

VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針

目 次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
3. 地盤の解析用物性値.....	3
3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値.....	3
3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値.....	14
3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値.....	14
3.2.2 その他の解析用物性値.....	15
3.3 耐震評価における地下水位設定方針.....	19
4. 極限支持力.....	20
4.1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力.....	20
4.2 直接基礎の支持力算定式.....	27
4.3 杭基礎の支持力算定式.....	28
5. 地質断面図.....	29
6. 地盤の速度構造.....	33
6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル.....	33
7. 地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性.....	36
7.1 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性.....	36
7.2 地盤の液状化強度特性における保守性.....	39

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、設計基準対象施設並びに常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）（以下「常設重大事故等対処施設」という。）の耐震安全性評価を実施するに当たり、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の地盤物性値の設定及び支持性能評価で用いる地盤諸元の基本的な考え方を示したものである。

2. 基本方針

設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設において、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の解析用物性値については、各種試験に基づき設定する。また、全応力解析及び有効応力解析等に用いる解析用物性値をそれぞれ設定する。全応力解析に用いる解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した値を用いることを基本とする。有効応力解析に用いる解析用物性値は、設計及び工事の計画の認可申請において設定する。

対象施設を設置する地盤の地震時における支持性能評価については、設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の耐震重要度分類又は施設区分に応じた地震力により地盤に作用する接地圧が地盤の極限支持力に基づく評価基準値以下であることを確認する。

極限支持力は、対象施設の支持岩盤の支持力試験又は道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会、平成 14 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）の支持力算定式に基づいた、室内試験結果（せん断強度）等により設定する。

杭基礎の押し込み力に対する支持力評価において、液状化検討対象層である盛土及び旧表土の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭周面地盤に非液状化検討対象層である、改良地盤、セメント改良土及び岩盤がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

杭基礎の引抜き力に対する支持力評価において、液状化検討対象層である盛土及び旧表土の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない。ただし、杭周面地盤に非液状化検討対象層である、改良地盤、セメント改良土及び岩盤がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

3. 地盤の解析用物性値

3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値

全応力解析に用いる解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を表 3-1～表 3-3 及び図 3-1～図 3-6 に、設定根拠を表 3-4～表 3-6 に示す。設置変更許可申請書に記載された解析用物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

表 3-1(1) 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値(狐崎部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
B級	砂岩	26.4	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.25	表3-1(2)参照	0.03	
	頁岩	26.9	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.28		0.03	
	ひん岩	28.7	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.31		0.03	
C _H 級	砂岩	26.2	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.24		0.03	
	頁岩	26.6	1.58	46.0	$1.36 \sigma^{0.62}$	2,160	0.25		0.03	
	ひん岩	28.0	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.29		0.03	
C _M 級	砂岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26		0.03	
	頁岩	25.8	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.20		0.03	
	ひん岩	25.2	0.49	47.0	$1.16 \sigma^{0.62}$	980	0.26		0.03	
C _L 級	砂岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31		0.03	
	頁岩	24.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	400	0.31		0.03	
	ひん岩	24.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	400	0.31		0.03	
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

表 3-1(2) 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値(狐崎部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.2×10^3	0.36
		第5速度層	16.5×10^3	0.35
	頁岩	第2速度層	1.6×10^3	0.44
		第3速度層	6.0×10^3	0.40
		第4速度層	13.5×10^3	0.36
		第5速度層	16.7×10^3	0.35
	ひん岩	第3速度層	6.4×10^3	0.40
		第4速度層	14.2×10^3	0.36
		第5速度層	17.6×10^3	0.35
	C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3
第2速度層			1.5×10^3	0.44
第3速度層			5.7×10^3	0.40
第4速度層			12.7×10^3	0.36
第5速度層			15.8×10^3	0.35
頁岩		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.0×10^3	0.36
		第5速度層	16.2×10^3	0.35
ひん岩		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.7×10^3	0.40
		第4速度層	12.7×10^3	0.36
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.4×10^3	0.44	
	第3速度層	5.5×10^3	0.40	
D級	第1速度層	表 3-1(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.44	

表 3-2(1) 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値(牧の浜部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
B級	砂岩	26.4	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表3-2(2)参照	0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	3,700	0.23		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	2,800	0.18		0.03	
C _H 級	砂岩	26.2	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
	頁岩	27.1	1.25	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,900	0.22		0.03	
	ひん岩	27.9	1.29	54.0	$1.12 \sigma^{0.74}$	1,900	0.18		0.03	
C _M 級	砂岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
	頁岩	25.4	0.76	32.0	$0.96 \sigma^{0.31}$	1,500	0.21		0.03	
	ひん岩	25.5	0.78	50.0	$1.09 \sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
C _L 級	砂岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
	頁岩	23.1	0.44	27.0	$0.58 \sigma^{0.31}$	180	0.26	0.03		
	ひん岩	23.1	0.46	44.0	$0.73 \sigma^{0.76}$	250	0.26	0.03		
D級	砂岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d / G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	
	頁岩	20.2	0.10	24.0	$0.12 \sigma^{0.21}$	39	0.38			
	ひん岩	20.2	0.10	24.0	$0.41 \sigma^{0.49}$	78	0.38			

表 3-2(2) 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値(牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	頁岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	ひん岩	第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
	C _M 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3
第2速度層			1.2×10^3	0.45
第3速度層			4.7×10^3	0.41
第4速度層			11.5×10^3	0.34
第5速度層			16.8×10^3	0.33
頁岩		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
ひん岩		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.2×10^3	0.45	
	第3速度層	4.7×10^3	0.41	
D級	第1速度層	表 3-2(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.45	

表 3-3 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値(盛土ほか)

岩種・岩級	物理特性	強度特性				変形特性				
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性				静的特性		動的特性		
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + \gamma / 0.00036)^*$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + \gamma / 0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.0201 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.0911 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びシーム	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + \gamma / 0.0012)^*$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + \gamma / 0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.0311 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + \gamma / 0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.0501 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$
背面補強工	24.0	—				28,000	0.2	11,667	0.2	0.05
置換コンクリート	22.5	—				28,000	0.2	11,667	0.2	0.05

* : 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間
 $G_0 = E_s / 2 (1 + \nu_s)$, $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m)$, $\gamma_m = \tau_f / G_0$

表 3-4 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠(狐崎部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性	変形特性	
			静的・動的特性	静的特性	動的特性
B級 及び C _H 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験* 摩擦抵抗試験*	岩盤変形試験*	PS検層
	頁岩			岩盤変形試験*	
	ひん岩		砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _M 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	頁岩		砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _L 級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	
	頁岩		換算値	砂岩と同じ値	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
D級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	
	頁岩	換算値	換算値	換算値	砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値

* : B級については, C_H級と同じ値を用いる。

表 3-5 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠(牧の浜部層)

岩種・岩級		物理特性	強度特性	変形特性	
			静的・動的特性	静的特性	動的特性
B級	砂岩	密度試験	C _H 級と同じ値	換算値	PS 検層
	頁岩				
	ひん岩	C _H 級と同じ値			
C _H 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	頁岩		換算値	砂岩と同じ値	
	ひん岩		砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _M 級	砂岩	密度試験	ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	頁岩		ブロックせん断試験 摩擦抵抗試験	岩盤変形試験	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
C _L 級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	
	頁岩		換算値	砂岩と同じ値	
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	
D級	砂岩	密度試験	ロックせん断試験 摩擦抵抗試験	換算値	繰返し三軸試験
	頁岩	換算値	換算値	換算値	砂岩と同じ値
	ひん岩	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値	砂岩と同じ値

表 3-6 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠(盛土ほか)

岩種・岩級	物理特性	強度特性	変形特性	
		静的・動的特性	静的特性	動的特性
盛 土	現場密度試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	繰返し三軸試験
旧表土	密度試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	繰返し三軸試験
断層及びびーム	密度試験	単純せん断試験	単純せん断試験	繰返し単純せん断試験
セメント改良土	現場密度試験	三軸圧縮試験 岩石の引張強さ試験	三軸圧縮試験	PS 検層 繰返し三軸試験
改良地盤	密度試験	三軸圧縮試験 岩石の引張強さ試験	平板載荷試験	PS 検層 繰返し三軸試験
背面補強工 置換コンクリート	コンクリート標準示方書 構造性能照査編			

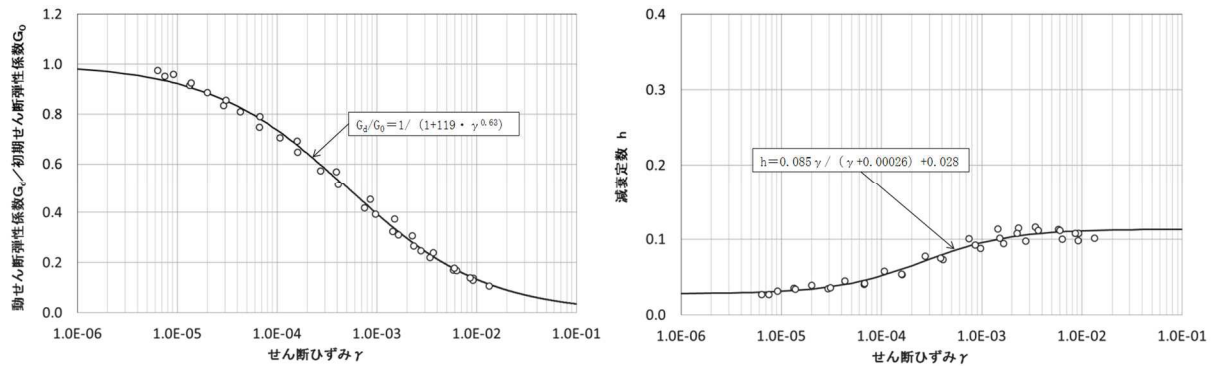


図 3-1 D級岩盤の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

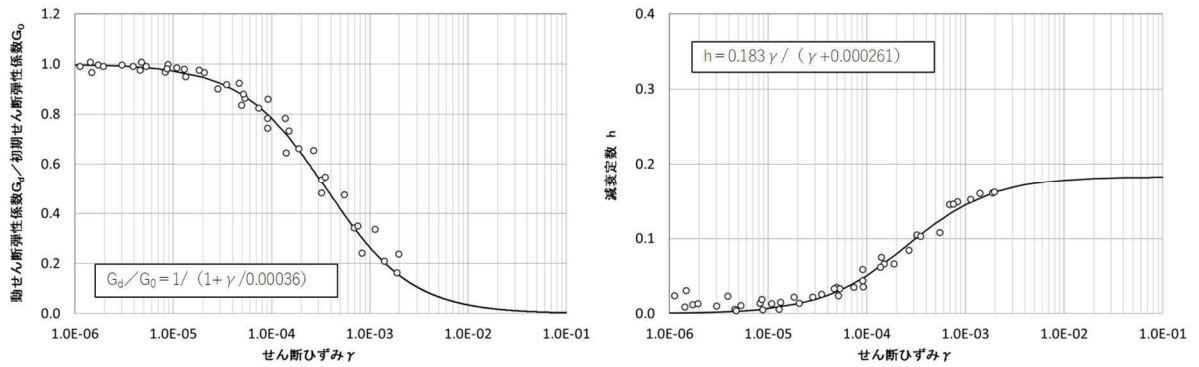


図 3-2 盛土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

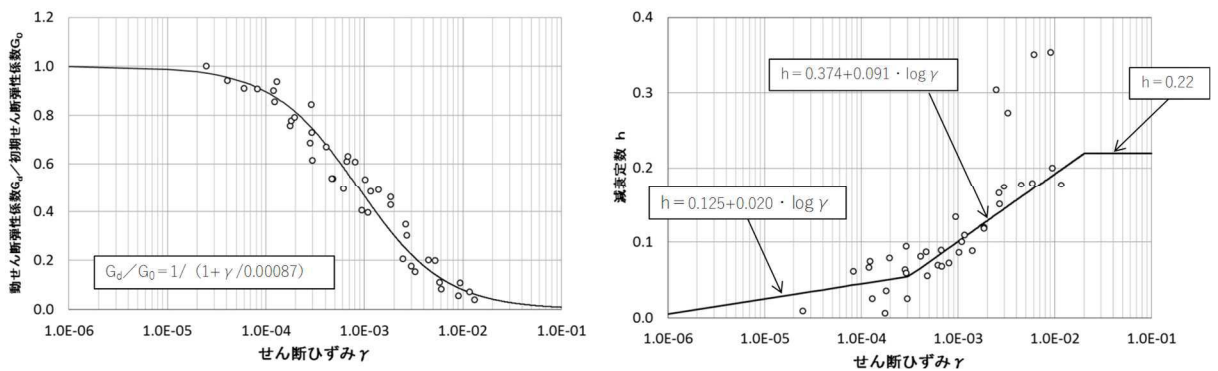


図 3-3 旧表土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

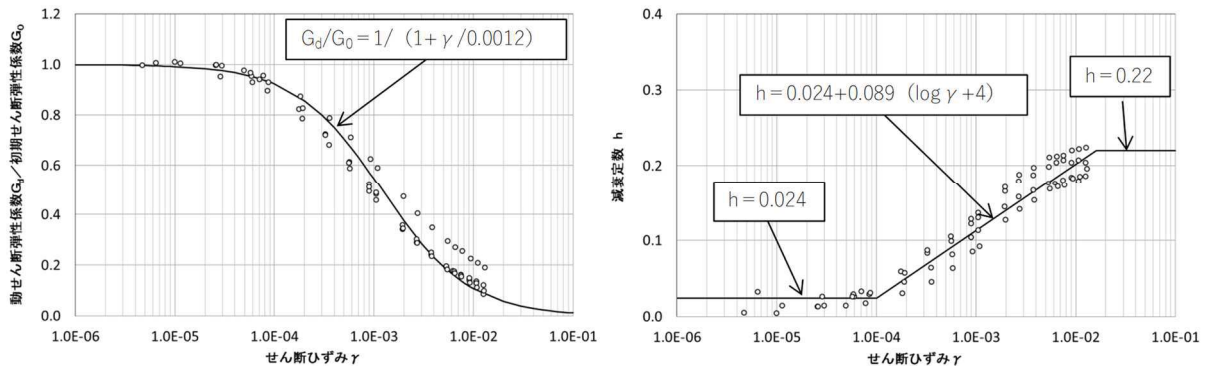


図 3-4 断層・シームの動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

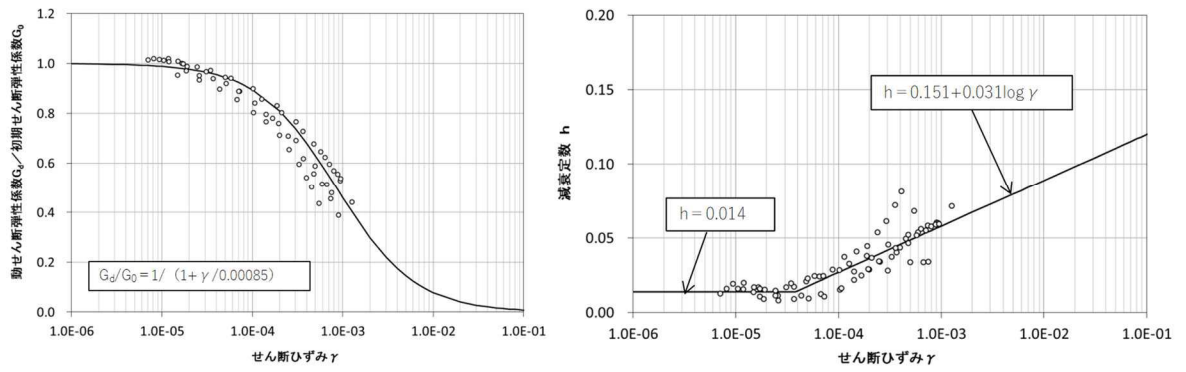


図 3-5 セメント改良土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

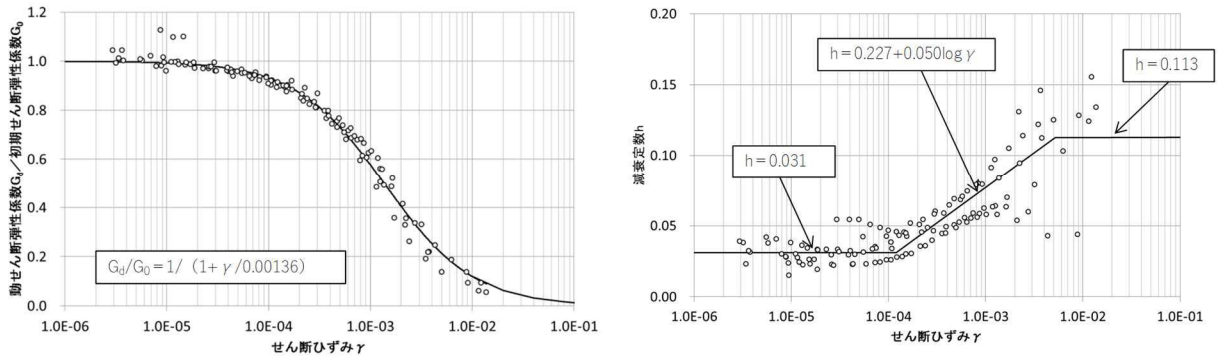


図 3-6 改良地盤の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値を表 3-7～表 3-9 に、その設定根拠を表 3-10～表 3-12 に示す。

3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値

建物・構築物及び土木構造物の評価においては、地下水位低下設備を考慮の上設定した地下水位及び液状化検討対象層の分布状況を踏まえて、液状化影響の検討の必要性を判断する。液状化影響の検討の結果、有効応力解析が保守的な結果となると判断された場合において、有効応力解析を実施する。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的に下限値とする。

また、防潮堤における液状化強度特性については、設置変更許可段階での設定方針に従い、旧表土は施設近傍の試験結果から得られる液状化強度特性を保守的に下限値とし、盛土は上記同様、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的に下限値とする。

設置変更許可申請書における解析用物性値は全応力解析用に設定しているため、液状化検討対象層の物理的及び力学的特性から、各層の有効応力解析に必要な物性値を設定する。

また、有効応力解析に用いる狐崎部層及び牧の浜部層の解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した値に基づき、表 3-7 及び表 3-8 のとおりに設定する。狐崎部層及び牧の浜部層の速度構造については、後述の「6. 地盤の速度構造」に示す。なお、表 3-7 及び表 3-8 に示す解析用物性値については、設置変更許可段階における「防潮堤の構造成立性」で実施した解析に用いた物性値と同様である。

地盤の物理的及び力学的特性は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の基準に基づいた試験の結果から設定することとした。

3.2.2 その他の解析用物性値

(1) マンメイドロック（以下、「MMR」という。）

MMRについては、表 3-9 及び表 3-12 のとおり解析用物性値を設定する。

表 3-7 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（液状化検討対象層）

		敷地全体		防潮堤	
		旧表土	盛土	旧表土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	敷地全体旧表土 と同値 (物理特性, 変形特性, 強度特性)	
	間隙率 n	0.437	0.363		
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4		
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3		
	ポアソン比 ν	0.40	0.40		
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.220	0.183		
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *		
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *		
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0		28.0
	液状化パラメータ	S_1	0.005		0.005
		w_1	1.0	14.0	1.3
		p_1	1.4	1.0	1.2
		p_2	1.5	0.6	0.8
c_1		2.0	2.8	2.75	

* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表 3-8 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（非液状化層）

		D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.06 (1.95) *	2.10 (2.00) *	2.20	
	間隙率 n	0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)	1.67×10^6	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第1速度層	0.48	0.35	0.36
		第2速度層	0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層)		
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)	24.0	22.1	44.3	

* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表3-9 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 (MMR)

	物理特性	強度特性				変形特性			
		単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断剛性 (N/mm ²)	ポアソン比
MMR (既設) ($f'_{ck} = 15.6$ N/mm ²)	22.6	3.12	-*	1.43	-*	20590	8579	0.2	3
MMR (新設) ($f'_{ck} = 21.0$ N/mm ²)	22.5	4.20	-*	1.75	-*	23500	9792	0.2	3

* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

表 3-10 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠
(液状化検討対象層)

		敷地全体		防潮堤	
		旧表土	盛土	旧表土	
物理特性	密度 ρ	物理試験	物理試験	敷地全体旧表土と同値 (物理特性, 変形特性, 強度特性)	
	間隙率 n	物理試験	物理試験		
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	動的変形特性に基づき設定	動的変形特性に基づき設定		
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'	G_{ms} に対応する値	G_{ms} に対応する値		
	ポアソン比 ν	慣用値*	慣用値*		
	減衰定数の上限値 h_{max}	動的変形特性に基づき設定	動的変形特性に基づき設定		
強度特性	粘着力 c	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験		
	内部摩擦角 ϕ				
液状化特性	変相角 ϕ_p	液状化強度試験 に基づく要素シミュレーション	液状化強度試験 に基づく要素シミュレーション	液状化強度試験 に基づく要素シミュレーション	
	液状化パラメータ				S_1
					w_1
					p_1
					p_2
c_1					

* : 原子力発電所地質・地盤の調査試験法および地盤の耐震安定性の評価手法 報告書第4編 建屋基礎地盤の耐震安定性評価 例示編 昭和60年 (社)土木学会 原子力土木委員会

表 3-11 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠
(非液化化層)

		D級岩盤	改良地盤	セメント改良土
物理特性	密度 ρ	物理試験	物理試験	物理試験
	間隙率 n	物理試験	間隙が小さいため0と設定	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{mn}	動の変形特性に基づき設定	PS検層によるS波速度、密度に基づき設定	
	基準平均有効拘束圧 σ_{mn}'	G_{mn} に対応する値	—	—
	ポアソン比 ν	PS検層	PS検層	PS検層
	減衰定数の上限値 h_{max}	動の変形特性に基づき設定	動の変形特性に基づき設定	動の変形特性に基づき設定
強度特性	粘着力 c	ロックせん断試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験
	内部摩擦角 ϕ			

表3-12 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠
(MMR)

	物理特性	強度特性		変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断剛性 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 (%)
MMR (既設) ($f'ck = 15.6\text{N/mm}^2$)	文献に基づき設定*1	文献に基づき設定*2 ($\tau_0=1/5f'ck$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'ck^{2/3}$)	文献に基づき設定*1	ヤング係数とポアソン比の関係より算出	文献に基づき設定*1	岩盤と同じ値
MMR (新設) ($f'ck = 21.0\text{N/mm}^2$)	文献に基づき設定*1	文献に基づき設定*2 ($\tau_0=1/5f'ck$)	文献に基づき設定*1 ($\sigma_t=0.23f'ck^{2/3}$)	文献に基づき設定*1	ヤング係数とポアソン比の関係より算出	文献に基づき設定*1	岩盤と同じ値

*1 : コンクリート標準示方書 構造性能照査編 土木学会 2002年

*2 : コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編 土木学会 2013年

3.3 耐震評価における地下水位設定方針

建物・構築物及び土木構造物は、地下水位低下設備*¹の効果が及ぶ範囲においては、その機能を考慮した設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。なお、地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。

*1：防潮堤下部の地盤改良等により地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が地表面付近まで上昇するおそれがあることを踏まえ、地下水位を一定の範囲に保持するため地下水位低下設備を設置する。

4. 極限支持力

極限支持力は、対象施設の支持岩盤の支持力試験又は道路橋示方書に基づき、対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等により設定する。

4.1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力

基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力を表 4-1 に示す。

基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力は、設置変更許可申請書（添付資料六）に示した支持力試験結果を基に設定する。設置許可変更申請書（添付資料六）に示した支持力試験実施位置を図 4-1～図 4-3、支持力試験結果を図 4-4～図 4-6 に示す。

表 4-1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力

基礎地盤	極限支持力 (N/mm ²)
狐崎部層	13.7
牧の浜部層	11.4
改良地盤	4.4

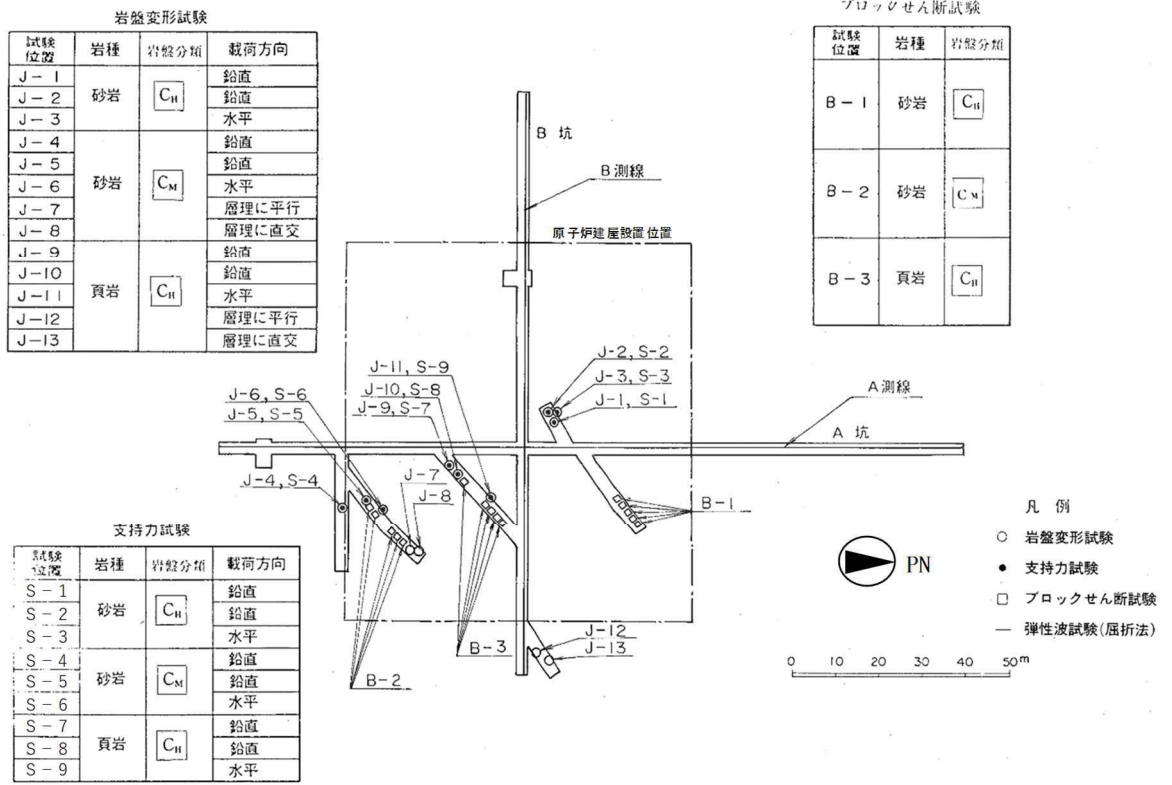


図 4-1 支持力試験実施位置(狐崎部層)

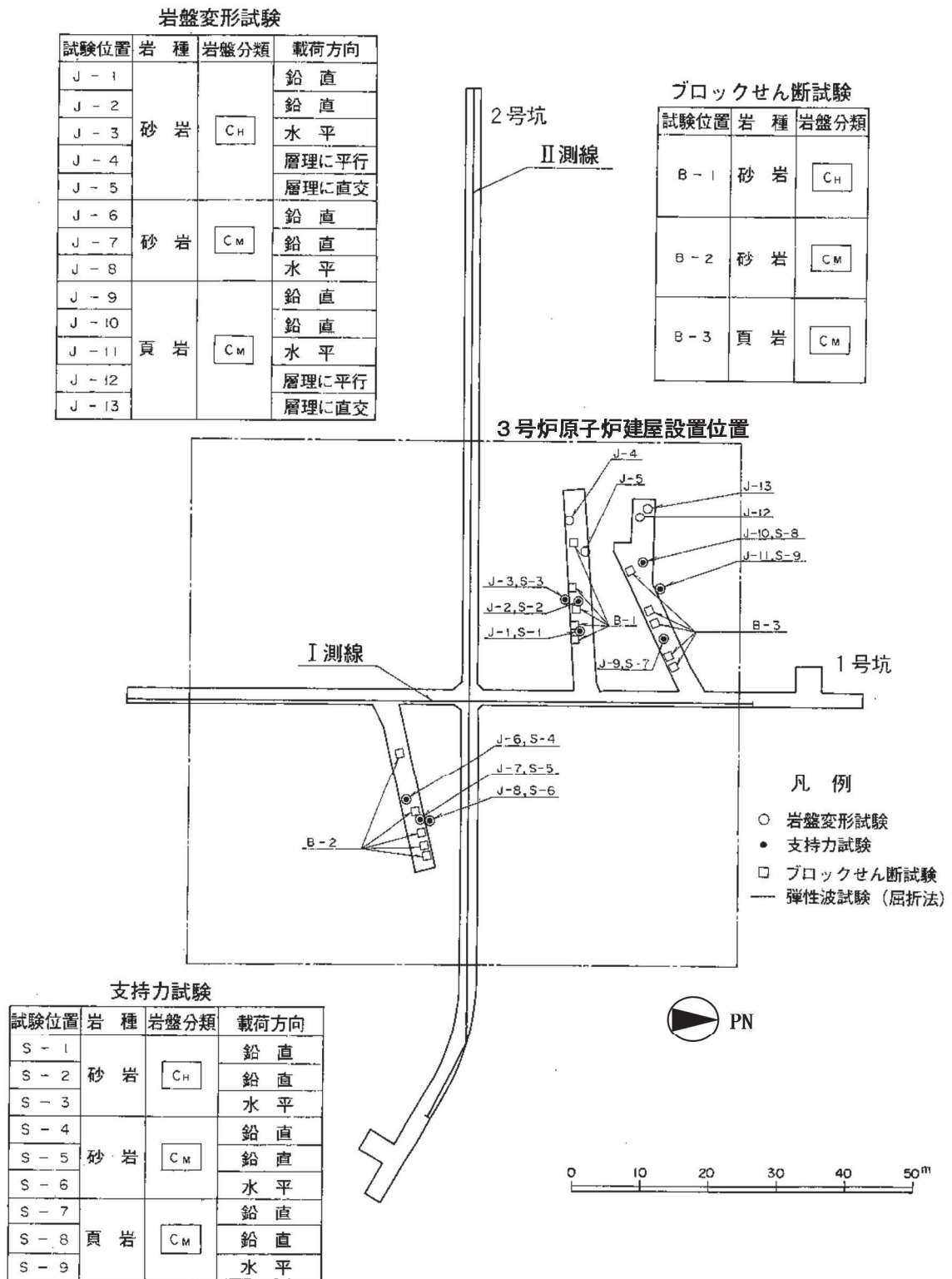


図 4-2 支持力試験実施位置 (牧の浜部層)

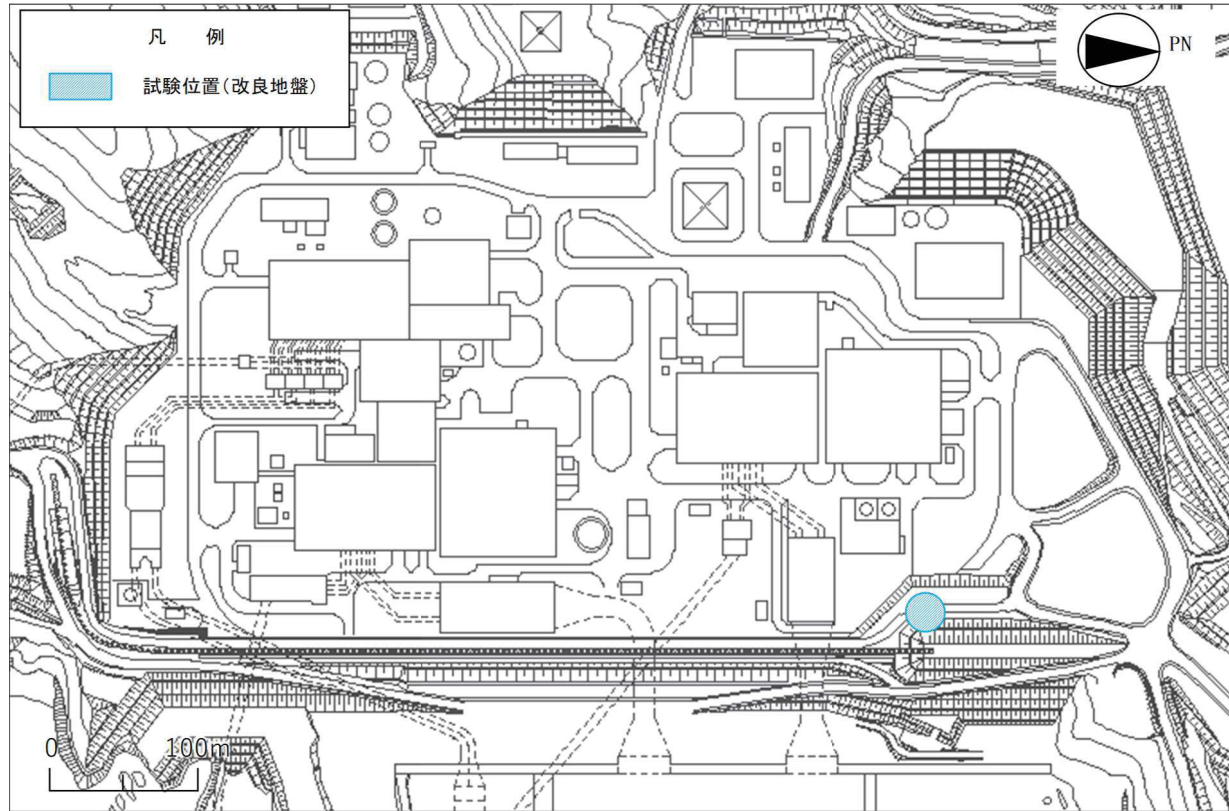


圖 4-3 支持力試驗實施位置(改良地盤)

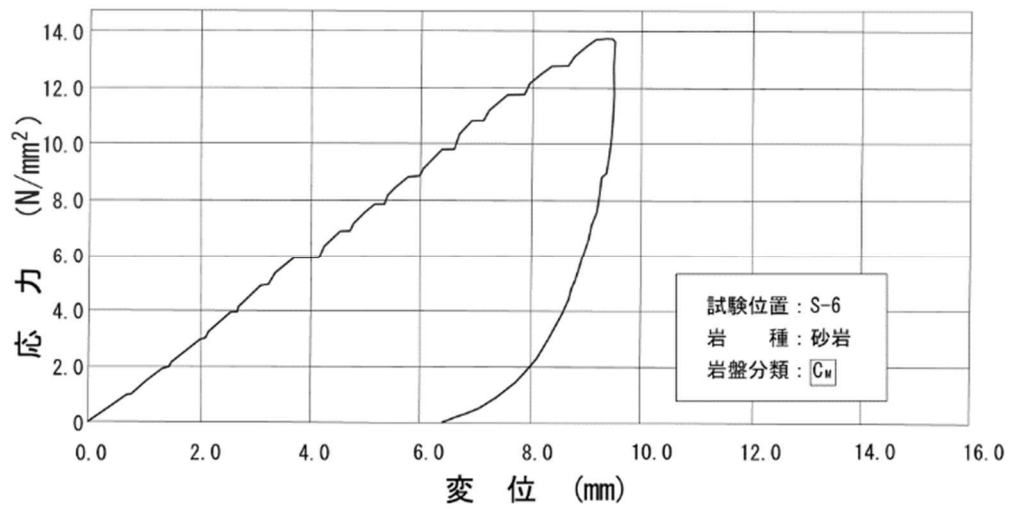
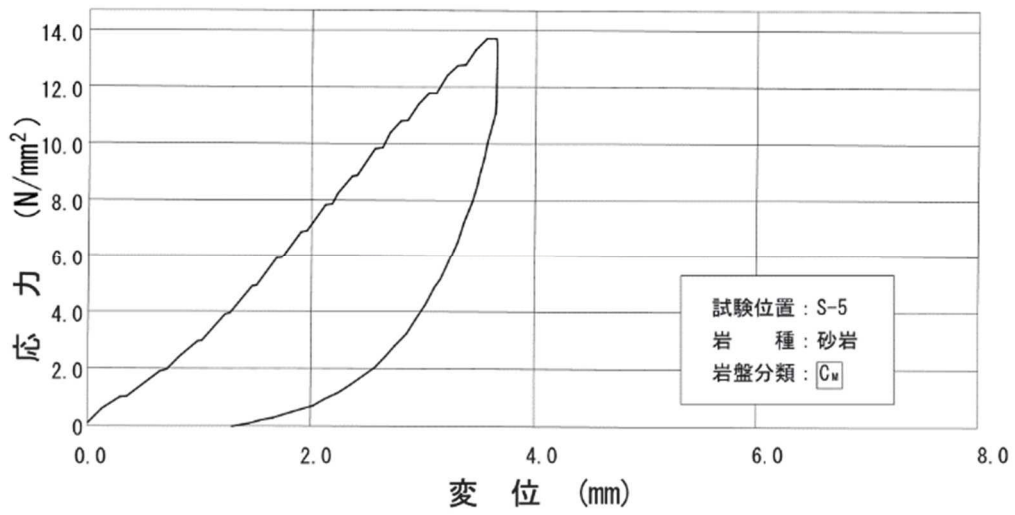
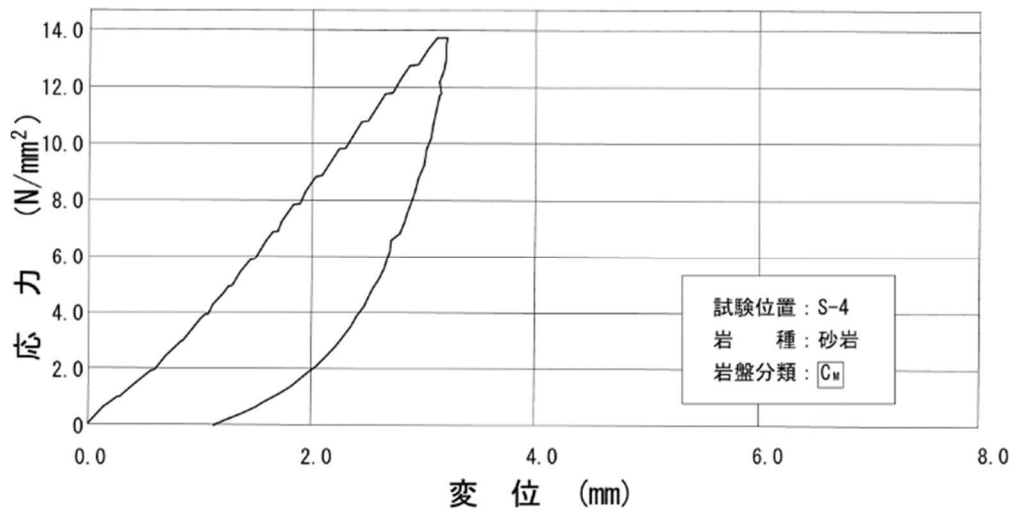


図 4-4 支持力試験結果 (狐崎部層)

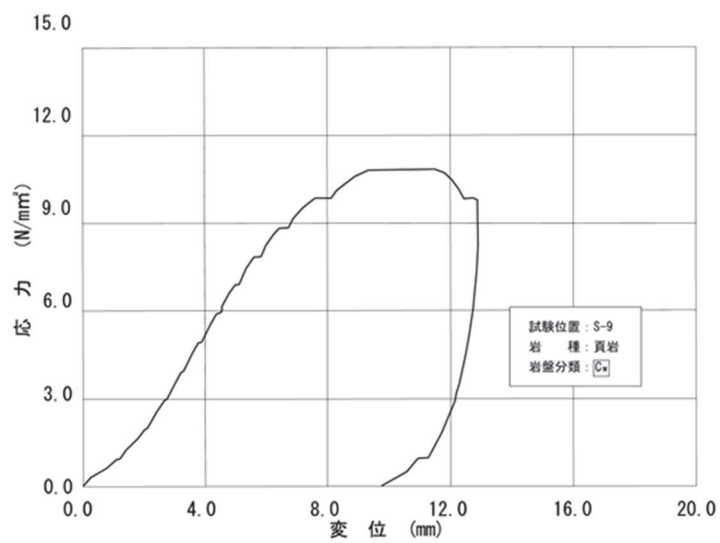
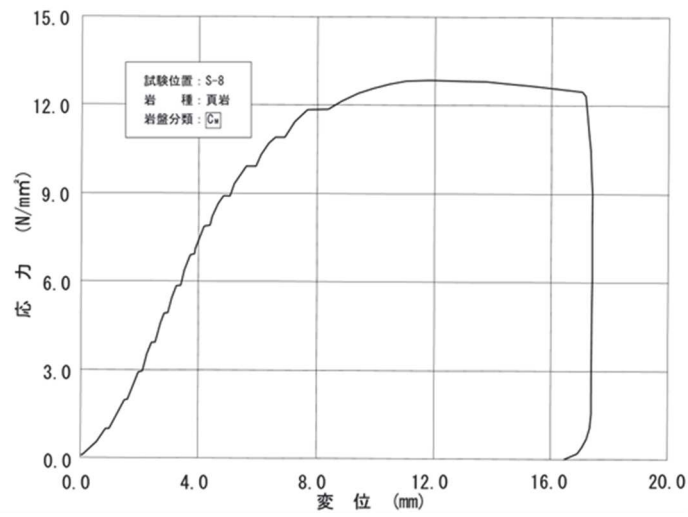
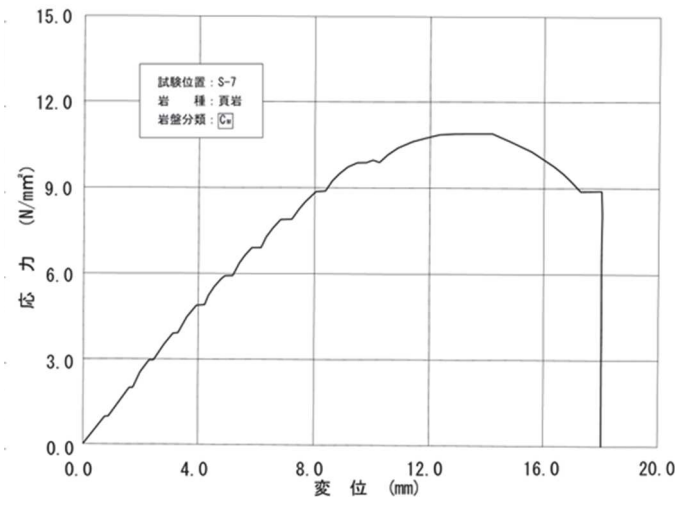


図 4-5 支持力試験結果 (牧の浜部層)

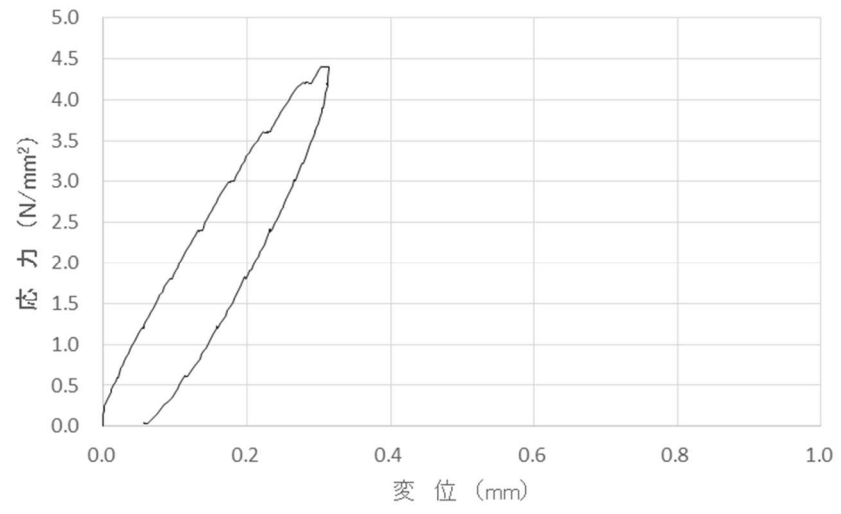


図 4-6 支持力試験結果 (改良地盤)

4.2 直接基礎の支持力算定式

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

- ・道路橋示方書による極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e \{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + 1/2 \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \}$$

Q_u : 荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の
極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で， $q = \gamma_2 D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし，地下水位以下では水中単位体積重量とする。

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 e_B$$

B : 基礎幅 (m)

e_B : 荷重の偏心量 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

α, β : 基礎の形状係数

κ : 根入れ効果に対する割増し係数

N_c, N_q, N_γ : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

- ・道路橋示方書による極限支持力算定式（ケーソン基礎）

$$q_d = \alpha c N_c + 1/2 \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$

q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m²)

c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし，地下水位以下では水中単位体積重量とする。

γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし，地下水位以下では水中単位体積重量とする。

α, β : 基礎底面の形状係数

B : 基礎幅 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

N_c, N_q, N_γ : 支持力係数

4.3 杭基礎の支持力算定式

道路橋示方書における杭基礎の支持力算定式を以下に示す。

杭基礎の押し込み力に対する支持力評価において、液状化検討対象層である盛土・旧表土の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭周面地盤に非液状化検討対象層である、改良地盤、セメント改良土及び岩盤がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

杭基礎の引抜き力に対する支持力評価において、液状化検討対象層である盛土・旧表土の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない。ただし、杭周面地盤に非液状化検討対象層である、改良地盤、セメント改良土及び岩盤がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

・道路橋示方書による極限支持力算定式（杭基礎[中掘り工法]）

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

5. 地質断面図

地震応答解析に用いる地質断面図は，評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき，岩盤，盛土及び旧表土の分布を確認し作成する。図 5-1 に敷地内で実施したボーリング調査位置図を示す。

代表例として，図 5-1 に示す断面位置の地質断面図を図 5-2～図 5-5 に示す。

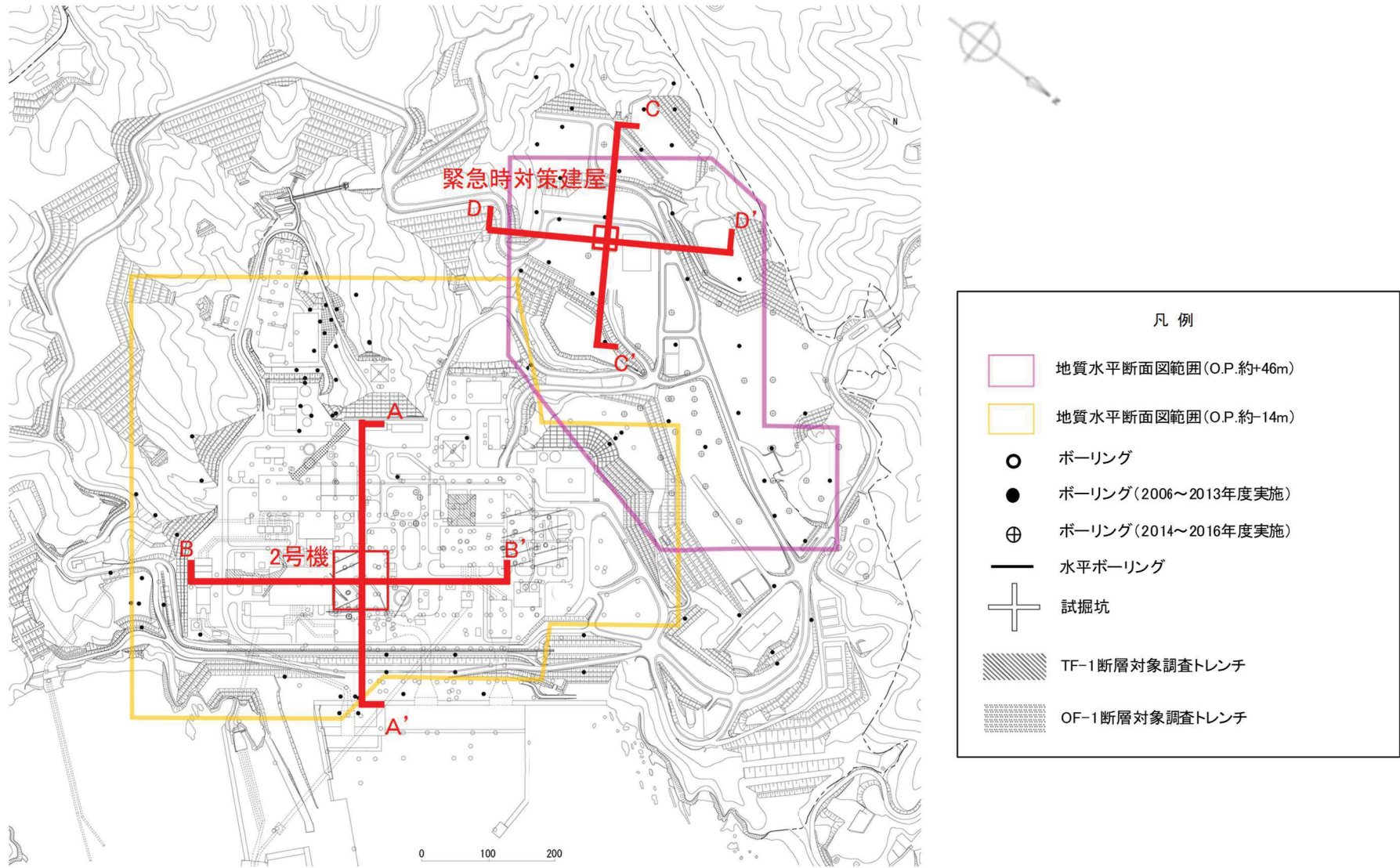


図 5-1 ボーリング調査位置図

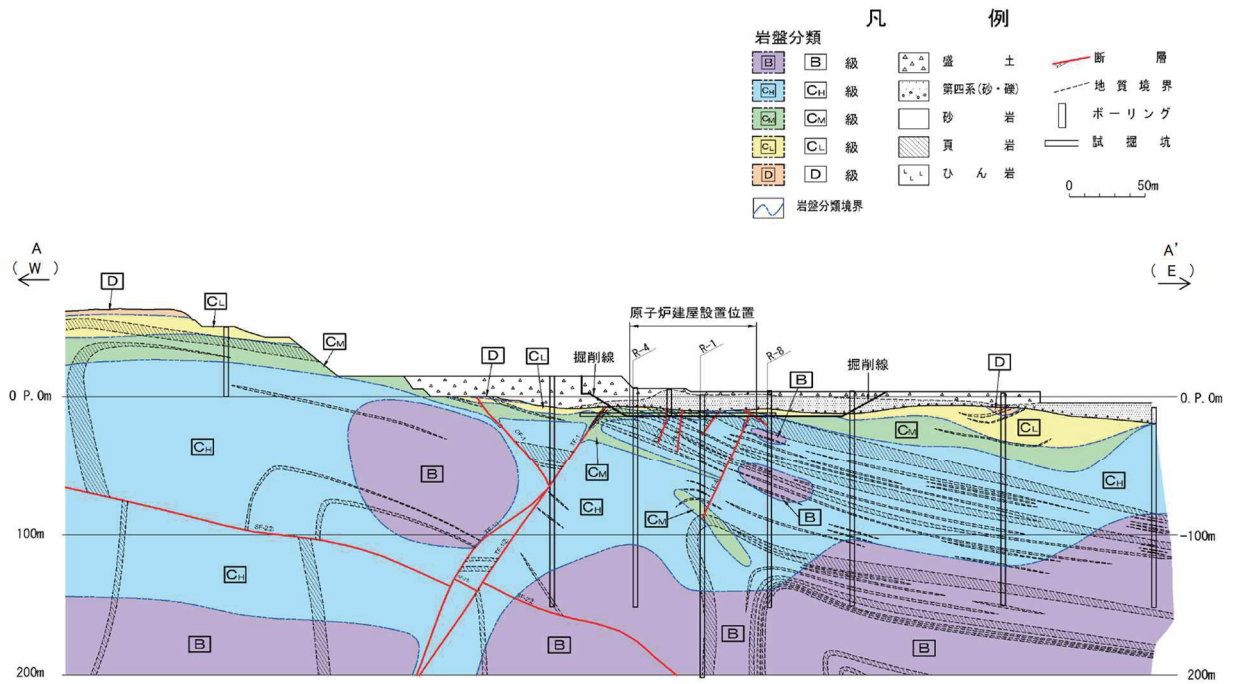


図 5-2 地質断面図 (第 2 号機原子炉建屋中央, 東西方向) (A-A' 断面)

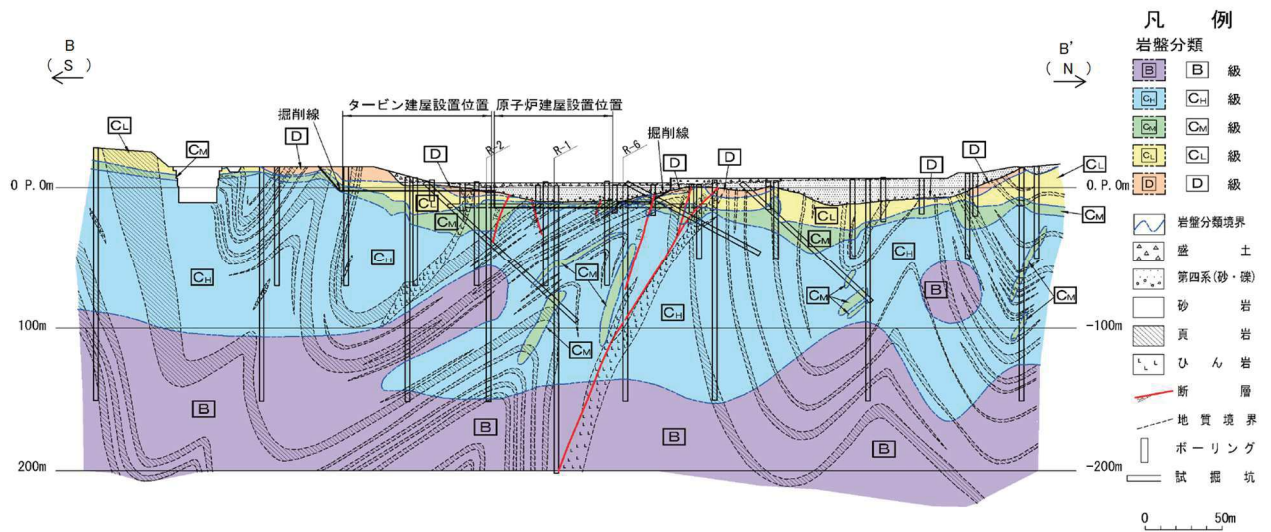


図 5-3 地質断面図 (第 2 号機原子炉建屋中央, 南北方向) (B-B' 断面)

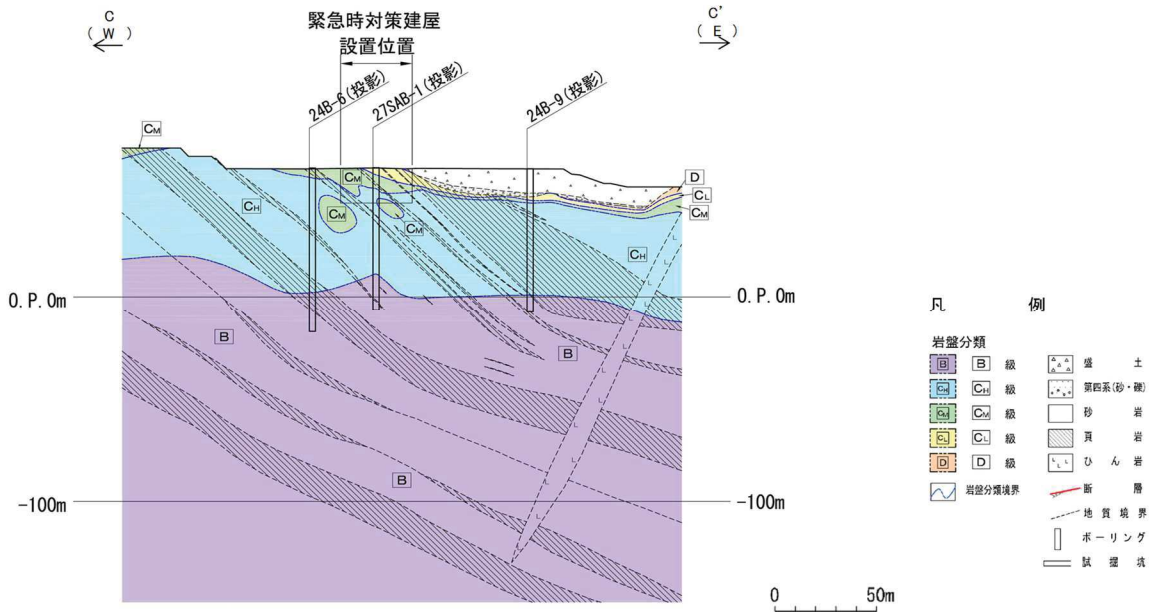


図 5-4 地質断面図（緊急時対策建屋，東西方向）（C-C' 断面）

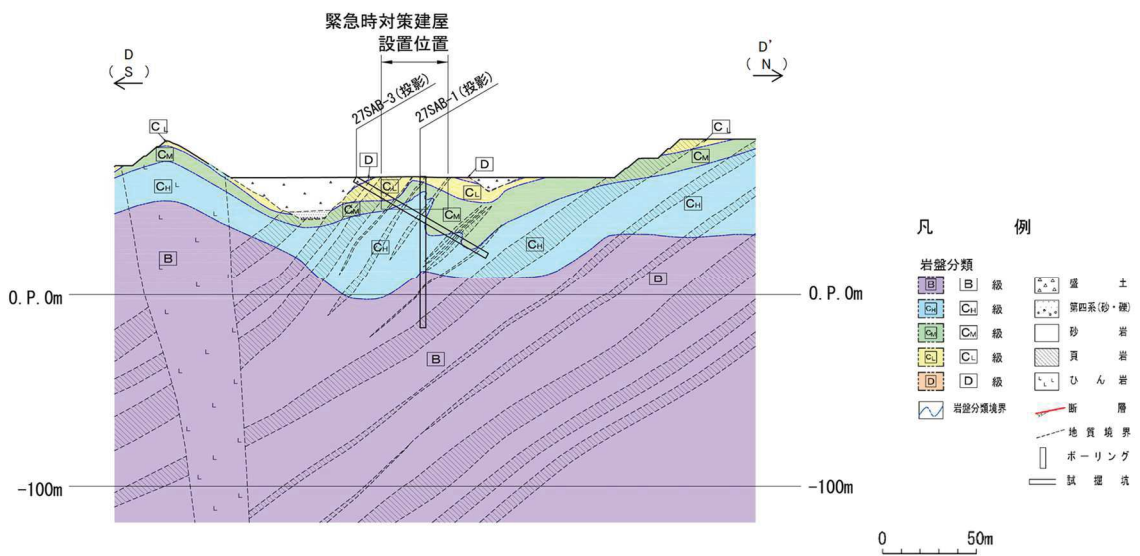


図 5-5 地質断面図（緊急時対策建屋，南北方向）（D-D' 断面）

6. 地盤の速度構造

6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル

入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面(0.P.-14.1m)から、0.P.-200mまでの岩盤(狐崎部層もしくは牧の浜部層)をモデル化する。地下構造モデルを表6-1に示す。入力地震動算定の概念図を図6-1及び図6-2に示す。

表 6-1 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

地層	狐崎部層		牧の浜部層	
標高	解放基盤表面～0.P.-200m		解放基盤表面～0.P.-200m	
P波速度 V_p (m/s)	0.P.-14.1m ～ -25.0m	3,420	0.P.-14.1m ～ -27.0m	3,380
	0.P.-25.0m ～ -80.0m	4,700	0.P.-27.0m ～ -50.0m	4,380
	0.P.-80.0m ～ -200.0m	5,130	0.P.-50.0m ～ -200.0m	5,060
S波速度 V_s (m/s)	0.P.-14.1m ～ -25.0m	1,300	0.P.-14.1m ～ -27.0m	1,360
	0.P.-25.0m ～ -80.0m	2,150	0.P.-27.0m ～ -50.0m	2,040
	0.P.-80.0m ～ -200.0m	2,440	0.P.-50.0m ～ -200.0m	2,520
動ポアソン比 ν_d	0.P.-14.1m ～ -25.0m	0.42	0.P.-14.1m ～ -27.0m	0.40
	0.P.-25.0m ～ -80.0m	0.37	0.P.-27.0m ～ -50.0m	0.36
	0.P.-80.0m ～ -200.0m	0.35	0.P.-50.0m ～ -200.0m	0.34
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	0.P.-14.1m ～ -25.0m	23.8	0.P.-14.1m ～ -27.0m	26.1
	0.P.-25.0m ～ -80.0m	24.6	0.P.-27.0m ～ -50.0m	26.4
	0.P.-80.0m ～ -200.0m	25.0	0.P.-50.0m ～ -200.0m	26.5
減衰定数 h (%)	0.P.-14.1m ～ -25.0m	3	0.P.-14.1m ～ -27.0m	3
	0.P.-25.0m ～ -80.0m		0.P.-27.0m ～ -50.0m	
	0.P.-80.0m ～ -200.0m		0.P.-50.0m ～ -200.0m	

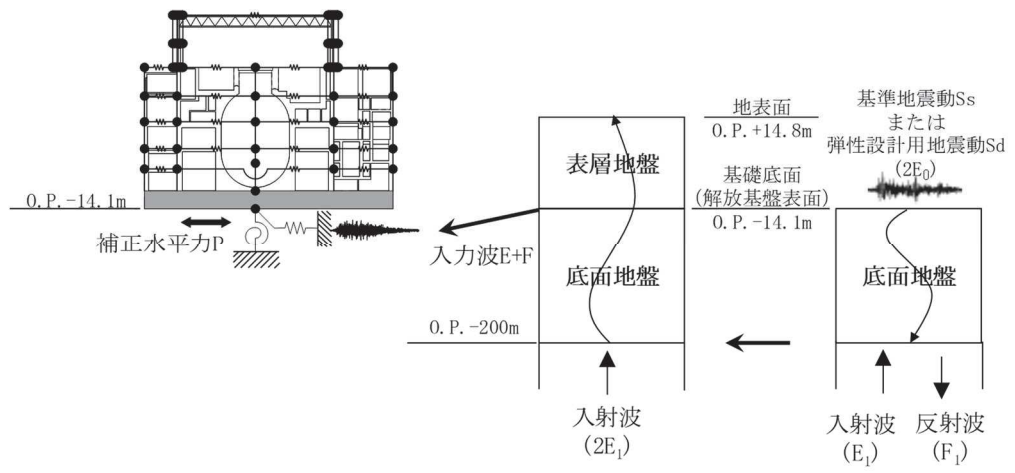


図 6-1 入力地震動算定の概念図（建物・構築物）

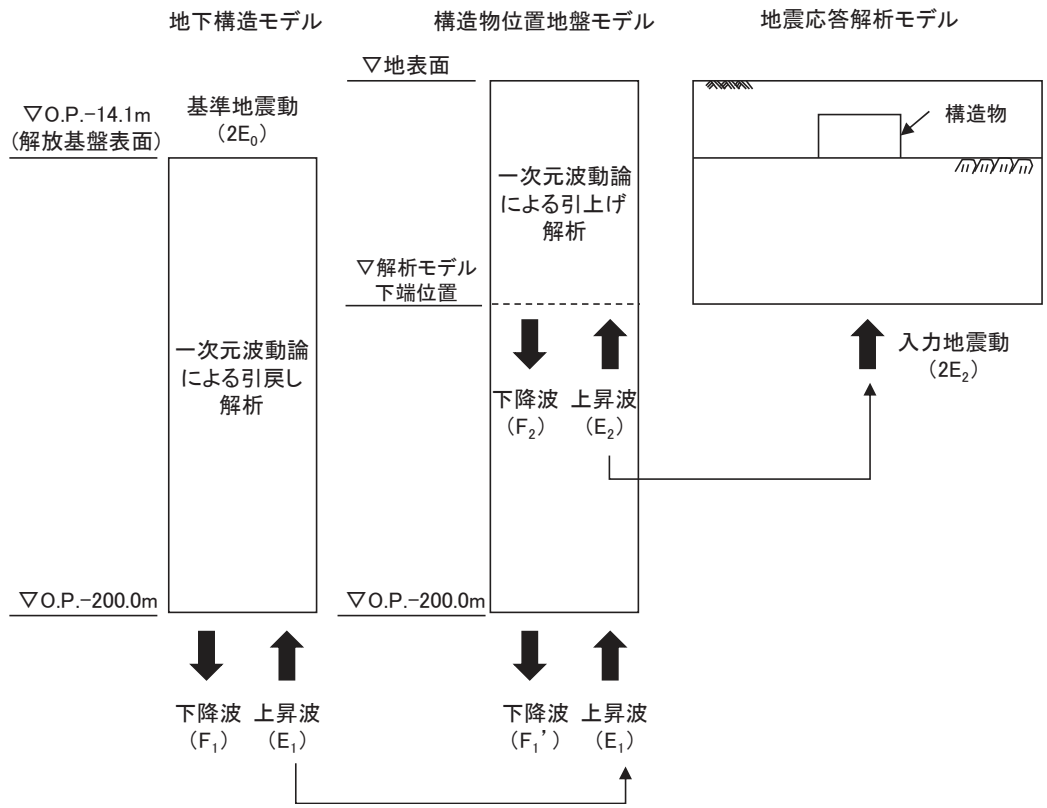


図 6-2 入力地震動算定の概念図 (土木構造物)

7. 地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性

本章では、「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」に記載した地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性についての確認結果を記載する。

7.1 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性

「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」は設置変更許可段階での液状化強度試験結果に基づき保守的に下限値として設定しているが，設計及び工事の計画の認可申請に当たって，液状化検討対象層である盛土の液状化強度試験結果の代表性向上を目的とし，追加液状化強度試験を実施した。設置変更許可段階での液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所の平面配置を図 7-1 に示す。

液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性については，旧表土に対して粒度分布，細粒分含有率及び N 値，盛土に対して粒度分布，細粒分含有率及び相対密度を指標に，液状化強度試験箇所と敷地全体を比較することにより確認する。なお，盛土の追加試験は設置変更許可段階以降に実施していることから，設置変更許可段階で示した代表性及び網羅性に変更がないことを確認する。

旧表土については，設置変更許可段階から変更はなく，粒度分布，細粒分含有率及び N 値はおおむね敷地全体の平均的な範囲にあり，代表性及び網羅性があることを確認している。また，盛土については，設置変更許可段階以降に追加試験を実施していることから，追加試験を含めた代表性及び網羅性の結果を図 7-2 に示す。図 7-2 から，盛土の追加試験結果は，粒度分布，細粒分含有率及び相対密度がおおむね敷地全体の平均的な範囲にあることから，代表性及び網羅性があることを確認した。

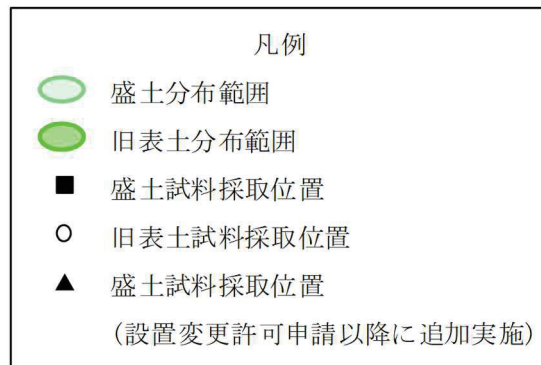
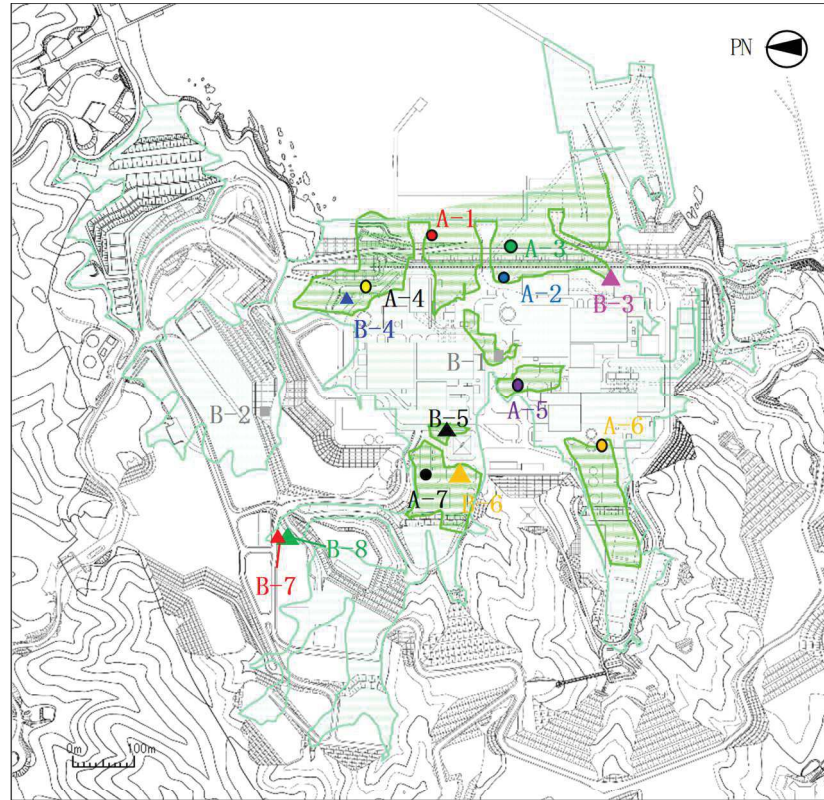


図 7-1 液状化強度試験箇所の平面配置

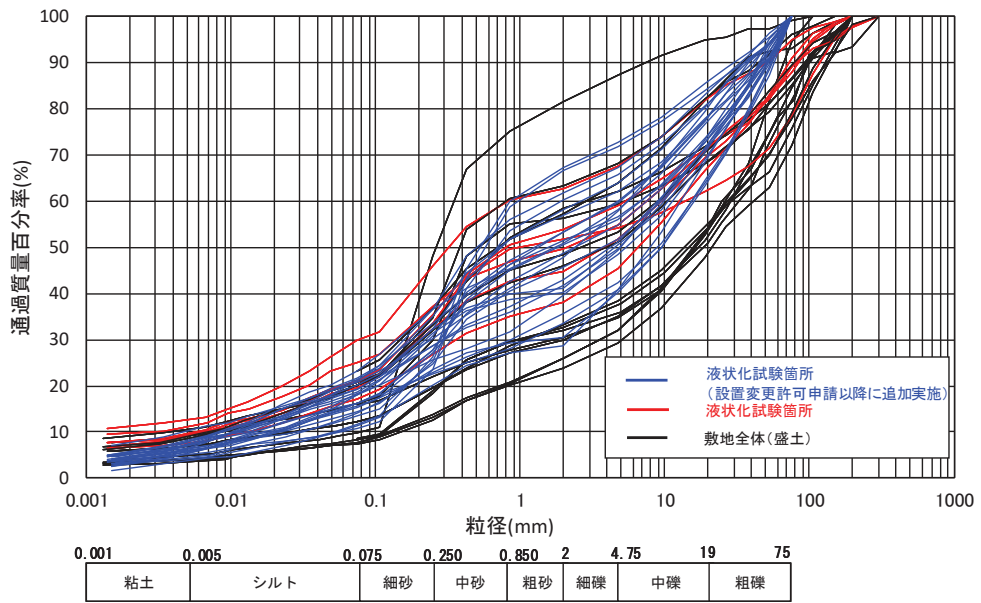


図 7-2(1) 盛土の液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性確認結果（粒度分布）

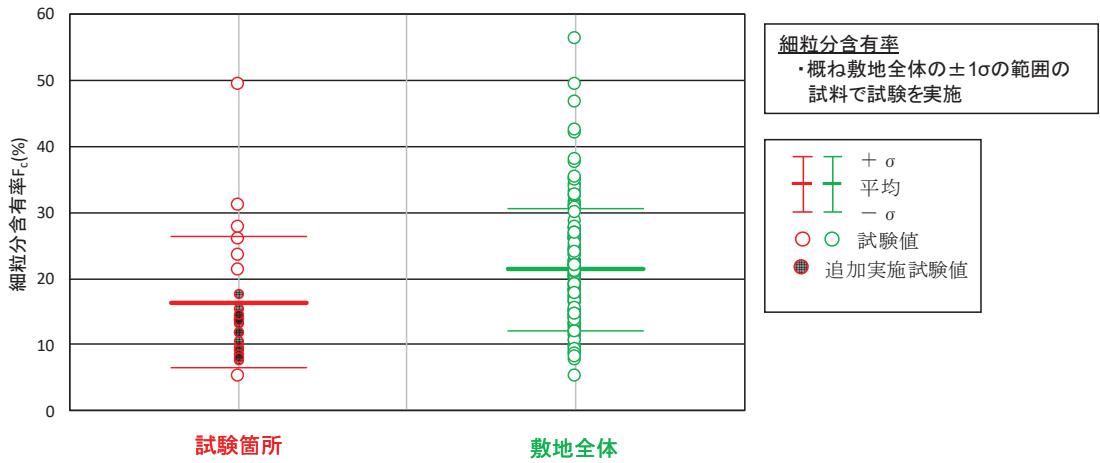


図 7-2(2) 盛土の液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性確認結果（細粒分含有率 F_c ）

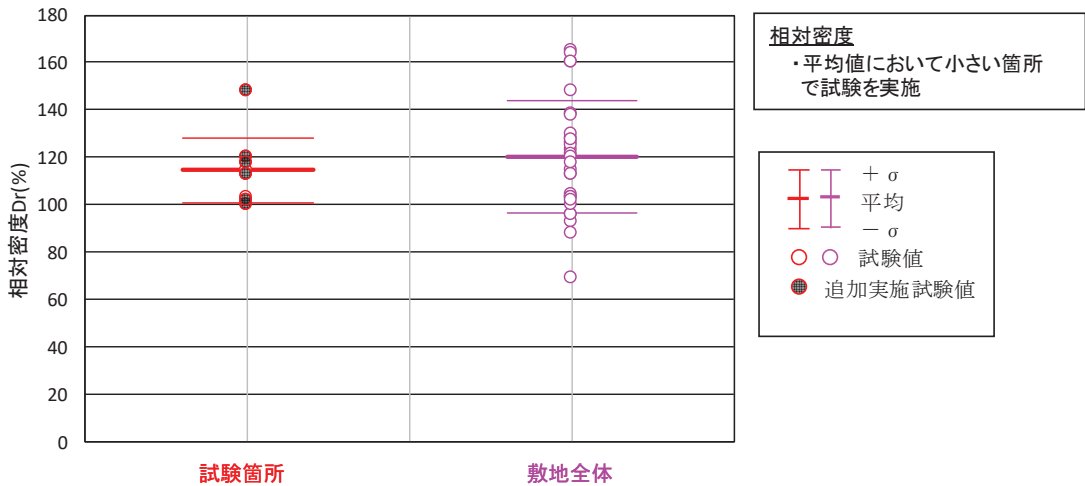


図 7-2(3) 盛土の液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性確認結果（相対密度）

7.2 地盤の液状化強度特性における保守性

設置変更許可段階で示した方針のとおり、「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」に記載した地盤の液状化強度特性は、液状化強度試験に基づき下限値として設定していること及び盛土の追加液状化強度試験結果がこの液状化強度特性（下限値）を上回っていることから、地盤の液状化強度特性における保守性を確認した。

地盤の液状化強度特性における保守性の確認結果を図 7-3 に示す。

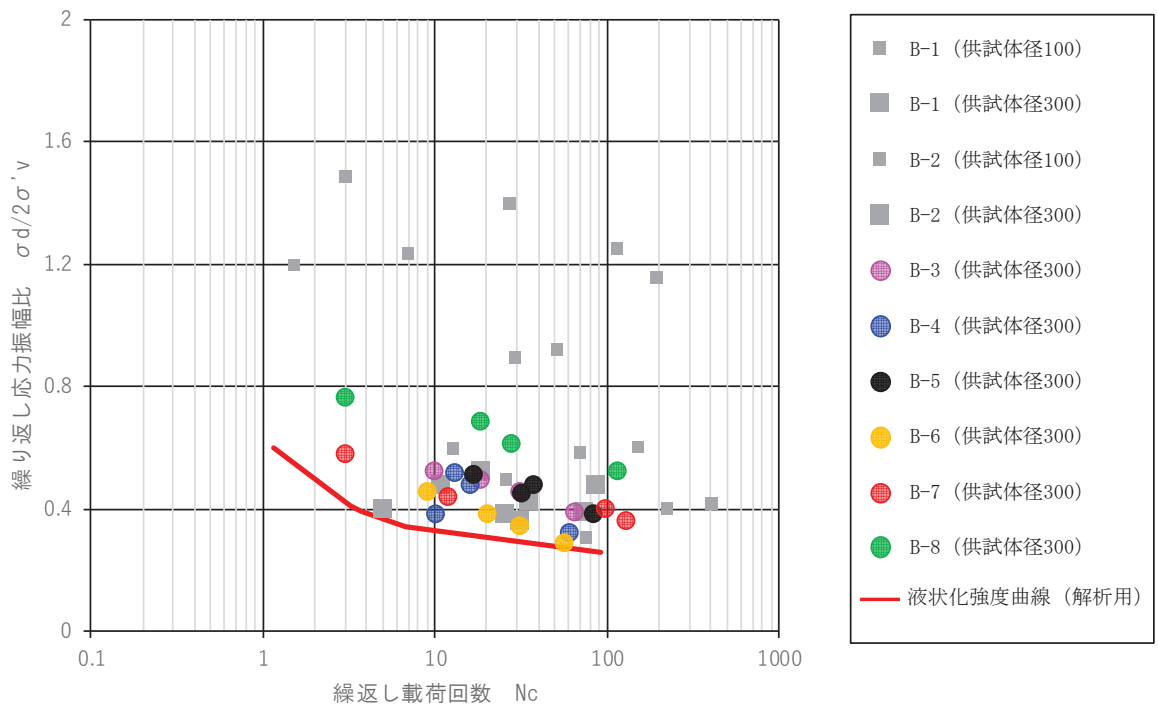


図 7-3(1) 液状化強度特性の代表性及び保守性確認結果 (盛土)

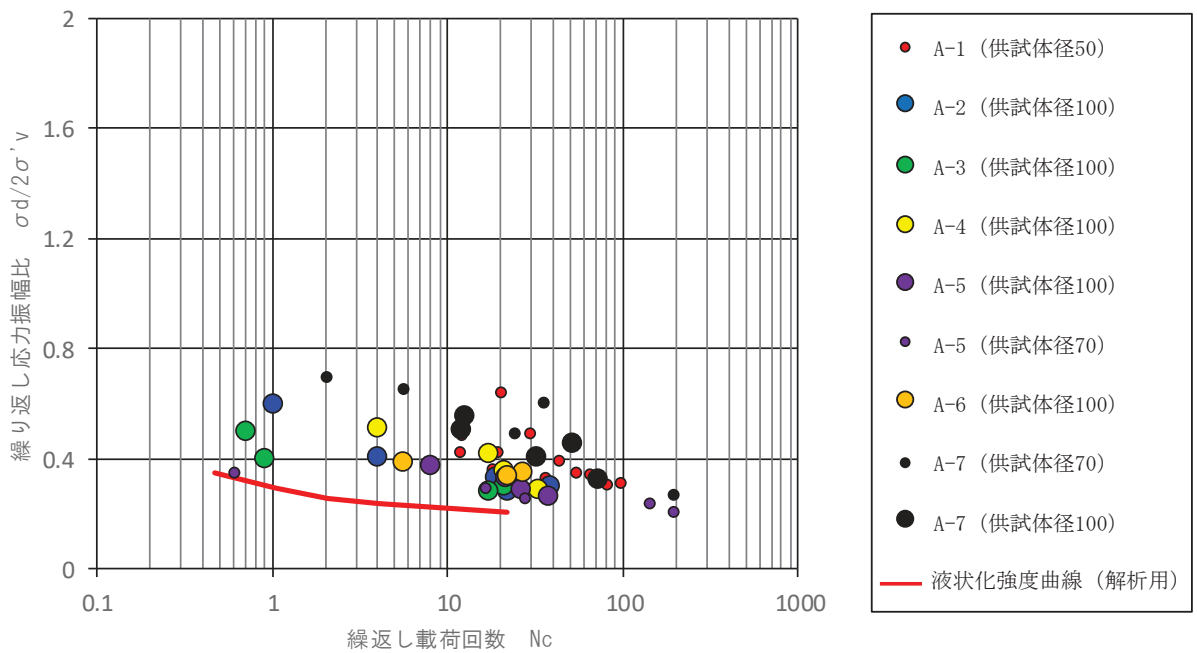


図 7-3(2) 液状化強度特性の代表性及び保守性確認結果 (旧表土)

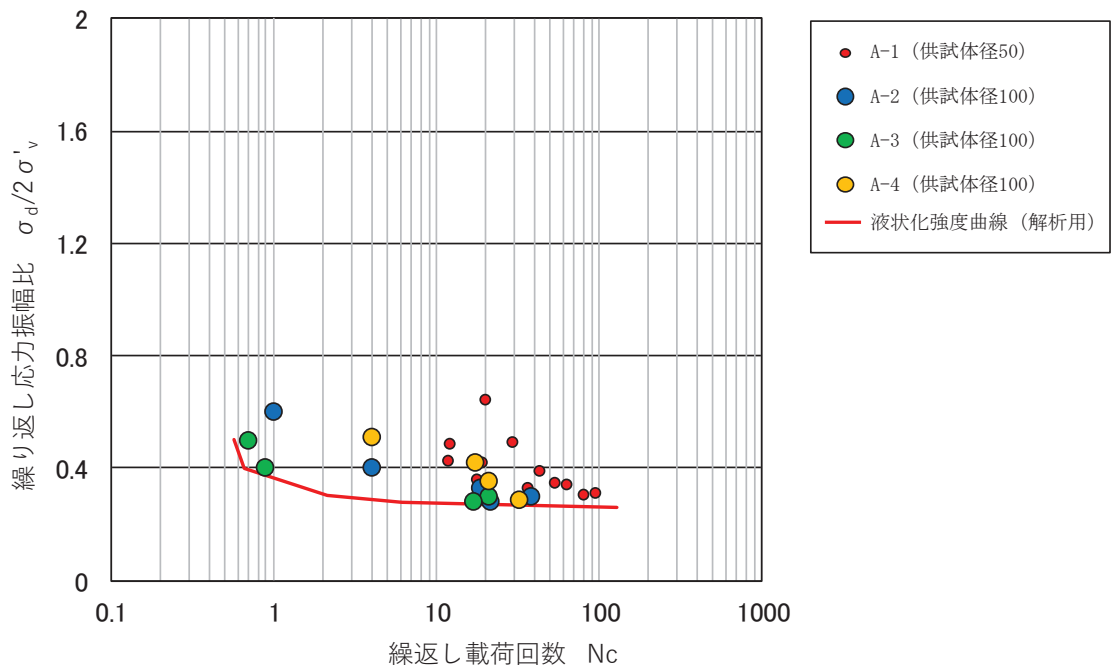


図 7-3(3) 液状化強度特性の代表性及び保守性確認結果 (防潮堤, 旧表土)

VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の 基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 設計基準対象施設の耐震重要度分類.....	1
2.1 耐震設計上の重要度分類	1
2.2 発電用原子炉施設の区分	2
2.2.1 区分の概要	2
2.2.2 各区分の定義	2
2.2.3 間接支持機能及び波及的影響	2
3. 設計基準対象施設の耐震重要度分類の取合点.....	3
4. 重大事故等対処施設の施設区分.....	4
4.1 耐震設計上の設備の分類	4
4.2 重大事故等対処施設の区分	5
4.2.1 区分の概要	5
4.2.2 各区分の定義	5
4.2.3 間接支持機能及び波及的影響	5
5. 重大事故等対処施設の施設区分の取合点.....	5

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「3. 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分」に基づき、設計基準対象施設の耐震設計上の重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針について説明するものである。

2. 設計基準対象施設の耐震重要度分類

2.1 耐震設計上の重要度分類

設計基準対象施設の耐震設計上の重要度を次のように分類する。

(1) Sクラスの施設

地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいものであり、次の施設を含む。

- a. 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系
- b. 使用済燃料を貯蔵するための施設
- c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
- d. 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
- f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
- g. 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設
- h. 津波防護機能を有する設備（以下「津波防護施設」という。）及び浸水防止機能を有する設備（以下「浸水防止設備」という。）
- i. 敷地における津波監視機能を有する施設（以下「津波監視設備」という。）

(2) Bクラスの施設

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラスの施設と比べ小さい施設であり、次の施設を含む。

- a. 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設
- b. 放射性廃棄物を内蔵している施設（ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則

(昭和 53 年通商産業省令第 77 号) 第 2 条第 2 項第 6 号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分に小さいものは除く。)

- c. 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設
 - d. 使用済燃料を冷却するための施設
 - e. 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、S クラスに属さない施設
- (3) C クラスの施設

S クラスに属する施設及び B クラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

2.2 発電用原子炉施設の区分

2.2.1 区分の概要

当該施設に課せられる機能は、その機能に直接的に関連するもののほか、補助的な役割を持つもの、支持構造物等の間接的な施設を含めた健全性が保たれて初めて維持し得るものであることを考慮し、これらを主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設に区分する。

2.2.2 各区分の定義

各区分の設備とは次のものをいう。

- (1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。
- (2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。
- (3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物又はこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。
- (4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物、土木構造物）をいう。
- (5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位クラス施設のうち、その破損等によって上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。波及的影響を考慮すべき施設の検討については、添付書類「VI-2-1-5 波及的影響に係る基本方針」に示す。

ここで上位クラス施設とは、耐震重要施設及び常設耐震重要重大事故防止設備常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置されている重大事故等対処施設をいい、下位クラス施設とは、上位クラスの施設以外の発電所内にある施設（資機材等を含む。）をいう。

2.2.3 間接支持機能及び波及的影響

同一系統設備に属する主要設備、補助設備及び直接支持構造物については同一の耐震重要度とするが、間接支持構造物の支持機能及び設備相互間の影響については、それぞれ関連する設備の耐震設計に適用される地震動に対して安全上支障ないことを確認するものと

する。

設計基準対象施設の耐震重要度分類を表 2-1 に、設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類を表 2-2 に示す。同表には、当該施設を支持する構造物の支持機能が維持されることを確認する地震動及び波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動（以下「検討用地震動」という。）を併記する。

3. 設計基準対象施設の耐震重要度分類の取合点

設計基準対象施設の耐震重要度分類の取合点は、以下のとおりとする。

- (1) 機器とそれに接続する配管系との耐震重要度分類が異なる場合の取合点は、原則として、機器から見て第 1 弁とする。取合点となる第 1 弁は、上位の耐震重要度分類に属するものとする。
- (2) 原子炉格納容器バウンダリは、バウンダリを構成する弁までを S クラスとする（図 3-1 参照）。

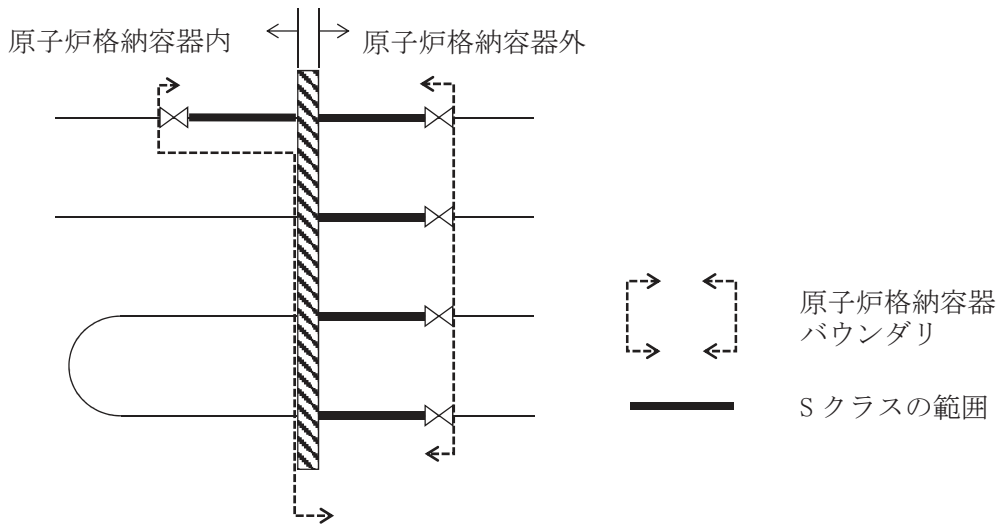


図 3-1 原子炉格納容器バウンダリと S クラスの範囲

- (3) 配管系中で耐震重要度分類が異なる場合の取合点は、原子炉冷却材圧力バウンダリ周りで第 2 隔離弁までがバウンダリの場合は第 2 弁^(注1)、その他は上位の耐震重要度分類から見て第 1 弁^(注2)とする。取合点となる弁は、図 3-2 に示すように上位の耐震重要度分類に属するものとする。

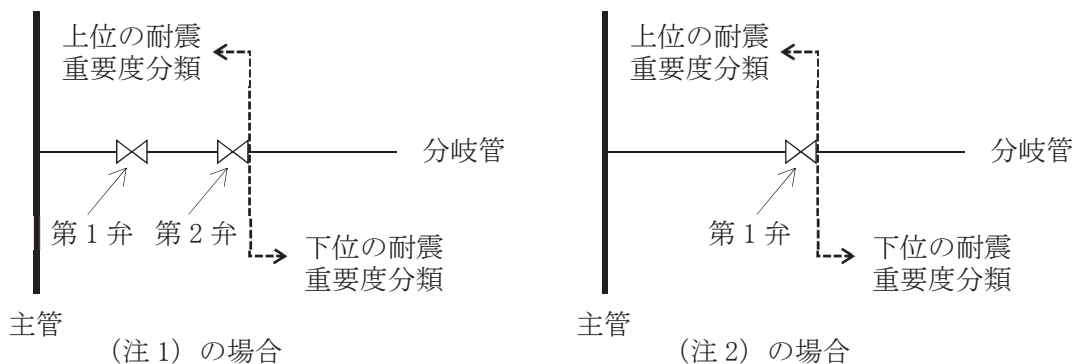


図 3-2 配管系中の取合点

4. 重大事故等対処施設の施設区分

4.1 耐震設計上の設備の分類

重大事故等対処施設について、耐震設計上の区分を設備が有する重大事故等時に対処するために必要な機能を踏まえて、以下のとおりに分類する。

- (1) 基準地震動 S_s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの
 - a. 常設耐震重要重大事故防止設備
常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの
 - b. 常設重大事故緩和設備
重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの
 - c. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの)
設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもので当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの
 - d. 常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)
設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する常設重大事故緩和設備以外の常設のもの
- (2) 静的地震力に対して十分に耐えるよう設計するもの
 - a. 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備
常設重大事故防止設備であって、B クラス又は C クラスに属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの
 - b. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類が B クラス又は C クラスのもの)
設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもので当該設備が属する耐震重要度分類が B クラス又は C クラスのもの
- (3) 弾性設計用地震動 S_d に 2 分の 1 を乗じたものによる地震力に対して影響を検討するもの
 - a. 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備
常設重大事故防止設備であって、B クラスに属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもののうち、共振のおそれのあるもの
 - b. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類が B クラスのもの)

設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもので当該設備が属する耐震重要度分類がBクラスのものうち、共振のおそれのあるもの

4.2 重大事故等対処施設の区分

4.2.1 区分の概要

当該施設に課せられる機能は、その機能に関連するもののほか、支持構造物等の間接的な施設を含めた健全性が保たれて初めて維持し得るものであることを考慮し、これらを設備、直接支持構造物、間接支持構造物及び波及的影響を考慮すべき施設に区分する。

4.2.2 各区分の定義

各区分の設備とは次のものをいう。

- (1) 設備とは、重大事故等に対処するために必要な機能を有する設備で、重大事故等時に当該機能に直接的に関連する設備及び間接的に関連する設備をいう。
- (2) 直接支持構造物とは、設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。
- (3) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物、土木構造物、車両）をいう。
- (4) 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位クラス施設の破損等によって上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。波及的影響を考慮すべき施設の検討については、添付書類「VI-2-1-5 波及的影響に係る基本方針」に示す。

4.2.3 間接支持機能及び波及的影響

設備の直接支持構造物については設備と同一の設備分類とするが、間接支持構造物の支持機能及び設備相互間の影響については、それぞれ関連する設備の耐震設計に適用される地震動に対して安全上支障のないことを確認するものとする。

重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設を表4-1に、重大事故等対処施設の申請設備の設備分類を表4-2に示す。また、同表には、波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動（以下「検討用地震動」という。）を併記する。

5. 重大事故等対処施設の施設区分の取合点

- (1) 機器とそれに接続する配管系との、上位クラス施設と下位クラス施設の取合点は、原則として、機器から見て第1弁とする。取合点となる第1弁は、上位クラス施設に属するものとする。
- (2) 配管系中の上位クラス施設と下位クラス施設の取合点は、原子炉冷却材圧力バウンダリ周りで第2隔離弁までがバウンダリの場合は第2弁^(注1)、その他は上位クラスから見て第1弁^(注2)とする。取合点となる弁は、図5-1に示すように上位クラス施設に属するものとする。

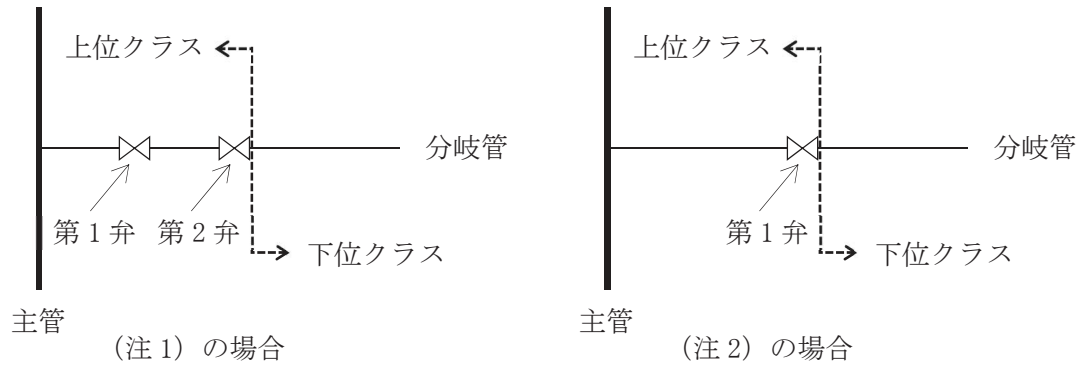


図 5-1 配管系中の取合点

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (1/6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4		波及的影響を 考慮すべき施設 *5	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 *6	適用範囲	検討用 地震動 *6
Sクラス	(i)「原子炉冷却材圧力 バウンダリ」を構成す る機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器 原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器・配管・ポンプ・弁 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器支持スカート 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉本体の基礎 原子炉建屋 制御建屋 	S s S s S s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉しゃへい壁 中央制御室天井照明 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 	S s S s S s S s S s
	(ii)使用済燃料を貯蔵 するための施設	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック 	S S	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 	S s	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋クレーン 燃料交換機 制御棒貯蔵ハンガ 制御棒貯蔵ラック 燃料チャンネル着脱機 タービン建屋 	S s S s S s S s S s S s
	(iii)原子炉の緊急停止 のために急激に負の 反応度を付加するた めの施設及び原子炉 の停止状態を維持す るための施設	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分) 	S	<ul style="list-style-type: none"> 炉心支持構造物 電気計装設備 チャンネルボックス 	S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 原子炉本体の基礎 制御建屋 	S s S s S s	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室天井照明 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 	S s S s S s S s
	(iv)原子炉停止後、炉心 から崩壊熱を除去す るための施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 残留熱除去系(停止時冷却モード運転に必要な設備) 冷却水源としてのサブレーションチェンバ 	S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系) 炉心支持構造物 非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) 当該施設の機能維持に必要な空調設備 	S S S S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 海水ポンプ室 原子炉機器冷却海水配管ダクト 軽油タンク室 軽油タンク連絡ダクト 制御建屋 	S s S s S s S s S s S s	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室門型クレーン 竜巻防護ネット 原子炉建屋クレーン 中央制御室天井照明 耐火隔壁 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 	S s S s S s S s S s S s S s

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (2/6)

耐震重要度分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4		波及的影響を考慮すべき施設*5	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動*6	適用範囲	検討用地震動*6
Sクラス	(v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低圧注水モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 ・冷却水源としてのサブレーションチェンバ 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系) ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・中央制御室の遮蔽及び空調設備 ・当該施設の機能維持に必要な空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・軽油タンク室 ・軽油タンク連絡ダクト ・制御建屋 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室門型クレーン ・竜巻防護ネット ・原子炉建屋クレーン ・中央制御室天井照明 ・タービン建屋 ・補助ボイラー建屋 ・第1号機制御建屋 	S s
	(vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器 ・原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・隔離弁を閉とするために必要な電気計装設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・制御建屋 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉ウエルカバー ・中央制御室天井照明 ・タービン建屋 ・補助ボイラー建屋 ・第1号機制御建屋 	S s
	(vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設で上記(vi)以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・残留熱除去系(格納容器スプレイ冷却モード運転に必要な設備) ・可燃性ガス濃度制御系 ・原子炉建屋原子炉棟 ・非常用ガス処理系及び排気筒 ・原子炉格納容器圧力抑制装置(バントヘッド, ダウンコマ等) ・冷却水源としてのサブレーションチェンバ 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の冷却系(原子炉補機冷却系) ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む) ・当該施設の機能維持に必要な空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・軽油タンク室 ・軽油タンク連絡ダクト ・排気筒連絡ダクト ・排気筒基礎 ・制御建屋 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・第1号機排気筒 ・海水ポンプ室門型クレーン ・竜巻防護ネット ・原子炉建屋クレーン ・中央制御室天井照明 ・タービン建屋 ・補助ボイラー建屋 ・第1号機制御建屋 	S s

8

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (3/6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4		波及的影響を 考慮すべき施設 *5	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 *6	適用範囲	検討用 地震動 *6
Sクラス	(viii) 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備	<ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤 ・防潮壁 ・取放水路路縮小工 ・貯留堰 ・逆流防止設備 ・水扉 ・浸水防止蓋 ・浸水防止壁 ・逆止弁付ファンネル ・貫通部止水処置 	S	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・機器等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・第3号機海水熱交換器建屋 ・取水口 ・防潮堤（鋼管式鉛直壁） ・防潮堤（盛土堤防） ・防潮壁（第2号機放水立坑） ・防潮壁（第3号機放水立坑） ・揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内） ・原子炉建屋 ・制御建屋 ・軽油タンク室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・第3号機補機冷却海水系放水ビット ・海水ポンプ室 ・第3号機海水ポンプ室 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室門型クレーン ・竜巻防護ネット ・前面護岸 ・第1号機取水路 ・第3号機取水路 ・北側排水路 ・アクセスルート（防潮堤（盛土堤防）） ・タービン建屋 	S s
	(ix) 敷地における津波監視機能を有する施設	<ul style="list-style-type: none"> ・津波監視カメラ ・取水ビット水位計 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む） 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・機器、配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・防潮堤（盛土堤防） ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・軽油タンク室 ・軽油タンク連絡ダクト ・制御建屋 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室門型クレーン ・竜巻防護ネット ・北側排水路 ・アクセスルート（防潮堤（盛土堤防）） ・タービン建屋 ・中央制御室天井照明 ・補助ボイラー建屋 ・第1号機制御建屋 	S s
	(x) その他	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料プール水補給設備（残留熱除去系（燃料プール水の補給に必要な設備）） ・ほう酸水注入系*7 ・原子炉圧力容器内部構造物*8 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用電源及び計装設備（ディーゼル発電機及びその冷却系・補助施設を含む） 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器 	S	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・軽油タンク室 ・軽油タンク連絡ダクト ・制御建屋 ・原子炉本体の基礎 	S s	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋クレーン ・燃料交換機 ・原子炉しゃへい壁 ・ほう酸水注入系テストタンク ・中央制御室天井照明 ・海水ポンプ室門型クレーン ・竜巻防護ネット ・タービン建屋 ・補助ボイラー建屋 ・第1号機制御建屋 	S s

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (4/6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 *6
Bクラス	(i) 原子炉冷却材圧力 バウンダリに直接接 続されていて、一次冷 却材を内蔵している か又は内蔵し得る施 設	・主蒸気系(主蒸気第二 隔離弁から主蒸気止 め弁まで)	B*9	—	—	・機器・配管等の支持 構造物	B*9	・原子炉建屋 ・タービン建屋(主蒸気 第二隔離弁から主蒸 気止め弁までの配管・ 弁を支持する部分)	S d S d
		・主蒸気逃がし安全弁 排気管	B*10	—	—	・機器・配管等の支持 構造物	B*10	・原子炉建屋	S s
		・主蒸気系及び給水系 ・原子炉冷却材浄化系	B B	—	—	・機器・配管等の支持 構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋	S _B S _B
	(ii) 放射性廃棄物を内 蔵している施設、ただ し内蔵量が少ない又 は貯蔵方式により、そ の破損によって公衆 に与える放射線の影 響が周辺監視区域外 における年間の線量 限度に比ベ十分に小 さいものは除く	・放射性廃棄物処理設 備、ただし、Cクラス に属するものは除く	B	—	—	・機器・配管等の支持 構造物	B	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・焼却炉建屋 ・サイトバンカ建屋	S _B S _B S _B S _B

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (5/6)

耐震重要度分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4	
		適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動*6
Bクラス	(iii)放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従業員に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気タービン、湿分分離加熱器、主復水器、給水加熱器及びその主要配管 ・復水浄化系 ・復水貯蔵タンク ・燃料プール冷却浄化系 ・放射線低減効果の大きい遮蔽 ・制御棒駆動水圧系(放射性流体を内蔵する部分、ただし、スクラム機能に関するものを除く) ・原子炉建屋クレーン ・燃料取扱設備 ・制御棒貯蔵ラック 	B B B B B B B B	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管等の支持構造物 	B	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・タービンベデスタル ・復水貯蔵タンク基礎 	S _B S _B S _B S _B
	(iv)使用済燃料を冷却するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料プール冷却浄化系 	B	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却系 ・電気計装設備 	B B	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	B	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト 	S _B S _B S _B
	(v)放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設	—	—	—	—	—	—	—	—

表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類表 (6/6)

耐震重要度 分類	機能別分類	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 *6
Cクラス	(i)原子炉の反応度を抑制するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉再循環流量制御装置 制御棒駆動水圧系(Sクラス及びBクラスに属さない部分) 	C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 制御建屋 	S _c S _c
	(ii)放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取系 固化装置より下流の固体廃棄物取扱い設備(貯蔵庫を含む) 雑固体系 新燃料貯蔵設備 その他 	C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 タービン建屋 焼却炉建屋 サイトバンカ建屋 	S _c S _c S _c S _c
	(iii)放射線安全に関係しない施設等	<ul style="list-style-type: none"> 循環水系 タービン補機冷却系 補助ボイラー 消火系 開閉所, 発電機, 変圧器 換気空調系(Sクラスの換気空調系以外のもの) タービン建屋クレーン 圧縮空気系 その他 	C C C C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 海水ポンプ室 タービン建屋 制御建屋 当該施設に係る屋外コンクリート構造物 	S _c S _c S _c S _c S _c
		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下設備 	C*11	<ul style="list-style-type: none"> 電気計装設備 	C*11	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	C*11	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 制御建屋 当該施設に係る屋外コンクリート構造物 	S _s S _s S _s

- 注記*1： 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。
- *2： 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。
- *3： 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物又はこれらの設備の荷重を直接的に受ける支持構造物をいう。
- *4： 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物、土木構造物）をいう。
- *5： 波及的影響を考慮すべき施設とは、下位クラス施設のうち、その破損等によって上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。
- *6： S_s ：基準地震動 S_s により定まる地震力
 S_d ：弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力
 S_B ：Bクラス施設に適用される地震力
 S_C ：Cクラス施設に適用される静的地震力
- *7： ほう酸水注入系は、安全機能の重要度を考慮して、Sクラスに準じて取り扱う。
- *8： 原子炉圧力容器内部構造物は、炉内にあることの重要度を考慮して、Sクラスに準じて取り扱う。
- *9： Bクラスではあるが、弾性設計用地震動 S_d に対し破損しないことを確認する。
- *10： 主蒸気逃がし安全弁排気管については、基準地震動 S_s に対して破損しないことを確認することで、蒸気凝縮性能の信頼性を担保する。
- *11： Cクラスではあるが、基準地震動 S_s に対し機能維持することを確認する。

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (1/13)

- 印は耐震計算書を添付する設備
- 印は耐震計算書を添付しない設備
- ×印は撤去する設備
- ※は新設又は新規登録の設備

【 】内は検討用地震動を示す。

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
1. 原子炉本体 (1) 炉心		○チャンネルボックス ○炉心支持構造物			○原子炉建屋【S s】 ○原子炉本体の基礎【S s】	○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1
(2) 原子炉圧力容器		○原子炉圧力容器 ○原子炉圧力容器支持構造物 ○原子炉圧力容器付属構造物 ○原子炉圧力容器内部構造物				○原子炉しゃへい壁【S s】

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (2/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
2. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 (1) 燃料取扱設備			<input type="checkbox"/> 燃料交換機 (第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 原子炉建屋クレーン (第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 燃料チャンネル着脱機 (第1,2号機共用)		○原子炉建屋【S s】	○タービン建屋【S s】* ¹ ○制御建屋【S s】* ¹
(2) 使用済燃料貯蔵設備	<input type="checkbox"/> 使用済燃料プール (設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> キャスクピット (第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 使用済燃料貯蔵ラック (設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 制御棒・破損燃料貯蔵ラック	<input type="checkbox"/> 制御棒貯蔵ラック <input type="checkbox"/> 制御棒貯蔵ハンガ	<input type="checkbox"/> 燃料プール冷却浄化系ポンプ入口温度 <input type="checkbox"/> 燃料貯蔵プール水温度 <input type="checkbox"/> 燃料貯蔵プール水位 <input type="checkbox"/> 燃料プールライナドレン漏えい <input type="checkbox"/> 使用済燃料プール水位/温度 (ガイドパルス式) ※		<input type="checkbox"/> 原子炉建屋クレーン【S s】 <input type="checkbox"/> 燃料交換機【S s】 <input type="checkbox"/> 制御棒貯蔵ハンガ【S s】 <input type="checkbox"/> 制御棒貯蔵ラック【S s】 <input type="checkbox"/> 燃料チャンネル着脱機【S s】	
(3) 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	○関連配管	<input type="checkbox"/> 燃料プール冷却浄化系熱交換器 (設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 燃料プール冷却浄化系ポンプ (設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> スキマサージタンク (設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用) <input type="checkbox"/> 関連配管				

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (3/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
3. 原子炉冷却系統施設						
(1) 原子炉冷却材再循環設備		○原子炉再循環ポンプ ○関連配管			○原子炉建屋【S s】	○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1
(2) 原子炉冷却材の循環設備		○主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ ○主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ ○主蒸気流量制限器 ○関連配管・弁 (主蒸気系, 復水給水系)	□低圧第1 給水加熱器ドレンタンク □関連配管・弁 (主蒸気系, 復水給水系, 給水加熱器 ドレンベント系, 復水浄化系, 抽気 系)		□タービン建屋【S d】	
(3) 残留熱除去設備		○残留熱除去系熱交換器 ○残留熱除去系ポンプ ○残留熱除去系ストレーナ ○関連配管・弁				
(4) 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備		○高圧炉心スプレイ系ポンプ ○高圧炉心スプレイ系ストレーナ ○低圧炉心スプレイ系ポンプ ○低圧炉心スプレイ系ストレーナ ○関連配管・弁 (高圧炉心スプレイ系, 低圧炉心ス プレイ系)	□関連配管 (高圧炉心スプレイ系)			
(5) 原子炉冷却材補給設備		○原子炉隔離時冷却系ポンプ ○関連配管・弁 (原子炉隔離時冷却系)	□復水移送ポンプ □復水貯蔵タンク □関連配管 (補給水系)		□復水貯蔵タンク基礎 【S B】	

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (4/13)

耐震重要度分類 施設	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を 考慮すべき施設
(6)原子炉補機冷却設備	○原子炉補機冷却水系熱交換器 ○原子炉補機冷却水ポンプ ○原子炉補機冷却海水ポンプ ○原子炉補機冷却水サージタンク ○原子炉補機冷却海水系ストレーナ ○高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器 ○高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ ○高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ ○高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンク ○高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ ○関連配管(原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却海水系を含む。),高圧炉心スプレイ補機冷却水系(高圧炉心スプレイ補機冷却海水系を含む。))		<input type="checkbox"/> 関連配管(原子炉補機冷却水系(原子炉補機冷却海水系を含む。))	○海水ポンプ室【S s】 ○原子炉機器冷却海水配管ダクト【S s】	○海水ポンプ室門型クレーン【S s】 ○竜巻防護ネット【S s】 ○原子炉建屋クレーン【S s】
(7)原子炉冷却材浄化設備	<input type="checkbox"/> 関連配管・弁	<input type="checkbox"/> 関連配管			
(8)原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいを監視する装置			<input type="checkbox"/> ドライウェル送風機冷却コイルドレン流量 <input type="checkbox"/> ドライウェル床ドレンサンプル水位		
(9)蒸気タービン本体		<input type="checkbox"/> 復水器 <input type="checkbox"/> 関連配管・弁			
(10)蒸気タービンの附属設備		<input type="checkbox"/> 湿分分離加熱器 <input type="checkbox"/> 湿分分離加熱器第1段加熱器ドレンタンク <input type="checkbox"/> 湿分分離加熱器第2段加熱器ドレンタンク <input type="checkbox"/> 関連配管			

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (5/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
4. 計測制御系統施設 (1) 制御材		○制御棒			○原子炉建屋【S s】 ○原子炉本体の基礎【S s】	○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1
(2) 制御材駆動装置		○制御棒駆動機構 ○水圧制御ユニット (アキュムレータ) ○水圧制御ユニット (窒素容器) ○関連配管・弁	□スクラム排出容器 □関連配管・弁			
(3) ほう酸水注入設備		○ほう酸水注入系ポンプ ○ほう酸水注入系貯蔵タンク ○関連配管・弁				
(4) 計測装置		○起動領域モニタ ○出力領域モニタ ○原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン入口蒸気圧力 ○原子炉隔離時冷却系ポンプ出口圧力 ○高圧炉心スプレー系ポンプ出口圧力 ○原子炉冷却材浄化系入口流量 ○原子炉隔離時冷却系ポンプ出口流量 ○高圧炉心スプレー系ポンプ出口流量 ○残留熱除去系ポンプ出口流量 ○低圧炉心スプレー系ポンプ出口流量 ○原子炉圧力 ○原子炉水位 ○原子炉水位 (広帯域) ○原子炉水位 (燃料域) ○ドライウエル圧力 ○圧力抑制室圧力 ○ドライウエル温度 ○圧力抑制室内空気温度 ○サプレッションプール水温度 ○格納容器内雰囲気酸素濃度		□残留熱除去系ポンプ出口圧力※ □低圧炉心スプレー系ポンプ出口圧力※ □残留熱除去系熱交換器入口温度 □残留熱除去系熱交換器出口温度	○制御建屋【S s】	○耐火隔壁【S s】 ○中央制御室天井照明【S s】 ○補助ボイラー建屋【S s】*1 ○第 1 号機制御建屋【S s】*1

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (6/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
(4) 計測装置 (つづき)		○格納容器内雰囲気水素濃度 ○原子炉再循環ポンプ入口流量 ○圧力抑制室水位※				
(5) 原子炉非常停止信号		—				
(6) 工学的安全施設等の起動信号		—				
(7) 制御用空気設備		○関連配管・弁		□関連配管		
(8) 発電用原子炉の運転を管理するための制御装置		—				
(9) その他		○6-2C 母線電圧※ ○6-2D 母線電圧※ ○6-2H 母線電圧※ ○4-2C 母線電圧※ ○4-2D 母線電圧※ ○125V 直流主母線 2A 電圧※ ○125V 直流主母線 2B 電圧※ ○250V 直流主母線電圧※ ○HPCS125V 直流主母線電圧※		□送受話装置 (ページング) (警報装置を含む。) ※ □統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備 (テレビ会議システム, IP 電話, IP-FAX) ※ □無線連絡設備 (固定型) ※ □衛星電話設備 (固定型) ※ □安全パラメータ表示システム (SPDS) □データ伝送設備※ □通信事業者回線 (統合原子力防災ネットワーク) ※ □電力保安通信用回線※ □通信事業者回線※ □残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 ※	□緊急時対策建屋【S _C 】	○ほう酸水注入系テストタンク【S _s 】

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (7/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
5. 放射性廃棄物の廃棄施設 (1) 気体, 液体又は固体廃棄物処理設備		○排気筒 ○関連配管・弁 (放射性ドレン移送系) ×関連配管 (サブプレッションプール水貯蔵系)	□関連配管 (気体廃棄物処理系, 放射性ドレン移送系, 機器ドレン系, 床ドレン・化学廃液系, サイトбанка設備, 廃スラッジ系, 濃縮廃液系) ×関連配管・弁 (サブプレッションプール水貯蔵系) ×サブプレッションプール水移送ポンプ ×サブプレッションプール水貯蔵タンク (第 1, 2 号機共用)	□関連配管 (床ドレン・化学廃液系)	○排気筒基礎【S s】 ○原子炉建屋【S s】 □排気筒連絡ダクト【S _B 】	○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1 ○第 1 号機排気筒【S s】
(2) 堰 その他の設備			×サブプレッションプール水貯蔵タンクエリア及びサブプレッションプール水貯蔵タンク連絡ダクトの施設外との境界壁面及びこれに囲まれた床面 □原子炉建屋地上 1 階の施設外との境界壁面及び施設外への出入口床面 □タービン建屋地下 2 階及び制御建屋地下 2 階配管エリアの施設外との境界壁面及びこれに囲まれた床面		□タービン建屋【S _B 】 □制御建屋【S _B 】	

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (8/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
6. 放射線管理施設						
(1) 放射線管理用計測装置		<input type="checkbox"/> 主蒸気管放射線モニタ <input type="checkbox"/> 格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W) <input type="checkbox"/> 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) <input type="checkbox"/> 燃料取替エリア放射線モニタ <input type="checkbox"/> 原子炉建屋原子炉棟排気放射線モニタ		<input type="checkbox"/> 気体廃棄物処理設備エリア排気放射線モニタ <input type="checkbox"/> 燃料交換フロア放射線モニタ※	<input type="checkbox"/> 原子炉建屋【S s】 <input type="checkbox"/> 制御建屋【S s】	<input type="checkbox"/> タービン建屋【S s】*1 <input type="checkbox"/> 制御建屋【S s】*1 <input type="checkbox"/> 補助ボイラー建屋【S s】*1 <input type="checkbox"/> 第1号機制御建屋【S s】*1
(2) 換気設備		<input type="checkbox"/> 中央制御室送風機 <input type="checkbox"/> 中央制御室再循環送風機 <input type="checkbox"/> 中央制御室排風機 <input type="checkbox"/> 中央制御室再循環フィルタ装置 <input type="checkbox"/> 関連配管				
(3) 生体遮蔽装置		<input type="checkbox"/> 中央制御室しゃへい壁	<input type="checkbox"/> 2次しゃへい壁 <input type="checkbox"/> 補助しゃへい (原子炉建屋) <input type="checkbox"/> 補助しゃへい (タービン建屋) <input type="checkbox"/> 補助しゃへい (制御建屋) <input type="checkbox"/> 原子炉しゃへい壁		<input type="checkbox"/> タービン建屋【S _B 】	
(4) その他				<input type="checkbox"/> モニタリングポスト (データ伝送系 (有線)) ※ <input type="checkbox"/> モニタリングポスト (データ伝送系 (無線)) ※	<input type="checkbox"/> 緊急時対策建屋【S _C 】	

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (9/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
7. 原子炉格納施設 (1) 原子炉格納容器		<ul style="list-style-type: none"> ○原子炉格納容器 ○機器搬出入用ハッチ ○逃がし安全弁搬出入口 ○制御棒駆動機構搬出入口 ○サプレッションチェンバ出入口 ○所員用エアロック ○配管貫通部 ○電気配線貫通部 			○原子炉建屋【S s】	<ul style="list-style-type: none"> ○原子炉ウェルカバー【S s】 ○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1
(2) 原子炉建屋		<ul style="list-style-type: none"> ○原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) ○原子炉建屋大物搬入口 ○原子炉建屋エアロック 			○原子炉建屋基礎版【S s】	
(3) 圧力低減設備 その他の安全設備		<ul style="list-style-type: none"> ○真空破壊弁 ○ダウンコマ ○ベント管 ○ベント管ベローズ ○ベントヘッダ ○ドライウェルスプレイ管 ○サプレッションチェンバスプレイ管 ○非常用ガス処理系空気乾燥装置 ○非常用ガス処理系排風機 ○非常用ガス処理系フィルタ装置 ○可燃性ガス濃度制御系再結合装置加熱器 ○可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ ○可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ○関連配管・弁 (非常用ガス処理系, 可燃性ガス濃度制御系, 原子炉格納容器調気系) 		<ul style="list-style-type: none"> □関連配管 (原子炉格納容器調気系) 	<ul style="list-style-type: none"> ○排気筒連絡ダクト【S s】 ○排気筒基礎【S s】 	

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (10/13)

耐震重要度分類 施設	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を 考慮すべき施設
8. その他発電用原子炉の 附属施設 (1) 非常用電源設備	<ul style="list-style-type: none"> ○非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関 ○非常用ディーゼル発電設備調速装置 ○非常用ディーゼル発電設備非常調速装置 ○非常用ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ ○非常用ディーゼル発電設備空気だめ (手動) ○非常用ディーゼル発電設備空気だめ (自動) ○非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンク ○非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ※ ○非常用ディーゼル発電設備軽油タンク※ ○非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機 ○非常用ディーゼル発電設備励磁装置 ○非常用ディーゼル発電設備保護継電装置 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系 ディーゼル機関 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備調速装置 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常調速装置 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ (手動) ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ (自動) ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンク ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ※ ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク※ ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置 ○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備保護継電装置 ○関連配管・弁※ ○無停電交流電源用静止形無停電電源装置 ○125V 蓄電池 2A 及び 2B ○125V 蓄電池 2H 			<ul style="list-style-type: none"> ○原子炉建屋【S s】 ○制御建屋【S s】 ○軽油タンク室【S s】 ○軽油タンク室(H)【S s】 ○軽油タンク連絡ダクト 【S s】 	<ul style="list-style-type: none"> ○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (11/13)

施設	耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
(2) 常用電源設備				<input type="checkbox"/> 発電機 <input type="checkbox"/> 発電機励磁装置 <input type="checkbox"/> 発電機(保護継電装置) <input type="checkbox"/> 主変圧器 <input type="checkbox"/> 主変圧器(保護継電装置) <input type="checkbox"/> 線路用 275kV 遮断器(杜鹿幹線用(第 1 号機設備, 第 1, 2, 3 号機共用)) <input type="checkbox"/> 線路用 275kV 遮断器(松島幹線用(第 1 号機設備, 第 1, 2, 3 号機共用)) <input type="checkbox"/> 線路用 275kV 遮断器(杜鹿幹線用(第 1 号機設備, 第 1, 2, 3 号機共用)) (保護継電装置) <input type="checkbox"/> 線路用 275kV 遮断器(松島幹線用(第 1 号機設備, 第 1, 2, 3 号機共用)) (保護継電装置)	<input type="checkbox"/> タービン建屋【S _c 】 <input type="checkbox"/> 当該設備に係る屋外コンクリート構造物【S _c 】	
(3) 火災防護設備				<input type="checkbox"/> 電動機駆動消火ポンプ (第 1, 2 号機共用) ※ <input type="checkbox"/> 消火水タンク※ <input type="checkbox"/> 消火水槽 (第 1, 2 号機共用) ※ <input type="checkbox"/> 屋外消火系電動機駆動消火ポンプ※ <input type="checkbox"/> 屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプ※ <input type="checkbox"/> 屋外消火系消火水タンク※ <input type="checkbox"/> 関連配管(屋内水消火系, 屋外水消火系) ※ <input type="checkbox"/> ハロン 1301 貯蔵容器【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> FK-5-1-12 貯蔵容器【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 関連配管(ハロンガス消火設備, ケーブルトレイ消火設備)【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 水素濃度検出器※ <input type="checkbox"/> 煙感知器 (防暴型を含む)【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 熱感知器 (防暴型, 熱感知カメラを含む)【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 炎感知器 (赤外線, 屋外仕様含む)【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 火災受信機盤 (蓄電池内蔵)【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 全域ガス消火設備【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 局所ガス消火設備【S _s 】*2※ <input type="checkbox"/> 消火器※ <input type="checkbox"/> 二酸化炭素消火器※ <input type="checkbox"/> 消火栓※ <input type="checkbox"/> 移動式消火設備 (化学消防自動車) ※ <input type="checkbox"/> 高感度煙検出設備 (中央制御室内) ※	<input type="checkbox"/> 補助ボイラー建屋【S _c 】	

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (12/13)

耐震重要度分類 施設	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を 考慮すべき施設
(4) 浸水防護設備	<ul style="list-style-type: none"> ○防潮堤（鋼管式鉛直壁）*3※ ○防潮堤（盛土堤防）*3※ ○防潮壁（第2号機海水ポンプ室）*3※ ○防潮壁（第2号機放水立坑）*3※ ○防潮壁（第3号機海水ポンプ室）*3※ ○防潮壁（第3号機放水立坑）*3※ ○防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）*3※ ○取放水路流路縮小工（第1号機取水路）*3※ ○取放水路流路縮小工（第1号機放水路）*3※ ○貯留堰*3※ ○逆流防止設備*3※ ○水密扉*3※ ○浸水防止蓋*3※ ○逆止弁付ファンネル*3※ ○貫通部止水処置*3※ ○津波監視カメラ*3※ ○取水ピット水位計*3※ 	<ul style="list-style-type: none"> □原子炉建屋地上1階の施設外との境界壁面及び施設外への出入口床面 □タービン建屋地下2階及び制御建屋地下2階配管エリアの施設外との境界壁面及びこれに囲まれた床面 	<ul style="list-style-type: none"> □水密扉※ □浸水防止堰※ □逆流防止装置※ ○水密扉【S s】*2※ ○堰【S s】*2※ ○貫通部止水処置【S s】*2※ ○逆流防止装置【S s】*2※ □循環水系隔離システム【S s】*2※ □タービン補機冷却海水系隔離システム【S s】*2※ 	<ul style="list-style-type: none"> ○第3号機海水熱交換器建屋【S s】 ○取水口【S s】 ○防潮堤（鋼管式鉛直壁）【S s】 ○防潮堤（盛土堤防）【S s】 ○防潮壁（第2号機放水立坑）【S s】 ○防潮壁（第3号機放水立坑）【S s】 ○揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）【S s】 ○海水ポンプ室【S s】 ○原子炉機器冷却海水配管ダクト【S s】 ○第3号機補機冷却海水系放水ピット【S s】 ○第3号機海水ポンプ室【S s】 	<ul style="list-style-type: none"> ○第1号機取水路【S s】 ○第3号機取水路【S s】 ○北側排水路【S s】 ○アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））【S s】 ○竜巻防護ネット【S s】 ○前面護岸【S s】
(5) 補機駆動用燃料設備	—				
(6) 非常用取水設備			<ul style="list-style-type: none"> ○貯留堰※ ○取水口※ ○取水路※ ○海水ポンプ室※ 		

表 2-2 設計基準対象施設の申請設備の耐震重要度分類 (13/13)

施設 耐震重要度分類	S	B	C	間接支持構造物	波及的影響を 考慮すべき施設
9. 施設共通 (1) 地下水位低下設備			○ドレーン【S s】*4※ ○接続柵【S s】*4※ ○揚水井戸【S s】*4※ ○揚水ポンプ【S s】*4※ ○水位計【S s】*4※ ○制御盤【S s】*4※ ○電源盤【S s】*4※ ○関連配管（地下水位低下設備） 【S s】*4※	○揚水井戸（第2号機 原子炉建屋東側） 【S s】 ○揚水井戸（第2号機 原子炉建屋西側） 【S s】 ○揚水井戸（第3号機 海水熱交換器建屋東 側）【S s】 ○揚水井戸（第3号機 海水熱交換器建屋北 側）【S s】 ○原子炉建屋【S s】 ○制御建屋【S s】	○タービン建屋【S s】*1 ○制御建屋【S s】*1 ○補助ボイラー建屋【S s】*1 ○第1号機制御建屋【S s】*1

注記*1：間接支持構造物への波及的影響評価を実施する。

*2：火災感知及び消火の機能並びに地震時の溢水伝播を防止する設備としての耐震設計方針を示す。

*3：津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備としての耐震重要度を示す。

*4：地下水位を一定の範囲に保持するための設備としての耐震設計方針を示す。

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(1/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	1. 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの	1. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 ・使用済燃料プール (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用) ・使用済燃料貯蔵ラック (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用) ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・燃料プール冷却浄化系熱交換器 (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用) ・燃料プール冷却浄化系ポンプ (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用) ・スキマサージタンク (設計基準対象施設としてのみ第1, 2号機共用) ・関連配管 ・サイフォンブレイク孔	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋	・原子炉建屋クレーン ・燃料交換機 ・制御棒貯蔵ハンガ ・制御棒貯蔵ラック ・燃料チャンネル着脱機 ・タービン建屋* ・制御建屋*
		2. 原子炉冷却系統施設 ・主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ ・主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ ・主蒸気逃がし安全弁 ・高圧代替注水系タービンポンプ ・復水貯蔵タンク ・直流駆動低圧注水系ポンプ ・復水移送ポンプ ・ほう酸水注入系ポンプ ・ほう酸水注入系貯蔵タンク ・原子炉補機冷却水サージタンク ・関連配管 ・関連弁 ・原子炉格納容器 ・フィルタ装置出口側ラプチャディスク ・フィルタ装置 ・遠隔手動弁操作設備 ・排気筒 ・炉心支持構造物	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器支持スカート	・原子炉建屋 ・復水貯蔵タンク基礎 ・原子炉本体の基礎 ・排気筒基礎 ・排気筒連絡ダクト	・第1号機排気筒 ・原子炉ウェルカバー ・原子炉しゃへい壁 ・タービン建屋* ・制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設 (2/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	1. 常設耐震重要 重大事故防止設備 常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉圧力容器 ・原子炉建屋ブローアウトパネル ・給水スパーージャ ・残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) ・高圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部) ・高圧炉心スプレイスパーージャ ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ティーより N11 ノズルまでの外管) ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部) ・残留熱除去系熱交換器 			
		3. 計測制御系統施設 <ul style="list-style-type: none"> ・制御棒 ・制御棒駆動機構 ・水圧制御ユニット (アキュムレータ) ・水圧制御ユニット (窒素容器) ・ほう酸水注入系ポンプ ・ほう酸水注入系貯蔵タンク ・起動領域モニタ ・出力領域モニタ ・高圧代替注水系ポンプ出口圧力 ・直流駆動低圧注水系ポンプ出口圧力 ・復水移送ポンプ出口圧力 ・残留熱除去系熱交換器出口温度 ・高圧代替注水系ポンプ出口流量 ・残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系ヘッドスプレイライン洗浄流量) ・残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系 B 系格納容器冷却ライン洗浄流量) ・直流駆動低圧注水系ポンプ出口流量 ・原子炉圧力 ・原子炉圧力 (SA) ・原子炉水位 (広帯域) ・原子炉水位 (燃料域) ・原子炉水位 (SA 広帯域) 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器支持スカート 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・原子炉本体の基礎 ・制御建屋 ・復水貯蔵タンク基礎 	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室天井照明 ・耐火隔壁 ・原子炉しゃへい壁 ・タービン建屋* ・制御建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第 1 号機制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(3/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>基準地震動S_sによる地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの</p>	<p>1. 常設耐震重要 重大事故防止設備</p> <p>常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉水位 (SA 燃料域) ・圧力抑制室圧力 ・圧力抑制室内空気温度 ・サブプレッションプール水温度 ・格納容器内水素濃度 (D/W) ・格納容器内水素濃度 (S/C) ・復水貯蔵タンク水位 ・原子炉格納容器代替スプレイ流量 ・圧力抑制室水位 ・関連配管 ・関連弁 ・フィルタ装置出口水素濃度 ・原子炉圧力容器温度 ・フィルタ装置入口圧力 (広域帯) ・フィルタ装置出口圧力 (広域帯) ・フィルタ装置水位 (広域帯) ・フィルタ装置水温度 ・高圧窒素ガス供給系 ADS 入口圧力 ・代替高圧窒素ガス供給系窒素ガス供給止め弁入口圧力 ・6-2F-1 母線電圧 ・6-2F-2 母線電圧 ・6-2C 母線電圧 ・6-2D 母線電圧 ・4-2C 母線電圧 ・4-2D 母線電圧 ・125V 直流主母線 2A 電圧 ・125V 直流主母線 2B 電圧 ・125V 直流主母線 2A-1 電圧 ・125V 直流主母線 2B-1 電圧 ・250V 直流主母線電圧 ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ティーより N11 ノズルまでの外管) ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部) 			

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(4/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	1. 常設耐震重要 重大事故防止設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心支持構造物 ・ 原子炉圧力容器 ・ 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ ・ 主蒸気逃がし安全弁 			
	常設重大事故防止設備 であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの	4. 放射線管理施設 <ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W) ・ 格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C) ・ フィルタ装置出口放射線モニタ ・ 耐圧強化ベント系放射線モニタ ・ 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (低線量) ・ 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量) ・ 中央制御室送風機 ・ 中央制御室再循環送風機 ・ 中央制御室排風機 ・ 中央制御室再循環フィルタ装置 ・ 中央制御室しゃへい壁 ・ 関連配管 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建屋 ・ 制御建屋 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建屋クレーン ・ タービン建屋* ・ 制御建屋* ・ 補助ボイラー建屋* ・ 第 1 号機制御建屋*
		5. 原子炉格納施設 <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉格納容器 ・ 機器搬出入用ハッチ ・ 逃がし安全弁搬出入口 ・ 制御棒挿入機構搬出入口 ・ サプレッションチェンバ出入口 ・ 所員用エアロック ・ 配管貫通部 ・ 電気配線貫通部 ・ 真空破壊弁 ・ ダウンカマ ・ ベント管 ・ ベント管ベローズ ・ ベントヘッダ ・ ドライウェルスプレイ管 ・ サプレッションチェンバスプレイ管 ・ 復水移送ポンプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建屋 ・ 復水貯蔵タンク基礎 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉ウェルカバー ・ タービン建屋* ・ 制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設 (5/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	1. 常設耐震重要 重大事故防止設備	<ul style="list-style-type: none"> ・復水貯蔵タンク ・フィルタ装置 ・フィルタ装置出口側ラプチャディスク ・関連配管 ・関連弁 ・遠隔手動弁操作設備 			
	常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの	6. 非常用電源設備 <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備ガスタービン機関 ・ガスタービン発電設備調速装置 ・ガスタービン発電設備非常調速装置 ・ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ ・ガスタービン発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備燃料小出槽 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機 ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機励磁装置 ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機保護継電装置 ・緊急時対策用軽油タンク ・125V 蓄電池 2A 及び 2B ・125V 代替蓄電池 ・250V 蓄電池 ・関連配管 ・メタルクラッドスイッチギア (非常用) ・メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) ・パワーセンタ (非常用) ・モータコントロールセンタ (非常用) ・モータコントロールセンタ (高圧炉心スプレイ系用) ・動力変圧器 (非常用) ・動力変圧器 (高圧炉心スプレイ系用) ・460V 原子炉建屋交流電源切替盤 (非常用) ・中央制御室 120V 交流分電盤 (非常用) ・ガスタービン発電機接続盤 ・メタルクラッドスイッチギア (緊急用) 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク室 ・緊急用電気品建屋 ・ガスタービン発電設備軽油タンク室 ・軽油タンク室 (H) ・緊急時対策建屋 ・原子炉建屋 ・制御建屋 ・軽油タンク連絡ダクト ・ガスタービン発電設備車両 	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン建屋* ・制御建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第 1 号機制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(6/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	1. 常設耐震重要重大事故防止設備 常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの	<ul style="list-style-type: none"> ・動力変圧器 (緊急用) ・パワーセンタ (緊急用) ・モータコントロールセンタ (緊急用) ・ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ接続盤 ・460V 原子炉建屋交流電源切替盤 (緊急用) ・120V 原子炉建屋交流電源切替盤 (緊急用) ・中央制御室 120V 交流分電盤 (緊急用) ・125V 充電器 2A 及び 2B ・125V 直流主母線盤 2A 及び 2B ・125V 直流主母線盤 2A-1 及び 2B-1 ・125V 直流分電盤 2A-1, 2A-2, 2A-3, 2B-1, 2B-2, 2B-3 及び 2B-4 ・125V 直流電源切替盤 2A 及び 2B ・125V 直流 RCIC モータコントロールセンタ ・125V 充電器 2H ・125V 直流主母線盤 2H ・125V 代替充電器 ・250V 充電器 ・250V 直流主母線盤 ・メタルクラッドスイッチギア (緊急時対策所用) ・動力変圧器 (緊急時対策所用) ・モータコントロールセンタ (緊急時対策所用) ・105V 交流電源切替盤 (緊急時対策所用) ・105V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・120V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・210V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・125V 直流主母線盤 (緊急時対策所用) 			
		7. 補機駆動用燃料設備 <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備軽油タンク ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備軽油タンク ・関連配管 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク室 ・軽油タンク室(H) ・ガスタービン発電設備軽油タンク室 	—
		8. 非常用取水設備 <ul style="list-style-type: none"> ・貯留堰 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・取水口 	<ul style="list-style-type: none"> ・前面護岸

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設 (7/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	2. 常設重大事故緩和設備 重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの	1. 核燃料物質の取扱及び貯蔵施設 ・使用済燃料プール (設計基準対象施設としてのみ第 1, 2 号機共用) ・使用済燃料貯蔵ラック (設計基準対象施設としてのみ第 1, 2 号機共用) ・制御棒・破損燃料貯蔵ラック ・使用済燃料プール水位/温度 (ガイドパルス式) ・使用済燃料プール水位/温度 (ヒートサーモ式) ・関連配管 ・使用済燃料プール監視カメラ	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋	・原子炉建屋クレーン ・燃料交換機 ・制御棒貯蔵ハンガ ・制御棒貯蔵ラック ・燃料チャンネル着脱機 ・タービン建屋* ・制御建屋*
		2. 原子炉冷却系統施設 ・主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ ・主蒸気逃がし安全弁 ・高圧代替注水系タービンポンプ ・復水貯蔵タンク ・復水移送ポンプ ・代替循環冷却ポンプ ・残留熱除去系ストレーナ ・原子炉補機冷却水サージタンク ・関連配管 ・関連弁 ・炉心支持構造物 ・原子炉圧力容器 ・給水スパージャ ・残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) ・残留熱除去系熱交換器 ・原子炉格納容器	・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器支持スカート	・原子炉建屋 ・復水貯蔵タンク基礎 ・原子炉本体の基礎	・タービン建屋* ・制御建屋* ・原子炉しゃへい壁

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(8/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>基準地震動S_sによる地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの</p>	<p>2. 常設重大事故緩和設備</p> <p>重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの</p>	<p>3. 計測制御系統施設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ほう酸水注入系ポンプ ・ほう酸水注入系貯蔵タンク ・高圧代替注水系ポンプ出口圧力 ・代替循環冷却ポンプ出口圧力 ・復水移送ポンプ出口圧力 ・残留熱除去系熱交換器入口温度 ・高圧代替注水系ポンプ出口流量 ・残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系ヘッドスプレイライン洗浄流量) ・残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系 B 系格納容器冷却ライン洗浄流量) ・代替循環冷却ポンプ出口流量 ・原子炉圧力 ・原子炉圧力 (SA) ・原子炉水位 (広帯域) ・原子炉水位 (燃料域) ・原子炉水位 (SA 広帯域) ・原子炉水位 (SA 燃料域) ・ドライウエル圧力 ・圧力抑制室圧力 ・ドライウエル温度 ・圧力抑制室内空気温度 ・サブプレッションプール水温度 ・原子炉格納容器下部温度 ・格納容器内雰囲気酸素濃度 ・格納容器内水素濃度 (D/W) ・格納容器内水素濃度 (S/C) ・格納容器内雰囲気水素濃度 ・復水貯蔵タンク水位 ・原子炉格納容器代替スプレイ流量 ・原子炉格納容器下部注水流量 ・圧力抑制室水位 ・原子炉格納容器下部水位 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器支持スカート 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・制御建屋 ・復水貯蔵タンク基礎 ・緊急時対策建屋 ・原子炉本体の基礎 	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD 自動交換機 ・耐火隔壁 ・原子炉建屋クレーン ・中央制御室天井照明 ・原子炉しゃへい壁 ・タービン建屋* ・制御建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第 1 号機制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(9/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>基準地震動S_sによる地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの</p>	<p>2. 常設重大事故緩和設備</p> <p>重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライウエル水位 ・原子炉建屋内水素濃度 ・関連配管 ・関連弁 ・無線連絡設備 (固定型) ・衛星電話設備 (固定型) ・安全パラメータ表示システム (SPDS) ・データ伝送設備 ・フィルタ装置出口水素濃度 ・静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 ・原子炉圧力容器温度 ・フィルタ装置入口圧力 (広帯域) ・フィルタ装置出口圧力 (広帯域) ・フィルタ装置水位 (広帯域) ・フィルタ装置水温度 ・6-2F-1 母線電圧 ・6-2F-2 母線電圧 ・6-2C 母線電圧 ・6-2D 母線電圧 ・4-2C 母線電圧 ・4-2D 母線電圧 ・125V 直流主母線 2A 電圧 ・125V 直流主母線 2B 電圧 ・125V 直流主母線 2A-1 電圧 ・125V 直流主母線 2B-1 電圧 ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ティーより N11 ノズルまでの外管) ・差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部) ・炉心支持構造物 ・原子炉圧力容器 			

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(10/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	2. 常設重大事故緩和設備 重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの	4. 放射線管理施設 ・格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W) ・格納容器内雰囲気放射線モニタ(S/C) ・フィルタ装置出口放射線モニタ ・使用済燃料プール上部空間放射線モニタ(低線量) ・使用済燃料プール上部空間放射線モニタ(高線量) ・中央制御室送風機 ・中央制御室再循環送風機 ・中央制御室排風機 ・中央制御室再循環フィルタ装置 ・緊急時対策所非常用送風機 ・緊急時対策所非常用フィルタ装置 ・2次しゃへい壁 ・補助しゃへい(原子炉建屋) ・補助しゃへい(タービン建屋) ・補助しゃへい(制御建屋) ・中央制御室しゃへい壁 ・中央制御室待避所遮蔽 ・緊急時対策所遮蔽 ・関連配管	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・制御建屋 ・緊急時対策建屋 ・タービン建屋	・原子炉建屋クレーン ・タービン建屋* ・制御建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第1号機制御建屋*
		5. 原子炉格納施設 ・原子炉格納容器 ・機器搬出入用ハッチ ・逃がし安全弁搬出入口 ・制御棒駆動機構搬出入口 ・サブプレッションチェンバ出入口 ・所員用エアロック ・配管貫通部 ・電気配線貫通部 ・原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設) ・原子炉建屋大物搬入口 ・原子炉建屋エアロック	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 ・原子炉圧力容器支持スカート	・原子炉建屋 ・復水貯蔵タンク基礎 ・排気筒連絡ダクト ・排気筒基礎 ・原子炉本体の基礎	・原子炉ウエルカバー ・原子炉建屋クレーン ・第1号機排気筒 ・原子炉しゃへい壁 ・制御建屋* ・タービン建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(11/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>基準地震動 S s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの</p>	<p>2. 常設重大事故緩和設備</p> <p>重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・真空破壊弁 ・ダウンコマ ・ベント管 ・ベント管ベローズ ・ベントヘッド ・ドライウェルスプレイ管 ・サプレッションチェンバスプレイ管 ・復水移送ポンプ ・代替循環冷却ポンプ ・復水貯蔵タンク ・残留熱除去系ストレーナ ・残留熱除去系熱交換器 ・高圧代替注水系タービンポンプ ・ほう酸水注入系ポンプ ・ほう酸水注入系貯蔵タンク ・非常用ガス処理系排風機 ・静的触媒式水素再結合装置 ・フィルタ装置 ・フィルタ装置出口側ラプチャディスク ・関連配管 ・関連弁 ・炉心支持構造物 ・原子炉圧力容器 ・残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部） ・給水スパージャ ・差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管） ・差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部） ・非常用ガス処理系空気乾燥装置 ・非常用ガス処理系フィルタ装置 ・排気筒 ・原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置 ・遠隔手動弁操作設備 			

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(12/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>基準地震動S_sによる地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの</p>	<p>2. 常設重大事故緩和設備</p> <p>重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの</p>	<p>6. 非常用電源設備</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備ガスタービン機関 ・ガスタービン発電設備調速装置 ・ガスタービン発電設備非常調速装置 ・ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ ・ガスタービン発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備燃料小出槽 ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機 ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機励磁装置 ・ガスタービン発電設備ガスタービン発電機保護継電装置 ・緊急時対策所軽油タンク ・125V 蓄電池 2A 及び 2B ・125V 代替蓄電池 ・関連配管 ・メタルクラッドスイッチギア (非常用) ・メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用) ・パワーセンタ (非常用) ・モータコントロールセンタ (非常用) ・モータコントロールセンタ (高圧炉心スプレイ系用) ・動力変圧器 (非常用) ・動力変圧器 (高圧炉心スプレイ系用) ・460V 原子炉建屋交流電源切替盤 (非常用) ・中央制御室 120V 交流分電盤 (非常用) ・ガスタービン発電機接続盤 ・メタルクラッドスイッチギア (緊急用) ・動力変圧器 (緊急用) ・パワーセンタ (緊急用) ・モータコントロールセンタ (緊急用) ・ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ接続盤 ・460V 原子炉建屋交流電源切替盤 (緊急用) ・120V 原子炉建屋交流電源切替盤 (緊急用) ・中央制御室 120V 交流分電盤 (緊急用) ・125V 充電器 2A 及び 2B 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管, 電気計装設備等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク室 ・緊急用電気品建屋 ・ガスタービン発電設備軽油タンク室 ・軽油タンク室(H) ・軽油タンク連絡ダクト ・緊急時対策建屋 ・原子炉建屋 ・制御建屋 ・ガスタービン発電設備車両 	<ul style="list-style-type: none"> ・制御建屋* ・タービン建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第1号機制御建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(13/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	2. 常設重大事故緩和設備 重大事故等対処設備のうち、重大事故が発生した場合において、当該重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する設備であって常設のもの	<ul style="list-style-type: none"> ・125V 直流主母線盤 2A 及び 2B ・125V 直流主母線盤 2A-1 及び 2B-1 ・125V 直流分電盤 2A-1, 2A-2, 2A-3, 2B-1, 2B-2, 2B-3 及び 2B-4 ・125V 直流電源切替盤 2A 及び 2B ・125V 直流 RCIC モータコントロールセンタ ・125V 充電器 2H ・125V 直流主母線盤 2H ・125V 代替充電器 ・メタルクラッドスイッチギア (緊急時対策所用) ・動力変圧器 (緊急時対策所用) ・モータコントロールセンタ (緊急時対策所用) ・105V 交流電源切替盤 (緊急時対策所用) ・105V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・120V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・210V 交流分電盤 (緊急時対策所用) ・125V 直流主母線盤 (緊急時対策所用) 			
		7. 補機駆動用燃料設備 <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備軽油タンク ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ・ガスタービン発電設備軽油タンク ・関連配管 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器・配管等の支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク室 ・軽油タンク室(H) ・ガスタービン発電設備軽油タンク室 	—
		8. 非常用取水設備 <ul style="list-style-type: none"> ・貯留堰 ・取水口 ・取水路 ・海水ポンプ室 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・取水口 	<ul style="list-style-type: none"> ・前面護岸

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(14/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
基準地震動 S _s による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないように設計するもの	3. 常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) 設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の拡大を防止し、又はその影響を緩和するための機能を有する常設重大事故緩和設備以外の常設のもの	1. 原子炉冷却系統施設 ・原子炉補機冷却水系熱交換器 ・原子炉補機冷却水ポンプ ・原子炉補機冷却海水ポンプ ・原子炉補機冷却水サージタンク ・原子炉補機冷却海水系ストレーナ ・関連配管	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管連絡ダクト	・竜巻防護ネット ・海水ポンプ室門型クレーン ・制御建屋* ・タービン建屋*
		2. 非常用電源設備 ・非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル機関 ・非常用ディーゼル発電設備調速装置 ・非常用ディーゼル発電設備非常調速装置 ・非常用ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備空気だめ (自動) ・非常用ディーゼル発電設備燃料デイトank ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機 ・非常用ディーゼル発電設備励磁装置 ・非常用ディーゼル発電設備保護継電装置 ・関連弁	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・軽油タンク室	・制御建屋* ・タービン建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(15/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
静的地震力又は共振のおそれのある設備については弾性設計用地震動S _d に2分の1を乗じたものによる地震力に対して十分に耐える設計のもの	4. 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備	1. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 ・使用済燃料プール水位/温度 (ガイドバルブ式) ・使用済燃料プール水位/温度 (ヒートサーモ式) ・使用済燃料プール監視カメラ	・電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋	・原子炉建屋クレーン ・燃料交換機 ・制御建屋* ・タービン建屋*
	常設重大事故防止設備であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの以外のもの	2. 原子炉冷却系統施設 ・関連配管	・機器・配管等の支持構造物	・復水貯蔵タンク基礎	—
		3. 計測制御系統施設 ・ドライウエル圧力 ・ドライウエル温度 ・無線連絡設備 (固定型) ・衛星電話設備 (固定型)	・電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・制御建屋 ・緊急時対策建屋	・中央制御室天井照明 ・制御建屋* ・タービン建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第1号機制御建屋*
		4. 放射線管理施設 ・2次しゃへい壁 ・補助しゃへい (原子炉建屋) ・補助しゃへい (タービン建屋) ・補助しゃへい (制御建屋)	—	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・制御建屋	・制御建屋* ・タービン建屋* ・補助ボイラー建屋* ・第1号機制御建屋*
		5. 非常用取水設備 ・取水口 ・取水路 ・海水ポンプ室	—	—	・前面護岸

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(16/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>当該設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力に十分に耐えることができるように設計するもの</p>	<p>5. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)</p> <p>設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもの</p>	<p>1. 原子炉冷却系統施設</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 残留熱除去系熱交換器 ・ 残留熱除去系ポンプ ・ 残留熱除去系ストレーナ ・ ドライウェルスプレイ管 ・ サプレッションチェンバスプレイ管 ・ 高圧炉心スプレイ系ポンプ ・ 復水貯蔵タンク ・ 高圧炉心スプレイ系ストレーナ ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ ・ 低圧炉心スプレイ系ストレーナ ・ 原子炉隔離時冷却系ポンプ ・ 原子炉補機冷却水系熱交換器 ・ 原子炉補機冷却水ポンプ ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ ・ 原子炉補機冷却水系サージタンク ・ 原子炉補機冷却海水系ストレーナ ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器 ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却水系サージタンク ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ ・ 関連配管 ・ 関連弁 ・ 炉心支持構造物 ・ 原子炉圧力容器 ・ 原子炉格納容器 ・ ジェットポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部) ・ 高圧炉心スプレイスパージャ ・ 低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部) ・ 低圧炉心スプレイスパージャ ・ 給水スパージャ ・ 残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 ・ 原子炉圧力容器支持スカート 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建屋 ・ 復水貯蔵タンク基礎 ・ 海水ポンプ室 ・ 原子炉機器冷却海水配管ダクト ・ 原子炉本体の基礎 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻防護ネット ・ 海水ポンプ室門型クレーン ・ 原子炉しゃへい壁 ・ 原子炉ウエルカバー ・ 制御建屋* ・ タービン建屋*

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(17/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
当該設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力に十分に耐えることができるように設計するもの	5. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張) 設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもの	3. 計測制御系統施設 ・原子炉隔離時冷却系ポンプ出口圧力 ・高圧炉心スプレイ系ポンプ出口圧力 ・残留熱除去系ポンプ出口圧力 ・低圧炉心スプレイ系ポンプ出口圧力 ・残留熱除去系熱交換器入口温度 ・原子炉隔離時冷却系ポンプ出口流量 ・高圧炉心スプレイ系ポンプ出口流量 ・残留熱除去系ポンプ出口流量 ・低圧炉心スプレイ系ポンプ出口流量 ・原子炉補機冷却水系系統流量 ・残留熱除去系熱交換器冷却水入口流量 ・6-2H 母線電圧 ・HPCS125V 直流主母線電圧	・電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・制御縦建屋	・耐火隔壁 ・中央制御室天井照明 ・制御建屋* ・タービン建屋* ・補助ボイラー建屋* ¹ ・第1号機制御建屋* ¹
		4. 原子炉格納施設 ・残留熱除去系熱交換器 ・残留熱除去系ポンプ ・残留熱除去系ストレーナ ・ドライウェルスプレイ管 ・サブプレッションチェンバスプレイ管 ・関連配管 ・関連弁 ・原子炉格納容器	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋	・原子炉ウエルカバー ・制御建屋* ・タービン建屋*
		5. 非常用電源設備 ・非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル機関 ・非常用ディーゼル発電設備調速装置 ・非常用ディーゼル発電設備非常調速装置 ・非常用ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備空気だめ(自動) ・非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンク ・非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル発電機 ・非常用ディーゼル発電設備励磁装置	・機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	・原子炉建屋 ・軽油タンク室 ・軽油タンク室(H) ・軽油タンク連絡ダクト ・制御建屋	・制御建屋* ・タービン建屋* ・補助ボイラー建屋* ¹ ・第1号機制御建屋* ¹

表 4-1 重大事故等対処施設の耐震設計上の分類別施設(18/18)

耐震設計上の分類	機能別分類	設備	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設
<p>当該設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力に十分に耐えることができるように設計するもの</p>	<p>5. 常設重大事故防止設備(設計基準拡張)</p> <p>設計基準対象施設のうち、重大事故等時に機能を期待する設備であって、重大事故の発生を防止する機能を有する常設重大事故防止設備以外の常設のもの</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電設備保護継電装置 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備調速装置 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常調速装置 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関付清水ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめ(自動) ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンク ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置 ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備保護継電装置 ・ 125V 蓄電池 2H ・ 関連配管 ・ 関連弁 ・ 125V 充電器 2A 及び 2B ・ 125V 充電器 2H ・ 125V 直流分電盤 2H 			

注記* : 間接支持構造物への波及的影響評価を実施する。

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類(1/23)

本表では、「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備」を「常設重大事故防止設備」と表記する。

○印は耐震計算書を添付する。

□印は耐震計算書を添付しない。

【 】内は検討用地震動を示す。

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
1. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設			
(1) 使用済燃料貯蔵設備			
○使用済燃料プール（設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】
○使用済燃料貯蔵ラック（設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】 ○制御棒貯蔵ハンガ【S s】 ○制御棒貯蔵ラック【S s】 ○燃料チャンネル着脱機【S s】
○制御棒・破損燃料貯蔵ラック	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】
○使用済燃料プール水位/温度（ガイドバルブ式）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】
○使用済燃料プール水位/温度（ヒートサーモ式）	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】
(2) 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備			
○燃料プール冷却浄化系熱交換器（設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○燃料プール冷却浄化系ポンプ（設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○スキマサージタンク（設計基準対象施設としてのみ第1,2号機共用）	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	○原子炉建屋クレーン【S s】 ○燃料交換機【S s】

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (2/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設耐震重要重大事故防止設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
○関連配管	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
○関連配管	重大事故等対処施設	・ 常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
(3)その他			
○使用済燃料プール監視カメラ	重大事故等対処施設	・ 常設重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】
○使用済燃料プール(設計基準対象施設としてのみ第 1, 2 号機共用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
○使用済燃料貯蔵ラック (設計基準対象施設としてのみ第 1, 2 号機共用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】 ○制御棒貯蔵ハンガ 【 S s 】 ○制御棒貯蔵ラック 【 S s 】 ○燃料チャンネル着脱機【 S s 】
○制御棒・破損燃料貯蔵ラック	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
□サイフォンブレイク孔	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備	○原子炉建屋クレーン 【 S s 】 ○燃料交換機【 S s 】
2. 原子炉冷却系統施設			
(1) 原子炉冷却材の循環設備			
○主蒸気逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設耐震重要重大事故防止設備	—
○主蒸気逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレータ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○主蒸気逃がし安全弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (3/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
(2) 残留熱除去設備			
○残留熱除去系熱交換器	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系ストレーナ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○ドライウェルスプレイ管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○サプレッションチェンバースプレイ管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
(3) 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備			
○高圧炉心スプレイ系ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○復水貯蔵タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ストレーナ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○低圧炉心スプレイ系ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (4/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○低圧炉心スプレイ系ストレーナ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧代替注水系タービンポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉隔離時冷却系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○直流駆動低圧注水系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○復水移送ポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○代替循環冷却ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○残留熱除去系ストレーナ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○ほう酸水注入系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○ほう酸水注入系貯蔵タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○残留熱除去系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (5/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
(4) 原子炉補機冷却設備			
○原子炉補機冷却水系熱交換器	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○原子炉補機冷却水ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○原子炉補機冷却海水ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	○海水ポンプ室門型ク レーン【S s】 ○竜巻防護ネット 【S s】
○原子炉補機冷却水サージタンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○原子炉補機冷却海水系ストレ ーナ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ補機冷却水 系熱交換器	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ補機冷却水 ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ補機冷却海 水ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○海水ポンプ室門型ク レーン【S s】 ○竜巻防護ネット 【S s】
○高圧炉心スプレイ補機冷却水 サージタンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ補機冷却海 水系ストレーナ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○海水ポンプ室門型ク レーン【S s】 ○竜巻防護ネット 【S s】
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	○海水ポンプ室門型ク レーン【S s】 ○竜巻防護ネット 【S s】
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○海水ポンプ室門型ク レーン【S s】 ○竜巻防護ネット 【S s】

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (6/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
(5) その他			
○炉心支持構造物	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○原子炉圧力容器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○原子炉しゃへい壁 【S s】
○原子炉格納容器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○原子炉ウエルカバー 【S s】
○ジェットポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○フィルタ装置出口側ラブチャ ディスク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○フィルタ装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
□遠隔手動弁操作設備	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○排気筒	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	○第1号機排気筒 【S s】
○高圧炉心スプレイ系配管 (原 子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイスパージャ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
□原子炉建屋ブローアウトパネ ル	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○低圧炉心スプレイ系配管 (原 子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○低圧炉心スプレイスパージャ	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○給水スパージャ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系配管 (原子炉圧 力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系熱交換器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (7/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ティーより N11 ノズルまでの外管)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
□関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
□関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
□関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
3. 計測制御系統施設			
(1) 制御材			
○制御棒	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
(2) 制御材駆動装置			
○制御棒駆動機構	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○水圧制御ユニット (アキュムレータ)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○水圧制御ユニット (窒素容器)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
(3) ほう酸水注入設備			
○ほう酸水注入系ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ほう酸水注入系貯蔵タンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (8/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
(4) 計測装置			
○起動領域モニタ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○出力領域モニタ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○高圧代替注水系ポンプ出口圧力	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○直流駆動低圧注水系ポンプ出口圧力	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○代替循環冷却ポンプ出口圧力	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉隔離時冷却系ポンプ出口圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ポンプ出口圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系ポンプ出口圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○耐火隔壁【S s】
○低圧炉心スプレイ系ポンプ出口圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○復水移送ポンプ出口圧力	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○残留熱除去系熱交換器入口温度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系熱交換器出口温度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○高圧代替注水系ポンプ出口流量	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系ヘッドスプレイライン洗浄流量)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (9/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○残留熱除去系洗浄ライン流量 (残留熱除去系B系格納容器 冷却ライン洗浄流量)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○直流駆動低圧注水系ポンプ出 口流量	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○代替循環冷却ポンプ出口流量	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉隔離時冷却系ポンプ出 口流量	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ポンプ出 口流量	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系ポンプ出口流量	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○耐火隔壁【S s】
○低圧炉心スプレイ系ポンプ出 口流量	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○原子炉圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○耐火隔壁【S s】
○原子炉圧力 (SA)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉水位 (広帯域)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○耐火隔壁【S s】
○原子炉水位 (燃料域)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉水位 (SA 広帯域)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉水位 (SA 燃料域)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ドライウェル圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○圧力抑制室圧力	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ドライウェル温度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (10/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○圧力抑制室内空気温度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○サブプレッションプール水温度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉格納容器下部温度	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○CRD 自動交換機 【S s】
○格納容器内雰囲気酸素濃度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
○格納容器内水素濃度(D/W)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○格納容器内水素濃度(S/C)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○格納容器内雰囲気水素濃度	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
○復水貯蔵タンク水位	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉格納容器代替スプレイ 流量	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉格納容器下部注水流量	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○圧力抑制室水位	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○耐火隔壁【S s】
○原子炉格納容器下部水位	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○CRD 自動交換機 【S s】
○ドライウェル水位	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉建屋内水素濃度	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【S s】
(5) 制御用空気設備			
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (11/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
(6)その他			
<input type="checkbox"/> 無線連絡設備 (固定型)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
<input type="checkbox"/> 衛星電話設備 (固定型)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
<input type="checkbox"/> 安全パラメータ表示システム (SPDS)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
<input type="checkbox"/> データ伝送設備	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
<input type="checkbox"/> フィルタ装置出口水素濃度	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> 静的触媒式水素再結合装置 動作監視装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【S s】
<input type="checkbox"/> 原子炉圧力容器温度	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> フィルタ装置入口圧力 (広帯域)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> フィルタ装置出口圧力 (広帯域)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> フィルタ装置水位 (広帯域)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> フィルタ装置水温度	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
<input type="checkbox"/> 原子炉補機冷却水系系統流量	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
<input type="checkbox"/> 残留熱除去系熱交換器冷却水 入口流量	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
<input type="checkbox"/> 高圧窒素ガス供給系 ADS 入 口圧力	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
<input type="checkbox"/> 代替高圧窒素ガス供給系窒素 ガス供給止め弁入口圧力	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
<input type="checkbox"/> 6-2F-1 母線電圧	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
<input type="checkbox"/> 6-2F-2 母線電圧	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (12/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○6-2C 母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○6-2D 母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○6-2H 母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○中央制御室天井照明 【S s】
○4-2C 母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○4-2D 母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○125V 直流主母線 2A 電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○125V 直流主母線 2B 電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○125V 直流主母線 2A-1 電圧	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○125V 直流主母線 2B-1 電圧	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○250V 直流主母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備	○中央制御室天井照明 【S s】
○HPCS125V 直流主母線電圧	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○中央制御室天井照明 【S s】
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ティーより N11 ノズルまでの外管)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○炉心支持構造物	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉圧力容器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉しゃへい壁 【S s】
○主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○主蒸気逃がし安全弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (13/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
4. 放射線管理施設			
(1) 放射線管理用計測装置			
○格納容器内雰囲気放射線モニタ (D/W)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○格納容器内雰囲気放射線モニタ (S/C)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○フィルタ装置出口放射線モニタ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○耐圧強化ベント系放射線モニタ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (低線量)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【S s】
○使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【S s】
(2) 換気設備			
○中央制御室送風機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室再循環送風機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室排風機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室再循環フィルタ装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○緊急時対策所非常用送風機	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○緊急時対策所非常用フィルタ装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (14/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
(3) 生体遮蔽装置			
○2次しゃへい壁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○補助しゃへい (原子炉建屋)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○補助しゃへい (タービン建屋)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○補助しゃへい (制御建屋)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Bクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室しゃへい壁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室待避所遮蔽	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○緊急時対策所遮蔽	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
5. 原子炉格納施設			
(1) 原子炉格納容器			
○原子炉格納容器	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○原子炉ウエルカバー 【S s】
○機器搬出入用ハッチ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○逃がし安全弁搬出入口	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○制御棒駆動機構搬出入口	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○サブプレッションチェンバ出入口	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○所員用エアロック	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (15/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○配管貫通部	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○電気配線貫通部	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
(2) 原子炉建屋			
○原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	○制御建屋【S s】 ○タービン建屋 【S s】
○原子炉建屋大物搬入口	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉建屋エアロック	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
(3) 圧力低減設備その他の安全設 備			
○真空破壊弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ダウンカム	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ベント管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ベント管ベローズ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ベントヘッド	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ドライウェルスプレイ管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○サブプレッションチェンバスプ レイ管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○復水移送ポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (16/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○代替循環冷却ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○復水貯蔵タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○残留熱除去系ストレーナ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○残留熱除去系熱交換器	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧代替注水系タービンポン プ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○ほう酸水注入系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○ほう酸水注入系貯蔵タンク	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○残留熱除去系ポンプ	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ガス処理系排風機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
○静的触媒式水素再結合装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○原子炉建屋クレーン 【S s】
○フィルタ装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
□フィルタ装置出口側ラプチャ ディスク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故緩和設備	—
(4) その他			
○原子炉格納容器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	○原子炉ウエルカバー 【S s】
○残留熱除去系熱交換器	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (17/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○炉心支持構造物	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉圧力容器	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○原子炉しゃへい壁 【S s】
○残留熱除去系配管 (原子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○給水スパージャ	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (ディーより N11 ノズルまでの外管)	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉建屋原子炉棟	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○制御建屋【S s】 ○タービン建屋【S s】
○原子炉建屋大物搬入口	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○原子炉建屋エアロック	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○非常用ガス処理系空気乾燥装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○非常用ガス処理系フィルタ装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○排気筒	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	○第1号機排気筒 【S s】
○原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
○フィルタ装置出口側ラプチャディスク	重大事故等対処施設	・常設重大事故緩和設備	—
□遠隔手動弁操作設備	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○フィルタ装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
□関連弁	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
6. 非常用電源設備 (1) 非常用発電装置 ○非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル機関	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (18/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○非常用ディーゼル発電設備調 速装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備非 常调速装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備機 関付清水ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備空 気だめ (自動)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備燃 料デイトンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備燃 料移送ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備軽 油タンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○非常用ディーゼル発電設備非 常用ディーゼル発電機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備励 磁装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○非常用ディーゼル発電設備保 護継電装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備高圧炉心スプレイ 系ディーゼル機関	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備调速装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備非常调速装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備機関付清水ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備空気だめ (自動)	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (19/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備保護継電装置	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設重大事故防止設備（設計基準拡張）	—
○ガスタービン発電設備ガスタービン機関	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備调速装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備非常调速装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備軽油タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備燃料小出槽	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備ガスタービン発電機	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備ガスタービン発電機励磁装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備ガスタービン発電機保護継電装置	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○緊急時対策所軽油タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 蓄電池 2A 及び 2B	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Sクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (20/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○125V 蓄電池 2H	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○125V 代替蓄電池	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○250V 蓄電池	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) ・ 常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)	—
○関連弁	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・ S クラス ・ 常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・ 常設重大事故緩和設備	—
(2) その他			
○メタルクラッドスイッチギア (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○メタルクラッドスイッチギア (高圧炉心スプレイ系用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○パワーセンタ (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○モータコントロールセンタ (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○モータコントロールセンタ (高圧炉心スプレイ系用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○動力変圧器 (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○動力変圧器 (高圧炉心スプレ イ系用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○460V 原子炉建屋交流電源切替 盤 (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室 120V 交流分電盤 (非常用)	重大事故等対処施設	・ 常設耐震重要重大事故防止設備 ・ 常設重大事故緩和設備	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (21/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○ガスタービン発電機接続盤	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○メタルクラッドスイッチギア (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○動力変圧器 (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○パワーセンタ (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○モータコントロールセンタ (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備燃料移 送ポンプ接続盤	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○460V 原子炉建屋交流電源切替 盤 (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○120V 原子炉建屋交流電源切替 盤 (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○中央制御室 120V 交流分電盤 (緊急用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 充電器 2A 及び 2B	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○125V 直流主母線盤 2A 及び 2B	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流主母線盤 2A-1 及び 2B-1	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流分電盤 2A-1, 2A-2, 2A-3, 2B-1, 2B-2, 2B-3 及び 2B-4	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流電源切替盤 2A 及び 2B	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流 RCIC モータコント ロールセンタ	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 充電器 2H	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備 ・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—
○125V 直流主母線盤 2H	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流分電盤 2H	重大事故等対処施設	・常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)	—

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (22/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○125V 代替充電器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○250V 充電器	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○250V 直流主母線盤	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備	—
○メタルクラッドスイッチギア (緊急時対策所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○動力変圧器 (緊急時対策所 用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○モータコントロールセンタ (緊急時対策所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○105V 交流電源切替盤 (緊急時 対策所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○105V 交流分電盤 (緊急時対策 所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○120V 交流分電盤 (緊急時対策 所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○210V 交流分電盤 (緊急時対策 所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○125V 直流主母線盤 (緊急時対 策所用)	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
7. 補機駆動用燃料設備 (1)燃料設備			
○非常用ディーゼル発電設備軽 油タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○高圧炉心スプレイ系ディーゼ ル発電設備軽油タンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○ガスタービン発電設備軽油タ ンク	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○関連配管	重大事故等対処施設	・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
8. 非常用取水設備 (1)取水設備			
○貯留堰	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設耐震重要重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○前面護岸【S s】

表 4-2 重大事故等対処施設の申請設備の設備分類 (23/23)

設備名称	施設区分	耐震重要度分類 設備分類	波及的影響を 考慮すべき施設
○取水口	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	○前面護岸【S s】
○取水路	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—
○海水ポンプ室	設計基準対象施設 重大事故等対処施設	・Cクラス ・常設重大事故防止設備 ・常設重大事故緩和設備	—

VI-2-1-5 波及的影響に係る基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
3.	波及的影響を考慮した施設の設計方針	1
3.1	波及的影響を考慮した施設の設計の観点	1
3.2	不等沈下又は相対変位の観点による設計	2
3.3	接続部の観点による設計	3
3.4	損傷、転倒、落下等の観点による建屋内施設の設計	3
3.5	損傷、転倒、落下等の観点による建屋外施設の設計	4
4.	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設	4
4.1	不等沈下又は相対変位の観点	4
4.2	接続部の観点	6
4.3	建屋内施設の損傷、転倒、落下等の観点	6
4.4	建屋外施設の損傷、転倒、落下等の観点	12
5.	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針	17
5.1	耐震評価部位	17
5.2	地震応答解析	17
5.3	設計用地震動又は地震力	17
5.4	荷重の種類及び荷重の組合せ	17
5.5	許容限界	18
5.5.1	建物・構築物	18
5.5.2	機器・配管系	18
5.5.3	土木構造物	18
6.	工事段階における下位クラス施設の調査・検討	19

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「3.3 波及的影響に対する考慮」に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の耐震設計を行うに際して、波及的影響を考慮した設計の基本的な考え方を説明するものである。

本資料の適用範囲は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設である。

2. 基本方針

設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のSクラスに属する施設（以下「Sクラス施設」という。）、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「SA施設」という。）は、下位クラス施設の波及的影響によって、それぞれその安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないように設計する。

3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針

3.1 波及的影響を考慮した施設の設計の観点

Sクラス施設の設計においては、「設置許可基準規則の解釈別記2」（以下「別記2」という。）に記載の以下の4つの観点で実施する。

SA施設の設計においては、別記2における「耐震重要施設」を「SA施設」に、「安全機能」を「重大事故等に対処するために必要な機能」に読み替えて適用する。

- ①設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響
- ②耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
- ③建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下等による耐震重要施設への影響
- ④建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下等による耐震重要施設への影響

また、上記①～④以外に設計の観点に含める事項がないかを確認する。原子力発電情報公開ライブラリ(NUCIA:ニューシア)に登録された原子力発電所の被害情報と東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所の不適合情報から地震による被害情報を抽出し、その要因を整理する。地震被害の発生要因が「別記2」①～④の検討事項に分類されない要因については、その要因も設計の観点に追加する。

以上の①～④の具体的な設計方法を以下に示す。

3.2 不等沈下又は相対変位の観点による設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2①「設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

(1) 地盤の不等沈下による影響

下位クラスの施設が設置される地盤の不等沈下により、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、以下のとおり設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の不等沈下を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設を上位クラス施設と同等の支持性能をもつ地盤に、同等の基礎を設けて設置する。

支持性能が十分でない地盤に下位クラス施設を設置する場合は、基礎の補強や周辺の地盤改良等を行った上で、同等の支持性能を確保する。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設が設置される地盤の不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、不等沈下を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

(2) 建屋間の相対変位による影響

下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位により、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、以下のとおり設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位を想定しても、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設との間に波及的影響を防止するために、衝突に対する強度を有する障壁を設置する。

下位クラス施設と上位クラス施設との相対変位により、下位クラス施設が上位クラス施設に衝突する位置にある場合には、衝突部分の接触状況の確認、建屋全体評価又は局部評価を実施し、衝突に伴い、上位クラス施設について、それぞれ

その安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれのないよう設計する。

以上の設計方針のうち、建屋全体評価又は局部評価を実施して設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

3.3 接続部の観点による設計

建屋内外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2②「耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

上位クラス施設と下位クラス施設との接続部には、原則、上位クラス施設の隔離弁等を設置することにより分離し、事故時等に隔離されるよう設計する。隔離されない接続部以降の下位クラス施設については、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度等を確保するよう設計する。又は、これらが維持されなくなる可能性がある場合は、下位クラス施設の損傷と隔離によるプロセス変化により、上位クラス施設の内部流体の温度、圧力に影響を与えても、支持構造物を含めて系統としての機能が設計の想定範囲内に維持されるよう設計する。

以上の設計方針のうち、内部流体の内包機能、機器の動的機能、構造強度を確保するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

3.4 損傷、転倒、落下等の観点による建屋内施設の設計

建屋内に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2③「建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

隔離による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。

下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒、落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

3.5 損傷、転倒、落下等の観点による建屋外施設の設計

建屋外に設置する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を対象に、別記 2④「建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒、落下等による耐震重要施設への影響」の観点で、上位クラス施設の安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう下位クラス施設を設計する。

離隔による防護を講じて設計する場合には、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定しても上位クラス施設に衝突しない程度に十分な距離をとって配置するか、下位クラス施設と上位クラス施設の間に波及的影響を防止するために衝突に対する強度を有する障壁を設置する。

下位クラス施設を上位クラス施設への波及的影響を及ぼす可能性がある位置に設置する場合には、下位クラス施設が上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力に対して、下位クラス施設が損傷、転倒及び落下等に至らないよう構造強度設計を行う。

上記の方針で設計しない場合は、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する。

以上の設計方針のうち、構造強度設計を行う、又は下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を想定し、上位クラス施設の有する機能を保持するよう設計する下位クラス施設を「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」に、その設計方針を「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に示す。

4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設

「3. 波及的影響を考慮した施設の設計方針」に基づき、構造強度等を確保するように設計するものとして選定した下位クラス施設を以下に示す。

4.1 不等沈下又は相対変位の観点

(1) 地盤の不等沈下による影響

不等沈下によって影響を及ぼす施設はない。

(2) 建屋間の相対変位による影響

a. タービン建屋

下位クラス施設であるタービン建屋は上位クラス施設である原子炉建屋及び制御建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、原子炉建屋及び制御建屋に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

b. 補助ボイラー建屋

下位クラス施設の補助ボイラー建屋は上位クラス施設である制御建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、制御建屋に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

c. 第1号機制御建屋

下位クラス施設の第1号機制御建屋は上位クラス施設である制御建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う相対変位により衝突して、制御建屋に対して波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

d. 制御建屋

本施設は上位クラス施設であるが、同じく上位クラス施設の原子炉建屋に隣接していることから、地震による相対変位により衝突して、原子炉建屋及び制御建屋自身に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の相対変位により、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を表 4-1 に示す。

表 4-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（相対変位）

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
原子炉建屋 制御建屋	タービン建屋
制御建屋	補助ボイラー建屋
	第 1 号機制御建屋
原子炉建屋	制御建屋*

*：当該建屋は上位クラス施設であるが、原子炉建屋に近接していることを踏まえ、相対変位の影響を確認する。

4.2 接続部の観点

上位クラス施設と下位クラス施設との接続部は隔離弁等により隔離されていること、又は下位クラス施設の損傷と隔離によるプロセス変化に対する上位クラス施設への過渡条件が設計の想定範囲内に維持されることから、接続部における相互影響の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

4.3 建屋内施設の損傷，転倒，落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒及び落下等による影響

a. 原子炉しゃへい壁

下位クラス施設の原子炉しゃへい壁は上位クラス施設である原子炉圧力容器に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により、原子炉圧力容器に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

b. 原子炉建屋クレーン

下位クラス施設の原子炉建屋クレーンは上位クラス施設である使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等の上部又は近傍に設置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒、落下により、使用済燃料プール等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

c. 燃料交換機

下位クラス施設の燃料交換機は上位クラス施設である使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等の上部又は近傍に設置していることから、上位クラ

ス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒，落下により，使用済燃料プール等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

d. 制御棒貯蔵ハンガ

下位クラス施設の制御棒貯蔵ハンガは上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックの近傍に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒，落下により，使用済燃料貯蔵ラックに衝突し波及的影響を及ぼすことが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

e. 制御棒貯蔵ラック

下位クラス施設の制御棒貯蔵ラックは上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックの近傍に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒，落下により，使用済燃料貯蔵ラックに衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

f. 燃料チャンネル着脱機

下位クラス施設の燃料チャンネル着脱機は上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックの近傍に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒，落下により，使用済燃料貯蔵ラックに衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

g. 原子炉ウェルカバー

下位クラス施設の原子炉ウェルカバーは上位クラス施設であるドライウェルの上部に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により，ドライウェルに衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

h. CRD 自動交換機

下位クラス施設の CRD 自動交換機は上位クラス施設である原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度の上部に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により，原子炉格

納容器下部水位等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。
このため波及的影響の設計対象とした。

i. 中央制御室天井照明

下位クラス施設の中央制御室天井照明は上位クラス施設である原子炉制御盤，原子炉補機制御盤等の上部に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により，原子炉制御盤等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

j. ほう酸水注入系テストタンク

下位クラス施設のほう酸水注入系テストタンクは上位クラス施設であるほう酸水注入系ポンプ出口圧力に隣接していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により，ほう酸水注入形ポンプ出口圧力に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

k. 耐火隔壁

下位クラス施設である耐火隔壁は上位クラス施設である中央制御室外原子炉停止装置盤，原子炉系（広域水位）計装ラック等に隣接していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒により，中央制御室外原子炉停止装置盤等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の損傷，転倒，落下等により波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を表 4-2 に示す。

表 4-2 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
 (建屋内施設の損傷, 転倒, 落下等) (1/3)

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
原子炉压力容器	原子炉しゃへい壁
使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック 制御棒・破損燃料貯蔵ラック 燃料プール冷却浄化系配管 スキマサージタンク 静的触媒式水素再結合装置 FPC 燃料プール注入逆止弁 静的触媒式水素再結合装置動作監視装置 原子炉建屋内水素濃度 使用済燃料プール水位/温度 使用済燃料プール上部空間放射線モニタ (高線量, 低線量) 使用済燃料プール監視カメラ	原子炉建屋クレーン
使用済燃料プール 使用済燃料貯蔵ラック 制御棒・破損燃料貯蔵ラック 燃料プール冷却浄化系配管 スキマサージタンク FPC 燃料プール注入逆止弁 使用済燃料プール水位/温度	燃料交換機
使用済燃料貯蔵ラック	制御棒貯蔵ハンガ
	制御棒貯蔵ラック
	燃料チャンネル着脱機
ドライウエル	原子炉ウエルカバー
原子炉格納容器下部水位 原子炉格納容器下部温度	CRD 自動交換機

表 4-2 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
 (建屋内施設の損傷, 転倒, 落下等) (2/3)

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
重要計器監視用 125V 直流分電盤 2 原子炉冷却制御盤 原子炉制御盤 原子炉補機制御盤 原子炉保護系盤 原子炉保護系試験盤 原子炉系プロセス計装盤 残留熱除去系 (A)・低圧炉心スプレイ系盤 残留熱除去系 (B・C) 盤 高圧炉心スプレイ系盤 原子炉隔離時冷却系盤 格納容器第一隔離弁盤 格納容器第二隔離弁盤 自動減圧系盤 FPC・FPMUW・SLC・MUWC・MUWP・FW 制御盤 トリップチャンネル盤 FCS・SGTS 盤 サプレッションプール水温度記録監視盤 格納容器計装配管隔離弁盤 所内補機制御盤 タービン発電機制御盤 所内電源制御盤 非常用換気空調系盤 HPCS 系非常用換気空調系盤 RCW・RSW 盤 漏えい検出系盤 計算機バッファ補助リレー盤 M/C 補助継電器盤 AM 制御盤 HPAC 制御盤 代替電源制御盤 代替注水制御盤	中央制御室天井照明

表 4-2 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
 (建屋内施設の損傷, 転倒, 落下等) (3/3)

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
DCLI 制御盤 フィルタベント系制御盤 差圧計 安全パラメータ表示システム (SPDS) データ伝送設備 データ表示装置 無線連絡設備 (固定型) 衛星電話設備 (固定型)	中央制御室天井照明
ほう酸水注入系ポンプ出口圧力	ほう酸水注入系テストタンク
中央制御室外原子炉停止装置盤 原子炉系 (広域水位) 計装ラック 原子炉系 (狭域水位) 計装ラック S/C 圧力, S/C-R/B 差圧計器架台 圧力抑制室水位 RCW サージタンク水位 残留熱除去系計装ラック	耐火隔壁

4.4 建屋外施設の損傷，転倒，落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒，落下等による影響

a. 海水ポンプ室門型クレーン

下位クラス施設の海水ポンプ室門型クレーンは上位クラス施設である原子炉補機冷却海水ポンプ，原子炉補機冷却海水系配管等の上部又は近傍に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う転倒，落下により，原子炉補機冷却海水ポンプ等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

b. 竜巻防護ネット

下位クラス施設の竜巻防護ネットは上位クラス施設である原子炉補機冷却海水ポンプ，原子炉補機冷却海水系配管等の上部又は近傍に設置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う落下により，原子炉補機冷却海水ポンプ等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

c. 第1号機取水路

下位クラス施設の第1号機取水路は上位クラス施設である防潮堤の下部の地中に位置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により，防潮堤の支持機能に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

d. 第3号機取水路

下位クラス施設の第3号機取水路は上位クラス施設である防潮堤の下部の地中に位置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により，防潮堤の支持機能に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

e. 北側排水路

下位クラス施設の北側排水路は上位クラス施設である防潮堤内を横断していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により，防潮堤に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

f. アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））

下位クラス施設のアクセスルート（防潮堤の盛土堤防部と一体となっている部分）は上位クラス施設である防潮堤と一体の構造となっていることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、防潮堤の機能に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

g. タービン建屋

下位クラス施設のタービン建屋は上位クラス施設である防潮壁、逆流防止設備等に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、防潮壁等に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

h. 補助ボイラー建屋

下位クラス施設の補助ボイラー建屋は上位クラス施設である制御建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、制御建屋に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

i. 第1号機制御建屋

下位クラス施設の第1号機制御建屋は上位クラス施設である制御建屋に隣接していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、制御建屋に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

j. 第1号機排気筒

下位クラス施設の第1号機排気筒は斜面上に位置していることから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により、上位クラス施設である排気筒に衝突し波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

k. 前面護岸

下位クラス施設の前面護岸は上位クラス施設である取水口，貯留堰の近傍に位置していることから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に伴う損傷により，取水口の取水機能に波及的影響を及ぼすおそれが否定できない。

このため波及的影響の設計対象とした。

ここで選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の損傷，転倒，落下等により波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設を表 4-3 に示す。

表 4-3 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
 (建屋外施設の損傷, 転倒, 落下等) (1/2)

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水系配管 RSW ポンプ吐出逆止弁 RSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ吐出連絡管止め弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ HPSW ポンプ吐出逆止弁 HPSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ出口圧力計器架台 HPSW ポンプ出口圧力計器架台 防潮堤 防潮壁 浸水防止蓋 逆止弁付ファンネル 貫通部止水処置 取水ピット水位計 浸水防止壁	海水ポンプ室門型クレーン
原子炉補機冷却海水ポンプ 原子炉補機冷却海水系配管 RSW ポンプ吐出逆止弁 RSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ吐出連絡管止め弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ HPSW ポンプ吐出逆止弁 HPSW ポンプ吐出弁 RSW ポンプ出口圧力計器架台 HPSW ポンプ出口圧力計器架台	竜巻防護ネット

表 4-3 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
 (建屋外施設の損傷, 転倒, 落下等) (2/2)

波及的影響を受けるおそれのある 上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする 下位クラス施設
逆止弁付ファンネル 貫通部止水処置 取水ピット水位計	竜巻防護ネット
防潮堤	第 1 号機取水路
	第 3 号機取水路
	北側排水路
	アクセスルート (防潮堤 (盛土堤防))
防潮壁 逆流防止設備 貫通部止水処置 原子炉建屋 制御建屋	タービン建屋
制御建屋	補助ボイラー建屋
	第 1 号機制御建屋
排気筒	第 1 号機排気筒
取水口 貯留堰	前面護岸

5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針

「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」で選定した施設の耐震設計方針を以下に示す。

5.1 耐震評価部位

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価対象部位は、それぞれの損傷モードに応じて選定する。すなわち、評価対象下位クラス施設の不等沈下、相対変位、接続部における相互影響、損傷、転倒、落下等を防止するよう、主要構造部材、支持部及び固定部等を対象とする。

また、下位クラス施設の転倒を想定して設計する施設については、上位クラス施設の機能に影響がないよう評価部位を選定する。

各施設の耐震評価部位は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.1 耐震評価部位」に示す。

5.2 地震応答解析

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計において実施する地震応答解析については、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「10. 耐震計算の基本方針」に従い、既工認で実績があり、かつ最新の知見に照らしても妥当な手法及び条件を基本として行う。

各施設の設計に適用する地震応答解析は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.2 地震応答解析」に示す。

5.3 設計用地震動又は地震力

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設においては、上位クラス施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。

各施設の設計に適用する地震動又は地震力は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.3 設計用地震動又は地震力」に示す。

5.4 荷重の種類及び荷重の組合せ

波及的影響の防止を目的とした設計において用いる荷重の種類及び荷重の組合せについては、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態において下位クラス施設に発生する荷重を組み合わせる。

また、転倒を想定し、上位クラス施設の機能に影響がないよう設計する場合は、転倒等に伴い発生する荷重を組み合わせる。

荷重の設定においては、実運用・実事象上定まる範囲を考慮して設定する。

各施設の設計に適用する荷重の種類及び組み合わせは、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ」に示す。

5.5 許容限界

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価に用いる許容限界設定の考え方を、以下建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物に分けて示す。

5.5.1 建物・構築物

建物・構築物について、離隔による防護を講じることで、下位クラス施設の相対変位等による波及的影響を防止する場合は、下位クラス施設と上位クラス施設との距離を基本として許容限界を設定する。

また、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を防止する場合は、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大せん断ひずみに対して J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみ、部材に発生する応力に対して、「建築基準法及び同施行令」に基づく層間変形角の評価基準値及び建物・構築物全体が崩壊しないことを基本とした終局耐力を許容限界として設定する。

5.5.2 機器・配管系

機器・配管系について、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の接続部における相互影響及び損傷、転倒、落下等を防止する場合は、許容限界として、評価部位に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有していることに相当する許容限界を設定する。機器の動的機能維持を確保することで、下位クラス施設の接続部における相互影響を防止する場合は、許容限界として機能確認済加速度を設定する。

配管については、配管耐震評価上影響のある下位クラス配管を上位クラス配管に含めて構造強度設計を行う。

また、転倒を想定する場合は、下位クラスの施設の転倒に伴い発生する荷重により、上位クラス施設の評価部位に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有していること、また転倒した下位クラス施設と上位クラス施設との距離を許容限界として設定する。

5.5.3 土木構造物

土木構造物について、施設の構造を保つことで、下位クラス施設の損傷、転倒、落下等を防止する場合は、構造部材の終局耐力や基礎地盤の極限支持力度に対し妥当な安全余裕を考慮することを基本として許容限界を設定する。

また、構造物の安定性や変形により上位クラス施設の機能に影響がないよう設計する場合は、構造物のすべりや変形量に対し妥当な安全余裕を考慮することを基本として許容限界を設定する。

各施設の評価に適用する許容限界は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.5 許容限界」に示す。

6. 工事段階における下位クラス施設の調査・検討

工事段階においても、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計段階の際に検討した配置・補強等が設計どおりに施されていることを、敷地全体を俯瞰した調査・検討を行うことで確認する。また、仮置資材等、現場の配置状況等の確認を必要とする下位クラス施設についても併せて確認する。

工事段階における検討は、別記2の4つの観点のうち、③及び④の観点、すなわち下位クラス施設の損傷、転倒、落下等による影響について、プラントウォークダウンにより実施する。

確認事項としては、設計段階において検討した離隔による防護の観点で行う。すなわち、施設の損傷、転倒、落下等を想定した場合に上位クラス施設に衝突するおそれのある範囲内に下位クラス施設がないこと、又は間に衝撃に耐えうる障壁、緩衝物等が設置されていること、仮置資材等については固縛など、転倒及び落下を防止する措置が適切に講じられていることを確認する。

ただし、仮置資材等の下位クラス施設自体が、明らかに影響を及ぼさない程度の大きさ、重量等の場合は対象としない。

以上を踏まえて、損傷、転倒、落下等により、上位クラス施設に波及的影響を及ぼす可能性がある下位クラス施設が抽出されれば、必要に応じて、上記の確認事項と同じ観点で対策・検討を行う。

すなわち、下位クラス施設の配置を変更したり、間に緩衝物等を設置したり、固縛等の転倒・落下防止措置等を講じたりすることで対策・検討を行う。

また、工事段階における確認の後も、波及的影響を防止するように現場を保持するため、保安規定に機器設置時の配慮事項等を定めて管理する。

VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針

目 次

1. 概要.....	1
2. 地震応答解析の方針.....	4
2.1 建物・構築物.....	4
2.2 機器・配管系.....	7
2.3 屋外重要土木構造物.....	9
3. 設計用減衰定数.....	10

別紙 1 地震観測網について

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4. 設計用地震力」に基づき、建物・構築物、機器・配管系及び屋外重要土木構造物の耐震設計を行う際の地震応答解析の基本方針を説明するものである。

図 1-1、図 1-2 及び図 1-3 に建物・構築物、機器・配管系及び屋外重要土木構造物の地震応答解析の手順をそれぞれ示す。

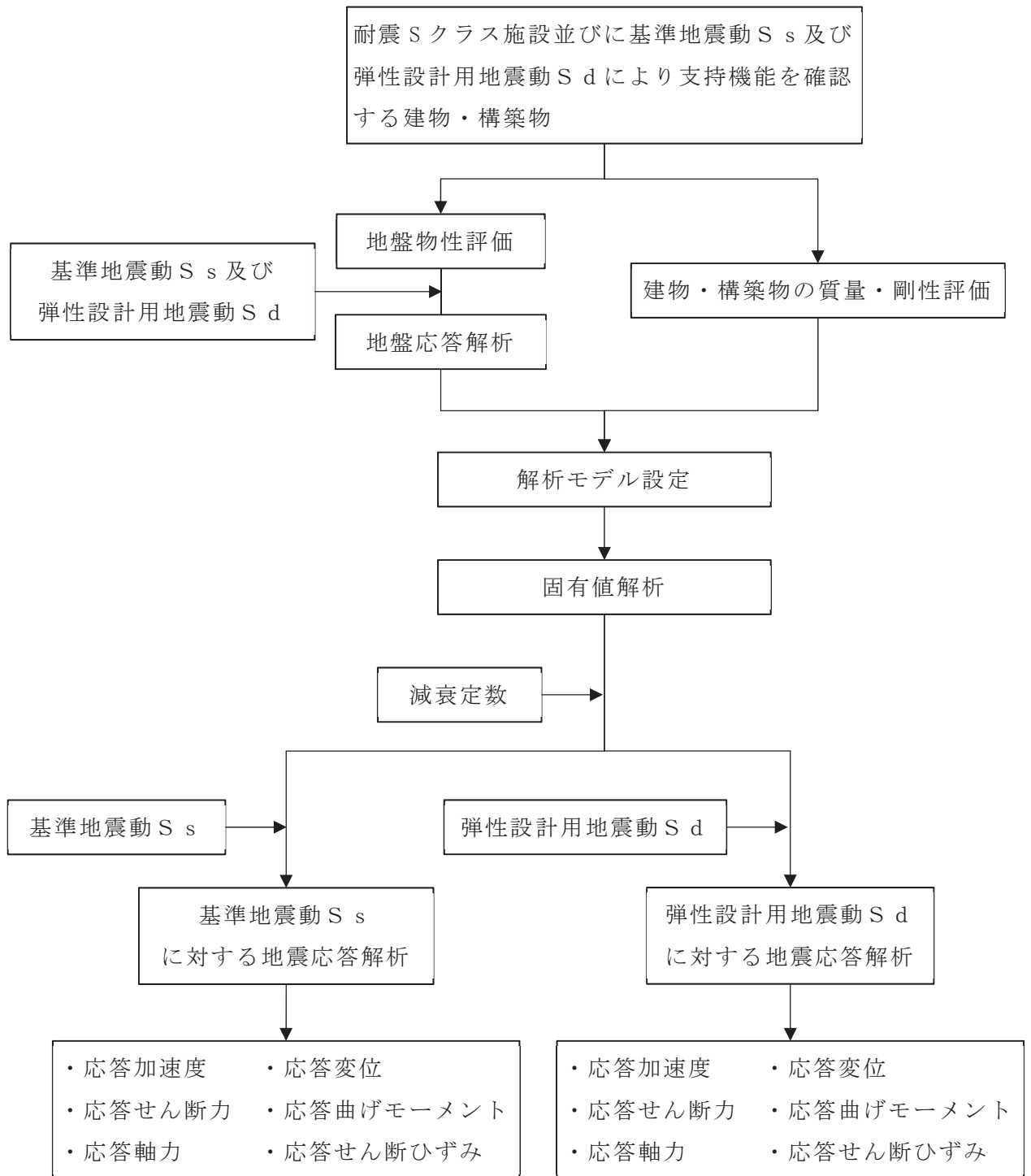


図 1-1 建物・構築物の地震応答解析の手順

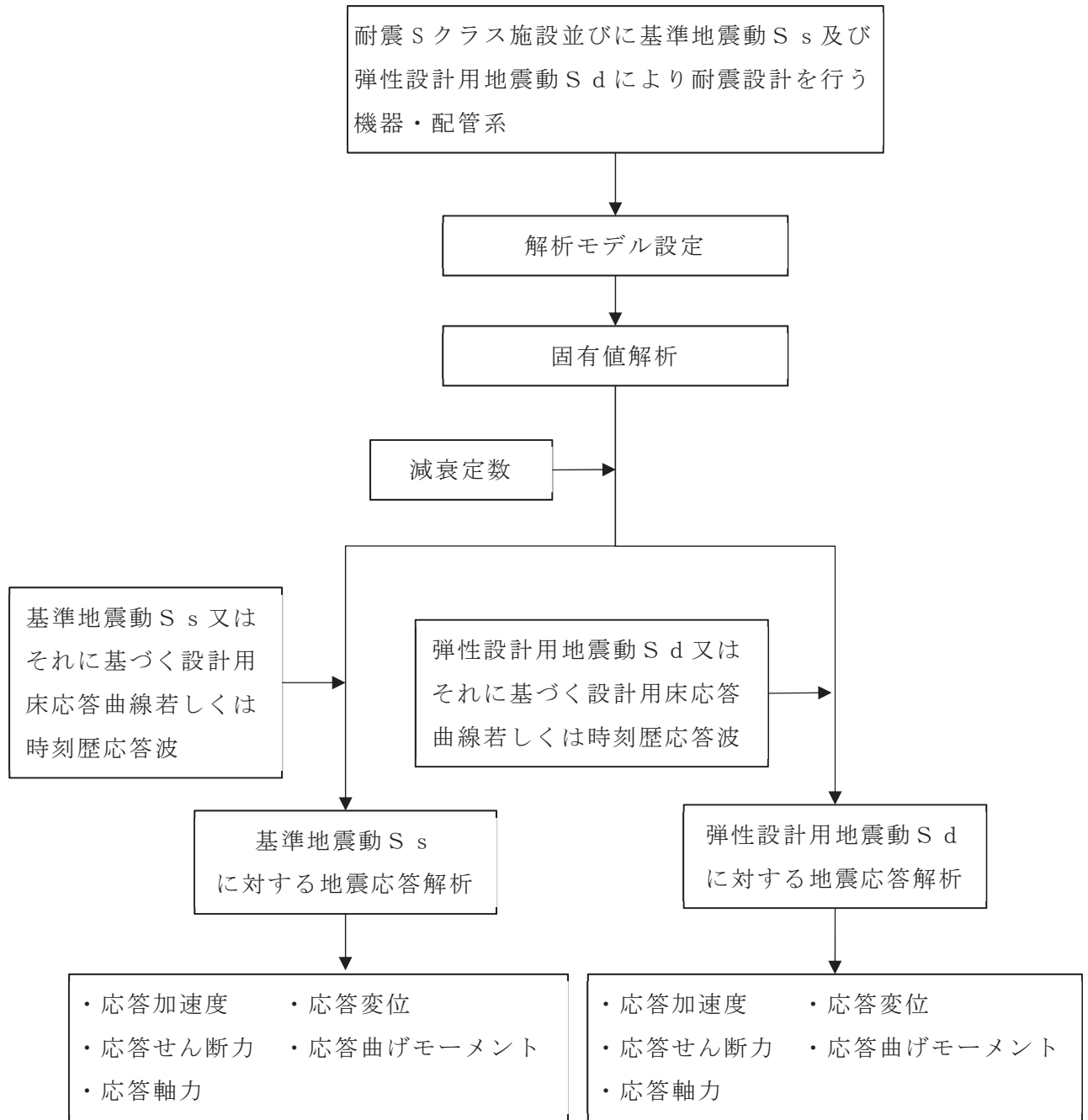


図 1-2 機器・配管系の地震応答解析の手順

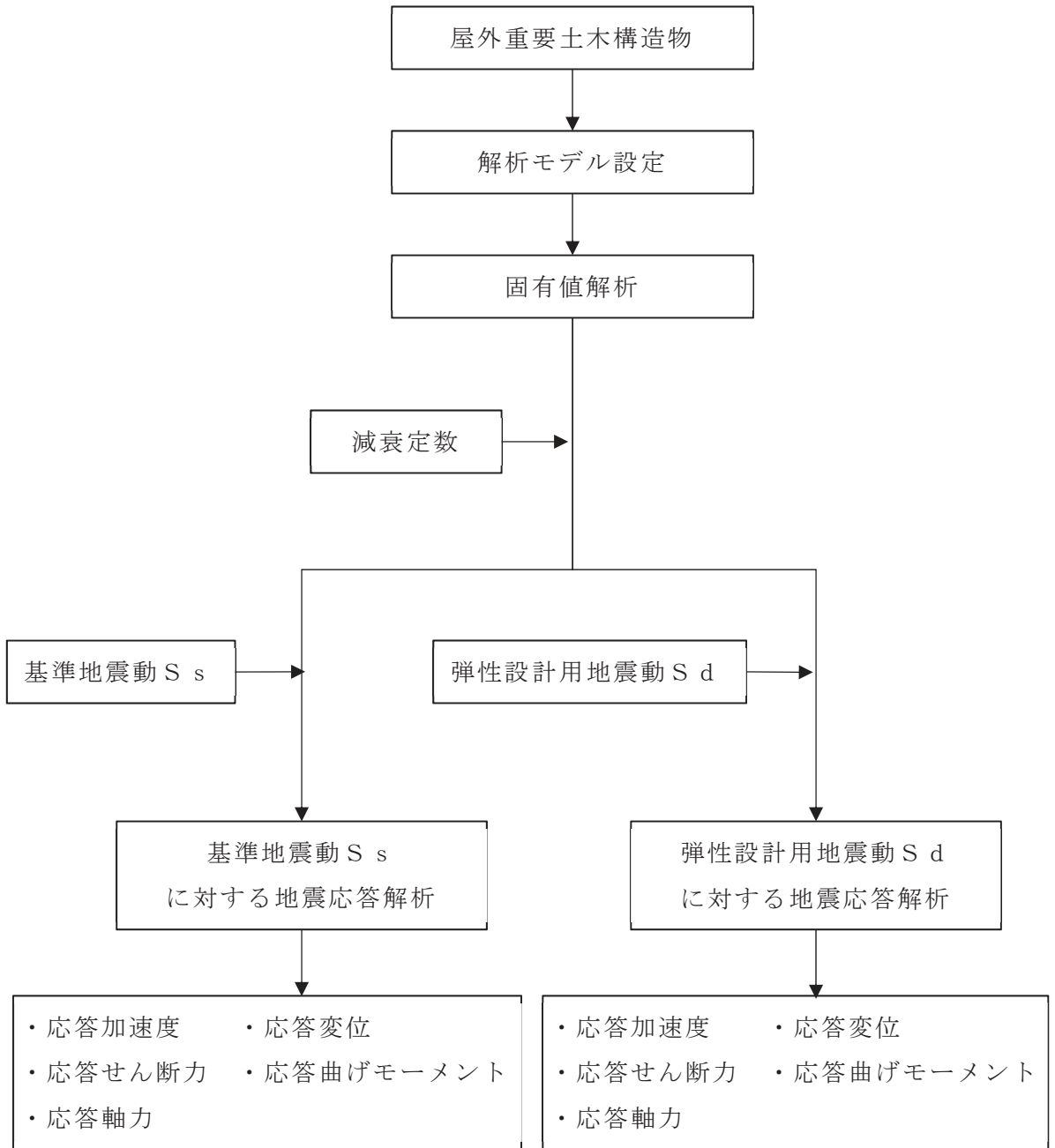


図 1-3 屋外重要土木構造物の地震応答解析の手順

2. 地震応答解析の方針

2.1 建物・構築物

(1) 入力地震動

解放基盤表面は、S波速度が約1.4km/sのO.P.-14.1mとしている。

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤の非線形特性等の条件を適切に考慮した上で、必要に応じ2次元FEM解析、1次元波動論又は1次元地盤応答解析により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。

地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。また、必要に応じ敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえ、地質・速度構造等の地盤条件を設定する。

また、設計基準対象施設におけるBクラスの建物・構築物及び重大事故等対処施設におけるBクラスの施設の機能を代替する常設重大事故防止設備又は当該設備が属する耐震重要度分類がBクラスの常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の建物・構築物のうち共振のおそれがあり、動的解析が必要なものに対しては、弾性設計用地震動 S_d を1/2倍したものをを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、建物・構築物に応じた適切な解析条件を設定する。動的解析は、時刻歴応答解析法又は線形解析に適用可能な周波数応答解析法による。

建物・構築物の動的解析に当たっては、建物・構築物の剛性はそれらの形状、構造特性等を十分考慮して評価し、集中質点系等に置換した解析モデルを設定する。

動的解析には、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、基礎側面と地盤の接触状況及び地盤の剛性等を考慮して定める。各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえて、地盤ばねには必要に応じて、基礎浮上りによる非線形性又は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形性を考慮するものとする。設計用地盤定数は、原則として、弾性波試験によるものをを用いる。

地盤－建物・構築物連成系の減衰定数は、振動エネルギーの地下逸散及び地震応答における各部のひずみレベルを考慮して定める。

地震応答解析において、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、実験等の結果に基づき、該当する建物部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙

動を適切に模擬した復元力特性を考慮した地震応答解析を行う。

また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、施設を支持する建物・構築物の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した地震応答解析を行う。

地震応答解析に用いる材料定数については、地盤の諸定数も含めて不確かさによる変動幅を適切に考慮する。また、ばらつきによる変動が建物・構築物の振動性状や応答性状に及ぼす影響として考慮すべきばらつきの要因を選定した上で、選定された要因を考慮した動的解析により設計用地震力を設定する。

なお、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については、観測記録や試験データなどから適切に応答解析モデルへ反映し、保守性を確認した上で適用する。

建物・構築物の3次元応答性状及び機器・配管系への影響については、建物・構築物の3次元FEMモデルによる解析に基づき、施設の重要性、建屋規模、構造特性を考慮して評価する。3次元応答性状等の評価は、時刻歴応答解析法による。解析方法及び解析モデルについては、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に示す。

建物・構築物の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で実施した液状化強度試験結果に基づき、保守性を考慮して設定する。

また、更なる信頼性の向上を目的として設置した地震観測網から得られた観測記録により振動性状を把握する。動的解析に用いるモデルについては、地震観測網により得られた観測記録を用い解析モデルの妥当性確認等を行う。地震観測網の概要は、別紙1「地震観測網について」に示す。

a. 解析方法

建物・構築物の地震応答は、(1)式 of 多質点系の振動方程式を Newmark- β 法 ($\beta = 1/4$) を用いた直接積分法により求める。

$$[m] \cdot \{\ddot{x}\}_t + [c] \cdot \{\dot{x}\}_t + [k] \cdot \{x\}_t = -[m] \cdot \{\ddot{y}\}_t \quad (1)$$

ここで、

- [*m*] : 質量マトリックス
- [*c*] : 減衰マトリックス
- [*k*] : 剛性マトリックス
- {*ẍ*}_{*t*} : 時刻 *t* の加速度ベクトル
- {*ẋ*}_{*t*} : 時刻 *t* の速度ベクトル
- {*x*}_{*t*} : 時刻 *t* の変位ベクトル
- {*ÿ*}_{*t*} : 時刻 *t* の入力加速度ベクトル

ここで、時刻 *t*+ Δt における解を次のようにして求める。なお、 Δt は時間メッシュを示す。

$$\{x\}_{t+\Delta t} = \{x\}_t + \{\dot{x}\}_t \cdot \Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \beta \right) \cdot \{\ddot{x}\}_t + \beta \cdot \{\ddot{x}\}_{t+\Delta t} \right] \cdot \Delta t^2 \quad (2)$$

$$\{\dot{x}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{x}\}_t + \frac{1}{2} \cdot [\{\ddot{x}\}_t + \{\ddot{x}\}_{t+\Delta t}] \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$\{\ddot{x}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{x}\}_t + \{\Delta \ddot{x}\}_{t+\Delta t} \quad (4)$$

(2), (3) 及び (4) 式を (1) 式に代入して整理すると、加速度応答増分ベクトルが次のように求められる。

$$\{\Delta \ddot{x}\}_{t+\Delta t} = -[A]^{-1} \cdot ([B] + [m] \cdot \{\Delta \ddot{y}\}_{t+\Delta t}) \quad (5)$$

ここで、

$$[A] = [m] + \frac{1}{2} \cdot \Delta t \cdot [c] + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot [k]$$

$$[B] = \left(\Delta t \cdot [c] + \frac{1}{2} \cdot \Delta t^2 \cdot [k] \right) \cdot \{\ddot{x}\}_t + \Delta t \cdot [k] \cdot \{\dot{x}\}_t$$

$$\{\Delta \ddot{y}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{y}\}_{t+\Delta t} - \{\ddot{y}\}_t$$

(5) 式を (2), (3) 及び (4) 式に代入することにより、時刻 *t*+ Δt の応答が時刻 *t* の応答から求められる。

b. 解析モデル

代表的な建物・構築物の解析モデルを以下に示す。

(a) 原子炉建屋

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する。鉛直方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁等の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した多質点系モデルとする。

(b) 原子炉建屋屋根トラス

原子炉建屋屋根トラスは水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、原子炉建屋の燃料取替床レベル (O.P. 33.2m) より上部の躯体 (屋根鉄骨、柱、梁、耐震壁、屋根スラブ及び下屋部屋根スラブ) をモデル化した立体フレームモデルとする。各鉄骨部材は軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素と軸変形のみを考慮したトラス要素とし、耐震壁及び外周はりは各々シェル要素並びに軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化する。

(c) 排気筒

排気筒は四角鉄塔支持形鋼管構造であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、構成部材を立体的にモデル化した立体フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとする。地震応答解析は、周辺地質や地下水位の状況を模擬できる、地盤と基礎構造を一体化した 2 次元 FEM モデルにより、上部構造の入力地震動を算定する。構成部材のうち、筒身及び鉄塔部の主柱については軸変形及び曲げ変形を考慮したはり要素として、鉄塔斜材及び水平材についてはトラス要素としてモデル化する。

(d) 緊急時対策建屋

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する。鉛直方向は、地盤との相互作用を考慮し、耐震壁等の軸剛性を評価した多質点系モデルとする。

2.2 機器・配管系

(1) 入力地震動又は入力地震力

機器・配管系の地震応答解析における入力地震動又は入力地震力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 又は当該機器・配管系の設置床における設計用床応答曲線若しくは時刻歴応答波とする。設計用床応答曲線の作成方法については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

なお、建屋応答解析における各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえ、誘発上下動を考慮するモデルを用いている場合については、鉛直方向の加速度応答時刻歴に、以下のとおり誘発上下動を考慮することとする。

$$\cdot V + X_v$$

$$\cdot V + Y_v$$

$$\cdot V - X_v$$

$$\cdot V - Y_v$$

ここで、

V：鉛直方向地震力に対する鉛直方向の加速度応答時刻歴

Xv：X方向地震力に対する誘発上下動の加速度応答時刻歴

Yv：Y方向地震力に対する誘発上下動の加速度応答時刻歴

また、設計基準対象施設におけるBクラスの機器・配管系及び重大事故等対処施設におけるBクラスの施設の機能を代替する重大事故防止設備又は当該設備が属する耐震重要度分類がBクラスの常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系のうち共振のおそれがあり、動的解析が必要なものに対しては、弾性設計用地震動 S_d を基に線形解析により作成した設計用床応答曲線の応答加速度を1/2倍したものをを用いる。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震動の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各物性値は適切な規格・基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。ここで、原子炉本体の基礎については、鋼板とコンクリートの複合構造物として、より現実に近い適正な地震応答解析を実施する観点から、既往の知見や実物の原子炉本体の基礎を模擬した試験体による加力試験結果を踏まえて、妥当性、適用性を確認した上で、コンクリートの剛性変化を適切に考慮した復元力特性を設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう質点系モデル、有限要素モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。配管系については、適切なモデルを作成し、設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法により応答を求める。また、スペクトルモーダル解析法又は時刻歴応答解析法を用いる場合は材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

クレーン類におけるスペクトルモーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択に当たっては、衝突・すべり等の非線形現象を模擬する観点又は既往研究の知見を取り入れ実機の挙動を模擬する観点で、材料のばらつき等への配慮をしつつ時刻歴応答解析法を用いる等、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

3次元的な広がりを持つ設備については、3次元的な配置を踏まえ、適切にモデル化し、水平2方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。具体的な方針については添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に示す。

剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を

震度として作用させて構造強度評価に用いる地震力を算定する。

a. 解析方法

スペクトルモーダル解析法における最大値は、二乗和平方根（SRSS）法により求める。時刻歴応答解析法においては直接積分法又はモーダル時刻歴解析による。

b. 解析モデル

代表的な機器・配管系の解析モデルを以下に示す。

(a) 原子炉格納容器，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物

原子炉格納容器，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物は，建物質量に対しその質量が比較的大きく，また支持構造上からも原子炉建屋による影響が無視できないため，原子炉建屋と連成させた解析モデルを用いる。原子炉格納容器，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物は，多質点系モデルに置換し，各構造物を結合するスタビライザ等は等価なばねに置換する。

(b) 一般機器

容器，熱交換器等の一般の機器は，機器本体及び支持構造物の剛性をそれぞれ考慮し，原則として重心位置に質量を集中させた1質点系モデルに置換する。

ただし，振動特性の観点から質量分布，剛性変化等を考慮する方が適切と考えられる構造の場合は，多質点系モデルに置換する。

(c) 配管

配管は，その振動性状を適切に考慮するため，3次元多質点はりモデルに置換する。

(d) クレーン類

クレーン類は，その構造特性を考慮して3次元はりモデルに置換する。なお，すべり等の非線形現象を考慮する場合は，すべり要素等の非線形要素を取り入れた上で3次元はりモデルに置換する。

2.3 屋外重要土木構造物

(1) 入力地震動

屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設における常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の土木構造物の地震応答解析における入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を基に，対象構造物の地盤条件を適切に考慮した上で，1次元波動論により，地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には，地震動評価で

考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、各構造物に応じた適切な解析条件を設定する。地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかにて行う。地震応答解析に用いる材料定数については、材料物性のばらつき等による変動が屋外重要土木構造物の振動性状や応答性状に及ぼす影響を検討し、材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で実施した液状化強度試験結果に基づき、保守性を考慮して設定する。

また、地震応答解析では、水平地震動と鉛直地震動の同時加振とするが、構造物の応答特性により水平 2 方向の同時性を考慮する必要がある場合は、水平 2 方向の組合せについて適切に評価する。具体的な方針については添付書類「VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に示す。

重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設の既往評価を適用できる基本構造等と異なる施設については、適用する地震力に対して、要求される機能及び構造健全性が維持されることを確認するため、当該施設の構造を適切にモデル化した上での地震応答解析、加振試験等を実施する。

3. 設計用減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987, (社) 日本電気協会」及び「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。)に記載されている減衰定数を設備の種類、構造等により適切に選定するとともに、試験等で妥当性が確認された値も用いる。具体的には表 3-1 に示す値を用いる。

なお、建物・構築物の地震応答解析に用いる鉄筋コンクリートの減衰定数については、既往の知見に加え、入力地震動による建物・構築物の応答レベル及び構造形状の複雑さを踏まえて、既設施設の地震観測記録等により検討を行った結果、適用性が確認できたことから表 3-1 に示す建物・構築物に対して 5%と設定する。

地盤と屋外重要土木構造物の連成系地震応答解析モデルの減衰定数については、地中構造物としての特徴、同モデルの振動特性を考慮して適切に設定する。

表 3-1 減衰定数

建物・構築物

対象設備		使用材料	減衰定数 (%)	
			水平方向	鉛直方向
原子炉建屋	建屋	鉄筋コンクリート	5	5
		鉄骨	2	2
	地盤	-	J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の 近似法により算定*	
原子炉建屋 屋根トラス	建屋	鉄筋コンクリート	5	5
		鉄骨	2	2
排気筒	構築物	鉄筋コンクリート	5	5
		鉄骨	2	2
		鋼材	1	1
	地盤	-	粘性減衰及び履歴減衰を設定	
緊急時対策建屋	建屋	鉄筋コンクリート	5	5
	地盤	-	J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の 近似法により算定*	

注記*：地盤条件及び基礎形状等を基に振動アドミッタンス理論により動的地盤ばねを算出し，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の近似法により算定

機器・配管系

対象設備	減衰定数(%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0 ^{*1}
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0 ^{*1}
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0 ^{*1}
燃料集合体	7.0	1.0 ^{*1}
制御棒駆動機構	3.5	1.0 ^{*1}
空調用ダクト	2.5	2.5 ^{*1}
電気盤	4.0	1.0 ^{*1}
使用済燃料貯蔵ラック	7.0 ^{*3}	1.0 ^{*1}
建屋クレーン	2.0 ^{*3}	2.0 ^{*1}
燃料交換機	2.0 ^{*3}	1.5 (2.0) ^{*1*2}
配管系	0.5～3.0 ^{*3*4}	0.5～3.0 ^{*1*3*4}
液体の揺動	0.5	-

注記*1： 既往の研究等において、設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され、妥当性が確認された値

*2： () 外は、燃料交換機のトロリ位置が端部にある場合、() 内は、燃料交換機のトロリ位置が中央部にある場合

*3： 既往の研究等において、試験及び解析等により妥当性が確認されている値

*4： 具体的な適用条件を「配管系の減衰定数」に示す。

参考文献

- 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究」(2000～2001年)
 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」(1995～1998年)
 浪田ほか、「水中振動試験によるBWR使用済燃料貯蔵ラックの減衰比」, 日本機械学会
 [No.10-8] Dynamics and Design Conference 2010 論文集 No.417
 長坂ほか、「BWR使用済燃料貯蔵ラックの減衰特性評価」, 日本原子力学会「2015年秋の大会」No.B36

配管系の減衰定数

配管区分* ¹		減衰定数(%)* ²	
		保温材無	保温材有* ³
I	スナッパ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、支持具（スナッパ又は架構レストレイント）の数が4個以上のもの	2.0	3.0* ⁴
II	スナッパ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	2.0* ⁴
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	2.0* ⁴	3.0* ⁴
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	1.5* ⁴

注記*1： 支持具の種類及び数は、アンカからアンカまでの独立した振動系について算定する。支持具の算定は、当該支持点を同一方向に複数の支持具で分配して支持する場合には、支持具数は1個として扱い、同一支持点を複数の支持具で2方向に支持する場合は2個として取扱うものとする。

*2： 水平方向及び鉛直方向の減衰定数は同じ値を使用6

*3： 保温材有の減衰定数は、無機多孔質保温材による付加減衰定数として1.0%を考慮したものである。金属保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。

*4： J E A G 4 6 0 1-1991 追補版で規定されている配管系の減衰定数に、既往の研究等において妥当性が確認された値を反映

参考文献

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究」（2000～2001年）

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」（1995～1998年）

地震観測網について

目次

1. 概要・・ 1
2. 地震観測網の基本方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
3. 地震観測網の配置計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

1. 概要

女川原子力発電所第2号機の主要な建屋には、原子炉格納施設等の安全上重要な施設の実地震時の振動特性を把握するために、各建屋に地震計を設置し、継続して地震観測を行う。また、比較的規模の大きい地震の観測記録が得られた場合は、それらの測定結果に基づく解析等により、主要な施設の健全性を確認すること等に活用する。また、原子炉をスクラムさせるようなある程度以上の地震が起こった場合には、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震等の影響を踏まえて設計体系に反映した事項（初期剛性低下の考慮等）について分析し、設計の妥当性を確認する。

なお、地震観測装置の設置に当たっては、地震観測を継続して実施するために、地震観測網の適切な維持管理を行うとともに、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震等に対する振動性状の詳細検討結果に応じて観測装置の充実を図る。

2. 地震観測網の基本方針

原子炉建屋については、地震時の建屋の水平方向及び鉛直方向の振動特性を把握するため、建屋の基礎上、原子炉棟の外壁面の適切な位置に地震計を配置することにより、実地震による建屋の振動（建屋増幅特性、ロッキング動及び捩れ）を観測する。

制御建屋については、地震時の建屋の水平方向及び鉛直方向の振動特性を把握するため、建屋の基礎上及び最上部の適切な位置に地震計を配置することにより、実地震による建屋の振動（建屋増幅特性）を観測する。

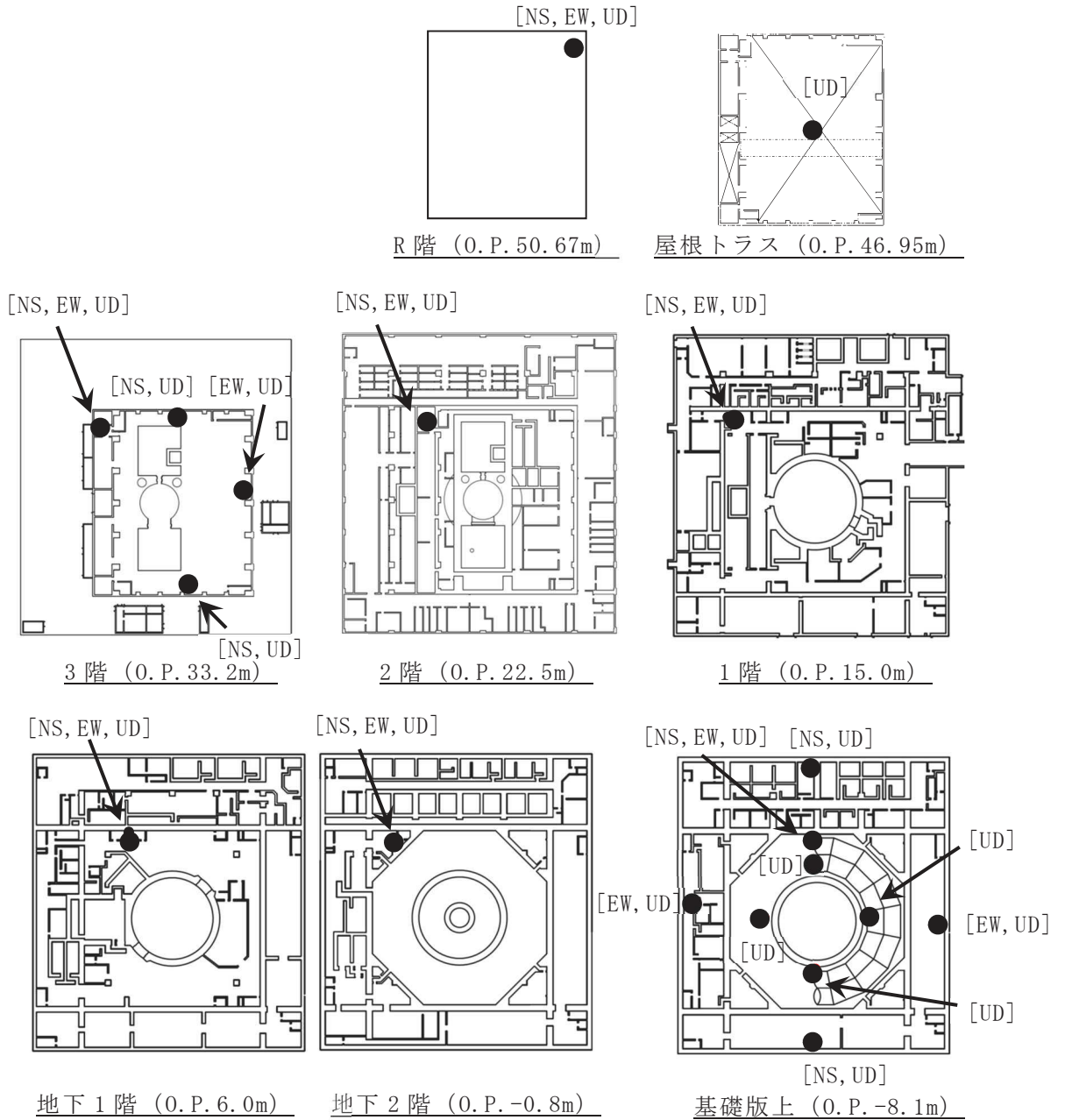
なお、地震計は、原則として水平2成分と鉛直1成分の計3成分を観測するものとする。

3. 地震観測網の配置計画

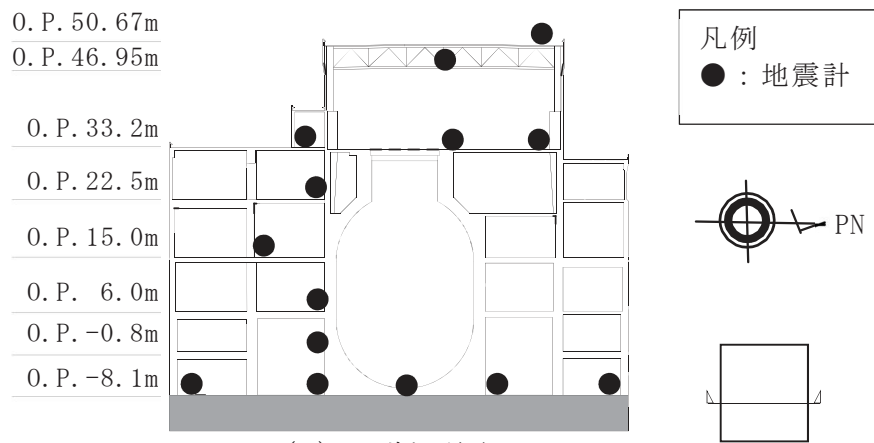
各建屋の地震計の設置方針を表3-1に示す。地震計配置を図3-1及び図3-2に示す。

表 3-1 各建屋の地震計の設置方針

建屋		設置方針
原子炉 建屋	原子炉棟の外壁	・水平方向及び鉛直方向の振動を観測する。
	基礎	・水平方向及び鉛直方向の振動を観測する。 ・ロッキング動及び振れを確認できるように設置する。
制御建屋		・水平方向及び鉛直方向の振動を観測する。

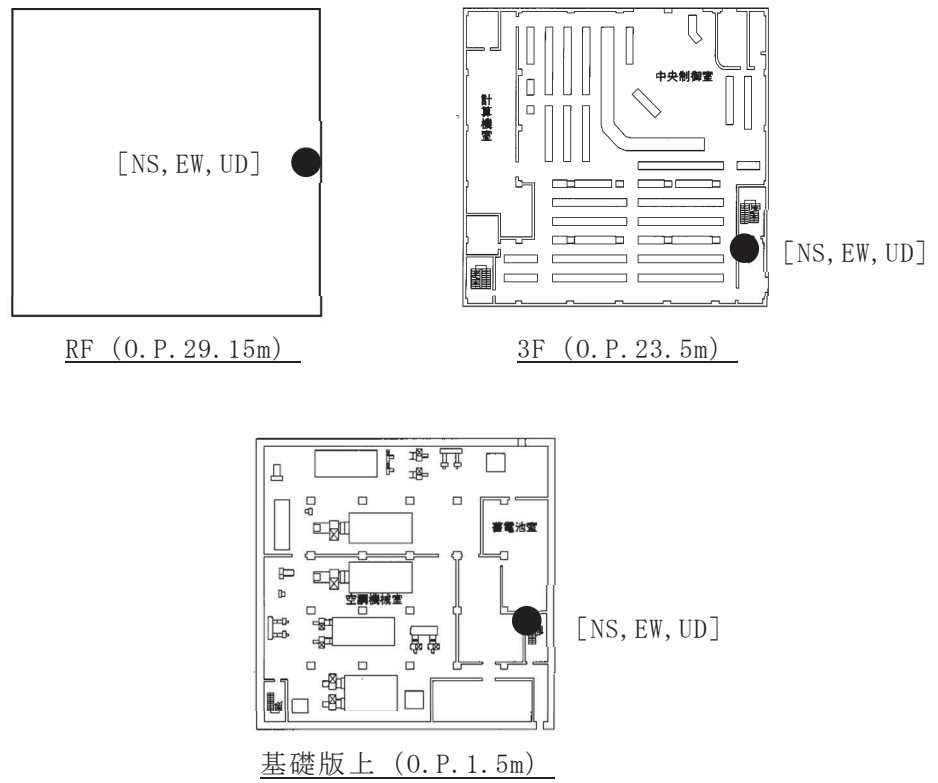


(1) 平面図

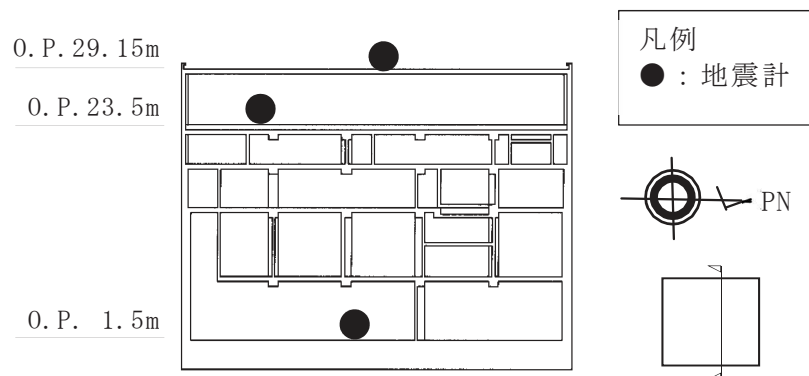


(2) 断面図

図 3-1 地震計配置図 (原子炉建屋)



(1) 平面図



(2) 断面図

図 3-2 地震計配置図 (制御建屋)

VI-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価方針

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針	2
4.1 建物・構築物	2
4.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	2
4.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	3
4.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	4
4.2 機器・配管系	7
4.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方	7
4.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	7
4.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	8
4.3 屋外重要土木構造物	10
4.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	10
4.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	13
4.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	14
4.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	16

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち、「4.1 地震力の算定法(2)動的地震力」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価の方針について説明するものである。

2. 基本方針

施設の耐震設計では、設備の構造から地震力の方向に対して弱軸、強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

今回、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある施設を評価対象施設として抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

評価対象は「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」の第5条及び第50条に規定されている以下の施設とする。

- ・耐震重要施設及びその間接支持構造物
- ・常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設
- ・上記施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設
- ・耐震Bクラスの施設のうち共振のおそれのある施設

評価に当たっては、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける部位を抽出し、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

施設が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

3. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 $S_s - D1 \sim D3$ ， $S_s - F1 \sim F3$ 及び $S_s - N1$ を用いる。基準地震動 S_s は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針

4.1 建物・構築物

4.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれの方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解になるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図 4-1 に示す。

また、添付書類「VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-3～VI-2-10 の申請設備の耐震計算書」及び添付書類「VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」のうち建物・構築物の局部評価は、地震応答解析により算出された応答を水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

排気筒については、鉛直方向の地震動と、検討する地震動に直交する水平方向地震動等の影響を適切に考慮するための一項目として、支持鉄塔の対角線方向に地震動を入力し、斜め方向に作用する地震力に対して隅柱（主柱材）の軸力が大きくなる場合を想定した検討を実施している。

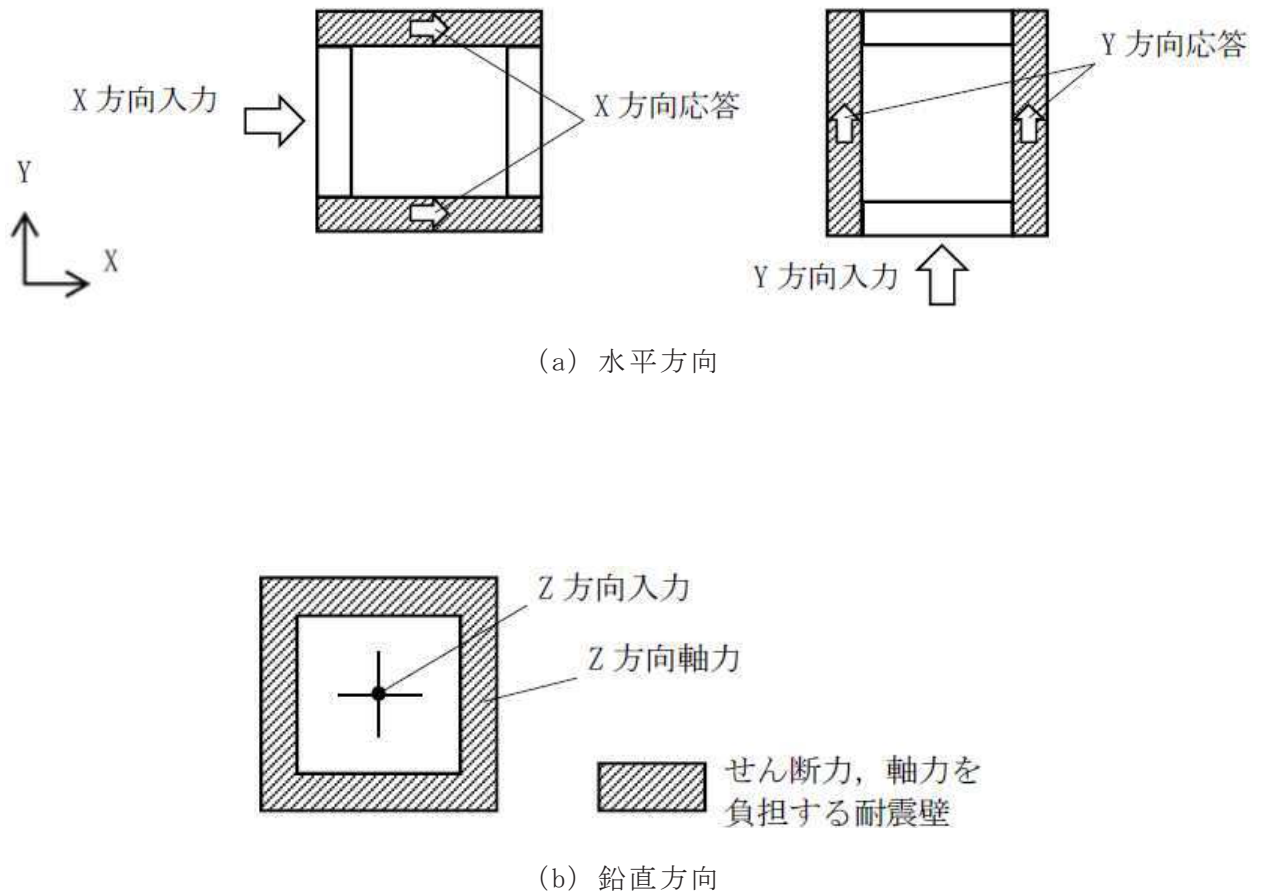


図 4-1 入力方向ごとの耐震要素

4.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設の部位とする。

対象とする部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位を抽出する。

応答特性から抽出された水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性がある部位は、従来の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平 2 方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震

性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

建物・構築物において、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある耐震評価上の構成部位について、応答特性から抽出し、影響を評価する。

影響評価のフローを図4-2に示す。

(1) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

② 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、梁）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位のうち、3次元的な応答特性が想定される部位を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑤ 3次元FEMモデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元FEMモデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位

についても、局所応答の観点から、3次元 FEM モデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、原子炉建屋について地震応答解析を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価において、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を組み合わせるにより評価を行う場合は、米国 Regulatory Guide 1.92 *の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)等の最大応答の非同時性を考慮した地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

③及び⑤で、施設が有する耐震性への影響が想定され、評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、⑤の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元 FEM モデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。

注記* : Regulatory Guide (RG) 1.92 “Combining modal responses and Spatial components in seismic response analysis”

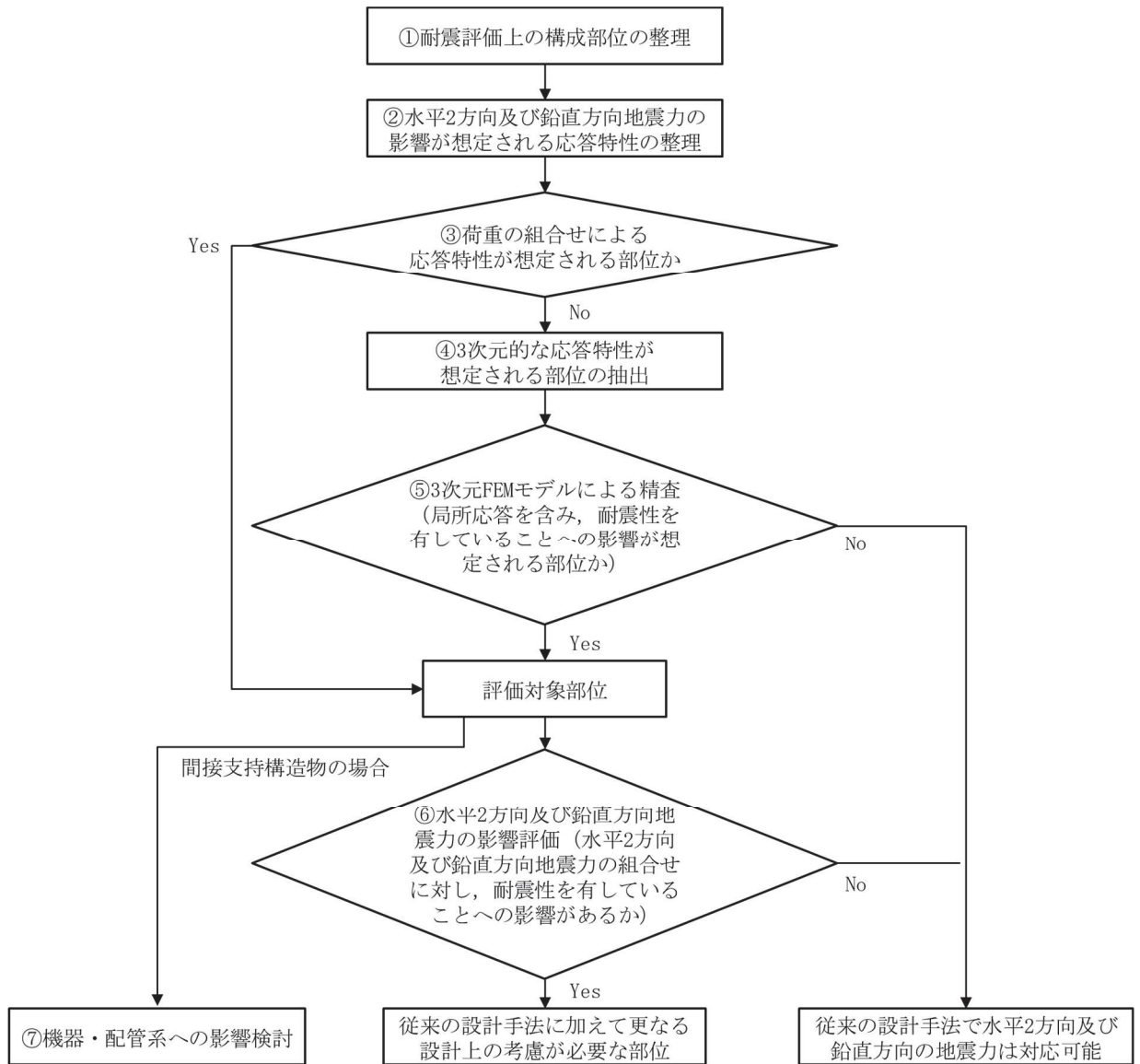


図 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー
(建物・構築物)

4.2 機器・配管系

4.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動 S_s を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じ難い構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮等、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

4.2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に、影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を機種ごとに分類し、それぞれの構造上の特徴をもとに荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置および構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性がある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1:1で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が従来の発生値と同等である場合は影響のない設備とし、評価対象には抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐

震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器・配管系において、水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた従来の耐震計算に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の可能性がある設備を構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図4-3に示す。

なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本におおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、機種ごとに分類し整理する。（図4-3の①）

② 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。（図4-3の②）

③ 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐

震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図 4-3 の③）

④ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。（図 4-3 の④）

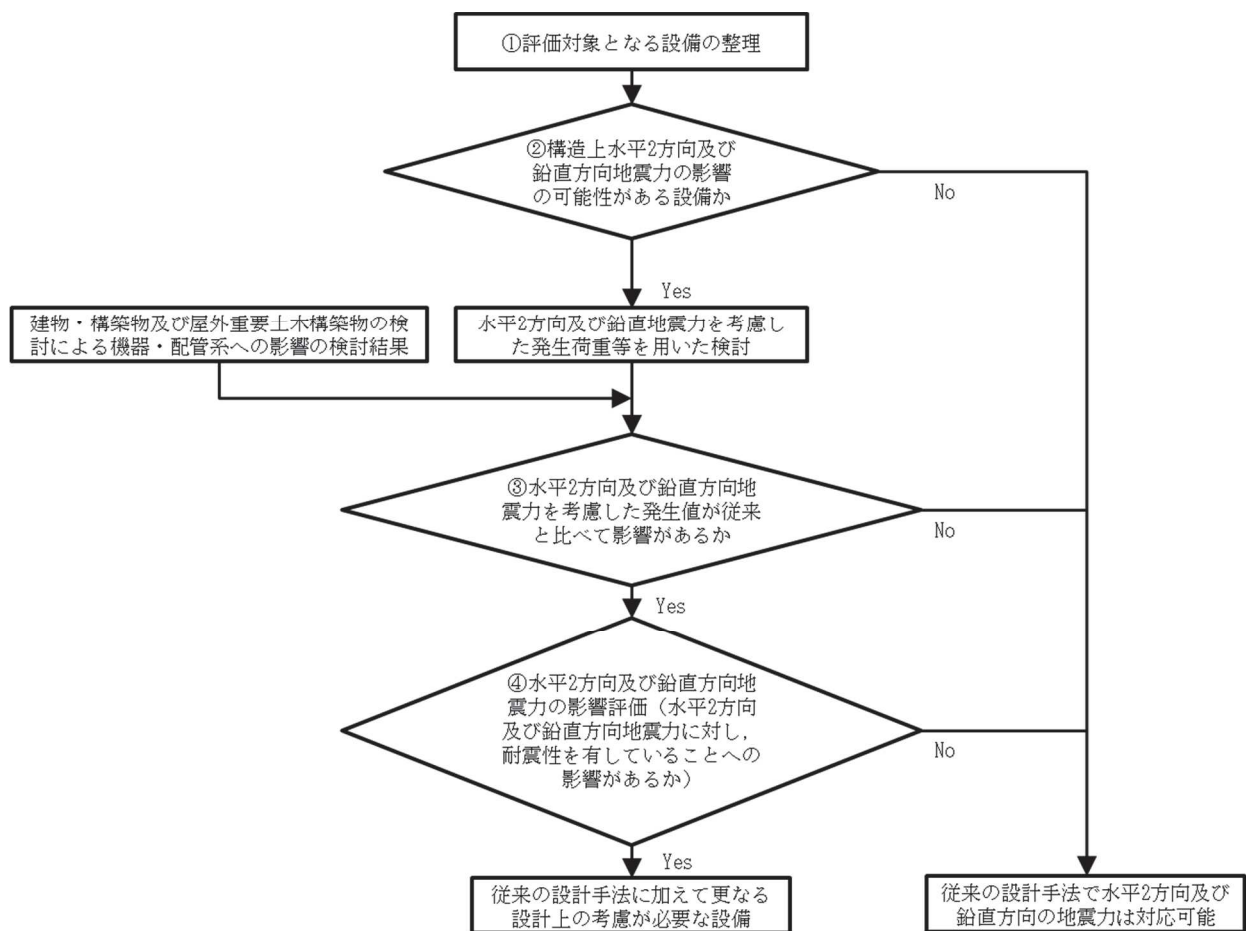


図 4-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー
（機器・配管系）

4.3 屋外重要土木構造物

4.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は、おおむね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。屋外重要土木構造物のうち、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行方向に連続する構造的特徴を有する構造物（以下、「線状構造物」という。）は、3次元的な応答の影響は小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

線状構造物の代表として、取水路を例として従来設計手法の考え方を表4-1に示す。線状構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

図4-4に示すとおり、線状構造物に関する従来設計手法では、構造上の特徴から、評価対象断面となる弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まない設計をしている。

また、添付書類「VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-3～VI-2-10の申請設備の耐震計算書」及び添付書類「VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」における屋外重要土木構造物の耐震評価では、弱軸方向を評価対象断面とし、水平1方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

一方、断面が奥行方向に一様ではなく、妻壁や隔壁を有する3次元的な構造を耐震設計にて考慮すべき構造物（以下、「箱形構造物」という。）では、3次元モデルにより耐震評価を行っている。

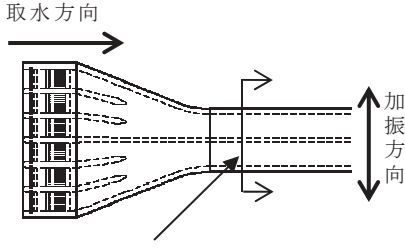
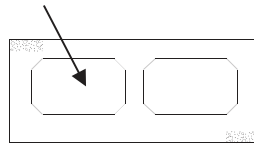
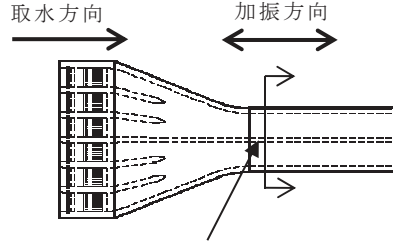
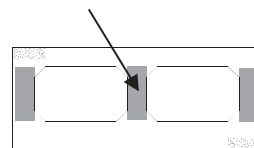
箱形構造物の代表として、海水ポンプ室を例として従来設計手法の考え方を表4-2に示す。箱形構造物は、耐震設計上見込むことができる加振方向に平行な壁部材の配置や間隔から弱軸となる方向を評価対象としている。

図4-5に示すとおり、複雑な形状を有する箱形構造物に対して、3次元モデルを用いることにより、加振方向に平行な壁部材が地震時の応答に与える影響を考慮して耐震評価を実施している。

箱形構造物のうち、海水ポンプ室と取水口については、縦断方向には耐震設計上見込める部材として水路を構成する側壁及び隔壁が多数設置されており強軸方向となることから、弱軸方向となる横断方向を評価対象として耐震評価を実施している。また、円筒形の遮蔽壁を有する復水貯蔵タンク基礎については、弱軸及び強軸方向

が明確ではないことから、従来設計では、両方向ともに評価対象としている。

表 4-1 従来設計における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計の評価対象断面の考え方	 <p>加振方向に平行な壁部材がない。</p> 	 <p>加振方向に平行な側壁材及び隔壁を耐震設計上見込むことができる。</p> 
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材がないため、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができ、強軸方向にあたる。
<ul style="list-style-type: none"> 強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。 弱軸方向を評価対象断面とする。 		

RO
VI-2-1-8
①
O2

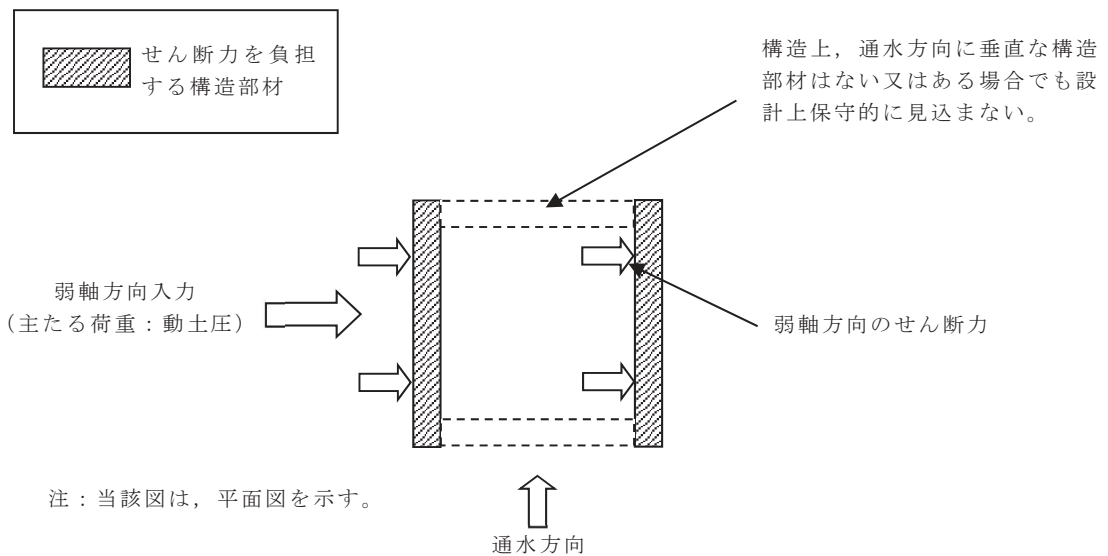
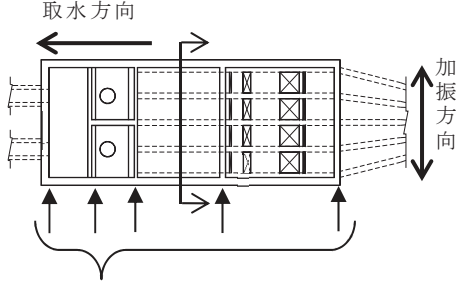
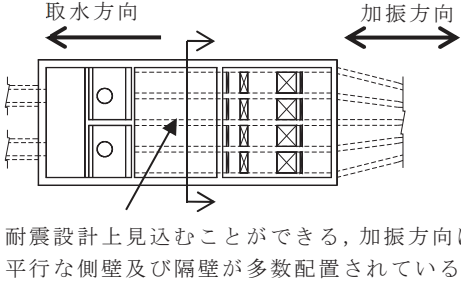


図 4-4 従来設計手法の考え方

表 4-2 従来設計手法における評価対象断面の考え方
(海水ポンプ室の例)

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計の 評価対象断 面の考え方	 <p>構造が奥行方向に一樣ではなく、耐震設計上見込むことができる、加振方向に平行な妻壁及び隔壁が存在するが、設置個所は限定される。</p>	 <p>耐震設計上見込むことができる、加振方向に平行な側壁及び隔壁が多数配置されている。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材の設置個所が限定されるため弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁が多数配置されており、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> 妻壁や隔壁を有する3次元的な構造を耐震設計にて考慮する。 耐震設計にて考慮する加振方向に平行な壁部材の配置や間隔等から、弱軸となる方向を評価対象とする。 	

構造物の奥行き方向に存在する加振方向に平行な壁部材の剛性を考慮して3次元モデルにて耐震評価を行う。

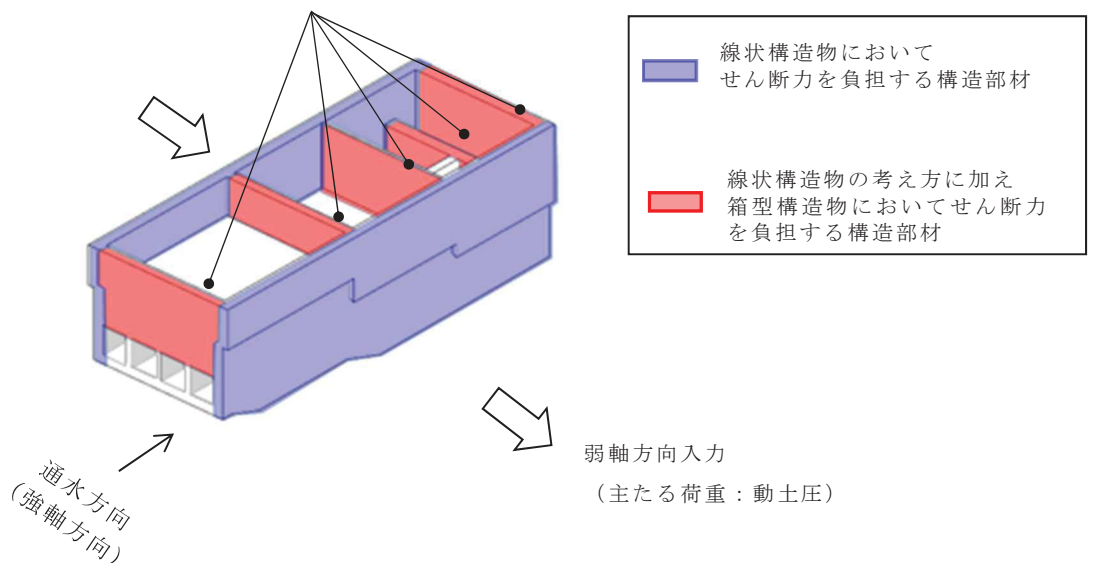


図 4-5 箱形構造物の従来設計手法の考え方 (海水ポンプ室の例)

4.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

評価対象は、屋外重要土木構造物である、原子炉機器冷却海水配管ダクト、排気筒連絡ダクト、軽油タンク連絡ダクト、第2号機取水路、海水ポンプ室、軽油タンク室、軽油タンク室(H)、取水口、貯留堰及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物(第1号機取水路、第3号機取水路、北側排水路)とする。また、津波防護施設である防潮堤、防潮壁及び取放水路流路縮小工も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める(「4.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備」参照)。また、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち復水貯蔵タンク基礎とガスタービン発電設備軽油タンク室も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式ごとに分類し、構造形式ごとに作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

箱形構造物は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を耐震部材として考慮して3次元モデルによる構造解析を実施している。これらの壁部材は、従来設計手法では主たる荷重としては面内の荷重に抵抗していたが、水平2方向の地震力に対しては、面外荷重の影響も受けることになる。また、従来より主に面外荷重に抵抗していた側壁等にも、直交する2方向の地震力の影響や、妻壁や隔壁の面外変形の影響が作用する。よって、箱形構造物については、加振方向に平行に配置された壁部材への影響等を確認するため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施することとする。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面(弱軸方向)の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面(弱軸方向)に直交する断面(強軸方向)の地震応答解析に基づく地震時荷重を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる構造部材の発生応力等を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象断面(弱軸方向)に直交する断面(強軸方向)の地震応答解析に基づく地震時荷重は、基準地震動による評価対象断面(弱軸方向)での地震時荷重算定時刻と同時に荷重を、位相を変えた地震動にて算出して用いることとする。

なお、部材が非線形化する可能性がある構造物においては、耐震要素として考慮される評価対象断面(弱軸方向)に平行な壁部材が、評価時刻に至るまでの荷重により受ける影響を考慮して水平2方向同時入力の影響を評価することとする。

構造物が有する耐震性への影響が確認された場合は詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

4.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図4-6に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所への抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の地震時荷重を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出すると共に構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合、機器・配管系に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、④及び⑤の精査にて、屋外重要土木構造物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

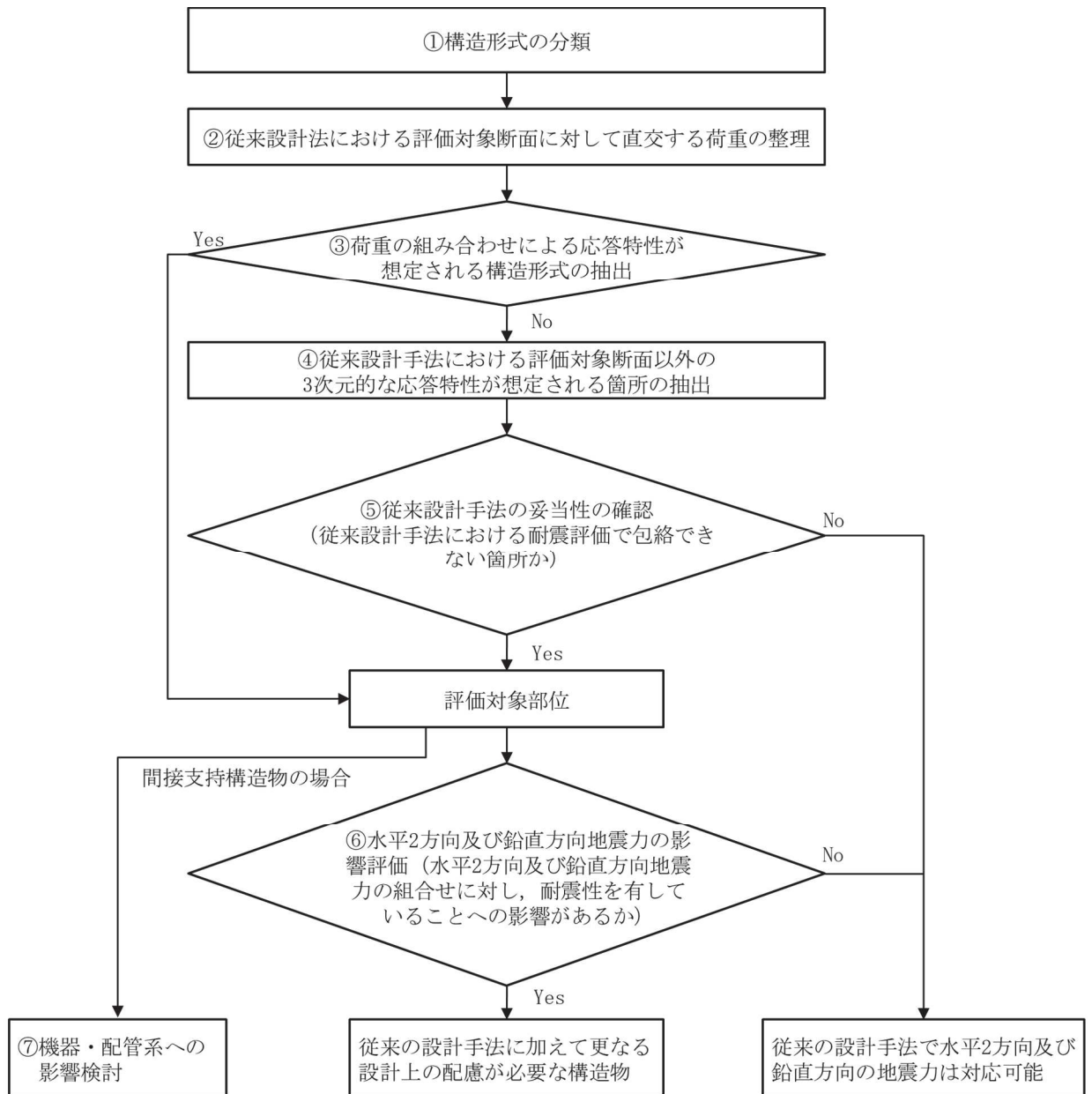


図 4-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー
(屋外重要土木構造物)

4.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備は、「建物・構築物」、「機器・配管系」又は「屋外重要土木構造物」に区分し設計をしていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は、施設、設備の区分に応じて「4.1 建物・構築物」、「4.2 機器・配管系」又は「4.3 屋外重要土木構造物」の方針に基づいて実施する。

VI-2-1-9 機能維持の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力	2
3. 構造強度	12
3.1 構造強度上の制限	12
3.2 変位，変形の制限	95
4. 機能維持	96
4.1 動的機能維持	96
4.2 電氣的機能維持	99
4.3 気密性の維持	99
4.4 止水性の維持	100
4.5 遮蔽性の維持	101
4.6 支持機能の維持	101
4.7 通水機能及び貯水機能の維持	102

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4. 設計用地震力」に示す設計用地震力の算定法及び「5. 機能維持の基本方針」に示す機能維持の考え方に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の機能維持に関する基本的な考え方を説明するものである。

2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」の「4. 設計用地震力」に示す設計用地震力の算定法に基づくこととし、具体的な算定法は表 2-1 に示す。

表 2-1 設計用地震力

(1) 静的地震力

(設計基準対象施設)

静的地震力及び必要保有水平耐力は、次の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

種別	耐震クラス	地震層せん断力係数及び水平震度	地震層せん断力係数(必要保有水平耐力算出用)	鉛直震度
建物・構築物	S	$3.0 \cdot C_i^{*1}$	$1.0 \cdot C_i^{*2}$	$1.0 \cdot C_v^{*3}$ (0.24)
	B	$1.5 \cdot C_i^{*1}$	$1.0 \cdot C_i^{*2}$	—
	C	$1.0 \cdot C_i^{*1}$	$1.0 \cdot C_i^{*2}$	—
機器・配管系	S	$3.6 \cdot C_i^{*1}$	—	$1.2 \cdot C_v^{*3}$ (0.29)
	B	$1.8 \cdot C_i^{*1}$	—	—
	C	$1.2 \cdot C_i^{*1}$	—	—
土木構造物	C	$1.0 \cdot C_i^{*1}$	—	—

注記 *1: C_i は標準せん断力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

R_t : 振動特性係数 0.8

A_i : C_i の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 0.2

*2: C_i は標準せん断力係数を 1.0 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

R_t : 振動特性係数 0.8

A_i : C_i の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 1.0

*3: 震度 0.3 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定とする。また次式より求めた値を表に記載した。

$$C_v = 0.3 \cdot R_v$$

R_v : 振動特性係数 0.8

(重大事故等対処施設)

静的地震力は、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの）及び当該設備が設置される重大事故等対処施設に適用するものとし、以下の地震層せん断力係数及び震度に基づき算定する。

種別	*1 設備分類 施設区分	*2 耐震 クラス	地震層せん断力係数 及び水平震度	地震層せん断力係数 (必要保有水平耐力 算出用)	鉛直震度
建物・ 構築物	②	B	$1.5 \cdot C_i^{*3}$	$1.0 \cdot C_i^{*4}$	—
	②	C	$1.0 \cdot C_i^{*3}$	$1.0 \cdot C_i^{*4}$	—
機器・ 配管系	①	B	$1.8 \cdot C_i^{*3}$	—	—
	①	C	$1.2 \cdot C_i^{*3}$	—	—
土木構造物	①	C	$1.0 \cdot C_i^{*3}$	—	—

注記 *1:重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

①:常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの）

②:①が設置される重大事故等対処施設

*2:常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス

*3: C_i は標準せん断力係数を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

R_t : 振動特性係数 0.8

A_i : C_i の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 0.2

*4: C_i は標準せん断力係数を1.0とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値で次式に基づく。

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

R_t : 振動特性係数 0.8

A_i : C_i の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 1.0

(2) 動的地震力

(設計基準対象施設)

動的地震力は、以下の入力地震動に基づき算定する。

種別	耐震 クラス	入力地震動		
		水平	鉛直	
建物・ 構築物	S	弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	
	B	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^*$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^*$	
機器・ 配管系	S	弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	
	B	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^*$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^*$	
土木 構造 物	屋外重要 土木構造物	C	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
津波防護施設・ 浸水防止設備・ 津波監視設備	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s

注記 * : 水平方向及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

(重大事故等対処施設)

動的地震力は、重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分に応じて、以下の入力地震動に基づき算定する。

種別	*1 設備分類 施設区分	*2 耐震 クラス	入力地震動	
			水平	鉛直
建物・ 構築物	*3 ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦	S	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d
			基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
	②	B	弾性設計用地震動 S _d ・1/2*4	弾性設計用地震動 S _d ・1/2*4
機器・ 配管系	*3 ③, ⑤	S	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d
			基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
	①	B	弾性設計用地震動 S _d ・1/2*4	弾性設計用地震動 S _d ・1/2*4
土木構造物	③, ⑤	S	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
	①, ④, ⑥	C	基準地震動 S _s *5	基準地震動 S _s *5

注記 *1:重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

- ①:常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの)
- ②:①が設置される重大事故等対処施設
- ③:常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの)
- ④:③が設置される重大事故等対処施設
- ⑤:常設重大事故緩和設備又は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)
- ⑥:⑤が設置される重大事故等対処施設
- ⑦:緊急時対策所

*2:常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)が属する耐震重要度分類のクラス

また、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)については、当該クラスをSと表記する。

*3:事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせる。

*4:水平方向及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

*5:屋外重要土木構造物の機能を代替する重大事故等対処施設に適用する。

(3) 設計用地震力

(設計基準対象施設)

種別	耐震 クラス	水平	鉛直	摘要
建物・ 構築物	S	地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	静的震度 $1.0 \cdot C_v (0.24)$	*1 荷重の組合せは、水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合には同時に不利な方向に作用するものとする。 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合には組合せ係数法による。
		弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	*1 荷重の組合せは、組合せ係数法による。
	B	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	—	—
		弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*2}$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*2}$	水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合には組合せ係数法による。
	C	地震層せん断力係数 $1.0 \cdot C_i$	—	—
機器・ 配管系	S	静的震度 $3.6 \cdot C_i$	静的震度 $1.2 \cdot C_v (0.29)$	*3, *4 荷重の組合せは、水平方向及び鉛直方向が静的地震力の場合には同時に不利な方向に作用するものとする。 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合には二乗和平方根 (SRSS) 法による。
		弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	*4 荷重の組合せは、二乗和平方根 (SRSS) 法による。	

種別	耐震クラス	水平	鉛直	摘要
機器・配管系	B	静的震度 $1.8 \cdot C_i$	—	*4, *5 水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は二乗和平方根 (SRSS) 法による。
		弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*2}$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*2}$	
	C	静的震度 $1.2 \cdot C_i$	—	—
土木構造物	C	静的震度 $1.0 \cdot C_i$	—	—
		基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	鉛直地震力は、水平地震力と同時に作用するものとする。
	C	静的震度 $1.0 \cdot C_i$	—	—
津波防護施設・ 浸水防止設備・ 津波監視設備	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	荷重の組合せは、鉛直地震力と水平地震力の同時作用、組合せ係数法又は二乗和平方根 (SRSS) 法による。

注記 *1:建物・構築物のうち原子炉格納容器については、水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は二乗和平方根 (SRSS) 法又は絶対値和法を適用する。

*2:水平及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

*3:水平方向における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直方向における動的と静的の大きい方の地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

*4:絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

*5:水平方向における動的と静的の大きい方の地震力と、鉛直方向における動的地震力とを、絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。

(重大事故等対処施設)

種別	*1 設備 分類 施設 区分	*2 耐震 クラス	水 平	鉛 直	摘 要
建物・ 構築物	*4 ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦	S	弾性設計用地震動 S_d	弾性設計用地震動 S_d	*3 荷重の組合せは, 組 合せ係数法による。
			基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	
	①, ②	B	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	—	—
			弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*5}$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*5}$	荷重の組合せは, 組 合せ係数法による。
		C	地震層せん断力係数 $1.0 \cdot C_i$	—	—
	機器・ 配管系	*4 ③, ⑤	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
弾性設計用地震動 S_d				弾性設計用地震動 S_d	
①		B	静的震度 $1.8 \cdot C_i$	—	*6, *7 水平方向及び鉛直 方向が動的地震力 の場合は二乗和平方 根 (SRSS) 法によ る。
			弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*5}$	弾性設計用地震動 $S_d \cdot 1/2^{*5}$	
		C	静的震度 $1.2 \cdot C_i$	—	
土木 構築物	③, ⑤	S	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s	鉛直地震力は, 水平 地震力と同時に作 用するものとする。
	①, ④, ⑥	C	基準地震動 S_s^{*8}	基準地震動 S_s^{*8}	鉛直地震力は, 水平 地震力と同時に作 用するものとする。
	①	C	静的震度 $1.0 \cdot C_i$	—	—

注記*1:重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

- ①:常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの）
 - ②:①が設置される重大事故等対処施設
 - ③:常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）
 - ④:③が設置される重大事故等対処施設
 - ⑤:常設重大事故緩和設備又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）
 - ⑥:⑤が設置される重大事故等対処施設
 - ⑦:緊急時対策所
- *2:常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス
また、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）については、当該クラスをSと表記する。
- *3:建物・構築物のうち原子炉格納容器については、水平方向及び鉛直方向が動的地震力の場合は二乗和平方根（SRSS）法又は絶対値和法を適用する。
- *4:事故事象の発生確率，継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ，適切な地震力と組み合わせる。
- *5:水平方向及び鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。
- *6:絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。
- *7:水平方向における動的と静的の大きい方の地震力と，鉛直方向における動的地震力とを，絶対値和法で組み合わせてもよいものとする。
- *8:屋外重要土木建造物の機能を代替する重大事故等対処施設に適用する。

3. 構造強度

3.1 構造強度上の制限

発電用原子炉施設の耐震設計については、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.1 構造強度」に示す考え方にに基づき、設計基準対象施設における各耐震重要度及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた設計用地震力が加わった場合、これらに生じる応力とその他の荷重によって生じる応力の合計値等を許容限界以下とする設計とする。

許容限界は、施設の種類及び用途を考慮し、安全機能が維持できるように十分に余裕を見込んだ値とする。

地震力による応力とその他の荷重による応力の組合せに対する許容値は、表 3-1 に示す通りとする。機器・配管系の S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析に用いる等価繰返し回数は、設置場所等に関係なく複数の設備に対して適用が可能になるように設定した値（S_s 地震動：340 回，S_d 地震動：590 回），又は設備ごとに個別に設定した値を用いる。S_d 地震動の疲労解析は，S_d 地震動の等価繰返し回数又は設備ごとに個別に設定した S_d 地震動の等価繰返し回数と S_s 地震動による応力を用いた疲労解析が許容限界以下であれば省略できる。なお，疲労評価については，3.11/4.7 地震を受けたことを踏まえ，疲労累積係数による疲労評価を実施する場合は，許容限界に対して余裕があることに留意する。

また，建物・構築物の保有水平耐力は，必要保有水平耐力に対して，妥当な安全余裕を有する設計とする。支持性能が必要となる施設の基礎地盤については，接地圧が安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の支持力又は支持力度と比べて妥当な安全余裕を有する設計とし，設計基準対象施設における耐震重要度及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた許容限界を設定する。

耐震設計においては，地震力に加えて，自然条件として積雪荷重及び風荷重を組合せる。

積雪荷重及び風荷重の設定フローを図 3-1 に示す。積雪荷重については，屋外に設置されている施設のうち，積雪による受圧面積が小さい施設，又は埋設構造物等常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除き，地震力と組み合わせる。また，風荷重については，屋外に設置されている施設のうち，コンクリート構造物等の自重が大きい施設を除いて，風荷重の影響が地震力と比べて相対的に無視できないような構造，形状及び仕様の施設においては，地震力と組み合わせる。表 3-2 に施設の区分ごとの，積雪荷重及び風荷重の組合せを示す。

通常運転時の状態，運転時の異常な過渡変化時の状態及び事故時の状態については，次のように定義される運転状態Ⅰ，運転状態Ⅱ，運転状態Ⅲ，運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴのそれぞれの状態として考慮する。

(1) 「運転状態Ⅰ」とは，発電用原子炉施設の通常運転時の状態をいう。ここで通常運

転とは、運転計画等で定める起動、停止、出力運転、高温待機、燃料取替等の発電用原子炉施設の運転をいう。

- (2) 「運転状態Ⅱ」とは、運転状態Ⅰから逸脱した運転状態であって、運転状態Ⅲ、運転状態Ⅳ、運転状態Ⅴ及び試験状態以外の状態をいう。「試験状態」とは、耐圧試験により原子炉施設に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。
- (3) 「運転状態Ⅲ」とは、発電用原子炉施設の故障、異常な作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる運転状態をいう。
- (4) 「運転状態Ⅳ」とは、発電用原子炉施設の安全性を評価する観点から異常な状態を想定した運転状態をいう。
- (5) 「運転状態Ⅴ」とは、発電用原子炉施設が重大事故に至るおそれがある事故、又は重大事故の状態、重大事故等対処施設の機能が必要とされる運転状態をいう。なお、添付書類「VI-3 強度に関する説明書」に記載の「運転状態Ⅳを超える事象」に相当するものである。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容限界

(1) 建物・構築物

(設計基準対象施設)

	耐震クラス	荷重の組合せ	許容限界	
			建物・構築物	基礎地盤の支持性能
建物・構築物	Sクラス	$G + P + S_{d}^{*1}$	質点系モデルによる地震応答解析の最大せん断ひずみがおおむね弾性状態に留まる範囲で耐えること又は部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値又は CCV 規格 ^{*2} における荷重状態Ⅲの許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。
		$G + P + S_s$	質点系モデルによる地震応答解析の最大せん断ひずみが 2.0×10^{-3} を超えないこと又は部材に生じる応力が終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることあるいは部材に生じる応力又はひずみが CCV 規格 ^{*2} における荷重状態Ⅳの許容値を超えないこととする。	地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を持たせる。
	Bクラス	$G + P + S_B$	部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。
	Cクラス	$G + P + S_C$	部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_{d}^{*} : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

S_B : 耐震 B クラスの施設に適用される静的地震力又は動的地震力

S_C : 耐震 C クラスの施設に適用される静的地震力

注記*1: 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力と組み合わせる。

*2: 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格((社)日本機械学会, 2003)

(重大事故等対処施設)

	*1 設備分類 施設区分	*2 耐震クラス	荷重の組合せ	許容限界	
				建物・構築物	基礎地盤の 支持性能
建物・構築物	③, ④ ⑤, ⑥ ⑦	Sクラス	$G + P + A + S_s$	要求機能が維持されることとする。	地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を持たせる。
	①, ②	Bクラス	$G + P + S_B$	部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。
		Cクラス	$G + P + S_C$	部材に生じる応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないこととする。	地盤の短期許容支持力度とする。

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 積載荷重

A : 重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち、地震によって引き起こされるおそれのある事象による荷重、又は重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち長期的な荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

S_B : 耐震 B クラスの施設に適用される地震動より求まる地震力又は B クラス設備に適用される静的地震力

S_C : 耐震 C クラスの施設に適用される静的地震力

注記*1: 重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

①: 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) (当該設備が属する耐震重要度分類が B クラス又は C クラスのもの)

②: ①が設置される重大事故等対処施設

③: 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) (当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの)

④: ③が設置される重大事故等対処施設

⑤: 常設重大事故緩和設備又は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張)

⑥: ⑤が設置される重大事故等対処施設

⑦: 緊急時対策所

*2 常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) が属する

耐震重要度分類のクラス

また、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）については、当該クラスを S と表記する。

(2) 機器・配管系

a. 記号の説明

- D : 死荷重
- P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く。）における圧力荷重
- M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く。）で設備に作用している機械的荷重
 [各運転状態におけるP及びMについては，安全側に設定された値（最高使用圧力，設計機械荷重等）を用いてもよい。]
- P_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている圧力荷重
- M_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重
- P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重
- P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重
- M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重
- P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重
- M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重
- P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重
- M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_d : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力
- S_d* : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力
- S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

- S_B : 耐震 B クラス設備に適用される地震動により定まる地震力又は静的地震力
- S_C : 耐震 C クラス設備に適用される静的地震力
- III_{AS} : 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）の供用状態 C 相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- IV_{AS} : 設計・建設規格の供用状態 D 相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- V_{AS} : 運転状態 V 相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- B_{AS} : 耐震 B クラス設備の地震時の許容応力状態
- C_{AS} : 耐震 C クラス設備の地震時の許容応力状態
- S_y : 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値
- S_u : 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値
- S_m : 設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に規定される値。
ただし、耐圧部テンションボルトにあつては設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 2 に規定される値
- S : 許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値。ただし、クラス MC 容器にあつては設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に規定される値。また、耐圧部テンションボルトについては、クラス MC にあつては設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 4 に規定される値。その他については設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 7 に規定される値
- F : 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
- F^* : 設計・建設規格 SSB-3121.3 の規定により、SSB-3121(1)a.における S_y 及び $S_y (RT)$ を $1.2 S_y$ 及び $1.2 S_y (RT)$ に読み替えた値
- S_h : 最高使用温度における許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値
- f_t : 許容引張応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(1)により規定される値
- f_s : 許容せん断応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(2)により規定される値。ボルト等に対しては、設計・建設規格 SSB-3131(2)により規定される値
- f_c : 許容圧縮応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(3)により規定される値

- f_b : 許容曲げ応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により規定される値
- f_p : 許容支圧応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(5)により規定される値
- f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* :
 上記の f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし、その他の支持構造物の上記 $f_t \sim f_p^*$ においては、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a の F 値は S_y 及び $0.7S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては、 $1.35S_y$, $0.7S_u$ 又は $S_y(\text{RT})$ のいずれか小さい方の値。また、 $S_y(\text{RT})$ は 40°C における設計降伏点の値
- T_L : 形式試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重(N)
 (同一仕様につき 3 個の試験の最小値又は 1 個の試験の 90%)
- $S_{y d}$: 最高使用温度における設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値
- $S_{y t}$: 試験温度における設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値
- A S S : オーステナイト系ステンレス鋼
- H N A : 高ニッケル合金

b. 荷重の組合せ及び許容応力

(a) Sクラスの機器・配管系、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）の機器・配管系

イ. クラス1容器及び重大事故等クラス2容器（クラス1容器）
（クラス1容器）

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界					
			一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	特別な応力限界	
							純せん 断応力	支圧応力
S	D+P+M+S _d * [*]	Ⅲ _A S	S _y と $\frac{2}{3} \cdot S_u$ の小さい方。 ただし、ASS及びHNAについては1.2・S _m とする。	左欄の 1.5倍の値* ⁶	3・S _m * ² S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	* ³ , * ⁴ S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.6・S _m	S _y * ⁵ (1.5・S _y)
	D+P _L +M _L +S _d * ^{*1}	Ⅳ _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u$ ただし、ASS及びHNAについては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と2.4・S _m の小さい方。	左欄の 1.5倍の値* ⁶				0.4・S _u
	D+P+M+S _s							

注記*1：非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

*2：3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*5：（ ）内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*6：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

(重大事故等クラス2容器(クラス1容器))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界				特別な応力限界	
		一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	純せん断応力	支圧応力
D+P+M+S _s	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u$ ただし、ASS及び HNAについては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と2.4・S _m の小さい方。	左欄の 1.5倍の値 ^{*6}	3・S _m ^{*2} S _d 又はS _s 地震動 のみによる応力振幅 について評価する。	^{*3, *4} S _d 又はS _s 地震動 のみによる疲労解析 を行い、運転状態I, IIにおける疲労累積 係数との和が1.0以 下であること。	0.4・S _u	S _u ^{*5} (1.5・S _u)
D+P _L +M _L +S _d ^{*1}							
D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d	V _A S (V _A Sとして右に示す IV _A Sの許容 限界を用いる。)						
D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s							

21

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態III_ASとする。

*2 : 3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く) の簡易弾塑性解析を用いる。

*3 : 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4 : 運転状態I, IIにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を1.0以下とする。

*5 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*6 : 設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

ロ. クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器 (クラスMC容器)
(クラスMC容器)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界					
			一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	特別な応力限界*8	
							純せん 断応力	支圧応力
S	D+P+M+S _d * [*]	III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、ASS及びHNA については1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*7	3・S*2 S _d 又はS _s 地震 動のみによる応力 振幅について評価 する。	*3, *4 S _d 又はS _s 地震 動のみによる疲労 解析を行い、運転 状態Ⅰ、Ⅱにおけ る疲労累積係数と の和が1.0以下で あること。	0.6・S	S _y *5 (1.5・S _y)
	D+P _L +M _L +S _d * ^{*1}							
	D+P+M+S _s	IV _A S	構造上の連続な部分は0.6・ S _u 、不連続な部分はS _y と 0.6・S _u の小さい方。 ただし、ASS及びHNA については、構造上の連続 な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分 は1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*7			0.4・S _u	S _u *5 (1.5・S _u)
	D+P _L +M _L +S _d * ^{*6}							

注記*1 : P_L は、冷却材喪失事故後 10^{-1} 年後の最大内圧を考慮する。

*2 : $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*3 : 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4 : 運転状態 I, IIにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を 1.0 以下とする。

*5 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*6 : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

*7 : 設計・建設規格 PVB-3111 に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または 1.5 のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*8 : 座屈に対する評価は、JEAG4601-1984 の第 2 種容器の軸圧縮荷重及び曲げモーメントによる座屈に対する評価式を用いる。

(重大事故等クラス2容器 (クラスMC容器))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界					
		一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	特別な応力限界*8	
						純せん 断応力	支圧応力
$D + P_L + M_L + S_d^{*1}$	III _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、ASS及びHNAについては1.2・Sとする。	左欄の 1.5倍の値*7			0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
$D + P + M + S_s$	IV _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。	左欄の 1.5倍の値*7	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態I、IIにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*2}$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	ただし、ASS及びHNAについては、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。					
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$							

注記*1 : P_L は、冷却材喪失事故後 10^{-1} 年後の最大内圧を考慮する。

*2 : 重大事故等後の最高圧力、最高温度（最高圧力時の飽和温度）との組合せを考慮する。

*3 : $3 \cdot S$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。 S_m は S と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*4 : 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5 : 運転状態 I, IIにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数を 1.0 以下とする。

*6 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*7 : 設計・建設規格 PVB-3111 に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または 1.5 のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*8 : 座屈に対する評価は、JEAG4601-1984 の第 2 種容器の軸圧縮荷重及び曲げモーメントによる座屈に対する評価式を用いる。

ハ. クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器 (クラス 2, 3 容器)
(クラス 2 容器及びクラス 3 容器)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1			
			一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	III _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	左欄の 1.5 倍の値	*3 S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積 係数が 1.0 以下であること。ただし, 地震動のみによる一 次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不 要。	
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		

26

注記*1 : 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2 : P_D 及び M_D について, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*3 : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

(重大事故等クラス2容器 (クラス2, 3容器))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1			
		一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値	^{*2} S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ ^{*3}	$V_A S$ ($V_A S$ として右に示す $IV_A S$ の許容限界を用いる。)				

注記*1 : 座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2 : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*3 : 原子炉格納容器内の設備については、原子炉格納容器の最高使用圧力を考慮する。

ニ. クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管 (クラス 1 管)
(クラス 1 管)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次膜応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	D+P+M+S _d [*]	Ⅲ _A S	1.5・S _m ^{*2}	2.25・S _m ^{*3} ただし、ねじりによる応力が 0.55・S _m を超える場合は、曲げとねじりによる応力について 1.8・S _m とする。	3・S _m ^{*3, *4} S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ,Ⅱにおける疲労累積係数との和が 1.0 以下であること。
	D+P _L +M _L +S _d ^{*1}	Ⅳ _A S	2・S _m ^{*2}	3・S _m ^{*3} ただし、ねじりによる応力が 0.73・S _m を超える場合は、曲げとねじりによる応力について 2.4・S _m とする。		
	D+P+M+S _s					

28

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

*2 : 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_ASの一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*3 : サポート用ラグ等が配管に直接溶接されている場合、配管に発生する局部的応力についても応力評価を行う。

*4 : 3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (同 PVB-3313 を除く) 又は PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5)の簡易弾塑性解析を用いる。

(重大事故等クラス2管 (クラス1管))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
D + P + M + S _s	IV _A S	2・S _m ^{*2}	3・S _m ^{*3} ただし、ねじりによる応力が 0.73・S _m を超える場合は、曲げとねじりによる応力について 2.4・S _m とする。	3・S _m ^{*3, *4} S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が 1.0 以下であること。
D + P _L + M _L + S _d ^{*1}					
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	V _A S (V _A Sとして右に示すIV _A Sの許容限界を用いる。)				
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s					

29

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

*2 : 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_ASの一次一般膜応力の許容値 (1.5・S_m) の0.8倍の値とする。

*3 : サポート用ラグ等が配管に直接溶接されている場合、配管に発生する局部的応力についても応力評価を行う。

*4 : 3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (同 PVB-3313 を除く) 又は PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5)の簡易弾塑性解析を用いる。

ホ. クラス 2, 3 管及び重大事故等クラス 2 管 (クラス 2, 3 管)
(クラス 2, 3 管)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$ ^{*1}	III _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ^{*2} ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	^{*3} S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積 係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	$0.6 \cdot S_u$ ^{*2}	左欄の 1.5 倍の値		

注記*1 : P_D 及び M_D について, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : 軸力による全断面平均応力については, 許容応力状態III_AS の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*3 : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし, S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

(重大事故等クラス2管 (クラス2, 3管))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u^{*1}$	左欄の 1.5 倍の値	^{*2} S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要	
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s^{*3}$	$V_A S$ ($V_A S$ として右に示す $IV_A S$ の許容限界を用いる。)				

31

注記*1 : 軸力による全断面平均応力については、許容応力状態 $III_A S$ の一次一般膜応力の許容値 (S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、 ASS 及び HNA については上記値と $1.2 \cdot S_h$ との大きい方) の 0.8 倍の値とする。

*2 : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3536(1), (2), (4) 及び (5) (ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*3 : 原子炉格納容器内の設備については、原子炉格納容器の最高使用圧力を考慮する。

へ. クラス 4 管及び重大事故等クラス 2 管 (クラス 4 管)
(クラス 4 管)

耐 震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
			一次一般膜応力
S	$D + P_D + M_D + S d^{*1}$	III _A S	地震時の加速度及び相対変位に対し機能が保たれるようサポートの *2 スパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。
	$D + P_D + M_D + S s$	IV _A S	

注記*1 : P_D 及び M_D について、非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : クラス 4 管であって非常用ガス処理系のように管を使用する場合、クラス 2 管の規定によることができる。

(重大事故等クラス2管 (クラス4管))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
		一次一般膜応力
$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	* 地震時の加速度及び相対変位に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として右に示す $IV_A S$ の許容限界を用いる。)	

注記* : クラス4管であって非常用ガス処理系のように管を使用する場合, クラス2管の規定によることができる。

ト. クラス 1 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ (クラス 1 ポンプ)
(クラス 1 ポンプ)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	D+P+M+S _d *	III _A S	S _y と $\frac{2}{3} \cdot S_u$ の小さい方。 ただし、ASS及びHNAに ついては $1.2 \cdot S_m$ とする。	左欄の 1.5 倍の値	3・S _m * ² S _d 又はS _s 地震動のみに よる応力振幅について評価 する。	S _d 又はS _s 地震動のみに よる疲労解析を行い、疲労 累積係数が 1.0 以下である こと。
	D+P _L +M _L +S _d * ^{*1}	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u$ ただし、ASS及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の 1.5 倍の値		
	D+P+M+S _s					

34

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態III_ASとし、それ以外の設備に対しては許容応力状態IV_ASとする。

*2 : 3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。)の簡易弾塑性解析を用いる。

(重大事故等クラス2ポンプ (クラス1ポンプ))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_L + M_L + S_d^{*1}$	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u$ ただし、ASS及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	左欄の1.5倍の値	$3 \cdot S_m^{*2}$ S _d 又はS _s 地震動のみに よる応力振幅について評価 する。	S _d 又はS _s 地震動のみに よる疲労解析を行い、疲労累 積係数が1.0以下であるこ と。
$D + P + M + S_s$					
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V _A S (V _A Sとして右 に示すIV _A Sの許 容限界を用い る。)				
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$					

35

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態III_ASとし、それ以外の設備に対しては許容応力状態IV_ASとする。

*2 : $3 \cdot S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格PVB-3300 (PVB-3313を除く。)の簡易弾塑性解析を用いる。

チ. クラス 2 ポンプ, クラス 3 ポンプ, その他のポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ (クラス 2, 3, その他のポンプ)
(クラス 2 ポンプ, クラス 3 ポンプ, その他のポンプ)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$ ^{*1}	III _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方。 ただし, ASS及びHNAに ついては上記値と 1.2・Sと の大きい方。	左欄の 1.5 倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積 係数が 1.0 以下であること。ただし, 地震動のみによる一 次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば疲労解析は不 要	
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		

36 注記*1 : P_D及びM_Dについて, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : 2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_yと読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

(重大事故等クラス2ポンプ (クラス2ポンプ, クラス3ポンプ, その他のポンプ))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	* S_s 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし, 地震動のみによる一次+二 次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として右 に示す $IV_A S$ の許 容限界を用い る。)				

注記* : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

リ. クラス 1 弁 (弁箱) 及び重大事故等クラス 2 弁 (クラス 1 弁 (弁箱))
(クラス 1 弁 (弁箱))

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	D + P + M + S d *	III _A S				
	D + P _L + M _L + S d * ^{*1}	IV _A S		_____		*2
	D + P + M + S s					

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態III_ASとし、それ以外の設備に対しては許容応力状態IV_ASとする。

∞

*2 : 外径が 115mm 以下の管に接続される弁のうち、特に大きな駆動部を有する電動弁、空気作動弁については、設計・建設規格 VVB-3330 の評価を行う。ただし、地震時に過大な応力の発生を防ぐ処置が講じられているものは、この限りではない。

(重大事故等クラス2弁 (クラス1弁 (弁箱)))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_L + M_L + S d^{*1}$	IV _A S				
$D + P + M + S s$					
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$	V _A S (V _A Sとして右 に示すIV _A Sの許 容限界を用い る。)				
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$					

注記*1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態Ⅲ_ASとし、それ以外の設備に対しては許容応力状態IV_ASとする。

*2 : 外径が 115mm 以下の管に接続される弁のうち、特に大きな駆動部を有する電動弁、空気作動弁については、設計・建設規格 VVB-3330 の評価を行う。ただし、地震時に過大な応力の発生を防ぐ処置が講じられているものは、この限りではない。

ヌ. クラス 2 弁 (弁箱) 及び重大事故等クラス 2 弁 (クラス 2 弁 (弁箱))
(クラス 2 弁 (弁箱))

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
S	$D + P_D + M_D + S d^*$ ^{*1}	III _A S	_____ ^{*2}			
	$D + P_D + M_D + S s$	IV _A S				

注記*1 : P_D 及び M_D について、非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : バルブの肉厚が接続配管と同等の場合で、特に大きな駆動部を有する電動弁、空気作動弁については、設計・建設規格 VVB-3330 の評価を行う。ただし、地震時に過大な応力の発生を防ぐ処置が講じられているものは、この限りではない。

(重大事故等クラス2弁 (クラス2弁 (弁箱)))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
		一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	<hr style="width: 50%; margin: auto;"/> *1			
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *2	V_{AS} (V_{AS} として右 に示す IV_{AS} の許 容限界を用い る。)				

注記*1 : バルブの肉厚が接続配管と同等の場合で、特に大きな駆動部を有する電動弁、空気作動弁については、設計・建設規格 VVB-3330 の評価を行う。ただし、地震時に
 過大な応力の発生を防ぐ処置が講じられているものは、この限りではない。

*2 : 原子炉格納容器内の設備については、原子炉格納容器の最高使用圧力を考慮する。

ル. 炉心支持構造物
(設計基準対象施設)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 (ボルト等以外) *4					許容限界 (ボルト等)		
			一次一般膜応力	一次一般膜応力 +一次曲げ応力	特別な応力限界			一次一般 膜応力	一次一般膜 応力+一次 曲げ応力	一次+ 二次応力
					純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
S	D+P+M+S d *	III _s S	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	左欄の 1.5 倍の値*1	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y$ ($2.25 \cdot S_y$)	$1.2 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_m^{*1}$	*1 左欄の 1.5 倍の値	—
	D+P _L +M _L +S d *	IV _s S	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*3}$ ただし、ASS 及び HNA については $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小 さい方。	左欄の 1.5 倍の値*3	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y$ ($3 \cdot S_y$)	$1.6 \cdot S_m$	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*3}$	*3 左欄の 1.5 倍の値	—
	D+P+M+S s							ただし、ASS 及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の 小さい方。		

注記*1 : 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。

*2 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*3 : 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。

*4 : 座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

(重大事故等対処施設)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外) *3					許容限界 (ボルト等)		
		一次一般膜応力	一次一般膜応力 +一次曲げ応力	特別な応力限界			一次一般膜応力	一次一般膜 応力+一次 曲げ応力	一次+ 二次応力
				純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
D + P _L + M _L + S _d *	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*1}$ ただし, ASS及び HNAについては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	*1 左欄の 1.5倍の値	1.2 · S _m	*2 2 · S _y (3 · S _y)	1.6 · S _m	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*1}$ ただし, ASS 及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	*1 左欄の 1.5倍の値	—
D + P + M + S _s									
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	V _A S (V _A Sとし て右に示す IV _A Sの許容 限界を用い る。)	*1 左欄の 1.5倍の値	*1 左欄の 1.5倍の値	1.2 · S _m	*2 2 · S _y (3 · S _y)	1.6 · S _m	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*1}$ ただし, ASS 及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	*1 左欄の 1.5倍の値	—
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s									

43

注記*1 : 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。

*2 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*3 : 座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

ヲ. 炉内構造物
(設計基準対象施設)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 (ボルト等以外)					許容限界 (ボルト等)		
			一次一般膜応力	一次一般膜応力 +一次曲げ応力	特別な応力限界			一次一般 膜応力	一次一般膜 応力+一次 曲げ応力	一次+ 二次応力
					純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
S	$D + P_D + M_D + S_d^{*1}$	III _A S	$1.5 \cdot S_m^{*2}$	左欄の 1.5 倍の値 ^{*2}	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y^{*3}$ ($2.25 \cdot S_y$)	$1.2 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_m^{*2}$	左欄の ^{*2} 1.5 倍の値	—
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*4}$ ただし, ASS 及び HNA については $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小 さい方。	左欄の 1.5 倍の値 ^{*4}	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y^{*3}$ ($3 \cdot S_y$)	$1.6 \cdot S_m$	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*4}$ ただし, ASS 及び HNA に ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の 小さい方。	左欄の ^{*4} 1.5 倍の値	—

注記*1 : P_D及びM_Dについて, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : 設計・建設規格 CSS-3160(2)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は, この限りではない。

*3 : ()内は, 支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

*4 : 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は, この限りではない。

(重大事故等対処施設)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 (ボルト等以外)					許容限界 (ボルト等)		
		一次一般膜応力	一次一般膜応力 +一次曲げ応力	特別な応力限界			一次一般膜応力	一次一般膜 応力+一次 曲げ応力	一次+ 二次応力
				純せん断 応力	支圧応力	ねじり 応力			
D + P _D + M _D + S _S	IV _A S	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*1}$ ただし, ASS及び HNAについては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。	^{*1} 左欄の 1.5倍の値	1.2 · S _m	^{*2} 2 · S _y (3 · S _y)	1.6 · S _m	$\frac{2}{3} \cdot S_u^{*1}$ ただし, ASS 及びHNAに ついては $\frac{2}{3} \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の 小さい方。	^{*1} 左欄の 1.5倍の値	—
D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _S	V _A S (V _A Sとして 右に示すIV _A S の許容限界を 用いる。)								

注記*1 : 設計・建設規格 CSS-3160(3)の崩壊荷重の下限に基づく評価を適用する場合は、この限りではない。

*2 : ()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

ワ. クラス 1 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 1 支持構造物)
(クラス 1 支持構造物)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断	
S	D+P+M+S _d * [*]	III _A S	1.5・f _t	1.5・f _s	1.5・f _c	1.5・f _b	1.5・f _p	3・f _t	*6 3・f _s	*7 3・f _b	*8 1.5・f _p	*5 *7, *8 1.5・f _b , 1.5・f _s	1.5・f _t	1.5・f _s	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
	D+P _L +M _L +S _d * ^{*9}	IV _A S	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]	1.5・f _c * [*]	1.5・f _b * [*]	1.5・f _p * [*]	〔 S _d 又はS _s 地震動の みによる応力振幅につ いて評価する 〕			*8 1.5・f _p * [*]	又は1.5・ f _c	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
	D+P+M+S _s														

46

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, III_AS の許容応力を一次引張応力に対しては f_t, 一次せん断応力に対しては f_s として, また IV_AS→III_AS として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f_s とする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては, 許容応力状態 III_AS とする。

(重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 1 支持構造物))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験による場合			
		一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重			
		引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断				
D + P _L + M _L + S _d * ^{*9}	IV _A S						3 · f _t	3 · f _s ^{*6}	3 · f _b ^{*7}							$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$	
D + P + M + S _s																	
D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d	V _A S (V _A S として 右に示す IV _A S の許容 限界を用い る。)	1.5 · f _t * [*]	1.5 · f _s * [*]	1.5 · f _c * [*]	1.5 · f _b * [*]	1.5 · f _p * [*]	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動の} \\ \text{みによる応力振幅につ} \\ \text{いて評価する} \end{array} \right]$					1.5 · f _p * ^{*8}	1.5 · f _s ^{*8}	1.5 · f _t * [*]	1.5 · f _s * [*]		
D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s																	

47

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、IV_AS→III_AS (一次引張応力に対しては 1.5 · f_t、一次せん断応力に対しては 1.5 · f_s) として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 · f_s とする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8 : 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては、許容応力状態III_AS とする。

カ. クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）
（クラスMC支持構造物）

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断	
S	D + P + M + S _d * *6	Ⅲ _A S	1.5 · f _t	1.5 · f _s	1.5 · f _c	1.5 · f _b	1.5 · f _p	3 · f _t	3 · f _s *7	3 · f _b *8	1.5 · f _p *9	1.5 · f _b , 1.5 · f _s *8, *9	1.5 · f _t	1.5 · f _s	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
	D + P _L + M _L + S _d * *10		1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _c *10	1.5 · f _b *10	1.5 · f _p *10	〔 S _d 又はS _s 地震動の みによる応力振幅につ いて評価する 〕				又は 1.5 · f _c *9	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	
	D + P + M + S _s	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _c *10	1.5 · f _b *10	1.5 · f _p *10	1.5 · f _p *9					1.5 · f _c *9	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _t *10
	D + P _L + M _L + S _d * *10	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _c *10	1.5 · f _b *10	1.5 · f _p *10	1.5 · f _p *9	1.5 · f _c *9	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _t *10	1.5 · f _s *10	1.5 · f _t *10

注記*1 : 鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、Ⅲ_ASの許容応力を一次引張応力に対しては、f_t、一次せん断応力に対してはf_sとして、またⅣ_AS→Ⅲ_ASとして応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6 : P_Lは、冷却材喪失事故後 10⁻¹年後の最大内圧を考慮する。

*7 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 · f_sとする。

*8 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_bとする。

*9 : 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*10 : 原子炉格納容は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

(重大事故等クラス2支持構造物 (クラスMC支持構造物))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験による場合
		一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
		引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断	
$D + P_L + M_L + S_d^*$ *6	Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	*7 $3 \cdot f_s$	*8 $3 \cdot f_b$	*9 $1.5 \cdot f_p$	*5	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S										*8, *9 $1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$			
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *10	V _A S (V _A Sとして右に示す)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する			*9 $1.5 \cdot f_p^*$	*9 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	Ⅳ _A Sの許容限界を用いる。)													

49

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, Ⅳ_AS→Ⅲ_AS (一次引張応力に対しては $1.5 \cdot f_t$, 一次せん断応力に対しては $1.5 \cdot f_s$) として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6 : P_Lは, 冷却材喪失事故後 10⁻¹年後の最大内圧を考慮する。

*7 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*8 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*9 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*10 : 重大事故等後の最高圧力, 最高温度 (最高圧力時の飽和温度) との組合せを考慮する。

ヨ. クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 2, 3 支持構造物)
(クラス 2, 3 支持構造物)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断	
S	$D + P_D + M_D + S_d^{*9}$	III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*6}$	$3 \cdot f_b^{*7}$	$1.5 \cdot f_p^{*8}$	*5 座屈 $1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	$1.5 \cdot f_t^{*1}$	$1.5 \cdot f_s^{*1}$	$1.5 \cdot f_c^{*1}$	$1.5 \cdot f_b^{*1}$	$1.5 \cdot f_p^{*1}$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動の} \\ \text{みによる応力振幅につ} \\ \text{いて評価する} \end{array} \right]$				$1.5 \cdot f_p^{*8}$	又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^{*1}$	$1.5 \cdot f_s^{*1}$

50

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, III_AS の許容応力を一次引張応力に対しては f_t , 一次せん断応力に対しては f_s として, また IV_AS → III_AS として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4) により求めた f_b とする。

*8 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : P_D 及び M_D について, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては, 運転状態 IV (L) の荷重を含むものとする。

(重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 2, 3 支持構造物))

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験による場合		
		一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重		
		引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断			
D + P _D + M _D + S _s	IV _A S															
D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s *9	V _A S (V _A Sとして右に示すIV _A Sの許容限界を用いる。)	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _p *	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _b ^{*7}	1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _b , 1.5・f _s 又は1.5・f _c	1.5・f _t *	1.5・f _s *	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$		

51

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, IV_AS→III_AS (一次引張応力に対しては 1.5・f_t, 一次せん断応力に対しては 1.5・f_s) として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f_sとする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_bとする。

*8 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : 原子炉格納容器内の設備については, 原子炉格納容器の最高使用圧力を考慮する。

タ. その他の支持構造物
(設計基準対象施設)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2, *3, *10 (ボルト等以外)										*2, *4, *10 許容限界 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断	
S	$D + P_D + M_D + S_d^{*9}$	III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*6}$	$3 \cdot f_b^{*7}$	$1.5 \cdot f_p^{*8}$	$1.5 \cdot f_b^{*7, *8}$ $1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S	$1.5 \cdot f_t^{*1}$	$1.5 \cdot f_s^{*1}$	$1.5 \cdot f_c^{*1}$	$1.5 \cdot f_b^{*1}$	$1.5 \cdot f_p^{*1}$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動の} \\ \text{みによる応力振幅につ} \\ \text{いて評価する} \end{array} \right]$				$1.5 \cdot f_p^{*8}$	又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^{*1}$	$1.5 \cdot f_s^{*1}$

52

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, III_AS の許容応力を一次引張応力に対しては, f_t , 一次せん断応力に対しては f_s として, また IV_AS → III_AS として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4) により求めた f_b とする。

*8 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : P_D 及び M_D について, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては, 運転状態 IV (L) の荷重を含むものとする。

*10 : 電気計装設備, 換気空調設備の評価においても準用する。

(重大事故等対処施設)

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3, *10 (ボルト等以外)										*2, *4, *10 許容限界 (ボルト等)	形式試験による場合		
		一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重	
		引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	*5 座屈	引張	せん断		
D + P _D + M _D + S _s	IV _A S														
D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s ^{*9}	V _A S (V _A Sとして右に示すIV _A Sの許容限界を用いる。)	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _p *	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _b ^{*7}	1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _b , 1.5・f _s 又は1.5・f _c	1.5・f _t *	1.5・f _s *	T _L ・0.6・ $\frac{S_{y d}}{S_{y t}}$	

53

注記*1 : 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3 : 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

*4 : コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, IV_AS→III_AS (一次引張応力に対しては 1.5・f_t, 一次せん断応力に対しては 1.5・f_s) として応力評価を行う。

*5 : 薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては, クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*6 : すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5・f_s とする。

*7 : 設計・建設規格 SSB-3121.1(4) により求めた f_b とする。

*8 : 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9 : 原子炉格納容器内の設備については, 原子炉格納容器の最高使用圧力を考慮する。

*10 : 電気計装設備, 換気空調設備の評価においても準用する。

レ. クラス 1 耐圧部テンションボルト (容器以外) 及び重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト (容器以外) (クラス 1 耐圧部テンションボルト (容器以外))

(クラス 1 耐圧部テンションボルト (容器以外))

耐 震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
			平均引張応力
S	$D + P + M + S d^*$	III _A S	$1.5 \cdot S_m$ ^{*2, *3, *4}
	$D + P_L + M_L + S d^*$ ^{*1}		
	$D + P + M + S s$	IV _A S	$2 \cdot S_m$ ^{*2, *3, *4}

注記 *1 : 非常用炉心冷却系等に属する設備に対して評価を行う。

*2 : 使用圧力及び外荷重を考慮する。

*3 : クラス 1 容器耐圧部テンションボルトと同等の詳細解析を行う場合, クラス 1 容器耐圧部テンションボルトの許容応力を用いることができる。

*4 : クラス 1 ポンプの耐圧部テンションボルトにあたっては, S_m をSと読み替える。

(重大事故等クラス2耐圧部テンションボルト (容器以外) (クラス1耐圧部テンションボルト (容器以外)))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
		平均引張応力
$D + P + M + S_s$	IV_{AS}	$2 \cdot S_m$ <small>*1, *2, *3</small>
$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	V_{AS}	
$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V_{AS} として右に示す IV_{AS} の許容限界を用いる。)	

注記 *1 : 使用圧力及び外荷重を考慮する。

*2 : クラス1容器耐圧部テンションボルトと同等の詳細解析を行う場合、クラス1容器耐圧部テンションボルトの許容応力を用いることができる。

*3 : クラス1ポンプの耐圧部テンションボルトにあたっては、 S_m をSと読み替える。

ソ. クラス 2, 3 耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト (クラス 2, 3 耐圧部テンションボルト)
(クラス 2, 3 耐圧部テンションボルト)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
			平均引張応力
S	$D + P_D + M_D + S d^{*1}$	III _A S	$1.5 \cdot S^{*2, *3}$
	$D + P_D + M_D + S s$	IV _A S	$2 \cdot S^{*2, *3}$

注記 *1 : P_D 及び M_D について, 非常用炉心冷却系等に属する設備に対しては運転状態IV (L) の荷重を含むものとする。

*2 : 使用圧力及び外荷重を考慮する。

*3 : 継手接続部 (配管等) の許容応力から定まる荷重が作用するものと仮定した場合において, 耐圧部テンションボルトの応力が上記の許容応力を満たすことを確認するときは, 発生応力に対する評価を行うことを要しない。

評価方法としては, 「配管の応力解析を用いる方法」等がある。

(重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト (クラス 2, 3 耐圧部テンションボルト))

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
		平均引張応力
$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$*1, *2$ $2 \cdot S$
$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として右 に示す IV_{AS} の許 容限界を用い る。)	

注記 *1 : 使用圧力及び外荷重を考慮する。

*2 : 継手接続部 (配管等) の許容応力から定まる荷重が作用するものと仮定した場合において、耐圧部テンションボルトの応力が上記の許容応力を満たすことを確認するときは、発生応力に対する評価を行うことを要しない。
 評価方法としては、「配管の応力解析を用いる方法」等がある。

ツ. 埋込金物

荷重の組合せに対する許容応力状態は、埋込金物が支持する支持構造物と同等とする。また、以下では、設計基準対象施設の許容限界を示すが、重大事故等対処施設における許容応力状態 V_{AS} の許容限界については、許容応力状態 IV_{AS} の許容限界と読み替える。

(イ) 鋼構造物の許容応力

鋼構造物の許容応力は次による。

- i. 埋込板、アンカーフレーム、スタッド等は、その他の支持構造物（ボルト等以外）の規定による。
- ii. アンカボルトは、その他の支持構造物（ボルト等）の規定による。

(ロ) コンクリート部の許容基準

コンクリート部の強度評価における許容荷重は J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、次の通りとする。また、アンカ部にじん性が要求される場合にあつては、原則として基礎ボルトが先に降伏するような設計とする。

i. 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価

(i) コンクリートにせん断補強筋がない場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は、以下に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となるようにする。

$$p \leq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

ここに、

$$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$$

- p : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)
- p_a : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)
- p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N)
- p_{a2} : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N)
- K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数
- K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)
- α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数, $= \sqrt{A_c/A_0}$ かつ 10 以下
- A_0 : 支圧面積 (mm²)

また、各許容応力状態に対するコーン状破壊耐力及び支圧破壊耐力の低減係数（ K_1 及び K_2 ）の値を以下に示す。

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数（ K_1 ）	支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数（ K_2 ）
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}	0.45	2/3
	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}	0.6	0.75

(ii) コンクリートにせん断補強筋を配する場合

コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積の範囲内にせん断補強筋を配する場合、鉄筋比が0.4%以上あれば許容応力状態Ⅳ_{AS}におけるコンクリート部の引張強度は、(i)の場合の1.5倍の強度を有するものとして評価することができる。

$$\text{鉄筋比} : P_t = \frac{\Sigma A_w}{A_c}$$

A_w : せん断補強筋断面積 (mm²)

A_c : 有効投影面積 (mm²)

ii. 基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は、以下に示すコンクリート部のせん断荷重に対する許容値以下になるようにする。

$$q \leq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

ここに、

$$q_{a1} : 0.5 \cdot K_3 \cdot A_b \cdot \sqrt{E_c \cdot F_c}$$

$$q_{a2} : 0.31 \cdot K_4 \cdot A_{c1} \cdot \sqrt{F_c}$$

q : 基礎ボルト1本当たりのせん断荷重 (N)

q_a : 基礎ボルト1本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)

q_{a1} : 基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断荷重 (N)

q_{a2} : へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断荷重 (N)

K_3 : 複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数

K_4 : へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数

A_b : 基礎ボルトの谷径断面積(スタッドの場合は軸部断面積) (mm²)

E_c : コンクリートのヤング率 (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

a : へりあき距離 (mm)

A_{c1} : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm^2) = $\pi a^2/2$

ただし、 $\sqrt{E_c \cdot F_c}$ の値は、 500N/mm^2 以上、 880N/mm^2 以下とする。 880N/mm^2 を超える場合は、 $\sqrt{E_c \cdot F_c} = 880\text{N/mm}^2$ として計算する。また、各許容応力状態に対するせん断耐力の低減係数 (K_3 及び K_4)の値を以下に示す。

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数 (K_3)	へり側コンクリート破壊の場合の低減係数 (K_4)
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}	0.6	0.45
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}	0.8	0.6

iii. 基礎ボルトが引張, せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価

基礎ボルトが引張, せん断の組合せ荷重を受ける場合, それらの組合せ荷重が以下に示すコンクリート部の引張荷重及びせん断荷重の組合せに対する許容値以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ここに,

p_a : 引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)

$$= \min(p_{a1}, p_{a2})$$

q_a : せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)

$$= \min(q_{a1}, q_{a2})$$

p : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)

q : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)

iv. コンクリート部の面内せん断力が大きい場合の評価

鉄筋コンクリート造建物・構築物において, 耐震要素として地震時に生じる力を負担させる壁 (以下「耐震壁」という。) において地震力による各層の面内せん断ひずみ度又は面内せん断力が著しく大きい場合は, 鉄筋コンクリート造壁の機器・配管に対する支持機能の評価に, 下記の許容限界を用いることとする。

(i) 耐震壁の面内せん断ひずみ度と基礎ボルトの面外引張力に関する許容限界の目安値

地震力による各層の面内せん断ひずみ度 γ と機器・配管のアンカ部に

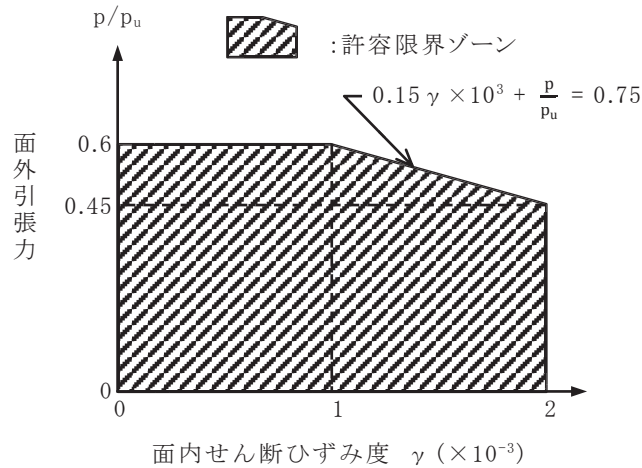
作用する面外の引張力 p を p_u で除した値 p/p_u が、以下に示す図の網掛け部の許容限界ゾーン内にあることとする。

ここで、 p_u は定着部のコンクリートのコーン状破壊耐力で、下記の式による。また、面内せん断ひずみ度 γ は、J E A G 4 6 0 1 で定まる復元力特性を用いた応答解析結果に基づく値とする。

$$p_u = 0.31 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c}$$

ここに、

- p_u : 定着部のコンクリートのコーン状破壊耐力 (N)
- A_c : 有効投影面積 (「i. 基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価」参照) (mm^2)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)



面内せん断ひずみ度と面外引張力に関する許容限界ゾーン

(ii) 耐震壁の面内せん断ひずみ度と基礎ボルトの面外引張力に関する許容限界の目安値

地震力による各層の面内せん断力 Q を終局せん断耐力 Q_u で除した値 Q/Q_u と前記の p/p_u が、以下に示す図の網掛け部の許容限界ゾーン内にあることを目安とする。

ここで、 Q_u は各層の終局せん断耐力で、下記の式による。

$$Q_u = \tau_u \cdot A_s$$

ここに、

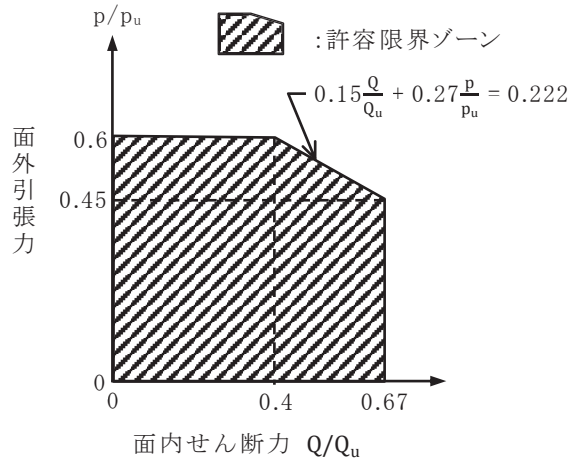
$$\tau_u = \begin{cases} \left\{ 1 - \tau_s / (1.4 \cdot \sqrt{F_c}) \right\} \cdot \tau_0 + \tau_s & (\tau_s < 1.4 \cdot \sqrt{F_c}) \\ 1.4 \cdot \sqrt{F_c} & (\tau_s \geq 1.4 \cdot \sqrt{F_c}) \end{cases}$$

$$\tau_0 = (0.94 - 0.56 M/QD) \cdot \sqrt{F_c}$$

ただし、 $M/QD > 1$ のとき、 $M/QD = 1$ とする。

$$\tau_s = (P_V + P_H) \cdot \sigma_y / 2 + (\sigma_V + \sigma_H) / 2$$

- Q_u : 終局せん断耐力 (N)
- τ_u : 終局せん断応力度 (N/mm²)
- A_s : 有効せん断断面積 (mm²)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
- P_V : 縦筋比
- P_H : 横筋比
- σ_V : 縦軸応力度 (N/mm²)
- σ_H : 横軸応力度 (N/mm²)
- σ_y : 鉄筋の降伏応力度 (N/mm²)
- D : 引張, 圧縮フランジの芯々間距離 (mm)
(ボックス壁であれば地震荷重加力方向の壁長, 円筒壁の場合は外径)
- Q : 当該耐震壁面内せん断力 (N)
- M : 当該耐震壁曲げモーメント (N・mm)



面内せん断力と面外引張力に関する許容限界ゾーン

v. コンクリートの許容圧縮応力度

コンクリートの許容圧縮応力度は下表に示す値とする。

(N/mm²)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容圧縮応力度*1
S	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S	$2/3 \cdot F_C$
	$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S	$0.75 \cdot F_C$

注記*1: F_C = コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

vi. コンクリートの許容せん断応力度

コンクリートの許容せん断応力度は下表に示す値とする。

(N/mm²)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容せん断応力度
S	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S	$1.5 \cdot \min \left[\frac{1}{30} \cdot F_C, \left(0.49 + \frac{1}{100} \cdot F_C \right) \right]$
	$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S	$1.5 \cdot \min \left[\frac{1}{30} \cdot F_C, \left(0.49 + \frac{1}{100} \cdot F_C \right) \right]$

vii. 異形鉄筋を用いる場合のコンクリートに対する許容付着応力度

異形鉄筋を用いる場合のコンクリートに対する許容付着応力度は下表に示す値とする。

(N/mm²)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容付着応力度*1
S	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S	$1.5 \cdot \min \left[\frac{1}{10} \cdot F_C, \left(1.32 + \frac{1}{25} \cdot F_C \right) \right]$
	$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S	$1.5 \cdot \min \left[\frac{1}{10} \cdot F_C, \left(1.32 + \frac{1}{25} \cdot F_C \right) \right]$

注記*1: コンクリートの沈下により異形鉄筋下面の付着が悪くなると考えられる場合は許容付着応力度を 2/3 の値とする。

viii. コンクリートの許容支圧応力度

コンクリートの許容支圧応力度は下表に示す値とする。

(N/mm²)

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容支圧応力度*1
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _{AS}	$f'_c = f_c \sqrt{A_c/A_1}$ かつ
	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _{AS}	$f'_c \leq 2f_c$ 及び $f'_c \leq F_c$

注記*1: f_c = コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm²)

A_1 = 局部圧縮を受ける面積 (支圧面積)

A_c = 支圧端から離れて応力が一様分布となったところの面積 (支承面積)

ix. 引抜き力及び押抜き力に対するコンクリートの許容せん断応力度

スタッド、アンカボルト等の引抜き力及びベースプレートの押抜き (パンチング) 力によってコンクリートに生じる各許容応力状態におけるせん断応力度 τ_p は次式により計算し, vi. に示す許容せん断応力度より低いことを確認する。

また, 本評価法以外に, 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」の「2.9.4章 埋込金物の許容応力」の解説(7).b に示される米国コンクリート学会の規定を用いる場合もある。

$$\tau_p = \frac{P}{\alpha_D \cdot b_o \cdot j}$$

ここで,

P = 引抜き力又は押抜き力 (N)

α_D = 1.5 (定数)

b_o = せん断力算定断面の延べ幅 (mm)

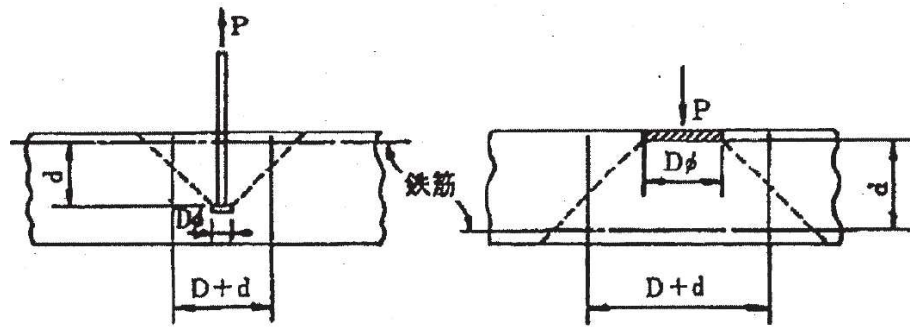
j = (7/8) d (mm)

d = せん断力算定断面の有効せい (mm)

ただし、せん断力算定断面は次のように考える。

$\left(\begin{array}{l} \text{スタッド, アンカボルトの引抜き} \\ \text{の例, ただし } b_0 = \pi \cdot (D + d) \end{array} \right)$

 $\left(\begin{array}{l} \text{ベースプレートの押抜きの例,} \\ \text{ただし } b_0 = \pi \cdot (D + d) \end{array} \right)$



(ハ) 形式試験による場合

埋込金物に対し形式試験により標準設計荷重を求める場合は次による。

- i. 試験個数は、同一仕様のものを、荷重種別（引張、曲げ、せん断）ごとに最低3個とする。
- ii. 埋込金物の変形により支持構造物としての機能を喪失する限界の荷重を T_L (Test-Load) とする。ただし、埋込板のごとく荷重による変形の発生と破壊との判別がつきにくいものにあつては破壊荷重を T_L とする。
- iii. 許容荷重は、3個の T_L のうち最小値を $(T_L)_{min}$ とし下の表により求める。ただし、最小値が他の2個の T_L に比べ過小な場合は、新たに3個の T_L を求め、合計6個の T_L の中で後から追加した3個の T_L の最小値が最初の3個の T_L の最小値を上回った場合は、合計6個の T_L の最小値をはぶき2番目に小さい T_L を $(T_L)_{min}$ とする。ただし、下回った場合は、最小値を $(T_L)_{min}$ とする。

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容荷重
S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _{AS}	$(T_L)_{min} \cdot 1/2$
	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _{AS}	$(T_L)_{min} \cdot 0.6$

(ニ) スタッドの評価

スタッドの評価においては、せん断耐力の評価式を規定している日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」設計式(AIJ式)を用いることができる。

(ホ) メカニカルアンカ、ケミカルアンカの許容応力

建物施工後に設置する後打ちアンカには、メカニカルアンカ及びケミカルアンカがあり、その許容値は、「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会、2010年改定）又はJ E A G 4 6 0 1・補-1984に基づき設計する。

i. メカニカルアンカ

「各種合成構造設計指針・同解説 第4編 各種アンカーボルト設計指針・解説 資料5 金属拡張アンカーボルトの設計」に基づき設計する。また、J E A G 4 6 0 1・補-1984に基づく場合は、前記ツ.(ロ)の許容値に更に20%の低減を行うものとする。

(i) 引張力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は以下に示す許容荷重 p_a 以下となるようにする。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \sigma_t \cdot A_c$$

ここで、

p_{a1} : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)

p_{a2} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)

α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、以下の表に従う。

	ϕ_1	ϕ_2
短期荷重用	1.0	2/3

$s \sigma_{pa}$: ボルトの引張強度で、 $s \sigma_{pa} = s \sigma_y$ とする。(N/mm²)

$s \sigma_y$: ボルトの降伏点強度であり、 $s \sigma_y = S_y$ とする。(N/mm²)

$s c a$: ボルト各部の最小断面積 (mm²) 又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値

$c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で $c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$ とする。

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積で、 $A_c = \pi \cdot \ell_{ce} (\ell_{ce} + D)$ とする。(mm²)

D : アンカーボルト本体の直径 (mm)

ℓ : アンカーボルトの埋込み深さで、母材表面から拡張面先端までの距離 (mm)

$$\ell_{ce} : \text{強度算定用埋込み深さで } \ell_{ce} = \begin{cases} \ell, & \ell < 4D \\ 4D, & \ell \geq 4D \end{cases} \quad (\text{mm})$$

(ii) せん断力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は以下に示す許容荷重 q_a 以下となるようにする。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

- q_{a1} : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)
- q_{a2} : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)
- q_{a3} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重 (N)
- α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。
- ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、(i) において示す表に従う。
- $s \sigma_{qa}$: ボルトのせん断強度で、 $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$ とする。(N/mm²)
- s_{ca} : ボルトのコンクリート表面における断面積 (mm²)
- $c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする。(N/mm²)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
- A_{qc} : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積で $A_{qc} = 0.5 \cdot \pi c^2$ とする。(mm²)
- c : へりあき寸法 (mm)

(iii) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 p 及びせん断荷重 q の組合せ荷重を受ける場合、以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ii. ケミカルアンカ

「各種合成構造設計指針・同解説 第4編 各種アンカーボルト設計指針・解説 4.5 接着系アンカーボルトの設計」又は J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に基づき設計する。「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく場合は以下の通りである。また、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に基づく場合は、前記ツ.(ロ)の許容値に更に 20%の低減を行うものとする。

(i) 引張力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は以下に示す許容荷重 p_a 以下となるようにする。

- p_{a1} : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)
 p_{a3} : ボルトの付着力により決まる許容引張荷重 (N)
 ϕ_1, ϕ_3 : 低減係数であり、以下の表に従う。

\	ϕ_1	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3

- $s\sigma_{pa}$: ボルトの引張強度で、 $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする。ただし、ボルトの降伏を保証する場合の上限引張力を算定するときは、 $s\sigma_{pa} = \alpha_{yu} \cdot s\sigma_y$ とする。(N/mm²)
 $s\sigma_y$: ボルトの降伏点強度であり、 $s\sigma_y = S_y$ とする。(N/mm²)
 α_{yu} : ボルトの材料強度のばらつきを考慮した降伏点強度に対する割増係数であり、1.25以上を用いる。
 sca : ボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小さい方の値 (mm²)
 d_a : ボルトの径 (mm)
 ℓ_{ce} : ボルトの強度算定用埋込み深さで $\ell_{ce} = \ell_e - 2d_a$ とする。(mm)
 ℓ_e : ボルトの有効埋込み深さ (mm)
 τ_a : ボルトの付着強度で $\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$ とする。(N/mm²)

ここで、

- α_n : へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数で $\alpha_n = 0.5(c_n/\ell_e) + 0.5$ とする。(n=1, 2, 3) ただし、 $(c_n/\ell_e) \geq 1.0$ の場合は $(c_n/\ell_e) = 1.0$ 、 $\ell_e \geq 10d_a$ の場合は $\ell_e = 10d_a$ とする。
 c_n : へりあき寸法又はボルトピッチ a の 1/2 で、最も小さくなる寸法 3 面までを考慮する。
 τ_{bavg} : ボルトの基本平均付着強度であり、接着剤及び充填方式により以下の表に従う。

	カプセル方式		注入方式
	有機系	無機系	有機系
普通コンクリート	$10\sqrt{F_c/21}$	$5\sqrt{F_c/21}$	$7\sqrt{F_c/21}$

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

(ii) せん断力を受ける場合

荷重の算定で得られた基礎ボルトのせん断荷重は以下に示す許容荷重 q_a 以下となるようにする。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

q_{a1} : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a2} : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a3} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、(i)において示す表に従う。

$s \sigma_{qa}$: ボルトのせん断強度で $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$ とする。(N/mm²)

$c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{E_c \cdot F_c}$ とする。

$c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度で $c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$ とする。(N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

A_{qc} : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積で $A_{qc} = 0.5 \pi c^2$ とする。

c : へりあき寸法 (mm)

また、ボルトの有効埋込み長さが ℓ_e 以下となるようにする。

$$\ell_e \geq \frac{s \sigma_{pa} \cdot d_a}{4\tau_a}$$

(iii) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 p 及びせん断荷重 q の組合せ荷重を受ける場合、以下となるようにする。

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ネ. 燃料集合体（燃料被覆管）

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
		一次応力
D + P + M + S _d * [*]	III _A S	0.7 · S _u ^{*1*2}
D + P + M + S _s	IV _A S	

注記*1：せん断ひずみエネルギー説に基づく相当応力に対して評価する。

*2：使用温度及び照射の効果を考慮して許容値を設定する。

(b) B, Cクラスの機器・配管系, 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故防止取備 (設計基準拡張) (当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの) の機器・配管系

イ. クラス2, 3容器及び重大事故等クラス2容器 (クラス2, 3容器)
(クラス2, 3容器)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS及びHNAについては上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし, ASS及びHNAについては上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$		

(重大事故等クラス2容器 (クラス2, 3容器))

71

*1 耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS及びHNAについては上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし, ASS及びHNAについては上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$		

注記*1: 常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) が属する耐震重要度分類のクラス。

*2: 設計基準事故等の状態で作用する荷重を除く。

ロ. クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 管 (クラス 2 管)
(クラス 2 管)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界		
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	—*2
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$			

注記*1: 軸力による全断面平均応力については, 本欄の 0.8 倍の値とする。

*2: 異なる建屋間に設置される等, 地震時相対変位を考慮する場合は, 地震のみによる一次+二次応力の振幅に対して $2 \cdot S_y$ とする。

(重大事故等クラス2管 (クラス2管))

*1 耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状態	許容限界		
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	*3 S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	—*4
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$			

注記*1：常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス。

*2：設計基準事故時の状態で作用する荷重を除く。

*3：軸力による全断面平均応力については、本欄の0.8倍の値とする。

*4：異なる建屋間に設置される等、地震時相対変位を考慮する場合は、地震のみによる一次+二次応力の振幅に対して $2 \cdot S_y$ とする。

ハ. クラス 3 管及び重大事故等クラス 2 管(クラス 3 管)
(クラス 3 管)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	^{*1} S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい 方。 ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	—	
	^{*4} $D + P_d + M_d + S_d$	$IV_A S$	^{*2} $0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	^{*3} S_s 又は S_d 地震動のみによる疲労 解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下 であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次 応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば 疲労解析は不要。	
	^{*5} $D + P_d + M_d + S_s$					
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$	^{*1} S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい 方。 ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とす る。	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	—	

注記*1: 軸力による全断面平均応力については本欄の 0.8 倍の値とする。

*2: 軸力による全断面平均応力については, 許容応力状態 $B_A S$ の一次一般膜応力の許容値 (S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方) の 0.8 倍の値とする。

*3: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5) (ただし, S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*4: 主蒸気系主配管 (弾性設計用地震動 S_d に対し破損しないことの確認を行う範囲) について適用する。

*5: 主蒸気逃がし安全弁排気管について適用する。

(重大事故等クラス2管 (クラス3管))

*1 耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜応力	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	B _A S	*3 S _y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい 方。 ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方と する	S _y ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方と する	—	—
C	$D + P_d + M_d + S_C$	C _A S	*3 S _y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい 方。 ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方と する	S _y ただし、ASS及びHNA については上記の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方と する。	—	—

注記*1：常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス。

*2：設計基準事故時の状態で作用する荷重を除く。

*3：軸力による全断面平均応力については、本欄の0.8倍の値とする。

ニ. クラス4管及び重大事故等クラス2管 (クラス4管)
(クラス4管)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界
			一次一般膜応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	地震時の加速度及び相対変位に対し機能が保たれるようサポートのスペン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$	

(重大事故等クラス2管 (クラス4管))

*1 耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状態	許容限界
			一次一般膜応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	地震時の加速度及び相対変位に対し機能が保たれるようサポートのスペン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$	

注記*1：常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス。

*2：設計基準事故等の状態で作用する荷重を除く。

ホ. クラス 2, 3 ポンプ, その他のポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ (クラス 2, 3 ポンプ, その他のポンプ)
(クラス 2, 3 ポンプ, その他のポンプ)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1	
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS 及び HNA については上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$		

(重大事故等クラス 2 ポンプ (クラス 2, 3 ポンプ, その他のポンプ))

77

*1 耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状 態	許容限界*1	
			一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし, ASS 及び HNA については上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする	S_y ただし, ASS 及び HNA については上記 の値と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$		

注記*1: 常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) が属する耐震重要度分類のクラス。

*2: 設計基準事故等の状態で作用する荷重を除く。

へ. クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 2 支持構造物)
(クラス 2 支持構造物)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*1,*2} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*2,*6} (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断	
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*3}$	$3 \cdot f_b^{*4}$	$1.5 \cdot f_p^{*5}$	$1.5 \cdot f_b^{*4,*5}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$						地震荷重のみによる応力振幅について評価する。				$1.5 \cdot f_c$			

注記*1: 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4: 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5: 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*6: コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであつて, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, 一次引張応力に対しては f_t , 一次せん断応力に対しては f_s として応力評価を行う。

(重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 2 支持構造物))

耐震 クラス ^{*1}	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力 状態	許容限界 ^{*3,*4} (ボルト等以外)										許容限界 ^{*4,*8} (ボルト等)		形式試験に よる場合 許容荷重
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断	
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ^{*5}	$3 \cdot f_b$ ^{*6}	$1.5 \cdot f_p$ ^{*7}	$1.5 \cdot f_b$ ^{*6,*7}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$						地震荷重のみによる応力振幅について評価する。				$1.5 \cdot f_s$ ^{*7}			

注記*1: 常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) が属する耐震重要度分類のクラス。

*2: 設計基準事故時の状態で作用する荷重を除く。

*3: 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*4: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*5: すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*6: 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*7: 自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*8: コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、一次引張応力に対しては f_t 、一次せん断応力に対しては f_s として応力評価を行う。

ト. その他の支持構造物及び重大事故クラス2支持構造物 (その他の支持構造物)
(その他の支持構造物)

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1,*2 (ボルト等以外)										許容限界*2,*6 (ボルト等)		形式試験に よる場合			
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重			
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断				
B	$D + P_d + M_d + S_B$	$B_A S$																
C	$D + P_d + M_d + S_C$	$C_A S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$\left(\begin{array}{l} 3 \cdot f_t \quad *3 \quad *4 \\ 3 \cdot f_s \\ 3 \cdot f_b \end{array} \right)$ (地震荷重のみによる応力振幅について評価する。) $1.5 \cdot f_p$			$1.5 \cdot f_p$ *5	$1.5 \cdot f_b$, $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$ *4,*5	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{yd}}{S_{yt}}$			

注記*1: 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3: すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4: 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5: 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*6: コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, 一次引張応力に対しては f_t , 一次せん断応力に対しては f_s として応力評価を行う。

(重大事故等クラス2 支持構造物 (その他の支持構造物))

耐震 クラス	荷重の組合せ*2	許容応力 状態	許容限界*3,*4,*9 (ボルト等以外)										許容限界*4,*8 (ボルト等)	形式試験に よる場合			
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重		
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張	せん断			
B	$D + P_d + M_d + S_B$	B _A S															
C	$D + P_d + M_d + S_C$	C _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$\left(\begin{array}{l} 3 \cdot f_t \quad *5 \\ 3 \cdot f_s \quad *5 \\ 3 \cdot f_b \quad *6 \end{array} \right)$ (地震荷重のみによる応力振幅について評価する。) $\left(\begin{array}{l} *6, *7 \\ 1.5 \cdot f_b, \\ 1.5 \cdot f_s \\ \text{又は } 1.5 \cdot f_c \end{array} \right)$			$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$T_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$			

注記*1: 常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) が属する耐震重要度分類のクラス。

*2: 設計基準事故時の状態で作用する荷重を除く。

*3: 鋼構造設計規準 (日本建築学会 2005 改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*4: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*5: すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*6: 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*7: 自重, 熱膨張等により常時作用する荷重に, 地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*8: コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであつて, トルク管理, 材料の照合等を行わないものについては, 材料の品質, 据付状態等のゆらぎ等を考慮して, 一次引張応力に対しては f_t , 一次せん断応力に対しては f_s として応力評価を行う。

*9: 電気計装設備, 換気空調設備の評価においても準用する。

(3) 土木構造物
(設計基準対象施設)

		荷重の組合せ	許容限界		
			曲げ	せん断	基礎地盤の支持性能
土木構造物	屋外重要土木構造物	$G + P + S_s$	限界層間変形角* ¹ , * ² , 限界ひずみ* ¹ , * ² , 降伏曲げモーメント* ¹ , * ² 及び許容応力度とする。	せん断耐力* ¹ 又は許容応力度とする。	地盤の極限支持力に対して適切な安全余裕を持たせる。
		$G + P + S_c$	許容応力度とする。	許容応力度とする。	地盤の短期許容支持力とする。
	その他の土木構造物	$G + P + S_c$	許容応力度とする。	許容応力度とする。	地盤の短期許容支持力とする。

注記*1：各種安全係数を見込むことで、適切な安全余裕を持たせる。

*2：止水性の維持が要求される部位については、基準地震動 S_s による地震力に伴い生じる荷重又は応力に対して、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。

〔記号の説明〕

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

S_c : 耐震Cクラスの施設に適用される静的地震力

(重大事故等対処施設)

	*1 設備分類 施設区分	荷重の組合せ	許容限界		
			曲げ	せん断	基礎地盤の 支持性能
土木 構造物	①*2, ③, ④*2 ⑤, ⑥*2	G + P + S _s	限界層間変形角*3, 限界ひずみ*3, 降伏 曲げモーメント*3 及び許容応力度と する。	せん断耐力*3 又は許容応力度 とする。	地盤の極限支持 力に対して妥当 な安全余裕を持 たせる。
	①	G + P + S _c	許容応力度とす る。	許容応力度とす る。	地盤の短期許容 支持力とする。

注記*1：重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

- ①：常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がBクラス又はCクラスのもの）
- ②：①が設置される重大事故等対処施設
- ③：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）
- ④：③が設置される重大事故等対処施設
- ⑤：常設重大事故緩和設備又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）
- ⑥：⑤が設置される重大事故等対処施設

*2：屋外重要土木構造物の機能を代替する重大事故等対処施設に適用する。

*3：各種安全係数を見込むことで、妥当な安全余裕を持たせる。

〔記号の説明〕

G：固定荷重

P：積載荷重

S_s：基準地震動S_sによる地震力

S_c：耐震Cクラスの施設に適用される静的地震力

(4) 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備

(a) 土木構造物

津波防護施設

	荷重の組合せ	許容限界		
		構造部材の健全性	基礎地盤の支持性能	構造物の変形性
防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	G + P + S _s	短期許容応力度又はすべり安全率 1.2 以上とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	有意な漏洩が生じないことを確認した変位量とする。
防潮堤 (盛土堤防)	G + P + S _s	すべり安全率 1.2 以上とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	—
防潮壁 (第 2 号機海水ポンプ室)	G + S _s	短期許容応力度又は降伏強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	有意な漏洩が生じないことを確認した変位量とする。
防潮壁 (第 2 号機放水立坑)	G + S _s	短期許容応力度又は降伏強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	有意な漏洩が生じないことを確認した変位量とする。
防潮壁 (第 3 号機海水ポンプ室)	G + S _s	短期許容応力度又は降伏強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	有意な漏洩が生じないことを確認した変位量とする。
防潮壁 (第 3 号機放水立坑)	G + S _s	短期許容応力度又は降伏強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	有意な漏洩が生じないことを確認した変位量とする。
防潮壁 (第 3 号機海水熱交換器建屋)	G + S _s	短期許容応力度又は降伏強度及びせん断強度とする。	—	—
取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2)	G + S _s	引張強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	—
取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路)	G + S _s	引張強度及びせん断強度とする。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	—
貯留堰	G + S _s	短期許容応力度, 限界ひずみ* ¹ , せん断耐力とする* ¹ 。	地盤の極限支持力に基づき設定する。	—

注記*1: 各種安全係数を見込むことで妥当な安全余裕を持たせる。

〔記号の説明〕 G : 固定荷重, P : 積載荷重, S_s : 基準地震動 S_s による地震力

(b) 建物・構築物

浸水防止設備

		荷重の組合せ	許容限界
			部材
浸水防止設備	水密扉 浸水防止蓋 浸水防止壁	$G + P + S_s$	短期許容応力度を基本とする。

〔記号の説明〕

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

(c) 機器・配管系

イ. 記号の説明

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

ロ. 荷重の組合せ及び許容応力

浸水防止設備（浸水防止蓋（ボルト以外））

		耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 ^{*1*2}			
					一次応力			
					引張	曲げ	せん断	圧縮
浸水防止設備	浸水防止蓋	S	$D + S_s$	Ⅲ _A S ^{*3}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：その他の支持構造物（設計基準対象施設）に対する許容限界に準じて設定する。

*3：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

浸水防止設備（浸水防止蓋（ボルト））

		耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状 態	許容限界*1*2	
					一次応力	
					引張	せん断
浸水 防止 設備	浸水防止蓋	S	D + S s	Ⅲ _A S*3	1.5 · f _t	1.5 · f _s

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：その他の支持構造物（設計基準対象施設）に対する許容限界に準じて設定する。

*3：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

浸水防止設備（逆止弁付ファンネル）

		耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状 態	許容限界*1*2	
					一次応力	
					引張	曲げ
浸水 防止 設備	逆止弁付ファンネル	S	D + S s	Ⅲ _A S*3	1.2 · S	1.2 · S

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：クラス2，3配管に対する許容限界に準じて設定する。

*3：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

浸水防止設備（貫通部止水処置）

貫通部止水処置にモルタルを用いる場合の許容荷重はコンクリート標準示方書【構造性能照査編】（（社）土木学会 2002 年制定）に準じて、次の通りとする。

耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界	
			付着荷重* ¹	圧縮荷重* ²
S	D + S _s	短期許容応力度 とする。	f _s	f _c

注記*1：貫通部がせん断荷重を受ける場合のモルタルの評価

荷重の算定で得られた貫通物のせん断荷重は、以下に示す貫通部の周囲に充填したモルタルの付着強度に対する許容値以下となるようにする。

$$F_s \leq f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

ここに、

$$f'_{bok} = 0.28 \times f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

F_s : 貫通物によるせん断荷重 (kN)

f_s : モルタルの許容付着荷重 (kN)

f'_{bok} : モルタルの付着強度 (N/mm²)

S : 貫通物の周長 (mm)

L : モルタルの充てん深さ (mm)

f'_{ck} : モルタル圧縮強度であり設計値として 30 (N/mm²) を用いる

γ_c : 材料係数として 1.3 を用いる

*2：貫通物が圧縮荷重を受ける場合のモルタルの評価

荷重の算定で得られた貫通物の圧縮荷重は、以下に示す貫通部の周囲に充填したモルタルの圧縮強度に対する許容値以下となるようにする。

$$F_c \leq f_c = f'_{ck} \cdot A_p / \gamma_c$$

ここに、

F_c : 貫通物による圧縮荷重 (kN)

f_c : モルタルの許容圧縮荷重 (kN)

f'_{ck} : モルタル圧縮強度であり設計値として 30 (N/mm²) を用いる

A_p : 貫通物の投影面積 (mm²)

γ_c : 材料係数として 1.3 を用いる

津波監視設備

		耐震 クラス	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界 ^{*2*3} (ボルト以外)				許容限界 ^{*2*3} (ボルト)	
					一次応力				一次応力	
					引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
津波監視設備	津波監視 カメラ	S	$D + P_D + M_D + S_S$	$\text{III}_A S^{*1}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
	取水ピット 水位計	S	$D + P_D + M_D + S_S$	$\text{III}_A S^{*1}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1:地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

*2:応力の組み合わせが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3:その他の支持構造物（設計基準対象施設）に対する許容限界に準じて設定する。

(5) 地盤

(設計基準対象施設)

	荷重の組合せ	許容限界
Sクラス	$G + P + S_d^*$	短期許容支持力とする。
	$G + P + S_s$	極限支持力に対して妥当な安全余裕を持たせる。
Bクラス	$G + P + S_B$	短期許容支持力とする
Cクラス	$G + P + S_C$	短期許容支持力とする。

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

S_B : 耐震 B クラスの施設に適用される静的地震力

S_C : 耐震 C クラスの施設に適用される静的地震力

(重大事故等対処施設)

	設備分類* ¹ 施設区分	耐震* ² クラス	荷重の組合せ	許容限界
基礎地盤	③, ④, ⑤, ⑥, ⑦	S	$G + P + S_s$	極限支持力に対して妥当な安全余裕を持たせる。
	①, ②	B	$G + P + S_B$	短期許容支持力とする
	①, ②	C	$G + P + S_C$	短期許容支持力とする。

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震力

S_B : 耐震 B クラスの施設に適用される静的地震力

S_C : 耐震 C クラスの施設に適用される静的地震力

注記*1: 重大事故等対処施設の設備分類及び施設区分

- ①: 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類が B クラス又は C クラスのもの)
- ②: ①が設置される重大事故等対処施設
- ③: 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの)
- ④: ③が設置される重大事故等対処施設
- ⑤: 常設重大事故緩和設備又は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)
- ⑥: ⑤が設置される重大事故等対処施設

⑦：緊急時対策所

*2：常設重大事故防止設備の代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラス又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が属する耐震重要度分類のクラス

また，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）については，当該クラスをSと表記する。

表 3-2 地震力と積雪荷重及び風荷重の組合せ

(1) 考慮する荷重の組合せ

(○：考慮する荷重を示す。)

	施設の配置	荷重	
		風荷重 (P_k)	積雪荷重 (P_s)
建物・構築物	屋外	○*1	○*2
機器・配管系	屋内	—	—
	屋外	○*1	○*2
土木構造物	屋外	○*1	○*2
津波防護施設，浸水防止 設備及び津波監視設備	屋内	—	—
	屋外	○*1	○*2

注記*1：屋外に設置されている施設のうち，コンクリート構造物などの自重が大きい施設を除く。

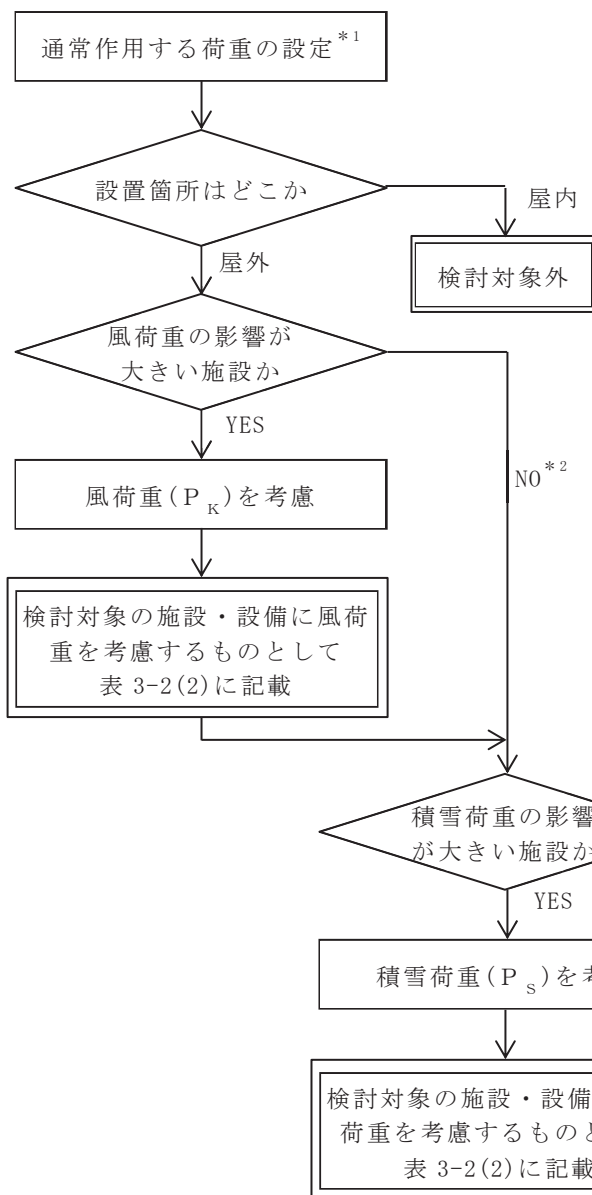
*2：積雪による受圧面積が小さい施設，又は埋設構造物など常時の荷重に対して積雪荷重の割合が無視できる施設を除く。

(2) 検討対象の施設・設備

	施設・設備	
	風荷重*1	積雪荷重*1
建物・構築物	・排気筒*2	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・緊急時対策建屋 ・制御建屋 ・タービン建屋 ・緊急用電気品建屋 ・第3号機海水熱交換器建屋 ・第1号機制御建屋 ・補助ボイラー建屋 ・排気筒基礎
機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外アンテナ（緊急時対策所） ・屋外アンテナ（中央制御室） ・統合原子力防災ネットワーク設備 ・衛星アンテナ ・復水貯蔵タンク 	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外アンテナ（緊急時対策所） ・屋外アンテナ（中央制御室） ・竜巻防護ネット ・海水ポンプ室門型クレーン ・復水貯蔵タンク
土木構造物	—	<ul style="list-style-type: none"> ・取水口 ・取水路 ・海水ポンプ室 ・原子炉機器冷却海水配管ダクト ・軽油タンク室 ・軽油タンク室（H） ・ガスタービン発電設備軽油タンク室 ・軽油タンク連絡ダクト ・排気筒連絡ダクト ・第3号機海水ポンプ室 ・復水貯蔵タンク基礎
津波防護施設、 浸水防止設備 及び津波監視設備	<ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤 ・防潮壁 ・浸水防止壁 ・津波監視カメラ 	<ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤 ・防潮壁 ・浸水防止蓋 ・津波監視カメラ

注記*1：風荷重については、建築基準法施行令第87条第2項及び第4項に基づく建設省告示第1454号に、積雪荷重については、女川原子力発電所の最寄りの気象官署（石巻特別地域気象観測所）における観測記録（1887年～2017年）に基づくこととし、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4. 組合せ」のとおり、風荷重については30m/s、積雪荷重については43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、適切に算出する。

*2：風荷重の影響が大きいと考えられる鉄塔構造物について、組合せを考慮する。



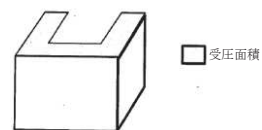
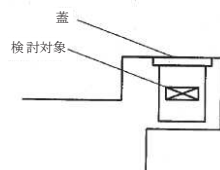
注記*1：構造物については、固定荷重(G)を考慮し、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は、積載荷重(P)を組み合わせる。
機器類については、自重(D)を考慮する。

注記*2

- ・風による受圧面積が相対的に小さい。
- ・コンクリート構造物等の自重が大きい施設
- ・壁等に囲われた場所に設置されており、直接風を受けない。
- ・常時海中にある構造物

注記*3

- ・施設の上に蓋等があり施設に積雪しない (図A参照)
- ・常時海中にある構造物
- ・施設上部又は設備の受圧面積が小さい (図B参照)



図A：蓋等により積雪しない場合の例 図B：上部の受圧面積が小さい場合の例

図 3-1 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フロー

3.2 変位，変形の制限

発電用原子炉施設として設置される建物・構築物，機器・配管系の設計に当たっては，剛構造とすることを原則としており，地震時にこれらに生じる応力を許容応力値以内に抑えることにより，変位，変形に対しては特に制限を設けなくても機能は十分維持されることが考えられる。

しかしながら，地震により生起される変位，変形に対し設計上の注意を要する部分については以下のような配慮を行い，設備の機能維持が十分果たされる設計とする。

(1) 建物間相対変位に対する配慮

原子炉格納容器を貫通する配管，ダクト等，又は異なった建物間を渡る配管等の設計においては，十分安全側に算定された建物間相対変位に対し，配管ルート，支持方法又は伸縮継手の採用等でこれを吸収できるように配慮する。

(2) 燃料集合体の変位に対する配慮

地震時における原子炉スクラム時，燃料集合体の地震応答変位は制御棒の挿入時間に影響を与える。そのため，炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を求め，地震応答解析から求めた燃料集合体変位がその最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

4. 機能維持

4.1 動的機能維持

動的機能が要求される機器は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(1) 動的機能維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、その機器に要求される安全機能を維持するため、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動に対して、その機能種別により制御棒挿入機能に係る機器、回転機器及び弁に分類し、それぞれについて、以下の方法により機能維持を満足する設計とする。

(1) 制御棒挿入機能に係る機器

地震時における制御棒の挿入性（制御棒が目安とする設計時間内に挿入できること）については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果等から駆動機能が地震時にも維持されることを確認する。

(2) 回転機器及び弁

地震時及び地震後に動作機能の維持が要求される回転機器及び弁については、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動による応答加速度が、加振試験等の既往の研究によって機能維持を確認した加速度（以下「動的機能確認済加速度」という。）以下とするか、もしくは応答加速度による解析等により機能維持を満足する設計とする。動的機能確認済加速度を超える場合には、詳細検討により機能維持を満足する設計とする。標準的な機種 of 動的機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 の適用形式を外れる場合は、地震時の応答加速度が地震動を模擬した加振試験又は設備が十分に剛であることを踏まえ、地震動による応答を模擬した静的荷重試験によって得られる、機能維持を確認した加速度以下であること、又は既往知見に基づいた解析により機能維持を満足する設計とする。

具体的な動的機能維持評価について、以下に示す。

a. クラス 2 ポンプ、クラス 3 ポンプ、その他のポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ（クラス 2，3，その他のポンプ）について

地震時及び地震後に動的機能維持を要求されるポンプについては、次のいずれかにより、必要な機能を有することを確認する。また、クラス 1 ポンプについては、地震時及び地震後において、動的機能を必要としないが、地震によって軸固着が生じないことを同様の方法で確認する。

(a) 計算による機能維持の評価

静的若しくは動的解析により地震荷重を求め、軸受に負荷する荷重が、軸受の許容荷重以内であることを確認する。また、その他の必要な機能についても計算により確認する。

(b) 実験による機能維持の評価

地震を模擬した加振試験又は地震時に作用する相当荷重を模擬した静的実験により、機能維持の確認をする。

b. クラス1弁、クラス2弁及び重大事故等クラス2弁(クラス1弁、クラス2弁)について

地震時及び地震後に動的機能維持を要求される弁については、次のいずれかにより、必要な機能を有することを確認する。

(a) 計算による機能維持の評価

次にいずれかにより、弁の設計荷重を決める。

イ. 配管系の解析により、弁の最大加速度を求める。

ロ. あらかじめ弁に対して許容設計加速度を定める。

これらのいずれかにより、与えられた設計荷重により、ヨーク、弁本体、ステム等のうち、もっとも機能に影響の強い部分(一般にはボンネット付根部)の応力等が降伏点、又は機能維持に必要な限界値を超えないことを確認する。

(b) 実験による機能維持の評価

地震を模擬した加振試験又は地震時に作用する相当荷重を模擬した静的実験により、機能維持の確認をする。

表 4-1 動的機能確認済加速度

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平方向	鉛直方向
立形ポンプ	ピットバレル形ポンプ	コラム 先端部	10.0	1.0
	立形斜流ポンプ			
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2 (軸直角方向)	1.0
	横形多段遠心式ポンプ		1.4 (軸方向)	
ポンプ駆動用 タービン	原子炉隔離時冷却ポンプ駆 動用蒸気タービン	重心位置	2.4	1.0
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	1.0
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			
ファン	遠心直結型ファン	軸受部及び メカニカル シールケー シング	2.3	1.0
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	
非常用ディー ゼル発電機	中速形ディーゼル機関	機関 重心位置	1.1	1.0
		ガバナ 取付位置	1.8	1.0
	高速形ディーゼル機関	機関 重心位置	1.1	1.0
		ガバナ 取付位置	1.8	1.0
往復動式ポン プ	横形3連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	1.0
弁（一般弁及 び特殊弁）	一般弁（グローブ弁，ゲー ト弁，バタフライ弁，逆止 弁）	駆動部	6.0	6.0
	ゴムダイヤフラム弁		2.7	6.0
	主蒸気隔離弁		10.0	6.2
	主蒸気逃がし安全弁		9.6	6.1
	制御棒駆動系スクラム弁		6.0	6.0

(参考文献)

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H10～H13）」

4.2 電氣的機能維持

電氣的機能が要求される機器については、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(2) 電氣的機能維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、その機器に要求される安全機能を維持するため、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動による応答加速度が各々の盤、器具等に対する加振試験等により機能維持を確認した加速度（以下「電氣的機能確認済加速度」という。）以下であること、あるいは解析による最大発生応力が許容応力以下であることにより、機能維持を満足する設計とする。

上記加振試験では、まず、掃引試験により固有振動数を確認する。その後、加振試験を実施し、当該機器が設置される床における加速度以上での動作確認を実施する。または、実機を模擬した機器を当該機器が設置される床における模擬地震波により加振して、動作確認を実施する。

4.3 気密性の維持

気密性の維持が要求される施設は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(3) 気密性の維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、放射線業務従事者の放射線障害防止、発電所周辺の空間線量率の低減、居住性の確保及び放射線障害から公衆を守るため、事故時に放射性気体の放出、流入を防ぐことを目的として、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動に対して、「3.1 構造強度上の制限」等による構造強度を確認すること、及び同じく地震動に対して機能を維持できる設計とする換気設備とあいまって、気密性維持の境界において気圧差を確保することで必要な気密性を維持する設計とする。

気密性の維持が要求される施設のうち、鉄筋コンクリート造の施設は、施設区分に応じた地震動に対して、地震時及び地震後において、耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本とする。その状態にとどまらない場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ることによって必要な気密性を維持する設計とする。

気密性の維持が要求される施設のうち、鋼製の構造物を含む原子炉格納容器バウンダリは、設計基準事故及び重大事故等時における内圧と地震力との組合せを考慮した荷重に対しても、「3.1 構造強度上の制限」による構造強度を確保する設計とする。この場合、格納容器貫通部においては相対変位量を考慮した処置を施す等、相対変位量を考慮した設計を行う。また、使用材料、製作及び保守に関しても管理を行うことで、地震時及び地震後において、気密性維持の境界において気圧差を確保し十分な気密性を維持する設計とする。

原子炉建屋原子炉棟の鉄筋コンクリート造の部分において、耐震壁については、「3. 構造強度」に定める建物・構築物の許容限界であるせん断ひずみを用いて空気漏えい量を算定し、事故時に原子炉格納容器から漏えいした空気を非常用ガス処理系で処理できることを確認することで、スラブについては、地震時に生じる応力に対して弾性域内にとどまる設計とすることで、気密性維持の境界において気圧差を確保し、気密

性を維持する設計とする。

緊急時対策所，中央制御室待避所及び中央制御室は，地震時及び地震後においてもその機能を維持できるように，耐震壁については，「3. 構造強度」に定める建物・構築物の許容限界であるせん断ひずみを用いて空気漏えい量を算定し，設置する換気設備の性能以下であることを確認する。また，スラブについては，地震時に生じる応力に対して弾性域内にとどまる設計とすることで，気密性維持の境界において気圧差を確保し，居住性を維持する設計とする。

4.4 止水性の維持

止水性の維持が要求される施設は，津波防護施設及び浸水防止設備であり，添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(4) 止水性の維持」の考え方に基づき，地震時及び地震後において，防護対象設備を設置する建物及び区画に，津波に伴う浸水による影響を与えないことを目的として，基準地震動 S_s による地震力に対し，「3.1 構造強度上の制限」に示す構造強度の確保に加え，主要な構造体の境界部に設置する材料については，有意な漏えいが生じない変形に留めることで，止水性を維持する設計とする。

具体的には，止水性の維持が要求される施設の母材部については，基準地震動 S_s による地震力に伴い生じる荷重又は応力に対して，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。加えて，止水性の維持が要求される施設の取付部及び閉止部等のうち，間隙が生じる可能性のある境界部に設置した材料については，境界部において基準地震動 S_s による地震力に伴い生じる相対変位量が，材料の試験により確認した止水性が維持できる変位量未満であることを計算により確認する。また，止水性の維持が要求される施設が取付けられた，建物・構築物及び土木構造物の壁など，止水性の維持が要求される部位についても，基準地震動 S_s による地震力に伴い生じる荷重又は応力に対して，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。

各施設の母材部並びに取付部及び閉止部等の境界部は，使用材料，製作及び保守に関しても十分な管理を行い，止水性が維持できるよう考慮する。

4.5 遮蔽性の維持

遮蔽性の維持が要求される施設は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(5) 遮蔽性の維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、放射線業務従事者の放射線障害防止、発電所周辺の空間線量率の低減、居住性の確保及び放射線障害から公衆を守るため、鉄筋コンクリート造として設計することを基本とし、遮蔽性の維持が要求される生体遮蔽装置については、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分に応じた地震動に対して、「3.1 構造強度上の制限」による構造強度を確保し、遮蔽体の形状及び厚さを確保することで、地震後における残留ひずみを小さくし、ひび割れがほぼ閉鎖し、貫通するひび割れが直線的に残留しないこととすることで、遮蔽性を維持する設計とする。

4.6 支持機能の維持

機器・配管系等の設備を支持する機能の維持が要求される施設は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(6) 支持機能の維持」の考え方にに基づき、地震時及び地震後において、被支持設備が設計基準対象施設の場合は耐震重要度分類、重大事故等対処施設の場合は施設区分に応じた地震動に対して、以下に示す通り、支持機能を維持する設計とする。

(1) 建物・構築物の支持機能の維持

建物・構築物の支持機能の維持については、地震動に対して、被支持設備の機能を維持できる構造強度を確保する設計とする。

具体的には、S クラス設備等の支持機能の維持が要求される建物・構築物が鉄筋コンクリート造の場合は、基準地震動 S_s に対して、耐震壁の最大せん断ひずみが「3.1 構造強度上の制限」による許容限界を超えない設計とすること、又は基礎等を構成する部材に生じる応力若しくはひずみが「3.1 構造強度上の制限」による許容限界を超えない設計とすることで、S クラス設備等の支持機能が維持できる設計とする。鉄骨造の場合は、基準地震動 S_s に対して、部材に発生する応力が「3.1 構造強度上の制限」による許容限界を超えない設計とすることでSクラス設備等の支持機能が維持できる設計とする。

耐震壁以外の建物・構築物の部位に関しても、耐震壁がせん断ひずみの許容限界を満足している場合は、耐震壁の変形に追従する建物・構築物の部位の健全性も確保されており、支持機能を確保していると考えられることができる。

また、各建物間に生じる地震時相対変位について、各建物が相互に干渉しないよう適切な間隔を設けると同時に、各建物に渡る設備からの反力に対しても十分な構造強度を確保する設計とする。

(2) 屋外重要土木建造物の支持機能の維持

Sクラスの機器・配管系の間接支持機能を求められる屋外重要土木建造物については、地震動に対して、構造部材の曲げについては限界層間変形角、限界ひずみ及び許容応力度、せん断についてはせん断耐力又は許容応力度を許容限界とする。なお、限界層間変形角、限界ひずみ及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕をもたせることとし、それぞれ安全余裕については各施設の機能要求等を踏まえた設定とする。

(3) 車両型の間接支持建造物における支持機能の維持

車両型の間接支持建造物については、地震動に対して、被支持設備の機能を維持できる構造強度を確保する設計とする。

また、地震時に車両等の転倒を防止するよう、加振試験等で車両全体が安定性を有し、転倒しないことを確認する設計、若しくは地震応答解析から得られた重心相対変位が転倒条件の相対変位以下となるよう設計することで、設置箇所における機能維持を満足する設計とする。

4.7 通水機能及び貯水機能の維持

通水機能及び貯水機能の維持が要求される施設は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「5.2(7) 通水機能及び貯水機能の維持」の考え方に基づき、非常時に冷却する海水を確保するための通水機能及び貯水機能の維持が要求される非常用取水設備は、地震時及び地震後において、通水機能及び貯水機能を維持するため、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造強度を確保することで、通水機能及び貯水機能が維持できる設計とする。

地震力が作用した場合において、構造部材の曲げについては限界層間変形角、限界ひずみ及び許容応力度、せん断についてはせん断耐力又は許容応力度を許容限界とする。なお、限界層間変形角、限界ひずみ及びせん断耐力に対しては妥当な安全余裕を持たせることとし、通水機能及び貯水機能が維持できる設計とする。

VI-2-1-10 ダクティリティに関する設計方針

目 次

1. 概要	1
2. 構造計画	2
2.1 建物・構築物	2
2.2 機器・配管系	2
3. 材料の選択	4
3.1 建物・構築物	4
3.2 機器・配管系	4
4. 耐力，強度等に対する制限	6
4.1 建物・構築物	6
4.2 機器・配管系	6
5. 品質管理上の配慮	7
5.1 建物・構築物	7
5.2 機器・配管系	7

1. 概要

発電所の各施設は、安全性及び信頼性の見地から、通常運転時荷重に対してのみならず地震時荷重等の短期間に作用する荷重に対しても耐えられるよう設計する必要がある。

これらの設計荷重は、強度設計の立場から、安全側の値として定められているが、重要施設の構造安全性を一層高めるためには、その構造体のダクティリティ*を高めるように設計することが重要である。

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち、「8. ダクティリティに関する考慮」に基づき、各施設のダクティリティを維持するために必要と考えられる構造計画、材料の選択、耐力・強度等に対する制限及び品質管理上の配慮を各項目別に説明するものである。なお、構造特性等の違いから、施設を建物・構築物と機器・配管系に分けて示す。

注記*：地震時を含めた荷重に対して、施設に生じる応力値等が、ある値を超えた際に直ちに損傷に至らないこと、又は直ちに損傷に至らない能力・特性。

2. 構造計画

2.1 建物・構築物

(1) 原子炉格納容器

原子炉格納容器は、原子炉建屋の中央部に位置する容器で、シヤラグを設けて原子炉圧力容器から原子炉格納容器に伝えられる水平力及び原子炉格納容器にかかる水平力の一部を周囲の生体遮蔽壁に伝える構造となっている。

(2) 原子炉本体の基礎

原子炉本体の基礎は、構造形態に合った解析法によって解析され、構造設計が行われる。原子炉本体の基礎の主体構造は、内外にある円筒鋼板であり、鋼板間にコンクリートを充填している。設計では鉛直荷重、温度荷重、地震時荷重等を適切に組み合わせる。原子炉本体の基礎には、機能上開口部が多いが、応力集中に対して十分考慮した設計を行う。

(3) 原子炉建屋等

原子炉建屋は、原子炉建屋原子炉棟と耐震上の観点からその周囲に配置された原子炉建屋付属棟より構成する。主体構造は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）で、鉄骨造陸屋根を持つ建屋である。

構造方式としては、壁構造とし、その床及び壁体は機器の配置を考慮しながらつとめて剛構造体となるよう配置し、鉛直荷重がスムーズに基礎に伝達されるように配慮し構造壁の有効性を高める。

内外壁は放射線遮蔽壁としての機能を要求されることが多く、そのために壁厚も厚く、地震時水平力はこの壁で分担する。

また、床スラブも壁同様、放射線遮蔽上の考慮と建屋の耐震一体構造化の配慮から厚くするため、このスラブの剛性は大きくなっている。

構造全体としての剛心と重心の偏心によるねじれモーメントができる限り小さくなるように壁の配置及び壁厚を定め、ダクティリティを確保するために最も重要なせん断に対する耐力を増加させるよう十分な配筋を行う。

基礎版はべた基礎で上部構造に生じる応力を支持地盤に伝達させるに十分な剛性を持ち、原則として岩盤に支持させる。

原子炉建屋以外の建屋についても、偏心の影響をできるだけ小さくして、各々の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の設備分類に応じた設計を行う。

2.2 機器・配管系

機器・配管系に対して十分なダクティリティを持たせるために構造及び配置上、次の点に注意する。

機器・配管系は、構造上、過度な応力集中が生じるような設計は避けるとともに、さらに、製作、施工面から溶接及び加工しやすい構造、配置とし、十分な施工管理を

行う。また、熱処理等によりできる限り残留応力を除去する製法を採用する。

また、疲労累積のレベルをできるだけ低く保つ設計とし、必要な場合には疲労評価を行い、疲労破壊に対して十分な余裕を持つことを確認する。

配管系に関しては、同一経路内で著しく剛性が異なることなく、応力集中が生じないような全体のバランスのとれた配管経路及び支持構造計画を立て、系全体の強度設計の余裕を向上させるものとする。

3. 材料の選択

建物・構築物及び機器・配管系の材料について、ダクティリティを維持するために必要と考えられる方針を示す。

3.1 建物・構築物

建物・構築物に使用される材料は「建築基準法・同施行令」等に準拠し、鉄筋コンクリート材料については「建築工事標準仕様書・同解説 J A S S 5 N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事（（社）日本建築学会，2013 改定）」（以下「J A S S 5 N」という。），「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」等，鉄骨材料は「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」等により選定する。

なお，鉄筋コンクリート材料についての例を以下に示す。

(1) セメント

セメントは「J A S S 5 N」の規定による。

(2) 骨材

使用する骨材の品質，粒形，大きさ，粒度等は「J A S S 5 N」の規定による。

(3) 水

コンクリートの練混ぜに使用する水は「J A S S 5 N」の規定による。

(4) 混和材，混和剤

コンクリートに用いる混和材及び混和剤としてはコンクリート用フライアッシュ及びコンクリート用化学混和剤等がある。これらの混和材及び混和剤は「J A S S 5 N」の規定による。

(5) 鉄筋

鉄筋は「J I S G 3 1 1 2（鉄筋コンクリート用棒鋼）」に適合するものを使用する。

3.2 機器・配管系

機器・配管系に使用される構造材料は，安全運転の見地から信頼性の高いものが必要である。したがって，「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示 5 0 1 号，最終改正平成 15 年 7 月 29 日経済産業省告示第 277 号）」，「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む）〈第 I 編 軽水炉規格〉 J S M E S N C 1 - 2005 / 2007（日本機械学会）」（以下「設計・建設規格」という。）等に示されるもの及び化学プラント，火力プラントや国内外の原子力プラントにおいて十分な使用実績があり，かつ，その材料特性が十分把握されているものを使用する。

機器・配管系に使用される材料の鋼種は，原則として規格・基準に示される炭素鋼及び低合金鋼（この 2 つを総称して「フェライト鋼」と呼ぶ。），オーステナイト系ス

ステンレス鋼，ニッケルクロム鉄合金及び非鉄金属を用いる。このうちフェライト鋼については，使用条件に対して脆性破壊防止の観点から延性を確保できるよう必要な確認を行う。

特に考慮すべき事項を以下に示す。

- (1) 均質な組成と機械的性質を持ち，強度上有意な影響を及ぼす可能性のある欠陥がない材料を使用する。
- (2) 使用温度及び供用期間中に対し，著しい材料強度特性，破壊靱性の低下が生じにくい材料を使用する。
- (3) 中性子照射による脆化を考慮して材料を選択する。また原子炉圧力容器内には監視試験片を配置し，材料の機械的性質の変化を監視する。
- (4) 素材として優れた特性を有するとともに，溶接施工，成形加工においても，その優れた特性を持つ材料を使用する。
- (5) 溶接材料は，溶接継手部が母材と同等の性能が得られるよう選定する。
- (6) 冷却材等に対する耐食性の良い材料を使用する。
- (7) 冷却材と接する材料には放射化生成物を生じる元素が少ない材料を使用する。

4. 耐力，強度等に対する制限

建物・構築物及び機器・配管系の強度設計に関しては，通常時の荷重に対してのみならず，地震時荷重等のように短期間に作用する荷重に対して十分な耐力・強度及びダクティリティを有するように考慮する。

以下にその内容を示す。

4.1 建物・構築物

建物・構築物の強度設計に関する基準，規格等としては「建築基準法・同施行令」，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」，「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法（（社）日本建築学会，2005 改定）」，「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」等があり，これらの規格・基準を適用するものとする。

4.2 機器・配管系

機器・配管系の構造強度及び設計においては，設計・建設規格を適用するとともに A S M E 「Boiler and Pressure Vessel Code」等を準用する。

以下，機器・配管系のダクティリティを維持するために必要な破壊防止の基本的考え方を示す。

- (1) 脆性破壊が生じないように，十分な靱性を有する材料を選定する。また，使用材料が設計・建設規格の破壊靱性試験に対する要求に適合していることを確認する。
- (2) 延性破壊又は疲労破壊が生じないように添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき応力制限を行うとともに，必要に応じて疲労解析を行う。
- (3) 座屈現象が生じないように，発生荷重を許容座屈荷重以下に制限する。
- (4) クリープに関しては，使用温度において供用期間中に支障が生じないように材料を選定する。
- (5) 応力腐食割れが生じないように，水質管理，材料選定及び残留応力の低減等の配慮を行う。

5. 品質管理上の配慮

建物・構築物及び機器・配管系のダクティリティを維持するためには前項で示したように構造計画上の配慮, 材料の選択及び耐力・強度等に対する制限に留意するとともに, 設計及び工事に係る品質管理の方法等に関する説明書に基づき品質管理を十分に行う。

以下に建物・構築物及び機器・配管系について, 計画, 設計した耐力・強度等が得られるように, 品質管理上特に留意すべき事項を示す。

5.1 建物・構築物

建物・構築物に対する品質管理は「J A S S 5 N」等に準拠するが, ダクティリティを保証する意味で特に留意する項目を次に示す。

(1) 材料管理

セメント, 水, 骨材, 鉄筋, 鉄骨等が規定の仕様を満たしていることを確認する。

(2) 配筋管理

配筋が設計図書, 仕様書どおりであることを確認する。

(3) 鉄骨等の溶接管理

規定どおりに溶接されていることを確認する。

(4) 調合管理

規定どおりに調合されていることを確認する。

(5) 打込み, 養生管理

規定, 仕様書どおり打込み, 養生が行われていることを確認する。

(6) 強度管理

設計した強度等が得られていることを確認するため, 規定等に従って試験し管理する。

5.2 機器・配管系

機器・配管系に対する品質管理は, 設計・建設規格, A S M E「Boiler and Pressure Vessel Code」等に準拠するが, ダクティリティを保証する意味で特に留意する項目を次に示す。

(1) 材料管理

素材, 溶接材料について設計仕様書等に示すものが使用されていることを確認する。

(2) 強度管理

素材, 溶接部の試験片による強度, RT_{NDT} 等の試験, 耐圧, 漏えい及び振動試験によって確認する。

(3) 製作・据付管理

設計仕様書, 設計図書等に示すとおり製作, 据付けが行われていることを確認

する。

(4) 保守・点検

据付け後も供用期間中検査等必要な管理を行う。

VI-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針

目 次

1. 概要	1
2. 機器の支持構造物	2
2.1 基本原則	2
2.2 支持構造物の設計	2
2.2.1 設計手順	2
2.2.2 支持構造物及び基礎の設計	6
2.2.3 機器の支持方法	10
3. 電気計測制御装置	14
3.1 基本原則	14
3.2 支持構造物の設計	14
3.2.1 設計手順	14
3.2.2 支持構造物及び埋込金物の設計	16
4. 配管の支持構造物	20
4.1 基本原則	20
4.2 支持構造物の設計	20
4.2.1 設計手順	20
4.2.2 支持装置，支持架構及び埋込金物の設計	22
5. その他特に考慮すべき事項	34

別紙 1 電気計測制御装置等の耐震設計方針

1. 概要

機器・配管の耐震設計を行う場合，基本設計条件（耐震重要度，設計温度・圧力，動的・静的機器等），プラントサイト固有の環境条件（地震，風，雪，気温等），形状，設置場所等を考慮して各々に適した支持条件（拘束方向，支持反力，相対変位等）を決め，支持構造物を選定する必要がある。また，現地施工性や機器等の運転操作・保守点検の際に支障とならないこと等についても配慮し設計する。

本資料は，添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「9. 機器・配管系の支持方針について」に基づき，各々の機器・配管の支持方法及び支持構造物の耐震設計方針を説明するものである。

2. 機器の支持構造物

2.1 基本原則

機器の耐震支持方針は下記によるものとする。

- (1) 重要な機器は岩盤上に設けた強固な基礎又は岩盤により支持され十分耐震性を有する構築物内の基礎上に設置する。
- (2) 支持構造物を含め十分剛構造とすることで建屋との共振を防止する。
- (3) 剛性を十分に確保できない場合は、機器系の振動特性に応じた地震応答解析により、応力評価に必要な荷重等を算定し、その荷重等に耐える設計とする。
- (4) 重心位置を低くおさえる。
- (5) 配管反力をできる限り機器に持たせない構造とする。
- (6) 偏心荷重を避ける。
- (7) 高温機器は熱膨張を拘束しない構造とする。
- (8) 動的機能が要求されるものについては地震時に機能を喪失しない構造とする。
- (9) 内部構造物については容器との相互作用を考慮した構造とする。
- (10) 支持架構上に設置される機器については架構を十分剛に設計すると同時に、必要に応じ架構の剛性を考慮した耐震設計を行う。

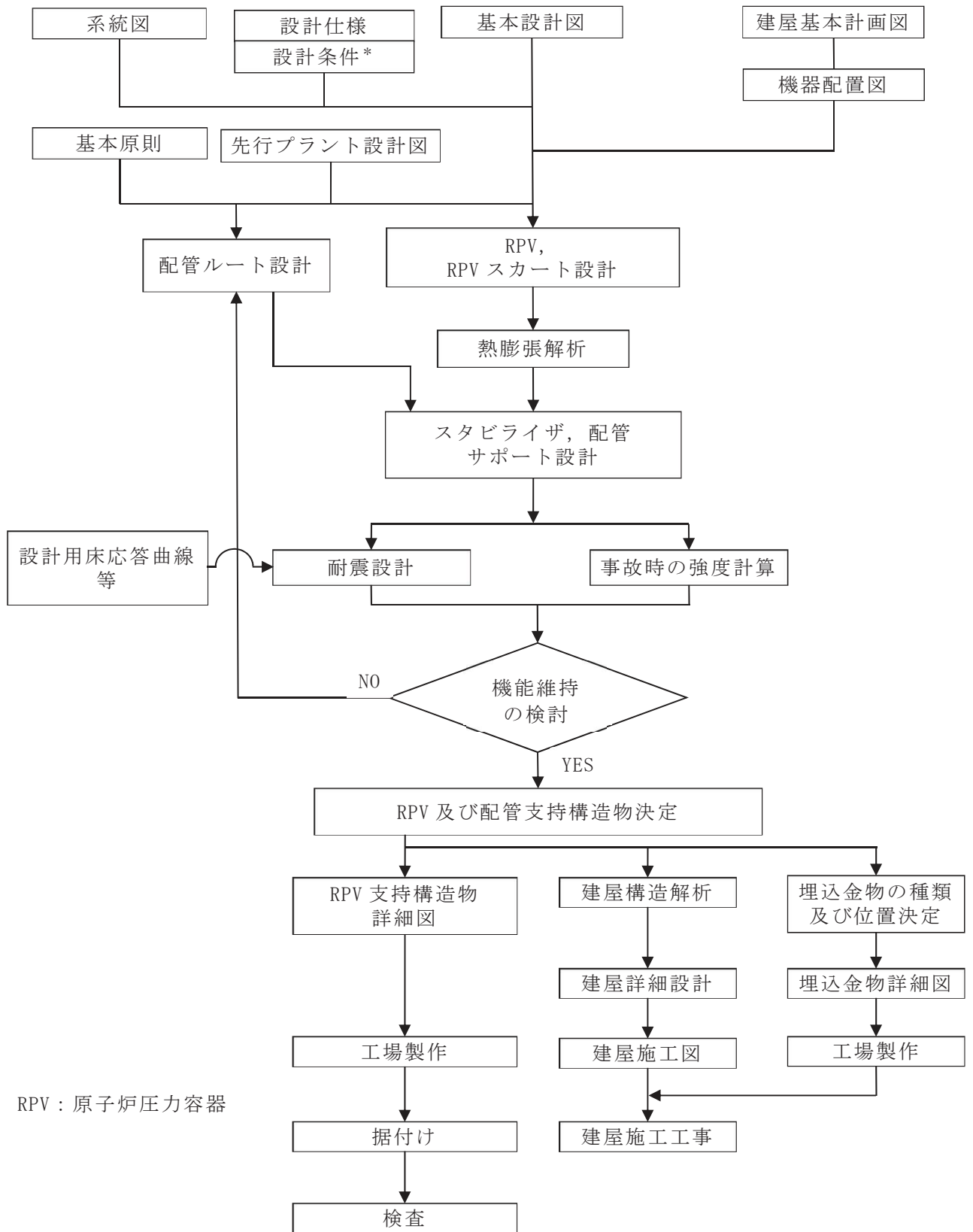
2.2 支持構造物の設計

2.2.1 設計手順

機器類の配置及び構造計画に際しては、建物・構築物、配管、ダクト等機器類以外の設備との関連、設置場所の環境条件、現地施工性等の関連を十分考慮して総合的な調整を行い、機器類の特性、運転操作及び保守点検の際に支障とならないこと等についての配慮を十分加味した耐震設計を行うよう考慮する。

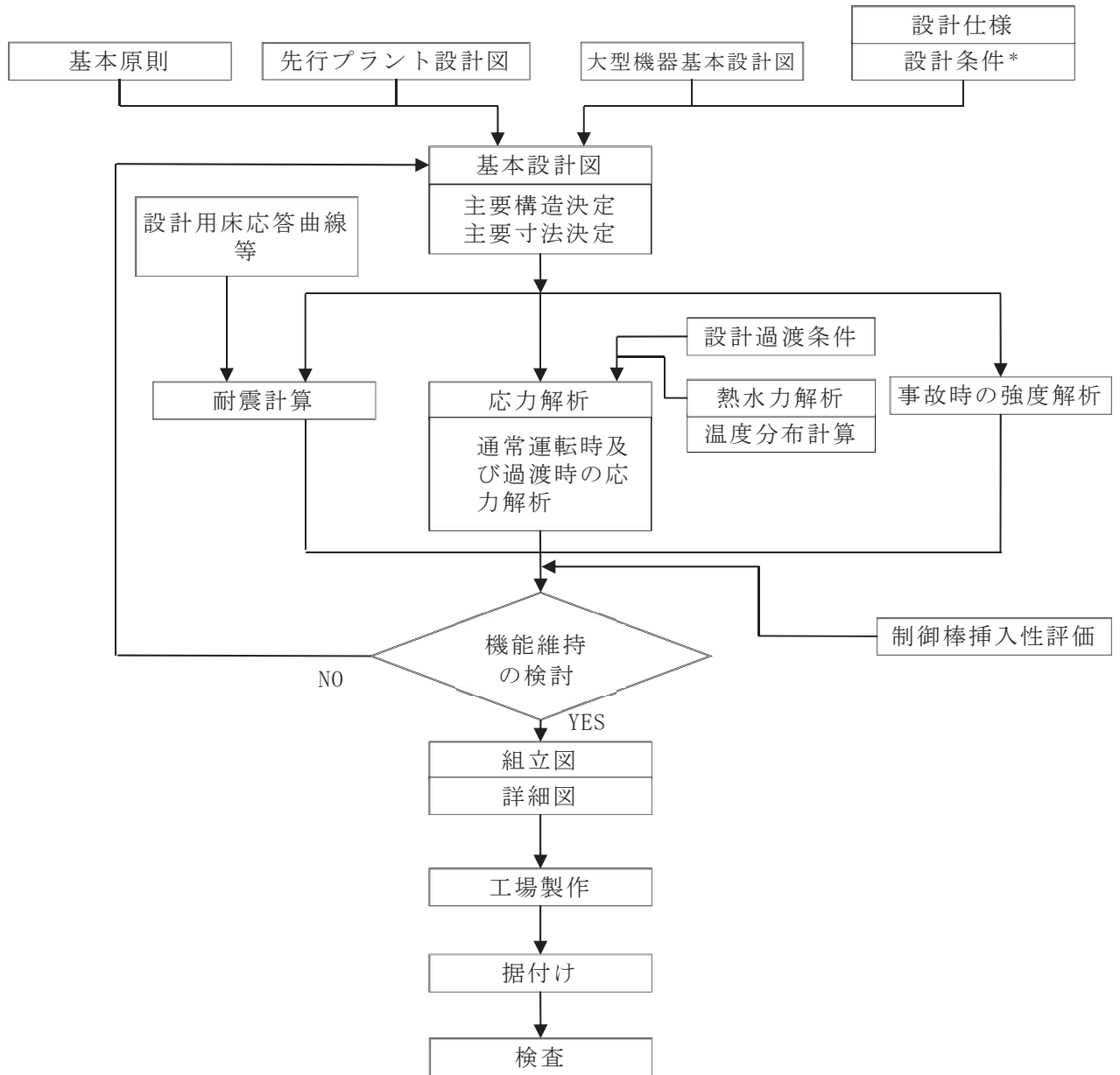
設計手順を図 2-1、図 2-2 及び図 2-3 に示す。

支持構造物の設計は、建屋基本計画及び機器の基本設計条件等から配置設計を行い、支持する機器、配管の熱膨張解析、耐震解析及び機能維持の検討により強度及び支持機能を確認し、詳細設計を行う。このとき、高温機器については、熱膨張解析による熱膨張変位を拘束しない設計とするよう配慮する。



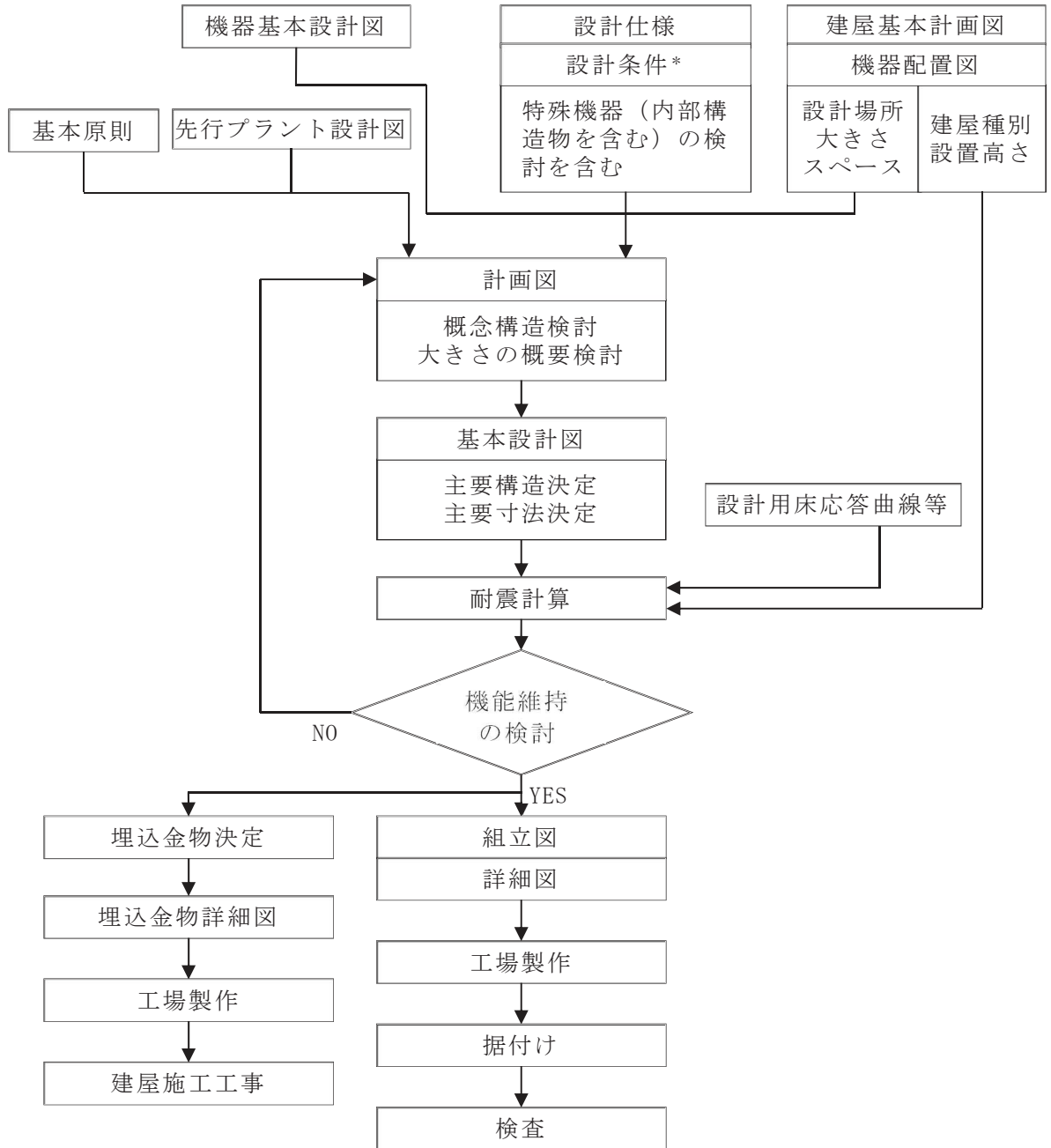
* : 環境条件, 現地施工性及び運転操作・保守点検時の配慮含む。

図 2-1 主要機器支持構造物設計フロー



* : 環境条件, 現地施工性及び運転操作・保守点検時の配慮含む。

図 2-2 炉心支持構造物設計フロー



* : 環境条件, 現地施工性及び運転操作・保守点検時の配慮含む。

図 2-3 一般機器支持構造物設計フロー

2.2.2 支持構造物及び基礎の設計

(1) 支持構造物の設計（埋込金物を除く）

a. 設計方針

支持構造物の設計は、機器を剛に支持することを原則とし、機器の重心位置をできる限り低くするとともに、偏心荷重をおさえるよう設計する。

また、熱膨張変位の大きいものについては、その変位を拘束することなく、自重、地震荷重等に対し、有効な支持機能を有するよう設計する。

b. 荷重条件

支持構造物設計に当たっては機器の自重、積載荷重、運転荷重等通常時荷重の他に、地震時荷重及び事故時荷重を考慮する。

また、屋外機器については積雪荷重及び風荷重の屋外特有の荷重を考慮する。荷重の種類及び組合せについては添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

c. 種類及び選定

支持構造物は大別して、機能材と構造材とに分け設計を行い、下記に従い選定する。

(a) 機能材

耐圧母材の機能維持に必須のもので、母材に直接接合されており構造物境界が明瞭でなく、当該支持構造物材の部分的損傷が直接母材の機能低下をもたらすおそれのある重要なものに使用する。

また、部材については、容器と同等の応力算定を行い、十分な強度を有するよう設計する。

（代表例）容器の支持構造物取付用ラグ，ブラケット等

(b) 構造材

当該支持構造物が単に耐圧母材を支持することのみを目的とするものであり、当該材と母材との構造物境界が明瞭で、当該材の部分的損傷は直接母材の機能低下をもたらさないようなものに使用する。

また、部材については、鋼構造設計規準等に準拠して設計する。

（代表例）支持脚，支持柱，支持架構，ボルト，スナッパ

(2) 埋込金物の設計

a. 設計方針

機器の埋込金物は、支持構造物から加わる荷重を基礎に伝え、支持構造物と一体となって支持機能を満たすように設計する。埋込金物の選定は、機器の支持方法、支持荷重及び配置を考慮して行う。このとき、機器の埋込金物及び定着部は、原則としてボルトの限界引き抜き力に対して、コンクリート

設計基準強度及びせん断力算定断面積による引き抜き耐力が上回るよう埋込深さを算定することで、基礎ボルトに対して十分な余裕を持つように設計する。

b. 荷重条件

埋込金物の設計は、機器から伝わる荷重に対し、その荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

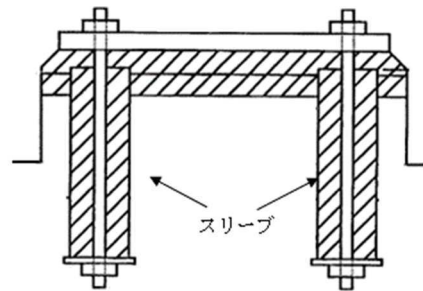
c. 種類及び選定

埋込金物には下記の種類があり、それぞれ使用用途に合わせて選定する。

(a) 基礎ボルト形式（スリーブ付）

タンク、ポンプ等、基礎ボルト本数が多く、高い据付け精度が必要な機器に使用する。

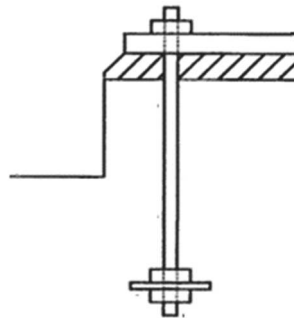
（代表例）原子炉隔離時冷却系ポンプ



(b) 基礎ボルト形式（スリーブ無し）

基礎ボルト本数が少ない機器の支持構造物、あるいは高い据付け精度が必要でない一般機器、タンク等に多く使用する。

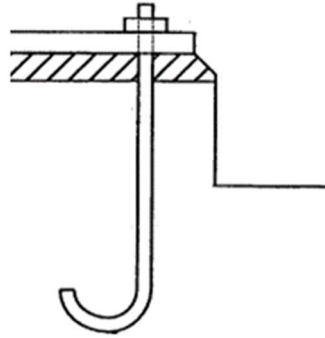
（代表例）残留熱除去系ポンプ



(c) 基礎ボルト形式（曲り棒使用）

荷重条件として引張荷重や曲げモーメントが小さい機器に使用する。

（代表例）ほう酸水注入系ポンプ



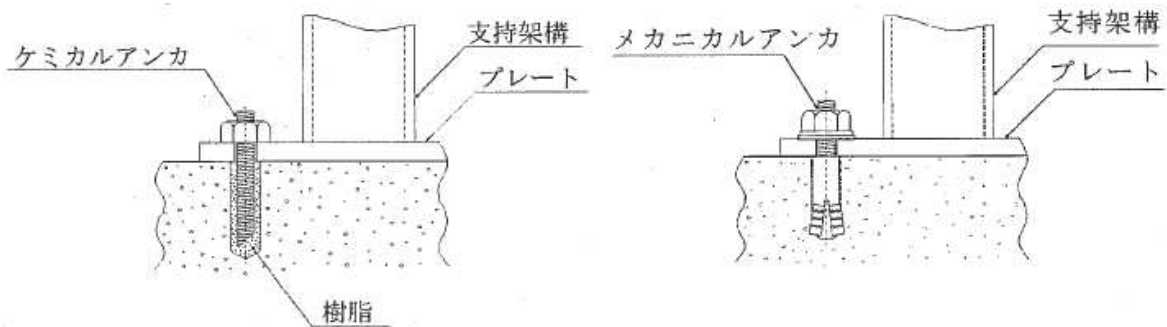
(d) 後打ちアンカ

打設後のコンクリートに穿孔機で孔をあけて設置するもので、ケミカルアンカ又はメカニカルアンカを使用する。ただし、ケミカルアンカは、要求される支持機能が維持できる温度条件で使用する。メカニカルアンカは振動が大きい箇所に使用しない。

後打ちアンカの設計は、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 又は「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会，2010 年改定）に基づき設計する。

また、アンカメーカーが定める施工要領に従い設置する。

（代表例）電気盤



(3) 基礎の設計

a. 設計方針

機器の基礎は、支持構造物から加わる自重及び地震荷重に対し、有効な支持機能を有するよう設計する。基礎の選定は、機器の支持方法、支持荷重及び配置を考慮して行う。

b. 荷重条件

基礎の設計は、機器から伝わる荷重に対し、荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

c. 種類及び選定

基礎は機器の種類、設置場所により、下記に従い選定する。

(a) 主要機器の基礎

イ. 原子炉本体基礎

原子炉本体基礎は、原子炉圧力容器の支持構造物から加わる自重、熱膨張荷重、地震荷重、事故時荷重等の鉛直・水平荷重に対して、鋼板のみで十分耐える構造とする。

(b) 一般機器の基礎

イ. 屋内の基礎

屋内に設置される一般機器の支持構造物は、建屋の床壁あるいは天井を基礎として設置される。したがって建屋設計に際しては、これら機器からの荷重を十分考慮した堅固な鉄筋コンクリート造とする。

機器を床に設置する場合、一般に基礎は水はけをよくするためかさ上げする。支持構造物は、鉄筋コンクリート造に十分深く埋め込んだ基礎ボルトにより基礎に固定する。

機器を壁あるいは天井から支持する場合は、一般にあらかじめ壁あるいは天井の鉄筋コンクリート造に埋込金物を埋め込み、支持構造物を溶接あるいはボルトにより固定する。

ロ. 屋外の基礎

屋外に設置される重要な機器は岩盤上の鉄筋コンクリート造上に設置される。

基礎は基礎自身の自重、地震荷重の他に基礎上に設置される機器からの通常時荷重、地震時荷重等を考慮して十分強固であるよう設計する。

機器支持構造物は一般に基礎中に埋め込んだ基礎ボルトにより固定する。

2.2.3 機器の支持方法

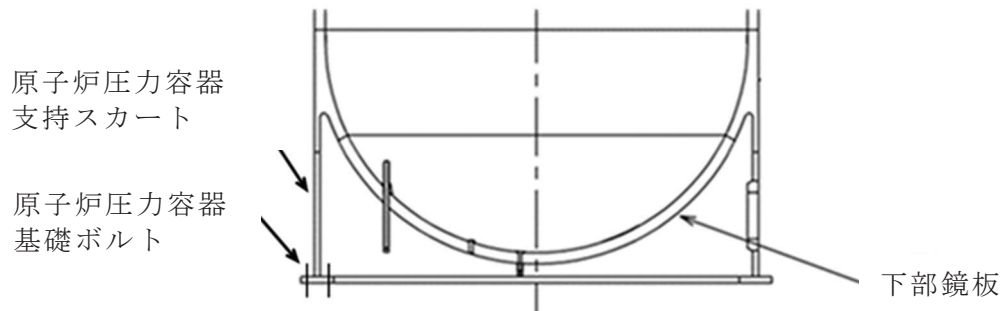
(1) たて置の機器

a. スカートによる支持

スカートはベースプレートを通じて基礎ボルトにより基礎に固定する。スカート剛性、基礎ボルトサイズは、容器重量及び地震力による転倒モーメント等に対し十分な強度を有する設計とする。

この形式の支持構造は原子炉圧力容器及びたて型のタンク類で比較的容量が大きいものに採用する。

(代表例) 原子炉圧力容器

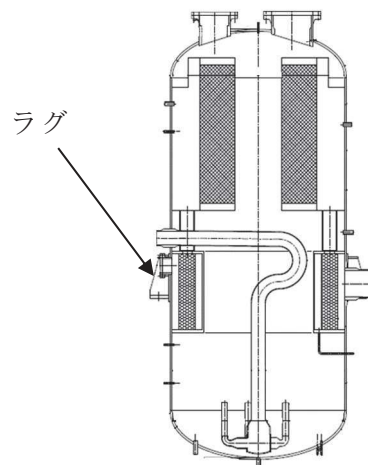


b. ラグによる支持

下図の様に機器本体に取り付けられたラグにより支持する形式のものである。この形式は機器本体の半径方向の熱膨張を自由にし、円周方向及び鉛直方向のラグ剛性で支持するものとする。

この型式の支持構造物は熱膨張を拘束しない機器に採用する。

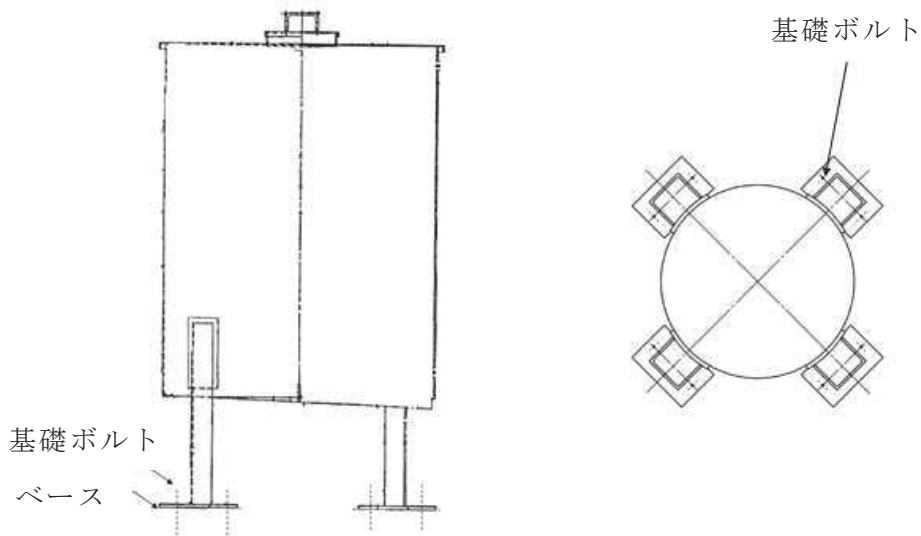
(代表例) 原子炉格納容器フィルタベント系フィルタ装置



c. 支持脚による支持

下図のとおり，形鋼を胴周囲対角線上の4箇所に取り付けベースプレート
を基礎ボルト又は溶接により基礎に固定する。脚剛性，基礎ボルトサイズは，
容器重量及び地震力による転倒モーメント等に対し十分な強度を有する設
計とする。

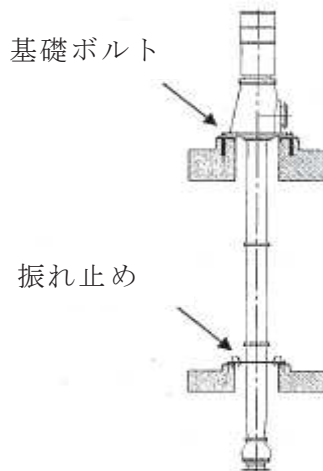
この型式の支持構造は比較的軽中量のタンク等に採用する。
(代表例) ほう酸水注入系テストタンク



d. 振れ止めによる支持

下図の様にケーシングの長いたて形ポンプは，上部基礎だけでなく，中間
部等にも振れ止めを設ける設計とする。振れ止めは，振れ止め部の地震荷重
に対し，十分な強度を有する設計とする。

この形式の支持構造はたて形ポンプに採用する。
(代表例) 原子炉補機冷却海水ポンプ

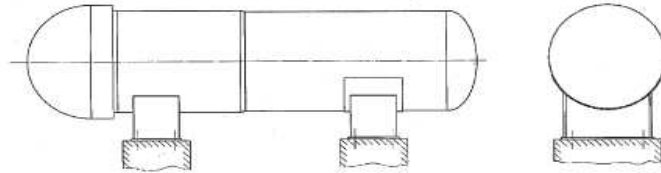


(2) 横置の機器

a. 支持脚による支持

支持脚は鋼板製の溶接構造とし、多数の基礎ボルトで基礎に固定する。支持脚は十分な剛性及び強度を持たせ、基礎ボルトは、地震力による転倒モーメント等に対し十分な強度を有する設計とする。

この形式の支持構造は容量の大きい横置の熱交換器、タンク類に採用する。
(代表例) 残留熱除去系熱交換器



(3) 内部構造物

a. 原子炉本体

原子炉圧力容器内にある構造物は、燃料集合体を直接支持又は拘束する炉心支持構造物と、それ以外の炉内構造物に大別できる。

炉心支持構造物は炉心シュラウド、炉心シュラウド支持ロッド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具及び制御棒案内管から構成され、炉内構造物は蒸気乾燥器、気水分離器及びスタンドパイプ、シュラウドヘッド、スパージャ、ジェットポンプ及び内部配管等から構成される。

燃料集合体上部の水平方向は上部格子板で支持し、下部の水平方向は燃料支持金具及び制御棒案内管を介して炉心支持板で支持される。燃料集合体の鉛直方向の荷重は燃料支持金具を介して制御棒案内管で支持し、制御棒案内管は原子炉圧力容器下部鏡板に取付けられた制御棒駆動機構ハウジングで支持される。

上部格子板は炉心シュラウドの中間部リング上に設置し、炉心支持板は炉心シュラウドの下部リング上にボルトにより固定される。炉心シュラウドは下端をシュラウドサポートに溶接され、シュラウドサポートは原子炉圧力容器下部鏡板に溶接される。

気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに溶接され、シュラウドヘッドは炉心シュラウド上にボルトによりフランジ接続される。

蒸気乾燥器、スパージャ及び内部配管は、原子炉圧力容器内部に取り付けられたブラケット等により支持される。

b. 熱交換器

熱交換器には、伝熱管がU字管式のものと直管式のものとがあり、いずれもじゃま板によって伝熱管を剛に支持し、地震及び流体による振動を防止する。

c. タンク類

タンク類でその内部にスプレイノズル，スパージャ，ヒータ等が設けられるものについては，それらを機器本体からのサポートにより取り付ける。

3. 電気計測制御装置

3.1 基本原則

電気計測制御装置の耐震支持方針は下記によるものとする。

- (1) 電気計測制御装置は取付ボルト等により支持構造物に固定される。支持構造物は、剛な床、壁面等から支持することとする。
- (2) 支持構造物を含め十分剛構造とすることで建屋との共振を防止する。
- (3) 剛性を十分に確保できない場合は、振動特性に応じた地震応答解析により、応力評価に必要な荷重等を算定し、その荷重等に耐える設計とする。
- (4) 地震時に要求される電氣的機能を喪失しない構造とする。電気計測制御装置の電氣的機能維持の設計方針を別紙に示す。

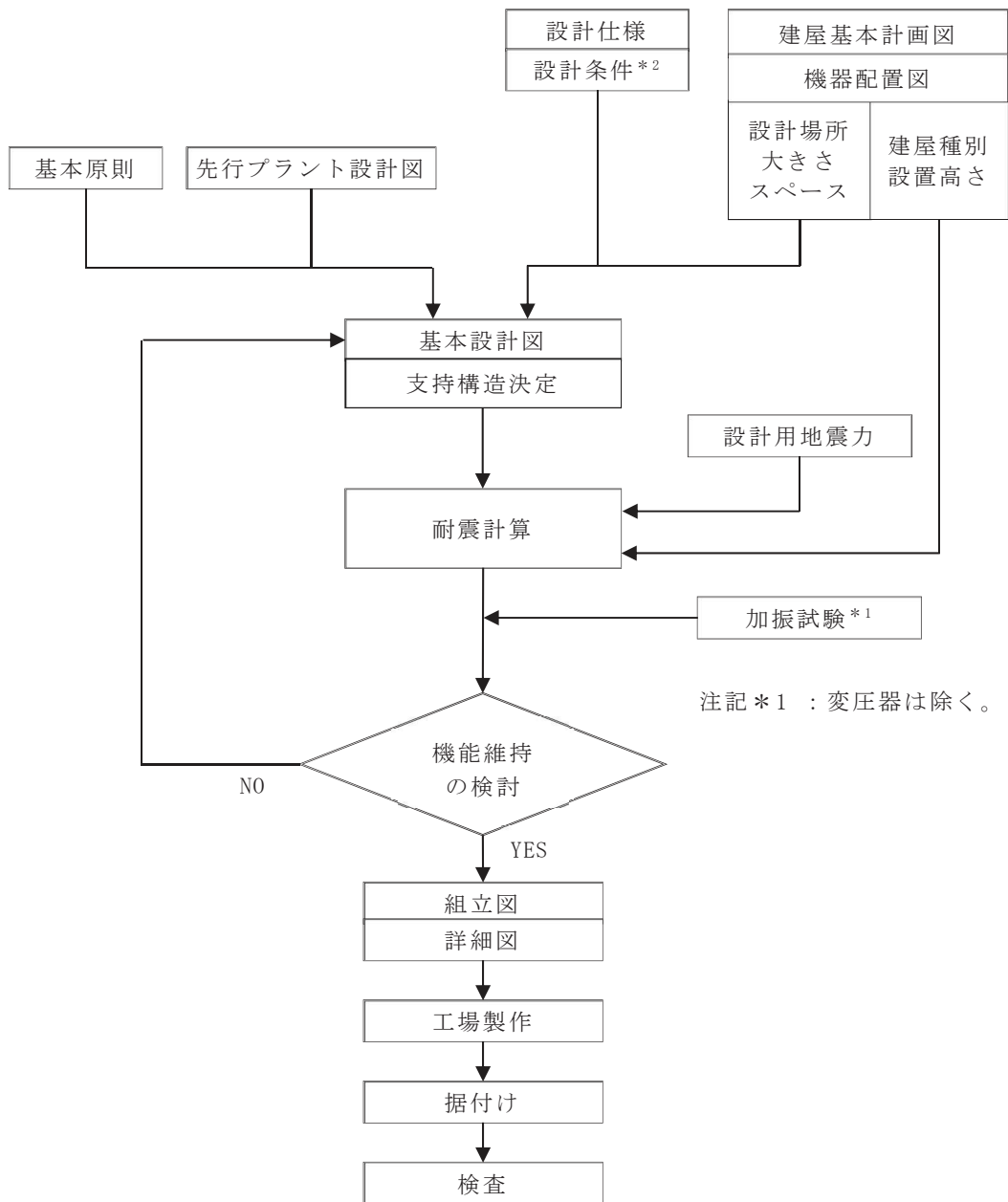
3.2 支持構造物の設計

3.2.1 設計手順

電気計測制御装置の配置，構造計画に際しては，設置場所の環境条件，現地施工性等の関連を十分考慮して総合的な調整を行い，電気計測制御装置類の特性，運転操作及び保守点検の際に支障とならないこと等についての配慮を十分加味した耐震設計を行うよう考慮する。

設計手順を図 3-1 に示す。

支持構造物の設計は，建屋基本計画及び電気計測制御装置の基本設計条件等から配置設計を行い，耐震解析，機能維持の検討により強度及び支持機能を確認し，詳細設計を行う。



注記*2 : 環境条件, 現地施工性及び運転操作・保守点検時の配慮含む。

図 3-1 電気計測制御装置の支持構造物設計フロー

3.2.2 支持構造物及び埋込金物の設計

(1) 盤の設計

a 設計方針

盤に実装される器具は器具取付ボルトにより盤に固定する。

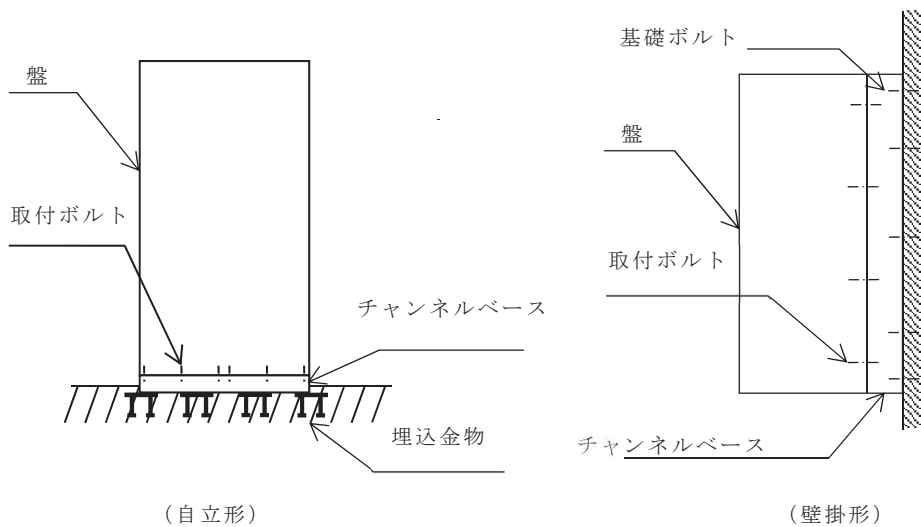
盤には自立形と壁掛形があり，鋼材及び鋼板を組み合わせたフレーム及び筐体で構成される箱型構造とする。

自立形の盤は，基礎に埋め込まれた埋込金物または基礎ボルトで固定されたチャンネルベースに取付ボルトで固定することにより自重及び地震荷重に対し，有効な支持機能を有するよう設計する。

壁掛形の盤は，基礎に埋め込まれた埋込金物または基礎ボルトで固定されたチャンネルベースに取付ボルトで固定することにより自重及び地震荷重に対し，有効な支持機能を有するよう設計する。

b. 荷重条件

荷重の種類及び組合せについては，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。



(2) 架台の設計

a. 設計方針

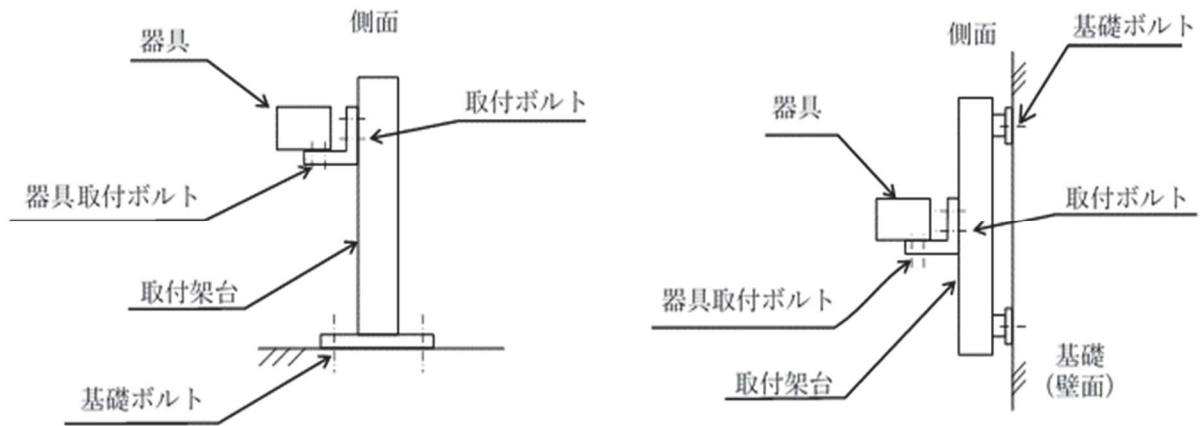
架台に実装される器具は取付ボルトにより架台に固定する。

架台は鋼材を組合せた溶接構造又はボルト締結構造とし、自重及び地震荷重に対し、機能低下を起こすような変形をおこさないよう設計する。

架台は基礎ボルトにより、あるいは埋込金物に固定することにより自重及び地震荷重に対し、有効な支持機能を有するよう設計する。

b. 荷重条件

荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。



(3) 埋込金物の設計

a. 設計方針

埋込金物は、支持構造物から加わる荷重を基礎に伝え、支持構造物と一体となって支持機能を満たすように設計する。埋込金物の選定は、支持荷重及び配置を考慮して行う。

b. 荷重条件

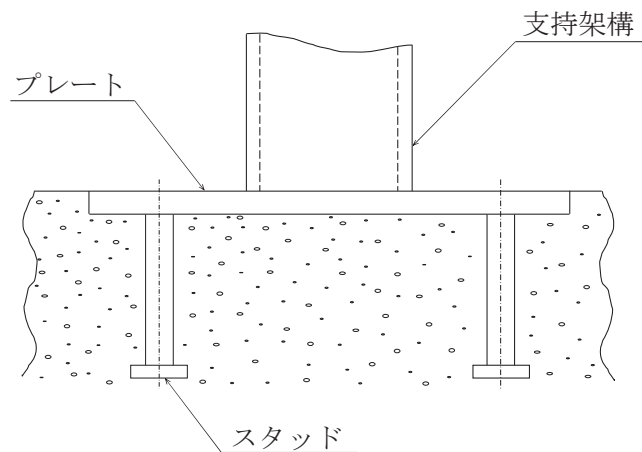
荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

c. 種類及び選定

埋込金物には下記の種類があり、それぞれの使用用途にあわせて選定する。

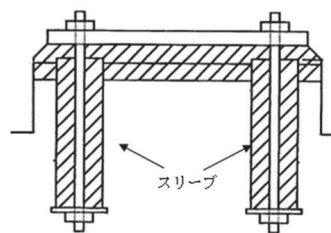
(a) 埋込金物形式

機器の配置計画時に基礎との取合い形状が確定できない場合に使用する。



(b) 基礎ボルト形式

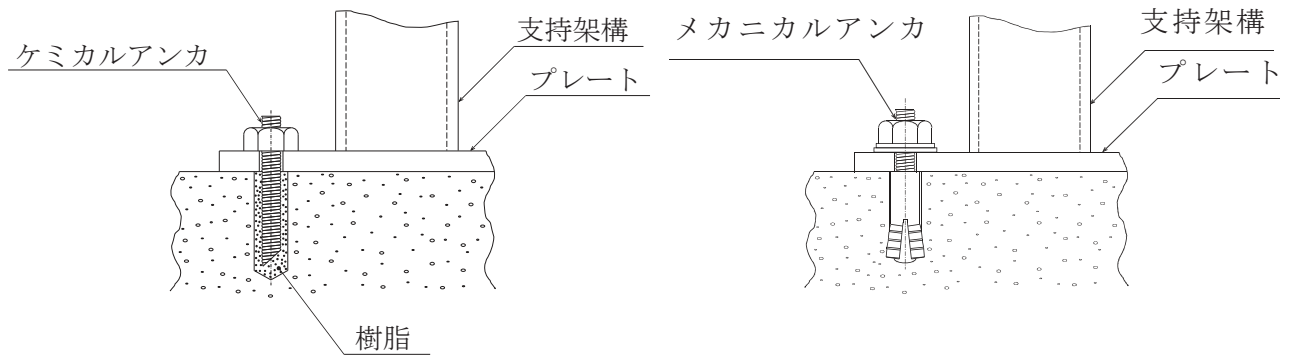
機器の配置計画時に基礎との取合い形状が確定できる場合に使用する。



(c) 後打ちアンカ

打設後のコンクリートに穿孔機で孔をあけて設置するもので、ケミカルアンカ又はメカニカルアンカを使用する。ただし、ケミカルアンカは、要求される支持機能が維持できる温度条件で使用する。また、メカニカルアンカは振動が大きい箇所に使用しない。

後打ちアンカの設計は、J E A G 4 6 0 1・補-1984又は「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会，2010年改定）に基づき設計する。また、アンカメーカーが定める施工要領に従い設置する。



(4) 基礎の設計

a. 設計方針

電気計測制御装置の基礎は、支持構造物から加わる自重、地震荷重に対し、有効な支持機能を有するよう設計する。基礎の選定は、電気計測制御装置の支持方法、支持荷重及び配置を考慮して行う。

b. 荷重条件

基礎の設計は、電気計測制御装置から伝わる荷重に対し、荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

4. 配管の支持構造物

支持装置，支持架構及び埋込金物から構成される支持構造物の基本原則，設計方針及び機能による種別の選定方法を示す。また，配管系及びその支持構造物について耐震設計上十分安全であるように考慮すべき事項は，添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」に定める。

4.1 基本原則

配管及び弁の耐震支持方針は下記によるものとする。

- (1) 支持構造物は，剛な床，壁面等から支持することとする。
- (2) 支持構造物を含め十分剛構造とすることで建屋との共振を防止する。
- (3) 支持構造物は，拘束方向の支持点荷重に対して十分な強度があり，かつ剛性を有するものを選定する。
- (4) 機器管台に接続される配管については，機器管台の許容荷重を超えないように支持構造物の設計を行う。
- (5) 高温となる配管については，熱膨張変位を過度に拘束しない設計とする。
- (6) 熱膨張変位を過度に拘束しないために，配管系の剛性を十分に確保できない場合は，配管系の振動特性に応じた地震応答解析により，応力評価に必要な荷重等を算定し，その荷重等に耐える設計とする。
- (7) 地震時の建屋間相対変位を考慮する場所については，その変位に対して十分耐える設計とする。
- (8) 水撃現象が生じる可能性のある場所については，その荷重に十分耐える設計とする。

4.2 支持構造物の設計

4.2.1 設計手順

配管の配置，構造計画に際しては，建築・構築物，取合い機器類との関連，設置場所の環境条件，現地施工性等の関連を十分考慮して総合的な調整を行い，運転操作及び保守点検の際に支障とならないこと等について配慮を十分加味した耐震設計を行うよう考慮する。

設計手順を図 4-1 に示す。

支持構造物の設計は，建屋基本計画及び配管の基本設計条件等から配置設計を行い，熱応力計算（自重，機械的荷重，事故時荷重による強度計算を含む），耐震解析，機能維持の検討により強度及び支持機能を確認し，詳細設計を行う。このとき，高温となる配管については，熱膨張変位を過度に拘束しない設計とするよう配慮する。支持装置は，標準化された製品の中から，配管から受ける荷重に対し十分な強度があるものを選定する。

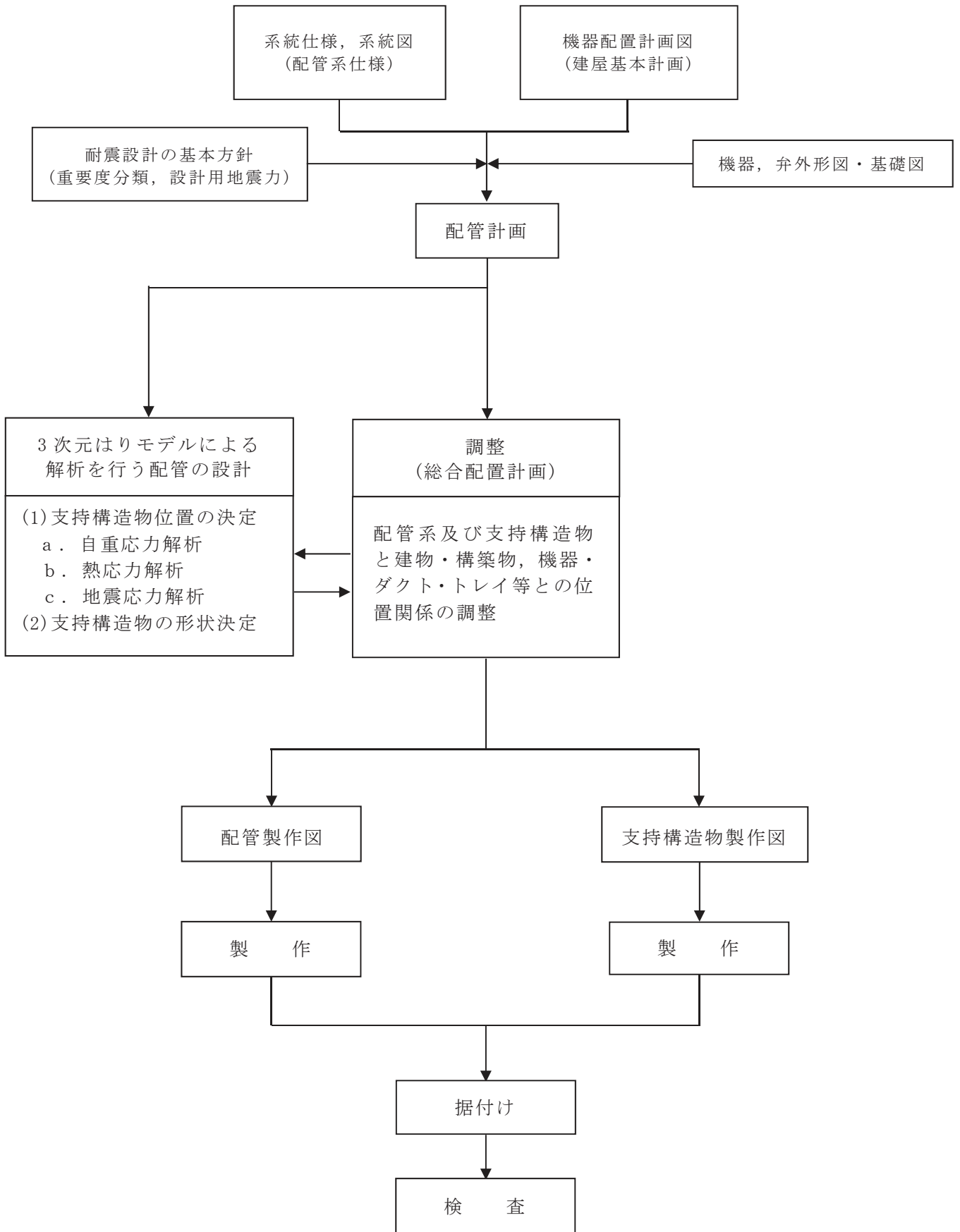


図 4-1 配管支持構造物設計フロー

4.2.2 支持装置，支持架構及び埋込金物の設計

(1) 支持装置の設計

a. 設計方針

支持装置にはアンカ，レストレイント，スナッパ，ハンガがあり，物量が多いことから標準化が図られている。標準化された製品の中から使用条件に適合するものを選定する。これらの支持装置は，定格荷重又は最大使用荷重に対して十分な強度があり，かつ多くの使用実績を有している。支持装置の機能と用途について，表 4-1「支持装置の機能と用途（例）」に示す。

b. 荷重条件

支持装置の設計は，配管から伝わる荷重に対し，その荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

表 4-1 支持装置の機能と用途 (例) (1/2)

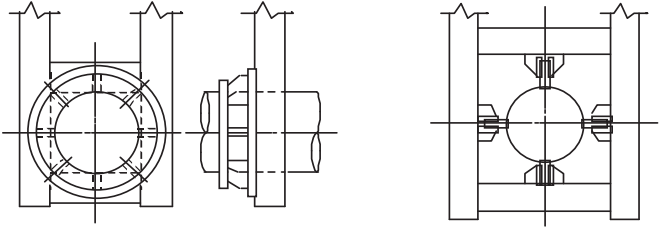
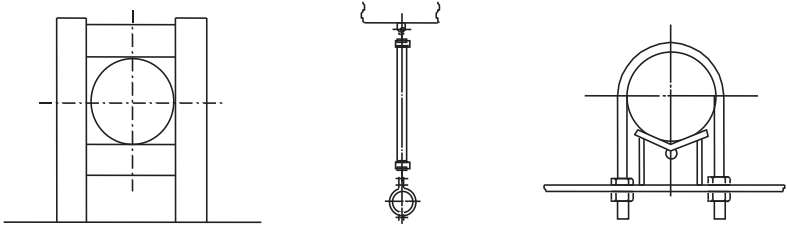


支持構造物名称	概 略 図	機 能	用 途
アンカ (アンカサポート) (ガイドサポート)	 <p style="text-align: center;">アンカサポート ガイドサポート</p>	地震及び熱による変位、軸まわりの回転を完全に拘束する。 ガイドサポートは、一定方向の移動を許すが軸まわりの回転を拘束する。	固定用サポートとして使用する。また、配管応力解析上の解析モデルの境界として使用する。
レストレイント (架構式レストレイント) (ロッドレストレイント) (Uボルト)	 <p style="text-align: center;">架構式レストレイント ロッドレストレイント Uボルト</p>	地震及び熱による一定方向の変位を拘束する。	配管の回転を許すが変位を防ぐ場合に使用する。
スナッパ (オイルスナッパ) (メカニカルスナッパ)	 <p style="text-align: center;">オイルスナッパ メカニカルスナッパ</p>	配管の熱膨張のような緩やかな移動に対しては拘束せず、地震時のような急激な荷重発生時に拘束する。	地震等の急激な荷重により生じる応力の低減を目的として使用する。

表 4-1 支持装置の機能と用途 (例) (2/2)

支持構造物名称	概 略 図	機 能	用 途
ハンガ (スプリングハンガ) (コンスタントハンガ)	 <p style="text-align: center;"> スプリングハンガ コンスタントハンガ </p>	配管の自重を支持する 目的で使用する。なお、地 震荷重に対する拘束効果 は無く、耐震支持機能は有 していない。	耐震支持機能を有して いないことから、地震応力 解析上は考慮されない。

c. 種類及び選定

支持装置の機能別選定要領を，図 4-2「支持構造物の選定フロー」に示す。

(a) アンカ

アンカサポートは，配管に直接溶接されるラグ又は配管固定用クランプと架構部分から構成され，周囲の構造物との関係や支持点荷重を基に選定する。

なお，アンカサポートと同様な構造及び機能であるが，一定の方向だけ熱変位を許容する場合は，ガイドサポートを選定する。

(b) レストレイント

レストレイントは，配管軸直角方向又は配管にラグを設置して配管軸方向の拘束に使用する。架構式レストレイント又はUボルトにおいて，支持点荷重がUボルトの最大使用荷重を超える場合は架構式レストレイントを，支持点荷重がUボルトの最大使用荷重以下の場合はUボルトを選定する。ロッドレストレイントの場合は，定格荷重が支持点荷重を下回らない範囲で，支持点荷重に近い定格荷重のロッドレストレイントを選定する。

なお，周囲の構造物との関係にもよるが，支持点と床，壁等が接近している場合は架構式レストレイント又はUボルトを使用し，支持点から床，壁等までの距離が離れている場合はロッドレストレイントを使用する。

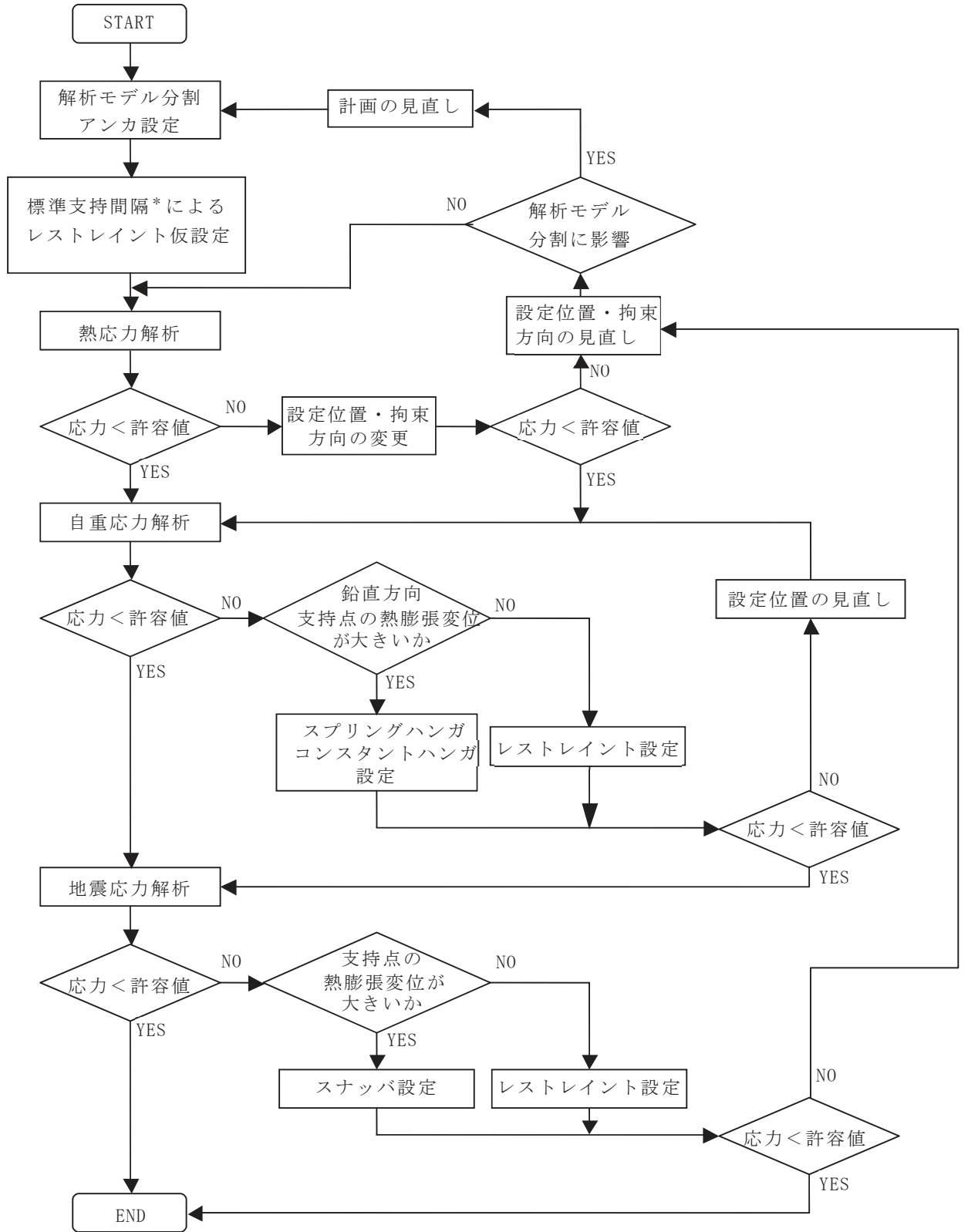
(c) スナップ

定格荷重が支持点荷重を下回らない範囲で，支持点荷重に近い定格荷重のスナップを選定する。

(d) ハンガ

支持点荷重及び熱膨張による変位から，必要なストロークを有し，かつ定格荷重が支持点荷重を下回らない範囲で，支持点荷重に近い定格荷重のハンガを選定する。

通常はスプリングハンガを使用するが，配管の熱膨張によって生じる支持点の変位が大きい場合はコンスタントハンガを使用する。



* : 配管の自重応力が 39.2MPa となる支持間隔を目安に軸直角 2 方向レストレイントを仮設定

図 4-2 支持構造物の選定フロー

(2) 支持架構の設計

a. 設計方針

配管及び弁の支持架構は、非常に物量が多いことから、図 4-3「支持架構の基本形状例」に示す基本形状ごとに、以下の要領で鋼材選定の標準化を図って設計に適用する。

- (a) 配管系の支持点荷重から求まる支持構造物に生じる応力と使用材料により定まる許容応力の比較による応力評価，又は，最大使用荷重と支持点荷重の比較による荷重評価により設計する。
- (b) 支持点荷重を条件とした強度及び耐震評価を行い，発生応力が許容応力を超えないように使用する鋼材（山形鋼，溝形鋼，H形鋼，角形鋼，鋼管等）を決定する。

b. 荷重条件

支持架構の設計は，配管から伝わる荷重に対し，その荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

c. 種類及び選定

支持架構の選定要領を，図 4-4「支持架構の設計フロー」に示す。

(a) 支持条件の設定

配管の支持点と床，壁面等からの距離並びに周囲の設備配置状況から，図 4-3「支持架構の基本形状例」に示す支持架構の基本形状の中から適用タイプを選定する。

支持点荷重は，地震時や各運転状態で生じる荷重を用いる。

(b) 支持点荷重に基づいた応力評価による鋼材選定

地震時の支持点荷重により鋼材を選定する。

(c) 鋼材と諸設備間との配置調整

決定した鋼材が，他の配管及び周囲の設備との干渉がないか確認する。干渉がある場合は，支持架構の形状寸法又は基本形状の見直しを行って，再度鋼材選定を行う。

配管の支持架構の例を，図 4-5「支持架構の例」に示す。

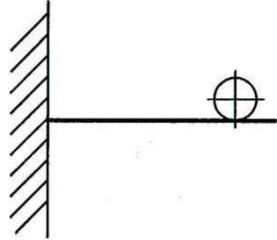
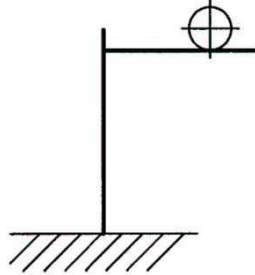
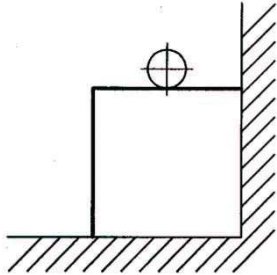
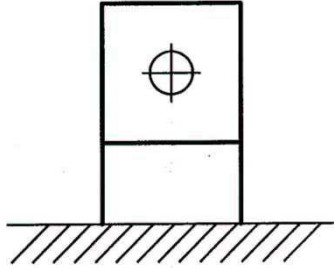
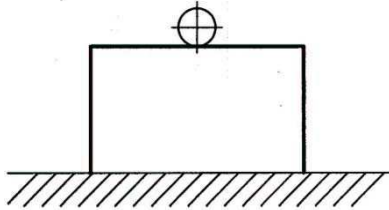
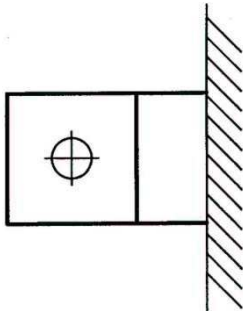
タイプ-1	タイプ-4
	
タイプ-2	タイプ-5
	
タイプ-3	タイプ-6
	

図 4-3 支持架構の基本形状例

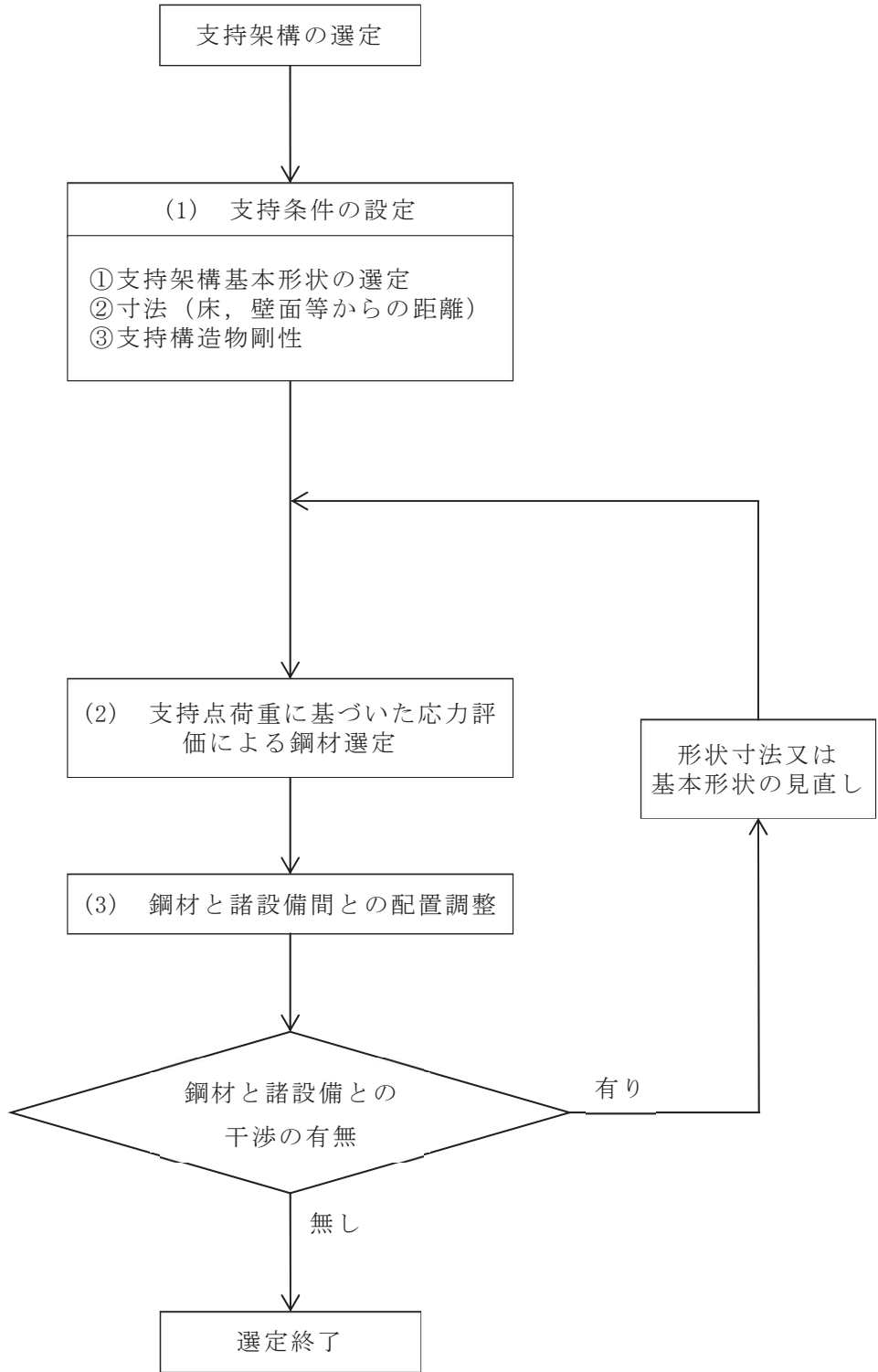


図 4-4 支持架構の設計フロー

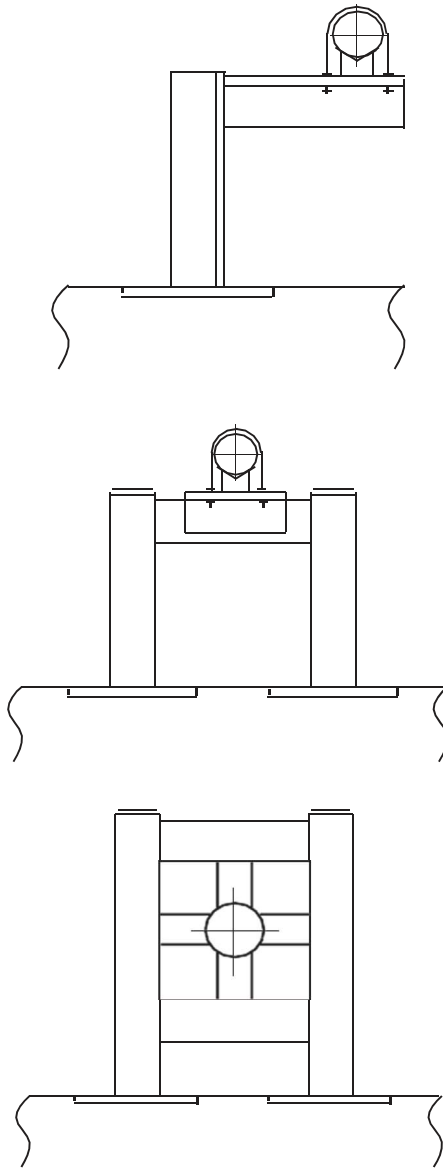


図 4-5 支持架構の例

(3) 埋込金物の設計

a. 設計方針

埋込金物は、支持構造物から加わる荷重を基礎に伝え、支持構造物と一体となって支持機能を満たすように設計する。埋込金物の選定は、支持荷重及び配置を考慮して行う。

b. 荷重条件

埋込金物の設計は、配管から伝わる荷重に対し、その荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

c. 種類及び選定

埋込金物は、コンクリート打設前に設置し、そのまま埋め込まれるものと、コンクリート打設後に後打ちアンカにより取り付けられるものとは分類され、施工時期に応じて適用する。

いずれの場合も支持装置又は支持架構を溶接により剛に建屋側に取り付けることができる。

コンクリート打設前に設置する埋込金物は、鋼板（以下「ベースプレート」という。）にスタッドジベルを溶接した埋込板、基礎ボルトで、用途及び荷重により数種類の型式に分類される。コンクリート打設後に支持装置及び支持架構の取付けが必要な場合は、ケミカルアンカ又はメカニカルアンカを使用する。ただし、ケミカルアンカは、要求される支持機能が維持できる温度条件下で使用する。また、メカニカルアンカは振動が大きい箇所には使用しない。後打ちアンカの設計は、J E A G 4 6 0 1・補-1984 又は「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会，2010 年改定）に基づき設計を行い、アンカメーカーが定める施工要領に従い設置する。

埋込金物の形状の代表例を、図 4-6「埋込金物の例」に示す。

各種埋込金物の中から、地震時に生じる設計荷重に対して十分な耐震性を有するものを選定する。

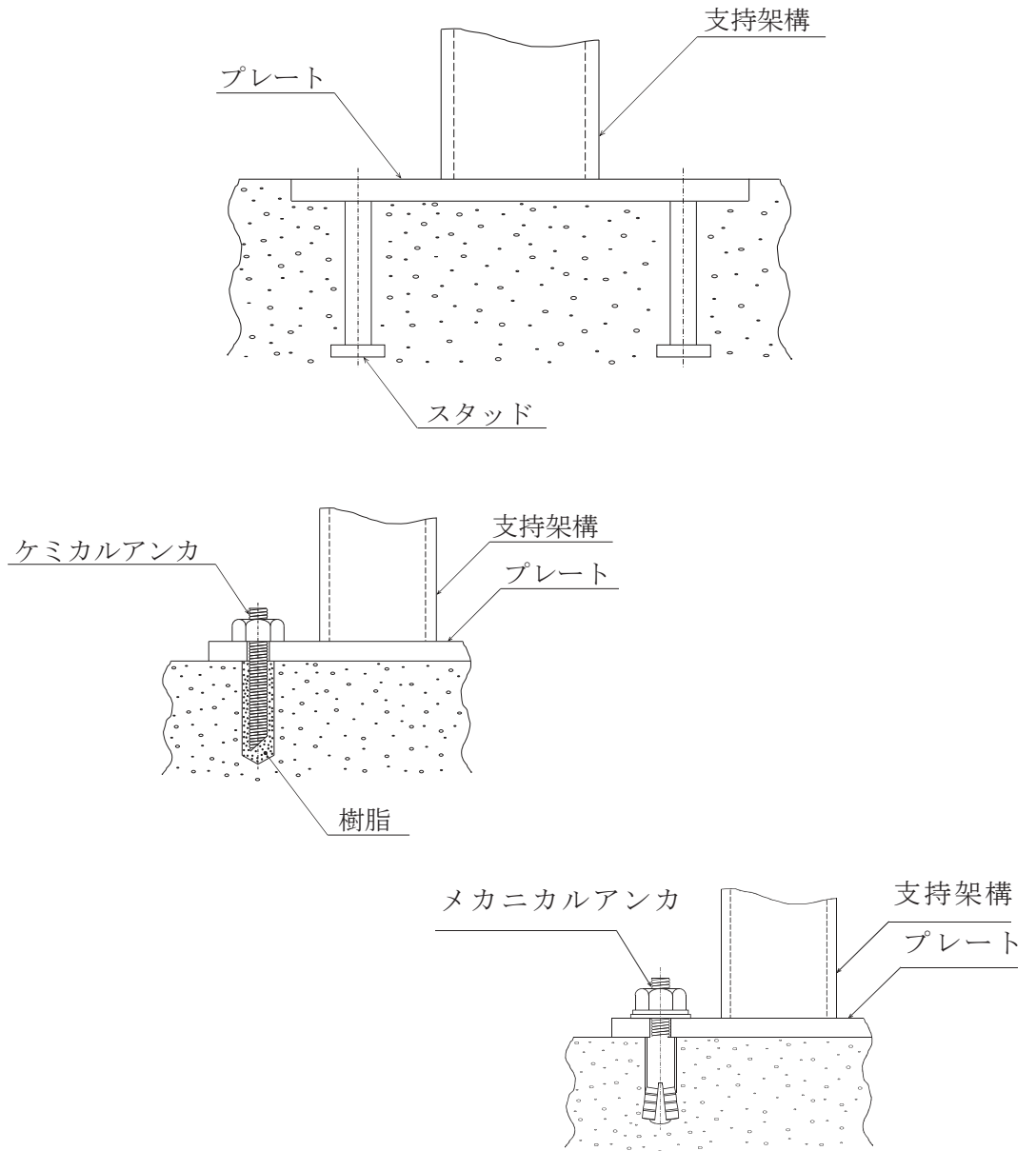


図 4-6 埋込金物の例

(4) 基礎の設計

a. 設計方針

配管の基礎は、支持構造物から加わる自重、地震荷重に対し、有効な支持機能を有するよう設計する。基礎の選定は、配管の支持方法、支持荷重及び配置を考慮して行う。

b. 荷重条件

基礎の設計は、配管から伝わる荷重に対し、荷重成分の組合せを考慮して行う。荷重の種類及び組合せについては、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に従う。

5. その他特に考慮すべき事項

(1) 機器と配管の相対変位に対する考慮

機器と配管との相対変位に対しては、配管側のフレキシビリティでできる限り変位を吸収することとし、機器側管台部又は支持構造物に過大な反力を生じさせないように配管側のサポート設計において考慮する。

(2) 動的機器の支持に対する考慮

ポンプ、ファン等の動的機器に対しては地震力の他に機器の振動を考慮して支持構造物の強度設計を行う。

また、振動による軸芯のずれを起こさないよう、据付台の基礎へのグラウト固定、取付ボルトの回り止め等の処置を行う。

(3) 建屋・構築物との共振の防止

支持に当たっては据付場所に応じ、建屋・構築物の共振領域からできるだけ外れた固有振動数を持つよう考慮する。また、共振領域近くで設計する場合は地震応答に対して十分な強度余裕を持つようにする。

(4) 波及的影響の防止

耐震重要度分類における下位クラスの機器の破損によって上位クラスの機器に波及的影響を及ぼすことがないように配置等を考慮して設計するが、波及的影響が考えられる場合には、下位クラス機器の支持構造物は上位クラスに適用される地震動に対して設計する。

(5) 隣接する設備

配管が他の配管又は諸設備と接近して設置される場合は、地震、自重、熱膨張及び機械的荷重による変位があっても干渉しないようにする。保温材を施工する配管については、保温材の厚みを含めても干渉しないようにする。

(6) 材料の選定

材料選定に当たっては、使用条件下における強度に配慮し、十分な使用実績があり、材料特性が把握された安全上信頼性の高いものを使用する。

また、添付書類「V-2-1-10 ダクティリティに対する設計方針」の材料の選択方針に基づき、ダクティリティを持つよう配慮する。

別紙 1 電気計測制御装置等の耐震設計方針

1. 概要

本方針は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の電気計測制御装置（以下「電気計装品」という。）の耐震設計の基本方針を示すものである。

2. 耐震設計の範囲

電気計装品の区分及び適用範囲を表 2-1 に示すとおりとし、設計基準対象施設のうち耐震設計上の重要度分類 S クラスの電気計装品及び重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備に該当する電気計装品を耐震設計の対象とする。

なお、下位クラスの電気計装品（設計基準対象施設のうち耐震設計上の重要度分類 B クラス及び C クラスの電気計装品及び重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備以外の電気計装品）については、その破損によって上位の分類に属するもの（設計基準対象施設のうち耐震設計上の重要度分類 S クラスに属する施設、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震設計上の重要度分類 S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設）へ波及的影響を与えないようにする。

表 2-1 電気計装品の区分及び適用範囲

区 分	定 義	適 用 範 囲	対 象
1. 盤	電気計装品の一部で、鋼材、鋼板等によって作られた構造物で器具、ケーブル等を含み、電気系、計装系の信号の処理、制御及び操作系の保護、開閉並びに電力の変換等の機能をもっているものをいう。	盤本体の他にチャンネルベース、盤とチャンネルベース取付ボルト及び基礎ボルトまで含む。	中央制御盤類、閉鎖配電盤、パワーセンタ、コントロールセンタ、計装ラック、現場操作盤、静止形インバータ、蓄電池用充電器等
2. 装置	電力の変換、あるいはエネルギーの変換を目的とした電気計装品の一部をいう。	ディーゼル発電機は発電機本体及び基礎ボルトを含む。 蓄電池は接続導体、架台及び基礎ボルトまで含む。	変圧器、ディーゼル発電機、補機用電動機、電動発電機、蓄電池等
3. 器具	電気計装品において取り扱われる信号又は電力に対し、検出、変換、演算、制御等の操作を行い、電気系、計装系の機能を作り出す要素をいう。これらは盤類に取り付けられ、あるいは所定の取付場所に設置される。	発信器、検出器等のように計装配管に取り付けられたり、現場に支持金物で据え付けられるものはその取付金物まで含む。	各種検出器、発信器、保護継電器、制御継電器、演算器、スイッチ、遮断器、指示計、計器用変成器、変流器等
4. 電路類	電線、ケーブル、導体等の形で電流が通じている回路が、鋼板その他の材料で構成された支持及び保護の役目をする構造物に収納されている場合、その構造物及び電気回路を含めて電路類という。	ケーブルトレイ、バスダクト、電線管等の支持構造物及び埋込金物を含む。 計装配管は止め弁以降の計装配管、支持構造物及び埋込金物を含む。	ケーブルトレイ、バスダクト、電線管、ケーブルペネトレーション、計装配管等

3. 耐震設計の手順

具体的な手順は、構造上及び機能上の性質により異なるので、電気計装品を盤、装置、器具及び電路類の4種類に大別し、以下各々についてその手順を示す。

3.1 盤の耐震設計手順（図3-1参照）

盤は、多種多様の器具を収納する集合体であるので、構造的、機能的に設計地震力に対して健全でなければならない。

解析モデル化が可能で解析が容易である場合は「振動特性解析による方法」を採用し、解析モデル化が不可能な場合若しくは解析モデル化が可能であっても実験によって耐震性を検定するのが容易な場合は、「振動特性試験による方法」を採用する。

振動特性解析又は振動特性試験によって剛構造かどうかを判定し、剛構造であれば静的解析により構造的及び機能的健全性を確認する。剛構造でない場合は、応答解析又は応答試験を実施する。

応答試験による場合は、取り付けられる器具を実装して行うことが容易な場合には、実装集合体応答試験により構造的及び機能的健全性を確認する。また、器具を実装して行うことが困難な場合には物理的、構造的に実物を模擬したものを取り付けした模擬集合体応答試験を行い構造的健全性を確認するとともに、模擬器具取付点の応答を測定し、器具の単体で検定された検定スペクトルと比較することにより機能的健全性を確認する。

応答解析による場合は、解析により構造的健全性を確認するとともに器具の取付点の応答と器具単体で得られた検定スペクトルとを比較することにより、機能的健全性を確認する。

3.2 装置の耐震設計手順（図3-2参照）

装置は、一般に剛な構造であり、その機能は、構造的健全性が保たれている限り失われることはない。したがって、耐震性の検討は、静的解析を行って構造的健全性を確かめる。ただし、剛構造でない場合は、盤と同様に応答解析又は応答試験によって構造的健全性を確認する。

3.3 器具の耐震設計手順（図3-3参照）

器具の耐震性の検討は、構造、機能の両面について行う。器具は、機能的及び構造的健全性を保持し得る限界入力又は許容入力値を求める一般検定試験（又は限界性能試験）を行い、検定スペクトルを求め、これと取付け位置の応答とを比較することにより耐震性を判定する。一般検定試験を行えない場合は、器具取付け位置の動的入力によって応答試験を行うことにより耐震性を判定する。

器具の中で、計器用変成器等のように剛体と見なせるものであって構造的に健全で

あれば、その機能が維持されるものについては装置と同様に静的解析を行って構造的健全性を確認する。

3.4 電路類の耐震設計手順（図3-4参照）

電路類は、構造的に健全ならば機能が維持されるので構造的検討のみを行う。この際には3次元はりモデルによる解析又は標準支持間隔法を用いる。3次元はりモデルによる解析の場合は、固有振動数に応じて応答解析による方法又は静的解析による方法を用いて構造的健全性を確認する方針とする。また、標準支持間隔法を用いる場合は、振動数基準又は応力基準による標準支持間隔法を基本として標準支持間隔を設定し、標準支持間隔以内で支持することにより耐震性を確保する。

また、各建屋間、建屋と建屋外地盤とにまたがって設置されるものについては、それらの地震時の相対変位を吸収できる構造とする。

熱膨張等を考慮しなければならないものについては、その荷重に対して構造的健全性を確認する方針とする。

3.5 既存資料の利用による耐震設計

電気計装品の耐震設計は、既に振動実験若しくは解析が行われており、かつ、その電気計装品が本原子力発電所に使用されるものと同等又は類似と判断される場合には、その実験データ若しくは解析値を利用して耐震設計を行う。

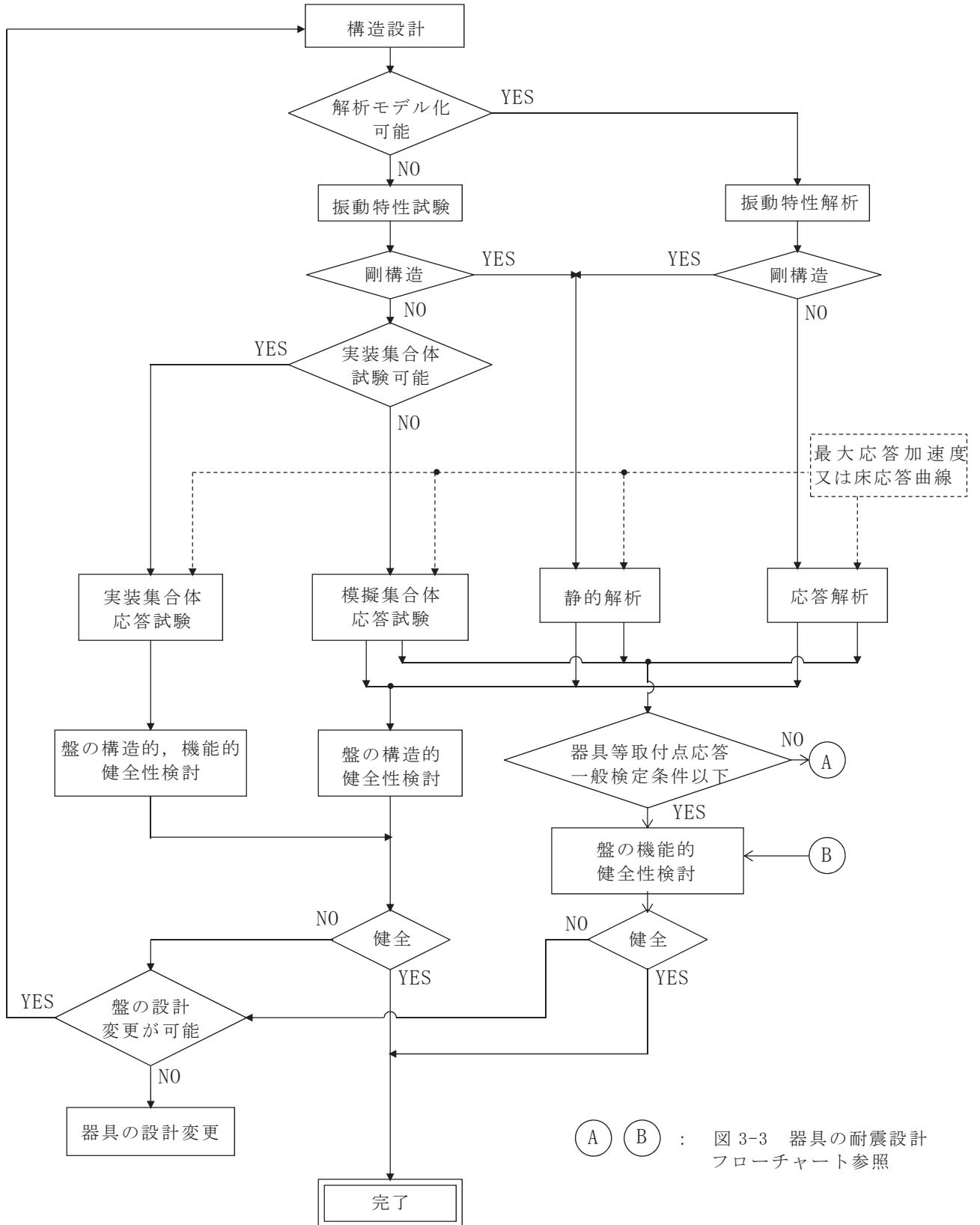


図 3-1 盤の耐震設計フローチャート

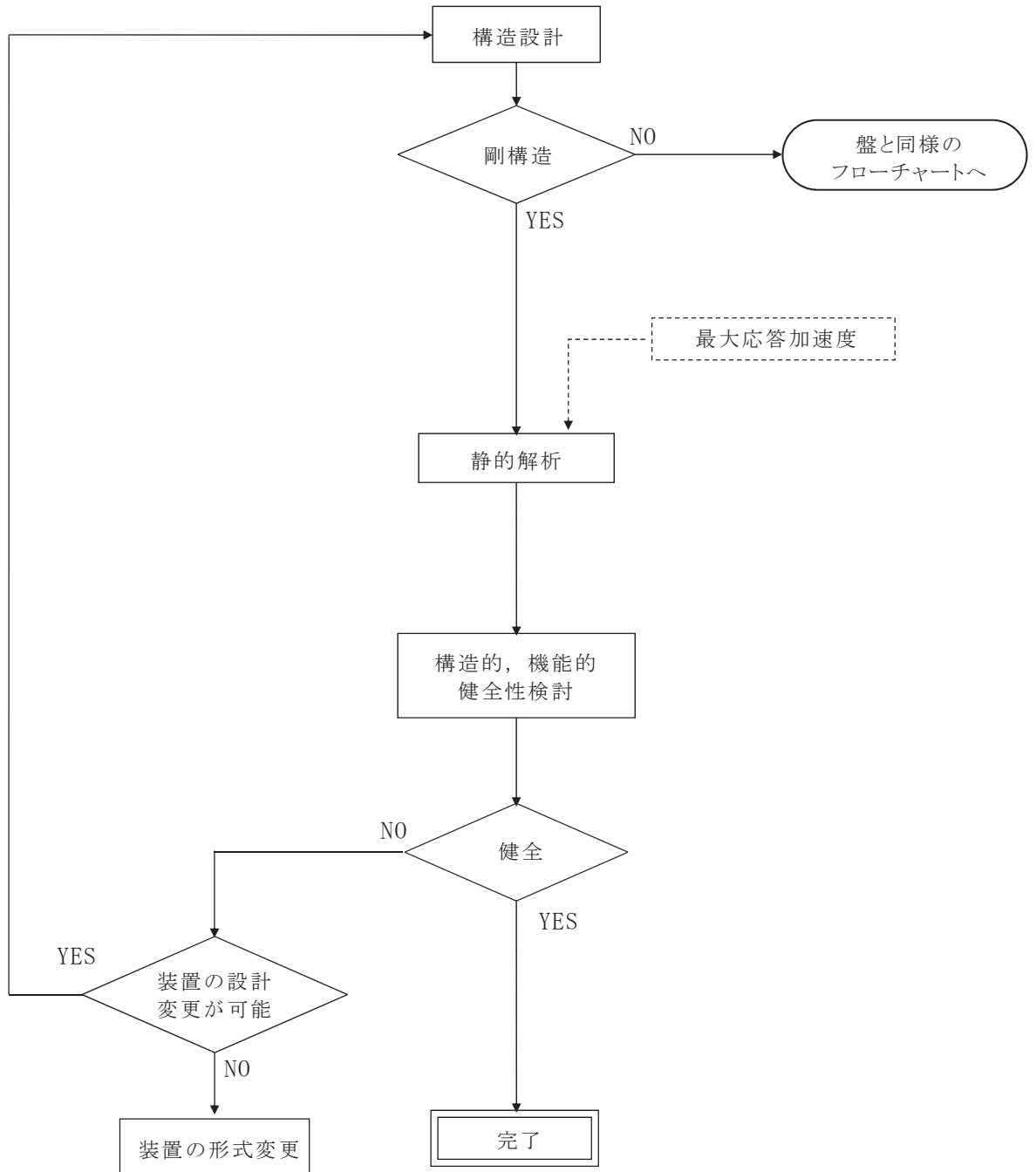


図 3-2 装置の耐震設計フローチャート

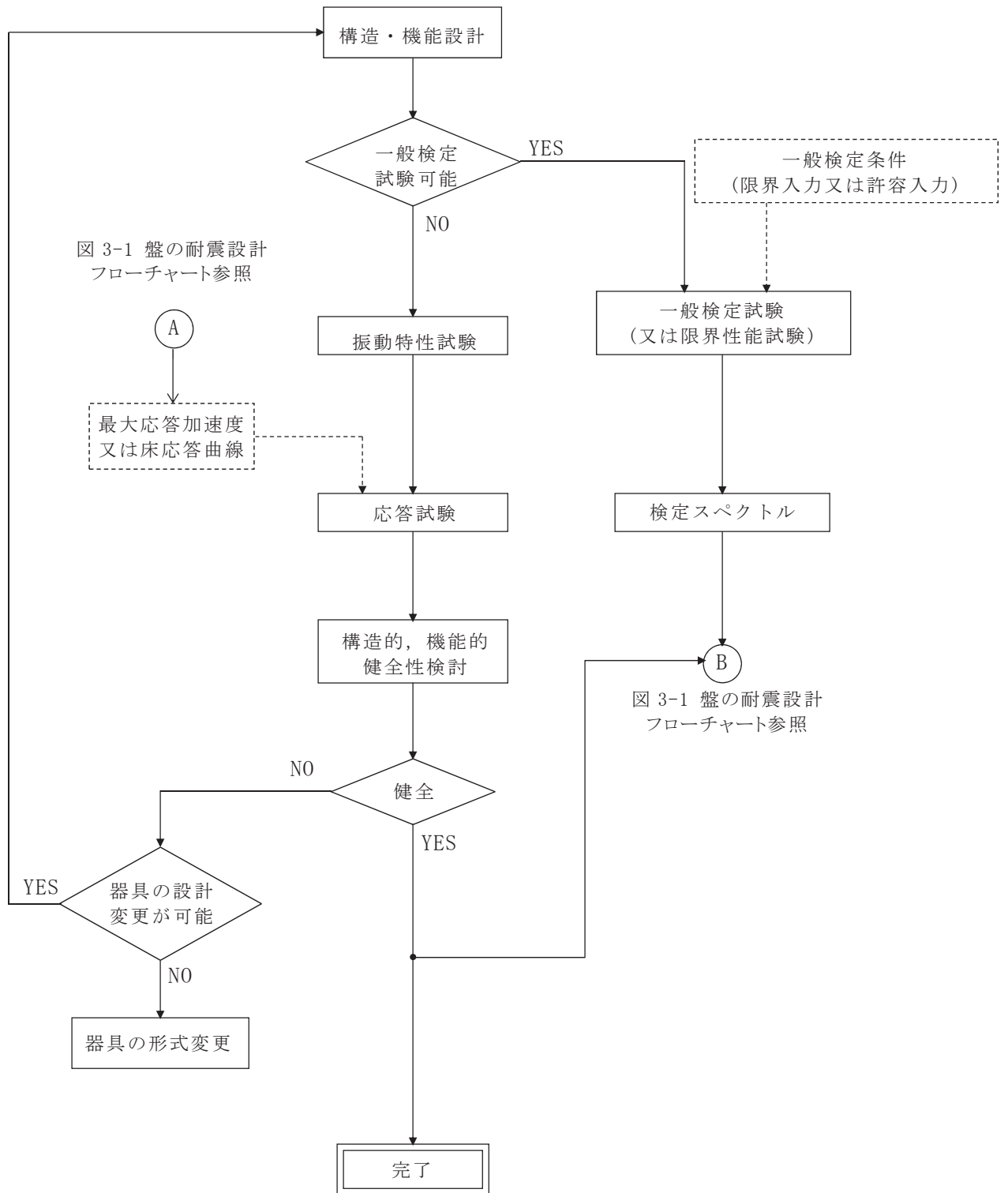


図 3-3 器具の耐震設計フローチャート

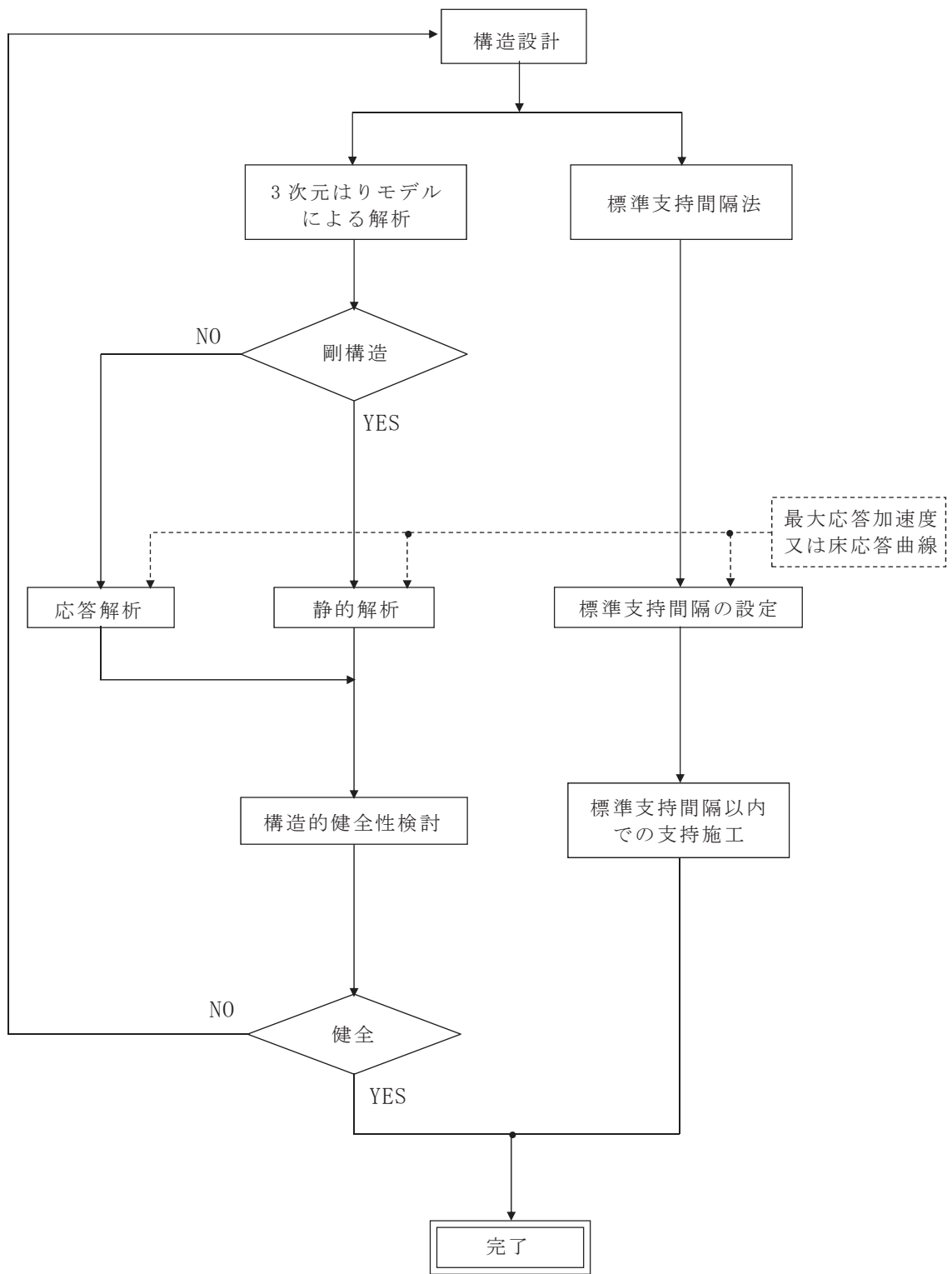


図 3-4 電路類の耐震設計フローチャート

VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法

目 次

- VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針
- VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針

VI-2-1-13-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 評価方針	2
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	12
5.3 計算方法	12
5.3.1 応力の計算方法	12
5.4 応力の評価	20
5.4.1 胴の応力評価	20
5.4.2 スカートの応力評価	21
5.4.3 基礎ボルトの応力評価	23
6. 耐震計算書のフォーマット	24

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているスカート支持たて置円筒形容器（耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないスカート支持たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

スカート支持たて置円筒形容器の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

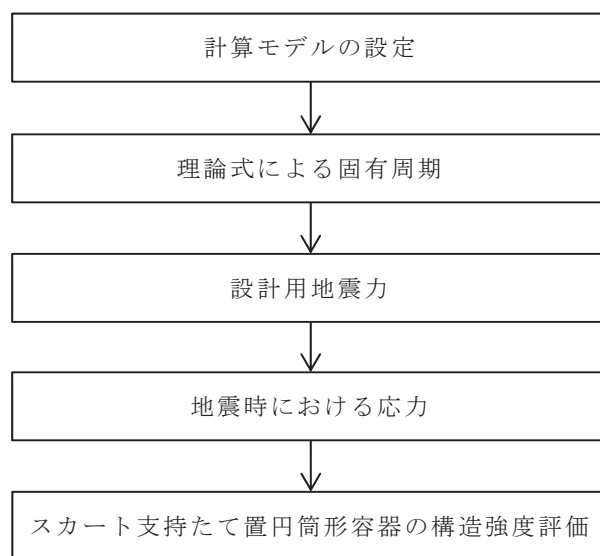


図 2-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
D _j	スカートに設けられた各開口部の穴径 (j = 1, 2, 3… j ₁)	mm
D _s	スカートの内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	スカートの許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G _s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴

記号	記号の説明	単位
I_s	スカート断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
l_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
l_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Q により上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_{y(RT)}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad

記号	記号の説明	単位
δ	荷重 Q による容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重 Q' による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重 Q, Q' による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる 軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
	スカートの厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、スカート及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

スカート支持たて置円筒形容器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器はスカートで支持され、スカート下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. スカート部材において、マンホール等の開口部があつて補強をしていない場合は、欠損の影響を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の 1 質点系振動モデルとして考える。

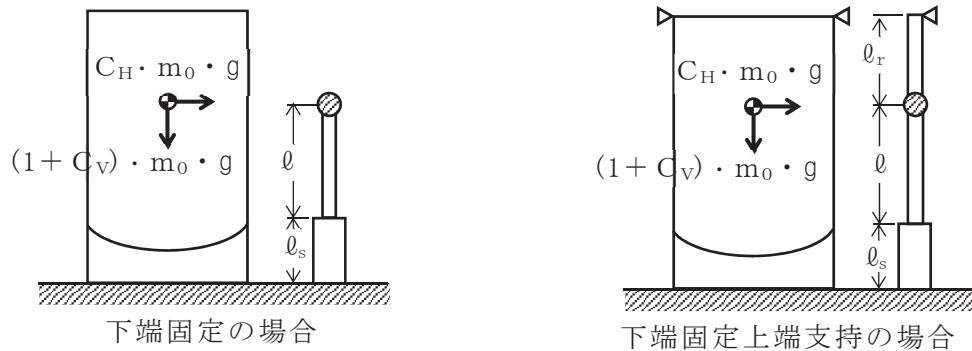


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3) \right. \\
 \left. + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、スカートの開口部（図 4-2 参照）による影響を考慮し、胴及びスカート
 トの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.3)$$

スカートの断面性能は次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \dots\dots (4.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは次式で求める。

(図 4-2 及び図 4-3 参照)

$$Y = \sum_{j=1}^{j1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$A_{s_e} = \frac{2}{3} \cdot \left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

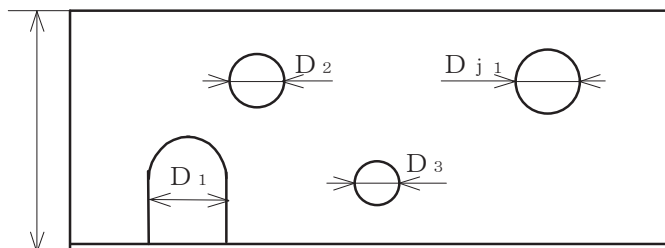


図 4-2 スカート開口部の形状

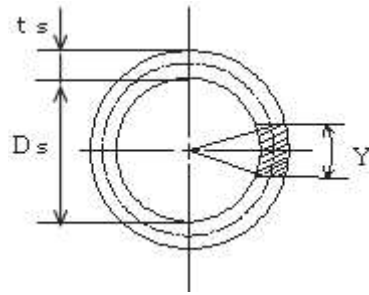


図 4-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重 Q が作用したときに上端の支持部に生じる反力 Q' は, 図 4-4 に示すように荷重 Q 及び反力 Q' による上端の変位量 δ と δ' が等しいとして求める。

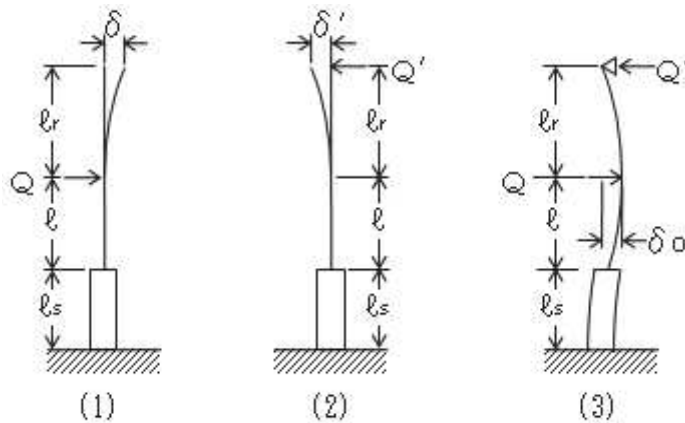


図 4-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 4-4 の (1) の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)\} + \frac{Q \cdot l}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot l_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \dots \dots \dots (4.1.8)$$

図 4-4 の (2) の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3\} + \frac{Q' \cdot (l + l_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot l_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \dots \dots \dots (4.1.9)$$

(4.1.8)式と(4.1.9)式を等しく置くことにより

$$\begin{aligned}
 Q' = Q \cdot & \left\{ \frac{\ell^2 \cdot (2 \cdot \ell + 3 \cdot \ell_r)}{6 \cdot E \cdot I} \right. \\
 & + \frac{2 \cdot \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r + 6 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \\
 & + \left. \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \cdot \left\{ \frac{(\ell + \ell_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} \right. \\
 & + \frac{3 \cdot (\ell + \ell_r)^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot (\ell + \ell_r) \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \\
 & + \left. \frac{\ell + \ell_r}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.10)
 \end{aligned}$$

したがって、図 4-4 の(3)に示す重心位置での変位量 δ_0 は図 4-4 の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ、ばね定数 K_H は次式で求める。

$$\begin{aligned}
 K_H = \frac{Q}{\delta_0} = 1000 / & \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \\
 & + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot \ell^3 + 3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \\
 & + \left. \left. \frac{3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell + \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell^2 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot \ell_r + \frac{3}{2} \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \\
 & \dots \dots \dots (4.1.11)
 \end{aligned}$$

固有周期は(4.1.7)式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = 1000 / \left(\frac{\ell}{E \cdot A} + \frac{\ell_s}{E_s \cdot A_s} \right) \dots \dots \dots (4.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots \dots \dots (4.1.13)$$

$$A_s = \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \dots \dots \dots (4.1.14)$$

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_V}} \dots \dots \dots (4.1.15)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～e.のほか、次の条件で計算する。概要図を図5-1に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

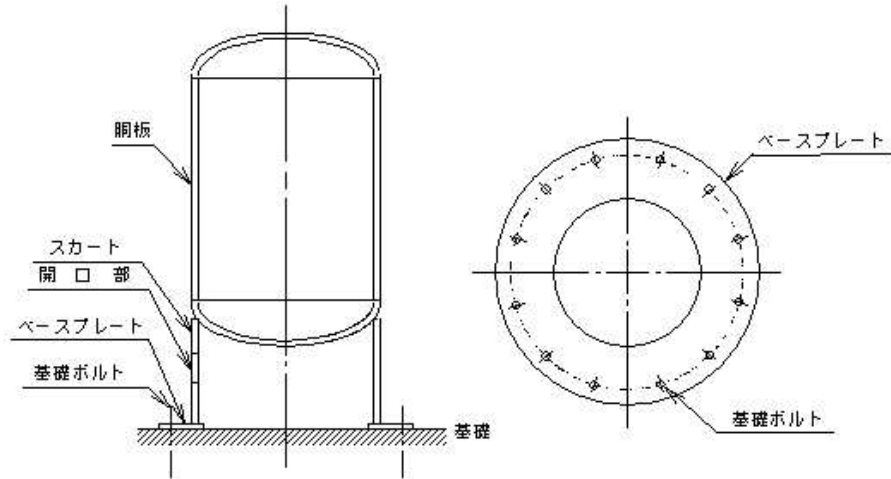


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又は SRSS 法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

- (1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots \quad (5.3.1.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力が、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_0 - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_0 - m_e) \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS 法それぞれに対して、

$$\sigma_0 = \text{Max} \left[\text{組合せ引張応力} (\sigma_{0t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0c}) \right] \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じ値になるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.26)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.29)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.31)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \left[\text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \right] \dots\dots\dots (5.3.1.1.32)$$

とする。

5.3.1.2 スカートの計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は(5.3.1.2.3)式で表されるが、曲げモーメント M_s は次の M_{s1} 又は M_{s2} のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right| \dots \dots \dots (5.3.1.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \right| \dots \dots \dots (5.3.1.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s} \dots \dots \dots (5.3.1.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots \dots \dots (5.3.1.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots \dots \dots (5.3.1.2.10)$$

5.3.1.3 基礎ボルトの計算応力

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は、下端固定の場合、(5.3.1.2.5)式を、下端固定上端支持の場合は(5.3.1.2.6)式又は(5.3.1.2.7)式のいずれか大きい方を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める(図5-2参照)。

以下にその手順を示す。

a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots \dots \dots (5.3.1.3.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。
 $\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$

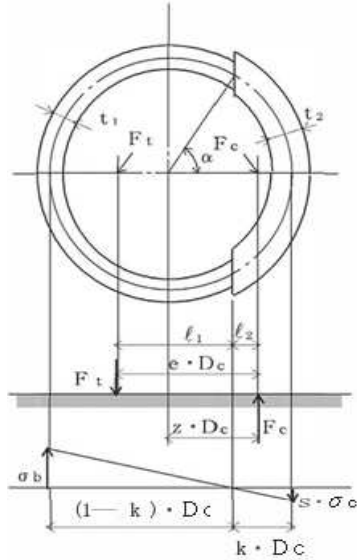


図 5-2 基礎の荷重説明図

- c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

- d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

【SRSS 法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_V \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_V \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.3.3) 式及び (5.3.1.3.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.3.7) 式又は (5.3.1.3.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.17)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍。
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5.4.2 スカートの応力評価

- (1) 5.3.1.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)$$

$$\dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度による荷 重との組合せの場合	基準地震動 Ss による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

スカート支持たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマットI 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

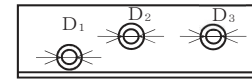
注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)

D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
	(M)				



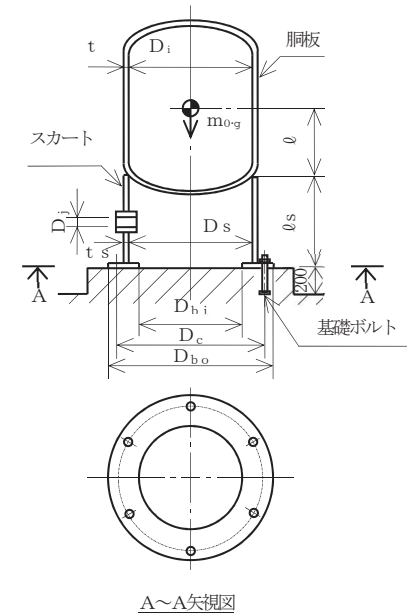
スカート開口部の形状を示す。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S(胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F(スカート) (MPa)	F*(スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F(基礎ボルト) (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



A~A矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 3} =$	—	—	$\sigma_{x 3} =$	—	
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	
	圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0 t} =$			$\sigma_{0 t} =$		
	圧縮	—			—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$			$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$			$\sigma_{2c} =$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3} =$		$\sigma_{s 3} =$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2} =$		$\sigma_{s 2} =$
	せん断		$\tau_s =$		$\tau_s =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
せん断応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
スカート		組合せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			(無次元)		(無次元)	
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t0}]$

すべて許容応力以下である。

【〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

【静水頭の場合】

(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
		建屋 O.P. *			$C_H=$	$C_V=$	$C_H=$	$C_V=$	静水頭			

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

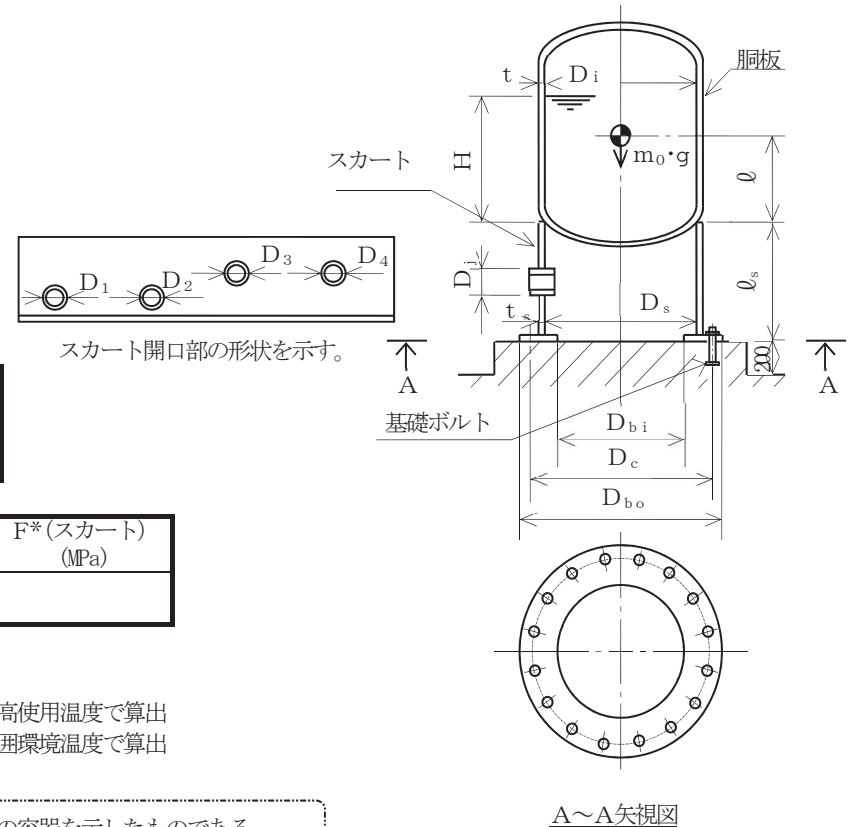
m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)

D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	M_s (N·mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
	(M)				

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		



注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○容器の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

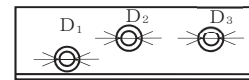
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =			

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)

D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
	(M)			—	



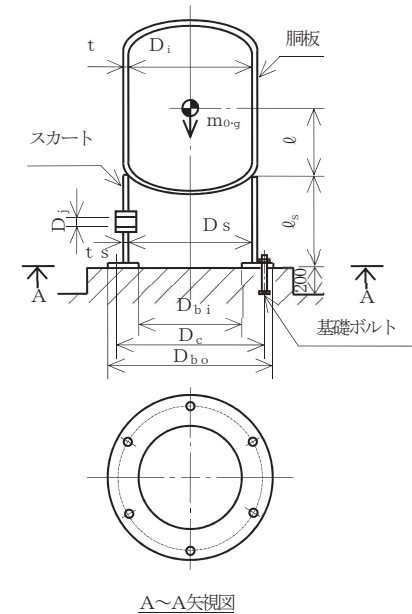
スカート開口部の形状を示す。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	—	

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—
運転時質量による引張応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—
鉛直方向地震による引張応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
空質量による圧縮応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 3} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—
	圧縮側	—	—	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—
組合せ応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{0 t} =$	—	
	圧縮	—	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
水平方向地震による応力		—	—	—	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧縮側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	—	$\sigma_{2t} =$	—	
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{2c} =$	—	

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力		—	—	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力		—		$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震による応力	曲げ	—		$\sigma_{s 2} =$	
	せん断	—		$\tau_s =$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
	引張応力	—
せん断応力	—	$\tau_b =$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$
スカート		組合せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{ts} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{td}]$

すべて許容応力以下である。

【〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =	静水頭			

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

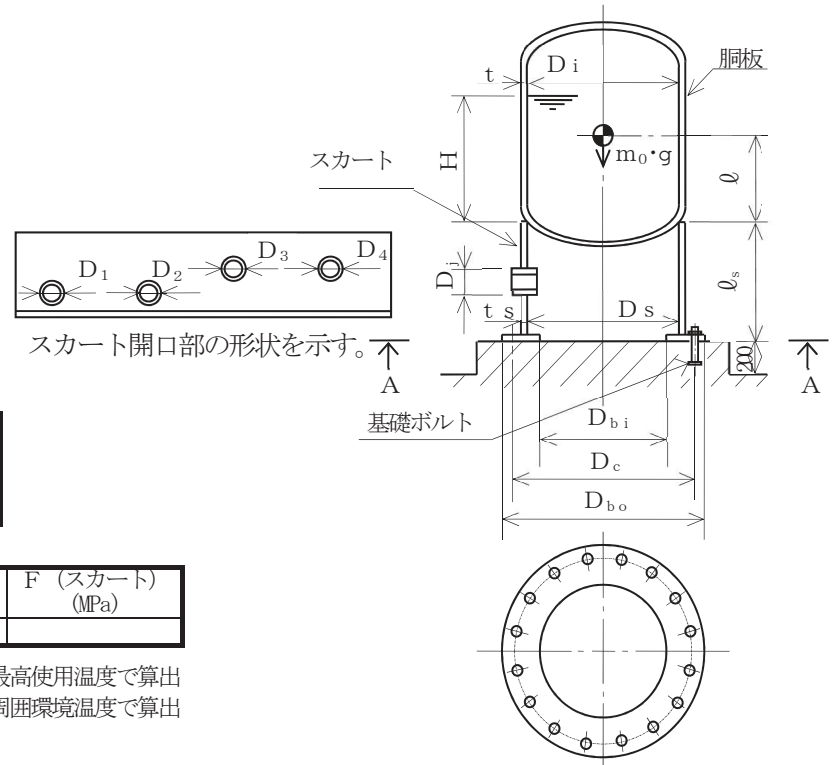
ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	H (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b_o} (mm)

D _{b_i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
	(M)			—	

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	—	

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出



A~A矢視図

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示したものである。

VI-2-1-13-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	評価方針	2
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	9
3.	評価部位	10
4.	固有周期	11
4.1	固有周期の計算方法	11
5.	構造強度評価	14
5.1	構造強度評価方法	14
5.2	設計用地震力	14
5.3	計算方法	14
5.3.1	応力の計算方法	14
5.4	応力の評価	30
5.4.1	胴の応力評価	30
5.4.2	脚の応力評価	30
5.4.3	基礎ボルトの応力評価	31
6.	耐震計算書のフォーマット	32
7.	引用文献	32

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横置一胴円筒形容器（耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない横置一胴円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横置一胴円筒形容器の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

横置一胴円筒形容器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

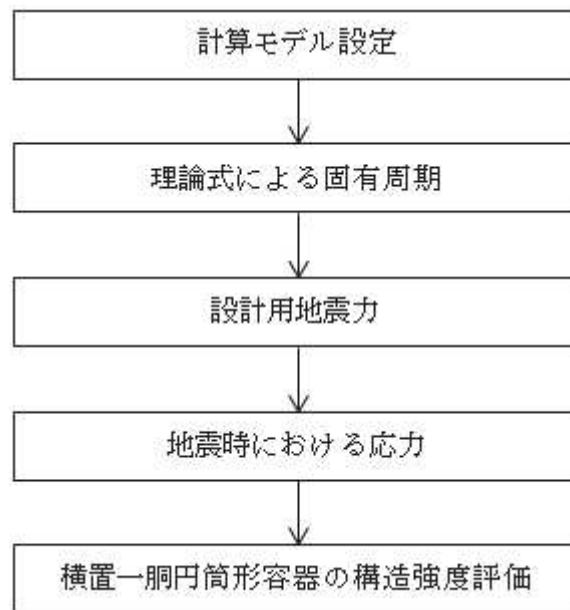


図 2-1 横置一胴円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{lj}	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	第1脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数(第1脚上の荷重は含まない。)	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数(第2脚上の荷重は含まない。)	—
K_{1j} , K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
K_c	第1脚のばね定数(胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数(胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/m
K_v	第1脚のばね定数(胴に鉛直力が作用する場合)	N/m
K_{cj} , $K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
ℓ_o	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離(ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)(i=1, 2, 3, …, j _i)	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_o	容器の運転時質量	kg

記号	記号の説明	単位
m_i	容器各部の質量 ($i = 1, 2, 3, \dots, j_1$)	kg
m_{s1}	第 1 脚の質量	kg
m_{s2}	第 2 脚の質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第 1 脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の第 1 脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第 1 脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第 1 脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第 1 脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第 1 脚の受ける荷重	N
R_2	第 2 脚の受ける荷重	N
r_m	第 1 脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第 1 脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y(RT)}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第 1 脚側胴板の厚さ	mm

記号	記号の説明	単位
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
$Z_{s x}$	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
$Z_{s y}$	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta, \beta_1,$ β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度(=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0 c}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0 c x}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0 c \phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0 \ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0 \ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0 \ell \phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{1 c}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1 c x}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1 c \phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{ℓ}	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降状点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横置一胴円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚1個につき1列の場合は下端を単純支持とする。
その他の場合は固定とする。
- e. 第2脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力は全て第1脚で受けるものとする。
- f. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

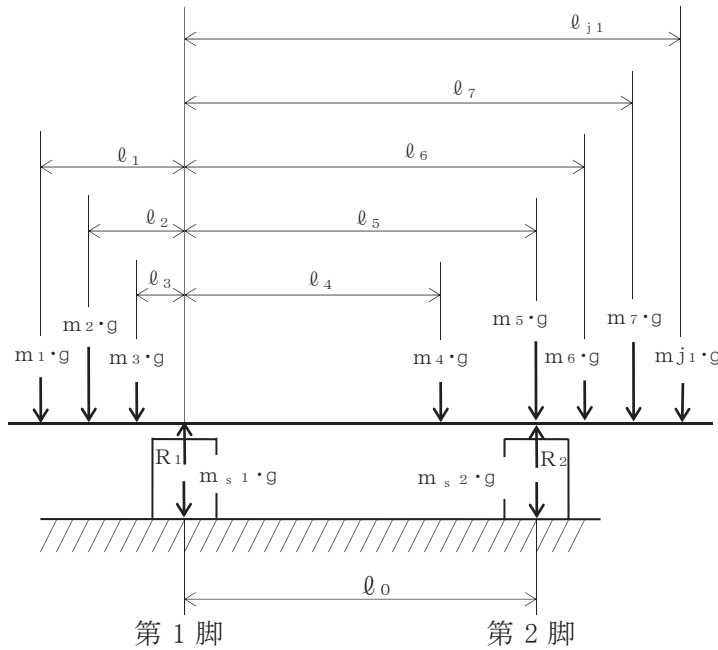


図 4-1 荷重状態

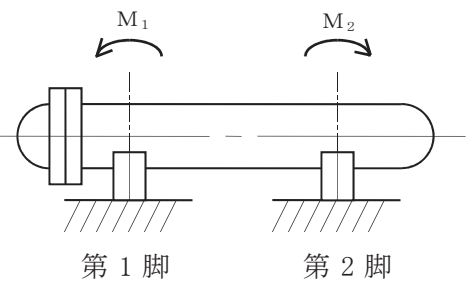


図 4-2 脚の位置での曲げモーメント

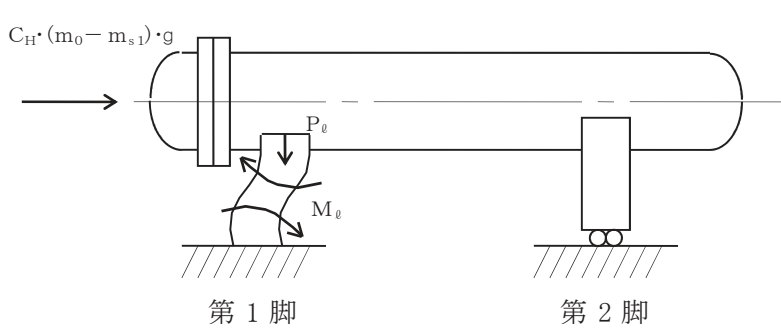


図 4-3 長手方向荷重による胴の第 1 脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

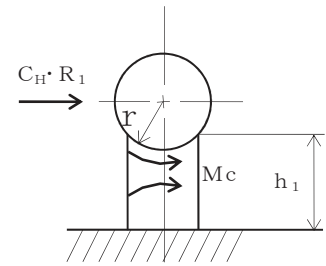


図 4-4 横方向荷重による胴の第 1 脚付け根部のモーメント

本容器は、前記の条件より図 4-5、図 4-6 及び図 4-7 のような 1 質点系振動モデルとして考える。

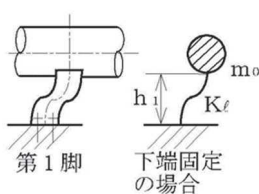


図 4-5 長手方向の固有周期計算モデル

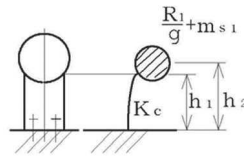


図 4-6 横方向の固有周期計算モデル

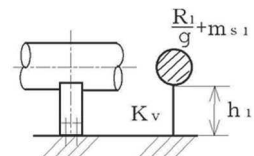


図 4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図 4-1 において第 1 脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i - R_2 \cdot \ell_0 = 0 \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i / \ell_0 \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots \dots \dots (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図 4-5 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\theta} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\theta}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図 4-6 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図 4-7 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～f.のほか、次の条件で計算する。概要図を図 5-1 に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向に作用するものとする。ここで、水平方向地震は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 第 1 脚と第 2 脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

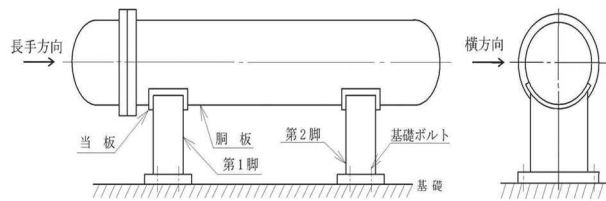


図 5-1 概要図

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又は SRSS 法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 曲げモーメント

図 4-1 に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図 4-2 において脚付け根部における曲げモーメント M_1 及び M_2 は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j2} m_i \cdot g \cdot |\ell_i| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j1-j3+1}^{j1} m_i \cdot g \cdot |\ell_i - \ell_0| \quad \dots\dots (5.3.1.1.2)$$

(2) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば,この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するのではなく,脚付け根部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ,胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0 / 6$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 5-2 に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって, 運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

また, 鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

ここで,

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

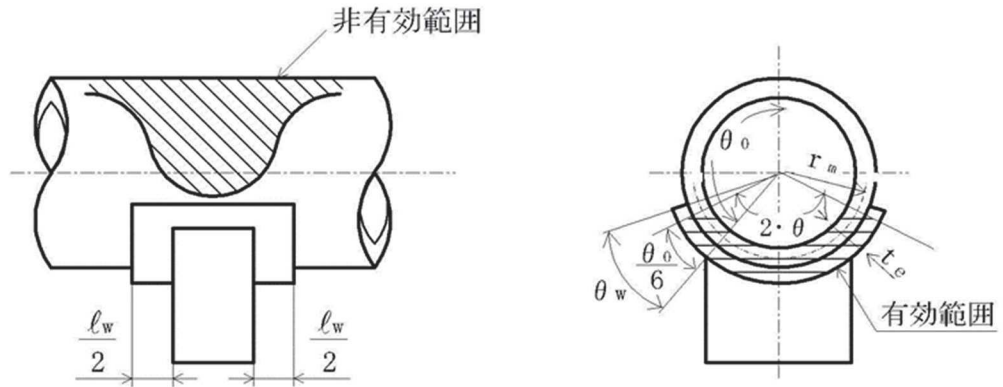


図 5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0}{6} \quad \text{*1} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2} \right) \cdot t} \quad \text{*2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。

胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-3に示す。

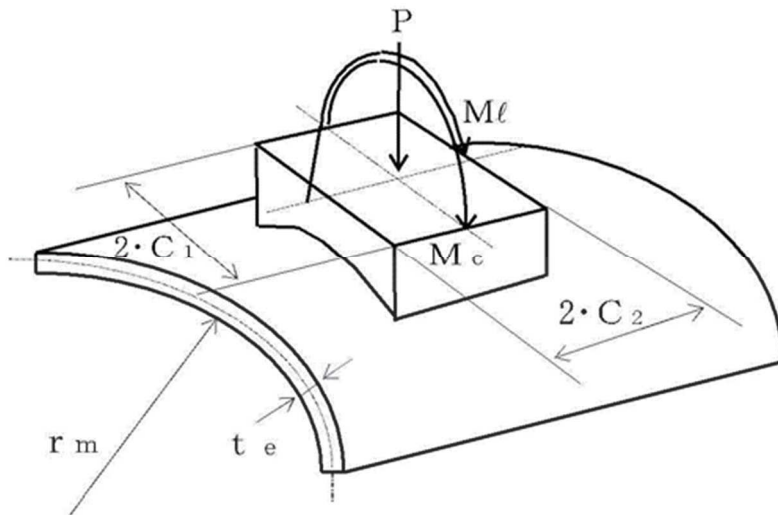


図5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2}$$

..... (5.3.1.1.21)

ただし, $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 7 1} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 7 1} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 7 2} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 7 2} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \quad \dots\dots (5.3.1.1.27)$$

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第 2 脚は長手方向に自由にスライドできるので第 1 脚は図 4-3 のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\phi} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \quad \dots\dots (5.3.1.1.28)$$

$$P_{\phi} = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \quad \dots (5.3.1.1.29)$$

曲げモーメント M_{ϕ} と鉛直荷重 P_{ϕ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることより(5.3.1.1.31)式～(5.3.1.1.38)式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ 及び P_{ϕ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(4)と同じであるが、 M_{ϕ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし、二次応力を求める場合は更に $K_{\phi j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_{ϕ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\phi} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\phi}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\phi 1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.31)$$

$$\sigma_{x411} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\phi} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\phi}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\phi} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\phi}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad (5.3.1.1.33)$$

$$\sigma_{x421} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\phi} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\phi}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad (5.3.1.1.34)$$

鉛直荷重 P_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4 1 2} = \left(\frac{N_\phi}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 4 1 2} = \left(\frac{N_x}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 4 2 2} = \left(\frac{M_\phi}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 4 2 2} = \left(\frac{M_x}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 4 1 3} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント M_ℓ 、鉛直荷重 P_ℓ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4 1} = \sigma_{\phi 4 1 1} + \sigma_{\phi 4 1 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 4 1} = \sigma_{x 4 1 1} + \sigma_{x 4 1 2} + \sigma_{x 4 1 3} \quad \dots \quad (5.3.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 4 2} = \sigma_{\phi 4 2 1} + \sigma_{\phi 4 2 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 4 2} = \sigma_{x 4 2 1} + \sigma_{x 4 2 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.44)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

横方向地震が作用した場合、第 1 脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.45)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献 (2) の図より値 (以下*を付記するもの) を求めることにより (5.3.1.1.48) 式～ (5.3.1.1.51) 式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は (4) と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.48)$$

$$\sigma_{x51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.50)$$

$$\sigma_{x52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、第 1 脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.52)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第 1 脚付け根部に生じる胴の応力は以下のよう
に組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x})\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.53)$$

ここで、

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.54)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 4 1 3} \dots\dots\dots (5.3.1.1.55)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 4 1 3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}\{\text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx})\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.57)$$

ここで

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.58)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.59)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \dots\dots\dots (5.3.1.1.60)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS
法、それぞれに対して、

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c})\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.61)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x} + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.62)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.63)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 41} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.64)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.65)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 41}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.66)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.68)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 51} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \dots\dots\dots (5.3.1.1.69)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.70)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 51}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.71)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_1 = \text{Max} \left\{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{1c}) \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.72)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値
鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2}$$

..... (5.3.1.1.73)

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad (5.3.1.1.74)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad (5.3.1.1.75)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2}$$

..... (5.3.1.1.76)

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x 41} + \sigma_{x 42})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2}$$

..... (5.3.1.1.77)

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2}$$

..... (5.3.1.1.78)

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad (5.3.1.1.79)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 51} + \sigma_{x 52} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad (5.3.1.1.80)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2}$$

..... (5.3.1.1.81)

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x 51} + \sigma_{x 52})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2}$$

..... (5.3.1.1.82)

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{2c}) \}$$

..... (5.3.1.1.83)

とする。

5.3.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{s y}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

(4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{s x}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \quad (5.3.1.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \quad \cdots (5.3.1.2.10)$$

【SRSS 法】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2}\right)^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \quad \cdots (5.3.1.2.11)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、絶対値和、SRSS 法、それぞれに対して、

$$\sigma_s = \text{Max}\left\{\text{長手方向地震時応力}\left(\sigma_{s\ell}\right), \text{横方向地震時応力}\left(\sigma_{sc}\right)\right\} \quad \cdots (5.3.1.2.12)$$

とする。

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \cdots (5.3.1.3.1)$$

鉛直荷重は

【絶対値和】

$$P_s = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) - P_\ell \quad \cdots (5.3.1.3.2)$$

【SRSS 法】

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\left\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\right\}^2 + P_\ell^2} \quad \cdots (5.3.1.3.3)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \cdots (5.3.1.3.4)$$

とする。

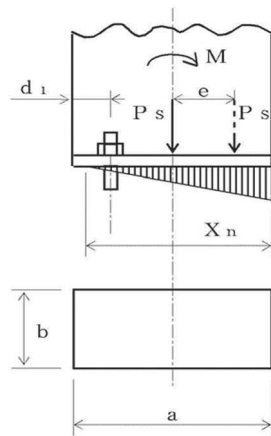


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 1)

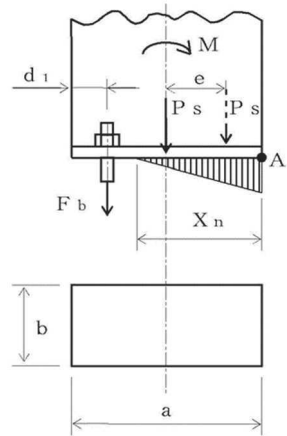


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 2)

図 5-4 のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図 5-5 のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図 5-5 において、鉛直荷重の釣合い、A 点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot \left(a - d_1 - X_n \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

a. 引張応力

(a) 長手方向から見て図 5-6 のように応力を 2 列の基礎ボルトで受ける場合
横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

で求める。

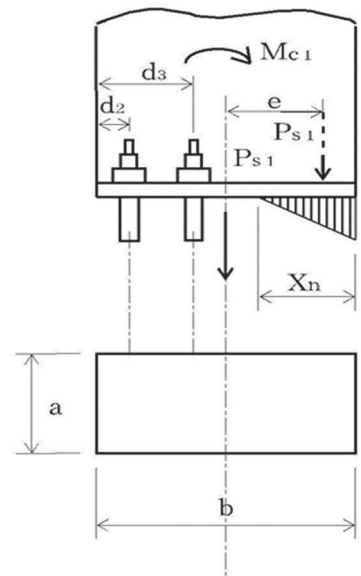


図 5-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 3)

(1) と同様にして中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left\{ \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(e + \frac{b}{2} - d_3 \right) \cdot (b - X_n - d_3) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

ただし

$$e = M_{c1} / P_{s1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2)}{\left(b - d_2 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(b - d_3 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_3)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

(b) 長手方向から見て応力を1列の基礎ボルトで受ける場合

(1)と同様にして引張応力は求められるが、MをM_{c1}、P_sをP_{s1}、d₁をd₂、aをb、bをa及びn₁をn₂に置き換え、得られた基礎ボルトの応力をσ_{b2}とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.17)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \left\{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{b2}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.18)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \left\{ \text{長手方向地震時応力} (\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力} (\tau_{b2}) \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.19)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力	上記の 1.5 倍の値	上記の 1.5 倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.4.2 脚の応力評価

5.3.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式により求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

横置一胴円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2. 」から「1. 」とする。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al. :Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○○熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

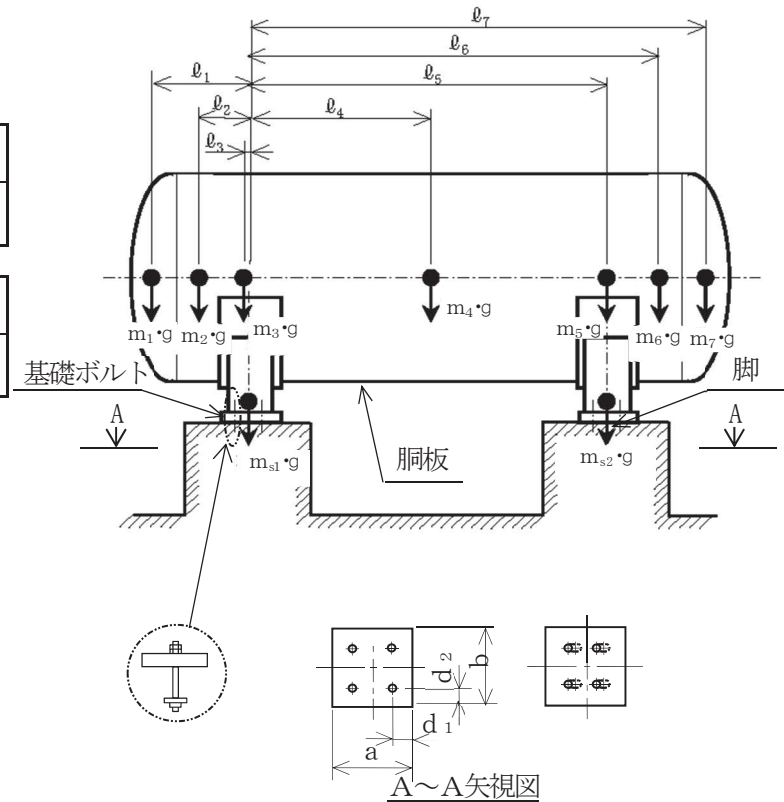
m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N·mm)	M ₂ (N·mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

33



A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)

K ₁₁ ^{*2}	K ₁₂ ^{*2}	K ₂₁ ^{*2}	K ₂₂ ^{*2}	K ₀₁	K ₀₂	K _{c1}	K _{c2}	C ₀₁	C ₀₂	C _{c1}	C _{c2}

s	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	d (mm)	Δ _b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
						(M)			

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*3	*3	*3	*4	*4			*4	*4		

注記：*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

34

胴板と当板の材料が異なる場合
当板のS_y、S_u及びS値を記載する。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*3 (*5)	*3 (*5)	*3 (*5)	

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

*5：当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0 \ell} =$		$\sigma_{0 c} =$		$\sigma_{0 \ell} =$		$\sigma_{0 c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
		$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$			$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$		
せん断		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組合せ応力	$\sigma_{1 \ell} =$		$\sigma_{1 c} =$		$\sigma_{1 \ell} =$		$\sigma_{1 c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$
		$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$
		$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x422} =$			$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x422} =$		
	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x42} =$			$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x42} =$			
	せん断	$\tau_{\theta} =$		$\tau_c =$		$\tau_{\theta} =$		$\tau_c =$	
組合せ応力		$\sigma_{2\theta} =$		$\sigma_{2c} =$		$\sigma_{2\theta} =$		$\sigma_{2c} =$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力		$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次	$\sigma_1 =$	$S_a =$	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組合せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	許容応力
胴 板	(*1)	$S_a =$ (*1)
		$S_a =$ (*1)
脚		$f_t =$
基礎ボルト		$f_{ts} = *2$
		$f_{sb} =$

注記 *1: 当板の材料を示す。

*2: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

【○○○○○熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	静水頭			

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

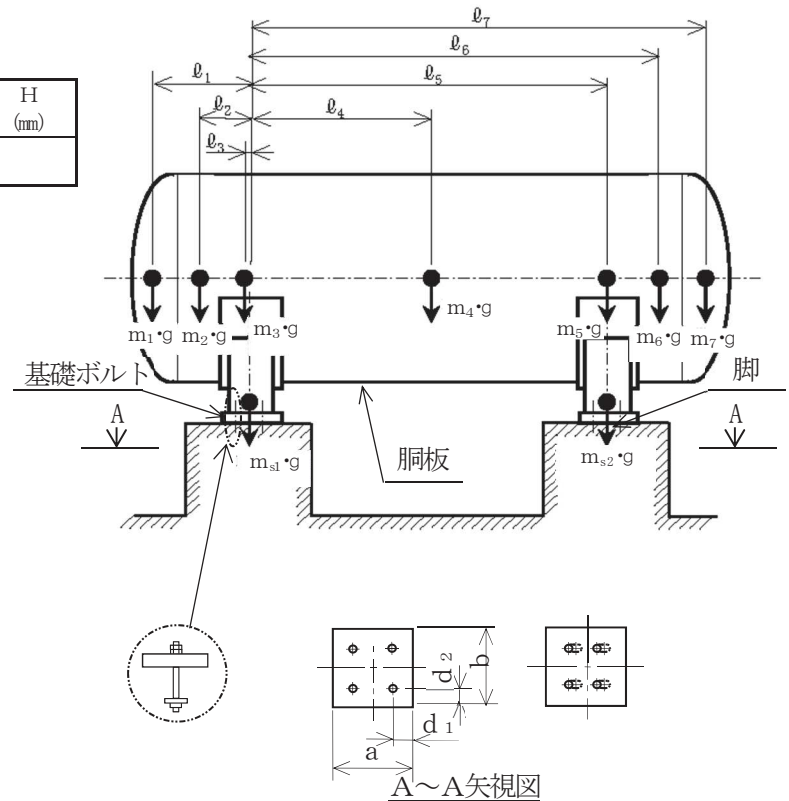
m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

38



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0 \ell} =$		$\sigma_{0 c} =$		$\sigma_{0 \ell} =$		$\sigma_{0 c} =$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
		$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
		$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$			$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$		
せん断		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組合せ応力	$\sigma_{1 \ell} =$		$\sigma_{1 c} =$		$\sigma_{1 \ell} =$		$\sigma_{1 c} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$
		$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$
		$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x422} =$			$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x422} =$		
	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x42} =$			$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x42} =$			
せん断	$\tau_{\theta} =$		$\tau_c =$	$\tau_{\theta} =$		$\tau_c =$			
組合せ応力		$\sigma_{2\theta} =$		$\sigma_{2c} =$		$\sigma_{2\theta} =$		$\sigma_{2c} =$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮 $\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮 $\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ $\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断 $\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力	$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り $\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による応力	せん断 $\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

- 2. 重大事故等対処設備
- 2.1 設計条件

【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1.とする。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及びひ末面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =			

注記*：基準末レベルを示す。

2.2 機器要目

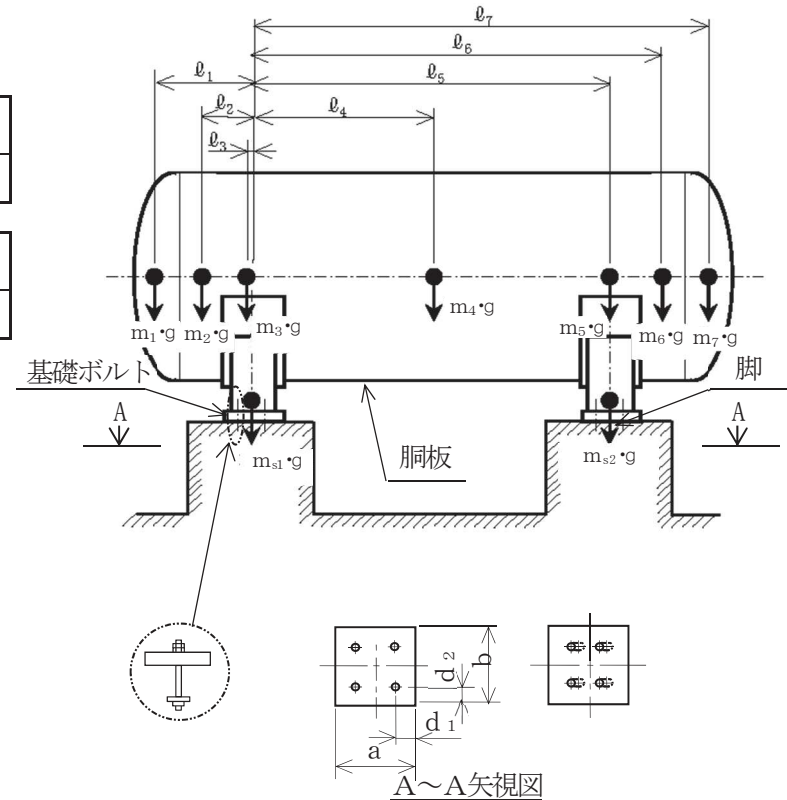
m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

41



A~A矢視図

A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)

K ₁₁ ^{*2}	K ₁₂ ^{*2}	K ₂₁ ^{*2}	K ₂₂ ^{*2}	K ₀₁	K ₀₂	K _{c1}	K _{c2}	C ₀₁	C ₀₂	C _{c1}	C _{c2}

s	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
						(M)			

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*3	*3	*3	*4	*4	—		*4	*4	—	

注記：*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

胴板と当板の材料が異なる場合
当板のS_y、S_u及びS値を記載する。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*3 (*5)	*3 (*5)	*3 (*5)	

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。
*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。
*3：最高使用温度で算出
*4：周囲環境温度で算出
*5：当板の材料を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3} =$	—	—
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{0 \ell} =$	—	$\sigma_{0 c} =$	—

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1} =$	$\sigma_{x 4 1 1} =$	$\sigma_{x 5 1} =$	$\sigma_{x 5 1} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 2} =$	$\sigma_{x 4 1 2} =$		
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1} =$	$\sigma_{x 4 1} =$		
組合せ応力	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} =$	—	$\tau_c =$	—
		—	—	—	—	$\sigma_{1 \ell} =$	—	$\sigma_{1 c} =$	—

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 71} =$ $\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x71} =$ $\sigma_{x72} =$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x421} =$ $\sigma_{x422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x42} =$	—	—
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta} =$	—	$\tau_c =$	—
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\theta} =$	—	$\sigma_{2c} =$	—

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方 向	固有周期
長手方向	$T_1 =$
横方向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

2.4.2 応力 (単位: s)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次	—	—	$\sigma_1 =$	$S_a =$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$
脚		組合せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	許容応力
胴板	(*1)	$S_a =$ (*1)
		$S_a =$ (*1)
脚		$f_t =$
基礎ボルト		$f_{ts} = *2$
		$f_{sb} =$

注記 *1: 当板の材料を示す。

*2: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =	静水頭			

注記* : 基準床レベルを示す。

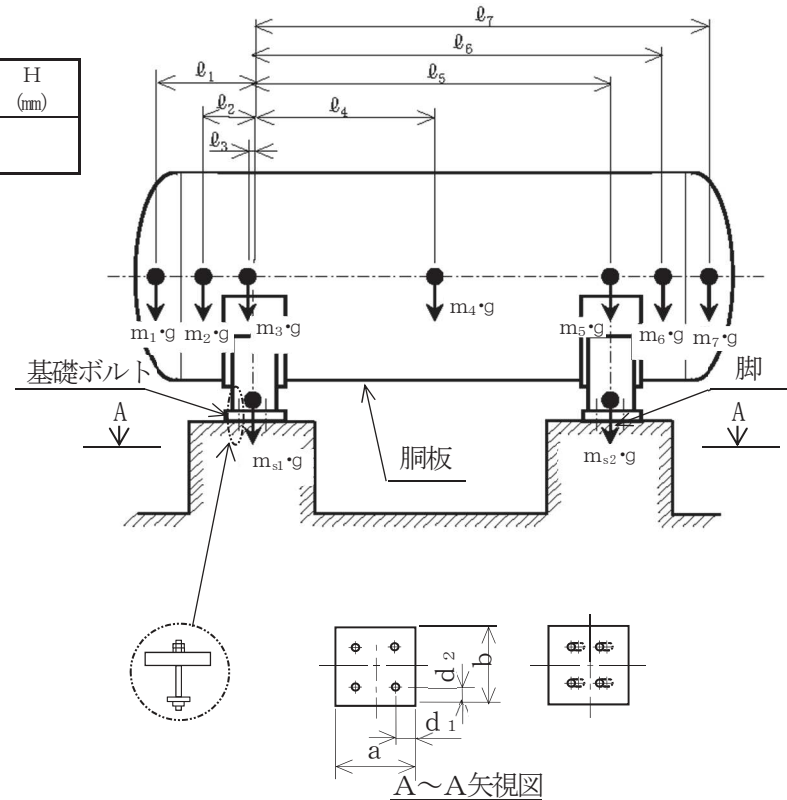
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3} =$	—	—
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{0 \ell} =$	—	$\sigma_{0 c} =$	—

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$	$\sigma_{\phi 7 1} =$	$\sigma_{x 7 1} =$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1} =$	$\sigma_{x 4 1 1} =$	$\sigma_{x 5 1} =$	$\sigma_{x 5 1} =$
		—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 2} =$	$\sigma_{x 4 1 2} =$		
	せん断	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1} =$	$\sigma_{x 4 1} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{1 \ell} =$	—	$\sigma_{1 c} =$	—

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6} =$	—	$\sigma_{x6} =$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x71} =$	
	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x72} =$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x51} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} =$	$\sigma_{x421} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x52} =$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x422} =$		
せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta} =$	—	$\tau_c =$	—	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\theta} =$	—	$\sigma_{2c} =$	—	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
		長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$
	せん断	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$
組合せ応力	—	$\sigma_{s\theta} =$	$\sigma_{sc} =$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
		長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張り	—	—
水平方向地震による応力	せん断	—	—

VI-2-1-13-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 評価方針	2
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 設計用地震力	10
5.3 計算方法	10
5.3.1 応力の計算方法	10
5.4 応力の評価	16
5.4.1 胴の応力評価	16
5.4.2 基礎ボルトの応力評価	18
6. 耐震計算書のフォーマット	19

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている平底たて置円筒形容器（耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用されない平底たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

平底たて置円筒形容器の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

平底たて置円筒形容器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

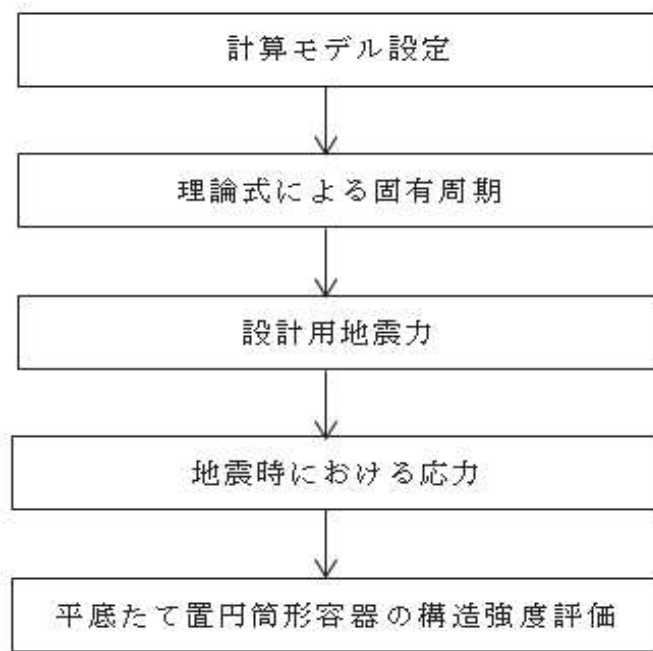


図 2-1 平底たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _v	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ ₁ , ℓ ₂	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図 5-2 に示す距離)	mm
ℓ _g	基礎から容器重心までの距離	mm

記号	記号の説明	単位
M_s	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y(RT)}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料 の 40°Cにおける値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (= 比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の 最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1},$ $\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和(圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和(引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
比重	—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

平底たて置円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器は胴下端のベースプレートをも周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 胴をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

本容器は，前記の条件より図 4-1 に示すような下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

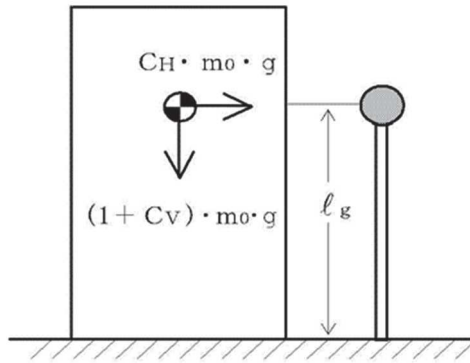


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{l_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{l_g}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって，固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{l_g}{A \cdot E}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。概要図を図 5-1 に示す。

(1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

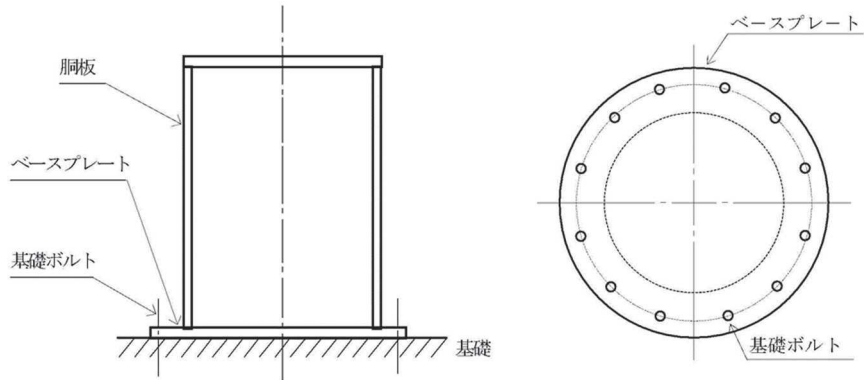


図 5-1 概要図

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又は SRSS 法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{X 1} = 0 \quad \dots \quad (5.3.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{X2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{X3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{X4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1) ~ (3) によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{Xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{Xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{Xt} = \sigma_{X1} - \sigma_{X2} + \sigma_{X3} + \sigma_{X4} \dots\dots (5.3.1.1.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{Xt} = \sigma_{X1} - \sigma_{X2} + \sqrt{\sigma_{X3}^2 + \sigma_{X4}^2} \dots\dots (5.3.1.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots (5.3.1.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad (5.3.1.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_0 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{0t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0c}) \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じ値になるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.21)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.22)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots \quad (5.3.1.1.23)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.24)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} \left(\sigma_{2t} \right), \text{組合せ圧縮応力} \left(\sigma_{2c} \right) \right\} \quad \dots \quad (5.3.1.1.25)$$

とする。

5.3.1.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める（図 5-2 参照）。

以下にその手順を示す。

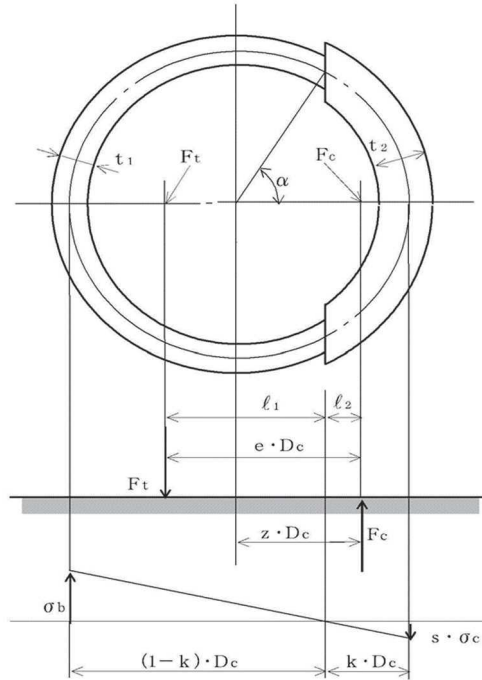


図 5-2 基礎の荷重説明図

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots \dots \dots (5.3.1.2.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k) \quad \dots \dots \dots (5.3.1.2.2)$$

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots (5.3.1.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots (5.3.1.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots (5.3.1.2.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS 法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots (5.3.1.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots (5.3.1.2.10)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g \dots\dots (5.3.1.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.2.3) 式及び (5.3.1.2.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.2.7) 式又は (5.3.1.2.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{b0} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.15)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.2.16)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.2.17)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

(1) 5.3.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の 2 倍以下であれば、疲労解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x_2} + \sigma_{x_3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x_4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \text{ のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \text{ のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

5.4.2 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{t_s} 以下であること。ただし、 f_{t_o} は下表による。

$$f_{t_s} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t_o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_o} \right] \quad \dots\dots (5.4.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{s_b} 以下であること。ただし、 f_{s_b} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{t_o}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{s_b}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

平底たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =				

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ _g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D _c (mm)	D _{b0} (mm)	D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	M _s (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
			(M)			

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

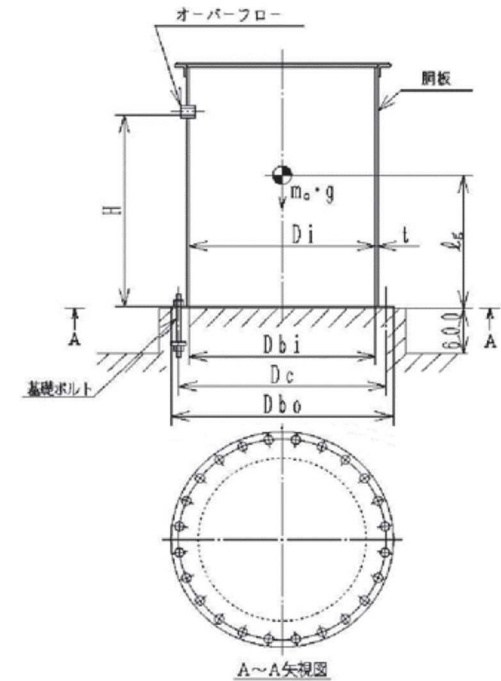
1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般応力

(単位:MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭による応力	σ _{φ1} =	—	—	σ _{φ1} =	—	—	
鉛直方向地震による引張応力	σ _{φ2} =	—	—	σ _{φ2} =	—	—	
空質量による圧縮応力	—	σ _{x2} =	—	—	σ _{x2} =	—	
鉛直方向地震による軸方向応力	—	σ _{x3} =	—	—	σ _{x3} =	—	
水平方向地震による圧縮応力	—	σ _{x4} =	τ=	—	σ _{x4} =	τ=	
応力の和	引張側	σ _φ =	σ _{xt} =	—	σ _φ =	σ _{xt} =	
	圧縮側	σ _φ =	σ _{xc} =	—	σ _φ =	σ _{xc} =	
組合せ応力	引張り	σ _{0t} =			σ _{0t} =		
	圧縮	σ _{0c} =			σ _{0c} =		



(2) 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—
水平方向地震による圧縮応力		—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$			$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$			$\sigma_{2c} =$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
圧縮応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	$\sigma_o =$	$S_a =$	$\sigma_o =$	$S_a =$
		一次十二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

【○○○タンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。

ただし、章番を1.とする。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =				

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ _g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D _c (mm)	D _{b0} (mm)	D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	M _s (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
			(M)		—	—

S _y (銅板) (MPa)	S _u (銅板) (MPa)	S (銅板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

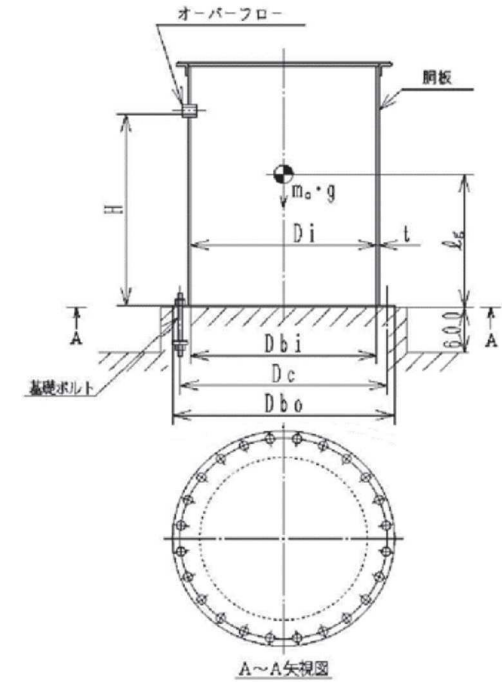
2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位:MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力		—	—	—	σ _{φ1} =	—	—
鉛直方向地震による引張応力		—	—	—	σ _{φ2} =	—	—
空質量による圧縮応力		—	—	—	—	σ _{x2} =	—
鉛直方向地震による軸方向応力		—	—	—	—	σ _{x3} =	—
水平方向地震による圧縮応力		—	—	—	—	σ _{x4} =	τ=
応力の和	引張側	—	—	—	σ _φ =	σ _{xt} =	—
	圧縮側	—	—	—	σ _φ =	σ _{xc} =	—
組合せ応力	引張り	—	—	—	—	σ _{0t} =	—
	圧縮	—	—	—	—	σ _{0c} =	—



(2) 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	—
水平方向地震による圧縮応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2\phi 1} =$	—
	圧縮側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2\phi c} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—			$\sigma_{2\phi 1} =$		
	圧縮	—			$\sigma_{2\phi c} =$		

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b =$
圧縮応力	—	$\tau_b =$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方 向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

2.4.2 応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板		一次一般膜	—	—	$\sigma_o =$	$S_o =$
		一次十二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_o =$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

注記*: $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 設計用地震力	7
4.3 計算方法	7
4.3.1 応力の計算方法	7
4.4 応力の評価	13
4.4.1 ボルトの応力評価	13
5. 機能維持評価	14
5.1 動的機能維持評価方法	14
6. 耐震計算書のフォーマット	14

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横軸ポンプ(耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの)が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

なお、本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する(その場合は、ポンプをブロワ又はファンと読み替える。)。

ただし、本基本方針が適用できない横軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横軸ポンプの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、横軸ポンプの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

横軸ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

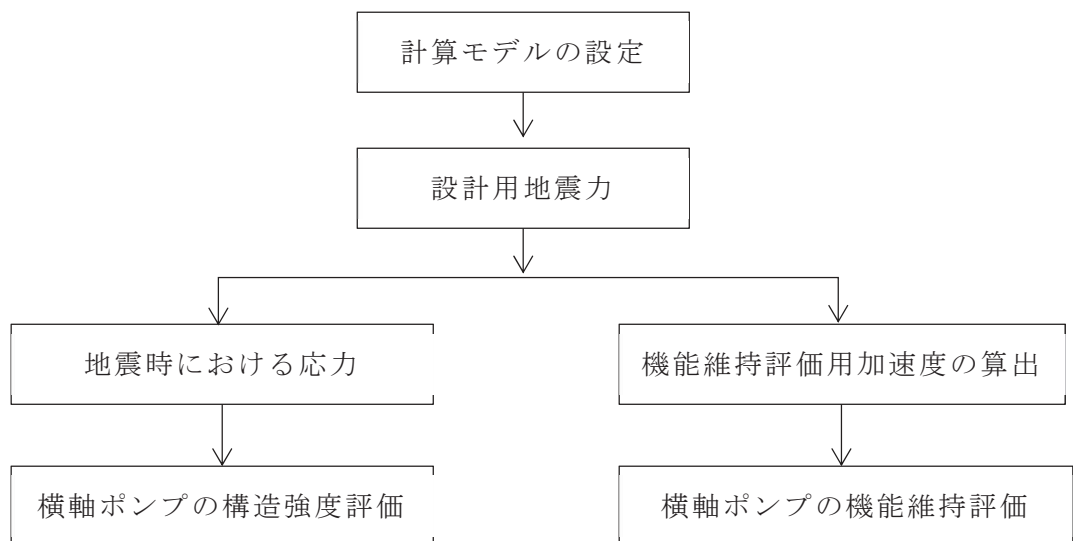


図 2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編
J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)
(以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本当たり)* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量* ²	kg
N	回転速度(原動機の同期回転速度)	rpm
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ポンプ取付ボルト

$i = 3$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$: 減速機取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$: 減速機取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

(1) 横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

(2) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(3) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。

(5) 転倒方向は図 4-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。

(6) 設計用地震力は添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

なお、横軸ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。

(7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

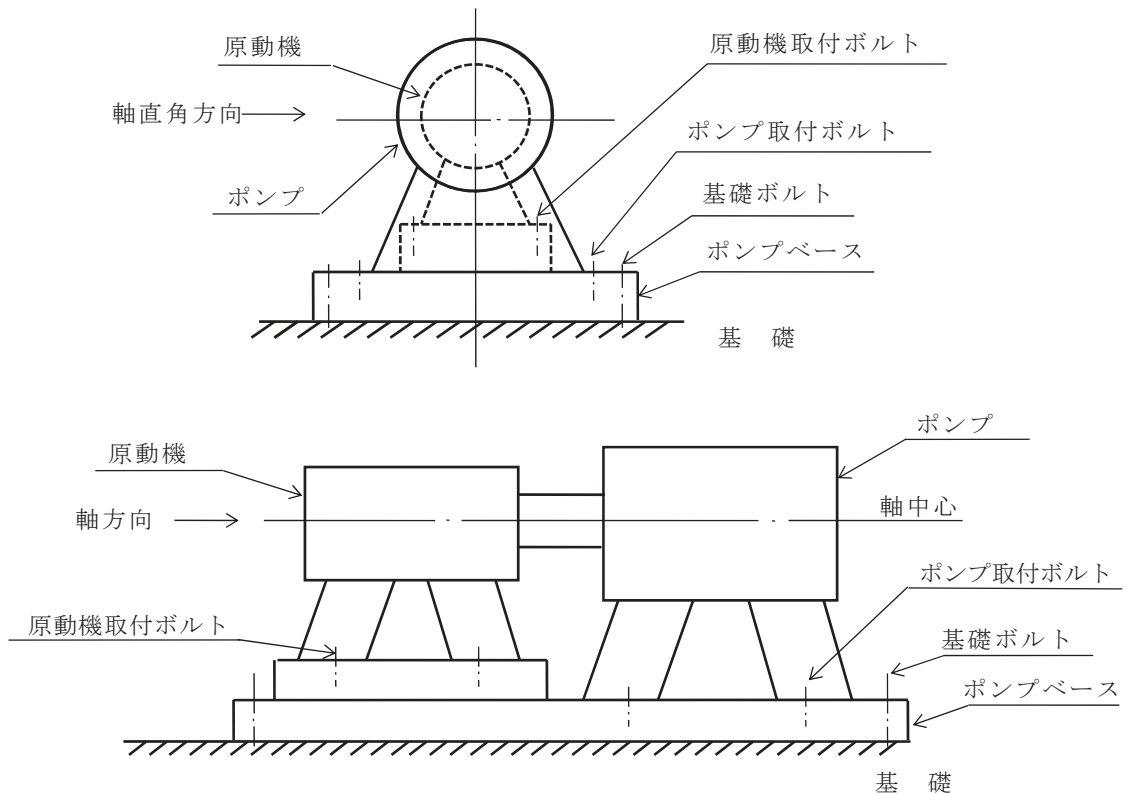


図 4-1 概要図

4.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

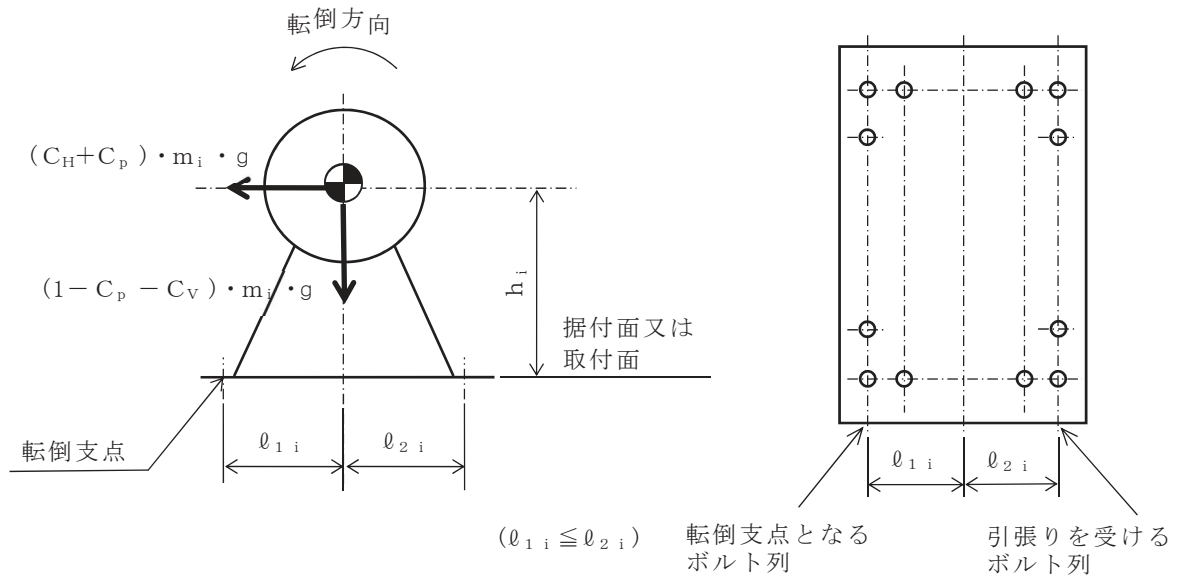


図 4-2(1) 計算モデル

(軸直角方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

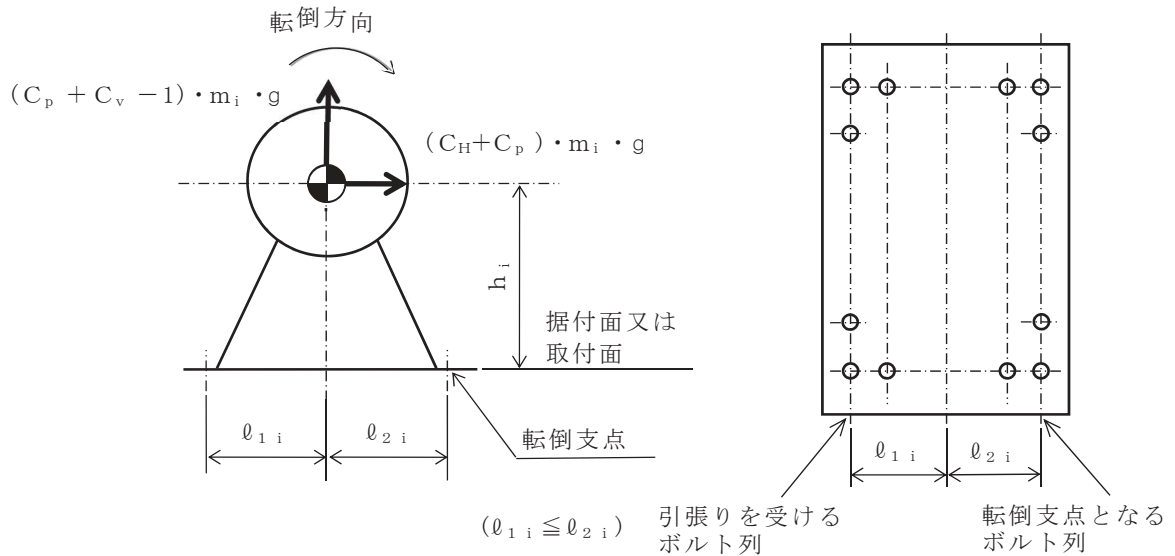


図 4-2(2) 計算モデル

(軸直角方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

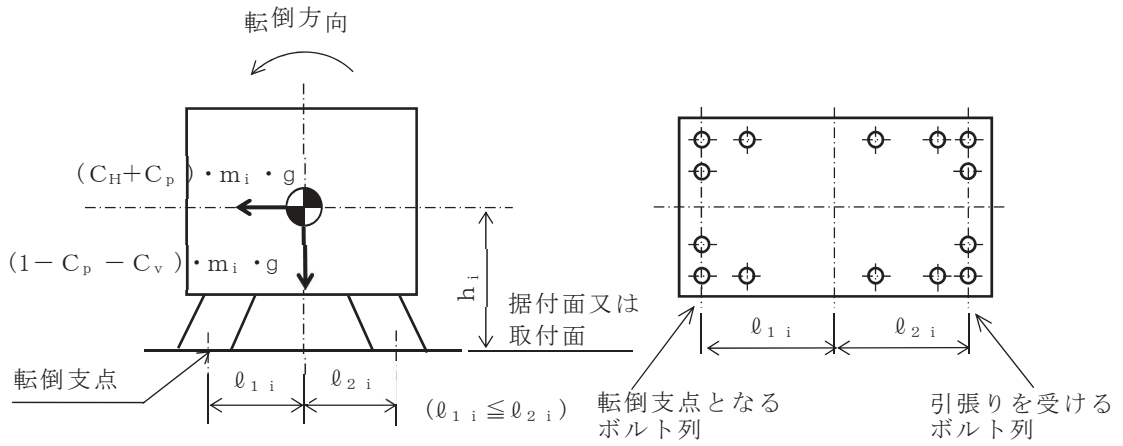


図 4-3(1) 計算モデル

(軸方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

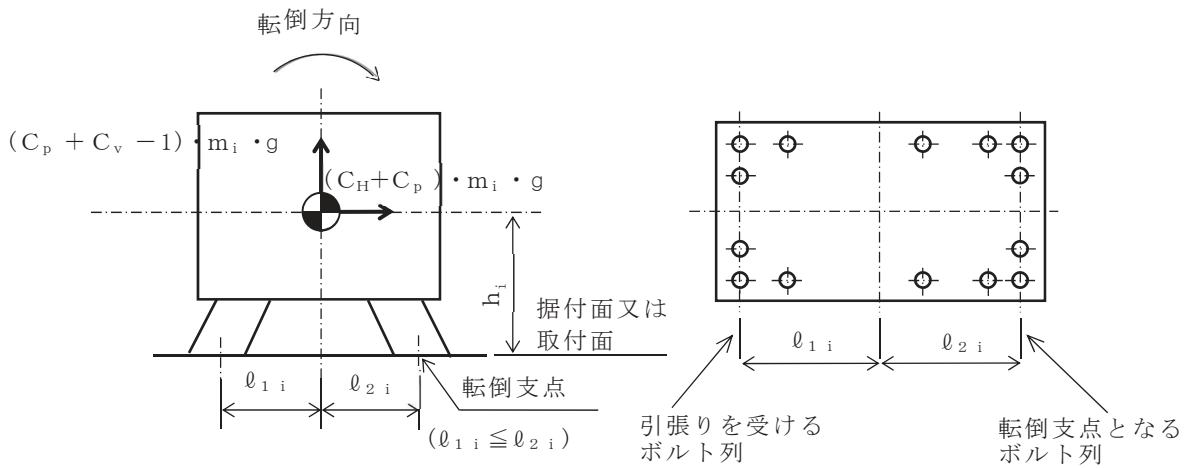


図 4-3(2) 計算モデル

(軸方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

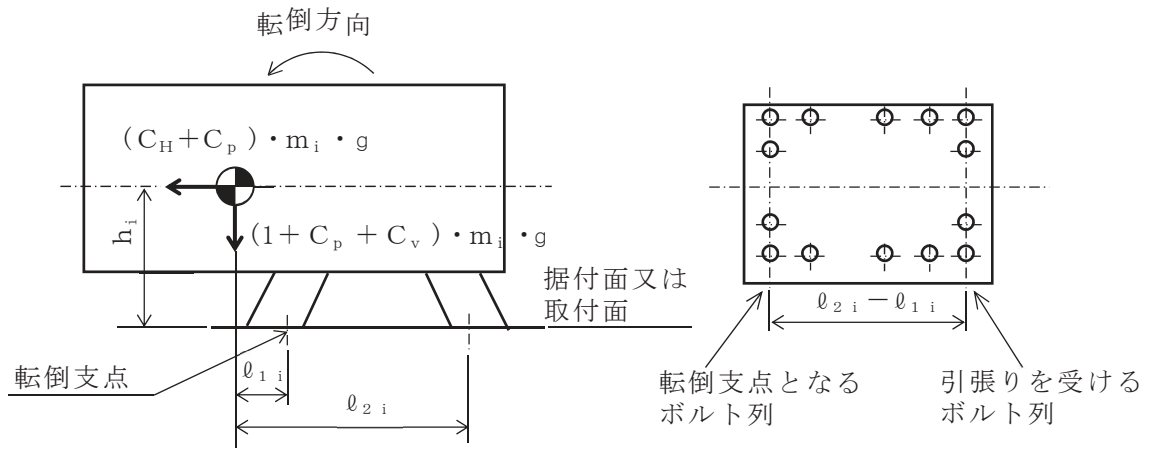


図 4-3(3) 計算モデル

(軸方向転倒-3 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

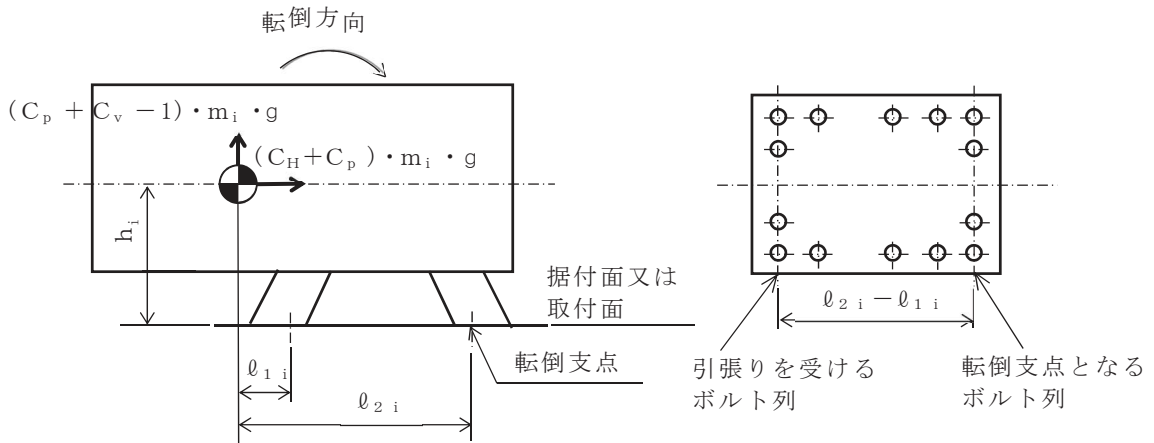


図 4-3(4) 計算モデル

(軸方向転倒-4 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト ($i=1$) 及び計算モデル図 4-3 の場合のボルト ($i=1\sim 4$) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

計算モデル図 4-2(1) 及び 4-3(1) の場合の引張力

【絶対値和】

$$\begin{aligned}
 F_{b\ i} &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot \ell_{1\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \\
 &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{1\ i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{1\ i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{1\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \\
 &\dots\dots\dots (4.3.1.1.1)
 \end{aligned}$$

【SRSS法】

$$\begin{aligned}
 F_{b\ i} &= \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot \ell_{1\ i})^2} + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{1\ i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{1\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \\
 &\dots\dots\dots (4.3.1.1.2)
 \end{aligned}$$

計算モデル図 4-2(2) 及び 4-3(2) の場合の引張力

【絶対値和】

$$\begin{aligned}
 F_{b\ i} &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot \ell_{2\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \\
 &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{2\ i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{2\ i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\ell_{1\ i} + \ell_{2\ i})} \\
 &\dots\dots\dots (4.3.1.1.3)
 \end{aligned}$$

【SRSS法】

$$\begin{aligned}
 F_{bi} &= \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_V \cdot \ell_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \\
 &\dots\dots\dots(4.3.1.1.4)
 \end{aligned}$$

計算モデル図 4-3(3) の場合の引張力

【絶対値和】

$$\begin{aligned}
 F_{bi} &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (1 + C_p + C_V) \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \\
 &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_V \cdot \ell_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \\
 &\dots\dots\dots(4.3.1.1.5)
 \end{aligned}$$

【SRSS法】

$$\begin{aligned}
 F_{bi} &= \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_V \cdot \ell_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \\
 &\dots\dots\dots(4.3.1.1.6)
 \end{aligned}$$

計算モデル図 4-3(4) の場合の引張力

【絶対値和】

$$\begin{aligned}
 F_{bi} &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (C_p + C_V - 1) \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \\
 &= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_V \cdot \ell_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \\
 &\dots\dots\dots(4.3.1.1.7)
 \end{aligned}$$

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_V \cdot \ell_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \dots\dots\dots (4.3.1.1.8)$$

ここで、ポンプ回転速度により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.9)$$

(1kW = 10⁶N・mm/s)

ただし、ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合、ポンプ及び減速機取付ボルト(i=2及び4)における(4.3.1.1.9)式中のNはポンプ回転速度とする。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.10)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.12)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (4.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.14)$$

4.4 応力の評価

4.4.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s i}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t o i}$ は下表による。

$$f_{t s i} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i} \right] \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b i}$ 以下であること。

ただし、 $f_{s b i}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの 場合
許容引張応力 $f_{t o i}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお、この適用形式を外れる場合は、加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

横軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *1	—*2	—*2	C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	C _p =		

注記 *1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *3 (mm)	ℓ _{2i} *3 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *3
基礎ボルト (i=1)					(M)			
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)			
原動機取付ボルト (i=3)					(M)			
減速機取付ボルト (i=4)					(M)			

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	*2	*2					
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1					
原動機取付ボルト (i=3)	*2	*2					
減速機取付ボルト (i=4)	*2	*2					

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

*3 : 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位: N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				
減速機取付ボルト (i=4)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$ *
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$ *
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$ *	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$ *
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$ *	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$ *
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

【フォーマットII 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 O.P. *1	—*2	—*2	—	—	C _H =	C _V =	C _p =		

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *3 (mm)	ℓ _{2i} *3 (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *3
基礎ボルト (i=1)					(M)			
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M)			
原動機取付ボルト (i=3)					(M)			
減速機取付ボルト (i=4)					(M)			

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	*2	*2	—		—		
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1	—		—		
原動機取付ボルト (i=3)	*2	*2	—		—		
減速機取付ボルト (i=4)	*2	*2	—		—		

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	
減速機取付ボルト (i=4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

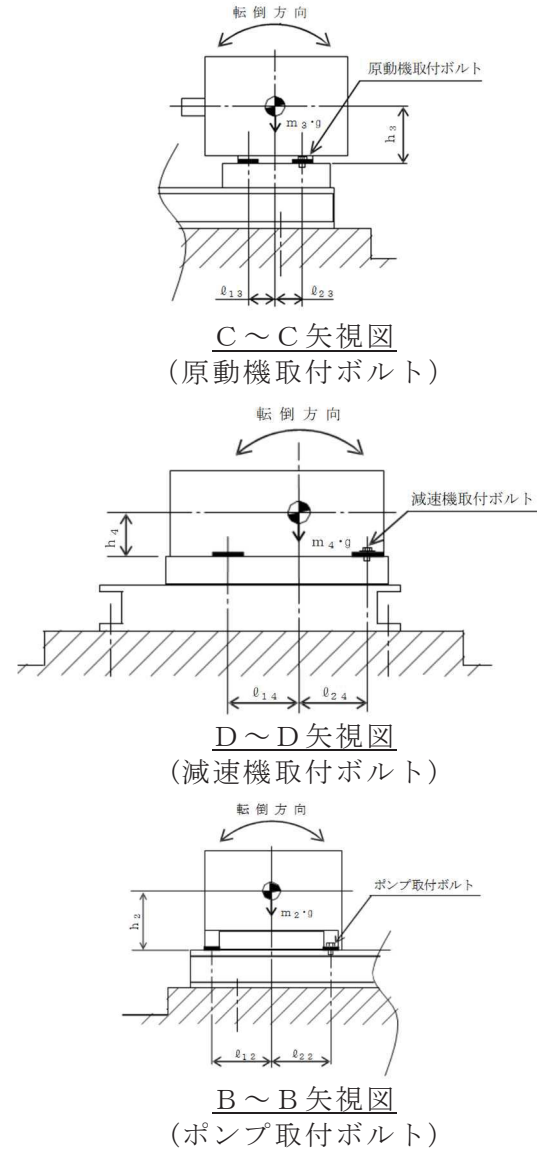
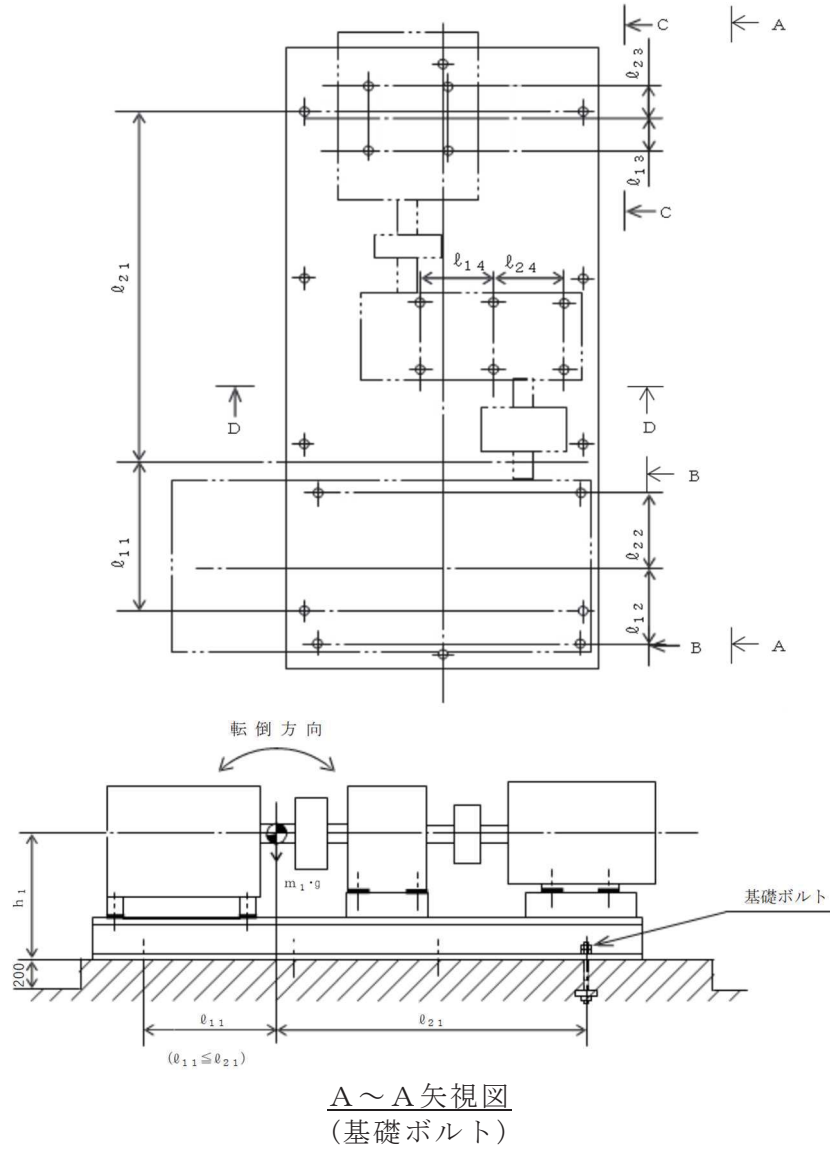
注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	5
4.	固有値解析及び構造強度評価	6
4.1	固有値解析及び構造強度評価方法	6
4.2	固有周期	7
4.3	設計用地震力	7
4.4	計算方法	7
4.4.1	応力の計算方法	7
4.5	応力の評価	10
4.5.1	ボルトの応力評価	10
4.5.2	バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価	11
5.	機能維持評価	11
5.1	動的機能維持評価方法	11
6.	耐震計算書のフォーマット	11

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.2 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 固有値解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

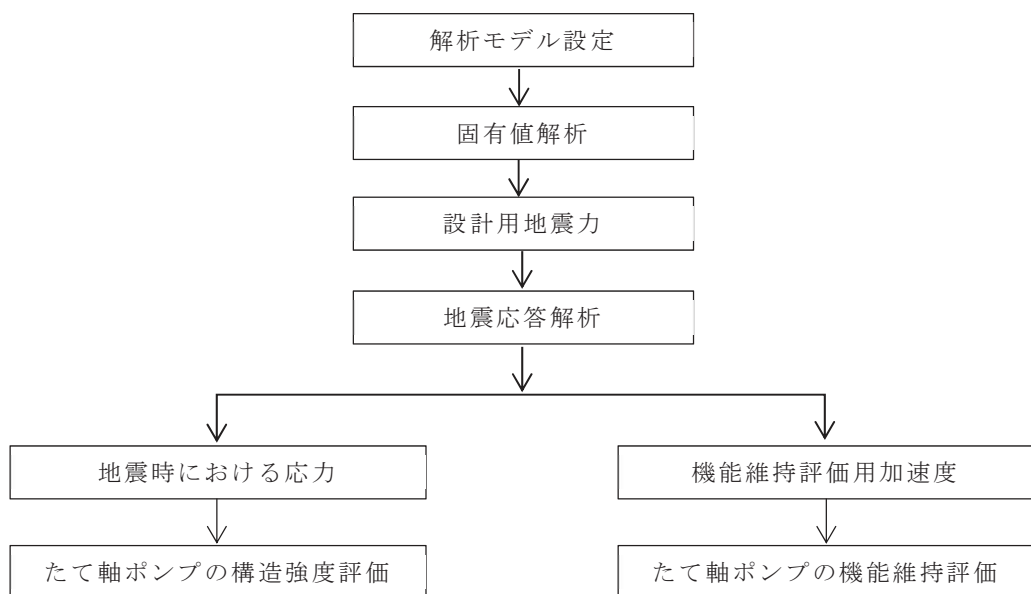


図 2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編
J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会 2005/2007)
(以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{b i}$	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_C	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_C	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D_i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* ¹	MPa
$F_{b i}$	ボルトに作用する引張力(1本当たり)* ¹	N
$f_{s b i}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
$f_{t o i}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
$f_{t s i}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
H_p	予想最大両振幅	μm
M	図4-2計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M_i	図4-2計算モデルの㊷, ㊸, ㊹及び㊺を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* ²	N・mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m_i	運転時質量* ³	kg
N	回転速度(原動機の同期回転速度)	rpm
n_i	ボルトの本数* ¹	—
$n_{f i}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	原動機出力	kW
P_C	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
$Q_{b i}$	図4-2計算モデルの㊷, ㊸, ㊹及び㊺における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S_u, S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_y, S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
T_i	固有周期* ⁴	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
σ_{CH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{CV}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{zp}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta p}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: $A_{bi}, D_i, d_i, F_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{t oi}, f_{t si}, n_i, n_{fi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, S_{yi}(RT), \sigma_{bi}$, 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 基礎ボルト
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機台取付ボルト
- $i = 4$: 原動機取付ボルト

*2: M_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: ①
- $i = 2$: ②
- $i = 3$: ③
- $i = 4$: ④

*3: m_i の添字 i の意味は以下のとおりとする。

- $i = 1$: 据付面
- $i = 2$: ポンプ取付面
- $i = 3$: 原動機台取付面

$i = 4$: 原動機取付面

*4 : T_i の添字 i の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

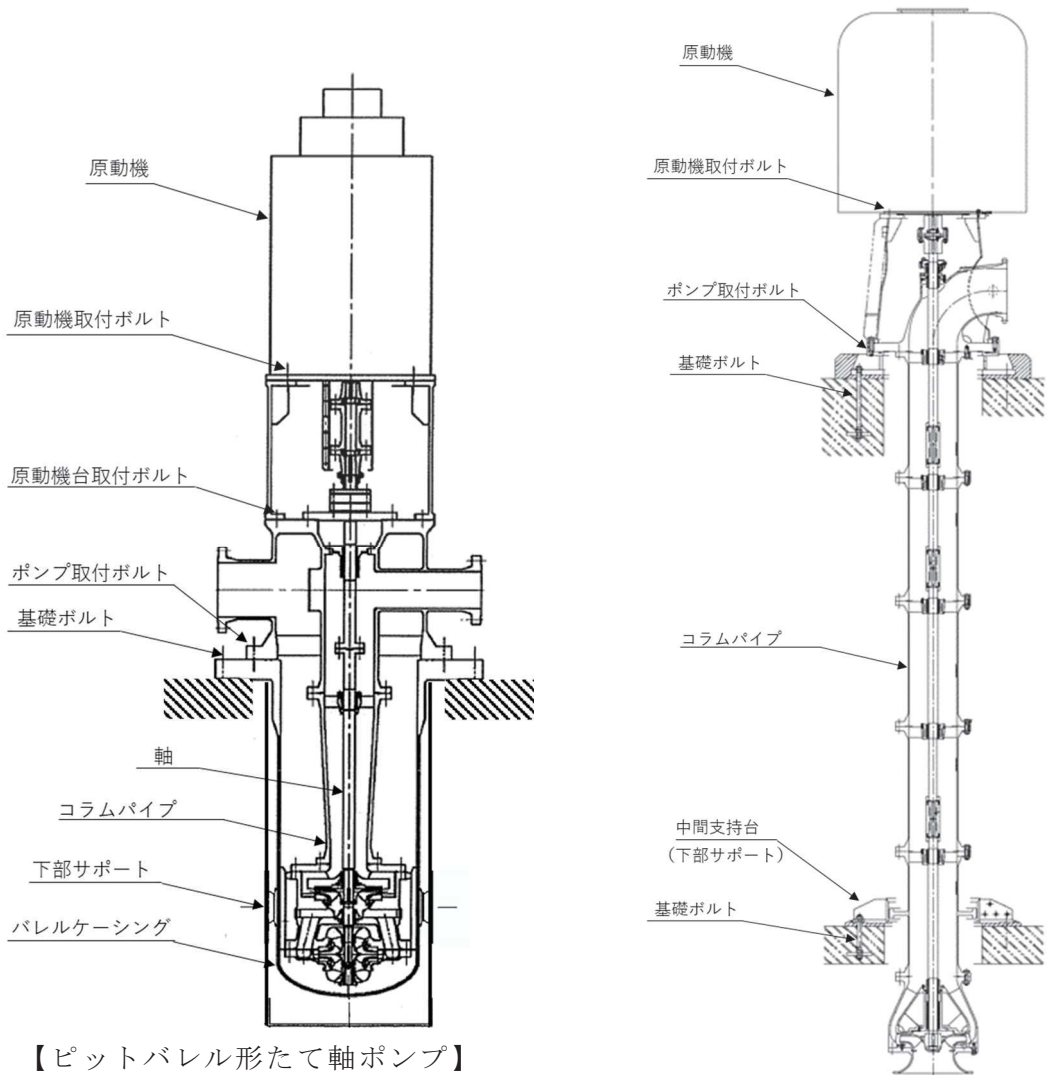
たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。また、海水ポンプのように、コラムパイプ端部を支持部で水平方向の支持をする場合には、支持部取付用基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有値解析及び構造強度評価

4.1 固有値解析及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有値解析及び構造評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- (2) ポンプは原動機も含めて多質点モデルにてモデル化し，軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては，原動機，ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし，水平方向の地震力を受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



【ピットバレル形たて軸ポンプ】

【ターボ形たて軸ポンプ（海水ポンプ）】

図 4-1 概要図

4.2 固有周期

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

4.3 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 ボルトの計算方法

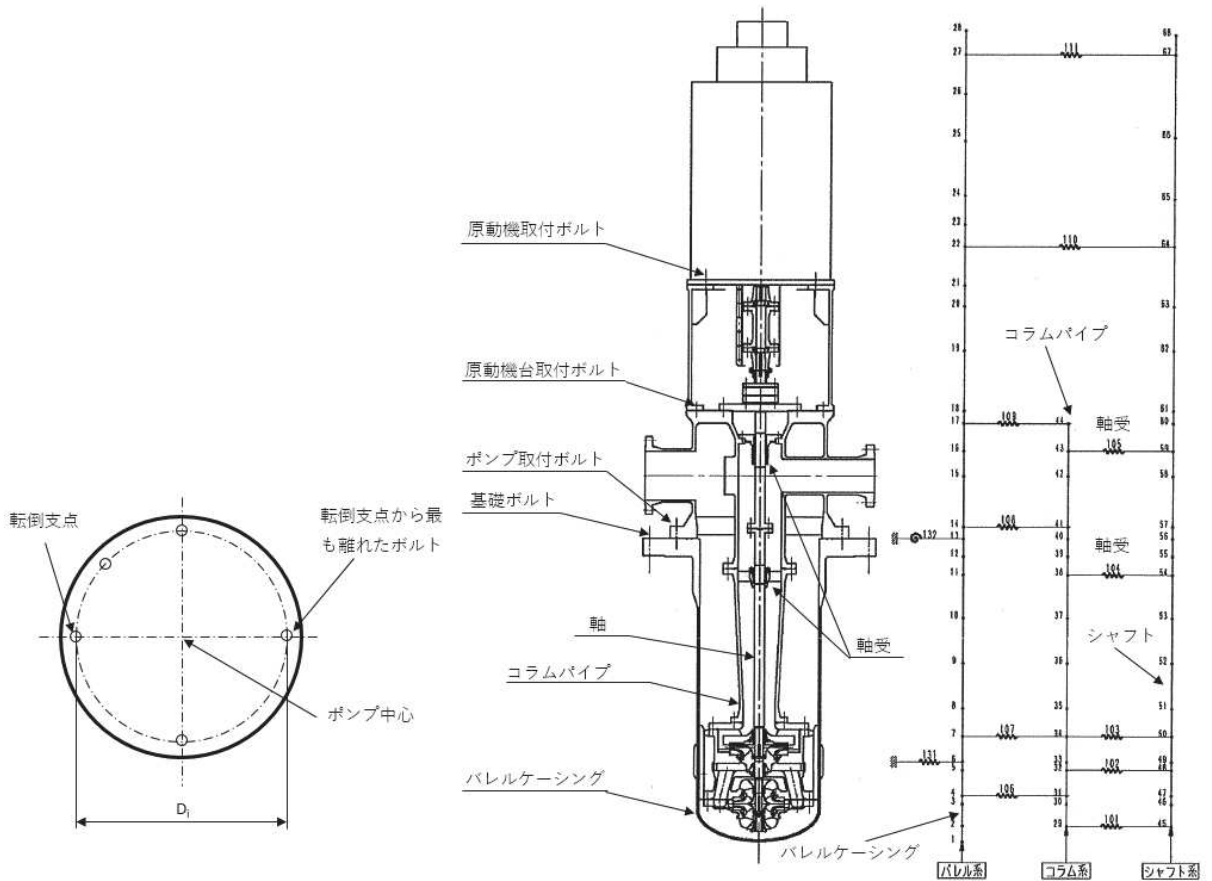


図 4-2 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度、ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお、転倒モーメント及びせん断力は、解析コードを用いた地震応答解析により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{b i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.4.1.1.1)$$

ここで、 M_i は解析コードを用いた地震応答解析より求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.4.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.4.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

なお、基礎ボルト($i = 1$)については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は解析コードを用いた地震応答解析により求める $Q_{b i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b i}} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転速度により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.6)$$

(1kW = 10⁶N·mm/s)

4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max}(\sigma_{cH} + \sigma_{cV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.5 応力の評価

4.5.1 ボルトの応力評価

4.4.1.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 $f_{t si}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t oi}$ は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi} \right] \dots\dots\dots (4.5.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s bi}$ 以下であること。

ただし、 $f_{s bi}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.4.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお、この適用形式を外れる場合は、加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマット II 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマット II 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマット II を使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸入側	吐出側
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	C _p =				

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i =1)			(M)					*2	*2		
ポンプ取付ボルト (i =2)			(M)					*1	*1		
原動機台取付ボルト (i =3)			(M)					*1	*1		
原動機取付ボルト (i =4)			(M)					*2	*2		

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*	*	*		
コラムパイプ	*	*	*		

注記*：最高使用温度で算出

12

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

部 材	M	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		
2次		

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機台取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	$\sigma =$	$S a =$
		基準地震動S _s	$\sigma =$	$S a =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	$\sigma =$	$S a =$
		基準地震動S _s	$\sigma =$	$S a =$

すべて許容応力以下である。

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度を設定する。
機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						

【フォーマットII 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸入側	吐出側
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =	C _p =				

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)					*2	*2	—	
ポンプ取付ボルト (i=2)			(M)					*1	*1	—	
原動機台取付ボルト (i=3)			(M)					*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=4)			(M)					*2	*2	—	

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _C (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*	*	*		
コラムパイプ	*	*	*		

注記*：最高使用温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (rpm)
H _p =	N =

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=3)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—		—		—	

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		
2次		

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
			基礎ボルト (i=1)	引張り	—	—
	せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	
ポンプ取付ボルト (i=2)	引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	
	せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	
原動機台取付ボルト (i=3)	引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	
	せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	
原動機取付ボルト (i=4)	引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	
	せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部 材	材 料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動S _s	$\sigma =$	$S a =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動S _s	$\sigma =$	$S a =$

すべて許容応力以下である。

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.4 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記* : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度を設定する。
機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				

(3) ばね結合部の指定

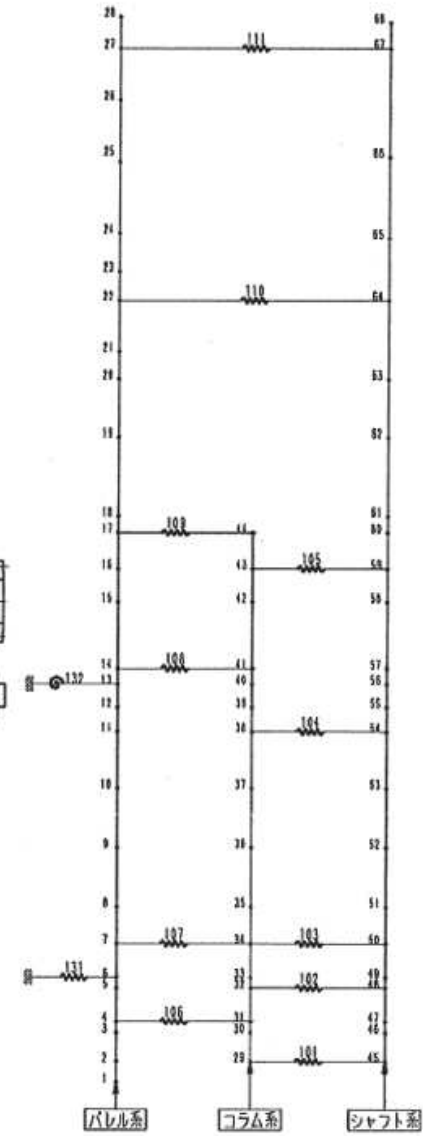
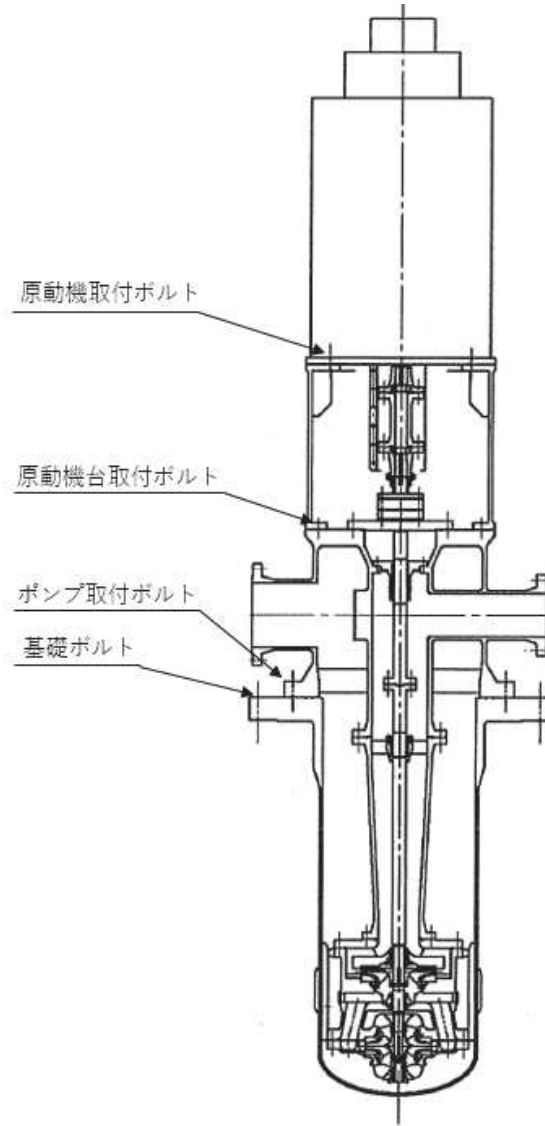
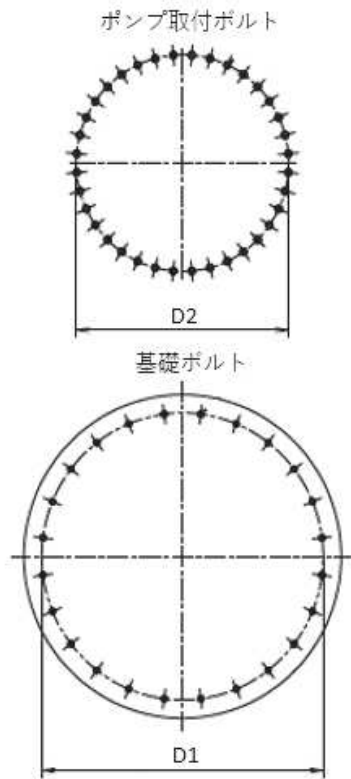
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量(kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度(°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						



VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	6
4.	固有周期	6
4.1	固有周期の計算方法	6
5.	構造強度評価	7
5.1	構造強度評価方法	7
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3	設計用地震力	10
5.4	計算方法	11
5.5	応力の評価	12
6.	機能維持評価	13
6.1	動的機能維持評価方法	13
7.	耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている管(耐震重要度分類Sクラス又はS_s機能維持の計算を行うもの)、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁が十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

2. 一般事項

2.1 評価方針

管及び管に取り付く支持構造物の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、管に取り付く弁の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

管、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

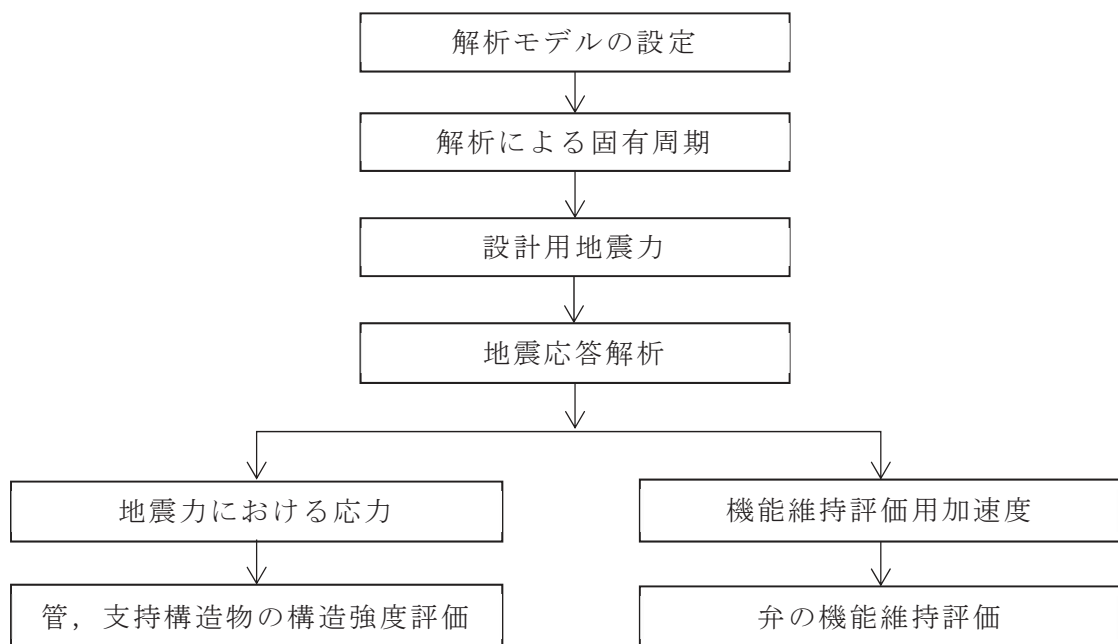


図 2-1 管、管に取り付く支持構造物及び管に取り付く弁の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・
補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下
「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	定義	単位
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）	—
$C_2, C_{2b},$ C_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
i_1	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値	—
i_2	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値	—
$K_2, K_{2b},$ K_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）	—
M_a	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N・mm
M_b	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
M_b^*	地震による慣性力により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{bp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm
M_{bs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_c	耐震性についての計算：地震による相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{ip}	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm
M_{is}	耐震性についての計算：管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{rp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N・mm

記号	定義	単位
M_{rs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	繰返し荷重 i に対し、設計・建設規格 PPB-3534 に従って算出された許容繰返し回数	回
P	耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S_h	使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次＋二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
$S_{pr m}$	一次応力	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定する材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
Z, Z_i	管の断面係数	mm ³
Z_b	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数	mm ³
Z_r	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数	mm ³
ε_e	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、弾性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値 $\varepsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$: 弾性解析によるミーゼス相当応力	—
ε_{ep}	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力－ひずみ関係として、降伏応力を S_m の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値 $\varepsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\varepsilon}_p$ $\bar{\sigma}$: 弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\varepsilon}_p$: 弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点第 3 位	四捨五入	小数点第 2 位 ^{*1}
	温度	℃	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	厚さ	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	方向余弦	—	小数点第 5 位	四捨五入	小数点第 4 位
	許容応力 ^{*2}	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
減衰定数	%	—	—	小数点第 1 位	
解析結果 及び評価	固有周期	s	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	震度	—	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
	刺激係数	—	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	計算応力	MPa	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容応力 ^{*2}	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	計算荷重	kN	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容荷重	kN	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	疲労累積係数	—	小数点第 5 位	切上げ	小数点第 4 位
	機能維持評価用 加速度	×9.8m/s ²	小数点第 2 位	切上げ	小数点第 1 位
	機能確認済加速度	×9.8m/s ²	—	—	小数点第 1 位

注記*1：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

管の耐震評価については、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき一次応力評価、一次＋二次応力評価及び疲労評価を実施する。

管に取り付く支持構造物の耐震評価については、添付書類「VI-2-1-12 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、種類及び型式に区分して評価を実施する。

管に取り付く弁の耐震評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、動的機能維持要求弁に対する動的機能維持評価を実施し、計算により求めた機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

管の固有周期の計算は3次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は3次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッパ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ：6方向の剛性を考慮する。
 - d. ガイド：拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮するものとする。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 管の構造強度評価は、「4.1 固有周期の計算方法」に基づき作成した解析モデルによる地震応答解析を行い、得られたモーメント等から「5.4 計算方法」に記載した方法で構造強度評価を実施する。配管系の動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。評価に当たっては、以下の荷重を考慮する。

- a. 内圧
- b. 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
- c. 機械的荷重（逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重）
- d. 地震荷重（基準地震動 S_s ，弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度による慣性力及び相対変位）

(2) 管に取り付く支持構造物の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-12 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、以下に示す種類及び型式に区分して評価を実施する。

- a. オイルスナッパ
- b. メカニカルスナッパ
- c. ロッドレストレイント
- d. スプリングハンガ
- e. コンスタントハンガ
- f. レストレイント
- g. アンカ

上記の支持構造物のうち、a.～e.については、添付書類「VI-2-1-12 配管及び支持構造物の耐震計算について」において、種別及び型式単位に設定した許容荷重に対する応力評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認していることから、荷重確認による評価を実施し、計算荷重が許容荷重以下であることを確認する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

耐震性についての計算において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を表 5-1～表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設分類 ^{*1}	設備	管クラス	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態
設計基準対象施設	原子炉格納容器 バウンダリ	クラス 1 管 クラス 2 管	$I_L + S d$	III_{AS}
			$II_L + S d$	
			$IV_L(L) + S d$ ^{*3}	
			$I_L + S s$	IV_{AS}
			$II_L + S s$	
	$IV_L(L) + S d$ ^{*4, *5}			
	上記を除く設備	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 火力技術基準適用の管	$I_L + S d$	III_{AS}
			$II_L + S d$	
			$IV_L(L) + S d$ ^{*3}	
			$I_L + S s$	IV_{AS}
$II_L + S s$				
$IV_L(L) + S d$ ^{*4, *5}				
重大事故等対処設備	原子炉冷却材圧力 バウンダリ	重大事故等クラス 2 管	— ^{*7}	— ^{*7}
	原子炉格納容器 バウンダリ	重大事故等クラス 2 管	$V_L(L) + S d$ ^{*6}	V_{AS}
			$V_L(LL) + S s$	
上記を除く設備	重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 火力技術基準適用の管	$V_L + S s$	V_{AS}	

注記*1：設計基準対象施設と重大事故等対処設備の兼用範囲は設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の荷重の組合せを考慮する。

*2：運転状態の添字 L は荷重，(L) は荷重が長期間作用している状態，(LL) は (L) より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*3：ECCS 等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）のみにおいて考慮する。

*4：ECCS 等（非常用炉心冷却系及びそれに関連する系統）以外において考慮する。

*5：クラス 1 管においてのみ考慮する。

*6：荷重の組合せ $V_L(L) + S d$ は $V_L(LL) + S s$ に包絡される場合，評価を省略する。

*7：原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲は重大事故等発生時の使用条件が設計条件（圧力・温度等）を超える時間が短期（ 10^{-2} 年未満）であるため，運転状態 V において S d 又は S s 地震力との組合せは考慮不要である。

表 5-2 許容応力（クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次 +ピーク応力
Ⅲ _{AS}	$1.5 S_m^{*2}$	$2.25 S_m$ ただし、ねじりによる応力が $0.55 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $1.8 S_m$ とする。	$3 S_m^{*3}$ S _d 又は S _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	S _d 又は S _s 地震動のみによる疲労累積係数と運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
Ⅳ _{AS} V _{AS} ^{*1}	$2 S_m^{*2}$	$3 S_m$ ただし、ねじりによる応力が $0.73 S_m$ を超える場合は、曲げとねじりによる応力について $2.4 S_m$ とする。		

注記*1：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態Ⅳ_{AS} の許容限界を使用し、許容応力状態Ⅳ_{AS} として評価を実施する。

*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_{AS} の一次一般膜応力の許容値 ($1.5 S_m$) の 0.8 倍の値とする。

*3： $3 S_m$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300(同 PVB-3313 を除く) 又は PPB-3536(1), (2), (4) 及び(5) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-3 許容応力（「クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管」を除く管で耐震重要度分類 S クラス及び S_s 機能維持対象）

許容応力状態	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
Ⅲ _{AS}	Min($S_y, 0.6 S_u$)* ² ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S_h$ としてもよい。	S _d 又は S _s 地震動のみによる疲労解析を行い疲労累積係数が 1.0 以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要である。* ³	
Ⅳ _{AS} V _{AS} * ¹	$0.6 S_u$ * ²	$0.9 S_u$		

注記*1：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態Ⅳ_{AS} の許容限界を使用し、許容応力状態Ⅳ_{AS} として評価を実施する。

*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_{AS} の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*3： $2 S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、 S_m は $2/3 S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

5.3 設計用地震力

設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

なお、設計用床応答曲線は配管系の重心レベルの上階又は下階のいずれか大きい方の設計用床応答曲線を適用する。若しくは、配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を適用する。

5.4 計算方法

(1) クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管

a. 一次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2 b} \cdot M_{b p} / Z_b + B_{2 r} \cdot M_{r p} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{i p} / Z_i$$

b. 一次+二次応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_n = C_{2 b} \cdot M_{b s} / Z_b + C_{2 r} \cdot M_{r s} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_n = C_2 \cdot M_{i s} / Z_i$$

c. ピーク応力

(a) 管台及び突合せ溶接式テ ィ ー

$$S_p = K_{2 b} \cdot C_{2 b} \cdot M_{b s} / Z_b + K_{2 r} \cdot C_{2 r} \cdot M_{r s} / Z_r$$

(b) (a) 以外の管

$$S_p = K_2 \cdot C_2 \cdot M_{i s} / Z_i$$

d. 繰返しピーク応力強さ

$$S_{\ell} = K_e \cdot S_p / 2$$

K_e : 次の計算式により計算した値

イ. $S_n < 3 \cdot S_m$ の場合

$$K_e = 1$$

ロ. $S_n \geq 3 \cdot S_m$ 場合

(イ) $K < B_0$ の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$$

$$ii. S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q + A_0 / K - 1)$$

$$- \sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$$

(ロ) $K \geq B_0$ の場合

$$i. S_n / (3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1/K) + 1 - a$$

ii. $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}] / a$ の場合
 $K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n)$

ここで,

$$K = S_p / S_n,$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A_0, B_0 : 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	B ₀
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

$S_n \geq 3 \cdot S_m$ の場合, 5.4(1)d. 口. に関わらず, 次の計算式により計算した値を用いてもよい。

$$K_e = \varepsilon_{ep} / \varepsilon_e$$

e. 疲労累積係数

$$\Sigma (n_i / N_i) \leq 1.0$$

(2) (1)を除く管

a. 一次応力

$$S_{prm} = P \cdot D_o / 4 \cdot t + 0.75 i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z$$

b. 一次+二次応力

$$S_n = (0.75 i_1 \cdot M_b^* + i_2 \cdot M_c) / Z$$

5.5 応力の評価

5.4項で求めた応力及び疲労累積係数が5.2項に示す許容値以下であることを確認する。

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

管の地震応答解析から得られた弁の機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

なお、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は構造強度評価を実施し、計算応力が許容応力以下であることを確認する。

7. 耐震計算書のフォーマット

耐震計算書は、設計基準対象施設の耐震計算書と重大事故等対処設備の耐震計算書とに分けて作成し、それぞれ以下の項目を記載する。

(1) 概要

本基本方針及び添付書類「VI-2-1-12 配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、管、支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示す旨を記載する。なお、支持構造物は強度計算及び耐震性についての計算の基本式が同一であることから、強度計算を耐震性についての計算に含めて実施している旨を記載する。

また、評価結果の記載方法は以下とする旨を記載する。

a. 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

b. 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に支持点荷重が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

c. 弁

評価結果を記載する対象弁は、工認主要弁かつ動的機能維持要求弁とし、機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。


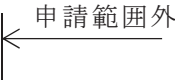
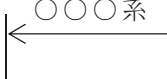
(2) 概略系統図及び鳥瞰図



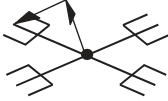
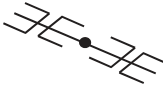

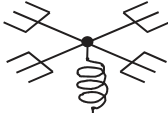
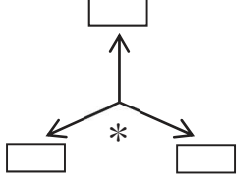
a. 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b. 鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。鳥瞰図に示す記号例を下表に示す。

記号例	内容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管

記号例	内容
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □内に変位量を記載する。)

(3) 計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-1～耐-7 に示す。

(4) 解析結果及び評価

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 耐-8～耐-13 に示す。

・FORMAT 耐-1 :

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類*2	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*3, 4	許容応力 状態*5

注記*1 : D B は設計基準対象施設, S A は重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設/防止(拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張), 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設/緩和(拡張)」は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)を示す。

*3 : 運転状態の添字 L は荷重, (L) は荷重が長期間作用している状態, (LL) は(L) より更に長期的荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

・FORMAT 耐-2 :

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図番号

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要 度分類	縦弾性係数 (MPa)

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥瞰図番号

管名称	対応する評価点

・FORMAT 耐-3 :

配管の質量 (付加質量含む)

鳥瞰図番号

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)

• FORMAT 耐-4 :

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)

弁部の寸法を下表に示す。

弁 No	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1				

• FORMAT 耐-5 :

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z

• FORMAT 耐-6 :

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h

・FORMAT 耐-7：

設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)

・FORMAT 耐-8：

固有周期及び設計震度

鳥瞰図番号

適用する地震動等		S _d 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ¹		応答鉛直 震度* ¹	応答水平震度* ¹		応答鉛直 震度* ¹
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
...							
8 次							
n 次							
n+1 次* ²		—	—	—	—	—	—
動的震度* ³							
静的震度* ⁴					—	—	—

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が 0.050s 未満であることを示す。

*3：S_d 又は S_s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4：3.6C_I 及び 1.2C_v より定めた震度を示す。

• FORMAT 耐-9 :

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図番号

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
...				
8 次				
n 次				

注記* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

• FORMAT 耐-10-1 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 1 管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労 評価
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	疲労累積係数 U+U S s
					$S_{p r m}(S d)$	$2.25 S_m$	$S_t(S d)$	$0.55 S_m$	$S_n(S s)$	$3 S_m$	
鳥瞰図 番号	III ΔS			$S_{p r m}(S d)$	Max	$2.25 S_m$	—	—	—	—	—
	III ΔS			$S_t(S d)$	—	—	Max	$0.55 S_m$	—	—	—
	IV ΔS			$S_{p r m}(S s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	IV ΔS			$S_t(S s)$	—	—	Max *	$0.73 S_m$	—	—	—
	IV ΔS			$S_n(S s)$	—	—	—	—	Max **	$3 S_m$	U+U S s
	IV ΔS			U+U S s	—	—	—	—	—	—	Max

* 印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

** 印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が 1 以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態Ⅲ_AS のとき $0.55 S_m$ ，又は許容応力状態Ⅳ_AS のとき $0.73 S_m$ を超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図番号

評価点	一次応力評価 (MPa)			
	ねじり応力	許容応力	曲げとねじり応力	許容応力
	$S_t(S_d)$	$0.55 S_m$	$S_t + S_b(S_d)$	$1.8 S_m$
$S_t(S_s)$	$0.73 S_m$	$S_t + S_b(S_s)$	$2.4 S_m$	
Max	$0.55 S_m$	Max	$1.8 S_m$	
Max *	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$	

• FORMAT 耐-10-2 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{prm}(S_d)$	S_y^*	$S_n(S_s)$	$2 S_y$	U S s
$S_{prm}(S_s)$	$0.9 S_u$	—	—	—	—			
鳥瞰図 番号	Ⅲ _A S		$S_{prm}(S_d)$	Max	S_y^*	—	—	—
	Ⅳ _A S		$S_{prm}(S_s)$	Max	$0.9 S_u$	—	—	—
	Ⅳ _A S		$S_n(S_s)$	—	—	Max	$2 S_y$	U S s

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方とする。

・FORMAT 耐-10-3 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス1管

鳥瞰図	許容 応力 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)				一次+二次応力評価 (MPa)		疲労 評価
					一次応力	許容応力	ねじり 応力	許容 応力	一次+二次 応力	許容 応力	疲労累積係数 U+U S s
					$S_{p r m}(S s)$	$3 S_m$	$S_t(S s)$	$0.73 S_m$	$S_n(S s)$	$3 S_m$	
鳥瞰図 番号	V _A S			$S_{p r m}(S s)$	Max	$3 S_m$	—	—	—	—	—
	V _A S			$S_t(S s)$	—	—	Max *	$0.73 S_m$	—	—	—
	V _A S			$S_n(S s)$	—	—	—	—	Max **	$3 S_m$	U+U S s
	V _A S			U+U S s	—	—	—	—	—	—	Max

* 印はねじりによる最大応力発生点において応力が許容応力を超えていることを示し、次頁に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

** 印は一次+二次応力が許容応力を超えていることを示し、簡易弾塑性解析を行い疲労評価の結果疲労累積係数が1以下であり許容値を満足している。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態V_ASのとき0.73S_mを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

評価点	一次応力評価(MPa)			
	ねじり応力 $S_t(S s)$	許容応力 $0.73 S_m$	曲げとねじり応力 $S_t + S_b(S s)$	許容応力 $2.4 S_m$
	Max *	$0.73 S_m$	Max	$2.4 S_m$

• FORMAT 耐-10-4 :

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{pr m}(S_s)$	$0.9S_u$	$S_n(S_s)$	$2S_y$	
鳥瞰図	$V_A S$		$S_{pr m}(S_s)$	Max	$0.9S_u$	—	—	—
番号	$V_A S$		$S_n(S_s)$	—	—	Max	$2S_y$	$U S_s$

• FORMAT 耐-11 :

支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
	メカニカルスナップ		VI-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算に ついて」参照			
	オイルスナップ					
	ロッドレストレイント					
	スプリングハンガ					
	コンスタントハンガ					

支持構造物評価結果(応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z			
	レストレイント												
	アンカ												

・FORMAT 耐-12 :

弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力

・FORMAT 耐-13-1 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス*範囲)

No	配管 モデル	許容応力状態 III _s					許容応力状態 IV _s												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力				疲労評価			
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表

・FORMAT 耐-13-2 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス*範囲）

No	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表

VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	5
3.	評価部位	5
4.	固有周期	5
5.	構造強度評価	6
5.1	構造強度評価方法	6
5.2	設計用地震力	7
5.3	計算方法	7
5.3.1	応力の計算方法	7
5.4	応力の評価	16
5.4.1	ボルトの応力評価	16
6.	機能維持評価	17
6.1	電氣的機能維持評価方法	17
7.	耐震計算書のフォーマット	17
7.1	直立形盤の耐震計算書のフォーマット	17
7.2	壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット	17

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている盤(耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの)が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない盤にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

盤の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、盤の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

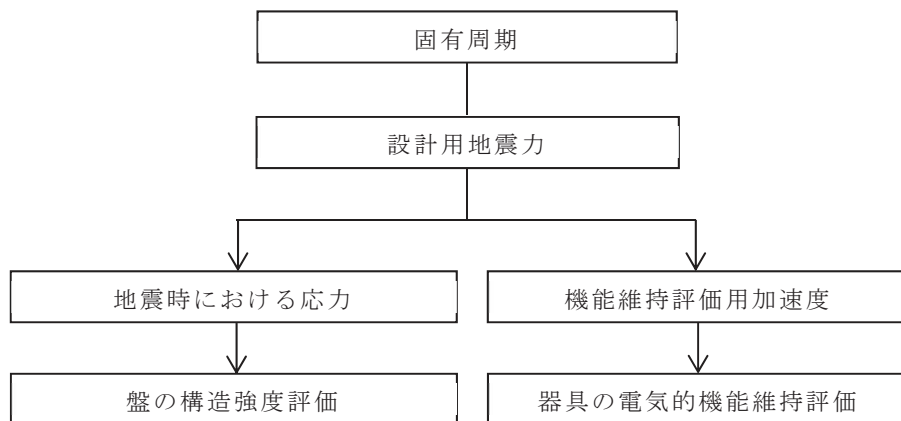


図 2-1 盤の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編
J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会 2005/2007)
(以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本当たり)* ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本当たり)(壁掛形)* ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本当たり)(壁掛形)* ¹	N
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離(直立形)* ^{1, *3}	mm
l_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)* ¹	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離(直立形)* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)* ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離(壁掛形)* ¹	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(直立形)* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ (鉛直方向)(壁掛形)	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ (水平方向)(壁掛形)	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} ,
 $f_{t si}$, l_{1i} , l_{2i} , l_{3i} , n_i , n_{fi} , n_{fVi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} ,
 Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下
のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

盤の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

盤の固有周期は、振動試験(加振試験又は打振試験)にて求める。なお、振動試験により固有周期が求められていない盤については、構造が同様な盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) チャンネルベースは基礎ボルト又は埋込金物で基礎と固定されており、固定端とする。
- (5) 床面据付の盤の転倒方向は、図 5-1 概要図(直立形)における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。壁掛形の盤については、図 5-2 概要図(壁掛形)における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (6) 盤の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

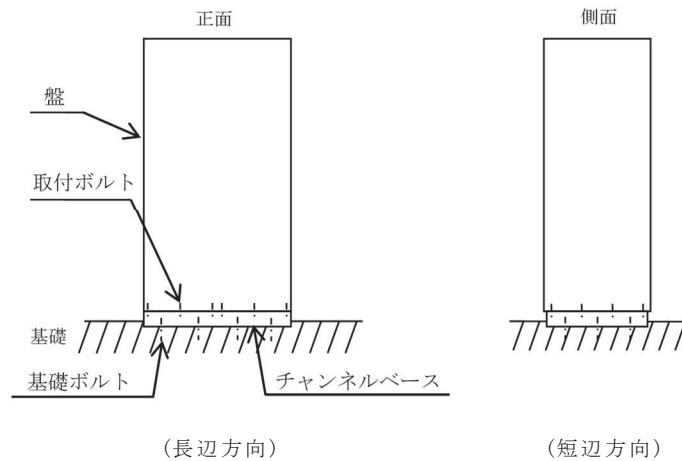


図 5-1 概要図(直立形)

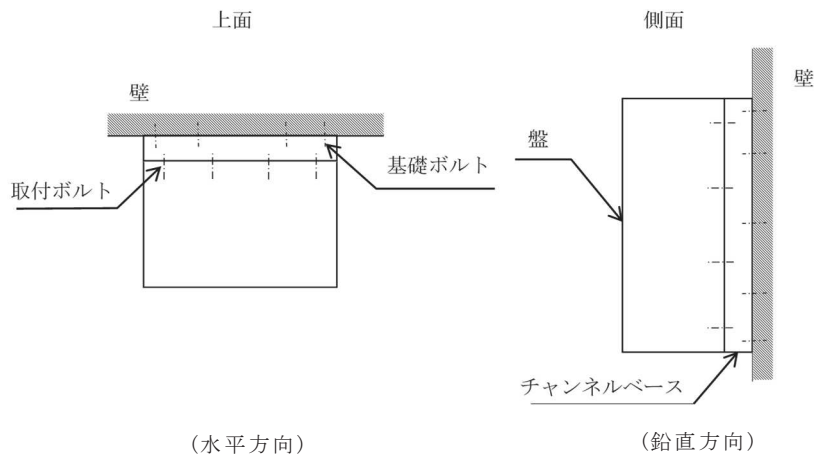


図 5-2 概要図(壁掛形)

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお、壁掛形の盤の設計用地震力については、設置床上下階のいずれか大きい方を用いる。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルは、取付ボルトの場合を示す。

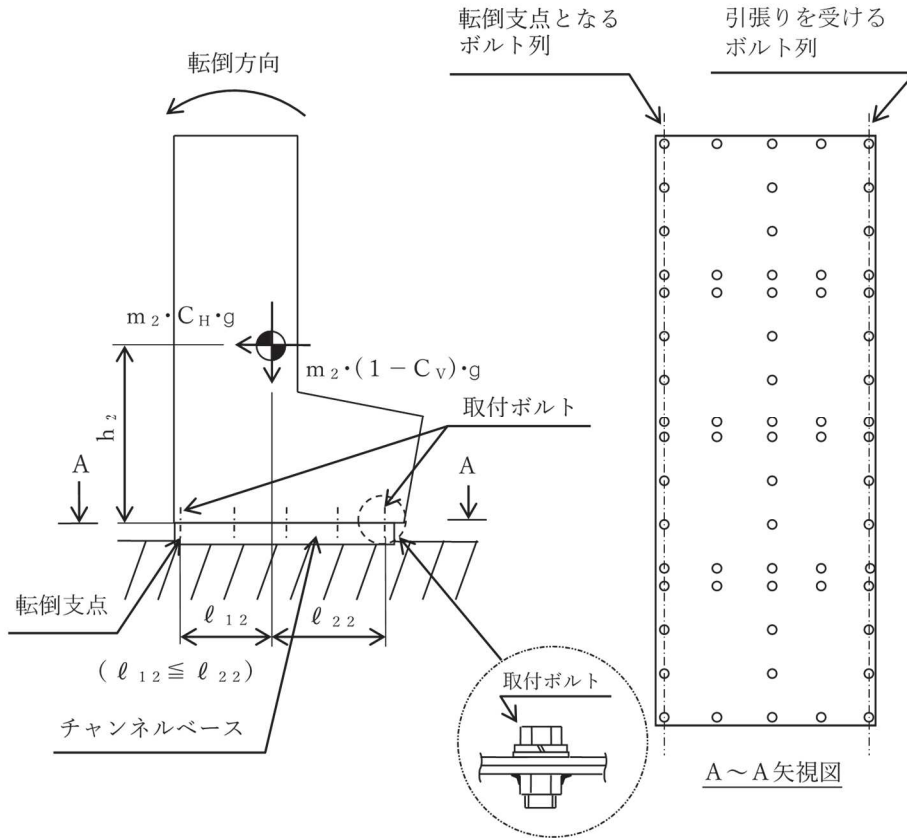


図 5-3(1) 計算モデル
(ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

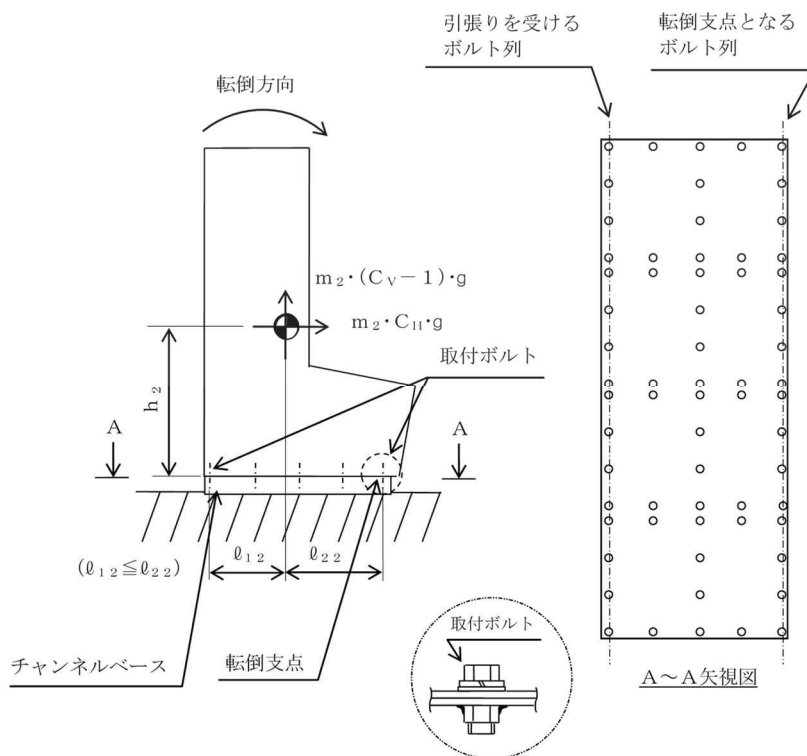


図 5-3(2) 計算モデル
 (ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

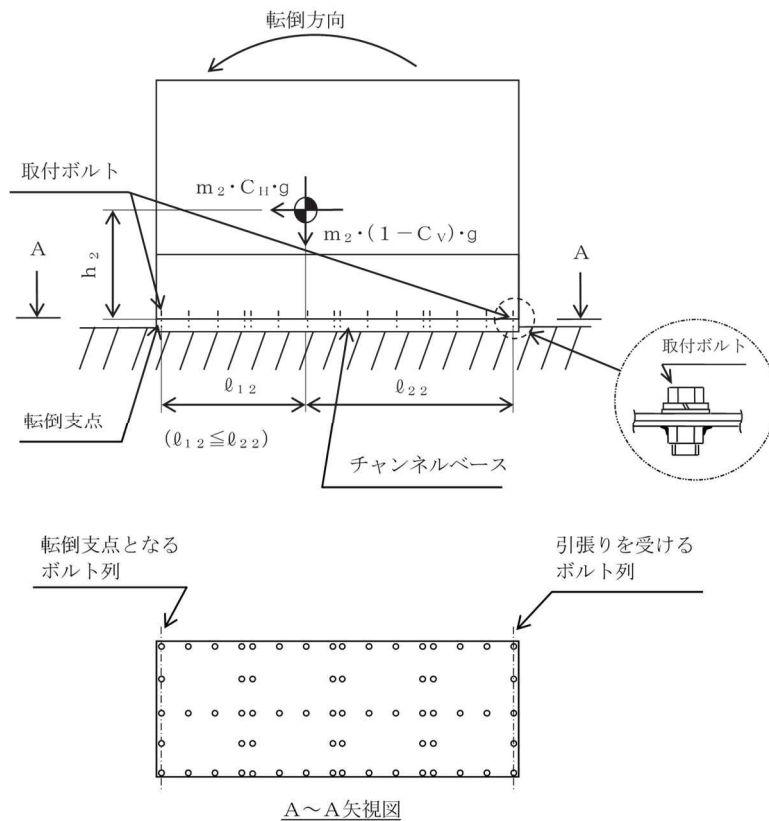


図 5-3(3) 計算モデル
 (ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

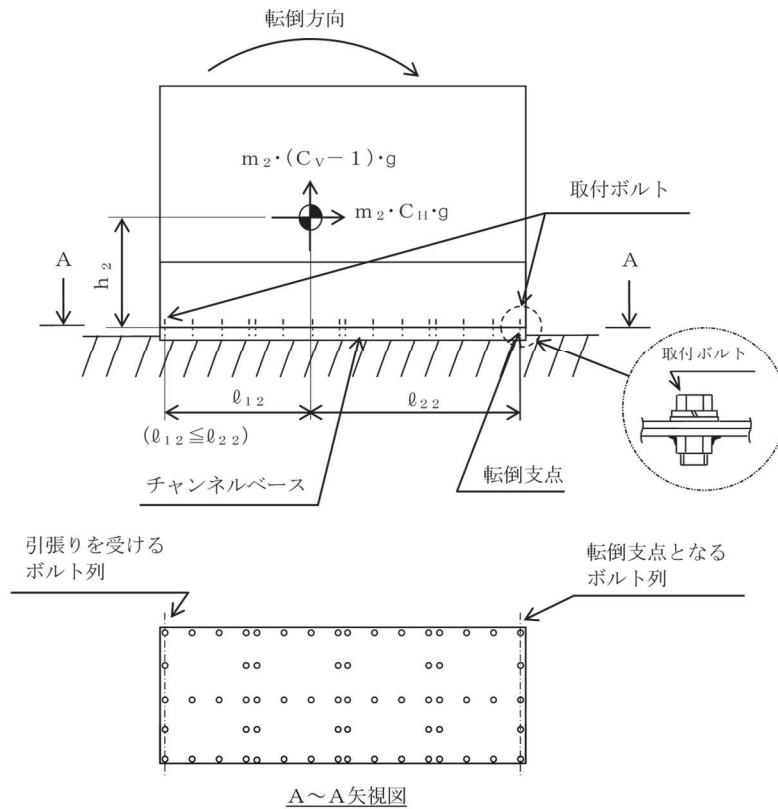


図 5-3(4) 計算モデル
 (ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

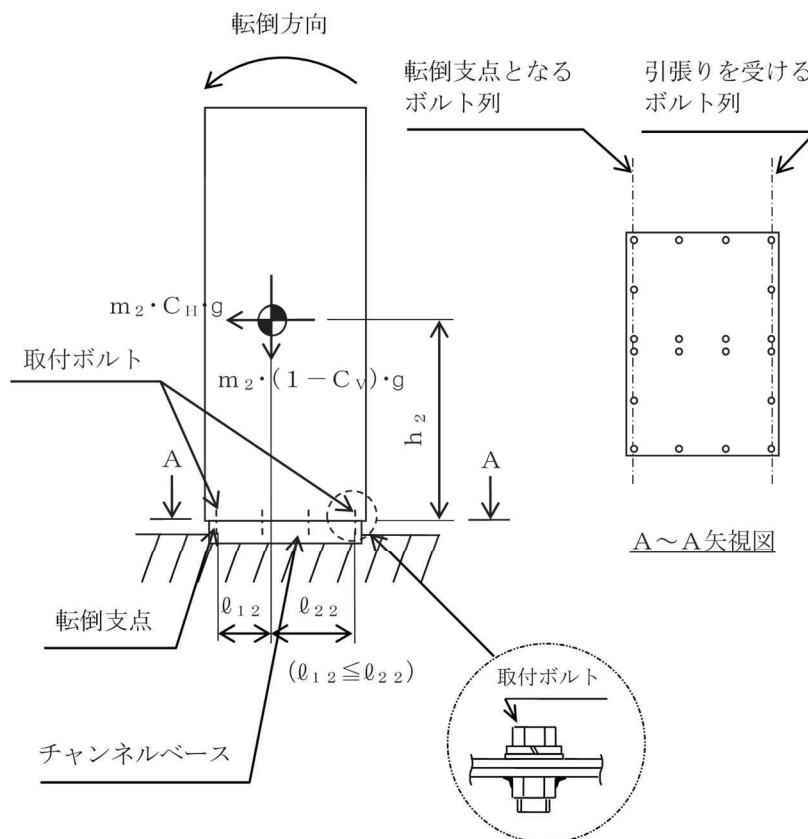


図 5-4(1) 計算モデル
 (直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

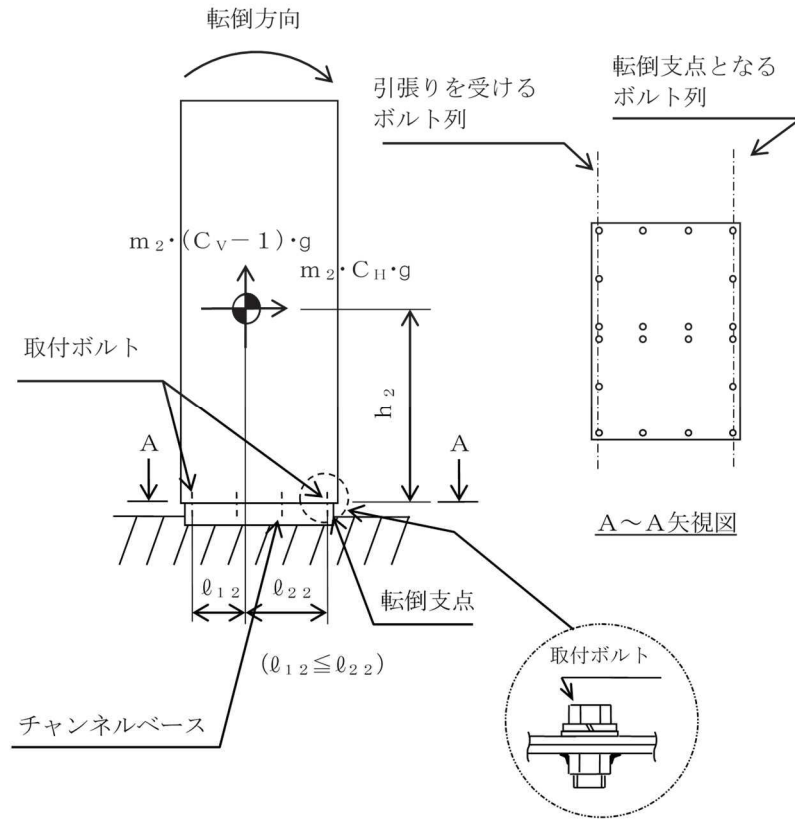


図 5-4(2) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

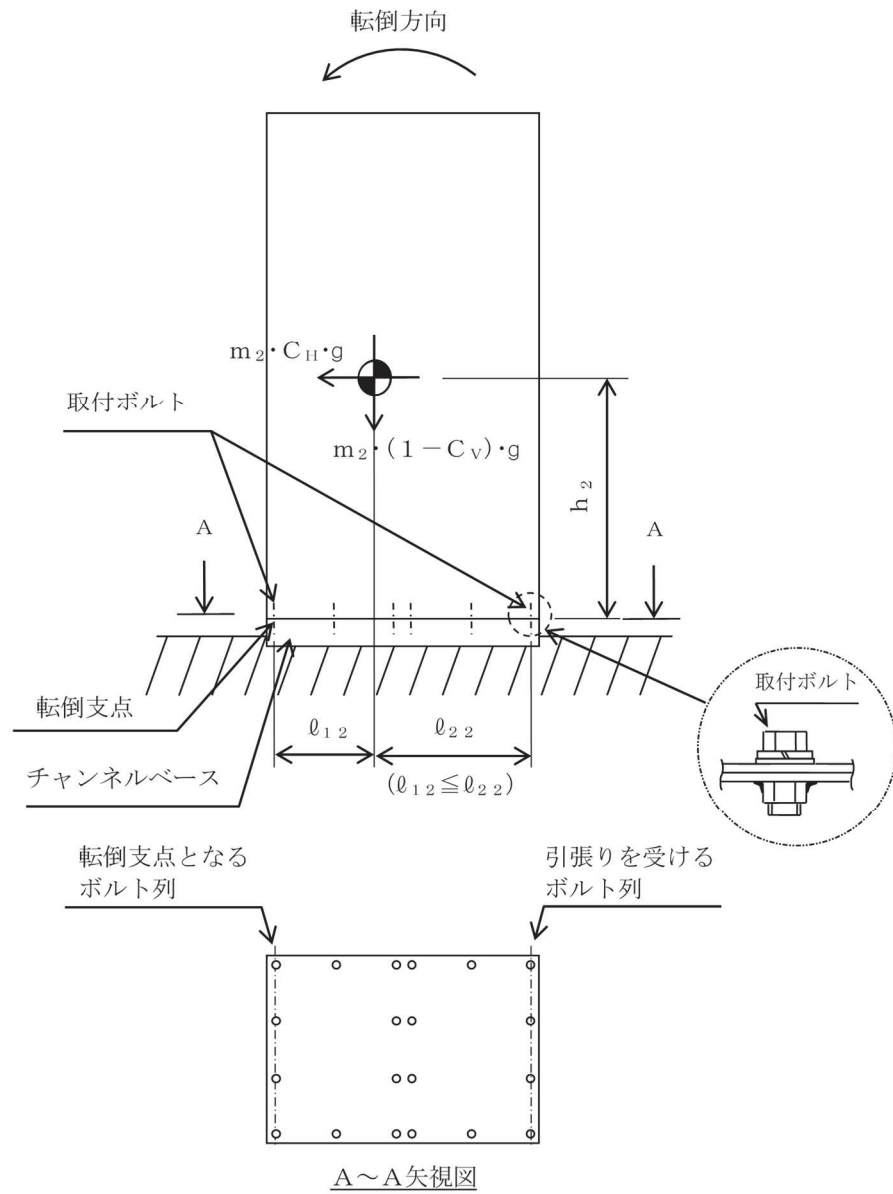


図 5-4(3) 計算モデル
 (直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

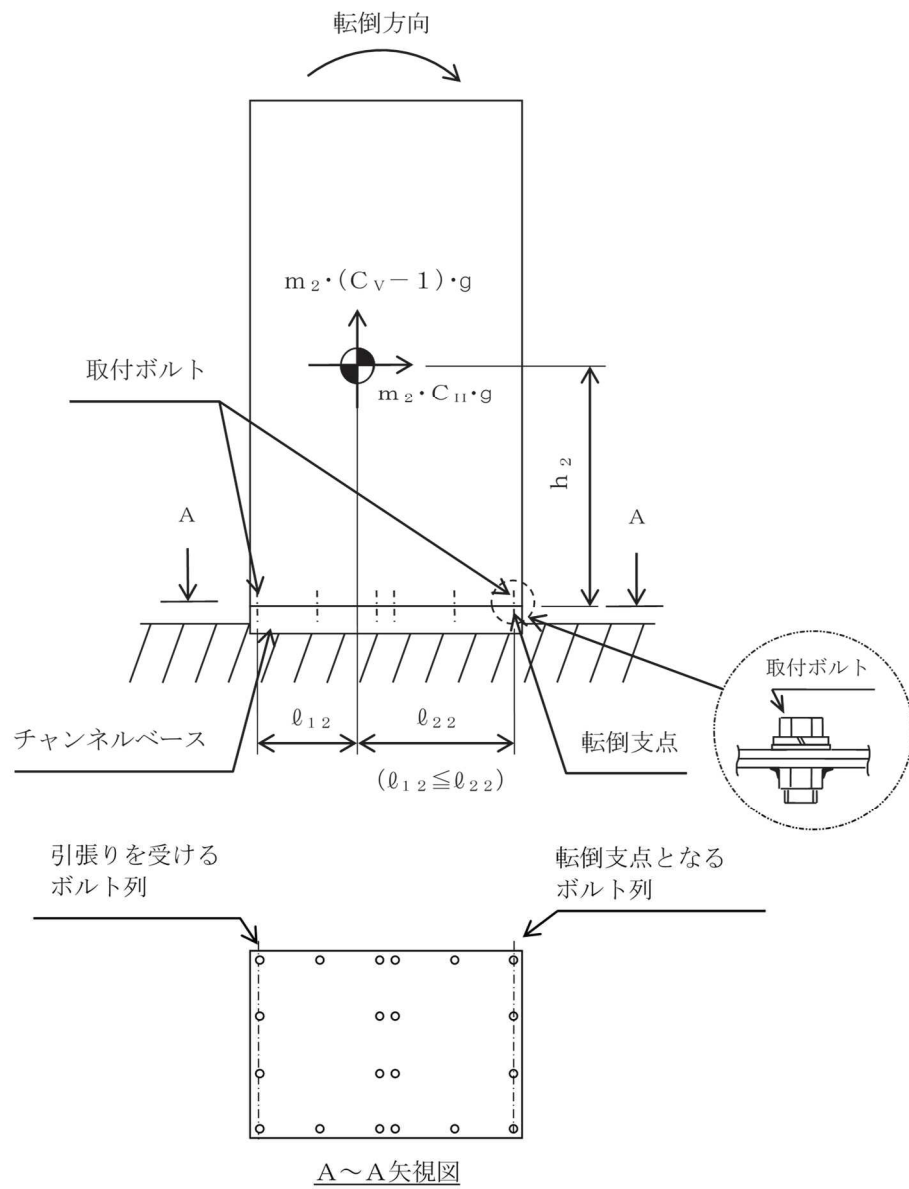


図 5-4(4) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

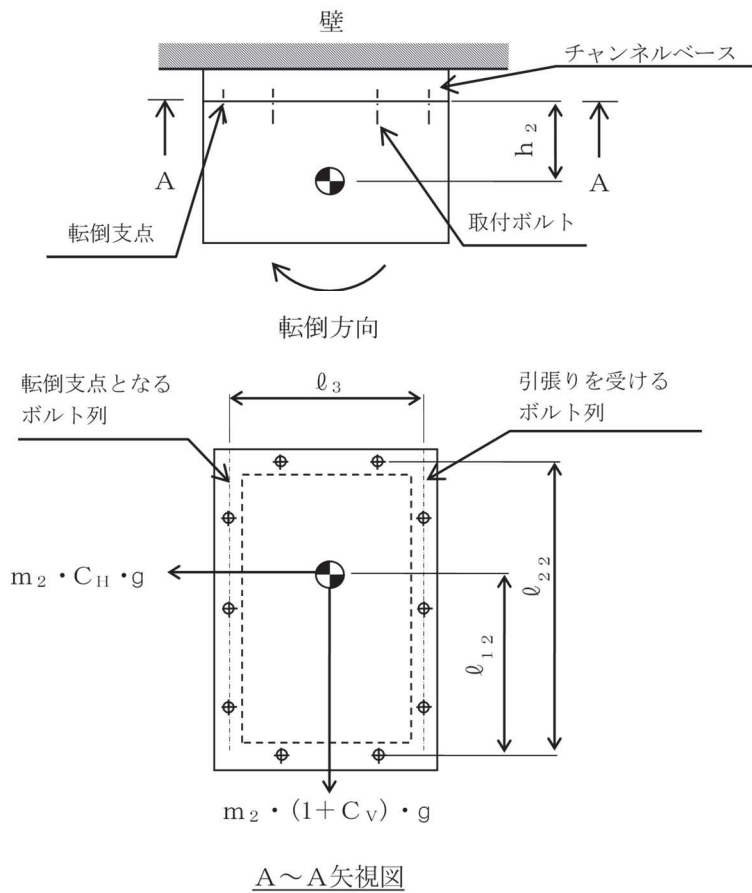


図 5-5 (1) 計算モデル(壁掛形 水平方向転倒の場合)

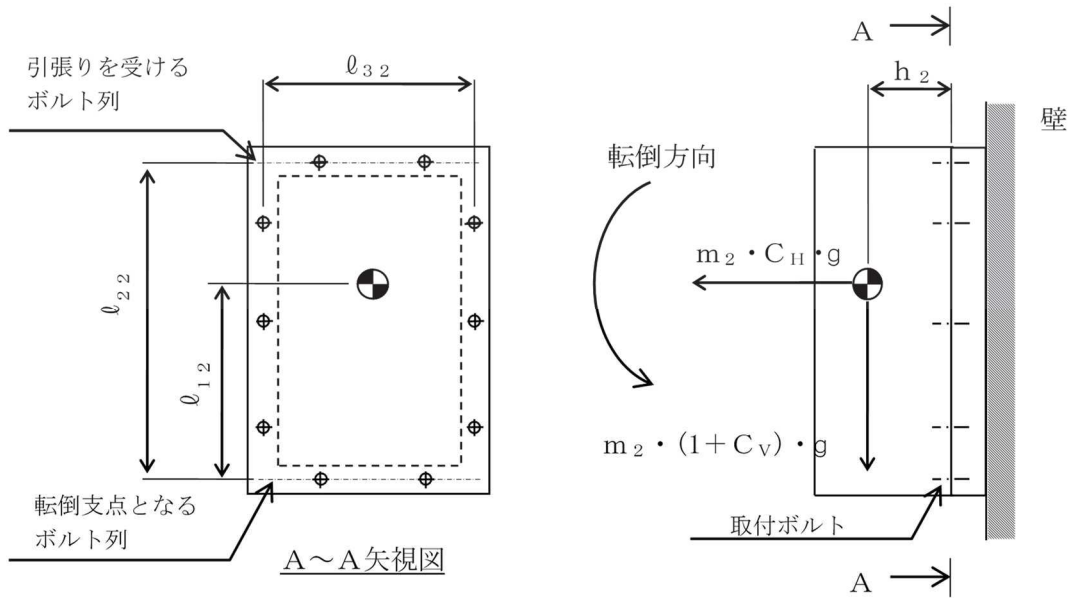


図 5-5 (2) 計算モデル(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図 5-3、図 5-4 及び図 5-5 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

計算モデル図5-3(1), 5-3(3), 5-4(1)及び5-4(3)の場合の引張力

$$F_{b i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{1 i} \cdot g}{n_{f i} \cdot (\ell_{1 i} + \ell_{2 i})} \quad \dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図 5-3(2), 5-3(4), 5-4(2)及び 5-4(4)の場合の引張力

$$F_{b i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2 i} \cdot g}{n_{f i} \cdot (\ell_{1 i} + \ell_{2 i})} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図 5-5(1)及び 5-5(2)の場合の引張力

$$F_{b 1 i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g}{n_{f v 1} \cdot \ell_{2 i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{f H i} \cdot \ell_{3 i}} \quad \dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b 2 i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{1 i} \cdot g}{n_{f v 1} \cdot \ell_{2 i}} \quad \dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_{b i} = \text{Max}(F_{b 1 i}, F_{b 2 i}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

(a) ベンチ形，直立形の場合

$$Q_{b\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

(b) 壁掛形の場合

$$Q_{b\ 1\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b\ 2\ i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_{b\ i} = \sqrt{(Q_{b\ 1\ i})^2 + (Q_{b\ 2\ i})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i}}{n_i \cdot A_{b\ i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{b_i} は次式より求めた許容引張応力 $f_{t_{s_i}}$ 以下であること。

ただし、 $f_{t_{o_i}}$ は下表による。

$$f_{t_{s_i}} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t_{o_i}} - 1.6 \cdot \tau_{b_i}, f_{t_{o_i}} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{b_i} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s_{b_i}}$ 以下であること。ただし、 $f_{s_{b_i}}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 $f_{t_{o_i}}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s_{b_i}}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット

直立形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット

壁掛形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【○○盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i=1)					(M)			
取付ボルト (i=2)					(M)			

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】
 本フォーマットを使用する。
 ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =	

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{f,i} *
基礎ボルト (i=1)					(M)			
取付ボルト (i=2)					(M)			

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
 下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	—		—	
取付ボルト ($i=2$)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト ($i=2$)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

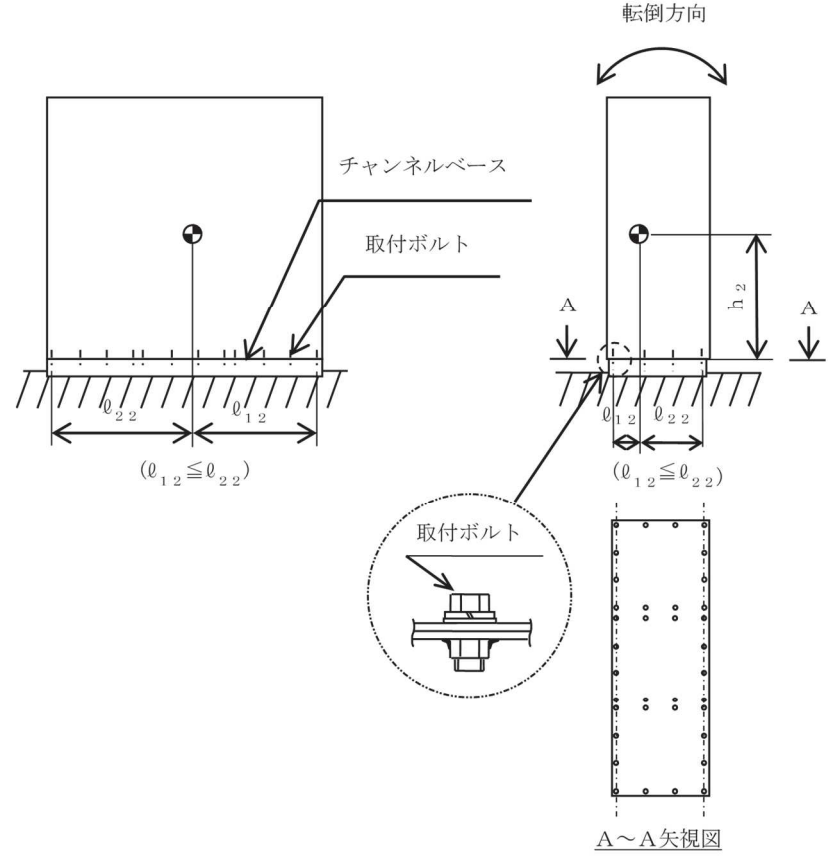
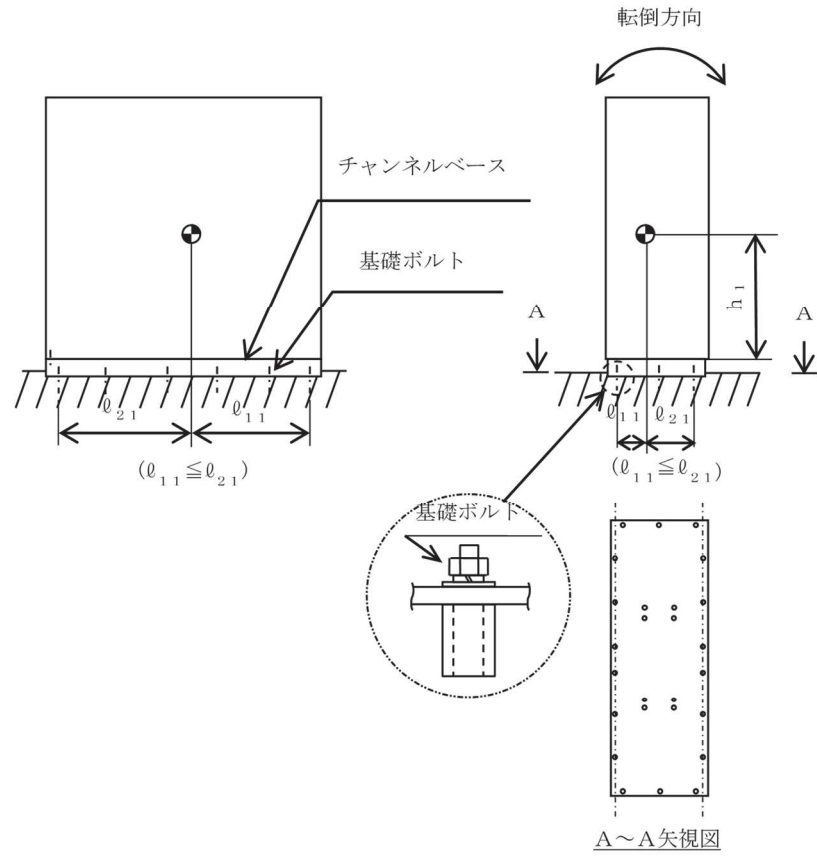
2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



【フォーマットⅢ 壁掛形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【○○盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{fvi}	n _{fhi}
基礎ボルト (i=1)						(M)				
取付ボルト (i=2)						(M)				

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)				
取付ボルト ($i=2$)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト ($i=2$)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。 注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。
ただし、章番を 1. とする。

【フォーマットⅣ 壁掛形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			—	—	C _H =	C _V =	

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{b,i} (mm ²)	n _i	n _{fvi}	n _{fhi}
基礎ボルト (i = 1)						(M)				
取付ボルト (i = 2)						(M)				

部 材	S _{y,i} (MPa)	S _{u,i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)			—		—	
取付ボルト (i = 2)			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	—		—	
取付ボルト ($i=2$)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

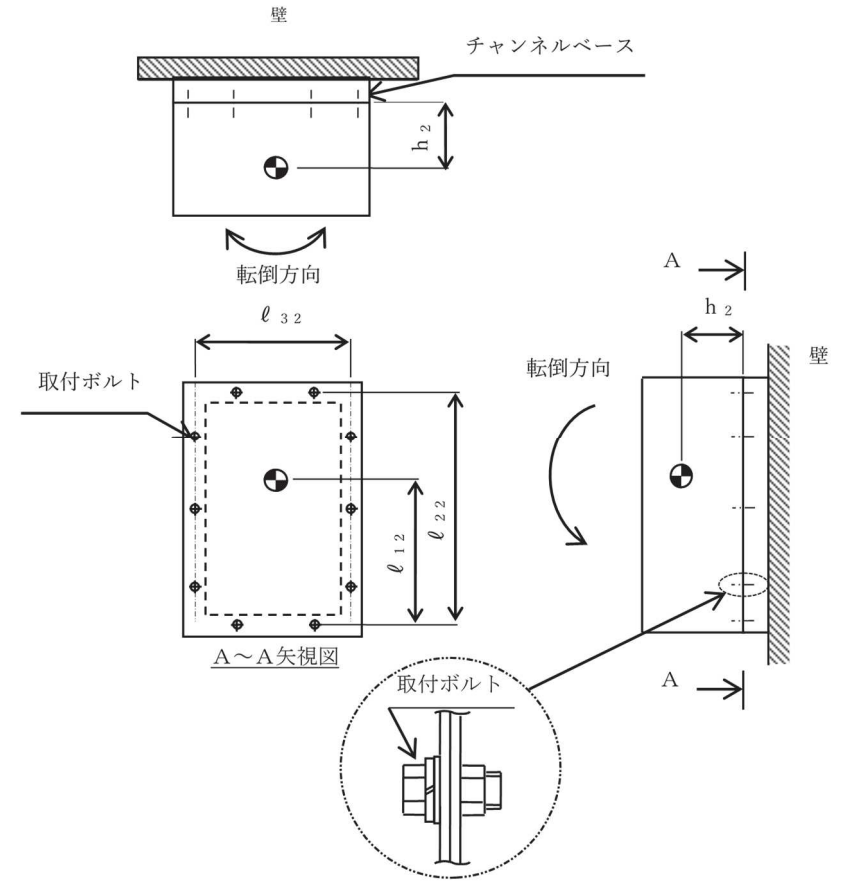
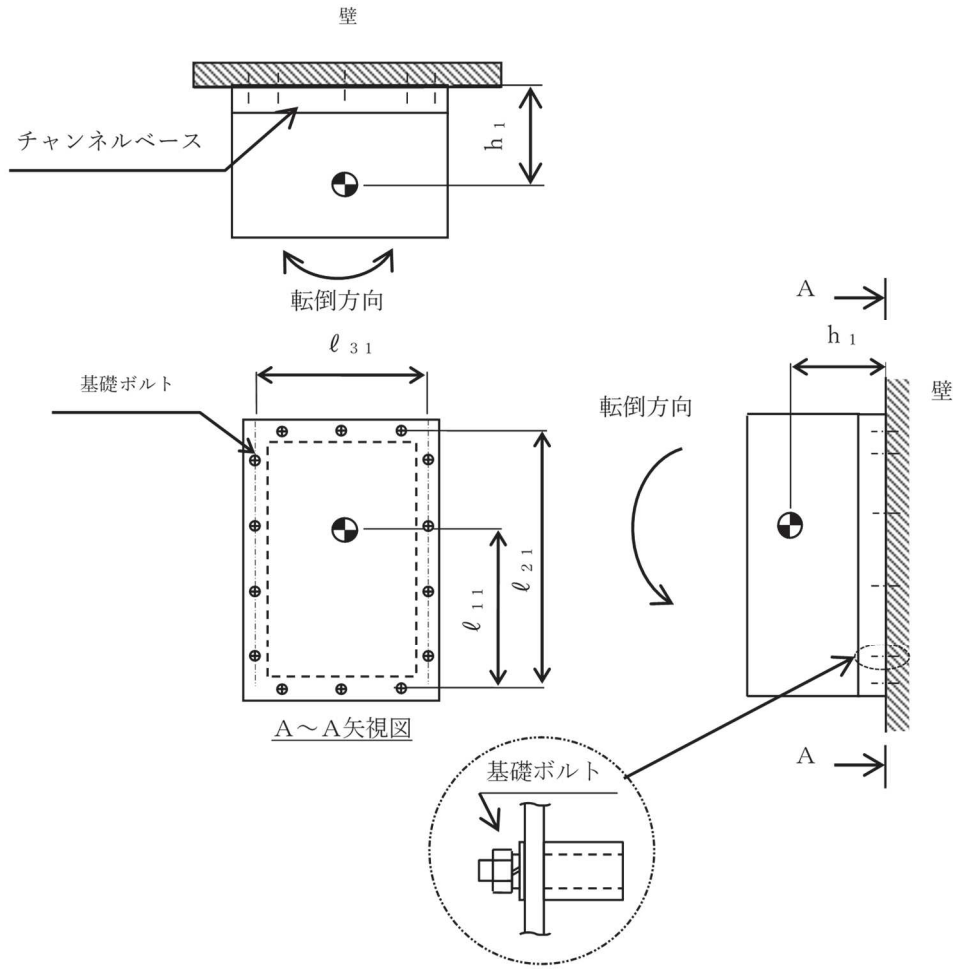
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i=1$)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト ($i=2$)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。 注記 * : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	4
3.	評価部位	5
4.	固有周期	5
5.	構造強度評価	5
5.1	構造強度評価方法	5
5.2	設計用地震力	6
5.3	計算方法	7
5.3.1	応力の計算方法	7
5.4	応力の評価	12
5.4.1	ボルトの応力評価	12
6.	機能維持評価	13
6.1	電氣的機能維持評価方法	13
7.	耐震計算書のフォーマット	13
7.1	直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	13
7.2	壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計装ラック(耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの)が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計装ラックにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計装ラックの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計装ラックの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計装ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

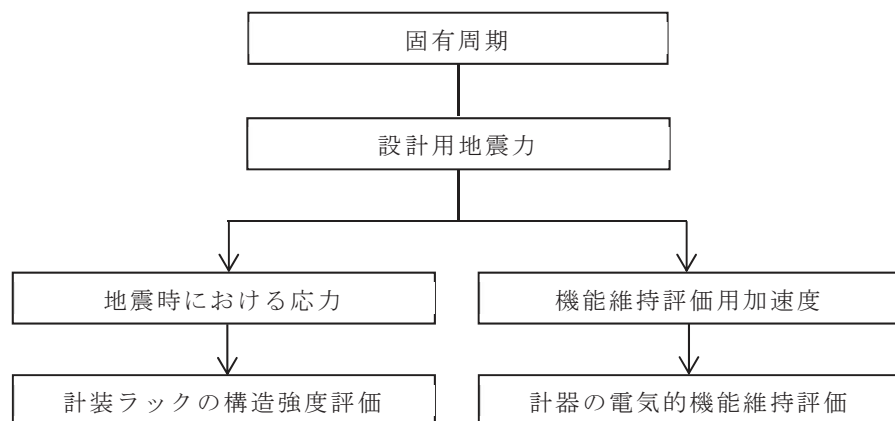


図 2-1 計装ラックの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編
J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会 2005/2007)
(以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本あたり)* ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本あたり)(壁掛形)* ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本あたり)(壁掛形)* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_i	取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)* ¹	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離(壁掛形)* ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離(壁掛形)* ¹	mm
m_i	計装ラックの質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)* ¹	—
n_{fhi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記 *1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} ,
 f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , l_{3i} , n_i , n_{fi} , n_{fvi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} ,
 Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以
 下のおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1: 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2: 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ
 及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、
 整数位までの値とする。

3. 評価部位

計装ラックの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

計装ラックの固有周期は、振動試験(加振試験又は打振試験)にて求める。なお、振動試験により固有周期が求められていない計装ラックについては、構造が同様な計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計装ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計装ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) チャンネルベースは基礎ボルト又は埋込金物で基礎と固定されており、固定端とする。
- (5) 床面据付の計装ラックの転倒方向は、図 5-1 概要図(直立形)における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。壁掛形の計装ラックについては、図 5-2 概要図(壁掛形)における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (6) 計装ラックの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

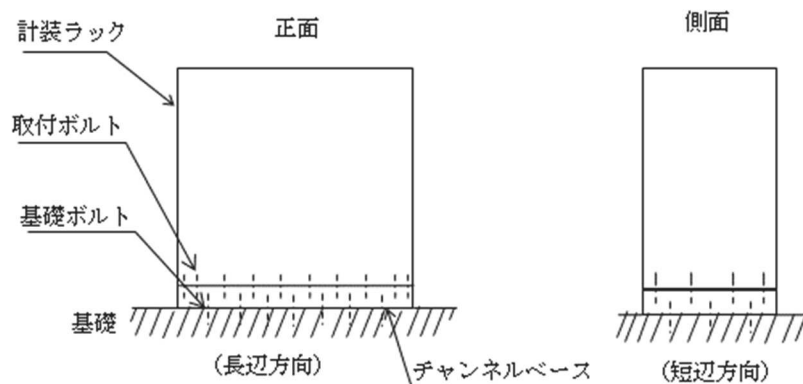


図 5-1 概要図 (直立形)

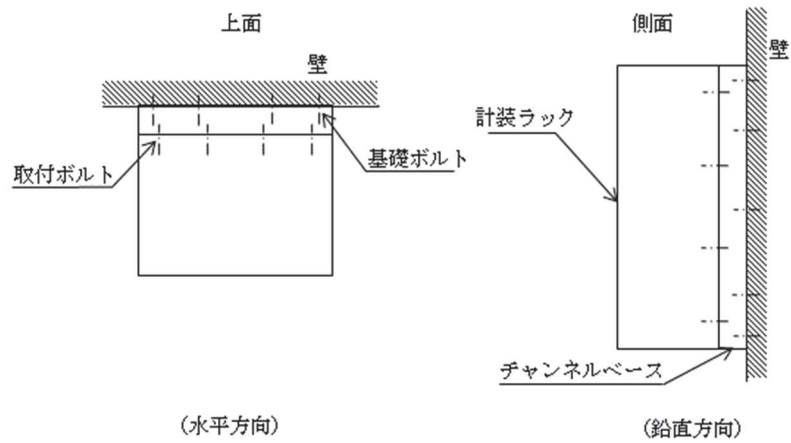


図 5-1 概要図(壁掛形)

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお、壁掛形の計装ラックの設計用地震力については、設置床上下階のいずれか大きい方を用いる。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルは、取付ボルトの場合を示す。

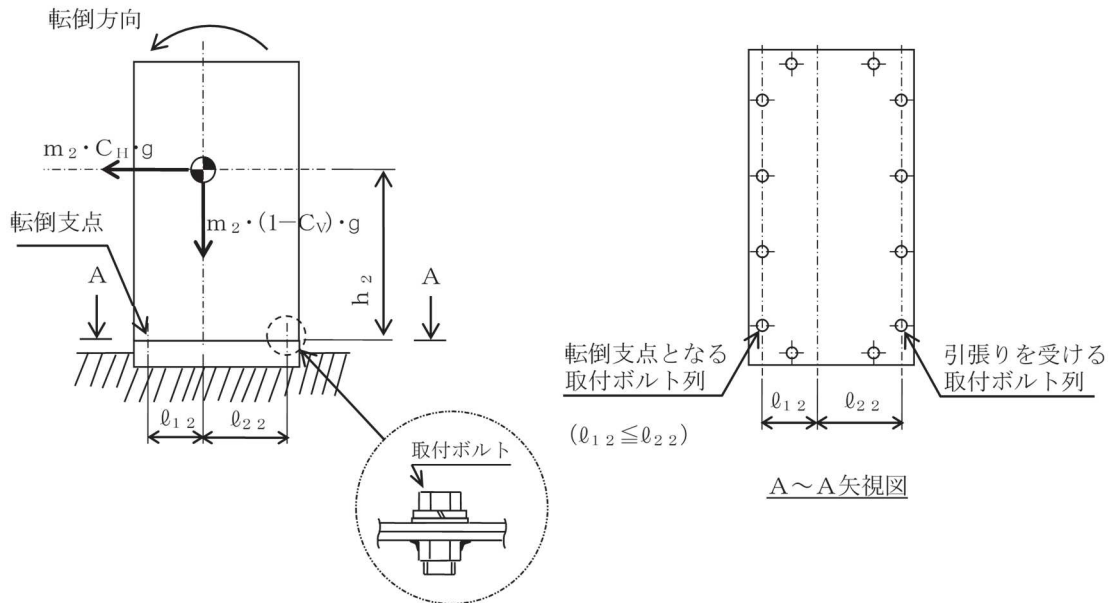


図5-3(1) 計算モデル
 (直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

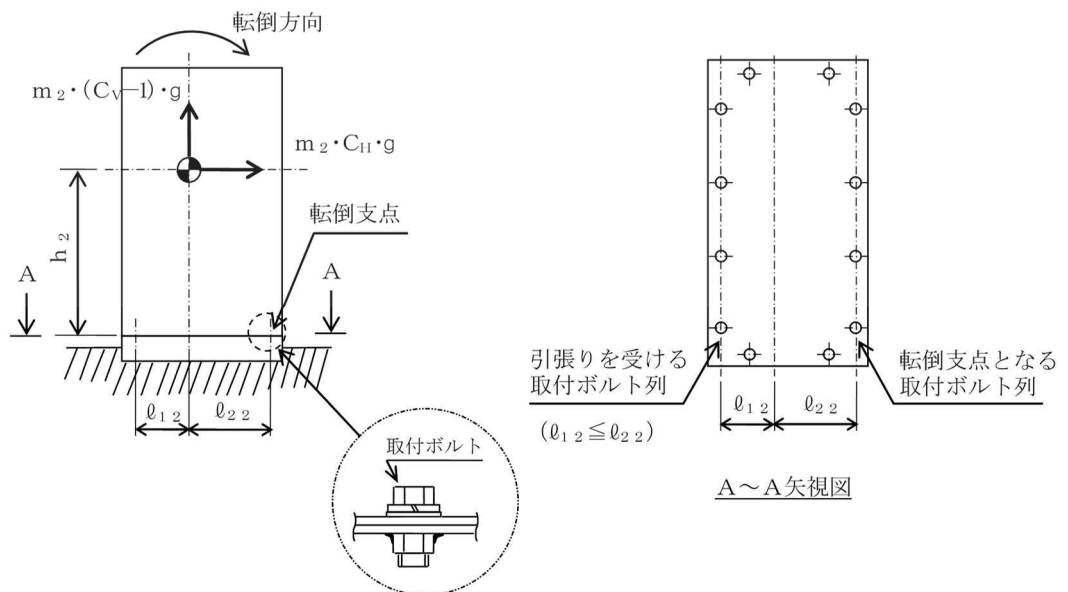


図5-3(2) 計算モデル
 (直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

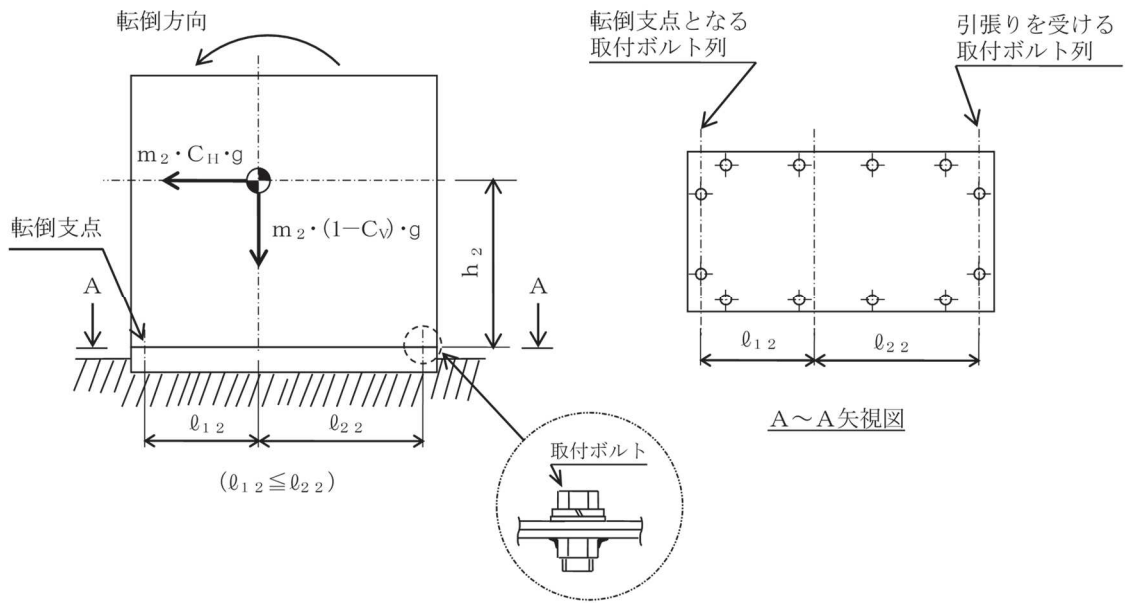


図5-3(3) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

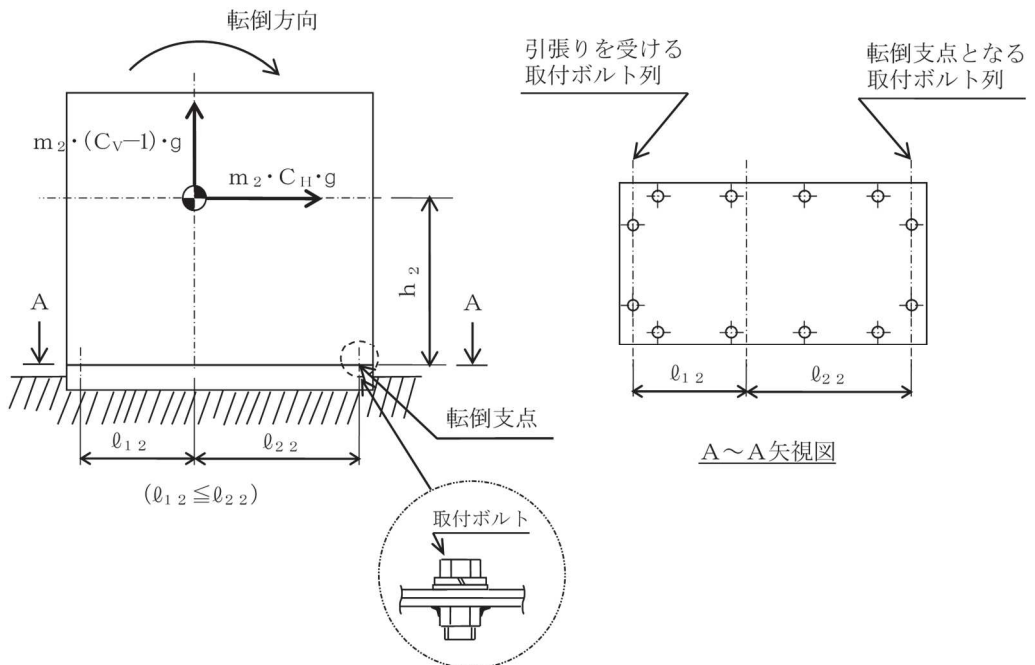


図5-3(4) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

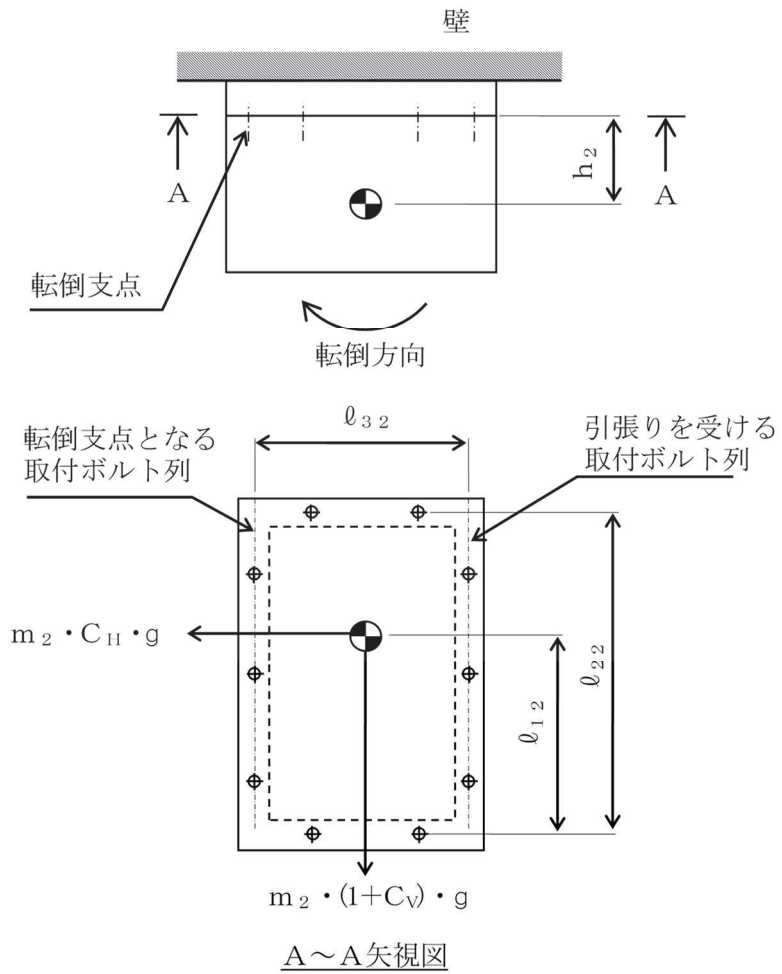


図 5-4(1) 計算モデル（壁掛形 水平方向転倒の場合）

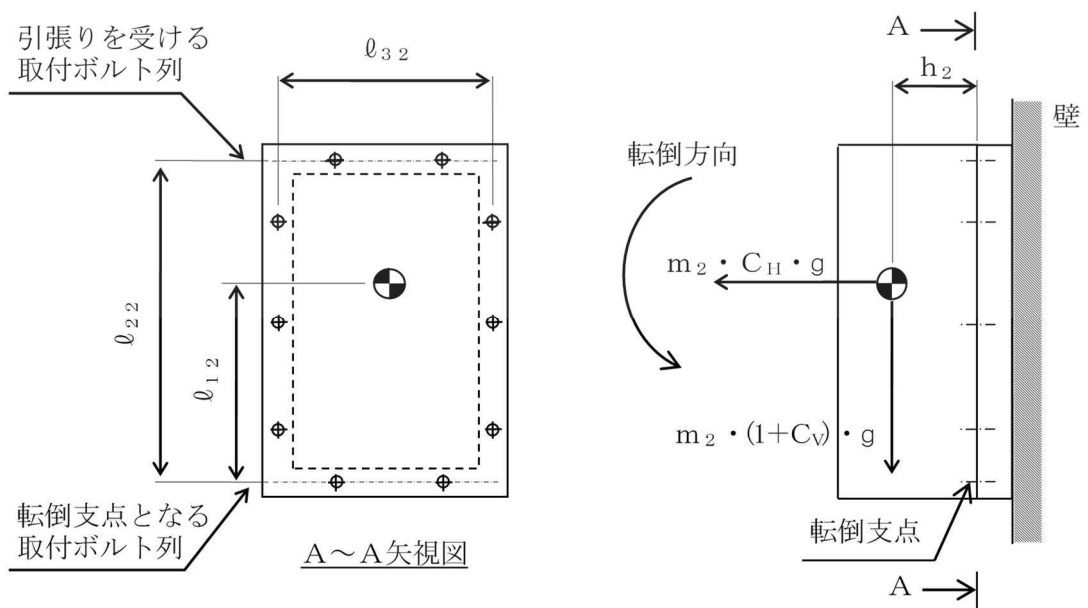


図 5-4(2) 計算モデル（壁掛形 鉛直方向転倒の場合）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-3 及び図 5-4 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-3(1) 及び図 5-3(3) の場合の引張力

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots(5.3.1.1.1)$$

計算モデル図 5-3(2) 及び図 5-3(4) の場合の引張力

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots(5.3.1.1.2)$$

計算モデル図 5-4(1) 及び図 5-4(2) の場合の引張力

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{2i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fhi} \cdot \ell_{3i}} \dots\dots\dots(5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{2i}} \dots\dots\dots(5.3.1.1.4)$$

$$F_{bi} = \text{Max}(F_{b1i}, F_{b2i}) \dots\dots\dots(5.3.1.1.5)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots(5.3.1.1.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots(5.3.1.1.7)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_{b\ i} = m_i \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots(5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b\ 1\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots(5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b\ 2\ i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots\dots\dots(5.3.1.1.10)$$

$$Q_{b\ i} = \sqrt{(Q_{b\ 1\ i})^2 + (Q_{b\ 2\ i})^2} \dots\dots\dots(5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i}}{n_i \cdot A_{b\ i}} \dots\dots\dots(5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s i}$ 以下であること。ただし、 $f_{t o i}$ は下表による。

$$f_{t s i} = \text{Min} \left[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i} \right] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b i}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b i}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o i}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i=1)					(M)			
取付ボルト (i=2)					(M)			

部 材	S _{y_i} (MPa)	S _{u_i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P. *			—	—	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} * (mm)	ℓ _{2i} * (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *
基礎ボルト (i=1)								
					(M)			
取付ボルト (i=2)								
					(M)			

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

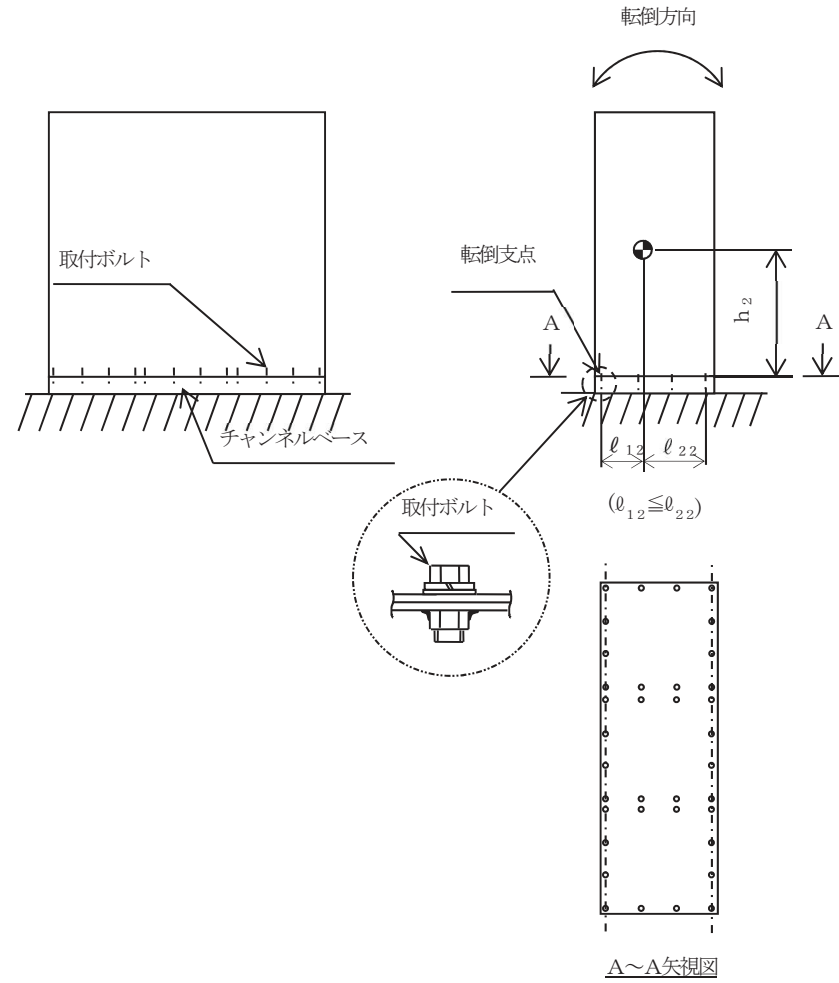
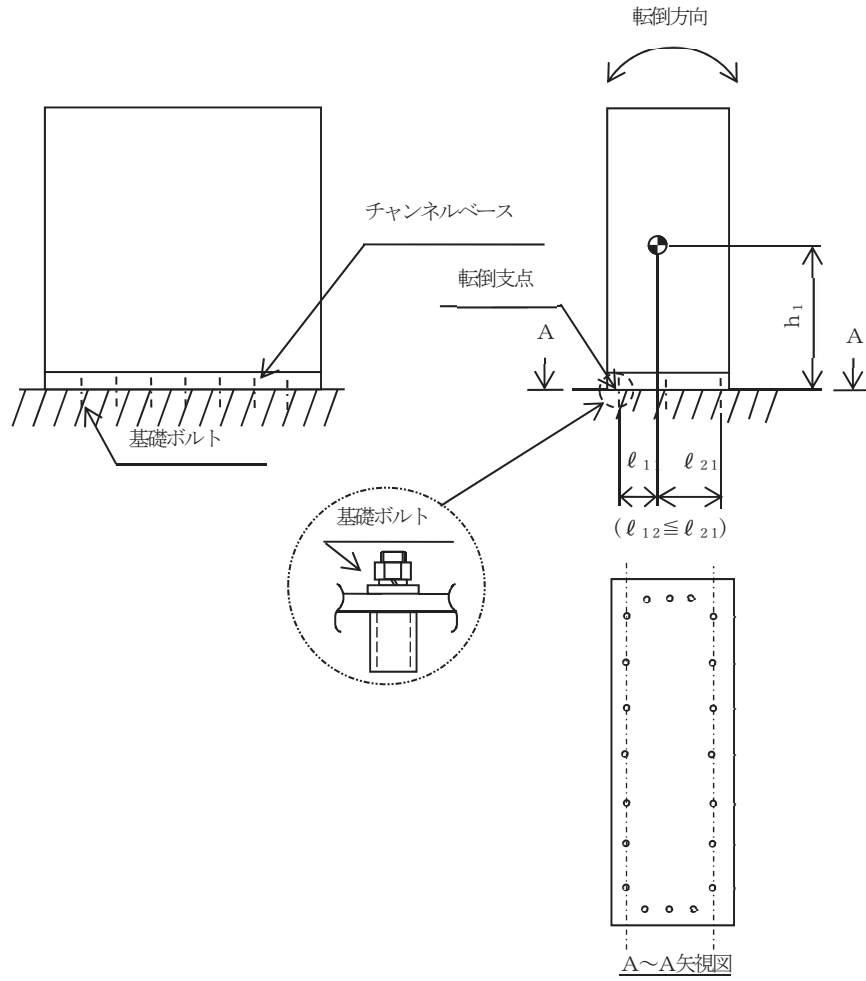
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



【フォーマットⅢ 壁掛形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	d _i (mm)	A _{b_i} (mm ²)	n _i	n _{fVi}	n _{fHi}
基礎ボルト (i=1)						(M)				
取付ボルト (i=2)						(M)				

部 材	S _{y_i} (MPa)	S _{u_i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。
機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットIV 壁掛形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			—	—	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{iVi}	n_{iHi}
基礎ボルト (i=1)						(M)				
取付ボルト (i=2)						(M)				

部 材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

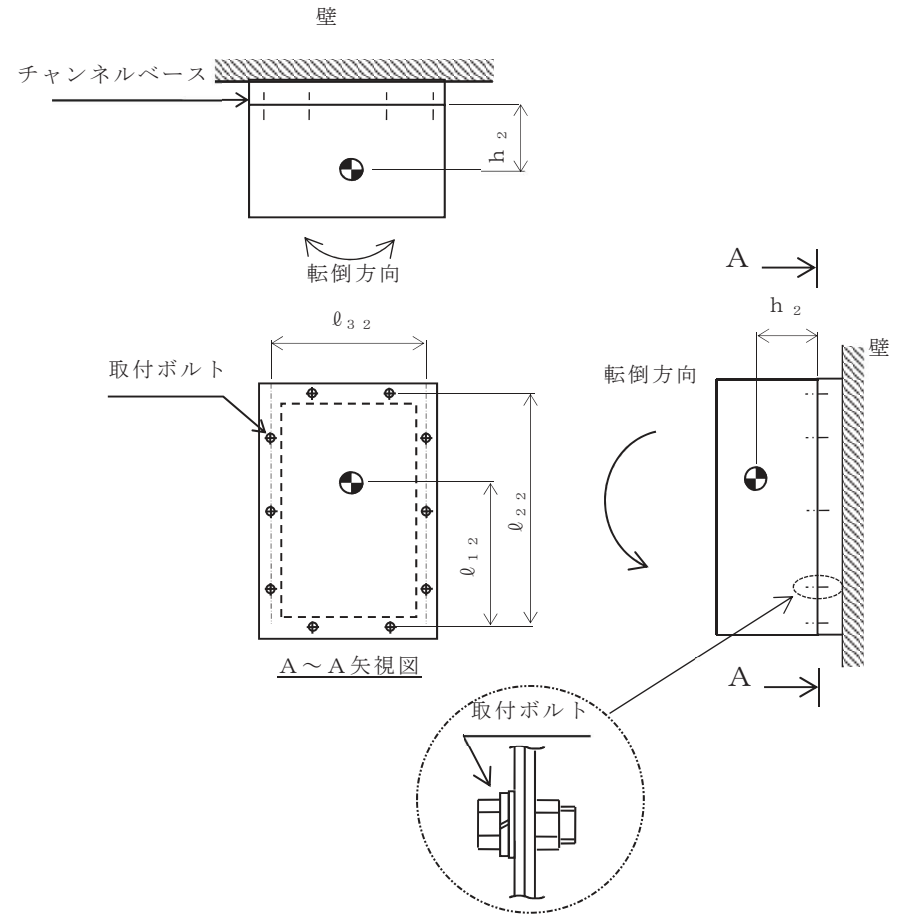
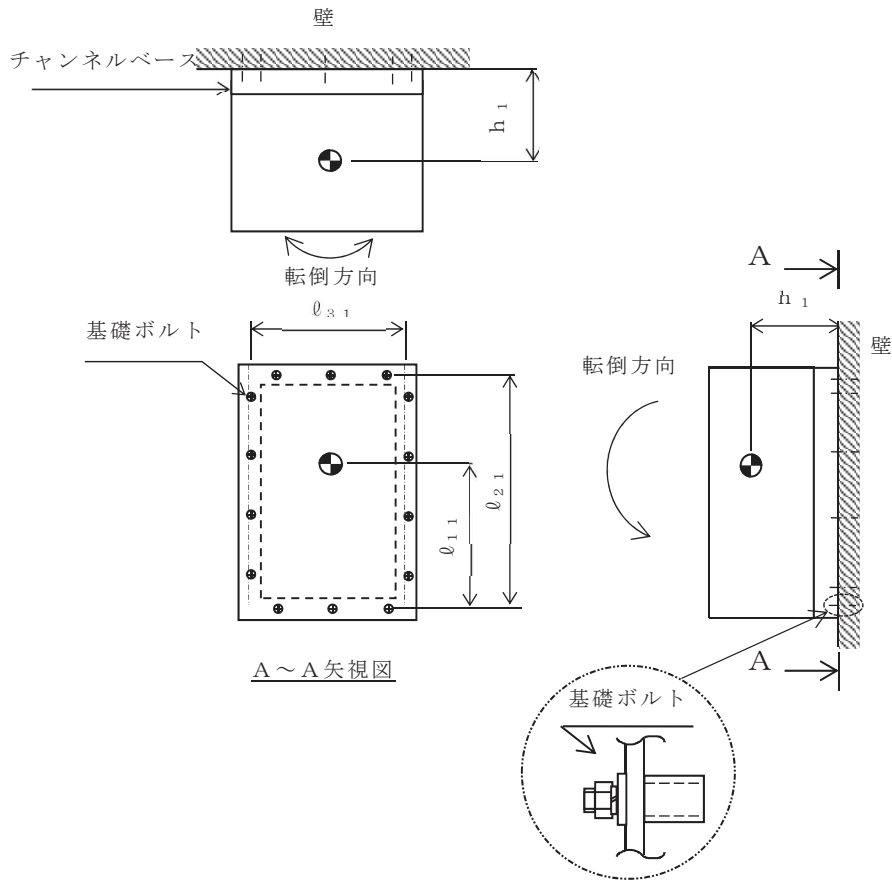
2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-1-13-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	評価方針	1
2.2	適用基準	2
2.3	記号の説明	3
2.4	計算精度と数値の丸め方	4
3.	評価部位	4
4.	固有周期	4
5.	構造強度評価	5
5.1	構造強度評価方法	5
5.2	設計用地震力	7
5.3	計算方法	7
5.3.1	応力の計算方法	7
5.4	応力の評価	13
5.4.1	ボルトの応力評価	13
6.	機能維持評価	14
6.1	電氣的機能維持評価方法	14
7.	耐震計算書のフォーマット	14
7.1	直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14
7.2	壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計器スタンション(耐震重要度分類 S クラス又は S s 機能維持の計算を行うもの)が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計器スタンションにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計器スタンションの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計器スタンションの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計器スタンションの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

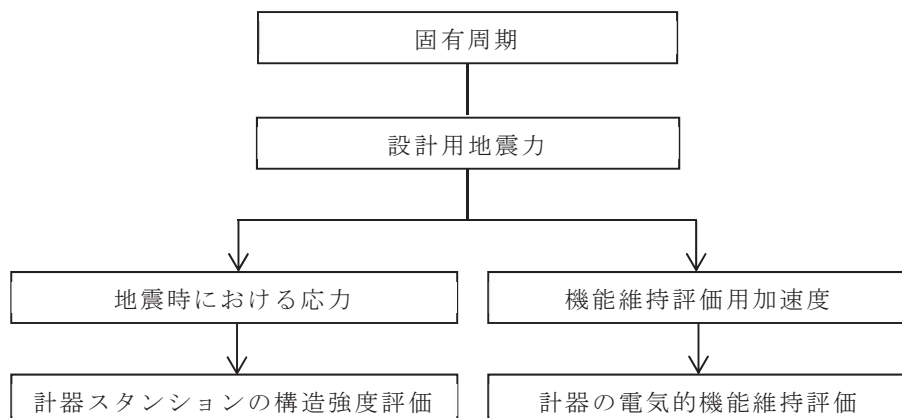


図 2-1 計器スタンションの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編
J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会 2005/2007)
(以下「設計・建設規格」という。)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力(1本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本あたり)(壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力(1本あたり)(壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離(壁掛形)	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_3	重心と下側ボルト間の距離(壁掛形)	mm
l_a	側面(左右)ボルト間の距離(壁掛形)	mm
l_b	上下ボルト間の距離(壁掛形)	mm
m	検出器及び計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向)(壁掛形)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向)(壁掛形)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1 : 設計上定める値が小数点以下の場合は、小数点以下表示とする。

*2 : 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3 : 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

計器スタンションの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

計器スタンションの固有周期は、打診試験又は理論式にて求める。

なお、打診試験又は理論式により固有周期が求められていない計器スタンションについては、構造が同様な計器スタンションに対する打診試験又は理論式の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで床面及び壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1 概要図(直立形)における左右方向及び前後方向並びに図 5-2 概要図(壁掛形)における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

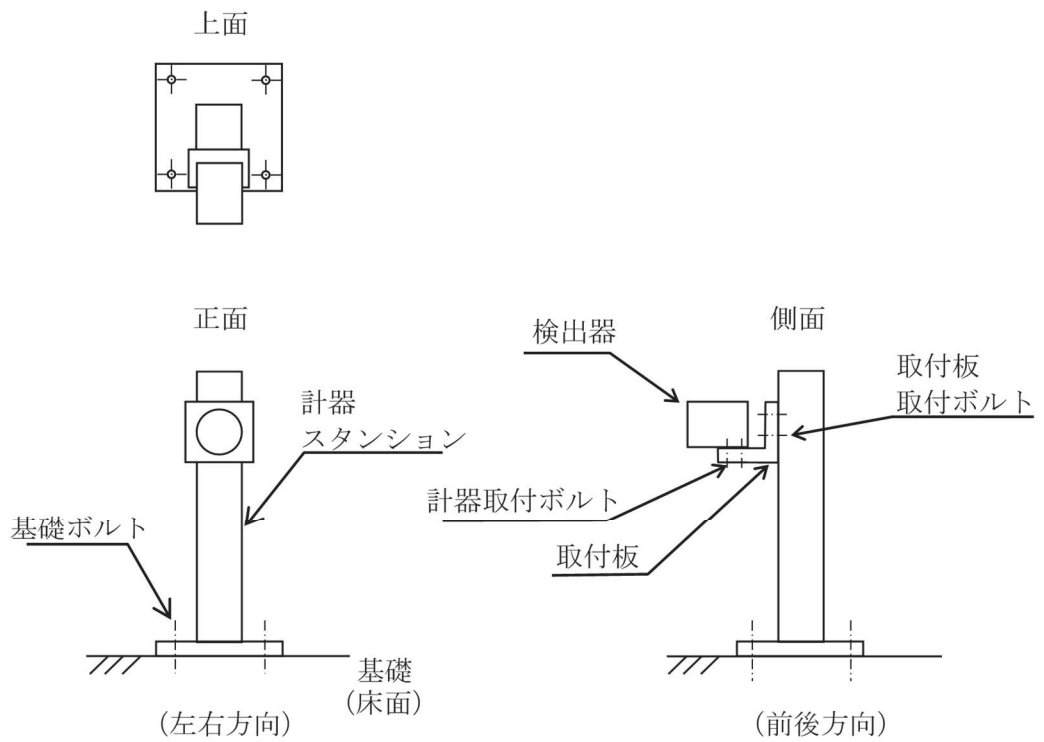


図 5-1 概要図(直立形)

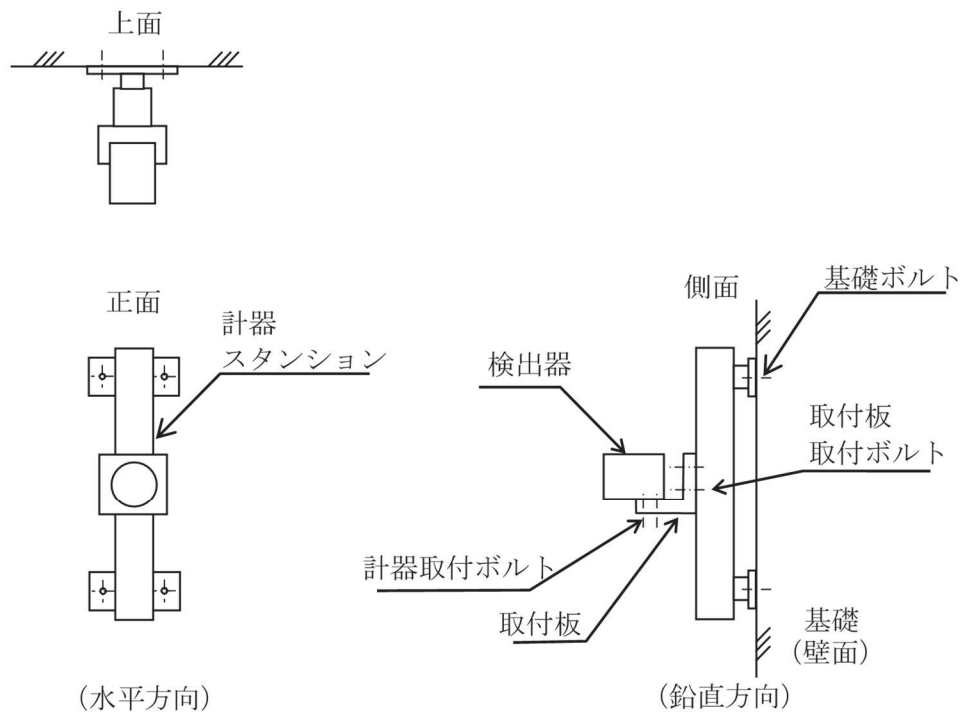


図 5-2 概要図(壁掛形)

5.2 設計用地震力

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお、壁掛形の計器スタンションの設計用地震力については、設置床上下階のいずれか大きい方を用いる。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

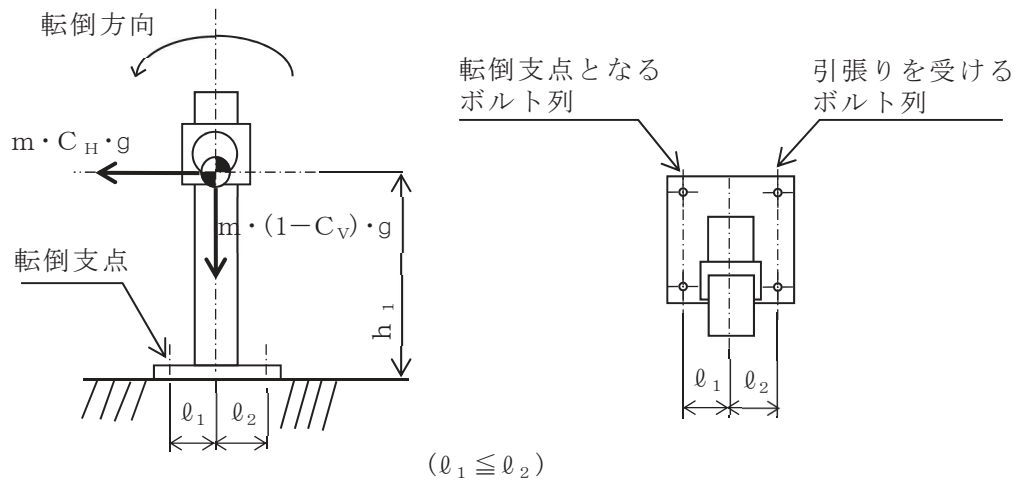


図 5-3(1) 計算モデル
(直立形 左右方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

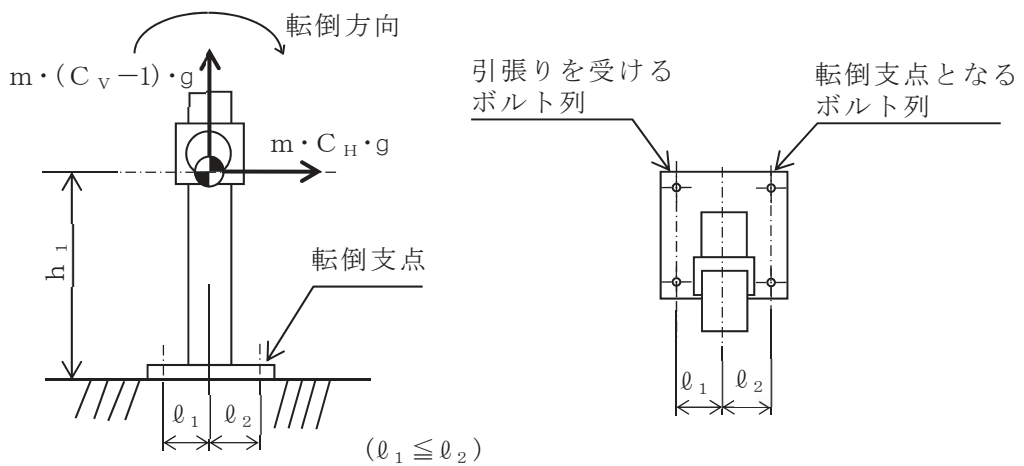


図 5-3(2) 計算モデル
(直立形 左右方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

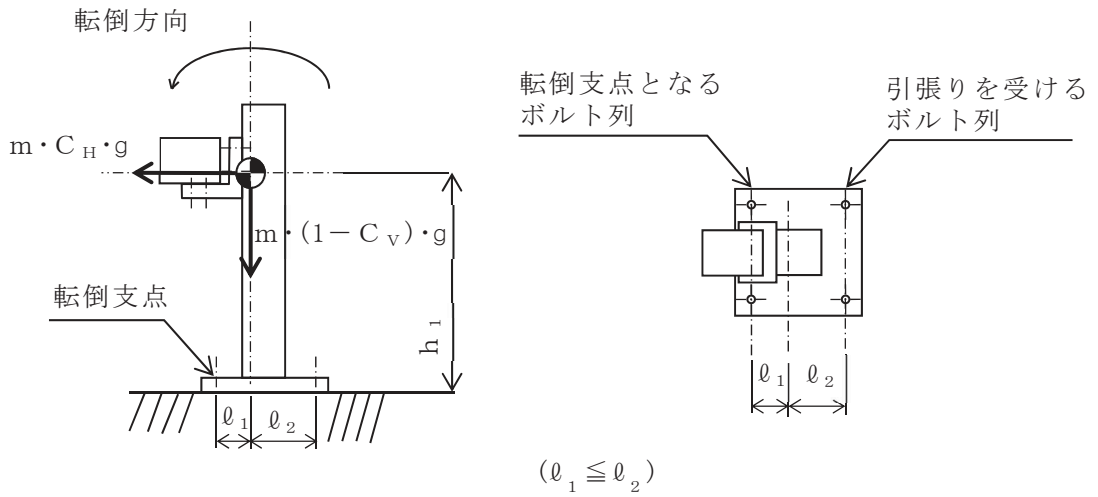


図 5-4(1) 計算モデル
 (直立形 前後方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

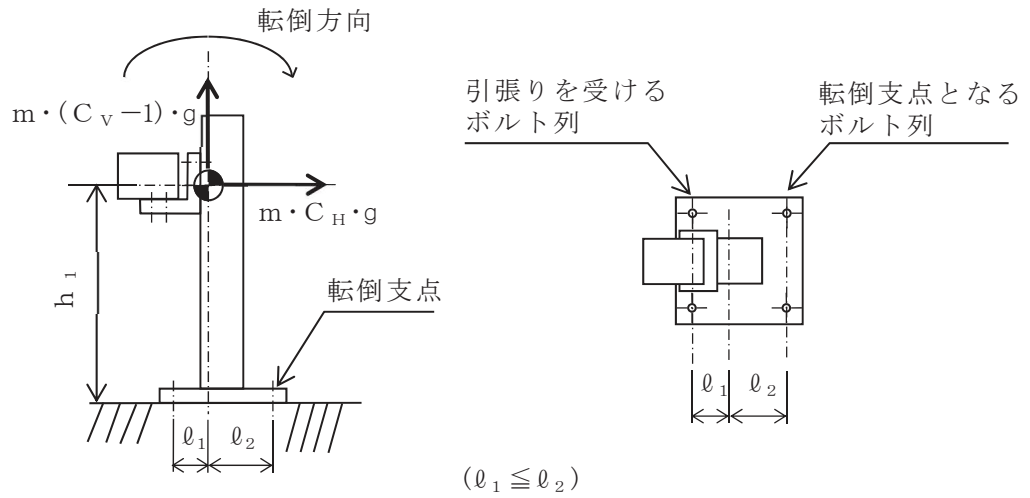


図 5-4(2) 計算モデル
 (直立形 前後方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

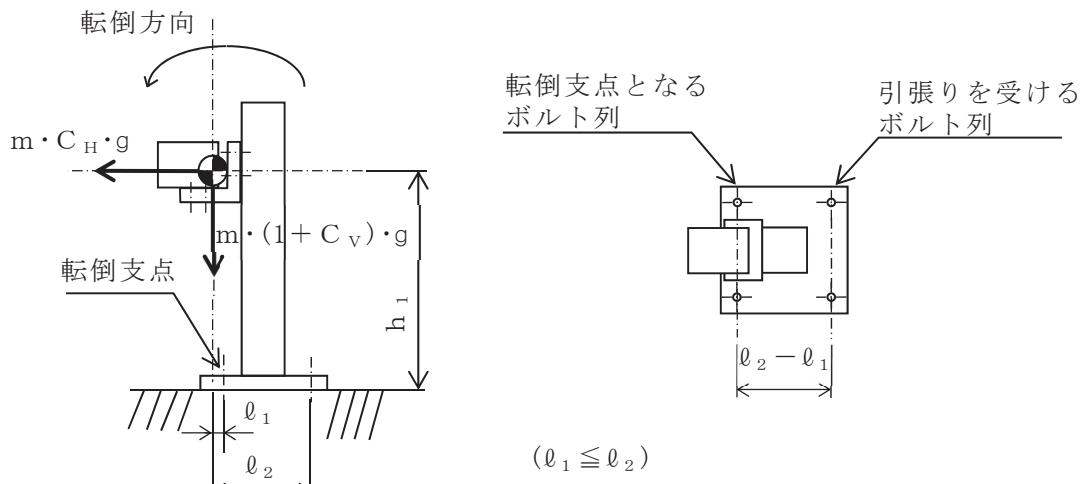


図 5-4(3) 計算モデル
 (直立形 前後方向転倒-3 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) \geq C_V$ の場合)

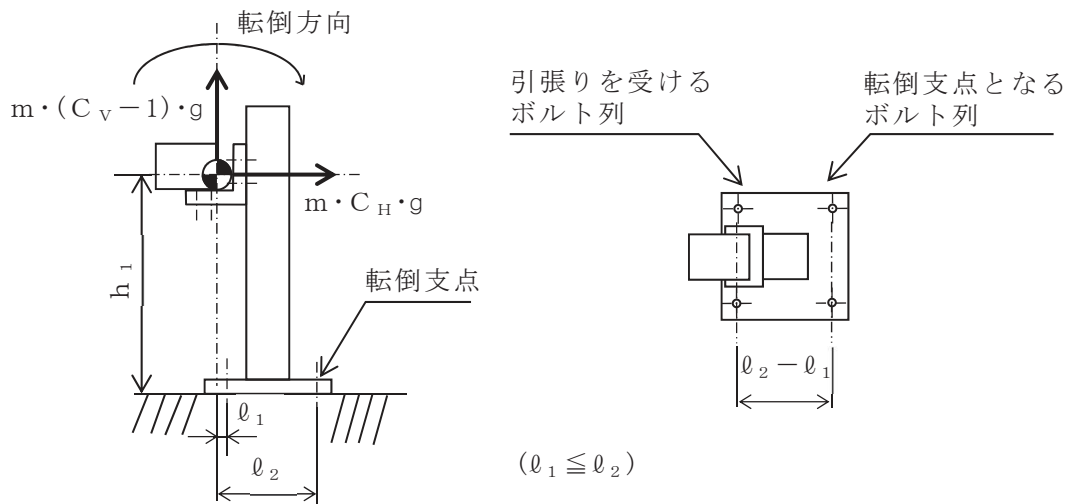


図 5-4(4) 計算モデル
 (直立形 前後方向転倒-4 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) < C_V$ の場合)

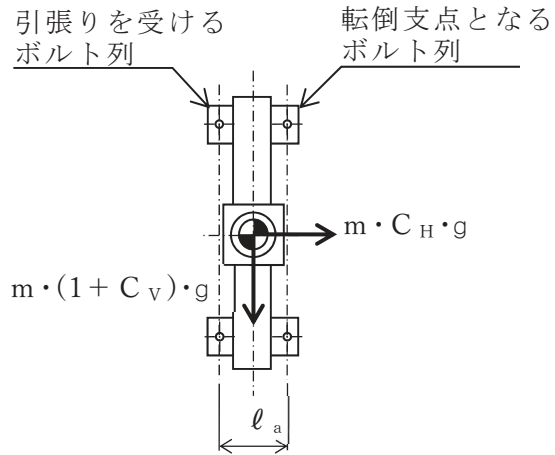
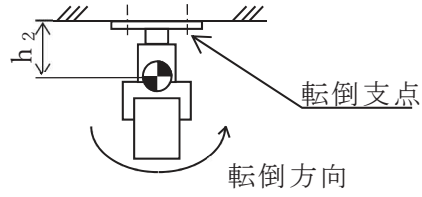


図 5-5(1) 計算モデル
(壁掛形 水平方向転倒の場合)

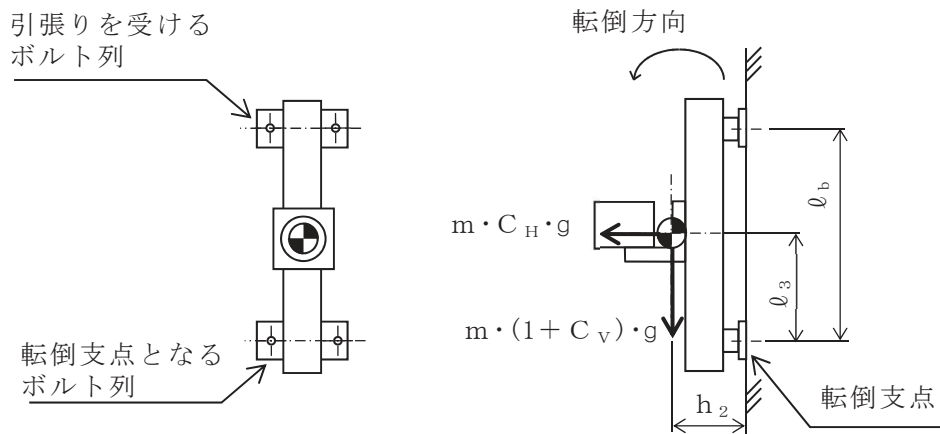


図 5-5(2) 計算モデル
(壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-3、図 5-4 及び図 5-5 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-3(1) 及び 5-4(1) の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図 5-3(2) 及び 5-4(2) の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図 5-4(3) の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

計算モデル図 5-4(4) の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

計算モデル図 5-5(1) の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

計算モデル図 5-5(2) の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f * (mm)
基礎ボルト					(M)			

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト						

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

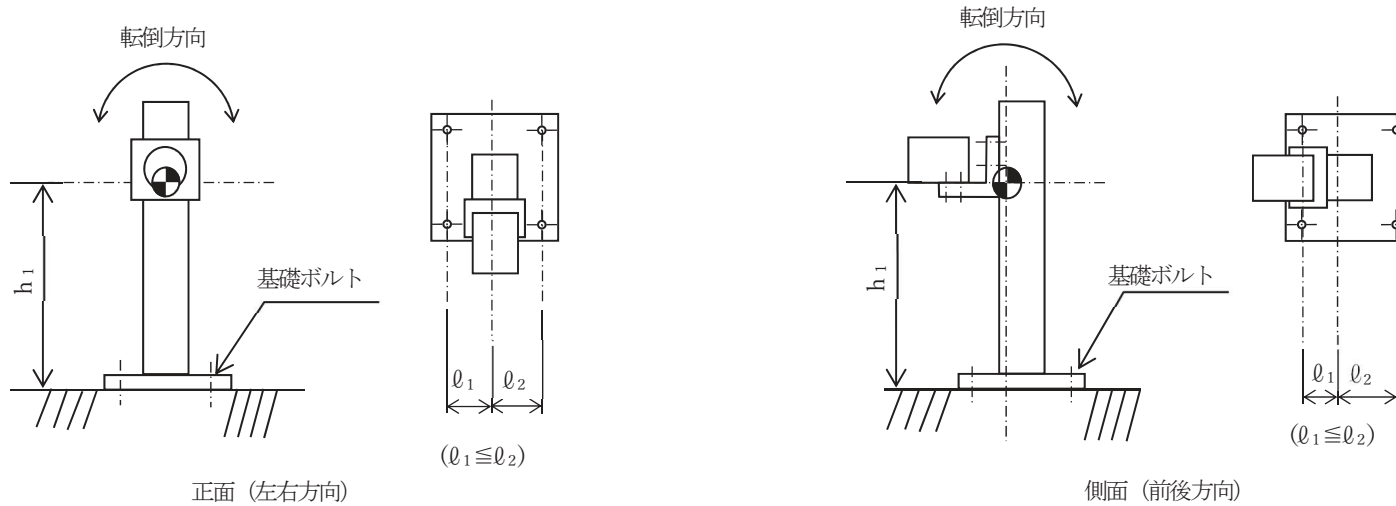
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

16



【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 O.P.*			—	—	C _H =	C _V =	

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *
基礎ボルト					(M)			

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト			—		—	

注記*：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

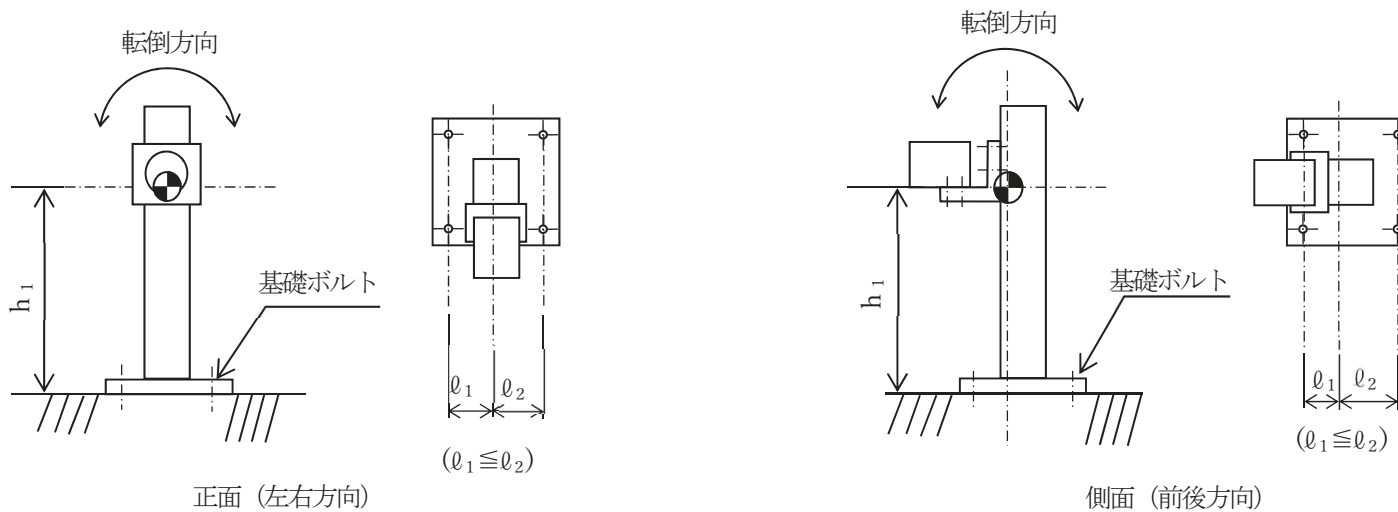
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

18



【フォーマットⅢ 壁掛形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₃ * (mm)	ℓ _a * (mm)	ℓ _b * (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV} * (mm)	n _{fH} * (mm)
基礎ボルト						(M)				

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト						

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

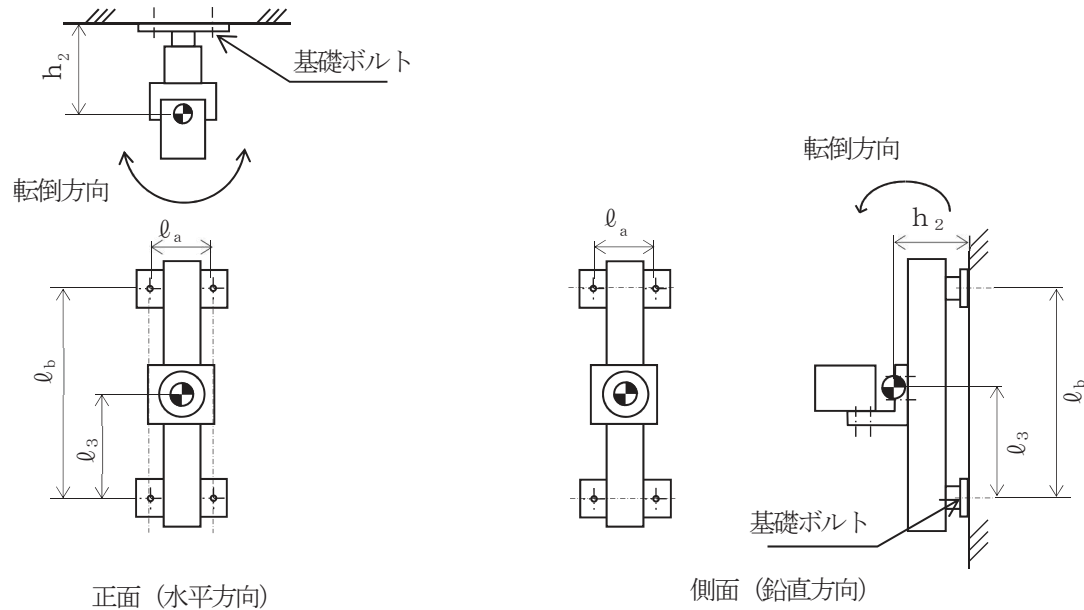
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

20



【重大事故等対処設備単独の場合】

本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットIV 壁掛形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 (O.P. *)			—	—	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m (kg)	h ₂ (mm)	φ ₃ * (mm)	φ _a * (mm)	φ _b * (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _{fV}	n _{fH}
基礎ボルト						(M)				

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$ *
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

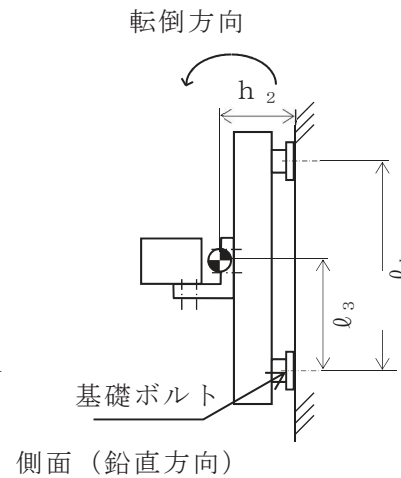
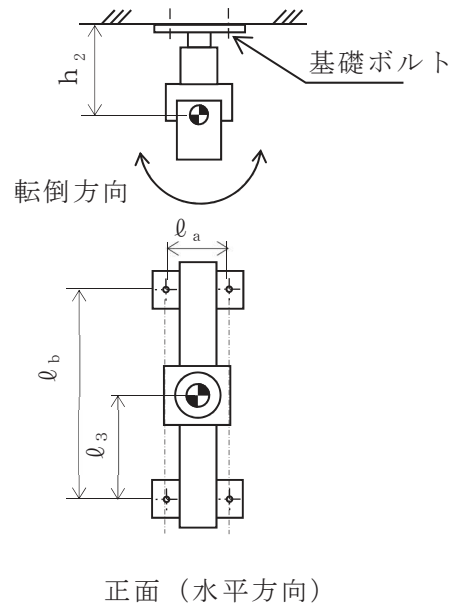
2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

注記 * : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書

VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書

VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 解析方針.....	12
2.4 適用規格・基準等.....	14
3. 解析方法.....	15
3.1 設計に用いる地震波.....	15
3.2 地震応答解析モデル.....	30
3.3 解析方法.....	44
3.4 解析条件.....	47
4. 解析結果.....	65
4.1 動的解析.....	65
4.2 静的解析.....	128
4.3 必要保有水平耐力.....	130

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく原子炉建屋の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値及び静的地震力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。また、必要保有水平耐力については建物・構築物の構造強度の確認に用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

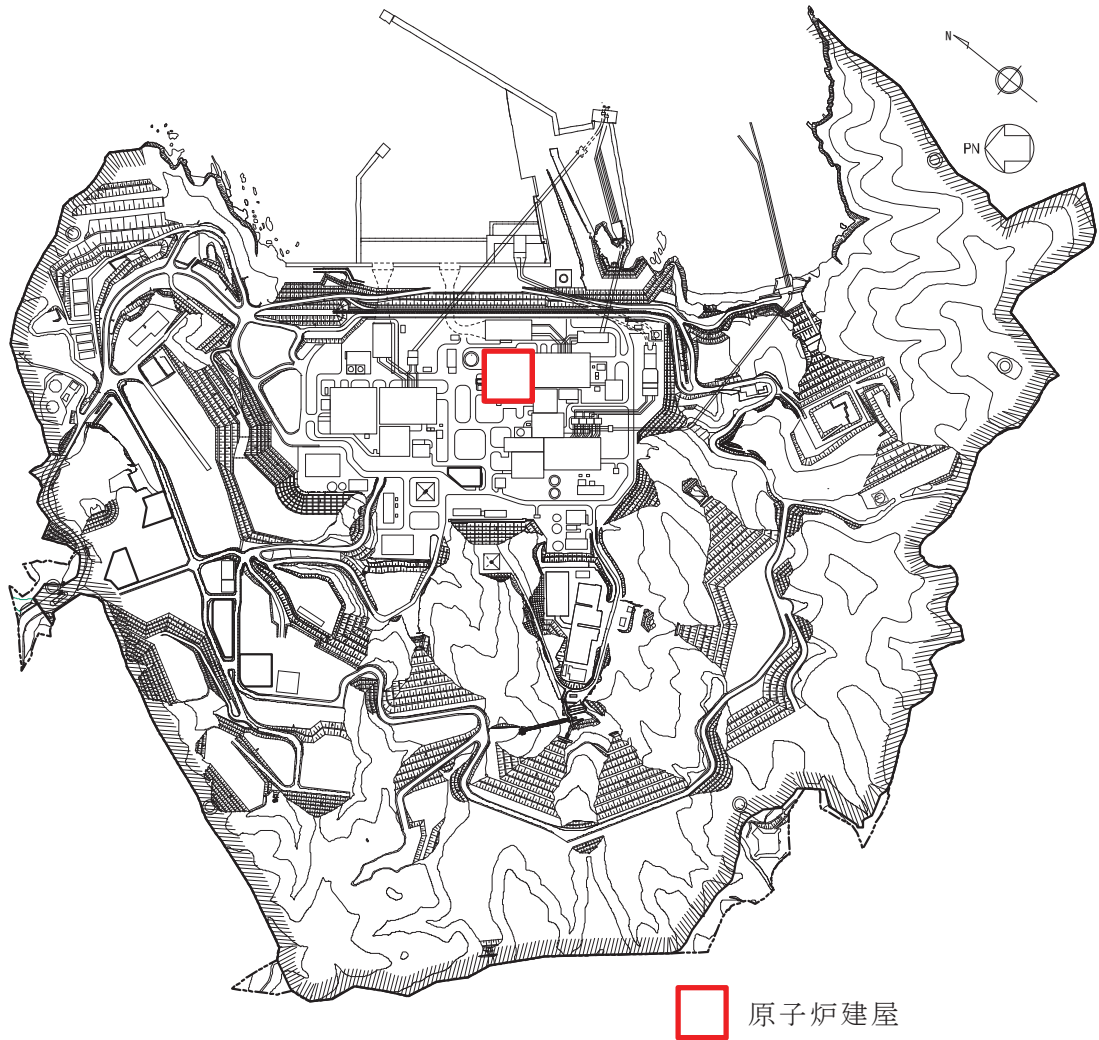


図 2-1 原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建屋は、地下3階、地上3階建で、基礎底面からの高さは64.6mであり、平面は下部で77.0m(NS方向)×84.0m(EW方向)^{*1}のほぼ正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)である。

原子炉建屋の中央部には、平面が66.0m×53.0m^{*1}(最下階)で地下3階、地上3階建の原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)があり、その周囲には地下3階、地上2階建の原子炉建屋附属棟(以下「附属棟」という。)が配置され、これらは同一基礎版上に設置された一体構造である。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は、厚さ6.0mのべた基礎で、支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されている。

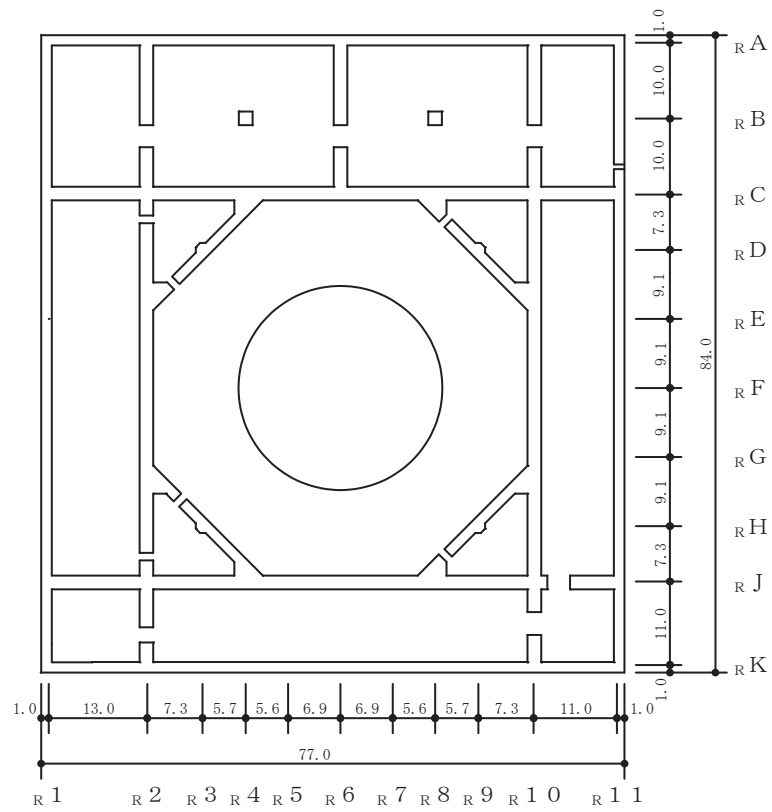
原子炉建屋の主たる耐震要素は、原子炉格納容器のまわりを囲んでいる1次しゃへい壁(以下「シェル壁：SW」という。)、原子炉棟の外壁(以下「内部ボックス壁：IW」という。)及び附属棟の外壁(以下「外部ボックス壁：OW」という。)である。

なお、燃料取替床(O.P.^{*2}33.2m)には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

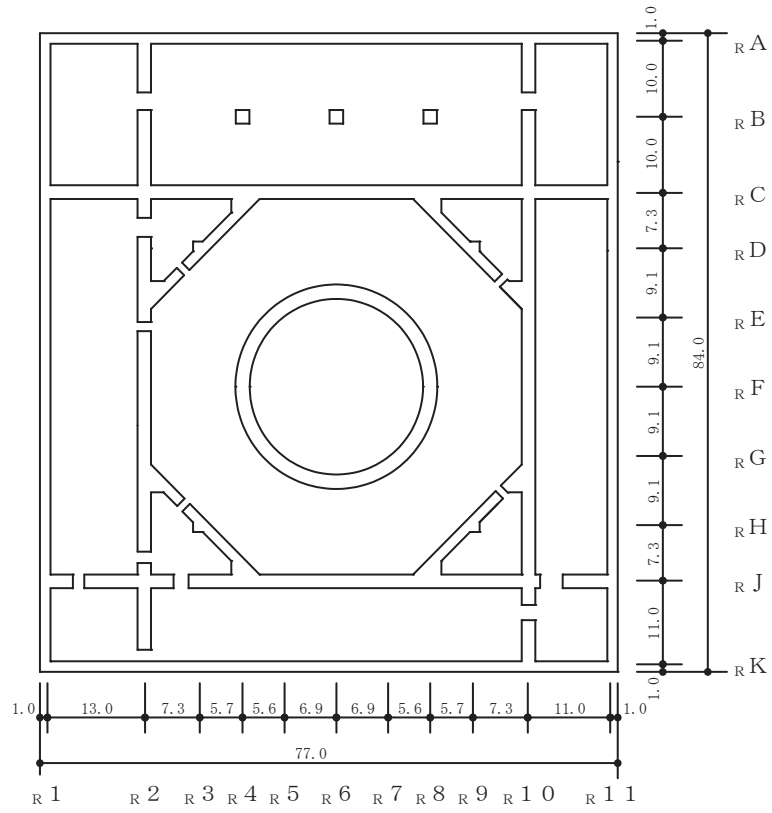
注記*1 : 建屋寸法は壁外面押えとする。

注記*2 : O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。



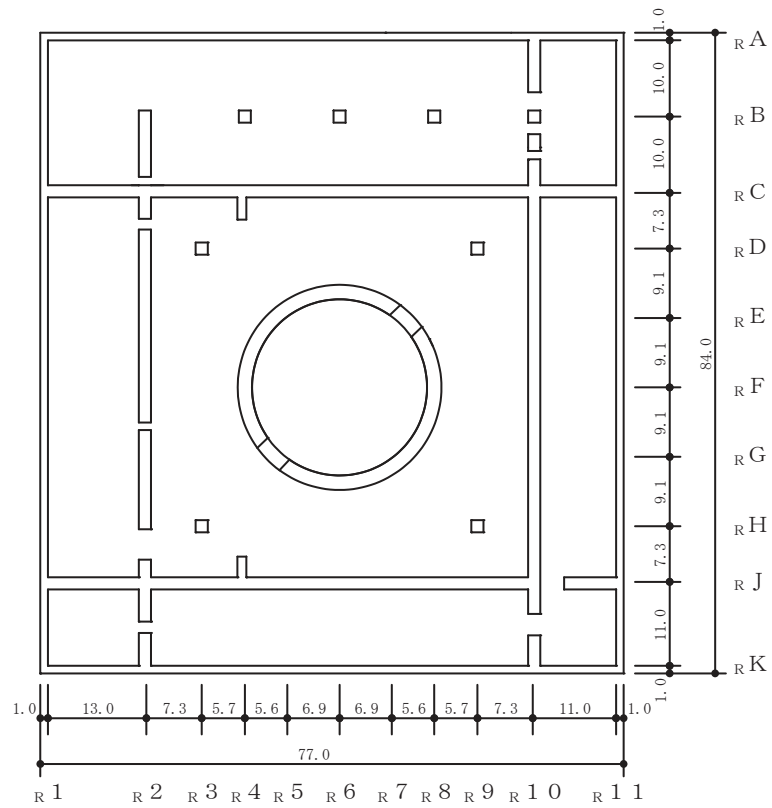
(単位 : m)

図 2-2(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. -8. 1m)



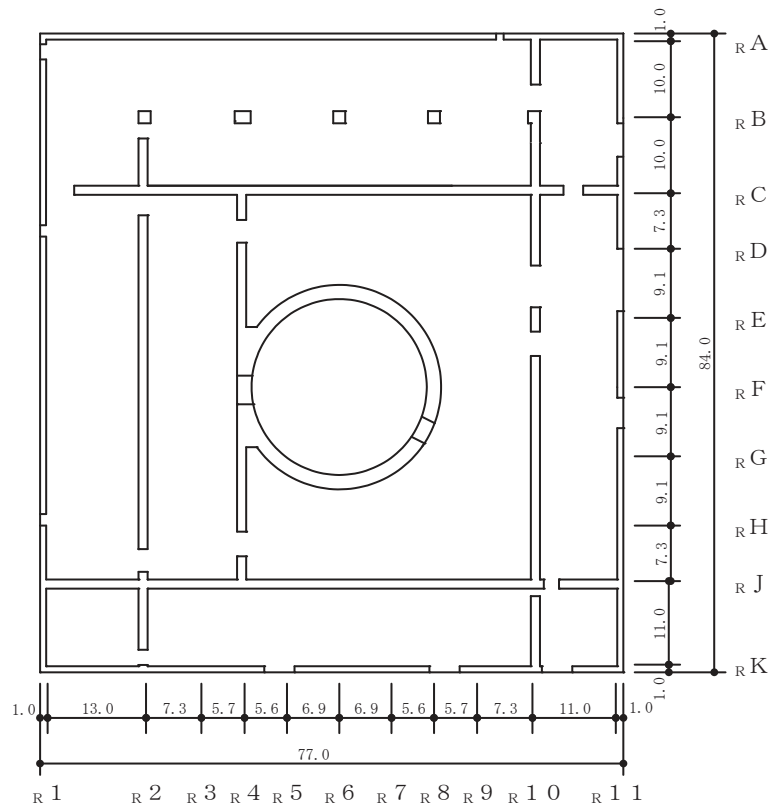
(単位：m)

図 2-2(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. -0.8m)



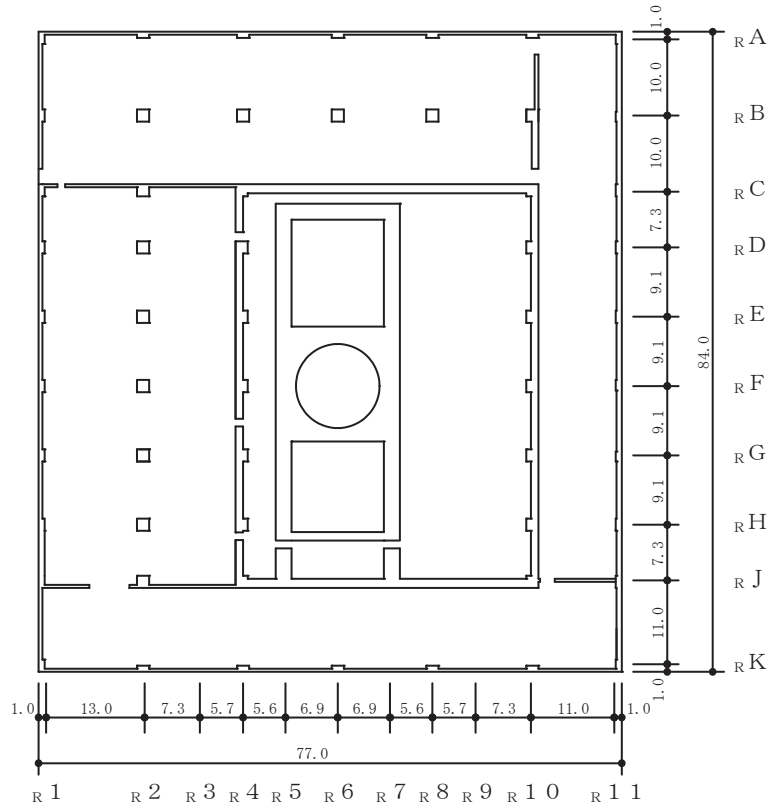
(単位：m)

図 2-2(3) 原子炉建屋の概略平面図 (O.P. 6.0m)



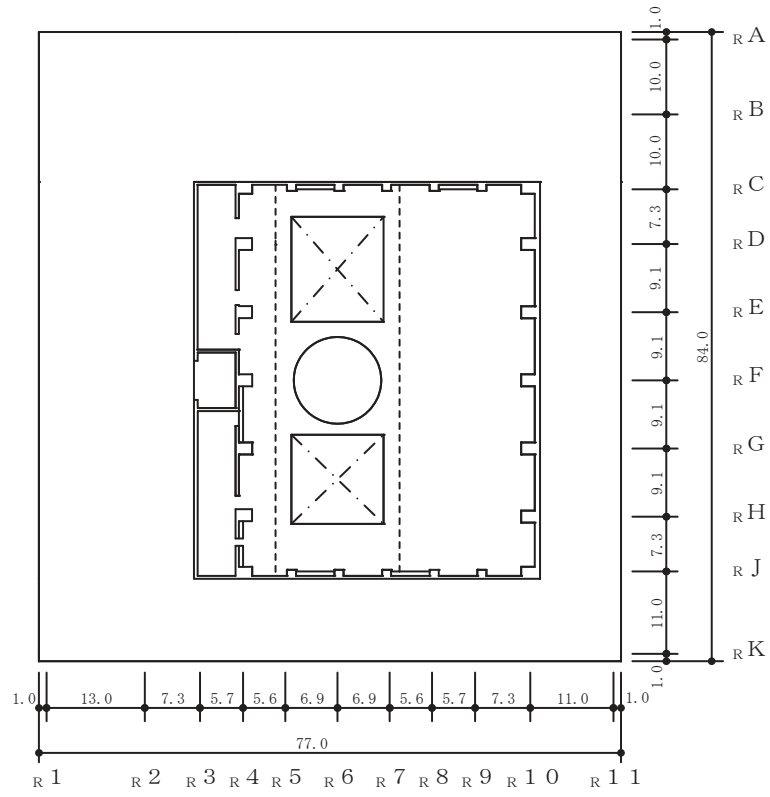
(単位 : m)

図 2-2(4) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 15.0m)



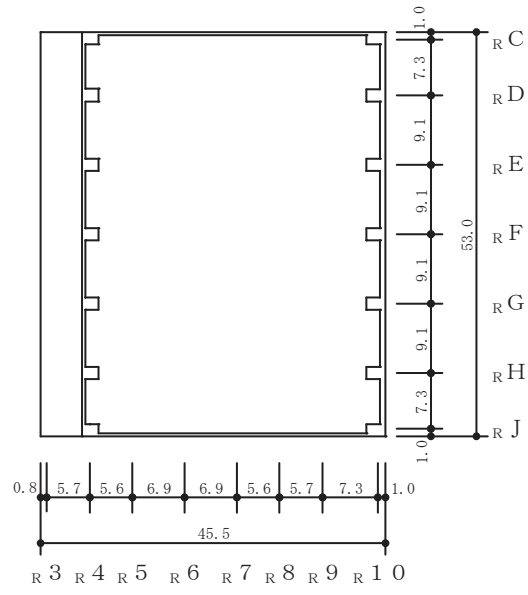
(単位 : m)

図 2-2(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 22.5m)



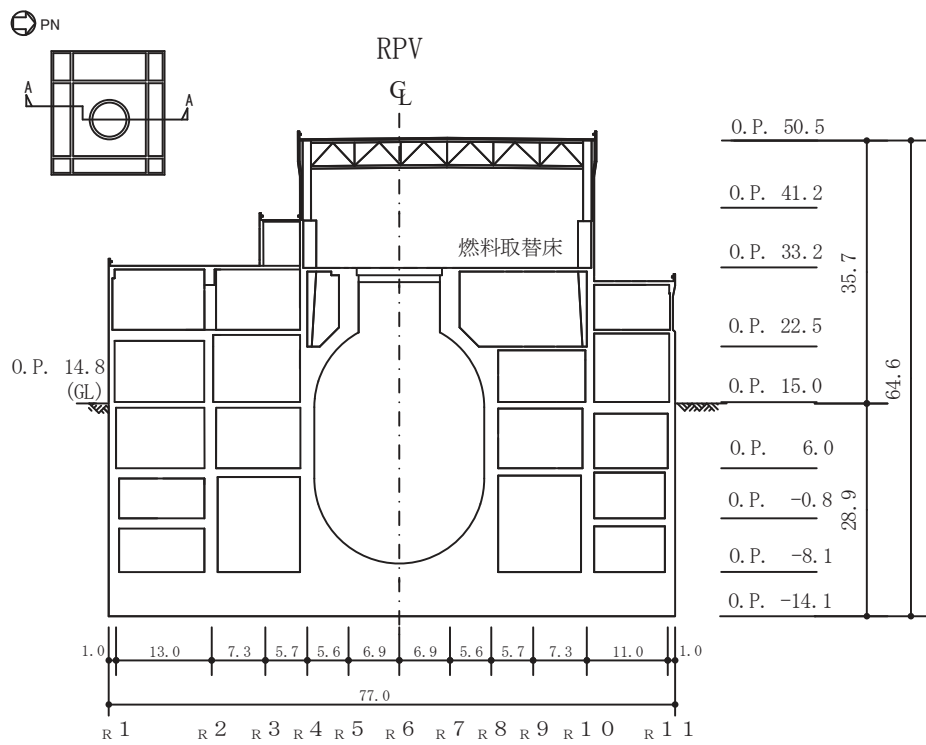
(単位 : m)

図 2-2(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)



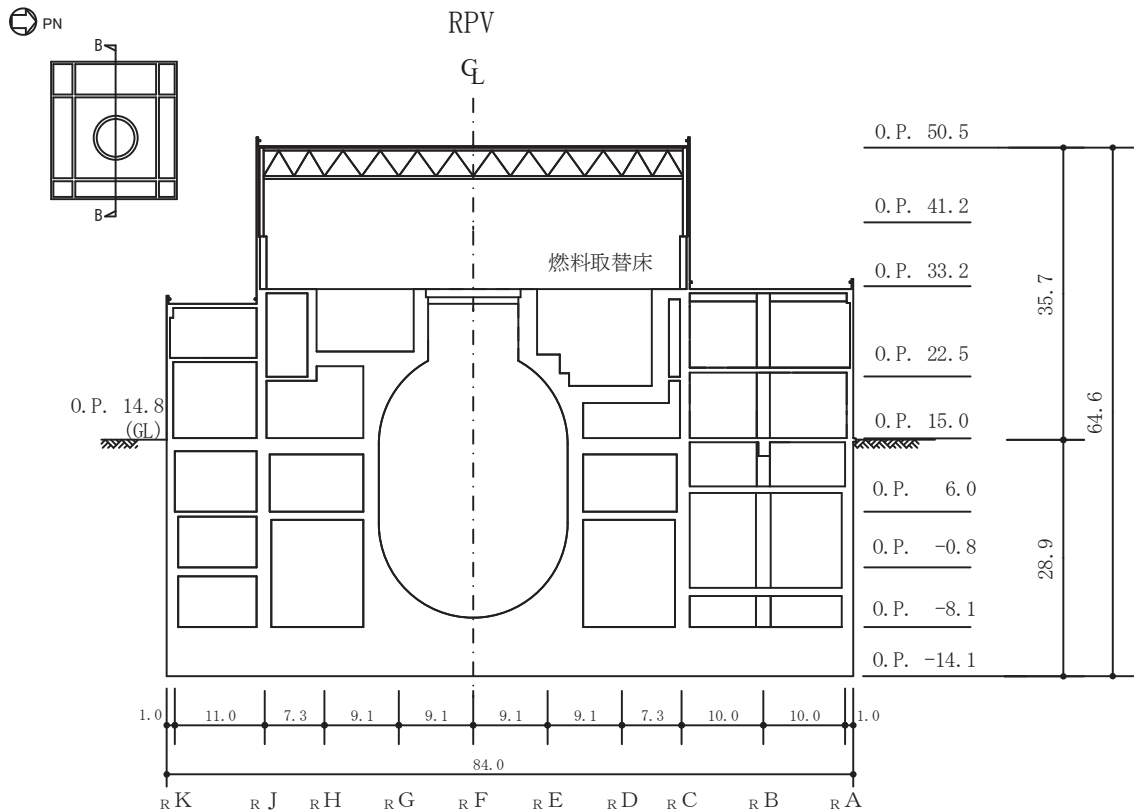
(単位 : m)

図 2-2(7) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 41. 2m)



(単位 : m)

図 2-3(1) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

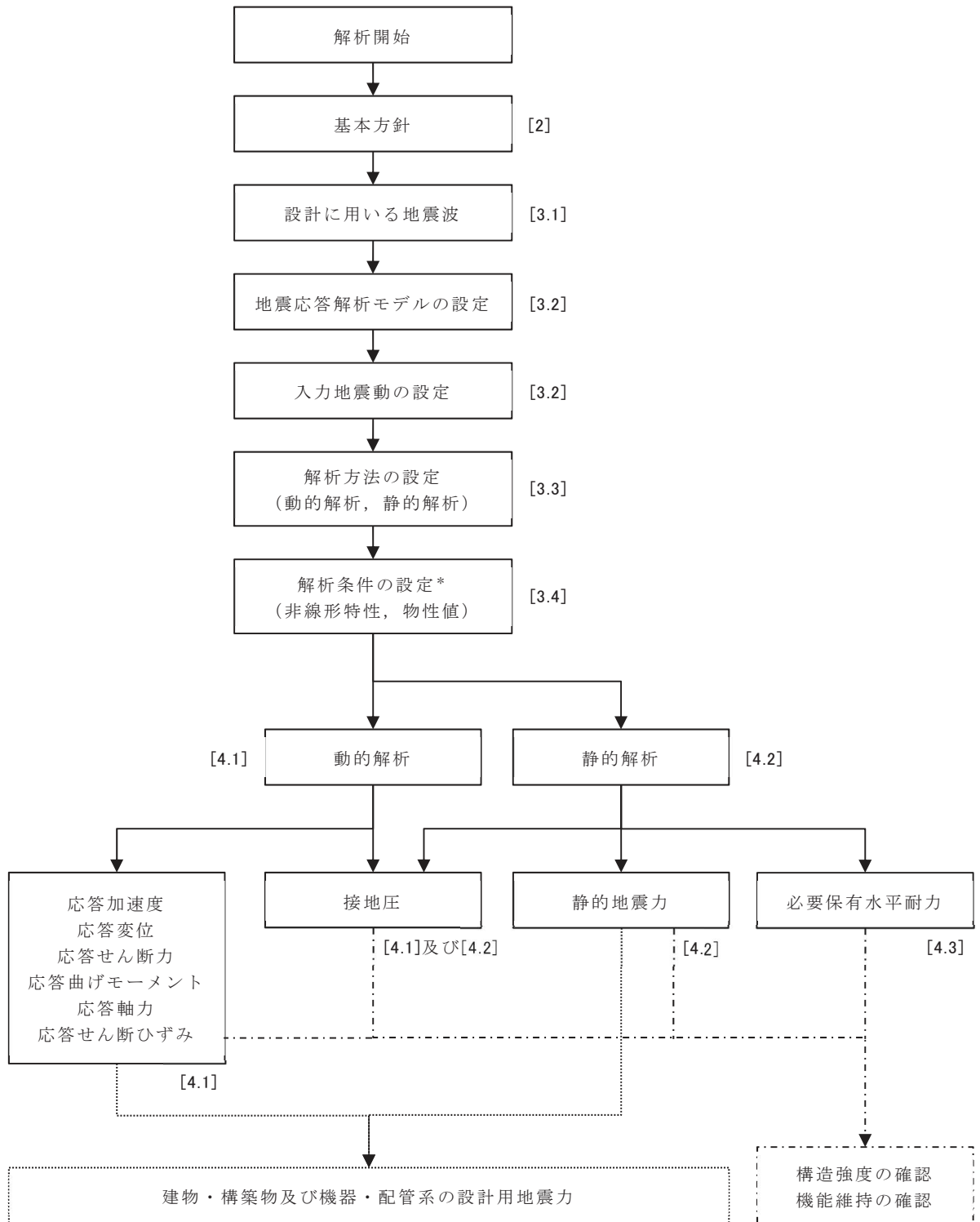
図 2-3(2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.3 解析方針

原子炉建屋の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2-4 に原子炉建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 設計に用いる地震波」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、材料物性の不確かさを考慮し、加速度、変位、せん断ひずみ、接地圧等を含む各種応答値を算出する。「4.2 静的解析」においては静的地震力及び接地圧を、「4.3 必要保有水平耐力」においては必要保有水平耐力を算出する。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-4 原子炉建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉建屋の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

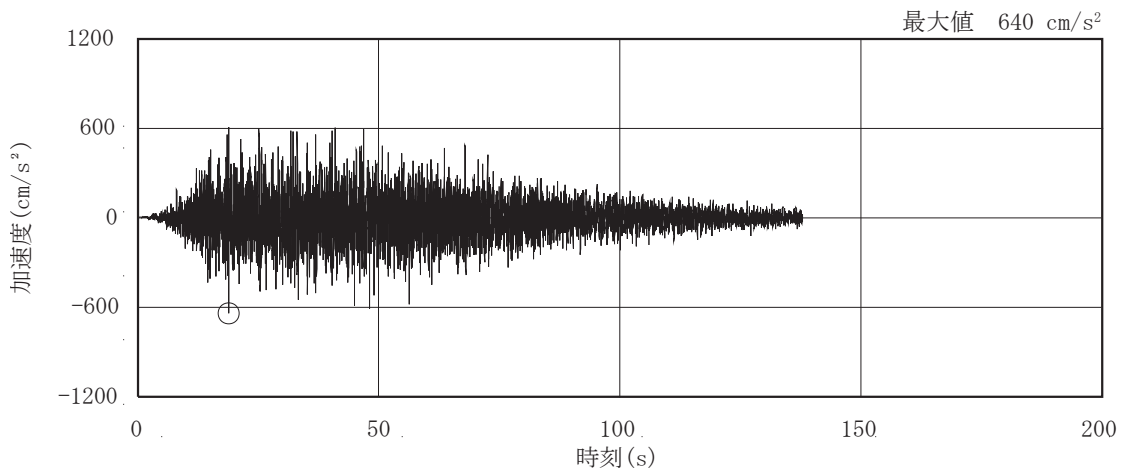
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 1999 年改定)
- ・鋼構造設計規準-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)

3. 解析方法

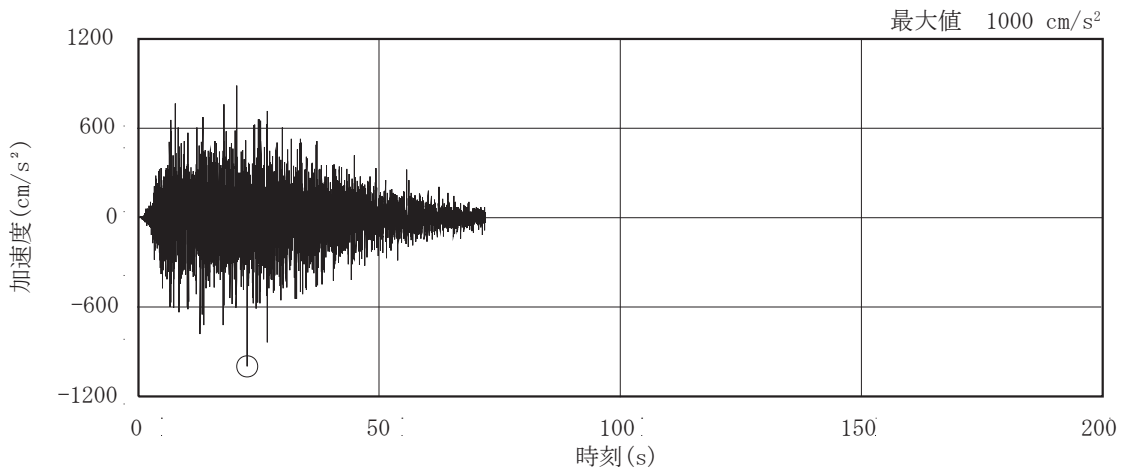
3.1 設計に用いる地震波

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、水平方向については、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から、建屋底面位置 (O.P. -14.1m) より上部の地盤の振動特性を考慮して算定した地震動を用いる。鉛直方向については、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を用いる。

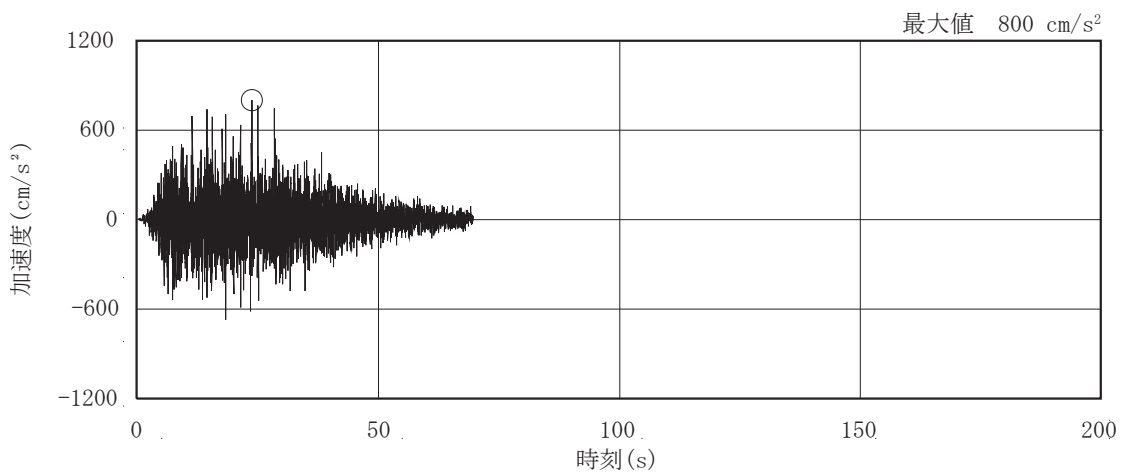
基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1～図 3-4 に示す。



(a) S s - D 1

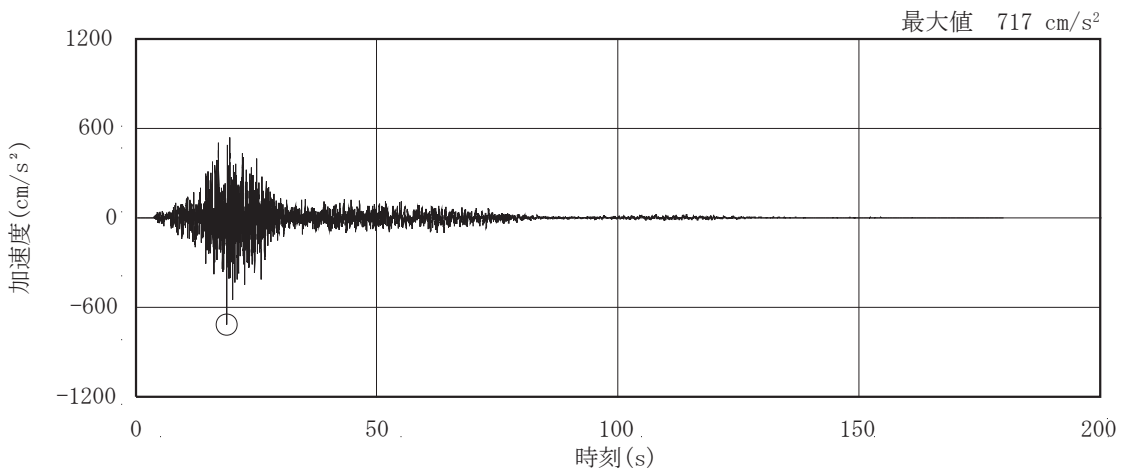


(b) S s - D 2

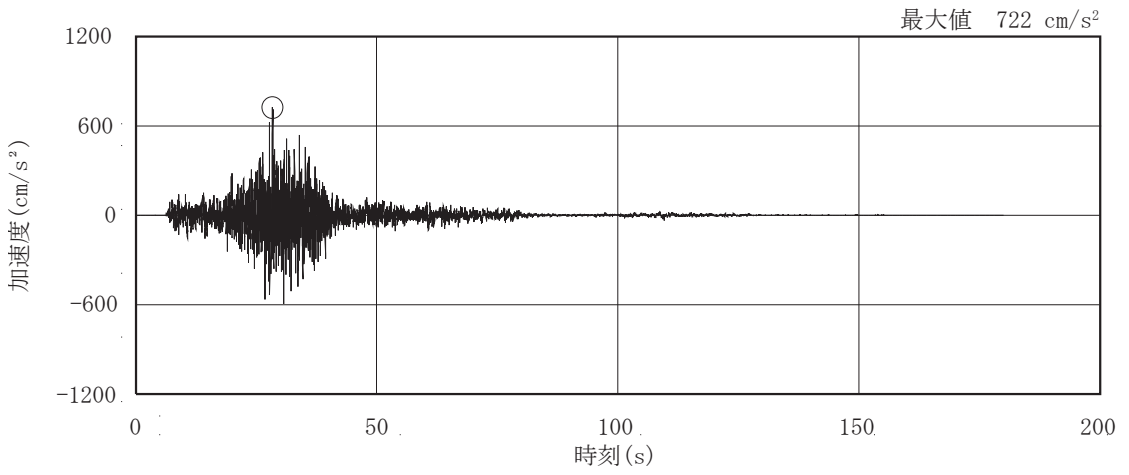


(c) S s - D 3

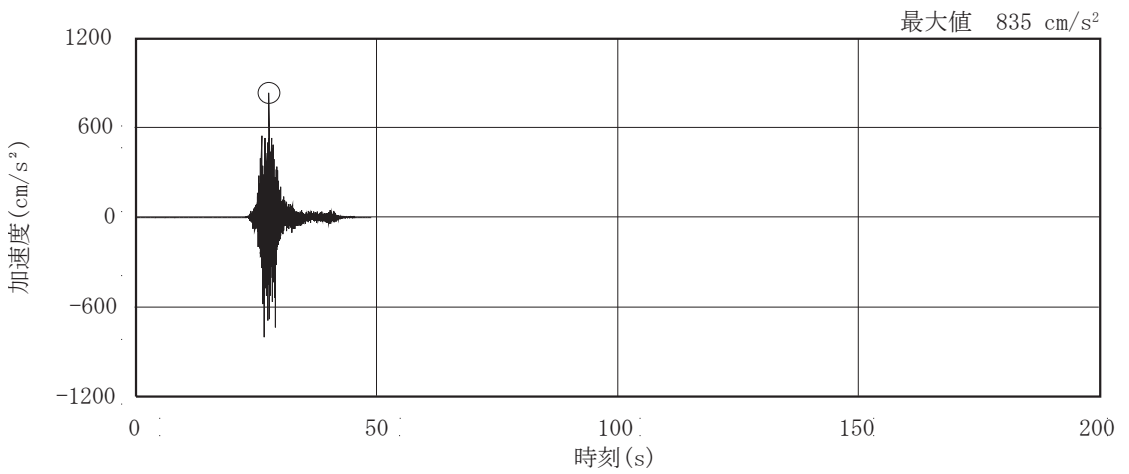
图 3-1(1) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

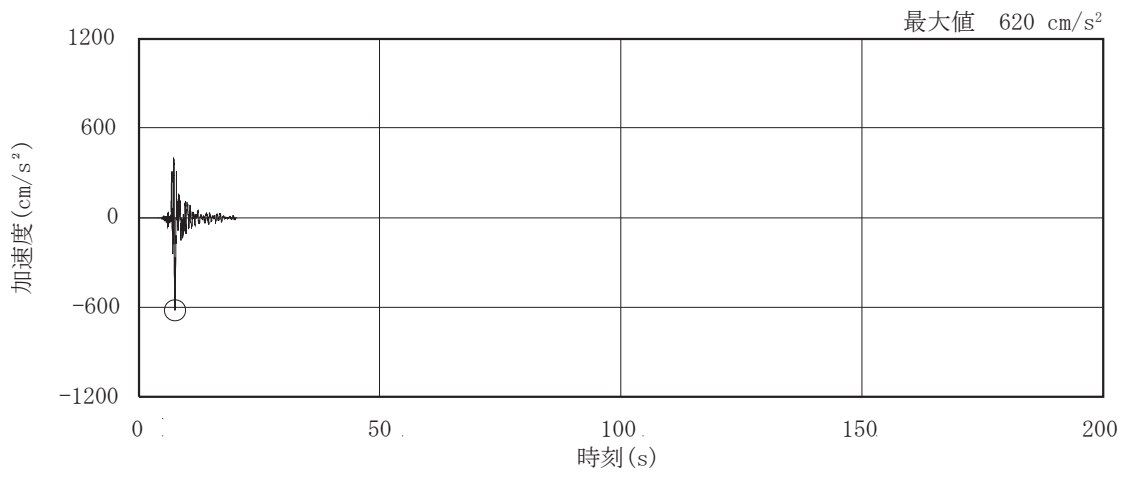


(e) S s - F 2



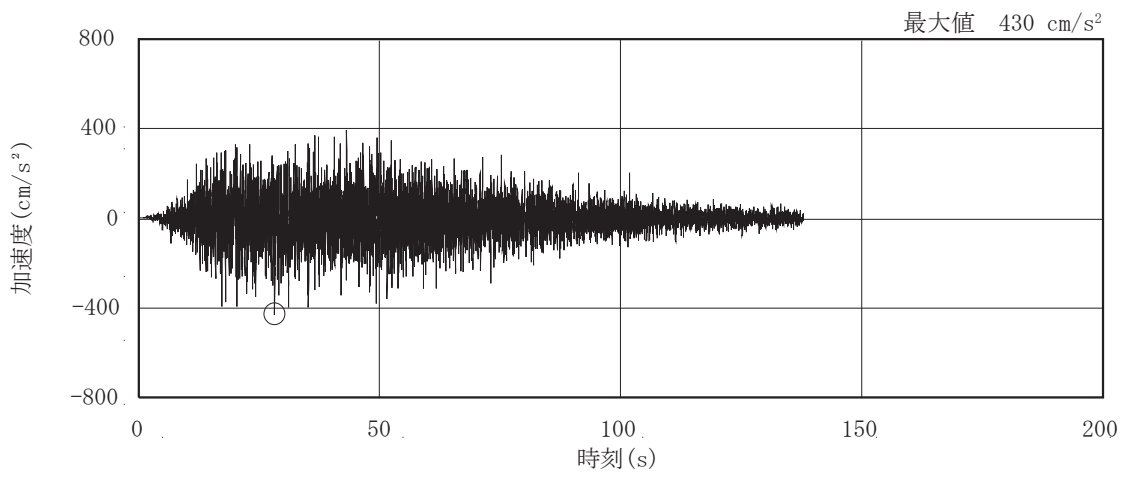
(f) S s - F 3

图 3-1(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)

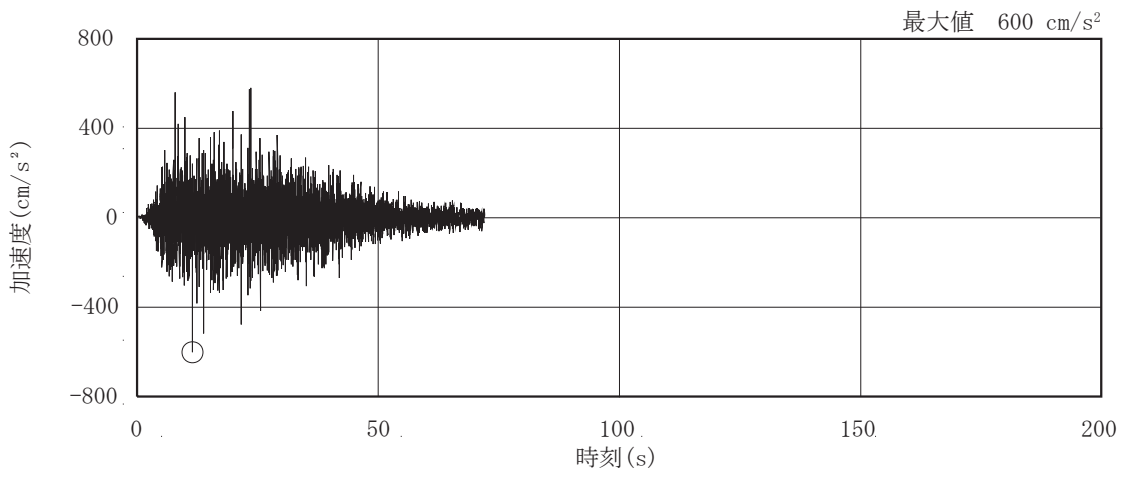


(g) S s - N 1

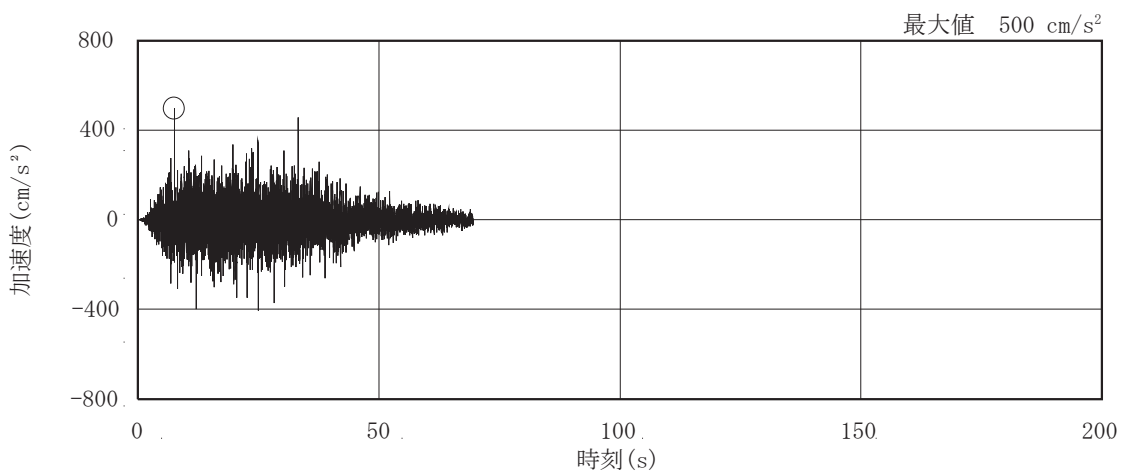
图 3-1(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

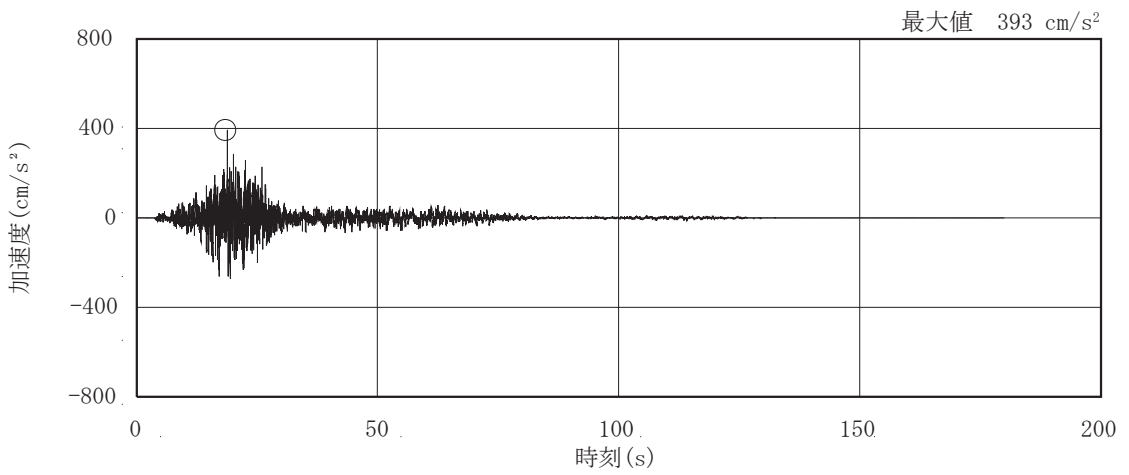


(b) S s - D 2

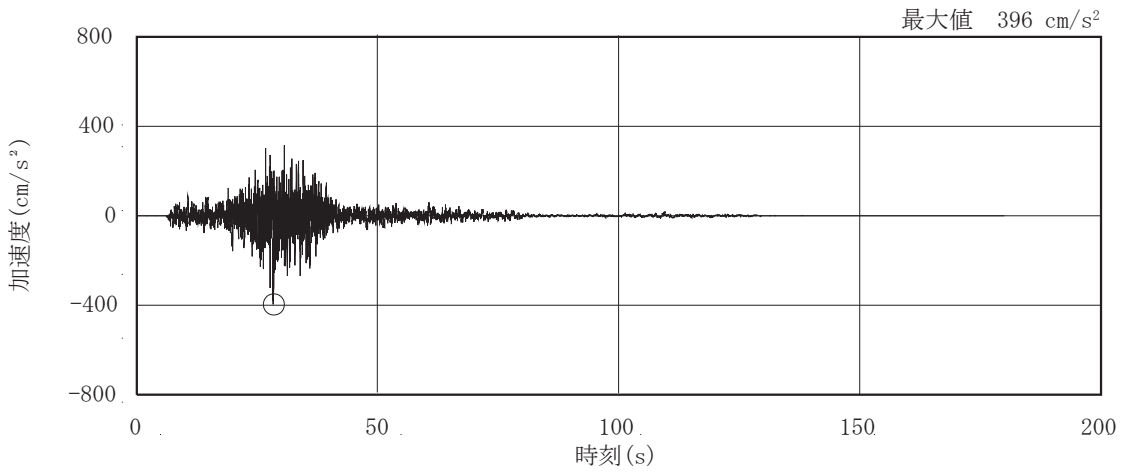


(c) S s - D 3

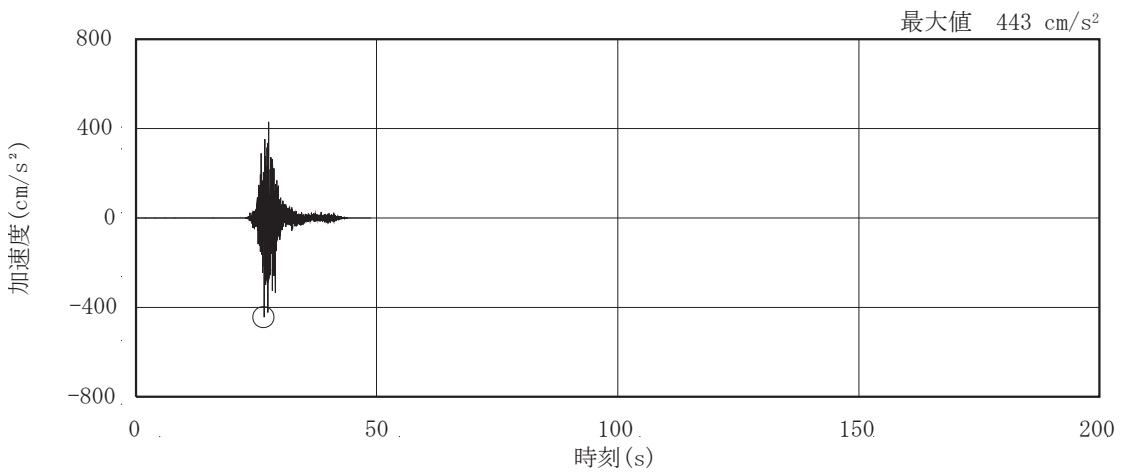
图 3-1(4) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

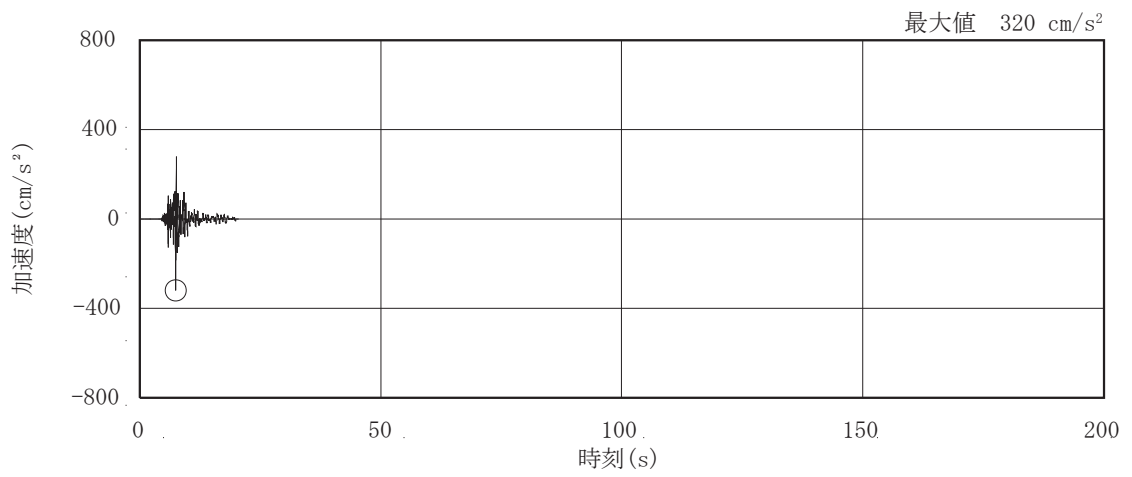


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-1(5) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (2/3)



(g) S s - N 1

图 3-1(6) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (3/3)

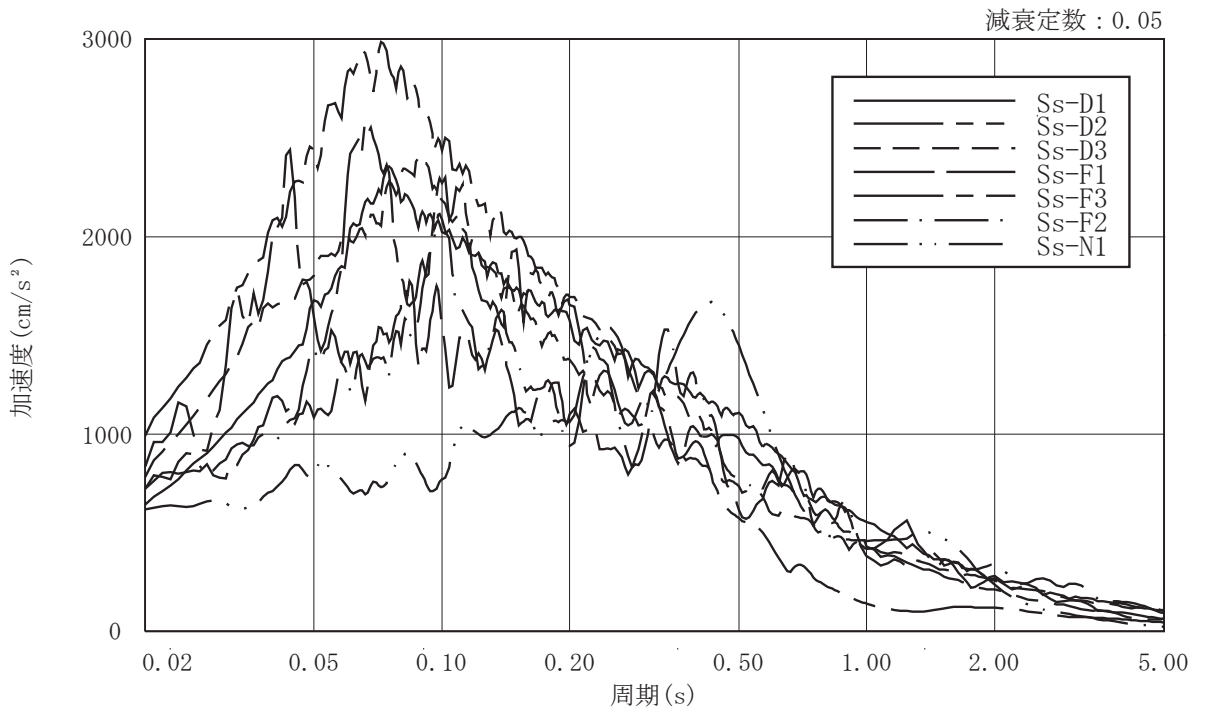


図 3-2(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

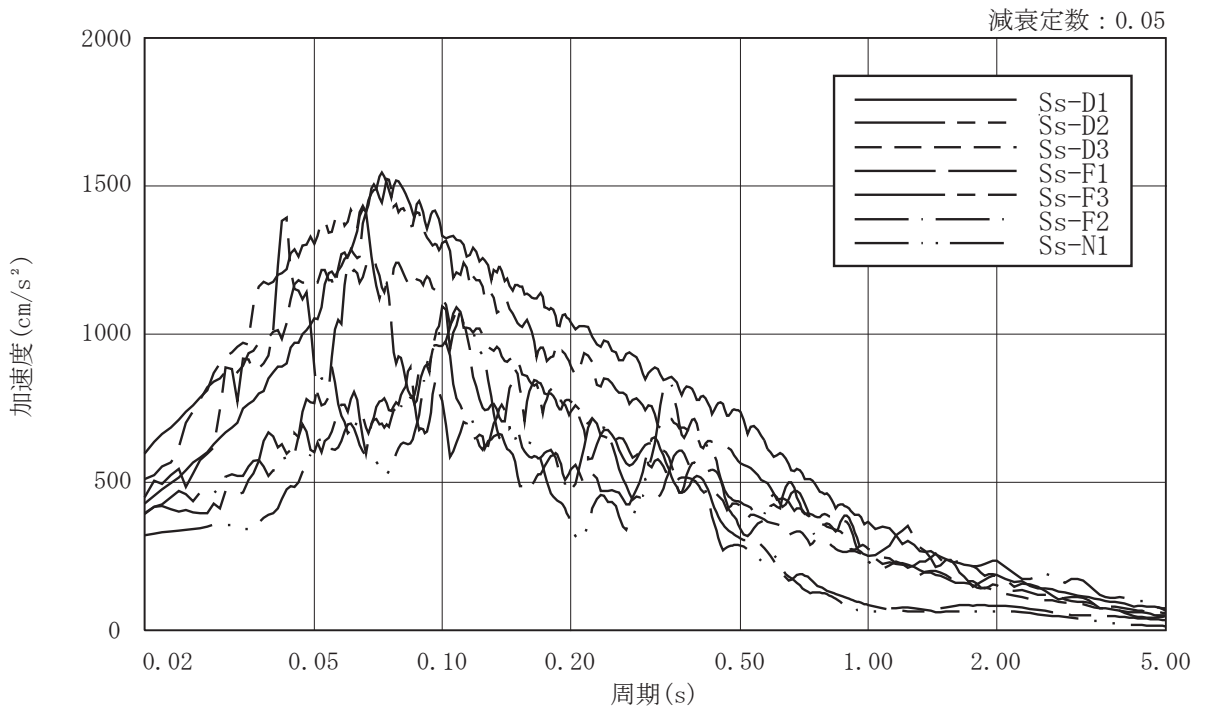
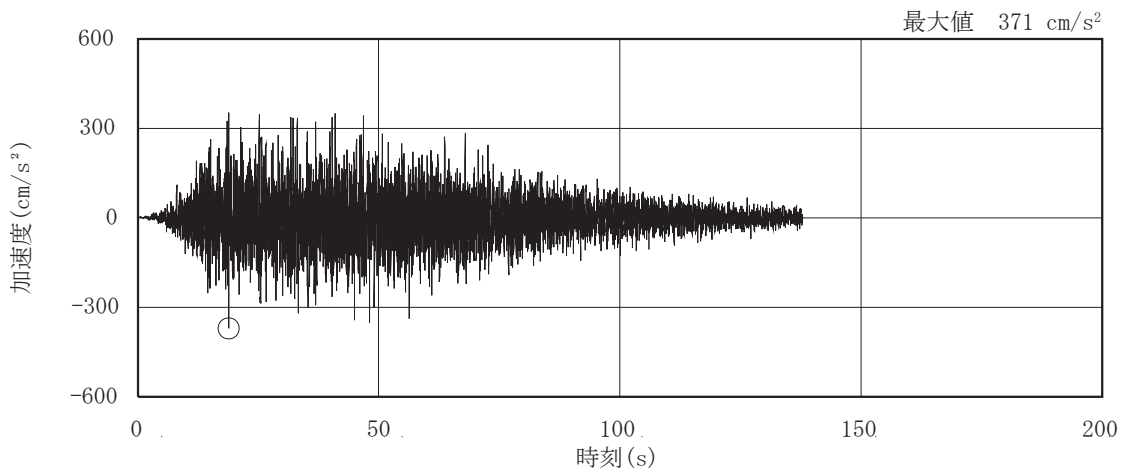
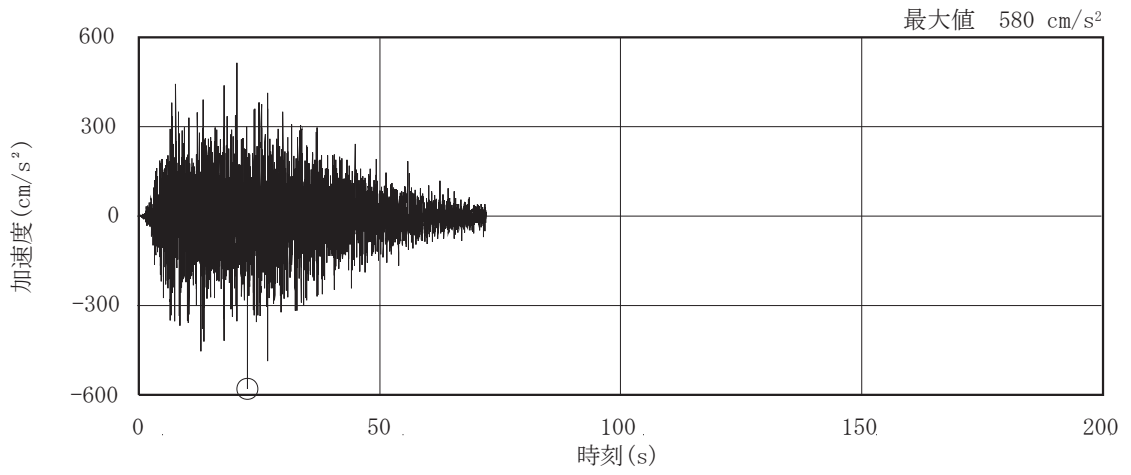


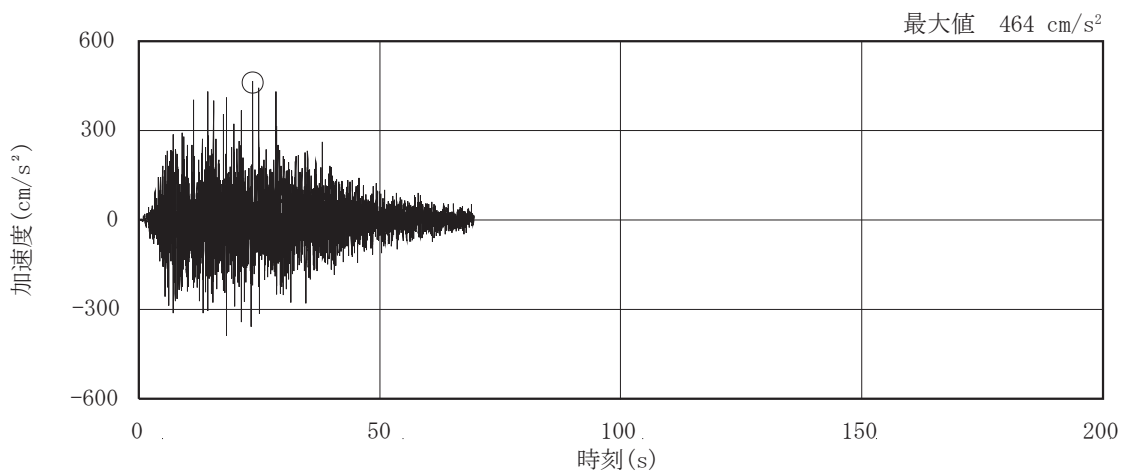
図 3-2(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)



(a) S d - D 1

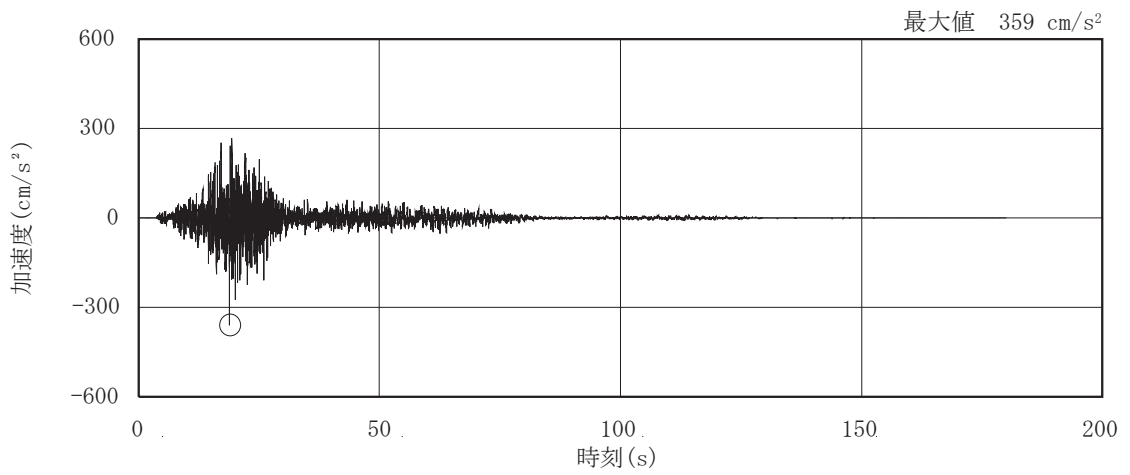


(b) S d - D 2

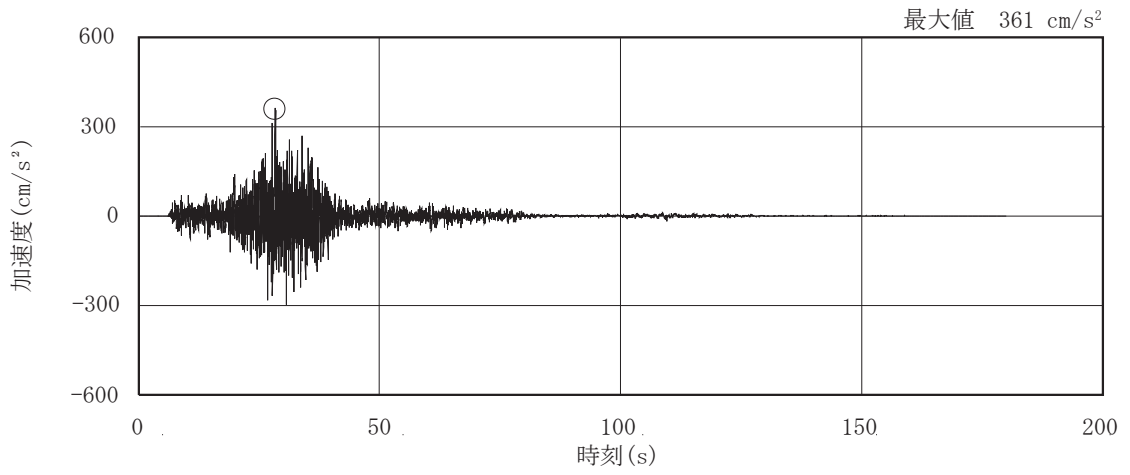


(c) S d - D 3

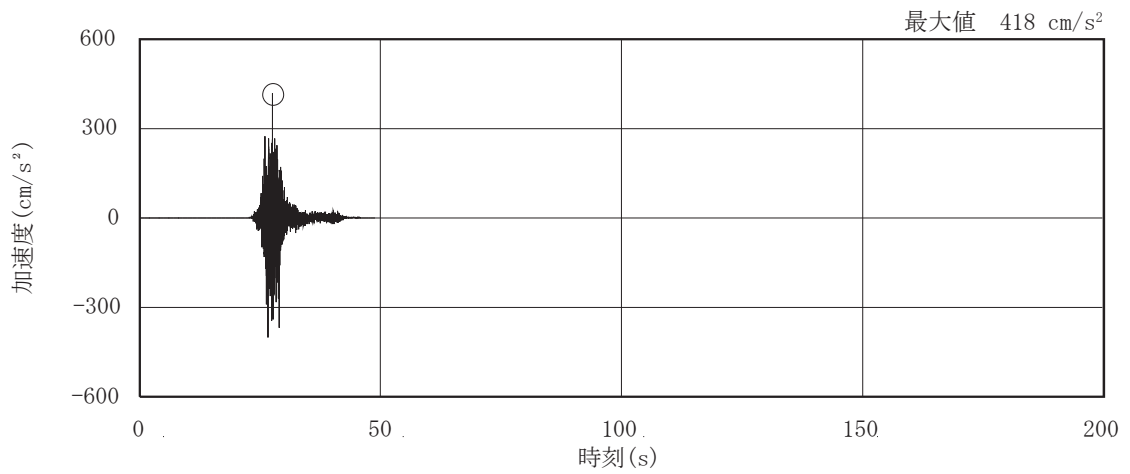
图 3-3(1) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 水平方向) (1/3)



(d) S d - F 1

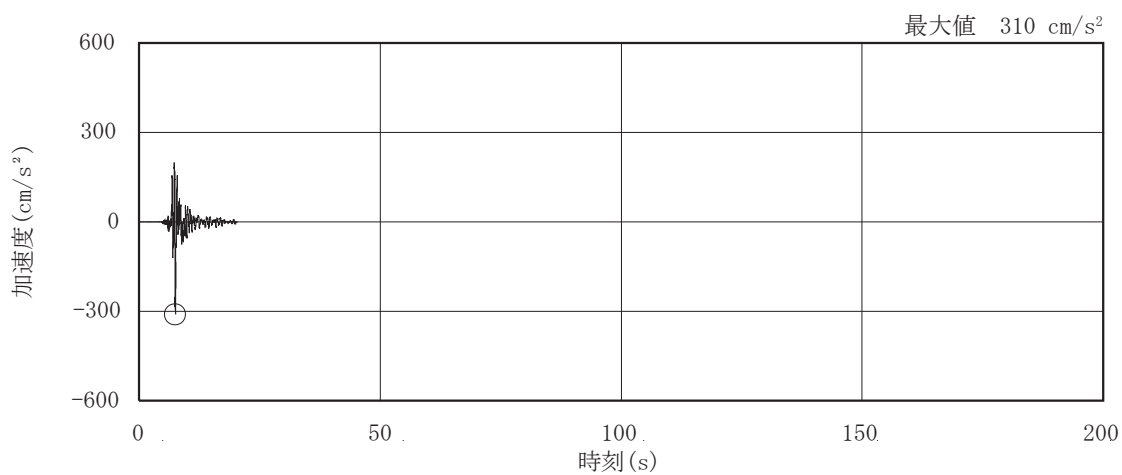


(e) S d - F 2



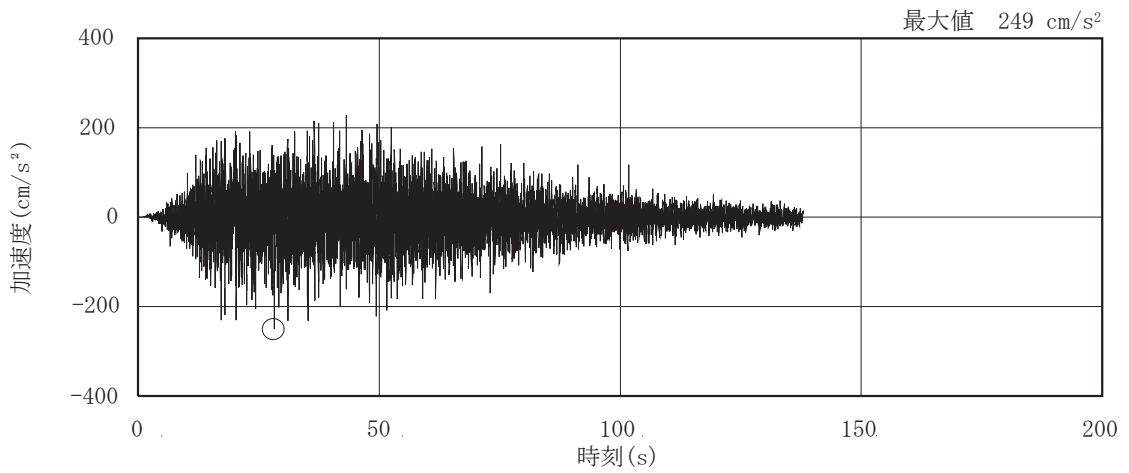
(f) S d - F 3

图 3-3(2) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d , 水平方向) (2/3)

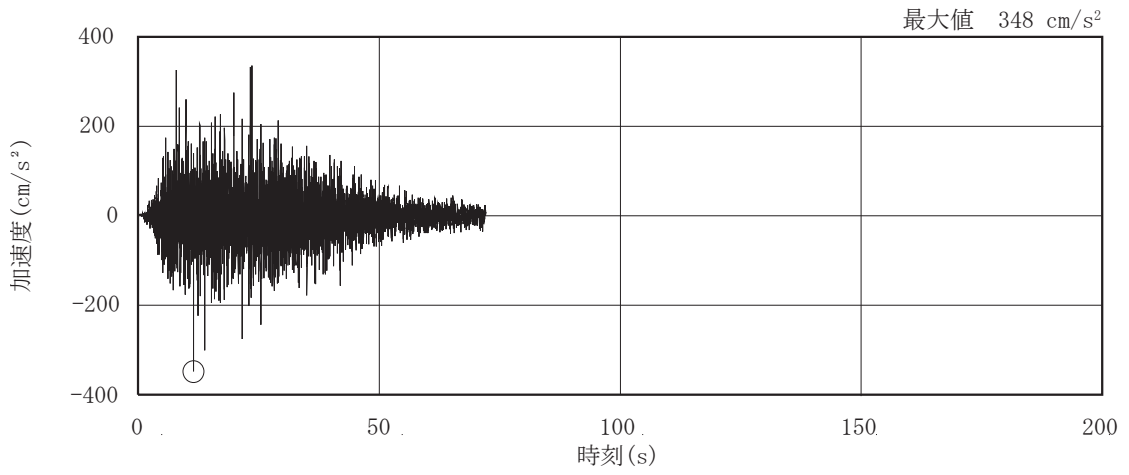


(g) S d - N 1

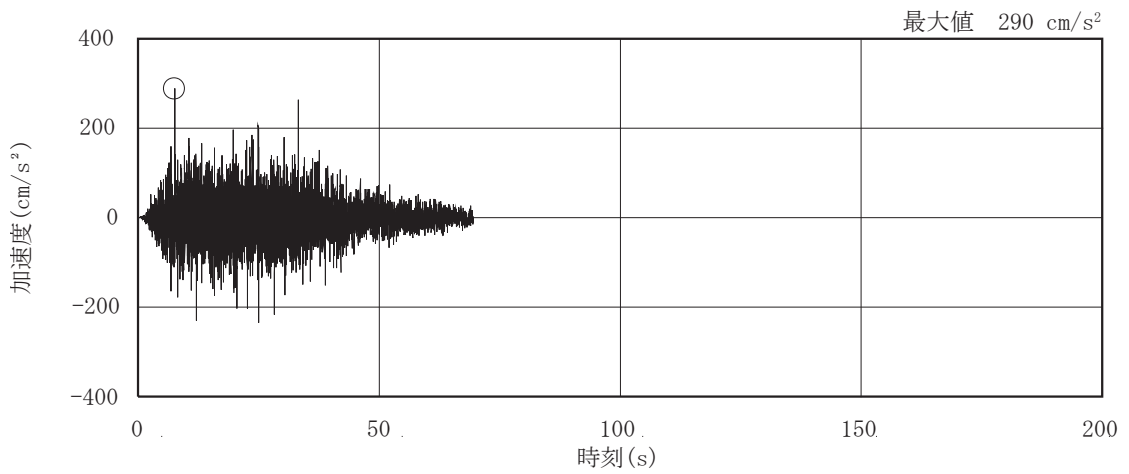
图 3-3(3) 加速度時刻歴波形 (弹性設計用地震動 S d, 水平方向) (3/3)



(a) S d - D 1

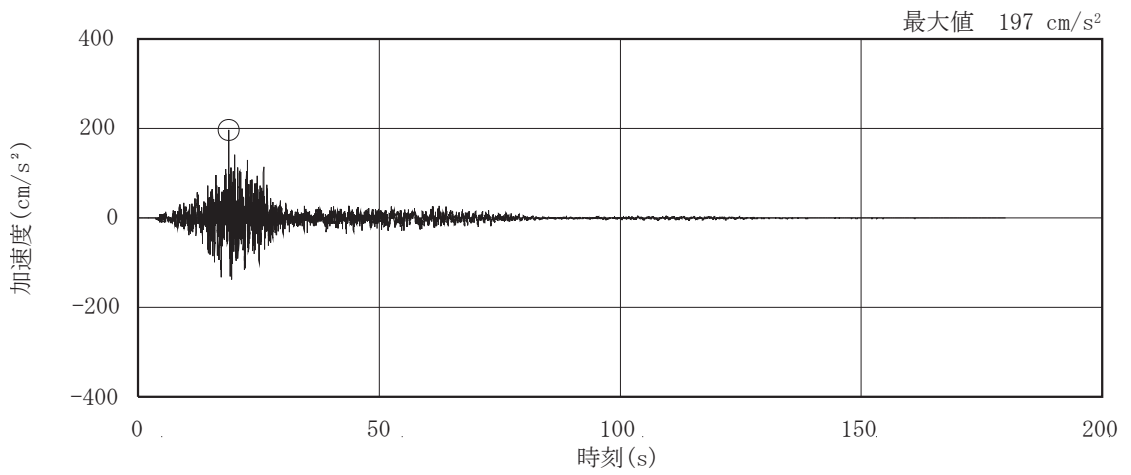


(b) S d - D 2

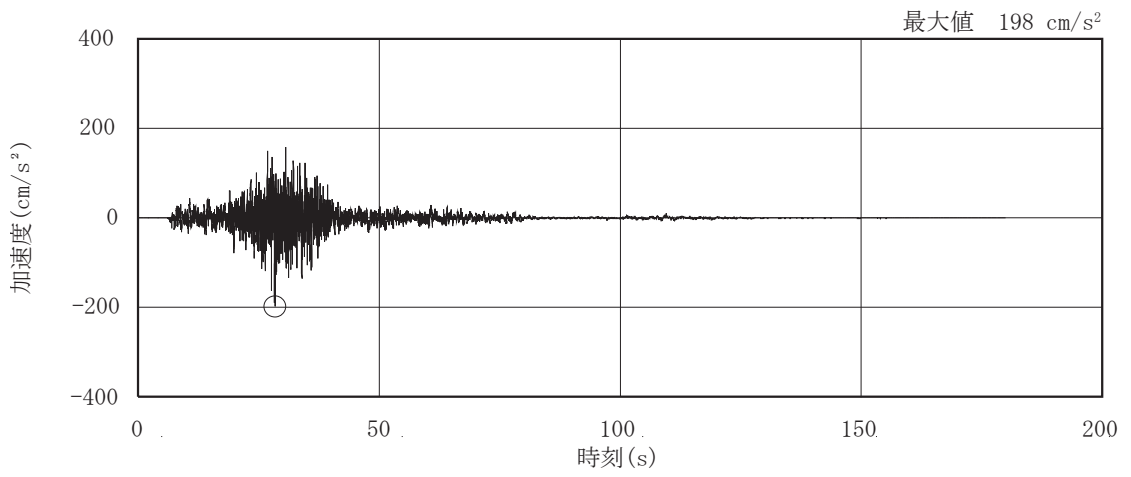


(c) S d - D 3

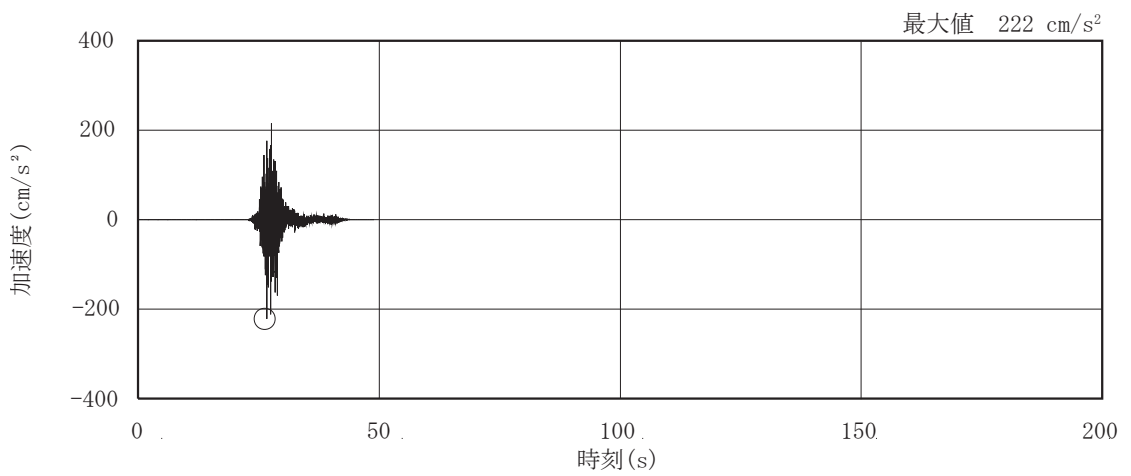
图 3-3(4) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d , 鉛直方向) (1/3)



(d) S d - F 1

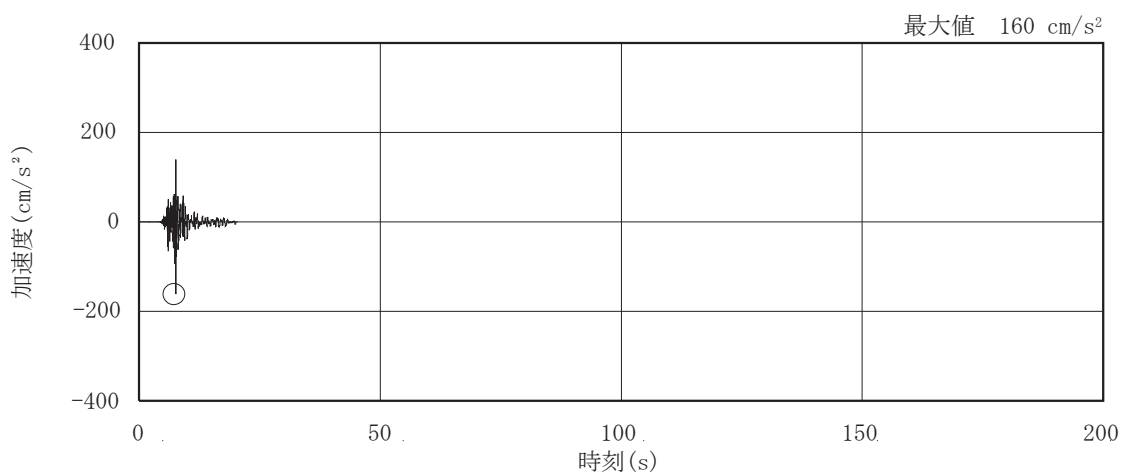


(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

图 3-3(5) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (2/3)



(g) S d - N 1

图 3-3(6) 加速度時刻歴波形 (弹性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (3/3)

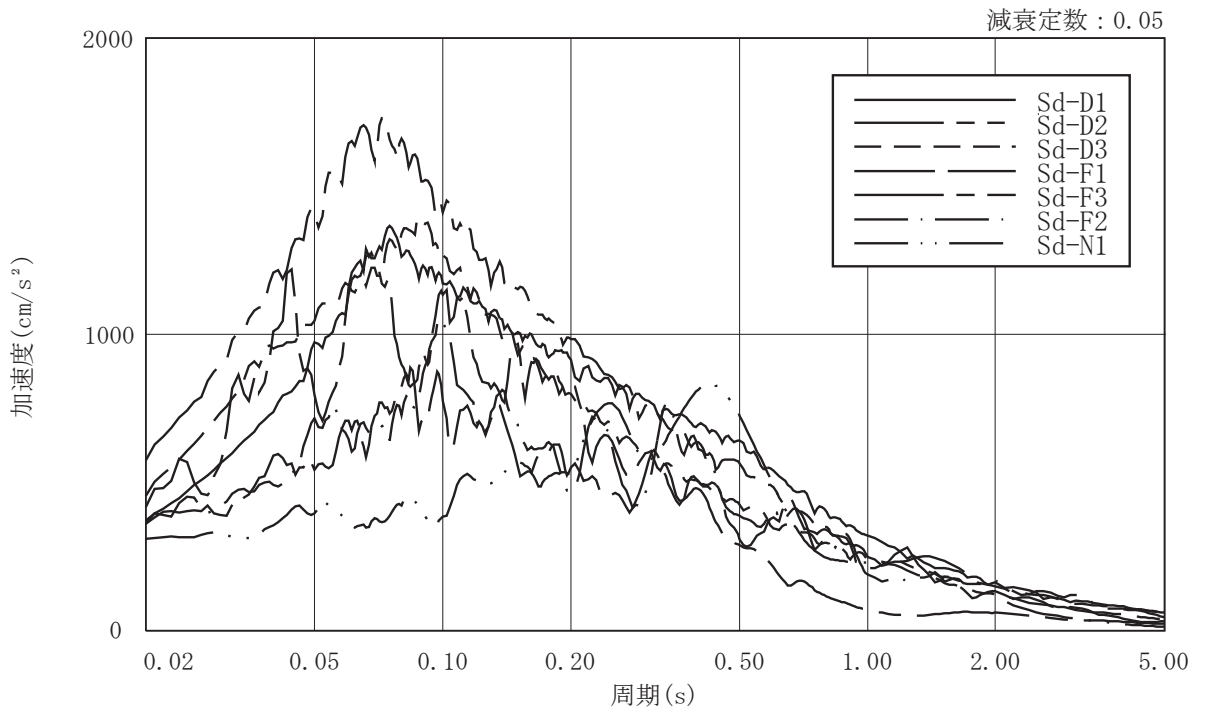


図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 水平方向)

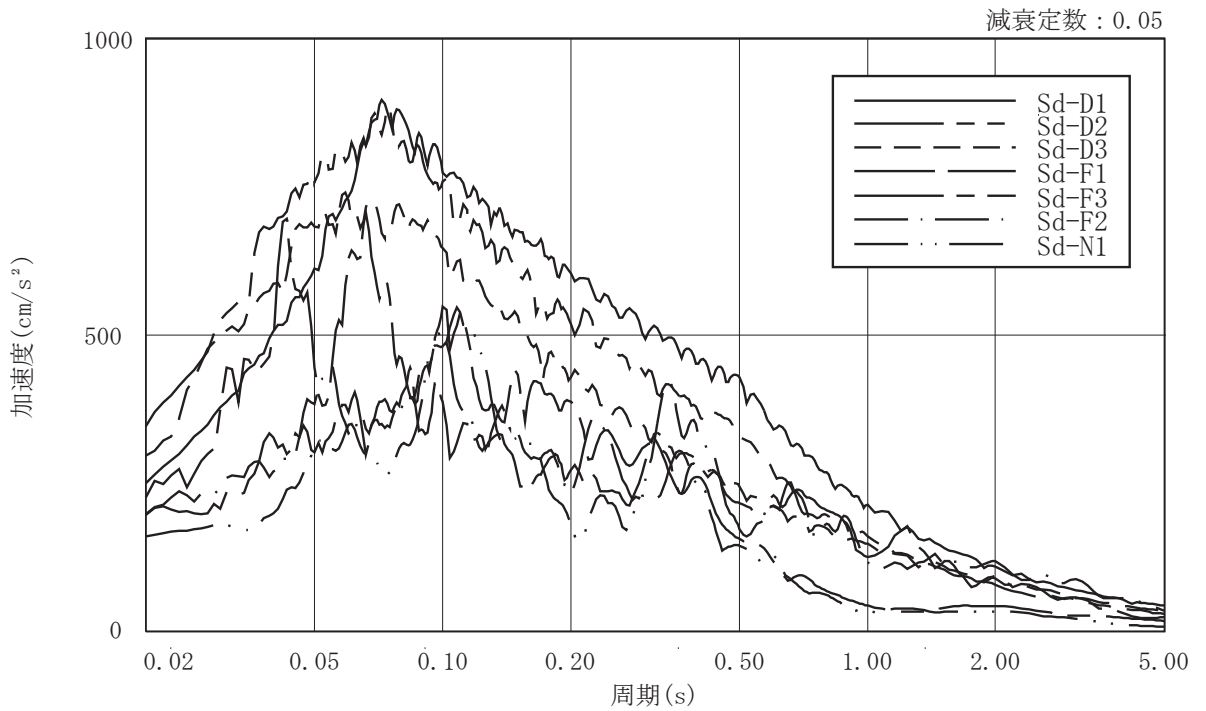


図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルには耐震補強工事を反映する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： F _c = 32.4 (N/mm ²) (F _c = 330 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5	既設部
鉄筋コンクリート コンクリート： F _c = 33 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.52 × 10 ⁴	1.05 × 10 ⁴	5	追設部
鉄骨：SS41 (SS400 相当) SM50A (SM490A 相当)	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2	屋根トラス
鉄骨：SN400B SN490B BCR295	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2	追設ブレース

3.2.1 水平方向

(1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をするシェル壁、耐震壁部、鉄骨ブレース部及び面内せん断変形をする床スラブ部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-5 に示す。なお、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については、観測記録や試験データなどから適切に地震応答解析モデルへ反映し、保守性を確認した上で適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表 3-2 に示す。

また、耐震補強工事で追設した部材として、内部ボックス壁と同じ構面において 3 階(0. P. 33. 2m～0. P. 41. 2m)には耐震壁を、クレーン階(0. P. 41. 2m～0. P. 50. 5m)には鉄骨ブレースを地震応答解析モデルに反映している。

(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては水平ばね及び回転ばねで置換している。この水平ばね及び回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-3 に、地盤モデルの物性値を表 3-4 に示す。

(3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を一次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により O.P. -200m の入射波を算定する。算定した O.P. -200m の入射波を、表層地盤の非線形性を考慮した一次元地盤モデルに入力して逐次非線形解析を行い、建屋基礎底面での地盤の応答を評価して入力地震動とする。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。表 3-4 に示す地盤モデルのうち表層地盤（O.P. 14.8m～O.P. 0m）には、地盤調査結果に基づき、初期せん断剛性 G_0 、 $G/G_0-\gamma$ 曲線及び $h-\gamma$ 曲線の非線形特性を設定した。 $G/G_0-\gamma$ 曲線及び $h-\gamma$ 曲線の非線形特性を図 3-7 及び図 3-8 に示す。図 3-9 に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を、設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（O.P. -14.1m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「mflow」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

$E_c = 1.99 \times 10^4$ N/mm ²	
7.94×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)	
2.52×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)	
$G_c = 8.53 \times 10^3$ N/mm ²	
3.41×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)	
1.05×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)	
$E_s = 2.05 \times 10^5$ N/mm ² (追設ブレース)	
$G_s = 7.90 \times 10^4$ N/mm ² (追設ブレース)	

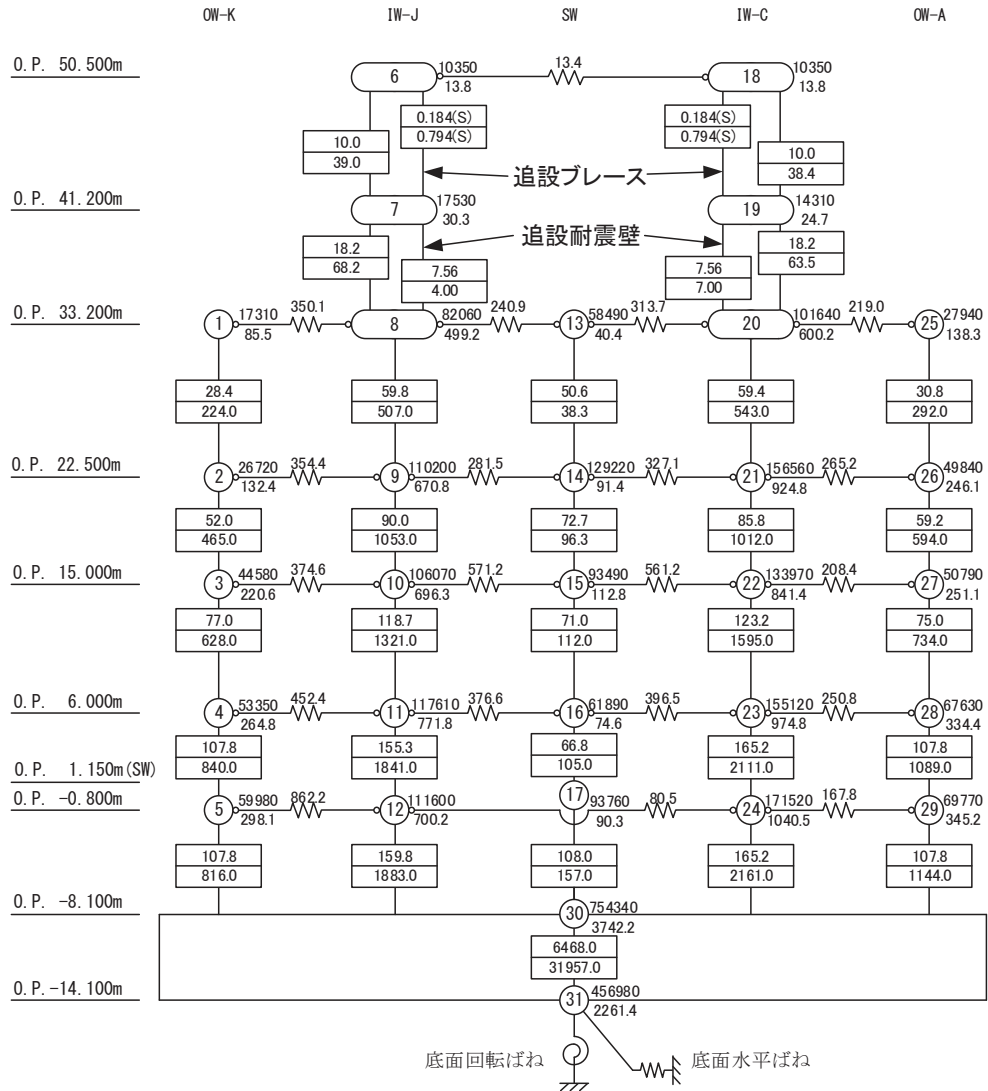
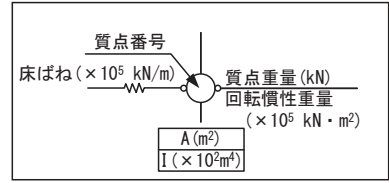
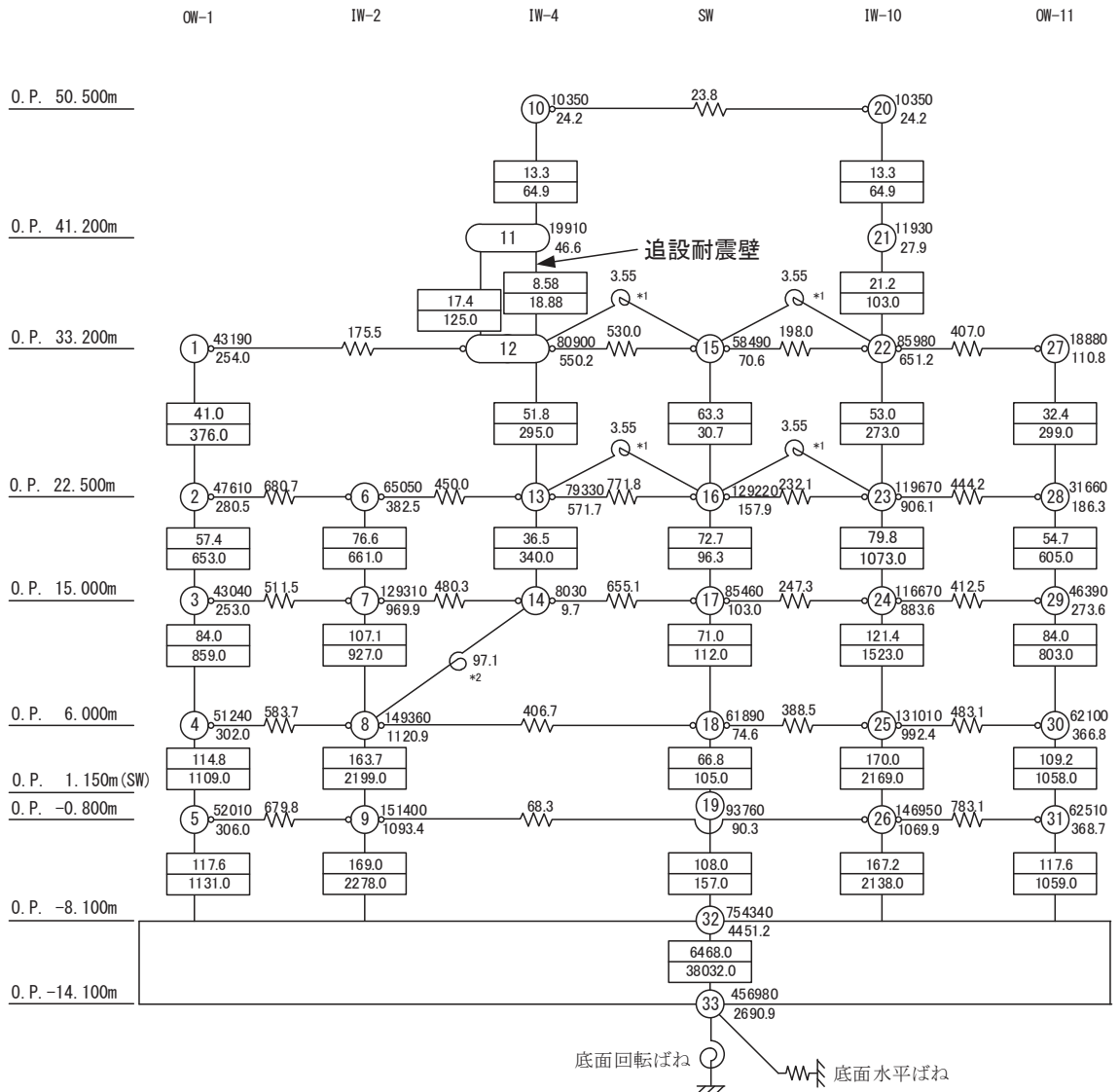
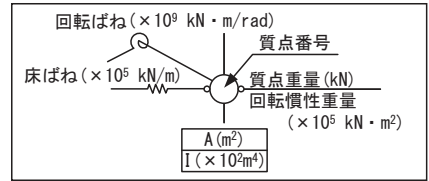


図 3-5(1) 地震応答解析モデル及び諸元 (NS 方向)

$E_c = 2.12 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
 1. $3.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (燃料取替床上部)
 2. $5.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (追設耐震壁)
 $G_c = 9.10 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
 5. $6.9 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ (燃料取替床上部)
 1. $0.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (追設耐震壁)



注記*1：プール壁の回転ばね

注記*2：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね

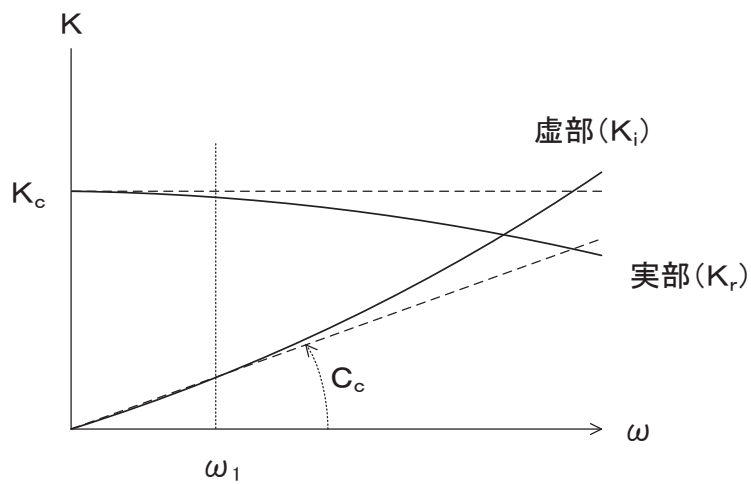
図 3-5(2) 地震応答解析モデル及び諸元 (EW 方向)

O 2 ① VI-2-2-1 R 0

表 3-2 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33. 2m より上部)	地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33. 2m より下部)
NS	0. 30	0. 75
EW	0. 50	0. 80

注：追設耐震壁については補正を行わない。



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：建屋－地盤連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数

(a)NS 方向

地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・水平	1.742×10^9 (kN/m)	2.351×10^7 (kN・s/m)
底面・回転	2.994×10^{12} (kN・m/rad)	5.100×10^9 (kN・m・s/rad)

(b)EW 方向

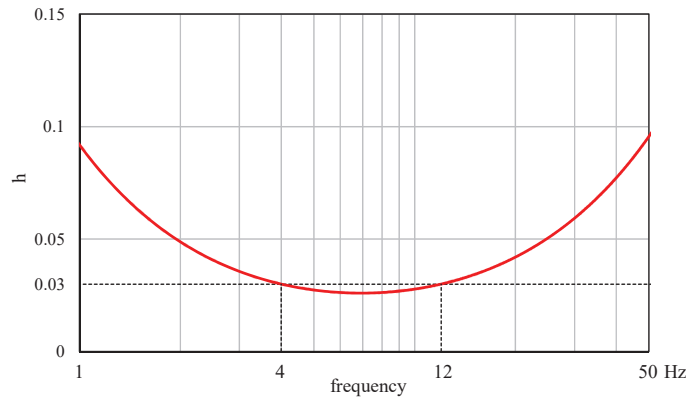
地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・水平	1.727×10^9 (kN/m)	2.309×10^7 (kN・s/m)
底面・回転	3.386×10^{12} (kN・m/rad)	6.732×10^9 (kN・m・s/rad)

表 3-4 原子炉建屋の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

	地層レベル O. P. (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断波速度 V_s (m/s)	減衰定数* ² h (%)
表層地盤	14.80	18.6	*1	3* ³
	0.00	23.3	900* ⁴	3
底面地盤	-14.10	23.8	1300	3
	-25.00	24.6	2150	3
	-80.00	25.0	2440	3
	-200.0	25.0	2440	3

注記*1：O. P. 14.8m～O. P. 0m は，上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また，ひずみ依存による非線形特性を考慮する。地盤の応答解析においては10層に分割する。

注記*2：レーリー減衰（4Hz, 12Hz）



注記*3：ひずみ依存による非線形特性を考慮する。

注記*4：PS 検層結果と観測記録の分析より設定

初期せん断剛性 G_0 は、PS 検層結果により次式で設定する。

$$G_0 = 1787 \cdot \sigma_c^{0.84} \quad (3.1)$$

ここで、

$$\sigma_c = Z \cdot \rho_t \cdot 2/3 \text{ (MN/m}^2\text{)}$$

Z : 深度 (m)

$$\rho_t = 18.6 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$G/G_0 - \gamma$ 曲線は、原位置せん断試験結果による強度定数と拘束圧から求めたせん断強度 τ_m と初期せん断剛性 G_0 から、基準ひずみ γ_m を算定し次式により求める。

$$G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m) \quad (3.2)$$

ここで、

$$\gamma_m = \tau_m / G_0$$

$$\tau_m = \tau_0 + \sigma_m \cdot \tan \phi \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau_0 = 0.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\phi = 33.9 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\sigma_{m,d} = 3/4 \cdot Z \cdot \rho_t \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$h - \gamma$ 曲線は、繰返し三軸試験結果に基づき次式により求める。

$$h = 0.183 \cdot \gamma / (\gamma + 0.000261) \quad (3.3)$$

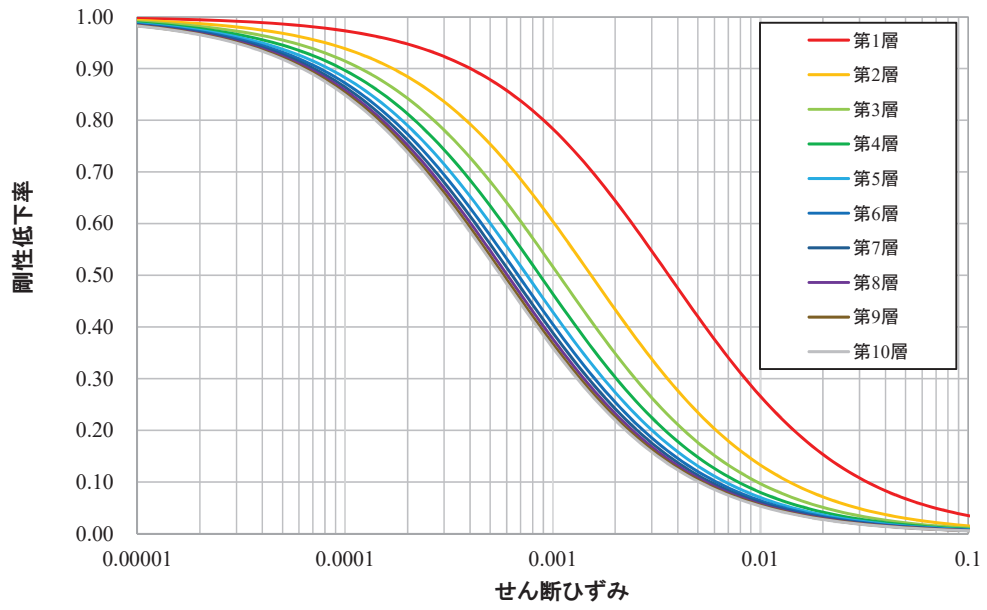


図 3-7 $G/G_0 - \gamma$ 曲線

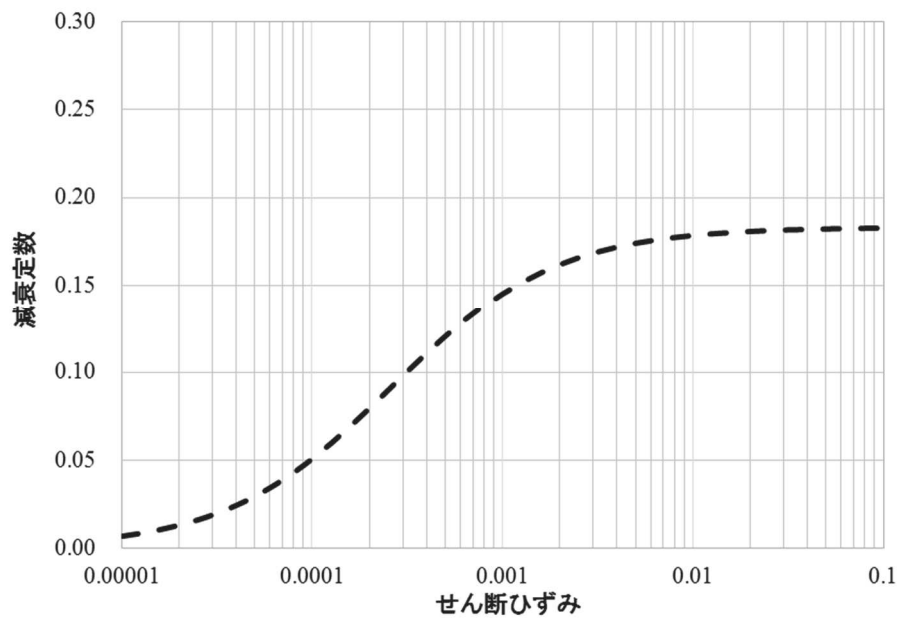


図 3-8 $h - \gamma$ 曲線

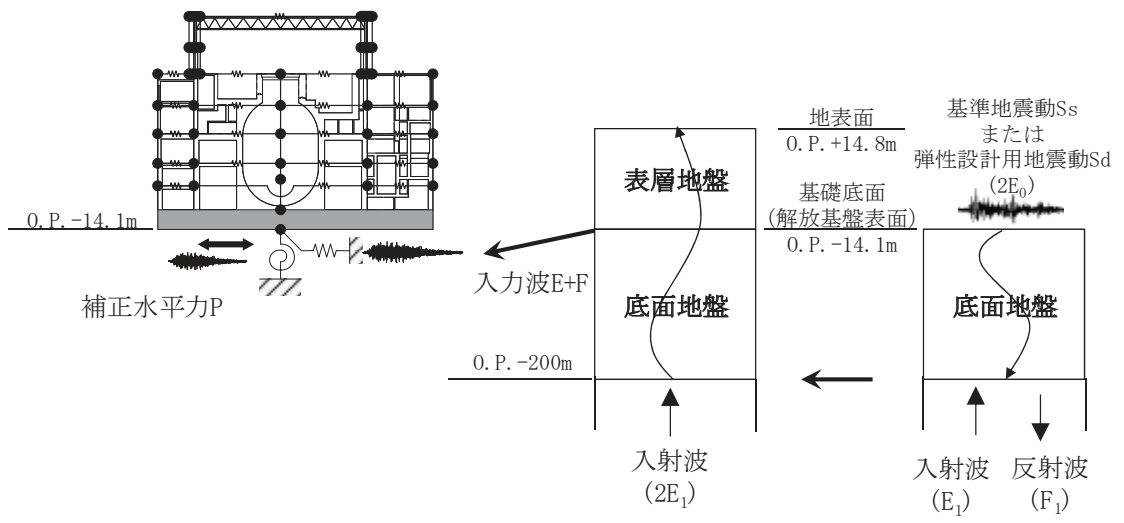


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

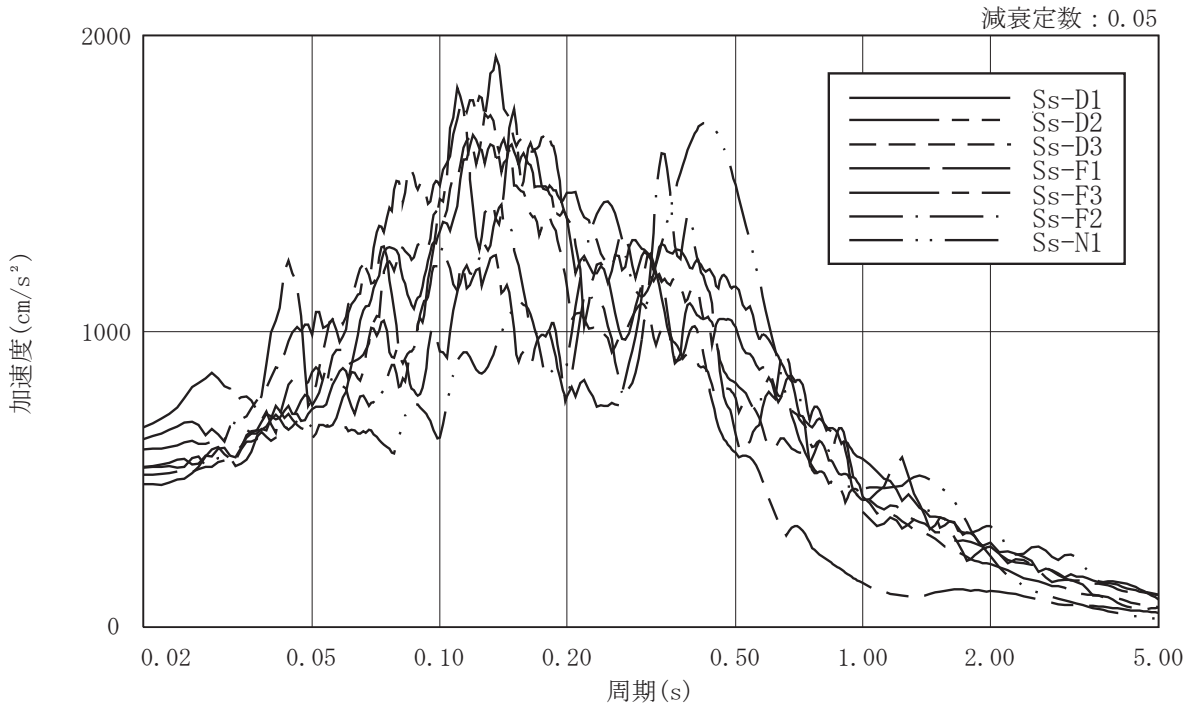


図 3-10(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 0.P.-14.1m)

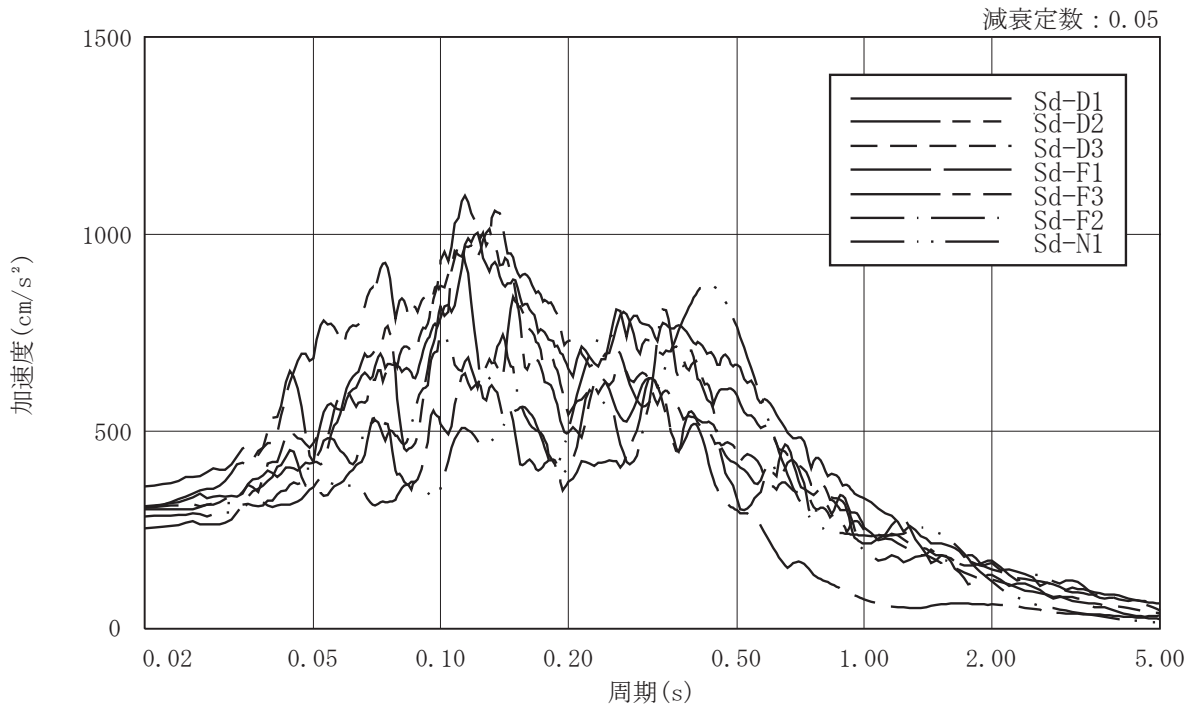


図 3-10(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(弾性設計用地震動 S_d , 0.P.-14.1m)

3.2.2 鉛直方向

(1) 地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、軸変形をするシェル壁・耐震壁部と、曲げ変形とせん断変形をする屋根トラス部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-11 に示す。なお、鉛直方向の軸剛性に関しては、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下の影響が確認されなかったことから、設計剛性とする。

また、耐震補強工事で追設した部材として、3 階の追設耐震壁を軸剛性として評価し、地震応答解析モデルに反映している。

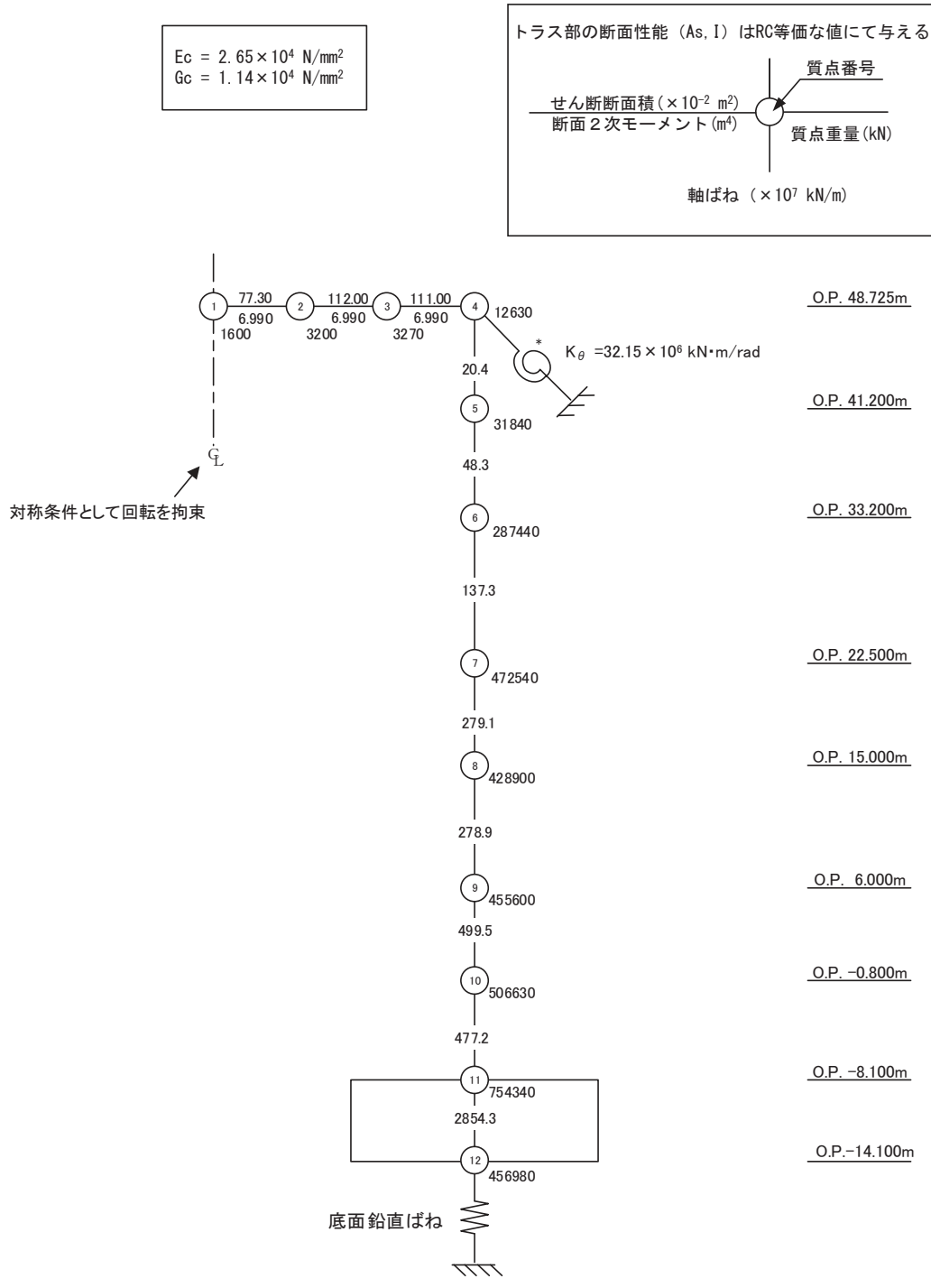
(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、鉛直方向の地震応答解析モデルにおいては鉛直ばねで置換している。この鉛直ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価しており、振動数に依存した複素剛性として表現される。図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に示す。

(3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.1 設計に用いる地震波」に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d とし、基礎底面レベルに直接入力する。図 3-12 に地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。



注記* : 屋根トラス端部回転拘束ばね

図 3-11 地震応答解析モデル及び諸元 (鉛直方向)

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数（鉛直方向）

地盤ばね成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・鉛直	2.350×10^9 (kN/m)	4.605×10^7 (kN·s/m)

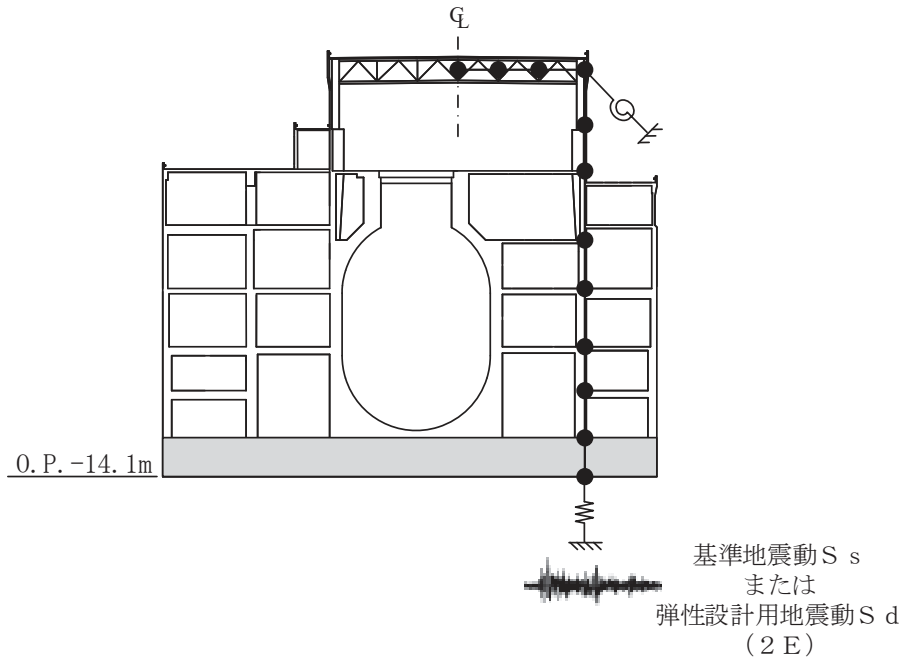


図 3-12 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

3.3 解析方法

原子炉建屋について、動的解析により応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、応答せん断ひずみ及び接地圧を算出する。また、静的解析により静的地震力、接地圧及び必要保有水平耐力を算出する。

原子炉建屋の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、最大接地圧は、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2015（（社）日本電気協会）」を参考に、水平応答と鉛直応答から組合せ係数法（組合せ係数は 1.0 と 0.4）を用いて算出する。

3.3.2 静的解析

(1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は基礎版上面（O.P.-8.1m）とし、基準面より上の部分（地上部分）の地震力は、地震層せん断力係数を用いて、次式により算出する。

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.4)$$

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.5)$$

ここで、

Q_i : 第 i 層に生じる水平地震力

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)

Z : 地震地域係数 (1.0)

C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数

W_i : 第 i 層が支える重量

R_t : 振動特性係数 (0.8)

A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 (0.2)

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

$$K=0.1 \cdot n \cdot (1-H/40) \cdot Z \cdot \alpha \quad (3.6)$$

ここで、

K : 地下部分の水平震度

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)

H : 地下の各部分の基準面からの深さ (m)

Z : 地震地域係数 (1.0)

α : 建物・構築物側方の地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数 (1.0)

(2) 鉛直地震力

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

$$C_v = R_v \cdot 0.3 \quad (3.7)$$

ここで、

C_v : 鉛直震度

R_v : 鉛直方向振動特性係数 (0.8)

3.3.3 必要保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力 Q_{un} は、次式により算出する。

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud} \quad (3.8)$$

ここで、

D_s : 各層の構造特性係数

F_{es} : 各層の形状特性係数

地震力によって各層に生じる水平力 Q_{ud} は、次式により算出する。

$$Q_{ud} = n \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.9)$$

ここで、

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (1.0)

C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数

W_i : 第 i 層が支える重量

地震層せん断力係数 C_i は、次式により算出する。

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.10)$$

ここで、

Z : 地震地域係数 (1.0)

R_t : 振動特性係数 (0.8)

A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

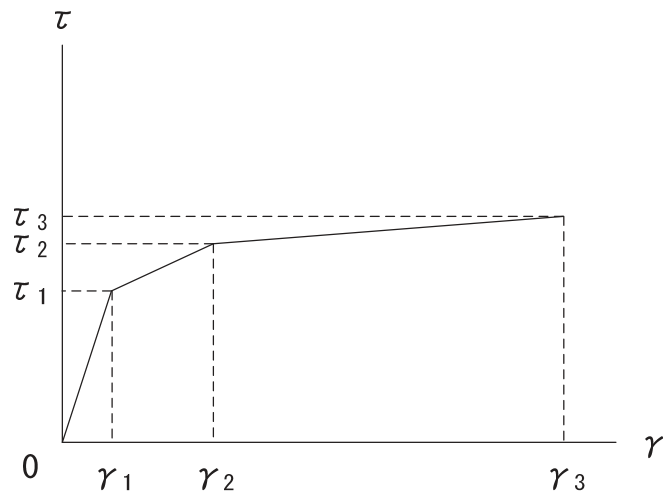
C_0 : 標準せん断力係数 (1.0)

3.4 解析条件

3.4.1 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ - γ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ - γ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-13 に示す。

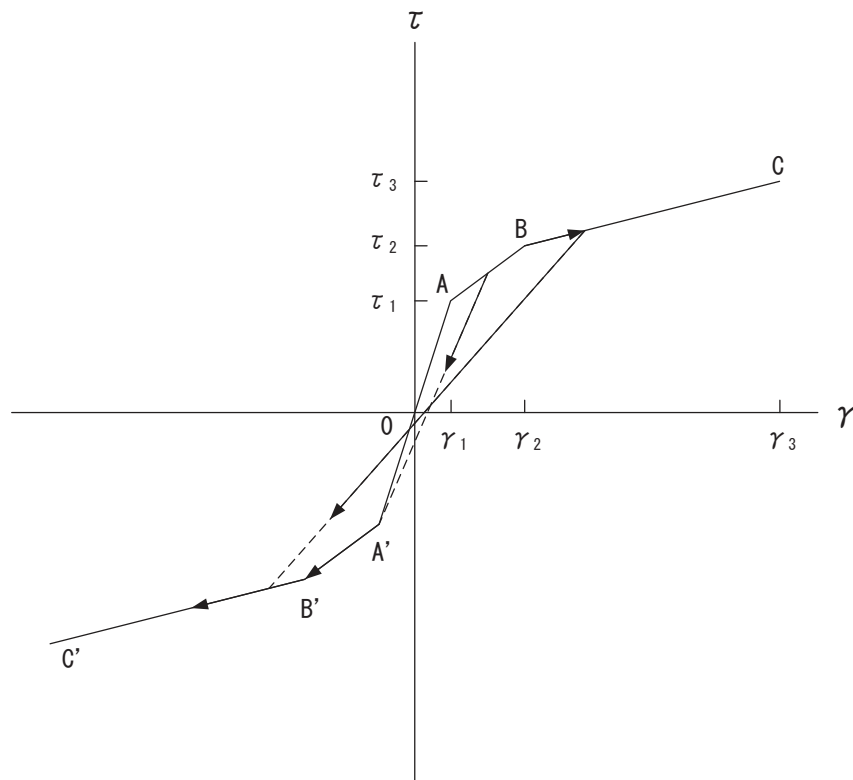


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($=4.0 \times 10^{-3}$)

図 3-13 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき，最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-14 に示す。

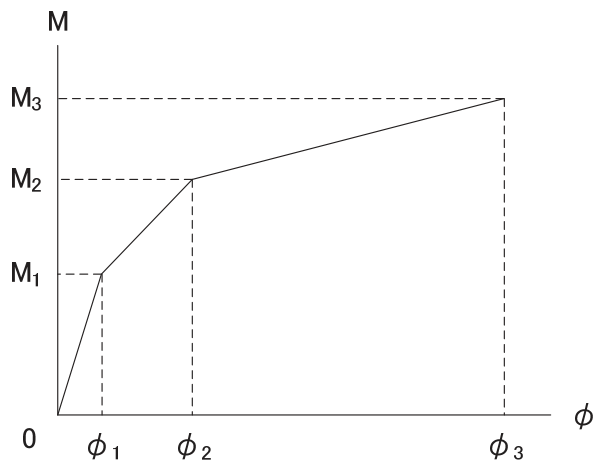


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし，負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-14 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-15 に示す。



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

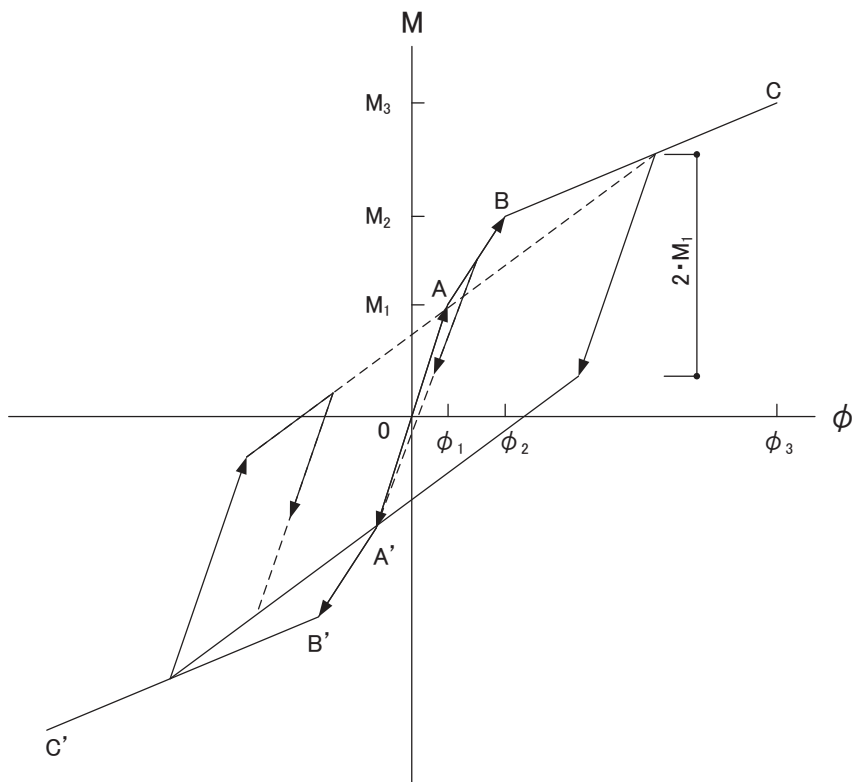
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-15 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-16 に示す。

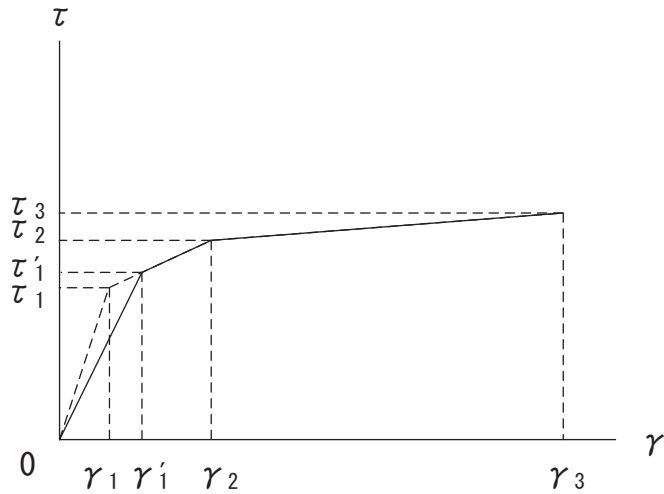


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-16 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定

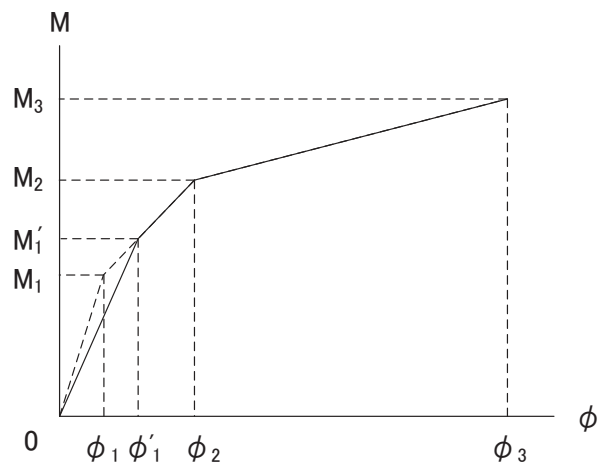
設計基準強度により算定したスケルトンカーブに対して、地震観測記録に基づき評価した建屋剛性に整合するようにスケルトンカーブの初期剛性を補正する。剛性低下を考慮したスケルトンカーブの概念を図 3-17 及び図 3-18 に示す。



- 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 ($=4 \times 10^{-3}$)
- τ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断応力度
- γ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断ひずみ

注：剛性低下を考慮したスケルトンカーブの τ'_1 は及び γ'_1 は J E A G 式とは対応しない

図 3-17 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係のスケルトンカーブの初期剛性の補正



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

M'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲げモーメント

ϕ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲率

注：剛性低下を考慮したスケルトンカーブの M'_1 及び ϕ'_1 は J E A G 式とは対応しない

図 3-18 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の
スケルトンカーブの初期剛性の補正

(6) スケルトンカーブの諸数値

原子炉建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-6(1) せん断力のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)

NS 方向 (1/2)

OW-K

0. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.14	2.68	6.44	0.250	0.523	4.00
22.5 ~ 15.0	2.22	2.79	6.44	0.260	0.544	4.00
15.0 ~ 6.0	2.34	2.94	6.89	0.274	0.573	4.00
6.0 ~ -0.8	2.41	3.02	6.72	0.282	0.590	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.60	3.27	6.87	0.305	0.638	4.00

IW-J

0. P. (m)	$\tau_1' *$ (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	$\gamma_1' *$ ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
50.5 ~ 41.2	3.08	—	6.54	0.902	—	4.00
41.2 ~ 33.2 (追設)	1.83	2.47	4.43	0.174	0.523	4.00
41.2 ~ 33.2	3.05	—	6.37	0.894	—	4.00
33.2 ~ 22.5	2.26	2.83	6.46	0.265	0.553	4.00
22.5 ~ 15.0	2.37	2.97	6.53	0.278	0.581	4.00
15.0 ~ 6.0	2.46	3.09	6.55	0.288	0.603	4.00
6.0 ~ -0.8	2.46	3.09	6.38	0.289	0.604	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.58	3.24	6.45	0.303	0.633	4.00

注記* : 追設耐震壁は τ_1 , γ_1 を表記している。

SW

0. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.10	2.63	5.52	0.246	0.513	4.00
22.5 ~ 15.0	2.46	3.08	5.84	0.288	0.602	4.00
15.0 ~ 6.0	2.73	3.42	6.24	0.320	0.669	4.00
6.0 ~ 1.15	2.94	3.69	7.79	0.345	0.720	4.00
1.15 ~ -8.1	2.92	3.67	6.59	0.343	0.716	4.00

表 3-6(2) せん断力のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)
NS 方向 (2/2)

IW-C

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
50.5 ~ 41.2	3.08	—	6.54	0.902	—	4.00
41.2 ~ 33.2 (追設)	1.83	2.47	4.43	0.174	0.523	4.00
41.2 ~ 33.2	3.06	—	6.38	0.897	—	4.00
33.2 ~ 22.5	2.30	2.88	6.48	0.269	0.563	4.00
22.5 ~ 15.0	2.48	3.11	6.58	0.291	0.607	4.00
15.0 ~ 6.0	2.55	3.19	6.60	0.298	0.624	4.00
6.0 ~ -0.8	2.50	3.14	6.44	0.293	0.613	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.65	3.33	6.49	0.311	0.650	4.00

注記* : 追設耐震壁は τ_1 , γ_1 を表記している。

OW-A

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.19	2.75	6.44	0.257	0.537	4.00
22.5 ~ 15.0	2.31	2.90	6.47	0.271	0.567	4.00
15.0 ~ 6.0	2.45	3.07	6.82	0.287	0.600	4.00
6.0 ~ -0.8	2.45	3.07	6.58	0.287	0.600	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.56	3.21	6.75	0.300	0.627	4.00

表 3-6(3) せん断力のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)

EW 方向(1/2)

OW-1

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.15	2.75	6.21	0.237	0.537	4.00
22.5 ~ 15.0	2.33	2.97	6.47	0.256	0.581	4.00
15.0 ~ 6.0	2.37	3.03	6.83	0.260	0.591	4.00
6.0 ~ -0.8	2.40	3.07	6.60	0.264	0.601	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.53	3.23	6.81	0.278	0.632	4.00

IW-2

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
22.5 ~ 15.0	2.20	2.81	6.65	0.242	0.550	4.00
15.0 ~ 6.0	2.50	3.19	6.69	0.274	0.623	4.00
6.0 ~ -0.8	2.46	3.15	6.46	0.271	0.615	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.59	3.31	6.48	0.285	0.647	4.00

IW-4

O. P. (m)	$\tau_1'^*$ (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	$\gamma_1'^*$ ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
50.5 ~ 41.2	2.49	2.65	6.28	0.438	0.517	4.00
41.2 ~ 33.2(追設)	1.83	2.47	4.09	0.175	0.524	4.00
41.2 ~ 33.2	2.51	2.67	6.29	0.442	0.521	4.00
33.2 ~ 22.5	2.27	2.90	6.07	0.249	0.566	4.00
22.5 ~ 15.0	2.56	3.27	5.96	0.281	0.639	4.00

注記* : 追設耐震壁は τ_1 , γ_1 を表記している。

表 3-6(4) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係)

EW 方向 (2/2)

SW

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.06	2.63	5.94	0.226	0.513	4.00
22.5 ~ 15.0	2.41	3.08	6.33	0.265	0.602	4.00
15.0 ~ 6.0	2.68	3.42	6.56	0.294	0.668	4.00
6.0 ~ 1.15	2.88	3.69	7.80	0.317	0.720	4.00
1.15 ~ -8.1	2.87	3.67	6.67	0.315	0.716	4.00

IW-10

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
50.5 ~ 41.2	2.49	2.65	6.28	0.438	0.517	4.00
41.2 ~ 33.2	2.48	2.64	6.32	0.436	0.515	4.00
33.2 ~ 22.5	2.23	2.85	6.11	0.245	0.557	4.00
22.5 ~ 15.0	2.37	3.04	6.50	0.261	0.593	4.00
15.0 ~ 6.0	2.44	3.11	6.56	0.268	0.608	4.00
6.0 ~ -0.8	2.41	3.08	6.44	0.265	0.602	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.54	3.25	6.44	0.279	0.634	4.00

OW-11

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
33.2 ~ 22.5	2.09	2.67	6.47	0.229	0.521	4.00
22.5 ~ 15.0	2.20	2.81	6.45	0.242	0.550	4.00
15.0 ~ 6.0	2.29	2.93	6.81	0.252	0.572	4.00
6.0 ~ -0.8	2.40	3.07	6.61	0.264	0.600	4.00
-0.8 ~ -8.1	2.54	3.25	6.83	0.279	0.635	4.00

表 3-7(1) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係)
NS 方向 (1/2)

OW-K

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	1.73	3.90	5.91	0.388	2.72	54.3
22.5 ~ 15.0	3.81	8.19	12.3	0.413	2.79	55.7
15.0 ~ 6.0	6.09	15.6	23.2	0.488	2.94	35.8
6.0 ~ -0.8	8.39	19.9	29.6	0.503	2.95	36.0
-0.8 ~ -8.1	9.70	23.1	33.0	0.598	3.05	34.7

IW-J

O. P. (m)	$M_1' *$ ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	$\phi_1' *$ ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
50.5 ~ 41.2	0.923	1.25	1.68	2.98	5.06	101
41.2 ~ 33.2 (追設)	0.0738	0.119	0.201	0.731	8.14	163
41.2 ~ 33.2	1.61	2.22	3.04	2.98	4.92	69.9
33.2 ~ 22.5	4.30	9.15	15.1	0.427	2.82	35.0
22.5 ~ 15.0	9.81	20.7	30.0	0.469	2.85	49.3
15.0 ~ 6.0	13.4	29.2	41.0	0.510	2.89	36.2
6.0 ~ -0.8	18.4	38.9	55.3	0.504	2.92	35.2
-0.8 ~ -8.1	20.8	44.0	61.1	0.556	2.99	30.6

注記* : 追設耐震壁は M_1 , ϕ_1 を表記している。

SW

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	1.32	2.82	3.36	1.73	13.4	268
22.5 ~ 15.0	2.83	4.25	5.63	1.48	9.43	189
15.0 ~ 6.0	3.94	8.28	11.2	1.77	8.90	146
6.0 ~ 1.15	4.69	10.7	14.6	2.25	9.29	112
1.15 ~ -8.1	6.26	11.7	15.8	2.01	9.27	119

表 3-7(2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係)
NS 方向 (2/2)

IW-C

O. P. (m)	M_1' * ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' * ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
50.5 ~ 41.2	0.931	1.25	1.68	3.05	5.05	101
41.2 ~ 33.2 (追設)	0.129	0.157	0.208	0.731	7.70	154
41.2 ~ 33.2	1.54	2.15	2.89	3.05	5.12	102
33.2 ~ 22.5	4.76	10.0	16.1	0.441	2.83	34.9
22.5 ~ 15.0	10.2	20.5	30.0	0.507	2.86	42.3
15.0 ~ 6.0	17.1	35.4	49.0	0.541	2.91	42.0
6.0 ~ -0.8	21.9	46.3	65.0	0.522	2.90	35.9
-0.8 ~ -8.1	25.0	51.1	69.4	0.583	2.97	35.5

注記* : 追設耐震壁は M_1 , ϕ_1 を表記している。

OW-A

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	2.34	5.07	7.34	0.404	2.74	54.8
22.5 ~ 15.0	5.18	9.87	14.4	0.440	2.73	54.6
15.0 ~ 6.0	7.47	16.3	23.8	0.513	2.85	49.7
6.0 ~ -0.8	10.9	23.6	33.6	0.504	2.89	47.4
-0.8 ~ -8.1	12.8	28.8	40.4	0.564	2.96	35.9

表 3-7(3) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係)

EW 方向(1/2)

OW-1

0. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	2.69	5.70	8.61	0.338	2.52	50.5
22.5 ~ 15.0	5.45	11.6	16.8	0.394	2.61	35.7
15.0 ~ 6.0	7.71	18.7	27.6	0.424	2.67	35.4
6.0 ~ -0.8	10.0	22.5	33.2	0.427	2.66	36.4
-0.8 ~ -8.1	11.6	27.6	39.9	0.484	2.75	34.2

IW-2

0. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
22.5 ~ 15.0	5.73	14.2	19.7	0.409	3.38	67.5
15.0 ~ 6.0	10.1	23.3	30.8	0.516	3.53	62.5
6.0 ~ -0.8	20.6	44.2	63.6	0.442	2.67	35.2
-0.8 ~ -8.1	23.5	49.2	68.9	0.486	2.71	34.3

IW-4

0. P. (m)	$M_1'^*$ ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	$\phi_1'^*$ ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
50.5 ~ 41.2	0.832	1.65	2.25	0.968	3.88	77.6
41.2 ~ 33.2(追設)	0.172	0.310	0.522	0.361	3.90	78.1
41.2 ~ 33.2	1.56	2.80	3.51	0.940	3.72	74.4
33.2 ~ 22.5	3.74	7.86	8.13	0.598	3.93	78.7
22.5 ~ 15.0	5.33	9.45	11.1	0.740	3.97	79.4

注記* : 追設耐震壁は M_1 , ϕ_1 を表記している。

表 3-7(4) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M-φ 関係)

EW 方向 (2/2)

SW

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	1.12	2.02	2.75	1.72	14.6	292
22.5 ~ 15.0	2.81	4.25	5.63	1.38	9.43	189
15.0 ~ 6.0	3.85	8.28	11.2	1.62	8.90	146
6.0 ~ 1.15	4.49	10.7	14.6	2.02	9.28	112
1.15 ~ -8.1	6.14	11.7	15.8	1.85	9.27	119

IW-10

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
50.5 ~ 41.2	0.832	1.65	2.25	0.968	3.88	77.6
41.2 ~ 33.2	1.35	2.76	3.82	0.990	3.92	78.4
33.2 ~ 22.5	3.38	7.39	10.0	0.584	3.99	79.8
22.5 ~ 15.0	9.32	19.2	27.5	0.410	2.62	35.6
15.0 ~ 6.0	14.1	31.4	44.9	0.437	2.64	35.9
6.0 ~ -0.8	19.5	42.9	62.6	0.425	2.66	34.9
-0.8 ~ -8.1	21.3	46.6	65.8	0.470	2.72	33.9

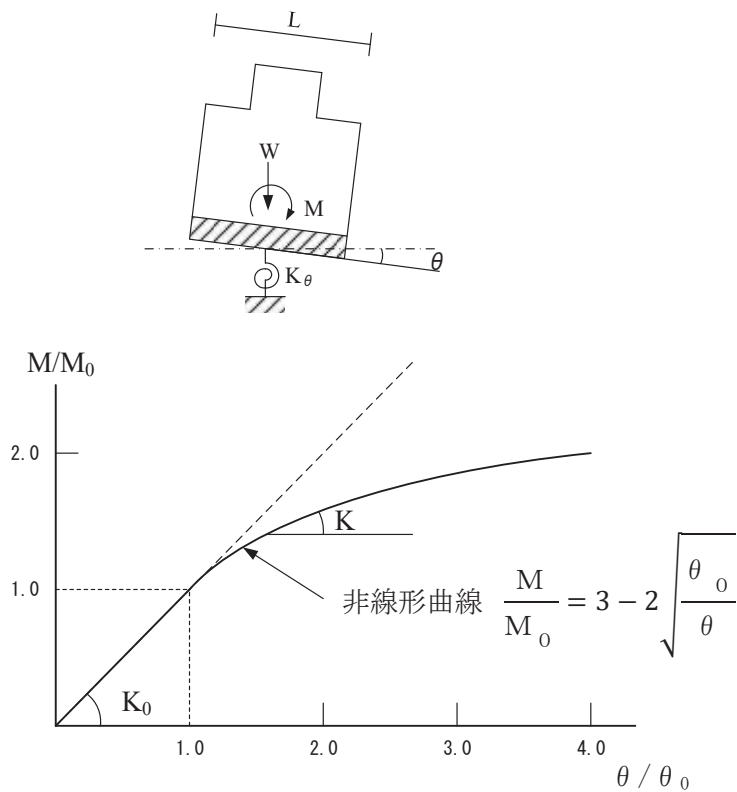
OW-11

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
33.2 ~ 22.5	2.06	4.73	7.24	0.326	2.51	50.2
22.5 ~ 15.0	4.53	9.24	13.9	0.354	2.52	50.3
15.0 ~ 6.0	6.81	17.1	25.7	0.400	2.66	35.5
6.0 ~ -0.8	9.53	21.4	31.1	0.425	2.67	37.5
-0.8 ~ -8.1	11.0	26.3	38.2	0.489	2.77	33.7

3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-19 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は、図 3-19 の曲線で表され、減衰係数は、回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- M_0 : 浮上り限界転倒モーメント (= $W \cdot L / 6$)
- θ : 回転角
- θ_0 : 浮上り限界回転角
- K_0 : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)
- K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)
- W : 建屋総重量
- L : 建屋基礎幅

図 3-19 地盤の回転ばねのモーメントー回転角の関係

3.4.3 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基本ケースによる地震応答解析で、部材または質点の応答値のうち、加速度、変位、せん断力、曲げモーメント及び軸力のいずれかが最大値となった地震動を基準地震動 S_s から選定する。弾性設計用地震動 S_d についても同様の方法で検討対象とする地震動を選定する。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度のばらつきは、変動係数 $\pm 7\%$ を考慮する。O.P. 14.8m から O.P. 0m の表層地盤上部は、非線形性を考慮しているため、せん断速度のばらつきは考慮しない。O.P. 0m から O.P. -14.1m の表層地盤下部は、地震観測記録のシミュレーション解析により評価した値に基づいて設定しているため、せん断波速度のばらつきは基本モデルのせん断波速度 900m/s を基準に、 $\pm 100\text{m/s}$ を考慮する。

建屋剛性の不確かさについて、水平方向については基準地震動 S_s 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S_s について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。なお、終局耐力については、実機のコンクリート強度が設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高いほうに上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。また、鉛直方向については、水平方向に比べ剛性の低下量は小さく、これまでの経年変化によって設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたこと、また、剛性の変化が建屋応答に与える感度が小さいことから、初期剛性の不確かさは考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-8 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性を表 3-9 に示す。

表 3-8 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S _s (水平)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s	標準地盤 + σ
	ケース 3				表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s	標準地盤 - σ
	ケース 4	基本ケースの 0.78 倍	同上	同上	表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s	標準地盤
	ケース 5				表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s	標準地盤 + σ
	ケース 6				表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s	標準地盤 - σ
基準地震動 S _s (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ
弾性設計用 地震動 S _d (水平, 鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	—	5% (水平, 鉛直とも)	(水平) 表層上部非線形 表層下部 Vs900m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	(水平) 表層上部非線形 表層下部 Vs900+100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 + σ
	ケース 3				(水平) 表層上部非線形 表層下部 Vs900-100m/s (鉛直) 直接入力	標準地盤 - σ

表 3-9 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性

	O. P. (m)	地盤のせん断波速度 (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層地盤	14.8	*	*	*
	0.0	900	1000	800
底面地盤	-14.1	1300	1390	1210
	-25.0	2150	2300	2000
	-80.0	2440	2610	2270
	-200.0	2440	2610	2270

注記* : O. P. 14.8m~O. P. 0m は, 上載圧依存を考慮してせん断波速度と相関のある初期せん断剛性 G_0 を設定する。また, ひずみ依存による非線形特性を考慮する。(詳細は表 3-4 に従う。)

4. 解析結果

4.1 動的解析

本資料においては、代表として基本ケースの地震応答解析結果を示す。

4.1.1 固有値解析結果

基本ケースの地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期，固有振動数及び刺激係数）を表 4-1 に示す。刺激関数図を図 4-1 に示す。

なお，刺激係数は，各次の固有ベクトル $\{u\}$ に対し，最大振幅が 1.0 となるように規準化した値を示す。

4.1.2 地震応答解析結果

(1) 基準地震動 S_s

基準地震動 S_s による最大応答値を図 4-2～図 4-12，表 4-2～表 4-4 に示す。また，基準地震動 S_s に対する最大応答値を図 4-13 及び図 4-14 の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d

弾性設計用地震動 S_d による最大応答値を図 4-15～図 4-25，表 4-5～表 4-7 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

(a)NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.237	4.21	2.203	全体 1 次
2	0.123	8.12	2.718	全体 2 次
3	0.116	8.61	1.167	
4	0.097	10.33	2.095	全体 3 次
5	0.093	10.76	1.110	
6	0.089	11.21	0.270	

(b)EW 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.230	4.36	2.179	全体 1 次
2	0.125	8.01	1.925	全体 2 次
3	0.116	8.64	0.074	
4	0.098	10.15	0.651	
5	0.091	10.93	0.835	
6	0.087	11.46	2.442	全体 3 次

(c)UD 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.339	2.95	1.458	屋根トラス 1 次
2	0.100	9.96	1.586	建屋 1 次
3	0.079	12.59	1.361	屋根トラス 2 次
4	0.051	19.61	0.367	
5	0.043	23.10	0.797	建屋 2 次
6	0.027	36.66	0.511	
7	0.021	48.24	0.443	建屋 3 次

固有周期 0.237 s
 固有振動数 4.21 Hz
 刺激係数 2.203

固有周期 0.123 s
 固有振動数 8.12 Hz
 刺激係数 2.718

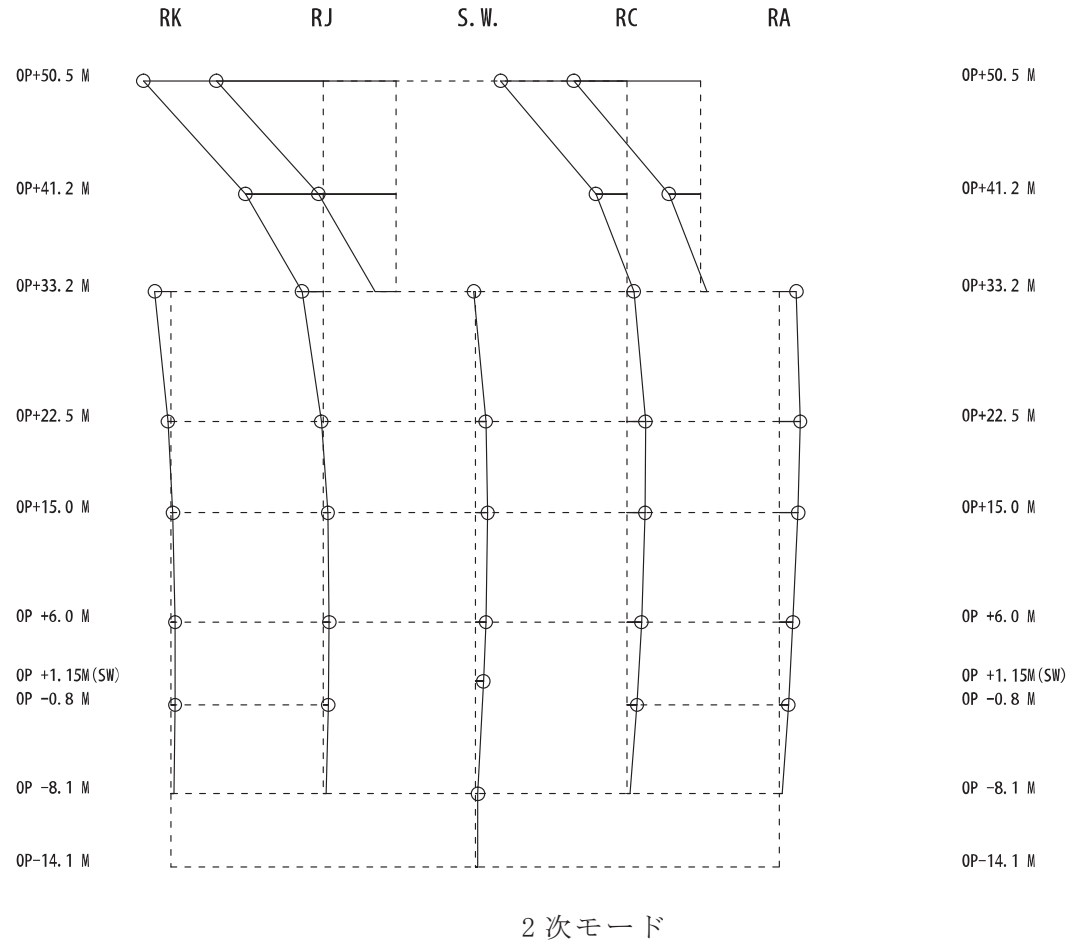
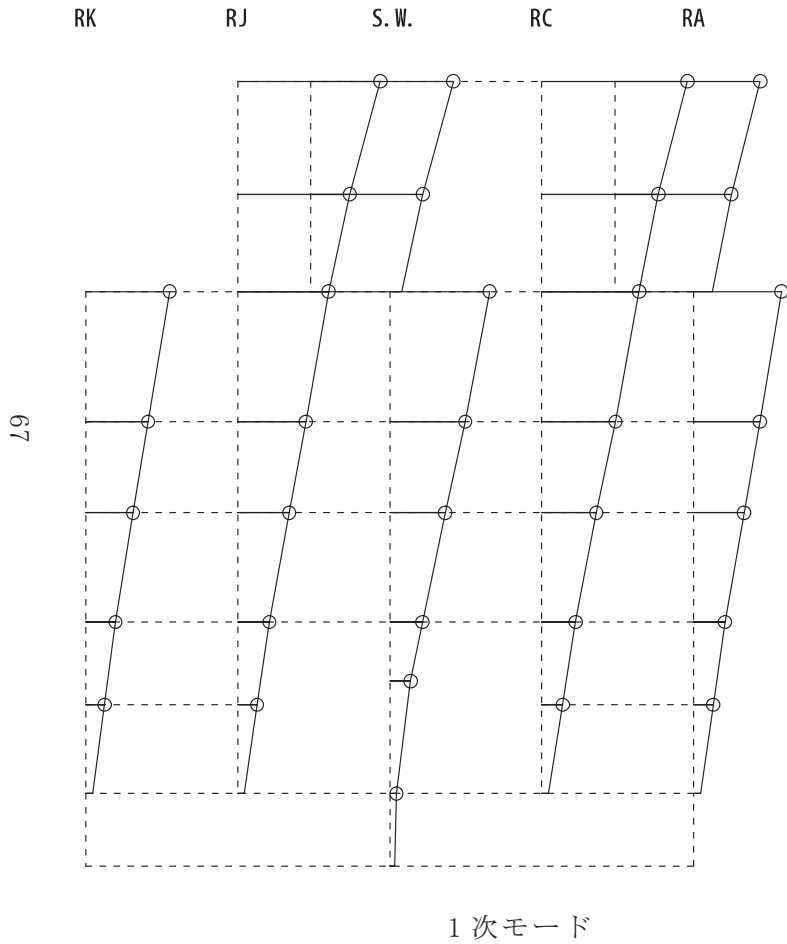


図 4-1(1) 刺激関数図 (NS 方向) (1/2)

固有周期 0.097 s
 固有振動数 10.33 Hz
 刺激係数 2.095

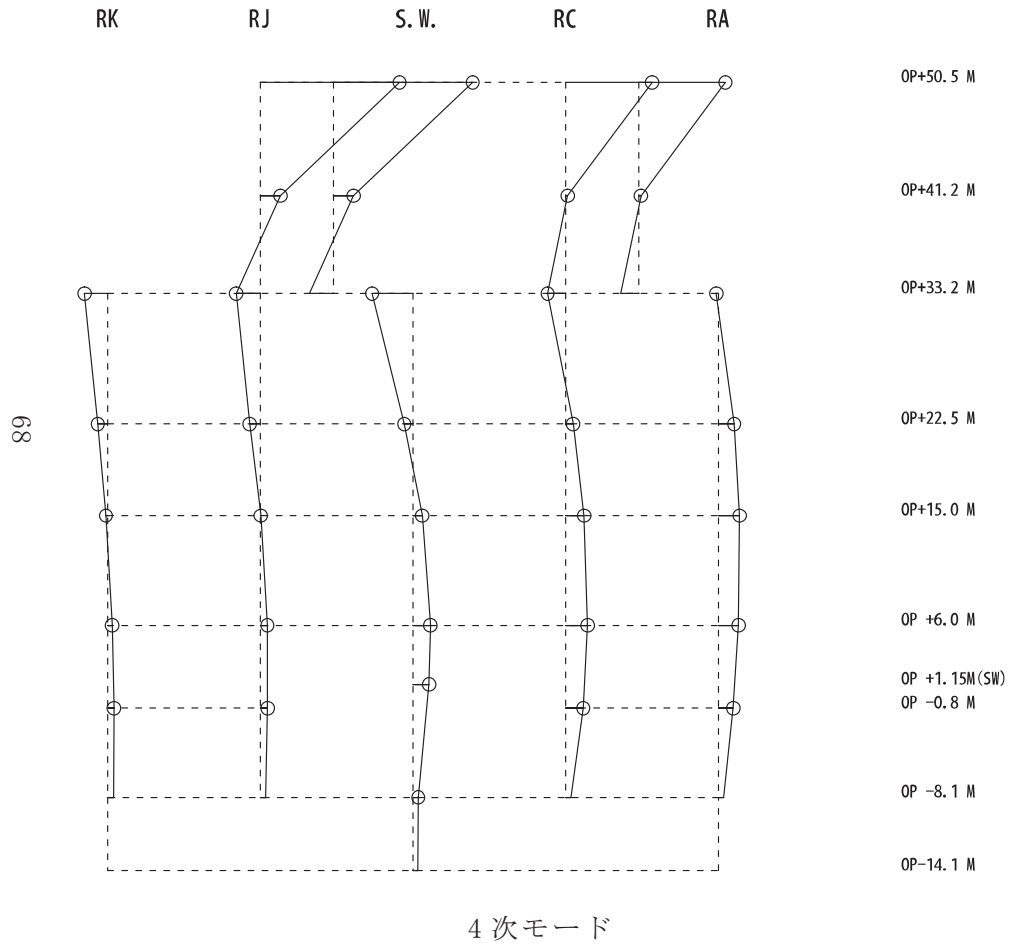
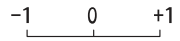
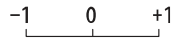


図 4-1(2) 刺激関数図 (NS 方向) (2/2)

固有周期 0.230 s
 固有振動数 4.36 Hz
 刺激係数 2.179



固有周期 0.125 s
 固有振動数 8.01 Hz
 刺激係数 1.925

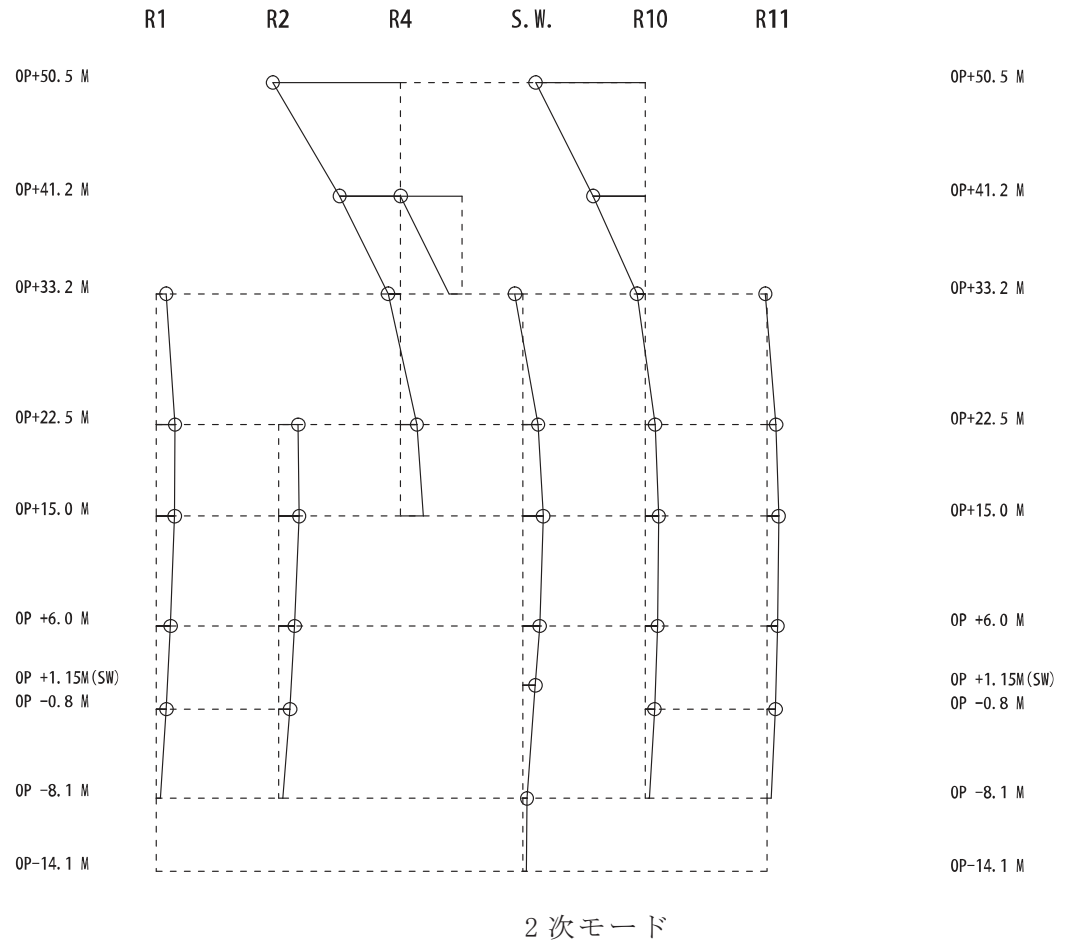
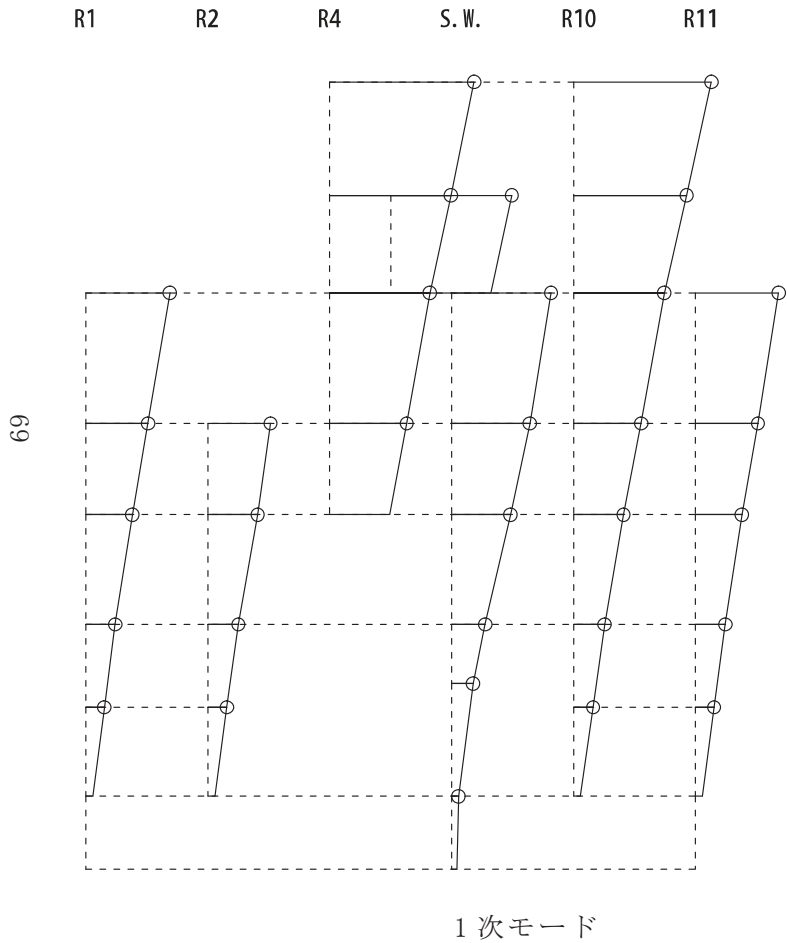
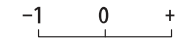
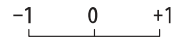
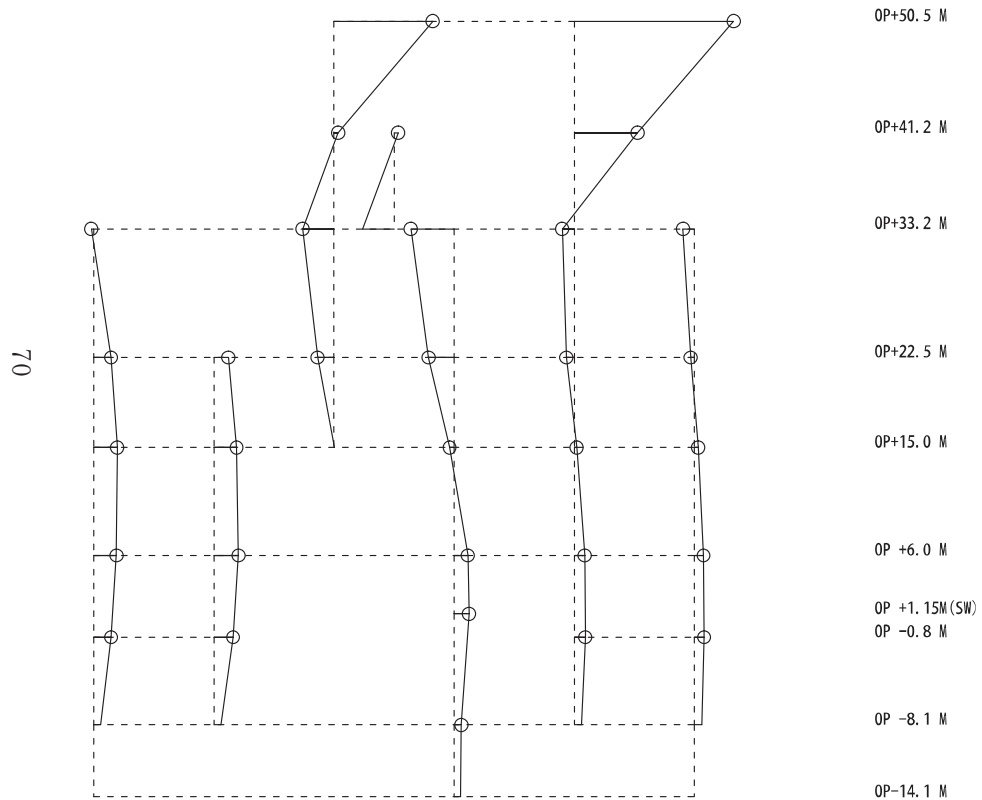


図 4-1(3) 刺激関数図 (EW 方向) (1/2)

固有周期 0.087 s
 固有振動数 11.46 Hz
 刺激係数 2.442



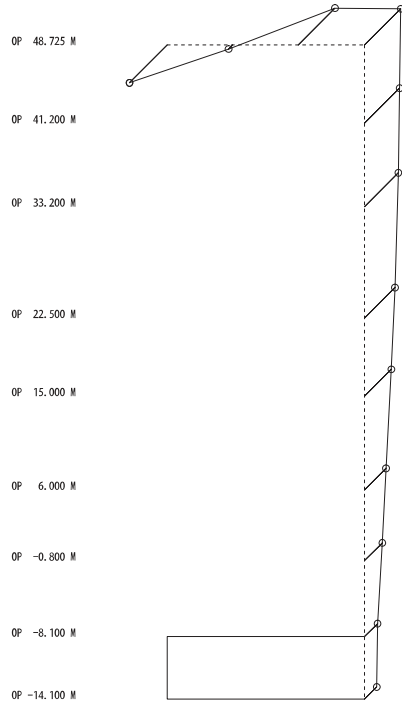
R1 R2 R4 S. W. R10 R11



6次モード

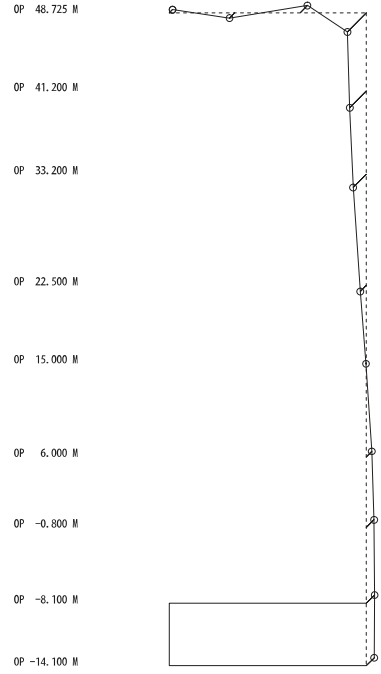
図 4-1(4) 刺激関数図 (EW 方向) (2/2)

固有周期 0.100 s
固有振動数 9.96 Hz
刺激係数 1.586



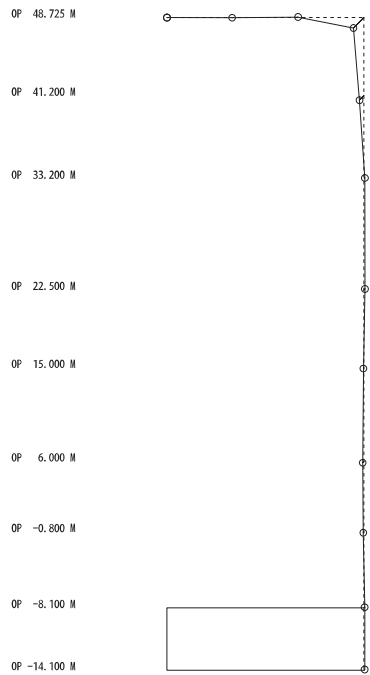
2 次モード

固有周期 0.043 s
固有振動数 23.10 Hz
刺激係数 0.797



5 次モード

固有周期 0.021 s
固有振動数 48.24 Hz
刺激係数 0.443



7 次モード

図 4-1(5) 刺激関数図 (UD 方向)

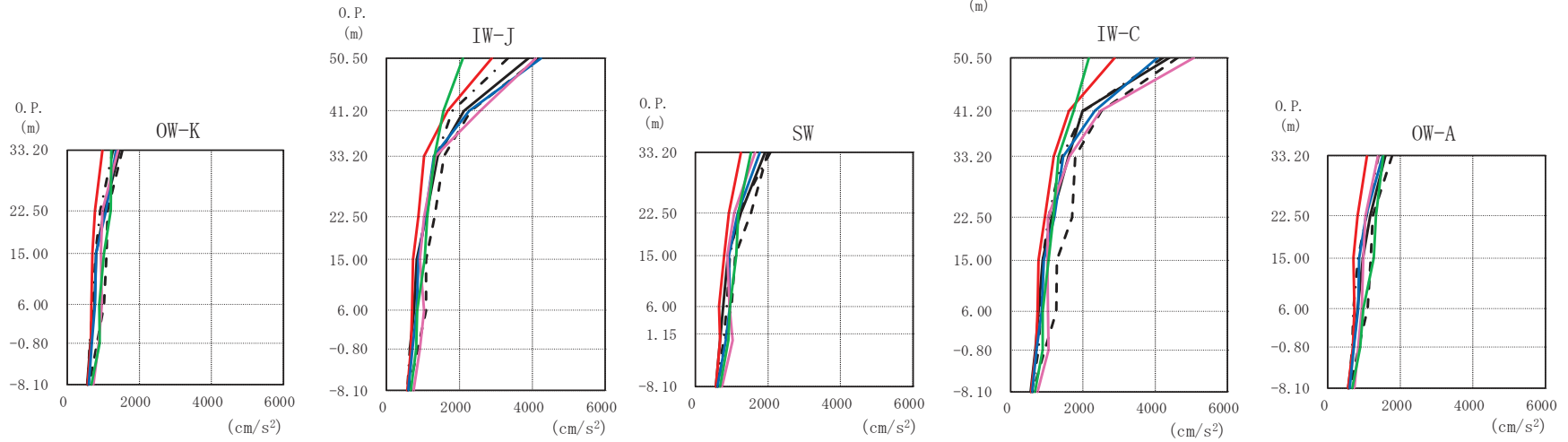
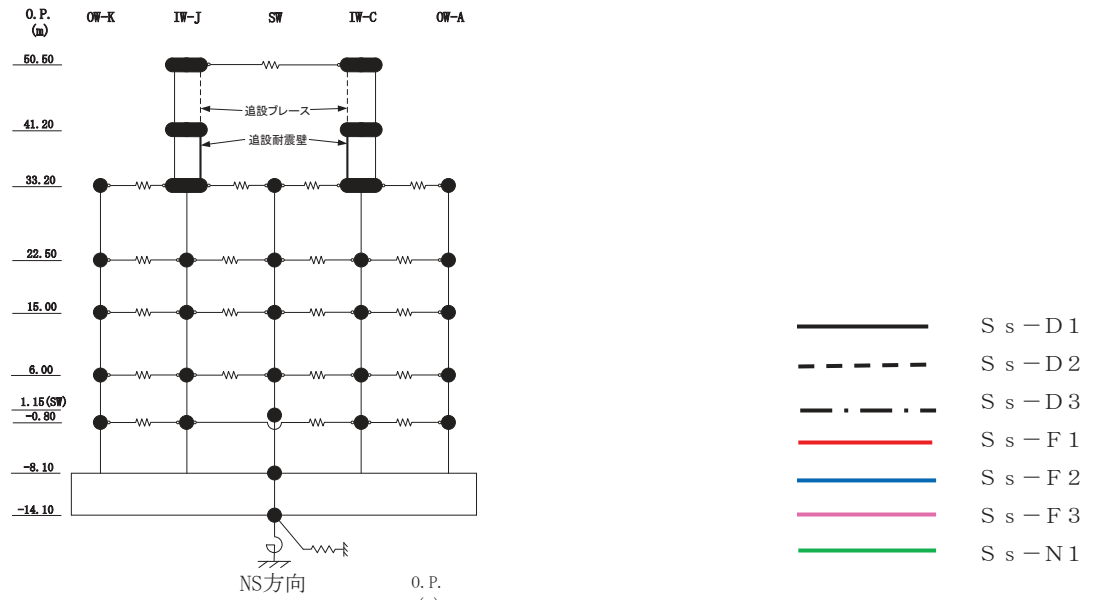
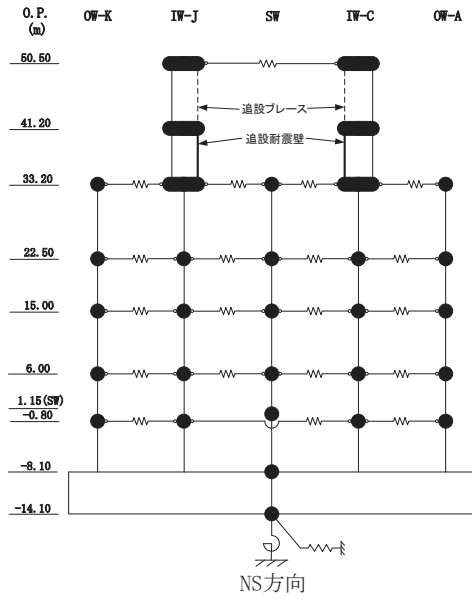


図 4-2 最大応答加速度 (基準地震動 S_s , NS 方向)



- S_s-D1
- - - - - S_s-D2
- · - · - S_s-D3
- S_s-F1
- S_s-F2
- S_s-F3
- S_s-N1

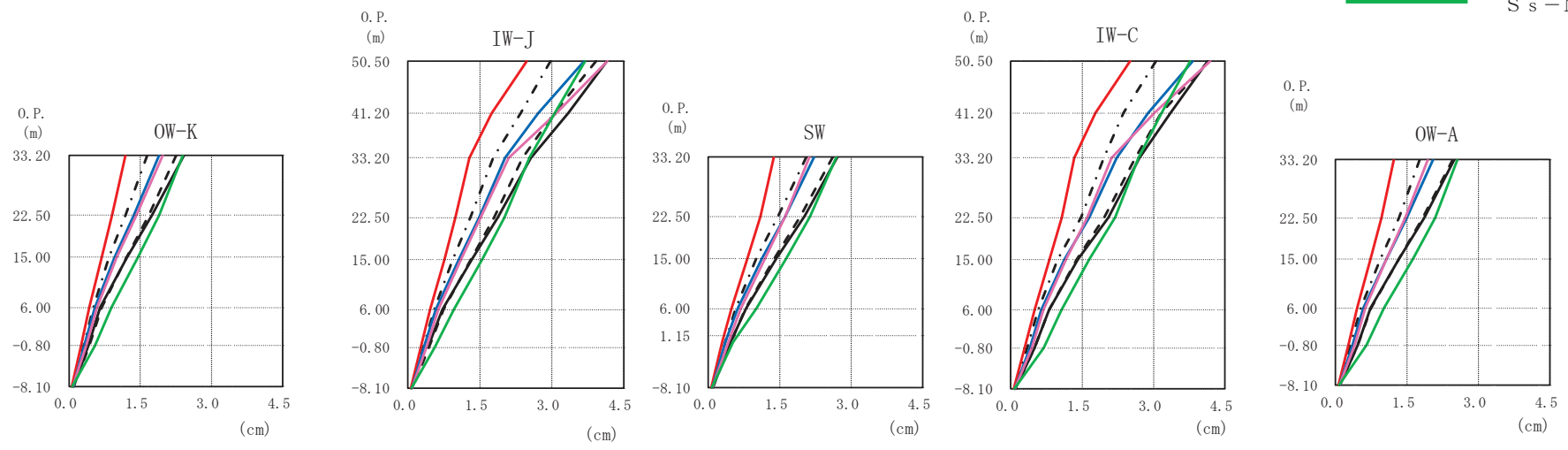


図 4-3 最大応答変位 (基準地震動 S_s, NS 方向)

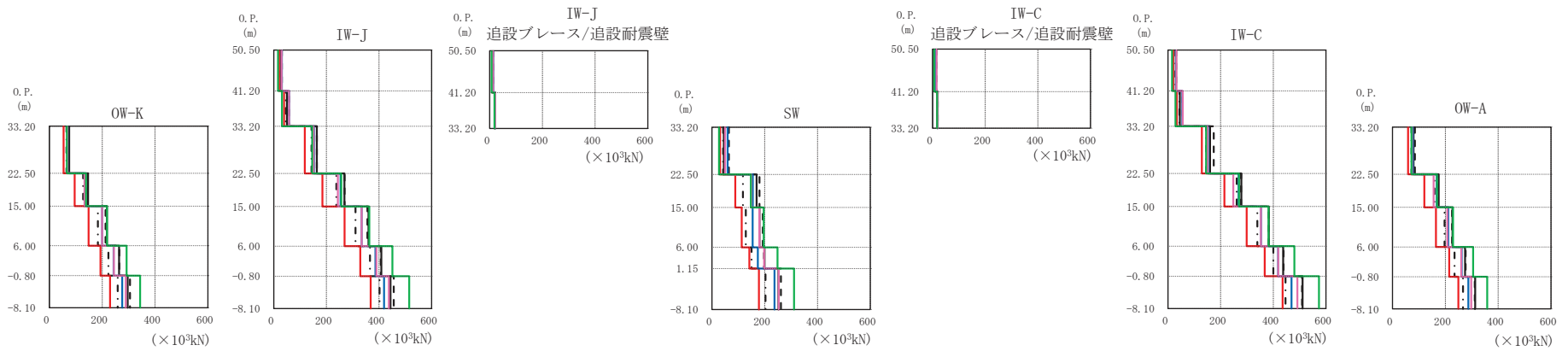
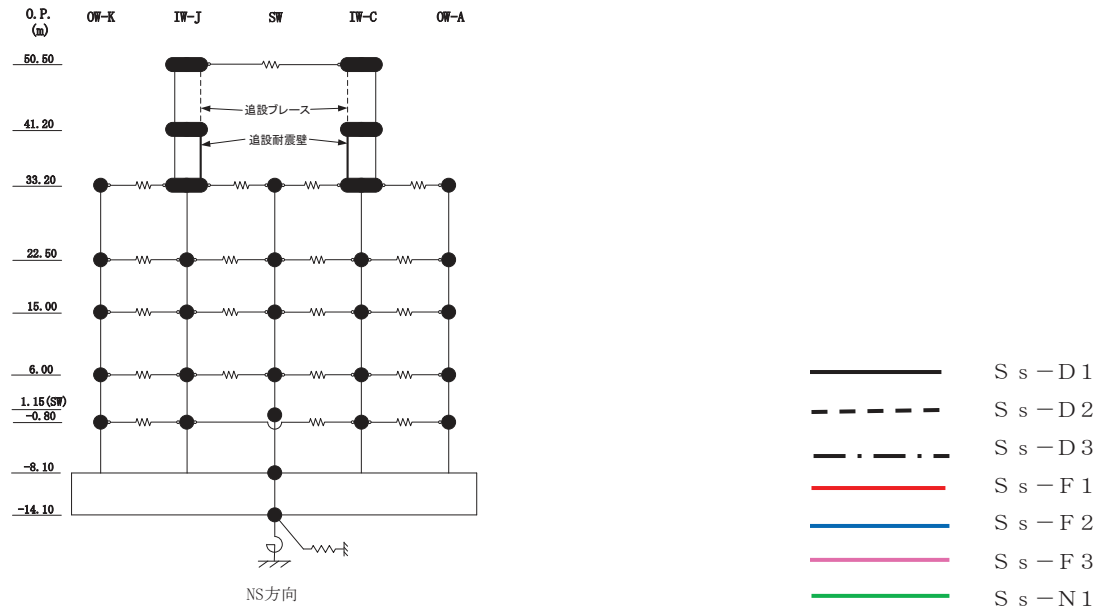


図 4-4 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s, NS 方向)

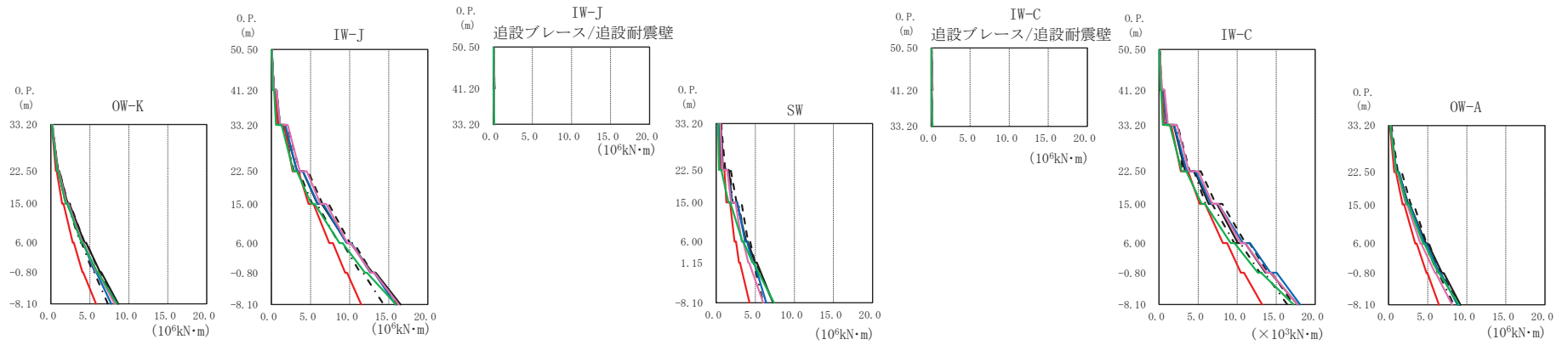
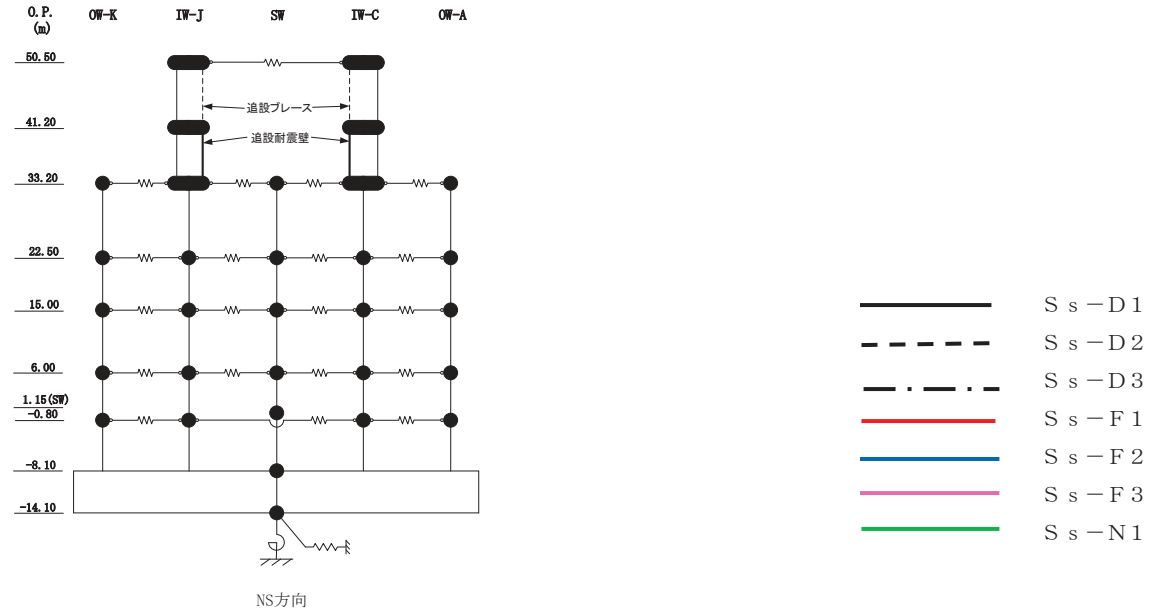


図 4-5 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s , NS 方向)

表 4-2(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向) (1/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(1)	0.50	0.50	0.33	0.22	0.40	0.39	0.35	0.50
(2)	0.58	0.55	0.38	0.22	0.47	0.43	0.48	0.58
(3)	0.52	0.48	0.29	0.23	0.40	0.40	0.52	0.52
(4)	0.30	0.31	0.24	0.21	0.26	0.27	0.43	0.43
(5)	0.38	0.42	0.28	0.25	0.30	0.34	0.60	0.60
(6)	0.81	0.91	0.75	0.60	0.90	0.88	0.48	0.91
(7)	0.81	1.04	0.73	0.63	1.03	1.06	0.51	1.06
(8)	0.50	0.51	0.33	0.23	0.42	0.40	0.36	0.51
(9)	0.59	0.60	0.41	0.24	0.51	0.45	0.52	0.60
(10)	0.58	0.56	0.37	0.27	0.46	0.47	0.59	0.59
(11)	0.37	0.37	0.28	0.25	0.30	0.31	0.51	0.51
(12)	0.40	0.44	0.30	0.27	0.32	0.38	0.62	0.62
(13)	0.10	0.15	0.10	0.07	0.14	0.12	0.06	0.15
(14)	0.27	0.30	0.19	0.14	0.25	0.24	0.24	0.30
(15)	0.30	0.32	0.21	0.19	0.25	0.30	0.34	0.34
(16)	0.37	0.35	0.26	0.25	0.31	0.36	0.75	0.75

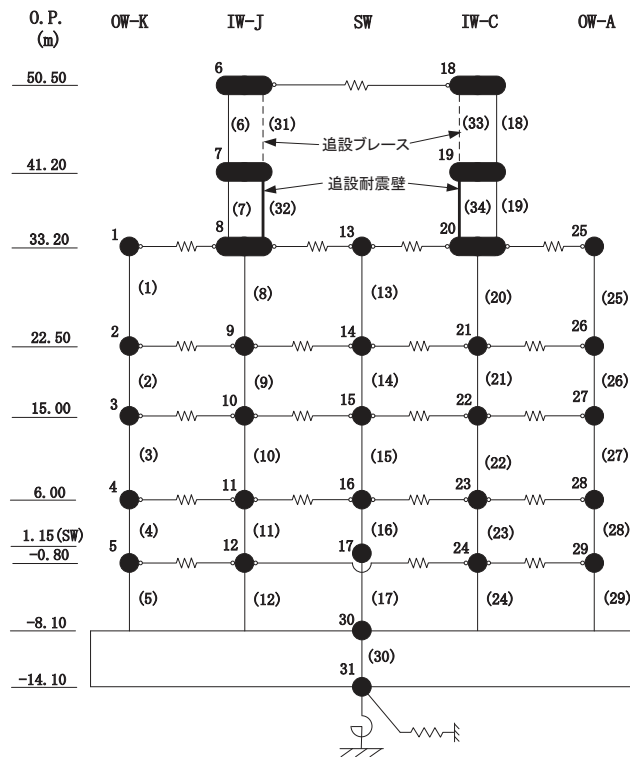
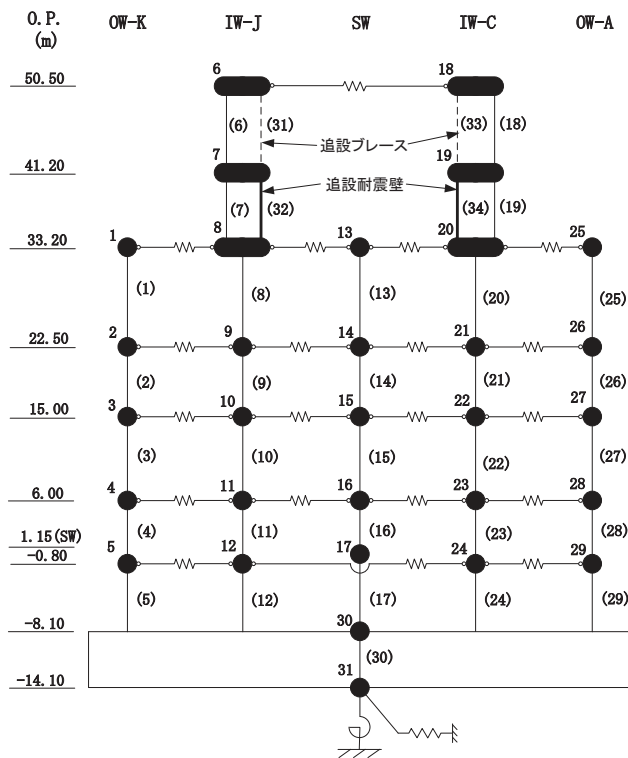


表 4-2(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向) (2/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(17)	0.27	0.28	0.22	0.19	0.26	0.27	0.34	0.34
(18)	0.91	0.99	0.83	0.62	0.89	1.05	0.45	1.05
(19)	0.73	0.92	0.71	0.55	0.89	0.92	0.46	0.92
(20)	0.47	0.61	0.34	0.25	0.40	0.38	0.34	0.61
(21)	0.74	0.73	0.58	0.30	0.63	0.50	0.65	0.74
(22)	0.58	0.58	0.40	0.28	0.46	0.46	0.58	0.58
(23)	0.37	0.37	0.28	0.26	0.31	0.31	0.50	0.50
(24)	0.53	0.53	0.34	0.31	0.40	0.47	0.80	0.80
(25)	0.46	0.55	0.33	0.22	0.41	0.37	0.33	0.55
(26)	0.62	0.57	0.46	0.24	0.53	0.43	0.54	0.62
(27)	0.58	0.57	0.38	0.26	0.47	0.45	0.59	0.59
(28)	0.34	0.35	0.26	0.23	0.28	0.28	0.48	0.48
(29)	0.47	0.47	0.29	0.27	0.35	0.41	0.74	0.74
(32)	0.78	0.99	0.69	0.60	0.98	1.02	0.49	1.02
(34)	0.69	0.88	0.68	0.53	0.85	0.88	0.45	0.88



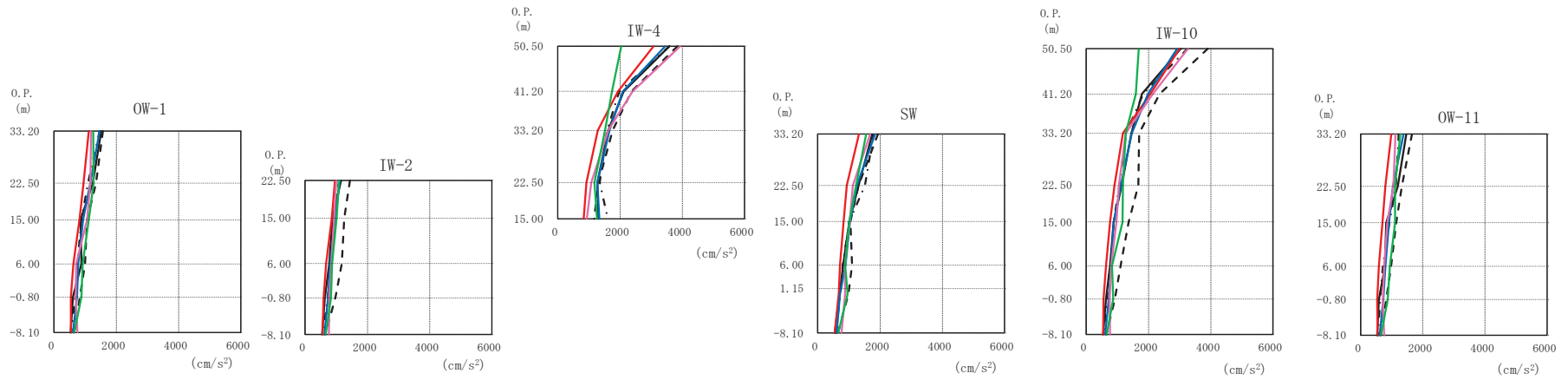
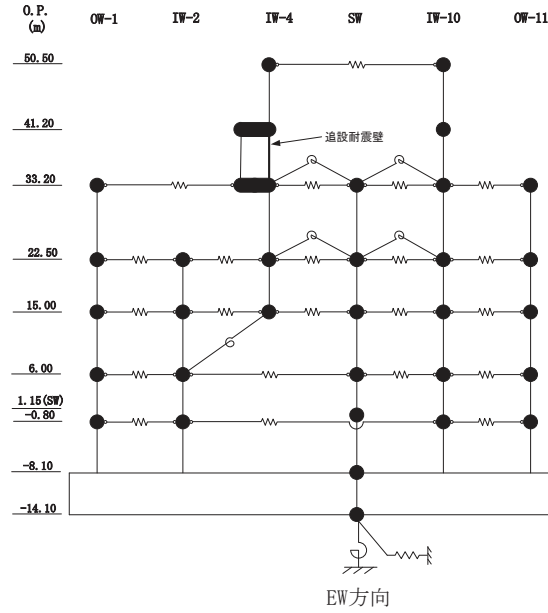


图 4-6 最大応答加速度 (基準地震動 S_s , EW 方向)

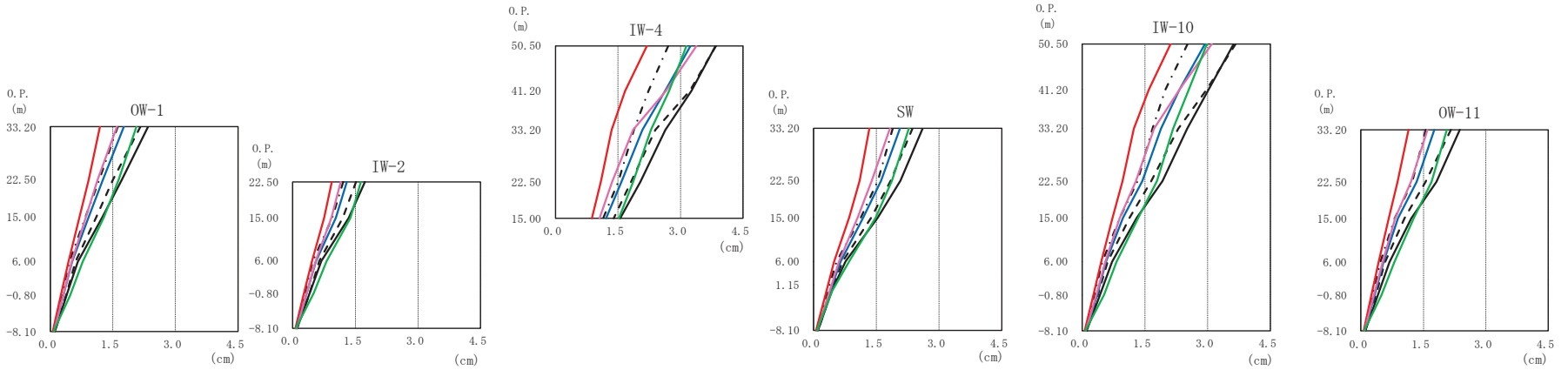
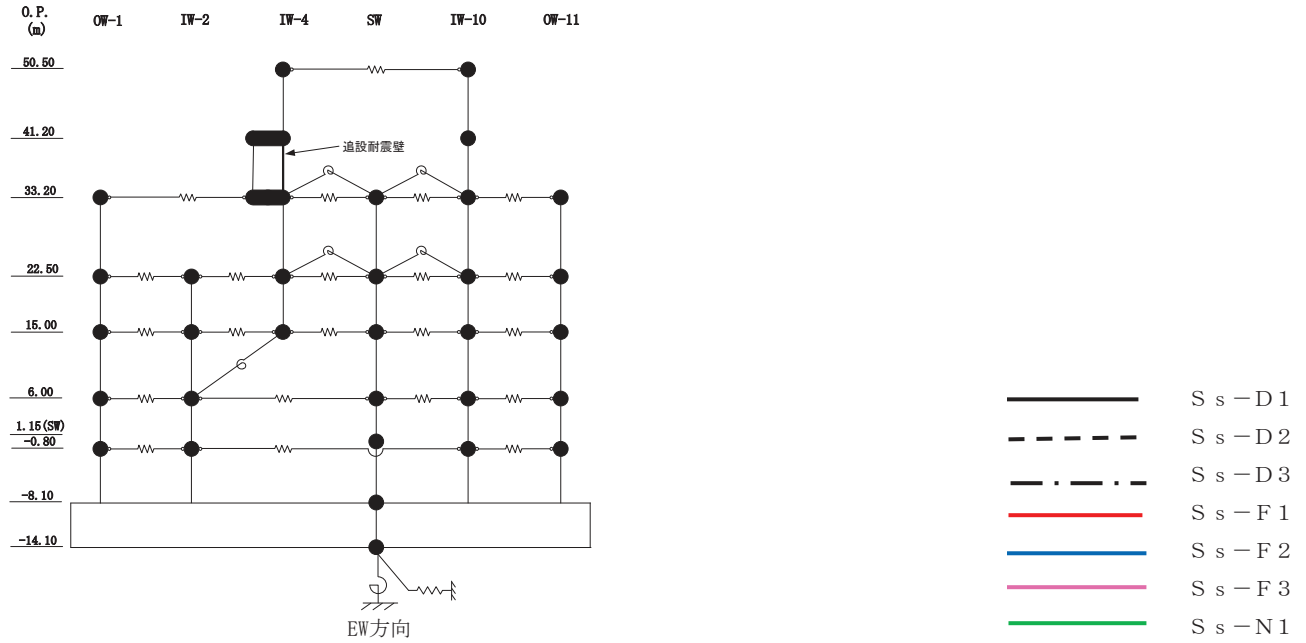


图 4-7 最大応答変位 (基準地震動 S_s, EW 方向)

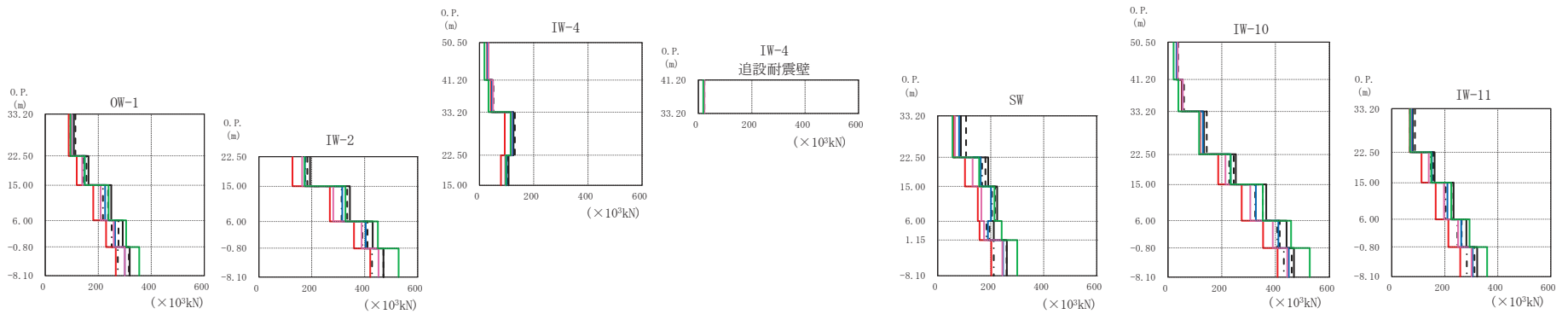
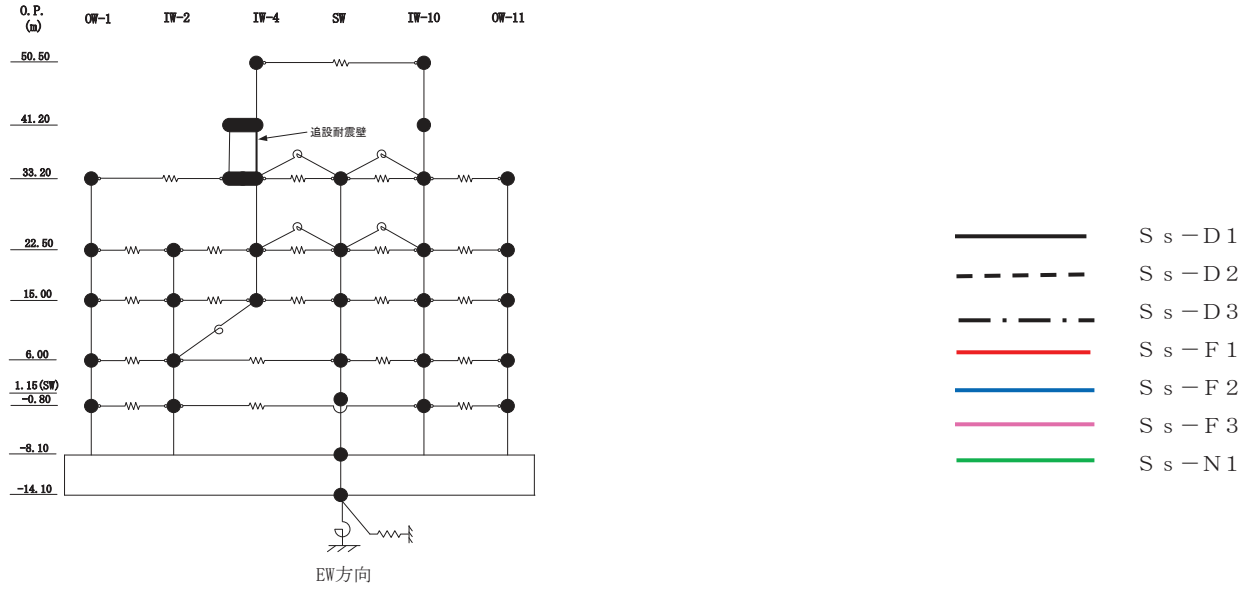


图 4-8 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s , EW 方向)

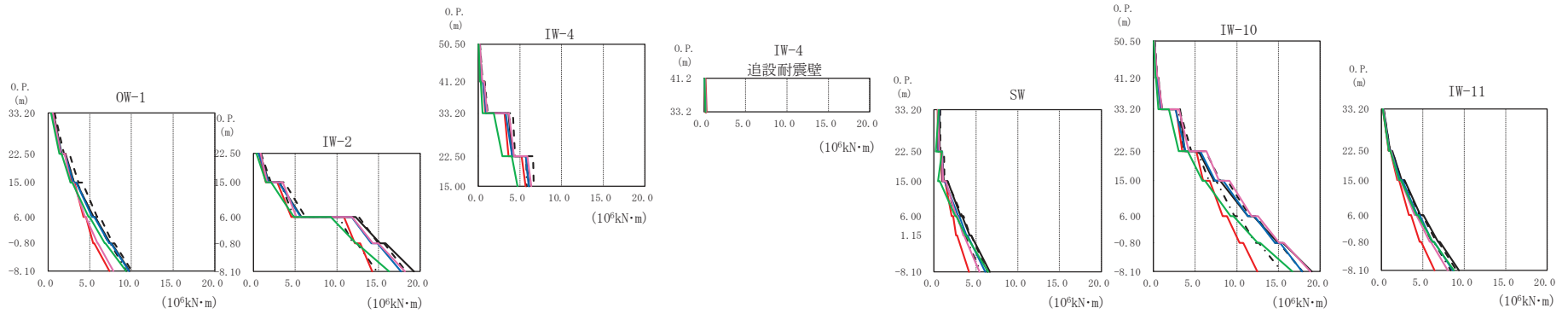
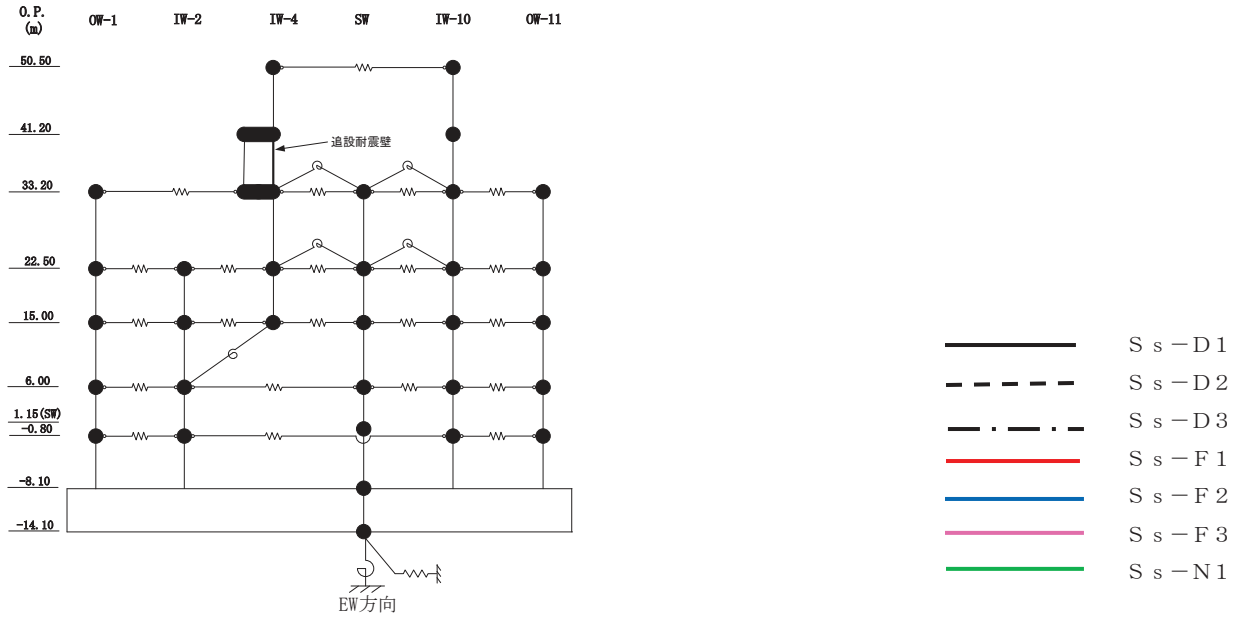


図 4-9 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s , EW 方向)

表 4-3(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , EW 方向) (1/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(1)	0.47	0.56	0.32	0.24	0.39	0.36	0.32	0.56
(2)	0.52	0.44	0.35	0.23	0.38	0.31	0.39	0.52
(3)	0.56	0.49	0.37	0.24	0.42	0.32	0.50	0.56
(4)	0.33	0.27	0.24	0.22	0.25	0.25	0.39	0.39
(5)	0.37	0.35	0.26	0.25	0.29	0.29	0.52	0.52
(6)	0.41	0.34	0.28	0.18	0.28	0.23	0.27	0.41
(7)	0.64	0.58	0.49	0.28	0.50	0.34	0.55	0.64
(8)	0.35	0.29	0.26	0.24	0.27	0.26	0.41	0.41
(9)	0.38	0.38	0.28	0.27	0.33	0.33	0.56	0.56
(10)	0.43	0.44	0.45	0.38	0.39	0.45	0.24	0.45
(11)	0.51	0.77	0.50	0.43	0.53	0.69	0.33	0.77
(12)	0.32	0.38	0.25	0.20	0.29	0.25	0.24	0.38
(13)	0.47	0.42	0.40	0.24	0.37	0.30	0.33	0.47
(14)	0.15	0.19	0.10	0.10	0.14	0.11	0.10	0.19
(15)	0.37	0.30	0.25	0.16	0.25	0.20	0.24	0.37
(16)	0.54	0.49	0.40	0.24	0.38	0.26	0.46	0.54

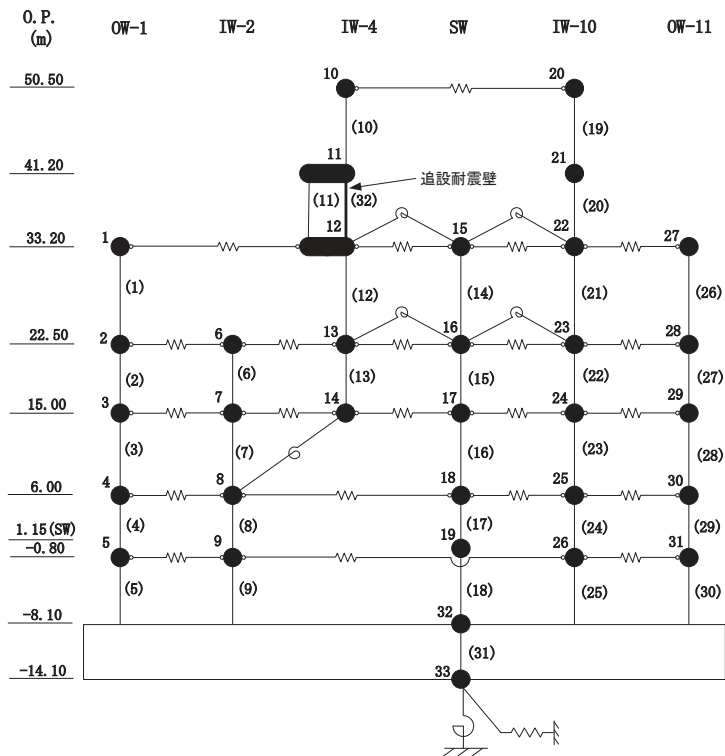
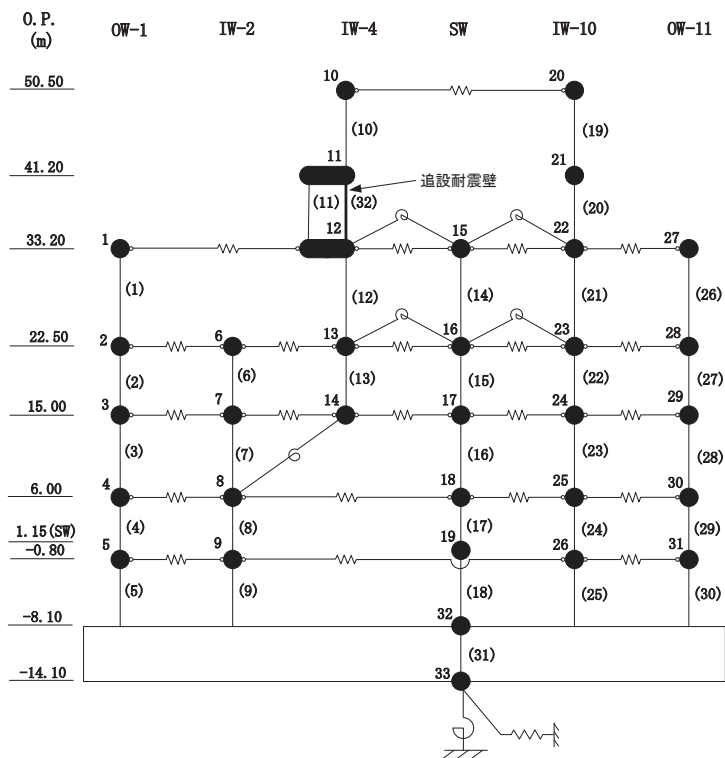


表 4-3(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , EW 方向) (2/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(17)	0.46	0.35	0.30	0.26	0.31	0.29	0.68	0.68
(18)	0.27	0.26	0.22	0.21	0.25	0.25	0.31	0.31
(19)	0.47	0.68	0.49	0.45	0.43	0.57	0.28	0.68
(20)	0.44	0.70	0.50	0.46	0.47	0.54	0.33	0.70
(21)	0.39	0.49	0.25	0.26	0.36	0.25	0.24	0.49
(22)	0.71	0.62	0.50	0.26	0.53	0.41	0.53	0.71
(23)	0.56	0.50	0.39	0.25	0.39	0.31	0.50	0.56
(24)	0.36	0.28	0.26	0.23	0.27	0.25	0.41	0.41
(25)	0.41	0.39	0.30	0.27	0.35	0.34	0.59	0.59
(26)	0.42	0.54	0.26	0.24	0.35	0.29	0.26	0.54
(27)	0.70	0.60	0.49	0.23	0.52	0.42	0.50	0.70
(28)	0.49	0.45	0.32	0.22	0.36	0.28	0.44	0.49
(29)	0.35	0.27	0.25	0.22	0.26	0.25	0.41	0.41
(30)	0.38	0.34	0.26	0.24	0.31	0.29	0.54	0.54
(32)	0.50	0.76	0.50	0.43	0.52	0.69	0.33	0.76



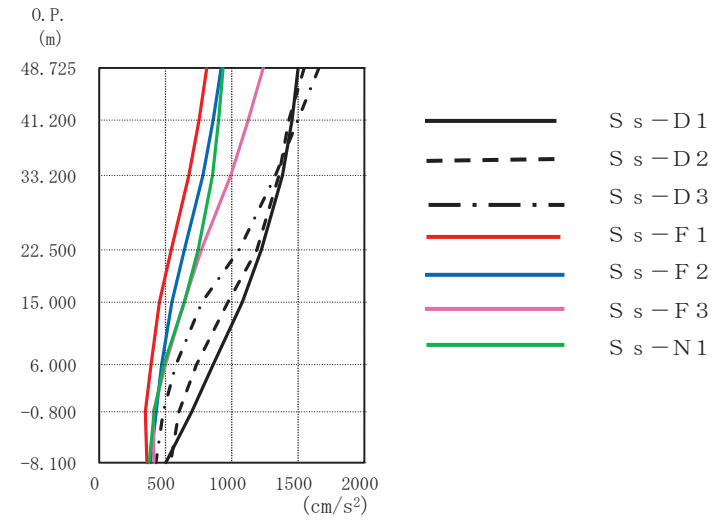
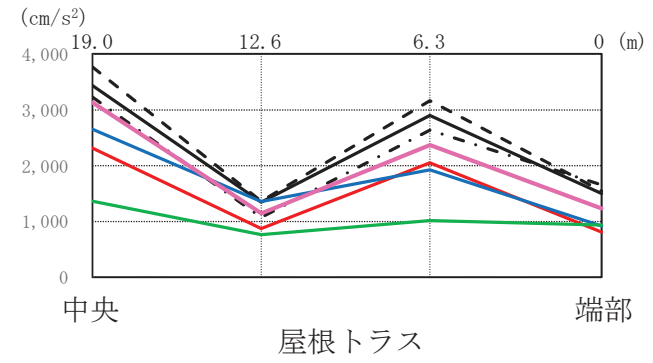
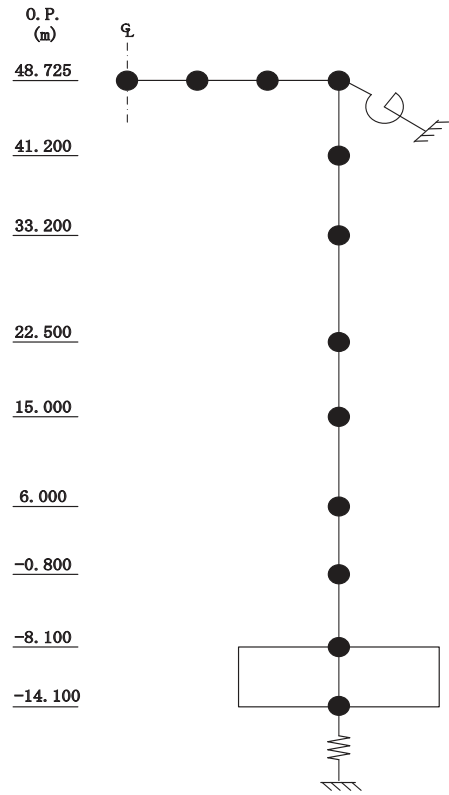


図 4-10 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, 鉛直方向)

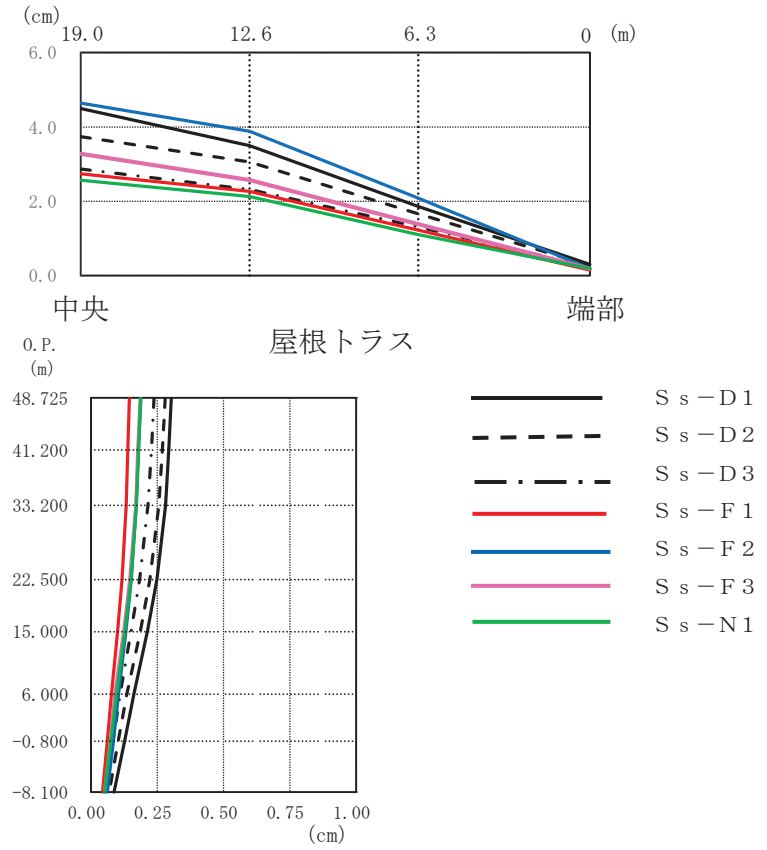
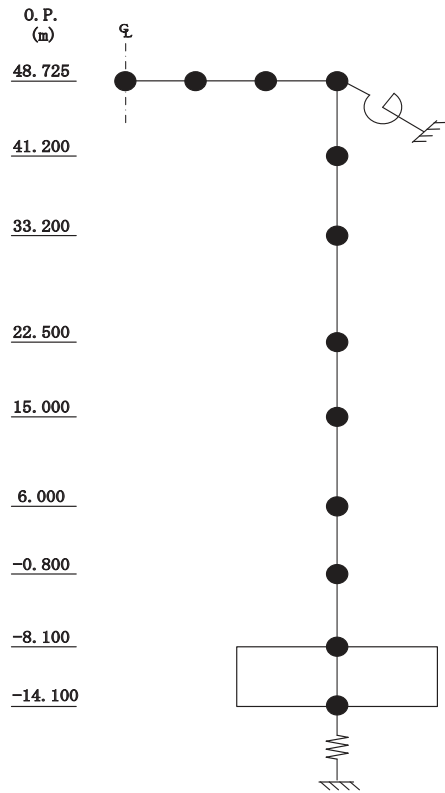


図 4-11 最大応答変位 (基準地震動 S_s , 鉛直方向)

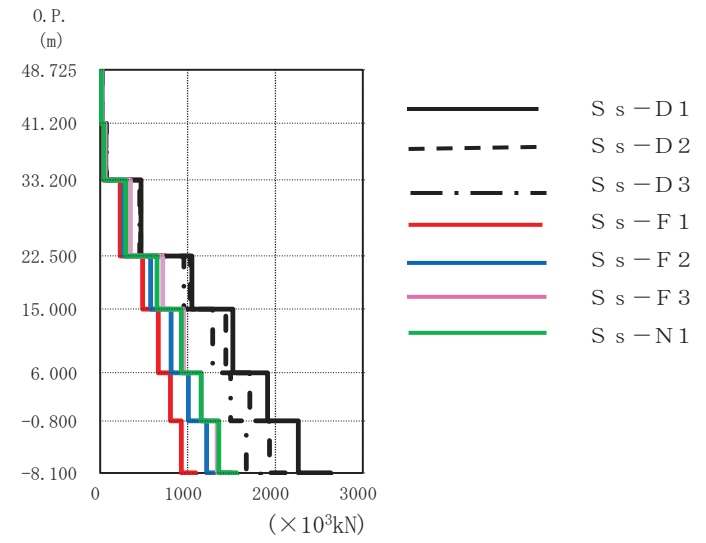
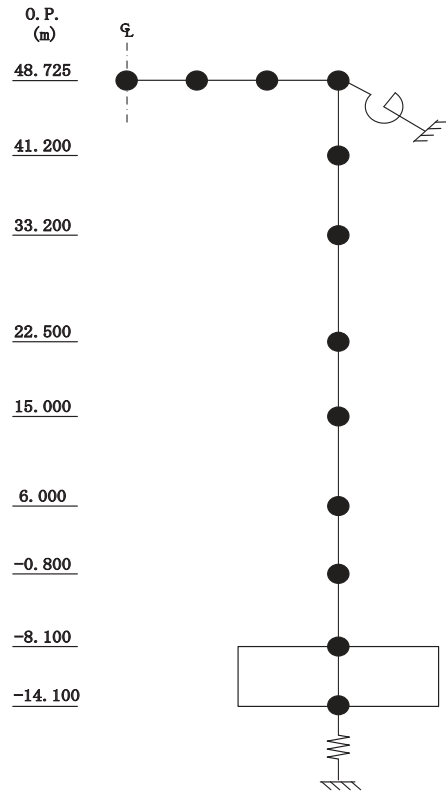


图 4-12 最大応答軸力 (基準地震動 S_s , 鉛直方向)

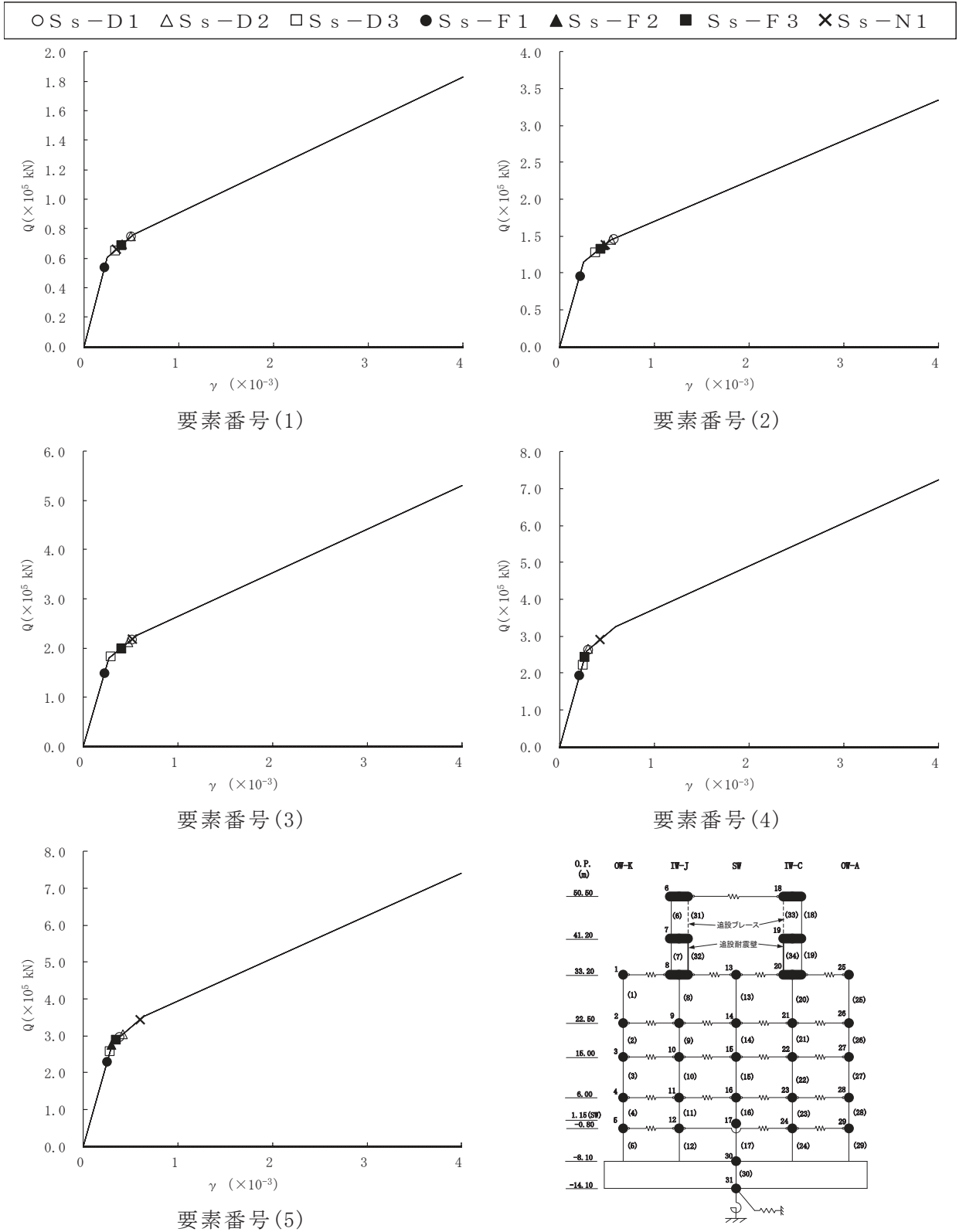


図 4-13(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (1/6)

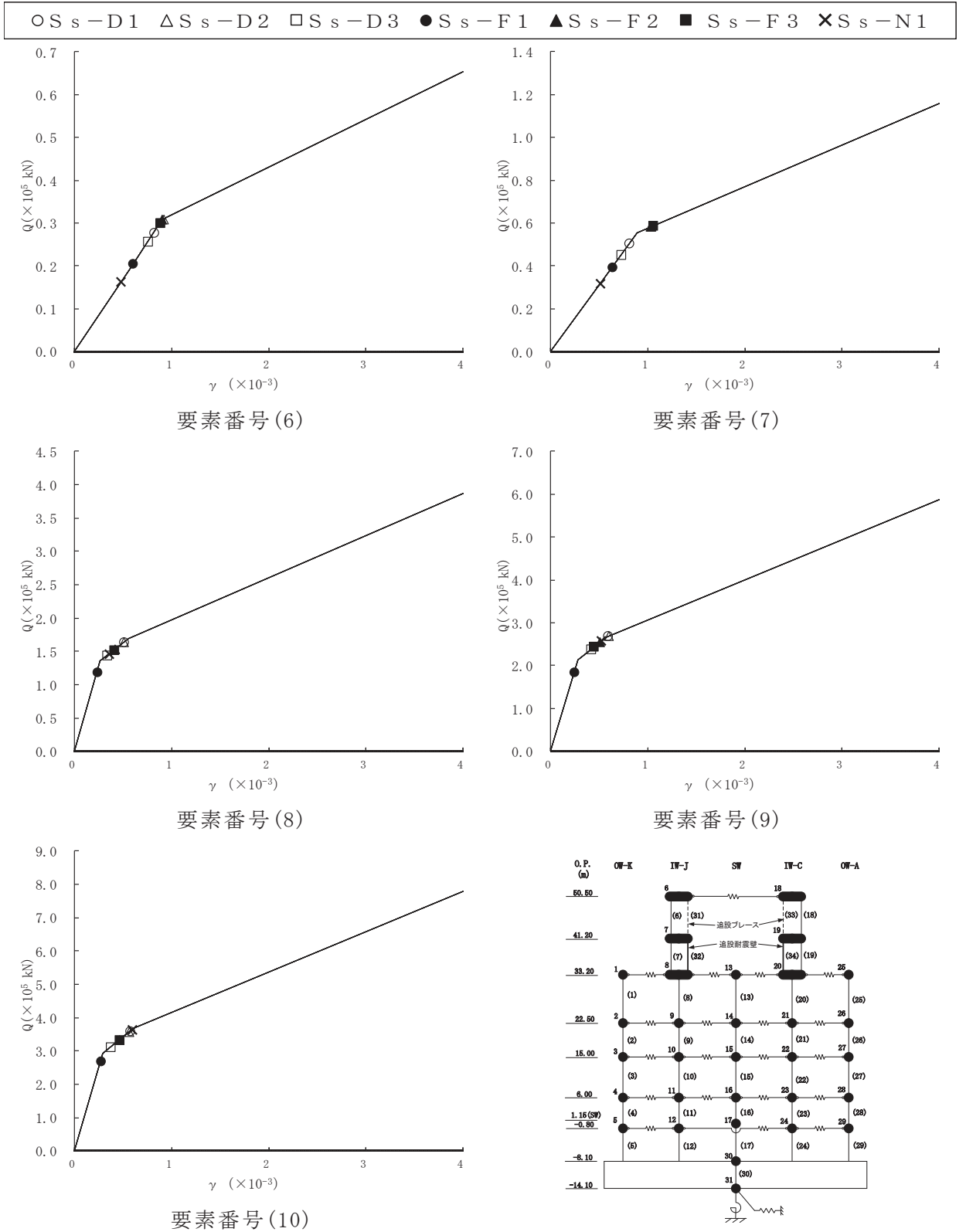


図 4-13(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (2/6)

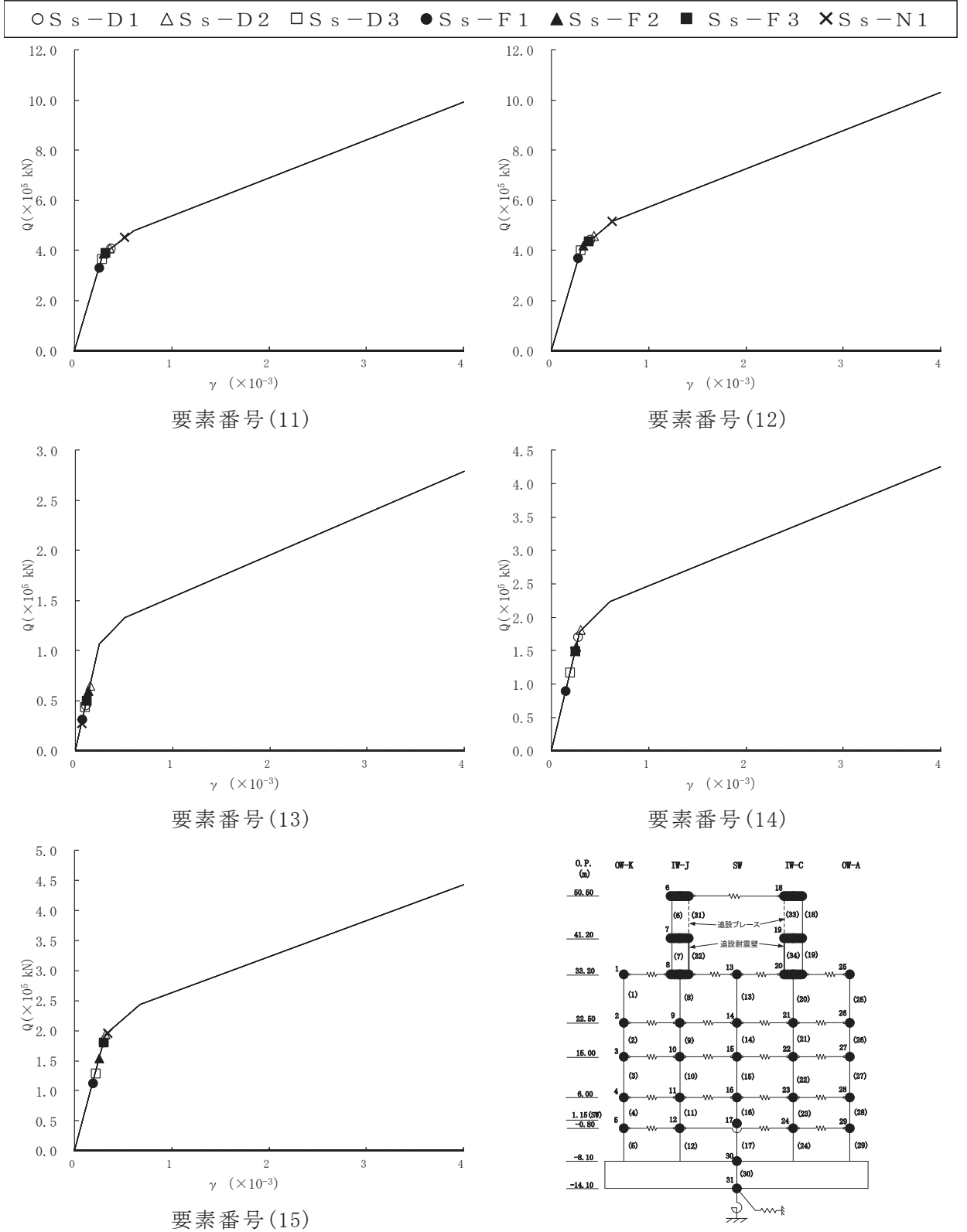


図 4-13(3) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (3/6)

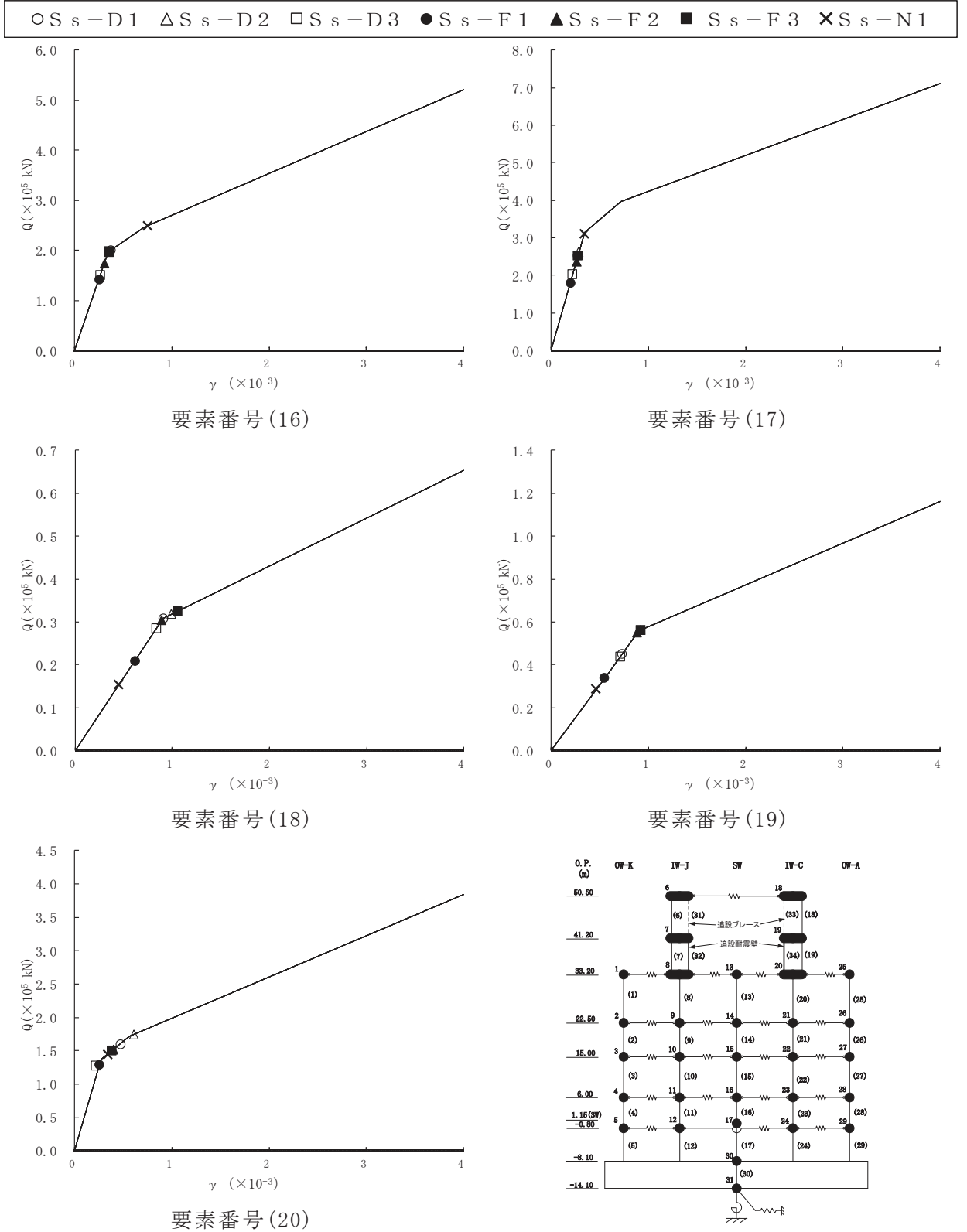


図 4-13(4) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (4/6)

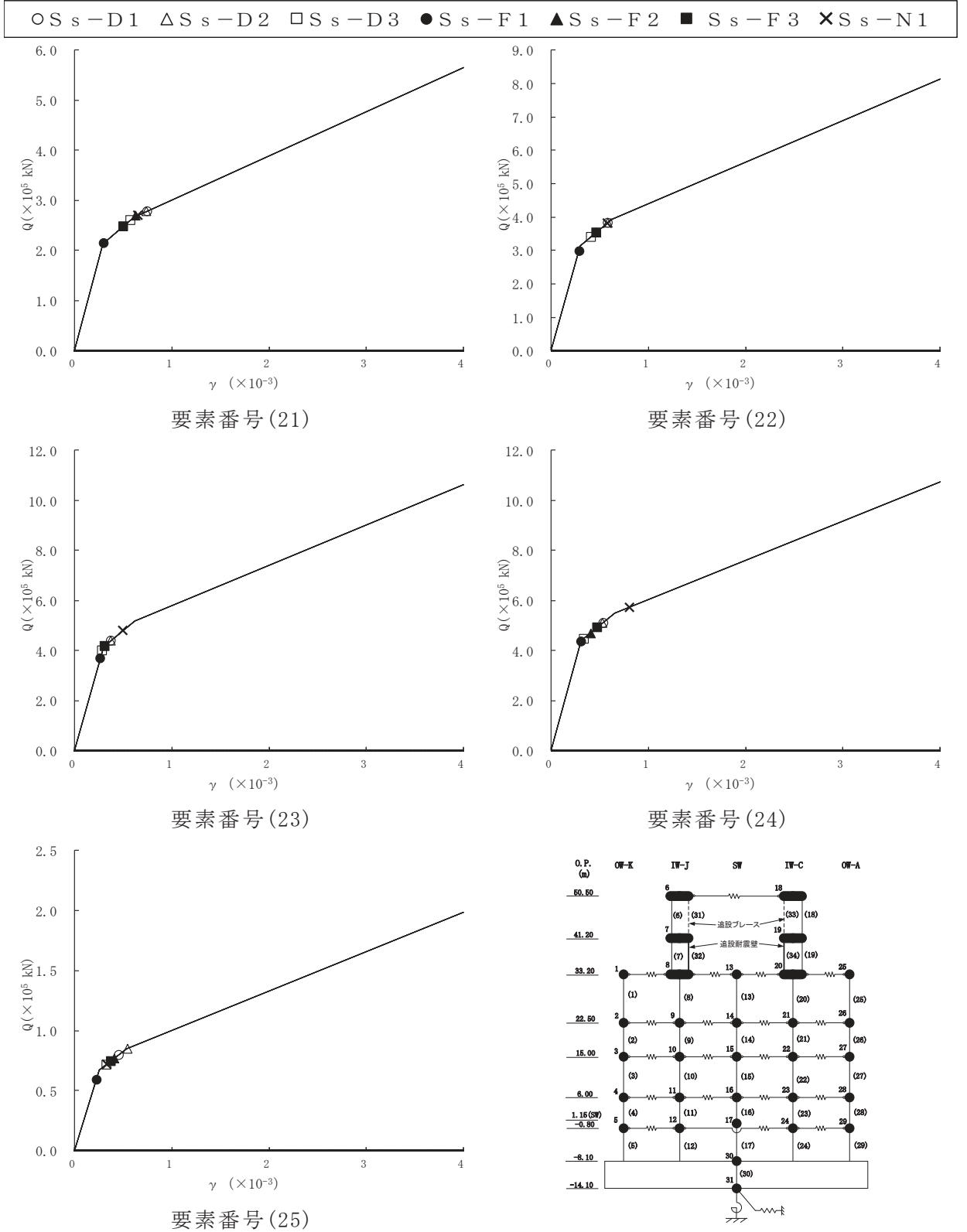


図 4-13(5) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (5/6)

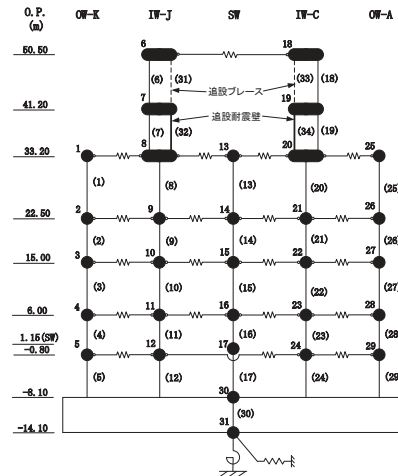
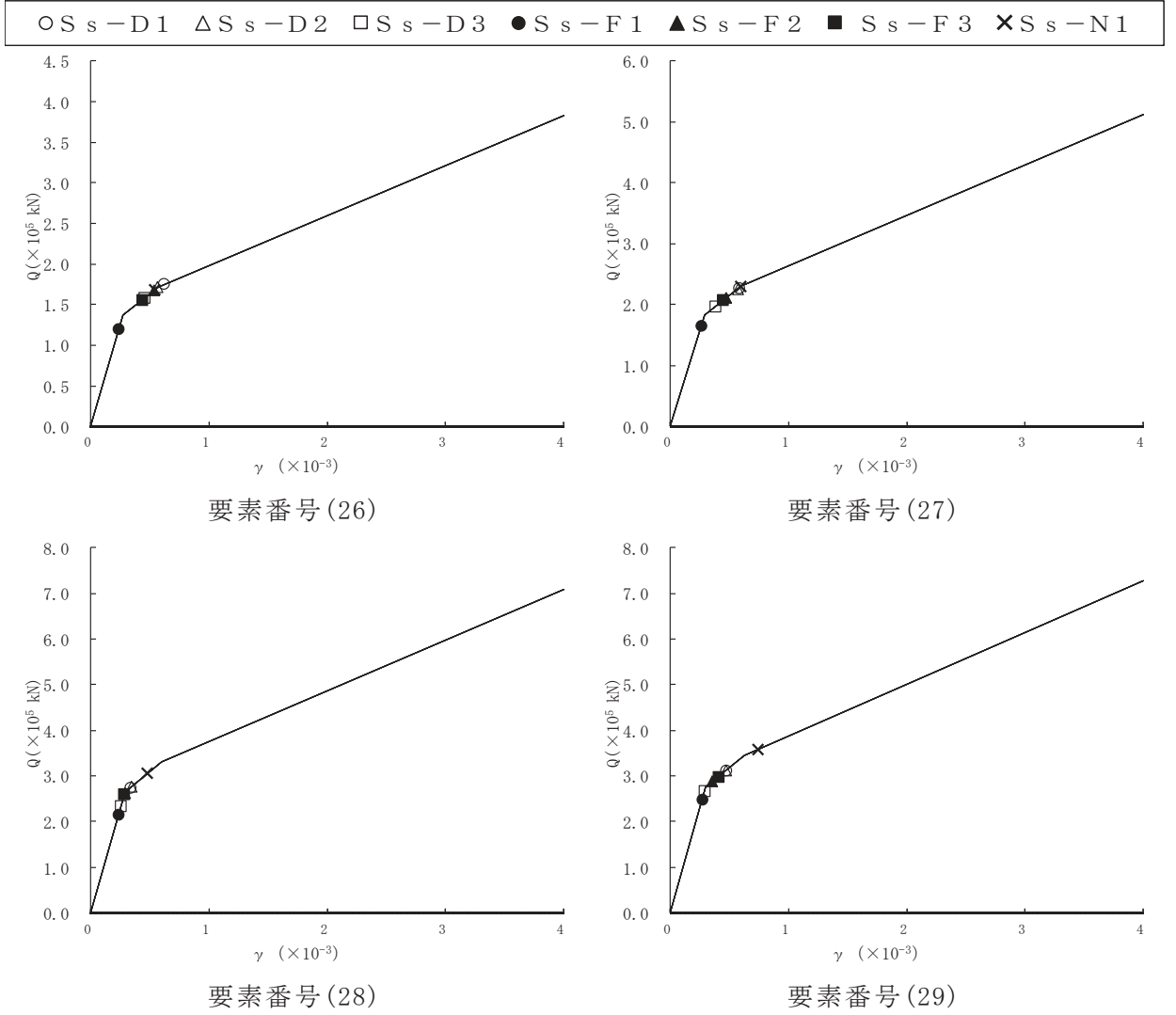


図 4-13(6) セン断スケルトンカーブ上の最大応答値
 (基準地震動 S_s, NS 方向) (6/6)

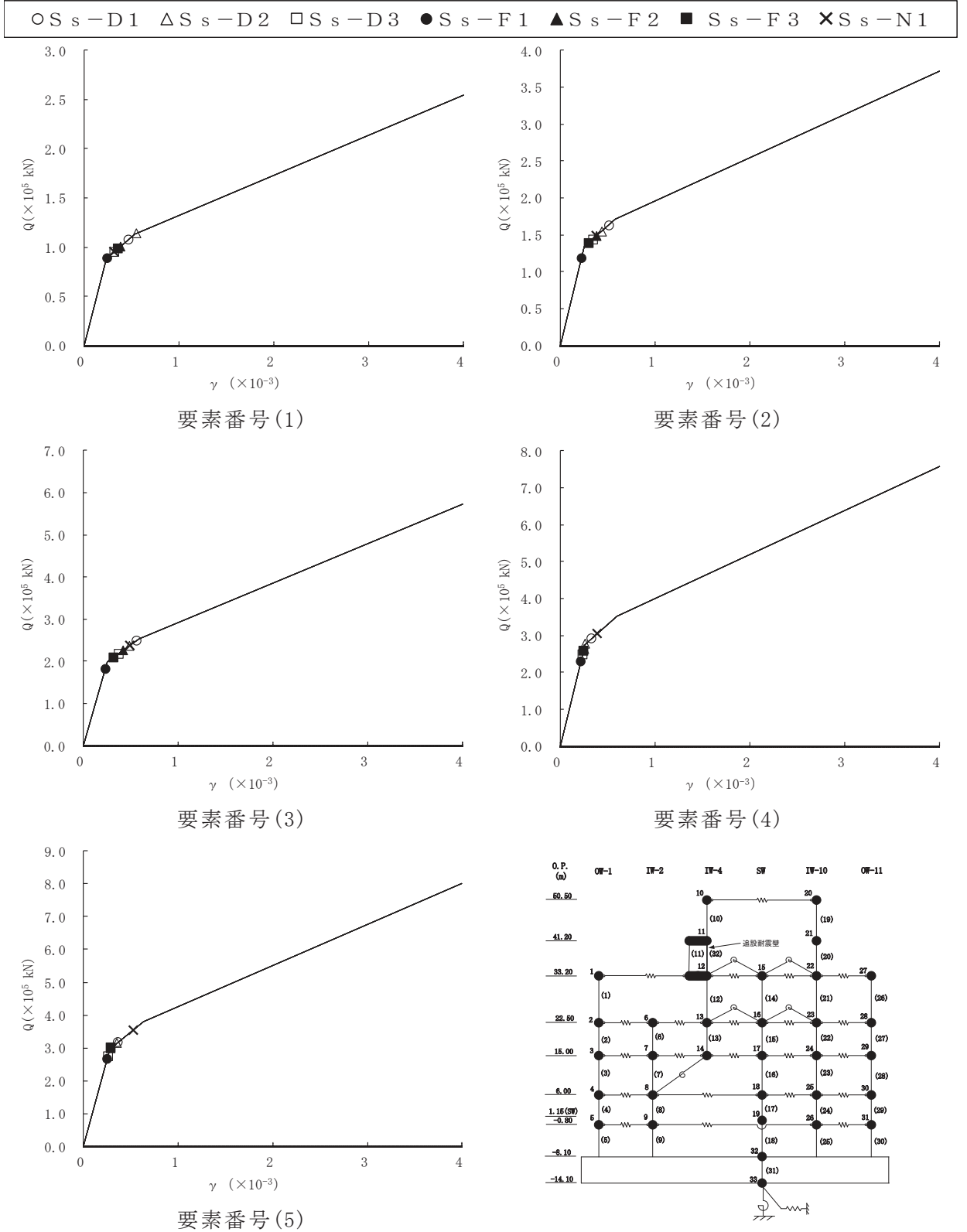


図 4-13(7) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (1/6)

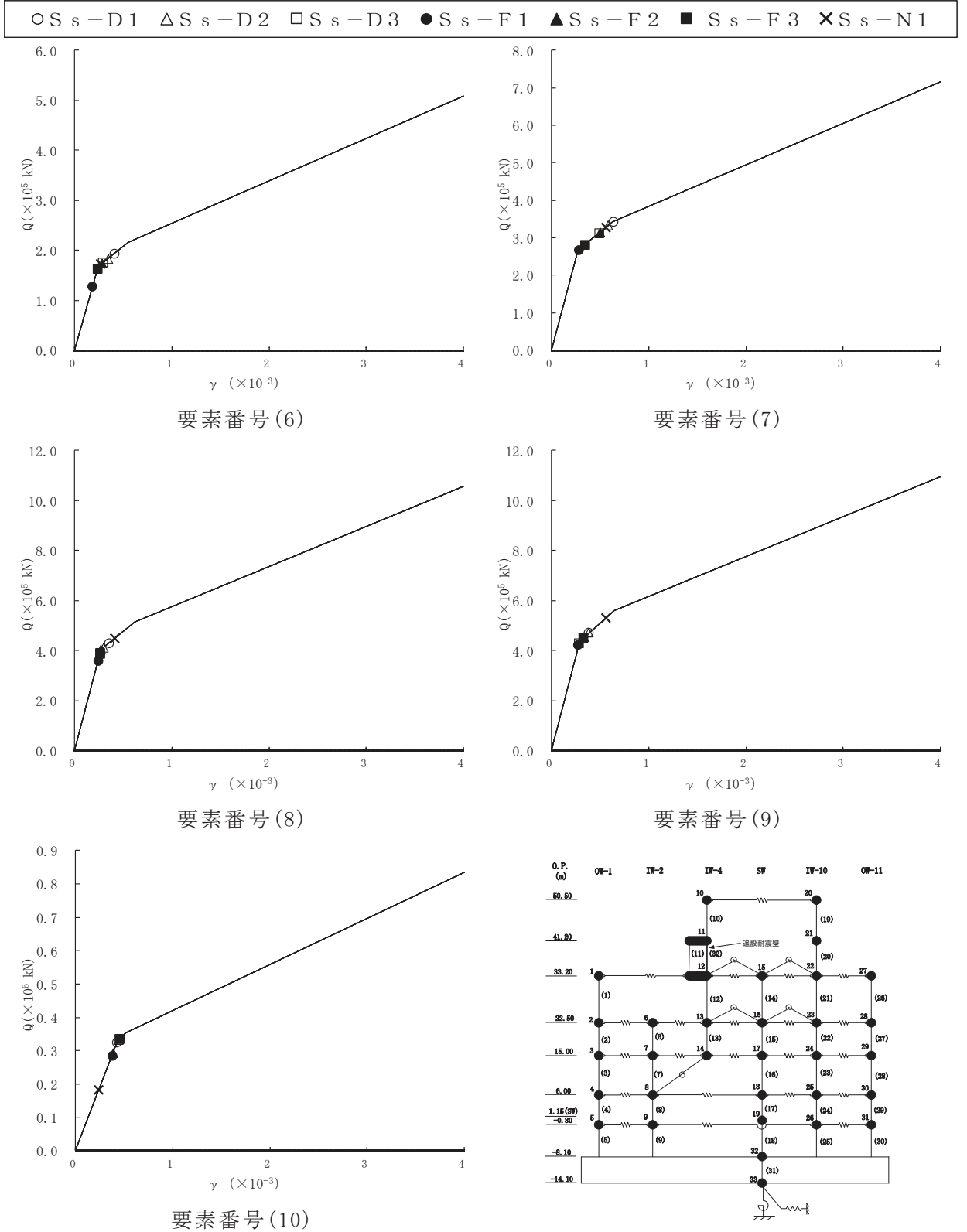


図 4-13(8) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (2/6)

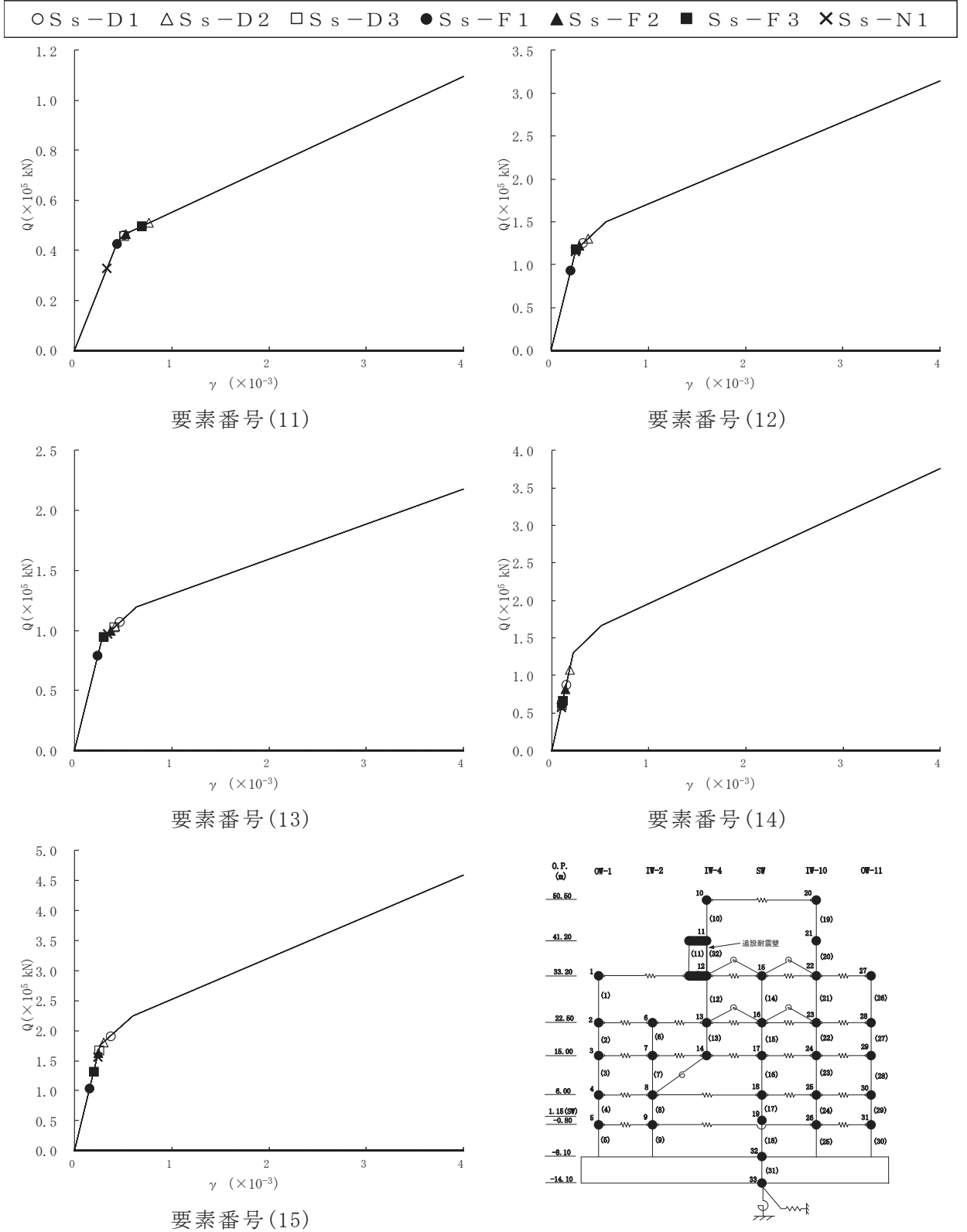


図 4-13(9) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (3/6)

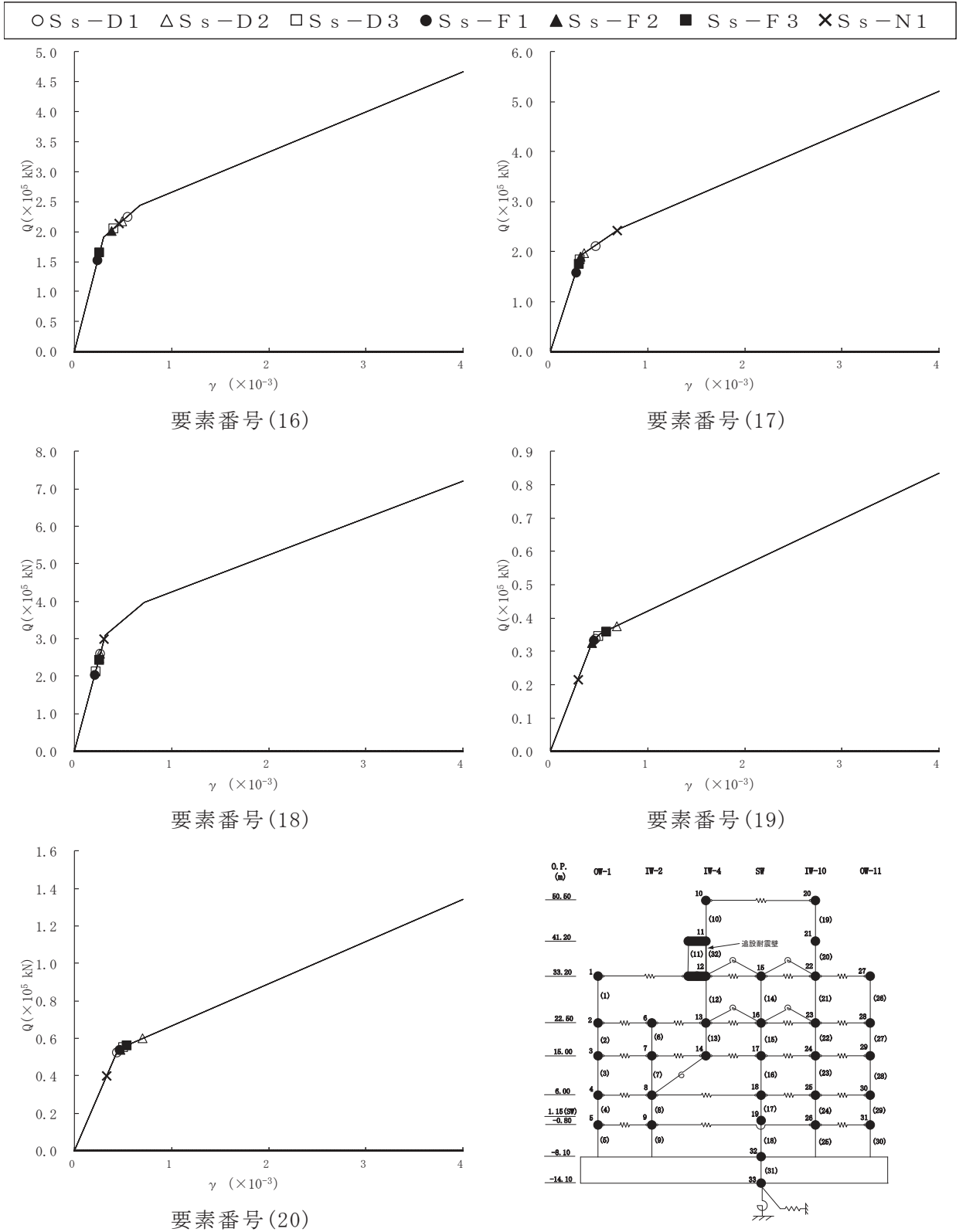


図 4-13(10) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (4/6)

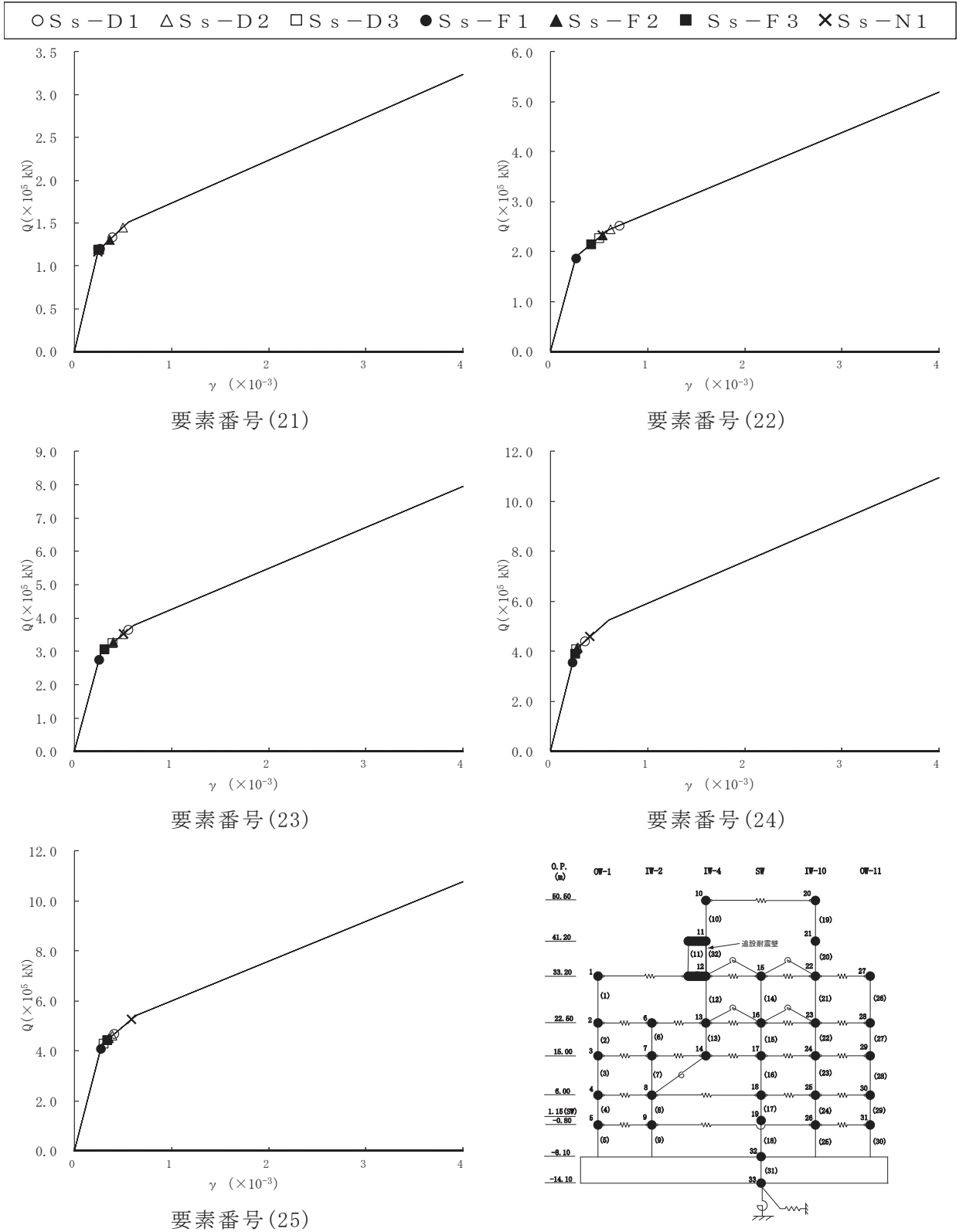


図 4-13(11) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
 (基準地震動 S_s, EW 方向) (5/6)

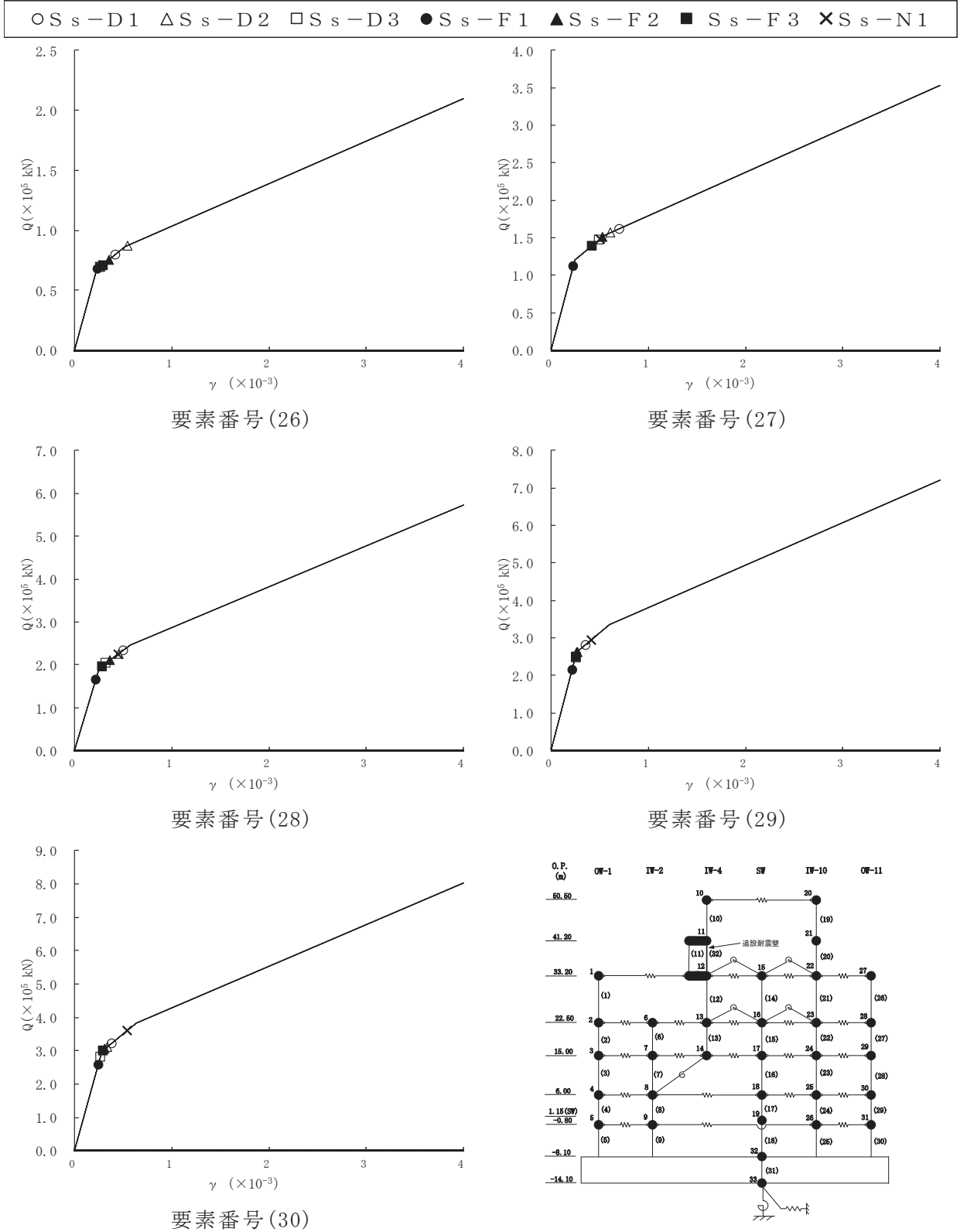
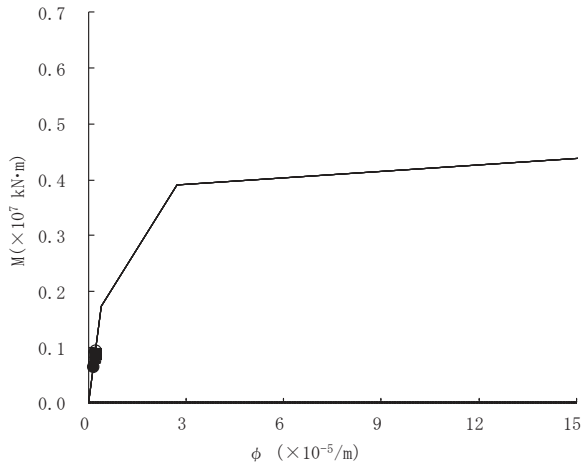
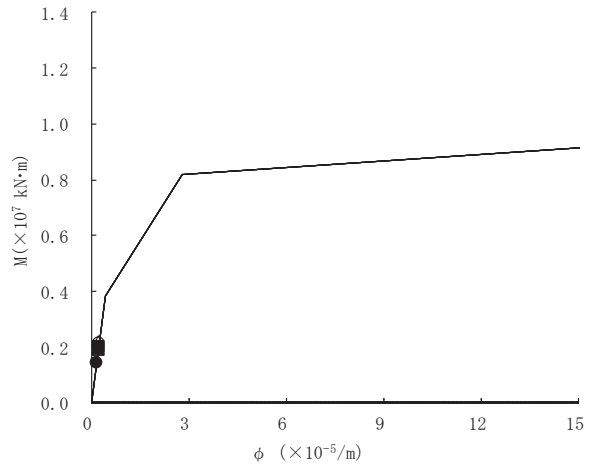


図 4-13(12) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (6/6)

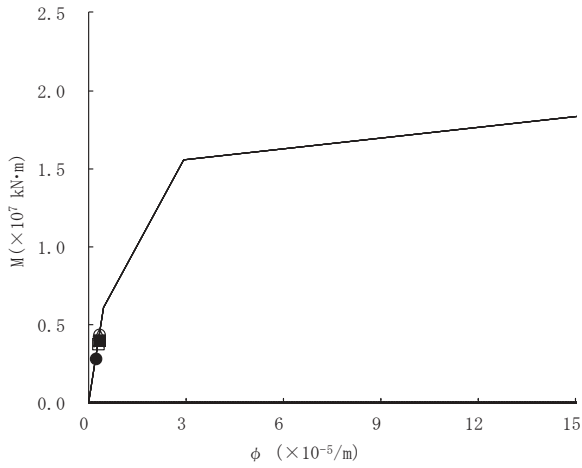
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



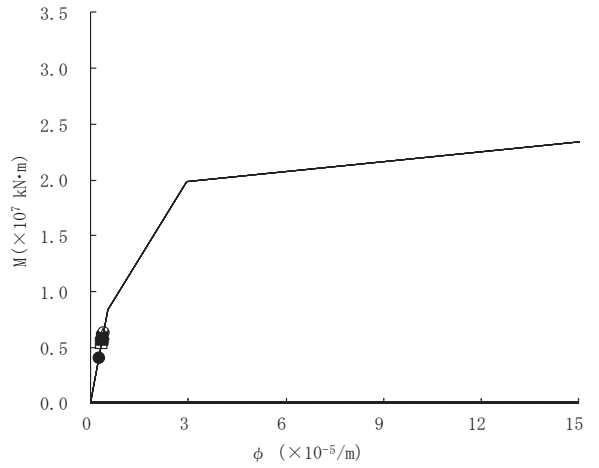
要素番号(1)



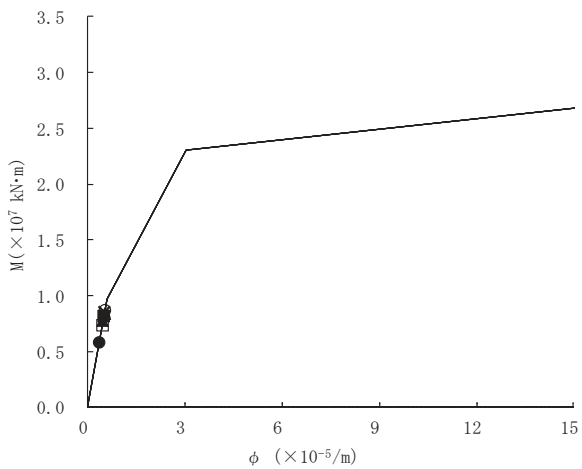
要素番号(2)



要素番号(3)



要素番号(4)



要素番号(5)

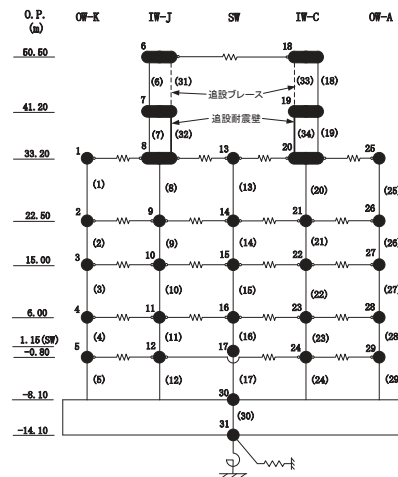
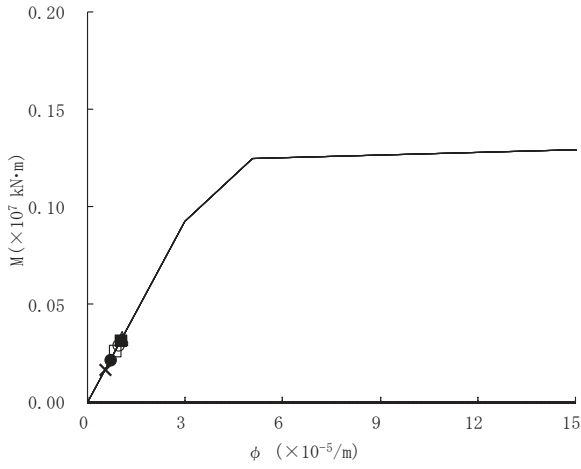
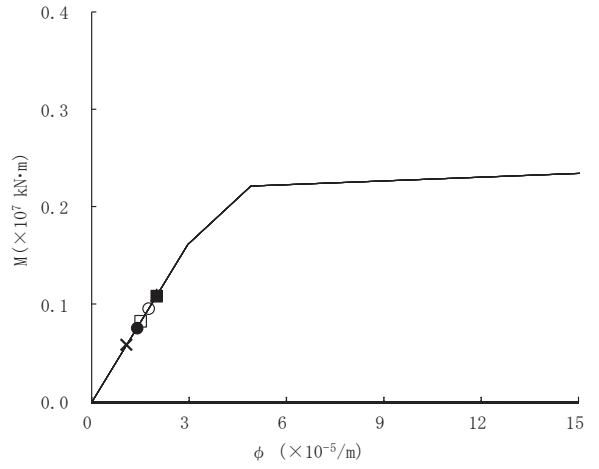


図 4-14(1) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (1/6)

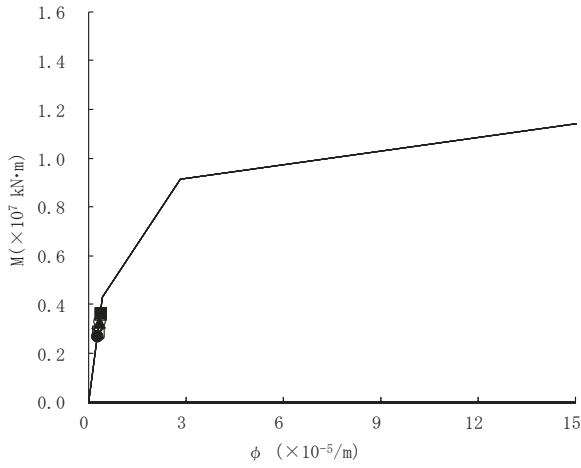
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



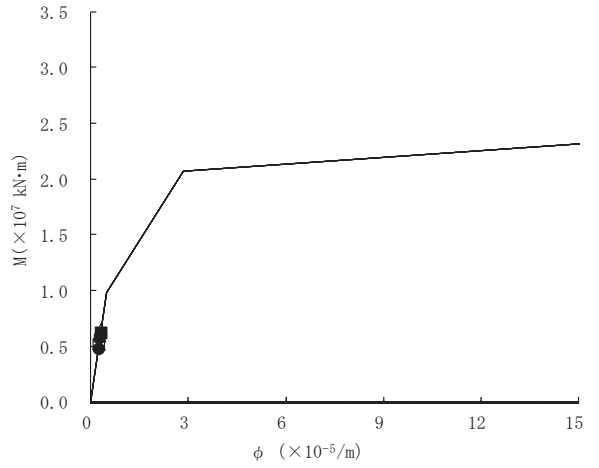
要素番号(6)



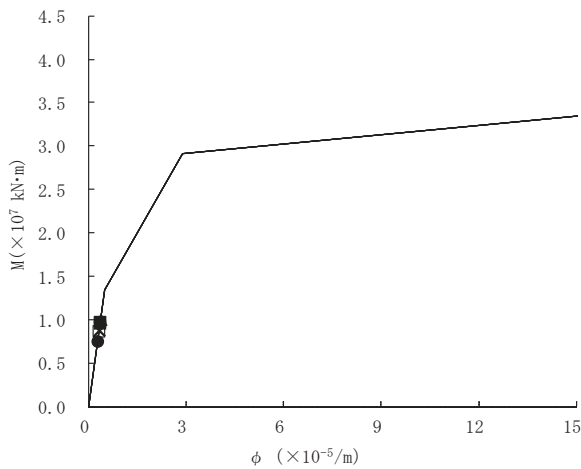
要素番号(7)



要素番号(8)



要素番号(9)



要素番号(10)

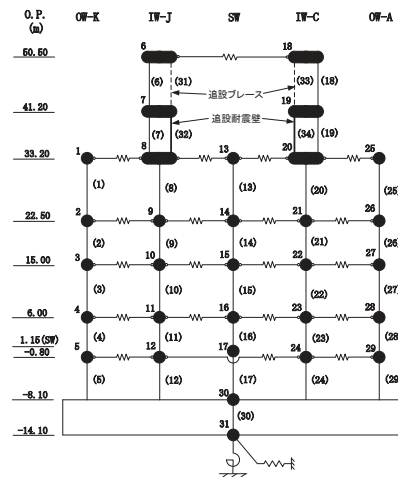
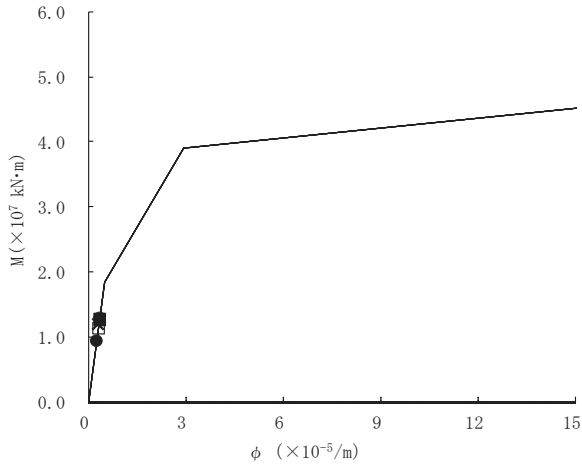
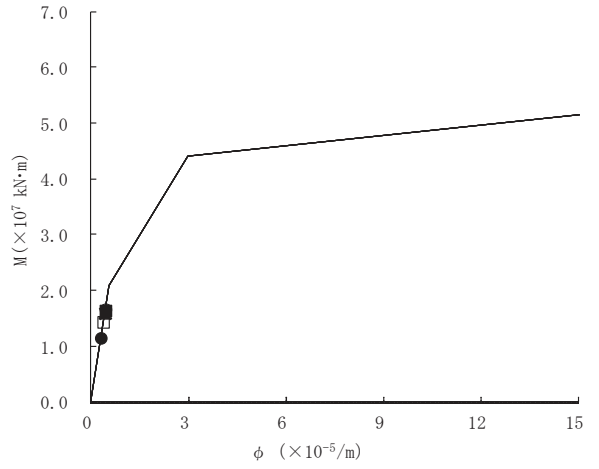


図 4-14(2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (2/6)

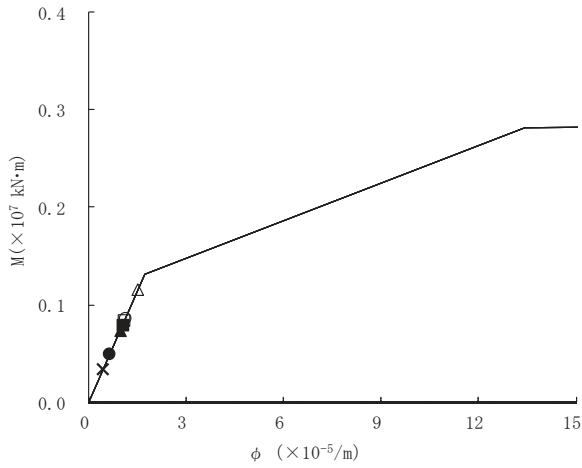
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



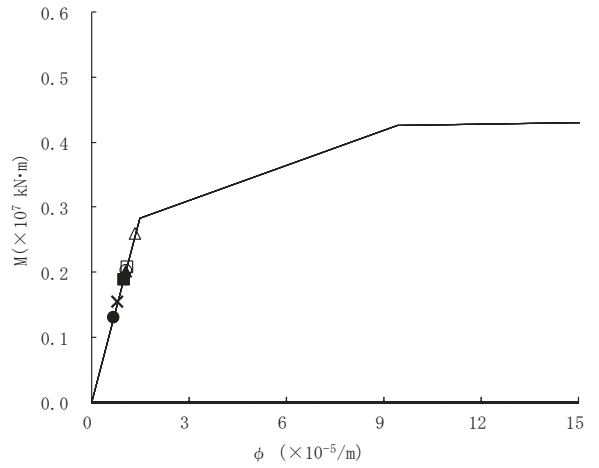
要素番号(11)



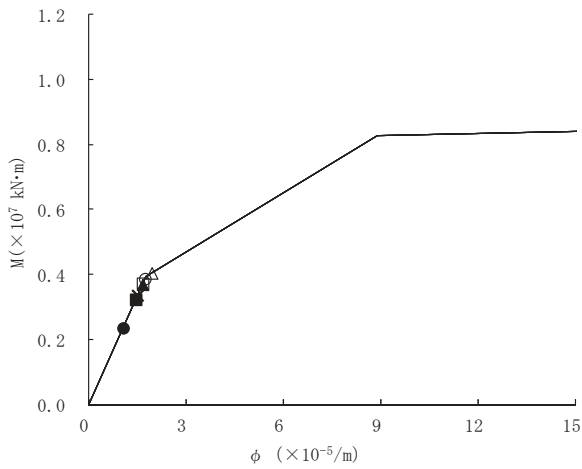
要素番号(12)



要素番号(13)



要素番号(14)



要素番号(15)

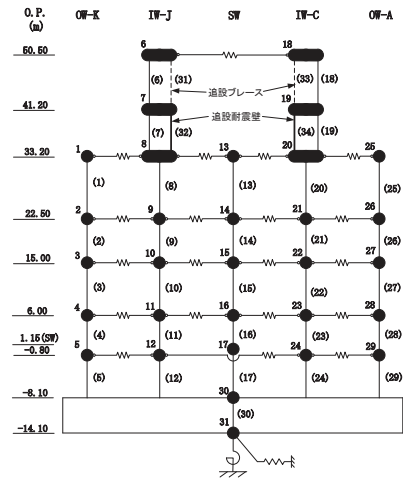
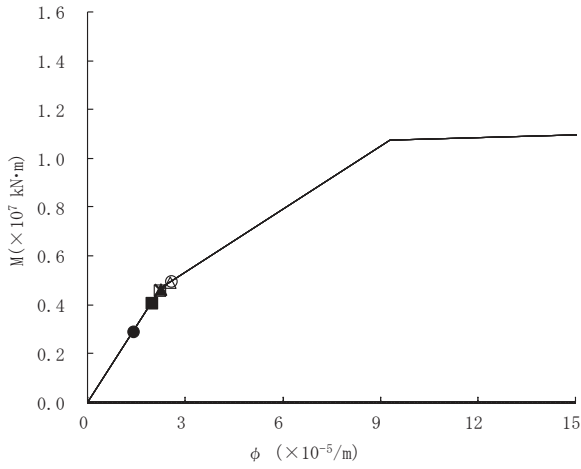
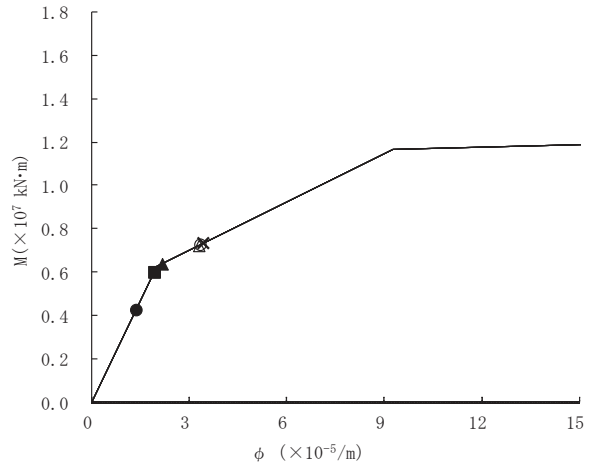


図 4-14(3) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (3/6)

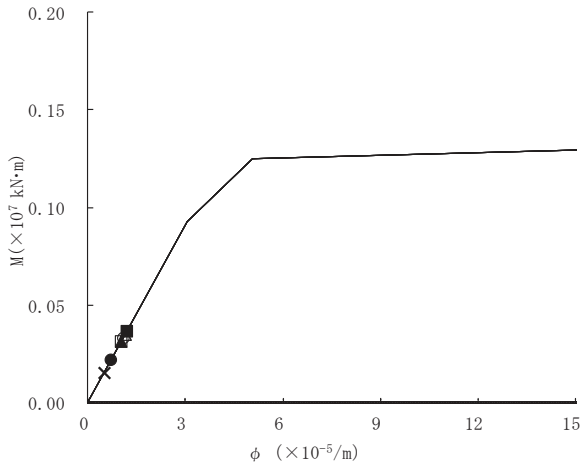
○ S_s-D1
△ S_s-D2
□ S_s-D3
● S_s-F1
▲ S_s-F2
■ S_s-F3
× S_s-N1



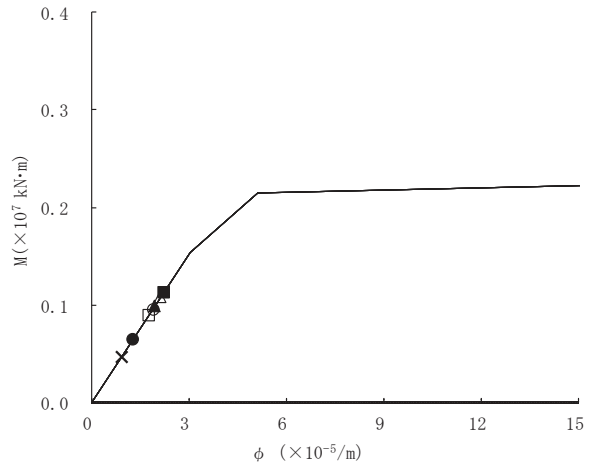
要素番号 (16)



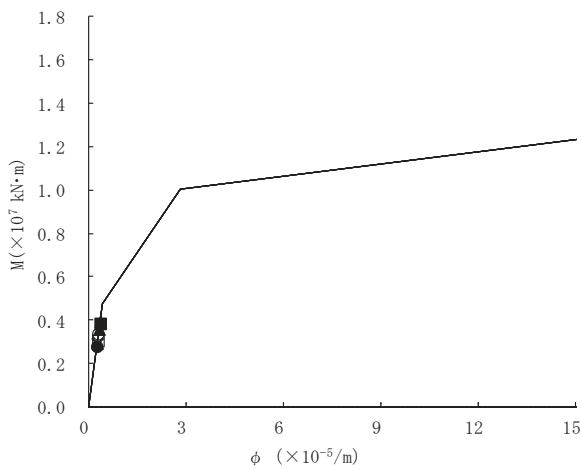
要素番号 (17)



要素番号 (18)



要素番号 (19)



要素番号 (20)

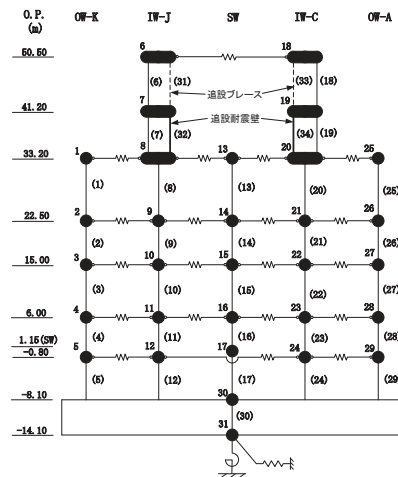
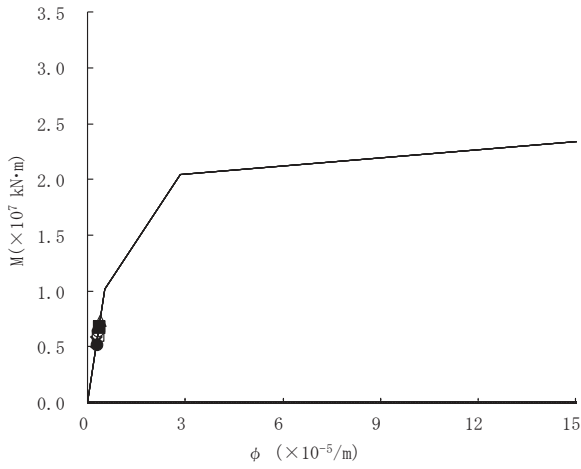
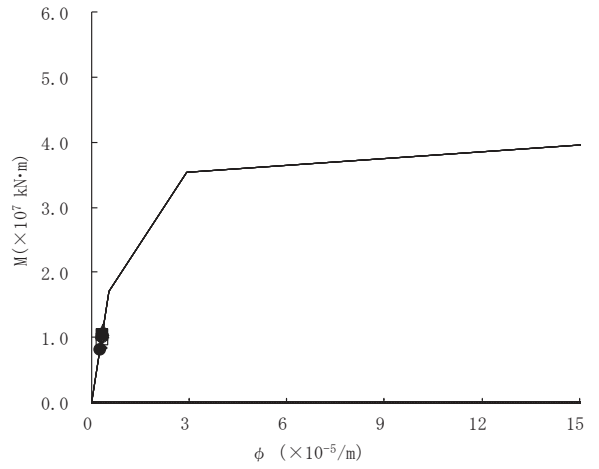


図 4-14(4) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (4/6)

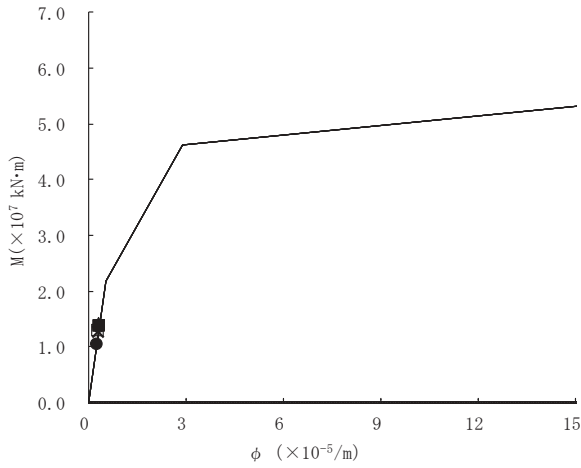
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



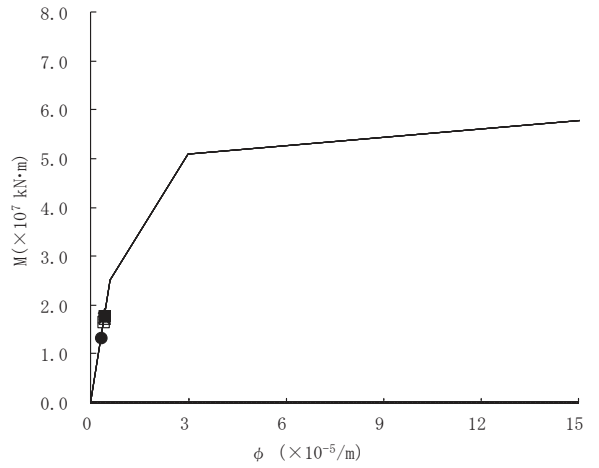
要素番号 (21)



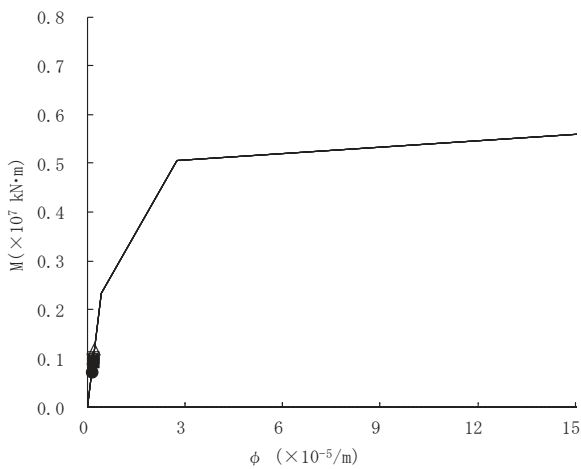
要素番号 (22)



要素番号 (23)



要素番号 (24)



要素番号 (25)

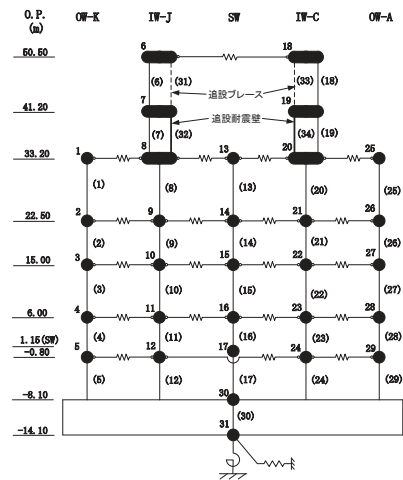
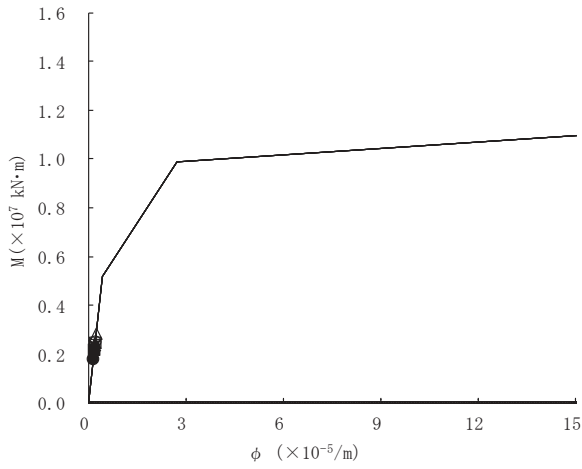
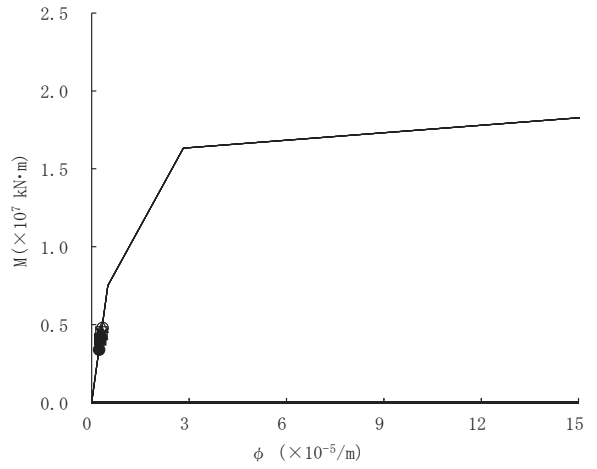


図 4-14(5) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (5/6)

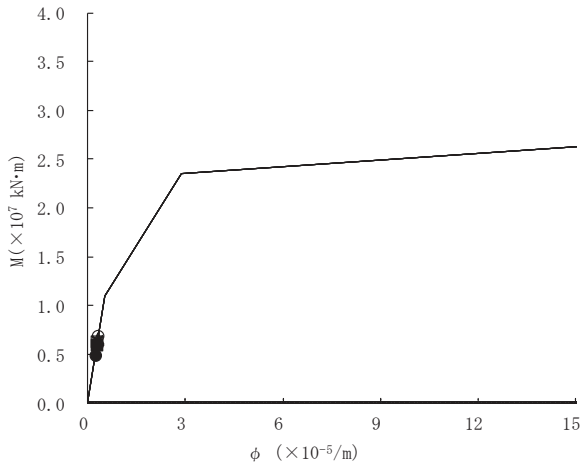
○ S_s-D1 △ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



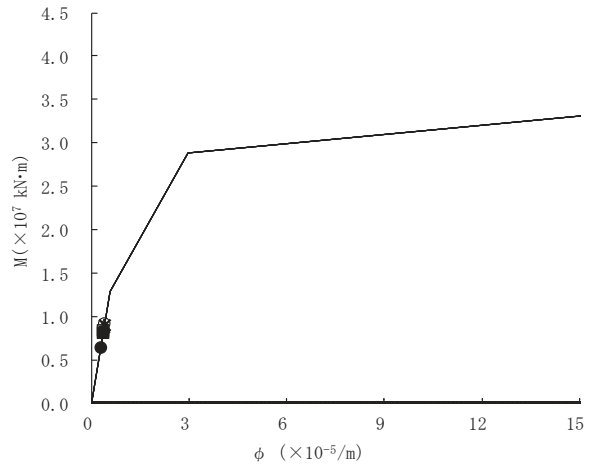
要素番号 (26)



要素番号 (27)



要素番号 (28)



要素番号 (29)

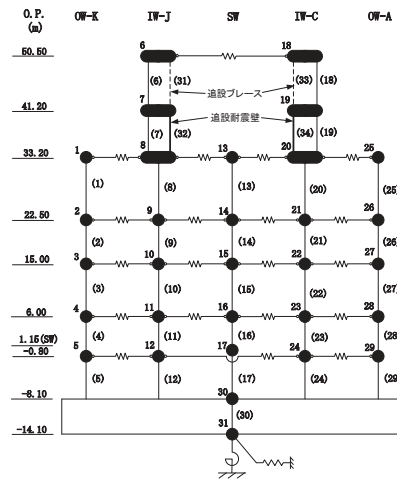


図 4-14(6) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (6/6)

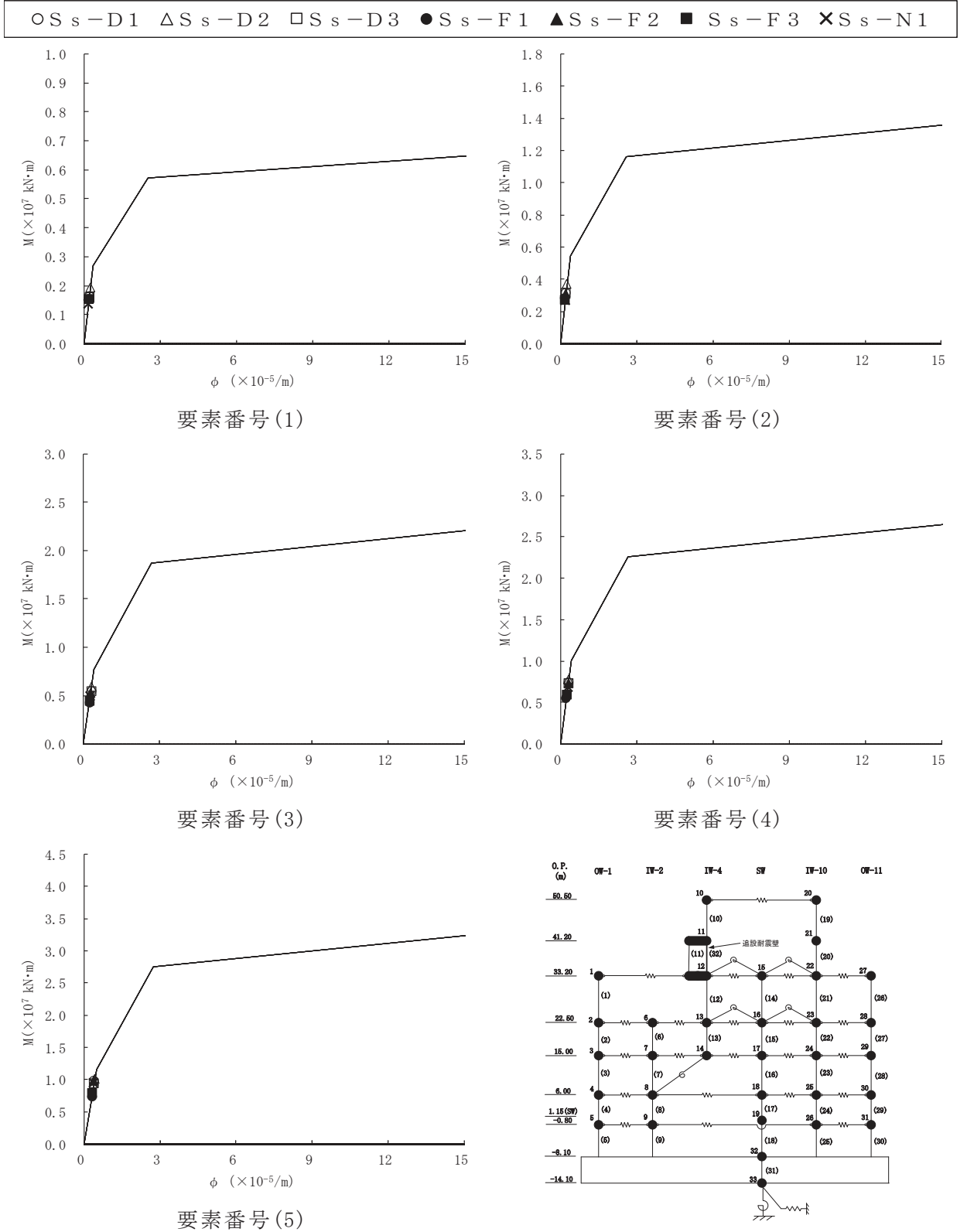


図 4-14(7) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (1/6)

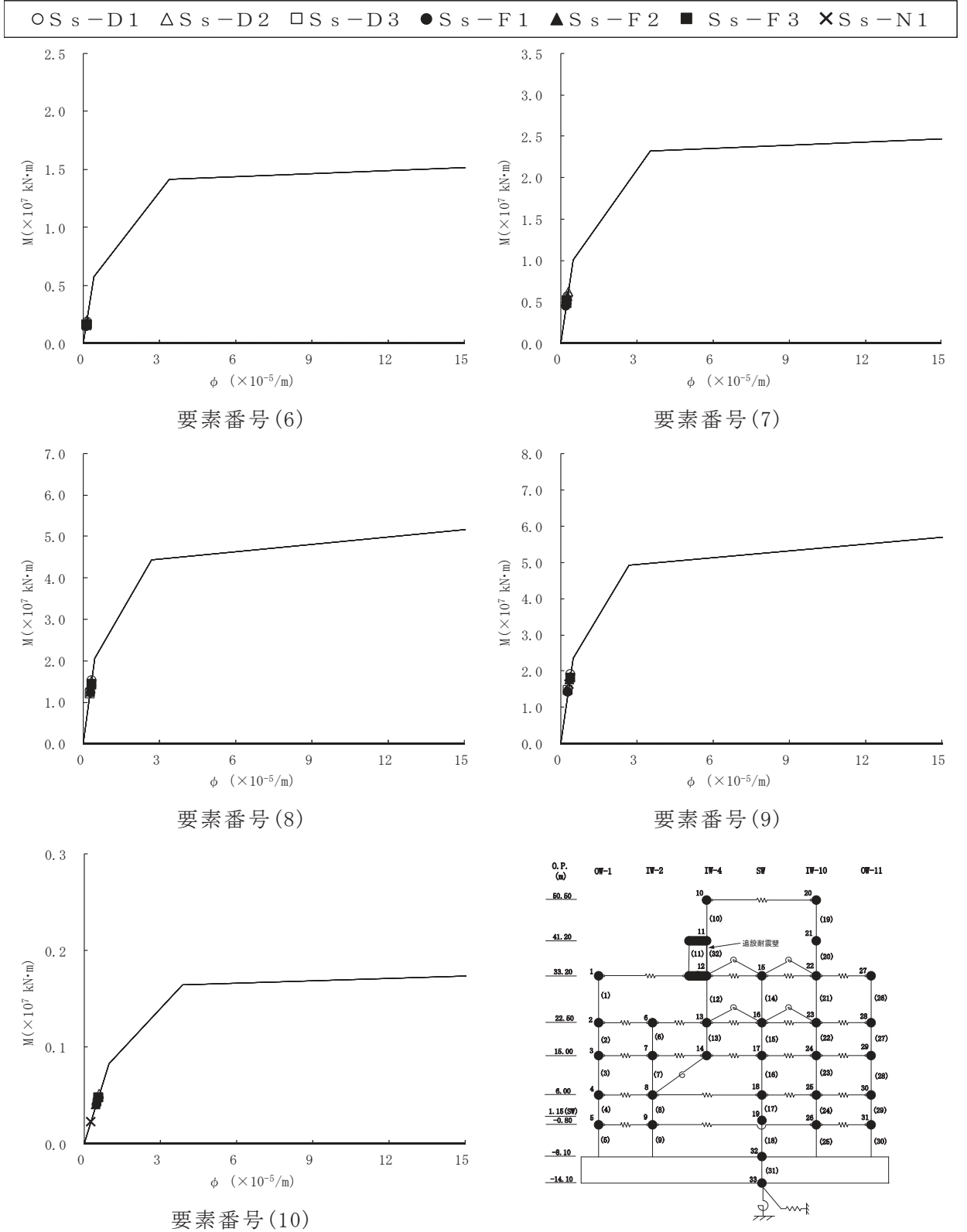


図 4-14(8) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (2/6)

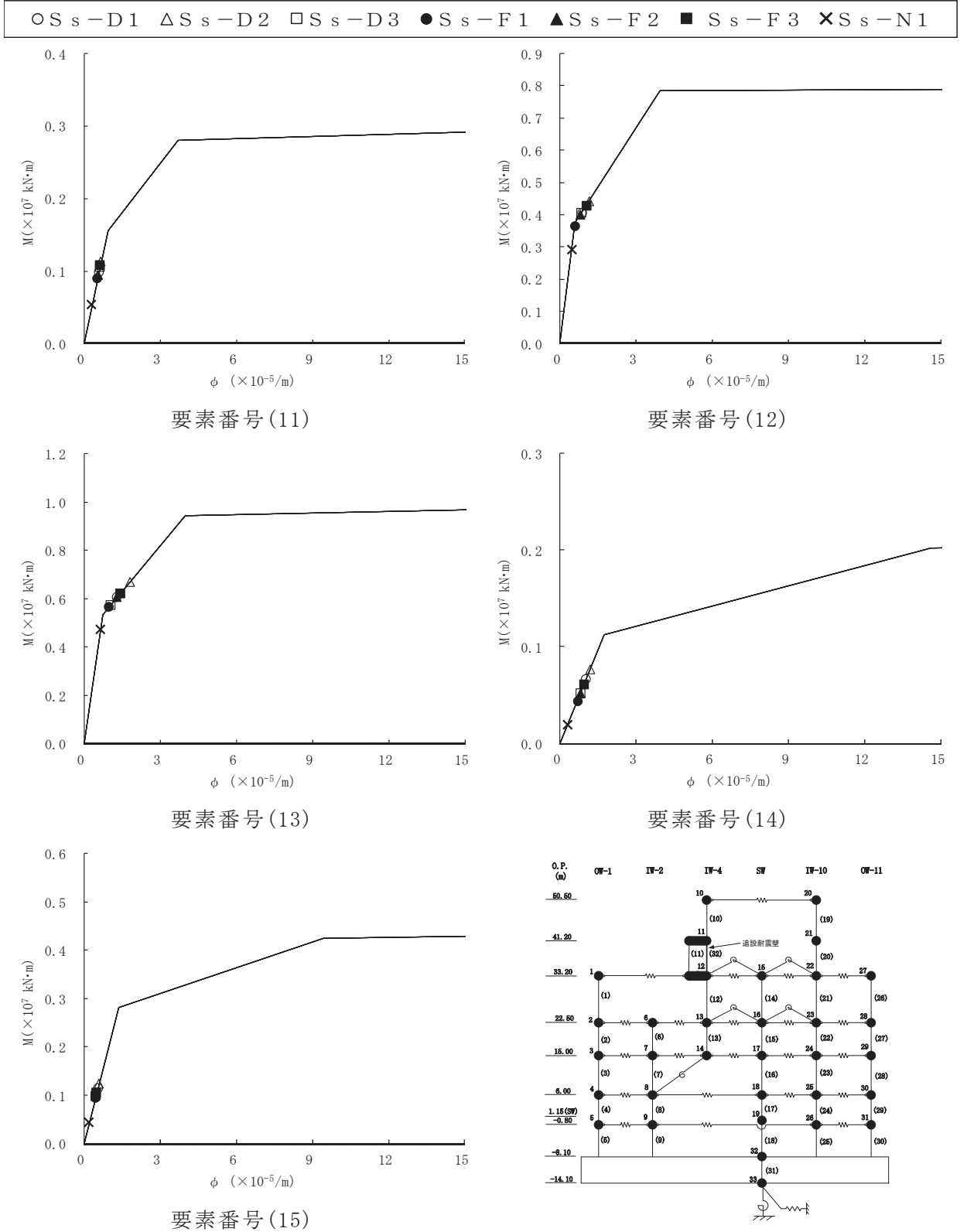


図 4-14(9) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (3/6)

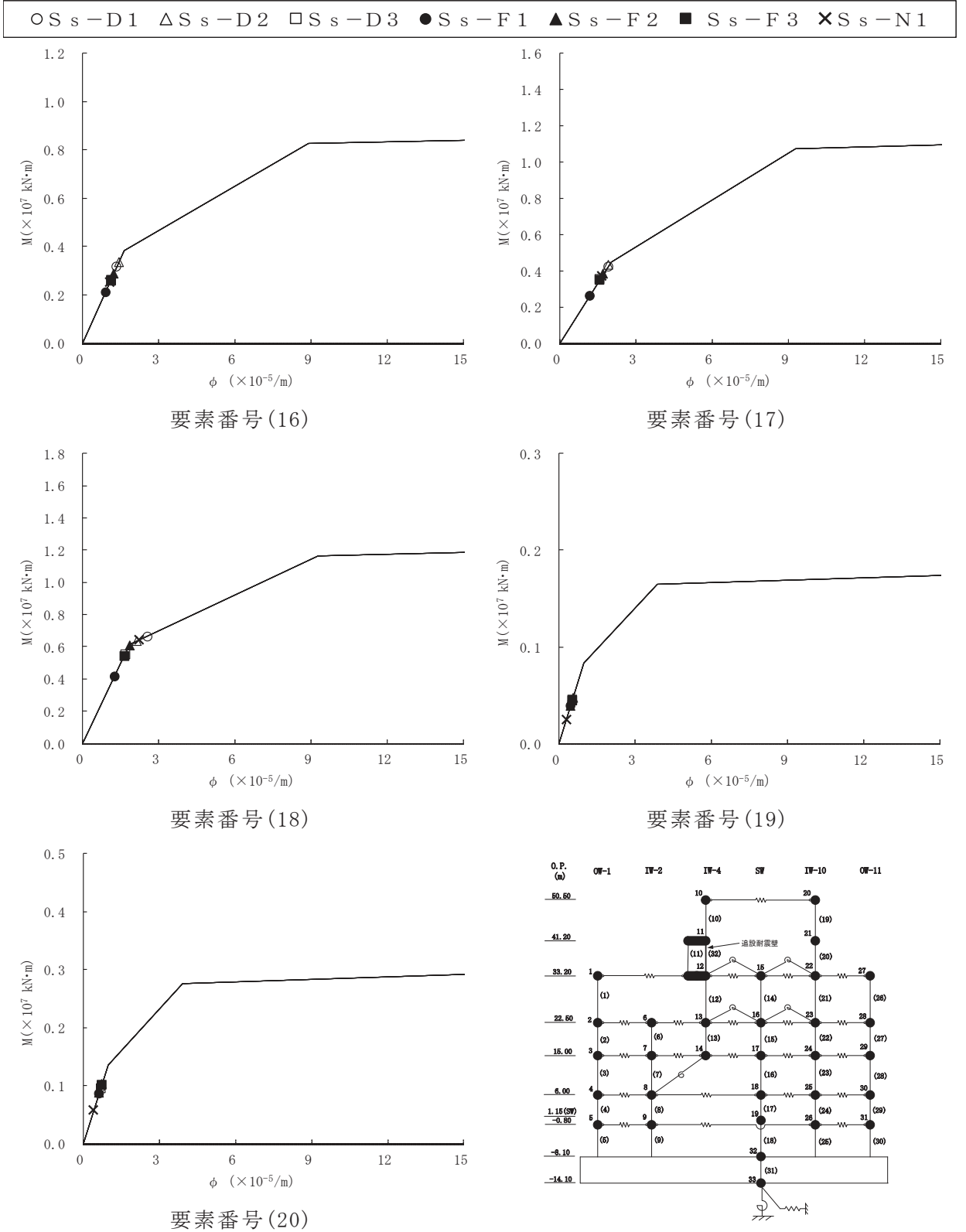


図 4-14(10) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (4/6)

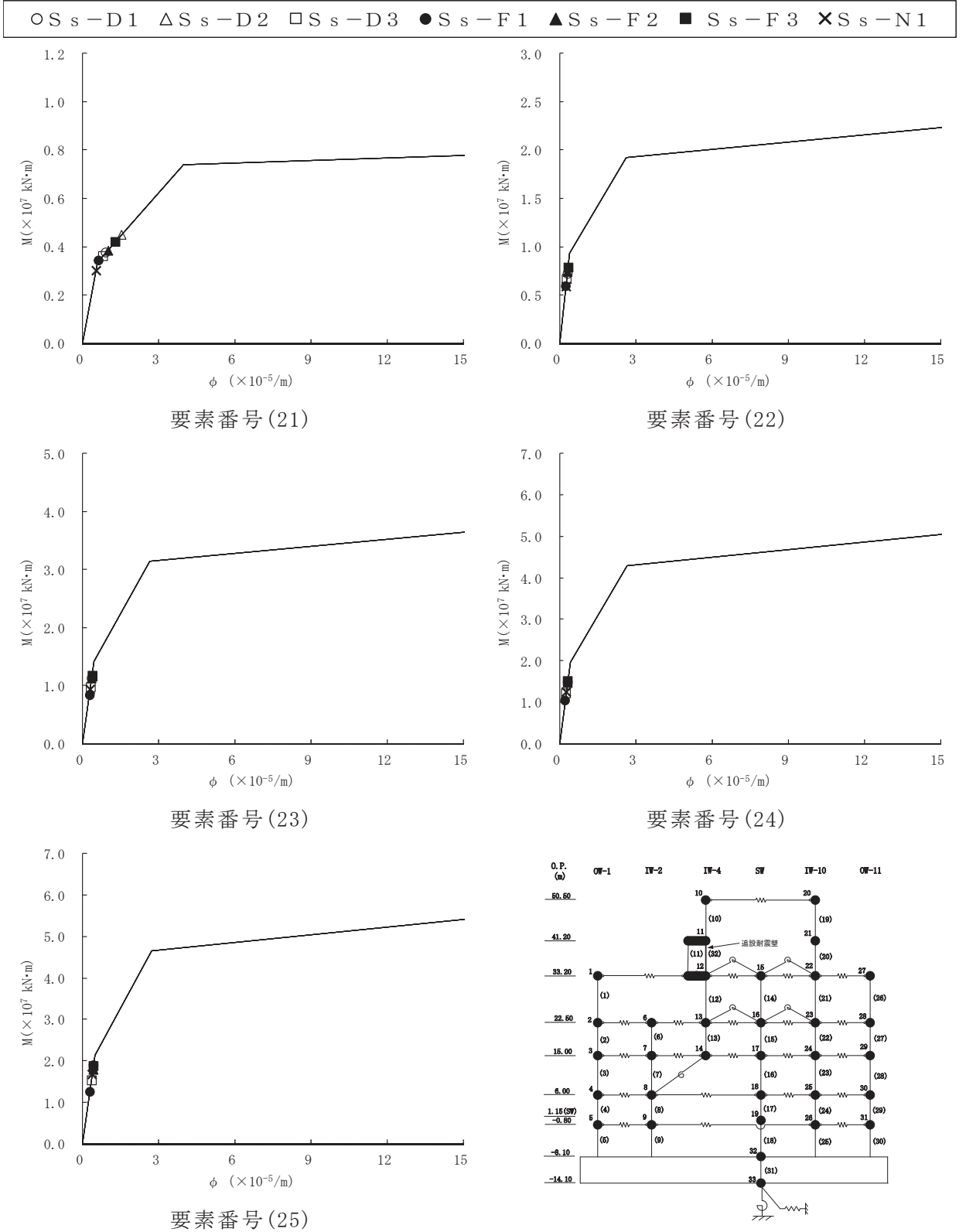
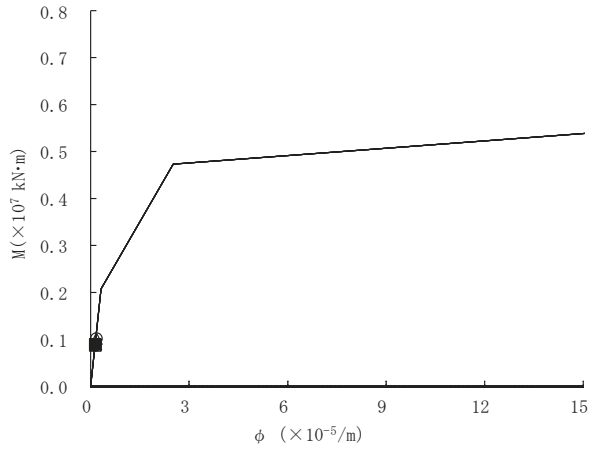
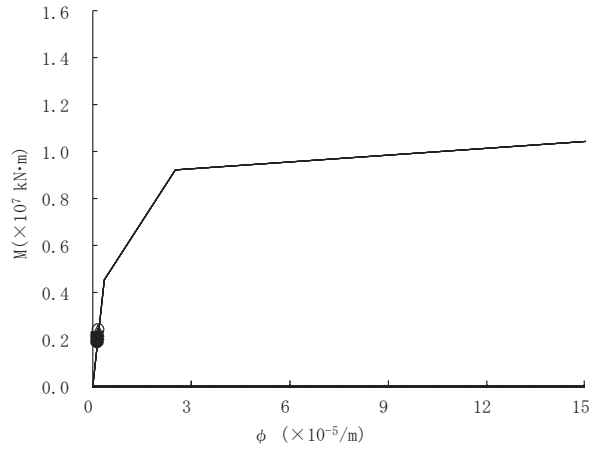


図 4-14(11) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (5/6)

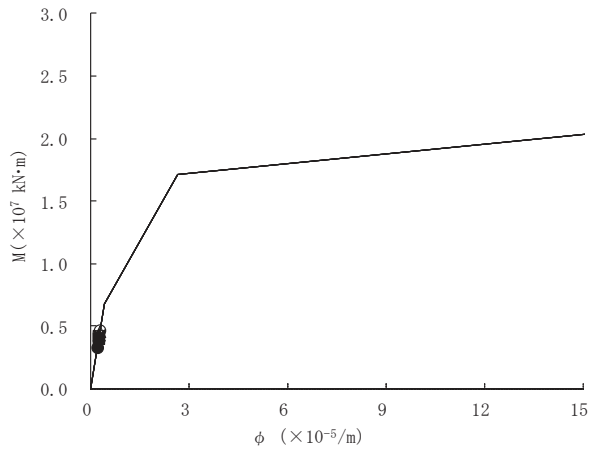
○ S_s-D1 Δ S_s-D2 □ S_s-D3 ● S_s-F1 ▲ S_s-F2 ■ S_s-F3 × S_s-N1



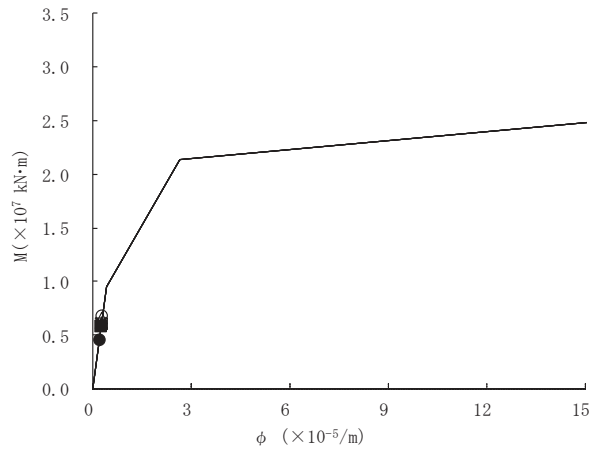
要素番号 (26)



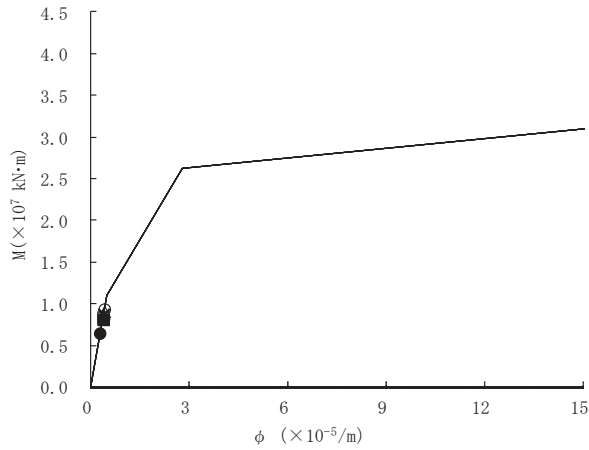
要素番号 (27)



要素番号 (28)



要素番号 (29)



要素番号 (30)

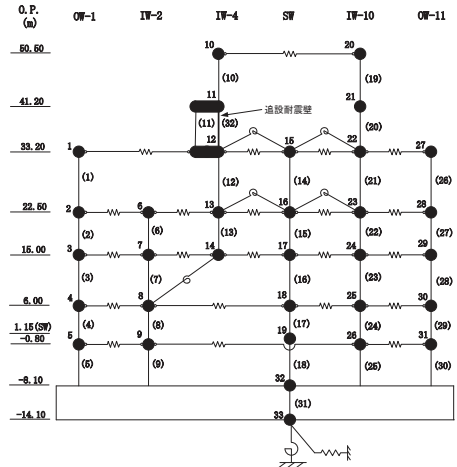


図 4-14(12) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (6/6)

表 4-4 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地率

(a)NS 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	最大転倒モーメント ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
S _s -D 1	2.78	73.0	66.7
S _s -D 2	1.82	69.2	71.0
S _s -D 3	1.43	63.1	78.0
S _s -F 1	1.22	51.2	91.6
S _s -F 2	1.60	68.1	72.2
S _s -F 3	1.72	71.2	68.7
S _s -N 1	1.89	73.9	65.6

(b)EW 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	最大転倒モーメント ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
S _s -D 1	2.54	78.1	68.3
S _s -D 2	1.64	72.4	74.3
S _s -D 3	1.34	62.3	84.8
S _s -F 1	1.19	52.5	95.0
S _s -F 2	1.40	68.3	78.5
S _s -F 3	1.44	70.1	76.6
S _s -N 1	1.56	73.2	73.4

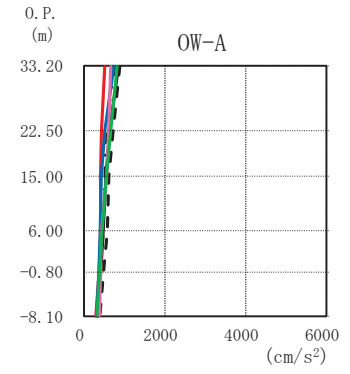
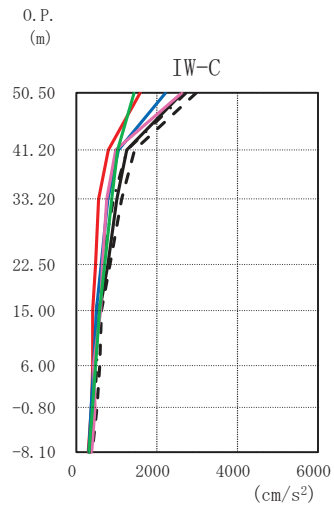
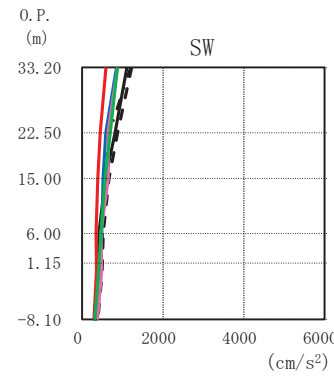
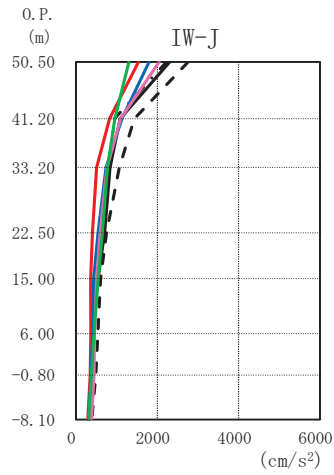
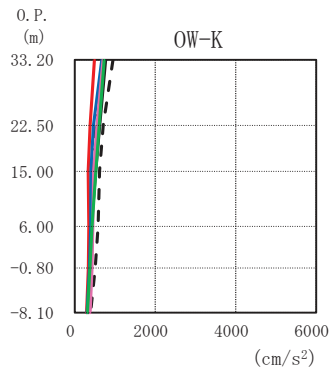
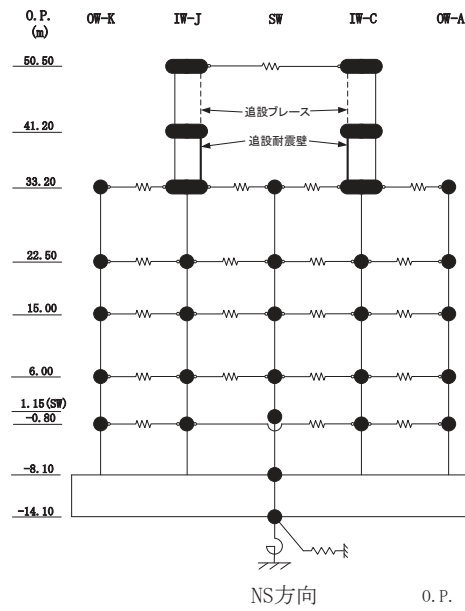


図 4-15 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

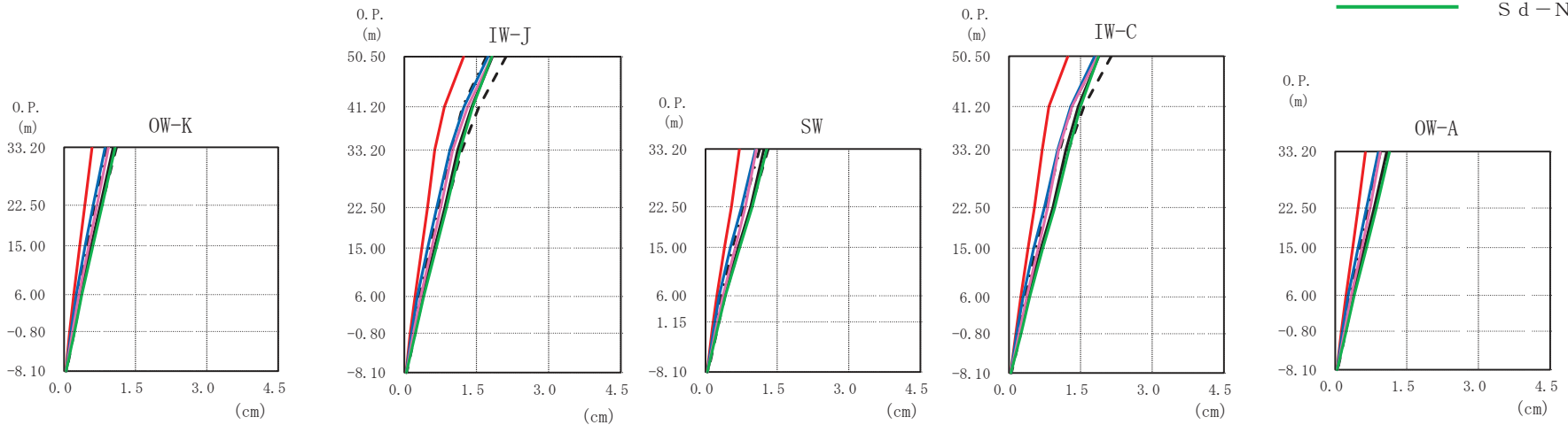
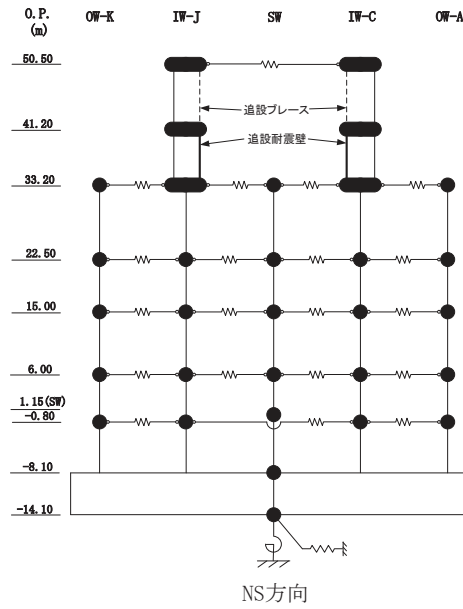


図 4-16 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

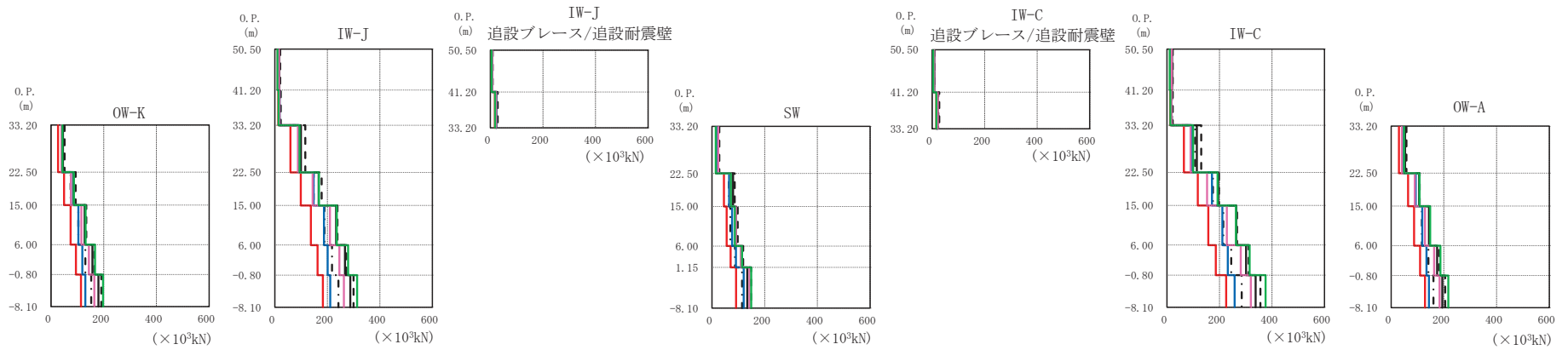
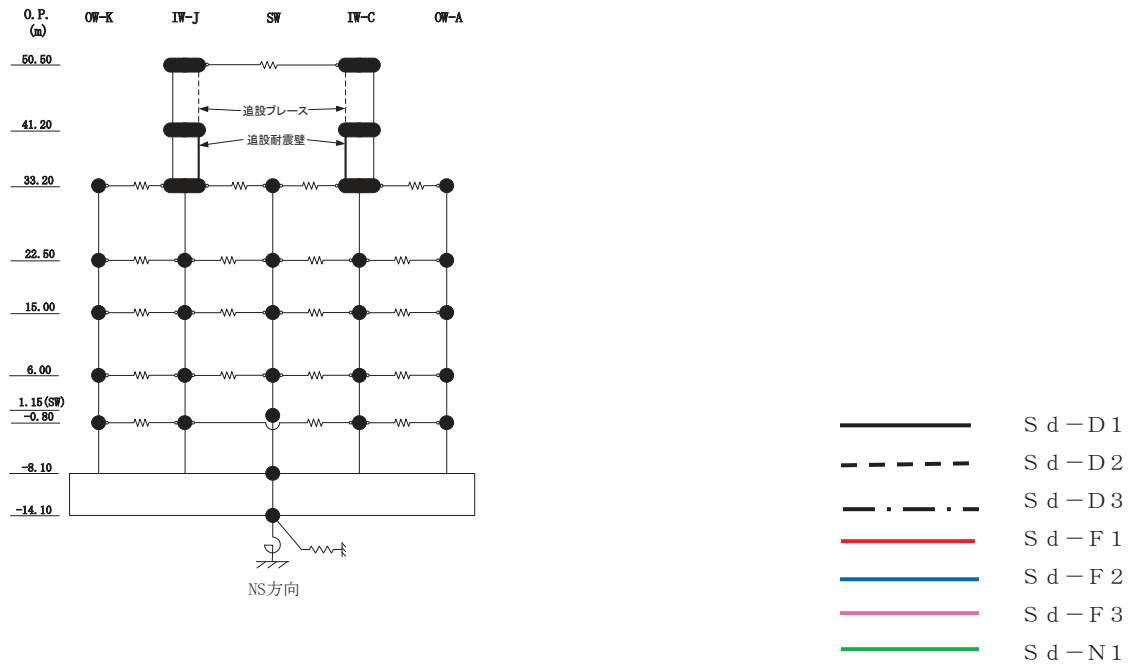


図 4-17 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

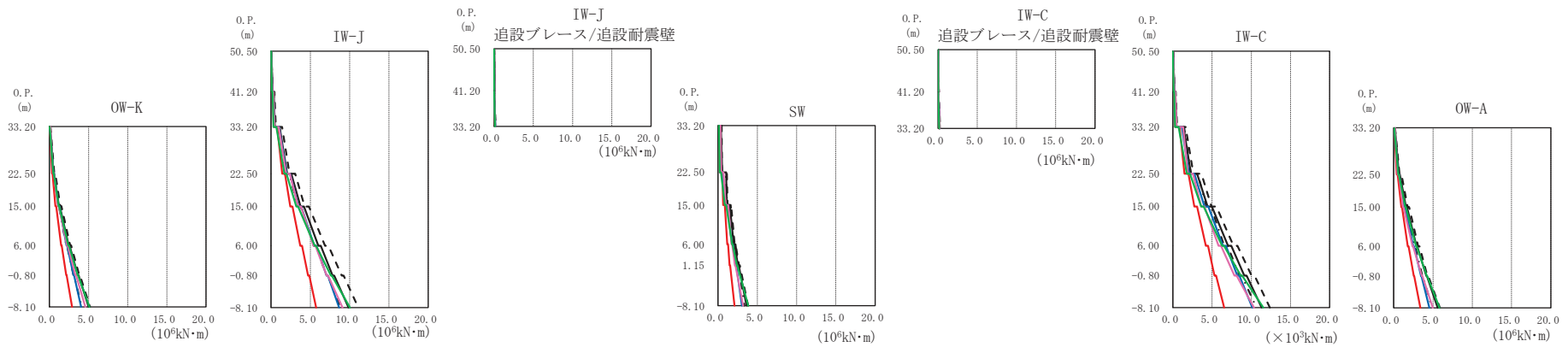
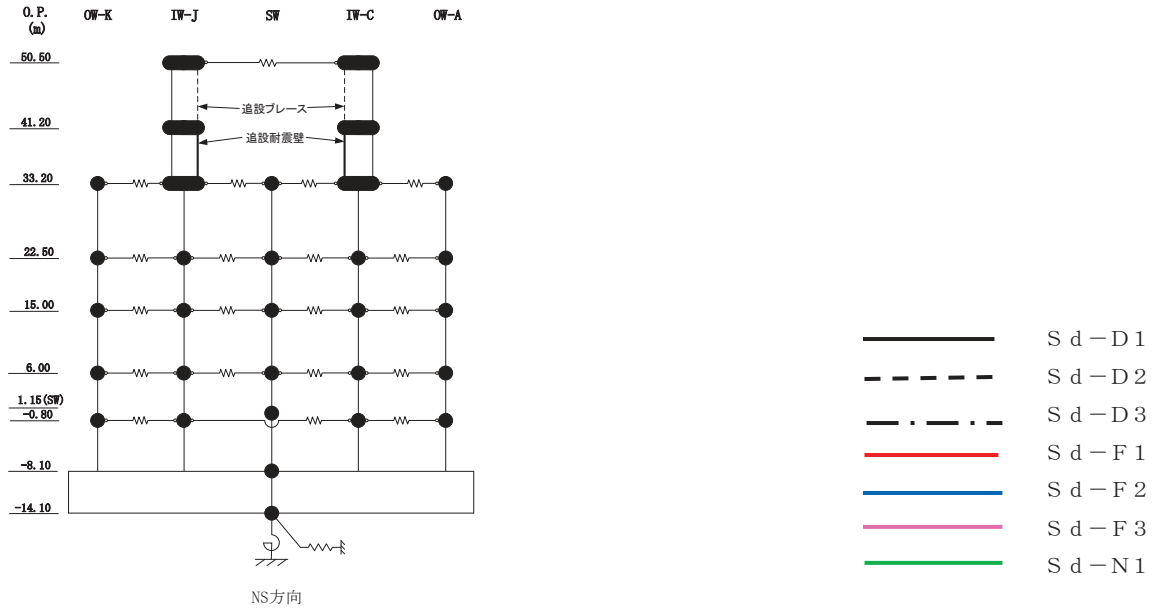


図 4-18 最大応答曲げモーメント（弾性設計用地震動 S_d, NS 方向）

表 4-5(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S_d, NS 方向) (1/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ(×10 ⁻³)							最大値 (×10 ⁻³)
	S _d -D1	S _d -D2	S _d -D3	S _d -F1	S _d -F2	S _d -F3	S _d -N1	
(1)	0.19	0.21	0.17	0.11	0.17	0.16	0.18	0.21
(2)	0.19	0.21	0.17	0.11	0.17	0.17	0.19	0.21
(3)	0.19	0.20	0.16	0.11	0.16	0.18	0.20	0.20
(4)	0.17	0.18	0.14	0.10	0.13	0.16	0.18	0.18
(5)	0.20	0.21	0.17	0.12	0.14	0.18	0.21	0.21
(6)	0.50	0.61	0.50	0.33	0.42	0.46	0.30	0.61
(7)	0.29	0.36	0.28	0.22	0.29	0.28	0.23	0.36
(8)	0.20	0.23	0.19	0.12	0.18	0.17	0.18	0.23
(9)	0.22	0.23	0.19	0.13	0.19	0.19	0.22	0.23
(10)	0.23	0.24	0.19	0.14	0.18	0.21	0.23	0.24
(11)	0.20	0.21	0.16	0.12	0.15	0.19	0.21	0.21
(12)	0.21	0.22	0.18	0.13	0.15	0.19	0.23	0.23
(13)	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03	0.06
(14)	0.13	0.14	0.10	0.07	0.10	0.12	0.12	0.14
(15)	0.15	0.16	0.12	0.09	0.13	0.15	0.14	0.16
(16)	0.19	0.21	0.15	0.12	0.16	0.19	0.20	0.21

O 2 ① VI-2-2-1 R 0

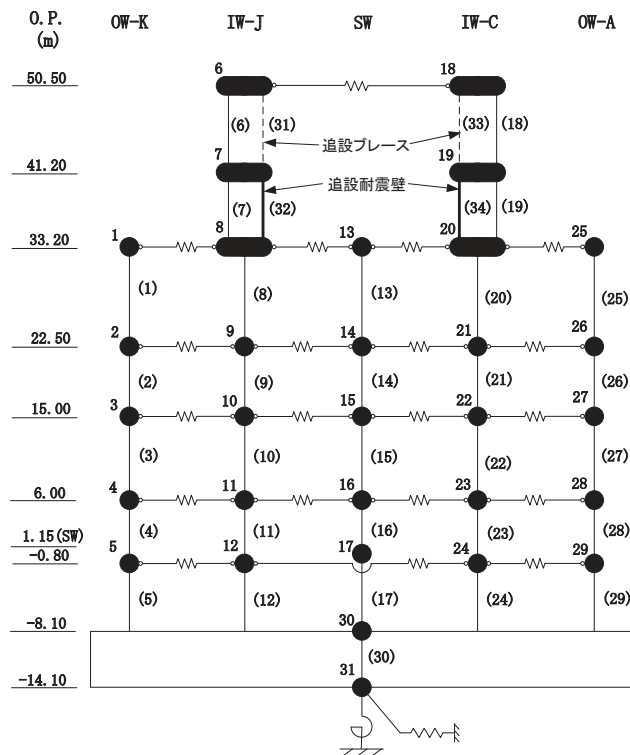
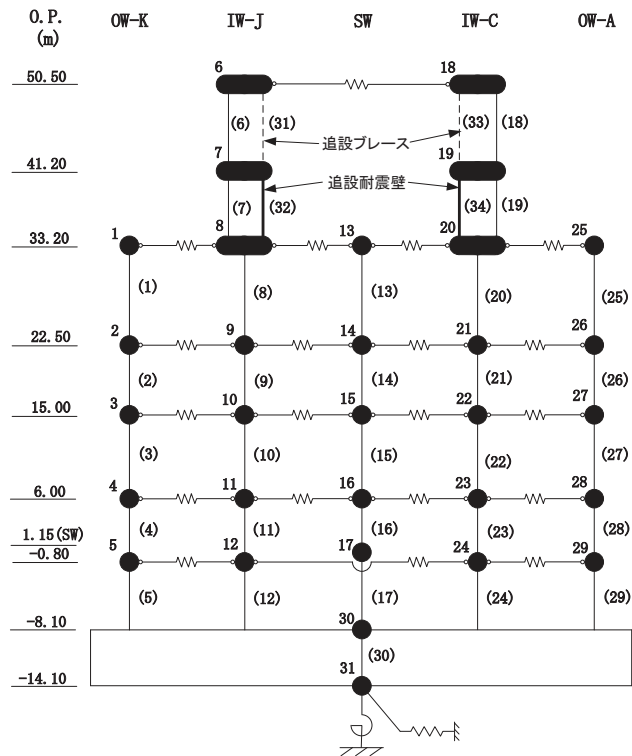


表 4-5(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S_d, NS 方向) (2/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ(×10 ⁻³)							最大値 (×10 ⁻³)
	S _d -D1	S _d -D2	S _d -D3	S _d -F1	S _d -F2	S _d -F3	S _d -N1	
(17)	0.15	0.16	0.12	0.10	0.13	0.15	0.16	0.16
(18)	0.56	0.64	0.55	0.34	0.45	0.53	0.29	0.64
(19)	0.27	0.35	0.30	0.19	0.25	0.27	0.21	0.35
(20)	0.22	0.26	0.21	0.13	0.18	0.18	0.20	0.26
(21)	0.27	0.27	0.24	0.16	0.23	0.21	0.26	0.27
(22)	0.25	0.25	0.20	0.15	0.20	0.22	0.25	0.25
(23)	0.21	0.22	0.17	0.13	0.16	0.20	0.22	0.22
(24)	0.24	0.25	0.20	0.16	0.18	0.23	0.27	0.27
(25)	0.20	0.22	0.18	0.11	0.17	0.16	0.19	0.22
(26)	0.21	0.21	0.18	0.13	0.18	0.18	0.21	0.21
(27)	0.22	0.23	0.18	0.14	0.18	0.20	0.23	0.23
(28)	0.19	0.20	0.15	0.12	0.15	0.18	0.20	0.20
(29)	0.21	0.22	0.17	0.14	0.16	0.20	0.24	0.24
(32)	0.28	0.35	0.27	0.21	0.28	0.27	0.22	0.35
(34)	0.27	0.34	0.30	0.19	0.25	0.27	0.20	0.34

O 2 ① VI-2-2-1 R 0



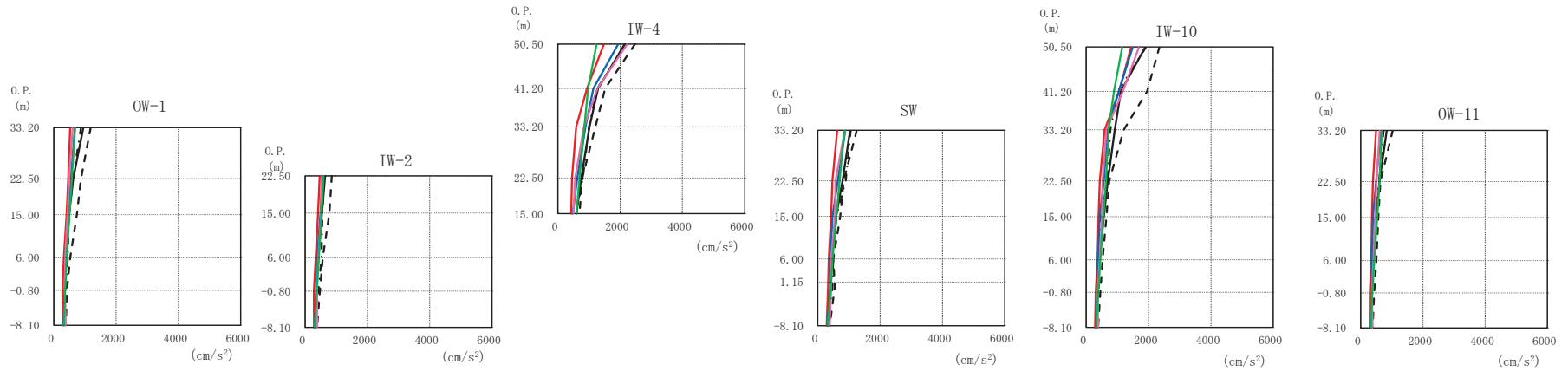
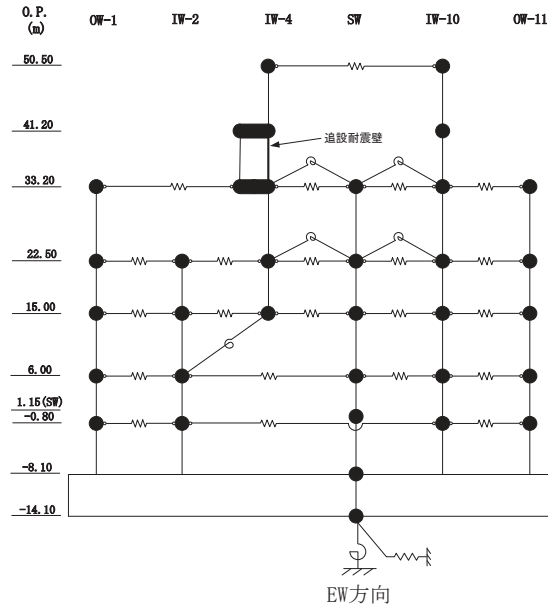
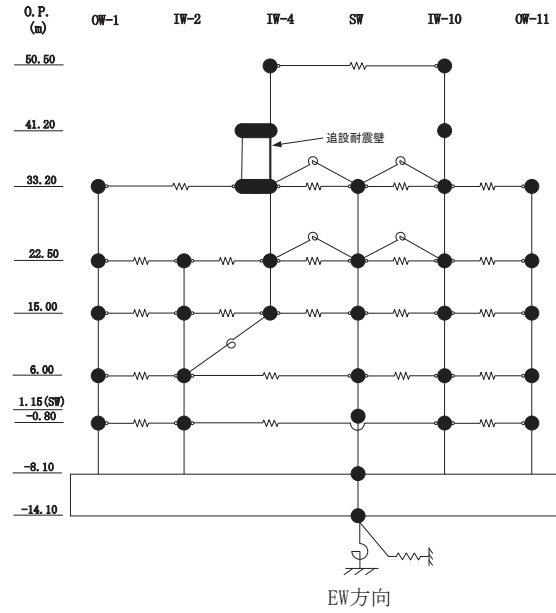


图 4-19 最大応答加速度 (弹性設計用地震動 S d, EW 方向)



- S d - D 1
- - - S d - D 2
- · - · S d - D 3
- S d - F 1
- S d - F 2
- S d - F 3
- S d - N 1

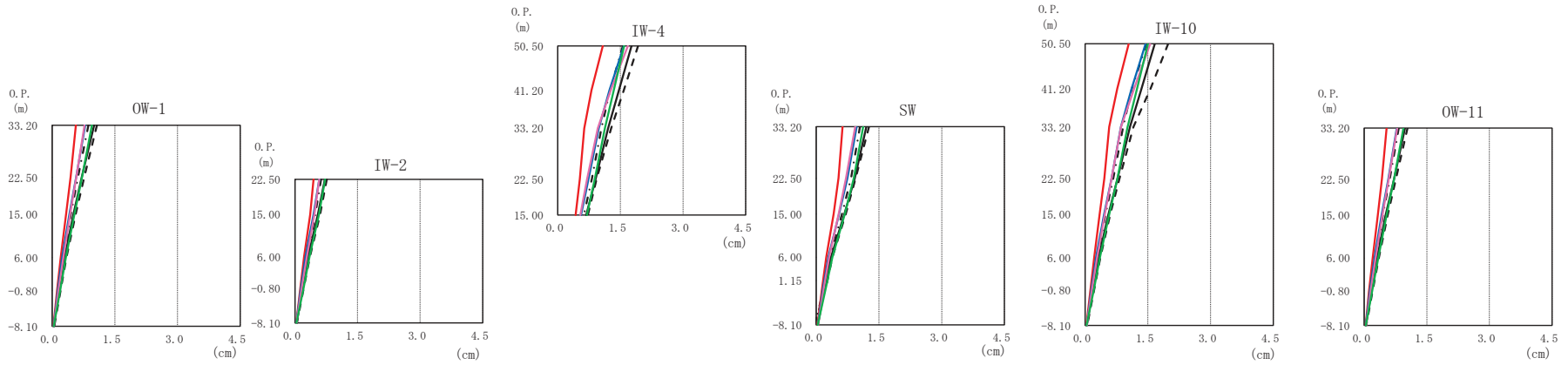


图 4-20 最大応答変位 (弹性設計用地震動 S d , EW 方向)

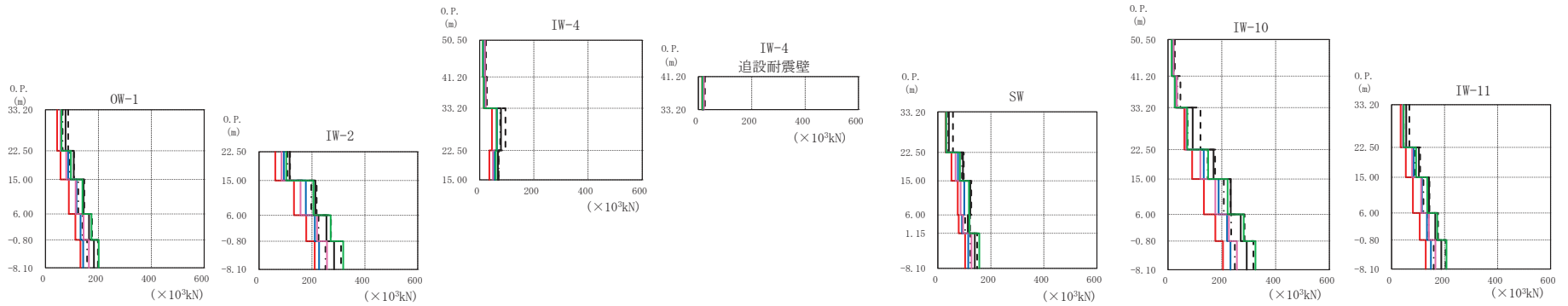
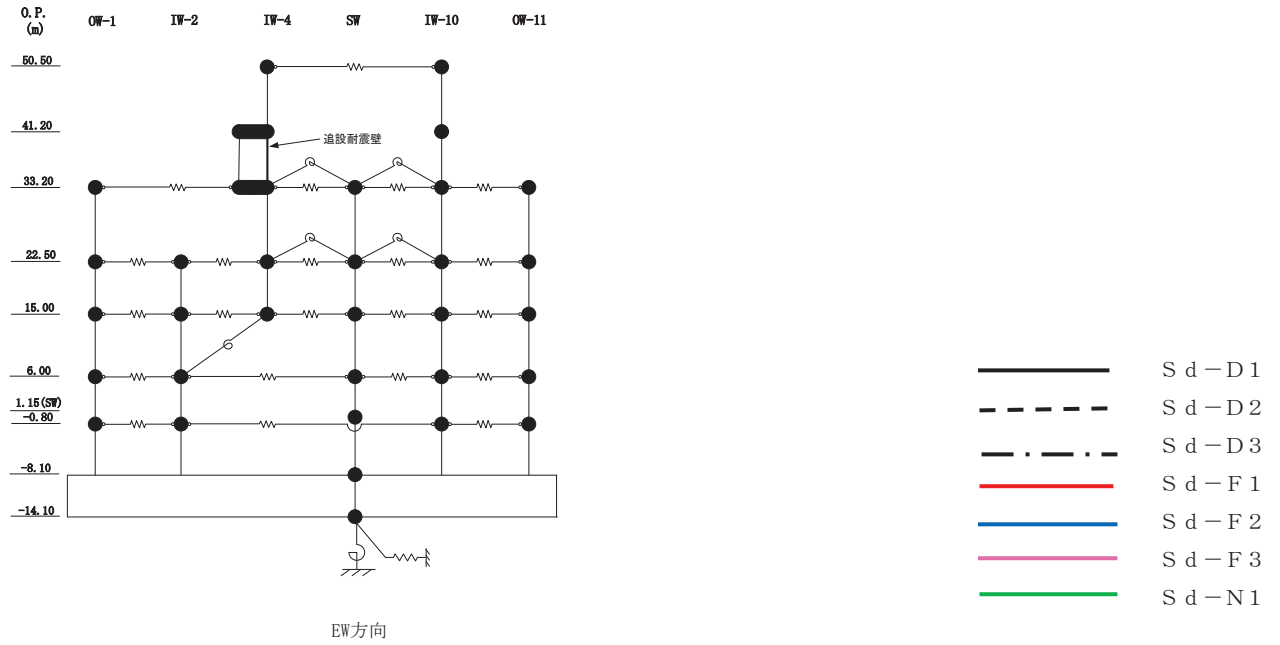


図 4-21 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

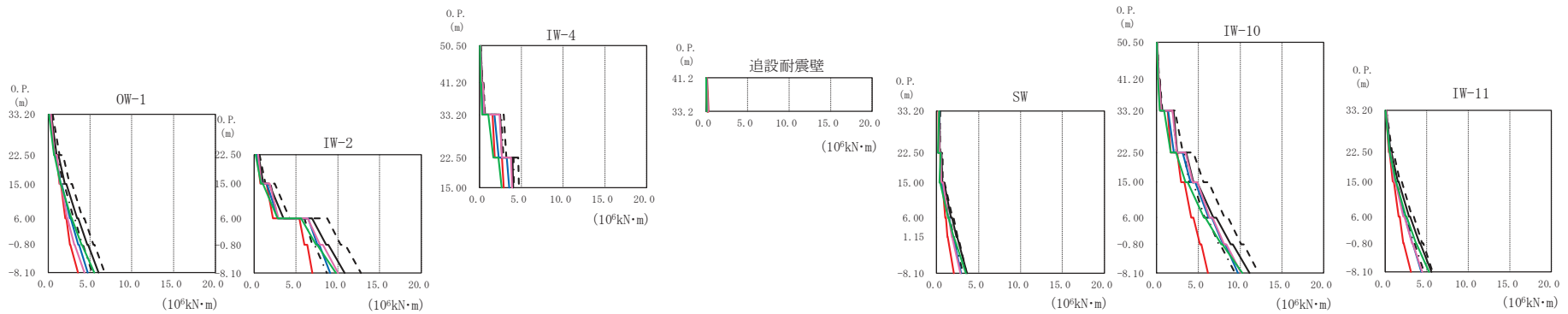
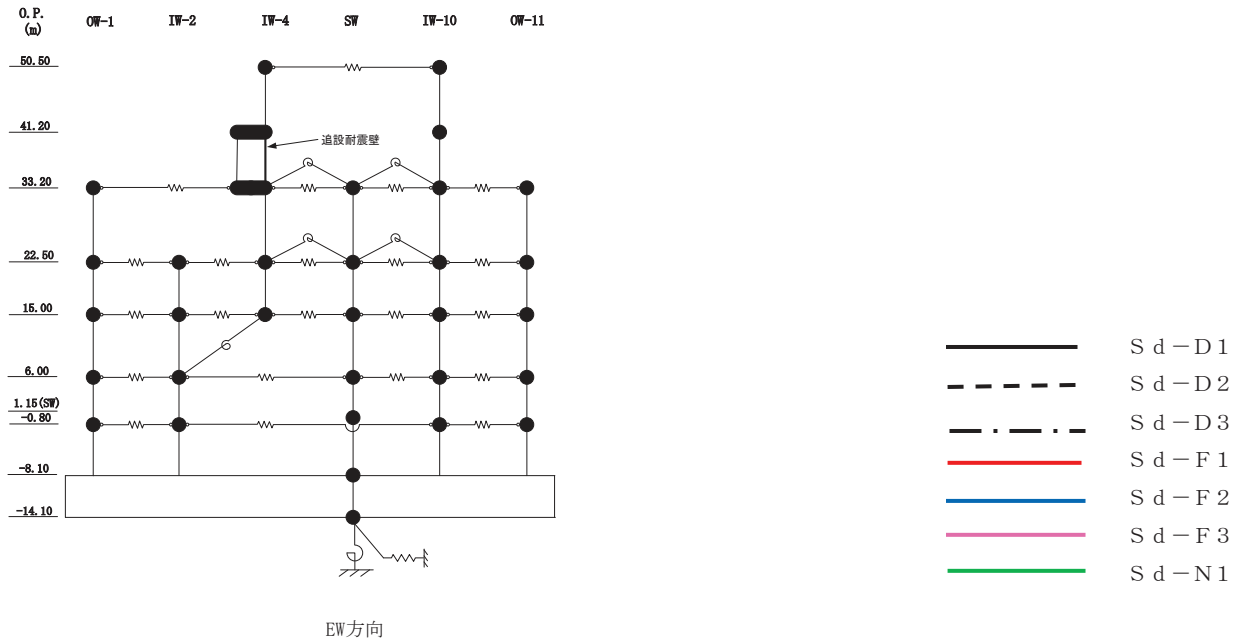


図 4-22 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

表 4-6(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S_d, EW 方向) (1/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ(×10 ⁻³)							最大値 (×10 ⁻³)
	S _d -D1	S _d -D2	S _d -D3	S _d -F1	S _d -F2	S _d -F3	S _d -N1	
(1)	0.20	0.23	0.17	0.12	0.15	0.15	0.16	0.23
(2)	0.20	0.21	0.18	0.11	0.16	0.15	0.18	0.21
(3)	0.19	0.19	0.16	0.12	0.15	0.15	0.18	0.19
(4)	0.16	0.17	0.13	0.11	0.13	0.14	0.17	0.17
(5)	0.17	0.19	0.15	0.12	0.13	0.15	0.19	0.19
(6)	0.17	0.17	0.15	0.09	0.14	0.12	0.15	0.17
(7)	0.22	0.22	0.20	0.14	0.18	0.16	0.21	0.22
(8)	0.17	0.18	0.15	0.12	0.14	0.15	0.18	0.18
(9)	0.18	0.20	0.16	0.14	0.15	0.17	0.21	0.21
(10)	0.25	0.31	0.27	0.17	0.23	0.26	0.15	0.31
(11)	0.22	0.27	0.23	0.16	0.21	0.23	0.16	0.27
(12)	0.17	0.20	0.16	0.10	0.14	0.13	0.13	0.20
(13)	0.20	0.21	0.21	0.11	0.16	0.15	0.18	0.21
(14)	0.07	0.10	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.10
(15)	0.14	0.15	0.14	0.08	0.12	0.10	0.13	0.15
(16)	0.19	0.19	0.19	0.12	0.15	0.13	0.18	0.19

O 2 ① VI-2-2-1 R 0

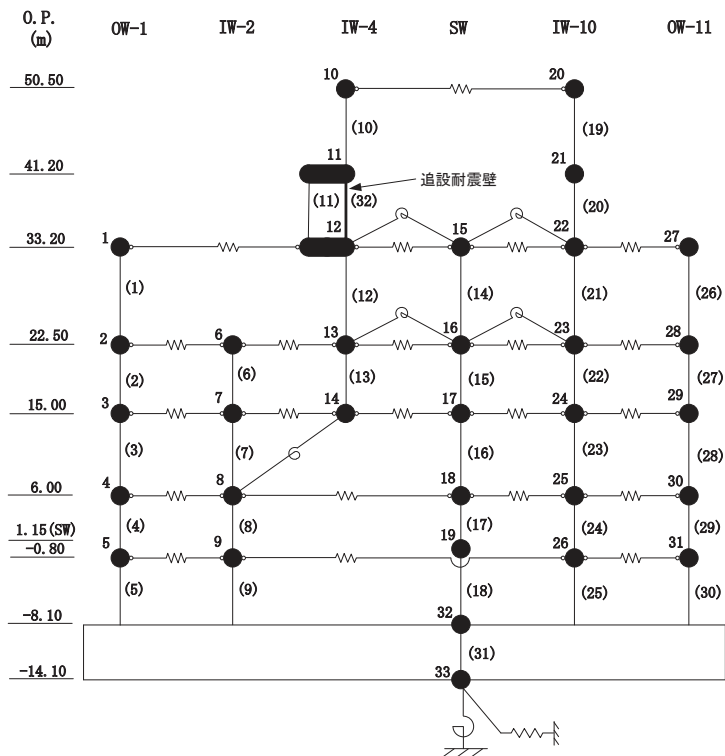
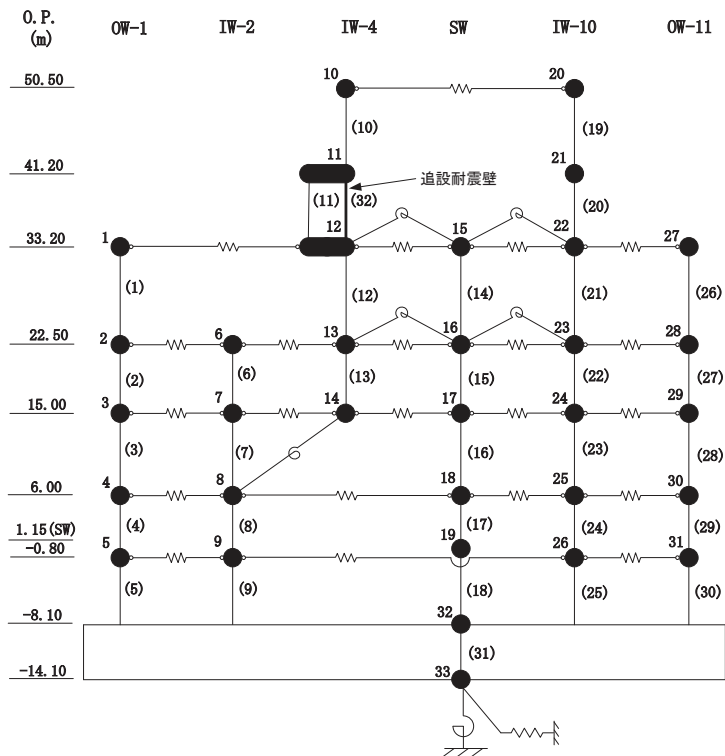


表 4-6(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S_d, EW 方向) (2/2)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ(×10 ⁻³)							最大値 (×10 ⁻³)
	S _d -D1	S _d -D2	S _d -D3	S _d -F1	S _d -F2	S _d -F3	S _d -N1	
(17)	0.19	0.20	0.17	0.13	0.15	0.16	0.20	0.20
(18)	0.14	0.15	0.13	0.10	0.12	0.13	0.16	0.16
(19)	0.27	0.34	0.29	0.21	0.25	0.27	0.18	0.34
(20)	0.27	0.38	0.28	0.22	0.26	0.27	0.21	0.38
(21)	0.19	0.25	0.15	0.13	0.14	0.14	0.15	0.25
(22)	0.23	0.24	0.20	0.12	0.18	0.17	0.21	0.24
(23)	0.21	0.21	0.19	0.12	0.17	0.16	0.20	0.21
(24)	0.17	0.18	0.15	0.11	0.14	0.15	0.18	0.18
(25)	0.19	0.21	0.16	0.13	0.15	0.17	0.21	0.21
(26)	0.19	0.23	0.15	0.11	0.14	0.14	0.15	0.23
(27)	0.21	0.22	0.17	0.11	0.17	0.15	0.19	0.22
(28)	0.18	0.19	0.16	0.11	0.15	0.15	0.18	0.19
(29)	0.17	0.18	0.14	0.11	0.13	0.14	0.17	0.18
(30)	0.18	0.19	0.15	0.12	0.14	0.15	0.19	0.19
(32)	0.21	0.27	0.22	0.16	0.21	0.23	0.16	0.27

O 2 ① VI-2-2-1 R 0



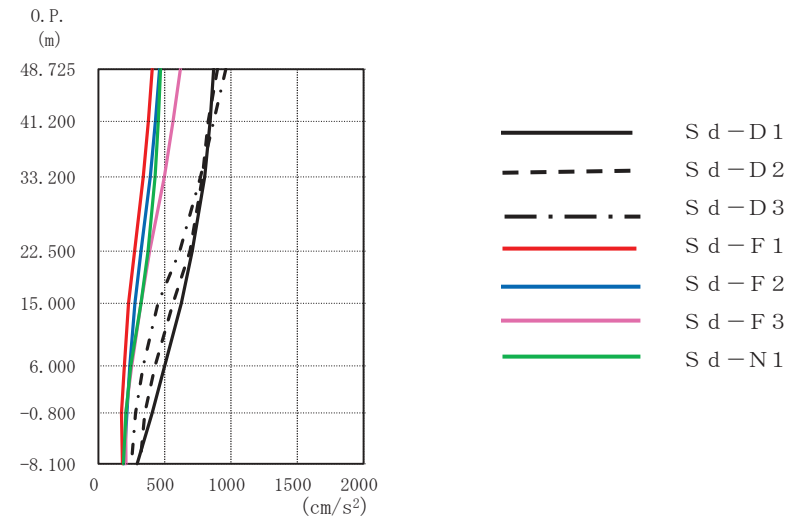
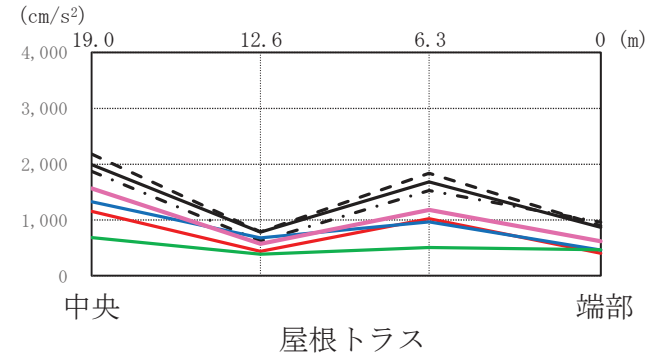
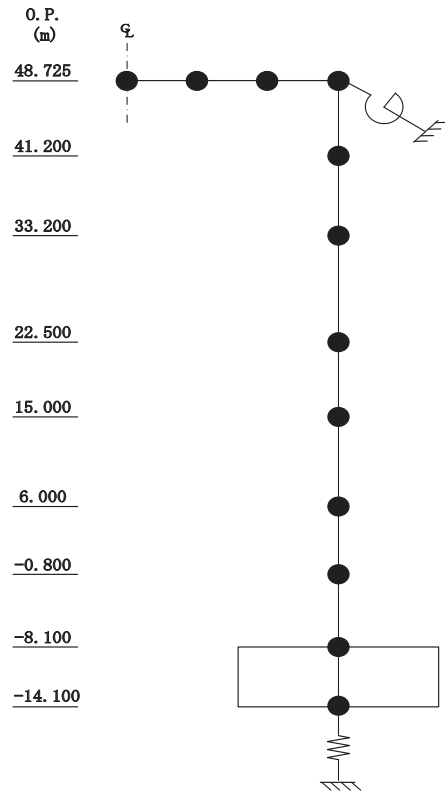


図 4-23 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)

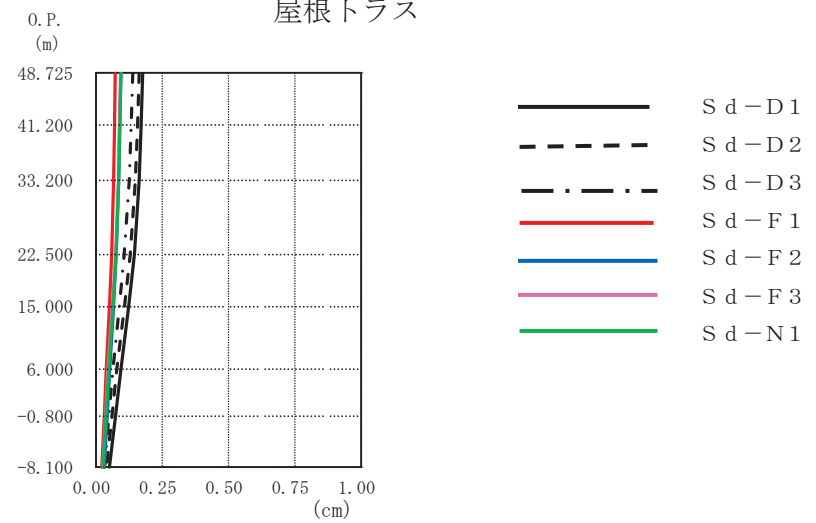
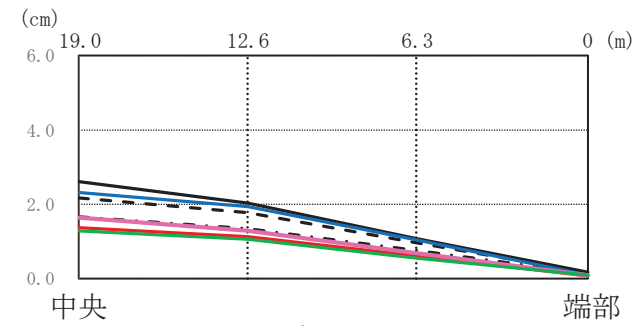
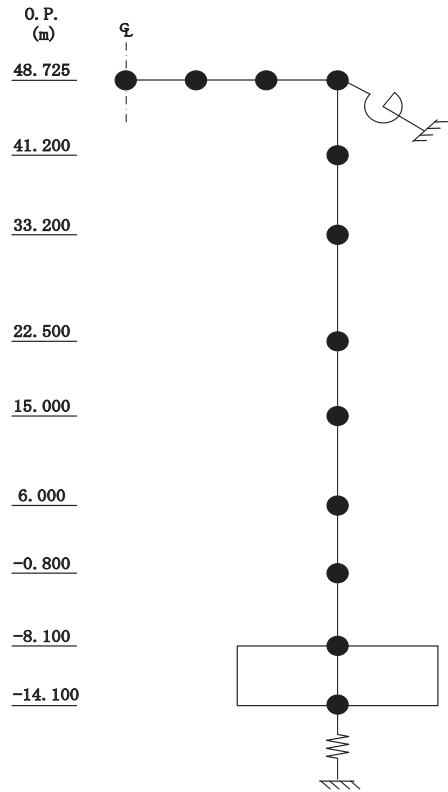


図 4-24 最大応答変位 (弾性設計用地震動 S d, 鉛直方向)

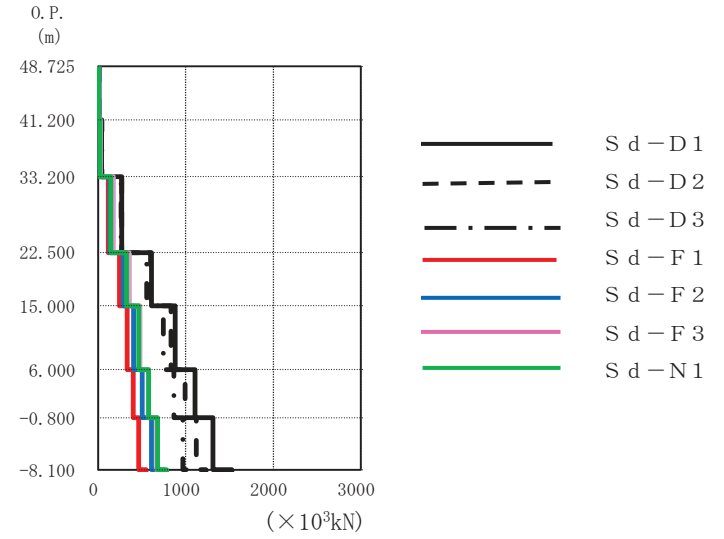
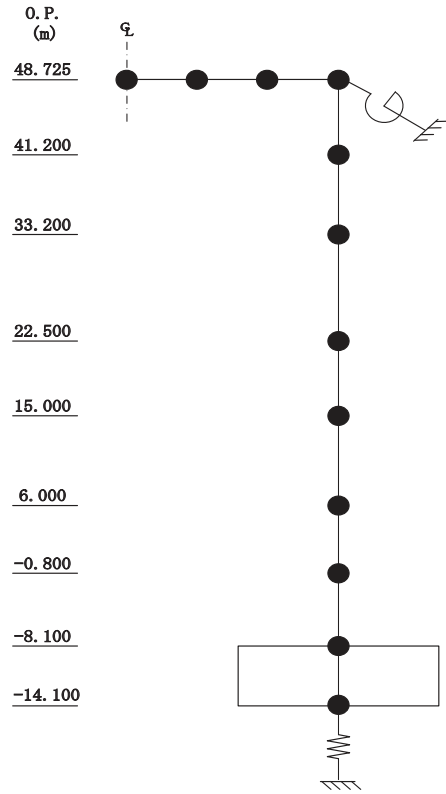


图 4-25 最大応答軸力 (弹性設計用地震動 S_d, 鉛直方向)

表 4-7 弾性設計用地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率

(a)NS 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
S d - D 1	1.15	42.7	100
S d - D 2	1.15	44.7	99.0
S d - D 3	1.05	37.6	100
S d - F 1	0.86	24.4	100
S d - F 2	1.01	35.7	100
S d - F 3	1.06	39.4	100
S d - N 1	1.13	45.6	97.9

(b)EW 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
S d - D 1	1.12	44.0	100
S d - D 2	1.13	46.8	100
S d - D 3	0.99	35.5	100
S d - F 1	0.85	25.1	100
S d - F 2	0.97	35.2	100
S d - F 3	1.00	38.1	100
S d - N 1	1.06	43.1	100

4.2 静的解析

「3.3 解析方法」による解析方法で算出した地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ 及び静的地震力（水平地震力）を表 4-7，最大接地圧を表 4-8 に示す。

表 4-7 地震層せん断力係数 ($3.0 \cdot C_i$) 及び水平地震力

(a)NS 方向

階	O.P. (m)	第 i 層が支える 重量 W_i (kN)	層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
CRF	50.5 ~ 41.2	20700	2.207	45.68
3F	41.2 ~ 33.2	52540	1.527	80.23
2F	33.2 ~ 22.5	339980	0.931	316.52
1F	22.5 ~ 15.0	812520	0.758	615.89
B1F	15.0 ~ 6.0	1241420	0.660	819.34
B2F	6.0 ~ -0.8	1697020	0.563	955.42
B3F	-0.8 ~ -8.1	2203650	0.480	1057.75
MAT	-8.1 ~ -14.1	2957990	0.300*	1284.05

注記* : 地下震度

(b)EW 方向

階	O.P. (m)	第 i 層が支える 重量 W_i (kN)	層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
CRF	50.5 ~ 41.2	20700	2.167	44.86
3F	41.2 ~ 33.2	52540	1.558	81.86
2F	33.2 ~ 22.5	339980	0.946	321.62
1F	22.5 ~ 15.0	812520	0.762	619.14
B1F	15.0 ~ 6.0	1241420	0.661	820.58
B2F	6.0 ~ -0.8	1697020	0.563	955.42
B3F	-0.8 ~ -8.1	2203650	0.480	1057.75
MAT	-8.1 ~ -14.1	2957990	0.300*	1284.05

注記* : 地下震度

表 4-8 最大接地圧 (静的地震力)

方向	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)
NS	1.117
EW	1.080

4.3 必要保有水平耐力

「3.3 解析方法」による解析方法で算出した必要保有水平耐力 Q_{un} を表4-9に示す。

構造特性係数 D_s は以下の条件に基づき設定している。

耐震壁は全てせん断破壊型であるためWD群の評価となる。

耐震壁が全ての地震荷重を負担するため、耐震壁が分担する保有水平耐力の比 β_u は1.0となる。

以上の条件から構造特性係数 D_s は0.55となる。

形状特性係数 F_{e_s} は

$F_{e_s}=1.0$ （剛性率が0.6以上のため）

$F_{e_s}=1.0$ （偏心率が0.15以下のため）

より、1.0となる。

表 4-9 必要保有水平耐力

(a)NS 方向

階	O. P. (m)	構造特性係数 D_s	形状特性係数 $F_{e s}$	必要保有水平耐力 $Q_{u n} (\times 10^3 \text{kN})$
CRF	41.2 ~ 50.5	0.55	1.0	41.87
3F	33.2 ~ 41.2	0.55	1.0	73.50
2F	22.5 ~ 33.2	0.55	1.0	290.02
1F	15.0 ~ 22.5	0.55	1.0	564.86
B1F	6.0 ~ 15.0	0.55	1.0	751.06
B2F	0.8 ~ 6.0	0.55	1.0	876.43
B3F	-8.1 ~ 0.8	0.55	1.0	969.61

(b)EW 方向

階	O. P. (m)	構造特性係数 D_s	形状特性係数 $F_{e s}$	必要保有水平耐力 $Q_{u n} (\times 10^3 \text{kN})$
CRF	41.2 ~ 50.5	0.55	1.0	41.11
3F	33.2 ~ 41.2	0.55	1.0	75.04
2F	22.5 ~ 33.2	0.55	1.0	294.88
1F	15.0 ~ 22.5	0.55	1.0	567.55
B1F	6.0 ~ 15.0	0.55	1.0	751.75
B2F	0.8 ~ 6.0	0.55	1.0	875.49
B3F	-8.1 ~ 0.8	0.55	1.0	969.61

VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 解析方針.....	10
2.4 適用規格・基準等.....	12
3. 解析方法.....	13
3.1 設計に用いる地震波.....	13
3.2 地震応答解析モデル.....	28
3.3 解析方法.....	39
3.4 解析条件.....	42
4. 解析結果.....	58
4.1 動的解析.....	58
4.2 静的解析.....	101
4.3 必要保有水平耐力.....	103

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づく制御建屋の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値及び静的地震力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。また、必要保有水平耐力については建物・構築物の構造強度の確認に用いる。

2. 基本方針

2.1 位置

制御建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

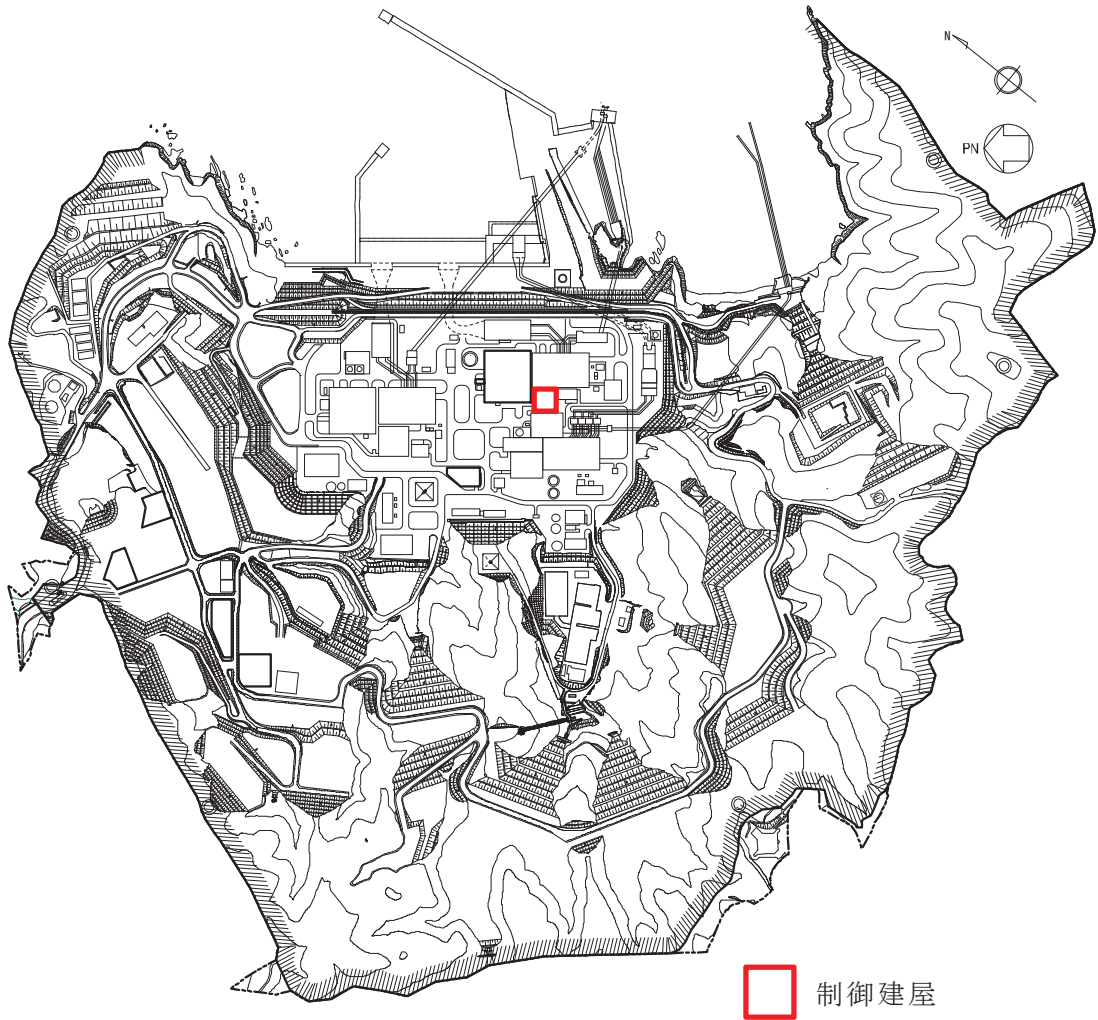


図 2-1 制御建屋の設置位置

2.2 構造概要

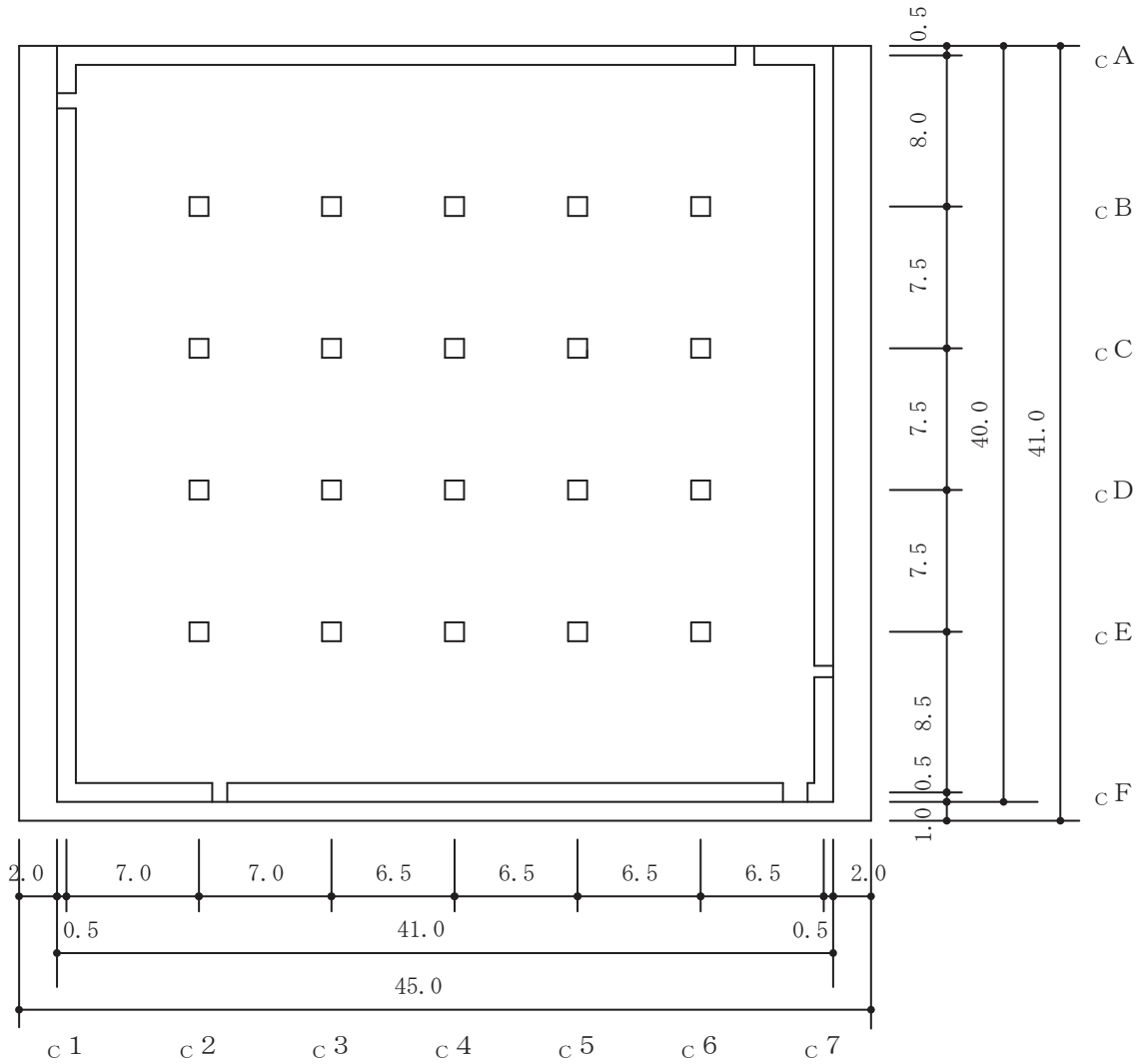
制御建屋は地下2階，地上3階建で，基礎底面からの高さは30.65mであり，平面は下部で41.0m(NS方向)×40.0m(EW方向)*のほぼ正方形である。

建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)であり，その主たる耐震要素は建屋の外周の耐震壁である。

制御建屋の基礎は，厚さ3.0mのべた基礎で，支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されており，一部は支持地盤上に打設されたMMR上に設置されている。

制御建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

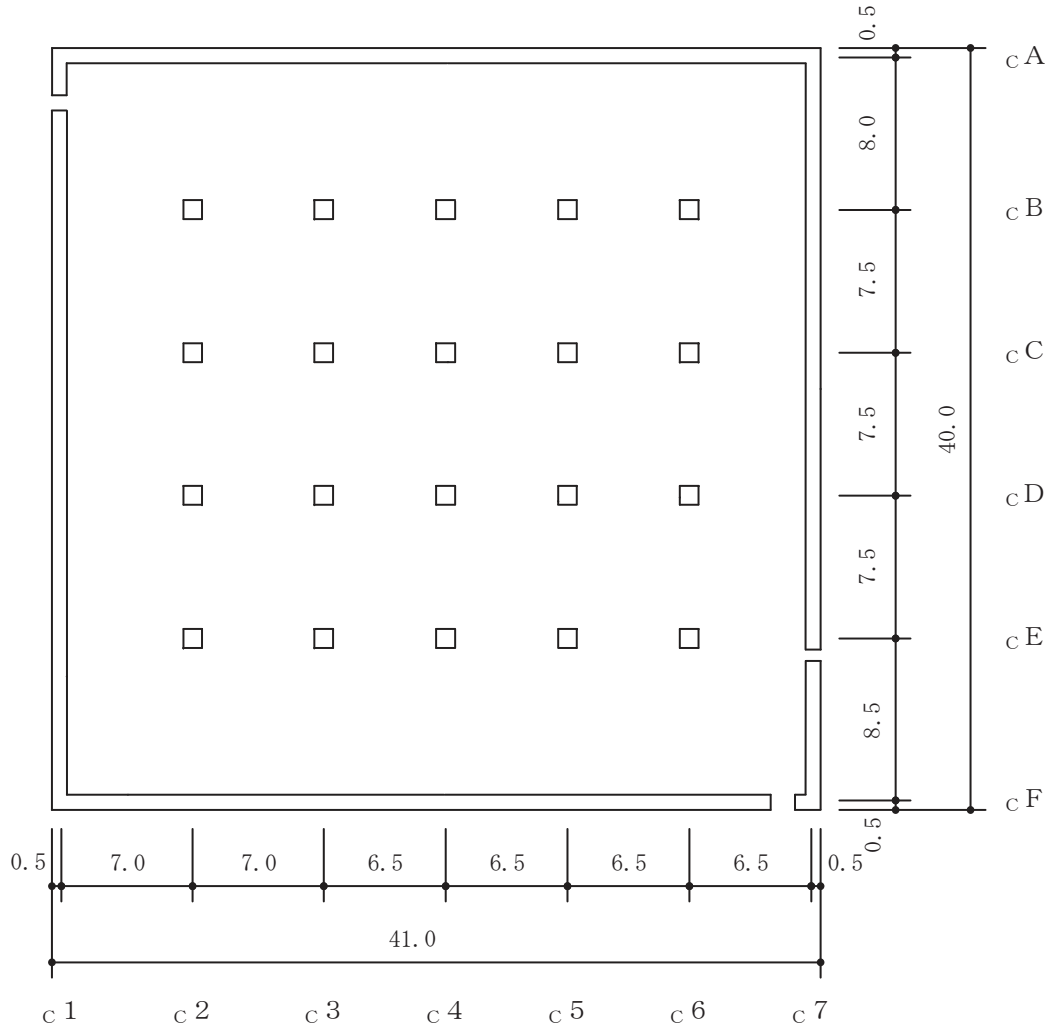
注記*：建屋寸法は壁外面押えとする



(単位：m)

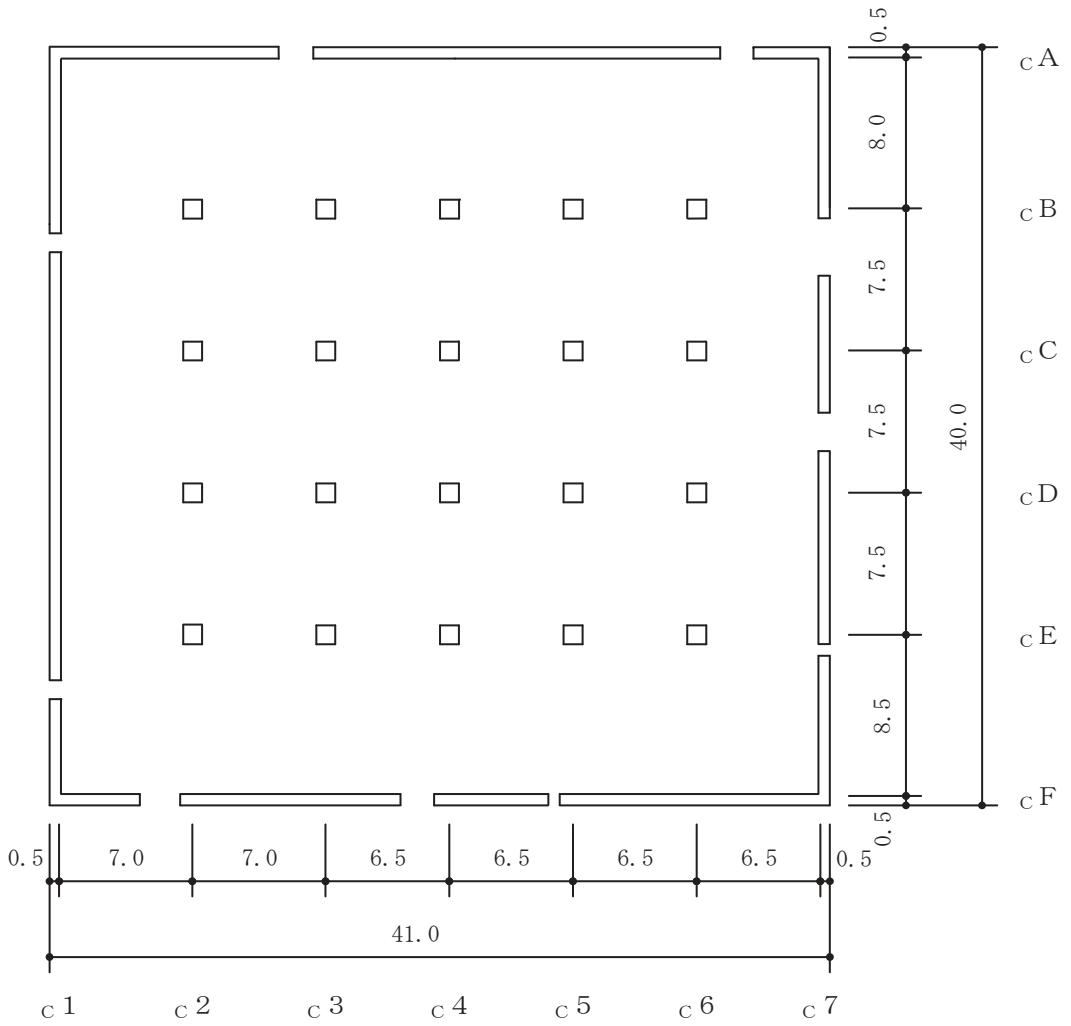
図 2-2(1) 制御建屋の概略平面図 (0.P.*1.5m)

注記*：0.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.)-0.74mである。



(単位 : m)

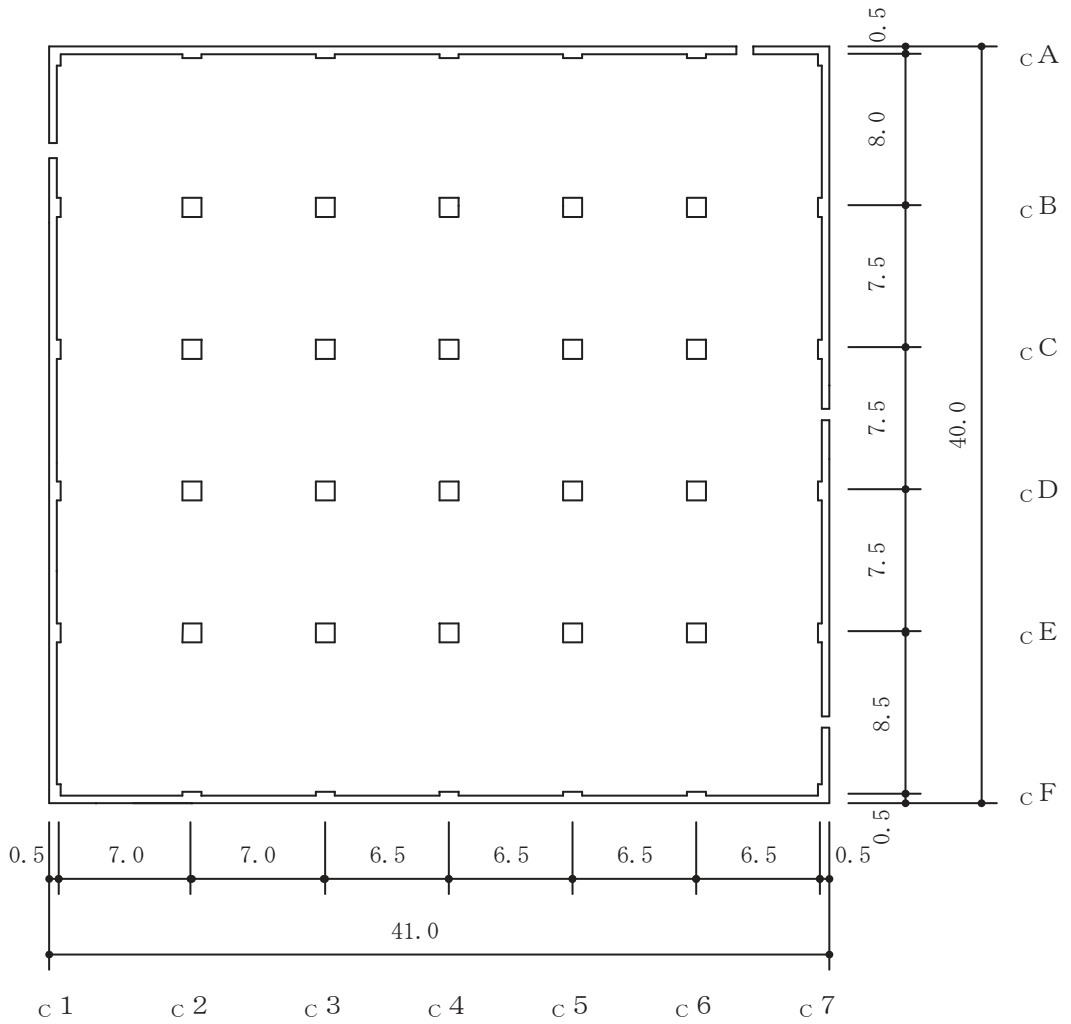
図 2-2(2) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 8.0m)



(単位 : m)

図 2-2(3) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

02 ① VI-2-2-3 R0

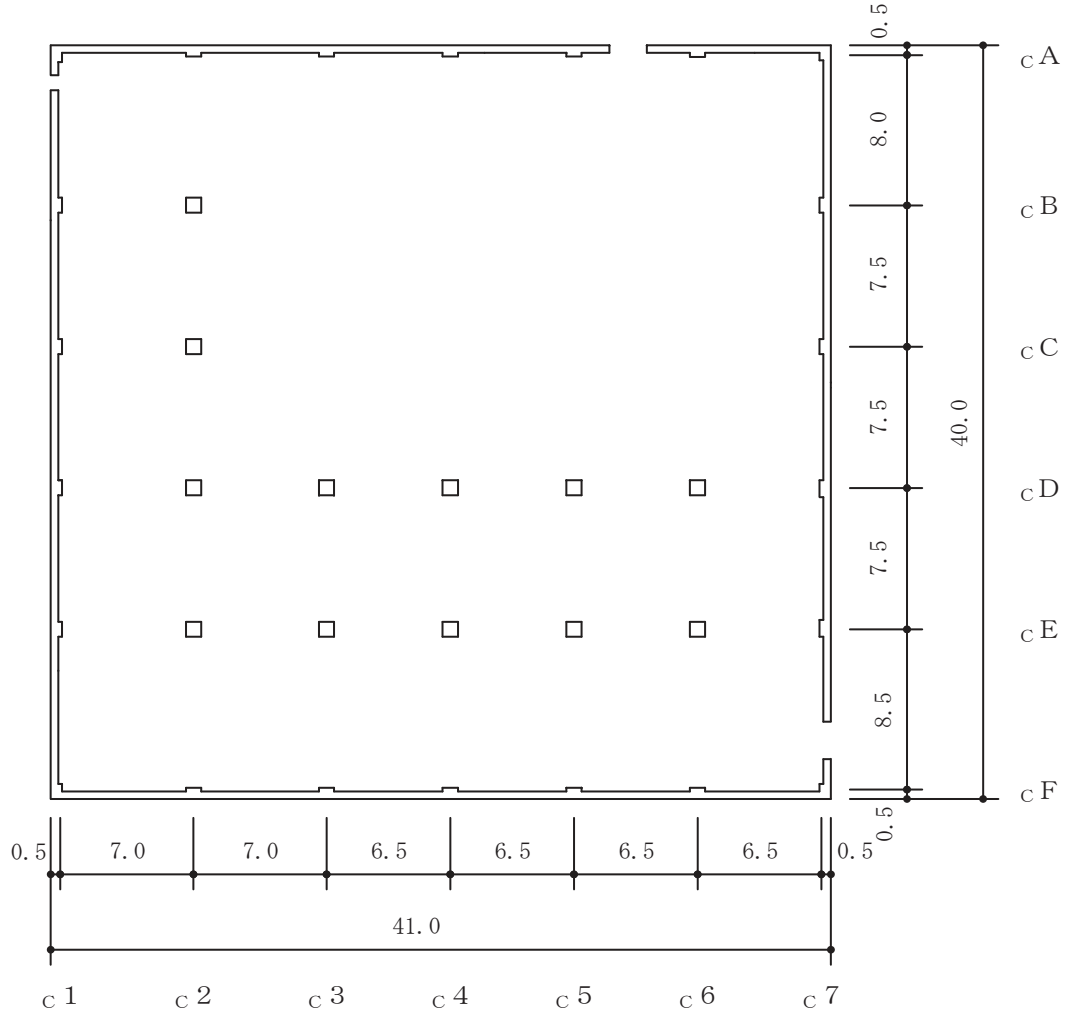


(単位 : m)

図 2-2(4) 制御建屋の概略平面図 (0.P. 19.5m)

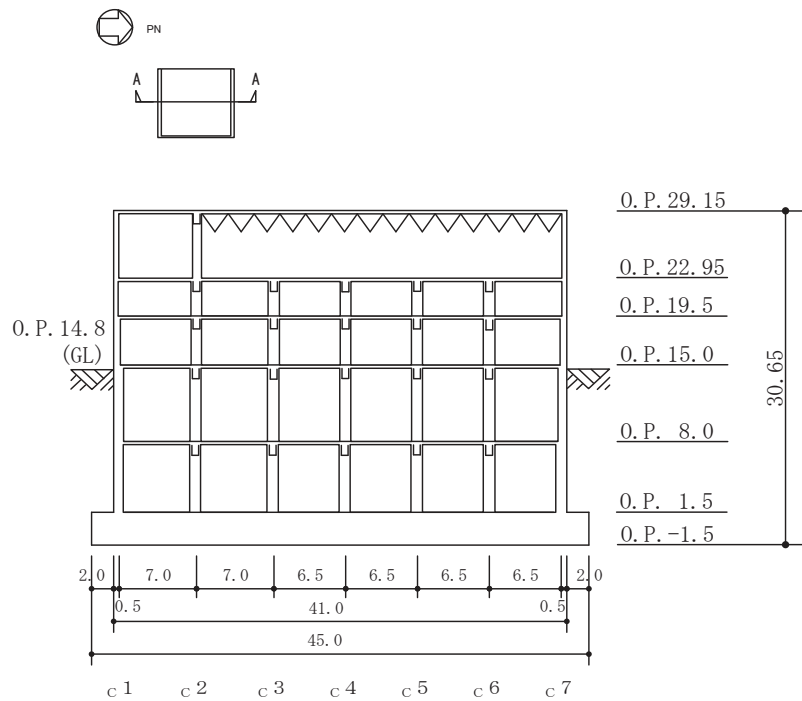


O 2 ① VI-2-2-3 R 0



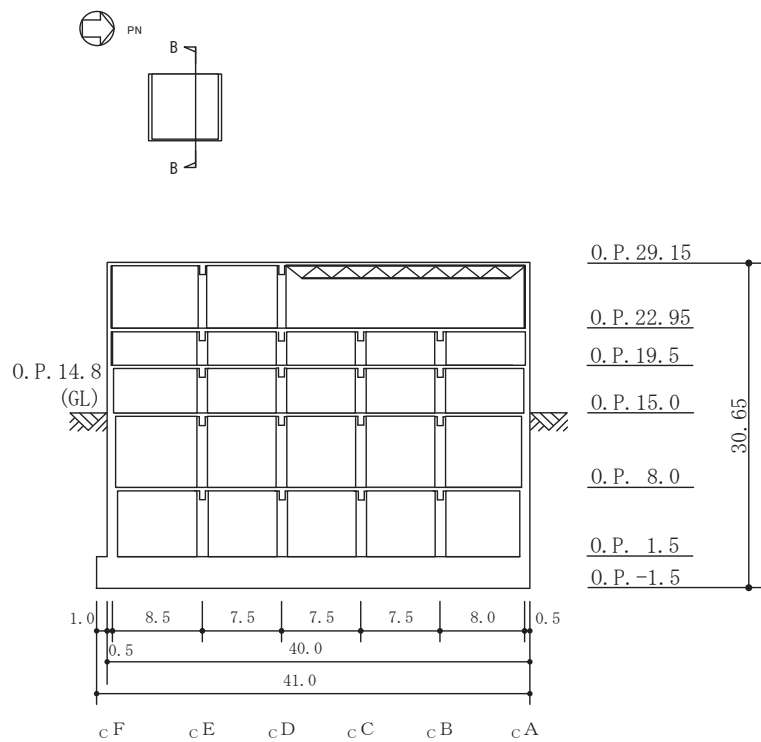
(単位 : m)

図 2-2(5) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 22.95m)



(単位 : m)

図 2-3(1) 制御建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

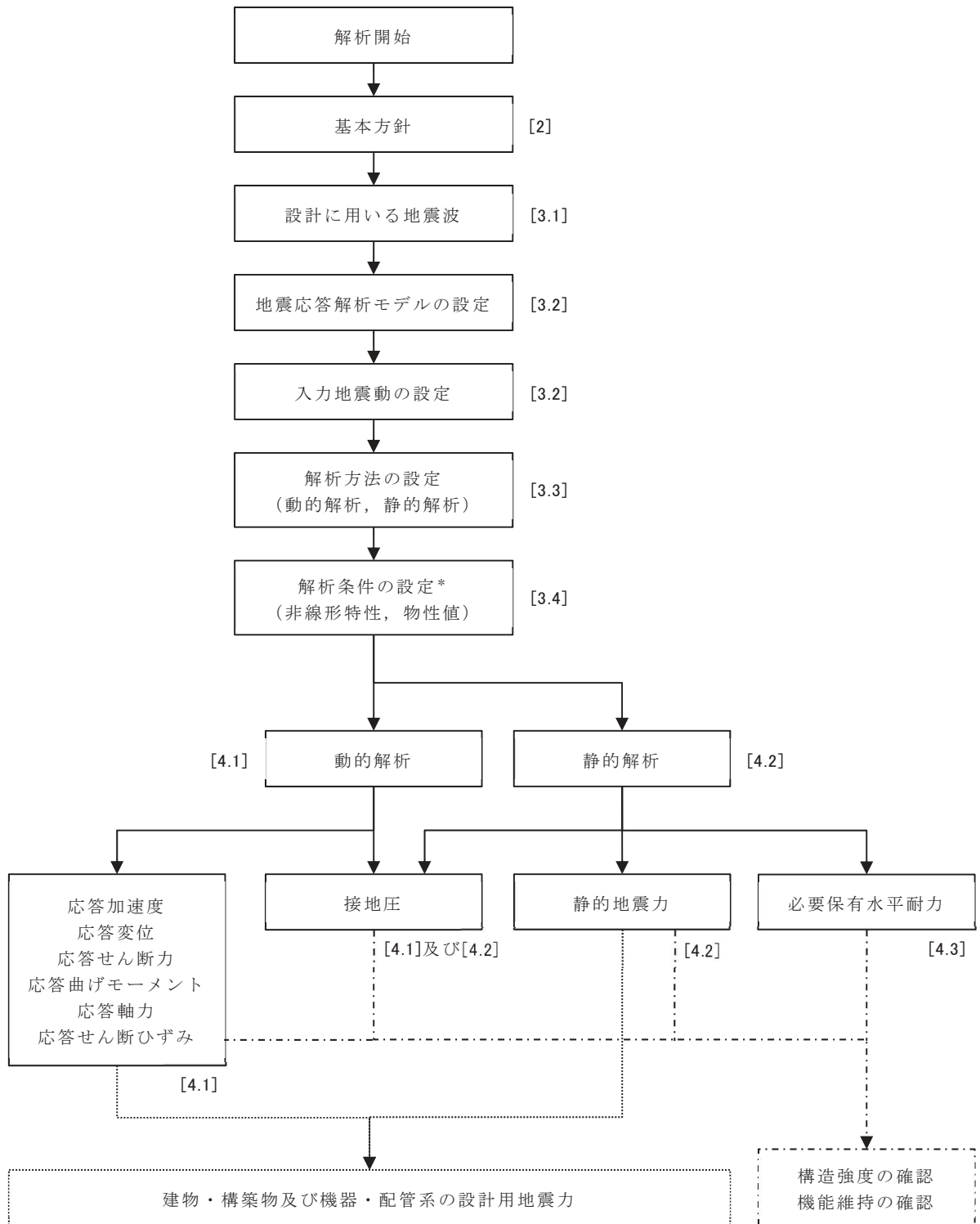
図 2-3(2) 制御建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.3 解析方針

制御建屋の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-4に制御建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 設計に用いる地震波」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、材料物性の不確かさを考慮し、加速度、変位、せん断ひずみ、接地圧等を含む各種応答値を算出する。「4.2 静的解析」においては静的地震力及び接地圧を、「4.3 必要保有水平耐力」においては必要保有水平耐力を算出する。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-4 制御建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

制御建屋の地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

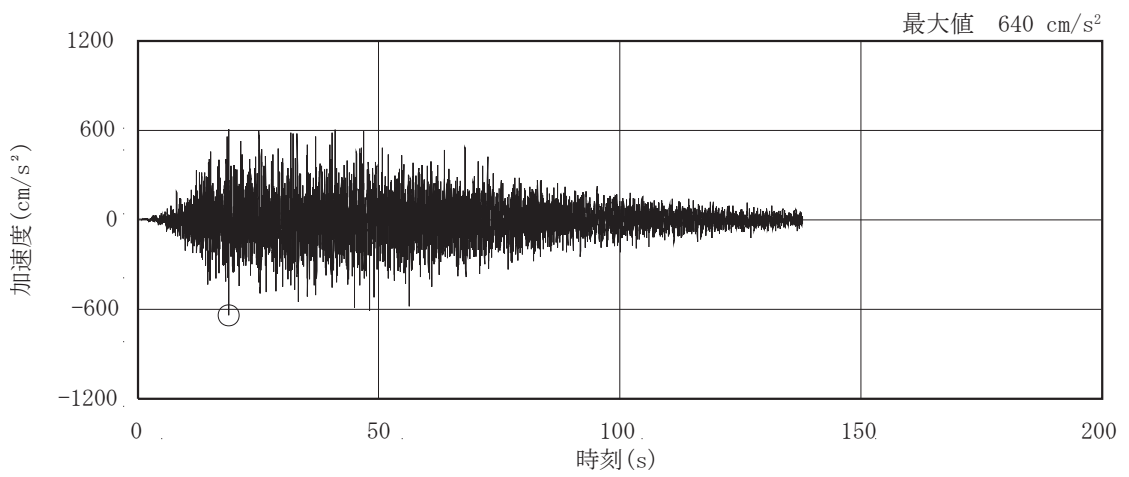
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 1999 年改定)
- ・鋼構造設計規準-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)

3. 解析方法

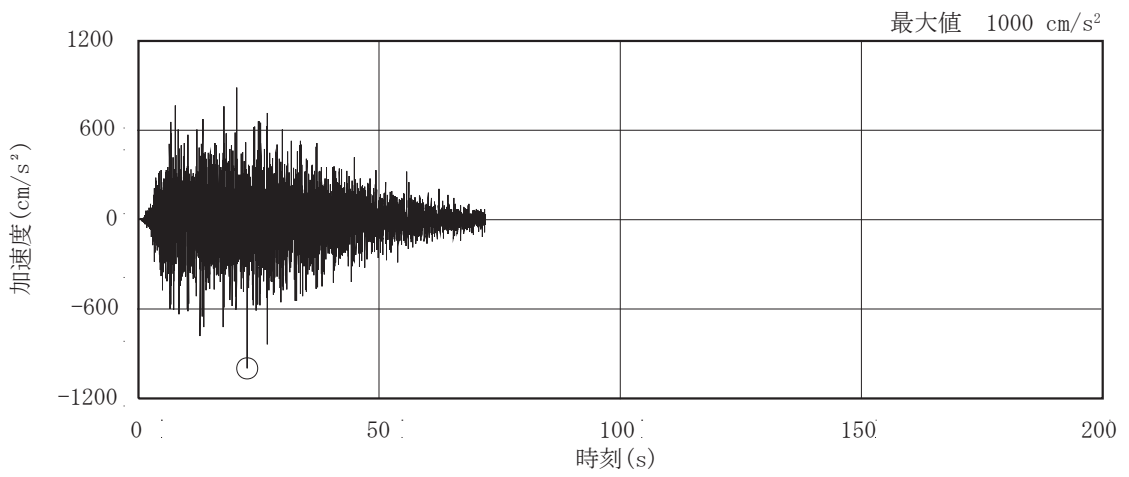
3.1 設計に用いる地震波

制御建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、水平方向、鉛直方向ともに添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す地震動を用いる。

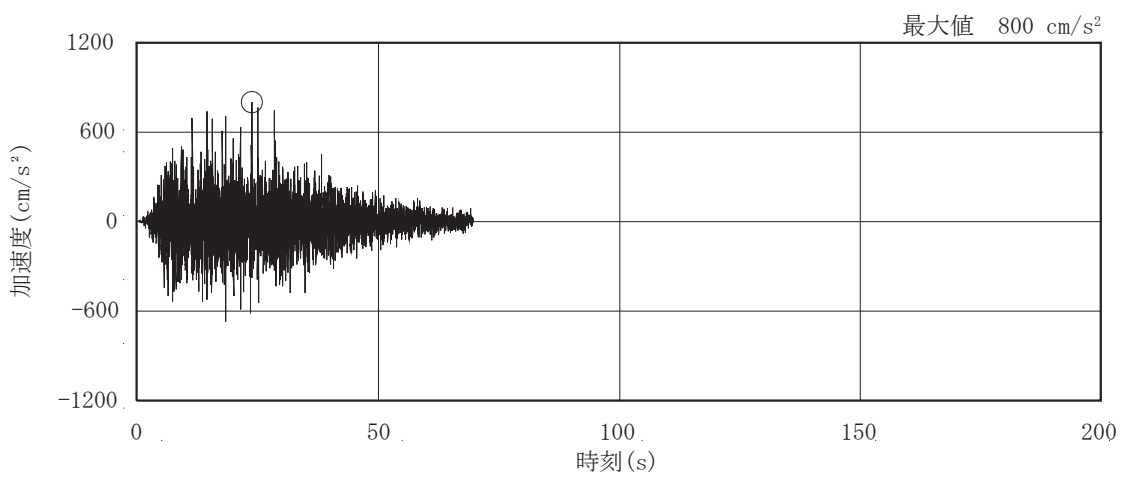
基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-1～図 3-4 に示す。



(a) S s - D 1

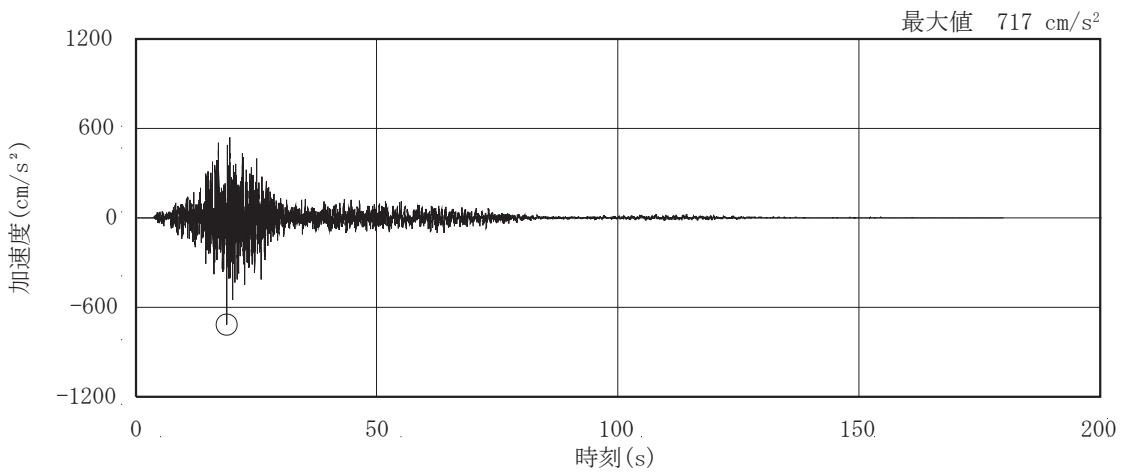


(b) S s - D 2

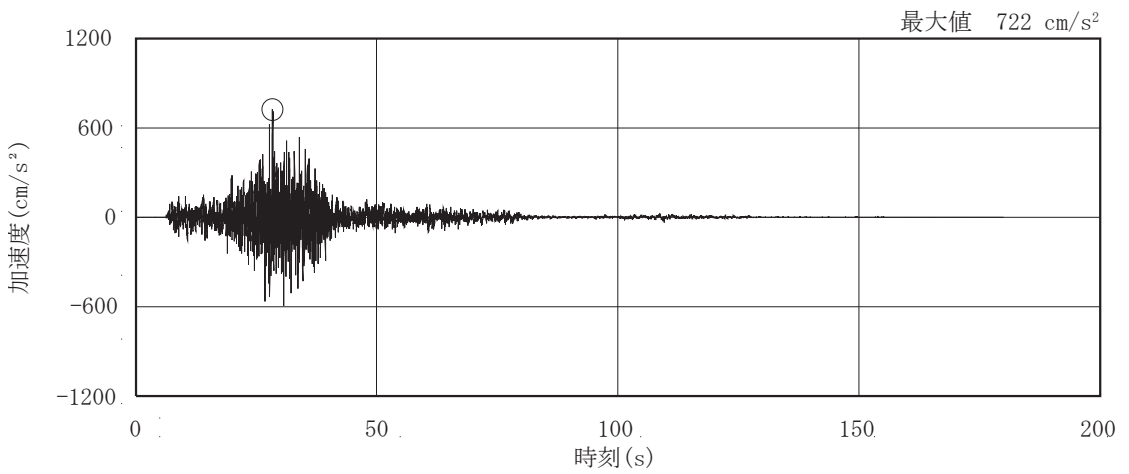


(c) S s - D 3

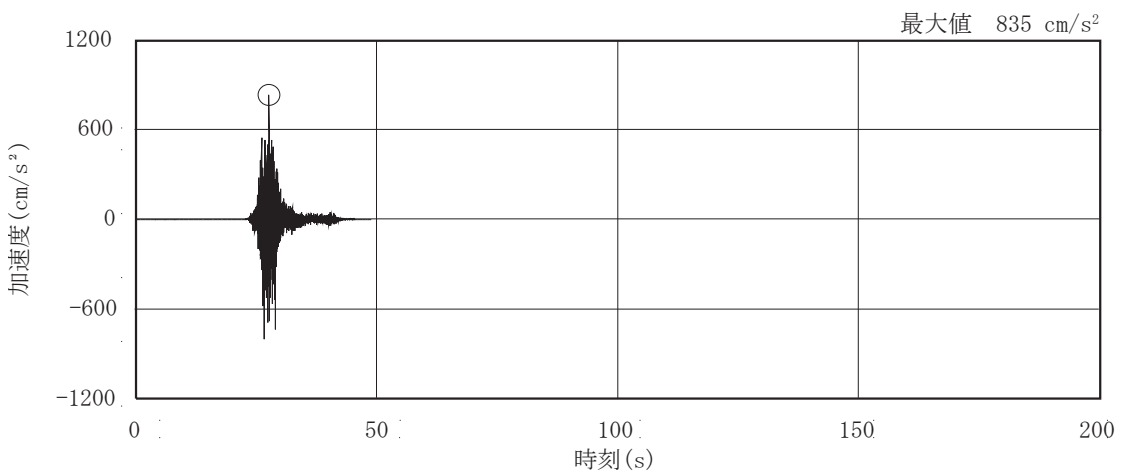
图 3-1(1) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

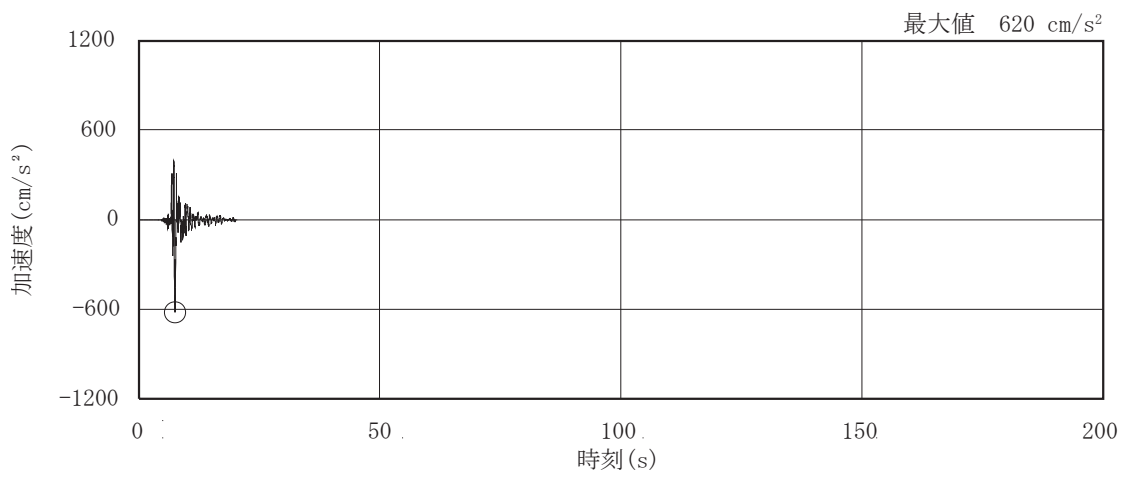


(e) S s - F 2



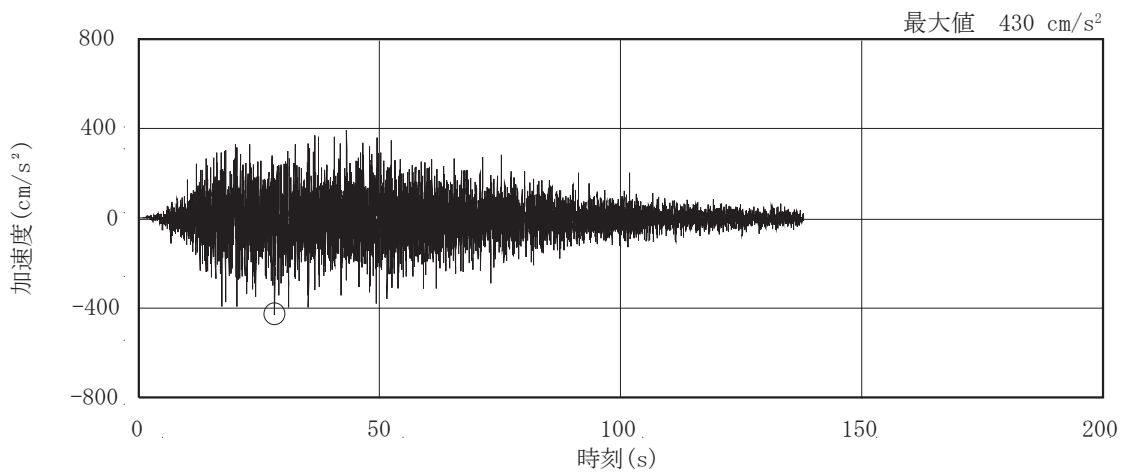
(f) S s - F 3

图 3-1(2) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)

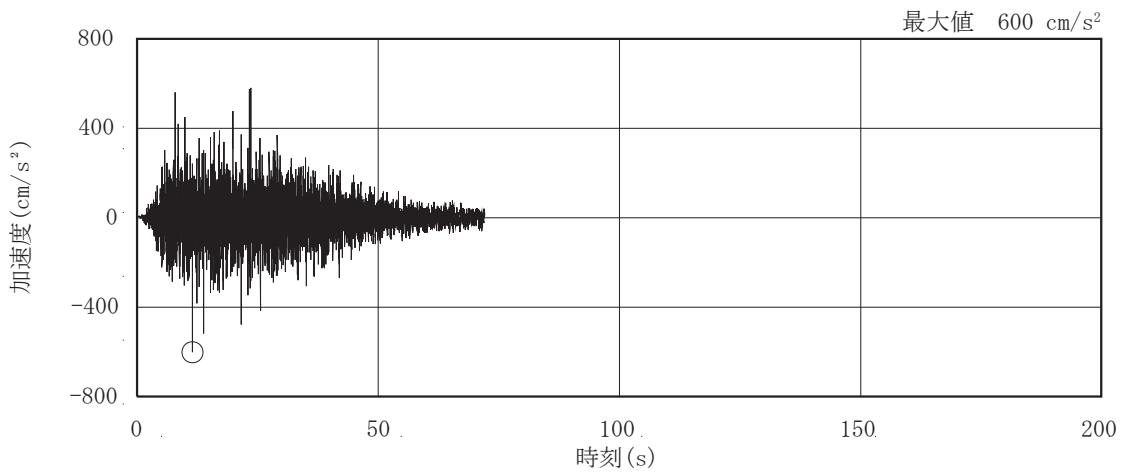


(g) S s - N 1

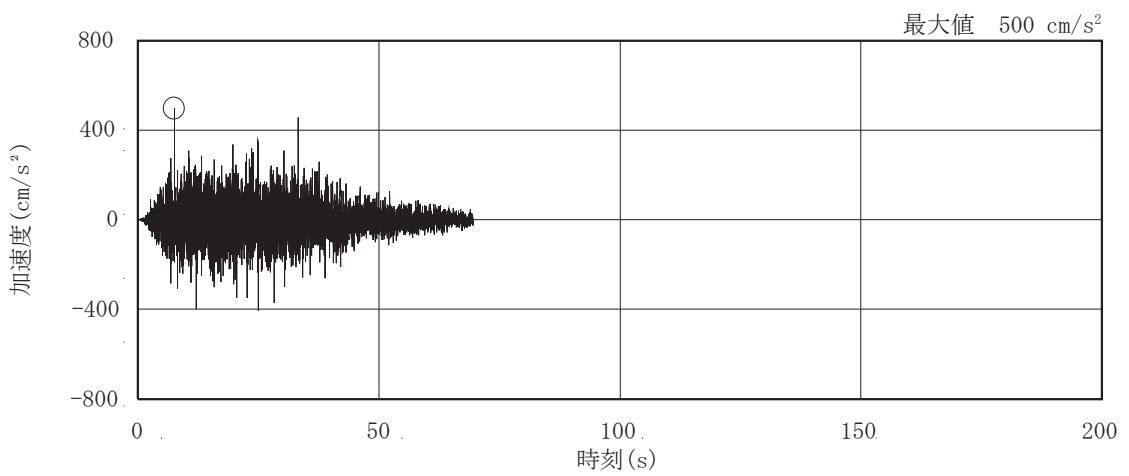
图 3-1(3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

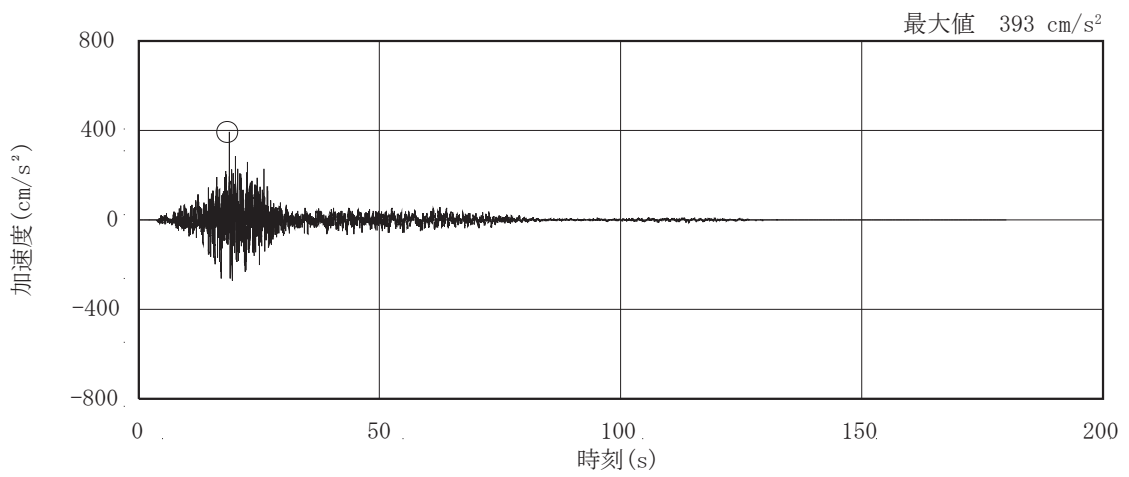


(b) S s - D 2

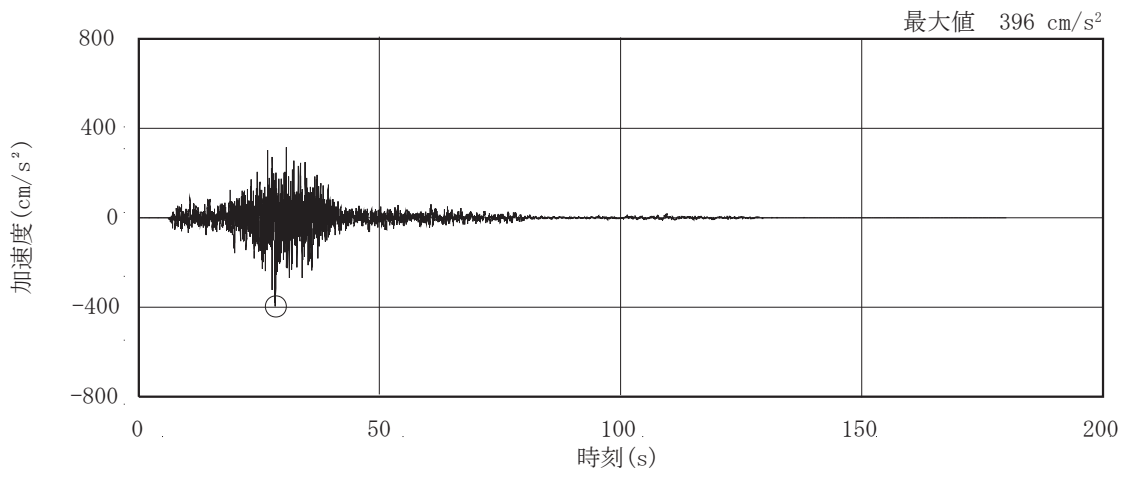


(c) S s - D 3

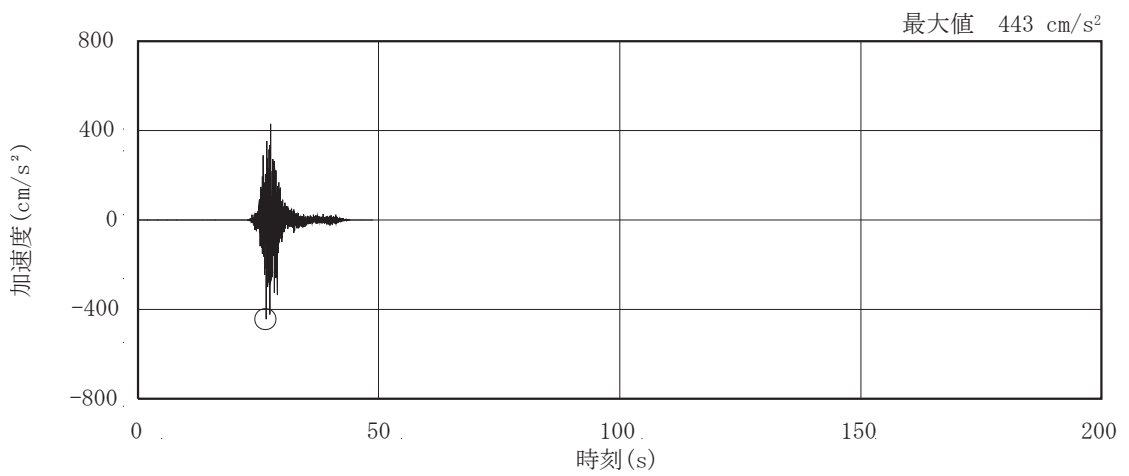
图 3-1(4) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

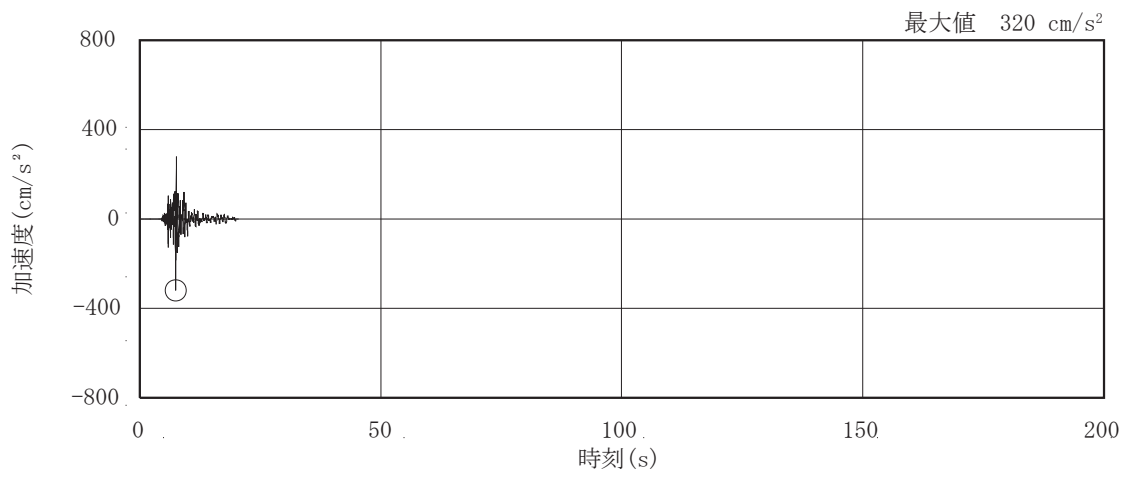


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

图 3-1(5) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (2/3)



(g) S s - N 1

图 3-1(6) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (3/3)

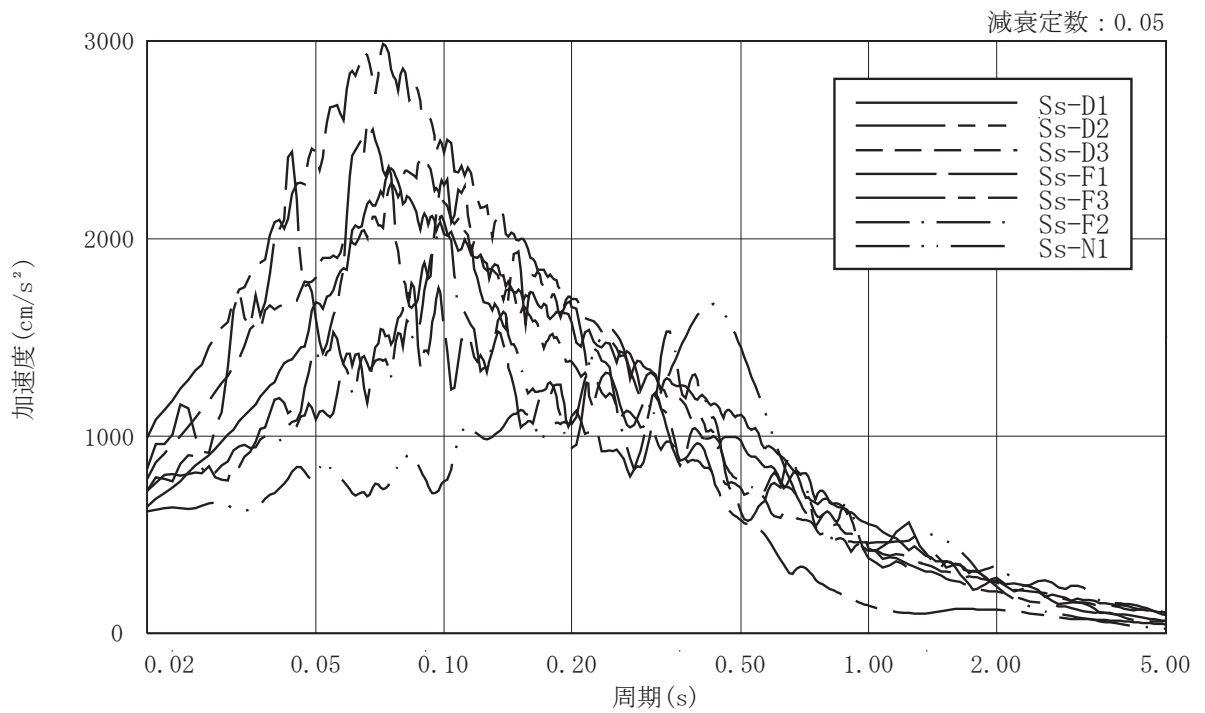


図 3-2(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

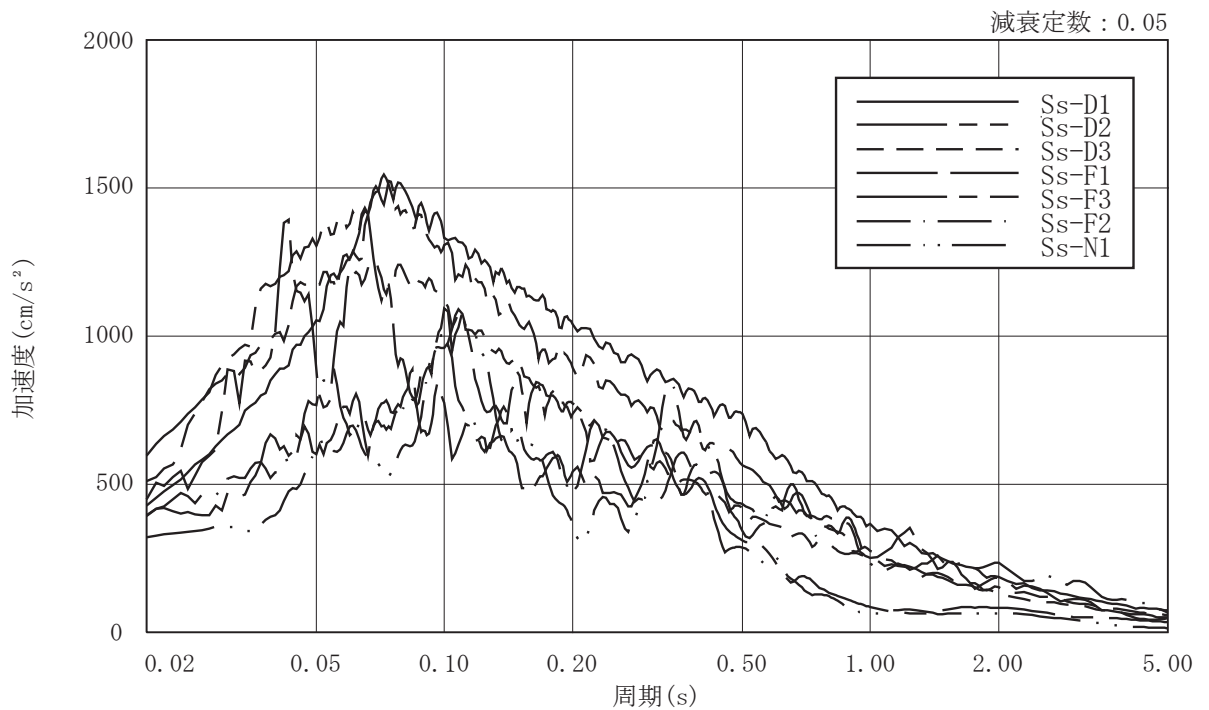
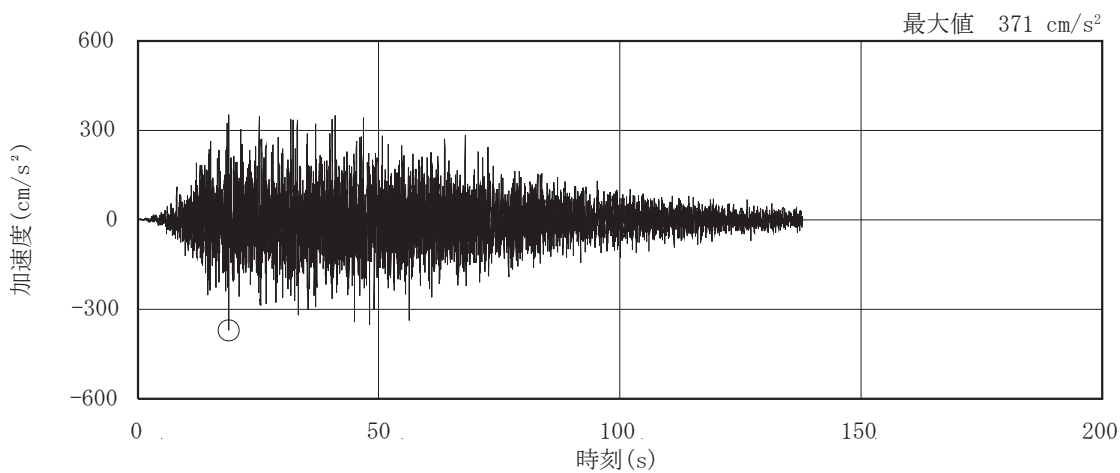
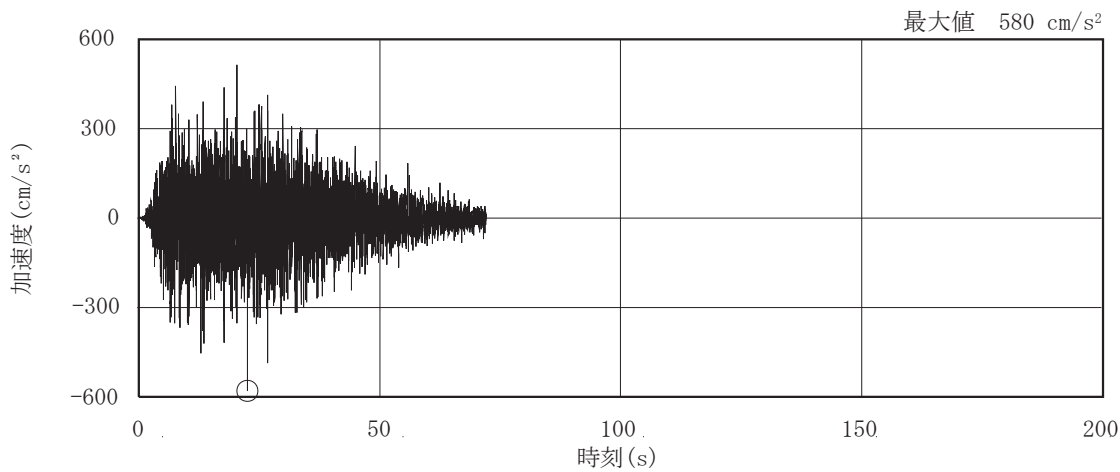


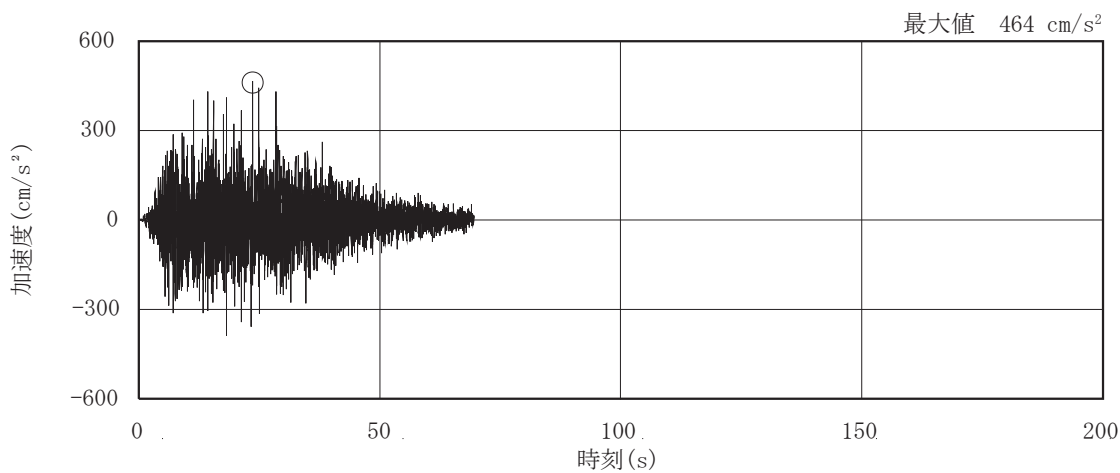
図 3-2(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)



(a) S d - D 1

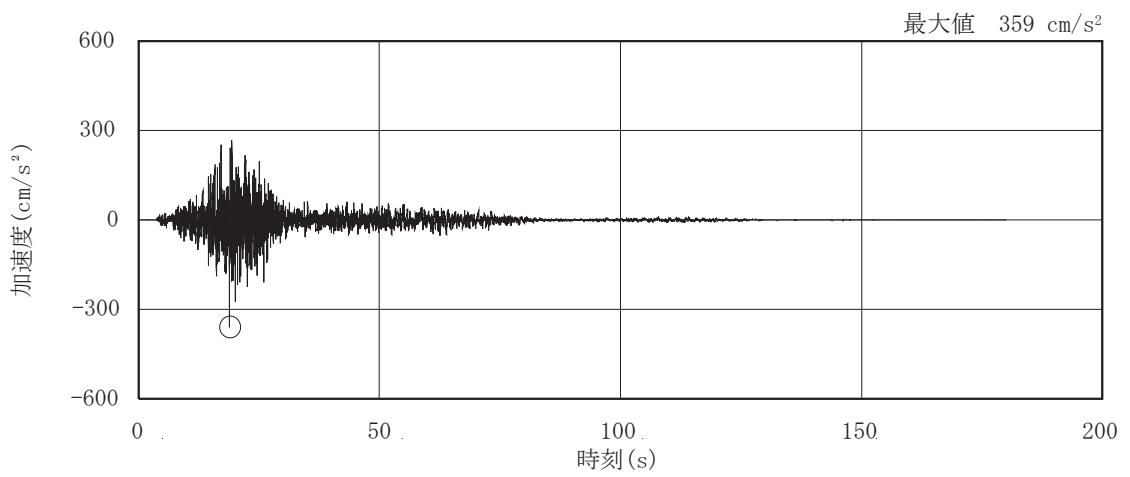


(b) S d - D 2

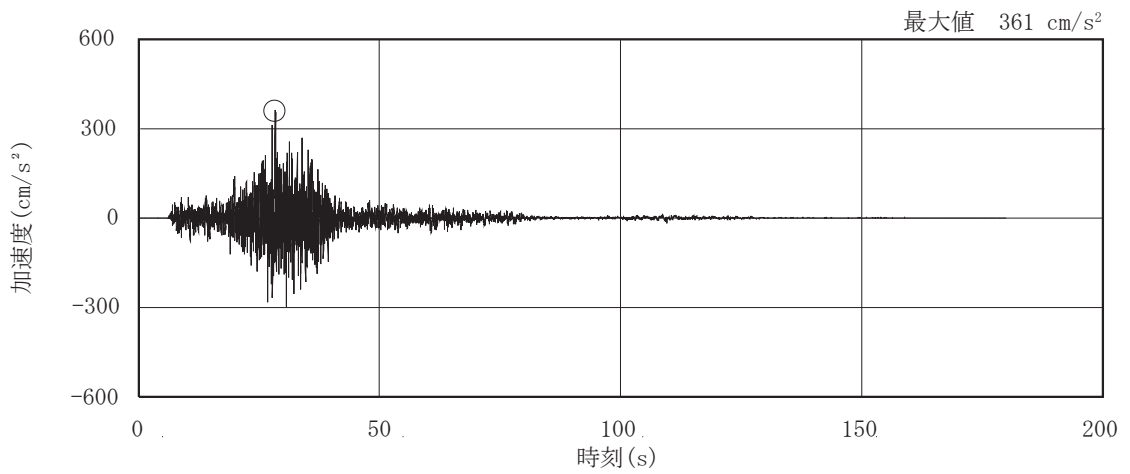


(c) S d - D 3

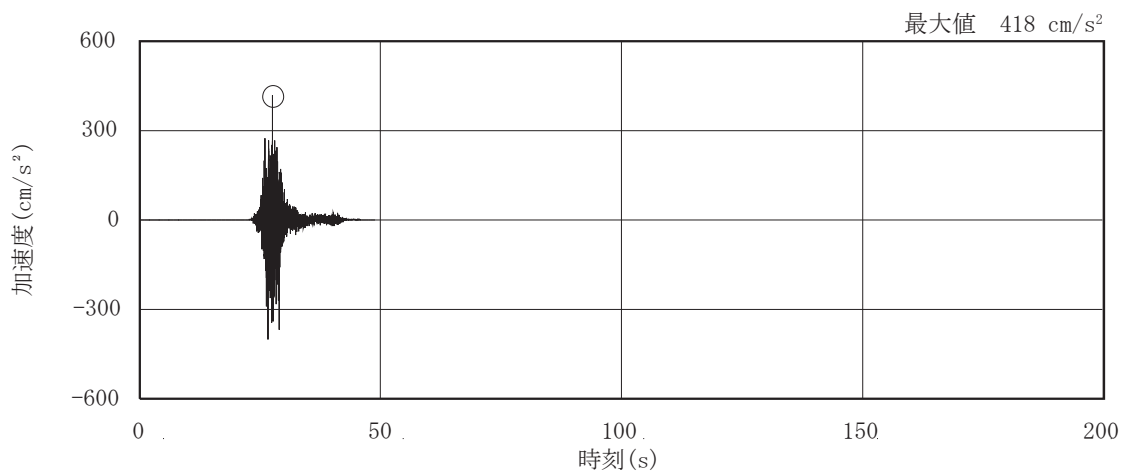
图 3-3(1) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 水平方向) (1/3)



(d) S d - F 1

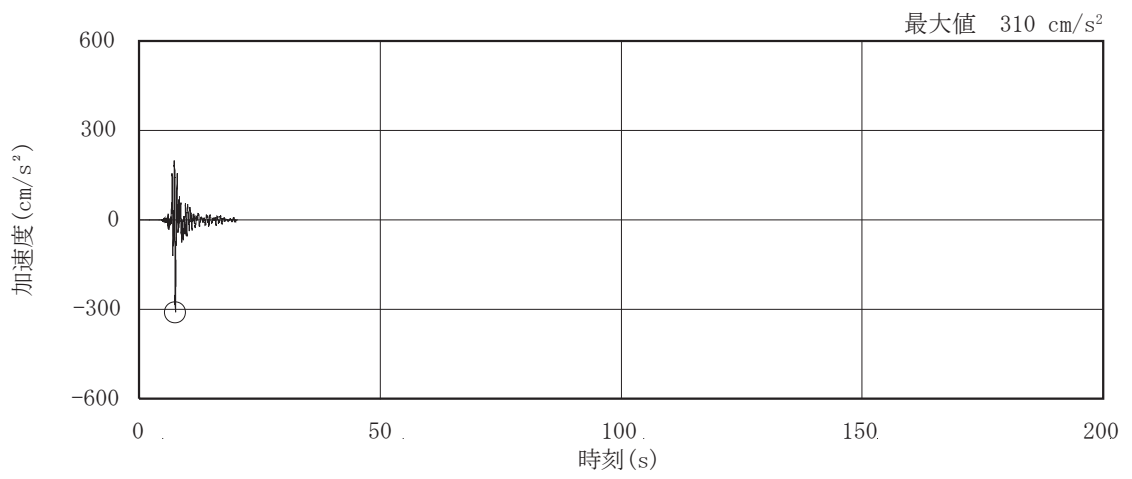


(e) S d - F 2



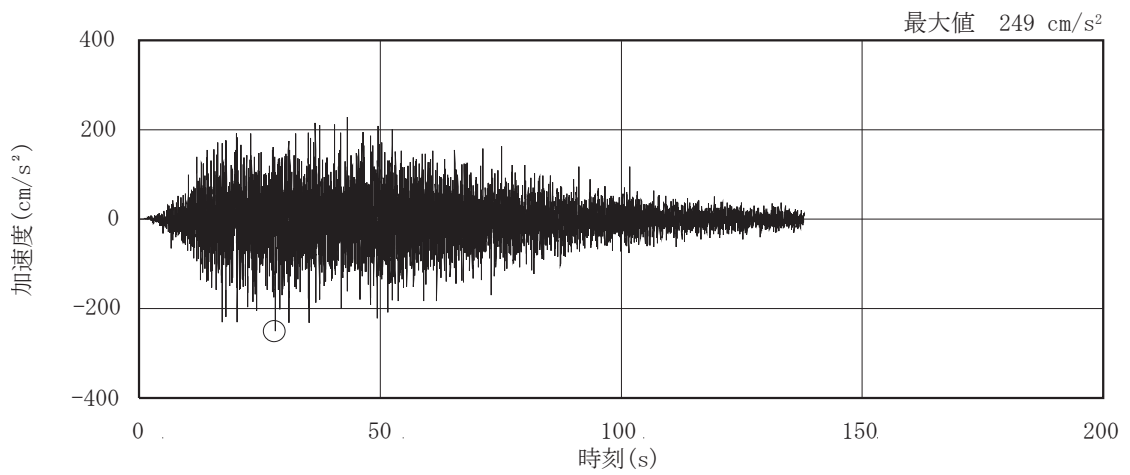
(f) S d - F 3

图 3-3(2) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 水平方向) (2/3)

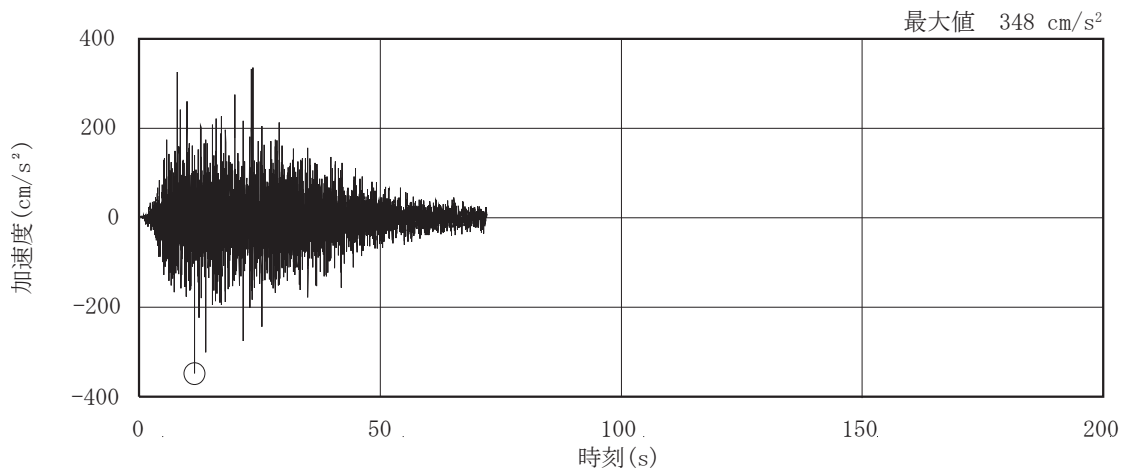


(g) S d - N 1

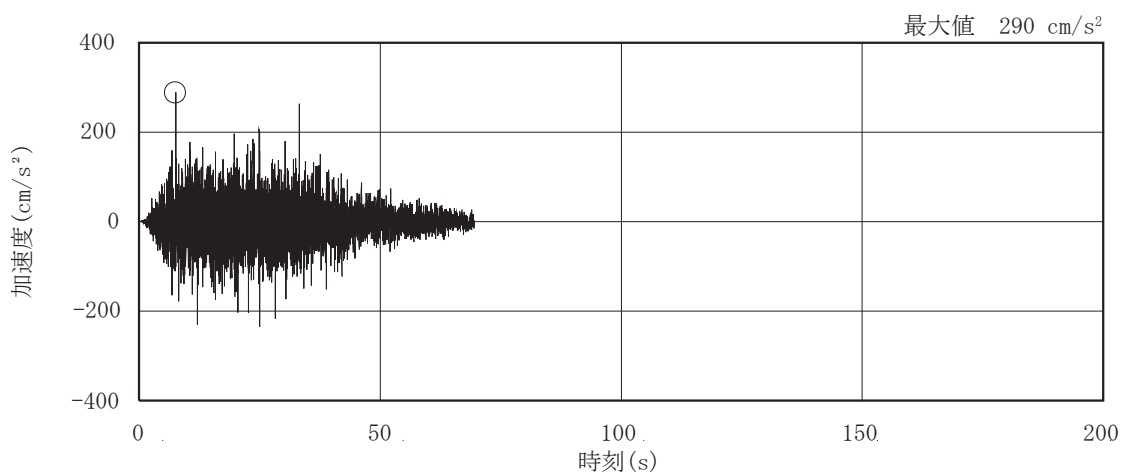
图 3-3(3) 加速度時刻歴波形 (弹性設計用地震動 S d, 水平方向) (3/3)



(a) S d - D 1

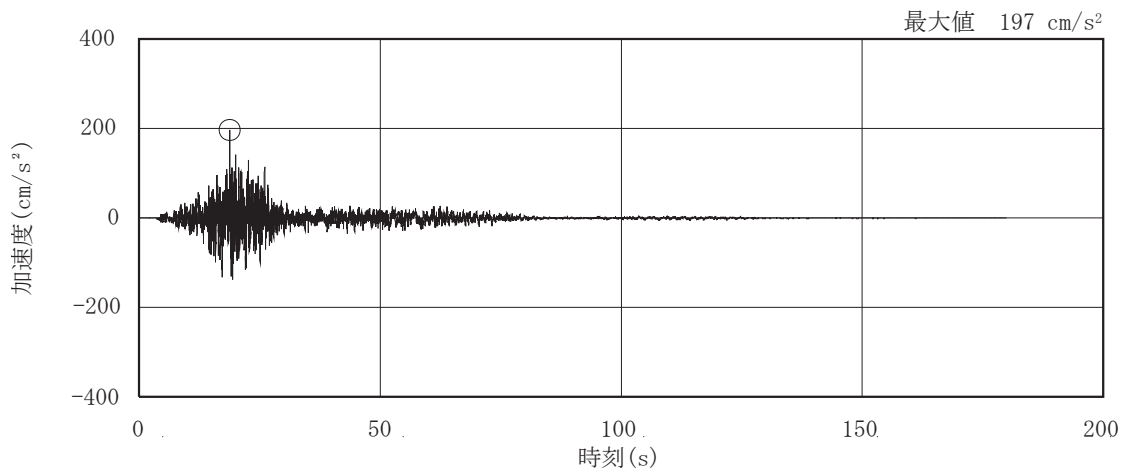


(b) S d - D 2

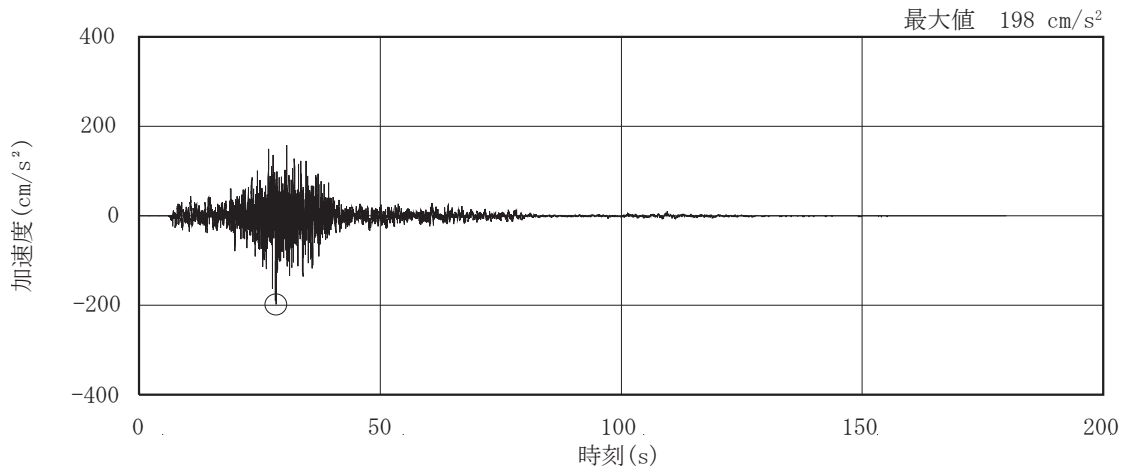


(c) S d - D 3

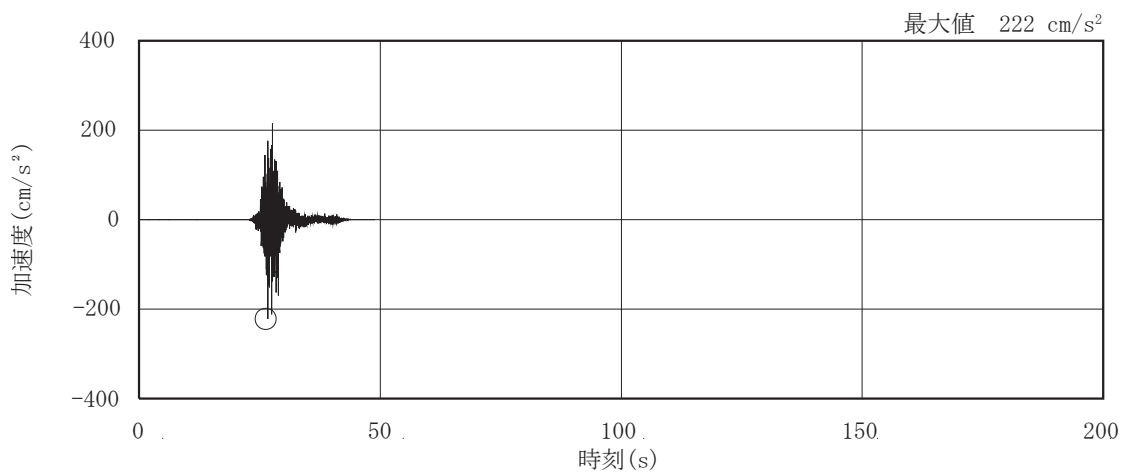
图 3-3(4) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (1/3)



(d) S d - F 1

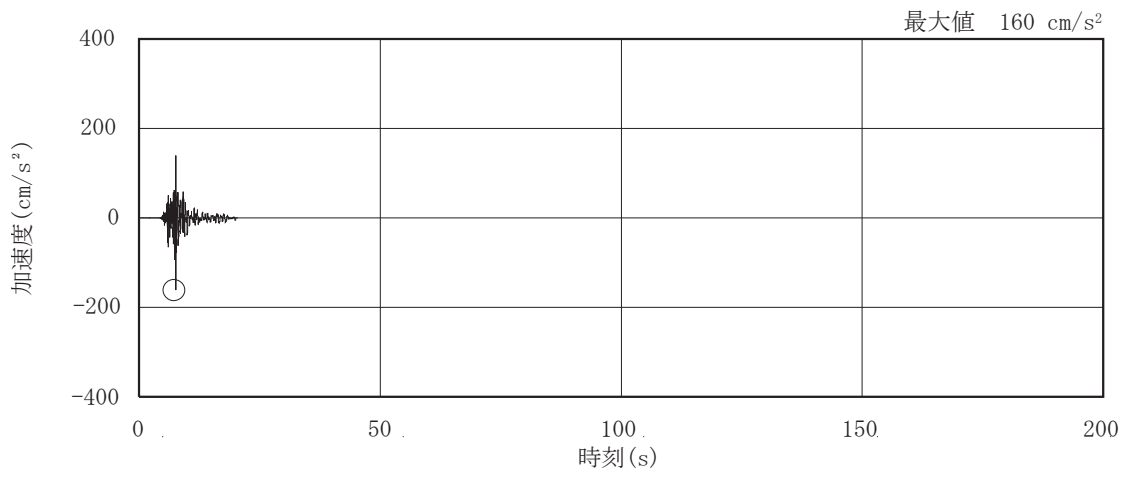


(e) S d - F 2



(f) S d - F 3

图 3-3(5) 加速度時刻歷波形 (彈性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (2/3)



(g) S d - N 1

图 3-3(6) 加速度時刻歴波形 (弹性設計用地震動 S d, 鉛直方向) (3/3)

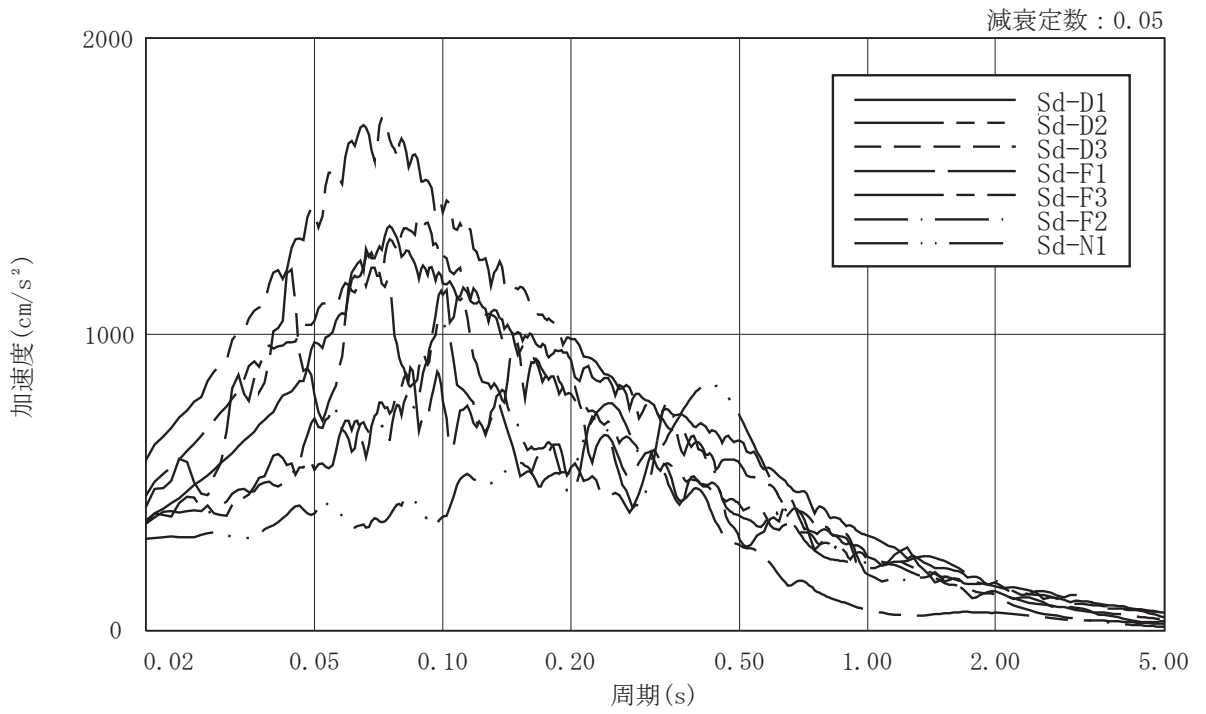


図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 水平方向)

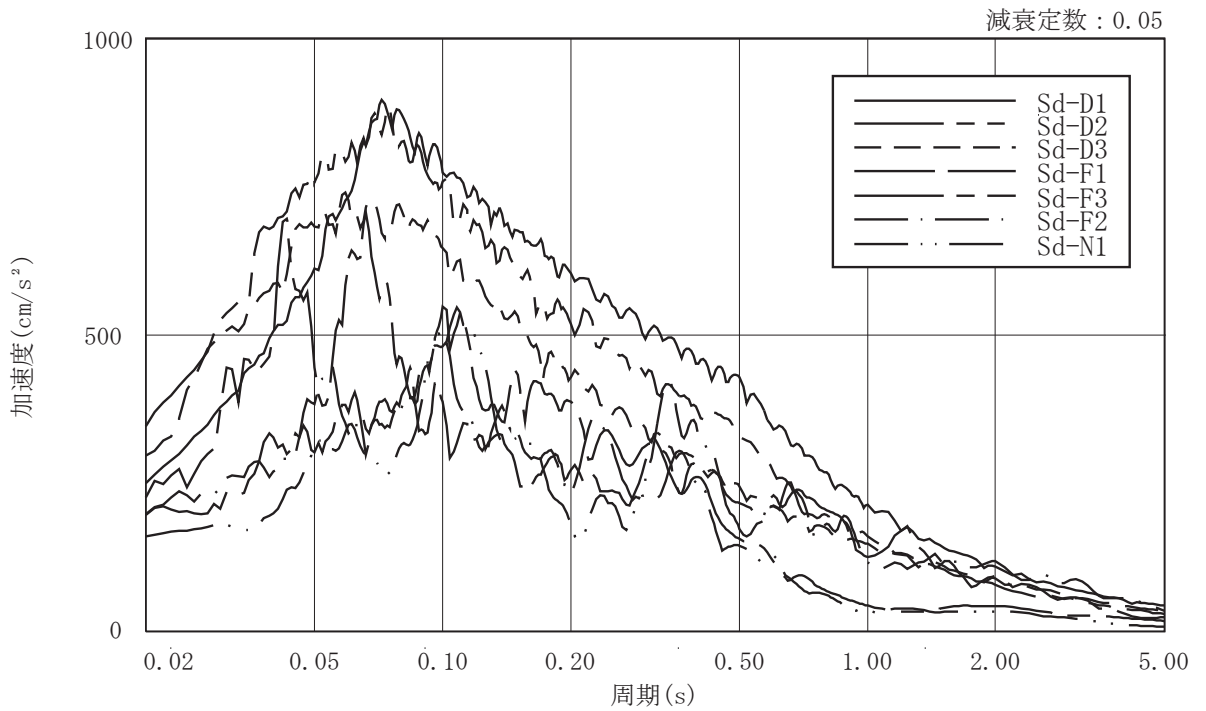


図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d , 鉛直方向)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=32.4(N/mm ²) (Fc=330(kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65×10 ⁴	1.14×10 ⁴	5

3.2.1 水平方向

(1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及び面内せん断変形をする床スラブ部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-5 に示す。図 3-5(3)及び図 3-5(4)に示す誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A C 4 6 0 1-2015 ((社)日本電気協会)」を参考に、水平加振により励起される上下応答を評価するために、後述の鉛直方向の地震応答解析モデルの諸元(図 3-8)及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばねについても考慮している。なお、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下については、観測記録や試験データなどから適切に地震応答解析モデルへ反映し、保守性を確認した上で適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表 3-2 に示す。

(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては水平ばね及び回転ばねで置換している。この水平ばね及び回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-3 に、地盤モデルの等価地盤物性値を表 3-4 に示す。

(3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.1 設計に用いる地震波」に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d とし、建屋基礎底面に直接入力する。図 3-7 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

$E_c = 10590 \text{ N/mm}^2$
 $G_c = 4550 \text{ N/mm}^2$

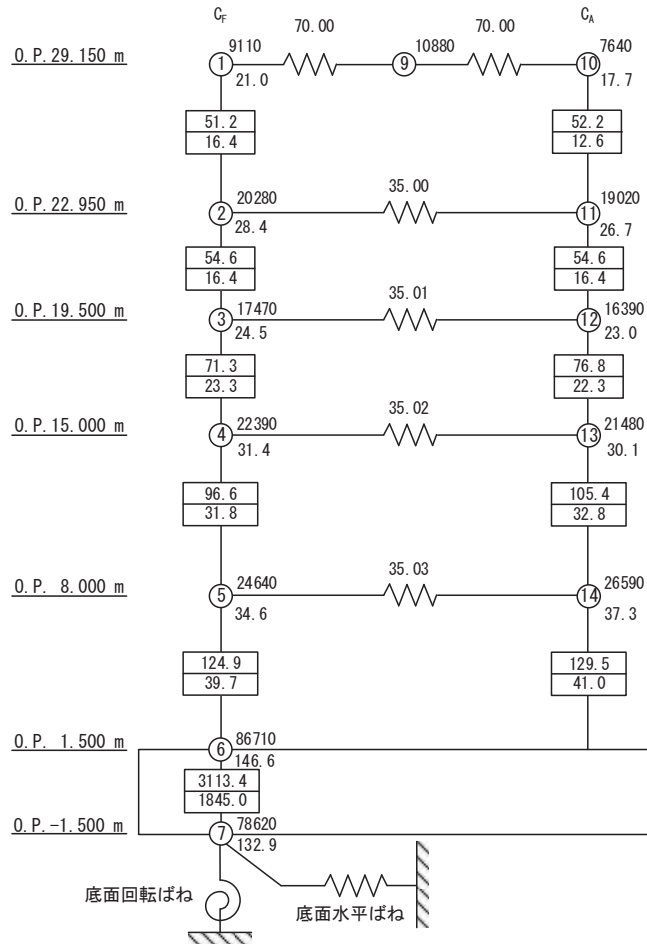
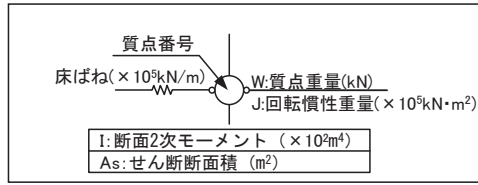


図 3-5(1) 地震応答解析モデル及び諸元 (NS 方向)

$E_c = 13240 \text{ N/mm}^2$
 $G_c = 5690 \text{ N/mm}^2$

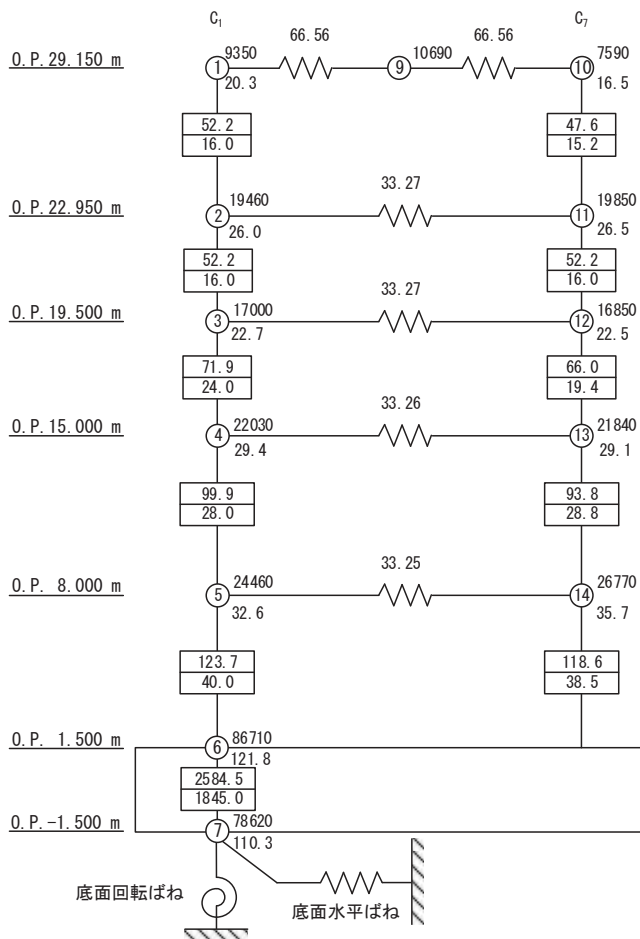
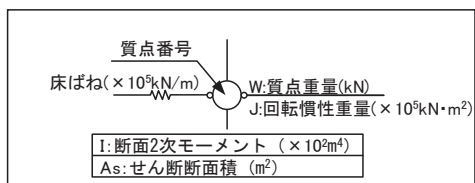


図 3-5(2) 地震応答解析モデル及び諸元 (EW 方向)

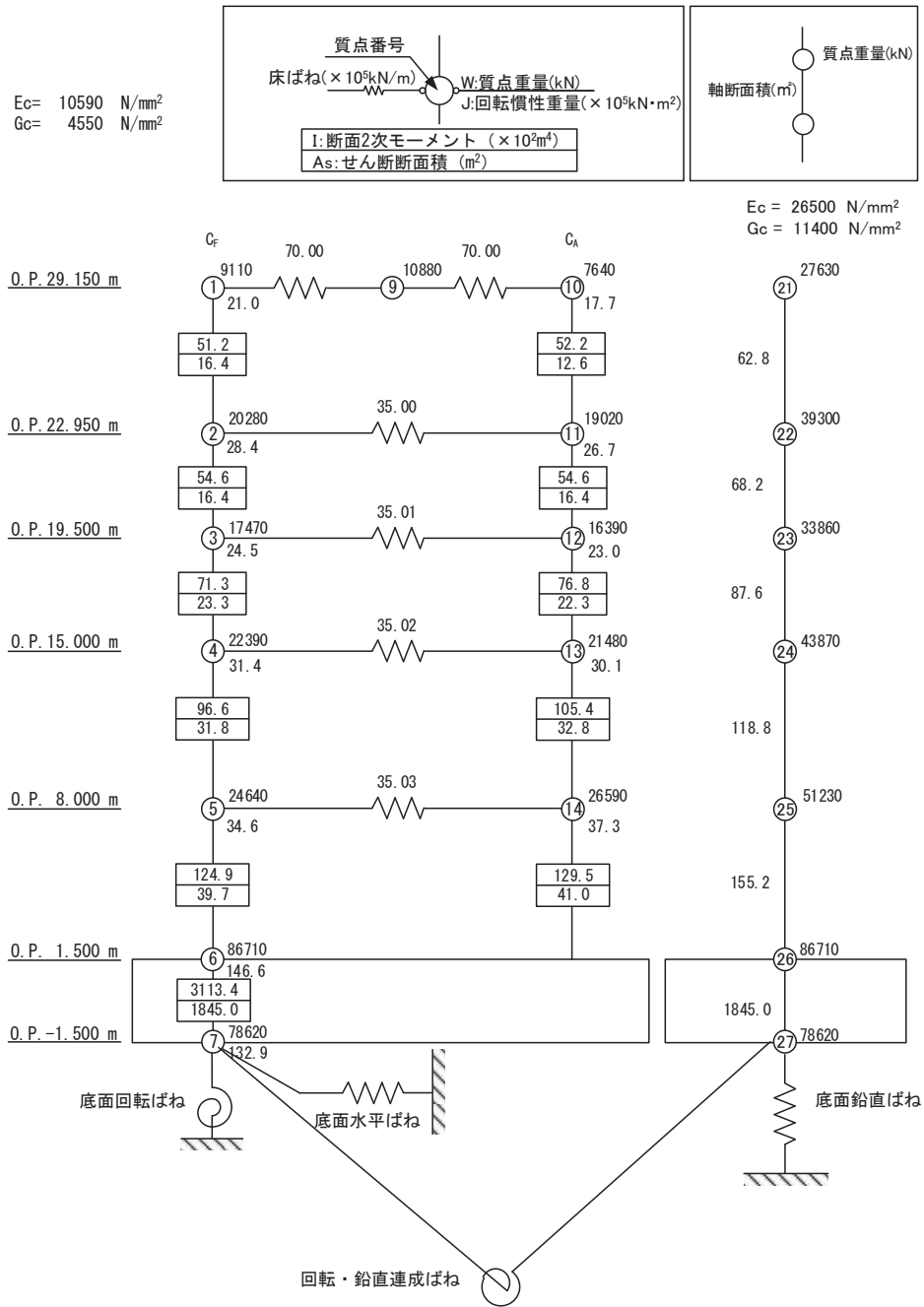


図 3-5(3) 地震応答解析モデル及び諸元 (誘発上下動考慮, NS 方向)

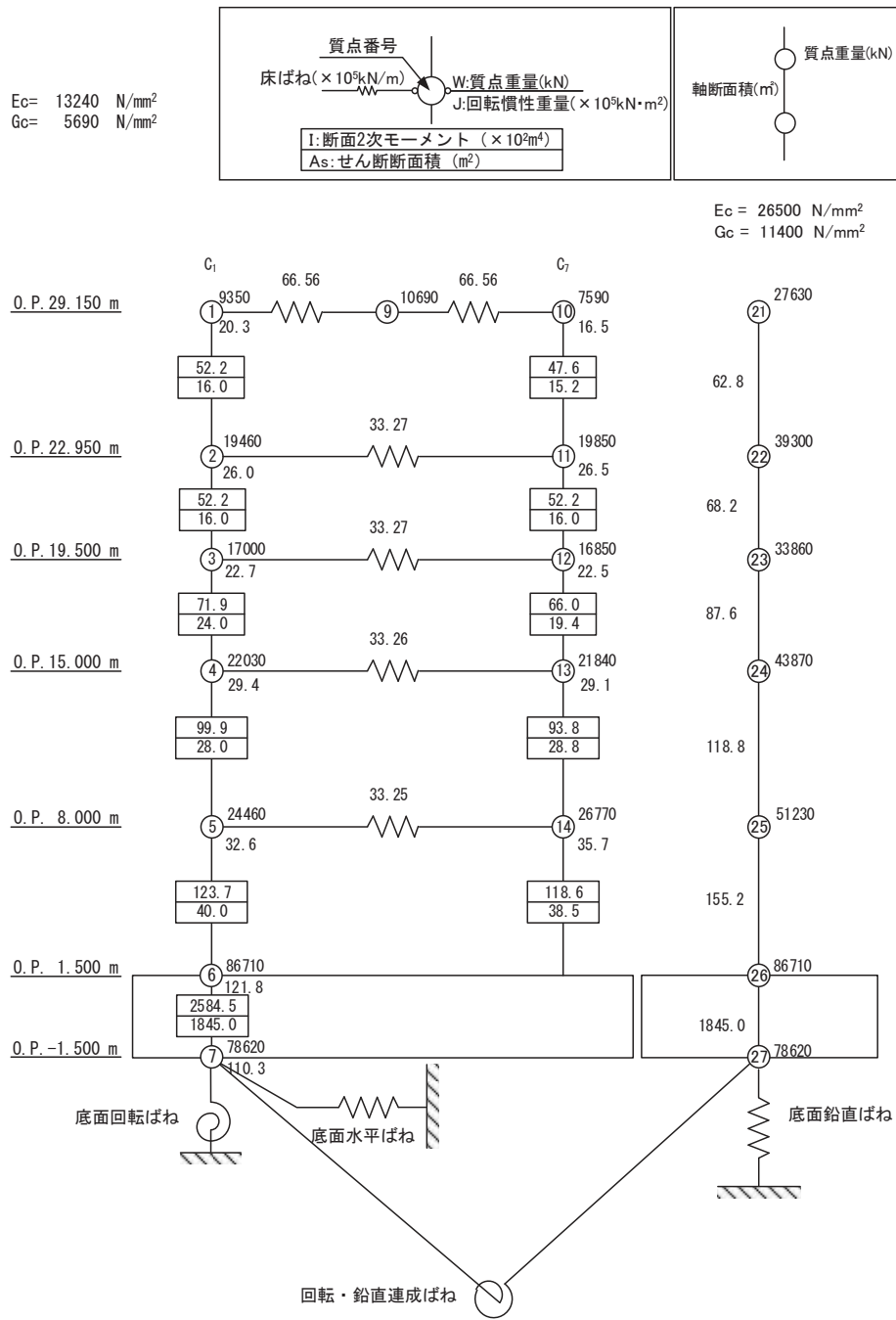
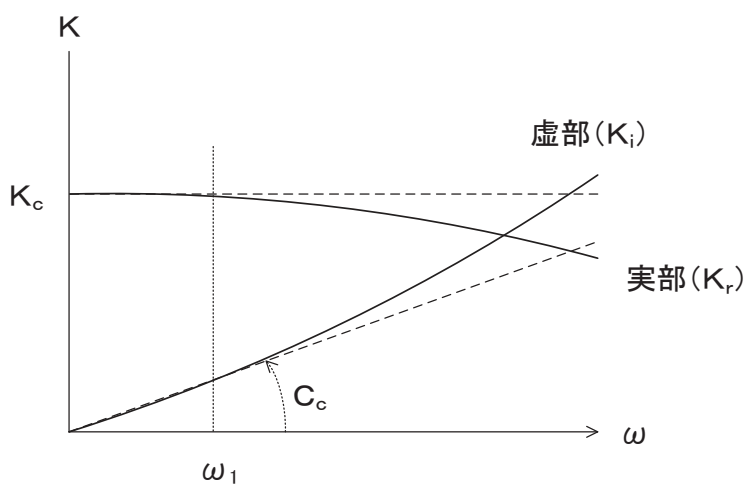


図 3-5(4) 地震応答解析モデル及び諸元 (誘発上下動考慮, EW 方向)

表 3-2 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	建屋全体
NS	0.40
EW	0.50



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数

(a)NS 方向

地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・水平	9.226×10^8 (kN/m)	6.550×10^6 (kN·s/m)
底面・回転	5.145×10^{11} (kN·m/rad)	2.154×10^8 (kN·m·s/rad)

(b)EW 方向

地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・水平	9.303×10^8 (kN/m)	6.664×10^6 (kN·s/m)
底面・回転	4.511×10^{11} (kN·m/rad)	1.923×10^8 (kN·m·s/rad)

表 3-4 地盤モデルの等価地盤物性値

せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
1820	0.415	8.05×10^3

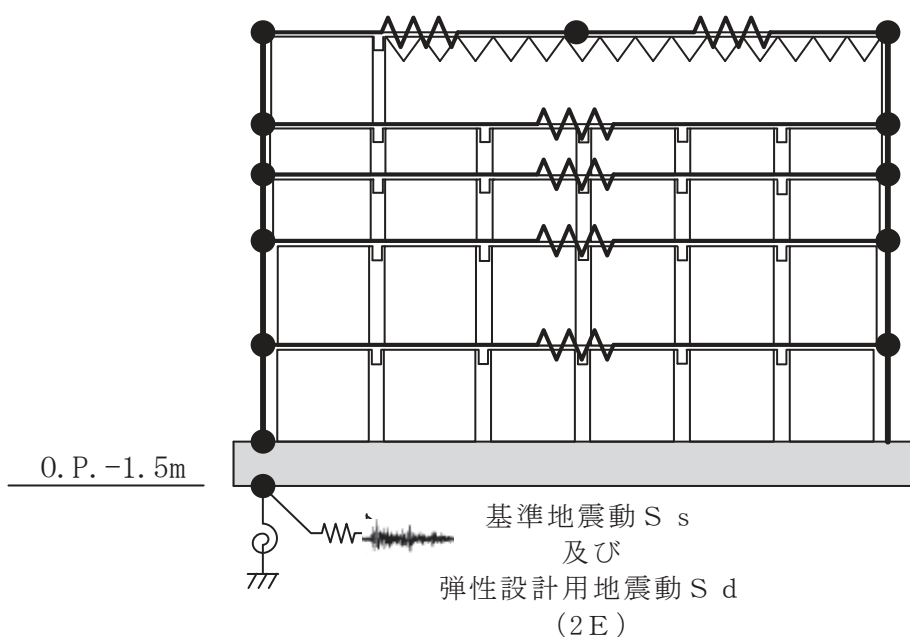


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

3.2.2 鉛直方向

(1) 地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁部の軸剛性を評価した質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-8 に示す。なお、鉛直方向の軸剛性に関しては、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下の影響が確認されなかったことから、設計剛性とする。

(2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、鉛直方向の地震応答解析モデルにおいては鉛直ばねで置換している。この鉛直ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミタンス理論に基づいて評価しており、振動数に依存した複素剛性として表現される。図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値(K_0)を、また、減衰係数(C_0)として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数(ω_1)に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に、地盤モデルの等価地盤物性値を表 3-6 に示す。

(3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.1 設計に用いる地震波」に示す基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d とし、基礎底面レベルに直接入力する。

図 3-9 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

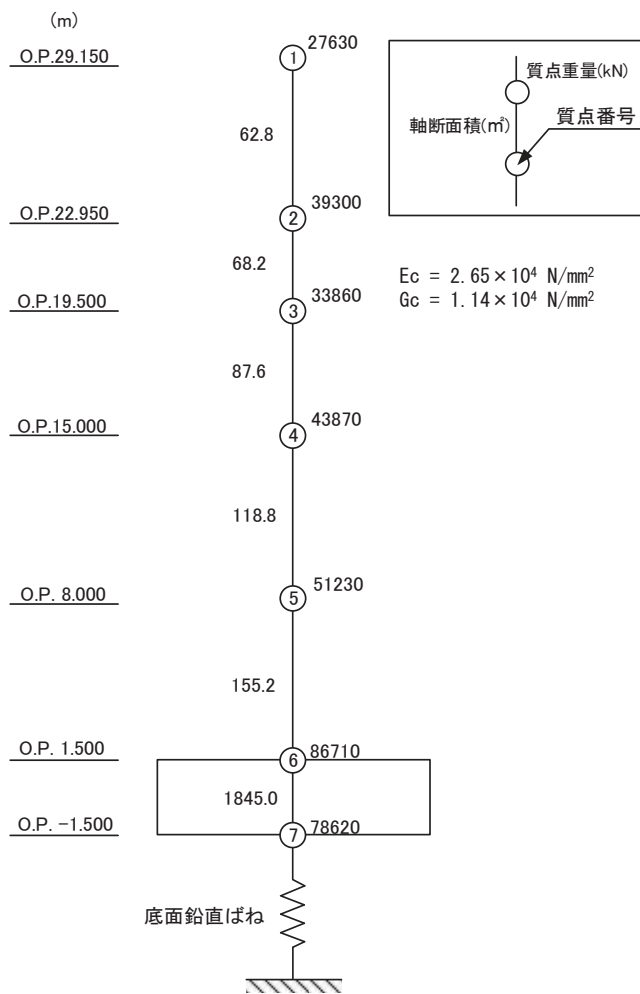


図 3-8 地震応答解析モデル及び諸元 (鉛直方向)

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数（鉛直方向）

地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
底面・鉛直	1.255×10^9 (kN/m)	1.292×10^7 (kN·s/m)

表 3-6 地盤モデルの等価地盤物性値

せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
1820	0.415	8.05×10^3

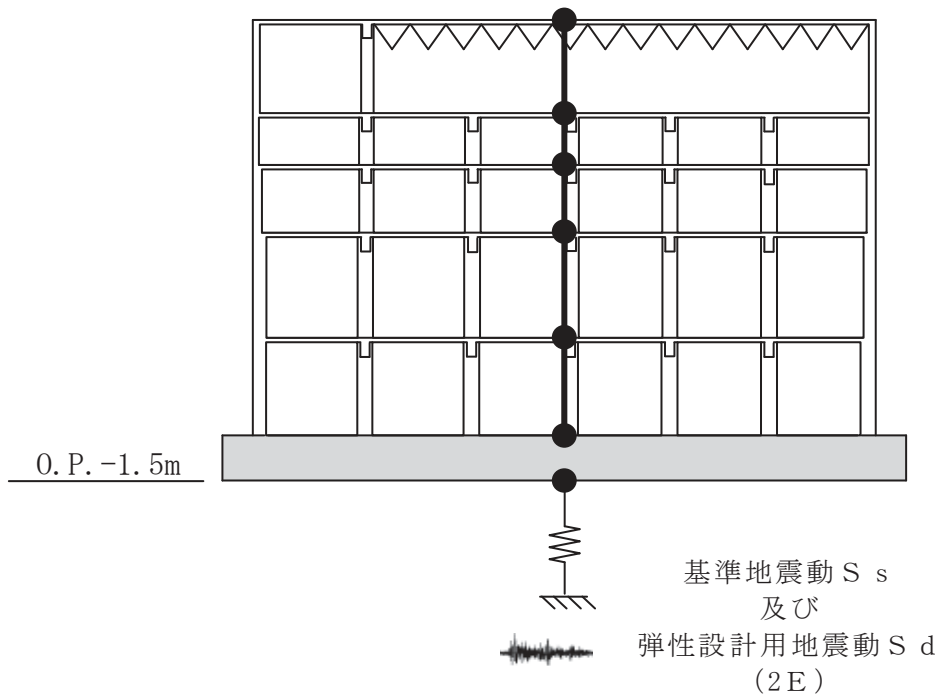


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

3.3 解析方法

制御建屋について、動的解析により応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、応答せん断ひずみ及び接地圧を算出する。また、静的解析により静的地震力、接地圧及び必要保有水平耐力を算出する。

制御建屋の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、最大接地圧は、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2015 ((社) 日本電気協会)」を参考に、水平応答と鉛直応答から組合せ係数法（組合せ係数は 1.0 と 0.4）を用いて算出する。

3.3.2 静的解析

(1) 水平地震力

水平地震力算定用の基準面は基礎版上面（O.P. 1.5m）とし、基準面より上の部分（地上部分）の地震力は、地震層せん断力係数を用いて、次式により算出する。

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.1)$$

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.2)$$

ここで、

Q_i : 第 i 層に生じる水平地震力

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)

Z : 地震地域係数 (1.0)

C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数

W_i : 第 i 層が支える重量

R_t : 振動特性係数 (0.8)

A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 (0.2)

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

$$K = 0.1 \cdot n \cdot (1 - H/40) \cdot Z \cdot \alpha \quad (3.3)$$

ここで、

K : 地下部分の水平震度

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (3.0)

H : 地下の各部分の基準面からの深さ (m)

Z : 地震地域係数 (1.0)

α : 建物・構築物側方の地盤の影響を考慮した水平地下震度の補正係数 (1.0)

(2) 鉛直地震力

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

$$C_v = R_v \cdot 0.3 \quad (3.4)$$

ここで、

C_v : 鉛直震度

R_v : 鉛直方向振動特性係数 (0.8)

3.3.3 必要保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力 Q_{un} は、次式により算出する。

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud} \quad (3.5)$$

ここで、

D_s : 各層の構造特性係数

F_{es} : 各層の形状特性係数

地震力によって各層に生じる水平力 Q_{ud} は、次式により算出する。

$$Q_{ud} = n \cdot C_i \cdot W_i \quad (3.6)$$

ここで、

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (1.0)

C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数

W_i : 第 i 層が支える重量

地震層せん断力係数 C_i は、次式により算出する。

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0 \quad (3.7)$$

ここで、

Z : 地震地域係数 (1.0)

R_t : 振動特性係数 (0.8)

A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

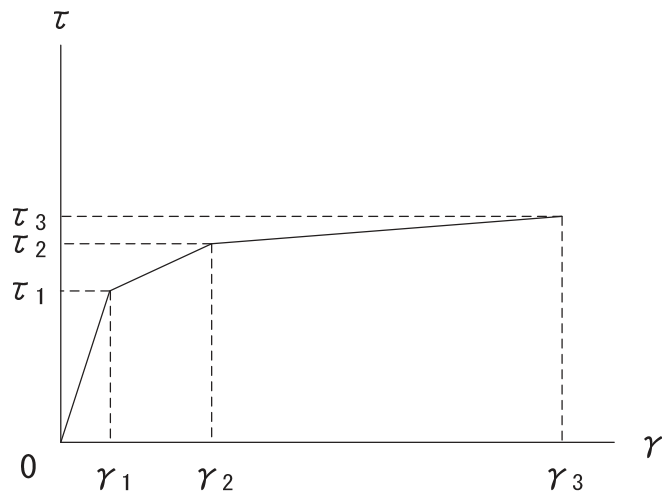
C_0 : 標準せん断力係数 (1.0)

3.4 解析条件

3.4.1 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ - γ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ τ - γ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-10 に示す。

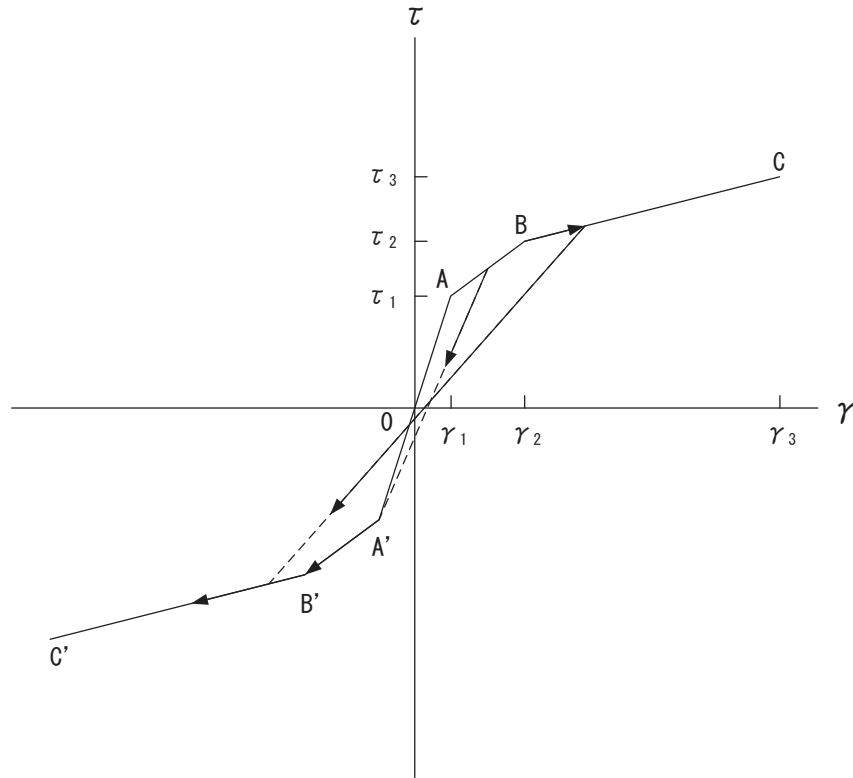


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($=4 \times 10^{-3}$)

図 3-10 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき，最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-11 に示す。

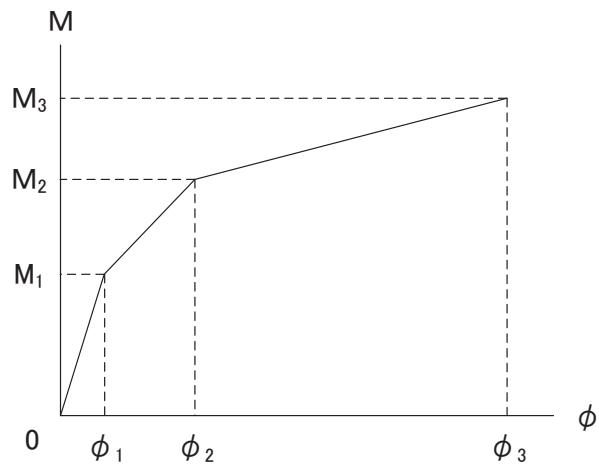


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし，負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-11 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトンカーブとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-12 に示す。



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

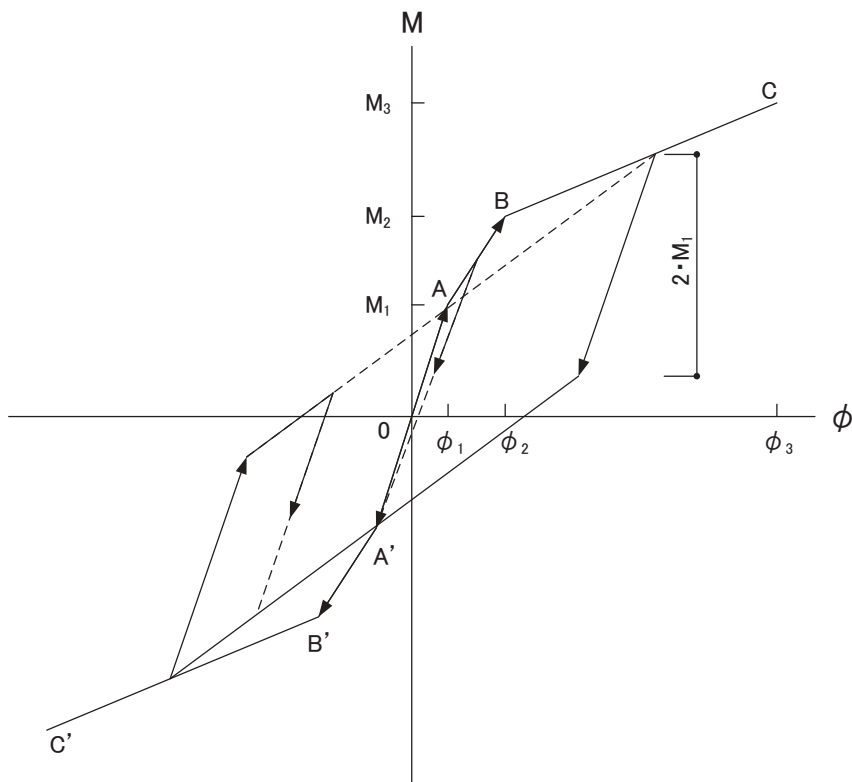
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-12 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-13 に示す。

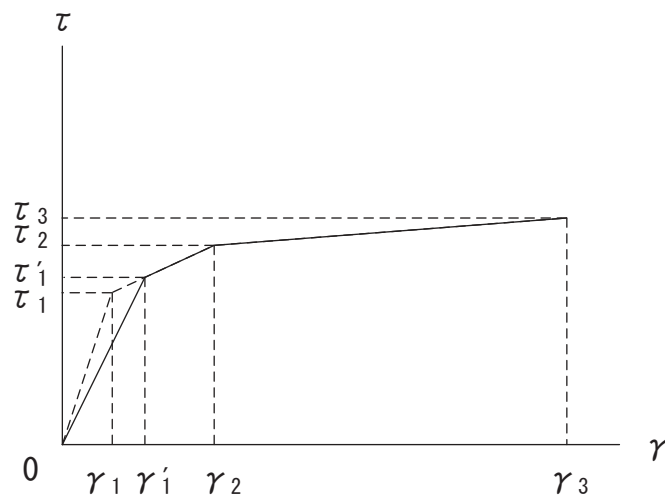


- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を超えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-13 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) 剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定

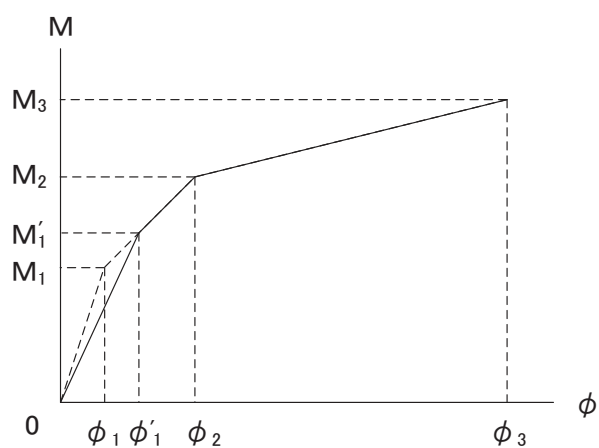
設計基準強度により算定したスケルトンカーブに対して、地震観測記録に基づき評価した建屋剛性に整合するようにスケルトンカーブの初期剛性を補正する。剛性低下を考慮したスケルトンカーブの概念を図 3-14 及び図 3-15 に示す。



- 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 ($=4 \times 10^{-3}$)
- τ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断応力度
- γ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点のせん断ひずみ

注：剛性低下を考慮したスケルトンカーブの τ'_1 は及び γ'_1 は J E A G 式とは対応しない

図 3-14 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係のスケルトンカーブの初期剛性の補正



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

M'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲げモーメント

ϕ'_1 : 初期剛性補正後の第 1 折点の曲率

注：剛性低下を考慮したスケルトンカーブの M'_1 及び ϕ'_1 は J E A G 式とは対応しない

図 3-15 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の
スケルトンカーブの初期剛性の補正

(6) スケルトンカーブの諸数値

制御建屋の各耐震壁について算出したせん断力及び曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7(1) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係)

NS 方向

CF

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.68	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00
15.00 ~ 8.00	2.87	—	6.75	0.630	—	4.00
8.00 ~ 1.5	2.90	—	6.56	0.638	—	4.00

CA

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.71	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00
15.00 ~ 8.00	2.87	—	6.76	0.630	—	4.00
8.00 ~ 1.5	2.90	—	6.57	0.638	—	4.00

表 3-7(2) せん断力のスケルトンカーブ ($\tau-\gamma$ 関係)

EW 方向

C1

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.70	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.60	0.446	0.527	4.00
15.00 ~ 8.00	2.57	2.73	6.73	0.452	0.534	4.00
8.00 ~ 1.5	2.61	2.78	6.55	0.460	0.543	4.00

C7

O. P. (m)	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 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.68	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.61	0.446	0.527	4.00
15.00 ~ 8.00	2.57	2.73	6.74	0.452	0.534	4.00
8.00 ~ 1.5	2.62	2.78	6.54	0.460	0.543	4.00

表 3-8(1) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係)

NS 方向

CF

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.77	8.75	11.4	1.25	4.63	92.8
22.95 ~ 19.50	10.6	17.6	24.0	1.83	5.02	100
19.50 ~ 15.00	16.4	27.5	38.0	2.17	5.11	102
15.00 ~ 8.00	25.8	41.6	58.6	2.52	5.23	105
8.00 ~ 1.5	32.8	53.2	73.9	2.48	5.27	105

CA

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.89	8.91	11.6	1.25	4.64	92.8
22.95 ~ 19.50	10.6	17.6	24.0	1.83	5.02	100
19.50 ~ 15.00	17.6	29.7	41.0	2.17	5.11	102
15.00 ~ 8.00	28.1	45.4	64.0	2.52	5.23	105
8.00 ~ 1.5	34.0	55.1	76.6	2.48	5.28	105

表 3-8(2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係)

EW 方向

C1

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.90	9.78	12.9	0.998	4.81	96.2
22.95 ~ 19.50	9.01	17.0	22.9	1.30	5.12	102
19.50 ~ 15.00	13.8	28.2	38.8	1.45	5.24	105
15.00 ~ 8.00	20.9	43.1	58.7	1.58	5.32	106
8.00 ~ 1.5	26.1	53.0	72.8	1.60	5.37	107

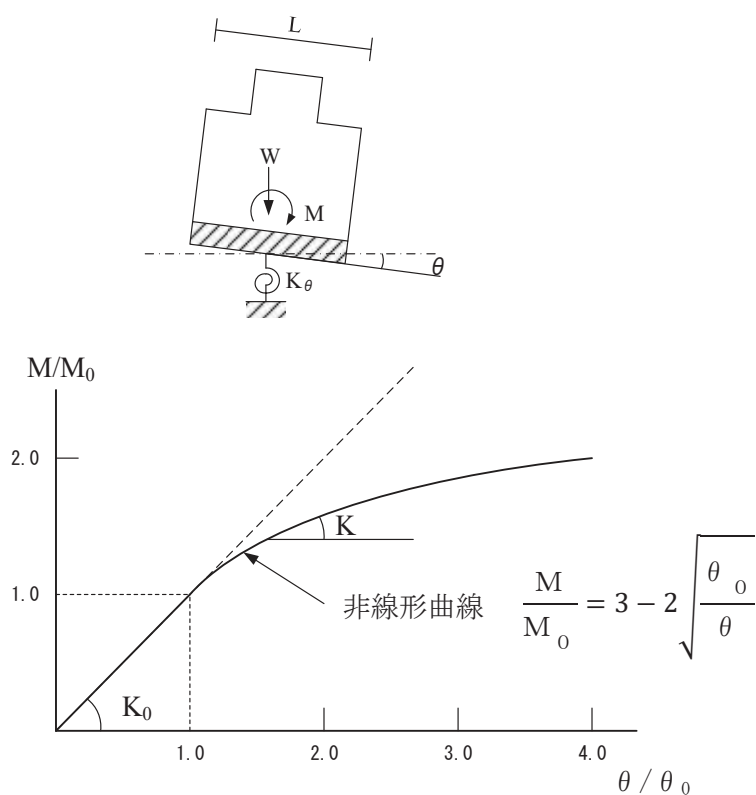
C7

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.29	8.92	11.8	0.998	4.81	96.2
22.95 ~ 19.50	9.01	17.0	22.9	1.30	5.12	102
19.50 ~ 15.00	12.7	25.9	35.6	1.45	5.24	105
15.00 ~ 8.00	19.6	40.5	55.1	1.58	5.32	106
8.00 ~ 1.5	25.1	50.8	69.8	1.60	5.37	107

3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-16 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-16 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- M_0 : 浮上り限界転倒モーメント (= $W \cdot L / 6$)
- θ : 回転角
- θ_0 : 浮上り限界回転角
- K_0 : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)
- K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)
- W : 建屋総重量
- L : 建屋基礎幅

図 3-16 回転ばねのモーメントー回転角の関係

3.4.3 誘発上下動を考慮する基礎浮上り評価法

図3-5(3)及び図3-5(4)に示す誘発上下動を考慮した地震応答解析モデルでは「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく基礎の浮上り非線形性を考慮できる水平ばね K_{HH} 及び回転ばね K_{RR} に加えて、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2015 ((社) 日本電気協会)」を参考に、接地率 η_t に応じて時々刻々と変化する鉛直ばね K_{VV} 及び回転・鉛直連成ばね K_{VR} を考慮している。

図3-17に誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図を、表3-9に基礎浮上り時の地盤ばねの剛性と減衰の評価式を示す。

$$\begin{Bmatrix} P \\ N \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & 0 & 0 \\ 0 & K_{VV} & K_{VR} \\ 0 & K_{VR} & K_{RR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0 \\ w_0 \\ \theta \end{Bmatrix}$$

ここで、

P : 水平方向慣性力

N : 鉛直方向慣性力

M : 転倒モーメント

K_{HH} , K_{VV} , K_{RR} :

水平, 鉛直, 回転ばねの対角項

K_{VR} : 回転・鉛直連成ばね

u_0 , w_0 , θ :

基礎底面中心の各変位及び回転角

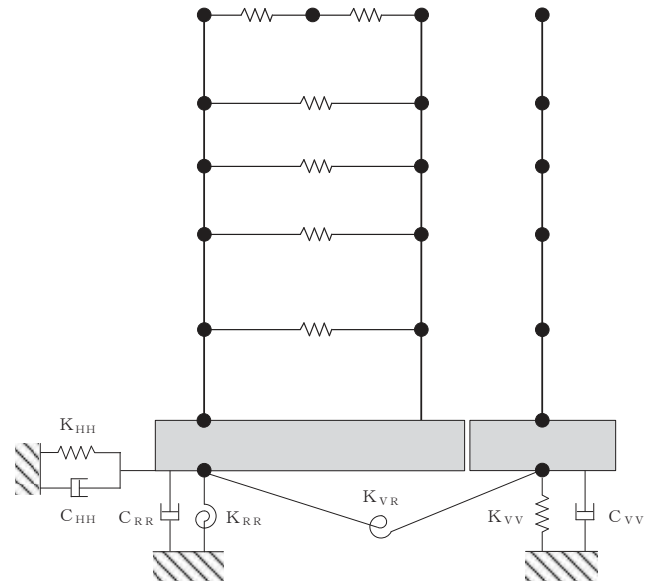


図 3-17 誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図

表 3-9 誘発上下動考慮モデルの基礎浮上り時の地盤ばねの剛性と減衰

	剛性	減衰
鉛直ばね	$K_{VV} = \eta_t^\beta \cdot K_{V0}$	$C_{VV} = C_{V0} \cdot \eta_t^{\alpha/2}$
回転・鉛直連成ばね	$K_{VR} = (1 - \eta_t) / 2 \cdot L \cdot K_{VV}$	$C_{VR} = 0$
回転ばね	$K_{RR} = (M - K_{VR} \cdot w_0) / \theta$	$C_{RR} = C_{R0} \cdot \eta_t^{\alpha/2}$

M : 転倒モーメント
 w_0 : 基礎スラブ中心の鉛直変位
 θ_0 : 浮上り限界回転角
 L : 建屋基礎幅
 K_{V0} : 線形域の鉛直ばね剛性
 β : 0.46
 α : 地反力分布に応じた値(三角形分布 6.0)
 C_{V0} : 線形域の鉛直ばねの減衰係数
 C_{R0} : 線形域の回転ばねの減衰係数

$\eta_t = (\theta_0 - \theta)^{2/(\alpha-2)}$
 θ : 回転角

3.4.4 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基本モデルによる地震応答解析で、部材または質点の応答値のうち、加速度、変位、せん断力、曲げモーメント及び軸力のいずれかが最大値となった地震動を基準地震動 S_s から選定する。弾性設計用地震動 S_d についても同様の方法で検討対象とする地震動を選定する。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、支持地盤のせん断波速度のばらつきは、変動係数±7%を考慮し、底面地盤ばねの算定に適用する。

建屋剛性の不確かさについて、水平方向については基準地震動 S_s 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S_s について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。なお、終局耐力については、実機のコンクリート強度が設計基準強度より高い傾向にあり、終局耐力はその分高いほうに上振れすることが考えられるが、終局耐力の増加は建屋の変形を抑制する方向の評価となることから、これを考慮しない。また、鉛直方向については、水平方向に比べ剛性の低下量は小さく、これまでの経年変化によって設計剛性を下回っていないこと、建屋シミュレーション解析では既工認モデルで記録を再現できたこと、また、剛性の変化が建屋応答に与える感度が小さいことから、初期剛性の不確かさは考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-10 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性を表 3-11 に示す。

表 3-10 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトン曲線		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S _s (水平)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ
	ケース 4	基本ケースの 0.70 倍	同上	同上	同上	標準地盤
	ケース 5				同上	標準地盤 + σ
	ケース 6				同上	標準地盤 - σ
基準地震動 S _s (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	—	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ
弾性設計用 地震動 S _d (水平, 鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	3.11 地震 シミュレーション	—	5% (水平, 鉛直とも)	(水平) 直接入力 (鉛直) 直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	—	同上	同上	標準地盤 + σ
	ケース 3				同上	標準地盤 - σ

表 3-11 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性

	等価地盤の せん断波速度 (m/s)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
基本ケース	1820	0.415	8.05×10^3
+ σ 相当	1950	0.415	9.22×10^3
- σ 相当	1690	0.415	6.96×10^3

4. 解析結果

4.1 動的解析

本資料においては、代表として基本ケースの地震応答解析結果を示す。

4.1.1 固有値解析結果

基本ケースの地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期，固有振動数及び刺激係数）を表 4-1 に示す。刺激関数図を図 4-1 に示す。

なお，刺激係数は，各次の固有ベクトル $\{u\}$ に対し，最大振幅が 1.0 となるように規準化した値を示す。

4.1.2 地震応答解析結果

(1) 基準地震動 S_s

基準地震動 S_s による最大応答値を図 4-2～図 4-12，表 4-2～表 4-4 に示す。また，基準地震動 S_s に対する最大応答値を図 4-13 及び図 4-14 の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

(2) 弾性設計用地震動 S_d

弾性設計用地震動 S_d による最大応答値を図 4-15～図 4-25，表 4-5～表 4-7 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

(a)NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz]	刺激係数	備考
1	0.218	4.59	1.476	全体 1 次
2	0.091	10.99	0.602	全体 2 次
3	0.087	11.44	0.168	
4	0.078	12.81	0.073	
5	0.071	14.03	0.102	
6	0.057	17.56	0.550	全体 3 次

(b)EW 方向

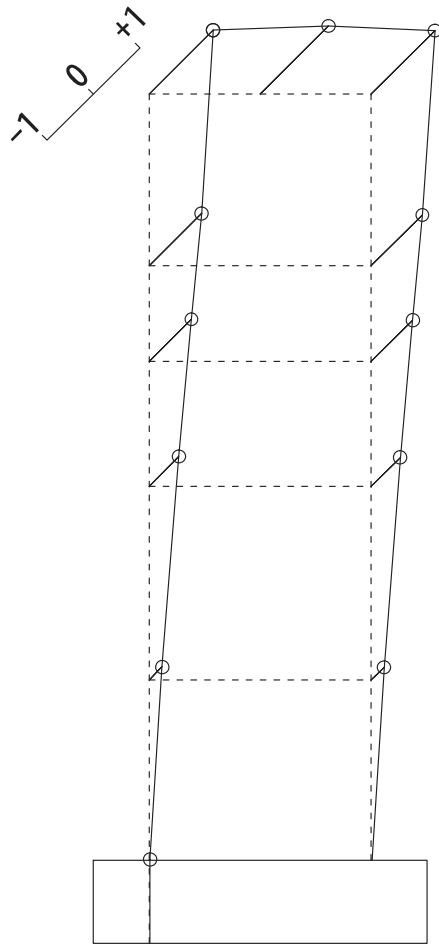
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.202	4.96	1.481	全体 1 次
2	0.087	11.45	0.073	
3	0.082	12.17	0.761	全体 2 次
4	0.071	14.09	0.005	
5	0.065	15.38	0.104	
6	0.054	18.69	0.514	
7	0.051	19.66	0.184	
8	0.040	25.18	0.423	全体 3 次

(c)UD 方向

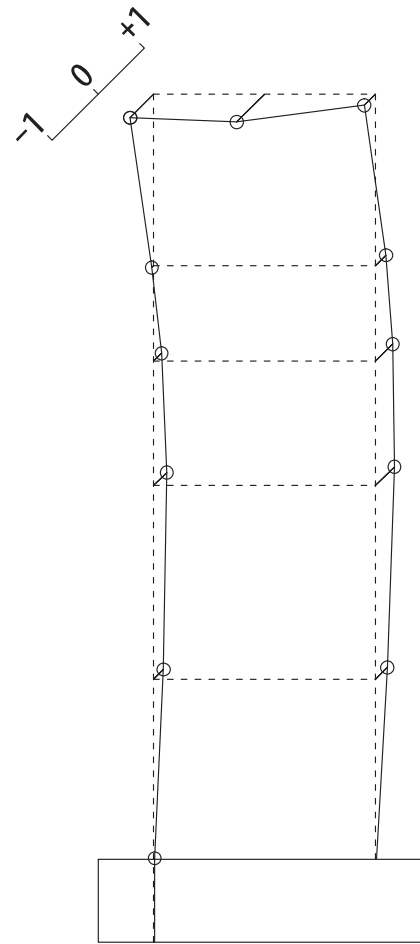
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.063	15.80	1.480	全体 1 次
2	0.026	38.23	0.898	全体 2 次
3	0.019	52.60	0.548	全体 3 次
4	0.014	69.84	0.160	

固有周期 0.218 s
固有振動数 4.59 Hz
刺激係数 1.476

固有周期 0.091 s
固有振動数 10.99 Hz
刺激係数 0.602



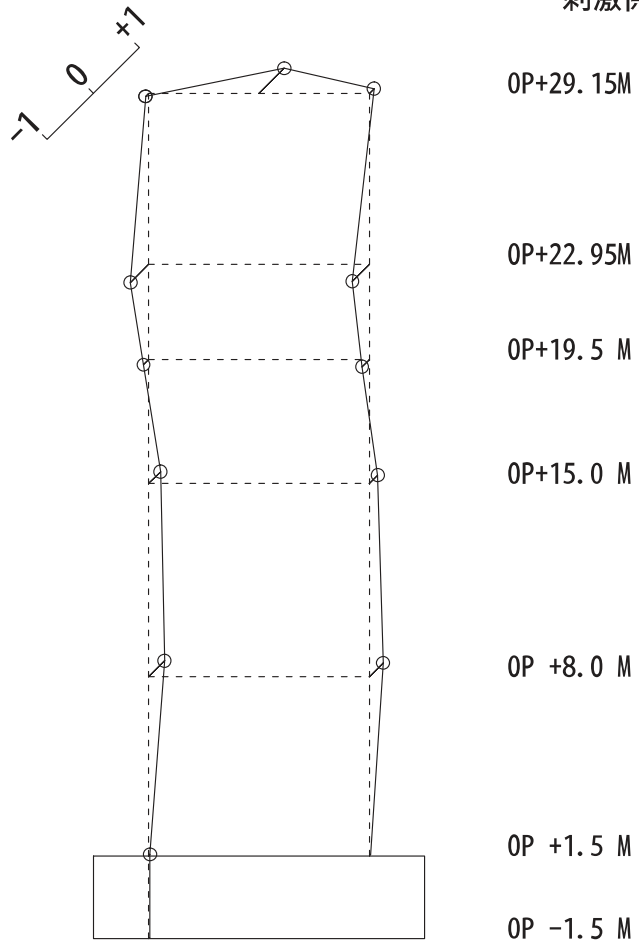
1 次モード



2 次モード

図 4-1(1) 刺激関数図 (NS 方向) (1/2)

固有周期 0.057 s
固有振動数 17.56 Hz
刺激係数 0.550

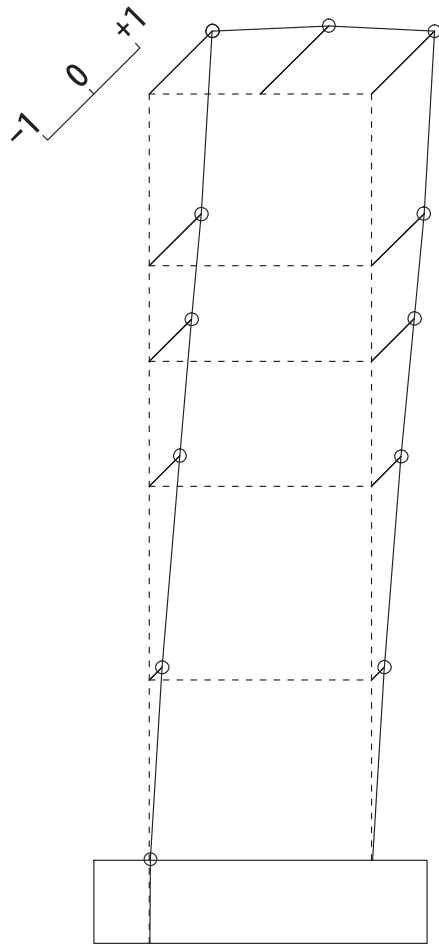


6次モード

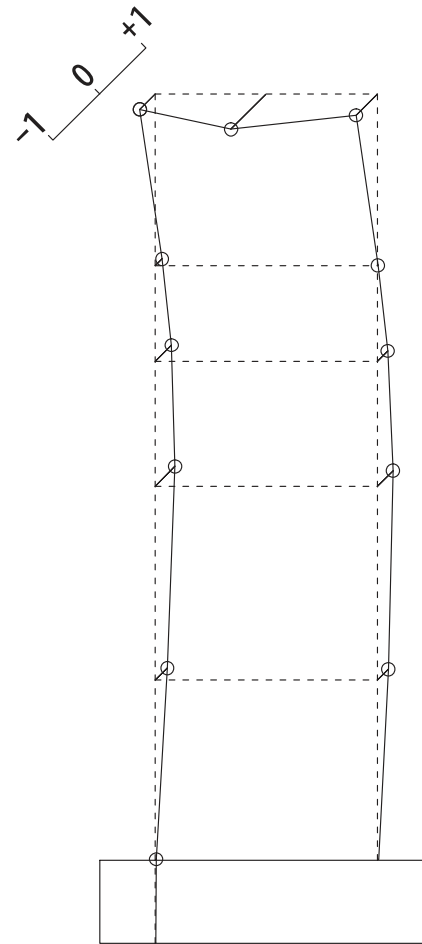
図 4-1(2) 刺激関数図 (NS 方向) (2/2)

固有周期 0.202 s
 固有振動数 4.96 Hz
 刺激係数 1.481

固有周期 0.082 s
 固有振動数 12.17 Hz
 刺激係数 0.761



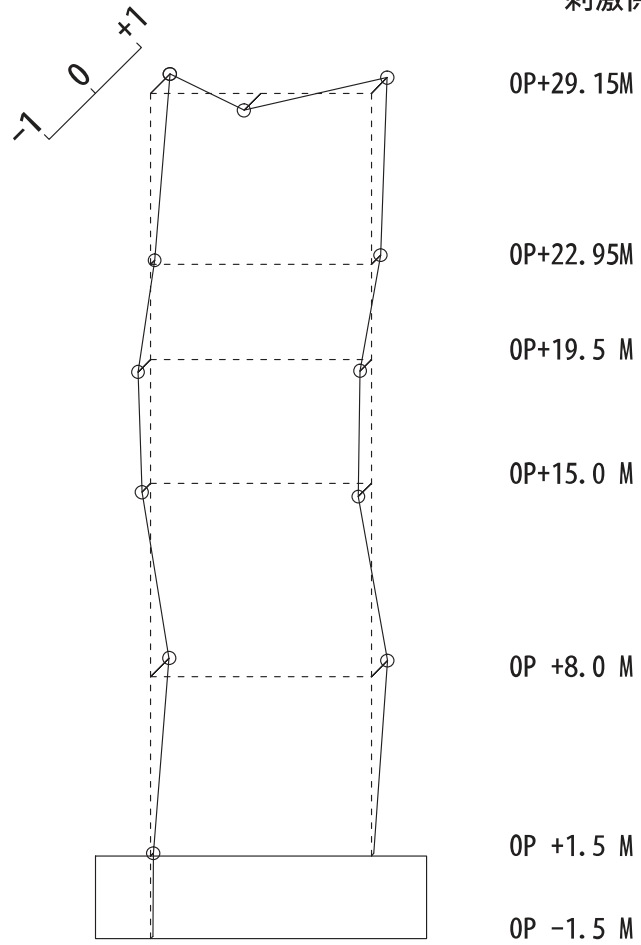
1 次モード



3 次モード

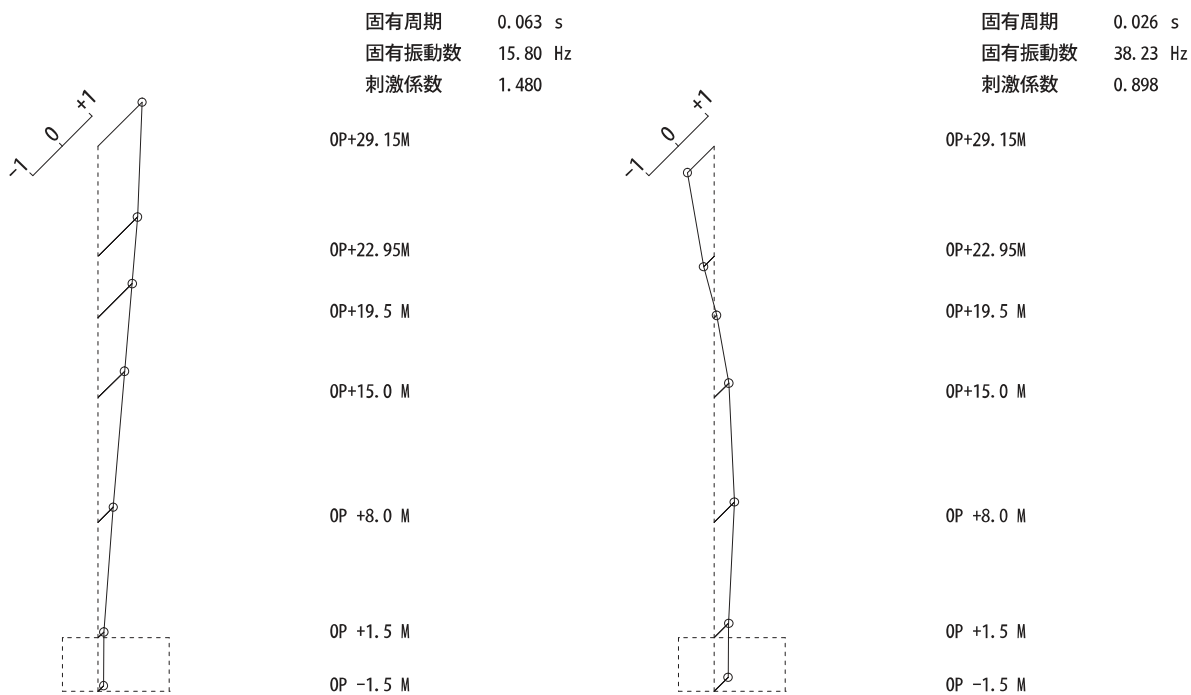
図 4-1(3) 刺激関数図 (EW 方向) (1/2)

固有周期 0.040 s
固有振動数 25.18 Hz
刺激係数 0.423



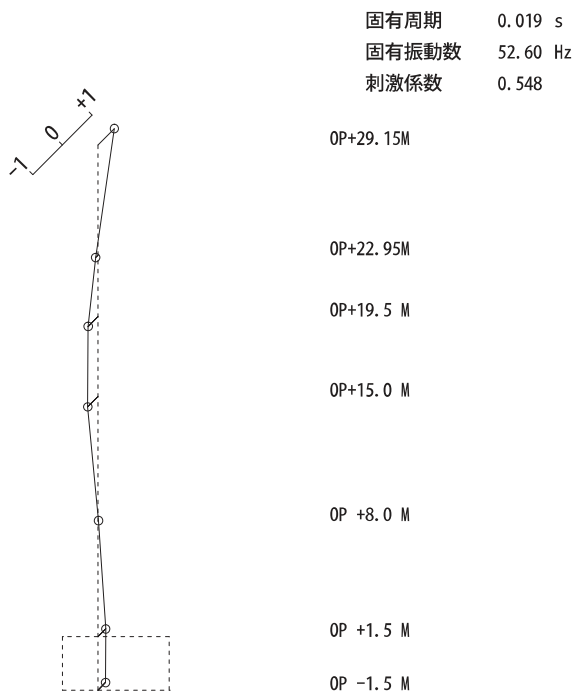
8次モード

図 4-1(4) 刺激関数図 (EW 方向) (2/2)



1 次モード

2 次モード



3 次モード

図 4-1(5) 刺激関数図 (UD 方向)

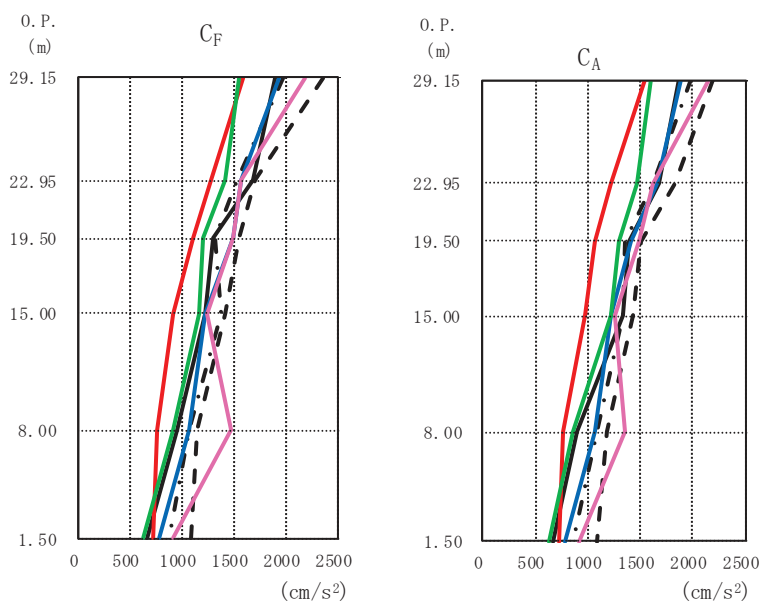
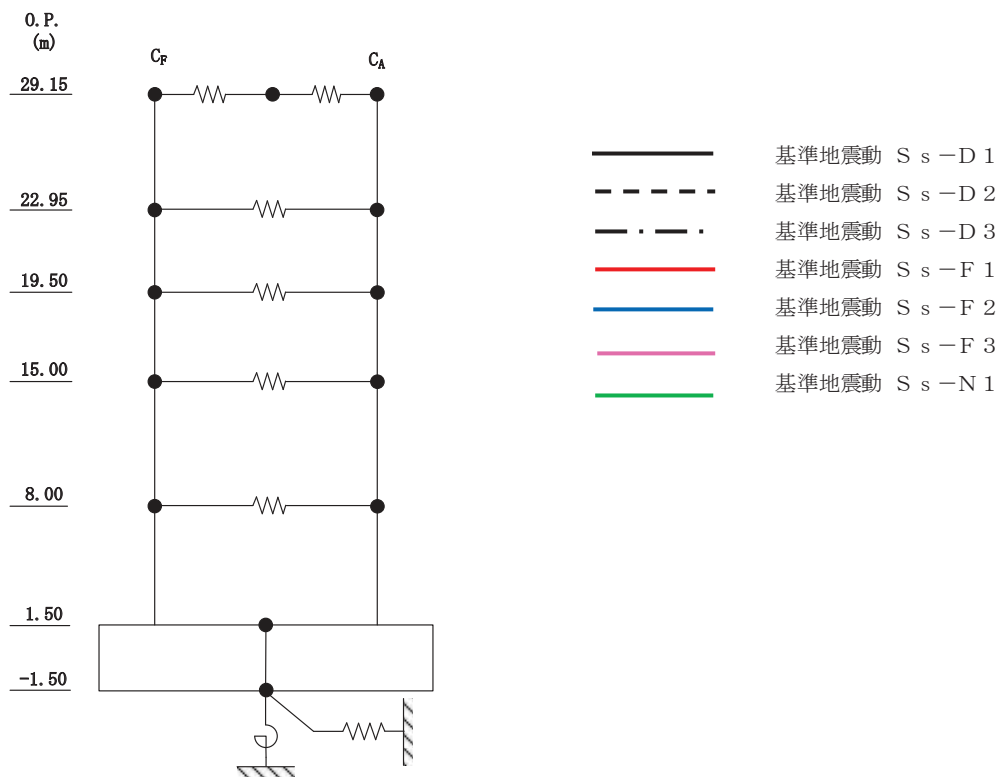


图 4-2 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, NS 方向)

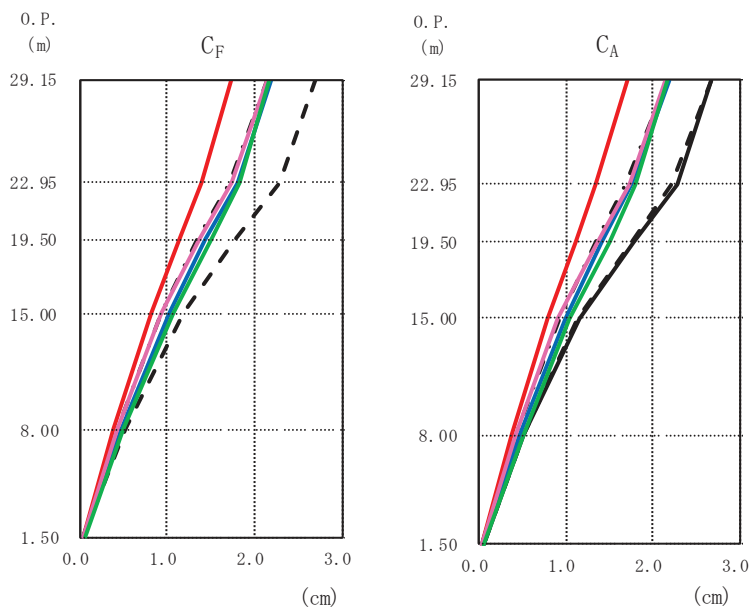
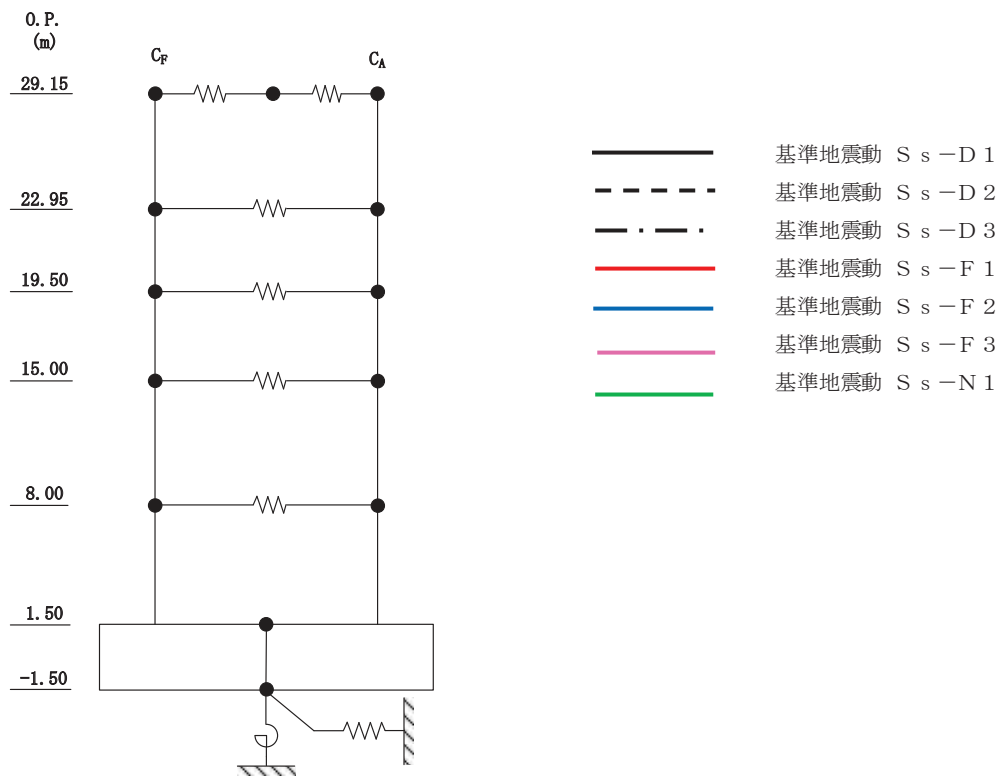


图 4-3 最大応答変位 (基準地震動 S_s , NS 方向)

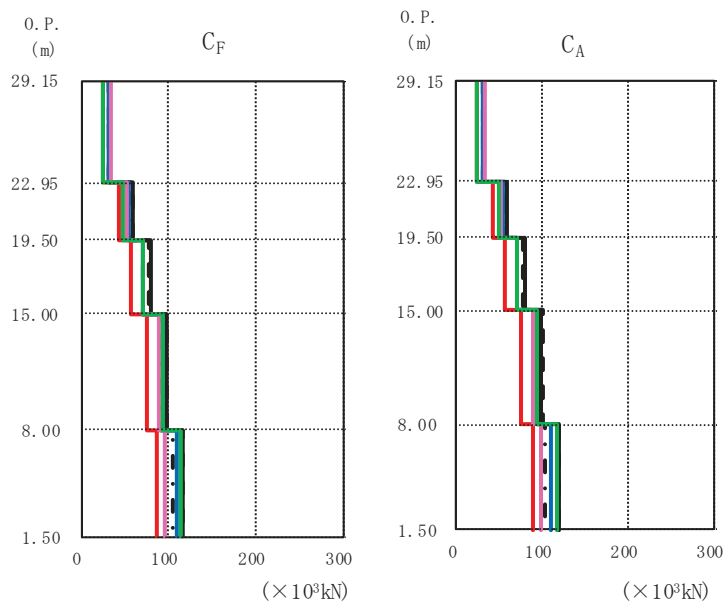
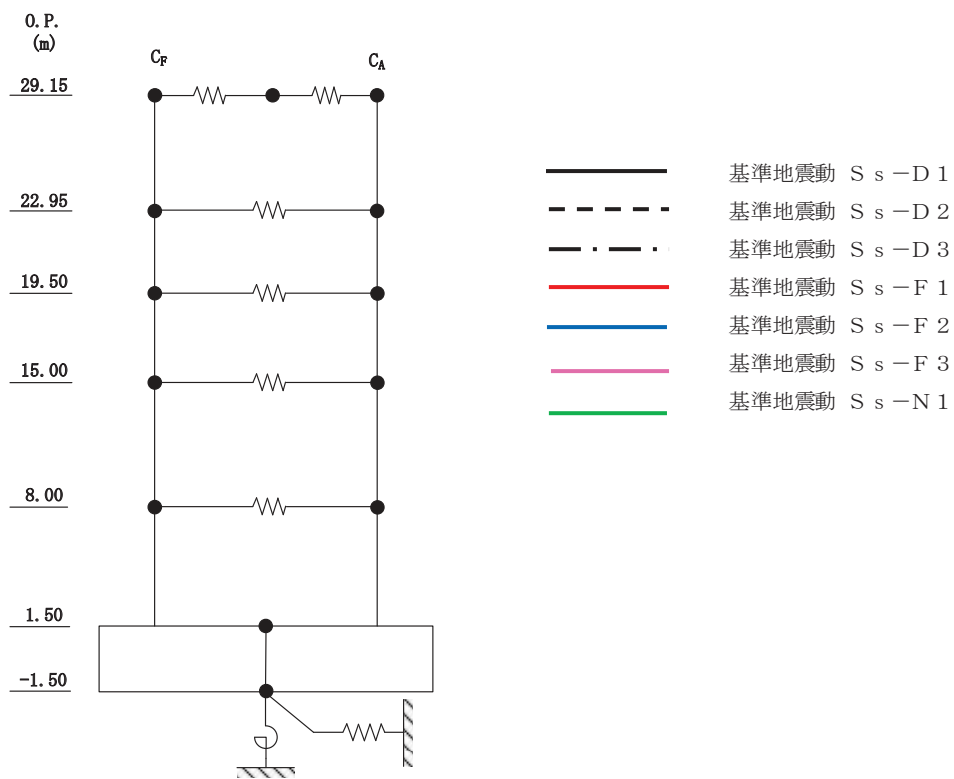


图 4-4 最大応答せん断力 (基準地震動 S s , NS 方向)

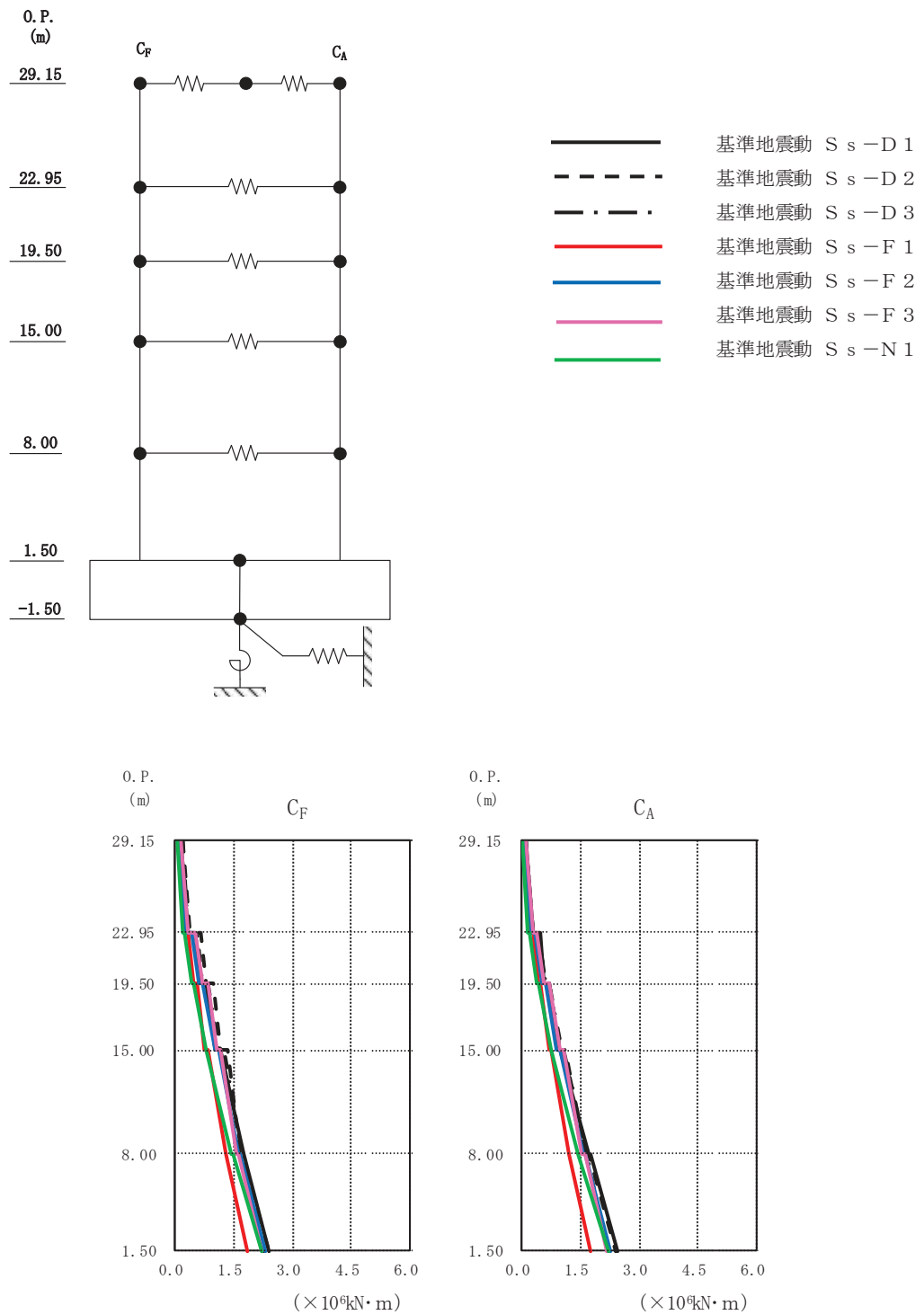
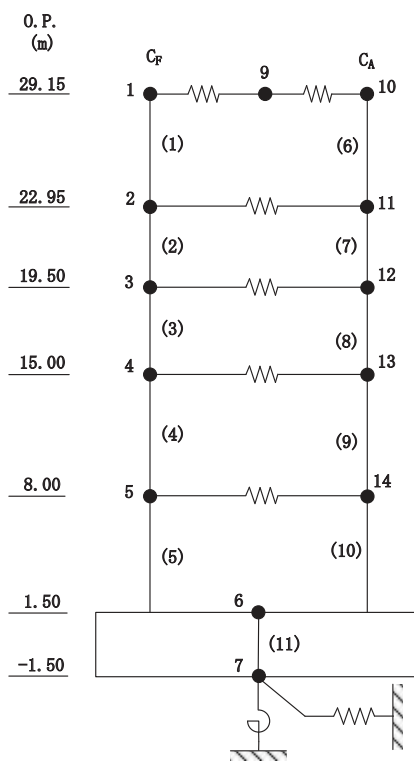


図 4-5 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , NS 方向)

表 4-2 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , NS 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(1)	0.43	0.44	0.42	0.34	0.42	0.45	0.33	0.45
(2)	1.29	1.28	1.05	0.57	1.03	0.96	0.76	1.29
(3)	1.14	1.07	0.80	0.55	0.78	0.79	0.78	1.14
(4)	0.83	0.85	0.63	0.52	0.67	0.62	0.68	0.85
(5)	0.67	0.69	0.58	0.48	0.60	0.53	0.64	0.69
(6)	0.54	0.54	0.53	0.42	0.52	0.56	0.40	0.56
(7)	1.27	1.22	1.00	0.56	0.97	0.89	0.73	1.27
(8)	1.24	1.19	0.87	0.56	0.89	0.86	0.89	1.24
(9)	0.77	0.77	0.60	0.50	0.62	0.60	0.63	0.77
(10)	0.66	0.65	0.56	0.47	0.59	0.52	0.63	0.66

O 2 ① VI-2-2-3 R 0



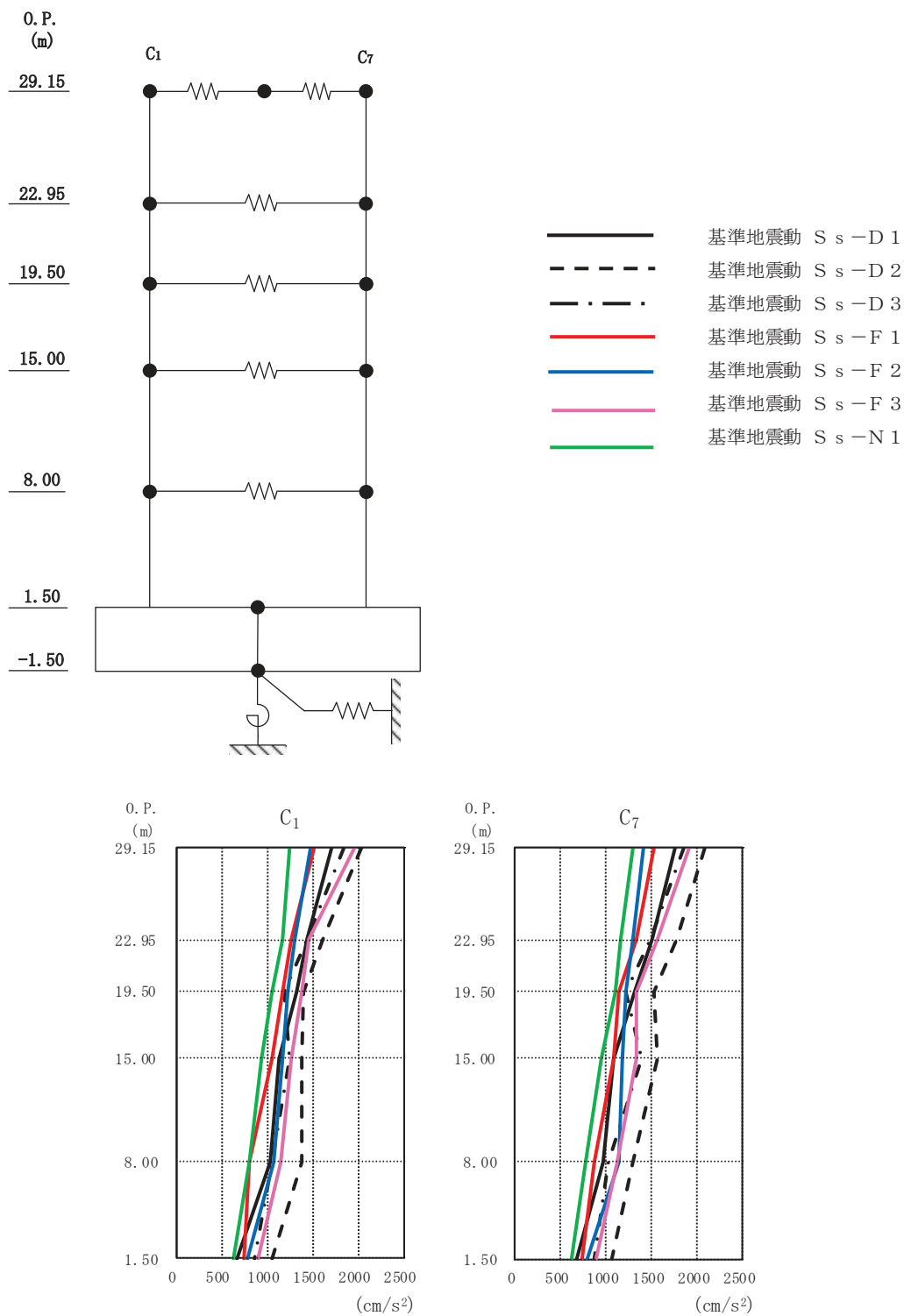


图 4-6 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, EW 方向)

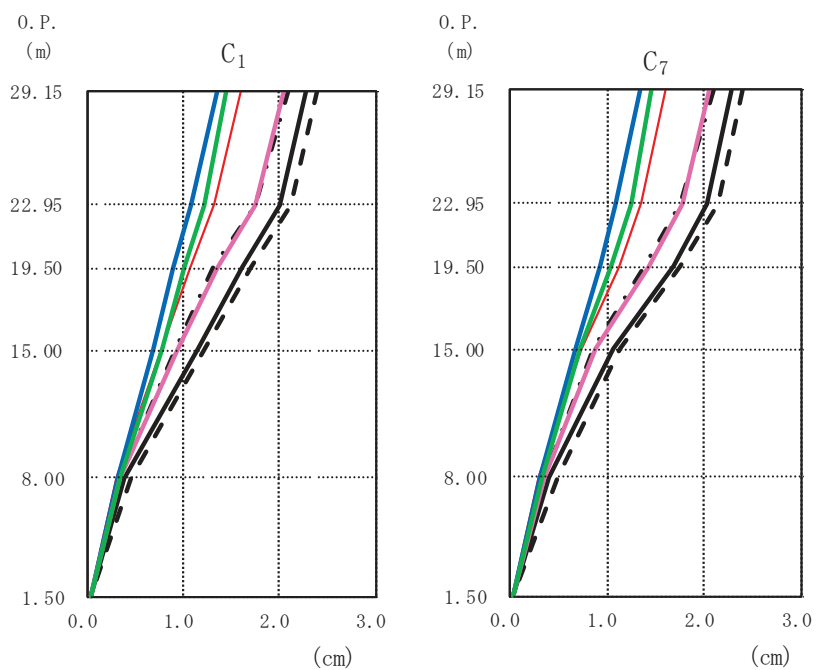
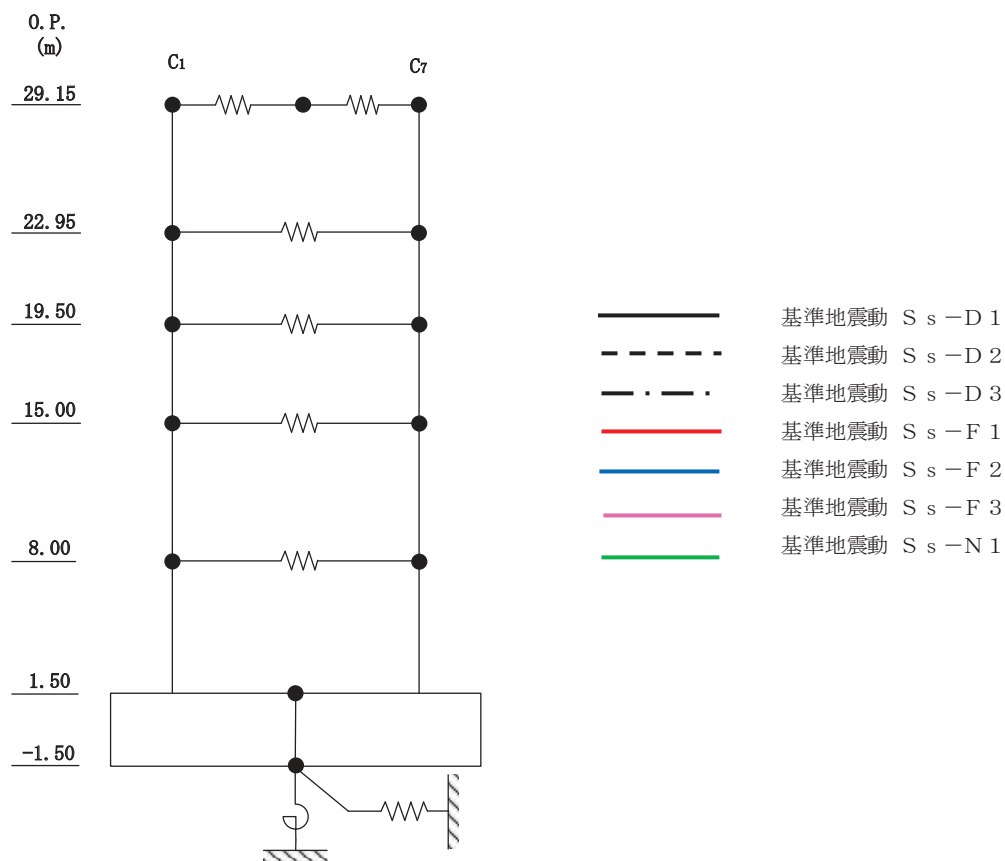


图 4-7 最大応答変位 (基準地震動 S_s , EW 方向)

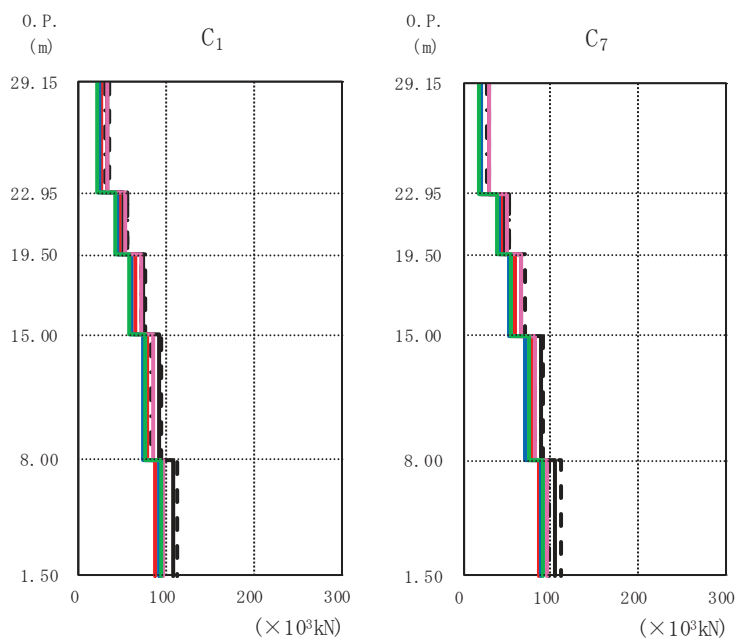
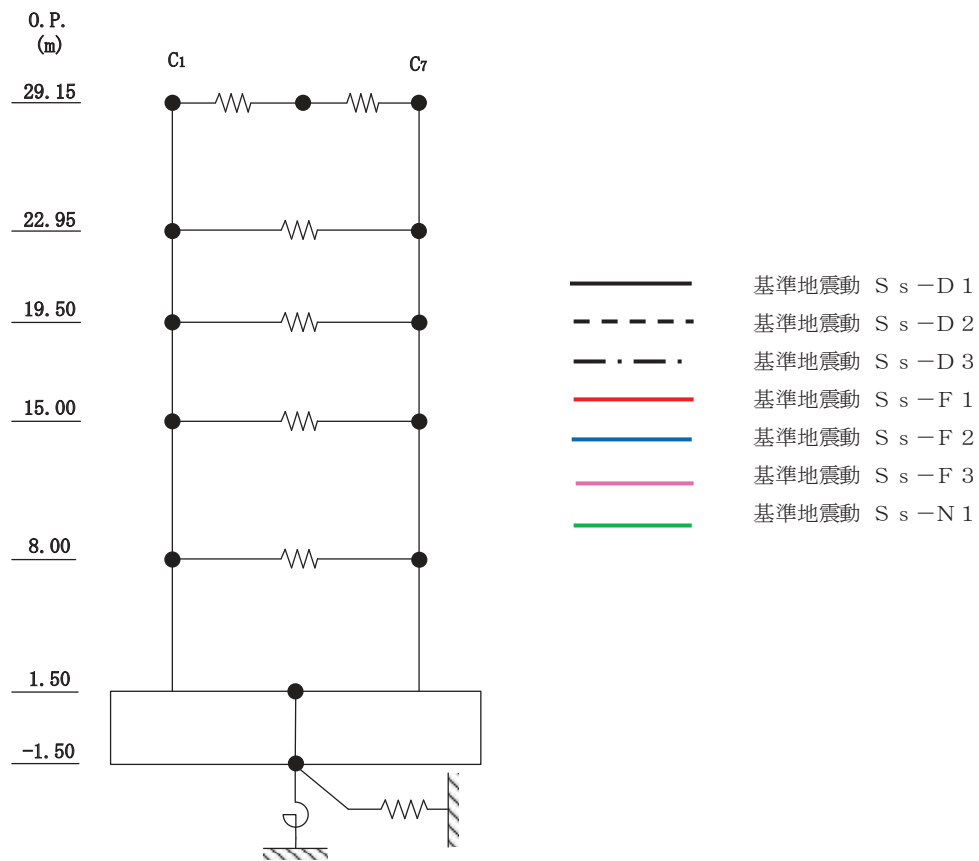


図 4-8 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s , EW 方向)

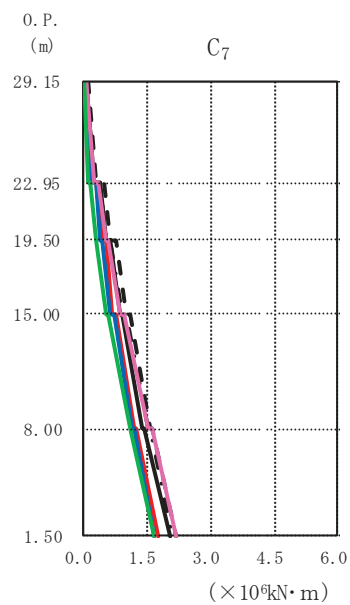
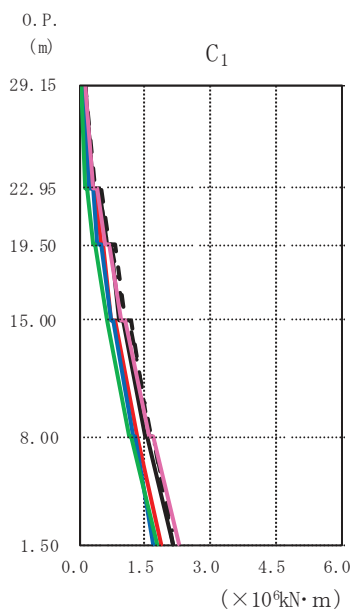
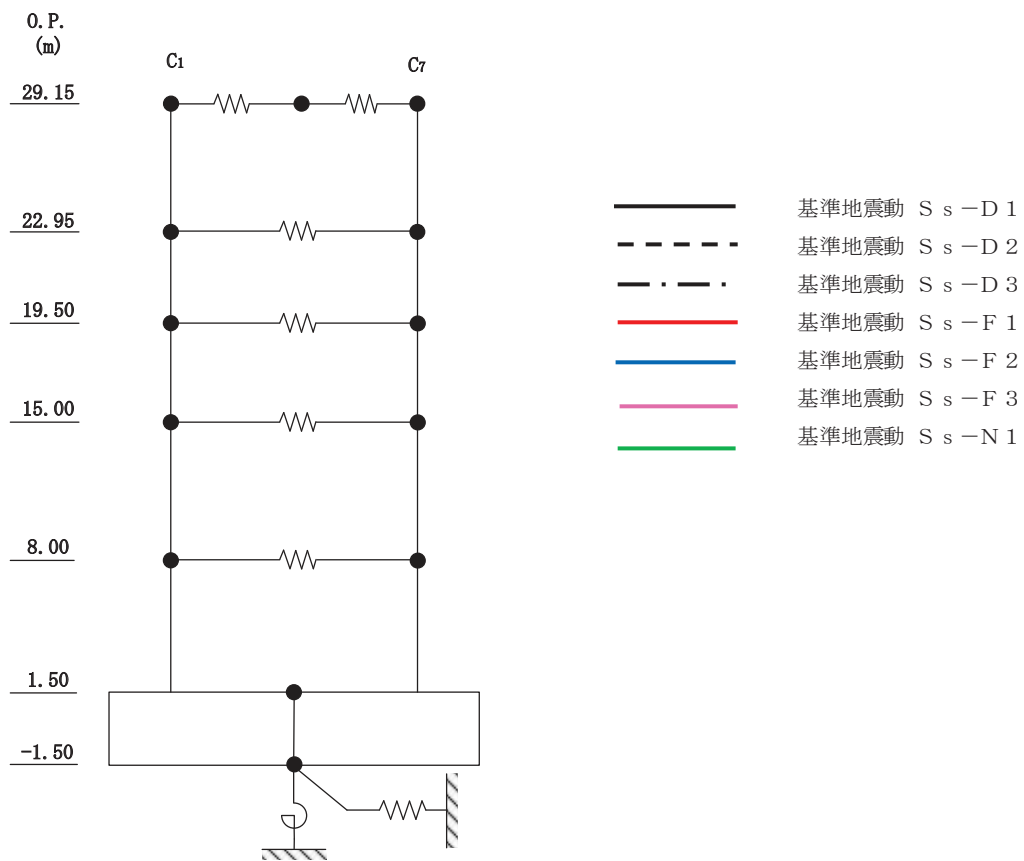
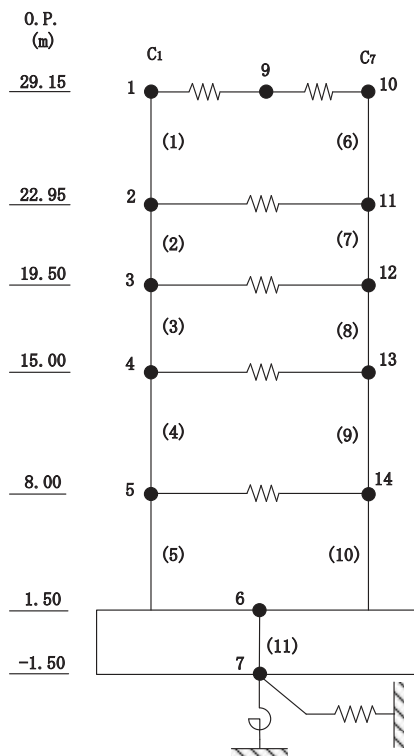


図 4-9 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, EW 方向)

表 4-3 最大応答せん断ひずみ一覧 (基準地震動 S_s , EW 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	S_s -D1	S_s -D2	S_s -D3	S_s -F1	S_s -F2	S_s -F3	S_s -N1	
(1)	0.35	0.37	0.34	0.27	0.26	0.35	0.22	0.37
(2)	0.97	1.19	1.17	0.66	0.54	1.10	0.45	1.19
(3)	0.84	0.95	0.76	0.49	0.43	0.79	0.43	0.95
(4)	0.98	1.05	0.75	0.59	0.47	0.80	0.54	1.05
(5)	0.49	0.58	0.43	0.38	0.40	0.42	0.41	0.58
(6)	0.34	0.36	0.32	0.25	0.24	0.34	0.21	0.36
(7)	0.85	1.00	1.04	0.50	0.45	0.92	0.42	1.04
(8)	1.21	1.34	1.14	0.84	0.56	1.15	0.62	1.34
(9)	0.83	0.89	0.63	0.50	0.43	0.66	0.46	0.89
(10)	0.51	0.64	0.44	0.39	0.41	0.44	0.42	0.64

O 2 ① VI-2-2-3 R 0



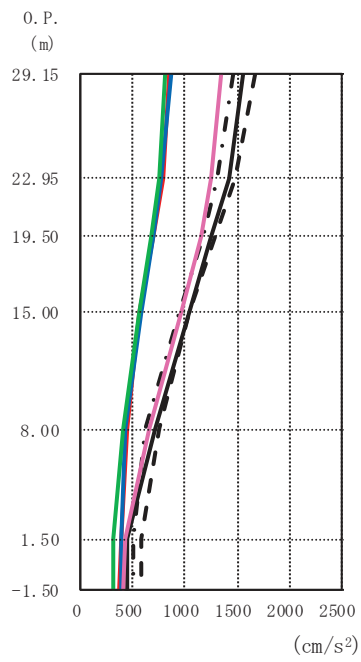
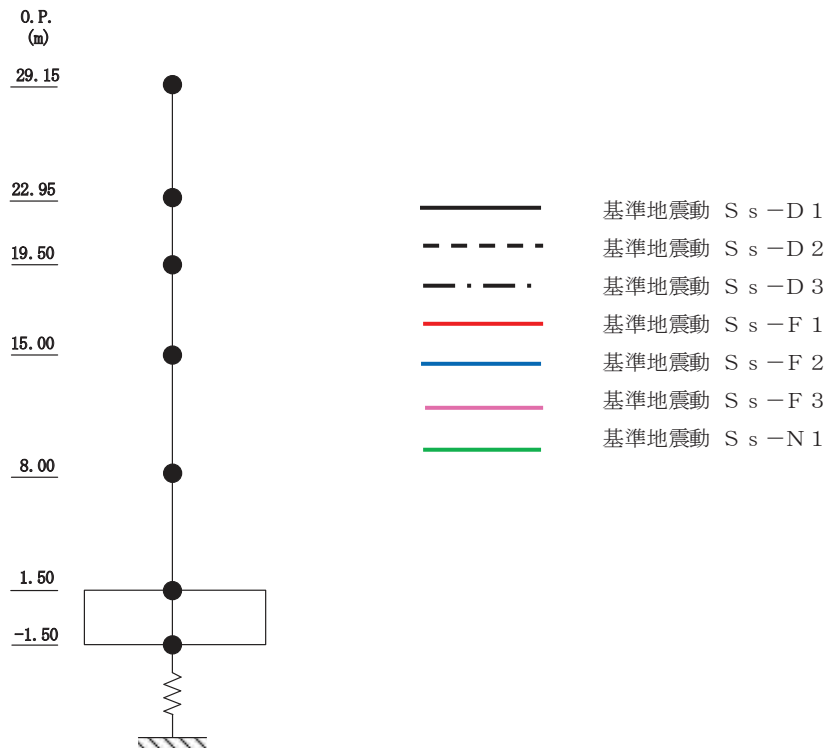


图 4-10 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, UD 方向)

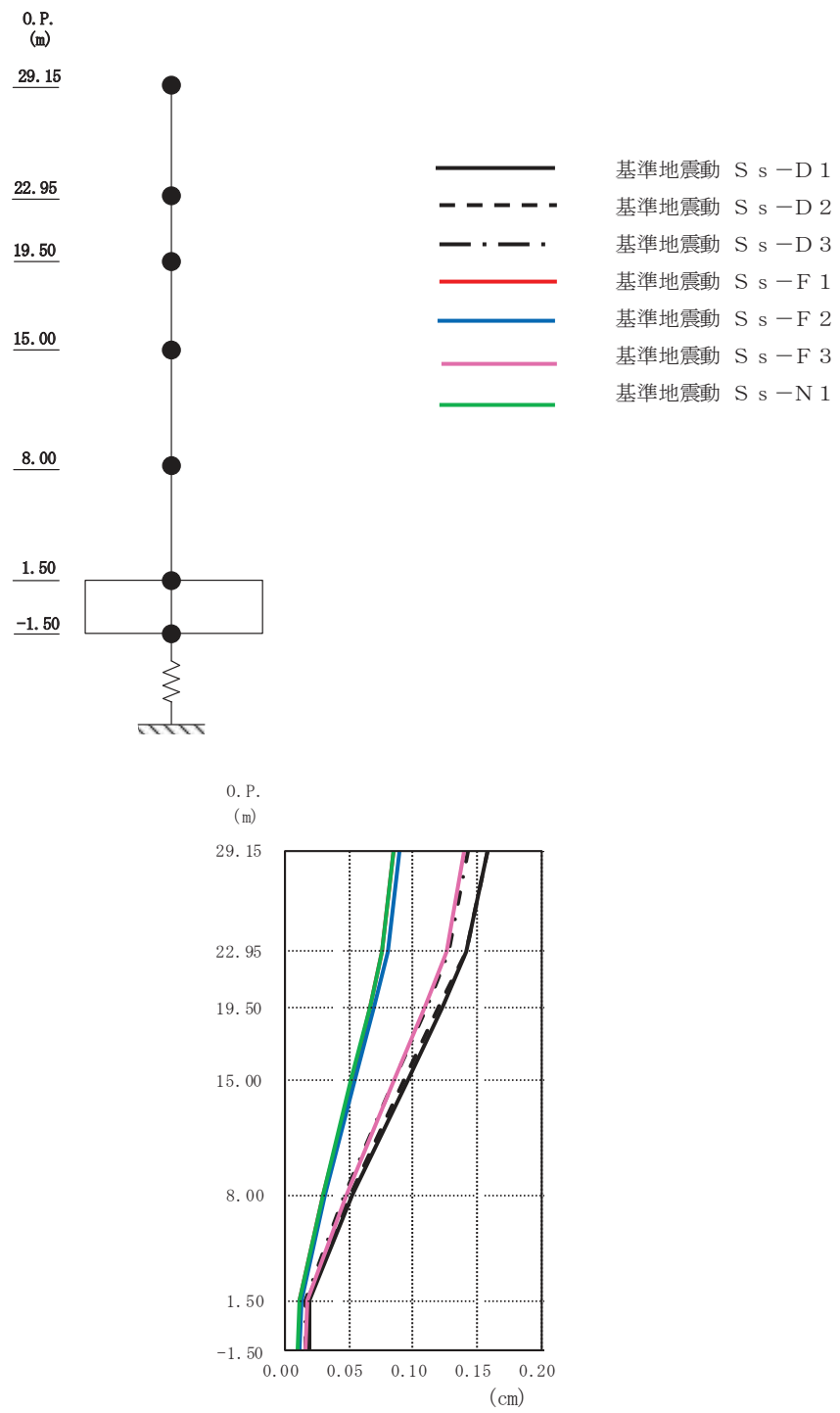


图 4-11 最大応答変位 (基準地震動 S_s, UD 方向)

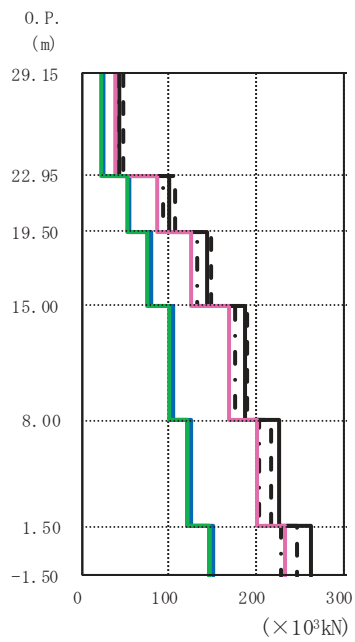
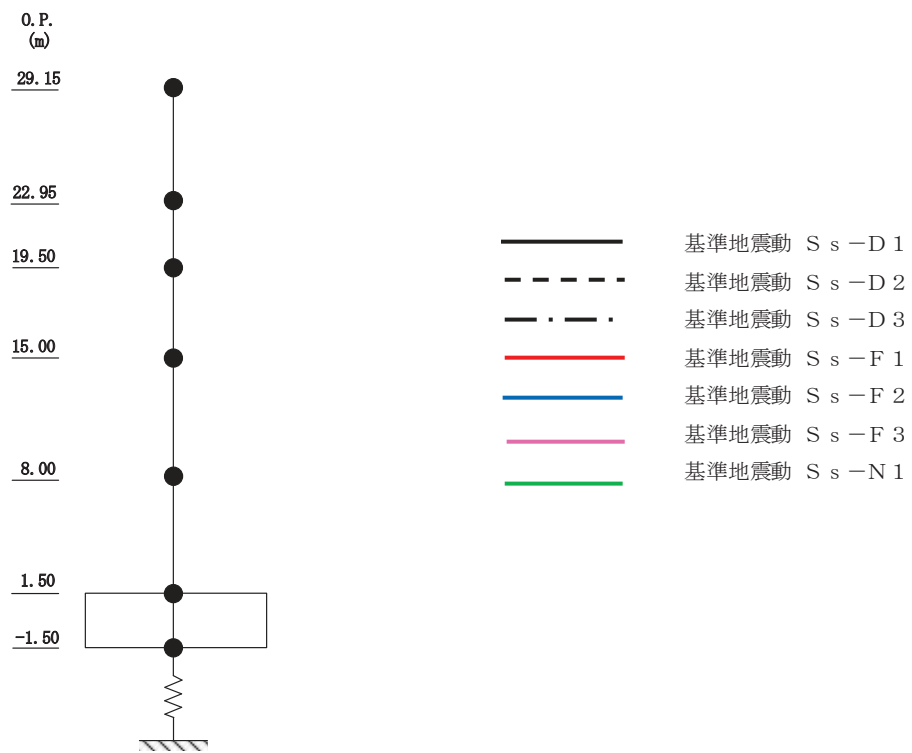


图 4-12 最大応答軸力（基準地震動 S_s，UD 方向）

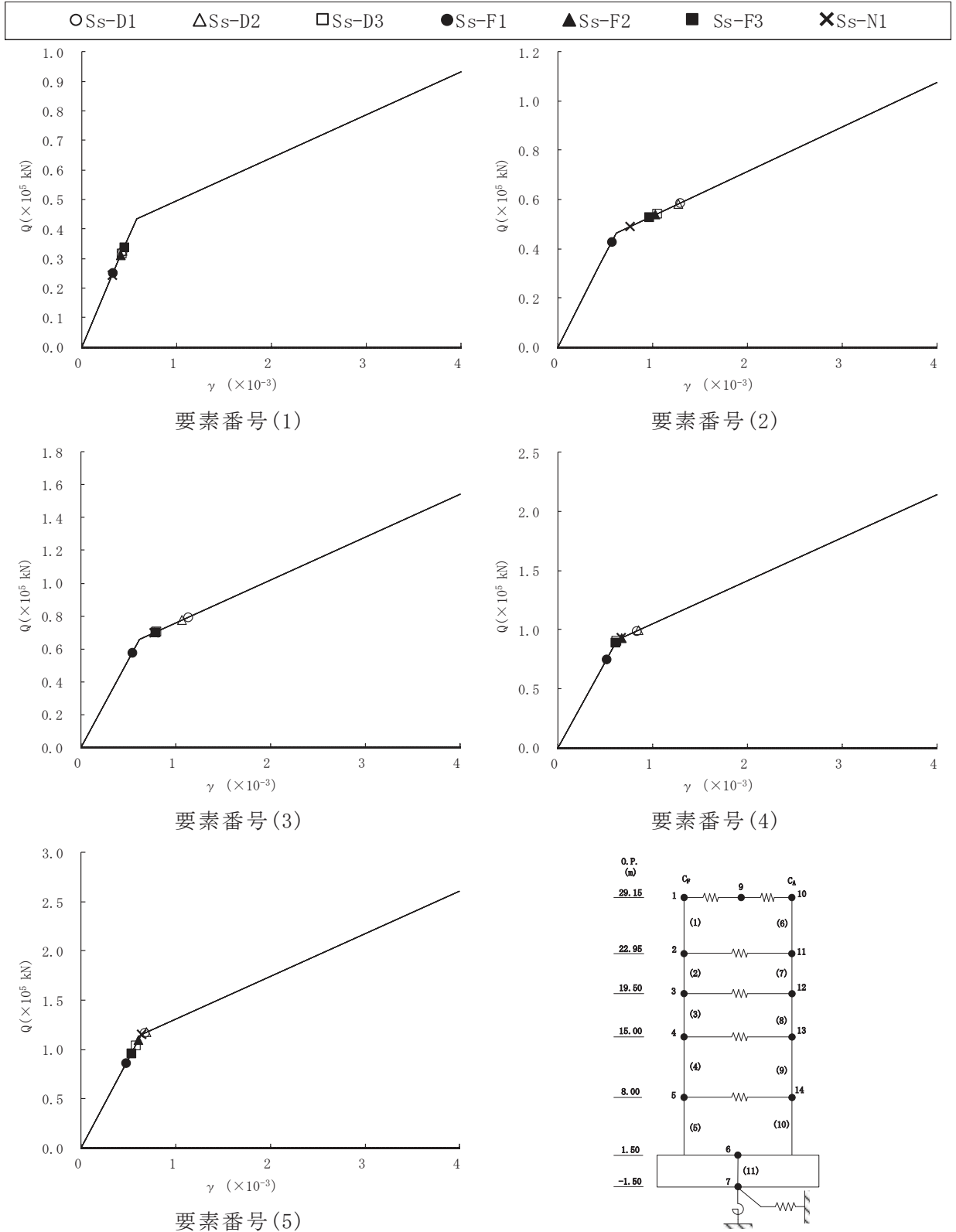


図 4-13(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S s, NS 方向) (1/2)

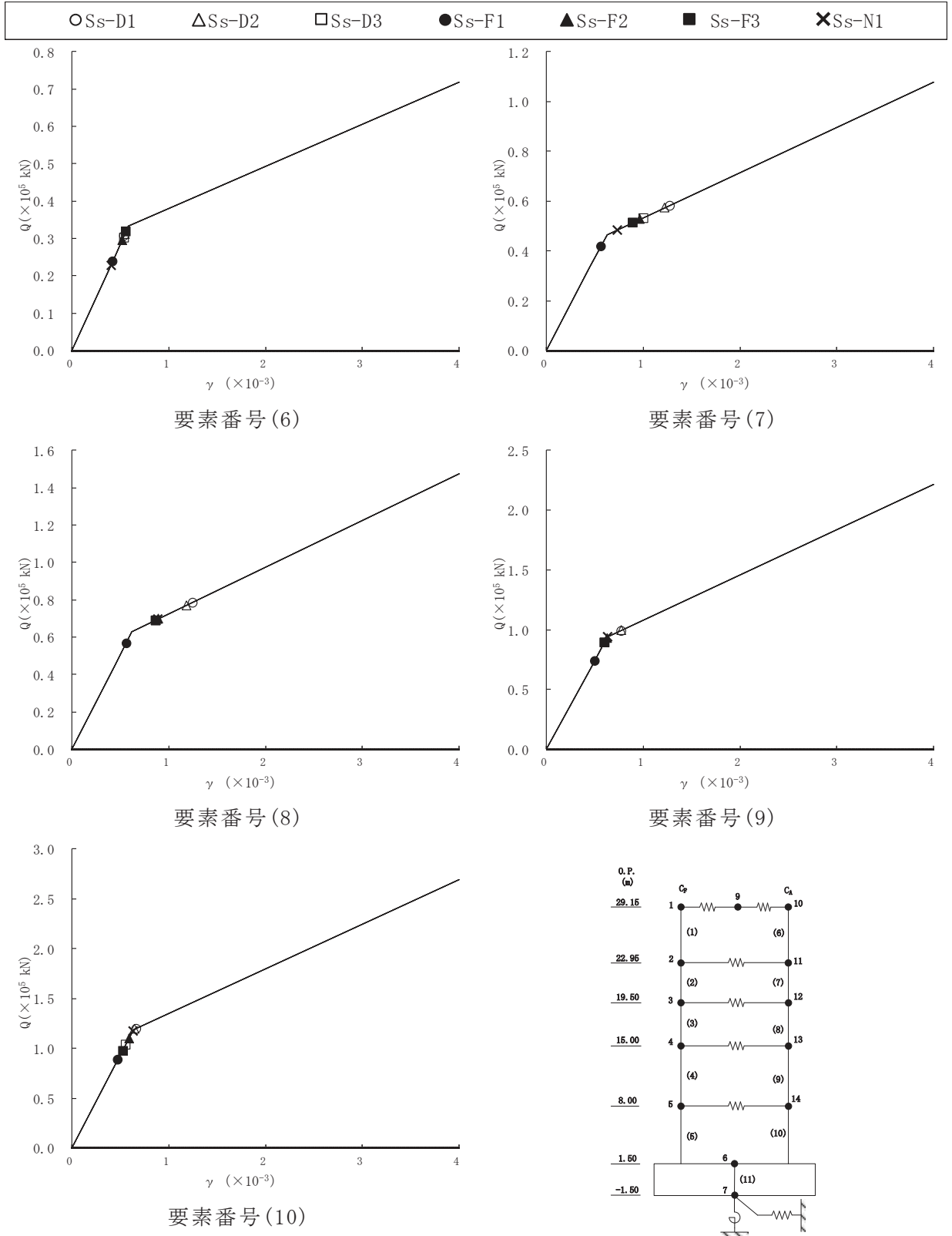


図 4-13(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S s, NS 方向) (2/2)

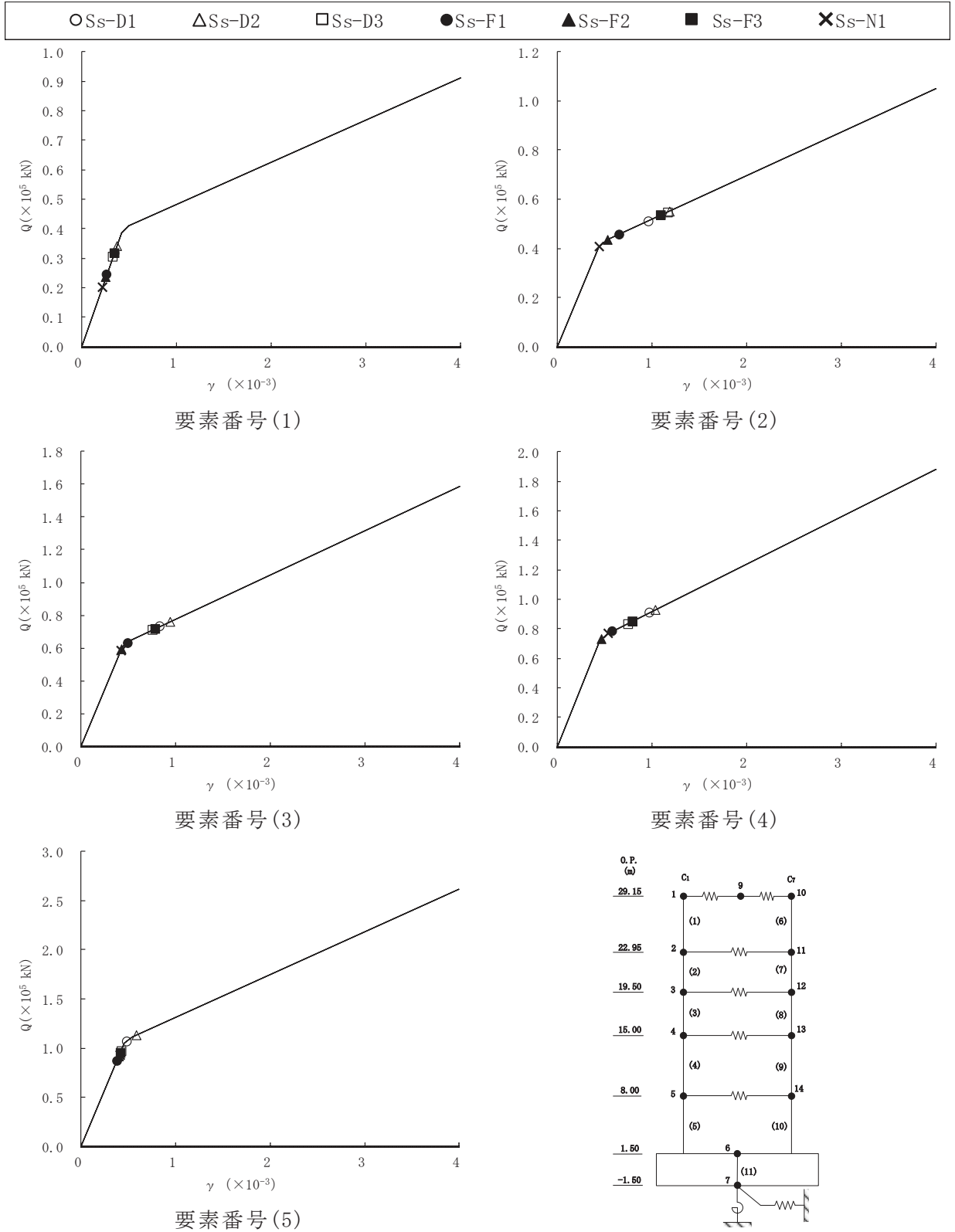


図 4-13(3) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (1/2)

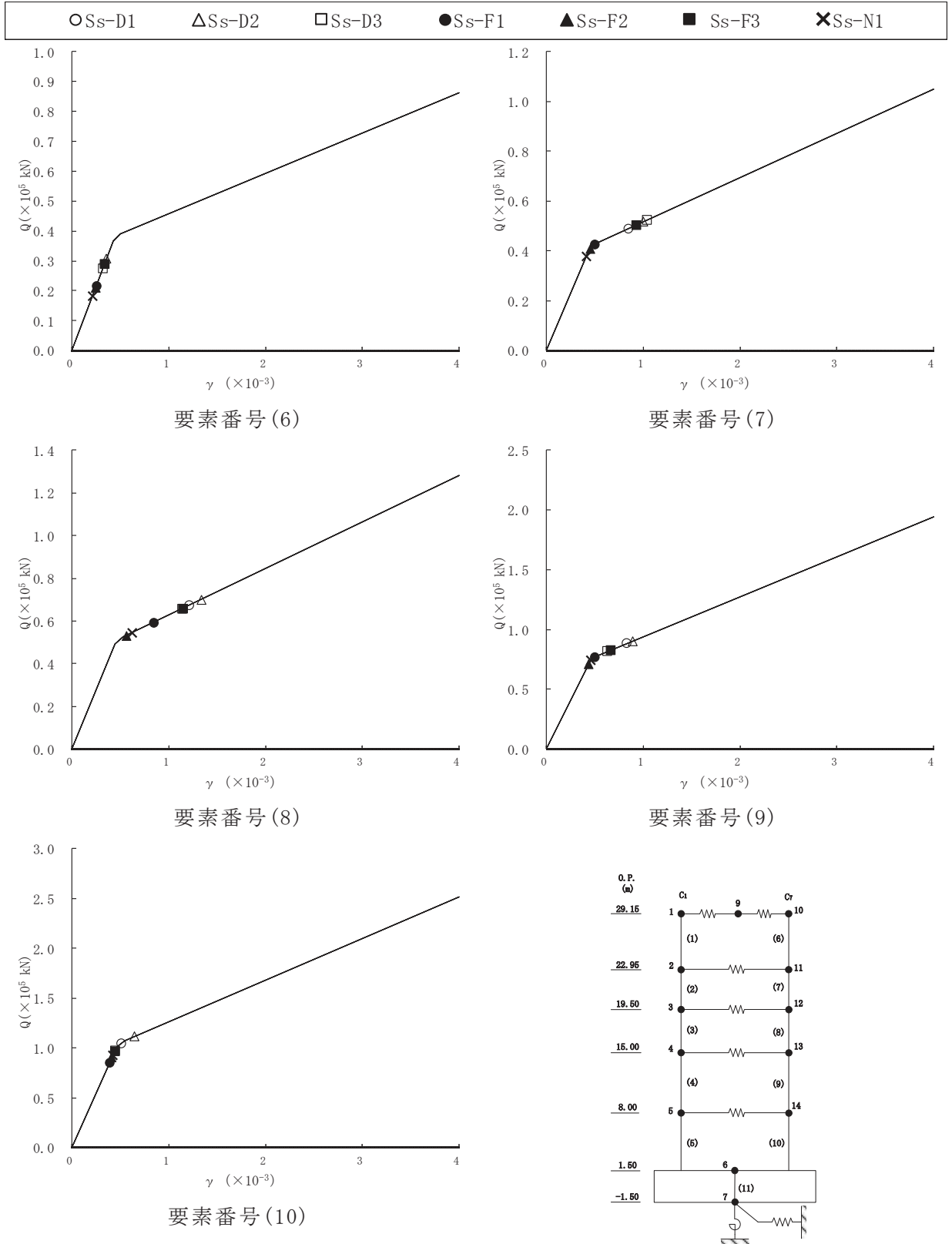


図 4-13(4) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (2/2)

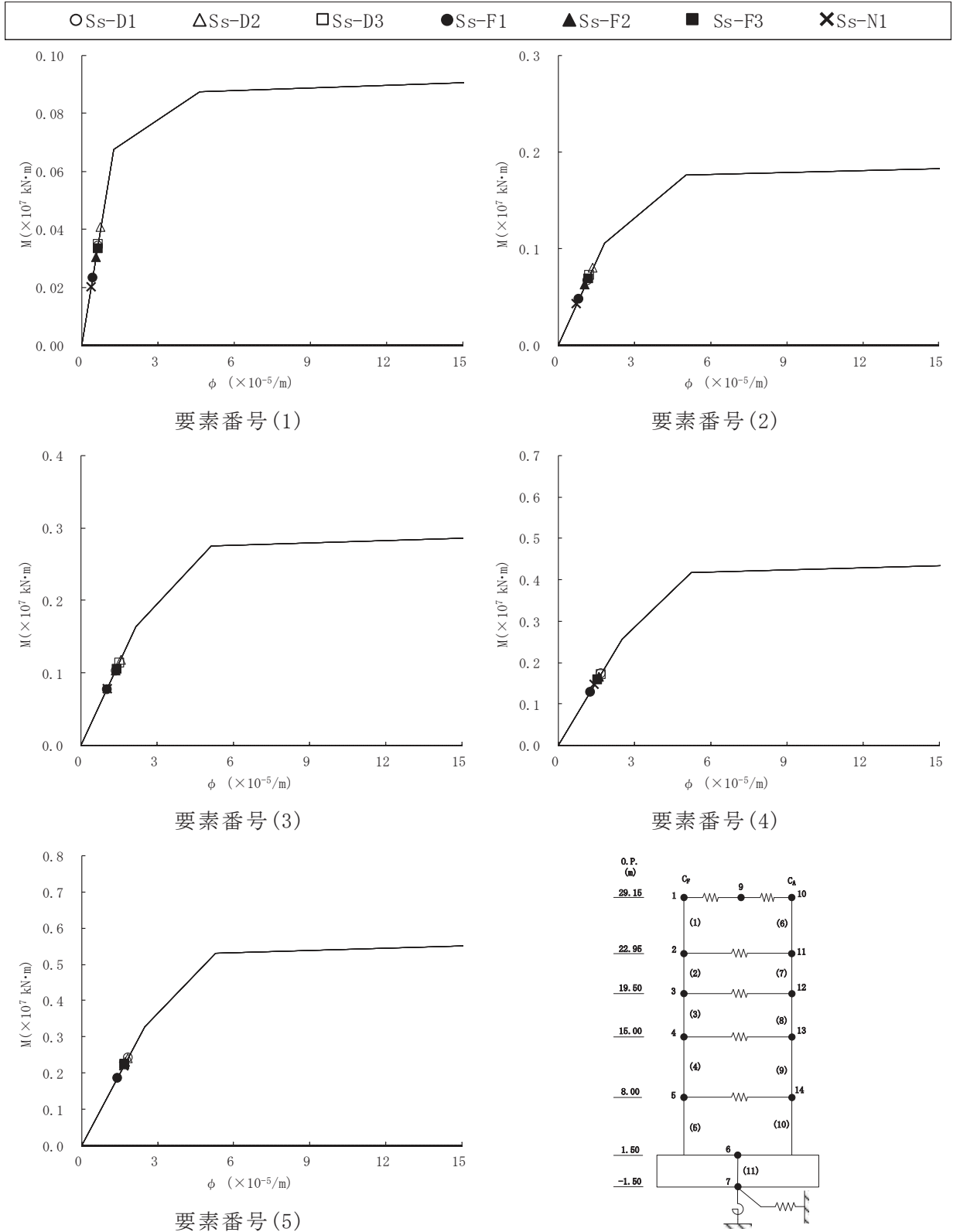


図 4-14(1) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S s, NS 方向) (1/2)

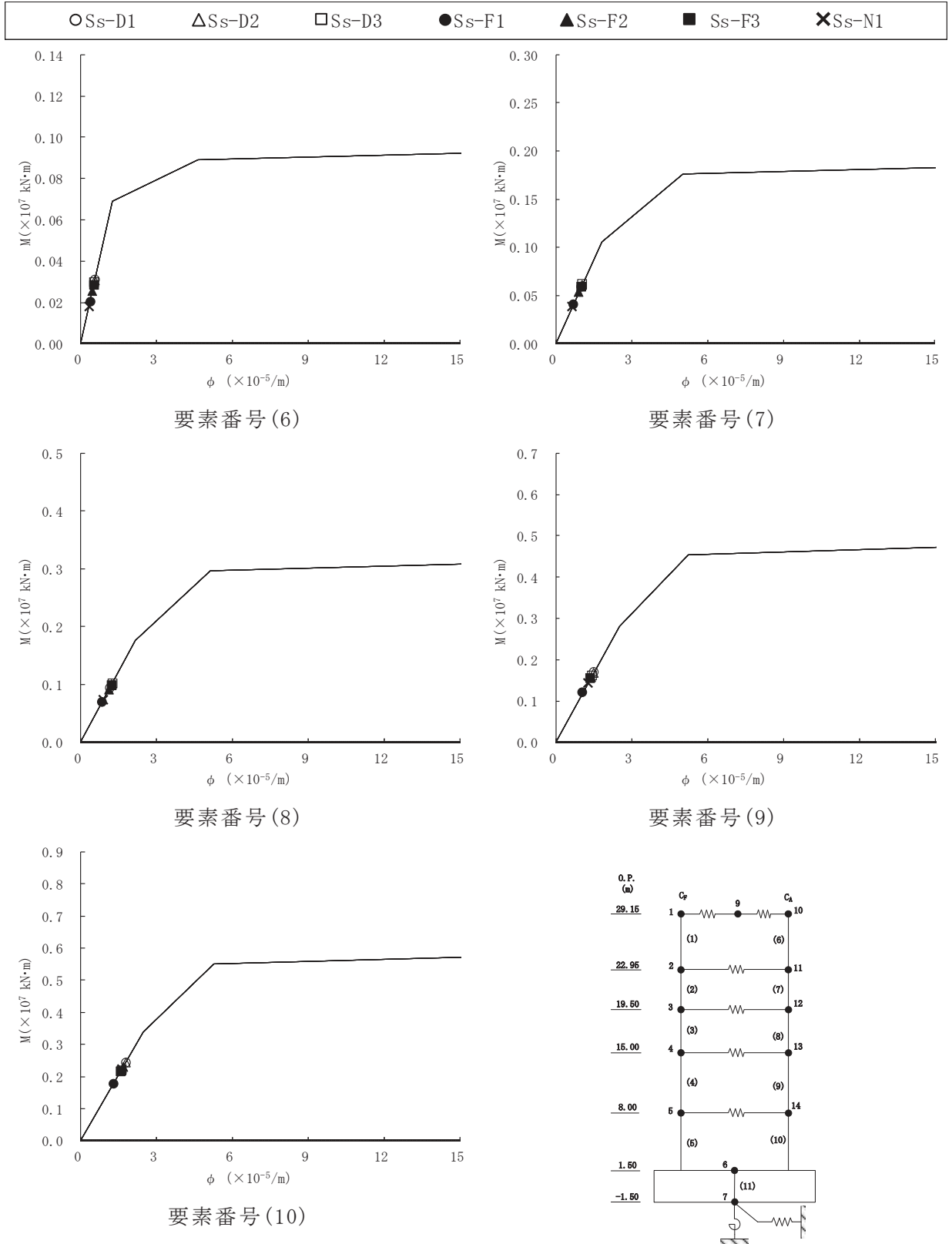
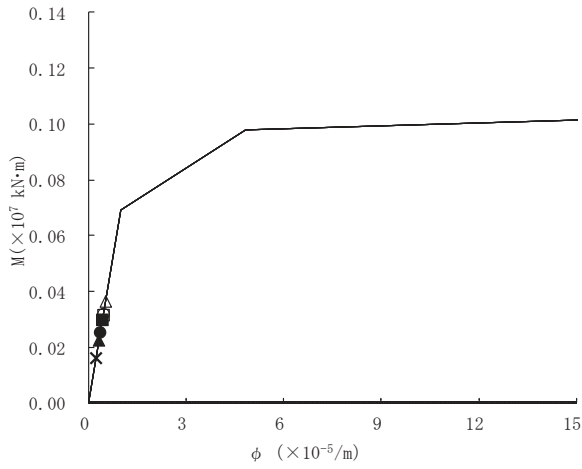
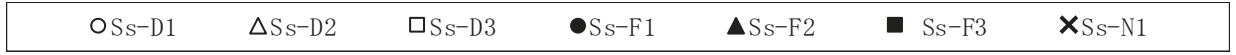
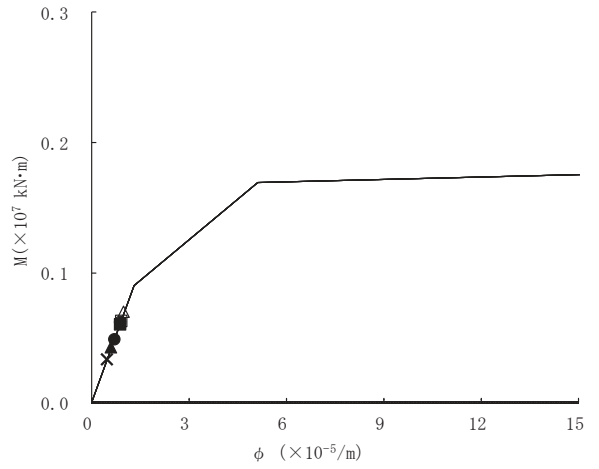


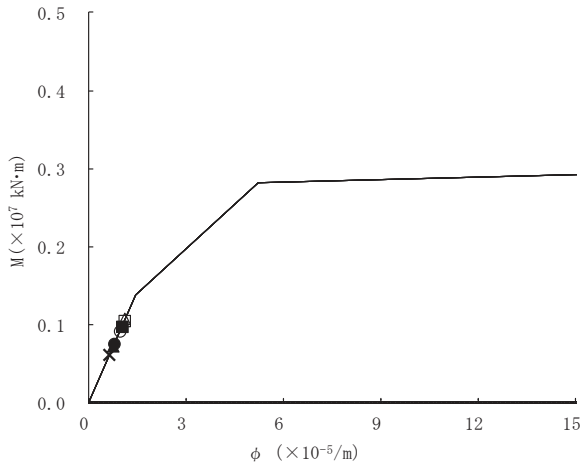
図 4-14(2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, NS 方向) (2/2)



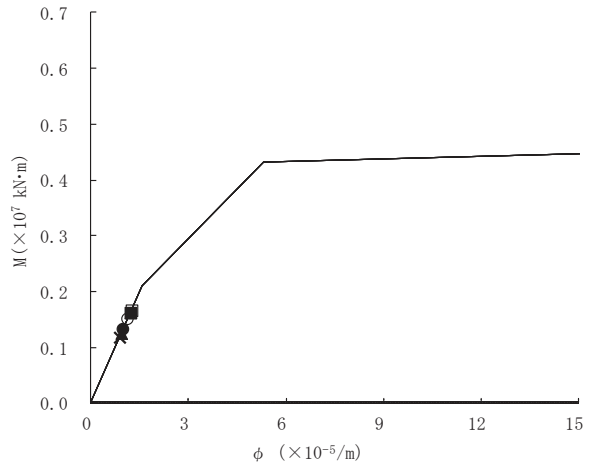
要素番号 (1)



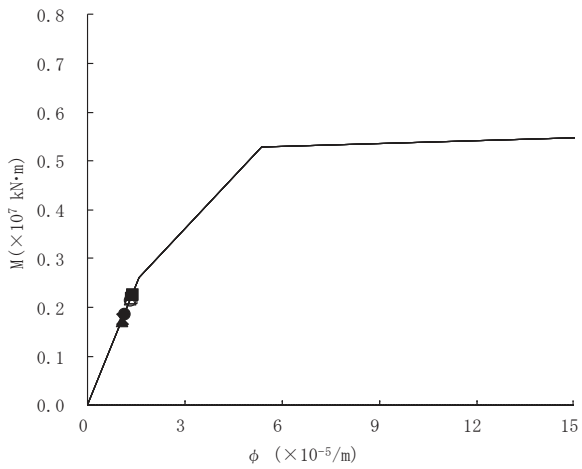
要素番号 (2)



要素番号 (3)



要素番号 (4)



要素番号 (5)

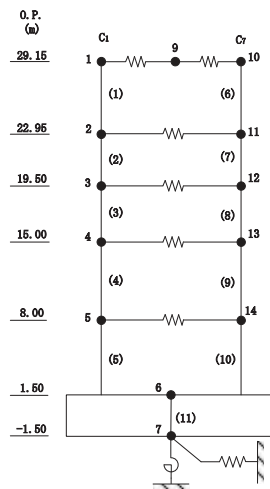
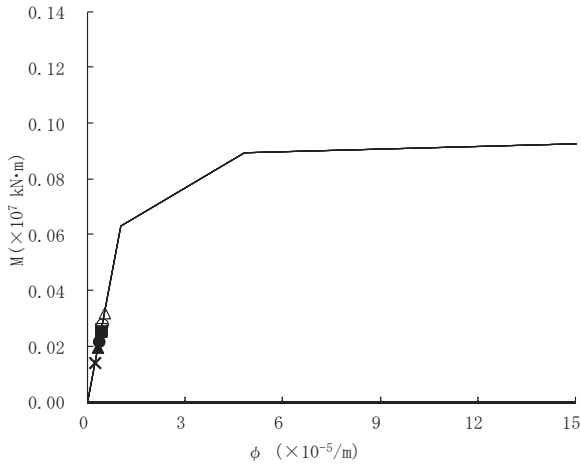
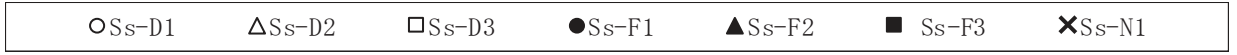
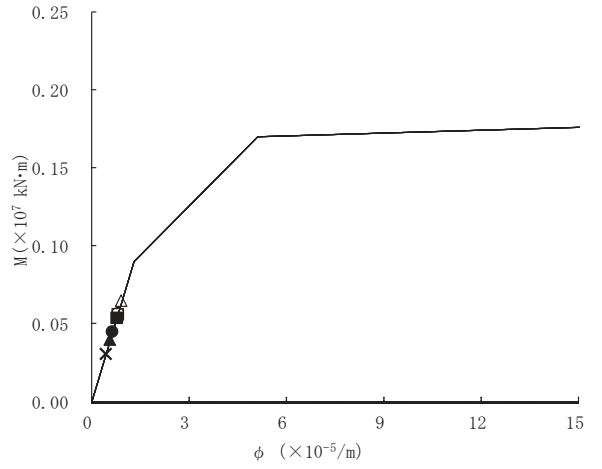


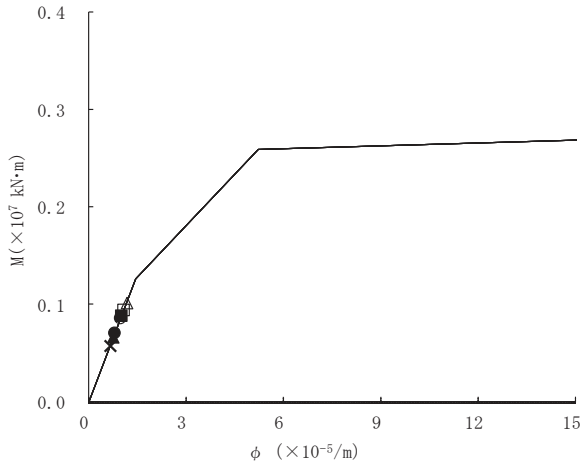
図 4-14(3) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (1/2)



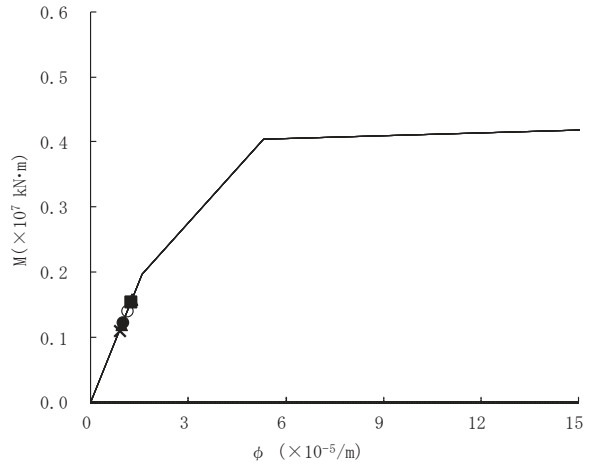
要素番号(6)



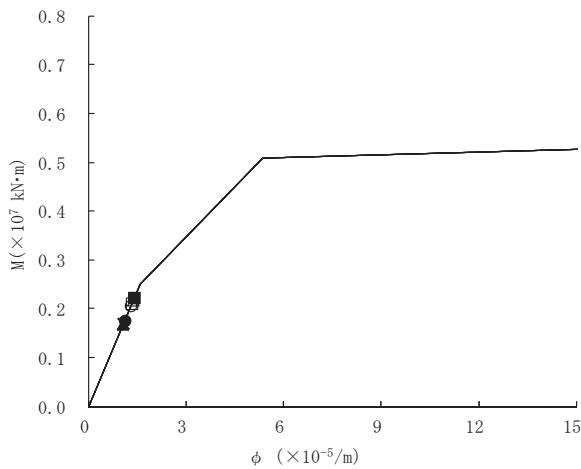
要素番号(7)



要素番号(8)



要素番号(9)



要素番号(10)

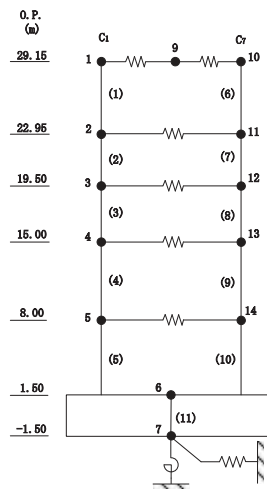


図 4-14(4) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値
(基準地震動 S_s, EW 方向) (2/2)

表 4-4 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地率

(a)NS 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)	最大転倒モーメント ($\times 10^4$ kN・m)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1^*$	2.07	56.2	59.0
$S_s - D 2^*$	1.77	56.7	58.2
$S_s - D 3$	0.89	50.4	68.4
$S_s - F 1$	0.58	42.5	81.2
$S_s - F 2^*$	0.83	53.0	64.1
$S_s - F 3$	0.90	50.1	68.8
$S_s - N 1^*$	0.82	53.1	64.0

注記* : 誘発上下動考慮モデル

(b)EW 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)	最大転倒モーメント ($\times 10^4$ kN・m)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1^*$	1.56	49.4	62.3
$S_s - D 2^*$	1.32	49.3	62.3
$S_s - D 3^*$	1.23	49.9	61.3
$S_s - F 1$	0.63	42.0	75.3
$S_s - F 2$	0.58	38.8	81.0
$S_s - F 3^*$	1.48	51.3	58.9
$S_s - N 1$	0.62	41.7	75.8

注記* : 誘発上下動考慮モデル

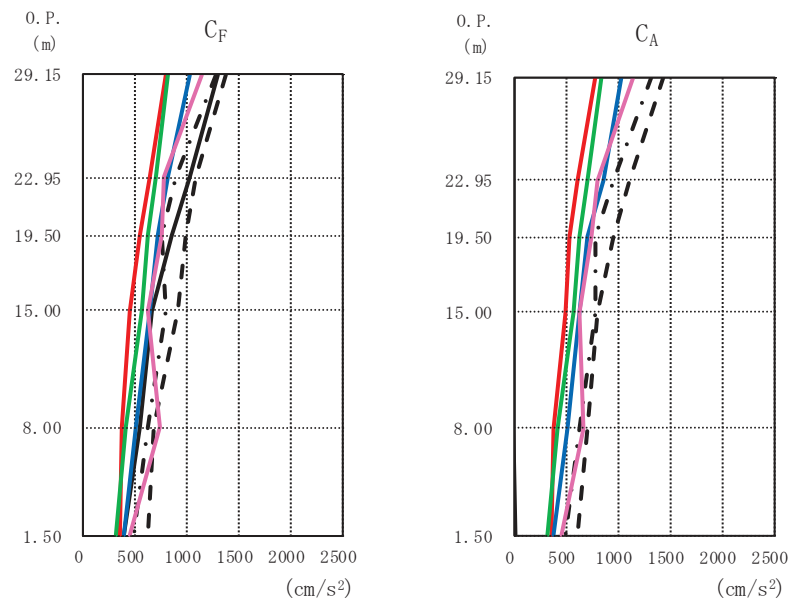
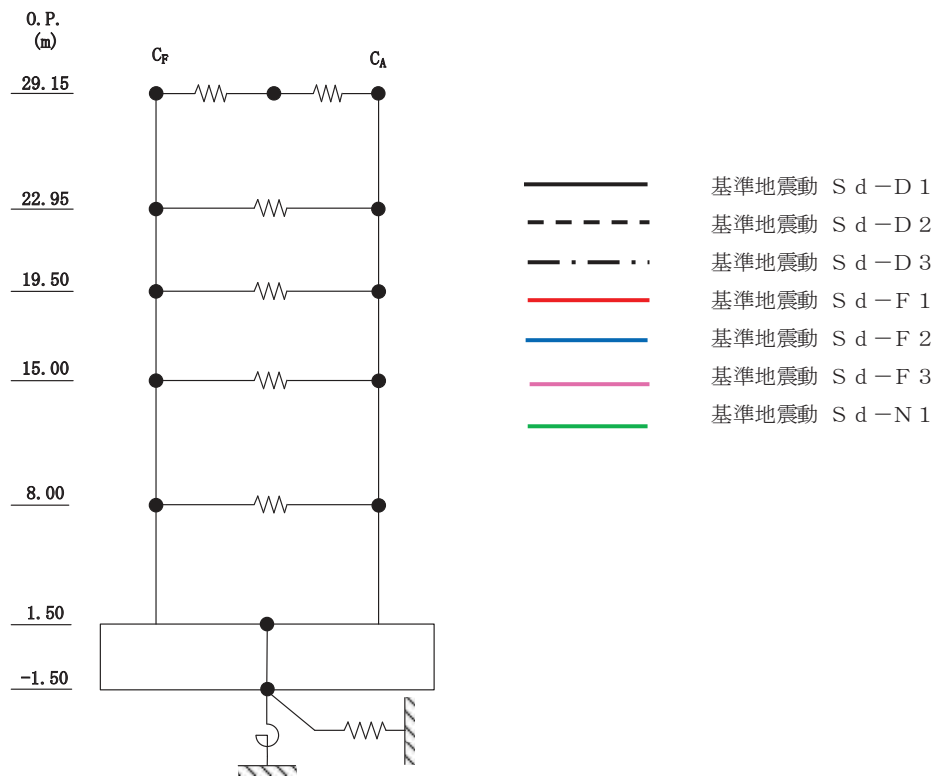


图 4-15 最大応答加速度 (弹性設計用地震動 S_d , NS 方向)

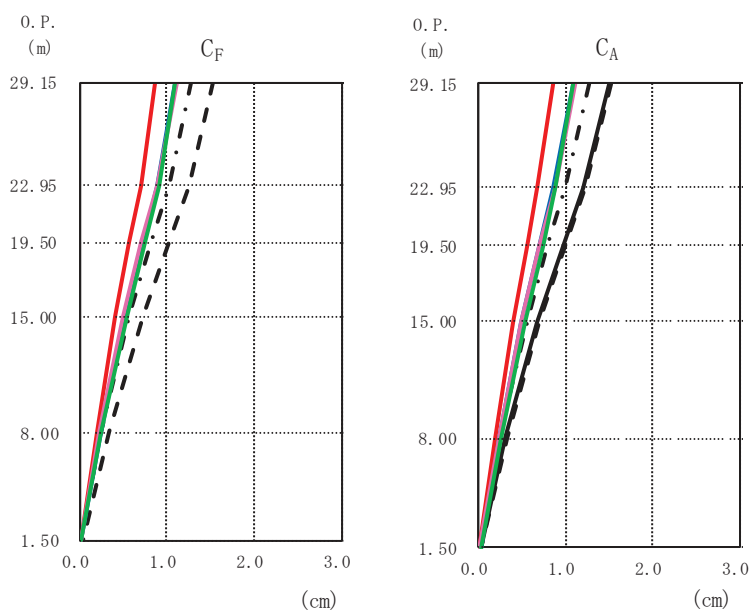
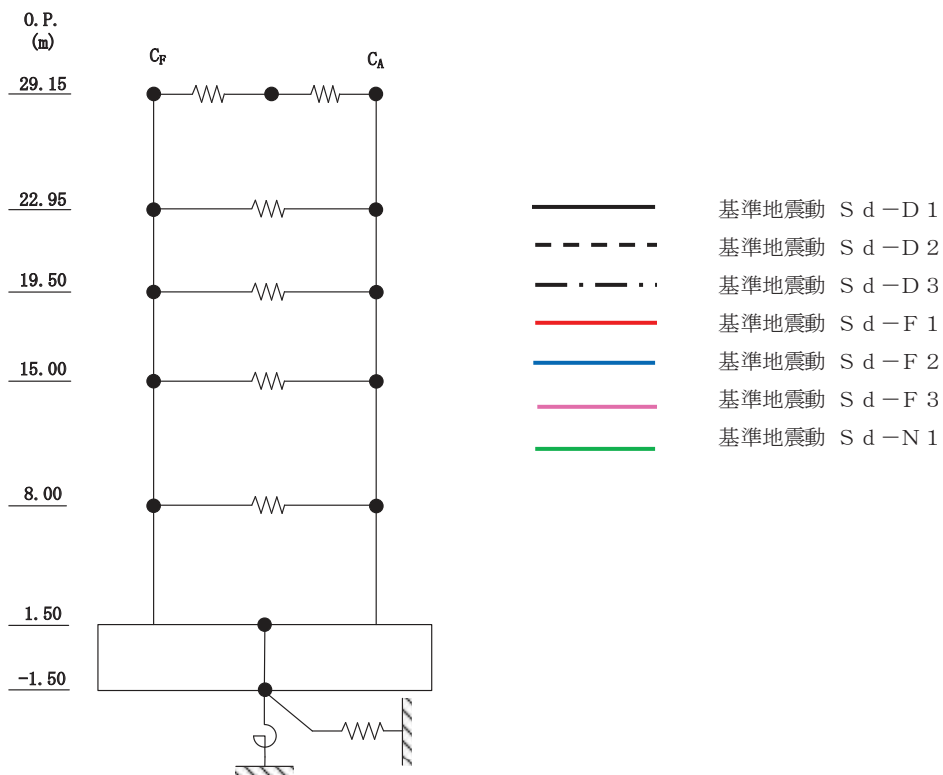


图 4-16 最大応答変位 (弹性設計用地震動 S d , NS 方向)

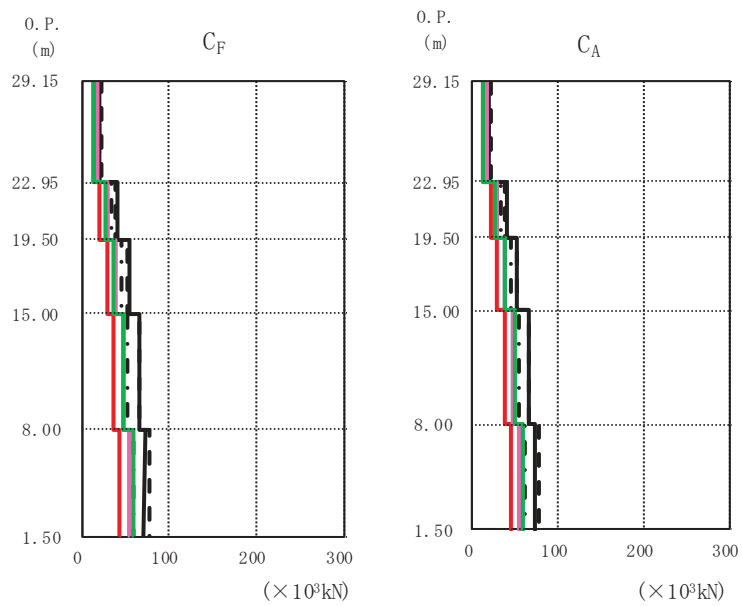
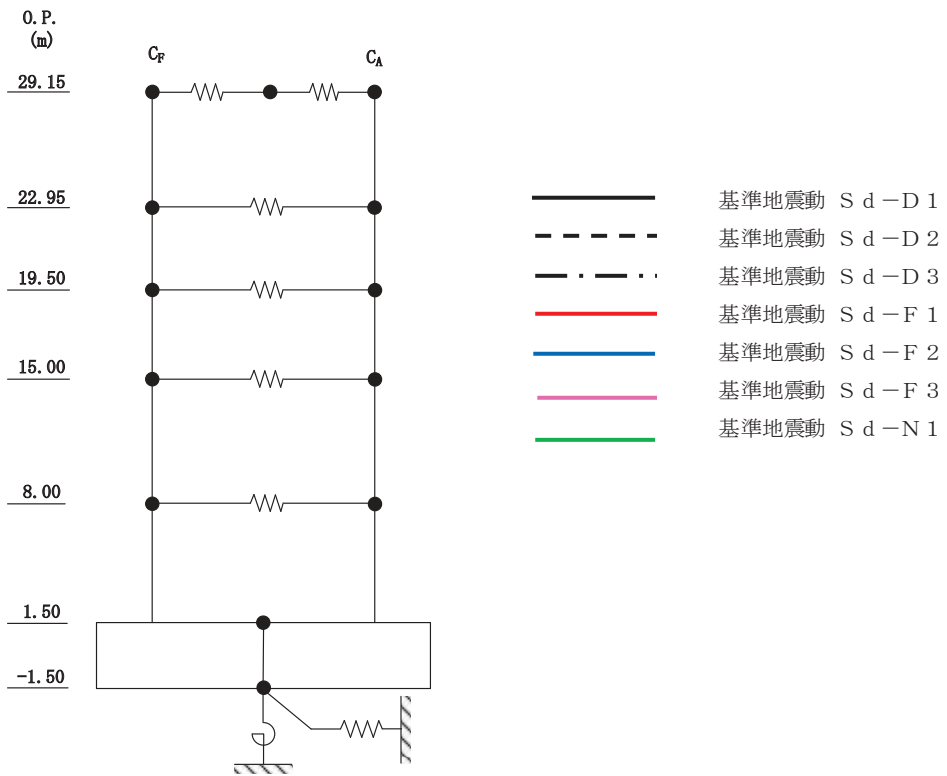


图 4-17 最大応答せん断力 (弹性設計用地震動 S d, NS 方向)

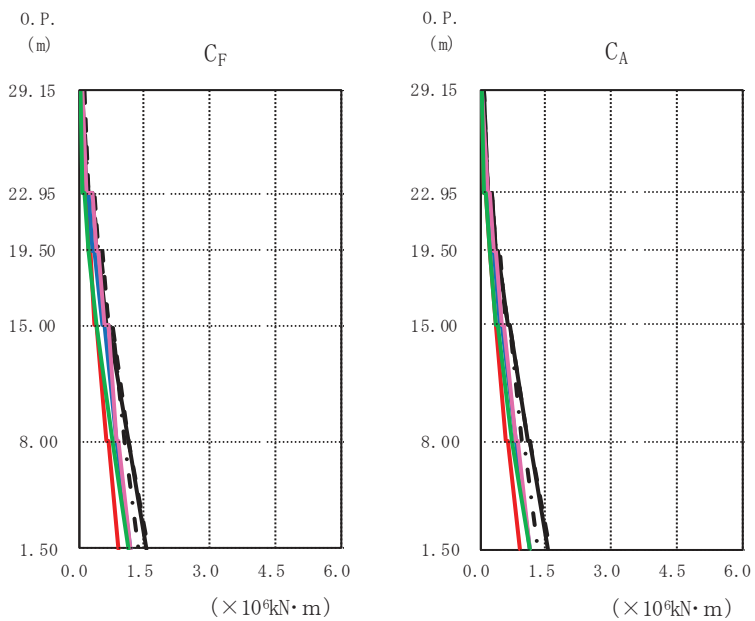
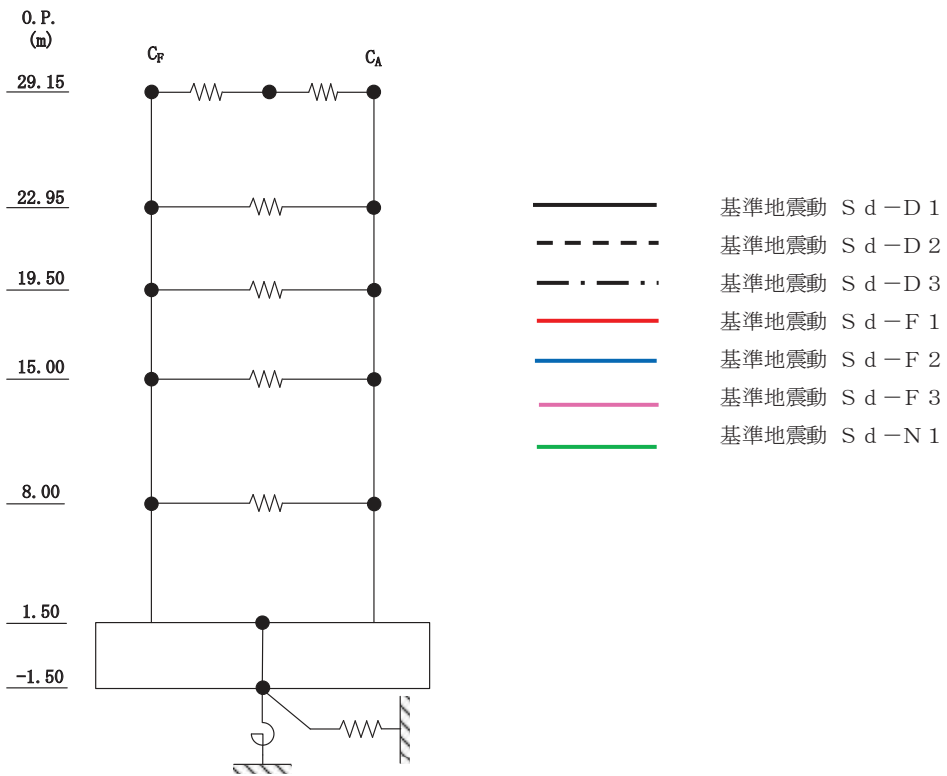
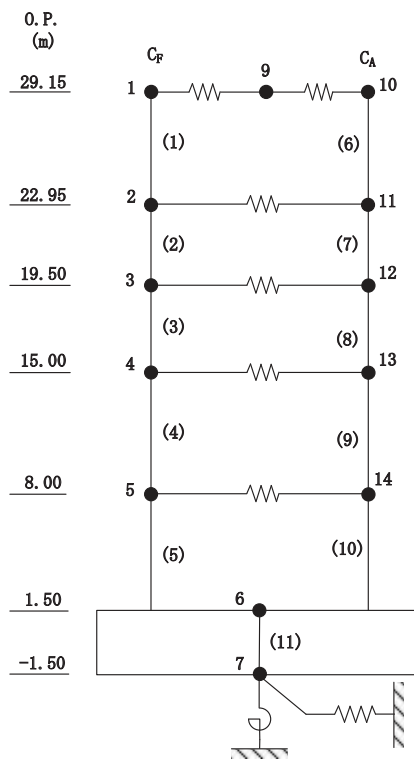


図 4-18 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d, NS 方向)

表 4-5 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S d , NS 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	Sd-D1	Sd-D2	Sd-D3	Sd-F1	Sd-F2	Sd-F3	Sd-N1	
(1)	0.27	0.29	0.28	0.17	0.23	0.24	0.17	0.29
(2)	0.53	0.53	0.47	0.29	0.39	0.40	0.35	0.53
(3)	0.51	0.50	0.42	0.27	0.36	0.37	0.35	0.51
(4)	0.46	0.46	0.37	0.26	0.33	0.33	0.34	0.46
(5)	0.40	0.42	0.33	0.24	0.30	0.30	0.32	0.42
(6)	0.33	0.37	0.35	0.21	0.28	0.30	0.21	0.37
(7)	0.52	0.52	0.45	0.28	0.39	0.38	0.35	0.52
(8)	0.52	0.52	0.43	0.28	0.38	0.38	0.36	0.52
(9)	0.44	0.44	0.35	0.25	0.31	0.32	0.33	0.44
(10)	0.39	0.41	0.32	0.24	0.30	0.29	0.32	0.41

O 2 ① VI-2-2-3 R 0



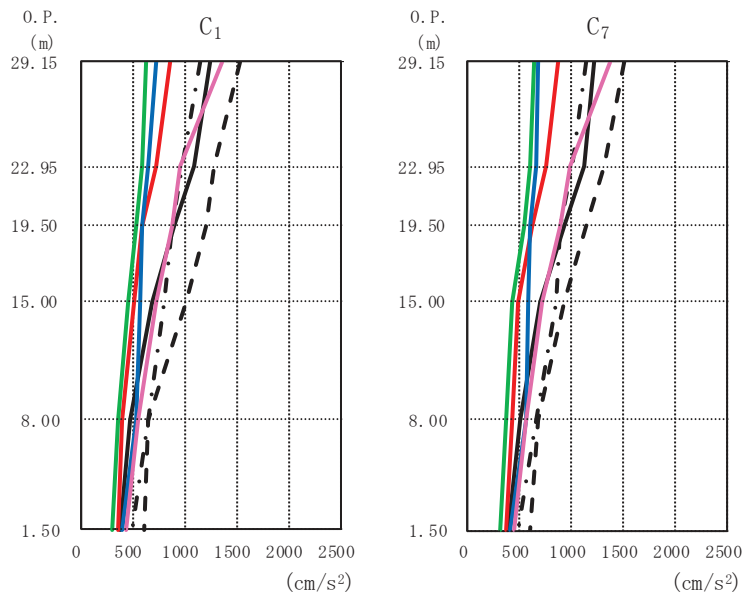
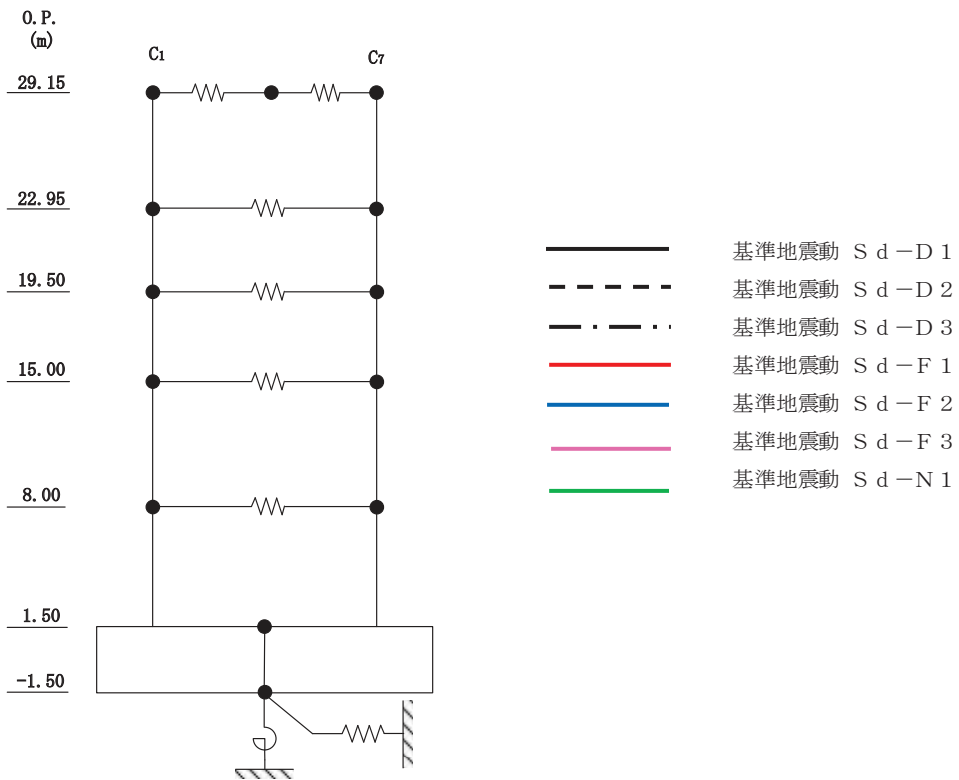


圖 4-19 最大応答加速度 (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

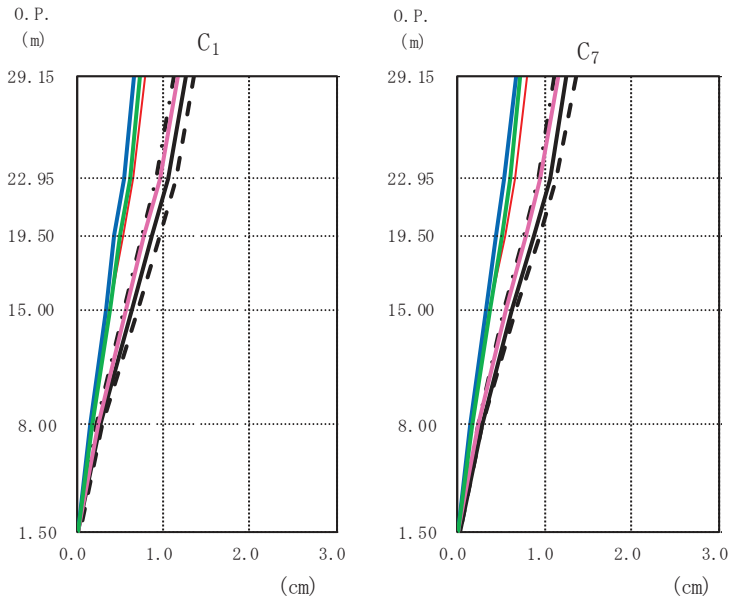
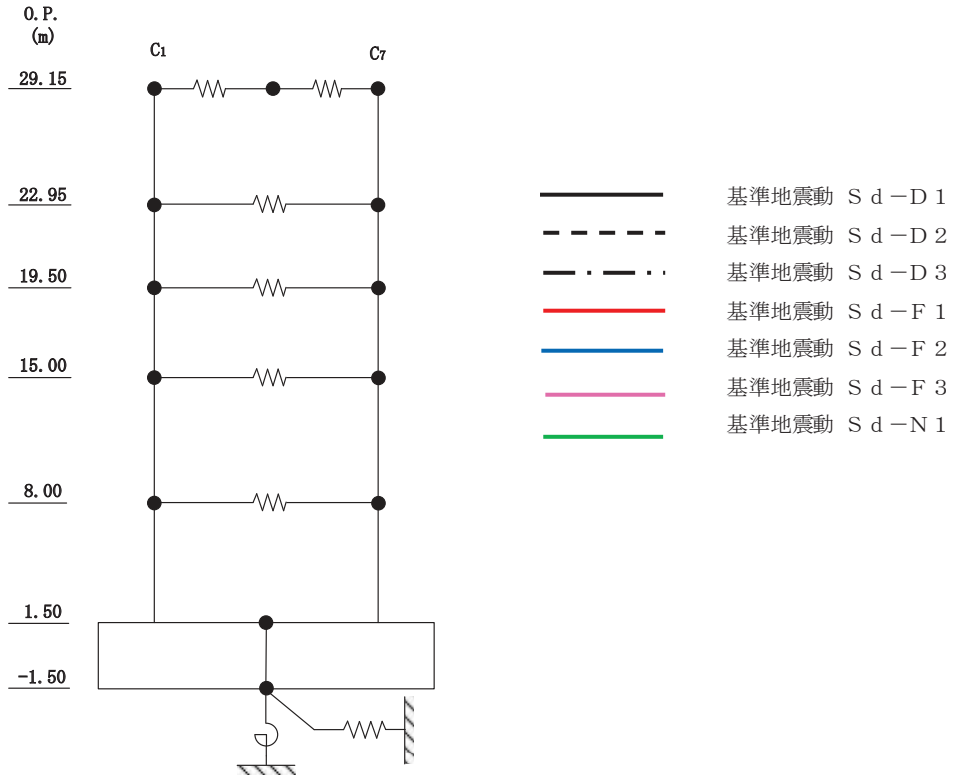


图 4-20 最大応答変位 (弹性設計用地震動 S d , EW 方向)

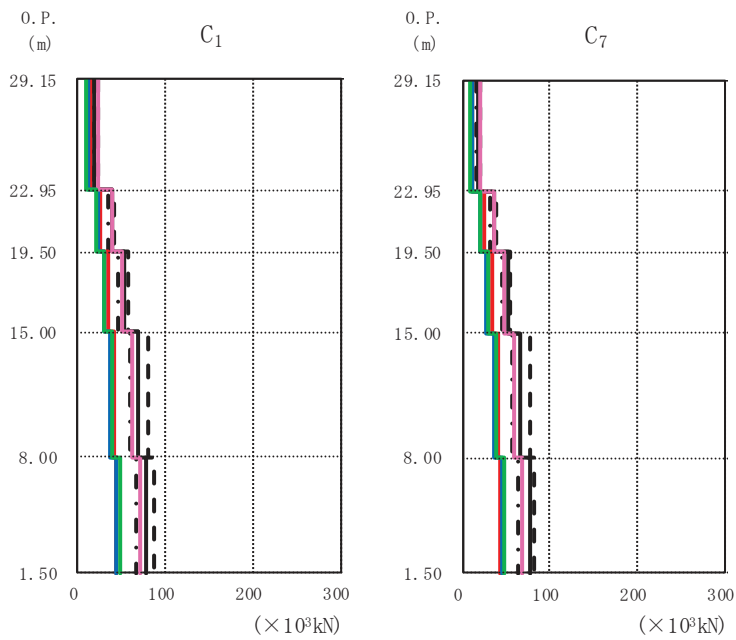
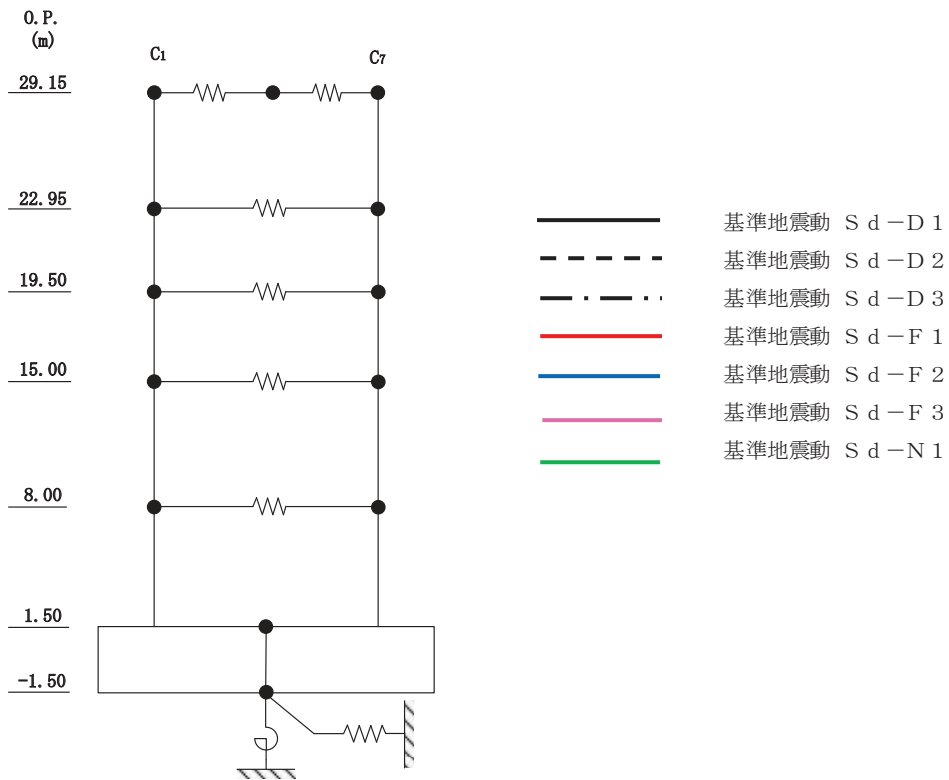


図 4-21 最大応答せん断力 (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

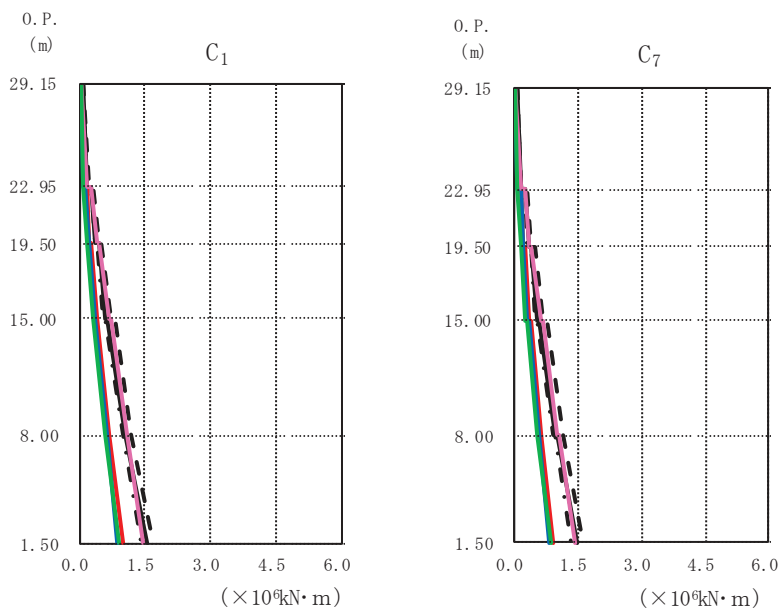
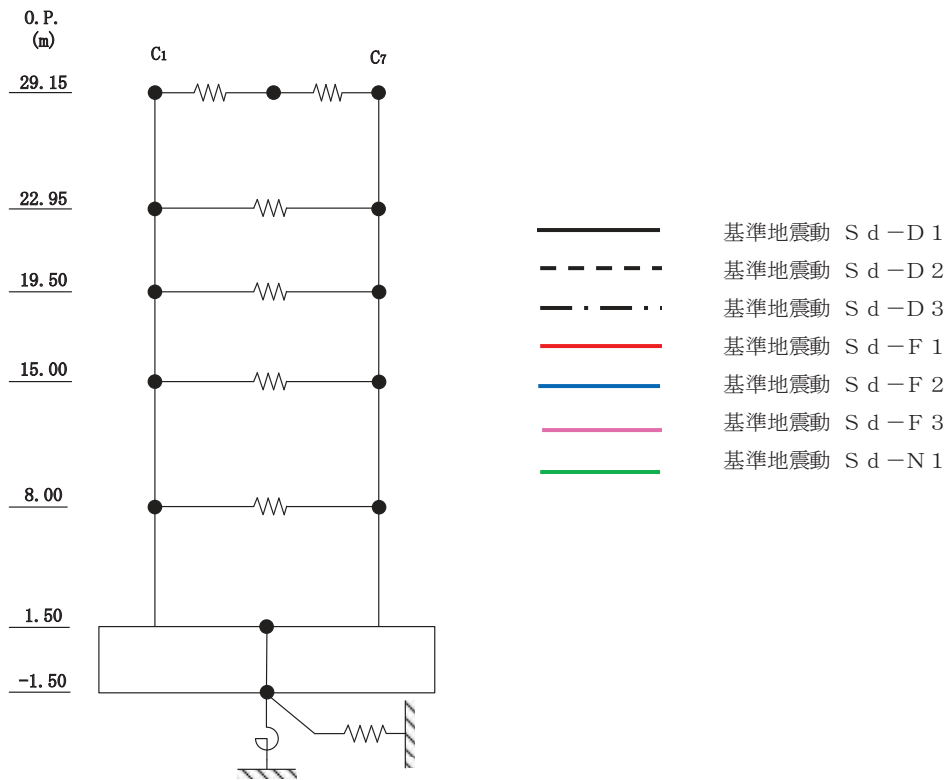
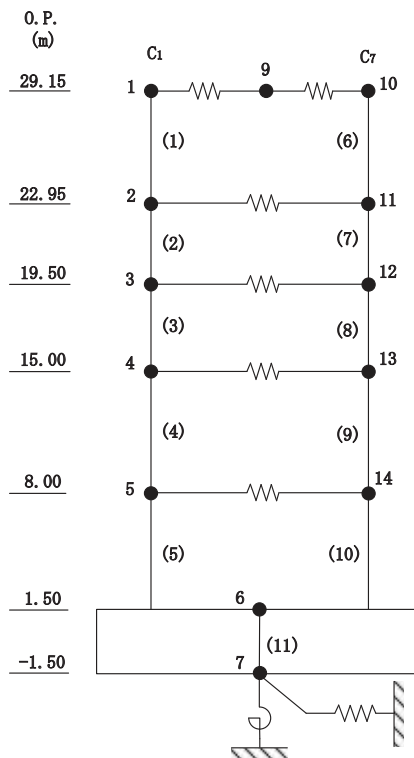


図 4-22 最大応答曲げモーメント (弾性設計用地震動 S d , EW 方向)

表 4-6 最大応答せん断ひずみ一覧 (弾性設計用地震動 S d, EW 方向)

要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)							最大値 ($\times 10^{-3}$)
	Sd-D1	Sd-D2	Sd-D3	Sd-F1	Sd-F2	Sd-F3	Sd-N1	
(1)	0.21	0.26	0.19	0.15	0.13	0.24	0.11	0.26
(2)	0.42	0.46	0.37	0.29	0.25	0.43	0.23	0.46
(3)	0.40	0.43	0.34	0.26	0.22	0.37	0.22	0.43
(4)	0.43	0.50	0.37	0.27	0.23	0.38	0.25	0.50
(5)	0.35	0.38	0.29	0.19	0.20	0.31	0.21	0.38
(6)	0.20	0.24	0.18	0.14	0.12	0.23	0.11	0.24
(7)	0.40	0.44	0.35	0.28	0.24	0.41	0.22	0.44
(8)	0.47	0.50	0.40	0.31	0.26	0.43	0.26	0.50
(9)	0.41	0.47	0.35	0.25	0.22	0.36	0.24	0.47
(10)	0.35	0.38	0.29	0.20	0.20	0.32	0.21	0.38

O 2 ① VI-2-2-3 R 0



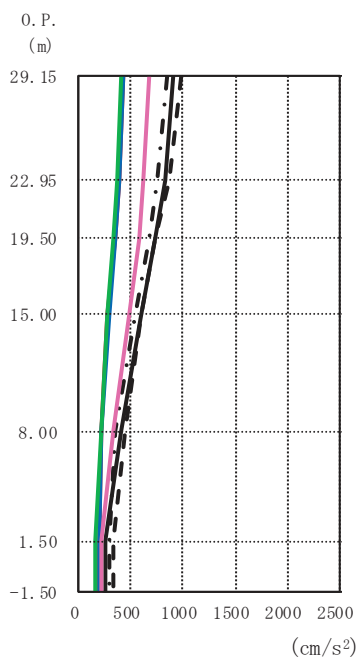
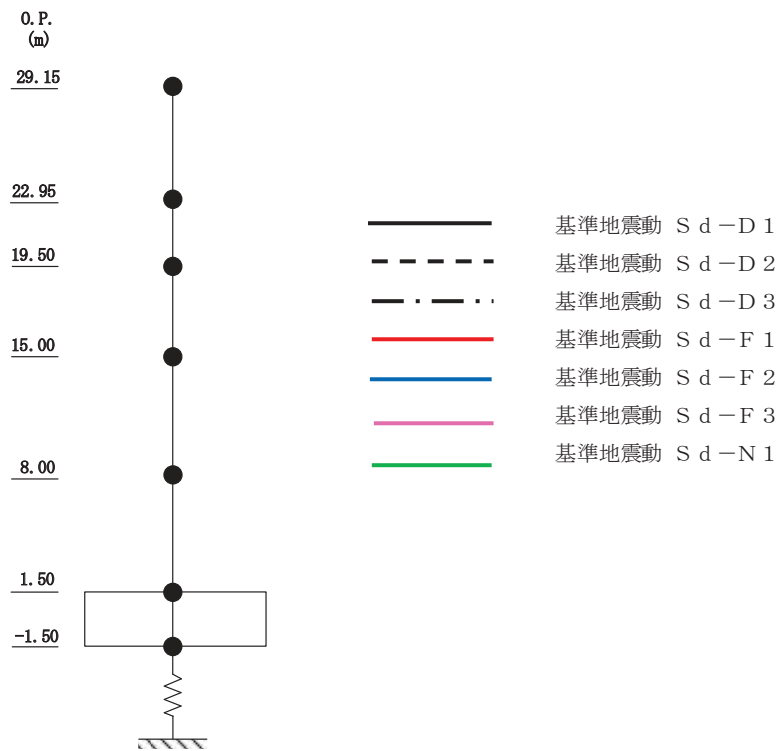


图 4-23 最大応答加速度 (弹性設計用地震動 S d, UD 方向)

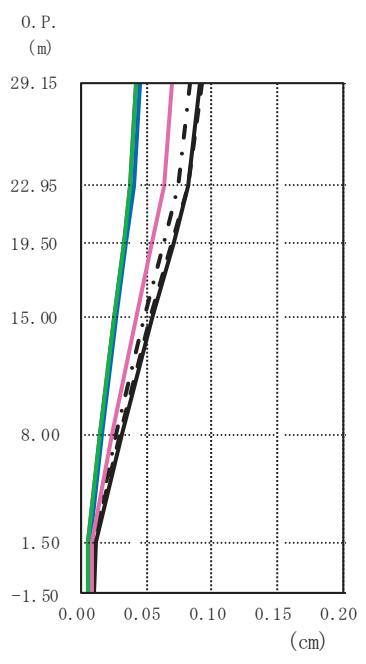
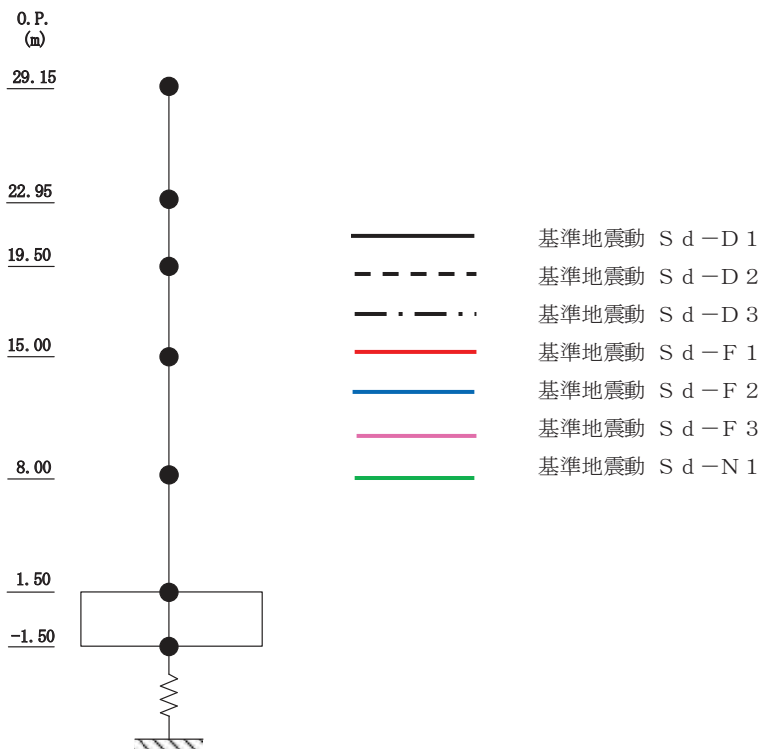


图 4-24 最大応答変位 (弹性設計用地震動 S d , UD 方向)

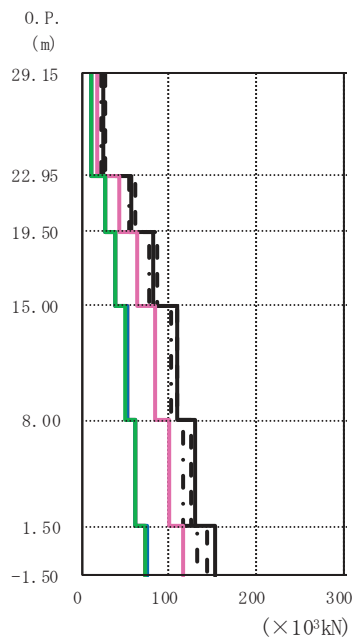
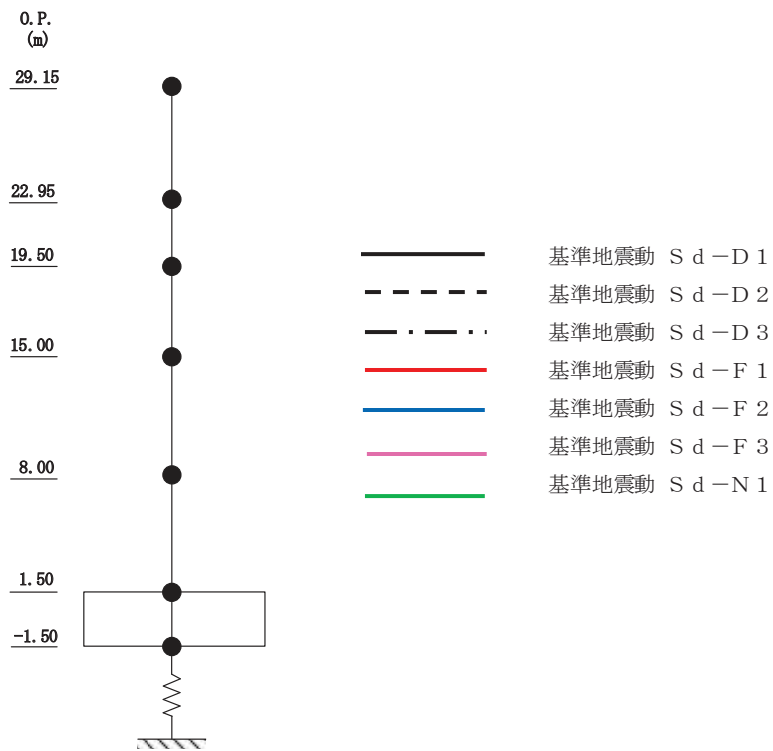


图 4-25 最大応答軸力 (弹性設計用地震動 S d , UD 方向)

表 4-7 基準地震動 S d による地震応答解析結果に基づく接地率

(a)NS 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	最大転倒モーメント ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
S d - D 1	0.53	35.4	92.7
S d - D 2	0.54	37.2	89.7
S d - D 3	0.49	30.8	100
S d - F 1	0.40	21.2	100
S d - F 2	0.44	26.5	100
S d - F 3	0.45	26.2	100
S d - N 1	0.44	26.9	100

(b)EW 方向

地震動	最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	最大転倒モーメント ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率 (%)
S d - D 1	0.55	35.2	87.4
S d - D 2	0.58	38.4	81.8
S d - D 3	0.52	32.3	92.5
S d - F 1	0.43	22.2	100
S d - F 2	0.40	19.3	100
S d - F 3	0.52	32.9	91.5
S d - N 1	0.42	21.2	100

4.2 静的解析

「3.3 解析方法」による解析方法で算出した地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ 及び静的地震力（水平地震力）を表 4-8 に，最大接地圧を表 4-9 に示す。

表 4-8 地震層せん断力係数 ($3.0 \cdot C_i$) 及び水平地震力

(a)NS 方向

階	O. P. (m)	第 i 層が支える 重量 W_i (kN)	層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
3F	29.15~22.95	27630	0.892	24.65
2F	22.95~19.5	66940	0.743	49.74
1F	19.5 ~ 15.0	100790	0.670	67.53
B1F	15.0 ~ 8.0	144660	0.581	84.05
B2F	8.0 ~ 1.5	195890	0.480	94.03
MAT	1.5 ~ -1.5	282600	0.300*	120.04

注記* : 地下震度

(b)EW 方向

階	O. P. (m)	第 i 層が支える 重量 W_i (kN)	層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$	水平地震力 Q_i ($\times 10^3$ kN)
3F	29.15~22.95	27630	0.888	24.54
2F	22.95~19.5	66940	0.740	49.54
1F	19.5 ~ 15.0	100790	0.667	67.23
B1F	15.0 ~ 8.0	144660	0.582	84.19
B2F	8.0 ~ 1.5	195890	0.480	94.03
MAT	1.5 ~ -1.5	282600	0.300*	120.04

注記* : 地下震度

表 4-9 最大接地圧 (静的地震力)

方向	最大接地圧 ($\times 10^3$ kN/m ²)
NS	0.401
EW	0.417

4.3 必要保有水平耐力

「3.3 解析方法」による解析方法で算出した必要保有水平耐力 Q_{un} を表 4-10 に示す。

構造特性係数 D_s は以下の条件に基づき設定している。

耐震壁は全てせん断破壊型であるため WD 群の評価となる。

耐震壁が全ての地震荷重を負担するため、耐震壁が分担する保有水平耐力の比 β_u は 1.0 となる。

以上の条件から構造特性係数 D_s は 0.55 となる。

形状特性係数 F_{e_s} は

$F_{e_s}=1.0$ (剛性率が 0.6 以上のため)

$F_{e_s}=1.0$ (偏心率が 0.15 以下のため)

より、1.0 となる。

表 4-10 必要保有水平耐力

(a)NS 方向

階	O. P. (m)	構造特性係数 D_s	形状特性係数 $F_{e s}$	必要保有水平耐力 $Q_{u n} (\times 10^3 \text{kN})$
3F	29.15 ~ 22.95	0.55	1.0	22.59
2F	22.95 ~ 19.5	0.55	1.0	45.61
1F	19.5 ~ 15.0	0.55	1.0	61.91
B1F	15.0 ~ 8.0	0.55	1.0	77.09
B2F	8.0 ~ 1.5	0.55	1.0	86.18

(b)EW 方向

階	O. P. (m)	構造特性係数 D_s	形状特性係数 $F_{e s}$	必要保有水平耐力 $Q_{u n} (\times 10^3 \text{kN})$
3F	29.15 ~ 22.95	0.55	1.0	22.49
2F	22.95 ~ 19.5	0.55	1.0	45.42
1F	19.5 ~ 15.0	0.55	1.0	61.59
B1F	15.0 ~ 8.0	0.55	1.0	77.17
B2F	8.0 ~ 1.5	0.55	1.0	86.18

VI-3 強度に関する説明書

目 次

- VI-3-1 強度計算の基本方針
- VI-3-2 強度計算方法
- VI-3-3 強度計算書

VI-3-1 強度計算の基本方針

目 次

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
- VI-3-1-2 クラス 1 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針
- VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要

目次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条に規定されている設計基準対象施設又は第 55 条に規定されている重大事故等対処設備に属する容器，管，ポンプ，弁若しくはこれらの支持構造物又は設計基準対象施設に属する炉心支持構造物の材料及び構造について，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することを説明するものである。

なお，設計基準対象施設のうち材料及び構造の要求事項に変更がなく，改造を実施しない機器については，今回の申請において変更は行わない。

今回，新たに材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器が十分な強度を有することを説明するものである。

- ・クラス 1 機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲
- ・クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス 3 機器のうち「その他発電用原子炉附属施設（火災防護設備）」
- ・重大事故等クラス 2 機器
- ・重大事故等クラス 2 支持構造物
- ・重大事故等クラス 3 機器
- ・原子炉格納容器のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲

また，クラス 1 管を支持する支持構造物及び重大事故等クラス 2 管を支持する支持構造物であって，その損壊により重大事故等クラス 2 管に損壊を生じさせるおそれがある重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算については，計算方法が耐震評価と同じであり，地震荷重が支配的であることから添付書類「VI-2 耐震性に関する説明書」にて説明する。

上述の機器と評価条件が異なる自然現象等特殊な荷重を考慮した評価が必要な設備のうち竜巻の荷重を考慮した評価を別添 1 に，火山の影響による荷重を考慮した評価を別添 2 に，津波又は溢水の荷重を考慮した評価を別添 3 に示す。

技術基準規則の機器区分に該当しない機器のうち，施設したガスタービン（燃料系含む）及び内燃機関（燃料系含む）の評価を別添 4 に，非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の評価を別添 5 に，重大事故等対処設備としての炉心支持構造物の評価を別添 6 に，重大事故等対処設備としての原子炉圧力容器内部構造物の評価を別添 7 に示す。

VI-3-1 強度計算の基本方針

- VI-3-1-1 強度計算の基本方針の概要（本紙）
- VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針
- VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針
- VI-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度評価の基本方針
- VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

VI-3-2 強度計算方法

- VI-3-2-1 強度計算方法の概要
- VI-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- VI-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- VI-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- VI-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- VI-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物（容器）の強度計算方法
- VI-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物（ポンプ）の強度計算方法
- VI-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

VI-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 1 機器の強度計算の基本方針	2
2.1 クラス 1 機器の構造及び強度	3

1. 概要

クラス 1 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 1 号及び第 8 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲について，クラス 1 機器となる管及び弁が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 1 機器の強度計算の基本方針

クラス 1 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 1 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉冷却材圧力バウンダリの拡大範囲は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号（以下「告示第 5 0 1 号」という。）又は設計・建設規格であることから、告示第 5 0 1 号と設計・建設規格の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

クラス 1 機器の材料については、告示第 5 0 1 号又は設計・建設規格に規定されている材料を使用する設計とする。

2.1 クラス1機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲については、施設時の適用規格が告示第501号又は設計・建設規格である。

施設時の適用規格が告示第501号のものについては設計・建設規格との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の2つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値のSI単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上述の2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、告示第501号及び設計・建設規格の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。

a. 評価式

(a) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および弁ふたの肉厚	<p>[VVB-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部内径と弁入口流路内径との比が1.5を超えるもののネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1)(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第82条第1項第1号]</p> <p>弁箱（ネック部内径と弁入口流路内径との比が1.5を超えるもののネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1)(t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>設計・建設規格 又は 告示第501号</p>	*2
配管反力による弁箱の二次応力	<p>[VVB-3330]</p> <p>次の3つの計算式により計算した二次応力は、260℃の温度における付録材料図表Part5表1に定める値S_mの1.5倍の値を超えないこと。</p> $P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$ $P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$ $P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$	<p>[第81条第1項第1号ロ]</p> <p>次の3つの計算式により計算した応力は、それぞれ260度の温度における別表第2に定める値の1.5倍の値を超えないこと。</p> $P_d = \frac{A_1 \cdot S_y}{A_2}$ $P_b = \frac{C_b \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_2}$ $P_t = \frac{2 \cdot Z_1 \cdot S_y}{Z_p}$	<p>設計・建設規格</p>	*3

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は計算に用いる t_1 、 t_2 の値が規格間で相違があり、設計・建設規格と告示第501号でtの値が大きくなる規格の評価式を適用する。

*3： P_d 、 P_b 及び P_t （二次応力）は計算に用いる S_y 値が規格間で相違があり、設計・建設規格の S_y 値が大きく安全側が明確であるため、設計・建設規格の評価式を適用する。 S_y 値の代表例については、次頁「b. 許容値」にて記載する。

b. 許容値

許容値については、代表例により規格の相違を記載する。

(a) 弁*

機器名	接続管の材料	評価で使用する温度(°C)	設計・建設規格(MPa)	告示第 5 0 1 号(MPa)	適用する規格
残留熱除去系 A系停止時 冷却吸込第二隔離弁 (E11-F016A)	SFVC2B	260	200	194	設計・建設規格

注記 * : 表中の設計・建設規格の値及び告示第 5 0 1 号の値は設計降伏点 S_y 値を示す。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施する。クラス1機器の計算書に記載する強度評価結果については、安全側の規格による評価結果を記載する。

なお、告示第501号及び設計・建設規格の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

VI-3-1-3 クラス 2 機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針	1
2.1 クラス 2 機器の構造及び強度	2

1. 概要

クラス 2 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第 17 条第 1 項第 2 号及び第 9 号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造に伴い、弁が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス 2 機器の強度計算の基本方針

クラス 2 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 17 条(材料及び構造)に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号)第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。))<第 I 編軽水炉規格> J S M E S N C 1 - 2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012 年版)<第 I 編軽水炉規格> J S M E S N C 1 - 2012」(日本機械学会)によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007 及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」及び「原子炉格納容器調気設備」の改造を実施する機器の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和 55 年 10 月 30 日 通商産業省告示第 5 0 1 号(以下「告示第 5 0 1 号」という。))の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第 5 0 1 号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

なお、クラス 2 機器を同位クラスである重大事故等クラス 2 機器として兼用し、重大事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され、重大事故等時における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、設計基準の評価結果の記載は省略する。

クラス 2 機器の材料については、告示第 5 0 1 号又は設計・建設規格に規定されている材料を使用する設計とする。

2.1 クラス 2 機器の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス 2 機器のうち「残留熱除去設備」の改造を実施する機器については、施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号であるため、設計・建設規格と告示第 5 0 1 号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。また、「原子炉格納容器調気設備」の取替を実施する機器については、設計・建設規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の 2 つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値の SI 単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上述の 2 つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、告示第 5 0 1 号及び設計・建設規格の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号である場合の設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号による評価について、評価式及び許容値の 2 つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。

a. 評価式

(a) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および弁ふたの肉厚	<p>[VVC-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表1-1に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表3の呼び圧力1.03MPaの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第85条第1項]</p> <p>弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表第13に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表第15の呼び圧力10.5キログラム毎平方センチメートルの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	設計・建設規格	*2

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は設計・建設規格の方が大きくなり安全側が明確であるため、設計・建設規格の評価式を適用する。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施し、強度計算書に評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

VI-3-1-4 クラス 3 機器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. クラス 3 機器の強度計算の基本方針.....	2
2.1 クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度.....	3
2.2 クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器の構造及び強度.....	3

1. 概要

クラス 3 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 3 号及び第 10 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，「その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）」のうちクラス 3 機器となる容器及び管が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. クラス3機器の強度計算の基本方針

クラス3機器の材料及び構造については、技術基準規則第17条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第17条10において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第I編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第I編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及び J S M E S N C 1 - 2012 は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス3機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とし、施設時の適用規格が設計・建設規格のものである為、設計・建設規格による評価を実施する。

なお、クラス3機器を上位クラスである重大事故等クラス2機器として兼用し、重大事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され、重大事故等時における評価結果がある場合は、設計基準の評価結果の記載は省略する。

また、技術基準規則の解釈の冒頭において「技術基準規則に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではなく、技術基準規則に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、技術基準規則に適合するものと判断する。」ことが規定されている。

クラス3容器のうち完成品としてそれぞれの高圧ガス保安法及び消防法の規制を受ける消火設備用ポンベ及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（原規技発第1306195号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）」）に基づき設定する火災区域又は火災区画に配備する消火器（以下「消火器」という。）については、技術基準規則第17条第1項第3号及び第10号におけるクラス3容器の材料、構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で、高圧ガス保安法及び消防法に適合したものを使用する設計とする。

また、消火設備用ポンベ及び消火器の材料については、技術基準規則第17条におけるクラス3容器の材料、構造及び強度の規定と高圧ガス保安法又は消防法の規定の比較評価において適切であることを確認する。

2.1 クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く）の構造及び強度

(1) 強度計算における適用規格の選定

クラス 3 機器（消火設備用ポンベ及び消火器を除く。）については、技術基準規則施行前に着手又は完成した設備を含み、施設時の適用規格は設計・建設規格である。よって、設計・建設規格による評価を実施する。

2.2 クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器の構造及び強度

クラス 3 機器のうち消火設備用ポンベ及び消火器については設計に適用した高圧ガス保安法及び消防法の規定が技術基準規則第 17 条に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があることを確認する。

(1) 技術基準規則第 17 条第 1 項第 3 号、第 10 号及び第 15 号の要求事項

a. 材料

- ・クラス 3 容器に使用する材料が、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学成分を有すること。
- ・工学的安全施設に属するクラス 3 容器に使用する材料にあつては、当該機器の最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験又はその他の評価方法により確認したものであること。（火災防護設備は工学的安全施設に該当しないため対象外）

b. 構造及び強度

- ・設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えること。
- ・クラス 3 容器に属する伸縮継手にあつては、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊を生じないこと。（消火設備用ポンベ及び消火器に対して伸縮継手を使用していないため対象外）
- ・設計上定める条件において、座屈が生じないこと。（消火設備用ポンベ及び消火器の外表面には圧力が加わらないことから対象外）

c. 主要な耐圧部の溶接部

主要な耐圧部の溶接部について、不連続で特異な形状でないものであること等が規定されている。（主要な耐圧部の溶接部は、機器のうち容器及び管を対象とし、施設の安全上の重要度、圧力、口径等から技術基準規則の解釈に定められており、火災防護設備については、外径 150 mm 以上の管が「主要な耐圧部の溶接部」に該当し、容器については対象外）

(2) 技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第 17 条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有していることが要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、容器について、充てんする高圧ガスの種類、充てん圧力、

使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造することが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

(圧力)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、高圧ガス保安法における、ポンペ内部に受ける最高の圧力である「充てん圧力」と同等である。

(温度)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、高圧ガス保安法における「使用温度」として規定している温度の上限値と同等である。

(荷重)

技術基準規則第 17 条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3 容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火設備用ポンペに対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、高圧ガス保安法も充てん圧力を規定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第 17 条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、高圧ガス保安法では、ポンペの材料選定として、充てんする高圧ガスの種類等、使用される環境に応じた適切な材料を選定するよう規定していることから、技術基準規則第 17 条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方、高圧ガス保安法では、「溶接容器及び一般継目なし容器（消火設備用ポンペ）の必要肉厚を材料の許容応力より算出すること」が要求されており、材料の降伏点を越えることのないよう許容応力を規定していることから、要求する保安水準は確保されている。

上述の a. 項及び b. 項より、技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の材料、構造及び強度の規定の水準は同等であることから、火災防護設備として使用する消火設備用ポンペについては、高圧ガス保安法の材料、構造及び強度に関する要求に適合することにより、技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから、高圧ガス保安法に適合したものを使用する設計とする。

(3) 技術基準規則第 17 条と消防法の規定の比較

a. 材料

技術基準規則第 17 条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されている。

一方、消防法では、容器について耐食性及び耐久性を有する材料を用いた堅牢な材料を使用すること並びに腐食試験等においてさび等の異常を生じないことが要求されており、考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから、材料に対して要求する保安水準は確保されている。

(圧力)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、機器が受ける最高の圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており、消防法における消火器内部に受ける最高の圧力である「調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值」と同等である。

(温度)

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において、最高の温度以上の温度である「最高使用温度」を条件としており、消防法における「使用温度範囲」として規定している最高温度と同等である。

(荷重)

技術基準規則第 17 条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3 容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火器に対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、消防法も使用圧力等を規定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第 17 条では、機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選定することが要求されており、具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定されている。

一方、消防法では、消火器の材料選定として、充てんした消火剤に接触する部分をその消火剤に侵されない材料で造ることが規定されており、技術基準規則第 17 条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。

b. 構造及び強度

技術基準規則第 17 条では、設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されている。

一方、消防法では、使用材料に応じた消火器の本体容器の板厚を規定しており、消火器内部に受ける最高の圧力（調整圧力、閉そく圧力及び使用圧力の上限值）を超える圧力（設計上定める最高の圧力の 1.3～2.0 倍）で耐圧試験を実施し、強度上支障のある永久ひずみ（円筒部分にあつては、円周長の 0.5 %以上の永久ひずみ）を生じないことが要求されている。これは、設計上定める条件に対して十分な裕度をもって、全体的な変形を弾性域に抑えることができる水準であることから、要求する保安水準は確保されている。

上述の a. 項及び b. 項より、技術基準規則第 17 条と消防法の材料、構造及び強度の規定の

水準は同等であることから、火災防護設備として使用する消火器については、消防法の材料、構造及び強度に関する要求に適合することにより、技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保ができる技術的根拠があることから、消防法に適合したものを使用する設計とする。

VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物
の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針	2
2.1 重大事故等クラス2 機器（クラス1 機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス2 支持構造物（クラス1 支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の構造及び強度	4
2.1.1 クラス2 機器の規定に基づく評価	7
2.1.2 クラス2 機器の規定によらない場合の評価	14
2.2 重大事故等クラス2 機器であってクラス1 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物であってクラス1 支持構造物の構造及び強度	25
2.3 重大事故等クラス2 機器であって原子炉格納容器及び重大事故等クラス2 支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の構造及び強度	27
2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価	29

1. 概要

重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 2 号及び第 5 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，重大事故等クラス 2 機器である容器，管，ポンプ及び弁並びに重大事故等クラス 2 支持構造物であって，重大事故等クラス 2 機器に溶接により取り付けられ，その損壊により重大事故等クラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがある支持構造物（以下「重大事故等クラス 2 支持構造物」という。）が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造については、技術基準規則第55条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い、設計基準対象施設の規定を準用する。

また、技術基準規則の解釈第17条10において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）」＜第I編軽水炉規格＞J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）＜第I編軽水炉規格＞J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定されるJ S M E S N C 1 - 2005/2007（以下「設計・建設規格」という。）及びJ S M E S N C 1 - 2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、重大事故等クラス2機器（クラス1機器及び原子炉格納容器を除く）及び重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の評価は、基本的に施設時の適用規格による評価とするが、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年10月30日通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）の場合は、今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。施設時の適用規格が設計・建設規格の場合は、設計・建設規格による評価を実施する。

クラス2機器又はクラス2支持構造物を同位クラスである重大事故等クラス2機器又は重大事故等クラス2支持構造物として兼用し、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、クラス2機器又はクラス2支持構造物の既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果がある場合は、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の評価は、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に包絡され、既工認における評価結果がある場合は、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。また、上述の評価条件がない場合は、基本的に施設時の適用規格である告示第501号による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器又は重大事故等クラス2支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の評価は、告示第501号に基づき評価を実施する。

ただし、改造箇所で適用規格が設計・建設規格の場合は設計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって非常用炉心冷却設備に係るろ過装置（ストレーナ）の評価は、技術基準規則の解釈第17条4に記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12 原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））の評価方針を考慮し、重大事故等クラス2機器としての評価を実施する。

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料については、技術基準規則第55条において材料は「使用前に適用されるものとする。」と規定されていることから、技術基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合は、使用条件に対して適切であることを確認した材料を使用する設計とする。

2.1 重大事故等クラス 2 機器（クラス 1 機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 1 支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の構造及び強度

重大事故等クラス 2 機器（クラス 1 機器及び原子炉格納容器を除く）並びに重大事故等クラス 2 支持構造物（クラス 1 支持構造物及び原子炉格納容器支持構造物を除く）の評価における適用規格、評価方法の考え方を図 2-1 に示す。重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物において、施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物で、クラスアップ又は条件アップ*¹ されておらず、既工認における評価結果がある場合は、その評価結果の確認による評価を実施する。

（評価区分①）

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器及び支持構造物については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分②）

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物でクラスアップ又は条件アップされており、施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号である機器又は支持構造物については、設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれか安全側の規格による評価を実施する。また、クラスアップ又は条件アップされておらず、既工認における評価結果がない場合で、施設時の適用規格が告示第 5 0 1 号である機器又は支持構造物については、同じく設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれか安全側の規格による評価を実施する。（評価区分③）

上述する機器又は支持構造物以外については、設計・建設規格による評価を実施する。（評価区分④）

設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号に評価式*² が規定されていない場合、又は、より精緻な評価が必要な場合は、同等性を示す評価方法により十分な強度を有することを確認する。

技術基準規則において、重大事故等クラス 2 機器の強度評価については、延性破断、疲労破壊（各機器に属する伸縮継手及び伸縮継手を除く管に限る。）及び座屈（容器及び管に限る。）による破壊の防止が求められており、重大事故等クラス 2 支持構造物の強度評価については、延性破断及び座屈による破壊の防止が求められている。

ただし、重大事故等クラス 2 管の疲労評価については、重大事故等時は運転状態Ⅳを超える事象であり、発生回数が少なく疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力は発生しないこと、また、設計基準対象施設と機能を兼用している設備については、設計基準対象施設に対する要求事項に基づき疲労評価を実施していることから、評価を省略する。

注記 *1：クラスアップする機器とは，クラス 1 機器又はクラス 2 機器に属さない機器のうち重大事故等クラス 2 機器となるものをいう。条件アップする機器とは，設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度に，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されないものをいう。

*2：評価式とは，設計・建設規格にて評価する場合はクラス 2 機器の評価式，告示第 5 0 1 号にて評価する場合は第 3 種機器の評価式を示す。

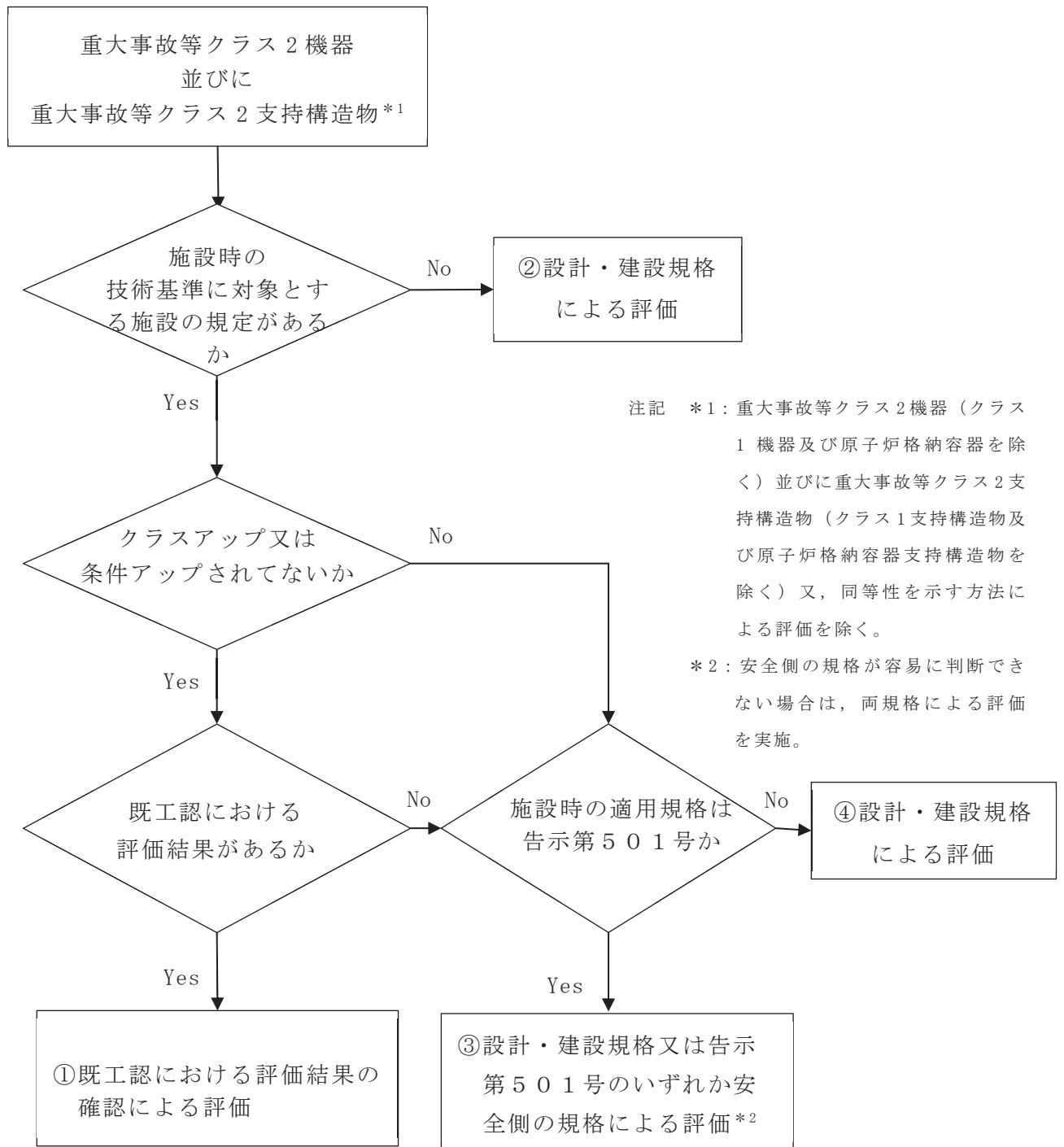


図 2-1 評価区分の整理フロー

2.1.1 クラス 2 機器の規定に基づく評価

(1) 強度計算における適用規格の選定

重大事故等クラス 2 機器のうち図 2-1 において、「③設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれか安全側の規格による評価」に区分された機器の適用規格について説明する。当該機器の施設時の適用規格は告示第 5 0 1 号であるため、設計・建設規格と告示第 5 0 1 号との比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価手法が規定されていることから、以下「a. 公式による評価の比較」及び「b. 解析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては、評価式、評価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については、物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容値に含まれることになる。よって、評価式と許容値の 2 つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は、評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は、許容値が小さい方を安全側とする。ただし、許容値の SI 単位化による誤差は、単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく、評価結果に影響を与えないため、ここでは相違するものとは見なさない。

上記 2 つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号のいずれかにて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は、設計・建設規格及び告示第 5 0 1 号の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について、評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。以下に、両規格に相違が認められた評価項目を示す。なお、本項に記載の告示第501号の評価式は、両規格の比較を行うため、SI単位系に換算したものをを用いる。

a. 評価式

(a) 容器*1

評価項目	設計・建設規格	告示第 5 0 1 号	適用する規格	備考
平板の板厚計算 における係数	[PVC-3310] 取付方法(i)の場合 K=0.33 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第 34 条第 1 項] 取付方法(g)の場合 K=0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第 5 0 1 号	*2

注記 *1: 評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-8 重大事故等クラス 2 容器の強度計算方法」による。

*2: t (必要肉厚) は告示第 5 0 1 号の方が大きくなり安全側が明確であるため、告示第 5 0 1 号の評価式を適用する。

(b) ポンプ*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングの厚さの規定	[PMC-3310 (片吸込み1重うず巻きポンプ)] $t = \frac{P \cdot A}{S}$	[第77条第2項] $t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	設計・建設規格	*2
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシング各部形状の規定	[PMC-3340 (3)] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は，式 PMC-3 により計算した値の 0.1 倍の値または 6mm のうちいずれか大きい値以上であること。	[第77条第7項3] 分流壁がケーシング壁面に交わる部分のすみの丸み径は，第2項の計算式により計算した値の 0.1 倍の値又は 7mm のうちいずれか大きい値以上であること。	告示第501号	*3
うず巻ポンプ，ターボポンプ又は往復ポンプのケーシングカバーの厚さ計算における係数(平板形)	[PMC-3410] 取付方法(a)の場合 K = 0.17 取付方法(その他)の場合 K = 0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第77条第5項] 取付方法(a)の場合 K = 0.20 取付方法(その他)の場合 K = 0.75 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第501号	*3

注記 *1：評価式に記載の記号は，添付書類「VI-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は設計・建設規格の方が大きくなり安全側が明確であるため，設計・建設規格の評価式を適用する。

*3：すみの丸み半径及びケーシングカバー厚さは告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため，告示第501号の評価式を適用する。

(c) 管*1

評価項目	設計・建設規格	告示第 5 0 1 号	適用する規格	備考
平板の板厚計算 における係数	[PPC-3413] 取付方法(i)の場合 K=0.33 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	[第 58 条第 3 項] 取付方法(i)の場合 K=0.50 (参考) $t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	告示第 5 0 1 号	*2

注記 *1：評価式に記載の記号は，添付書類「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は告示第 5 0 1 号の方が大きくなり安全側が明確であるため，告示第 5 0 1 号の評価式を適用する。

(d) 弁*1

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する規格	備考
弁箱および弁ふたの肉厚	<p>[VVC-3210(1)]</p> <p>弁箱（ネック部を除く）または弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値以上であること。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表 1-1 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表 3 の呼び圧力 1.03 MPa の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>[第 85 条第 1 項]</p> <p>弁箱（ネック部を除く。）又は弁ふたの厚さは、次の計算式により計算した値。</p> <p>ただし、最高使用圧力が最高使用温度における別表第 13 に規定する許容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合、別表第 15 の呼び圧力 10.5 キログラム毎平方センチメートルの欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値</p> $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$	<p>設計・建設規格</p> <p>又は</p> <p>告示第501号</p>	<p>*2</p>

注記 *1：評価式に記載の記号は、添付書類「VI-3-2-11 重大事故等クラス 2 弁の強度計算方法」による。

*2：t（必要肉厚）は計算に用いる t₁、t₂の値が規格間で相違があり、設計・建設規格と告示第501号で t の値が大きくなる規格の評価式を適用する。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において、確認された安全側の規格の適用により評価を実施し、強度計算書に評価結果を記載する。なお、設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては、両規格による評価結果を計算書に記載する。

2.1.2 クラス 2 機器の規定によらない場合の評価

ここでは、設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号に評価式*¹が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

設計・建設規格又は告示第 5 0 1 号に評価式が規定されていない場合、同等性を示す評価式により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は、クラス 1 容器の規定を準用した評価により十分な強度を有することを確認する。

図 2-2 に重大事故等クラス 2 機器の技術基準規則適合性確認フローを示す。今回の工事計画対象設備である重大事故等クラス 2 機器の評価のうち、フローに基づき抽出された同等性評価方法を以下に示す。

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式*²を用いた評価
 - (b) クラス 3 ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式*³を用いた評価

- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス 1 容器の規定を準用した評価

注記 *1：評価式とは、設計・建設規格にて評価する場合はクラス 2 機器の評価式、告示第 5 0 1 号にて評価する場合は第 3 種機器の評価式を示す。

*2：機械工学便覧に記載されている 4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式

*3：機械工学便覧に記載されているねじ山のせん断破壊荷重評価式

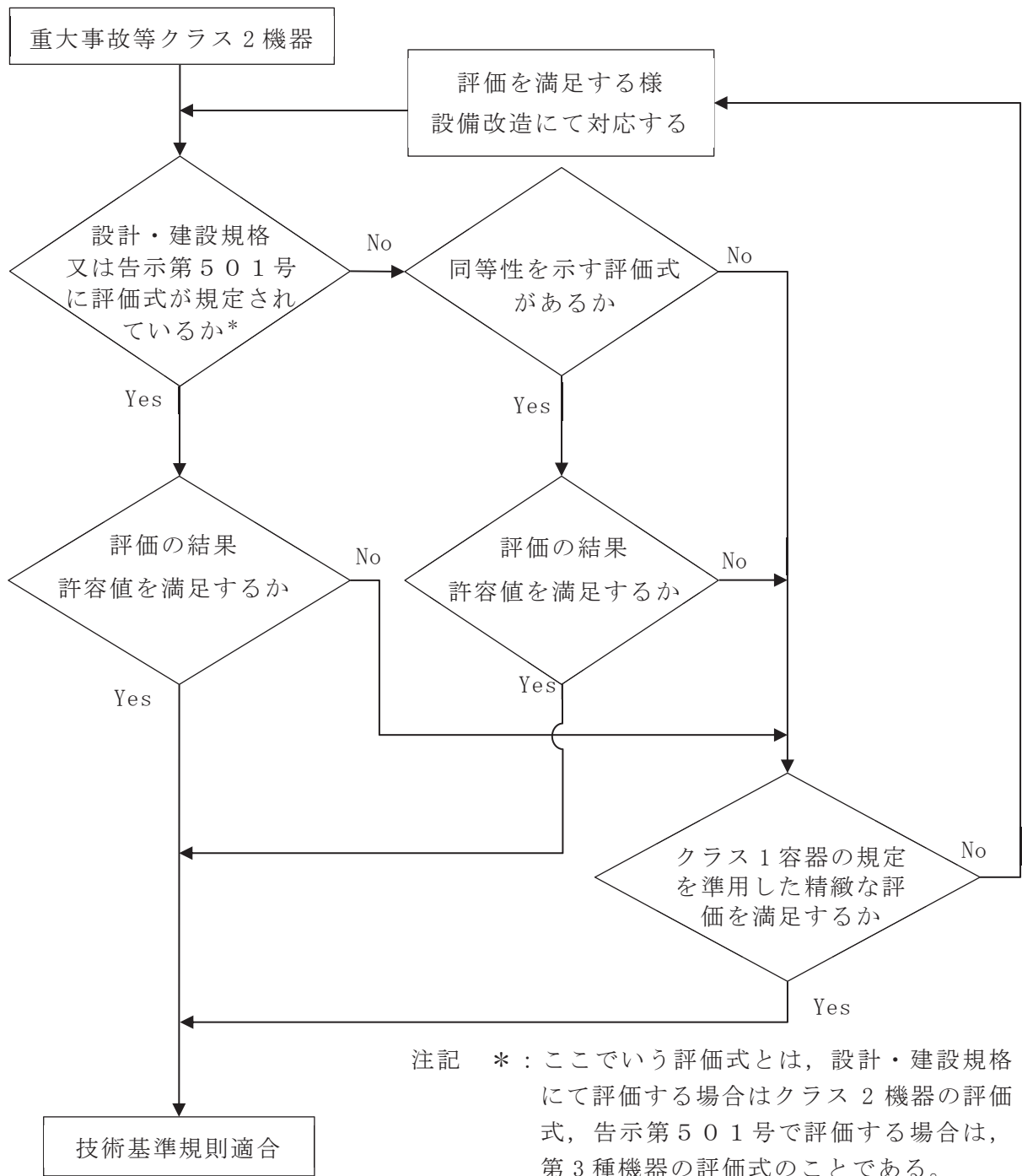


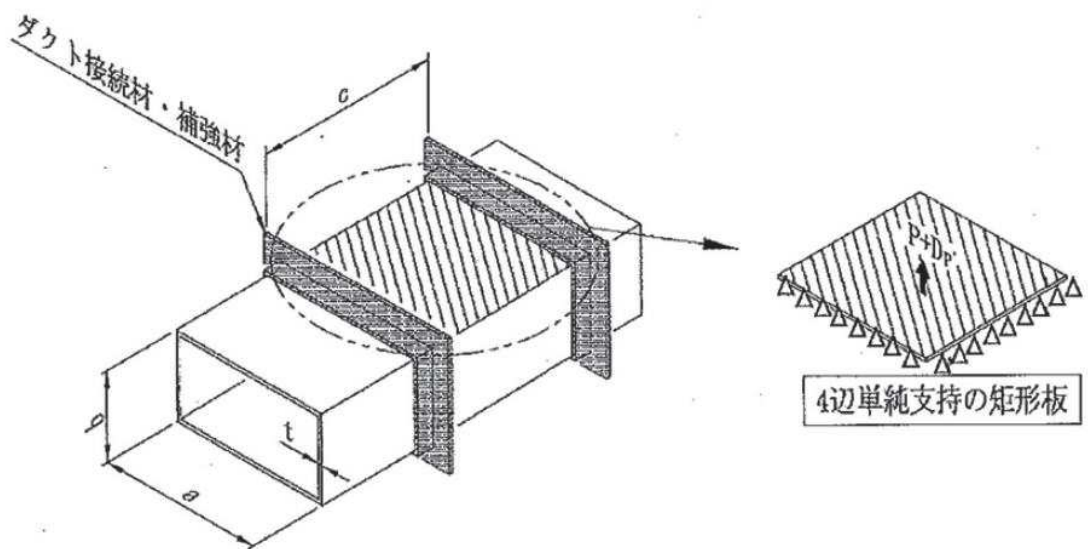
図 2-2 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形板の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

重大事故等クラス 2 管のうち矩形ダクトについては、形状が円形ではないことから、設計・建設規格に規定されているクラス 2 管の円形を前提とした評価式を適用することができない。このため、矩形ダクトの強度評価については、以下に示すとおり重大事故等クラス 2 管の評価手法として妥当性を確認した機械工学便覧に記載されている長方形板の大たわみ式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス 2 管の評価式を適用できない矩形ダクトについて、矩形ダクトの任意のダクト鋼板面のうち 2 辺は他の 2 つの側面のダクト鋼板で支持されており、残りの 2 辺は補強部材（及び接続材）で支持された、4 辺単純支持長方形板とみなすことができる。実際の使用条件では、この鋼板面に圧力と自重の等分布荷重である面外荷重が作用する。鋼板面は、この面外荷重により薄い平板が板厚の半分以上大きくたわみ、膜引張応力状態で応力の釣合いが保たれ、鋼板中心部で最大応力が発生する。このように、薄い平板が板厚の半分以上の比較的大きなたわみを生じる挙動を示す場合の応力評価には、機械工学便覧記載の長方形板の大たわみ式（次項に示す 2 つの式）が適していることから、矩形ダクトの強度評価には、機械工学便覧記載の 4 辺単純支持長方形板の大たわみ式を用いる。



計算に使う記号

記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
P	MPa	最高使用圧力
g	mm/s ²	重力加速度
D _p	kg/mm ²	単位面積あたりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算式

$$\frac{256 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} \cdot (P + g \cdot D_p) =$$

$$\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{a^2 \cdot c^2} + (3 - \nu^2) \cdot \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \cdot \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{max}}{8 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left\{ \frac{(2 - \nu^2) \cdot \delta_{max} + 4 \cdot t}{a^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{max} + 4 \cdot t)}{c^2} \right\}$$

b. 判断基準

矩形ダクトの強度評価では，設計・建設規格クラス 2 管に規定のある厚さ計算及び応力計算を参考とし，機械工学便覧のたわみの式を適用した評価を実施する。また，判断基準については以下のとおりとし，裕度については設計・建設規格のクラス 2 管の規定における許容引張応力 S 値を適用する。

(a) 厚さ計算

最小板厚を求める場合は，面外荷重による一次応力 σ_{max} を許容引張応力 S 値に置き換えて，2 式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び t を求める。この時の t を矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し，ダクトの実際使用厚さが計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

一次応力を求める場合は，公称値を用いて，2 式を解き，両式を満足する δ_{max} 及び σ_{max} を求める。この時の σ_{max} を矩形ダクトの一次応力と定義し，一次応力が許容引張応力 S 値の 1.5 倍以下であることを確認する。

(2) クラス 3 ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価

重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプについては、告示第 5 0 1 号の第 3 種ポンプ及び設計・建設規格におけるクラス 2 ポンプに評価式が規定されていないため、立形ポンプの強度評価については、以下に示すとおりの重大事故等クラス 2 ポンプの評価手法として妥当性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス 3 ポンプの評価式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス 2 ポンプ及びクラス 3 ポンプのケーシングの強度評価式を表 2-1 に示す。

ケーシング厚さの評価式については、一般的な材料力学における内圧を受ける薄肉円筒の式又は内圧を受ける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づいており、横形ポンプにおいては、クラス 2 ポンプとクラス 3 ポンプの考え方は同一であり、技術的に同一の強度を有することが要求されている。この考え方については、クラス 2 管とクラス 3 管の厚さ計算についても同様であることから、クラス 2 ポンプに評価式が規定されていない重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプのケーシングの強度評価については、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いる。

表 2-1 設計・建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ 型式	設計・建設規格強度評価式		備考
	クラス 2	クラス 3	
横形 ポンプ	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	$t = \frac{P \cdot A}{2 \cdot S}$	・同じ式である。 ・内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく。
立形 ポンプ	—	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot (S \cdot \eta + P \cdot y)}$	・内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。
配管 (参考)	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$	・同じ式である。 ・内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。
<p>t : ケーシング及び吐出エルボ、揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ (mm)</p> <p>P : 最高使用圧力 (MPa)</p> <p>A : 設計・建設規格 図 PMC-3320-1 から図 PMC-3320-6 又は設計・建設規格 図 PMD-3310-1 から PMD-3310-6 までに示す寸法 (mm)</p> <p>S : 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 (MPa)</p> <p>D_o : 設計・建設規格 図 PMD-3310-7 に示す吐出エルボの外径寸法、揚水管の外径寸法、個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法 (mm)</p> <p>η : 長手継手の効率で、設計・建設規格 PVD-3110 に定めるところによる。</p> <p>y : 0.4 (D_o / t ≥ 6.0 の場合) d / (d + D_o) (D_o / t < 6.0 の場合)</p>			

b. 判断基準

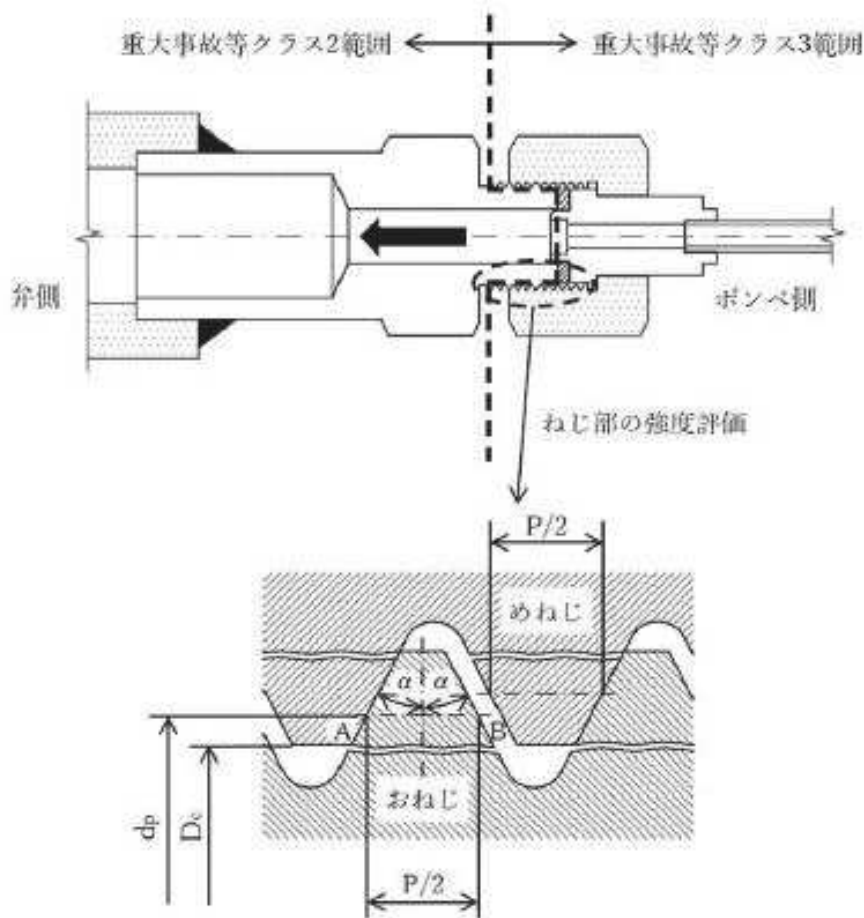
立形ポンプのケーシングの強度評価では、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが、裕度については設計・建設規格のクラス 2 ポンプのケーシングの規定における許容引張応力 S 値を適用する。

(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

重大事故等クラス2管のうちねじ込み継手については端部がねじ部であるため設計・建設規格に規定されているクラス2管の評価式を適用することができない。このため、ねじ部の強度評価については、以下に示す機械工学便覧に記載されているねじ部のせん断破壊評価式を準用した評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用するねじはJ I S B 8 2 4 6 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また、継手部の厚さ計算については、設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。



計算に使う記号及び計算式

記号	単位	定義
AB	mm	おねじのせん断長さ
P	mm	ピッチ
d_p	mm	おねじの有効径
D_c	mm	めねじの内径
α	°	ねじ角度
W_B	N	おねじのねじ山の許容軸方向荷重
z	—	負荷能力があるとみなされる、ねじ山の数 $z = (L - 0.5 \cdot P) / P$
τ_B	MPa	おねじ材料の許容せん断応力
L	mm	ねじの基準長さ
F_B	MPa	おねじの耐圧力
F_t	N	ねじ締付トルクによる引抜荷重
A	mm ²	内圧評価断面積

計算式
$AB = (P/2) + (d_p - D_c) \cdot \tan \alpha$ $W_B = \pi \cdot D_c \cdot (AB) \cdot z \cdot \tau_B$ $F_B = (W_B - F_t) / A$

b. 許容値

ねじ部のせん断評価は、機械工学便覧記載のせん断破壊式を準用した評価を実施するが、ねじ込み継手は管と管とを接続する継手であることから、許容値については設計・建設規格クラス 2 管の規定における許容引張応力 S を基に求めた許容せん断応力 $S/\sqrt{3}$ を適用する。

(4) クラス 1 容器の規定を準用又は参考とした評価

重大事故等クラス 2 機器の評価において、公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価を実施する必要があるため、設計・建設規格にて規定されている準用規定に基づき、クラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。そのため機器によっては、公式による評価と解析による評価を組み合わせ、その健全性を確認する方針とする。

クラス 1 容器の規定を満足しない場合は、重大事故等時に求められる機能を発揮できるよう、クラス 1 容器の規定を参考とした評価を実施する。

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価は公式による評価が基本となるが、公式による評価を満足しない部位を含む機器は、公式による評価と解析による評価を組み合わせた評価を実施する。

(a) クラス 2 機器の公式による評価

設計・建設規格のクラス 2 機器の評価については、設計・建設規格 PVC-3000 (クラス 2 容器の設計)、PPC-3000 (管の設計)、PMC-3000 (クラス 2 ポンプの設計) の各機器の規定において、胴、管、ケーシング等の一般部の板厚評価式、開口部に対する補強及びフランジの簡易評価式等、強度評価式が種々に与えられているが、構造不連続部等の局所に着目した強度評価方法については明確にされていない。

設計・建設規格のクラス 2 機器であっても、構造不連続部等の局所的に応力が高い部分も存在すると考えられるが、各機器の規定されている強度評価は、一般部に対し、許容値を低く設定 (許容引張応力 S) して裕度のある評価を行うことで、局所の健全性も担保している。

(b) 解析による評価

評価対象部位のうち公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価としてクラス 1 容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。解析による評価は、構造不連続部等の局所的に応力が高い部位を模擬した詳細な解析に応じた許容値 (設計応力強さ S_m) を設定し、より精緻な評価を行うことで、局所の健全性を確認している。

(c) 評価対象部位間の相互影響

前述の(b)項に記載の機器は、評価対象部位ごとに公式と解析による評価が混在する機器であり、以下に示すとおり部位間の相互影響を適切に考慮することで、機器としての健全性を確認する。

イ. 一体構造体

主管に設けられた管台等の一体構造体中に存在する構造不連続部等の局所では、一般部に比べ発生応力が大きくなり、その局部応力により局所周辺も発生応力が引き上げられると考えられる。そのため、局部応力が隣接する部位に及ぼす影響の有無を適切に評価する必要がある。

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については、設計・建設規格 解説にその考え方が示されており、設計・建設規格 解説 PVB-3513（補強面積の設置条件）及び設計・建設規格 解説 PVB-3530（補強をしない穴の適合条件）では、殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲について示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513 には

「 $0.5 \sqrt{R \cdot t}$ 内に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから、主管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する構造不連続部等の局所の評価について、局部応力が及ぼす影響範囲

$0.5 \sqrt{R \cdot t}$ を網羅するよう適切にモデル化することで、一体構造体として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

フランジとボルト等の一体でない異なる構造体中に存在する評価対象部位間では、荷重・変位伝達等を個別に設定することで、独立した部位として個々に評価を実施する。

2.2 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、技術基準規則第55条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

クラス1機器については、重大事故等時に流路としての機能が要求され、重大事故等クラス2機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度、事故時荷重等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の適用規格である告示第501号による評価を基本とし、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び事故時荷重に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、流路としての十分な機能が保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

また、重大事故等クラス2支持構造物は、技術基準規則第55条において、「重大事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器に溶接により取り付けられている支持構造物については、重大事故等クラス2機器であってクラス1機器と同様に、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び自重に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とする。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

注記 *：運転状態Ⅳの許容応力は、告示第501号第13条解説において、鋼材の終局的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力（ P_m ）は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力（ P_L ）＋一次曲げ応力（ P_b ）は $1.5 \times 2/3 S_u$ （ $= S_u$ ）と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。告示第501号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保証を与えるものであり、それを適用することについて

ては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

2.3 重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物であって原子炉格納容器支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス 2 機器は、技術基準規則第 55 条において、「設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

原子炉格納容器については、重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能が要求され、重大事故等クラス 2 機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時の使用圧力、使用温度等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑えることについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器の強度評価に当たっては、既に施設された設備であることから、施設時の適用規格である告示第 501 号による評価を基本とし、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力及び使用温度の評価条件に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とし、その評価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認する。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

また、重大事故等クラス 2 支持構造物は、技術基準規則第 55 条において、「重大事故等クラス 2 機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから、重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器に溶接により取り付けられている原子炉格納容器支持構造物については、重大事故等クラス 2 機器であって原子炉格納容器と同様に、設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力、使用温度及び自重に対して、運転状態Ⅳの許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とする。なお、上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は、その評価結果の確認を実施する。

注記 *：運転状態Ⅳの許容応力は、告示第 501 号第 13 条解説において、鋼材の終局的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力 (P_m) は $2/3 S_u$ 、一次局部膜応力 (P_L) + 一次曲げ応力 (P_b) は $1.5 \times 2/3 S_u$ ($= S_u$) と規定されている。前者は、膜応力であり断面の応力が S_u に到達すると直ちに破損に至るため割下げ率 1.5 を考慮して規定されているが、後者は、断面表面が S_u に到達しても断面内部は更なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は 1.0 としている。一方、原子炉格納容器のジェット力及び機械的荷重に対する応力評価は、告示 501 号第 21

条において、一次一般膜応力（ P_m ）は $0.6 S_u$ 、一次局部膜応力（ P_L ）＋一次曲げ応力（ P_b ）は $1.5 \times 0.6 S_u (= S_u)$ と規定されている。原子炉格納容器の応力評価を行う上での分類は運転状態Ⅳであることから、告示第501号第13条の許容応力と比較して保守側となる告示第501号第21条の許容応力を評価基準値とする。告示第501号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は、耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保証を与えるものであり、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切かつ十分な裕度を有した設計となる。

2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料について、技術基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針に従って重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

(1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格又は告示第501号において使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は、機械的強度及び化学的成分について、使用材料となるクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な材料であることを確認する。

a. 機械的強度

(a) 評価項目の選定

機械的強度については、使用材料と比較対象となるクラス2機器の使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である日本産業規格（以下「JIS」という。）等に規定されている機械的性質のうち機械的強度の評価について必要な項目の選定を行う。選定結果を表2-2に示す。

表 2-2 機械的強度における評価項目の選定結果

機械的性質*	選定結果	選定理由
引張強さ	○	引張強さ，降伏点又は耐力については，強度評価に用いる設計許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
降伏点 又は耐力		
伸び	×	伸びについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス 2 機器の強度評価においては，全体的な変形を弾性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略する。また，一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を大きくとれるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては，材料の延性の評価に用いる値であるが，重大事故等クラス 2 機器については，塑性変形する領域では使用しないことから今回評価を省略する。また，一般的に絞りが大きいほど深しぼり加工等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については，材料の加工性を示す値であるが，一般的に曲げ性が大きいほど曲げ加工等の成型性がよくなるものの，対象となる重大事故等クラス 2 機器は既に施設された設備であるため，今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については，材料のじん性の評価に用いられる値であるが，じん性については「(2) 破壊じん性」において確認を実施するため，今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては，耐摩耗性を示す値であり，硬いほど耐摩耗性が強くなるが，引張強さと相関関係がある値であり，引張強さについて確認を実施するため，今回評価を省略する。

注記 *：J I S 等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について、使用材料と設計・建設規格においてクラス 2 機器に使用可能な材料として規定された材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な機械的強度を有していることを確認する。

b. 化学的成分

(a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は、使用材料と比較対象となるクラス 2 機器に使用可能な材料として規定されている材料の材料規格である J I S 等に記載されている化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として設定された化学的成分について、使用材料と設計・建設規格においてクラス 2 機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較を行い、化学的成分規定値に差異があった場合は、化学的成分ごとの影響を確認し、使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。あるいは、求められる機能を考慮し、使用条件に対して適切な材料であることを確認する。なお、各化学的成分の影響については、表 2-3 のとおり整理する。

表 2-3 化学的成分が材料に及ぼす影響整理表

		C	S _i	M _n	P	S	C _u	N _i	C _r	M _o	V	W	影響の確認方法
機械的強度		向上	向上	向上	向上	—	向上	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、材料の機械的強度である引張強さ、降伏点又は耐力が同等であることを確認する。
高温強度		向上	—	—	—	—	—	—	—	向上	—	—	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、高温域（設計・建設規格 PVB-3312）で使用されていないことを確認する。
溶接性		低下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は、溶接規格*にて定められた数値 0.35 %以下であることを確認する。
じん性		低下	—	向上	低下	低下	—	向上	—	—	—	—	じん性については、「(2) 破壊じん性」において確認する。なお、じん性に影響を及ぼす不純物である P、S の化学的成分に差異がある場合は、成分値が影響を与えるレベル以下であることを確認する。
耐食性	応力腐食割れ	低下	—	—	—	—	—	向上	向上	—	—	—	耐食性のうち、応力腐食割れに影響を与える化学的成分には、C、N _i 、C _r があるが、N _i 、C _r については応力腐食割れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要であることから、悪影響を与える C の含有量が過剰でないことを確認する。全面腐食に影響を与える成分に差異がある場合は、悪影響を与える差異がないことを確認する。なお、耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理やライニング処理が行われていることも確認する。
	全面腐食	—	—	—	—	—	向上	向上	向上	向上	向上	—	

注記 *：発電用原子力設備規格 溶接規格（2007年版）J SME S NB 1-2007（日本機械学会）を示す。なお、施設時の適用規格である電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和 45 年通商産業省令第 81 号）も同値である。

(2) 破壊じん性

a. 破壊じん性試験不要となる材料の規定

破壊じん性については、設計・建設規格に規定されている破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊じん性試験不要となる材料の規定*1

- ・厚さが 16 mm 未満の材料
- ・断面積 625 mm² 未満の棒の材料
- ・呼び径が 25 mm 未満のボルト等の材料
- ・外径が 169 mm 未満の管の材料
- ・厚さが 16 mm, 又は外径が 169 mm 未満の管に接続されるフランジの材料及び管継手の材料
- ・オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金
- ・非鉄金属

注記 *1: 一例としてクラス 2 容器の除外規定 (設計・建設規格 PVC-2310) を記載している。

b. 破壊じん性の確認

破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当しない機器の破壊じん性については、施設時の要求を考慮し、以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊じん性が要求されていた設備

該当設備は、施設時の規格の要求に基づき十分な破壊じん性を有していることを確認している。また、材料の破壊じん性値は、一般的に温度が低くなるにつれて低下することから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊じん性が要求されていなかった設備

対象設備は、機器クラスがクラス 3 機器 (工学的安全施設を除く)、クラス 4 管及び Non クラス*2 に該当する設備であり、施設時における破壊じん性に対する要求がないことから、材料のじん性は確認されていないが、設計基準の使用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで、使用条件下での脆性破壊に対するじん性は同じであるとみなせることから、脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度について、重大事故等対処設備としての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響のないことを確認する。

注記 *2：技術基準規則第2条第2項第28号，第32号，第33号，第34条及び第35条に規定する「原子炉格納容器」，「クラス1容器」，「クラス1管」，「クラス1ポンプ」，「クラス1弁」，「クラス2容器」，「クラス2管」，「クラス2ポンプ」，「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物，「クラス3容器」，「クラス3管」，「クラス4管」，炉心支持構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの以外の容器，管，ポンプ，弁又は支持構造物

上述の(a)項，(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低使用温度は屋外に施設される機器においては石巻特別地域気象観測所の気象観測記録における最低温度である -14.6°C ，原子炉格納容器の最低使用温度は 0°C ，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器及び屋内に設置されている機器においては建屋内雰囲気温度の最低温度である 10°C ，海水と接する設備は海水の最低温度 5.6°C がそれぞれ設定されている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため，原子炉格納容器及び屋外に施設される機器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定した値と変わらない。屋内に施設される機器のうち，重大事故等時において通水される内部流体が高温流体の場合は，設計基準対象施設として設定されている最低温度 10°C を下回ることとはなく，原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器については，重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダリは高温状態となるため，設計基準対象施設としての最低使用温度を下回ることとはない。また，屋内に施設される機器のうち，重大事故等時において通水される内部流体のうち最も温度が低い海水の場合においても最低海水温度が 5.6°C であり，設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10°C を有意に下回ることとはない。

以上より，(a)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていた機器において，材料の破壊じん性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない機器については，施設時に確認した破壊じん性が重大事故等対処設備としての材料に要求される破壊じん性を包絡しており，重大事故等対処設備としての評価は省略する。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回る機器については，使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていなかった機器において，設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最低使用温度とを比較し，使用条件に応じた材料が規格に適合していること若しくは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

(3) 非破壊試験

a. 非破壊試験の実施確認

重大事故等クラス2機器に属する鋳造品については、非破壊検査の実施の有無を確認する。

b. 非破壊試験の実績の有無

強度計算に用いる許容値に、非破壊試験実施の有無による品質係数を適用することで、材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。

VI-3-1-6 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針	2
2.1 完成品を除く重大事故等クラス 3 機器の構造及び強度	3
2.2 重大事故等クラス 3 機器のうち完成品の構造及び強度	4

1. 概要

重大事故等クラス 3 機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条第 1 項第 3 号及び第 6 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は，重大事故等クラス 3 機器である容器，管及びポンプが十分な強度を有することを確認するための強度評価の基本方針について説明するものである。

2. 重大事故等クラス 3 機器の強度評価の基本方針

重大事故等クラス 3 機器の材料及び構造については、技術基準規則第 55 条（材料及び構造）に規定されており、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）により完成品として一般産業品の規格及び基準へ適合している場合は、技術基準規則の規定を満足するものとされている。

よって、重大事故等クラス 3 機器の技術基準規則第 55 条への適合性については、技術基準規則の解釈第 55 条 6 において同解釈第 17 条 6 を準用していることから、第 17 条において技術基準規則を満たす仕様規定としている「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」＜第 I 編 軽水炉規格＞ J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）のクラス 3 機器を参考にして評価を実施する、又は完成品として一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認することで評価を実施する。

完成品を除く重大事故等クラス 3 機器の材料については設計・建設規格を参考にして適切な材料を使用する設計とする。また、重大事故等クラス 3 機器のうち完成品の材料については、完成品として一般産業品の規格及び基準に適合するものを使用する設計とする。

2.1 完成品を除く重大事故等クラス3機器の構造及び強度

(1) 管

管は、設計・建設規格のクラス3管の規定を準用し、強度評価を実施する。

(2) フランジ

管のフランジは、設計・建設規格 PPD-3414 に適合するものを使用する設計とする。

(3) 管継手

管継手の強度評価は、以下のいずれかによる。

- ・設計・建設規格 PPD-3415 に適合するものを使用する設計とする。
- ・設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ、実条件を踏まえた耐圧試験により裕度を有することが確認された型式のものを使用する設計とする。なお、設計・建設規格のクラス3機器の規定では、設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求めており、設計許容応力は降伏点に対して8分の5を基準にしていることから、降伏点に対する安全率は1.6となる。また、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍（気圧の場合は1.25倍）の106%を超えないこととしている。

2.2 重大事故等クラス3機器のうち完成品の構造及び強度

完成品は、一般産業品の規格及び基準への適合性を確認することにより材料及び構造の要求を満たしていると評価することから、適用される規格及び基準を、その規格基準に応じて、「法令^{*1}又は公的な規格^{*2}」、「メーカー規格及び基準」の2つの区分に分類し、適用される規格及び基準が妥当であること、対象とする機器の材料が適切であること及び使用条件に対する強度を確認する。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク、非常用発電装置（可搬型）に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては、可搬型ポンプ及び非常用発電装置（可搬型）が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として製作されているため、内燃機関を有する可搬型ポンプ又は非常用発電装置（可搬型）が一般産業品の規格及び基準へ適合していることを確認することで、それらの附属機器である燃料タンク又は冷却水ポンプが重大事故等時の使用条件に対する強度を有することを確認する。

注記 *1：例えば、高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規則等
*2：例えば、日本産業規格等

VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針	1

1. 概要

原子炉格納容器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 17 条第 1 項第 5 号及び第 12 号に規定されており，適切な材料を使用し，十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は，原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部及び電気配線貫通部が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

原子炉格納容器の材料及び構造については，技術基準規則第 17 条（材料及び構造）に規定されており，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日 原規技発第 1306194 号）第 17 条 10 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）」）＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2005/2007」（日本機械学会）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編軽水炉規格＞ J S M E S N C 1 - 2012」（日本機械学会）によることとされているが，技術基準規則の施行の際現に施設し，又は着手した設計基準対象施設については，施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において規定される J S M E S N C 1 - 2005/2007 及び J S M E S N C 1 - 2012 は，いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部及び電気配線貫通部は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日通商産業省告示第 5 0 1 号）（以下「告示第 5 0 1 号」という。）であることから，J S M E S N C 1 - 2005/2007 と告示第 5 0 1 号の比較を行い，いずれか安全側の規格による評価を実施する。

なお，原子炉格納容器の強度計算方法については計算書で個別に示すこととする。