

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足 400-6 改 0
提出年月日	平成 30 年 5 月 31 日

建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料

補足-400-6 【地震応答解析における原子炉建屋の

重大事故等時の高温による影響】

目次

1. 概要.....	1
2. 原子炉建屋の構造概要.....	2
3. 重大事故等時の温度による影響について.....	6
3.1 検討方針.....	6
3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析.....	7
3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響.....	34
4. 機器・配管系の評価に与える影響.....	37
5. まとめ.....	38

1. 概要

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

本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」
- ・資料V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」
- ・資料V-2-9-1-13「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」

2. 原子炉建屋の構造概要

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

a. 1次遮蔽壁

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

b. 原子炉棟及び附属棟

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

c. 原子炉建屋の基礎盤

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

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

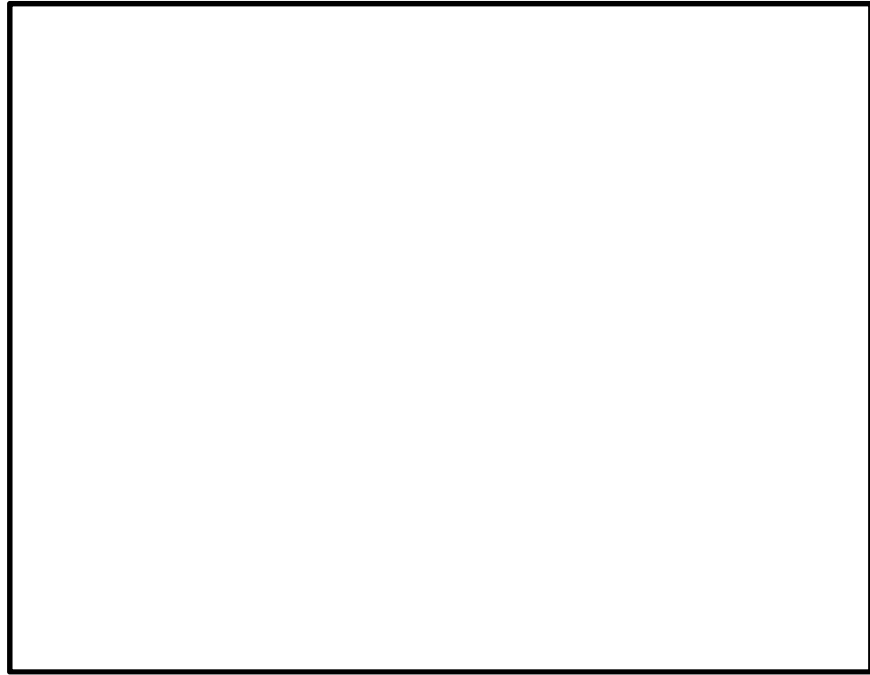


図 2-1 (1/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)

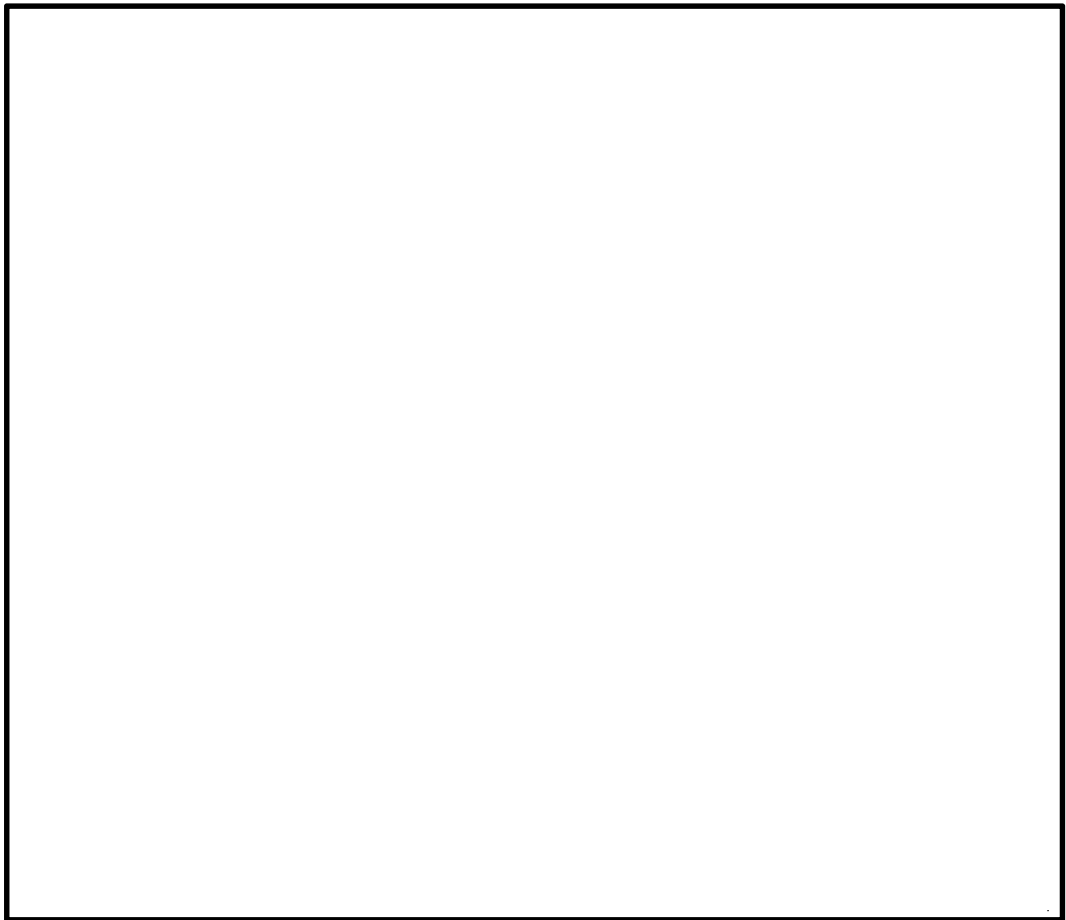


図 2-1 (2/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. -4.0 m)

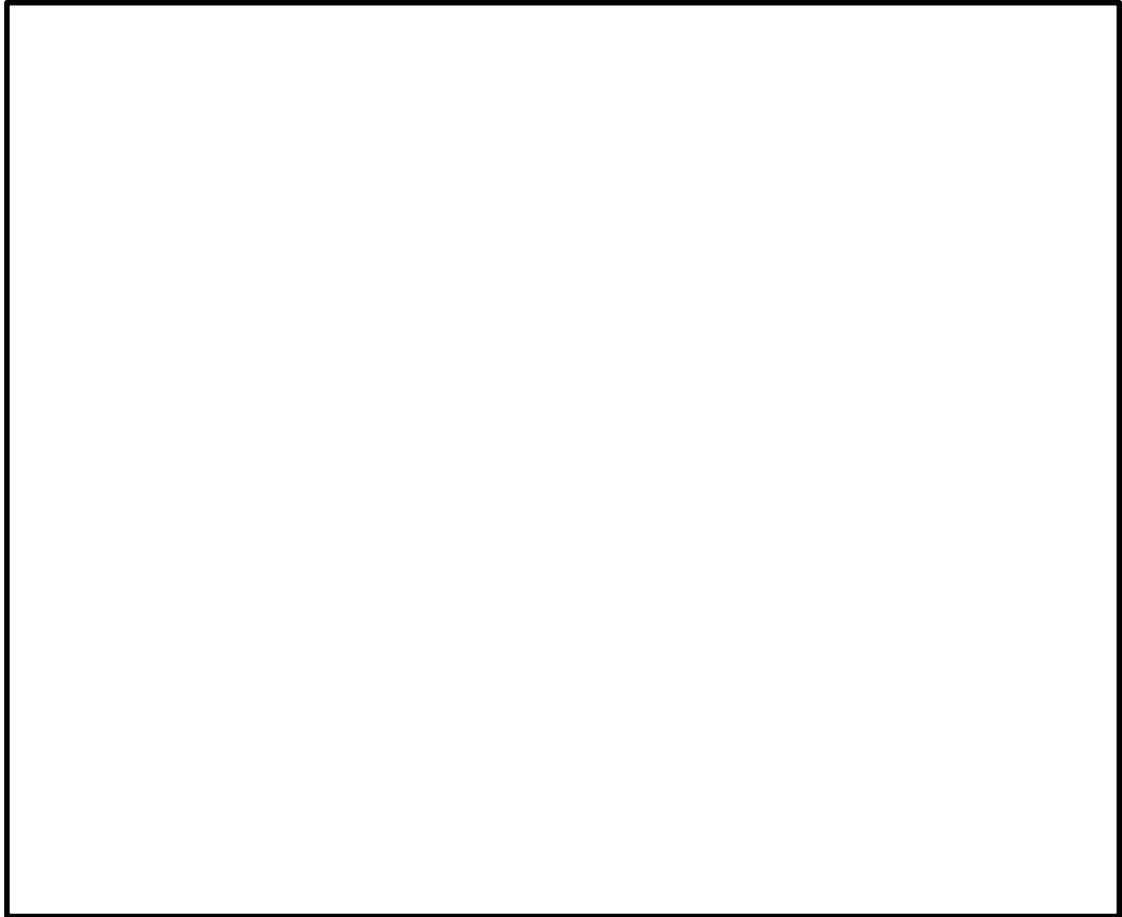


図 2-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

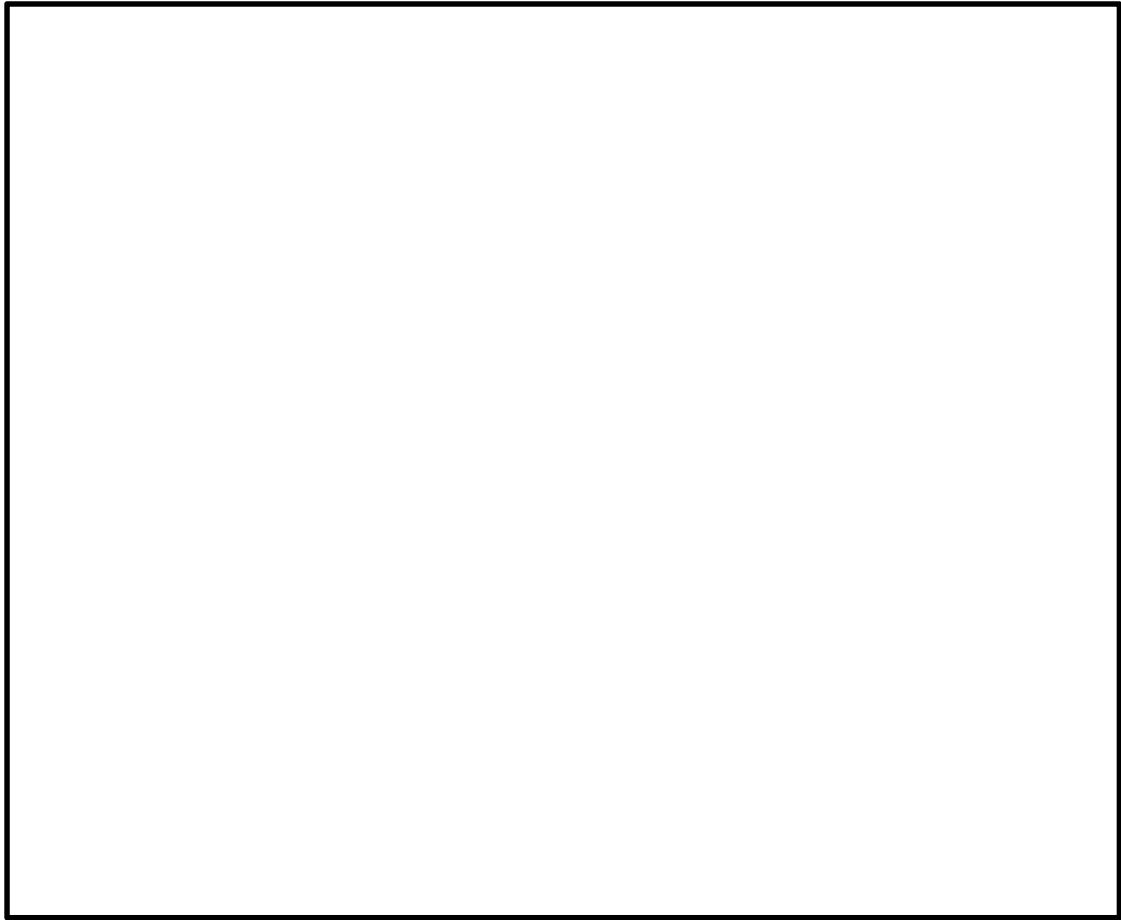


図 2-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)

3. 重大事故等時の温度による影響について

3.1 検討方針

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

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

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

なお、上述の影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「剛性低下考慮モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_{s-D1} に対して実施することとする。

3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析

3.2.1 解析条件

(1) 剛性低下率

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

原子炉格納容器について、原子炉格納容器内を高温状態とし、その温度を重大事故等時の有効性評価における原子炉格納容器の評価温度である200℃に設定した。これは、原子炉格納容器の最高使用温度である171℃を包絡する条件である。

原子炉格納容器外の建屋内（原子炉建屋原子炉棟内）については、使用済燃料プール水の沸騰の可能性を考慮して100℃に設定した。

外気温については、高温状態においてコンクリートの剛性は低下するため、安全側に平均温度が高くなる夏季の温度（38.4℃）より40℃に設定した。更に、原子炉建屋原子炉棟外の付属棟内については、同様に40℃に設定した。

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

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

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

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

表 3-1 本検討に用いたコンクリート部材の温度

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

表 3-2 本検討に用いたコンクリート部材の剛性低下率

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

(2) 解析モデル

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

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

注 :

【参考文献1】

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

【参考文献2】

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

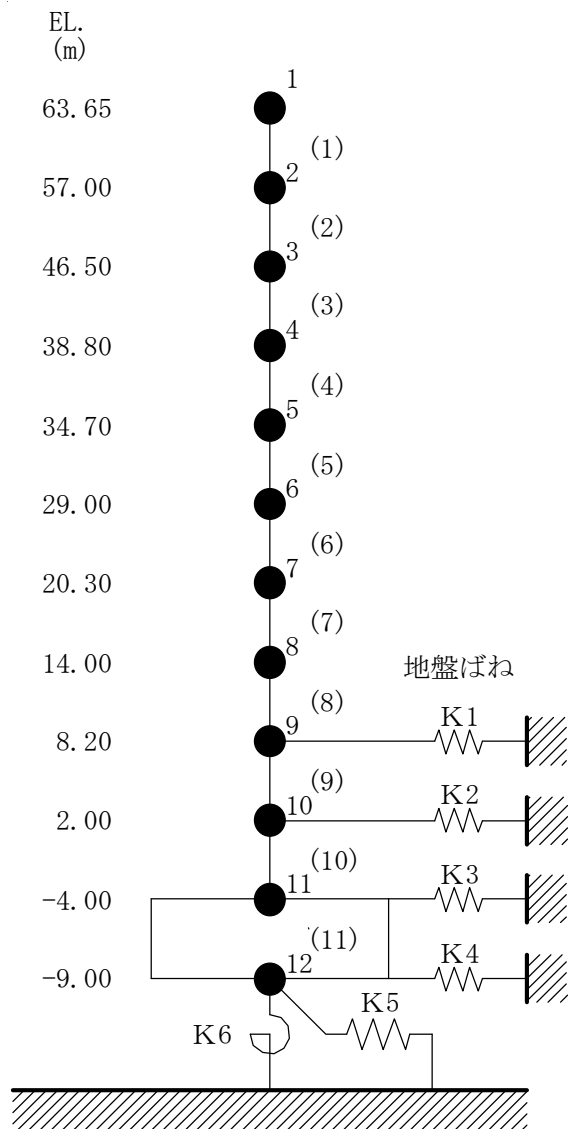
表 3-3 建物・構築物の物性値(剛性低下考慮モデル)

(a) 鉄筋コンクリート

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

(b) 鉄骨

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



- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向, 剛性低下考慮モデル)

表 3-4 地震応答解析モデル諸元（水平方向，剛性低下考慮モデル）

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

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (S_s-D1, 剛性低下考慮モデル)

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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

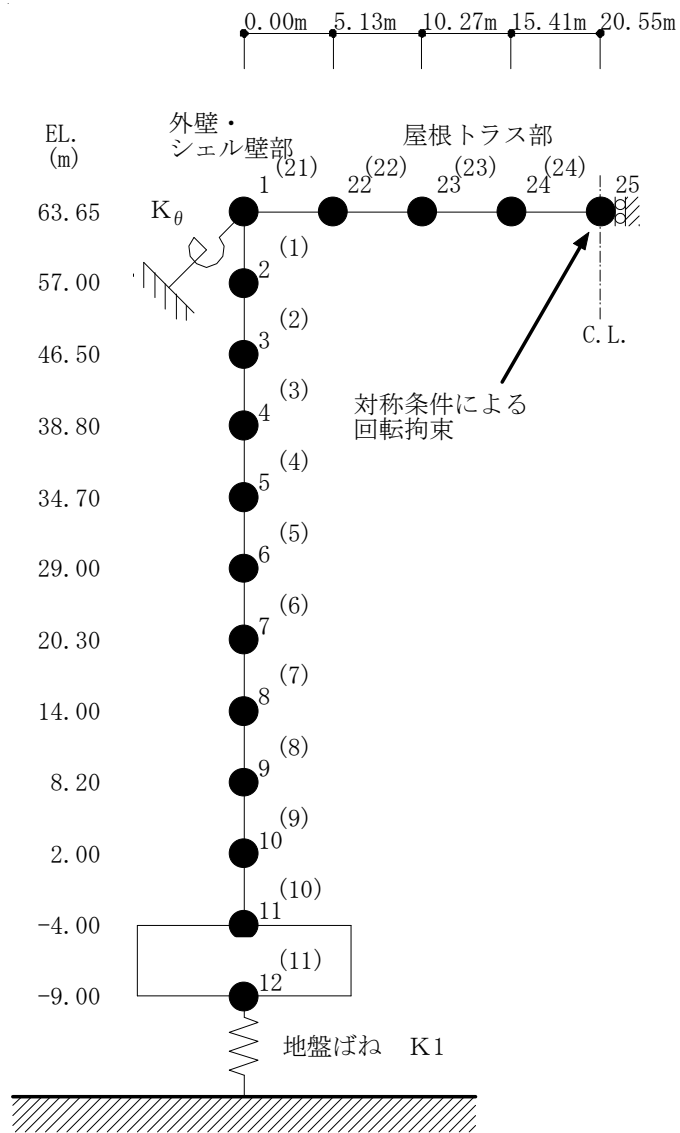
表 3-6 セン断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係, 剛性低下考慮モデル)

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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



- 数字は質点番号を示す。
- () 内は要素番号を示す。

図 3-2 地震応答解析モデル (UD 方向, 剛性低下考慮モデル)

表 3-7 地震応答解析モデル諸元 (UD 方向, 剛性低下考慮モデル)

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

トラス端部回転拘束ばね
 $K_{\theta} = 5.44 \times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$

表 3-8 地盤ばね定数と減衰係数 (UD 方向, $S_s - D1$, 剛性低下考慮モデル)

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・鉛直	1.08×10^8 (kN/m)	8.21×10^6 (kN·s/m)

3.2.2 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の固有値解析結果(固有周期及び固有振動数)の比較を表3-9に示す。また、「剛性低下考慮モデル」の刺激関数図を図3-3に示す。

(「今回工認モデル」の刺激関数図は、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。)

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

表 3-9 固有値解析結果

(a) NS 方向

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

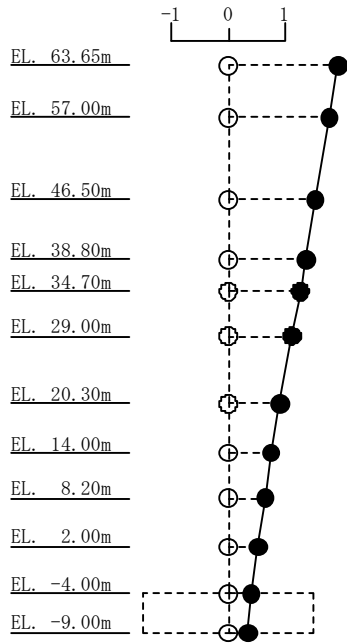
(b) EW 方向

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

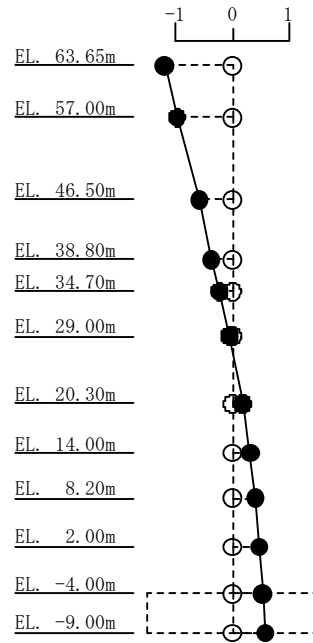
(c) UD 方向

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

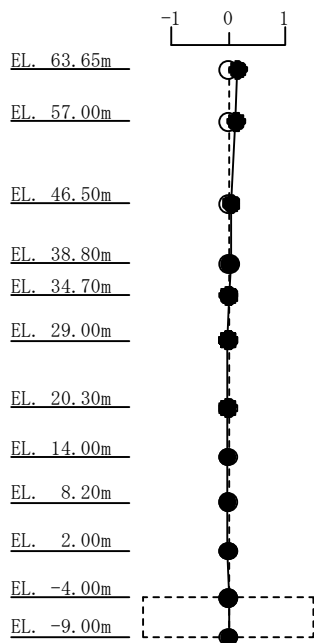
1次モード
 固有周期 : 0.413 (s)
 振動数 : 2.42 (Hz)
 刺激係数 : 1.932



2次モード
 固有周期 : 0.203 (s)
 振動数 : 4.92 (Hz)
 刺激係数 : 1.195



3次モード
 固有周期 : 0.109 (s)
 振動数 : 9.21 (Hz)
 刺激係数 : 0.167



4次モード
 固有周期 : 0.089 (s)
 振動数 : 11.24 (Hz)
 刺激係数 : 0.225

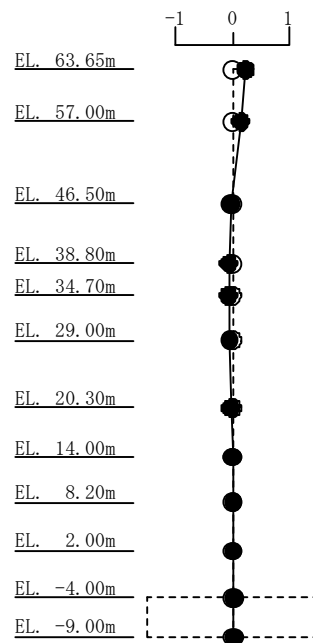
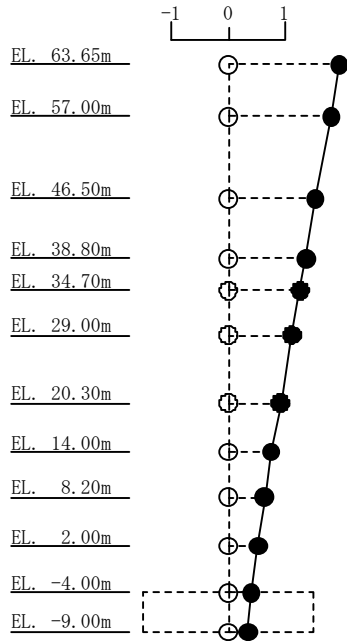
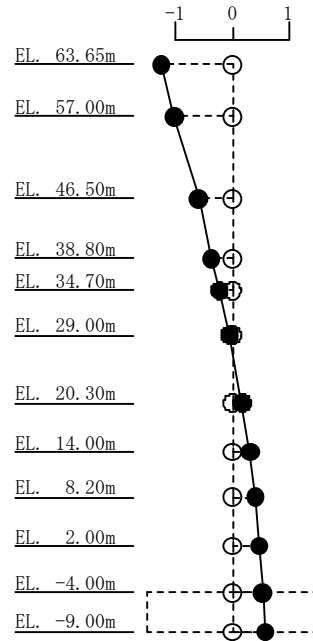


図 3-3 (1/3) 刺激関数図 (S_s-D 1, NS 方向, 剛性低下考慮モデル)

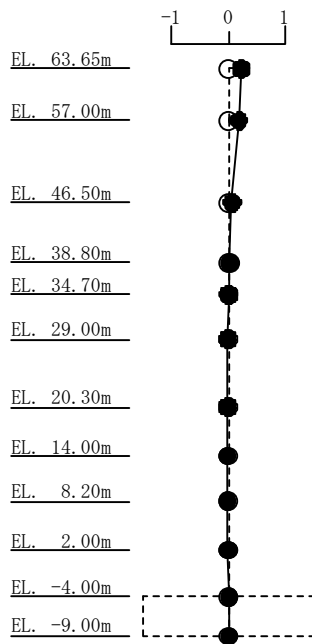
1次モード
 固有周期 : 0.416 (s)
 振動数 : 2.41 (Hz)
 刺激係数 : 1.956



2次モード
 固有周期 : 0.203 (s)
 振動数 : 4.92 (Hz)
 刺激係数 : 1.257



3次モード
 固有周期 : 0.111 (s)
 振動数 : 9.00 (Hz)
 刺激係数 : 0.228



4次モード
 固有周期 : 0.090 (s)
 振動数 : 11.08 (Hz)
 刺激係数 : 0.197

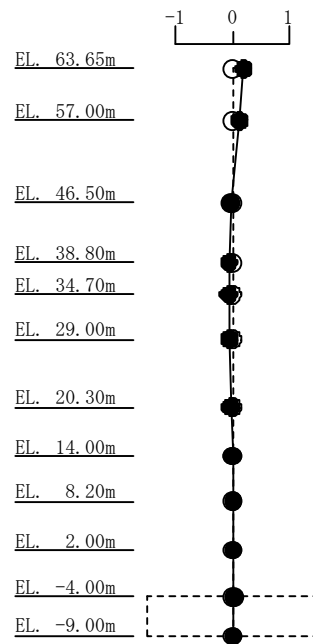


図 3-3 (2/3) 刺激関数図 (S_s-D 1, EW 方向, 剛性低下考慮モデル)

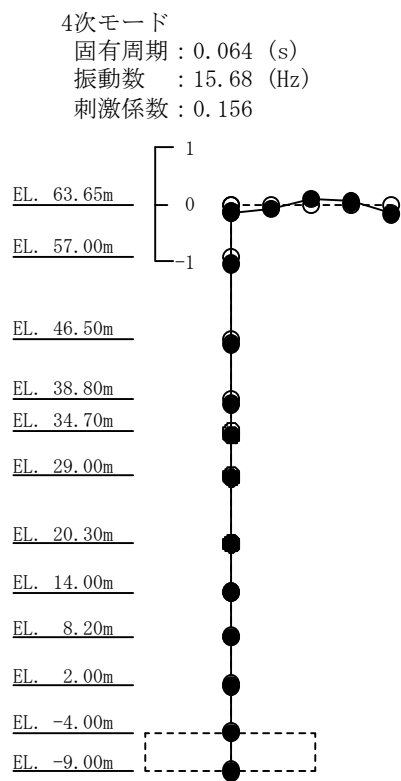
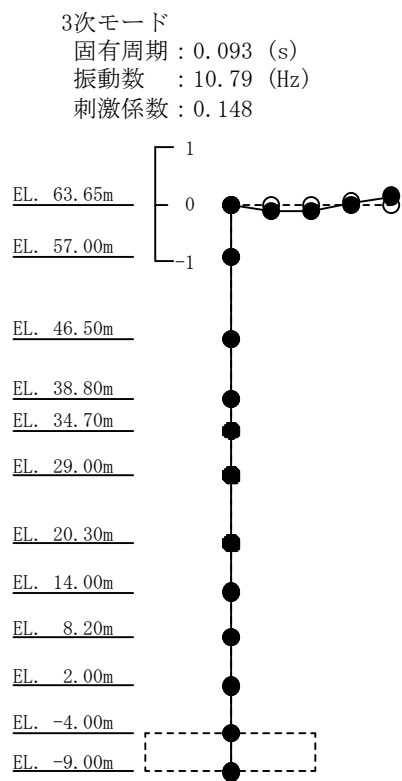
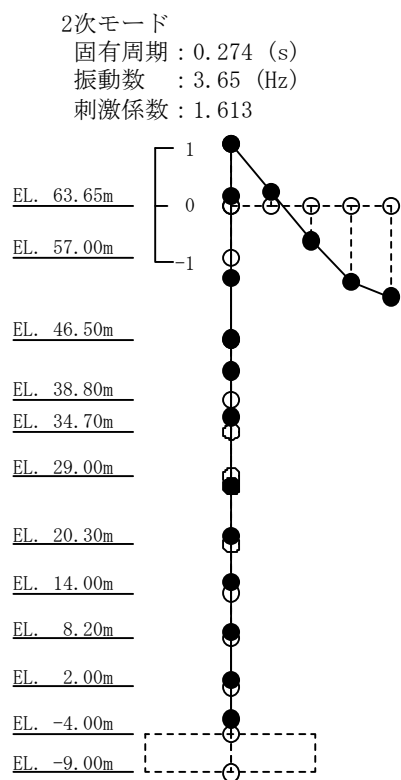
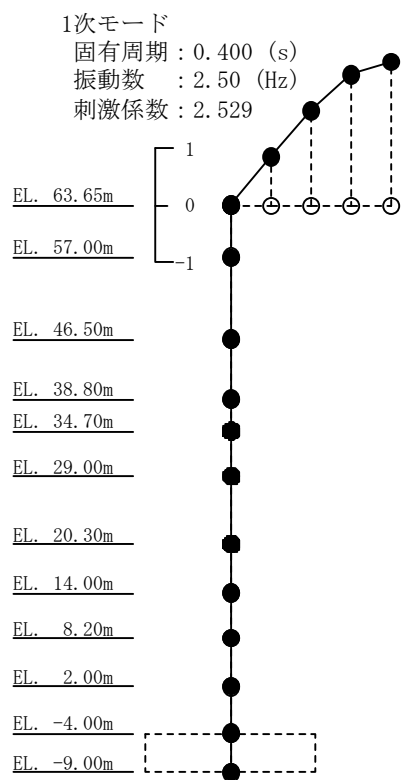


図 3-3 (3/3) 刺激関数図 (S_s-D 1, UD 方向, 剛性低下考慮モデル)

(2) 最大応答値及び最大接地圧

基準地震動 S_s-D1 による最大応答値を図 3-4～図 3-16 に、最大接地圧を表 3-10 に示す。「剛性低下考慮モデル」の最大応答値及び最大接地圧は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

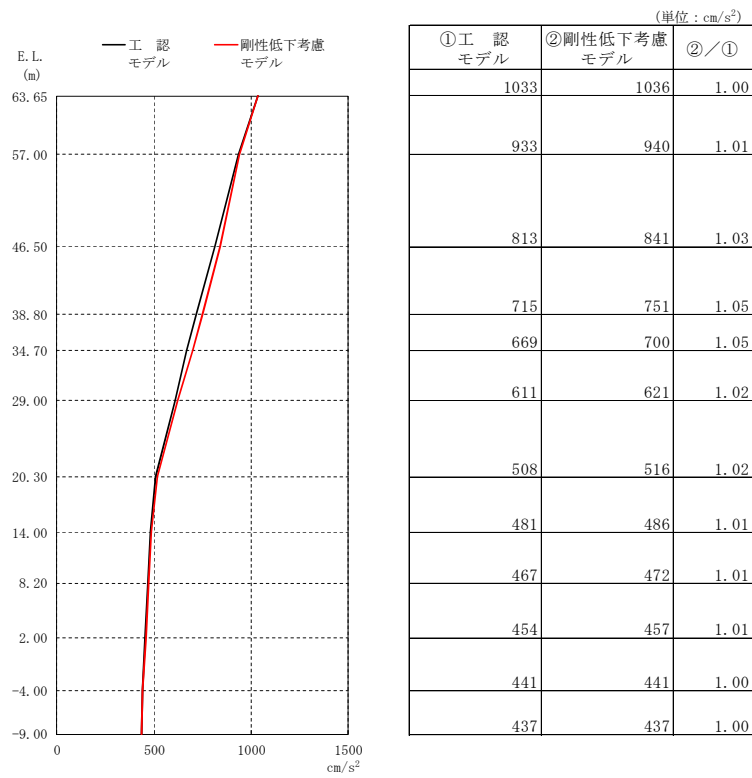


図 3-4 最大応答加速度 (S_s-D 1, NS 方向)

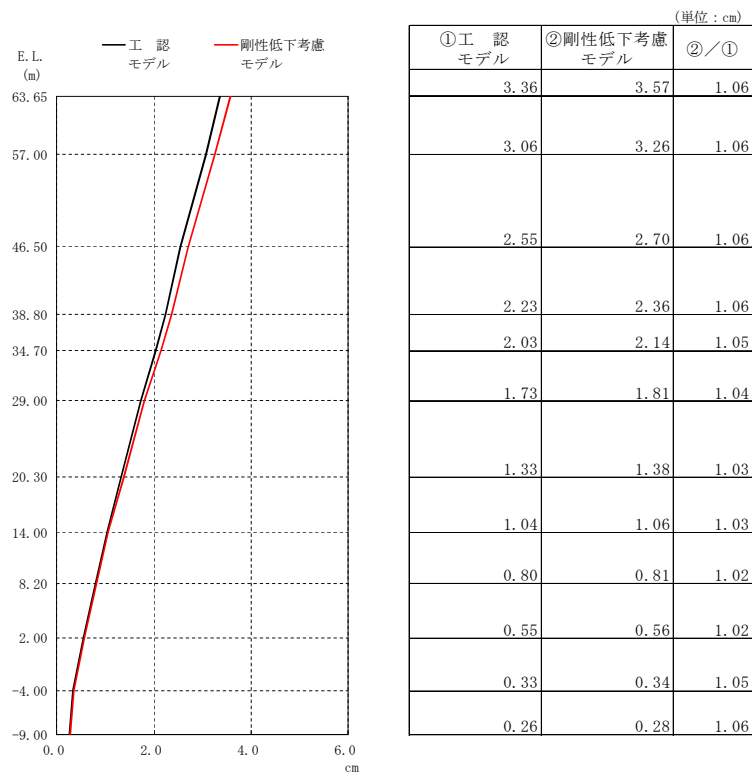


図 3-5 最大応答変位 (S_s-D 1, NS 方向)

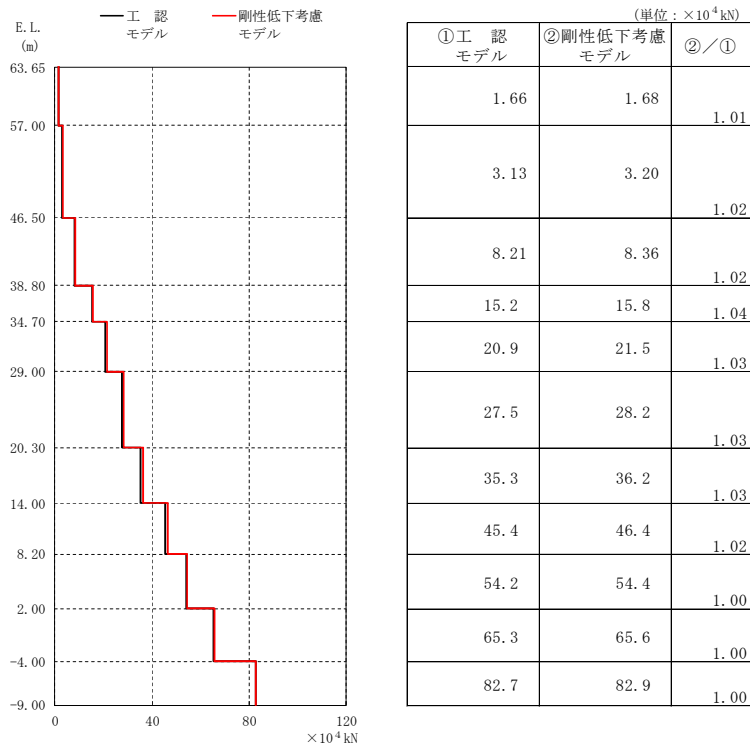


図 3-6 最大応答せん断力 ($S_s - D 1$, NS 方向)

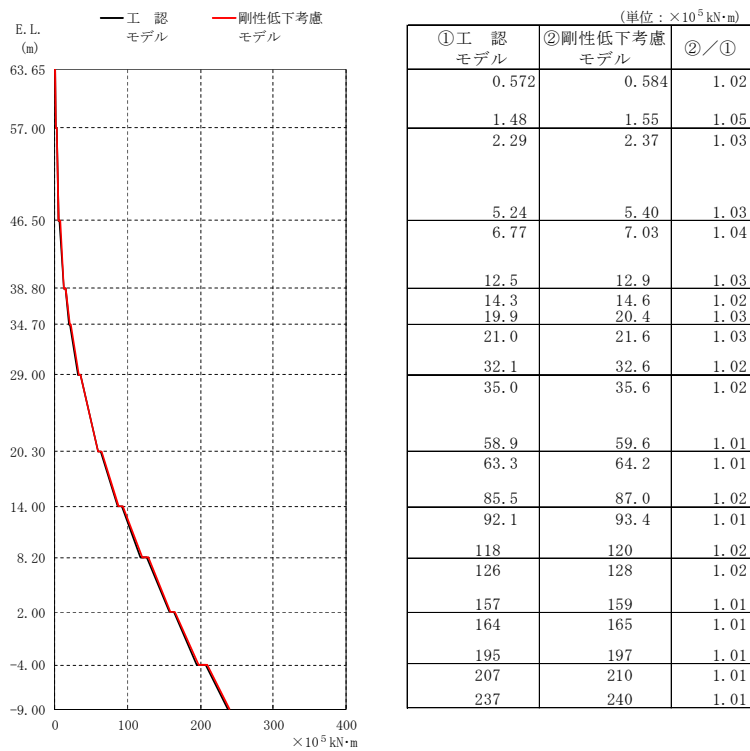


図 3-7 最大応答曲げモーメント ($S_s - D 1$, NS 方向)

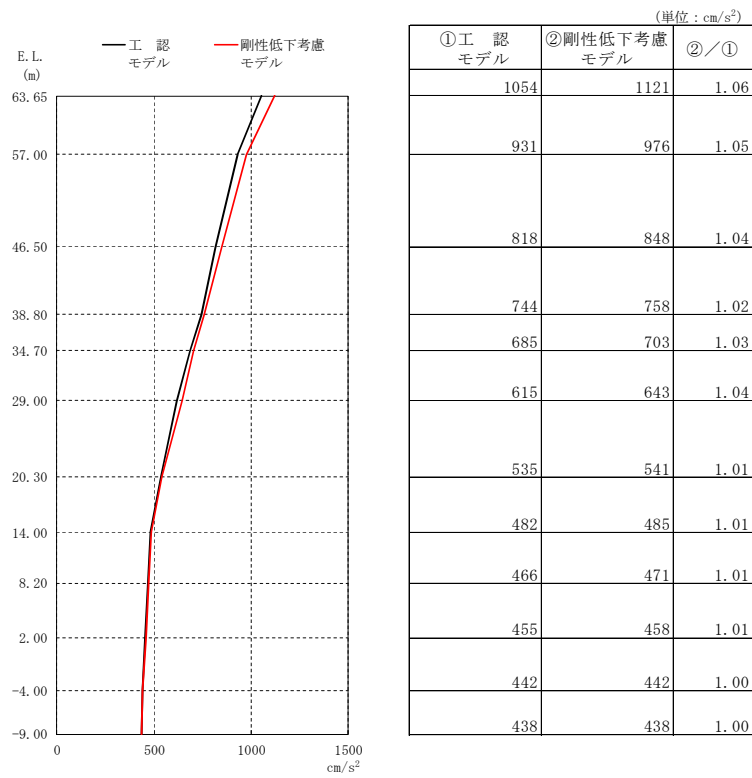


図 3-8 最大応答加速度 (S_s-D 1, EW 方向)

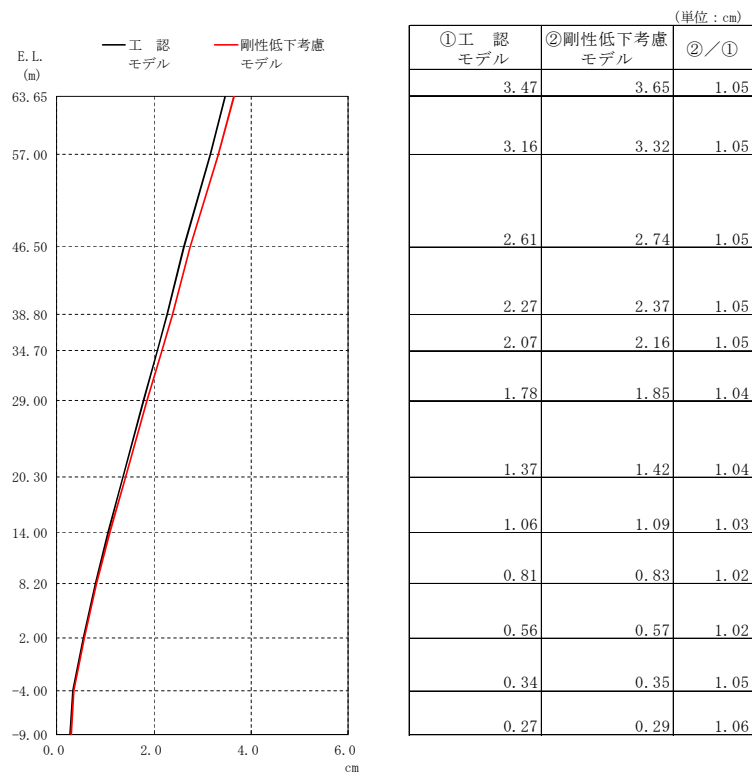


図 3-9 最大応答変位 (S_s-D 1, EW 方向)

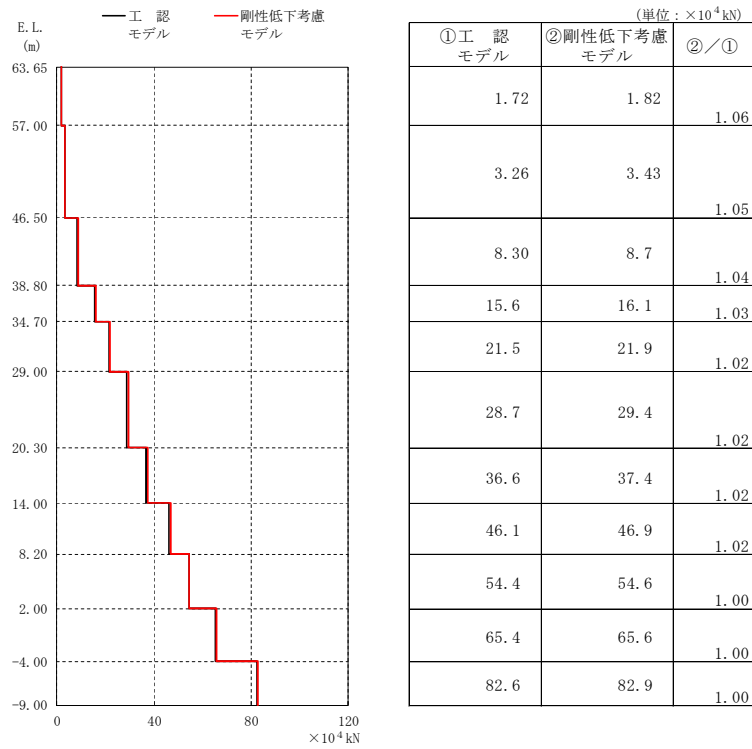


図 3-10 最大応答せん断力 ($S_s - D 1$, EW 方向)

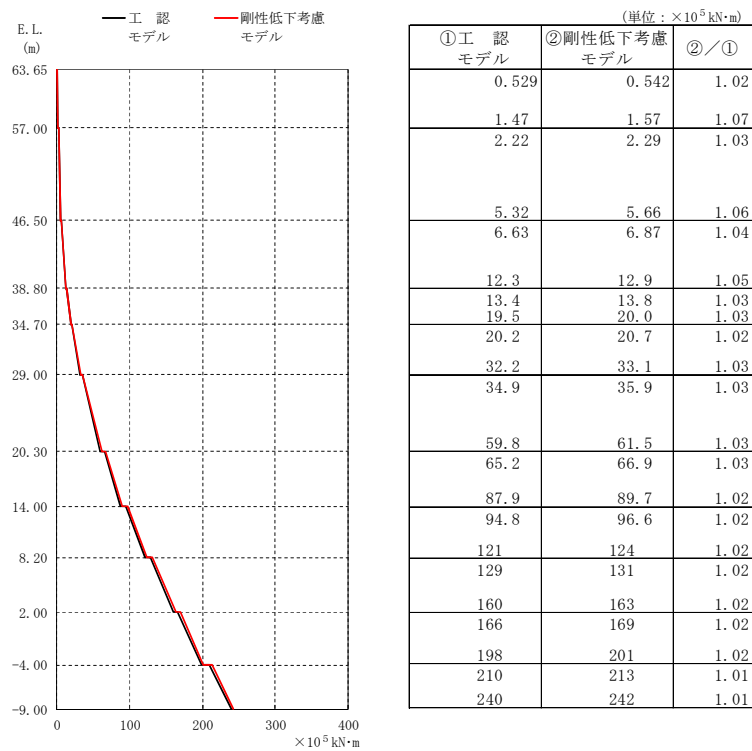
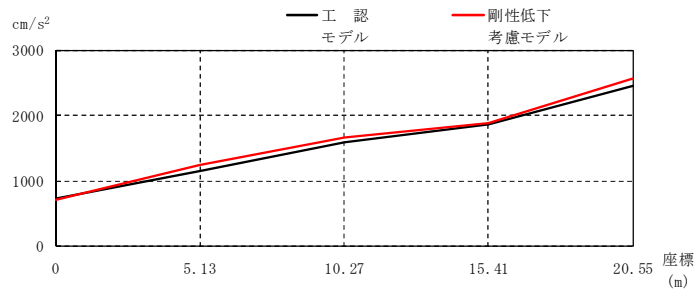


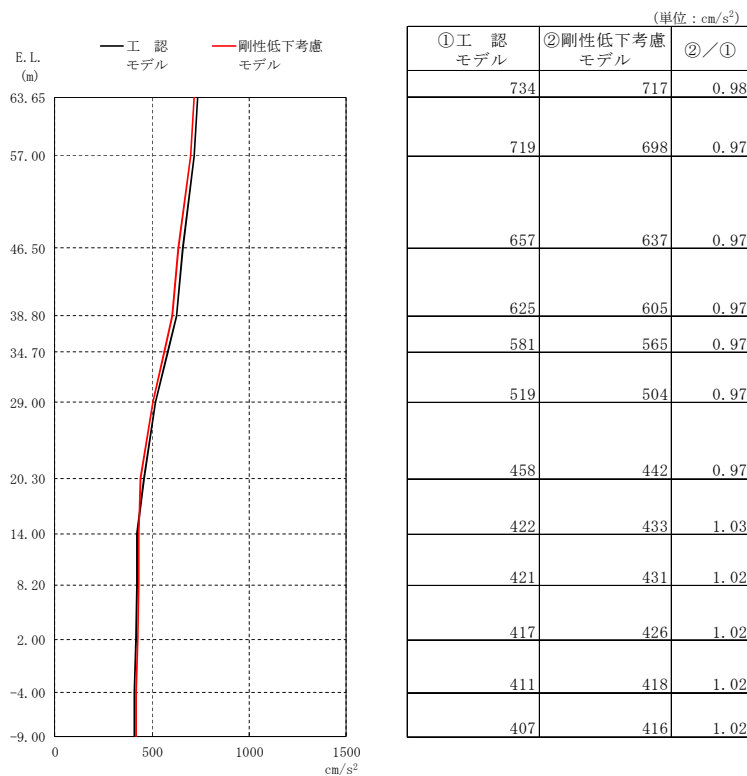
図 3-11 最大応答曲げモーメント ($S_s - D 1$, EW 方向)



(単位: cm/s^2)

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

(a) 屋根トラス部

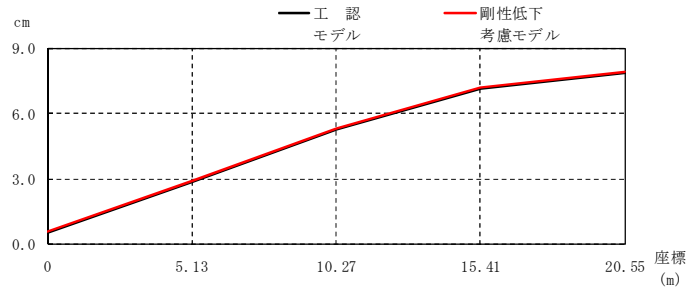


(単位: cm/s^2)

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

(b) 外壁及びシェル壁

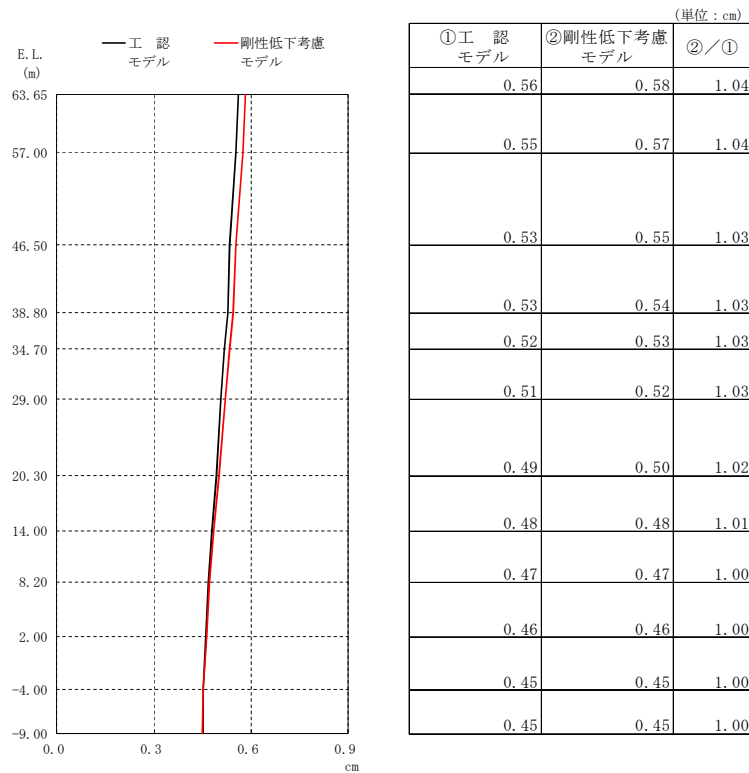
図3-12 最大応答加速度 ($S_s - D1$, UD方向)



(単位：cm)

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

(a) 屋根トラス部

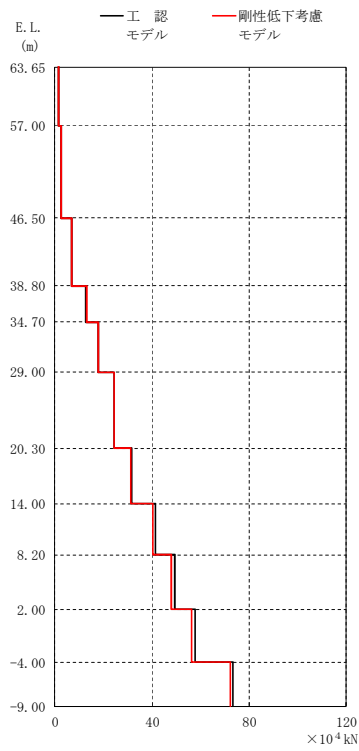


(単位：cm)

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

(b) 外壁及びシェル壁

図 3-13 最大応答変位 ($S_s - D 1$, UD 方向)

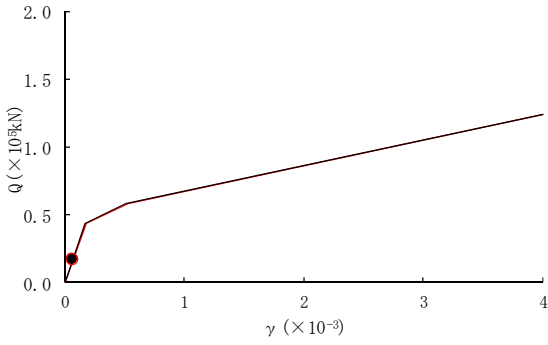


(単位: $\times 10^4$ kN)

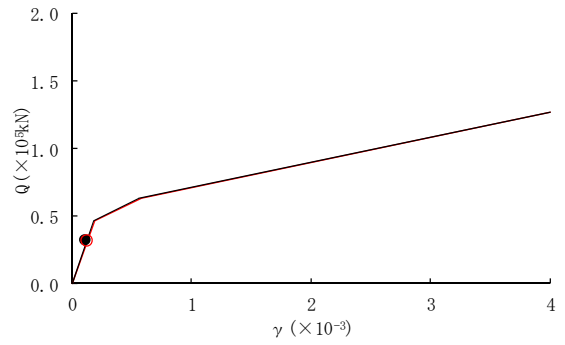
①工認モデル	②剛性低下考慮モデル	②/①
1.39	1.43	1.03
2.49	2.60	1.04
6.82	6.99	1.02
12.8	13.0	1.02
17.7	17.9	1.01
24.2	24.3	1.00
31.7	31.3	0.99
41.5	40.2	0.97
49.4	48.1	0.97
57.6	56.4	0.98
73.3	72.4	0.99

図 3-14 最大応答軸力 ($S_s - D 1$, UD 方向)

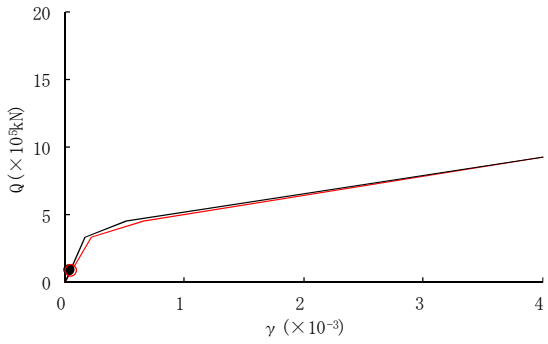
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



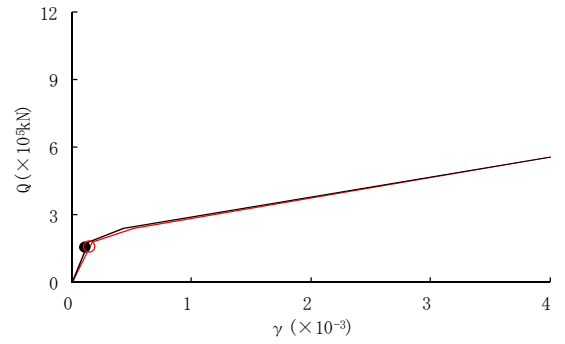
要素番号 (1)



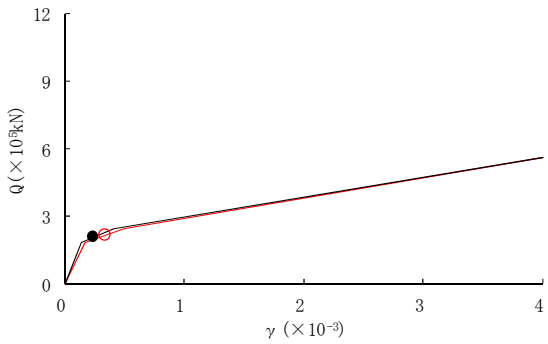
要素番号 (2)



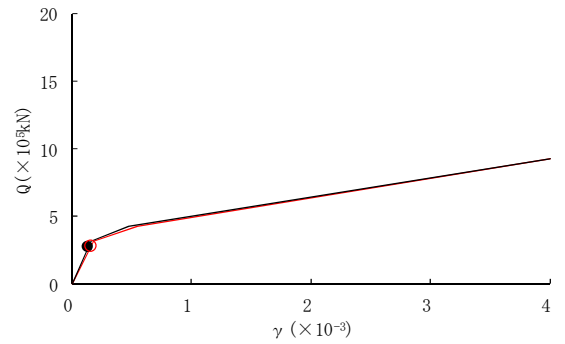
要素番号 (3)



要素番号 (4)

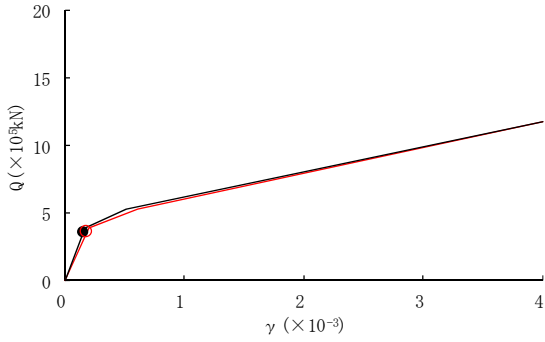
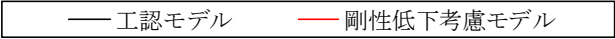


要素番号 (5)

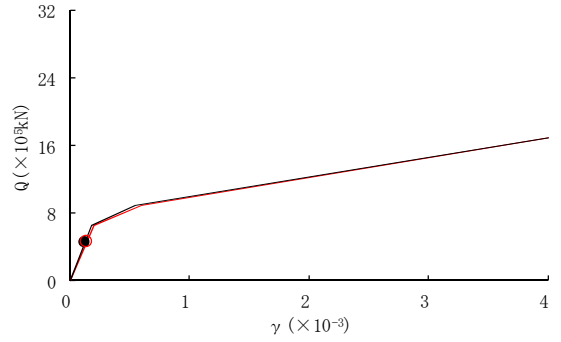


要素番号 (6)

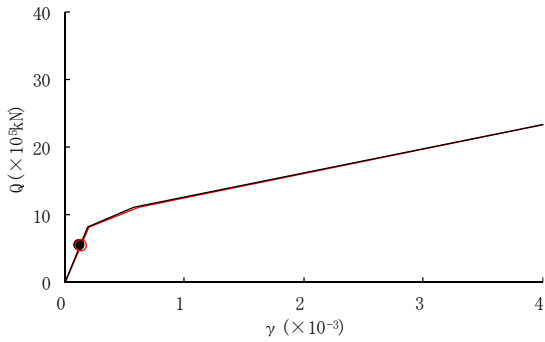
図3-15 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, NS方向)



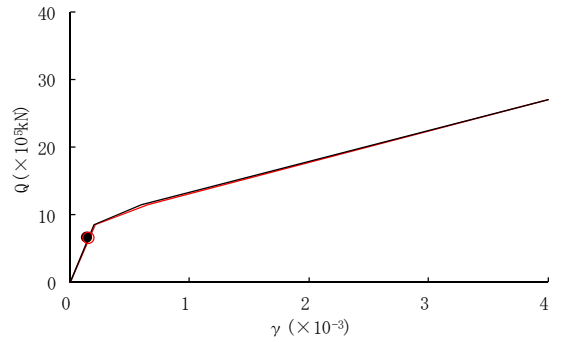
要素番号 (7)



要素番号 (8)



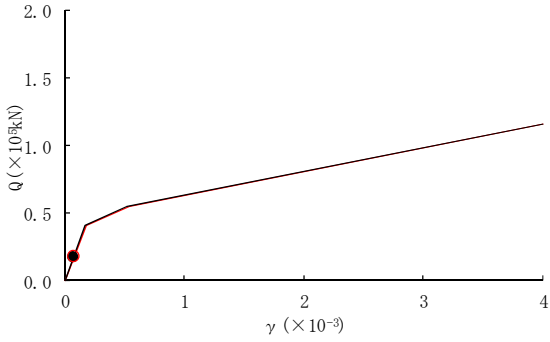
要素番号 (9)



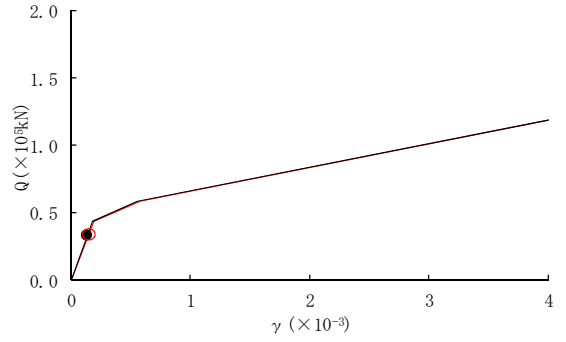
要素番号 (10)

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

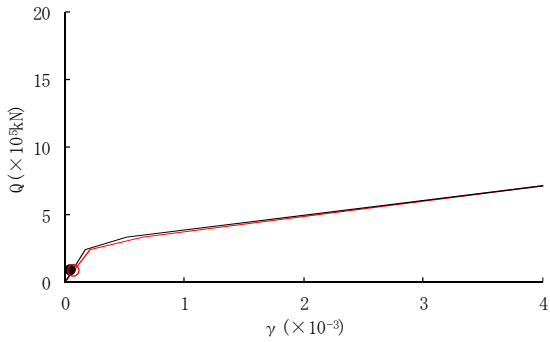
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



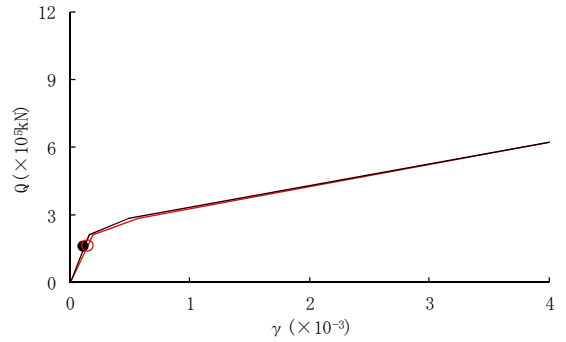
要素番号 (1)



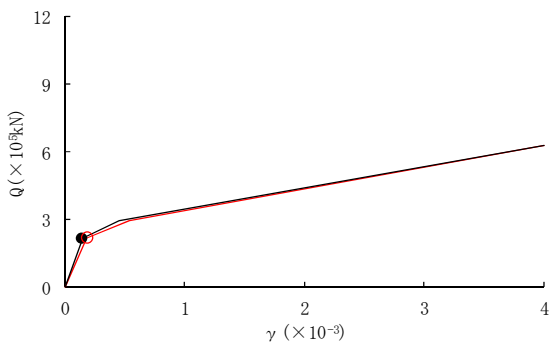
要素番号 (2)



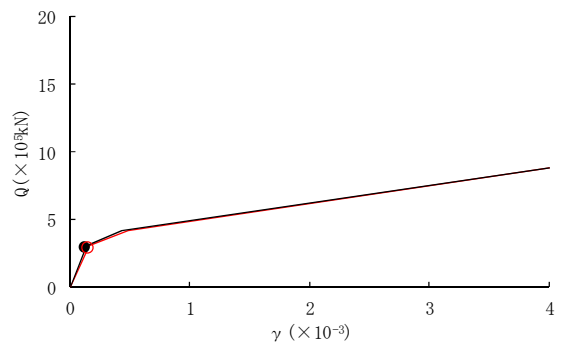
要素番号 (3)



要素番号 (4)

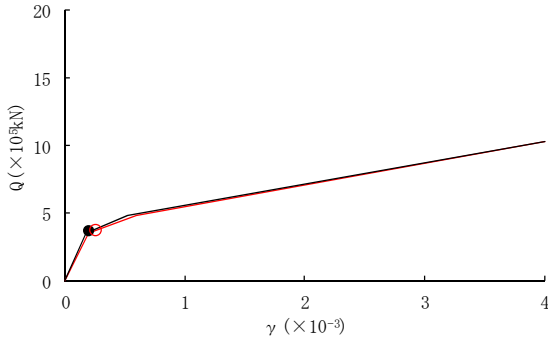
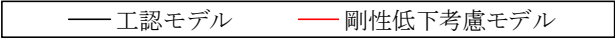


要素番号 (5)

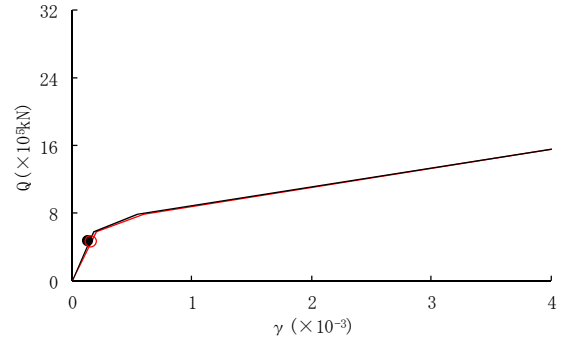


要素番号 (6)

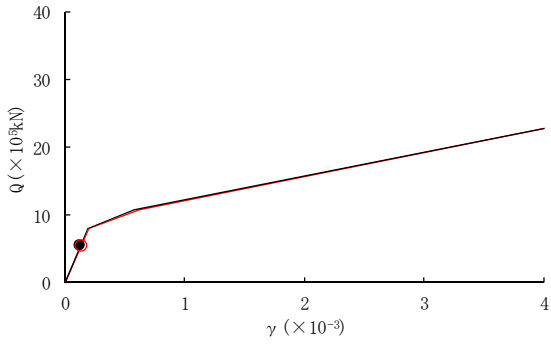
図3-16 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1 , EW 方向)



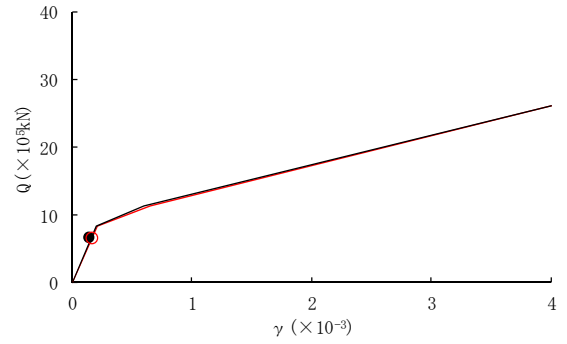
要素番号 (7)



要素番号 (8)



要素番号 (9)



要素番号 (10)

図 3-16 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 ($S_s - D1$, EW 方向)

表 3-10 最大接地圧

(単位：kN/m²)

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

3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

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

3.3.1 検討方法

検討は、以下の通り、保守的な評価とする。

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

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

3.3.2 検討結果

(1) せん断ひずみの検討結果

最大せん断ひずみの検討における原子炉建屋の応答比及び応答比を乗じた最大せん断ひずみを表3-11に示す。

表3-11より、最大せん断ひずみに応答比を乗じた値の最大値が許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表3-11 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値

(a) NS方向

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

(b) EW方向

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

(2) 接地圧の検討結果

資料V-2-9-1-13「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に記載の地震時の最大接地圧に、最大応答比を乗じた値を表3-12に示す。

表3-12より、地震時の最大接地圧に、最大応答比を乗じた値が、地盤の極限支持力度(5360 kN/m²)を超えないことを確認した。

表 3-12 地震時の最大接地圧に最大応答比を乗じた値

資料V-2-9-1-13 「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」 に記載の結果			基準地震動S _s -D1に対する応答比 (「剛性低下考慮モデル」/「今回工認モデル」)	確認結果 ①×②
地震動	方向	最大接地圧 ①	最大応答比②	
S _s -31	EW方向	1087 kN/m ²	1.01	1098 kN/m ²

4. 機器・配管系の評価に与える影響

追而

5. まとめ

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

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

(a) 「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響

資料V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」及び資料V-2-9-1-13「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に記載の、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみ及び最大接地圧（地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動 $S_{s-D1} \sim S_{s-31}$ に対する包絡値）に、基準地震動 S_{s-D1} に対する「剛性低下考慮モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「今回工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。

(b) 「機器・配管系の評価」に与える影響

追而

以上の結果より、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」、資料V-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」及び資料V-2-9-1-13「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の妥当性を確認した。