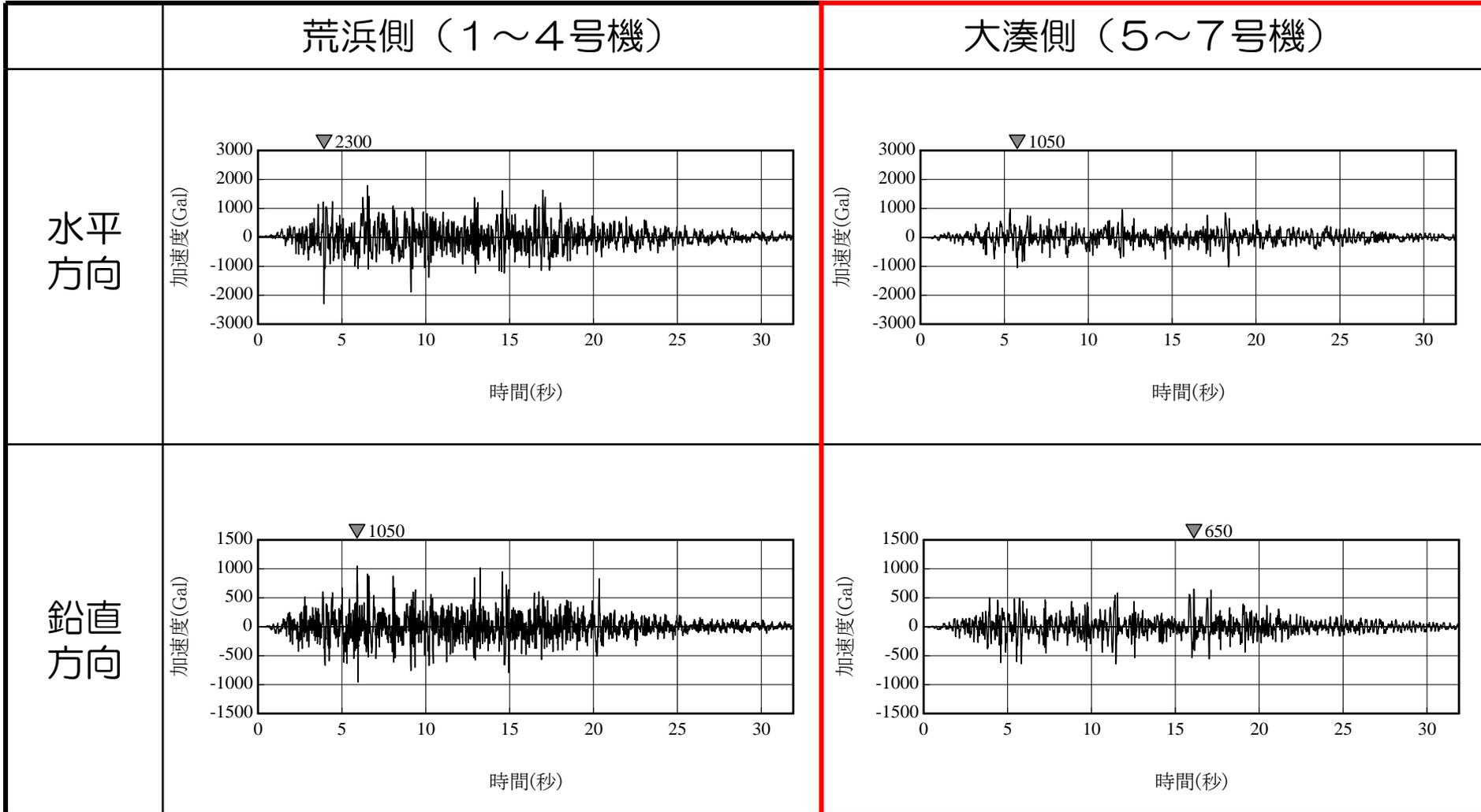
- 検討用地震の応答スペクトル・断層モデルによる地震動評価結果をそれぞれ基準地震動Ssとして設定。

基準地震動	検討用地震		地震動評価手法
Ss-1	F-B断層による地震 (M7.0)		応答スペクトル 〔Noda et al. (2002) 〕
Ss-2			断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss-3	長岡平野 西縁断層帯 による地震 (M8.1)	下記の2つの ケースを包絡	応答スペクトル 〔Noda et al. (2002) 〕
Ss-4		断層傾斜角50° 応力降下量1.5倍※	断層モデル 〔経験的グリーン関数法〕
Ss-5		断層傾斜角35° 応力降下量1.0倍※	

※地震調査研究推進本部（2008）による強震動レシピに基づく値に対する倍率

基準地震動Ssの概要

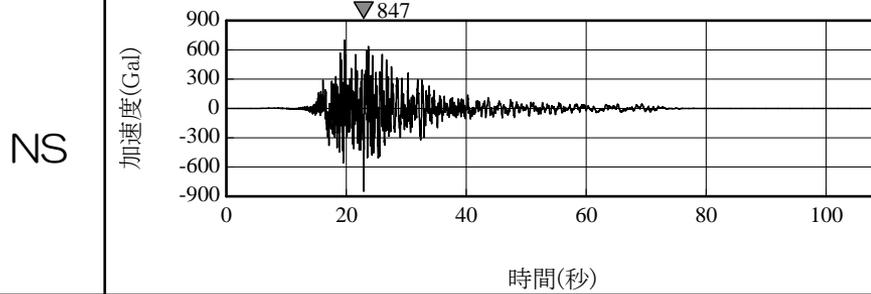
基準地震動Ss-1の加速度時刻歴波形



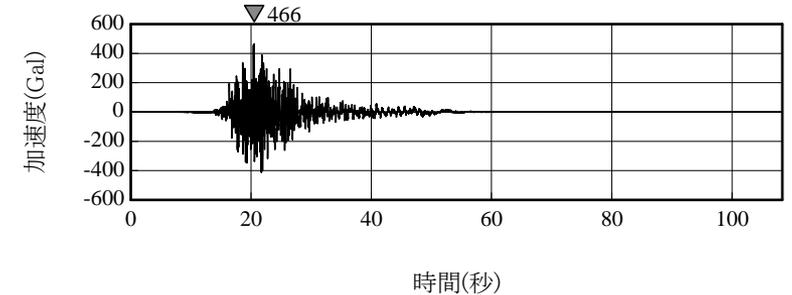
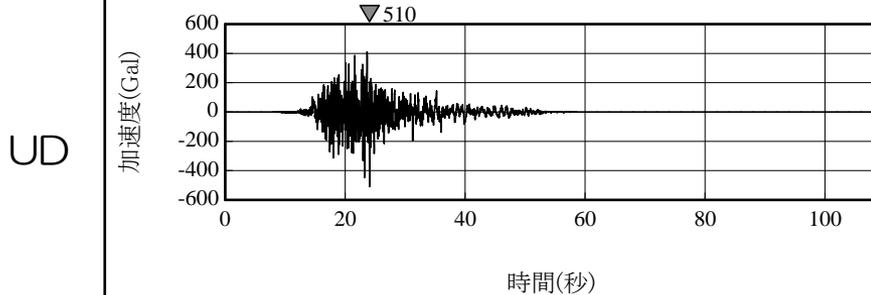
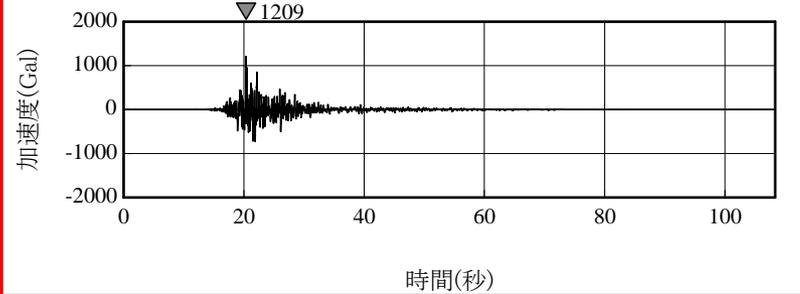
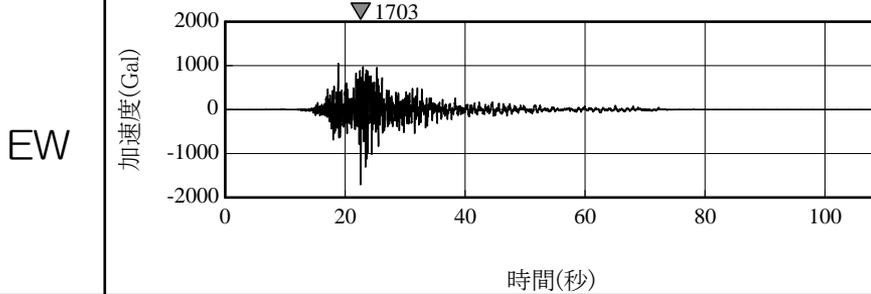
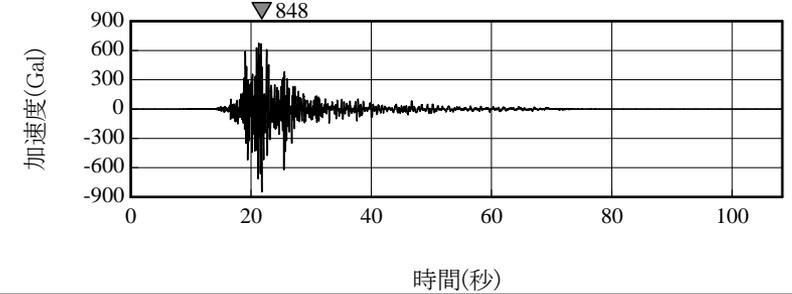
基準地震動Ssの概要

基準地震動Ss-2の加速度時刻歴波形

荒浜側（1～4号機）

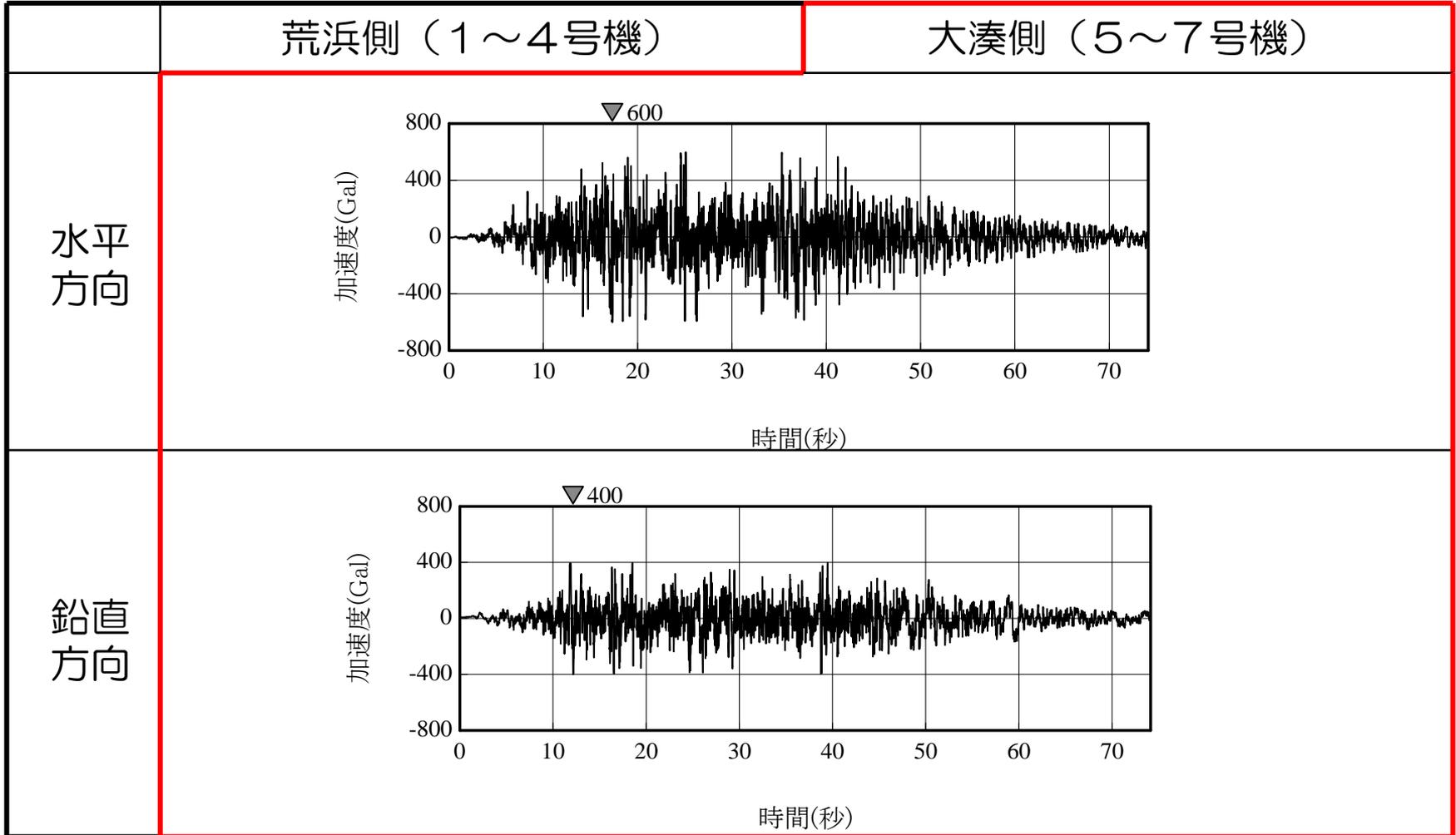


大湊側（5～7号機）



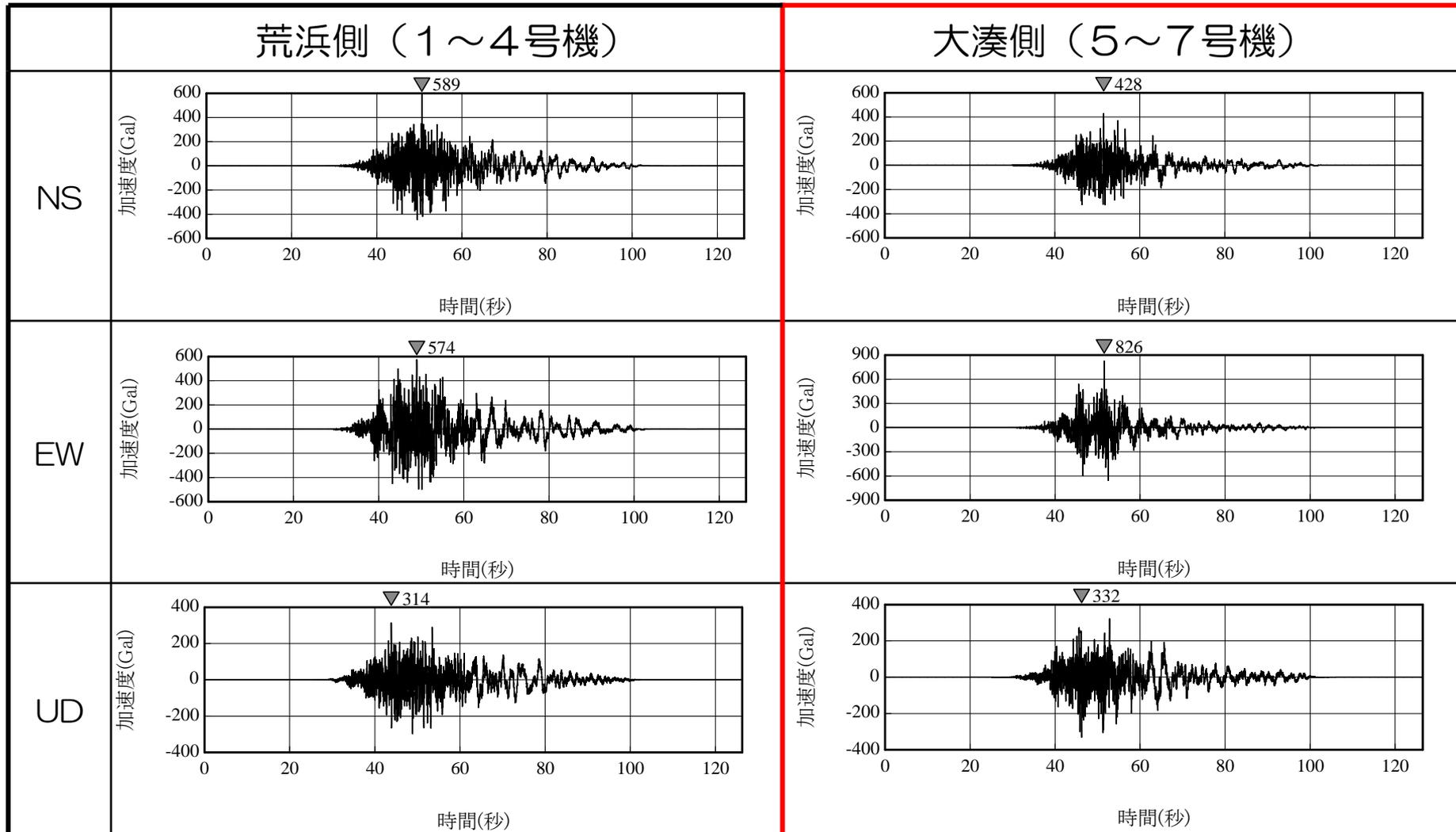
基準地震動Ssの概要

基準地震動Ss-3の加速度時刻歴波形



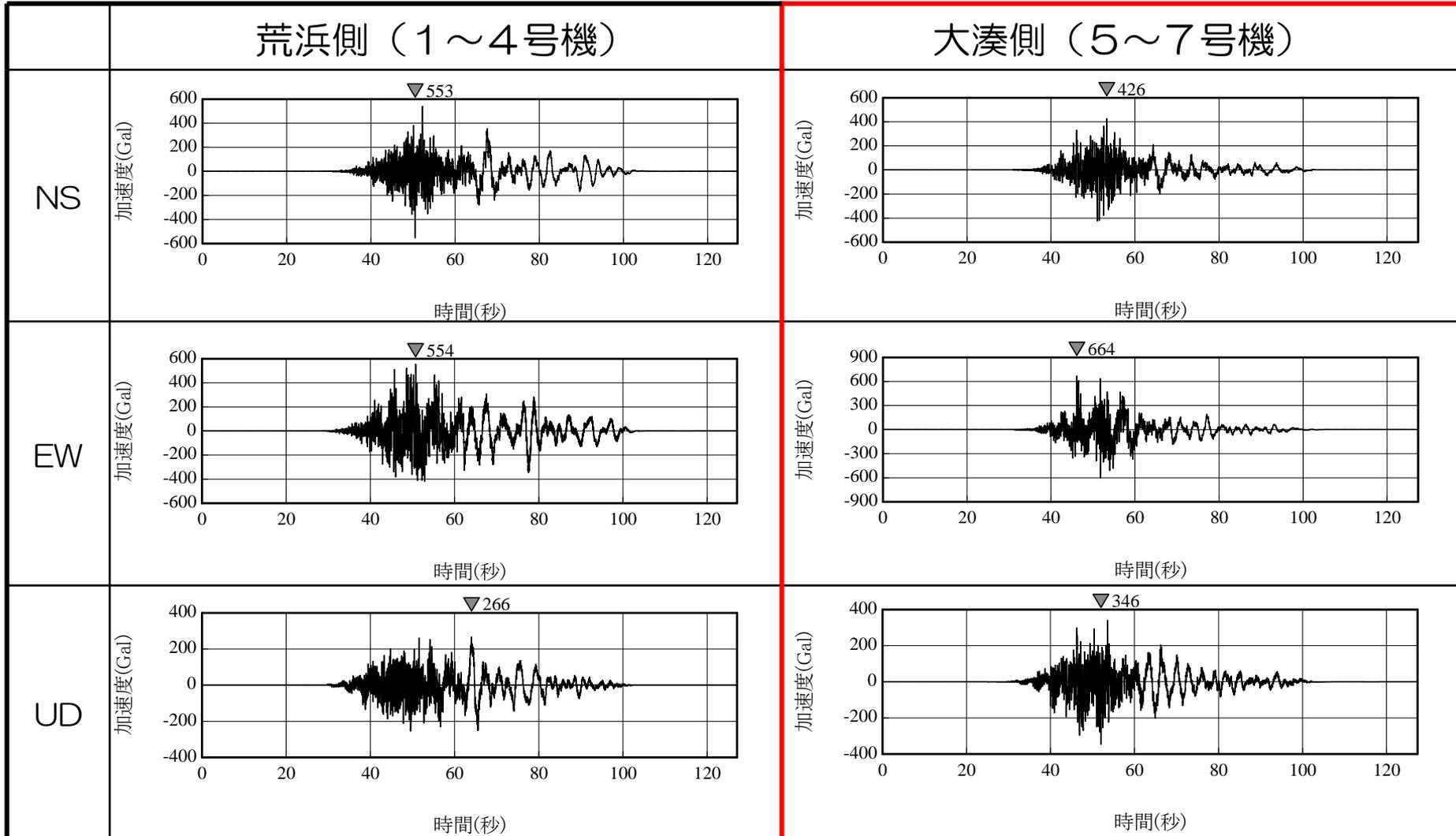
基準地震動Ssの概要

基準地震動Ss-4の加速度時刻歴波形



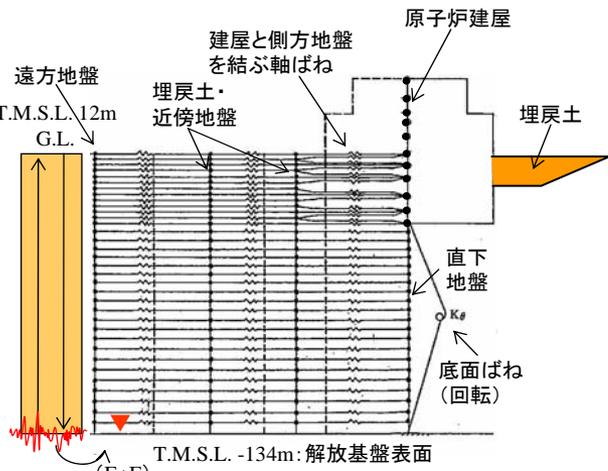
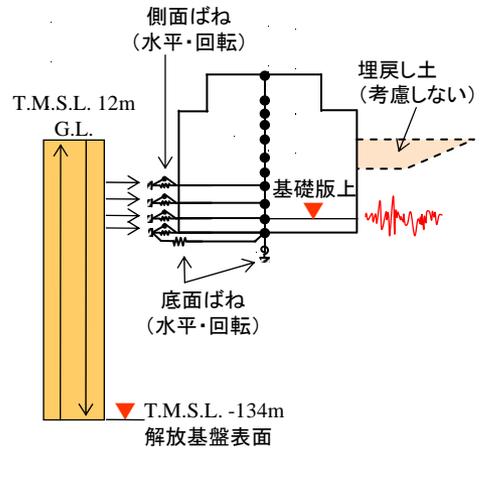
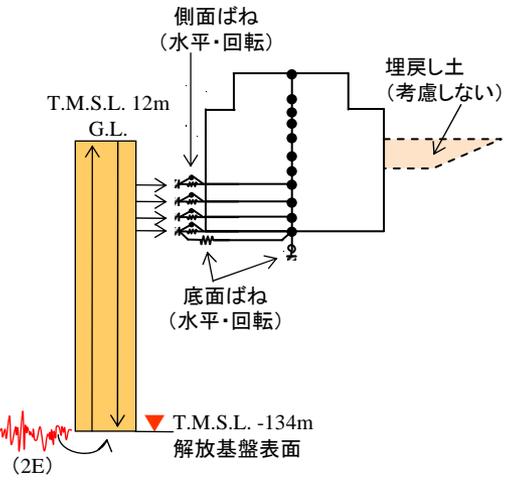
基準地震動Ssの概要

基準地震動Ss-5の加速度時刻歴波形



Ⅱ. 地震応答解析モデルの条件比較

5号機原子炉建屋の地震応答解析の条件比較 (モデル化条件)

	工認設計	健全性評価	耐震安全性評価
モデル化条件	<p>考慮する地震動: 基準地震動(水平) S1地震動、S2地震動</p> <p>建屋: 質点系1軸モデル</p> <p>地盤: 格子型モデル</p> <p>相互作用: 格子型モデルの軸ばね等 及び底面地盤ばね(回転) により考慮</p> <p>入力動: 格子型モデル下端(固定 境界)へ直接入力</p>  <p>▼: 地震動入力位置 = 格子型モデル下端 (E+F) = 解放基盤表面</p>	<p>考慮する地震動: 基礎版上で観測 された地震動(水平・鉛直)</p> <p>建屋: 質点系1軸モデル</p> <p>地盤: —</p> <p>相互作用: 側面及び底面地盤ばね (水平・回転)により考慮 但し、埋戻土は考慮しない</p> <p>入力動: 基礎版上の観測波</p>  <p>▼: 地震動入力位置 = 基礎版上</p>	<p>考慮する地震動: 基準地震動 Ss-1~Ss-5(水平・鉛直)</p> <p>建屋: 質点系1軸モデル</p> <p>地盤: —</p> <p>相互作用: 側面及び底面地盤ばね (水平・回転)により考慮 但し、埋戻土は考慮しない</p> <p>入力動: 解放基盤で定義された地 震動を一次元波動論によ り建屋側面位置の入力動 へ変換</p>  <p>▼: 地震動入力位置 = 解放基盤表面 (2E)</p>

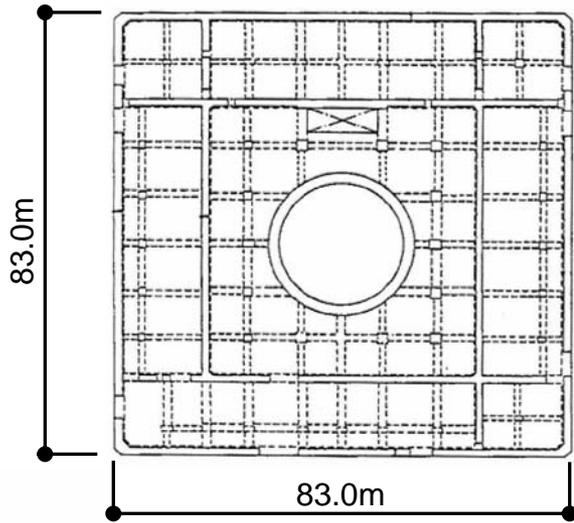
5号機原子炉建屋の地震応答解析の条件比較（応答評価）

		工認設計	健全性評価	耐震安全性評価
建屋 モデル	モデル重量	通常運転時重量＋雪荷重	中越沖地震時の状態を 考慮した重量	通常運転時重量＋雪荷重
	コンクリートの 材料物性	設計基準強度23.5N/mm ² に基づくヤング係数 (2.06×10 ⁴ N/mm ²) *1	実強度44.1N/mm ² に基づくヤング係数 (2.90×10 ⁴ N/mm ²)	同左
	剛性評価に考慮 する壁	耐震壁	耐震壁＋補助壁	耐震壁
	減衰定数	5%	5%	5%
地盤 モデル	底面ばね	水平：格子型モデル 回転：3次元FEM	水平・回転： 振動アドミタンス	水平・回転： 振動アドミタンス
	側面ばね	水平：格子型モデル	水平・回転： NOVAK	水平・回転： NOVAK
応答解析		弾性解析	弾性解析	弾塑性解析

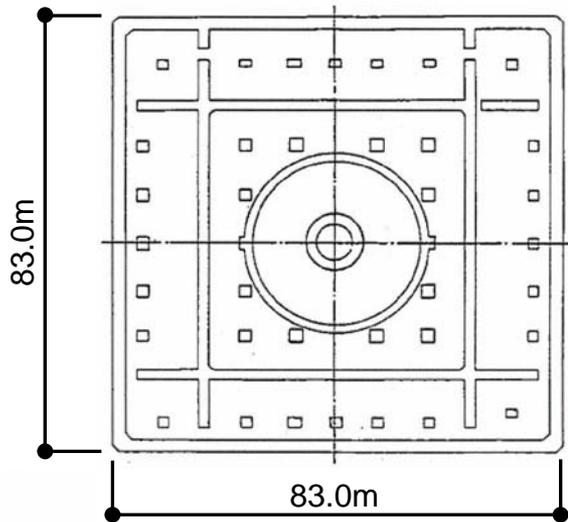
*1：設計基準強度及びヤング係数は、工認図書記載の値をSI単位に換算した値

Ⅲ. 原子炉建屋の耐震安全性評価

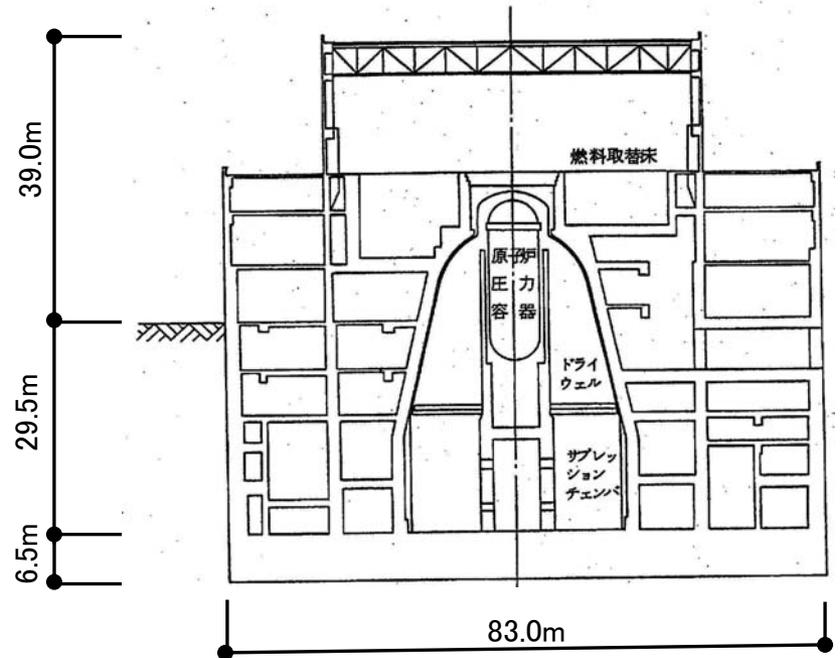
原子炉建屋の概要



1階平面図



地下4階平面図



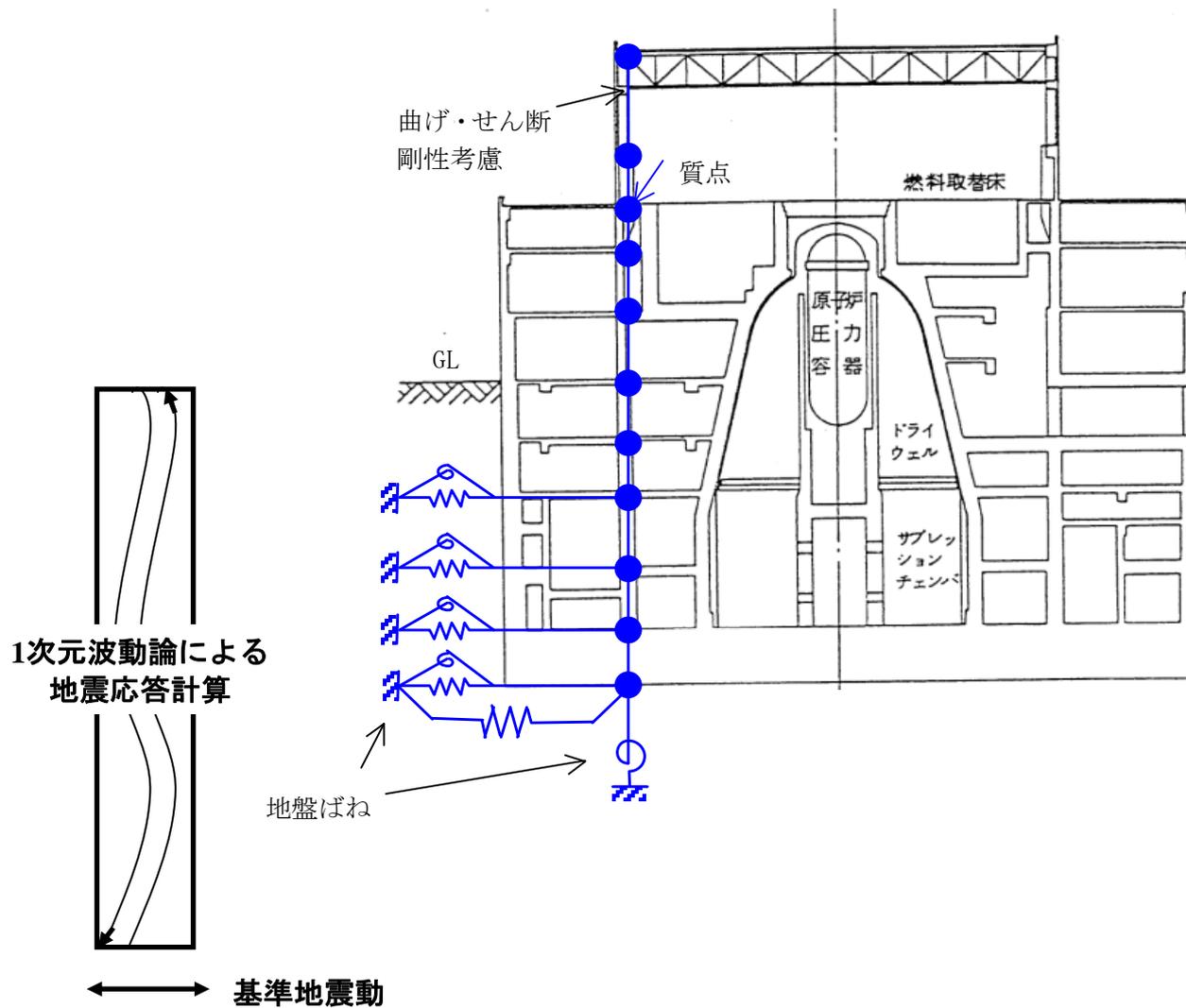
断面図(EW方向)

階数 : 地上4階・地下4階

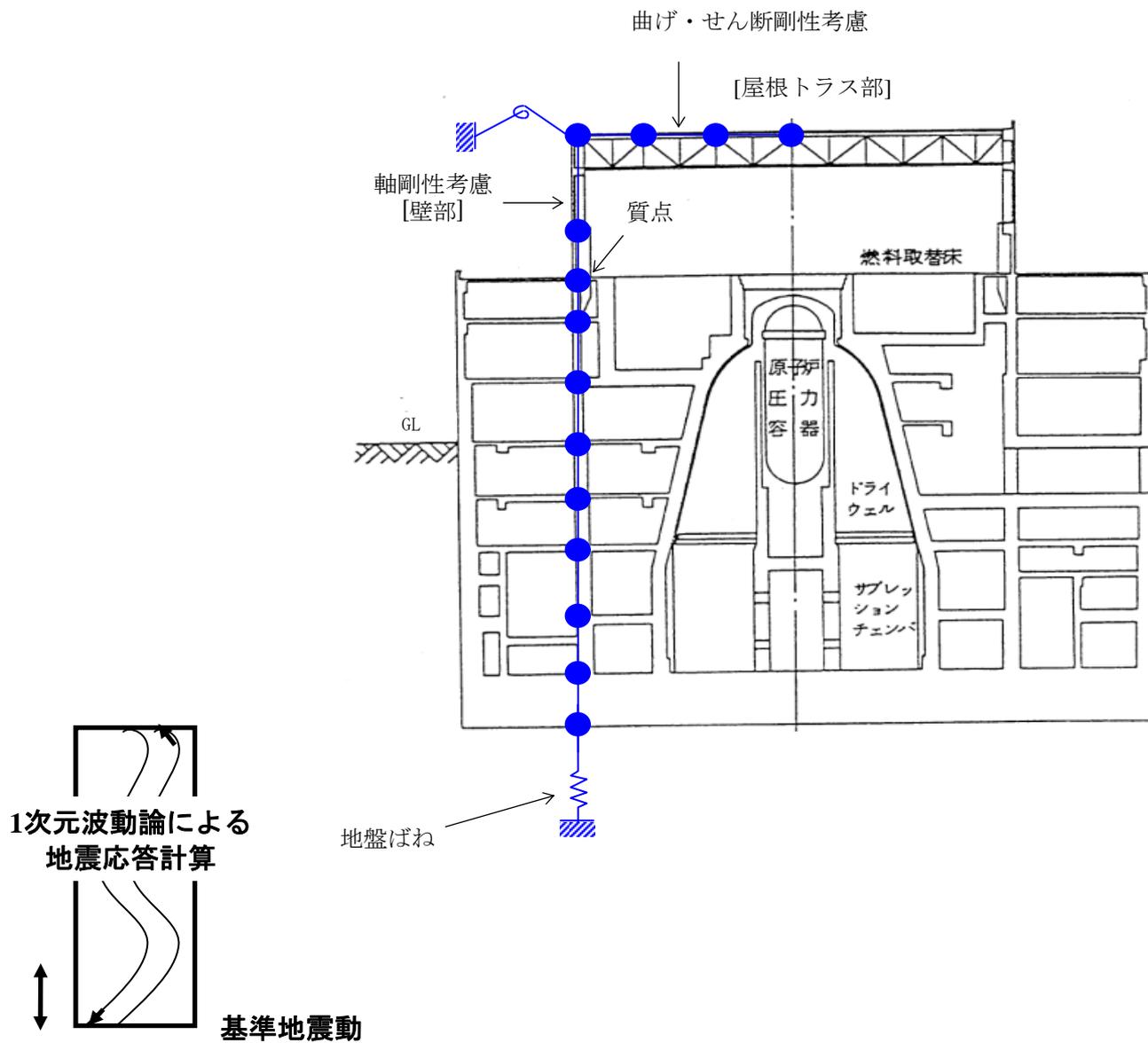
延床面積 : 約48,000m²

構造 : RC+SRC+S

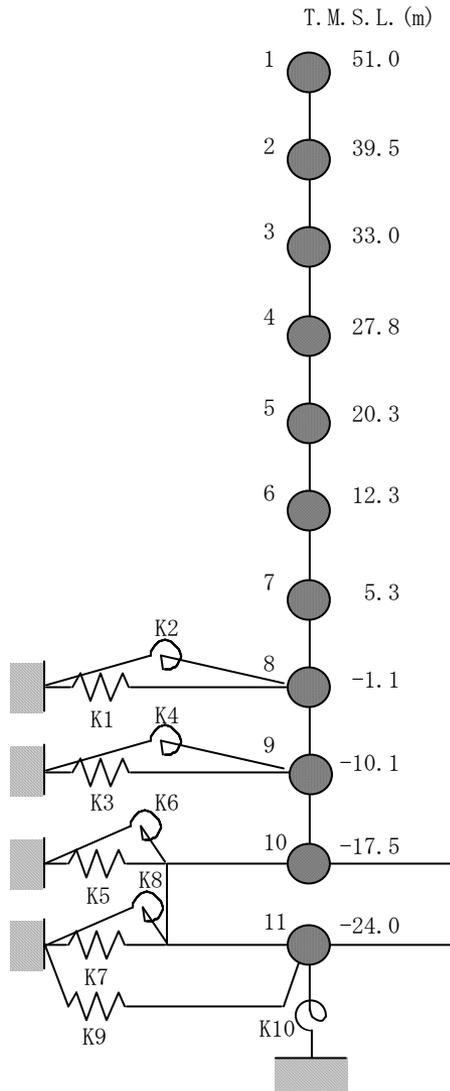
建屋解析モデル（水平方向）



建屋解析モデル（鉛直方向）



建屋モデル (NS方向)



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kNm}^2$)	せん断 断面積 A_s (m^2)	断面2次 モーメント I (m^4)
1	39,300	10.4		
2	50,280	20.2	42.6	29,000
3	244,510	143.1	61.0	53,000
4	341,850	187.1	295.8	260,100
5	477,550	262.7	335.8	331,700
6	471,970	300.9	484.0	470,700
7	454,390	299.4	570.7	599,000
8	608,920	373.9	658.6	656,800
9	637,660	436.1	724.3	730,500
10	815,450	472.1	802.2	801,400
11	526,750	304.0	6,889.0	3,954,900
合計	4,668,630			

建屋部, 基礎部

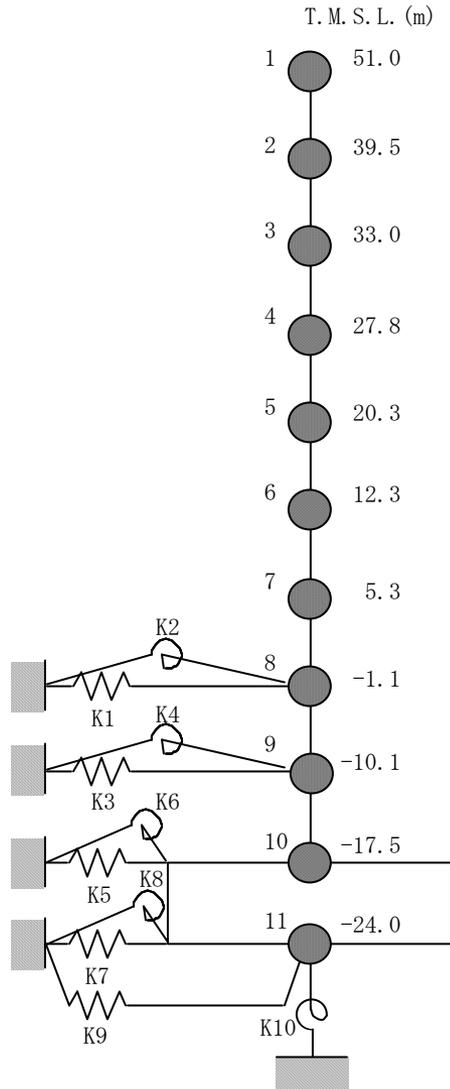
ヤング係数 E_c 2.90×10^4 (N/mm²)

せん断弾性係数 G 1.21×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

建屋モデル (EW方向)



質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kNm}^2$)	せん断 断面積 A_s (m ²)	断面2次 モーメント I (m ⁴)
1	39,300	14.3		
2	50,280	17.8	54.5	38,000
3	244,510	150.0	67.6	55,500
4	341,850	192.5	299.8	263,600
5	477,550	268.4	344.4	338,300
6	471,970	293.0	462.7	474,400
7	454,390	285.8	602.1	602,200
8	608,920	365.3	661.1	667,000
9	637,660	432.1	740.8	741,800
10	815,450	476.9	805.4	813,800
11	526,750	304.0	6,889.0	3,954,900
合計	4,668,630			

建屋部, 基礎部

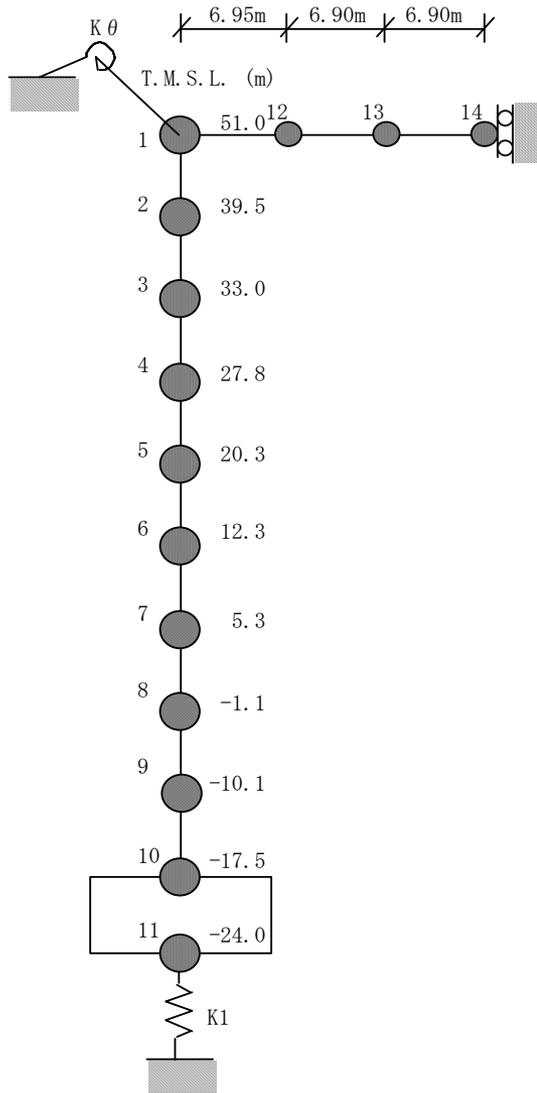
ヤング係数 E_c 2.90×10^4 (N/mm²)

せん断弾性係数 G 1.21×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

建屋モデル (UD方向)



建屋		
質点番号	質点重量 W (kN)	軸断面積 A_N (m ²)
1	30,190	
2	50,280	99.5
3	244,510	173.2
4	341,850	741.9
5	443,140	721.7
6	471,970	976.6
7	454,390	1205.3
8	547,990	1367.2
9	637,660	1532.5
10	910,790	1672.6
11	526,750	6,889.0
合計	4,668,630	

屋根			
質点番号	質点重量 W (kN)	せん断断面積 A_s ($\times 10^{-2}$ m ²)	断面 2 次モーメント I (m ⁴)
1	-		
12	3,650	20.7	2.876
13	3,630	12.4	2.876
14	1,830	8.5	2.876

①コンクリート部 (建屋・基礎スラブ)

ヤング係数 E_c	2.90×10^4 (N/mm ²)
せん断弾性係数 G	1.21×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

②鉄骨部

ヤング係数 E_s	2.05×10^5 (N/mm ²)
せん断弾性係数 G	7.90×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比 ν	0.30
減衰 h	2%

基礎形状 83.0m (NS方向) \times 83.0m (EW方向)

トラス端部回転拘束ばね $K_\theta = 6.84 \times 10^7$ (kNm/rad)

地盤モデルおよび地盤定数(Ss-1)

タービン建屋、海水熱交換器建屋も同じ

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	16	35	0.47	45	14	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	10	55	0.19	29	22	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	10	70	0.15	29	24	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	128	171	0.75	378	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	339	409	0.83	983	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	445	550	0.81	1,281	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	546	683	0.80	1,561	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

地盤モデルおよび地盤定数(Ss-2)

タービン建屋、海水熱交換器建屋も同じ

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	(砂層)	140	17.9	0.41	18	35	0.53	51	11	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	11	55	0.20	30	16	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	10	70	0.15	29	19	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	126	171	0.74	372	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	335	409	0.82	971	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	467	550	0.85	1,344	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	587	683	0.86	1,678	3	34.0
-134.0	(解放 基盤)	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

地盤モデルおよび地盤定数(Ss-3)

タービン建屋、海水熱交換器建屋も同じ

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	20	35	0.57	55	10	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	14	55	0.25	38	20	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	9	70	0.13	25	28	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	119	171	0.70	352	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	323	409	0.79	936	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	418	550	0.76	1,203	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	519	683	0.76	1,484	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

地盤モデルおよび地盤定数(Ss-4)

タービン建屋、海水熱交換器建屋も同じ

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	19	35	0.55	53	9	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	14	55	0.25	38	14	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	13	70	0.19	36	13	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	136	171	0.80	402	3	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	359	409	0.88	1,041	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	478	550	0.87	1,376	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	587	683	0.86	1,678	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

地盤モデルおよび地盤定数(Ss-5)

タービン建屋、海水熱交換器建屋も同じ

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	140	17.9	0.41	17	35	0.48	46	8	4.0
+8.0		170	17.9	0.40	12	55	0.22	33	11	4.0
+4.0		200	17.9	0.40	18	70	0.26	50	14	4.0
±0.0	安田層	310	17.5	0.48	135	171	0.79	399	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	351	409	0.86	1,017	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	456	550	0.83	1,313	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	560	683	0.82	1,601	3	34.0
-134.0	〔解放 基盤〕	710	19.9	0.42	1,020	1,020	1.00	2,896	-	-

地盤ばね定数(Ss-1)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(※1) K _c	減衰係数 ^(※2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	3.13×10^6	1.69×10^6
		側面・回転	4.91×10^9	8.08×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.90×10^6	3.03×10^6
		側面・回転	1.42×10^{10}	1.50×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.01×10^7	2.90×10^6
		側面・回転	1.62×10^{10}	1.47×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.74×10^6	1.36×10^6
		側面・回転	7.59×10^9	6.86×10^8
	K9	底面・並進	9.93×10^7	5.67×10^6
		底面・回転	2.10×10^{11}	3.46×10^9

(※1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(※2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

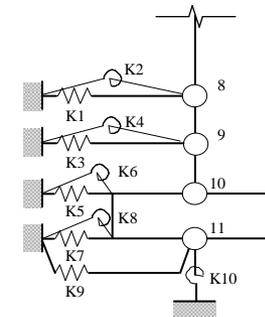
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(※1) K _c	減衰係数 ^(※2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	3.13×10^6	1.69×10^6
		側面・回転	4.91×10^9	8.08×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.90×10^6	3.03×10^6
		側面・回転	1.42×10^{10}	1.50×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.01×10^7	2.90×10^6
		側面・回転	1.62×10^{10}	1.47×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.74×10^6	1.36×10^6
		側面・回転	7.59×10^9	6.86×10^8
	K9	底面・並進	9.93×10^7	5.67×10^6
		底面・回転	2.10×10^{11}	3.46×10^9

(※1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(※2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-24.0	k1	底面・鉛直	1.83×10^8	1.38×10^7



NS方向及びEW方向

地盤ばね定数(Ss-2)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
-1.1	K1	側面・並進	3.08×10^6	1.68×10^6
	K2	側面・回転	4.83×10^9	8.03×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.78×10^6	3.01×10^6
	K4	側面・回転	1.40×10^{10}	1.50×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
	K6	側面・回転	1.60×10^{10}	1.46×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.68×10^6	1.35×10^6
	K8	側面・回転	7.48×10^9	6.83×10^8
	K9	底面・並進	9.93×10^7	5.67×10^6
	K10	底面・回転	2.11×10^{11}	3.46×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad
 (*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

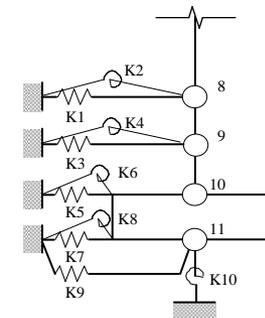
EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
-1.1	K1	側面・並進	3.08×10^6	1.68×10^6
	K2	側面・回転	4.83×10^9	8.03×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.78×10^6	3.01×10^6
	K4	側面・回転	1.40×10^{10}	1.50×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
	K6	側面・回転	1.60×10^{10}	1.46×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.68×10^6	1.35×10^6
	K8	側面・回転	7.48×10^9	6.83×10^8
	K9	底面・並進	9.93×10^7	5.67×10^6
	K10	底面・回転	2.11×10^{11}	3.46×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad
 (*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 K_c (kN/m)	減衰係数 C_c (kNs/m)
-24.0	k1	底面・鉛直	1.87×10^8	1.39×10^7



NS方向及びEW方向

地盤ばね定数(Ss-3)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K _c	減衰 ^(*2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	2.92×10^6	1.64×10^6
	K2	側面・回転	4.58×10^9	7.82×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.44×10^6	2.95×10^6
	K4	側面・回転	1.34×10^{10}	1.46×10^9
-17.5	K5	側面・並進	9.65×10^6	2.83×10^6
	K6	側面・回転	1.54×10^{10}	1.43×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.51×10^6	1.32×10^6
	K8	側面・回転	7.22×10^9	6.69×10^8
	K9	底面・並進	9.45×10^7	5.53×10^6
	K10	底面・回転	1.98×10^{11}	3.37×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

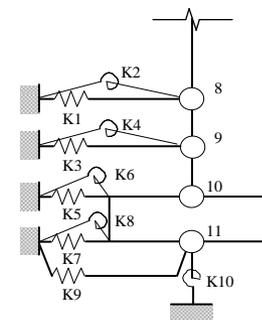
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K _c	減衰 ^(*2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	2.92×10^6	1.64×10^6
	K2	側面・回転	4.58×10^9	7.82×10^8
-10.1	K3	側面・並進	8.44×10^6	2.95×10^6
	K4	側面・回転	1.34×10^{10}	1.46×10^9
-17.5	K5	側面・並進	9.65×10^6	2.83×10^6
	K6	側面・回転	1.54×10^{10}	1.43×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.51×10^6	1.32×10^6
	K8	側面・回転	7.22×10^9	6.69×10^8
	K9	底面・並進	9.45×10^7	5.53×10^6
	K10	底面・回転	1.98×10^{11}	3.37×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 K _c (kN/m)	減衰 C _c (kNs/m)
-24.0	k1	底面・鉛直	1.75×10^8	1.35×10^7



NS方向及びEW方向

地盤ばね定数(Ss-4)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
-1.1	K1	側面・並進	3.35×10^6	1.74×10^6
	K2	側面・回転	5.24×10^9	8.35×10^8
-10.1	K3	側面・並進	9.45×10^6	3.12×10^6
	K4	側面・回転	1.50×10^{10}	1.55×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.07×10^7	2.98×10^6
	K6	側面・回転	1.72×10^{10}	1.51×10^9
-24.0	K7	側面・並進	5.02×10^6	1.40×10^6
	K8	側面・回転	8.03×10^9	7.06×10^8
	K9	底面・並進	1.05×10^8	5.83×10^6
	K10	底面・回転	2.23×10^{11}	3.55×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

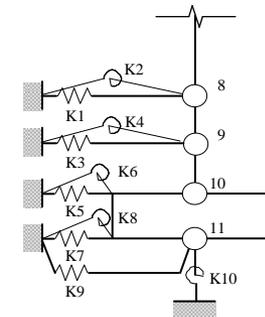
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
-1.1	K1	側面・並進	3.35×10^6	1.74×10^6
	K2	側面・回転	5.24×10^9	8.35×10^8
-10.1	K3	側面・並進	9.45×10^6	3.12×10^6
	K4	側面・回転	1.50×10^{10}	1.55×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.07×10^7	2.98×10^6
	K6	側面・回転	1.72×10^{10}	1.51×10^9
-24.0	K7	側面・並進	5.02×10^6	1.40×10^6
	K8	側面・回転	8.03×10^9	7.06×10^8
	K9	底面・並進	1.05×10^8	5.83×10^6
	K10	底面・回転	2.23×10^{11}	3.55×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 K_c (kN/m)	減衰係数 C_c (kNs/m)
-24.0	k1	底面・鉛直	1.93×10^8	1.41×10^7



NS方向及びEW方向

地盤ばね定数(Ss-5)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	3.32×10^6	1.73×10^6
	K2	側面・回転	5.21×10^9	8.31×10^8
-10.1	K3	側面・並進	9.24×10^6	3.09×10^6
	K4	側面・回転	1.47×10^{10}	1.53×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
	K6	側面・回転	1.67×10^{10}	1.49×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
	K8	側面・回転	7.83×10^9	6.96×10^8
	K9	底面・並進	1.02×10^8	5.67×10^6
	K10	底面・回転	2.15×10^{11}	3.49×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

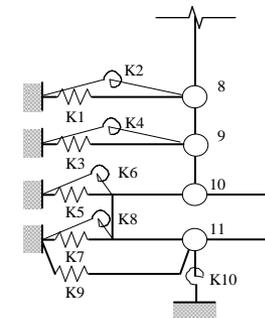
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
-1.1	K1	側面・並進	3.32×10^6	1.73×10^6
	K2	側面・回転	5.21×10^9	8.31×10^8
-10.1	K3	側面・並進	9.24×10^6	3.09×10^6
	K4	側面・回転	1.47×10^{10}	1.53×10^9
-17.5	K5	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
	K6	側面・回転	1.67×10^{10}	1.49×10^9
-24.0	K7	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
	K8	側面・回転	7.83×10^9	6.96×10^8
	K9	底面・並進	1.02×10^8	5.67×10^6
	K10	底面・回転	2.15×10^{11}	3.49×10^9

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね	
			ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-24.0	k1	底面・鉛直	1.87×10^8	1.39×10^7



NS方向及びEW方向

固有値解析結果(Ss-1)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.491	2.04	1.550	地盤建屋連成一次
2	0.237	4.22	-0.591	
3	0.101	9.95	-0.092	
4	0.083	11.99	0.222	
5	0.065	15.34	-0.100	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.490	2.04	1.543	地盤建屋連成一次
2	0.236	4.23	-0.579	
3	0.100	10.03	-0.077	
4	0.081	12.37	0.189	
5	0.062	16.11	-0.088	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.328	3.04	4.471	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.60	-3.519	
3	0.081	12.37	0.091	
4	0.058	17.11	0.323	
5	0.057	17.51	0.334	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-2)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.491	2.04	1.550	地盤建屋連成一次
2	0.237	4.22	-0.591	
3	0.101	9.95	-0.091	
4	0.083	11.99	0.221	
5	0.065	15.34	-0.100	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.491	2.04	1.543	地盤建屋連成一次
2	0.236	4.23	-0.579	
3	0.100	10.03	-0.077	
4	0.081	12.37	0.189	
5	0.062	16.11	-0.088	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.325	3.08	4.730	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-3.778	
3	0.081	12.37	0.093	
4	0.058	17.11	0.327	
5	0.057	17.52	0.338	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-3)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.502	1.99	1.545	地盤建屋連成一次
2	0.242	4.12	-0.582	
3	0.101	9.91	-0.089	
4	0.083	11.99	0.211	
5	0.065	15.33	-0.095	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.502	1.99	1.538	地盤建屋連成一次
2	0.242	4.13	-0.571	
3	0.100	9.99	-0.074	
4	0.081	12.35	0.180	
5	0.062	16.11	-0.083	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.335	2.98	4.020	地盤建屋連成一次
2	0.278	3.60	-3.066	
3	0.081	12.37	0.087	
4	0.058	17.11	0.314	
5	0.057	17.50	0.325	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-4)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.479	2.09	1.557	地盤建屋連成一次
2	0.231	4.33	-0.602	
3	0.100	9.99	-0.096	
4	0.083	12.01	0.235	
5	0.065	15.35	-0.106	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.478	2.09	1.549	地盤建屋連成一次
2	0.230	4.34	-0.589	
3	0.099	10.06	-0.080	
4	0.081	12.38	0.201	
5	0.062	16.12	-0.094	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.320	3.12	5.168	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-4.219	
3	0.081	12.37	0.096	
4	0.058	17.11	-0.333	
5	0.057	17.53	0.345	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-5)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.485	2.06	1.554	地盤建屋連成一次
2	0.234	4.28	-0.597	
3	0.100	9.96	-0.094	
4	0.083	12.00	0.228	
5	0.065	15.35	-0.103	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.484	2.06	1.547	地盤建屋連成一次
2	0.234	4.28	-0.585	
3	0.100	10.04	-0.079	
4	0.081	12.37	0.195	
5	0.062	16.12	-0.091	

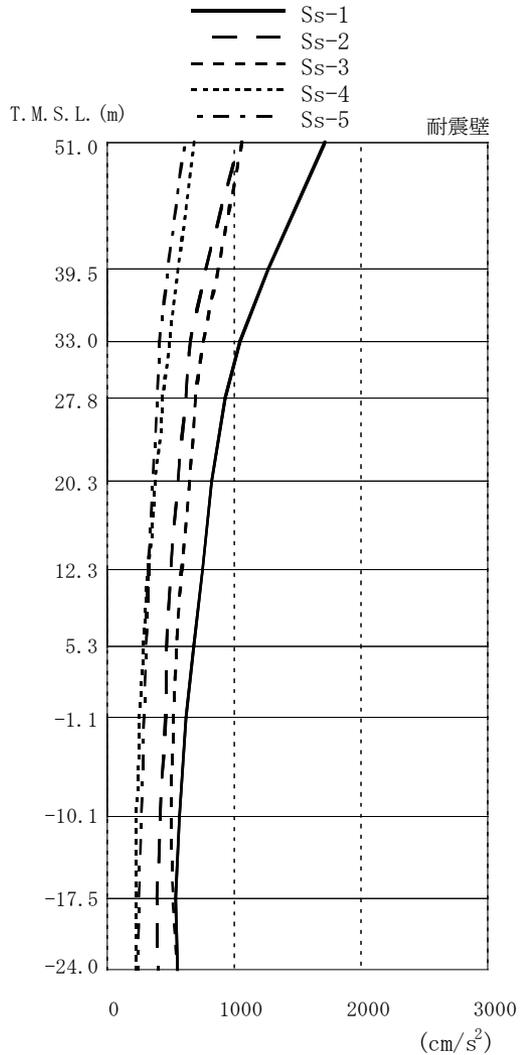
UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 *	備考
1	0.325	3.08	4.730	地盤建屋連成一次
2	0.277	3.61	-3.778	
3	0.081	12.37	0.093	
4	0.058	17.11	0.327	
5	0.057	17.52	0.338	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

解析結果(最大応答加速度)

NS方向

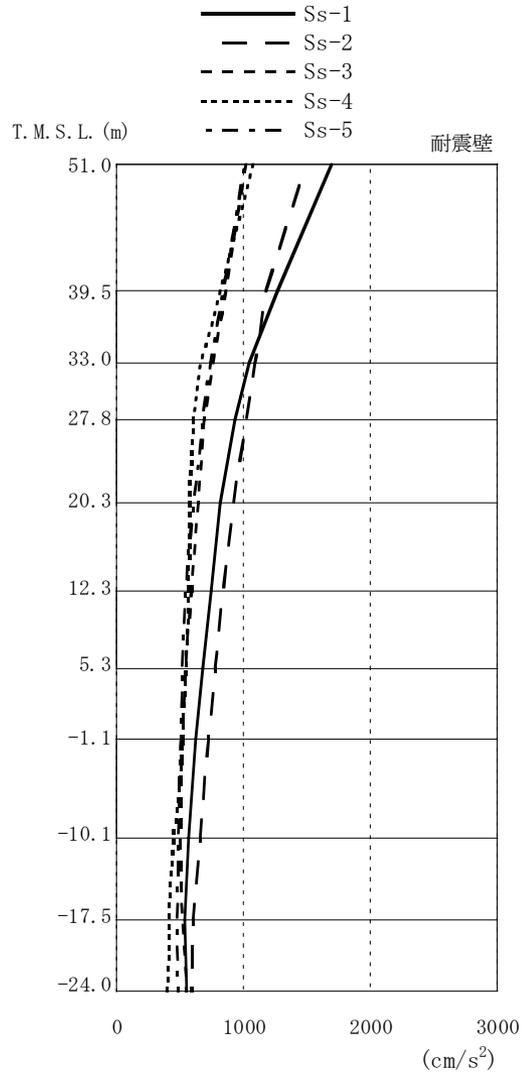


耐震壁
(cm/s²)

Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
1719	1036	1064	685	615
1267	778	871	561	478
1047	658	755	486	411
931	619	698	439	392
825	561	650	374	357
750	499	588	325	321
681	465	546	285	307
621	460	523	254	293
570	419	504	228	271
540	391	519	222	249
556	402	551	224	236

解析結果(最大応答加速度)

EW方向

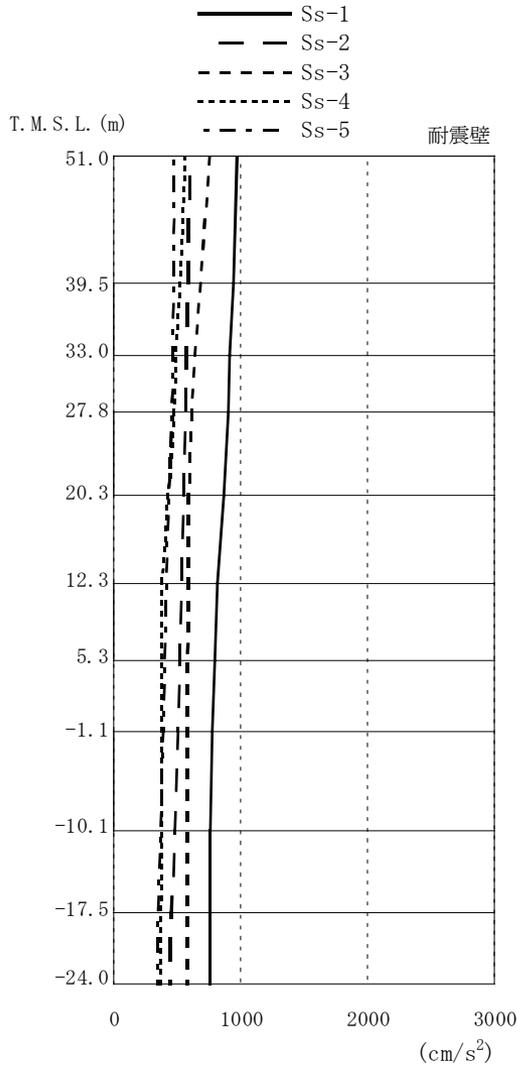


耐震壁
(cm/s^2)

Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
1696	1497	1018	1080	1008
1267	1179	864	817	841
1045	1096	760	669	740
937	1025	694	610	682
818	926	646	574	608
743	843	591	567	544
683	779	547	552	517
626	725	523	523	506
570	662	503	451	487
541	601	521	413	477
557	590	553	402	489

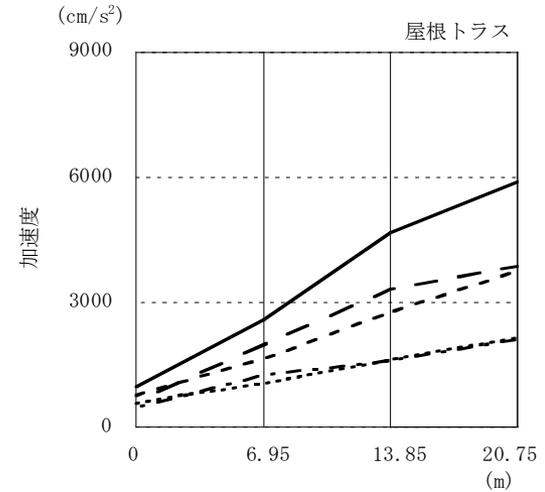
解析結果(最大応答加速度)

UD方向



耐震壁
(cm/s^2)

Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
975	602	757	565	476
944	585	687	525	473
917	575	639	494	468
904	570	614	475	461
866	557	592	427	441
822	540	588	381	419
796	525	583	381	401
775	508	582	381	390
761	480	582	376	369
762	453	583	372	349
763	445	581	371	345



屋根トラス
(cm/s^2)

Ss-1	975	2589	4669	5900
Ss-2	602	1980	3319	3864
Ss-3	757	1649	2755	3763
Ss-4	565	1055	1610	2143
Ss-5	476	1255	1600	2108

解析結果(最大応答せん断ひずみ)

NS方向

($\times 10^{-3}$)

	階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価 基準値
T.M.S.L.							2.0以下
39.5m	CRF	0.13	0.08	0.08	0.05	0.05	
33.0m	4F	0.18	0.11	0.12	0.08	0.07	
27.8m	3F	0.11	0.07	0.08	0.05	0.04	
20.3m	2F	0.17	0.11	0.13	0.08	0.07	
12.3m	1F	0.18	0.12	0.14	0.09	0.08	
5.3m	B1F	0.21	0.14	0.16	0.09	0.09	
-1.1m	B2F	0.21	0.15	0.17	0.10	0.09	
-10.1m	B3F	0.23	0.16	0.19	0.10	0.10	
-17.5m	B4F	0.22	0.16	0.21	0.10	0.11	

解析結果(最大応答せん断ひずみ)

EW方向

($\times 10^{-3}$)

	階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価 基準値
T.M.S.L.							
39.5m	CRF	0.10	0.09	0.06	0.07	0.06	2.0以下
33.0m	4F	0.16	0.15	0.10	0.10	0.10	
27.8m	3F	0.11	0.11	0.08	0.07	0.07	
20.3m	2F	0.17	0.18	0.12	0.11	0.12	
12.3m	1F	0.19	0.21	0.14	0.13	0.14	
5.3m	B1F	0.19	0.21	0.15	0.13	0.14	
-1.1m	B2F	0.21	0.29	0.16	0.14	0.16	
-10.1m	B3F	0.23	0.27	0.19	0.18	0.18	
-17.5m	B4F	0.22	0.26	0.21	0.18	0.19	

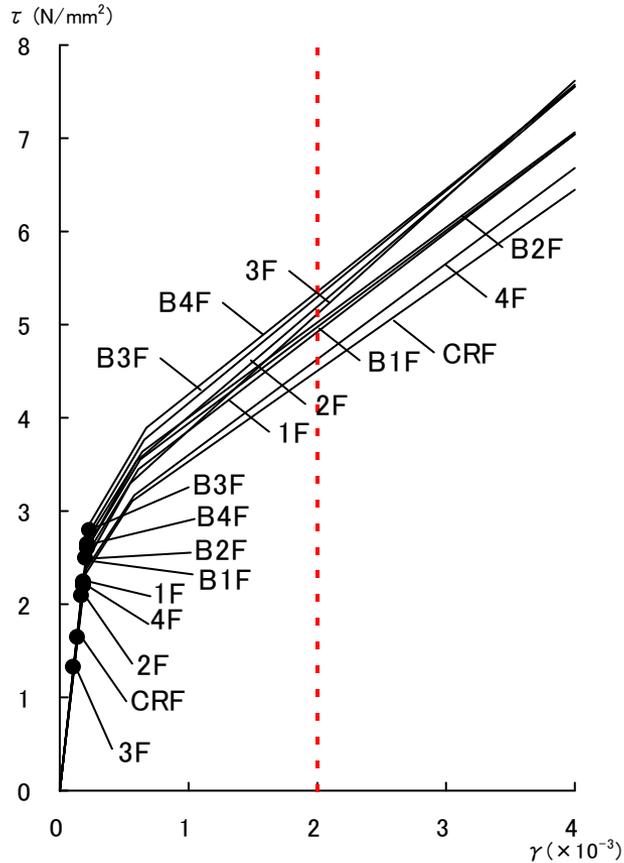
NS方向

T.M.S.L.	階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
39.5m	CRF	1.63	0.98	1.00	0.64	0.59
33.0m	4F	2.19	1.34	1.42	0.91	0.81
27.8m	3F	1.31	0.81	0.93	0.60	0.50
20.3m	2F	2.08	1.35	1.53	0.98	0.83
12.3m	1F	2.23	1.50	1.68	1.05	0.93
5.3m	B1F	2.48	1.69	1.90	1.15	1.06
-1.1m	B2F	2.60	1.78	2.00	1.18	1.12
-10.1m	B3F	2.79	1.88	2.31	1.26	1.26
-17.5m	B4F	2.63	1.89	2.51	1.20	1.29

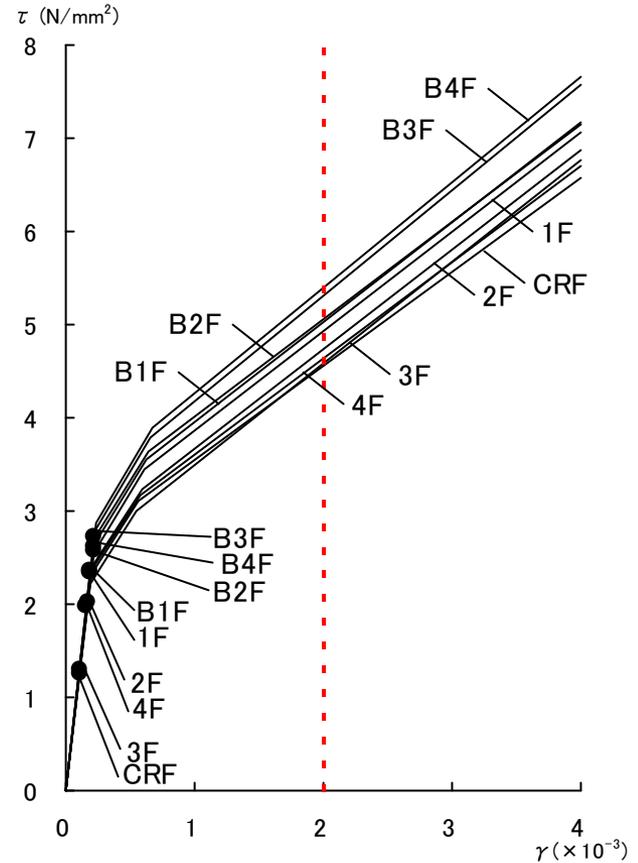
EW方向

T.M.S.L.	階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
39.5m	CRF	1.26	1.11	0.75	0.79	0.74
33.0m	4F	1.97	1.76	1.25	1.26	1.23
27.8m	3F	1.29	1.27	0.92	0.83	0.89
20.3m	2F	2.03	2.13	1.50	1.32	1.46
12.3m	1F	2.34	2.50	1.75	1.52	1.71
5.3m	B1F	2.35	2.56	1.79	1.55	1.73
-1.1m	B2F	2.58	2.85	1.99	1.75	1.90
-10.1m	B3F	2.73	2.89	2.26	2.22	2.15
-17.5m	B4F	2.63	2.94	2.50	2.19	2.27

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー1）



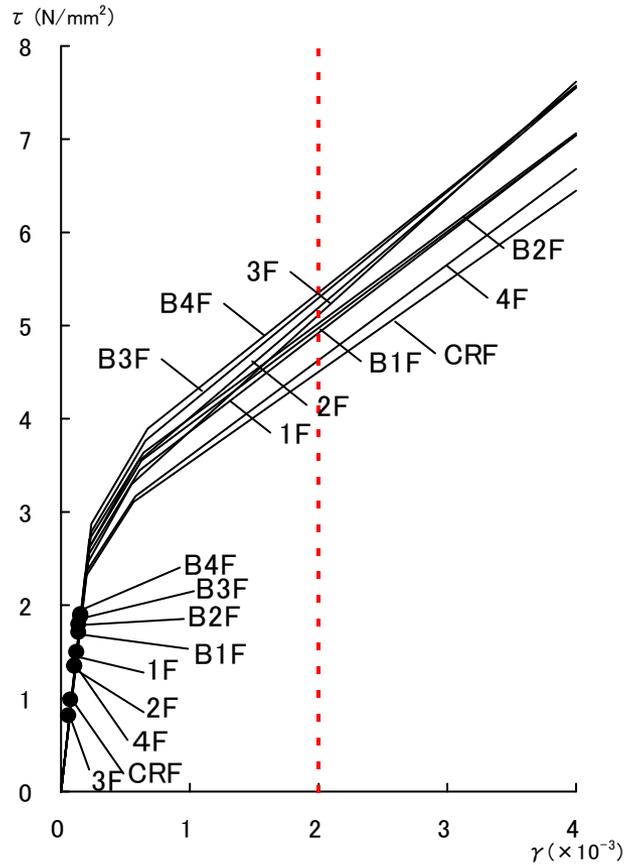
NS



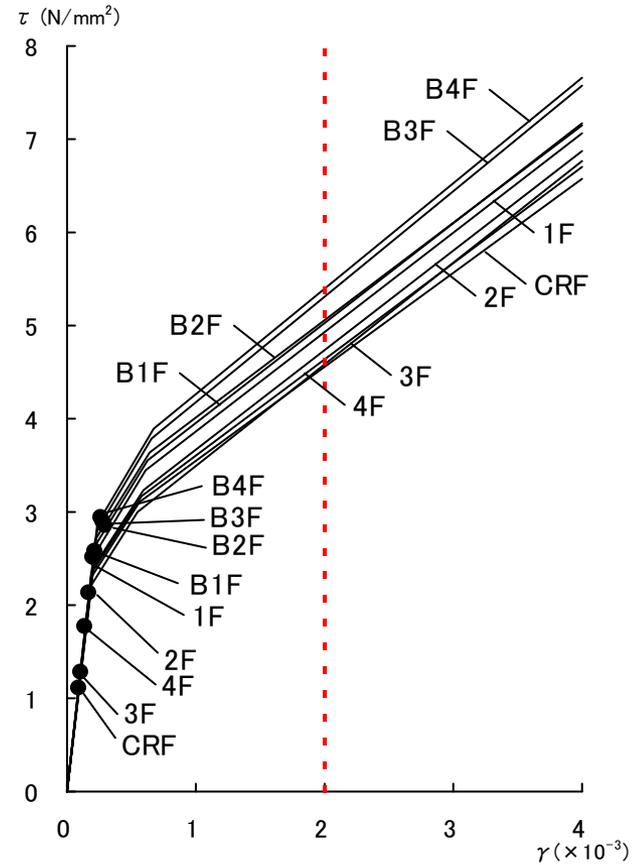
EW

Ss-1

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー2）



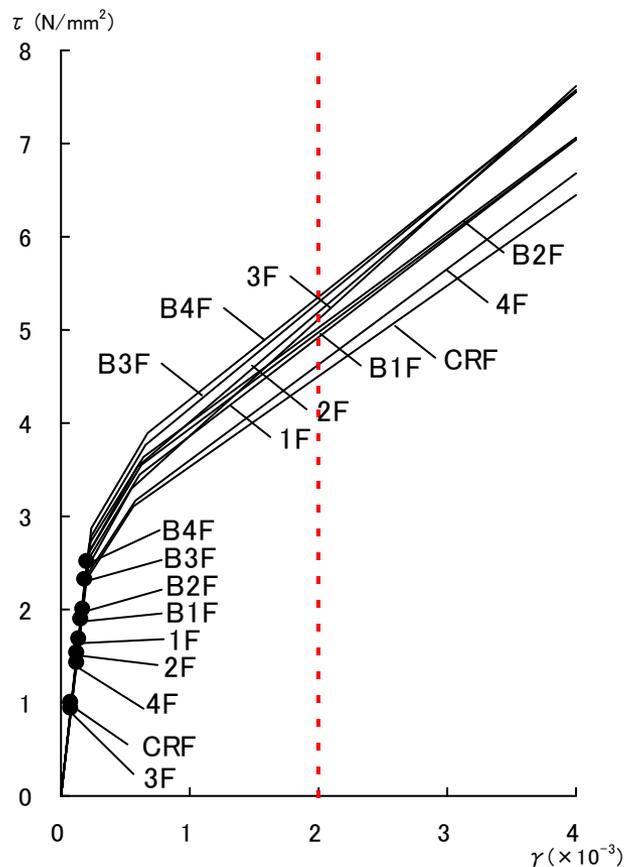
NS



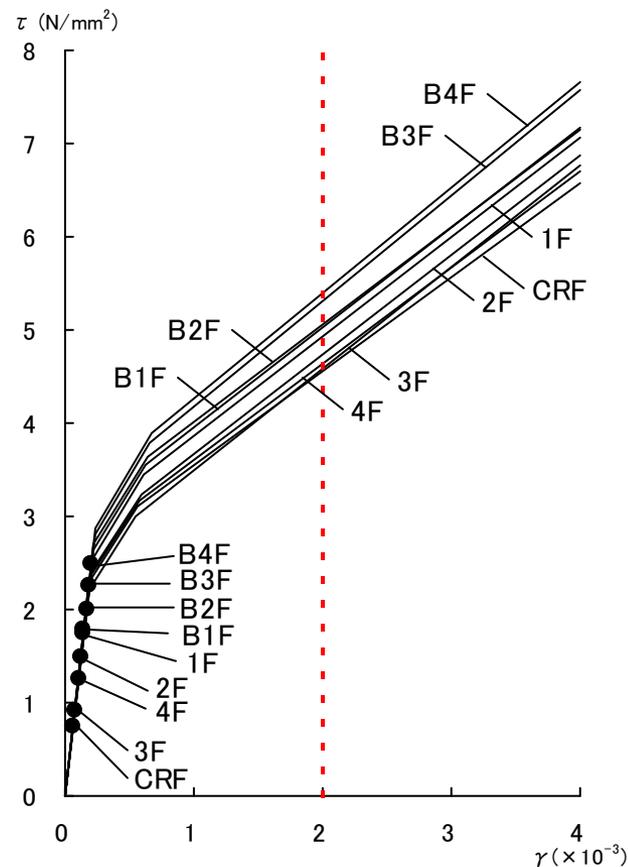
EW

Ss-2

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー3）



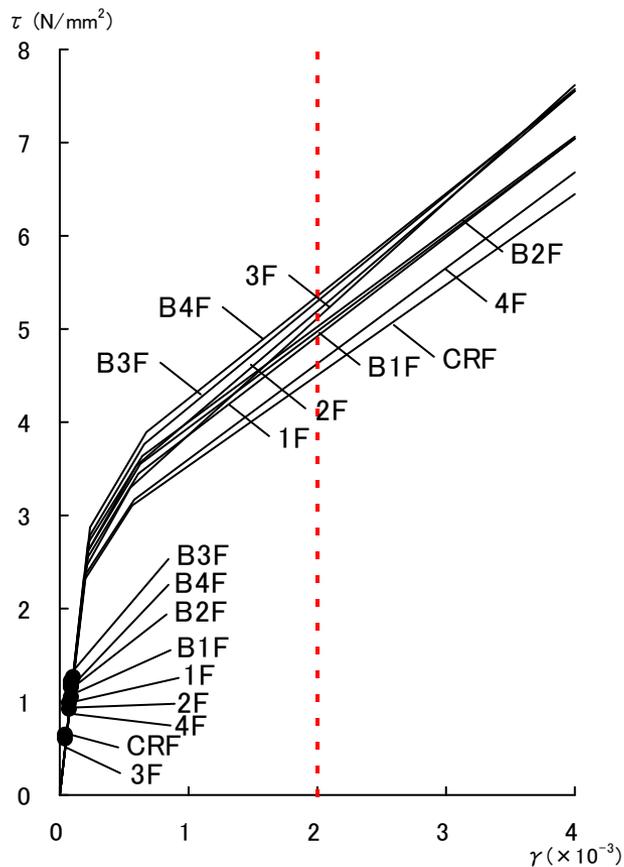
NS



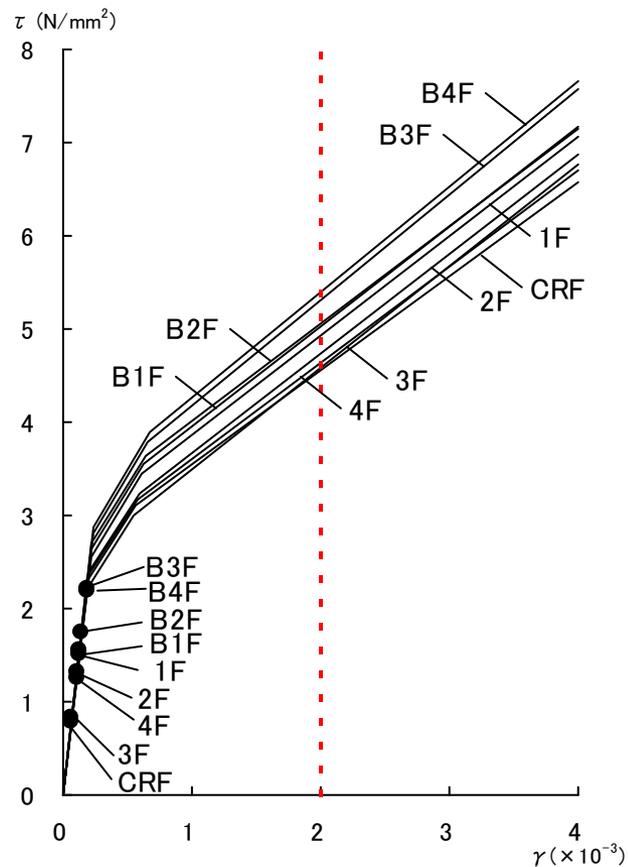
EW

Ss-3

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー4）



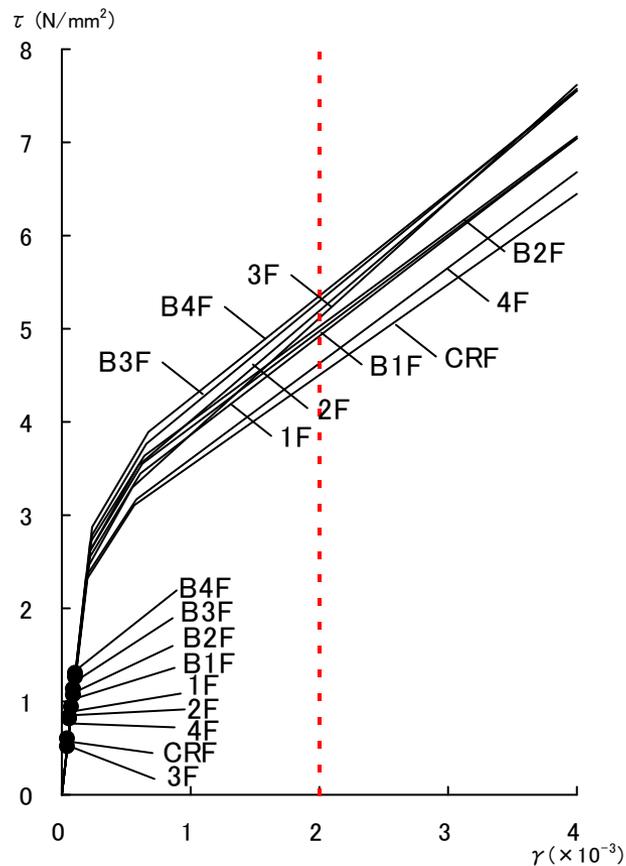
NS



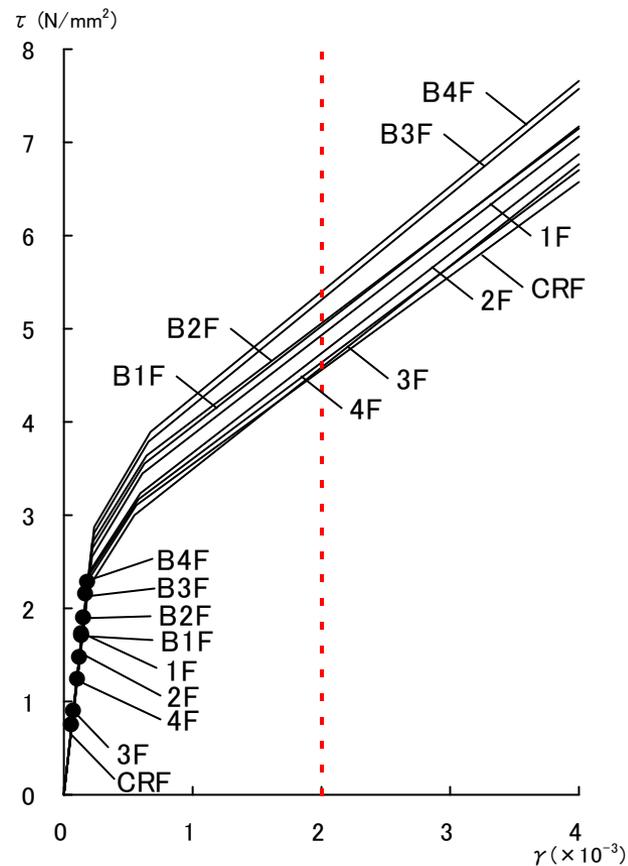
EW

Ss-4

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー5）



NS



EW

Ss-5

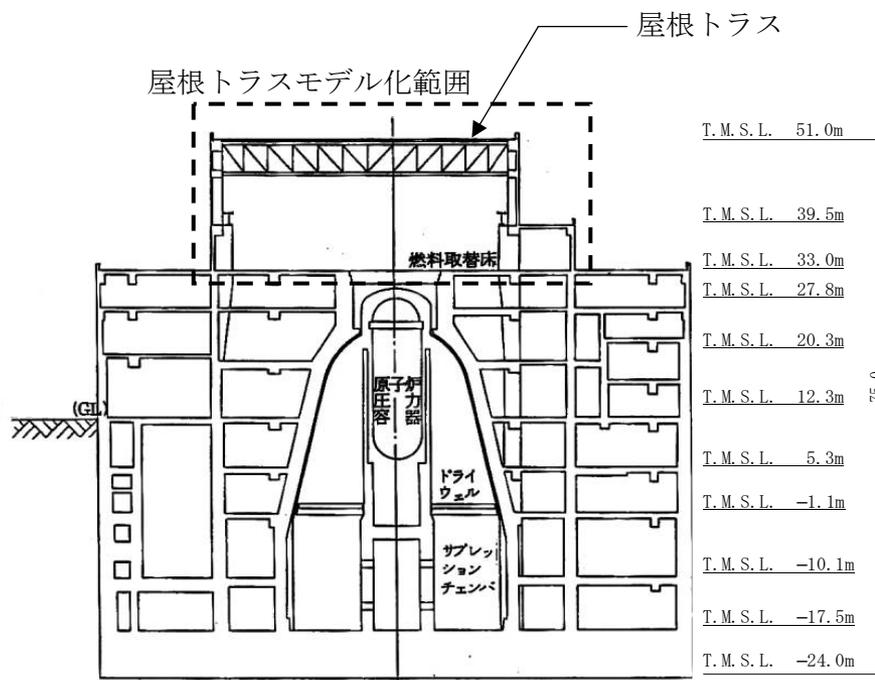
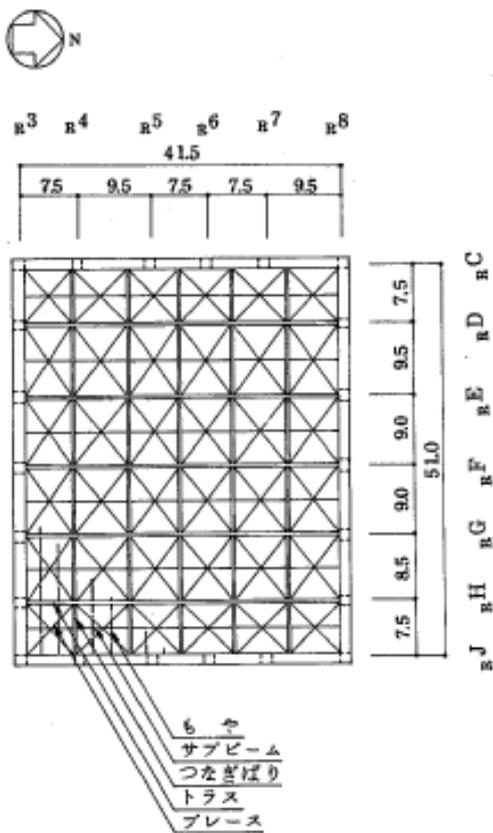
まとめ（原子炉建屋）

- 耐震安全性評価に当たっては、建物が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、原子炉建屋の主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。
- 基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート耐震壁のせん断ひずみは最大で 0.29×10^{-3} （ S_s -2、EW方向、B2F）であり、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を満足している。

IV. 原子炉建屋屋根トラスの耐震安全性評価

屋根トラスの概要

原子炉建屋の上部構造は、鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。

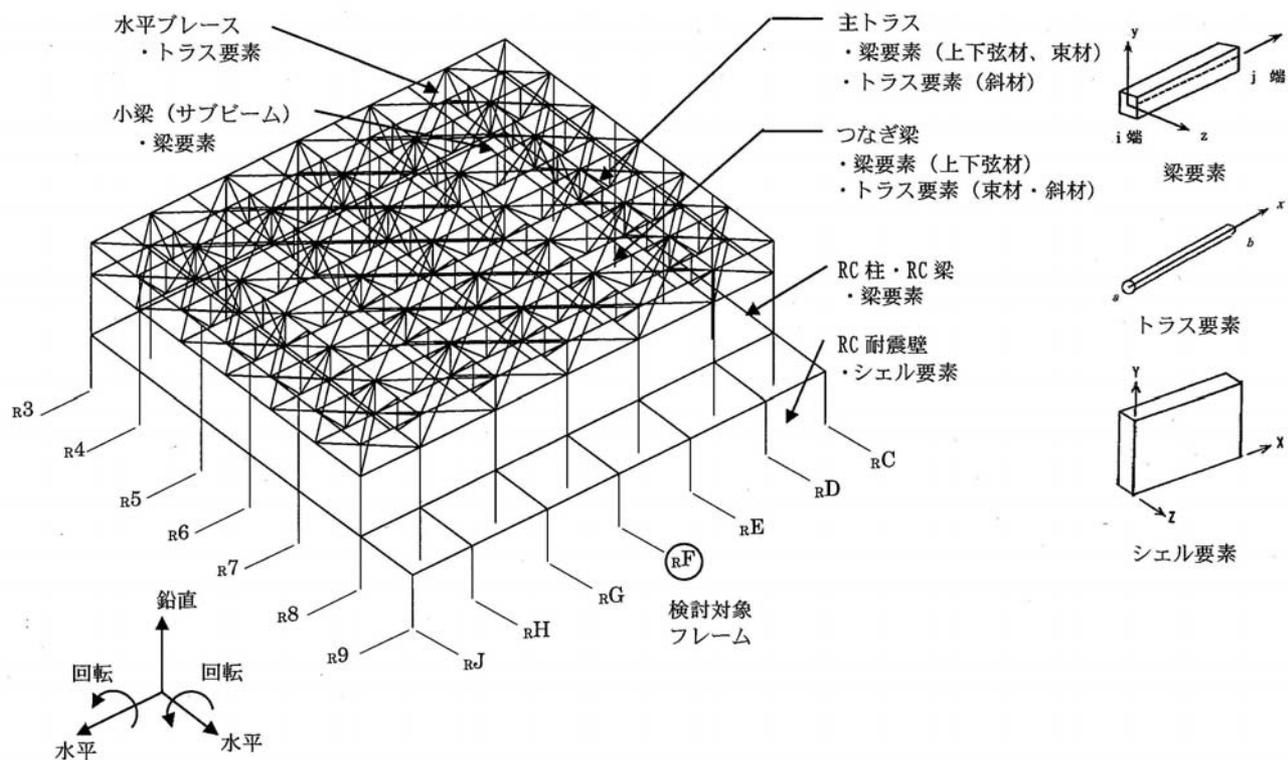


断面図

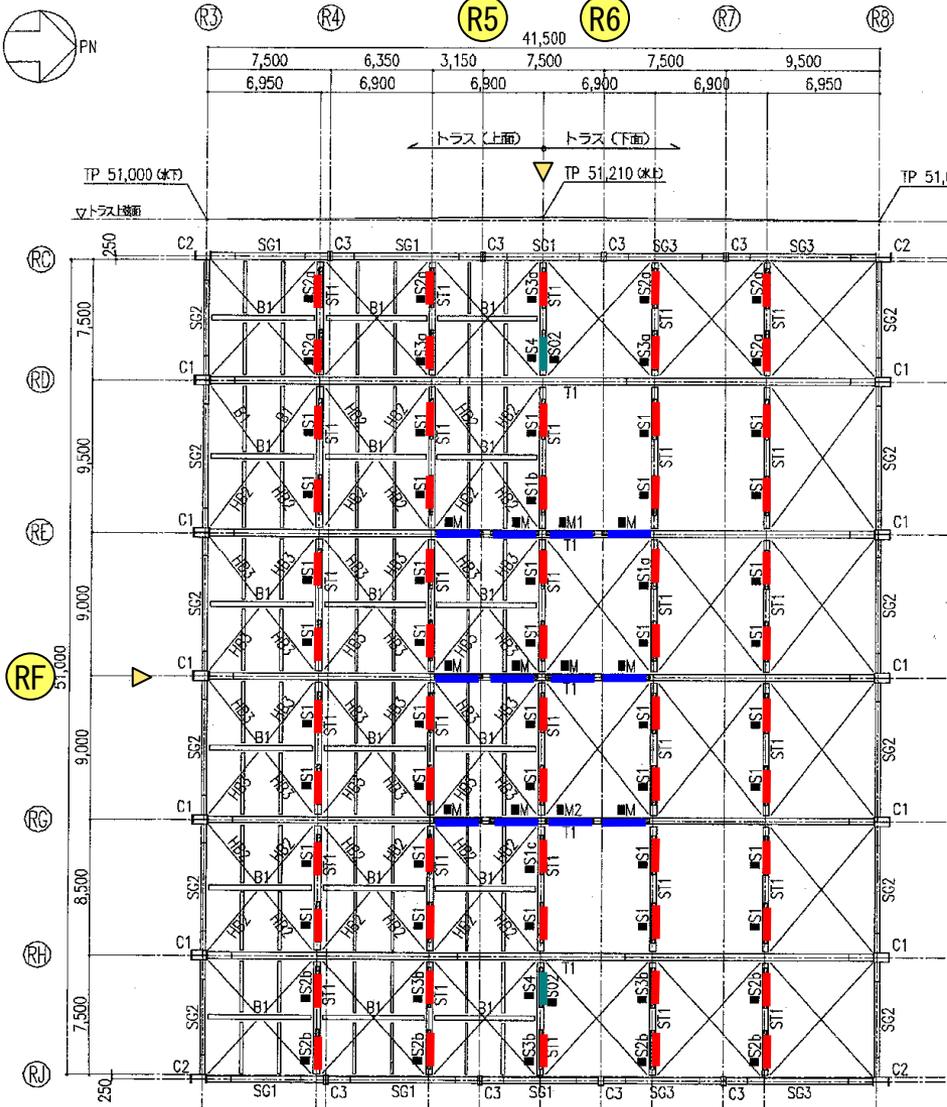
屋根伏図 (T.M.S.L. 51.0m)

屋根トラスの地震応答解析モデル

屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考え、水平方向と鉛直方向の同時入力による評価を行うため、3次元モデルによる地震応答解析を行う。なお、屋根トラスについては、耐震強化工事を実施しており、耐震強化工事を反映したモデルを用いている。



耐震強化の実例

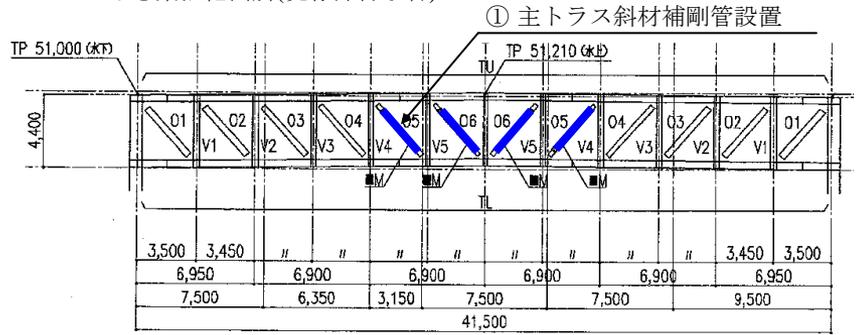


屋根トラス鉄骨平面図

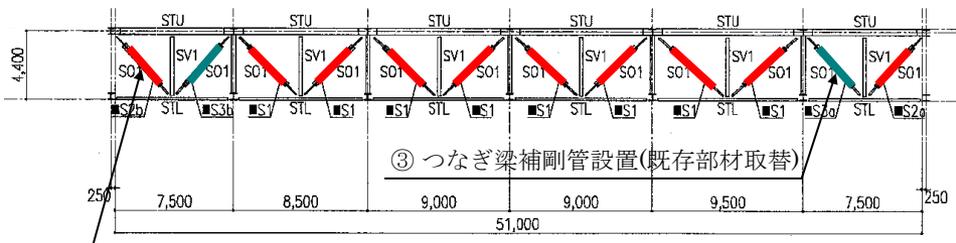
【原子炉建屋の屋根トラス(鉄骨構造)】

座屈補剛管の設置により圧縮側許容値を増強することを基本とした。
補剛管設置の影響による斜材軸剛性の変化はない。

- 主トラス強化箇所
- つなぎ梁強化箇所
- つなぎ梁強化箇所(既存部材取替)



RF通り
主トラス断面図



R5-R6通り
つなぎ梁断面図

耐震強化箇所と耐震強化方法

耐震強化前後の耐力比較

No.	箇所及び耐震強化方法			座屈耐力 (kN)	引張耐力 (kN)
①	主トラス斜材 補剛管設置	強化前 2[s-250×90×9×13	強化前	1260	2274
		強化後 2[s-250×90×9×13	強化後	2212	2274
②	つなぎ梁斜材 補剛管設置	強化前 2Ls-90×90×10	強化前	370	877
		強化後 2Ls-90×90×10	強化後	853	877
③	つなぎ梁斜材 補剛管設置 (既存部材取替)	強化前 2Ls-90×90×10	強化前	261	877
		強化後 2Ls-130×130×9	強化後	1141	1173

5号機原子炉建屋屋根トラスへの補強方法選定の背景

- 1996年～：火力発電所等に適用可能な耐震補強方法に関する技術開発に着手
- 2000年：(財)日本建築センター一般評価「ポイントタッチブレース」BCJ-S1950を取得
→ 特許3382178「座屈防止鋼管を備えたブレース」
※東京電力の火力発電所で本手法の適用実績有り
- 2008年：5号機屋根トラス補強方法について検討
- 2009年：5号機屋根トラスへの本手法の適用性を確認するための実験を実施し、耐震強化工事で本手法を採用することを決定
5号機原子炉建屋屋根トラス耐震強化工事に座屈補剛鋼管を設置

評価基準

屋根トラスを構成する各構面の上下弦材・斜材・束材を対象として、地震時に生じる軸力および曲げモーメントより短期許容応力度に対する断面検定について、下式を用いて行う。

【圧縮】

$$\frac{{}_S\sigma_N}{{}_Sf_c} + \frac{{}_S\sigma_b}{{}_Sf_b} \leq 1.0$$

- ${}_S\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力
- ${}_S\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力
- ${}_Sf_c$: 圧縮応力に対する許容値※1
(座屈の影響を考慮して細長比等により求めた数値)
- ${}_Sf_b$: 曲げ応力に対する許容値※1

【引張】

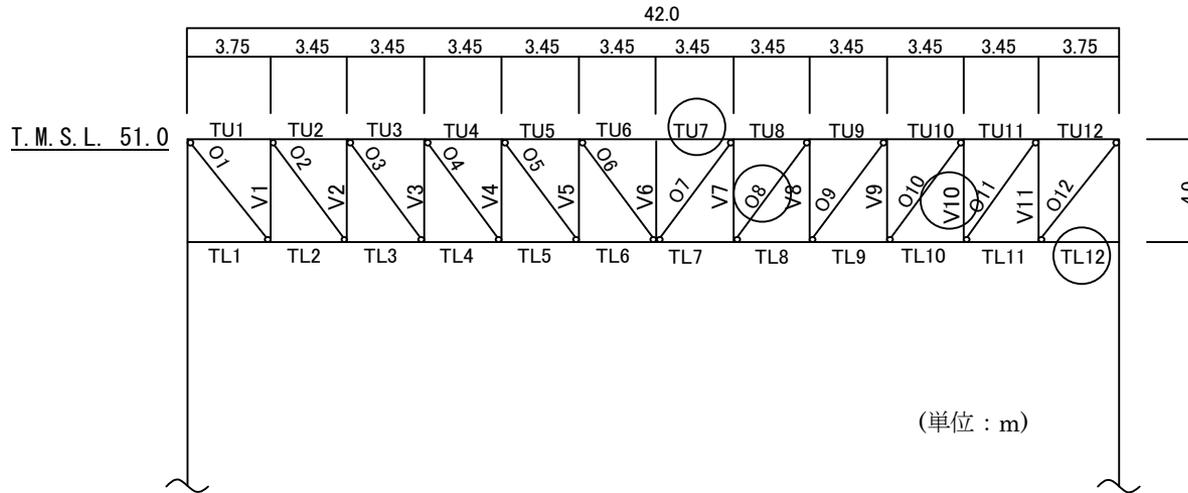
$$\frac{{}_S\sigma_N}{{}_Sf_t} + \frac{{}_S\sigma_b}{{}_Sf_b} \leq 1.0$$

- ${}_S\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力
- ${}_S\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力
- ${}_Sf_t$: 引張応力に対する許容値※1
- ${}_Sf_b$: 曲げ応力に対する許容値※1

※1 : 評価基準値は、建築基準法に基づく鋼材の材料強度（F値の1.1倍）による許容値を示す。

評価結果

○：応力比が最大となる位置を示す



評価部位 (F通り)

部材		応力 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	応力比	位置	使用部材
上弦材	(圧縮)	176.8	350	0.71	TU7	H-428×407×20×35
	(曲げ)	71.1	357			
下弦材	(圧縮)	200.0	328	0.95	TL12	H-428×407×20×35
	(曲げ)	119.7	357			
斜材	(引張)	231.6	258	0.90	O8	2[s-250×90×9×13
束材	(圧縮)	249.8	349	0.95	V10	H-344×348×10×16
	(曲げ)	82.9	357			

注：評価基準値は、建築基準法に基づく鋼材の材料強度（F値の1.1倍）による許容値を示す。

まとめ（原子炉建屋屋根トラス）

- 基準地震動 S_s により局所的に生じる応答の影響評価として、鉛直地震動の影響が大きい部位である屋根トラスの耐震安全性について評価する。
- 屋根トラスについては耐震強化工事を実施しており、耐震強化工事後の状況を反映した解析モデルを使用している。
- 原子炉建屋の屋根トラスを構成する各部材の応力比は評価基準値を下回っており、耐震安全性は確保されているものと評価した。

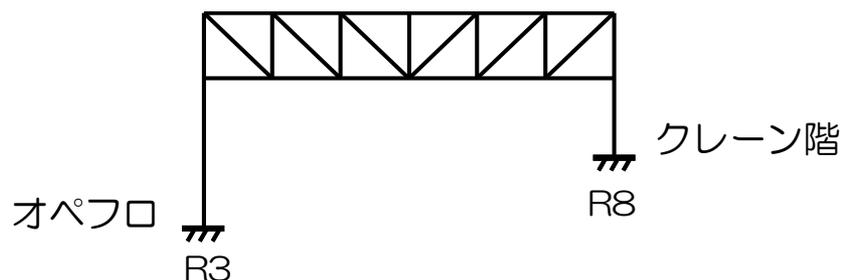
【参考】 屋根トラスに対する耐震強化実施の背景

屋根トラスに対する耐震強化実施の背景（1）

■ 当初設計時の状態

○屋根トラスの当初設計は、積載荷重等に対して長期許容応力度設計、基準地震動 S_1 による地震力と静的地震力を包絡した地震力に対して短期許容応力度設計を行っている。

1号機と同様に結果的に長期で断面が決定しており、当初設計の時点においては地震力に対しては比較的余裕がある構造となっていた。



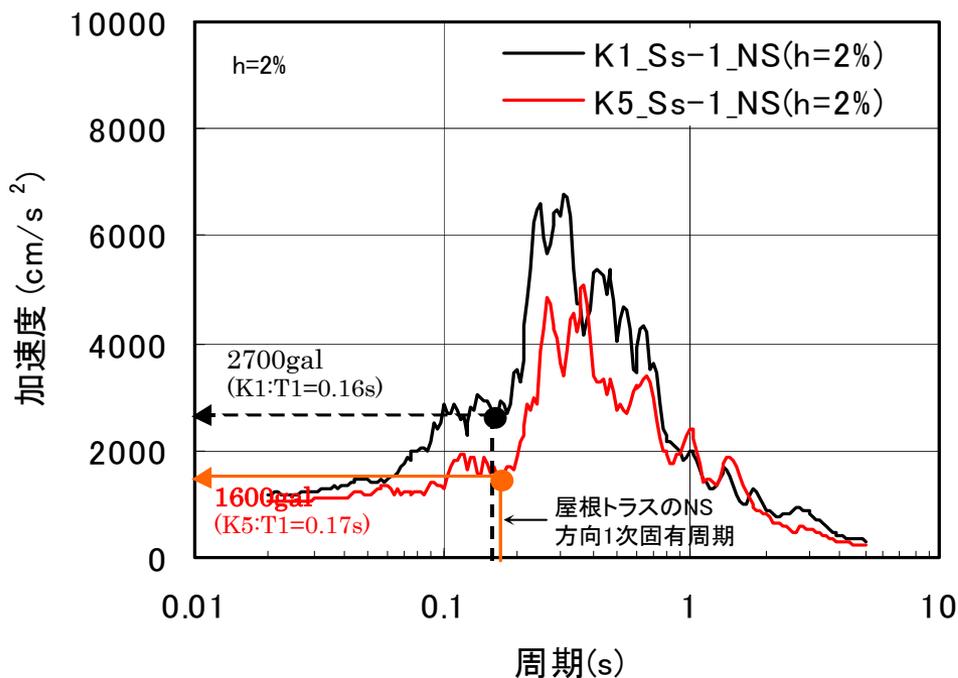
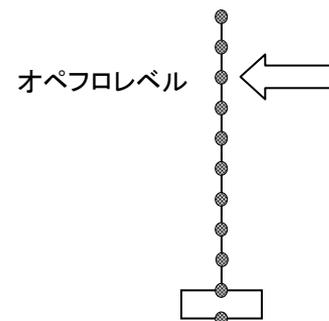
当初設計時の最大応力比

部材	長期	短期
下弦材	0.82	0.62
斜材	0.62	0.50
束材	0.88	0.66

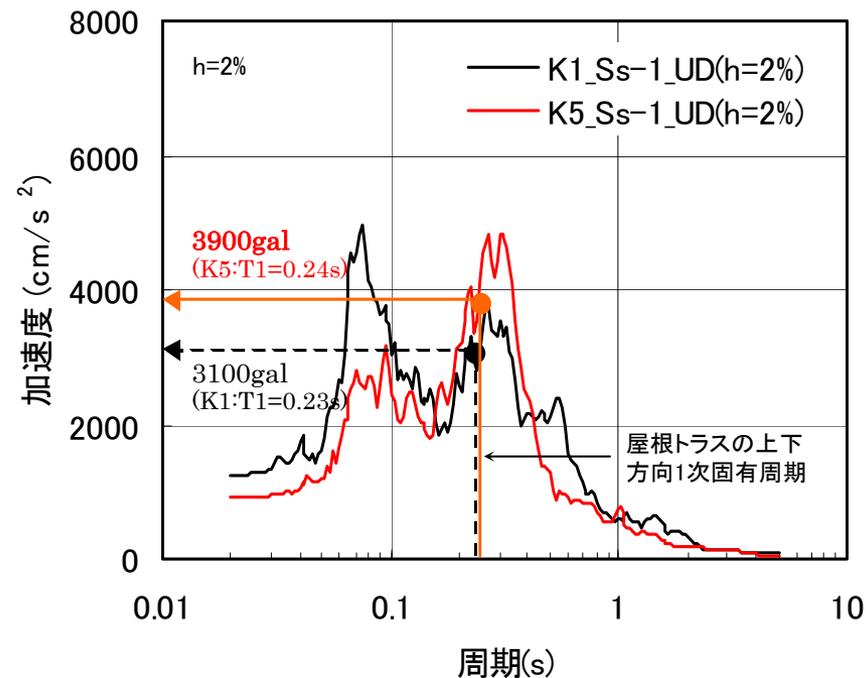
屋根トラスに対する耐震強化実施の背景（2）

■ 屋根トラスへの入力レベルの影響

○屋根トラスの断面検討に支配的なSs上下動入力は、屋根トラスの一次固有周期では1号機よりも大きくなっている。このため、トラス構造が類似している1号機よりも厳しい応力が生じているものと考えられる。



Ss-1 水平(NS)方向入力動の比較

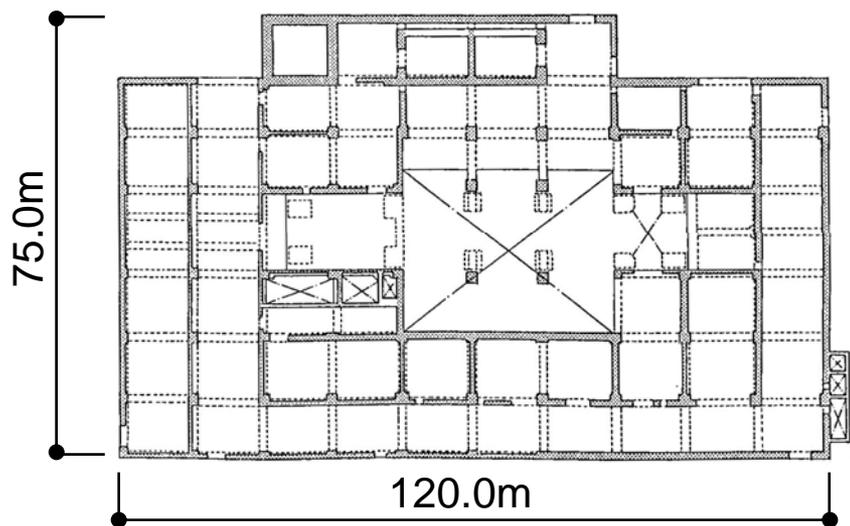


Ss-1上下入力動の比較

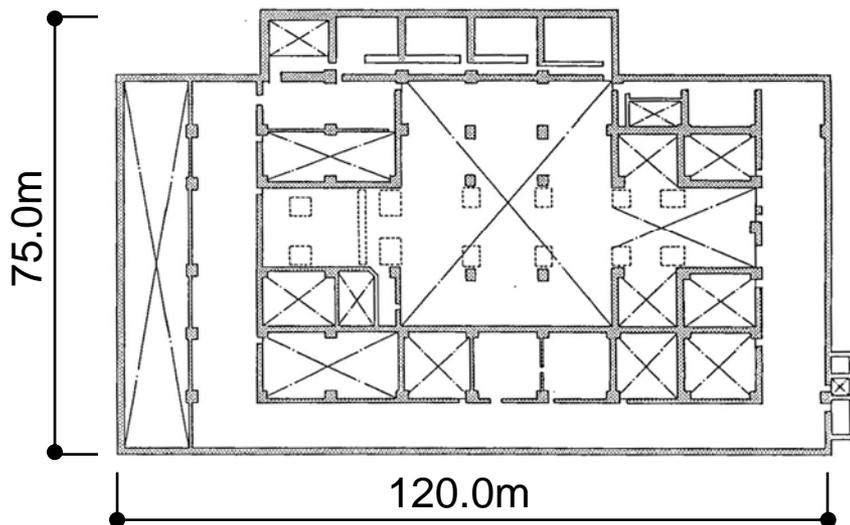
屋根トラスへの入力動は水平(NS)方向は1号機>5号機だが、上下方向は屋根トラスの1次周期では5号機の方が1号機よりも25%程度大きい

V. タービン建屋の耐震安全性評価

タービン建屋の概要



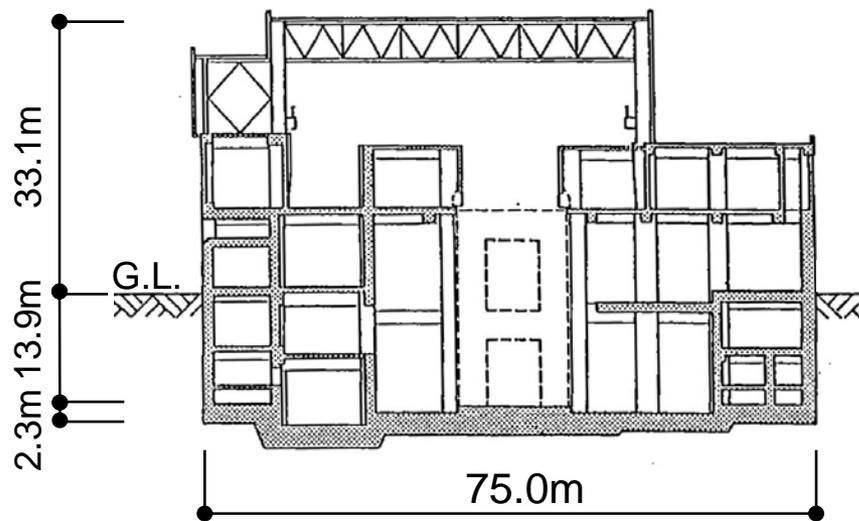
1階平面図



地下2階平面図



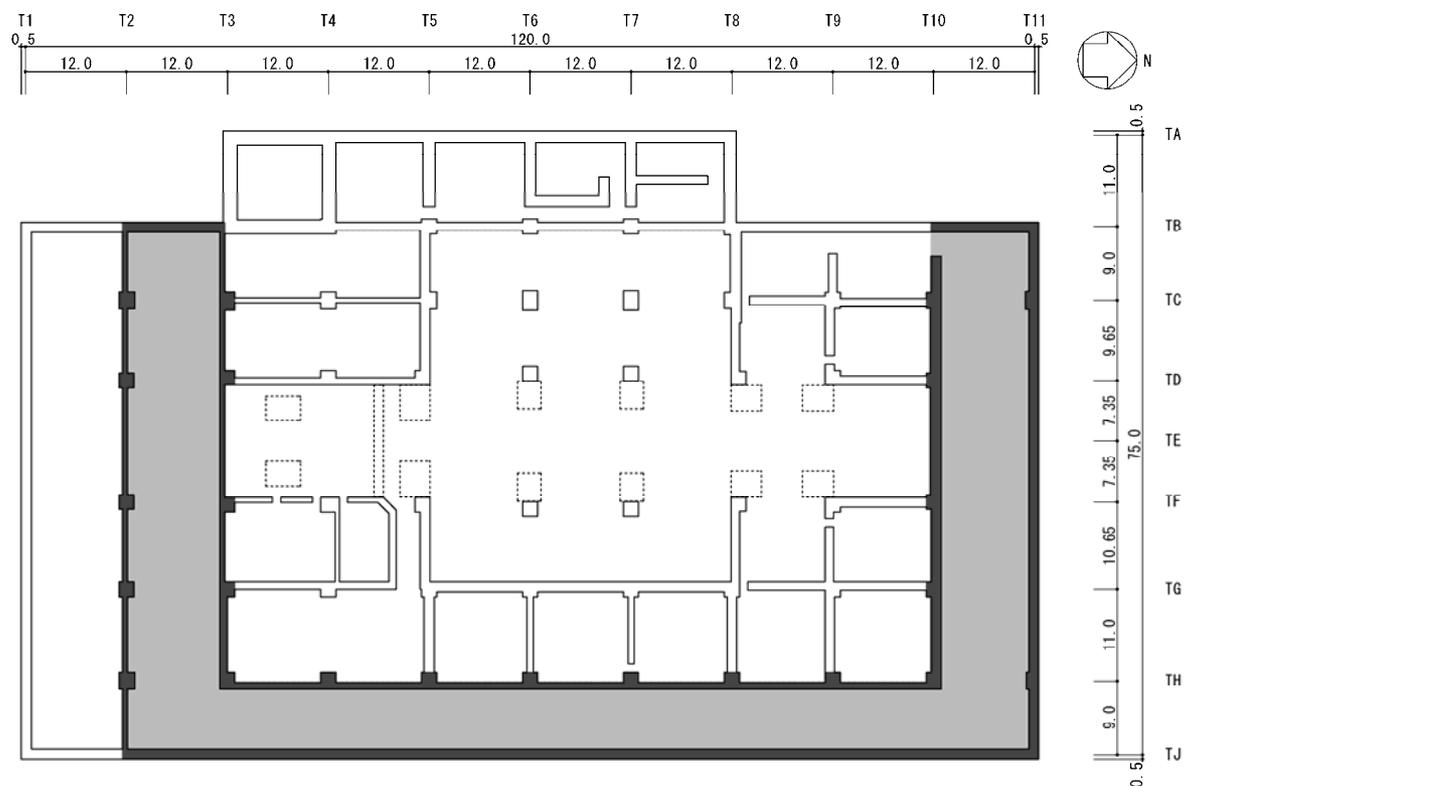
階数 : 地上3階・地下2階
延床面積 : 約32,000m²
構造 : RC+SRC+S



断面図(EW方向)

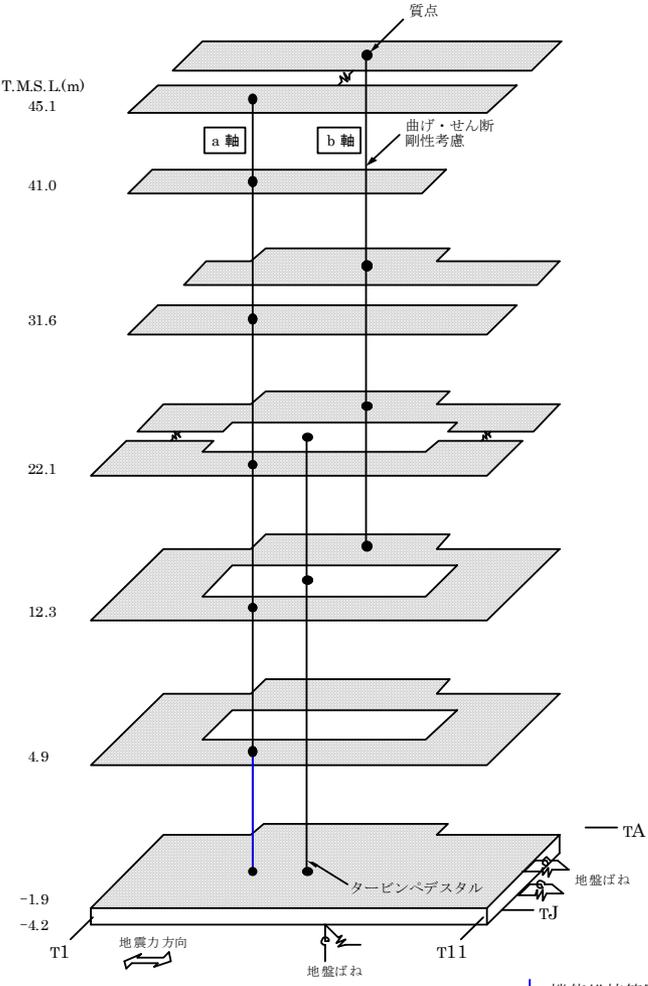
機能維持範囲

- タービン建屋は耐震重要度分類によるBクラスに属する施設であるが、建屋の一部に耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能が要求されることから、機能維持部位（下図）における主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。

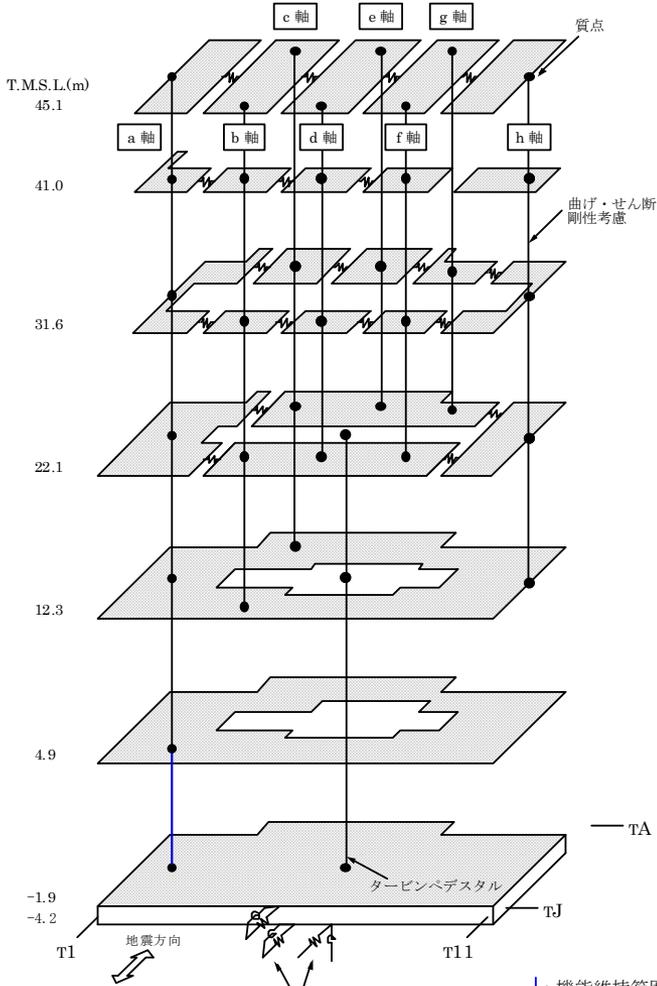


地下2階伏図 (T. M. S. L. -1.9m)

建屋解析モデル（水平方向）

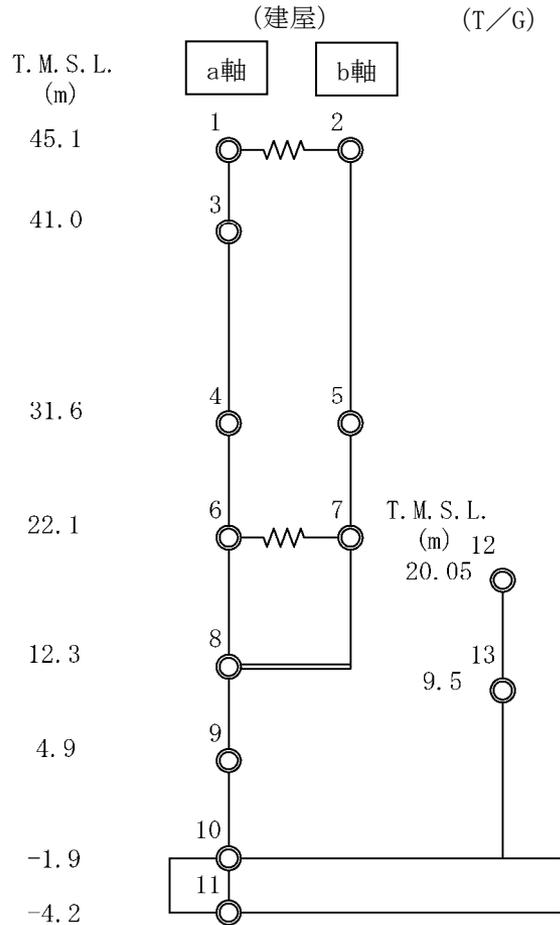


NS方向



EW方向

建屋モデル (NS方向)



①コンクリート部

ヤング係数 E_c	2.90×10^4 (N/mm ²)
せん断弾性係数 G	1.21×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比 ν	0.20
減衰 h	5%

②鉄骨部

ヤング係数 E_s	2.05×10^5 (N/mm ²)
せん断弾性係数 G	7.90×10^4 (N/mm ²)
ポアソン比 ν	0.30
減衰 h	2%

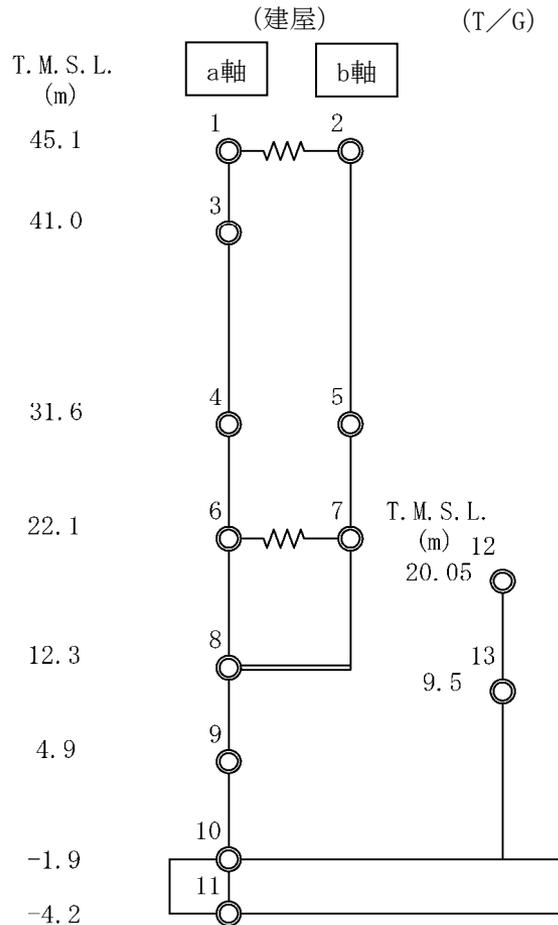
質点重量および回転慣性重量

標高 T. M. S. L. (m)	T/G架台	建 屋	
		(1)	(2)
45.1		25320	24920
		—	—
41.0		11280	
		—	
31.6		71010	77130
		—	—
22.1	(12)	263700	186720
	105910	—	—
12.3	(13)	515440	
	56670	—	—
4.9		404230	
		—	—
-1.9		634340	
		—	—
-4.2		247270	
		3011	—

質点重量(kN)

回転慣性重量($\times 10^3$ kNm²)

建屋モデル (NS方向)



せん断断面積および断面二次モーメント

標高 T.M.S.L. (m)	T/G架台	建 屋	
		(1)	(2)
45.1		(1)	(2)
		2.60	2.21
41.0		(3)	
		3.62	
31.6		(4)	(5)
		138.30	107.20
22.1	(12)	(6)	(7)
	20.20	299.00	252.50
12.3	(13)	(8)	
	12.80	654.30	
4.9		(9)	
		632.40	
-1.9		(10)	
		8536.00	
-4.2		(11)	

せん断断面積(m²)
断面二次モーメント(m⁴)

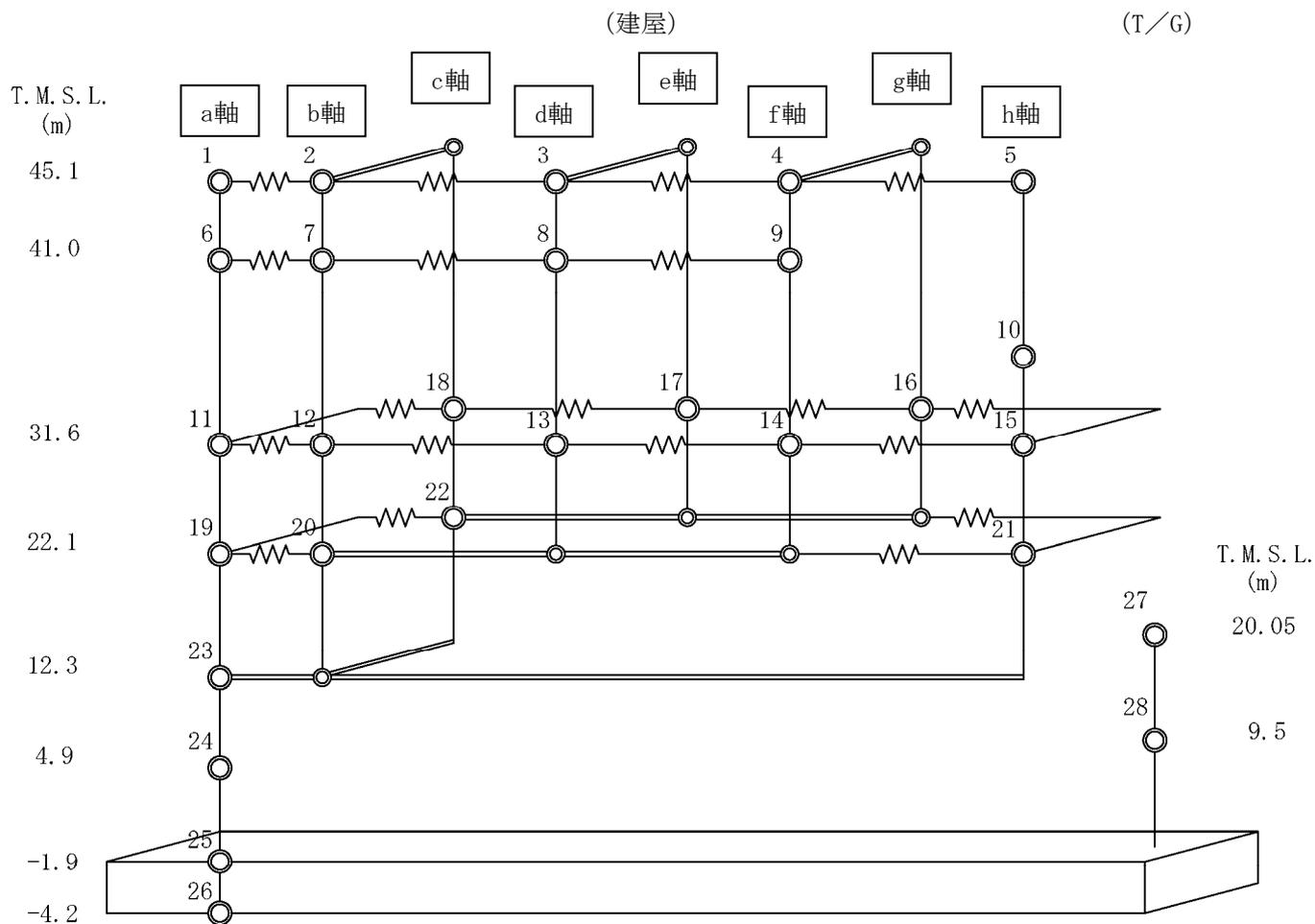
①コンクリート部

ヤング係数 E_c 2.90×10^4 (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.21×10^4 (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%

②鉄骨部

ヤング係数 E_s 2.05×10^5 (N/mm²)
せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.30
減衰 h 2%

建屋モデル (EW方向)



建屋モデル (EW方向)

質点重量および回転慣性重量

標高 T. M. S. L. (m)	T/G架台	建 屋						
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
45.1		9440	9580	9580	10170	11470		
		—	—	—	—	—		
41.0		2630	2910	3170	2570	10320		
		—	—	—	—	—		
31.6		25880	9760	16810	10280	24250	10710	13740
		—	—	—	—	—	—	—
22.1	(27)	(19)	(20)	(22)				(21)
	105910	90450	150580	120670				88720
12.3	(28)	(23)						
	56670	515440						
4.9	(24)							
	404230							
-1.9	(25)							
	634340							
-4.2	(26)							
	247270							
		1128						

①コンクリート部

ヤング係数 E_c 2.90×10^4 (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.21×10^4 (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%

②鉄骨部

ヤング係数 E_s 2.05×10^5 (N/mm²)
せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.30
減衰 h 2%

質点重量(kN)

回転慣性重量($\times 10^6$ kNm²)

建屋モデル (EW方向)

せん断断面積および断面二次モーメント

標高 T. M. S. L. (m)	T/G架台	建 屋							
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
45.1		2.07	0.34	0.13	0.34	0.12	0.52	0.12	2.09
		—	—		—		—		—
41.0		(6)	(7)		(8)		(9)		(10)
		1.92	0.71		0.71		0.71		26.30
31.6		(11)	(12)	(18)	(13)	(17)	(14)	(16)	(15)
		52.10	18.90	13.50	16.80	0.82	18.50	23.70	46.40
		14660	311	1924	228	1890	276	2291	15800
22.1		(27)	(19)	(20)					(21)
		13.40	150.00	78.80					114.00
		—	85020	9385	19800				69130
12.3		(28)	(23)						
		22.40	497.60						
		—	217000						
4.9		(24)							
		515.70							
		210300							
-1.9		(25)							
		8536.00							
		—							
-4.2		(26)							

せん断断面積(m ²)
断面二次モーメント(m ⁴)

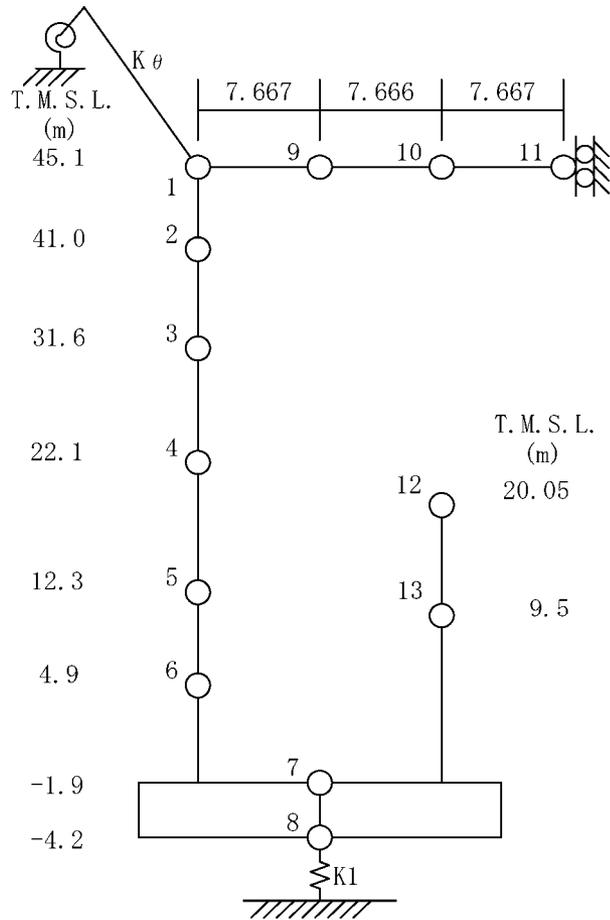
①コンクリート部

ヤング係数Ec	2.90×10 ⁴ (N/mm ²)
せん断弾性係数G	1.21×10 ⁴ (N/mm ²)
ポアソン比ν	0.20
減衰h	5%

②鉄骨部

ヤング係数Es	2.05×10 ⁵ (N/mm ²)
せん断弾性係数G	7.90×10 ⁴ (N/mm ²)
ポアソン比ν	0.30
減衰h	2%

建屋モデル (UD方向)



質点番号	①	⑨	⑩	⑪
質点重量W (kN)	—	10110	10670	5330
せん断断面積 $A_s (\times 10^{-2} \text{m}^2)$		47.18	28.60	28.60
断面二次モーメント $I_B (\text{m}^4)$		6.45	6.45	6.45
質点番号	質点重量 W (kN)		軸断面積 A (m ²)	
①	24130		20.07	
②	11280		23.34	
③	148140		410.50	
④	450420		987.10	
⑤	515440		1185.00	
⑥	404230		1190.10	
⑦	634340		8536.00	
⑧	247270			
⑫	105910		128.50	
⑬	56670		151.00	

①コンクリート部
 ヤング係数 E_c 2.90×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.21×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

②鉄骨部
 ヤング係数 E_s 2.05×10^5 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.30
 減衰 h 2%

地盤ばね定数(Ss-1)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.71×10^6	1.17×10^6
	Kr1	側面・回転	3.31×10^9	6.29×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.43×10^5	4.42×10^5
	Kr2	側面・回転	1.25×10^9	2.37×10^8
	Ks3	底面・並進	1.05×10^8	6.74×10^6
	Kr3	底面・回転	4.13×10^{11}	1.33×10^{10}

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

EW方向

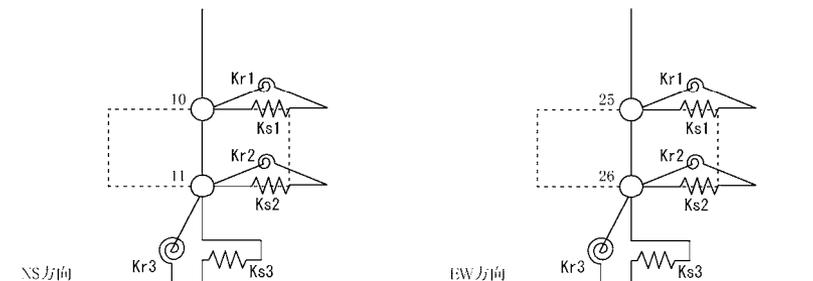
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.71×10^6	1.17×10^6
	Kr1	側面・回転	3.31×10^9	6.28×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.43×10^5	4.40×10^5
	Kr2	側面・回転	1.25×10^9	2.37×10^8
	Ks3	底面・並進	1.10×10^8	7.35×10^6
	Kr3	底面・回転	1.80×10^{11}	3.74×10^9

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 Kc (kN/m)	減衰係数 Cc (kNs/m)
-4.2	K1	底面・鉛直	1.93×10^8	1.76×10^7



NS方向

EW方向

地盤ばね定数(Ss-2)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.68×10^6	1.17×10^6
	Kr1	側面・回転	3.26×10^9	6.25×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.34×10^5	4.40×10^5
	Kr2	側面・回転	1.23×10^9	2.35×10^8
	Ks3	底面・並進	1.05×10^8	6.74×10^6
	Kr3	底面・回転	4.15×10^{11}	1.33×10^{10}

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

EW方向

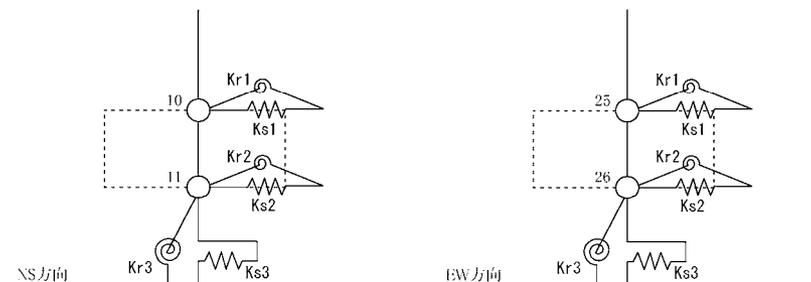
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.68×10^6	1.16×10^6
	Kr1	側面・回転	3.26×10^9	6.24×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.34×10^5	4.37×10^5
	Kr2	側面・回転	1.23×10^9	2.35×10^8
	Ks3	底面・並進	1.10×10^8	7.35×10^6
	Kr3	底面・回転	1.79×10^{11}	3.74×10^9

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 Kc (kN/m)	減衰係数 Cc (kNs/m)
-4.2	K1	底面・鉛直	1.96×10^8	1.77×10^7



NS方向

EW方向

地盤ばね定数(Ss-3)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*) Kc	減衰係数 ^(*) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.59×10^6	1.14×10^6
	Kr1	側面・回転	3.09×10^9	6.08×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.01×10^5	4.30×10^5
	Kr2	側面・回転	1.17×10^9	2.29×10^8
	Ks3	底面・並進	1.00×10^8	6.59×10^6
	Kr3	底面・回転	3.93×10^{11}	1.30×10^{10}

(*) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

EW方向

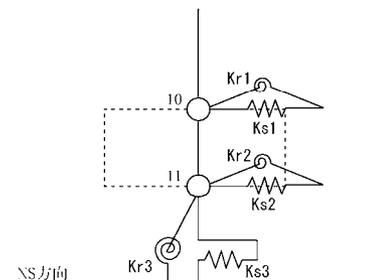
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*) Kc	減衰係数 ^(*) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.59×10^6	1.13×10^6
	Kr1	側面・回転	3.09×10^9	6.08×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.01×10^5	4.27×10^5
	Kr2	側面・回転	1.17×10^9	2.29×10^8
	Ks3	底面・並進	1.05×10^8	7.18×10^6
	Kr3	底面・回転	1.71×10^{11}	3.66×10^9

(*) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

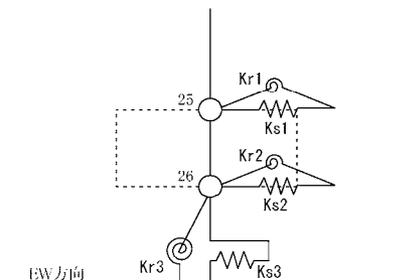
(*) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 Kc (kN/m)	減衰係数 Cc (kNs/m)
-4.2	K1	底面・鉛直	1.85×10^8	1.72×10^7



NS方向



EW方向

NS方向

EW方向

地盤ばね定数(Ss-4)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.82×10^6	1.21×10^6
	Kr1	側面・回転	3.54×10^9	6.50×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.87×10^5	4.56×10^5
	Kr2	側面・回転	1.33×10^9	2.45×10^8
	Ks3	底面・並進	1.11×10^8	6.94×10^6
	Kr3	底面・回転	4.40×10^{11}	1.37×10^{10}

(*1) Ks1~Ks3/はkN/m Kr1~Kr3/はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3/はkNs/m Kr1~Kr3/はkNsm/rad

EW方向

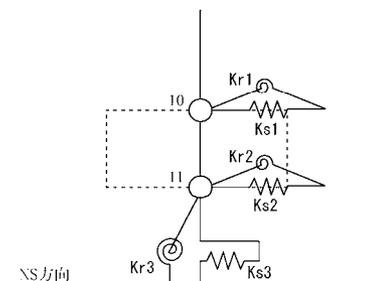
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.82×10^6	1.20×10^6
	Kr1	側面・回転	3.54×10^9	6.49×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.87×10^5	4.53×10^5
	Kr2	側面・回転	1.33×10^9	2.45×10^8
	Ks3	底面・並進	1.16×10^8	7.56×10^6
	Kr3	底面・回転	1.91×10^{11}	3.84×10^9

(*1) Ks1~Ks3/はkN/m Kr1~Kr3/はkNm/rad

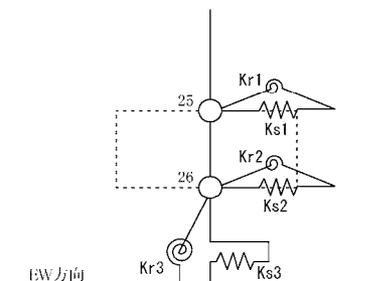
(*2) Ks1~Ks3/はkNs/m Kr1~Kr3/はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 Kc (kN/m)	減衰係数 Cc (kNs/m)
-4.2	K1	底面・鉛直	2.04×10^8	1.81×10^7



NS方向



EW方向

NS方向

EW方向

地盤ばね定数(Ss-5)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.81×10^6	1.20×10^6
	Kr1	側面・回転	3.51×10^9	6.47×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.82×10^5	4.53×10^5
	Kr2	側面・回転	1.32×10^9	2.44×10^8
	Ks3	底面・並進	1.08×10^8	6.84×10^6
	Kr3	底面・回転	4.25×10^{11}	1.35×10^{10}

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

EW方向

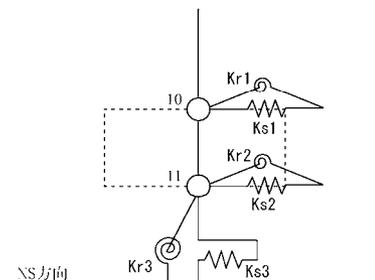
T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^(*1) Kc	減衰係数 ^(*2) Cc
-1.9	Ks1	側面・並進	1.81×10^6	1.19×10^6
	Kr1	側面・回転	3.51×10^9	6.47×10^8
-4.2	Ks2	側面・並進	6.82×10^5	4.50×10^5
	Kr2	側面・回転	1.32×10^9	2.44×10^8
	Ks3	底面・並進	1.13×10^8	7.46×10^6
	Kr3	底面・回転	1.85×10^{11}	3.79×10^9

(*1) Ks1~Ks3はkN/m Kr1~Kr3はkNm/rad

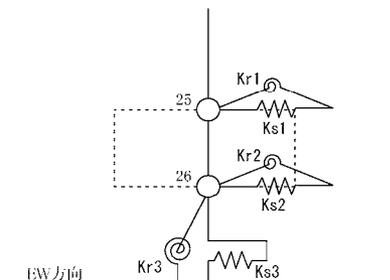
(*2) Ks1~Ks3はkNs/m Kr1~Kr3はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね成分	ばね定数 Kc (kN/m)	減衰係数 Cc (kNs/m)
-4.2	K1	底面・鉛直	1.98×10^8	1.78×10^7



NS方向



EW方向

NS方向

EW方向

固有値解析結果(Ss-1)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.349	2.86	1.801	地盤建屋連成一次
2	0.239	4.18	-0.476	
3	0.212	4.73	-1.656	
4	0.184	5.45	-0.480	
5	0.170	5.88	0.372	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.356	2.81	2.969	地盤建屋連成一次
2	0.250	4.01	-2.222	
3	0.214	4.68	-0.727	
4	0.195	5.13	-0.135	
5	0.172	5.80	1.460	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.396	2.52	2.010	屋根トラス一次
2	0.236	4.24	-1.097	地盤建屋連成一次
3	0.092	10.92	0.124	
4	0.065	15.43	-0.042	
5	0.053	19.04	-0.035	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-2)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.349	2.86	1.800	地盤建屋連成一次
2	0.239	4.18	-0.478	
3	0.212	4.73	-1.653	
4	0.184	5.45	-0.475	
5	0.170	5.89	0.366	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.356	2.81	2.967	地盤建屋連成一次
2	0.250	4.01	-2.225	
3	0.214	4.68	-0.727	
4	0.195	5.13	-0.136	
5	0.173	5.79	1.455	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.396	2.52	1.994	屋根トラス一次
2	0.234	4.27	-1.083	地盤建屋連成一次
3	0.092	10.92	0.126	
4	0.065	15.43	-0.043	
5	0.053	19.04	-0.036	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-3)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.356	2.81	1.770	地盤建屋連成一次
2	0.239	4.18	-0.443	
3	0.212	4.71	-1.598	
4	0.184	5.44	-0.506	
5	0.174	5.76	0.436	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.363	2.75	2.862	地盤建屋連成一次
2	0.250	4.00	-2.166	
3	0.214	4.67	-0.701	
4	0.195	5.13	-0.139	
5	0.175	5.70	1.322	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.396	2.52	2.056	屋根トラス一次
2	0.241	4.15	-1.139	地盤建屋連成一次
3	0.092	10.92	0.118	
4	0.065	15.43	-0.040	
5	0.053	19.04	-0.034	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-4)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.341	2.93	1.836	地盤建屋連成一次
2	0.239	4.18	-0.517	
3	0.211	4.74	-1.727	
4	0.183	5.45	-0.461	
5	0.165	6.05	0.307	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.349	2.87	3.100	地盤建屋連成一次
2	0.249	4.02	-2.295	
3	0.213	4.69	-0.760	
4	0.195	5.13	-0.133	
5	0.170	5.89	1.540	

UD方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.396	2.52	1.955	屋根トラス一次
2	0.230	4.35	1.068	地盤建屋連成一次
3	0.092	10.92	0.132	
4	0.065	15.43	-0.044	
5	0.053	19.04	-0.037	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-5)

NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.345	2.90	1.819	地盤建屋連成一次
2	0.239	4.18	-0.496	
3	0.211	4.73	-1.693	
4	0.184	5.45	-0.471	
5	0.168	5.96	0.341	

EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.352	2.84	3.035	地盤建屋連成一次
2	0.249	4.01	-2.260	
3	0.214	4.68	-0.744	
4	0.195	5.13	-0.134	
5	0.171	5.85	1.519	

UD方向

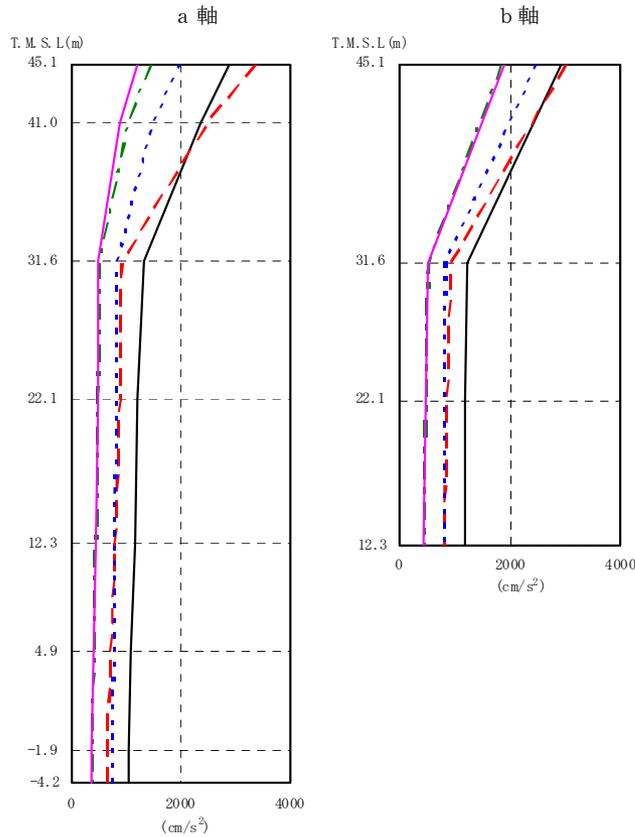
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.396	2.52	1.984	屋根トラス一次
2	0.233	4.29	-1.073	地盤建屋連成一次
3	0.092	10.92	0.128	
4	0.065	15.43	-0.043	
5	0.053	19.04	-0.036	

注* :各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

解析結果(最大応答加速度)

NS方向

- Ss-1
- - - Ss-2
- · · Ss-3
- · - Ss-4
- Ss-5

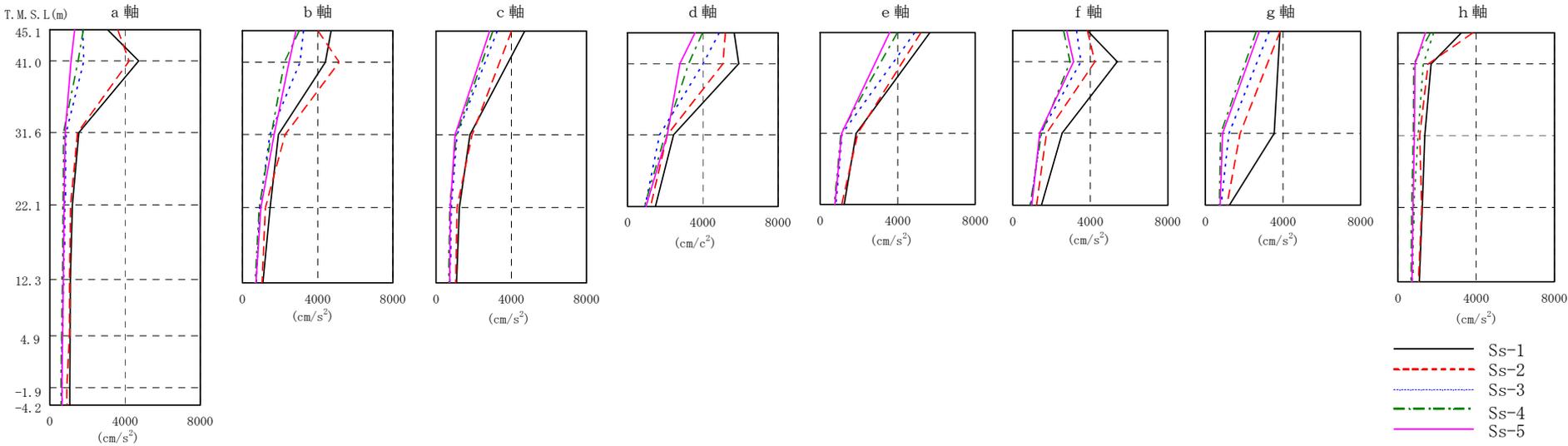


a 軸 (cm/s ²)				
Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
2889	3385	1992	1450	1197
2359	2476	1478	1035	904
1329	929	838	510	495
1222	892	819	482	482
1177	805	800	446	448
1101	721	778	414	410
1037	656	744	386	368
1030	654	744	384	369

b 軸 (cm/s ²)				
Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
2900	3003	2468	1843	1876
1206	935	831	520	501
1176	860	814	483	481
1177	805	800	446	448

解析結果(最大応答加速度)

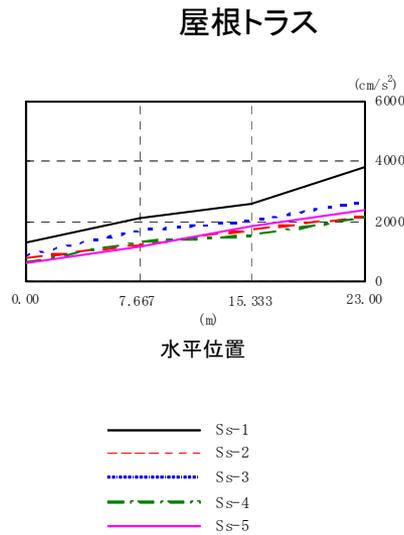
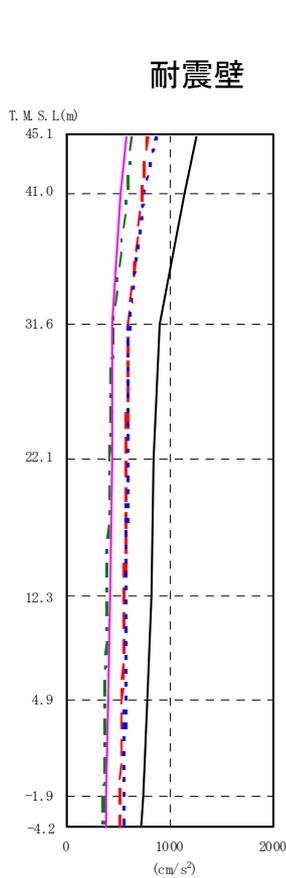
EW方向



a 軸 (cm/s ²)					b 軸 (cm/s ²)					c 軸 (cm/s ²)					d 軸 (cm/s ²)					e 軸 (cm/s ²)					f 軸 (cm/s ²)					g 軸 (cm/s ²)					h 軸 (cm/s ²)									
Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
3067	3605	1743	1785	1320	4719	4008	3251	3018	2847	4719	4008	3251	3018	2847	5665	5197	4874	3981	3581	5665	5197	4874	3981	3581	3845	3847	3289	2620	2781	3845	3847	3289	2620	2781	3241	3834	1827	1656	1411					
4729	4212	1807	1502	1130	4412	5139	3064	2234	2483						5914	5071	4013	3244	2784						5389	4231	3510	2955	3136						1696	1544	1296	808	879					
1537	1473	866	725	814	1918	2267	1462	1535	1689	1806	1912	1115	1072	1014	2446	2111	1699	1994	2112	1853	1941	1137	1075	1105	2549	1741	1434	1483	1389	3546	1789	1215	789	888	1370	1114	1030	783	842					
1199	1101	803	706	759	1477	1224	925	891	983	1242	1114	813	728	764	1477	1224	925	891	983	1242	1114	813	728	764	1477	1224	925	891	983	1242	1114	813	728	764	1241	1215	806	705	768					
1093	1044	737	673	717	1093	1044	737	673	717	1093	1044	737	673	717																														
1072	1035	674	626	681																																								
1065	904	642	593	646																																								
1063	898	651	594	643																																								

解析結果(最大応答加速度)

UD方向



耐震壁 (cm/s²)

Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
1255	780	868	627	587
1143	729	750	582	519
895	592	598	445	438
848	574	584	417	430
812	556	571	386	412
775	536	561	375	392
732	514	548	359	380
726	512	547	358	379

屋根トラス (cm/s²)

水平位置 (m)	0.00	7.667	15.333	23.00
Ss-1	1255	2085	2606	3803
Ss-2	780	1209	1732	2159
Ss-3	868	1694	2009	2685
Ss-4	627	1313	1512	2126
Ss-5	587	1136	1829	2352

解析結果(機能維持部位の最大応答せん断ひずみ)

NS方向

($\times 10^{-3}$)

階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価基準値
a軸 B2F (T.M.S.L.-1.9m)	0.33	0.16	0.17	0.10	0.09	2.0以下

EW方向

($\times 10^{-3}$)

階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価基準値
a軸 B2F (T.M.S.L.-1.9m)	0.54	0.53	0.20	0.17	0.19	2.0以下

NS方向

(N/mm²)

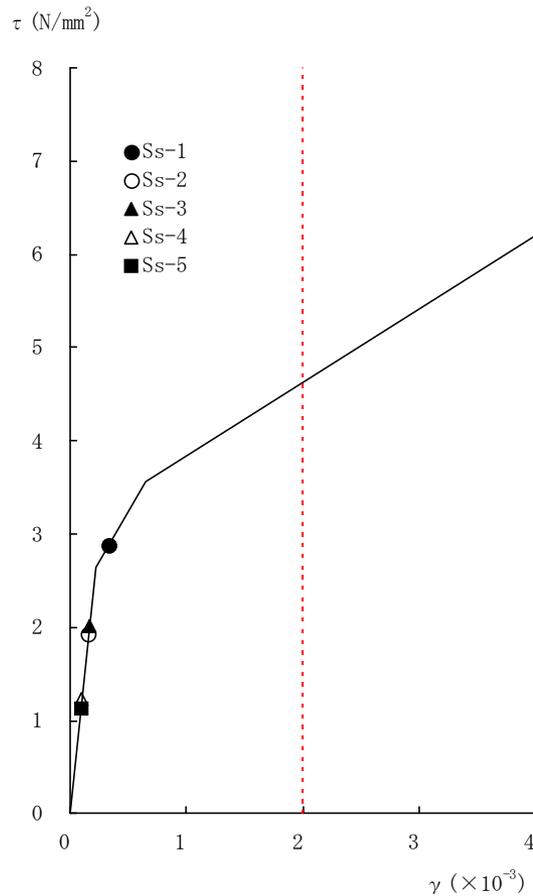
階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
a軸 B2F (T.M.S.L.-1.9m)	2.88	1.93	2.01	1.22	1.13

EW方向

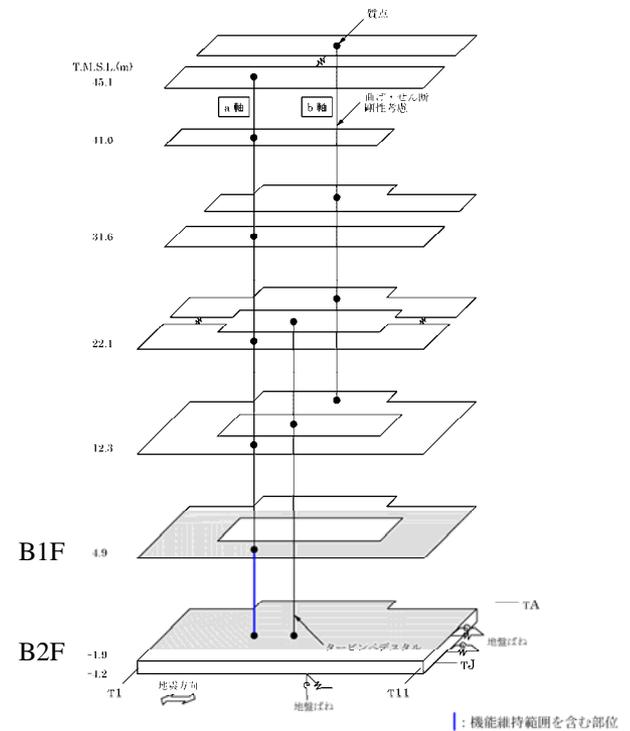
(N/mm²)

階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
a軸 B2F (T.M.S.L.-1.9m)	3.32	3.30	2.46	2.01	2.27

解析結果（機能維持部位のスケルトン曲線上へのプロット-1）



a軸 B2F
(T.M.S.L. -1.9m)



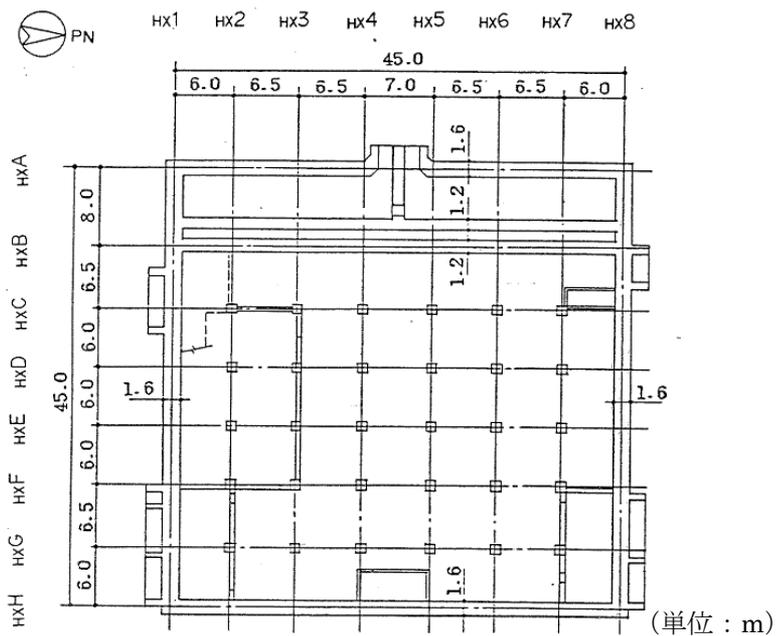
NS方向 機能維持部位

まとめ（タービン建屋）

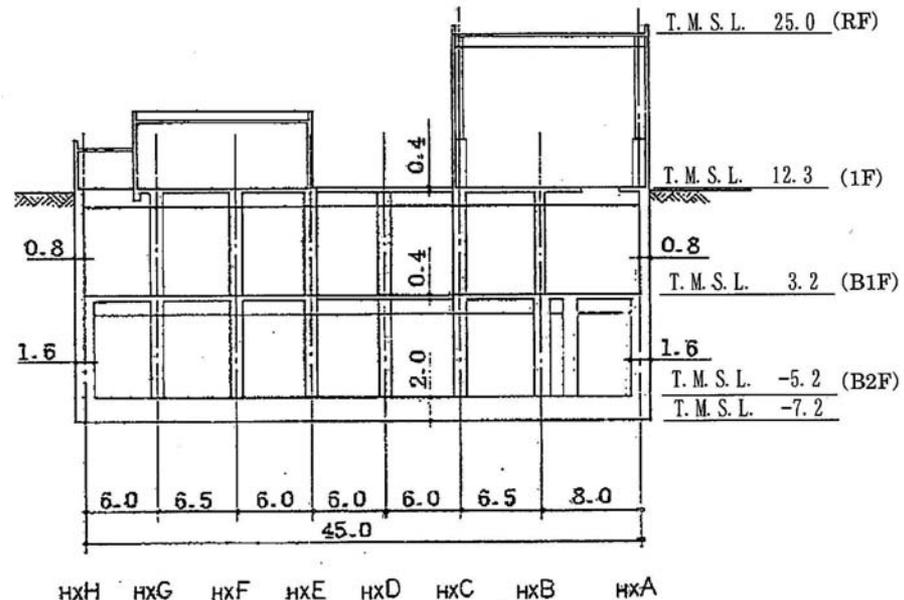
- 耐震安全性評価に当たっては、建物が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、タービン建屋の機能維持部位における主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。
- 基準地震動 S_s による機能維持部位の鉄筋コンクリート耐震壁のせん断ひずみは最大で 0.54×10^{-3} （ S_s-1 、EW方向、B2F）であり、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を満足している。

VI. 海水熱交換器建屋の耐震安全性評価

海水熱交換器建屋の概要



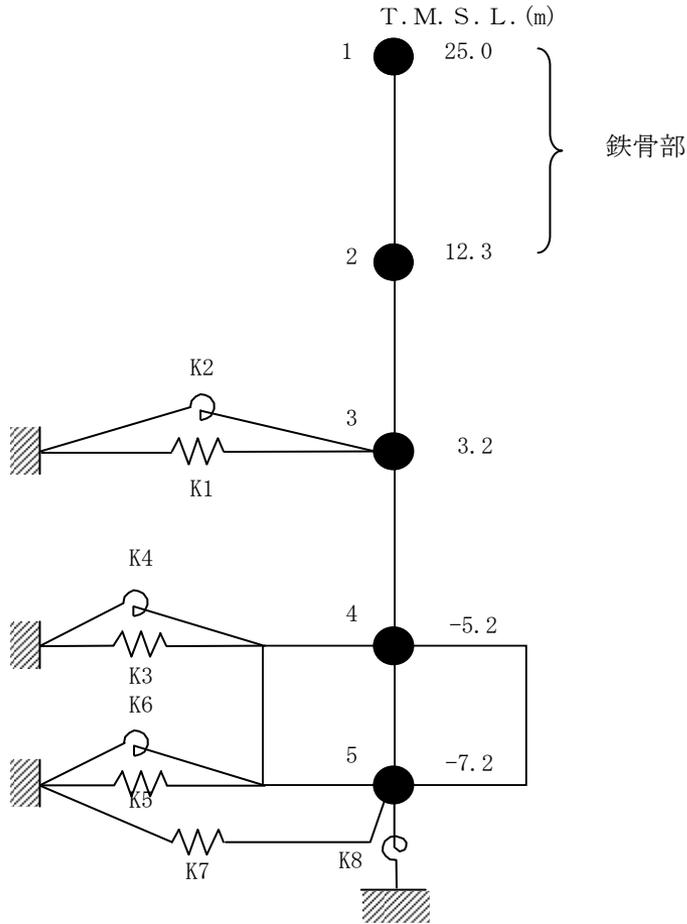
平面図



断面図(EW方向)

- 階数 : 地上1階・地下2階
- 延床面積 : 約5,000m²
- 構造 : RC+S

建屋モデル (NS方向)

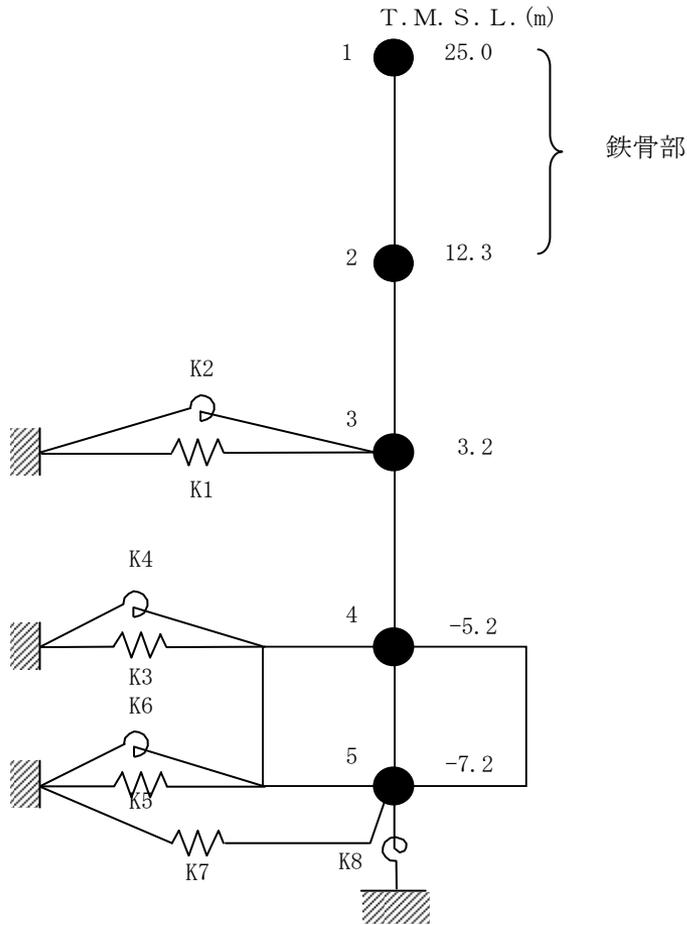


質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kNm}^2$)	せん断 断面積 A_s (m^2)	断面2次 モーメント I (m^4)
1	6,560	-	0.060	-
2	88,040	-	111.6	37,700
3	124,230	-	261.9	75,500
4	119,650	-	2,162.3	389,600
5	68,670	75.5		
合計	407,150			

① コンクリート部(建屋・基礎スラブ)
 ヤング係数 $E_c 2.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 1.21 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.20$
 減衰定数 $h 5\%$

② 鉄骨部
 ヤング係数 $E_s 2.05 \times 10^5$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 7.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.30$
 減衰定数 $h 2\%$

建屋モデル (EW方向)

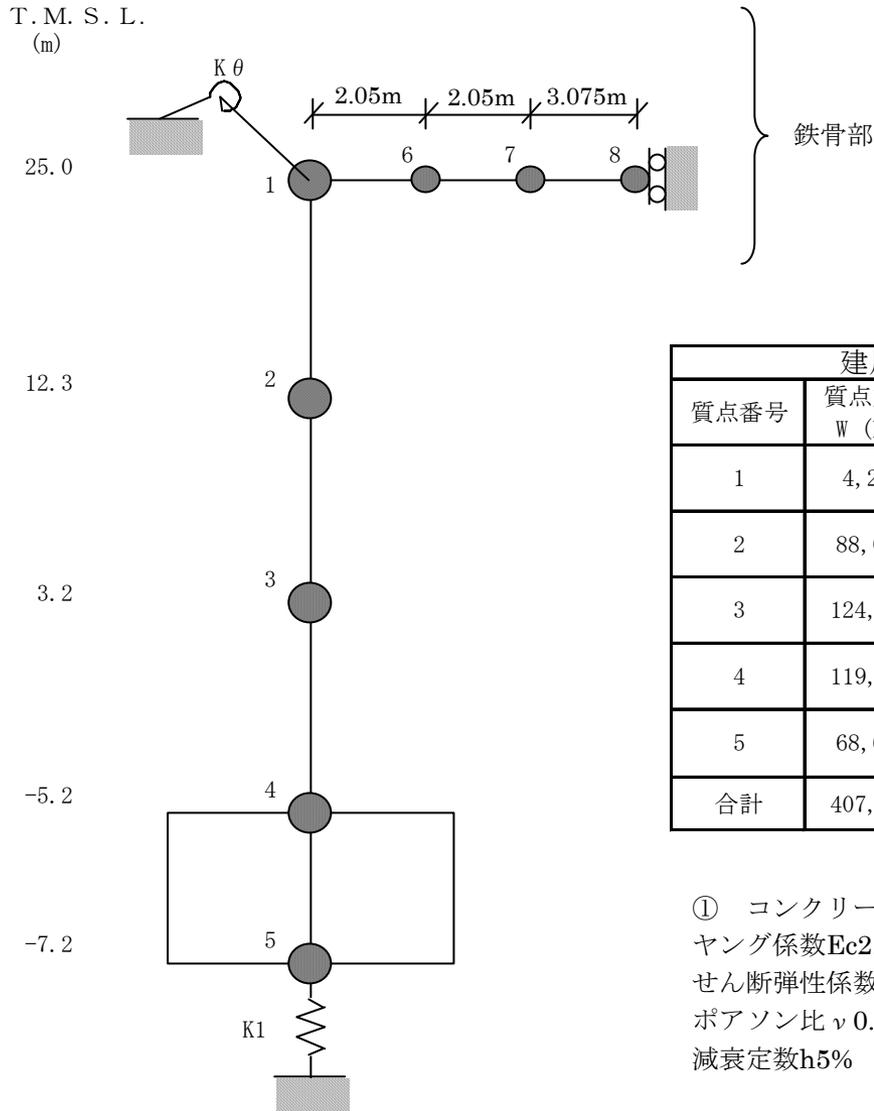


質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kNm}^2$)	せん断 断面積 A_s (m^2)	断面2次 モーメント I (m^4)
1	6,560	-		
2	88,040	-	0.0229	-
3	124,230	-	74.4	27,300
4	119,650	-	146.2	53,300
5	68,670	75.5	2,162.3	389,600
合計	407,150			

① コンクリート部 (建屋・基礎スラブ)
 ヤング係数 $E_c 2.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 1.21 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.20$
 減衰定数 $h 5\%$

② 鉄骨部
 ヤング係数 $E_s 2.05 \times 10^5$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 7.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.30$
 減衰定数 $h 2\%$

建屋モデル (UD方向)



建屋		
質点番号	質点重量 W (kN)	軸断面積 A_N (m ²)
1	4,214	0.78
2	88,040	
3	124,230	214.1
4	119,650	425.0
5	68,670	2,162.3
合計	407,150	

屋根			
質点番号	質点重量 W (kN)	せん断断面積 A_s (m ²)	断面2次モーメント I (m ⁴)
1	-	0.1728	0.04932
6	782		
7	782	0.1728	0.04932
8	782	0.1728	0.04932

トラス端部回転拘束ばね $K_\theta = 4.52 \times 10^6$ (kN・m/rad)

① コンクリート部(建屋・基礎スラブ)
 ヤング係数 $E_c 2.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 1.21 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.20$
 減衰定数 $h 5\%$

② 鉄骨部
 ヤング係数 $E_s 2.05 \times 10^5$ (N/mm²)
 せん断弾性係数 $G 7.90 \times 10^4$ (N/mm²)
 ポアソン比 $\nu 0.30$
 減衰定数 $h 2\%$

地盤ばね定数(Ss-1)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.59E+05	1.89E+05
	K2	側面・回転	2.75E+08	2.62E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.91E+06	9.83E+05
	K4	側面・回転	1.43E+09	1.36E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.59E+05	1.89E+05
	K6	側面・回転	2.75E+08	2.62E+07
	K7	底面・並進	5.01E+07	1.74E+06
	K8	底面・回転	3.21E+10	4.44E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.59E+05	1.87E+05
	K2	側面・回転	2.75E+08	2.61E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.91E+06	9.71E+05
	K4	側面・回転	1.43E+09	1.36E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.59E+05	1.87E+05
	K6	側面・回転	2.75E+08	2.61E+07
	K7	底面・並進	5.01E+07	1.74E+06
	K8	底面・回転	3.21E+10	4.35E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-7.2	K1	底面・鉛直	8.12E+07	4.12E+06

地盤ばね定数(Ss-2)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.51E+05	1.88E+05
	K2	側面・回転	2.71E+08	2.60E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.86E+06	9.77E+05
	K4	側面・回転	1.41E+09	1.35E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.51E+05	1.88E+05
	K6	側面・回転	2.71E+08	2.60E+07
	K7	底面・並進	4.96E+07	1.73E+06
	K8	底面・回転	3.19E+10	4.43E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.51E+05	1.86E+05
	K2	側面・回転	2.71E+08	2.59E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.86E+06	9.65E+05
	K4	側面・回転	1.41E+09	1.35E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.51E+05	1.86E+05
	K6	側面・回転	2.71E+08	2.59E+07
	K7	底面・並進	4.96E+07	1.73E+06
	K8	底面・回転	3.19E+10	4.34E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-7.2	K1	底面・鉛直	8.12E+07	4.12E+06

地盤ばね定数(Ss-3)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.22E+05	1.83E+05
	K2	側面・回転	2.57E+08	2.53E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.71E+06	9.53E+05
	K4	側面・回転	1.33E+09	1.32E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.22E+05	1.83E+05
	K6	側面・回転	2.57E+08	2.53E+07
	K7	底面・並進	4.77E+07	1.70E+06
	K8	底面・回転	3.05E+10	4.34E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.22E+05	1.81E+05
	K2	側面・回転	2.57E+08	2.52E+07
-5.2	K3	側面・並進	2.71E+06	9.42E+05
	K4	側面・回転	1.33E+09	1.31E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.22E+05	1.81E+05
	K6	側面・回転	2.57E+08	2.52E+07
	K7	底面・並進	4.77E+07	1.69E+06
	K8	底面・回転	3.05E+10	4.25E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-7.2	K1	底面・鉛直	7.73E+07	4.02E+06

地盤ばね定数(Ss-4)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.97E+05	1.95E+05
	K2	側面・回転	2.94E+08	2.70E+07
-5.2	K3	側面・並進	3.11E+06	1.01E+06
	K4	側面・回転	1.53E+09	1.41E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.97E+05	1.95E+05
	K6	側面・回転	2.94E+08	2.70E+07
	K7	底面・並進	5.31E+07	1.79E+06
	K8	底面・回転	3.40E+10	4.57E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K _c	減衰係数 ^(*2) C _c
3.2	K1	側面・並進	5.97E+05	1.93E+05
	K2	側面・回転	2.94E+08	2.70E+07
-5.2	K3	側面・並進	3.11E+06	1.00E+06
	K4	側面・回転	1.53E+09	1.40E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.97E+05	1.93E+05
	K6	側面・回転	2.94E+08	2.70E+07
	K7	底面・並進	5.31E+07	1.79E+06
	K8	底面・回転	3.40E+10	4.47E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c (kN/m)	減衰係数 C _c (kNs/m)
-7.2	K1	底面・鉛直	8.59E+07	4.23E+06

地盤ばね定数(Ss-5)

NS方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
3.2	K1	側面・並進	5.93E+05	1.94E+05
	K2	側面・回転	2.92E+08	2.69E+07
-5.2	K3	側面・並進	3.08E+06	1.01E+06
	K4	側面・回転	1.52E+09	1.40E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.93E+05	1.94E+05
	K6	側面・回転	2.92E+08	2.69E+07
	K7	底面・並進	5.16E+07	1.76E+06
	K8	底面・回転	3.31E+10	4.50E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

EW方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 ^(*1) K_c	減衰係数 ^(*2) C_c
3.2	K1	側面・並進	5.93E+05	1.91E+05
	K2	側面・回転	2.92E+08	2.69E+07
-5.2	K3	側面・並進	3.08E+06	9.95E+05
	K4	側面・回転	1.52E+09	1.40E+08
-7.2	K5	側面・並進	5.93E+05	1.91E+05
	K6	側面・回転	2.92E+08	2.69E+07
	K7	底面・並進	5.16E+07	1.76E+06
	K8	底面・回転	3.31E+10	4.42E+08

(*1) K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkNm/rad

(*2) K1, K3, K5, K7, K9はkNs/m K2, K4, K6, K8, K10はkNsm/rad

UD方向

T. M. S. L. (m)	ばね番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c (kN/m)	減衰係数 C_c (kNs/m)
-7.2	K1	底面・鉛直	8.35E+07	4.17E+06

固有値解析結果(Ss-1)

NS方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.272	3.68	2.241	
2	0.188	5.32	-1.300	地盤建屋連成一次
3	0.100	9.98	0.210	
4	0.043	23.07	-0.057	
5	0.025	39.38	-0.023	

EW方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.434	2.31	1.339	
2	0.195	5.14	1.220	地盤建屋連成一次
3	0.101	9.91	0.234	
4	0.053	18.99	-0.083	
5	0.033	30.23	-0.038	

UD方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.173	5.77	4.147	
2	0.143	7.02	-3.205	地盤建屋連成一次
3	0.041	24.64	-0.147	
4	0.032	31.56	-0.062	
5	0.022	44.70	-0.037	

注* : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-2)

NS方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.272	3.68	2.260	
2	0.189	5.30	-1.320	地盤建屋連成一次
3	0.101	9.94	0.209	
4	0.043	23.06	-0.057	
5	0.025	39.38	-0.023	

EW方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.434	2.31	1.343	
2	0.195	5.12	1.219	地盤建屋連成一次
3	0.101	9.88	0.233	
4	0.053	18.99	-0.082	
5	0.033	30.23	-0.037	

UD方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.173	5.77	4.147	
2	0.143	7.02	-3.205	地盤建屋連成一次
3	0.041	24.64	-0.147	
4	0.032	31.56	-0.062	
5	0.022	44.70	-0.037	

注*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-3)

NS方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.272	3.67	2.346	
2	0.192	5.20	-1.409	地盤建屋連成一次
3	0.103	9.73	0.209	
4	0.043	23.02	-0.055	
5	0.025	39.37	-0.022	

EW方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.434	2.31	1.358	
2	0.199	5.03	1.215	地盤建屋連成一次
3	0.103	9.67	0.231	
4	0.053	18.94	-0.080	
5	0.033	30.21	-0.036	

UD方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.174	5.76	4.572	
2	0.146	6.86	-3.626	地盤建屋連成一次
3	0.041	24.64	-0.140	
4	0.032	31.56	-0.059	
5	0.022	44.69	-0.035	

注* : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-4)

NS方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.271	3.69	2.134	
2	0.183	5.46	-1.190	地盤建屋連成一次
3	0.097	10.27	0.212	
4	0.043	23.12	-0.060	
5	0.025	39.40	-0.024	

EW方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.433	2.31	1.319	
2	0.190	5.27	1.227	地盤建屋連成一次
3	0.098	10.19	0.238	
4	0.052	19.07	-0.086	
5	0.033	30.25	-0.040	

UD方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.173	5.77	3.759	
2	0.139	7.20	-2.820	地盤建屋連成一次
3	0.041	24.64	-0.156	
4	0.032	31.56	-0.066	
5	0.022	44.73	-0.039	

注* : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

固有値解析結果(Ss-5)

NS方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.271	3.68	2.181	
2	0.185	5.39	-1.238	地盤建屋連成一次
3	0.099	10.14	0.211	
4	0.043	23.09	-0.059	
5	0.025	39.39	-0.024	

EW方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.434	2.31	1.328	
2	0.192	5.21	1.224	地盤建屋連成一次
3	0.099	10.07	0.236	
4	0.053	19.03	-0.084	
5	0.033	30.24	-0.039	

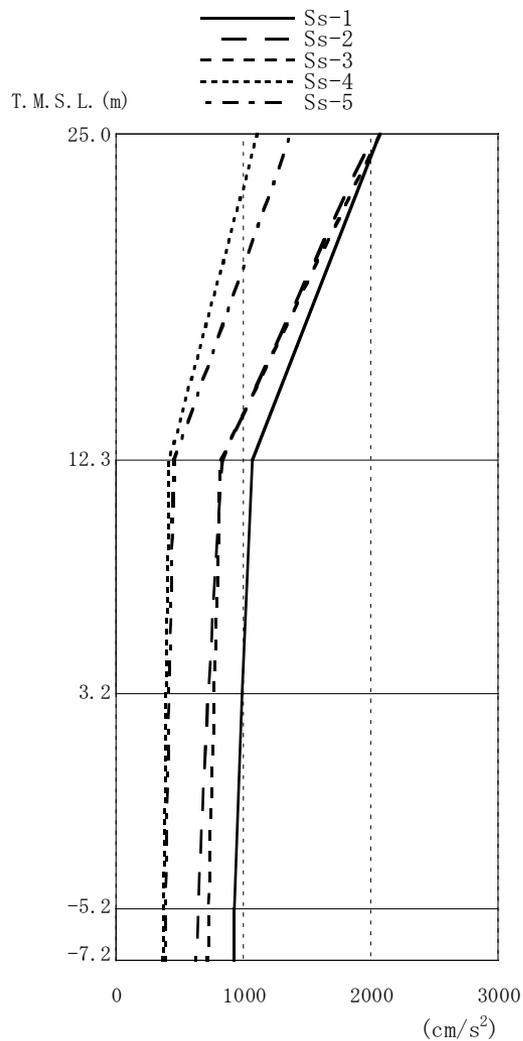
UD方向

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.173	5.77	3.943	
2	0.141	7.11	-3.003	地盤建屋連成一次
3	0.041	24.64	-0.152	
4	0.032	31.56	-0.064	
5	0.022	44.71	-0.038	

注*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

解析結果(最大応答加速度)

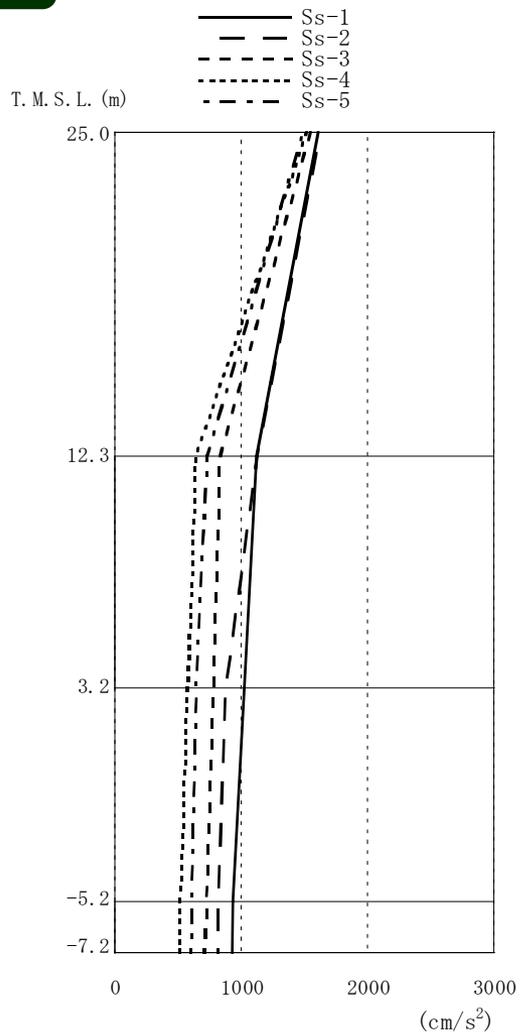
NS方向



(cm/s ²)				
Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
2073	2028	2077	1109	1376
1074	836	824	420	455
989	726	774	393	420
933	643	727	369	391
928	632	720	366	389

解析結果(最大応答加速度)

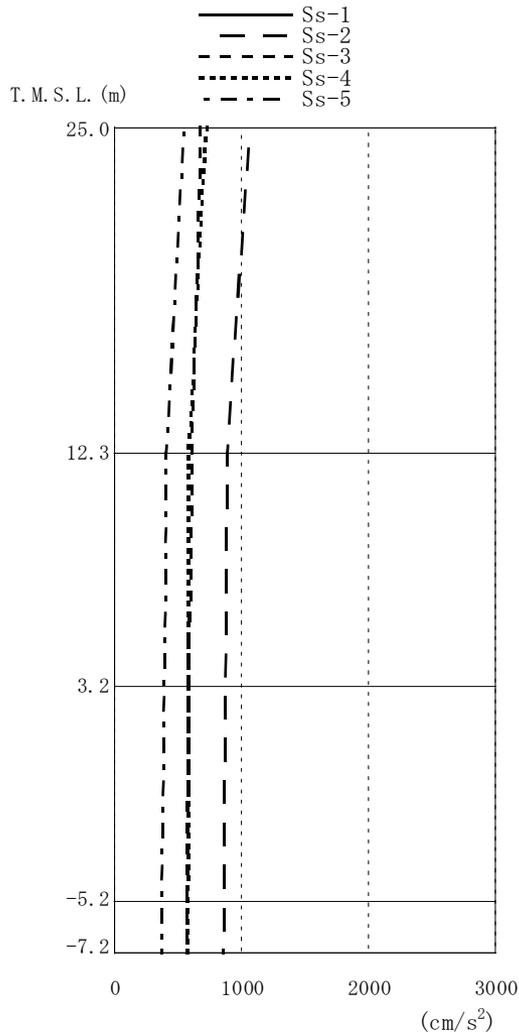
EW方向



(cm/s ²)				
Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
1613	1629	1551	1518	1489
1122	1127	836	639	730
1025	878	784	577	644
938	819	723	521	607
932	820	716	517	604

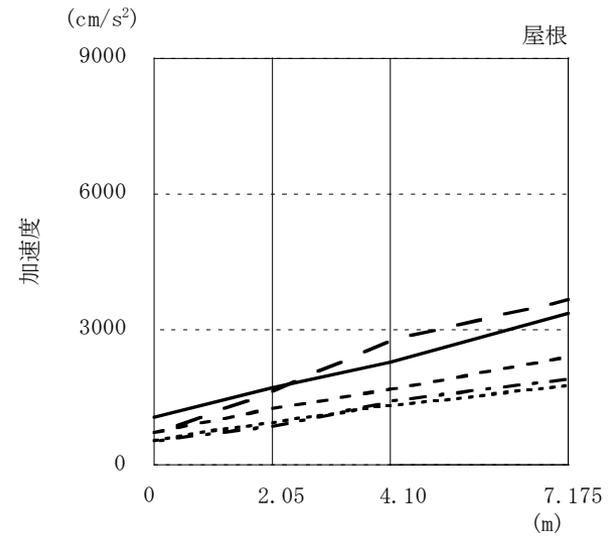
解析結果(最大応答加速度)

UD方向



(cm/s²)

Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
1,068	677	726	545	532
890	606	586	409	426
874	583	583	392	410
860	571	578	371	397
858	570	578	370	397



屋根
(cm/s²)

Ss-1	1068	1718	2290	3354
Ss-2	677	1635	2752	3664
Ss-3	726	1255	1681	2389
Ss-4	545	939	1320	1769
Ss-5	532	866	1413	1909

解析結果(最大応答せん断ひずみ)

NS方向

($\times 10^{-3}$)

階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価 基準値
B1F (T.M.S.L. 3.2m)	0.08	0.05	0.06	0.03	0.03	2.0以下
B2F (T.M.S.L. -5.2m)	0.08	0.07	0.07	0.04	0.03	

EW方向

($\times 10^{-3}$)

階	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	評価 基準値
B1F (T.M.S.L. 3.2m)	0.11	0.11	0.09	0.07	0.07	2.0以下
B2F (T.M.S.L. -5.2m)	0.15	0.16	0.13	0.13	0.12	

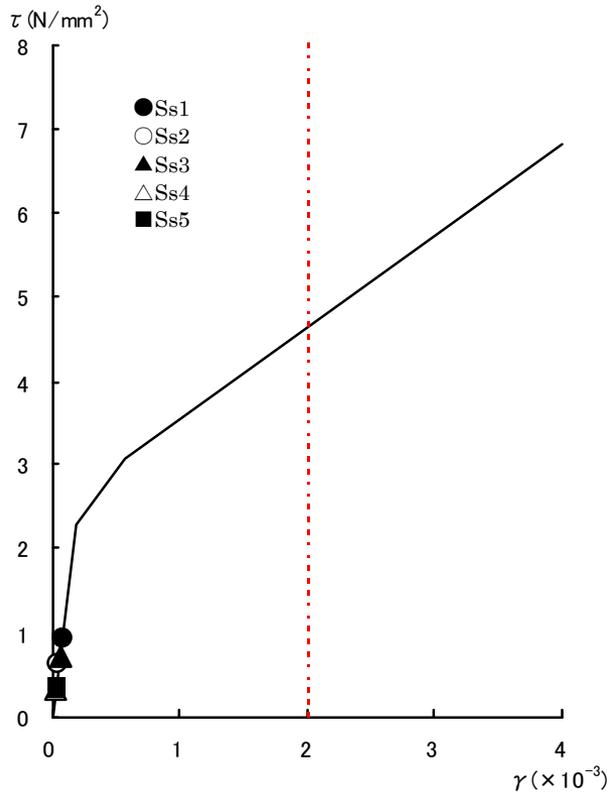
NS方向

階	(N/mm ²)				
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
B1F (T.M.S.L.3.2m)	0.91	0.63	0.73	0.32	0.35
B2F (T.M.S.L.-5.2m)	1.03	0.85	0.87	0.51	0.39

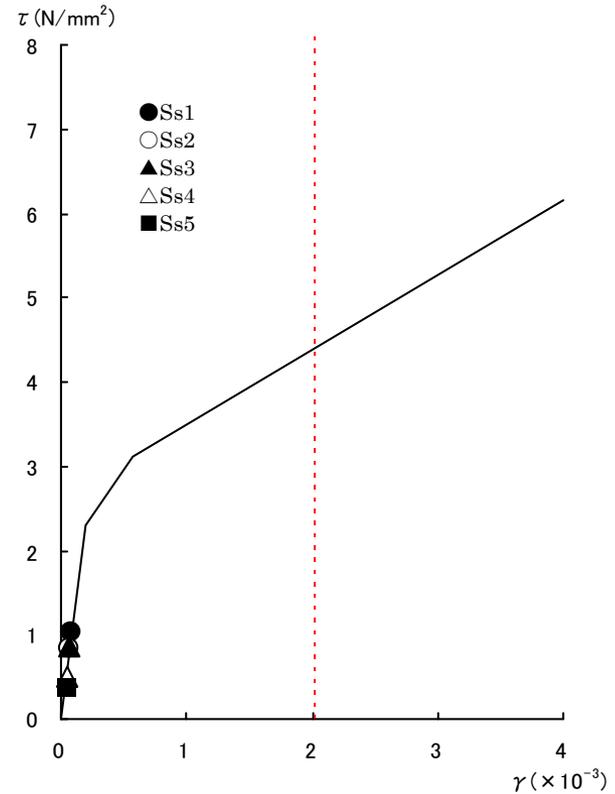
EW方向

階	(N/mm ²)				
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5
B1F (T.M.S.L.3.2m)	1.33	1.35	1.03	0.89	0.81
B2F (T.M.S.L.-5.2m)	1.86	1.92	1.52	1.52	1.40

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー1）



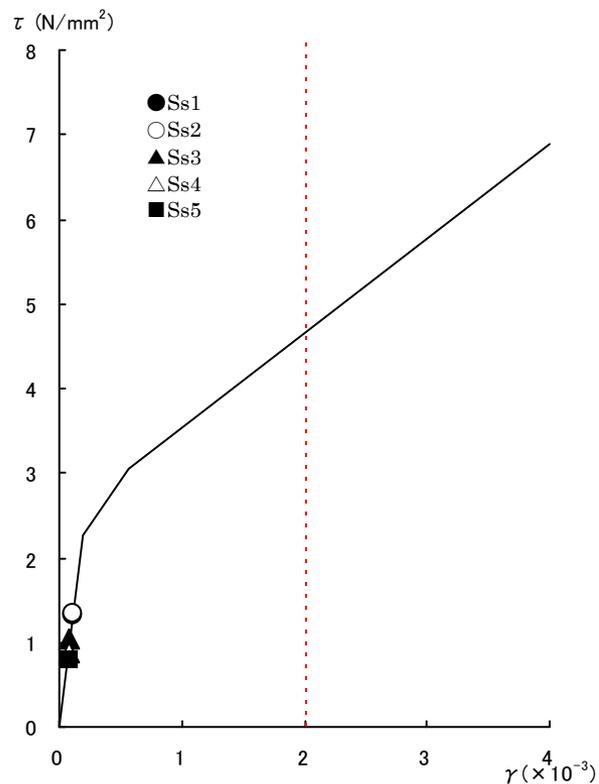
B1F
(T.M.S.L. 3.2m)



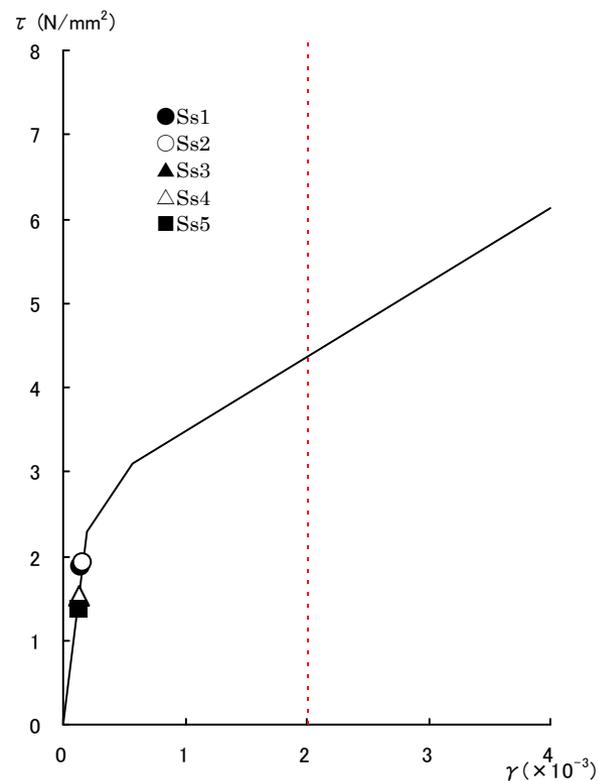
B2F
(T.M.S.L. -5.2m)

NS方向

解析結果（スケルトン曲線上へのプロットー2）



B1F
(T.M.S.L. 3.2m)



B2F
(T.M.S.L. -5.2m)

EW方向

まとめ（海水熱交換器建屋）

- 耐震安全性評価に当たっては、建物が構造物全体として変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、海水熱交換器建屋の主たる耐震要素である耐震壁の安全性について評価する。
- 基準地震動 S_s による機能維持部位の鉄筋コンクリート耐震壁のせん断ひずみは最大で 0.16×10^{-3} （ S_s -2、EW方向、B2F）であり、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を満足している。

VII. 排気筒の耐震安全性評価結果

5号機排気筒の概要

■筒身

- ・地上高さ：148m（筒身頂部）
- ・筒身内径：φ3.4m（1筒身）

■鉄塔

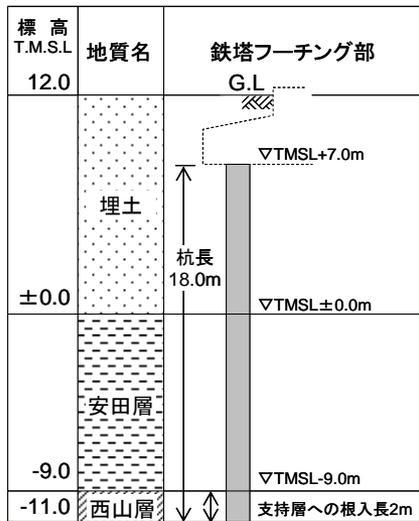
- ・高さ：140m
- ・鉄塔幅：7.5m（頂部）
- ・鉄塔幅：30.0m（脚部）

■基礎

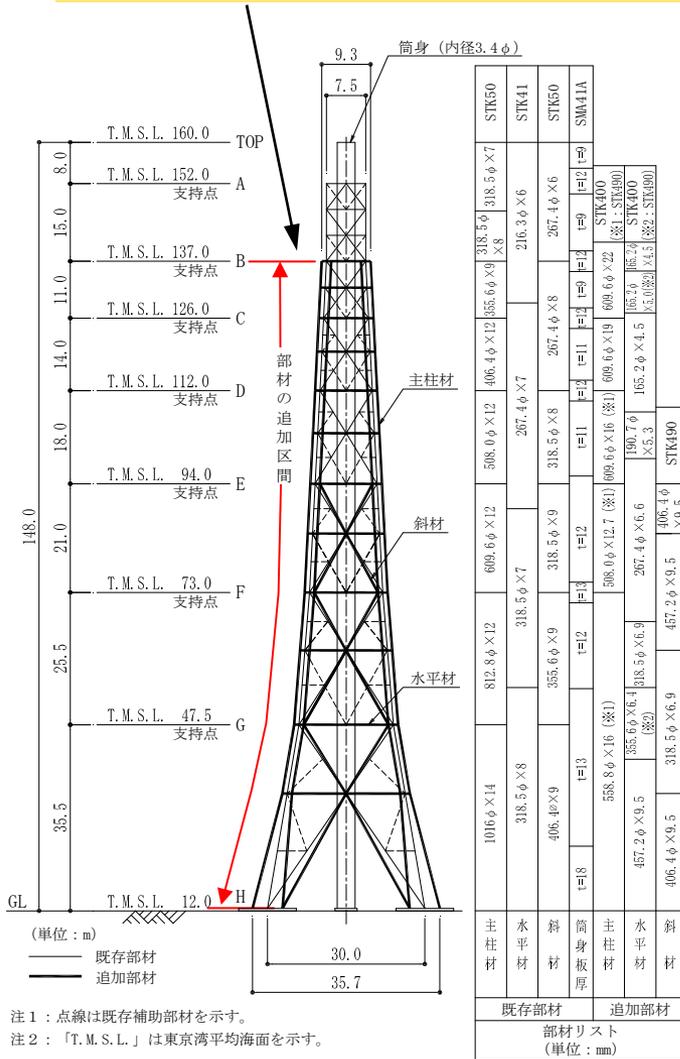
- ・基礎梁付き独立フーチング
- ・杭支持構造
- ・杭径：φ1.2m
- ・杭長：約18m（鉄塔部）

■耐震強化工事の概要

- ① 部材の追加（鉄塔部）
- ② 追加柱材のための基礎打増し
- ③ セメント系固化材の地盤改良

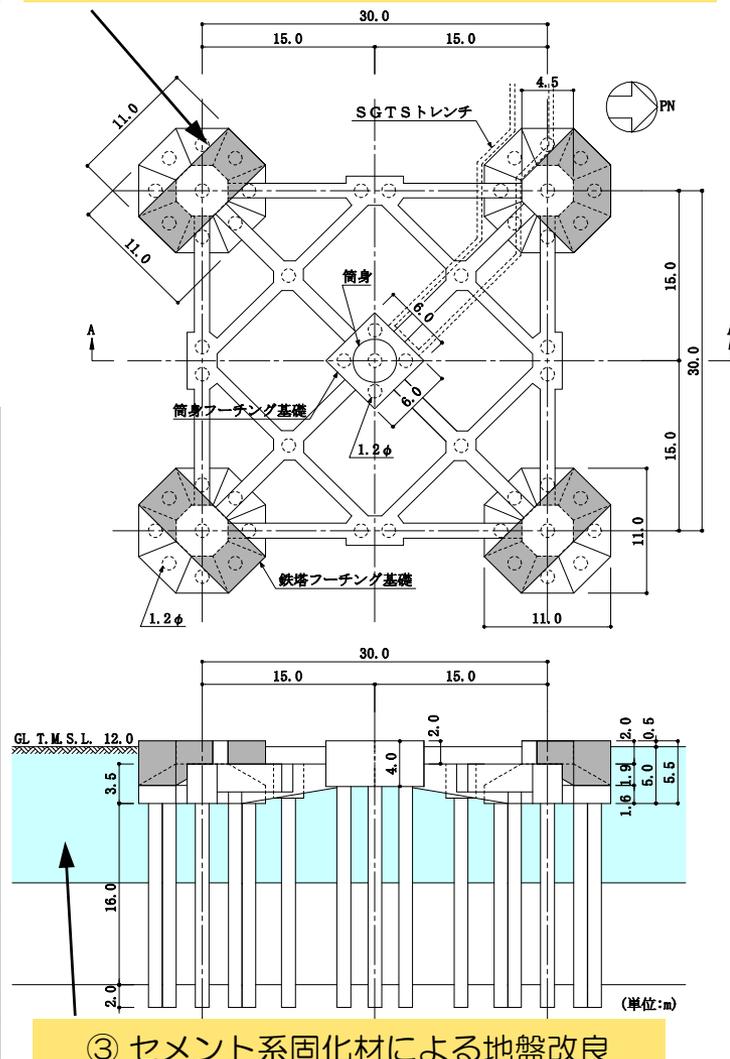


① 部材の追加（鉄塔部）



(a) 地上部概要図

② 追加柱材のアンカーのための基礎打ち増し



③ セメント系固化材による地盤改良

(b) 基礎部概要図

耐震強化に対する考え方（1）

■耐震強化検討の基本的考え方

1 / 2号機排気筒と同様に、耐震強化検討の基本的考え方は以下のとおり。

- ・ SGTS用排気筒に有害な応力・変形を生じさせないようにする。
- ・ SGTS用排気筒を間接支持する筒身および鉄塔に生じる応力を許容値以内に抑えるようにする。

■耐震強化検討の手順

1 / 2号機排気筒と同様に以下の手順で耐震強化方策の成立性を検討した。

(1) 現行架構（強化前）を対象に、基準地震動 S_s に基づく地震応答解析を実施して、各部材の応力が許容値以内に収まるかどうかを検討した。

→ その結果、中間層の複数区間の支柱材が許容値を超過する結果となった。（次頁表(1)参照）

(2) そこで、1 / 2号機排気筒と同様に「ダンパー機構」の導入を検討した。

→ その結果、支柱材の応力は若干低減するが、ダンパー機構を作動させるために筒身支持点を数力所解放している関係もあり、筒身応力が許容値を超過する結果となった。（次頁表(2)参照）

(3) さらに、耐震強化対策の可能性として、筒身や筒身支持点は現行架構（強化前）のまま、鉄塔部の応力を許容値以内に抑える方策として、既存鉄塔に部材を追加して耐震強化する検討を実施した。

→ その結果、筒身（強化前）と既存鉄塔部材および追加の耐震強化部材は全て許容値以内に収まることが確認された。（次頁表(3)参照）

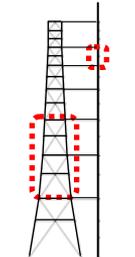
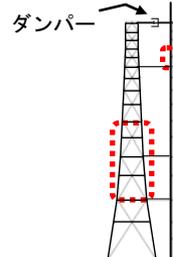
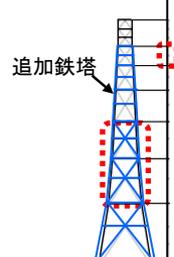
耐震強化に対する考え方（2）

■ 5号機排気筒の耐震強化検討

以上の検討結果から、5号機排気筒の耐震強化検討では、以下のことがわかった。

- (1) 1号機排気筒に比べて鉄塔・筒身ともに断面性能が半分程度で、強化前では鉄塔が厳しい。
- (2) ダンパー機構を導入しても、鉄塔だけでなく筒身の強化も必要となり、実効性が低い。
- (3) 筒身と支持点はそのままで、鉄塔を強化することで鉄塔・筒身の応力を許容値以下にできる。

表 耐震強化検討の結果（部材応力比） 表中（ ）数値は比率を示す。

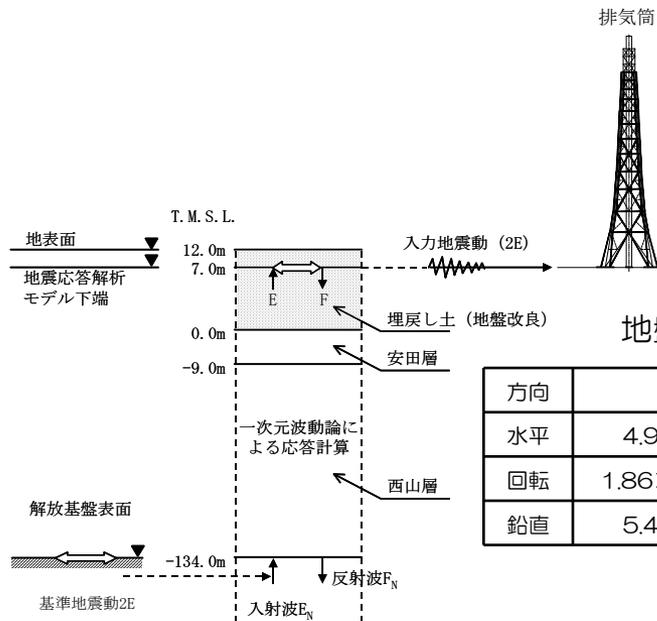
		部材寸法 (mm)	断面性能 (比率)	(1) 強化前 (支持点解除無)	(2) ダンパー機構 (支持点解除)	(3) 強化後 (支持点解除無)	備考 (着目区間：記号)
5号機	支柱材	609.6φ×12	(1.0)	1.19	1.06	0.77	GL82.0~61.0m：E-F間
		812.8φ×12	(1.0)	1.15	0.93	0.90	GL61.0~35.5m：F-G間
	筒身	3,400φ×9	(1.0)	0.55	1.70	0.24	GL125.0~114.0m：B-C間
1号機	支柱材	900φ×17	(2.1)	0.80	0.71	—	GL81.0~60.0m：E-F間
		1,100φ×19	(2.1)	0.78	0.72	—	GL60.0~35.0m：F-G間
	筒身	4,200φ×11	(2.0)	0.33	0.94	—	GL132.0~116.0m：B-C間
解析モデルの概念図 着目区間は5号機の(2)ダンパー付モデルで厳しい区間で比較した結果 (左図に  で示す。)				 強化前モデル	 ダンパー付モデル	 鉄塔強化モデル	筒身支持点の有無を示すために便宜的にモデル中心にある筒身を鉄塔の外側に表記

地震応答解析モデル

排気筒の地震応答解析モデルとしては、1/2号機と同様に上部構造を立体的にモデル化した立体架構モデルを採用した。

既存鉄塔T.M.S.L.+137.0mより下層区間の外側には追加部材（柱材・斜材・水平材）を梁・棒要素としてモデルに組み込んでいる。また、地盤～杭は地盤層序と杭配置を考慮した動的相互作用ばね（水平・回転、鉛直の5自由度）に置換している。

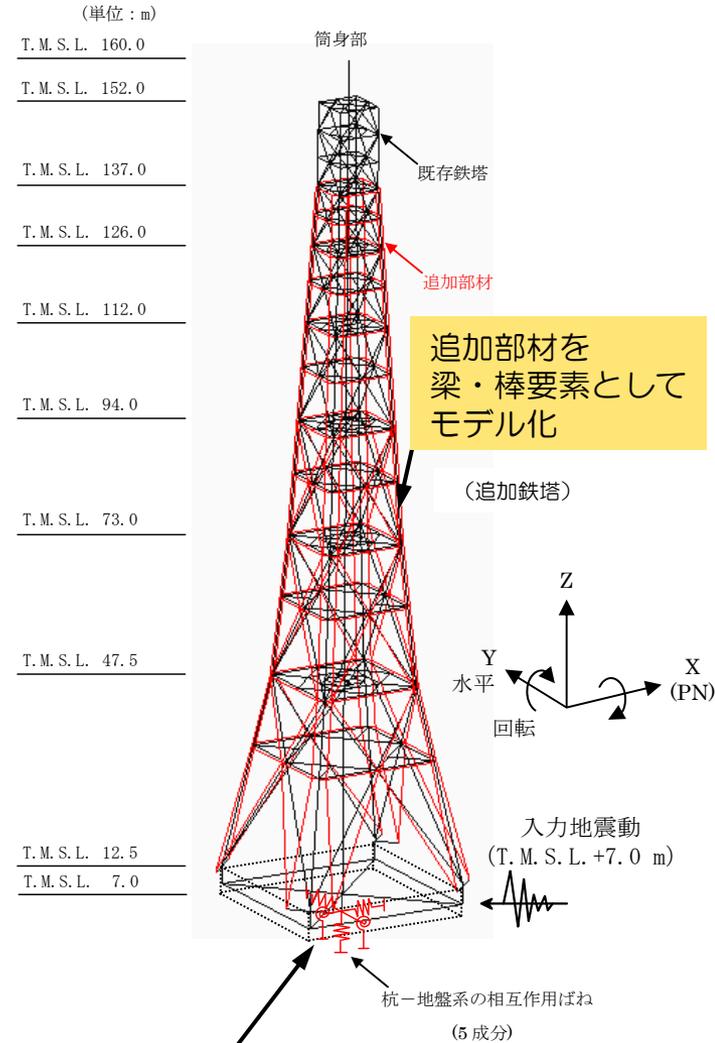
解析モデルへの入力は、基準地震動Ss-1～Ss-5を解放基盤表面に定義し、一次元波動論より解析モデル下端（T.M.S.L.+7.0 m）での応答波を求め、これを入力地震動としている。



地盤ばね表 (Ss-1の例)

方向	ばね定数	減衰係数
水平	$4.95 \times 10^7 \text{ kN/m}$	$1.60 \times 10^6 \text{ kNs/m}$
回転	$1.86 \times 10^{10} \text{ kNm/rad}$	$1.96 \times 10^8 \text{ kNms/rad}$
鉛直	$5.45 \times 10^7 \text{ kN/m}$	$3.41 \times 10^6 \text{ kNs/m}$

(a) 排気筒の入力地震動の考え方



追加部材を梁・棒要素としてモデル化

地盤層序と杭配置を考慮して、3次元薄層法により杭頭インピーダンス（動的相互作用ばね）を算定している。

(b) 地震応答解析モデル

地盤モデルおよび地盤定数 (Ss-1)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 Go (N/mm ²)	剛性 低下率 G/Go	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
7.0	(地盤改良土)	800	17.9	0.31	1144	1168	0.98	2997	2	12.0
0.0	安田層	310	17.5	0.48	107	171	0.63	316	5	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	327	409	0.80	948	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	434	550	0.79	1249	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	539	683	0.79	1541	3	34.0
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1020	1020	1.00	2896	—

地盤モデルおよび地盤定数 (Ss-2)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 Go (N/mm ²)	剛性 低下率 G/Go	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
7.0	(地盤改良土)	800	17.9	0.31	1144	1168	0.98	2997	2	12.0
0.0	安田層	310	17.5	0.48	109	171	0.64	322	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	327	409	0.80	948	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	467	550	0.85	1344	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	587	683	0.86	1678	3	34.0
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1020	1020	1.00	2896	—

地盤モデルおよび地盤定数 (Ss-3)

標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
7.0	(地盤改良土)	800	17.9	0.31	1144	1168	0.98	2997	2	12.0
0.0	安田層	310	17.5	0.48	121	171	0.71	358	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	327	409	0.80	948	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	407	550	0.74	1172	4	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	525	683	0.77	1501	3	34.0
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1020	1020	1.00	2896	—

地盤モデルおよび地盤定数 (Ss-4)

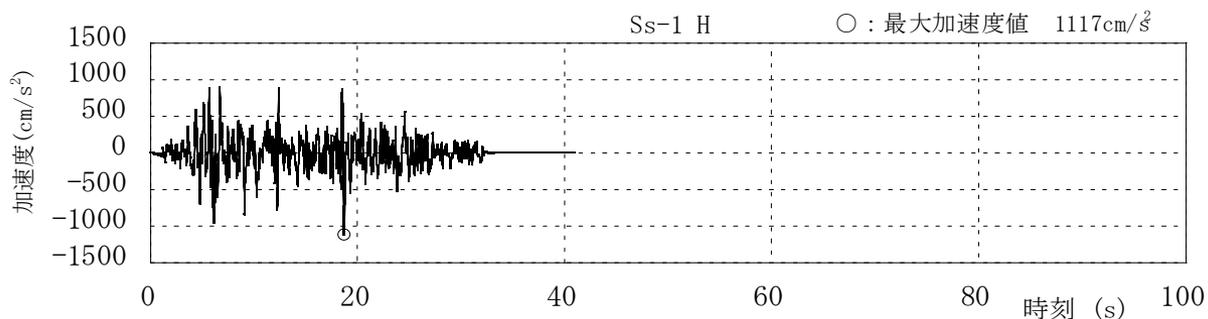
標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
7.0	(地盤改良土)	800	17.9	0.31	1144	1168	0.98	2997	2	12.0
0.0	安田層	310	17.5	0.48	126	171	0.74	372	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	351	409	0.86	1017	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	473	550	0.86	1362	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	587	683	0.86	1678	3	34.0
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1020	1020	1.00	2896	—

地盤モデルおよび地盤定数 (Ss-5)

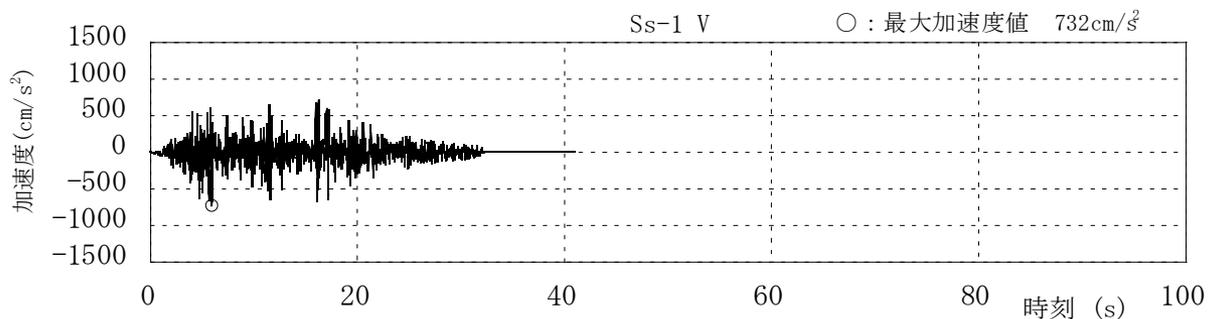
標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン 比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 Go (N/mm ²)	剛性 低下率 G/Go	ヤング 係数 E (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
7.0	(地盤改良土)	800	17.9	0.31	1144	1168	0.98	2997	2	12.0
0.0	安田層	310	17.5	0.48	117	171	0.69	346	4	9.0
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	347	409	0.85	1006	3	51.0
-60.0		560	17.2	0.44	456	550	0.83	1313	3	40.0
-100.0		610	18.0	0.43	553	683	0.81	1581	3	34.0
-134.0		(解放基盤)	710	19.9	0.42	1020	1020	1.00	2896	—

排気筒への入力地震動 (Ss-1)

入力地震動は応答結果に対して支配的なSs-1、Ss-2及びSs-3を代表として示す。



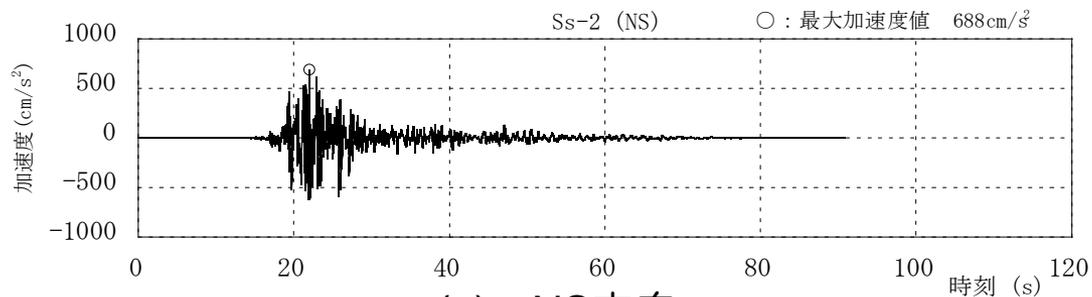
(a) 水平方向



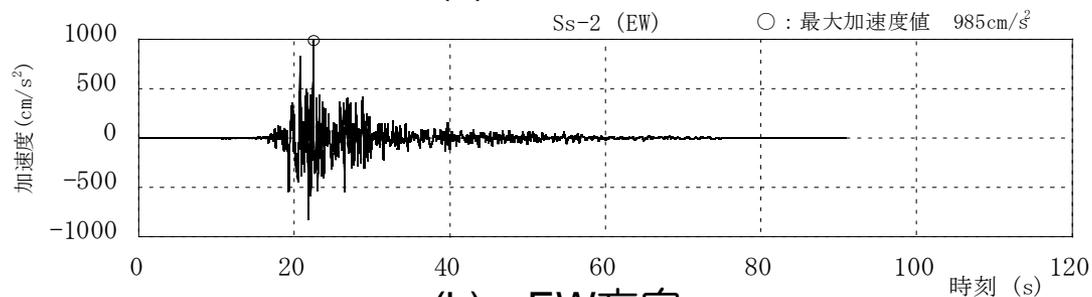
(b) 鉛直方向

排気筒への入力地震動 (水平、鉛直成分)
(T.M.S.L.+7.0m 基準地震動Ss-1)

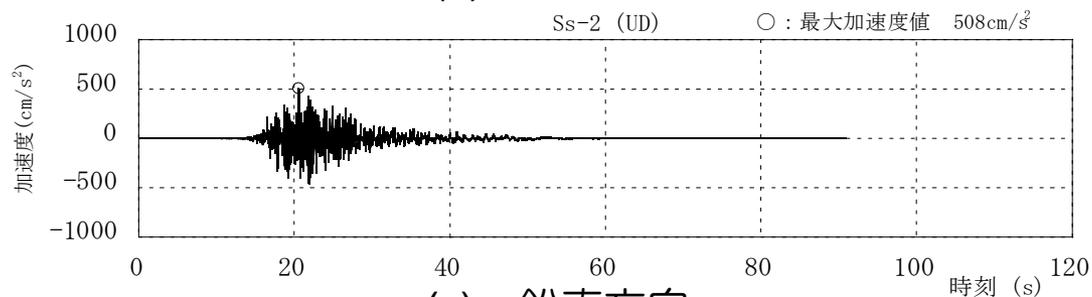
排気筒への入力地震動 (Ss-2)



(a) NS方向



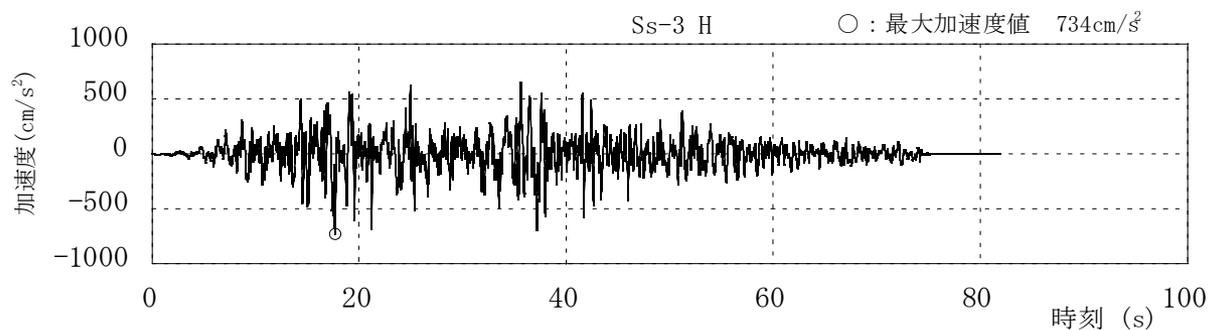
(b) EW方向



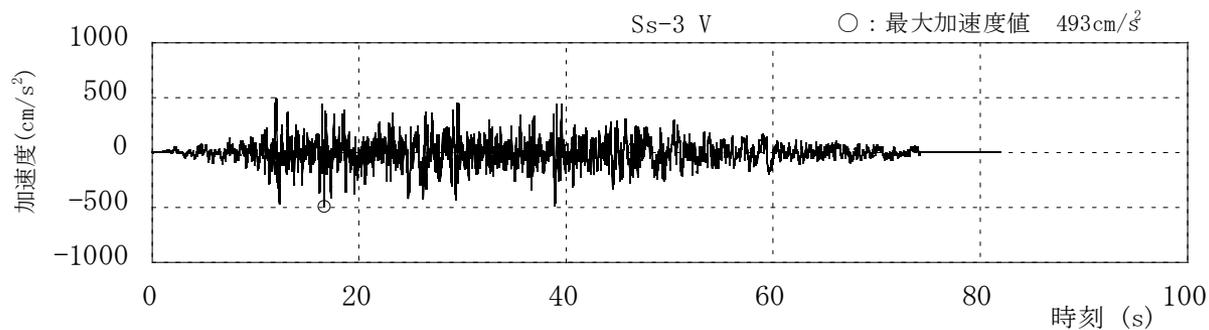
(c) 鉛直方向

排気筒への入力地震動 (水平、鉛直成分)
(T.M.S.L.+7.0m 基準地震動Ss-2)

排気筒への入力地震動 (Ss-3)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

排気筒への入力地震動 (水平、鉛直成分)
(T.M.S.L.+7.0m 基準地震動Ss-3)

固有値解析結果

排気筒の地震応答解析に用いた立体架構モデルの固有値解析結果を示す。
 なお、固有値結果は応答に対して支配的なSs-1, Ss-2及びSs-3を代表として示す。

固有値解析結果（基準地震動Ss-1）

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数		
			X	Y	Z
1	0.875	1.143	1.006	0.869	-0.002
2	0.880	1.137	-0.868	1.014	0.000
3	2.223	0.450	-0.023	-0.018	0.004
4	2.515	0.398	0.455	-1.447	0.007
5	2.553	0.392	-1.462	-0.456	-0.010

固有値解析結果（基準地震動Ss-2）

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数		
			X	Y	Z
1	0.875	1.143	1.006	0.869	-0.002
2	0.880	1.137	-0.867	1.014	0.000
3	2.223	0.450	-0.023	-0.018	0.004
4	2.515	0.398	0.455	-1.447	0.007
5	2.553	0.392	-1.462	-0.456	-0.010

固有値解析結果（基準地震動Ss-3）

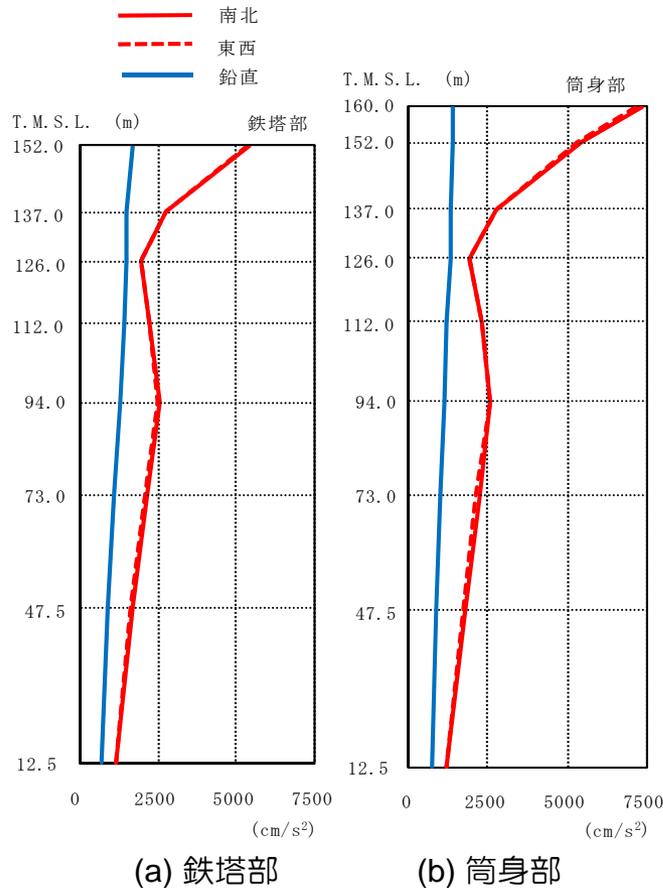
次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数		
			X	Y	Z
1	0.875	1.143	1.006	0.869	-0.002
2	0.880	1.136	-0.867	1.014	0.000
3	2.223	0.450	-0.023	-0.018	0.004
4	2.515	0.398	0.455	-1.446	0.007
5	2.554	0.392	-1.462	-0.456	-0.010

注) モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる刺激係数を示す。

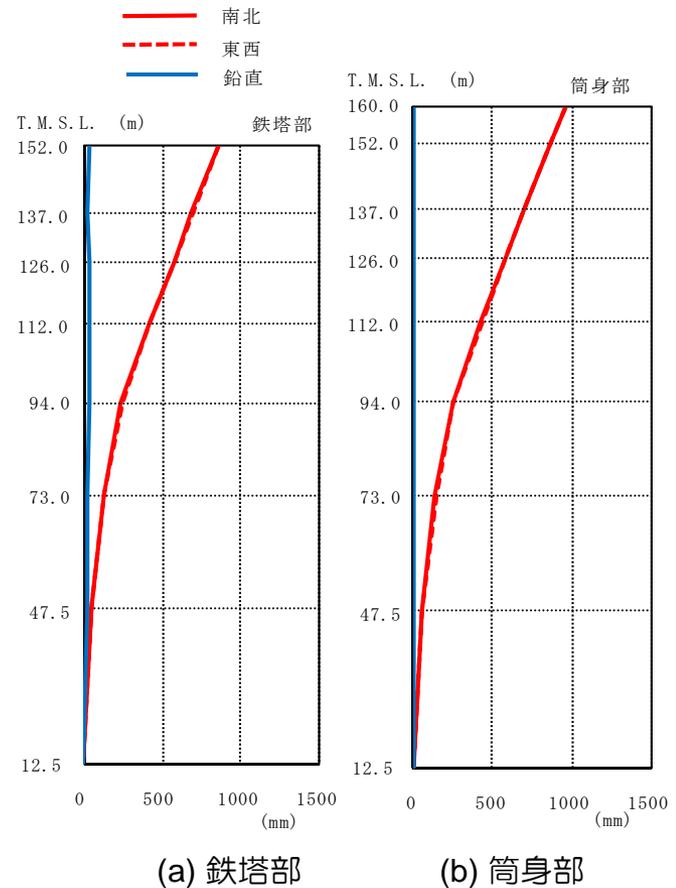
解析結果（最大応答加速度・最大応答変位）

応答結果に対して支配的なSs-1, Ss-2及びSs-3を代表として示す。

(1) Ss-1の応答結果



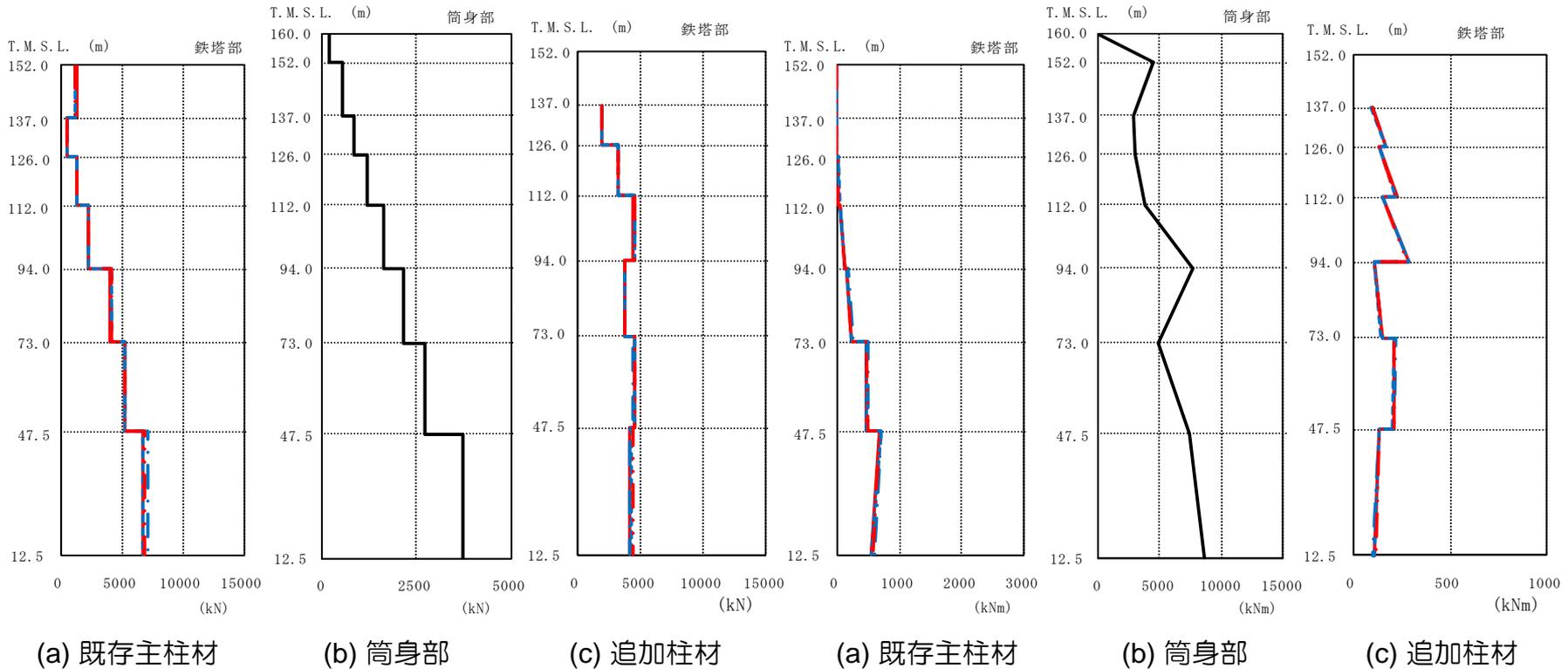
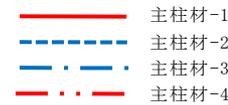
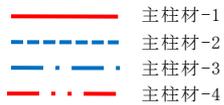
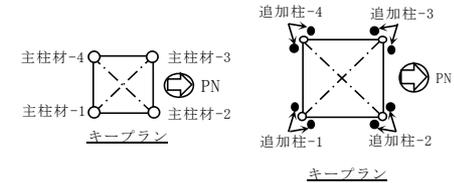
最大応答加速度



最大応答変位

解析結果（最大応答軸力・最大応答曲げモーメント）

(1) Ss-1の応答結果

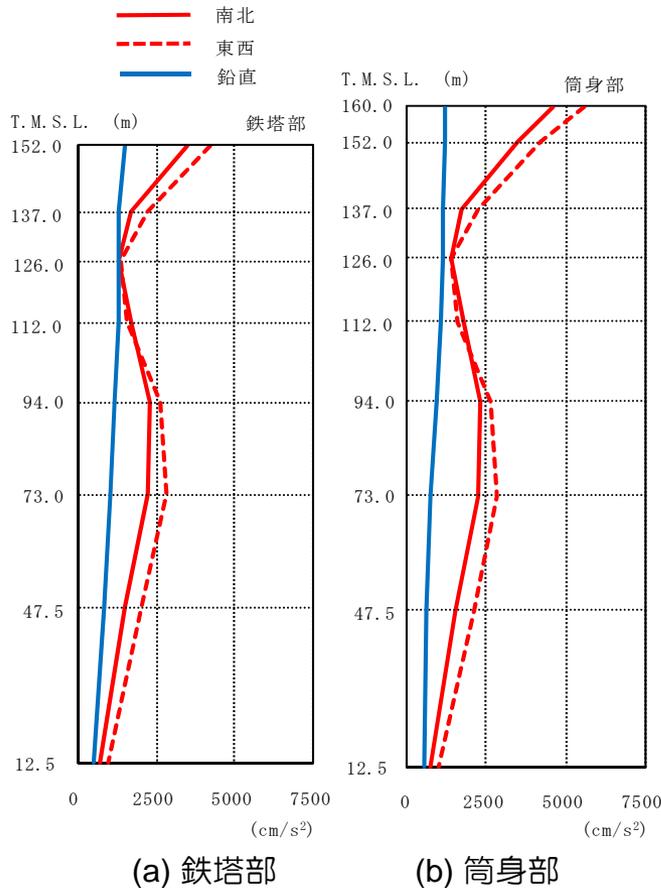


最大応答軸力
(既存主柱材、追加柱材)

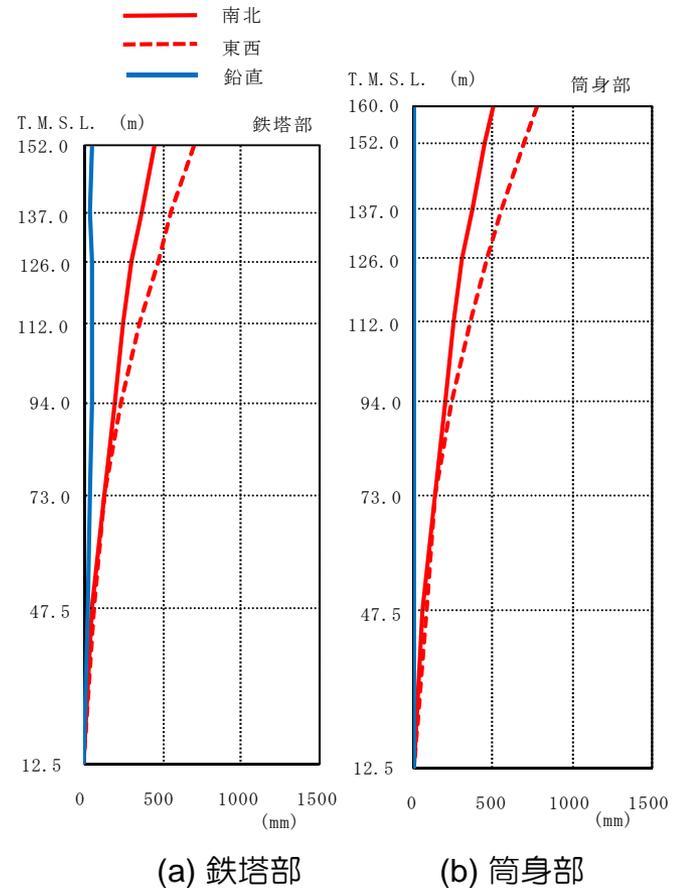
最大応答曲げモーメント
(既存主柱材、追加柱材)

解析結果（最大応答加速度・最大応答変位）

（2）Ss-2の応答結果



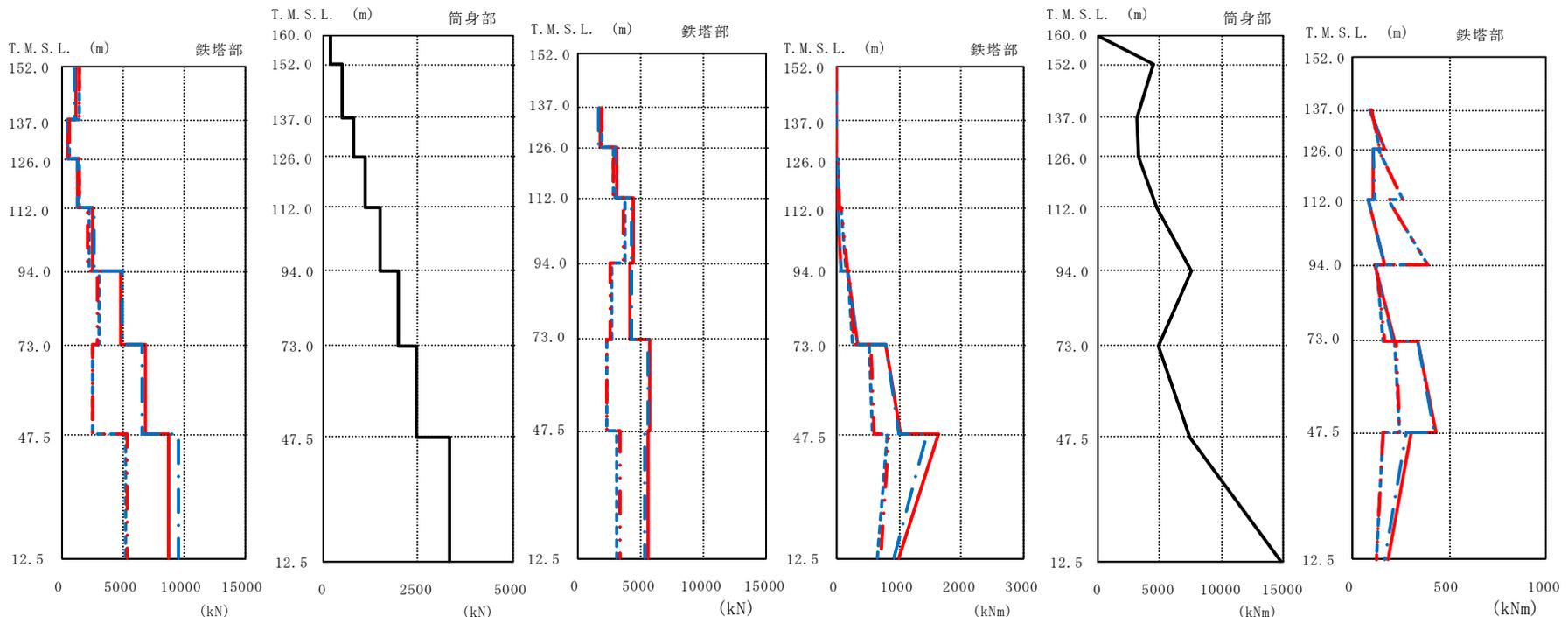
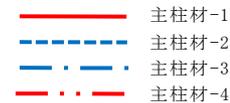
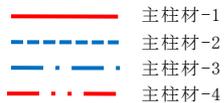
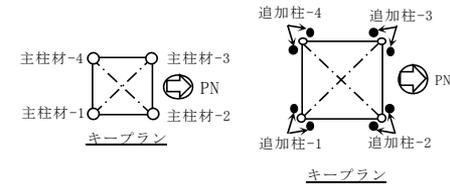
最大応答加速度



最大応答変位

解析結果（最大応答軸力・最大応答曲げモーメント）

(2) Ss-2の応答結果



(a) 既存主柱材

(b) 筒身部

(c) 追加柱材

(a) 既存主柱材

(b) 筒身部

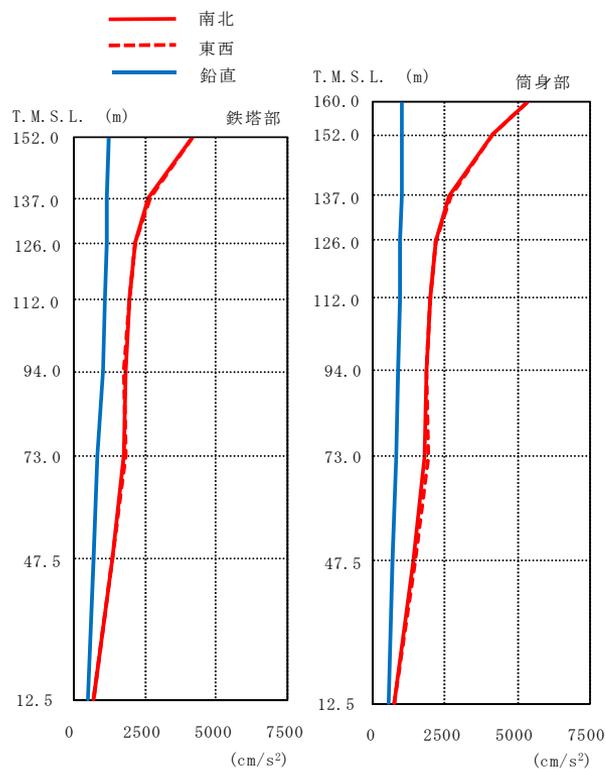
(c) 追加柱材

最大応答軸力
(既存主柱材、追加柱材)

最大応答曲げモーメント
(既存主柱材、追加柱材)

解析結果（最大応答加速度・最大応答変位）

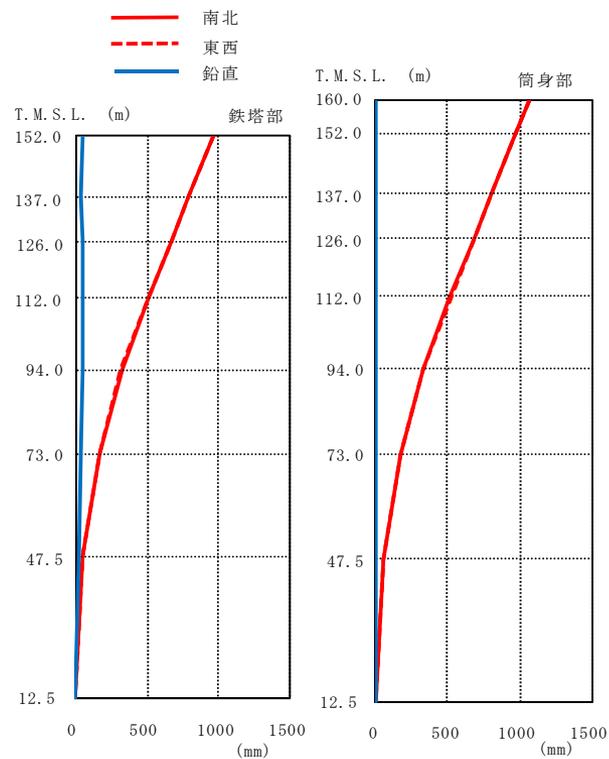
（3）Ss-3の応答結果



(a) 鉄塔部

(b) 筒身部

最大応答加速度



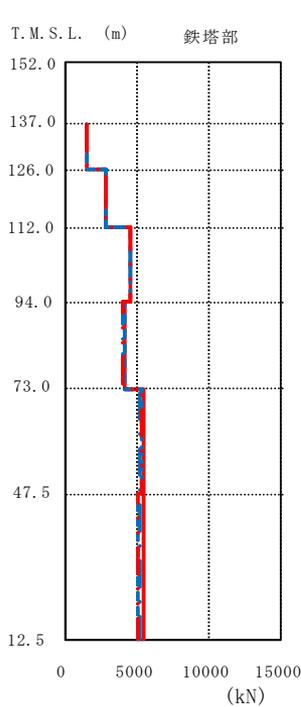
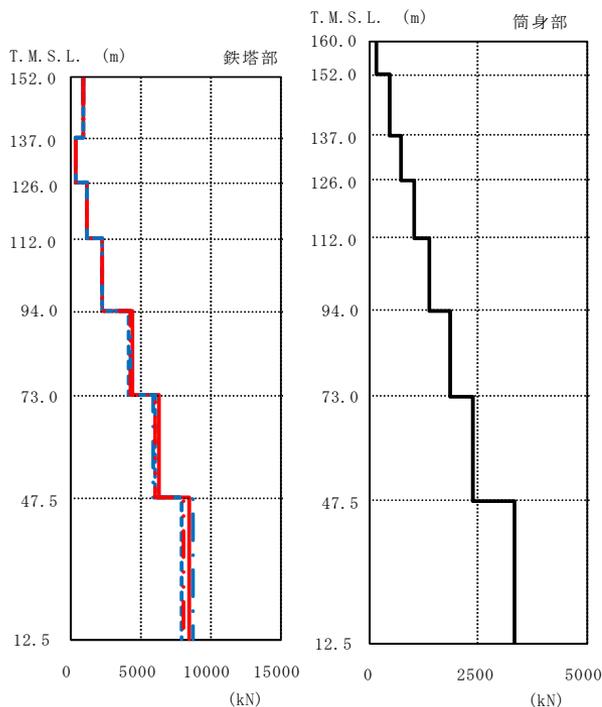
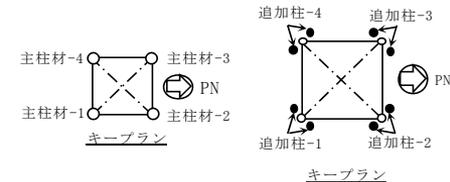
(a) 鉄塔部

(b) 筒身部

最大応答変位

解析結果（最大応答軸力・最大応答曲げモーメント）

(3) Ss-3の応答結果

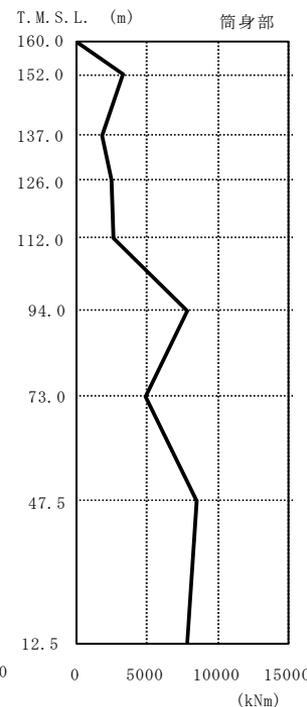
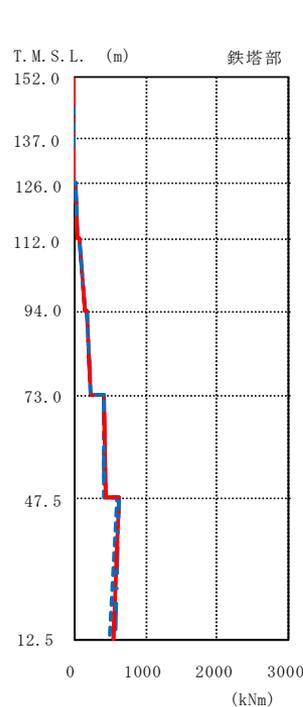


(a) 既存主柱材

(b) 筒身部

(c) 追加柱材

最大応答軸力
(既存主柱材、追加柱材)



(a) 既存主柱材

(b) 筒身部

(c) 追加柱材

最大応答曲げモーメント
(既存主柱材、追加柱材)

評価結果（鉄塔部および筒身部）

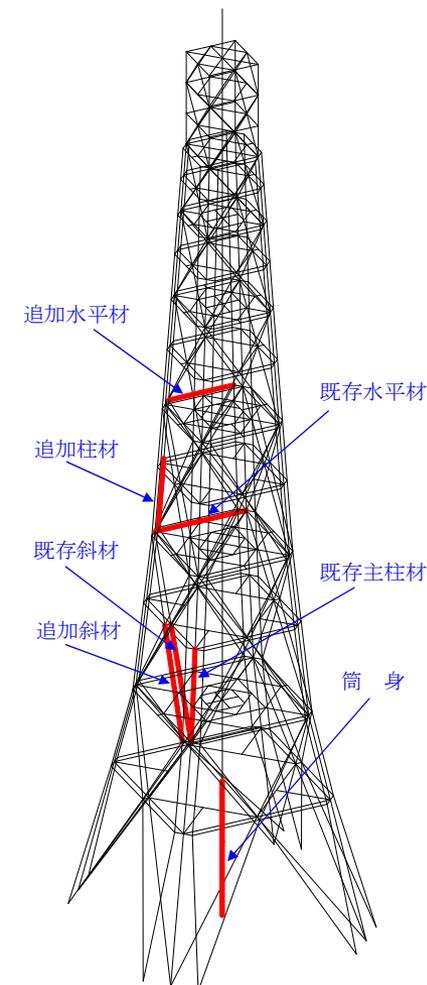
各部材の評価結果のうち、応力比が最大となる部位について、評価結果を示す。

各部の最大応力比

箇所	部材	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s^f c$ (N/mm ²)	$s^f b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c + s\sigma_b}{s^f c + s^f b}$
鉄塔	既存 主柱材	4095	1024	301.9	5960	135.7	171.9	324	357	0.90
	既存 斜材	2952	—	98.00	828	301.3	—	317	—	0.96
	既存 水平材	753	—	68.50	522	109.9	—	235	—	0.47
	追加 柱材	4105	104	197.6	2390	207.8	43.4	309	357	0.80
	追加 斜材	2077	—	67.55	515	307.5	—	333	—	0.93
	追加 水平材	1068	—	54.08	344	197.5	—	242	—	0.82
筒身		2224	13160	1180	100000	18.9	131.6	225	233	0.65

記号の説明

- N 軸力（圧縮を正とする。）
- M 曲げモーメント
- A 断面積
- Z 断面係数
- $s^f c$ 圧縮応力に対する許容値
- $s^f b$ 曲げ応力に対する許容値
- $s\sigma_c$ 圧縮応力 (N/A)
- $s\sigma_b$ 曲げ応力 (M/Z)

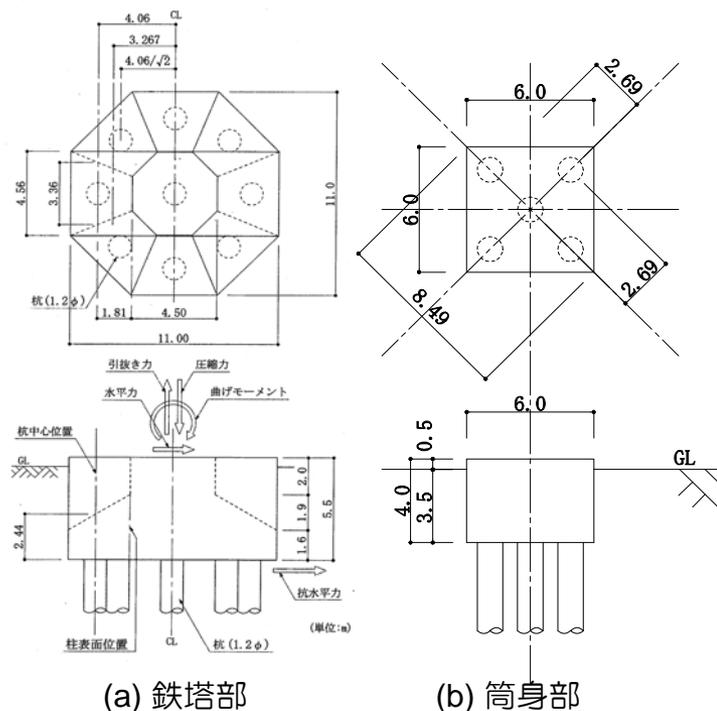


—: 最大応力比が生じる位置を示す。

応力評価部位

評価結果（基礎部）

排気筒のフーチング基礎部と杭配置の概要、上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重及び支持力確認結果を示す。



フーチング基礎の概要

上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重

		鉄塔部	筒身部	備考
上部から伝達される荷重	圧縮力 (kN/脚)	19,627	3,610	長期軸力含む
	引抜き力 (kN/脚)	15,799	(生じない)	
	水平力 (kN/脚)	6,624	819	南北方向及び東西方向のベクトル和
	曲げモーメント (kNm/脚)	25,800	14,309	
杭支持力の確認用の荷重 (フーチング下面)	フーチング基礎下端位置における曲げモーメント* (kNm/脚)	69,362	17,119	南北方向及び東西方向のベクトル和
	フーチング基礎廻り自重 (kN/脚)	14,993	5,078	基礎梁及び土被り重量含む

杭の鉛直支持力等の確認（鉄塔部）

検討項目	応力	評価基準値* (抵抗力)	応力
			評価基準値
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	4,313 (最大引抜き力)	51,300 (残留引抜き抵抗力)	0.09
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	7,917 (最大圧縮力)	11,700 (極限鉛直支持力)	0.68

杭の鉛直支持力等の確認（筒身部）

検討項目	応力	評価基準値* (抵抗力)	応力
			評価基準値
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	引抜き力は生じない	28,500 (残留引抜き抵抗力)	—
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	3,978 (最大圧縮力)	11,700 (極限鉛直支持力)	0.34

※：杭の評価基準値は日本建築学会編『建築基礎構造設計指針』（2001改）を参考に設定

評価結果（非常用ガス処理系用排気筒）

非常用ガス処理系（SGTS）用排気筒は筒身（換気空調系用）内で筒身に支持されている。

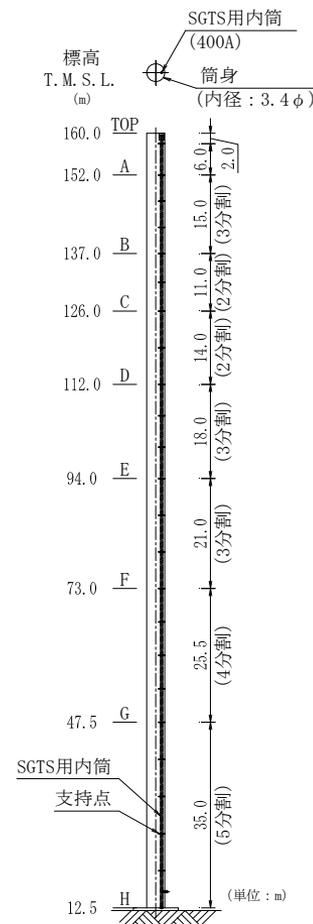
SGTS用排気筒の剛性は筒身の剛性に比べて小さいので、変形は筒身の変形に追従する。

従って、筒身の変位をSGTS用排気筒に強制的に与えることにより応力を算出し、最大応力で耐震安全性の評価を行なう。

以下に、比較的変位の大きいSs-1、Ss-2及びSs-3の筒身の変位を代表で示す。

筒身の変位（Ss-1,Ss-2及びSs-3の例）

支持点	標高 T.M.S.L. (m)	地震応答解析結果 (mm)		
		Ss-1	Ss-2	Ss-3
TOP	160.0	956	778	1060
A	152.0	860	697	967
B	137.0	694	558	801
C	126.0	576	465	679
D	112.0	422	357	517
E	94.0	245	234	323
F	73.0	130	137	169
G	47.5	57	74	58

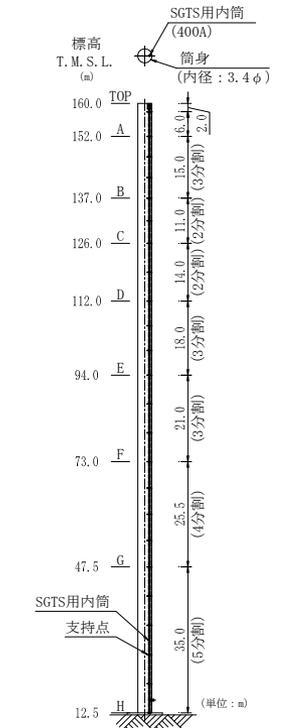


筒身部及び
SGTS用排気筒の概要

評価結果（非常用ガス処理系用排気筒）

SGTS用排気筒の評価結果

部材間	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s f_c$ (N/mm ²)	$s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c + s\sigma_b}{s f_c + s f_b}$
TOP	14.7	7.8	94.0	920	1.6	8.5	218	245	0.05
A-B	40.0	7.8			4.3	8.5	226		0.06
B-C	48.1	4.7			5.2	5.2	222		0.05
C-D	68.9	8.9			7.4	9.7	210		0.08
D-E	97.4	15.8			10.4	17.2	218		0.12
E-F	125.3	15.8			13.4	17.2	210		0.14
F-G	232.0	1.8			24.7	2.0	215		0.13
G-H	287.7	2.8			30.7	3.0	210		0.16



筒身部及び
SGTS用排気筒の概要

記号の説明

- N 軸力（圧縮を正とする。）
- M 曲げモーメント
- A 断面積
- Z 断面係数
- $s f_c$ 許容圧縮応力度
- $s f_b$ 許容曲げ応力度
- $s\sigma_c$ 圧縮応力（N/A）
- $s\sigma_b$ 曲げ応力（M/Z）

評価結果（非常用ガス処理系用排気筒支持部）

SGTS用排気筒支持部は、筒身内部でSGTS用排気筒を水平方向に支持する部材である。

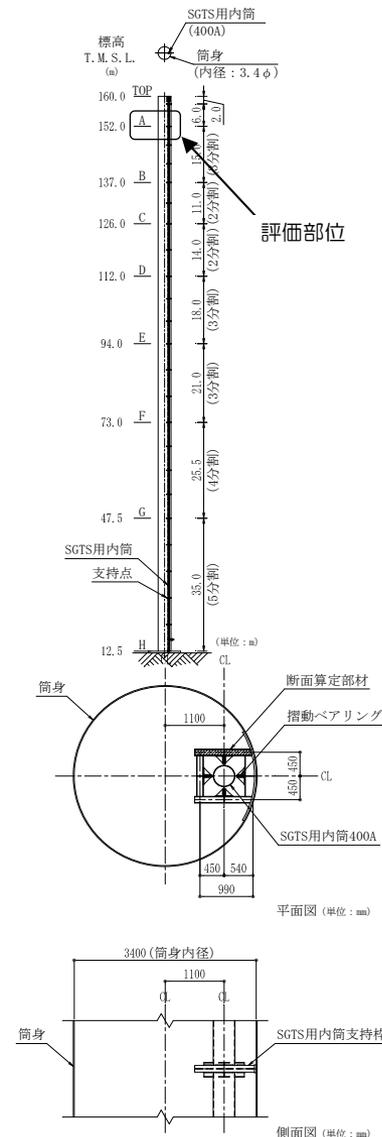
支持部の評価に用いる応力としては、支持部に生じる最大水平力を考慮する。応力が最大となる部材の評価結果を示す。

SGTS用排気筒支持部材の評価結果

部材長 (mm)	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s f_c$ (N/mm ²)	$s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c + s\sigma_b}{s f_c + s f_b}$
990	18.2	10.7	22.1	102	8.3	105.0	241	255	0.45

記号の説明

- N 軸力（圧縮を正とする。）
- M 曲げモーメント
- A 断面積
- Z 断面係数
- $s f_c$ 許容圧縮応力度
- $s f_b$ 許容曲げ応力度
- $s\sigma_c$ 圧縮応力 (N/A)
- $s\sigma_b$ 曲げ応力 (M/Z)



筒身部及び
SGTS用排気筒の概要

まとめ（排気筒）

- 排気筒については耐震強化工事を実施しており、耐震強化工事後の状況を反映した解析モデルを使用している。
- 排気筒の鉄塔部および筒身部における応力比は、評価基準値以下であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。
- 排気筒の基礎における応力は評価基準値以下であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。
- SGTS用排気筒における応力比は評価基準値以下であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。
- SGTS用排気筒の支持部における応力比は評価基準値以下であり、耐震安全性は確保されているものと評価した。