

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0118_改4
提出年月日	2021年10月8日

02-工-B-19-0118_改3(2021年9月27日提出)からの記載適正化箇所のみ抜粋


VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書

2021年10月

東北電力株式会社

(Ⅰ) 排気筒の地震応答計算書


(Ⅱ) 排気筒の耐震計算書

 : 記載適正化範囲

(Ⅱ) 排気筒の耐震計算書

目次

1.	基本方針	(Ⅱ)-1
1.1	評価方針	(Ⅱ)-1
1.2	適用規格・基準等	(Ⅱ)-10
2.	評価方法	(Ⅱ)-11
2.1	荷重及び部材応力の組合せ	(Ⅱ)-11
2.1.1	荷重	(Ⅱ)-11
2.1.2	部材応力の組合せ	(Ⅱ)-17
2.2	許容限界	(Ⅱ)-18
2.3	使用材料及び材料の許容応力度	(Ⅱ)-19
2.4	断面の評価方法	(Ⅱ)-21
2.4.1	筒身	(Ⅱ)-21
2.4.2	鉄塔	(Ⅱ)-23
3.	評価結果	(Ⅱ)-24
3.1	耐震評価結果	(Ⅱ)-24
4.	制震装置（制震オイルダンパ）及び支持点部の評価	(Ⅱ)-39
4.1	制震装置（制震オイルダンパ）の評価	(Ⅱ)-39
4.2	制震装置（制震オイルダンパ）支持点部の評価	(Ⅱ)-40
5.	筒身脚部及び鉄塔脚部の断面評価	(Ⅱ)-54
5.1	評価方法	(Ⅱ)-54
5.2	アンカーボルトに対する検討	(Ⅱ)-56
5.2.1	アンカーボルトの引張応力度に対する検討	(Ⅱ)-56
5.2.2	アンカーボルトのせん断応力度に対する検討	(Ⅱ)-57
5.2.3	引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討	(Ⅱ)-57
5.2.4	コンクリートのコーン状破壊に対する検討	(Ⅱ)-58
5.3	ベースプレートに対する検討	(Ⅱ)-59
5.3.1	コンクリートの圧縮応力度に対する検討	(Ⅱ)-59
5.3.2	ベースプレートの面外曲げに対する検討	(Ⅱ)-59
5.4	フランジプレートに対する検討	(Ⅱ)-60
5.4.1	フランジプレートの面外曲げに対する検討	(Ⅱ)-60
5.5	リブプレートに対する検討	(Ⅱ)-61
5.5.1	リブプレートの圧縮応力度に対する検討	(Ⅱ)-61
5.5.2	リブプレートのせん断応力度に対する検討	(Ⅱ)-62
5.6	評価結果	(Ⅱ)-63

 : 記載適正化範囲

4.2 制震装置（制震オイルダンパ）支持点部の評価

制震装置（制震オイルダンパ）支持部平面図及び支持点荷重を図 4-1 に示す。

制震装置（制震オイルダンパ）と筒身は、支持点アームの先端で接続しており、制震装置（制震オイルダンパ）の反力は支持点アームの先端に伝達し、筒身周囲に設けた補強リングによって抵抗されることから、支持点アームと補強リングの評価を行う。また、第 3 支持点では第 2 号機筒身及び第 3 号機筒身間を筒身連結材による荷重の伝達があることから、筒身連結材の評価も行う。

制震装置（制震オイルダンパ）支持部及び筒身連結材の評価は、基準地震動 S_s による地震荷重及び弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対して行う。支持点アーム及び筒身連結材に加わる地震荷重は、すべての基準地震動 S_s 又は、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による排気筒基礎の不確かさを考慮した地震応答解析により求まる制震装置(制震オイルダンパ)の反力及び筒身の反力を包絡した値を設定する。

支持点アーム、補強リング及び筒身連結材の構成断面を図 4-2 に示す。制震オイルダンパ取付部及び筒身連結部より作用する支持点反力から、支持点部の構成断面に発生する部材力を算定する。発生部材力に対して評価断面において応力度計算を行い、発生応力度が許容応力度以下であることを確認する。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「建設省告示第 2464 号」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。応力度計算において、各プレートには外面 1mm の腐食代を考慮する。

基準地震動 S_s に対する支持点アーム及び補強リングの断面評価結果を表 4-2 及び表 4-3 に、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する支持点アーム、補強リングの断面評価結果を表 4-4～表 4-5 に示す。表 4-2～表 4-5 により、支持点アーム及び補強リングの評価値は、各許容値以下であることを確認した。

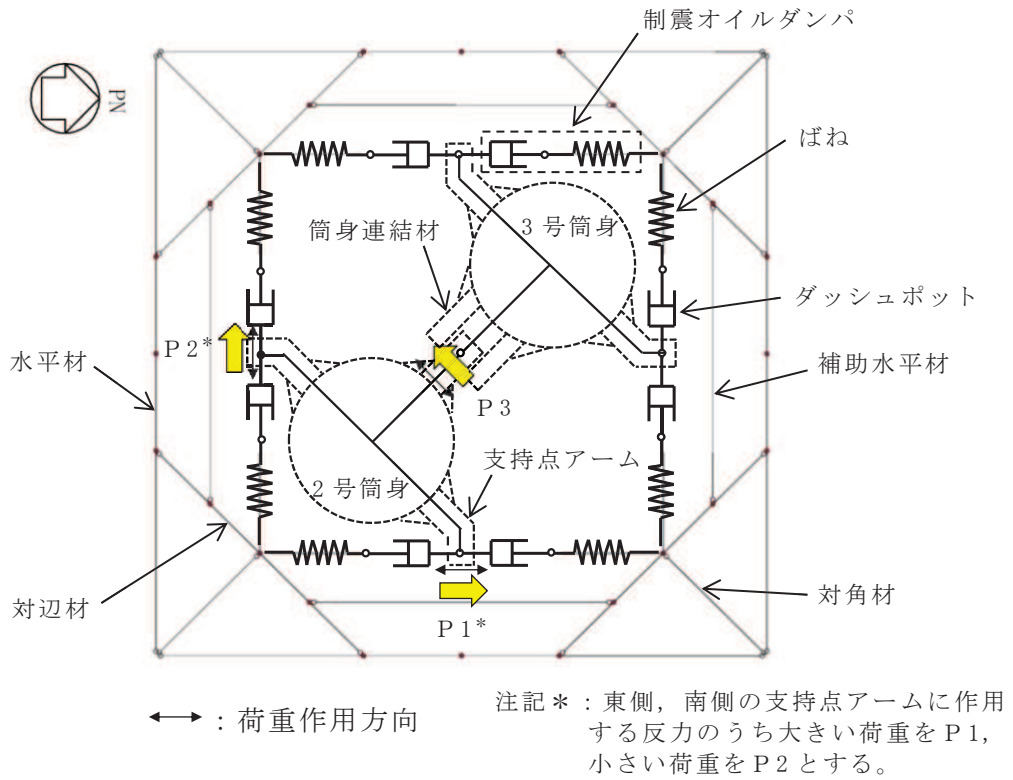


図 4-1(1) 制震オイルダンパ支持点平面図及び支持点荷重 (全体図)

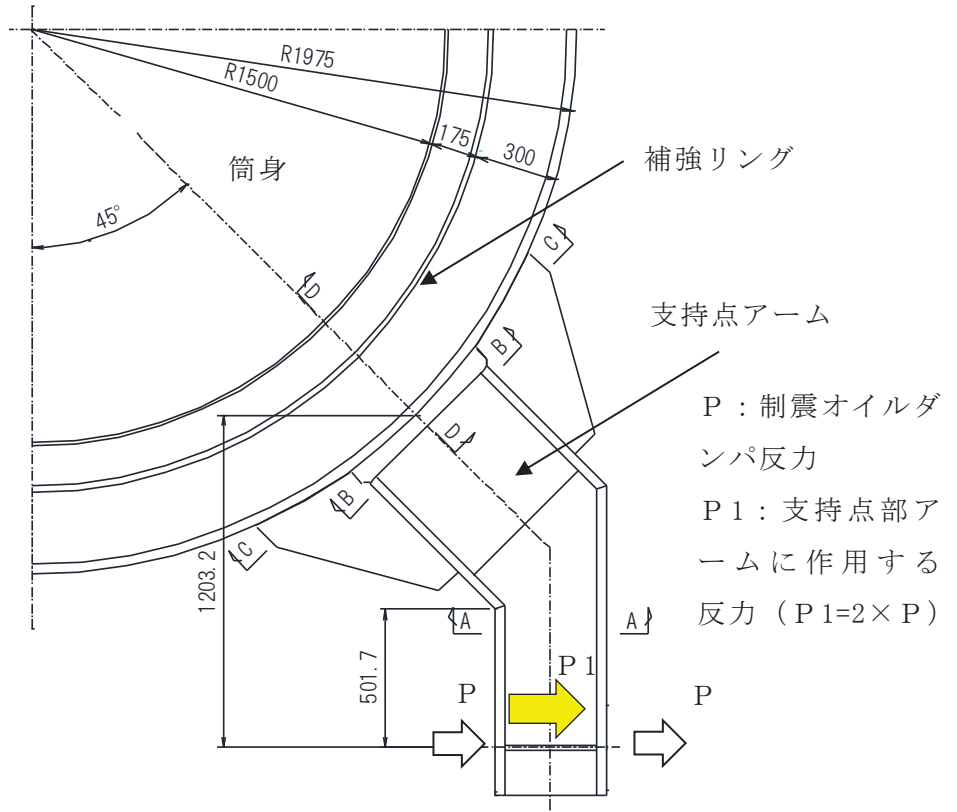


図 4-1(2) 制震オイルダンパ支持点平面図及び支持点荷重 (支持点アーム拡大図)
(単位 : mm)

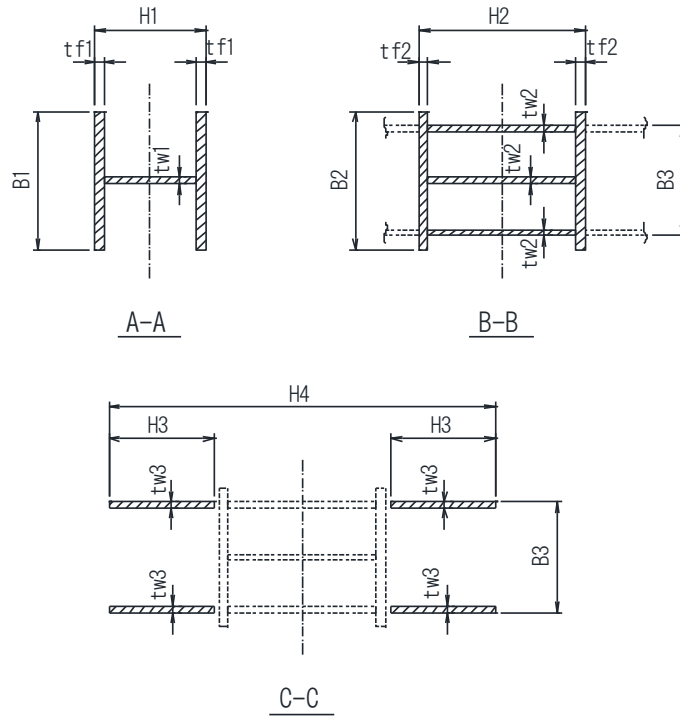


図 4-2(1) 支持点アームの構成断面 (単位: mm)

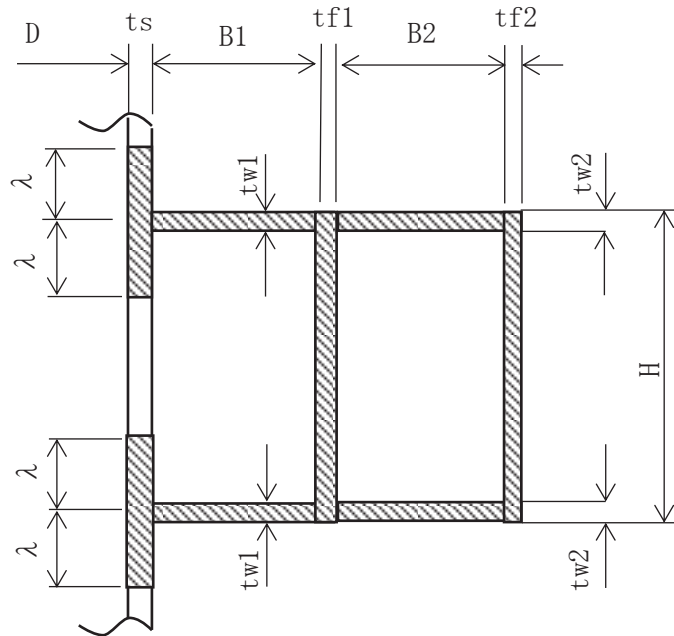


図 4-2(2) 補強リングの構成断面 (D-D 断面)

表 4-2(1) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面変化部 (A-A 断面)	フランジ幅	B 1	mm	500
	ウェブ高さ	H 1	mm	400
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 1	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 1	mm	22
	曲げモーメント	M _A	kN・m	362
	せん断力	Q _A	kN	720
	断面係数	Z _A [*]	cm ³	5420
	せん断断面積	A _{S A} [*]	cm ²	67.60
	曲げ応力度	σ _{b A}	N/mm ²	66.8
	せん断応力度	τ _A	N/mm ²	106.6
	合成応力度	σ _A	N/mm ²	196.4
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	曲げ応力度比	σ _{b A} / f _b	-	0.26
せん断応力度比	τ _A / f _s	-	0.72	
合成応力度比	σ _A / f _t	-	0.76	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{b A} = M_A / Z_A$$

$$\tau_A = Q_A / A_{S A}$$

$$\sigma_A = (\sigma_{b A}^2 + 3\tau_A^2)^{1/2}$$

表 4-2(2) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (B-B 断面)	フランジ幅	B 2	mm	500
	ウェブ高さ	H 2	mm	600
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 2	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 2	mm	22
	軸力	N _B	kN	510
	曲げモーメント	M _B	kN・m	867
	せん断力	Q _B	kN	510
	断面積	A _B *	cm ²	622.8
	断面係数	Z _B *	cm ³	10700
	せん断断面積	A _{S B} *	cm ²	322.8
	圧縮応力度	σ _{c B}	N/mm ²	8.2
	曲げ応力度	σ _{b B}	N/mm ²	81.1
	せん断応力度	τ _B	N/mm ²	15.8
	合成応力度	σ _B	N/mm ²	93.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\sigma_{c B} / f_c + \sigma_{b B} / f_b$	-	0.36	
せん断応力度比	τ _B / f _s	-	0.11	
合成応力度比	σ _B / f _t	-	0.37	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c B} = N_B / A_B$$

$$\sigma_{b B} = M_B / Z_B$$

$$\tau_B = Q_B / A_{S B}$$

$$\sigma_B = ((\sigma_{c B} + \sigma_{b B})^2 + 3\tau_B^2)^{1/2}$$

表 4-2(3) S s 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (C-C 断面)	ウェブ幅	H 3	mm	380
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 3	mm	22
	ウェブ間隔(上下)	B 3	mm	400
	ウェブ間隔(水平)	H 4	mm	1400
	軸力	N _c	kN	510
	曲げモーメント	M _c	kN・m	867
	せん断力	Q _c	kN	510
	断面積	A _c *	cm ²	304.0
	断面係数	Z _c *	cm ³	11800
	せん断断面積	A _{s c} *	cm ²	304.0
	圧縮応力度	σ _{c c}	N/mm ²	16.8
	曲げ応力度	σ _{b c}	N/mm ²	73.5
	せん断応力度	τ _c	N/mm ²	16.8
	合成応力度	σ _c	N/mm ²	94.9
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	258.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\sigma_{c c} / f_c + \sigma_{b c} / f_b$	-	0.36
せん断応力度比	τ _c / f _s	-	0.12	
合成応力度比	σ _c / f _t	-	0.37	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c c} = N_c / A_c$$

$$\sigma_{b c} = M_c / Z_c$$

$$\tau_c = Q_c / A_{s c}$$

$$\sigma_c = ((\sigma_{c c} + \sigma_{b c})^2 + 3\tau_c^2)^{1/2}$$

表 4-3 S s 地震時における補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力	支持点アーム側	P 1	kN	720
	(P 1 > P 2 とする)	P 2	kN	540
	筒身連結材側	P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t f 1	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t f 2	mm	40
	ウェブ板厚(内側)	t w 1	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t w 2	mm	40
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B 1	mm	145
	リング幅(外側)	B 2	mm	260
軸力		N	kN	474
曲げモーメント		M	kN・m	758
せん断力		Q	kN	496
断面積		A *	cm ²	519.3
断面係数		Z *	cm ³	4140
せん断断面積		A s *	cm ²	247.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	9.2
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	183.1
せん断応力度		τ	N/mm ²	20.1
合成応力度		σ	N/mm ²	195.5
許容圧縮応力度		f c	N/mm ²	258.5
許容曲げ応力度		f b	N/mm ²	258.5
許容せん断応力度		f s	N/mm ²	149.2
許容引張応力度		f t	N/mm ²	258.5
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.75
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.14
合成応力度比		σ / f_t	-	0.76

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 \sqrt{E / F} \cdot t_s$$

表 4-4(1) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面変化部 (A-A 断面)	フランジ幅	B 1	mm	500
	ウェブ高さ	H 1	mm	400
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 1	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 1	mm	22
	曲げモーメント	M _A	kN・m	211
	せん断力	Q _A	kN	420
	断面係数	Z _A [*]	cm ³	5420
	せん断断面積	A _{SA} [*]	cm ²	67.60
	曲げ応力度	σ _{bA}	N/mm ²	39.0
	せん断応力度	τ _A	N/mm ²	62.2
	合成応力度	σ _A	N/mm ²	114.6
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	曲げ応力度比	σ _{bA} / f _b	-	0.17
せん断応力度比	τ _A / f _s	-	0.46	
合成応力度比	σ _A / f _t	-	0.49	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bA} = M_A / Z_A$$

$$\tau_A = Q_A / A_{SA}$$

$$\sigma_A = (\sigma_{bA}^2 + 3\tau_A^2)^{1/2}$$

表 4-4(2) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P 1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (B-B 断面)	フランジ幅	B 2	mm	500
	ウェブ高さ	H 2	mm	600
	フランジ板厚(使用板厚)	t f 2	mm	32
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w 2	mm	22
	軸力	N _B	kN	297
	曲げモーメント	M _B	kN・m	506
	せん断力	Q _B	kN	297
	断面積	A _B *	cm ²	622.8
	断面係数	Z _B *	cm ³	10700
	せん断断面積	A _{S B} *	cm ²	322.8
	圧縮応力度	σ _{c B}	N/mm ²	4.8
	曲げ応力度	σ _{b B}	N/mm ²	47.3
	せん断応力度	τ _B	N/mm ²	9.3
	合成応力度	σ _B	N/mm ²	54.6
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	235
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\sigma_{c B} / f_c + \sigma_{b B} / f_b$	-	0.24	
せん断応力度比	τ _B / f _s	-	0.07	
合成応力度比	σ _B / f _t	-	0.24	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{c B} = N_B / A_B$$

$$\sigma_{b B} = M_B / Z_B$$

$$\tau_B = Q_B / A_{S B}$$

$$\sigma_B = ((\sigma_{c B} + \sigma_{b B})^2 + 3\tau_B^2)^{1/2}$$

表 4-4(3) S d 地震時における支持点アームの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
制震オイルダンパ反力		P	kN	360
設計反力		P1	kN	720
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
筒身取付部 (C-C 断面)	ウェブ幅	H3	mm	380
	ウェブ板厚(使用板厚)	t w3	mm	22
	ウェブ間隔(上下)	B3	mm	400
	ウェブ間隔(水平)	H4	mm	1400
	軸力	N _C	kN	297
	曲げモーメント	M _C	kN・m	506
	せん断力	Q _C	kN	297
	断面積	A _C *	cm ²	304.0
	断面係数	Z _C *	cm ³	11800
	せん断断面積	A _{SC} *	cm ²	304.0
	圧縮応力度	σ _{cC}	N/mm ²	9.8
	曲げ応力度	σ _{bC}	N/mm ²	42.9
	せん断応力度	τ _C	N/mm ²	9.8
	合成応力度	σ _C	N/mm ²	55.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	235
	許容曲げ応力度	f _b	N/mm ²	235
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	135.6
	許容引張応力度	f _t	N/mm ²	235
	圧縮と曲げの組合せ応力度比	$\frac{\sigma_{cC}}{f_c} + \frac{\sigma_{bC}}{f_b}$	-	0.24
せん断応力度比	$\frac{\tau_C}{f_s}$	-	0.08	
合成応力度比	$\frac{\sigma_C}{f_t}$	-	0.24	

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{cC} = N_C / A_C$$

$$\sigma_{bC} = M_C / Z_C$$

$$\tau_C = Q_C / A_{SC}$$

$$\sigma_C = ((\sigma_{cC} + \sigma_{bC})^2 + 3\tau_C^2)^{1/2}$$

表 4-5 S d 地震時における補強リングの断面評価結果

項目		記号	単位	数値
設計反力	支持点アーム側	P 1	kN	420
	(P 1 > P 2 とする)	P 2	kN	320
	筒身連結材側	P 3	kN	100
材質		-	-	SS400
基準強度		F	kN	235
ヤング係数		E	N/mm ²	205000
断面寸法 (使用板厚を示す)	筒身内径	D	mm	3000
	筒身母材の有効幅	λ	mm	125.2
	筒身板厚	t s	mm	10
	フランジ板厚(内側)	t f 1	mm	20
	フランジ板厚(外側)	t f 2	mm	40
	ウェブ板厚(内側)	t w 1	mm	16
	ウェブ板厚(外側)	t w 2	mm	40
	リング高さ	H	mm	400
	リング幅(内側)	B 1	mm	145
	リング幅(外側)	B 2	mm	260
軸力		N	kN	279
曲げモーメント		M	kN・m	444
せん断力		Q	kN	291
断面積		A *	cm ²	519.3
断面係数		Z *	cm ³	4140
せん断断面積		A s *	cm ²	247.3
圧縮応力度		σ_c	N/mm ²	5.4
曲げ応力度		σ_b	N/mm ²	107.3
せん断応力度		τ	N/mm ²	11.8
合成応力度		σ	N/mm ²	114.6
許容圧縮応力度		f c	N/mm ²	235
許容曲げ応力度		f b	N/mm ²	235
許容せん断応力度		f s	N/mm ²	135.6
許容引張応力度		f t	N/mm ²	235
圧縮と曲げの組合せ応力度比		σ_c / f_c $+ \sigma_b / f_b$	-	0.49
せん断応力度比		τ / f_s	-	0.09
合成応力度比		σ / f_t	-	0.49

注記*：断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。なお、筒身母材の有効幅（ λ ）は、「鋼構造設計規準」の1縁支持他縁自由の板要素の幅厚比より算出する。

$$\sigma_c = N / A$$

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

$$\sigma = ((\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.53 \sqrt{E / F} \cdot t_s$$