

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-400-5 改1
提出年月日	平成30年4月17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-400-5 【地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブ の設定】

平成30年4月

日本原子力発電株式会社

目 次

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

1. 概要

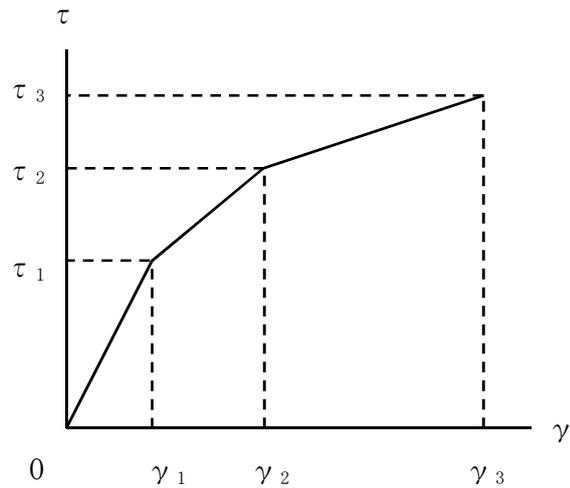
東海第二発電所の原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，緊急時対策所建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽については，鉄筋コンクリート造の耐震壁を主体とした構造物である。このため，これらの建物・構築物の地震応答解析においては，鉄筋コンクリート造耐震壁（以下「RC造耐震壁」という。）の非線形特性を考慮している。本資料は，これらの耐震壁のせん断スケルトンカーブの設定について説明するものである。

また，本資料は，以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・資料V-2-2-2 「原子炉建屋の地震応答計算書」
- ・資料V-2-2-4 「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」
- ・資料V-2-2-10 「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」
- ・資料V-2-2-17 「格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」

2. 耐震壁の非線形特性の設定について

RC造耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」という。）に基づき、トリリニア型スケルトンカーブとする。せん断応力度－せん断ひずみ関係を図 2-1 に示す。



τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度

τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度

τ_3 : 終局点のせん断応力度

γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ

γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ

γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 2-1 せん断応力度－せん断ひずみ関係

2.1 第1折点の設定

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

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

$$\gamma_1 = \tau_1 / G$$

ここで、

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

G : コンクリートのせん断弾性係数 (kgf/cm²)

σ_v : 縦軸応力度 (kgf/cm²) (圧縮を正とする。)

2.2 第2折点の設定

RC造耐震壁におけるせん断スケルトンカーブの第2折点は、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、以下の式より算出している。

$$\tau_2 = 1.35 \tau_1$$

$$\gamma_2 = 3\gamma_1$$

2.3 終局点の設定

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

$\tau_s \leq 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

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

$\tau_s > 4.5\sqrt{F_c}$ の場合

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

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

ここで、

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

ただし、 $M/QD > 1$ のとき $M/QD = 1$

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

ここで、

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)

P_V, P_H : 縦, 横筋比 (実数)

σ_V, σ_H : 縦, 横軸応力度 (kgf/cm^2) (圧縮を正とする。)

$s \sigma_y$: 鉄筋降伏応力度 (kgf/cm^2)

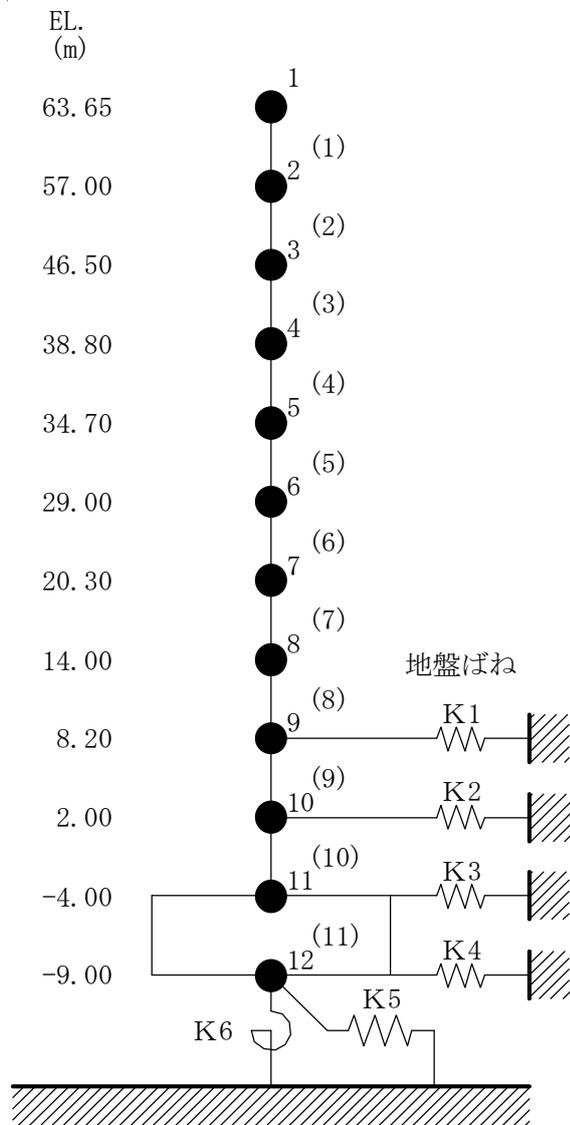
M/QD : シアスパン比

3. 各建物・構築物のせん断スケルトンカーブの設定について

3.1 原子炉建屋

3.1.1 水平方向モデル

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



注：数字は質点番号を示す。

注：() 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-1 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

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

3.1.2 使用材料の物性値

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

表 3-2 使用材料の物性値 (コンクリート)

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

表 3-3 使用材料の物性値 (鉄筋)

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

注 : 建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが、現在の規格 (SD345) に読み替えた降伏応力度を示す。

3.1.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

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

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

(a) NS 方向

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

注記 *1 : 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

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

(b) EW 方向

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

注記 *1: 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

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

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

(a) NS方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

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

(b) EW 方向

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

注記 *1 : $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2 : $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比M/QDは、安全側に1を用いている。また、 σ_H は安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-6に示す。また、原子炉建屋のEL. -4.0 m~EL. 2.0 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-2に示す。

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

部材 番号	P_V	P_H	縦軸応力度 σ_V (N/mm ²)	M/QD	τ_3 (N/mm ²)	γ_3
(1)	0.00957	0.00957	0.30	1.0	4.54	4.0×10^{-3}
(2)	0.00957	0.00957	0.54	1.0	4.63	4.0×10^{-3}
(3)	0.00950	0.00858	0.30	1.0	4.38	4.0×10^{-3}
(4)	0.01480	0.01107	0.81	1.0	4.17	4.0×10^{-3}
(5)	0.01480	0.01107	0.94	1.0	3.91	4.0×10^{-3}
(6)	0.01306	0.01052	0.89	1.0	4.26	4.0×10^{-3}
(7)	0.01468	0.01404	1.22	1.0	4.87	4.0×10^{-3}
(8)	0.01053	0.00901	1.10	1.0	4.27	4.0×10^{-3}
(9)	0.01240	0.01136	1.11	1.0	5.02	4.0×10^{-3}
(10)	0.01697	0.01372	1.35	1.0	5.84	4.0×10^{-3}

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

(b) EW 方向

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



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

注：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

(例：W180 なら 180 cm)

図 3-2 原子炉建屋の耐震壁の配筋図 (EL. -4.0 m~EL. 2.0 m)

3.2 使用済燃料乾式貯蔵建屋

3.2.1 水平方向モデル

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

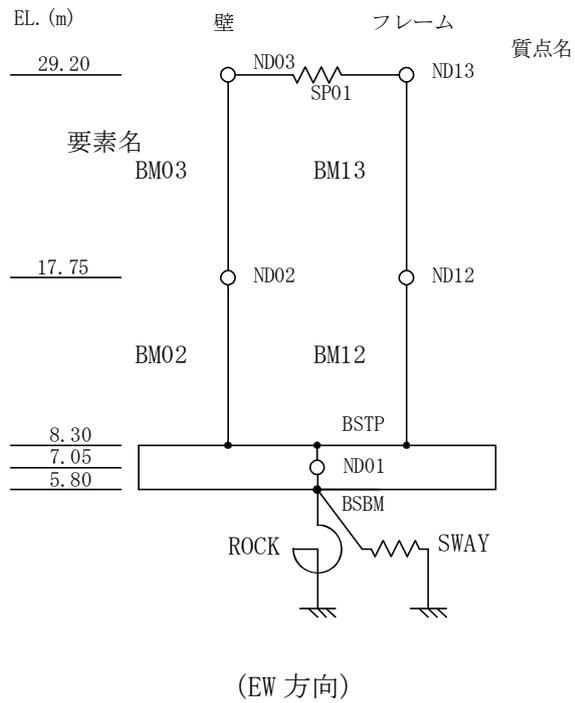
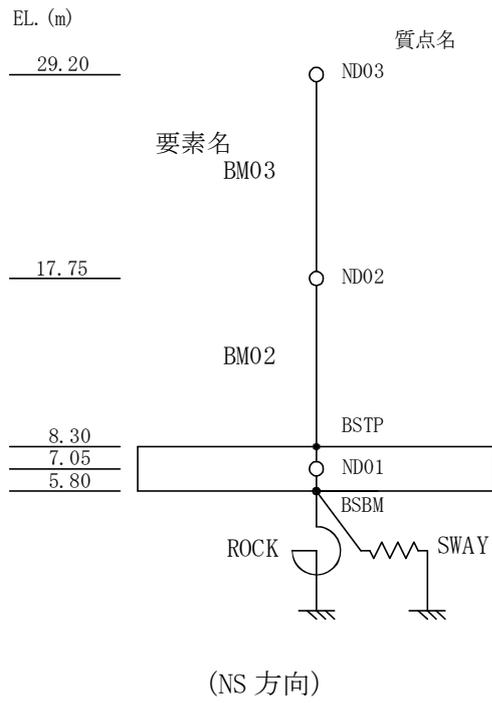


図 3-3 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-7 (1/2) 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

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

表 3-7 (2/2) 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向)

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

屋根スラブせん断ばね

$$SP01 = 8.38 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

3.2.2 使用材料の物性値

地震応答解析に用いる使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用材料の物性値を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 使用材料の物性値 (コンクリート)

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

表 3-9 使用材料の物性値 (鉄筋)

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

3.2.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

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

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

(a) NS方向

要素番号	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	当該部分が支える重量 (kN)	断面積 (m ²)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm ²)	τ_1 (N/mm ²)	γ_1
BM03	23.5	9.38×10^3	36280	48.4	0.75	1.86	0.198×10^{-3}
BM02	23.5	9.38×10^3	68550	63.0	1.09	2.01	0.214×10^{-3}

注記 *1: 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

(b) EW方向

要素番号	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	当該部分が支える重量 (kN)	断面積 (m ²)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm ²)	τ_1 (N/mm ²)	γ_1
BM03	23.5	9.38×10^3	13800	23.4	0.59	1.79	0.191×10^{-3}
BM02	23.5	9.38×10^3	24120	33.8	0.71	1.84	0.197×10^{-3}

注記 *1: 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

(2) 第2折点

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

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

(a) NS方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) EW方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比M/QDを評価するためのM及びQは、建設工認時のS₂地震時の最大応答値を用いている。σ_Hは安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-12に示す。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋のEL. 8.3 m~EL. 17.75 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-4に示す。

表3-12 せん断スケルトンカーブ (τ-γ関係, 終局点)

(a) NS方向

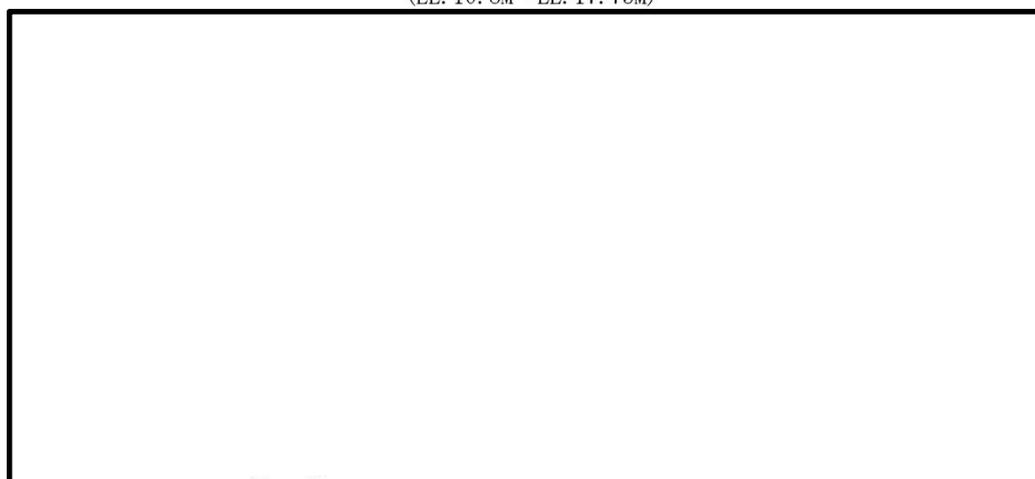
部材 番号	P _V	P _H	縦軸応力度 σ _V (N/mm ²)	M/QD	τ ₃ (N/mm ²)	γ ₃
BM03	0.009013	0.009013	0.75	0.213	5.61	4.0×10 ⁻³
BM02	0.008293	0.008681	1.09	0.909	5.20	4.0×10 ⁻³

(b) EW方向

部材 番号	P _V	P _H	縦軸応力度 σ _V (N/mm ²)	M/QD	τ ₃ (N/mm ²)	γ ₃
BM03	0.006880	0.006880	0.59	0.440	4.88	4.0×10 ⁻³
BM02	0.007949	0.007949	0.71	0.664	4.82	4.0×10 ⁻³



中間床伏図 (1)
(EL. 10. 8M~EL. 17. 75M)



1 階 伏 図
(EL. 8. 3M)

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

注：記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

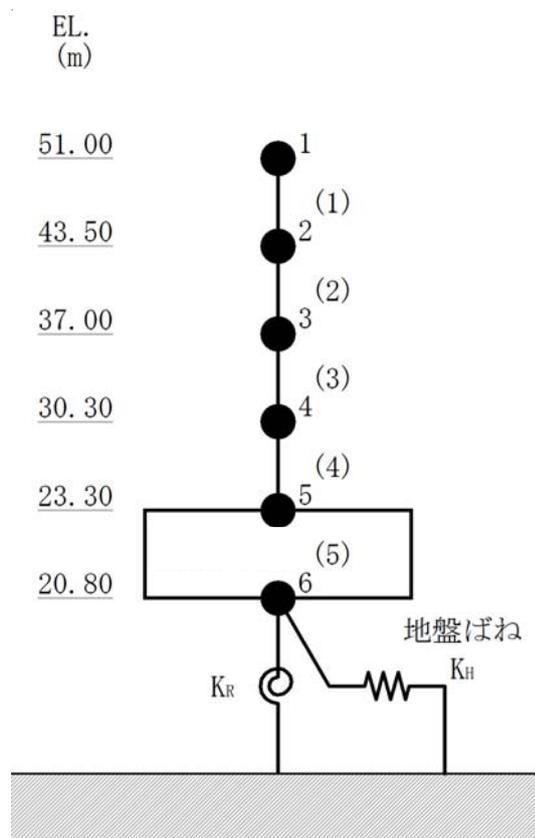
(例：W45A なら 45cm)

図 3-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震壁の配筋図 (EL. 8. 3 m~EL. 17. 75 m)

3.3 緊急時対策所建屋

3.3.1 水平方向モデル

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



注 : 数字は質点番号を示す。
 注 : () 内は要素番号を示す。

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-13 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

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

3.3.2 使用材料の物性値

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

表 3-14 使用材料の物性値 (コンクリート)

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

表 3-15 使用材料の物性値 (鉄筋)

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

3.3.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

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

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

(a) NS 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	30.0	1.02×10^4	16360	96.3	0.170	1.80	0.177×10^{-3}
(2)	30.0	1.02×10^4	62800	236.6	0.265	1.84	0.181×10^{-3}
(3)	30.0	1.02×10^4	121550	221.3	0.549	1.96	0.193×10^{-3}
(4)	30.0	1.02×10^4	191000	233.3	0.819	2.08	0.205×10^{-3}

注記 *1: 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

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

(b) EW 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	30.0	1.02×10^4	14640	86.0	0.170	1.80	0.177×10^{-3}
(2)	30.0	1.02×10^4	50780	211.2	0.240	1.83	0.179×10^{-3}
(3)	30.0	1.02×10^4	101770	194.5	0.523	1.96	0.192×10^{-3}
(4)	30.0	1.02×10^4	156770	192.4	0.815	2.08	0.204×10^{-3}

注記 *1: 縦軸応力度 $\sigma_v =$ 当該部分が支える重量/断面積

(2) 第2折点

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

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

(a) NS方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(b) EW方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比M/QDは、安全側に1を用いている。また、 σ_H は安全側に0.0としている。

RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-18に示す。また、緊急時対策所建屋のEL.23.3m~EL.30.3mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-6に示す。

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

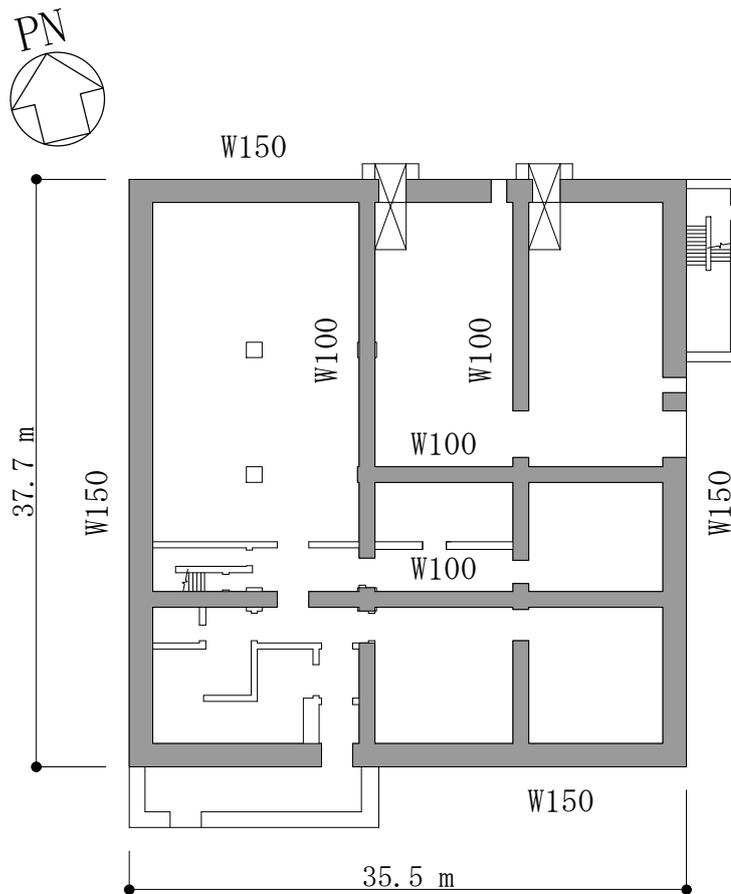
(a) NS方向

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

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

(b) EW方向

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



1階伏図 (EL. 23.3 m)

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

注 : 記号に含まれる数値は壁厚 (cm) を表す。

(例 : W150 なら 150 cm)

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

3.4 格納容器圧力逃がし装置格納槽

3.4.1 水平方向モデル

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

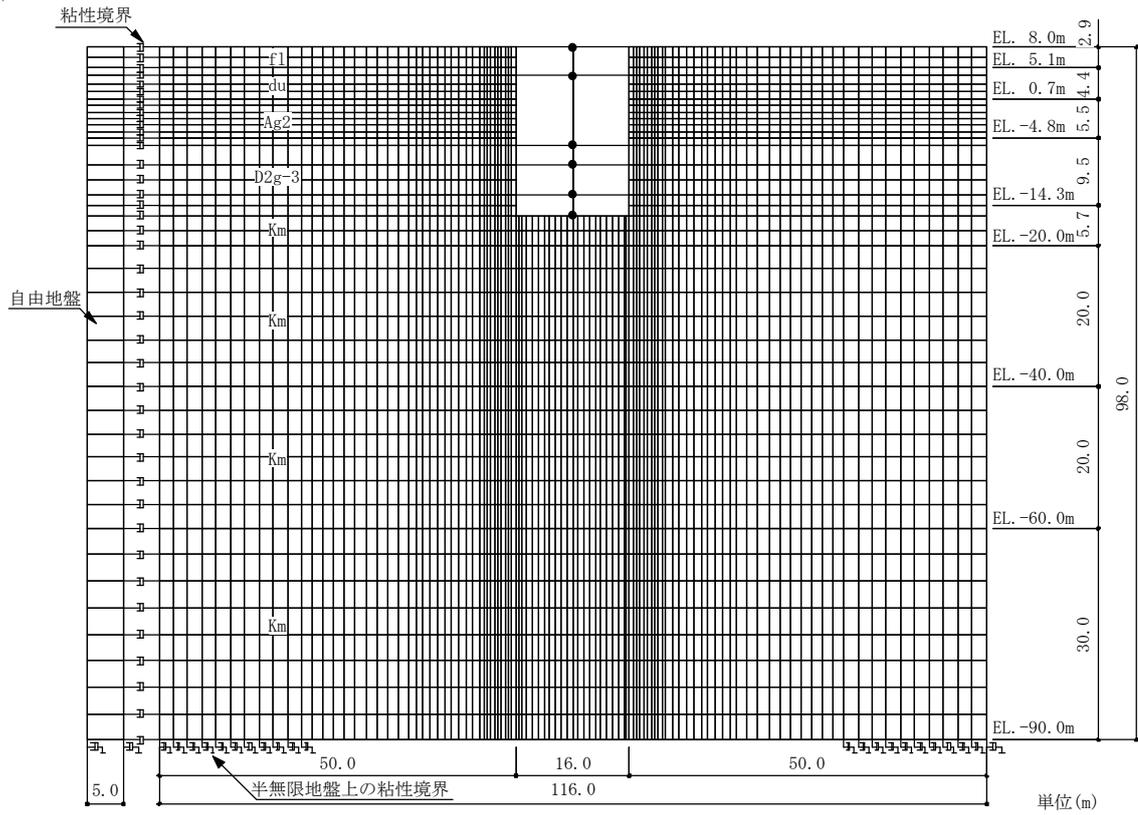


図 3-7 地震応答解析モデル (NS 方向全体)

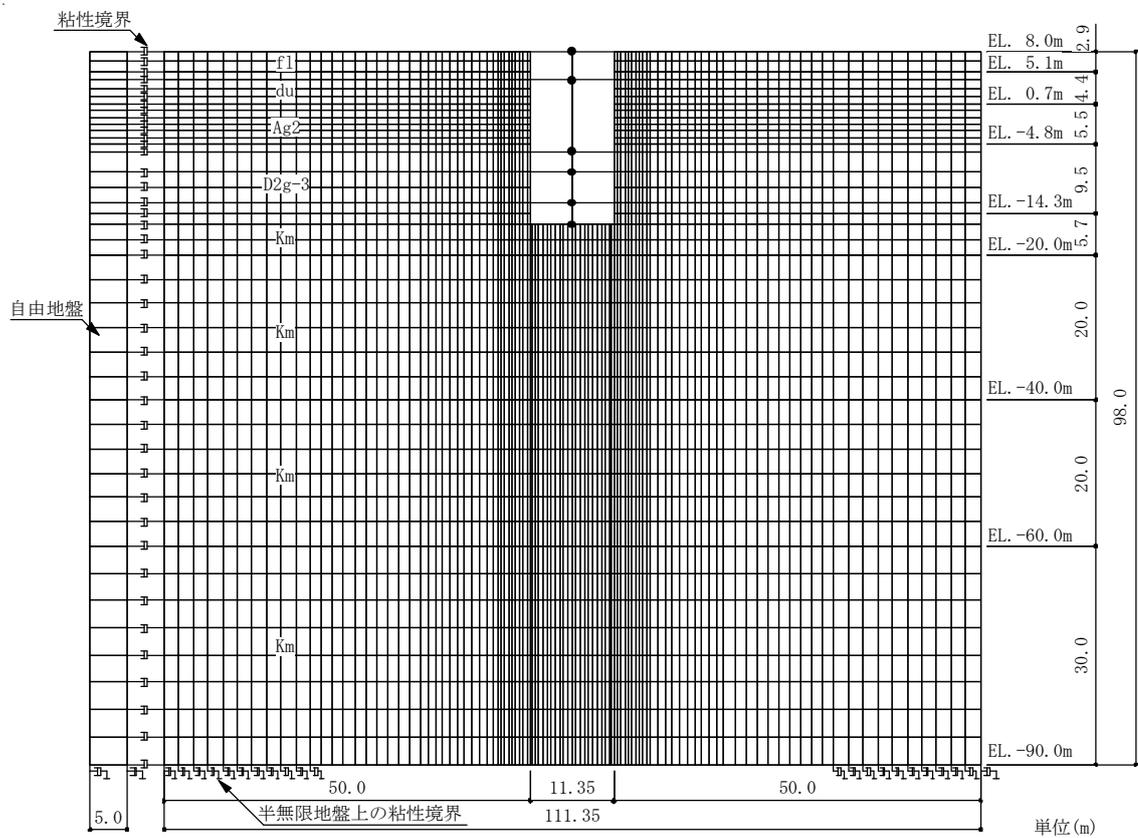
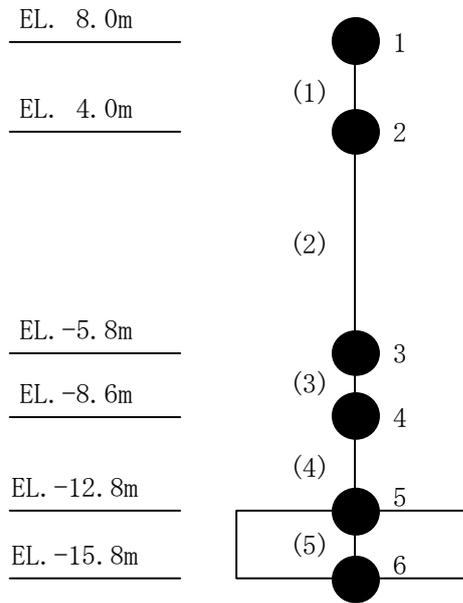


図 3-7 地震応答解析モデル (EW 方向全体)

要素番号 質点番号



注：数字は質点番号を示す。

注：（ ）内は要素番号を示す。

図 3-8 地震応答解析モデル（水平方向）

表 3-19 地震応答解析モデル諸元（水平方向）

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

3.4.2 使用材料の物性値

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

表 3-20 使用材料の物性値 (コンクリート)

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

表 3-21 使用材料の物性値 (鉄筋)

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

3.4.3 RC造耐震壁のせん断スケルトンカーブの諸数値

(1) 第1折点

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

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

(a) NS 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	30	1.02×10^4	1490	20.4	0.07	1.75	0.172×10^{-3}
(2)	30	1.02×10^4	24560	95.6	0.26	1.84	0.181×10^{-3}
(3)	30	1.02×10^4	40740	95.6	0.43	1.92	0.188×10^{-3}
(4)	30	1.02×10^4	49230	92.3	0.53	1.96	0.193×10^{-3}

注記 *1 : 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

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

(b) EW 方向

要素 番号	設計基準 強度 F_c (N/mm^2)	せん断弾性 係数 G (N/mm^2)	当該部分が 支える重量 (kN)	断面積 (m^2)	縦軸応力度 σ_v^{*1} (N/mm^2)	τ_1 (N/mm^2)	γ_1
(1)	30	1.02×10^4	1490	20.4	0.07	1.75	0.172×10^{-3}
(2)	30	1.02×10^4	24560	95.6	0.26	1.84	0.180×10^{-3}
(3)	30	1.02×10^4	40740	95.6	0.43	1.91	0.188×10^{-3}
(4)	30	1.02×10^4	49230	92.3	0.53	1.96	0.192×10^{-3}

注記 *1 縦軸応力度 σ_v = 当該部分が支える重量 / 断面積

(2) 第2折点

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

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

(a) NS方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

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

(b) EW方向

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

注記 *1: $\tau_2 = 1.35 \tau_1$

*2: $\gamma_2 = 3 \gamma_1$

(3) 終局点

RC造耐震壁の終局点は、「2.3 終局点の設定」に基づき、各層の終局せん断応力度を算出する。シアスパン比M/QDは、安全側に1を用いている。また、 σ_H は安全側に0.0としている。

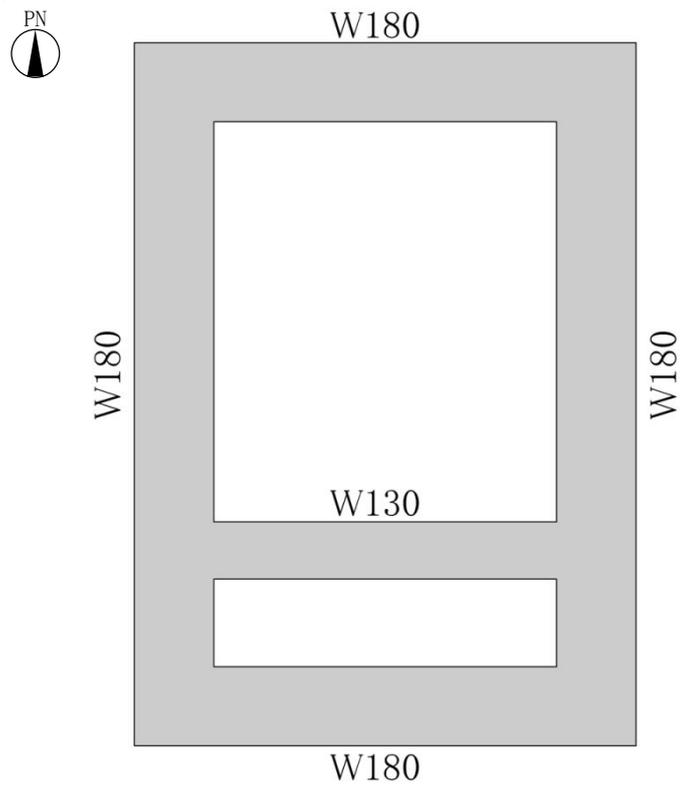
RC造耐震壁の各要素におけるせん断スケルトンカーブの終局点の設定根拠を表3-24に示す。また、格納容器圧力逃がし装置格納槽のEL. -8.6 m~EL. 2.2 mについて、各耐震壁の配筋を示したものを図3-9に示す。

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

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

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

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



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

注：記号に含まれる数値は壁厚（cm）を表す。

（例：W180 なら 180 cm）

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

4. まとめ

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

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

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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

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

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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

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

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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

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

(a) NS 方向

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

(b) EW 方向

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