

主排気筒の竜巻影響評価

1. 評価方針

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻影響評価ガイド」という。）に従い、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である主排気筒が倒壊しないことについて評価する。

2. 設計荷重の設定

2.1 設計竜巻の特性値

別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定」で定めた廃措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）の特性値を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

2.2 風圧力

(1) 風圧力算定式

「竜巻影響評価ガイド」より、設計竜巻による風圧力を次式にて算定した。風力係数については、「建築基準法施行令 87 条関連告示（平 12 建告第 1454 号）」を準用した。

$$P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

P_D : 設計竜巻による風圧力 (N)

q : 設計用速度圧 (N/m^2) $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$

ρ : 空気密度 1.226 (kg/m^3)

V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

G : ガスト影響係数。「竜巻影響評価ガイド」より $G=1.0$ とした。

C : 風力係数。「建築基準法施行令 87 条関連告示 (平 12 建告第 1454 号)」より、筒身部については煙突その他の円筒形の構造物の風力係数 (0.9) を用いた。ただし、高さ方向分布係数 k_z は、風速の分布を高さによらず一定としているので 1.0 とした。

A : 受圧面積 (m^2)

(2) 風圧力算定方法

主排気筒に作用する風圧力は、図 2.2-1 に示すように高さ 10 m ごとに集中荷重として算定した。

2.3 気圧差圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる主排気筒内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量 (ΔP_{max}) に基づき設定した。気圧差による圧力が主排気筒に内圧として作用したと仮定すると、主排気筒に発生する引張フープ応力として評価できる。内圧による主排気筒の平均フープ応力度は、「容器構造設計指針・同解説」の 5.4 鋼製サイロ 解説文中の (5.4.1) 式を準用して次式で算定した。

$$\sigma_p = \frac{P_p D}{2t}$$

ここで、

σ_p : 内圧 (気圧差による圧力) による平均引張フープ応力度 (N/mm^2)

P_p : 単位面積当たりの圧力 (N/mm^2)。 (最大気圧低下量 ΔP_{max} とする。)

D : 円筒壁の外径 (mm)

t : 円筒壁の板厚 (mm)

2.4 飛来物の衝撃荷重

(1) 設計飛来物の諸元

添付資料 6-1-4-3 「設計飛来物の設定に関する説明書」で示した鋼製材とした。設計飛来物の諸元等を表 2.4-1 に示す。

なお、設計飛来物の衝突高さは、飛来物の飛散高さに等しいものとして評価を行う。鋼製材の飛散高さは、改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応する飛散高さについて公表されたものがないため、改正前の「竜巻影響評価ガイド」に記載されていた飛散高さ 47 m を用いた。

表 2.4-1 設計飛来物の諸元 (設計竜巻の最大速度 $V_D=100$ m/s)

設定	鋼製材
サイズ (長さ m×幅 m×奥行き m)	4.2 × 0.3 × 0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	51 (57)
最大水平速度 (m/s)	34 (38)
飛散高さ (m)	- * (47)

() 内は、改訂前の「竜巻影響評価ガイド」による。

* 改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応する飛散高さについては公表されたものがない。

(2) 設計飛来物の衝撃荷重

飛散物が水平方向に衝突する場合の衝撃力は、運動量と力積の関係から求める。荷重と時間の関係を SIN 曲線と仮定して、積分計算により力積を求め、次式にて算定した。

$$mv = F_M \cdot \frac{\Delta T}{\pi/2}, \quad \Delta T = 1/4f = T/4 \text{ より}$$

$$F_M = 2 \pi mv / T$$

ここで、

F_M : 設計飛来物による衝撃力 (N)

m : 設計飛来物の質量 (kg)

v : 設計飛来物の速度 (m/s)

f : 主排気筒の 1 次固有振動数 (1/s (=Hz))

T : 周期 1.3 (s), $T=1/f$

2.5 設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重は、「竜巻影響評価ガイド」より、設計竜巻による風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛散物による衝突荷重 (W_M) を組合せた複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) とし、次式にて算定した。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

2.6 固定荷重の設定

設計竜巻荷重に組合せる主排気筒の固定荷重（自重）は、図 2.6-1 に示す 10 m ピッチで筒身部重量を算定した。なお、鉄筋コンクリートの単位体積重量 γ_c は、「鉄筋コンクリート計算規準・同解説 - 許容応力度設計法-」により、 24 kN/m^3 とした。

3. 竜巻影響評価

3.1 主排気筒の評価に用いる諸元

主排気筒の筒壁厚さ、主筋及び帯筋の構造について図 3.1-1 に示す。

(1) 使用材料

コンクリート : 普通コンクリート, $F_c=20.5 \text{ N/mm}^2$ (210 kgf/cm^2)
鉄筋 : 主筋 異形鉄筋 SD295 [SD30], 帯筋 丸鋼 SR235 [SR24]

(2) 許容応力度

主排気筒が「倒壊しない」ということを判断基準とすることから、鋼材（鉄筋）及びコンクリートの許容応力度を建築基準法施行令及び関連告示による材料強度とした。鉄筋及びコンクリートの許容応力度を表 3.1-1 及び表 3.1-2 に示す。なお、鉄筋は「建築基準法施行令第 90 条関連告示（平 12 建告第 2464 号）」に示す基準強度の値を 1.1 倍した数値とした。

表 3.1-1 コンクリートの許容応力度

基準強度 F_c (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)		材料強度 (N/mm^2)	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
20.5[210]	13.6 (13.6)	1.36 (1.02)	20.5	2.05

[]内は旧規格（単位： kgf/cm^2 ）を示す。

()内は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による短期許容応力度。

表 3.1-2 鉄筋（径 28 mm以下）の許容応力度

	基準強度 F (N/mm ²)	材料強度 (N/mm ²)		
		圧縮	引張	
			せん断補強以外	せん断補強
異形棒鋼 SD295[SD30]	295	324 (295)	324 (295)	324 (295)
丸棒 SR235[SR24]	235	258 (235)	258 (235)	258 (235)

[]内は旧規格を示す。

()内は建築基準法施行令第 90 条による短期許容応力度。

3.2 荷重の算定

(1) 固定荷重

主排気筒の固定荷重（軸圧縮力の算定結果）を表 3.2-1 に示す。

なお、「再処理施設に関する設計及び工事方法」の添付書類「4. 主要な再処理施設の耐震性（その 2）、昭和 46 年 9 月、4.5 主排気筒」における総重量は 11278 kN（1150 tf）であり、表 3.2-1 に示す総重量 11575 kN より小さく、保守的な評価となる。

(2) 設計竜巻による風圧力による荷重 (W_w)

設計竜巻の最大風速 $V_D=100$ m/s のときの風圧力の受圧面積算定結果を表 3.2-2 に、最大風速の風圧力による荷重 (W_w) の算定結果を表 3.2-3 に示す。

(3) 設計竜巻による気圧差による荷重 (W_p)

気圧差によるフープ応力 σ_p を帯筋が負担するせん断力を置き換え、風圧力によるせん断力と組合せて評価する。当該評価においては、この置き換えたせん断力を置換せん断力と称する。気圧差によるフープ応力と風圧力によるせん断力との組合せについて、図 3.2-1 に示す。

コンクリート円筒断面の最大せん断応力度は、「煙突構造設計指針」に基づき次式で求める。

$$\tau_{\max} = 2Q/A$$

ここで、

τ_{\max} : 円筒断面の最大せん断応力度 (kN/m²)

Q : 作用せん断力 (kN)

A : 円筒断面の断面積 (m²)

上式において、 $\tau_{\max} = \sigma_p$ とすると、気圧差による置換せん断力 Q_p は次式で表せる。

$$Q_p = \tau_{\max} \cdot A/2 = \sigma_p \cdot A/2$$

気圧差による置換せん断力を表 3.2-4 に示す。

(4) 設計竜巻による飛来物の衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物に対する衝撃荷重を表 3.2-5 に示す。

(5) 設計竜巻荷重の組合せ

設計飛来物に対する衝撃荷重を表 3.2-6 に示す。

3.3 主排気筒の配筋の評価について

(1) 評価方法

配筋の評価は、「煙突構造設計指針」の鉄筋コンクリートの断面算定に準拠して必要鉄筋断面積を求め、実施鉄筋断面積と比較することとした。

主筋の必要断面積（必要鉄筋比 P_s ）は、図 3.3-1 より読み取った数値を用いた。

(2) 評価結果

主筋の曲げモーメントに対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表を表 3.3-1 に、帯筋のせん断力に対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表を表 3.3-2 に示す。また、評価結果のまとめ表を表 3.3-3 に示す。

主筋及び帯筋ともに必要断面積を満足している。

表 3.2-1 主排気筒の固定荷重 (軸圧縮力の算定結果)

高さ H_i (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	負担高さ h_i (m)	平均径 D_m (m)	平均断面積 A_m (m ²)	各部重量 W_i (kN)	軸力 N_i (kN)
90	3.200	0.150	5.0	3.050	1.584	191	191
80	3.733	0.183	10.0	3.550	2.060	495	686
70	4.267	0.217	10.0	4.050	2.768	665	1351
60	4.800	0.250	10.0	4.550	3.587	861	2212
50	5.333	0.283	10.0	5.050	4.511	1083	3295
40	5.867	0.317	10.0	5.550	5.532	1328	4623
30	6.400	0.350	10.0	6.050	6.666	1600	6223
20	6.933	0.383	10.0	6.550	7.905	1898	8121
10	7.467	0.417	10.0	7.050	9.238	2218	10339
0	8.000	0.450	5.0	7.550	10.300	1236	11575
総重量 (kN)						11575	

表 3.2-2 風圧力受圧面積の算定結果

高さ H_i (m)	外径 D (m)	負担高さ Δh_i (m)	高さ		外径 D		受圧面積 A_i (m ²)
			上端 (m)	下端 (m)	上端 (m)	下端 (m)	
90	3.200	5.0	90.0	85.0	3.200	3.467	16.7
80	3.733	10.0	85.0	75.0	3.467	4.000	37.4
70	4.267	10.0	75.0	65.0	4.000	4.533	42.7
60	4.800	10.0	65.0	55.0	4.533	5.067	48.0
50	5.333	10.0	55.0	45.0	5.067	5.600	53.4
40	5.867	10.0	45.0	35.0	5.600	6.133	58.7
30	6.400	10.0	35.0	25.0	6.133	6.667	64.0
20	6.933	10.0	25.0	15.0	6.667	7.200	69.4
10	7.467	10.0	15.0	5.0	7.200	7.733	74.7
0	8.000	5.0	5.0	0.0	7.733	8.000	39.4

表 3.2-3 主排気筒の設計竜巻の最大風速の風圧力による荷重 (W_w)

高さ H_i (m)	外径 D (m)	速度圧 q (kN/m ²)	負担高さ h_i (m)	受圧面積 A_i (m ²)	風圧力 P_i (kN)	せん断力 Q_i (kN)	モーメント M_i (kN・m)
90	3.200	6.13	5.00	16.7	93	93	0
80	3.733	6.13	10.00	37.4	207	300	930
70	4.267	6.13	10.00	42.7	236	536	3,930
60	4.800	6.13	10.00	48.0	265	801	9,290
50	5.333	6.13	10.00	53.4	295	1096	17,300
40	5.867	6.13	10.00	58.7	324	1420	28,260
30	6.400	6.13	10.00	64.0	354	1774	42,460
20	6.933	6.13	10.00	69.4	383	2157	60,200
10	7.467	6.13	10.00	74.7	413	2570	81,770
0	8.000	6.13	5.00	39.4	218	2788	107,470

表 3.2-4 主排気筒の設計竜巻の気圧差による荷重 (W_p)

高さ H_i (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	平均径 D_m (m)	断面積 A (m ²)	気圧低下量 ΔP_{max} (kN/m ²)	フープ応力度 σ_p (kN/m ²)	置換せん断力 Q_p (kN)
90	3.200	0.150	3.050	1.437	8.90	95.0	69
80	3.733	0.183	3.550	2.041	8.90	90.8	93
70	4.267	0.217	4.050	2.761	8.90	87.6	121
60	4.800	0.250	4.550	3.574	8.90	85.5	153
50	5.333	0.283	5.050	4.490	8.90	83.9	189
40	5.867	0.317	5.550	5.527	8.90	82.4	228
30	6.400	0.350	6.050	6.652	8.90	81.4	271
20	6.933	0.383	6.550	7.881	8.90	80.6	318
10	7.467	0.417	7.050	9.236	8.90	79.7	369
0	8.000	0.450	7.550	10.670	8.90	79.2	423

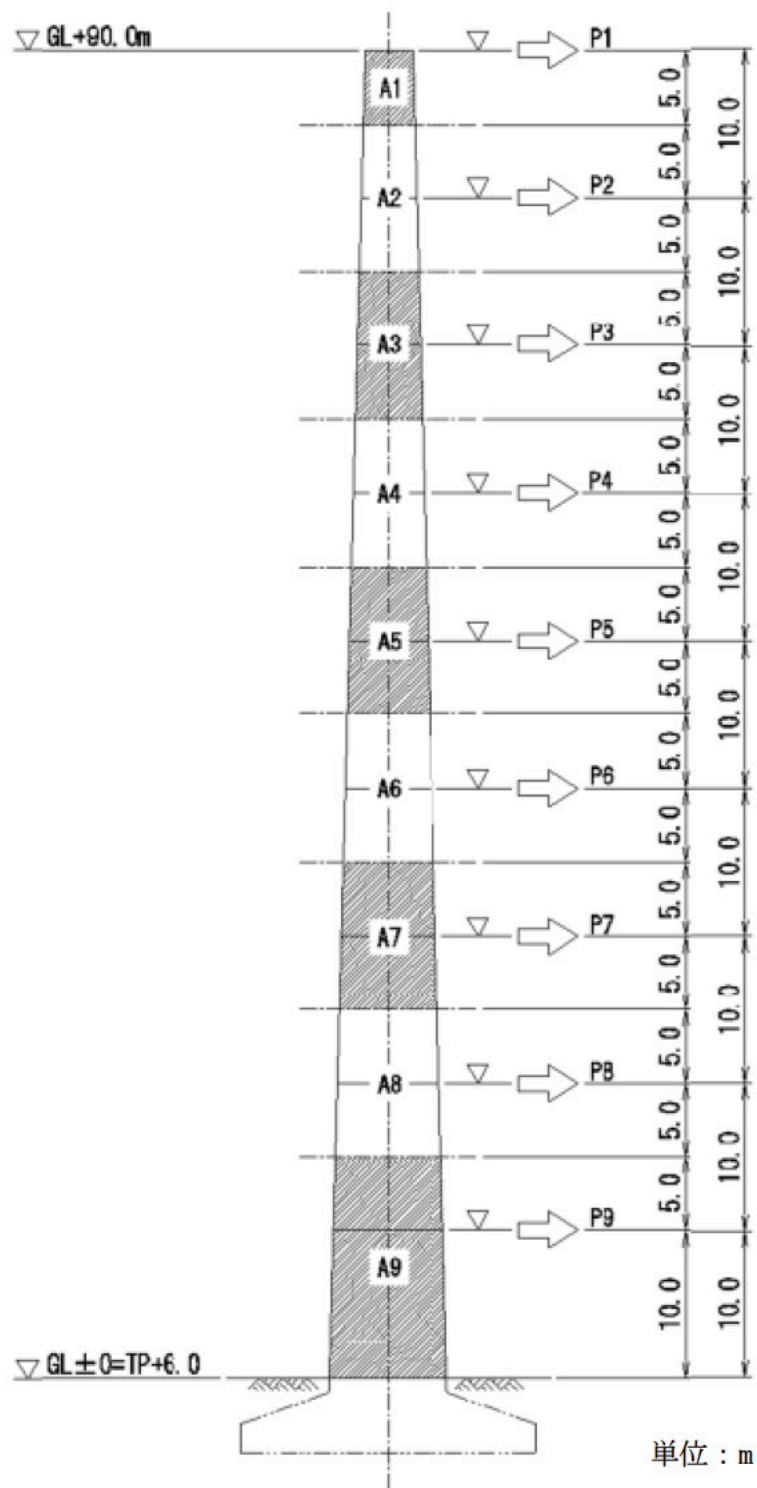
表 3.2-5 設計飛来物に対する衝撃荷重
(衝突高さ 47 m, 最大水平速度 51 m/s)

高さ H_i (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	衝撃力 F_M (kN)	せん断力 Q (kN)	モーメント M (kN・m)
47	5.493	0.293	34	34	0
40	5.867	0.317	—	34	238
30	6.400	0.350	—	34	578
20	6.933	0.383	—	34	918
10	7.467	0.417	—	34	1258
0	8.000	0.450	—	34	1598

表 3.2-6 設計竜巻荷重の組合せ

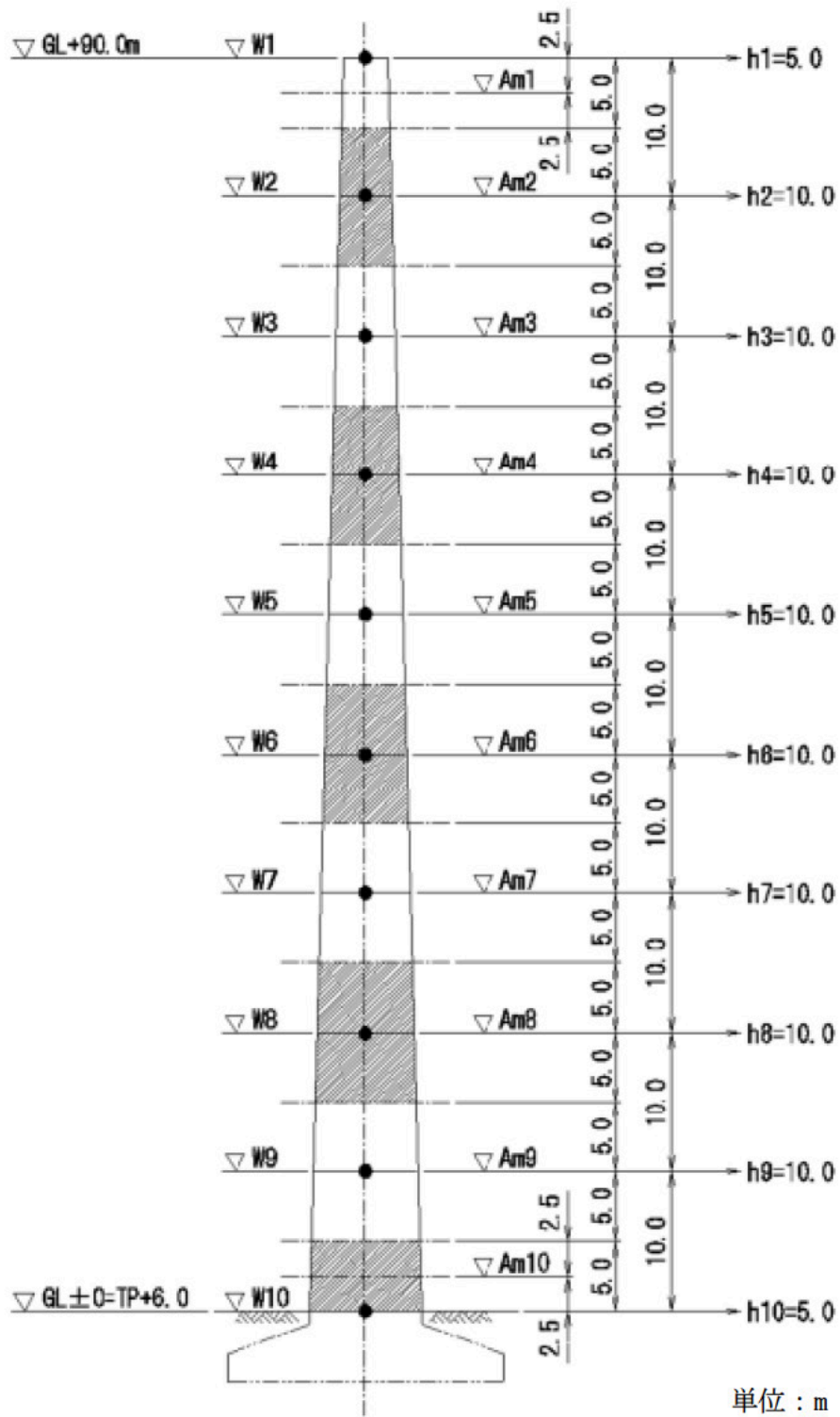
高さ H_i (m)	せん断力 Q (kN)				モーメント M (kN・m)			
	風圧力 W_w	気圧差 W_p	衝撃 W_M	複合荷重 W_{T2}	風圧力 W_w	気圧差 W_p	衝撃 W_M	複合荷重 W_{T2}
90	93	69	—	128	0	—	—	0
80	300	93	—	347	930	—	—	930
70	536	121	—	597	3930	—	—	3930
60	801	153	—	878	9290	—	—	9290
50	1096	189	—	1191	17300	—	—	17300
40	1420	228	34	1568	28260	—	238	28498
30	1774	271	34	1944	42460	—	578	43038
20	2157	318	34	2350	60200	—	918	61118
10	2570	369	34	2789	81770	—	1258	83028
0	2788	423	34	3034	107470	—	1598	109068

$W_{T1} (=W_p) < W_{T2} (=W_w + 0.5W_p + W_M)$ より, W_{T2} の評価のみを実施する。



∇ : 風圧力による集中荷重算定位置

図 2. 2-1 主排気筒の風力算定方法の説明図



▽：平均断面積 A_{mi} , 固定荷重 W_i 算定位置

図 2.6-1 主排気筒の固定荷重算定の説明図

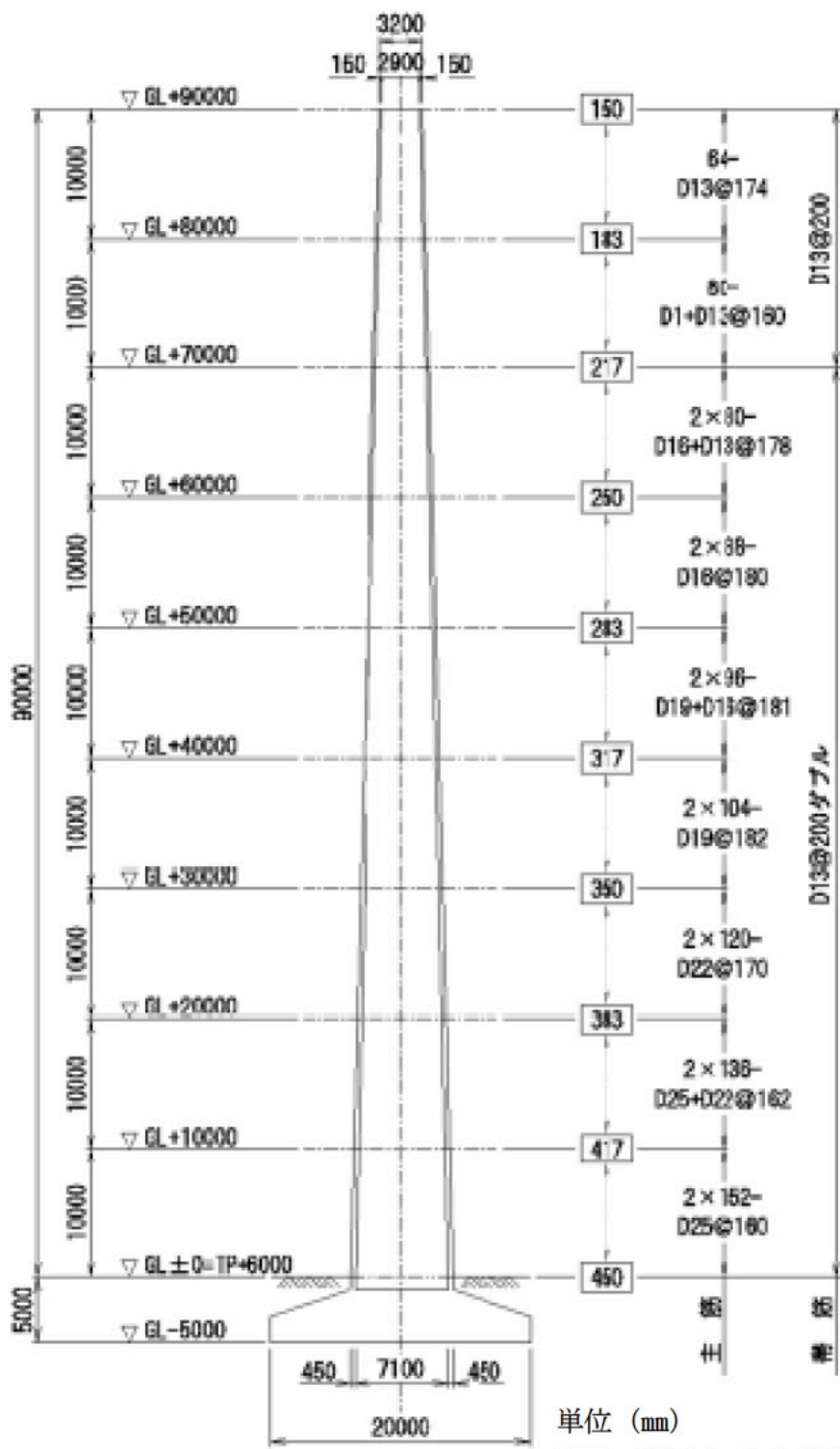


図 3.1-1 主排気筒の概要図

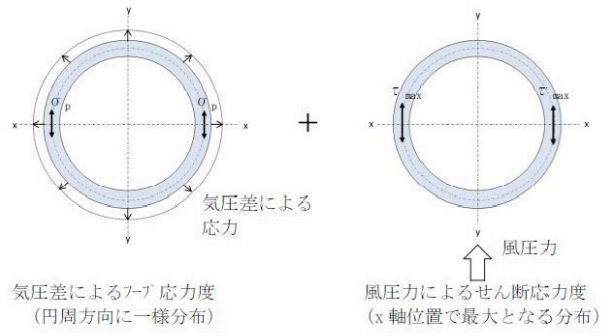


図 3.2-1 気圧差によるフープ応力と風圧力によるせん断力との組合せ

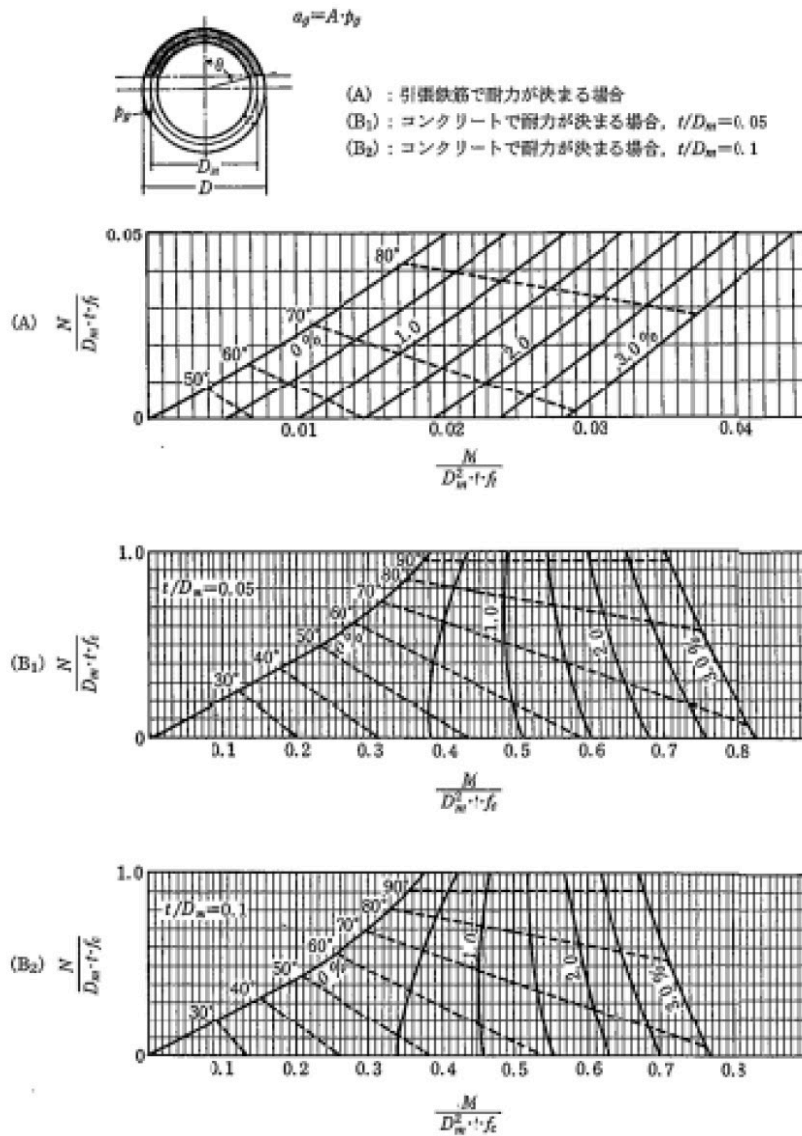


図 3.3-1 「煙突構造設計指針」付録 2 鉄筋コンクリート円筒形断面柱の計算図表

表 3.3-1 主筋の曲げモーメントに対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表

高さ H_i (m)	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN·m)	平均径 D_m (m)	壁厚 t (m)	断面積 A (m^2)	$N/(D_m \cdot t \cdot f_t)$ (N/mm^2)	$M/(D_m^2 \cdot t \cdot f_t)$ (N/mm^2)	必要 鉄筋比 P_g (%)	必要 鉄筋量 a_g (mm^2)	実施 鉄筋量 $a_{g,act}$ (mm^2)	実施 鉄筋比 $P_{g,act}$ (%)	評価 $a_g/a_{g,act}$	実施配筋 ($f_t = 324 \text{ N}/\text{mm}^2$)
90	191	0	3.050	0.150	1.437	0.001	0.0000	0.00	0	8128	0.57	0.00	64-D13 (シングル)
80	686	930	3.550	0.183	2.041	0.003	0.0012	0.00	0	8128	0.40	0.00	64-D13 (シングル)
70	1351	3930	4.050	0.217	2.761	0.005	0.0034	0.10	2761	13040	0.47	0.22	80-D16+D13
60	2212	9290	4.550	0.250	3.574	0.006	0.0055	0.25	8935	26080	0.73	0.35	2×80-D16+D13
50	3295	17300	5.050	0.283	4.490	0.007	0.0074	0.40	17960	35024	0.78	0.52	2×88-D16
40	4623	28498	5.550	0.317	5.527	0.008	0.0090	0.55	30399	46656	0.84	0.66	2×96-D19+D16
30	6223	43038	6.050	0.350	6.652	0.009	0.0104	0.65	43238	59696	0.90	0.73	2×104-D19
20	8121	61118	6.550	0.383	7.882	0.010	0.0115	0.70	55174	92880	1.18	0.60	2×120-D22
10	10339	83028	7.050	0.417	9.235	0.011	0.0124	0.75	69263	121584	1.32	0.57	2×136-D25+D22
0	11575	109068	7.550	0.450	10.674	0.011	0.0131	0.85	90729	154128	1.44	0.59	2×152-D25

表 3.3-2 帯筋のせん断力に対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表

高さ	せん断力	割増 係数	設計用	壁厚	断面積	τ_{max}	w_{ft}	鉄筋比	必要 断面積	実施鉄筋	評価	実施配筋
H_i (m)	Q (kN)	m	Q_D (kN)	t (m)	A (m^2)	(N/ mm^2)	(N/ mm^2)	P_s (%)	$a_{s,req}$ (mm^2/m)	$a_{s,act}$ (mm^2/m)	$a_{s,reg}/a_{s,act}$	
90	128	1.00	128	0.150	1.437	0.18	258	0.070	105	665	0.16	13φ@200
80	347	1.00	347	0.183	2.041	0.35	258	0.136	249	665	0.38	13φ@200
70	597	1.00	597	0.217	2.761	0.44	258	0.171	372	665	0.56	13φ@200
60	878	1.00	878	0.250	3.574	0.50	258	0.194	485	1330	0.37	13φ@200 (ダブル)
50	1191	1.00	1191	0.283	4.490	0.54	258	0.210	595	1330	0.45	13φ@200 (ダブル)
40	1568	1.00	1568	0.317	5.527	0.57	258	0.221	701	1330	0.53	13φ@200 (ダブル)
30	1944	1.00	1944	0.350	6.652	0.59	258	0.229	802	1330	0.61	13φ@200 (ダブル)
20	2350	1.00	2350	0.383	7.882	0.60	258	0.233	893	1330	0.68	13φ@200 (ダブル)
10	2789	1.00	2789	0.417	9.235	0.61	258	0.237	989	2010	0.50	16φ@200 (ダブル)
0	3034	1.00	3034	0.450	10.670	0.57	258	0.221	995	2010	0.50	16φ@200 (ダブル)

表 3.3-3 主筋及び帯筋の必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較のまとめ表

高さ H_i (m)	断面寸法		主筋の検討結果			帯筋の検討結果		
	外径 D (m)	壁厚 t (m)	必要断面積 a_g (mm^2)	実施断面積 $a_{g,act}$ (mm^2)	評価 $a_g/a_{g,act}$	必要断面積 a_g (mm^2)	実施断面積 $a_{g,act}$ (mm^2)	評価 $a_g/a_{g,act}$
90	3.200	0.150	0	8128	0.00	105	665	0.16
80	3.733	0.183	0	8128	0.00	249	665	0.38
70	4.267	0.217	2761	13040	0.22	372	665	0.56
60	4.800	0.250	8935	26080	0.35	485	1330	0.37
50	5.333	0.283	17960	35024	0.52	595	1330	0.45
40	5.867	0.317	30399	46656	0.66	701	1330	0.53
30	6.400	0.350	43238	59696	0.73	802	1330	0.61
20	6.933	0.383	55174	92880	0.60	893	1330	0.68
10	7.467	0.417	69263	121584	0.57	989	2010	0.50
0	8.000	0.450	90729	154128	0.59	995	2010	0.50

建家全体及び各部材に対する竜巻影響評価

1. 評価方針

建家全体の評価は、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）の荷重により建家に生じる水平力に対して、建家全体が倒壊しないことを確認する。

また、竜巻防護施設を内包する施設については、屋上スラブ及び側面壁に対して、各部材の強度評価結果を実施し、部材の健全性を確認する。

評価対象とする施設は、以下のとおり。

(1) 竜巻防護施設を内包する施設

- ・高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

(2) 波及的影響を及ぼし得る施設

- ・分離精製工場（MP）
- ・リサイクル機器試験施設（RETF）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟
- ・クリプトン回収技術開発施設（Kr）

2. 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の荷重により生じる建家の水平方向の風圧力による荷重（層せん断力） W_w 、気圧差による荷重（層せん断力） W_p 及び設計飛来物の衝撃荷重 W_{mi} は、以下のとおり算定する。

(1) 風圧力による荷重

上階から当該階層までに建家の水平方向に作用する設計竜巻の風圧力による累積層せん断力 W_w は以下により算定する。

$$W_w = \sum P_w$$

ここで、

P_w : 各階層の層荷重（ $= \sum \Delta P_D$ ）

ΔP_D : 各階層の建家風上、風下及びパラペットに作用する風圧力（ $C_f \times q \times A$ ）

C_f : 風圧係数

q : 速度圧 6130 (N/m²)（ $= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$ ）

A : 受圧面積 (m²)

受圧面積は、10 m²単位で切上げた値（微細な部分は、1 m²単位で切上

げ) とし, 保守的に設定する。

ρ : 空気密度 1.226 (kg/m³)

V_D : 設計竜巻の水平方向の最大風速 100 (m/s)

(2) 気圧差による荷重

上階から当該階層までに作用する設計竜巻の風圧力による累積層せん断力 W_p は以下により算定する。

$$W_p = \sum P_p$$

ここで,

P_p : 各階層の層荷重 (= $\sum (\Delta P_{\max} \cdot A)$)

ΔP_{\max} : 各階層の建家風上に低下圧力 8900 (N/m²)

A : 受圧面積 (m²)

気圧差による荷重の算定における受圧面積については, 風上及び風下の受圧面積のうち大きい値を採用する。

(3) 設計飛来物の衝撃荷重

設計飛来物の衝撃荷重 W_M は, Riera の方法⁽¹⁾ を踏まえた下式により, 鋼製材の衝突方向を考慮し, 最大となる衝撃荷重 (W_M) を設定する。表2-1に設計飛来物による鋼製材の衝突方向ごとの衝撃荷重 (W_M) を示す。

$$W_M = MV^2/L$$

ここで,

M : 設計飛来物の質量 (kg)

V : 飛来物の速度 (m/s)

L : 飛来物の衝突長さ (m)

表 2-1 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設定	鋼製材		
サイズ(m)	長さ×幅×奥行 (4.2×0.3×0.2)		
質量(kg)	135		
最大水平速度 MV_{Hmax} (m/s)	51		
最大鉛直速度 MV_{Vmax} (m/s)	34		
衝突長さ L(m)	4.2	0.3	0.2
水平衝撃荷重(kN)	83.6	1171	1756
鉛直衝撃荷重(kN)	38	520	780

(4) 複合荷重

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 (W_w)、気圧差による荷重 (W_p)、及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組合せた複合荷重とし、以下の式による。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 W_p + W_M$$

ここで、

W_{T1} , W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

3. 風圧力及び気圧差による荷重評価の結果

設計竜巻の荷重による風圧力及び気圧差による各建家の荷重の評価結果を表3-1から表3-6に示す。

4. 屋上スラブ及び側面壁の各部材の強度評価

(1) 許容曲げモーメント (M_a)

$$M_a = a_t f_t j$$

ここで、

M_a : 許容曲げモーメント (kNm)

a_t : 引張り鉄筋断面積 (m^2)

f_t : 引張り鉄筋の短期許容応力度 (N/m²)

j : 応力中心距離 (m)

$$j=7d/8$$

d : スラブの有効せい (m)

(2) 長方形スラブに発生する最大曲げモーメント (M_x , M_y)

①周辺固定

$$M_x = \frac{1}{12} w_x l_x^2, \quad M_y = \frac{1}{24} w l_x^2$$

②片持ち梁

$$M_x = \frac{1}{2} w_x l_x^2$$

ここで、

M_x : 短辺 x 方向の最大曲げモーメント (単位幅につき) (kNm)

M_y : 長辺 y 方向の最大曲げモーメント (単位幅につき) (kNm)

w_x : 単位面積当たりの分担荷重 (kN/m²)

$$w_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} w$$

l_x : 短辺有効スパン長さ (m)

l_y : 長辺有効スパン長さ (m)

w : 単位面積の竜巻荷重 (kN/m²)

屋上スラブ : 10.58 (kN/m²)

側壁面 : 8.90 (kN/m²)

5. 評価結果

設計竜巻による荷重の複合荷重 (W_{T1} 又は W_{T2}) により、各建家の各階層に生じる層せん断力を求め、各階層の水平耐力と比較した結果を表5-1から表5-6に示す。各階層に生じる層せん断力よりも、各階層の水平耐力の方が大きく、設計竜巻の荷重により建家が倒壊することはない。また、屋上スラブ及び側面壁の各部材の強度評価結果を表5-7に示す。風圧力による荷重 W_w 及び気圧差による荷重 W_p の複合荷重 (W_{T1} 又は W_{T2}) に対して、外気と隔離されている部材の境界部に気圧差による圧力影響をうける高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ及び側壁面の健全性は維持できる。

表 3-1 (1) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重				気圧差による風荷重						
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _D (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{DAZ} (N/m ²)	層外力 ΔP _{DAZ} ・A (kN)	層荷重 P _p (kN)	層せん断力 W _p (kN)		
5	バラペット	20	6130	1.2	147	1030	1030	8900	—	979	979	
	風上	60	6130	0.8	294			8900	534			
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—			
	バラペット	10	6130	1.2	74			8900	—			
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178			
	風下	20	6130	0.4	49			8900	—			
	排気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	8900			—
	給気チャンバー	風上	20	6130	0.8			98	8900			178
風下		20	6130	0.4	49	8900	—					
4	バラペット	30	6130	1.2	221	1618	2648	8900	—	1691	2670	
	風上	190	6130	0.8	932			8900	1691			
	風下	190	6130	0.4	466			8900	—			
3	風上	190	6130	0.8	932	1398	4046	8900	1691	1691	4361	
	風下	190	6130	0.4	466			8900	—			
B1	風上	290	6130	0.8	1422	2133	6179	8900	2581	2581	6942	
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—			

表 3-1 (2) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重					
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _D (kN)	層荷重 P _F (kN)	層せん断力 W _F (kN)	低下圧力 ΔP _{Basz} (N/m ²)	層外力 ΔP _{Basz} ・A (kN)	層荷重 P _P (kN)	層せん断力 W _P (kN)		
5	パラペット	20	6130	1.2	147	662	662	8900	—	534	534	
	風上	40	6130	0.8	196			8900	356			
	風下	40	6130	0.4	98			8900	—			
	パラペット	10	6130	1.2	74			8900	—			
	排気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	8900			—
	給気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	8900			—
4	パラペット	40	6130	1.2	294	1765	2427	8900	—	1780	2314	
	風上	200	6130	0.8	981			8900	1780			
	風下	200	6130	0.4	490			8900	—			
3	風上	200	6130	0.8	981	1471	3899	8900	1780	1780	4094	
	風下	200	6130	0.4	490			8900	—			
B1	風上	300	6130	0.8	1471	2207	6105	8900	2670	2670	6764	
	風下	300	6130	0.4	736			8900	—			

表 3-2 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _D (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
R	パラペット	60	6130	1.2	441	1398	1398	8900	—	1157	1157
	風上	130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下	130	6130	0.4	319			8900	—		
3	パラペット	110	6130	1.2	809	4119	5517	8900	—	4005	5162
	風上	450	6130	0.8	2207			8900	4005		
	風下	450	6130	0.4	1103			8900	—		
2	風上	390	6130	0.8	1913	2869	8386	8900	3471	3471	8633
	風下	390	6130	0.4	956			8900	—		
1	風上	390	6130	0.8	1913	2869	11255	8900	3471	3471	12104
	風下	390	6130	0.4	956			8900	—		

表 3-2 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _D (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
R	パラペット	30	6130	1.2	221	662	662	8900	—	534	534
	風上	60	6130	0.8	294			8900	534		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
3	パラペット	80	6130	1.2	588	3090	3752	8900	—	3026	3560
	風上	340	6130	0.8	1667			8900	3026		
	風下	340	6130	0.4	834			8900	—		
2	風上	290	6130	0.8	1422	2133	5885	8900	2581	2581	6141
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		
1	風上	290	6130	0.8	1422	2133	8018	8900	2581	2581	8722
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		

表 3-3 (1) 分離精製工場(MP)の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力 係数 C _f	風圧力 ΔP _d (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
PH	バラベット	20	6130	1.2	147	4046	4046	8900	—	3382	3382
	風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
	風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
6	バラベット	150	6130	1.2	1103	4046	4046	8900	—	3382	3382
	風上	330	6130	0.8	1618			8900	2937		
	風下	330	6130	0.4	809			8900	—		
5	バラベット	30	6130	1.2	221	3555	7601	8900	—	3204	6586
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
	バラベット	30	6130	1.2	221			8900	—		
	風上	360	6130	0.8	1765			8900	3204		
	風下	300	6130	0.4	736			8900	—		
	風下	70	6130	0.4	172			8900	—		
	補強柱	10	6130	1.2	74			8900	—		
補強柱	10	6130	1.2	74	8900	—					
4	風上	300	6130	0.8	1471	3188	10789	8900	2670	2848	9434
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178		
	風下	160	6130	0.4	392			8900	—		
	風下	40	6130	0.4	98			8900	—		
	風下	70	6130	0.4	172			8900	—		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
	補強柱	80	6130	1.2	588			8900	—		
補強柱	30	6130	1.2	221	8900	—					
3	風上	350	6130	0.8	1716	3335	14124	8900	3115	3115	12549
	風下	180	6130	0.4	441			8900	—		
	風下	120	6130	0.4	294			8900	—		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
	補強柱	70	6130	1.2	515			8900	—		
補強柱	30	6130	1.2	221	8900	—					
2	バラベット	10	6130	1.2	74	3776	17900	8900	—	3560	16109
	風上	350	6130	0.8	1716			8900	3115		
	風下	180	6130	0.4	441			8900	—		
	風下	120	6130	0.4	294			8900	—		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
	バラベット	20	6130	1.2	147			8900	—		
	風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
	風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
	補強柱	60	6130	1.2	441			8900	—		
補強柱	20	6130	1.2	147	8900	—					
1	風上	350	6130	0.8	1716	3261	21161	8900	3115	3738	19847
	風下	180	6130	0.4	441			8900	—		
	風下	120	6130	0.4	294			8900	—		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風下	70	6130	0.4	172			8900	—		
	補強柱	10	6130	1.2	74			8900	—		
補強柱	10	6130	1.2	74	8900	—					

表 3-3 (2) 分離精製工場(MP)の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _b (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
PH	バラベット	20	6130	1.2	147	2722	2722	8900	—	2581	2581
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風下	70	6130	0.4	172			8900	—		
6	バラベット	20	6130	1.2	147	2722	2722	8900	—	2581	2581
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
	風上	150	6130	0.8	736			8900	1335		
	風下	30	6130	0.4	74			8900	—		
	風下	190	6130	0.4	466			8900	—		
5	バラベット	10	6130	1.2	74	4095	6817	8900	—	4806	7387
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	120	6130	0.8	588			8900	1068		
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風上	290	6130	0.8	1422			8900	2581		
	傾斜屋根	60	6130	1.2	441			8900	534		
	風下	470	6130	0.4	1152			8900	—		
4	風上	390	6130	0.8	1913	2869	9685	8900	3471	3471	10858
	風下	390	6130	0.4	956			8900	—		
3	風上	430	6130	0.8	2109	3163	12848	8900	3827	3827	14685
	風下	430	6130	0.4	1054			8900	—		
2	バラベット	10	6130	1.2	74	3384	16232	8900	—	3916	18601
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
	風上	430	6130	0.8	2109			8900	3827		
	風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
	風下	430	6130	0.4	1054			8900	—		
1	風上	450	6130	0.8	2207	3310	19542	8900	4005	4005	22606
	風下	450	6130	0.4	1103			8900	—		

表 3-4 (1) リサイクル機器試験施設 (RETF) の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _D (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
6	バラベット	20	6130	1.2	147	3531	3531	8900	—	1958	1958
	風上	30	6130	0.8	147			8900	267		
	風下	30	6130	0.4	74			8900	—		
	バラベット	100	6130	1.2	736			8900	—		
	風上	190	6130	0.8	932			8900	1691		
	風下	190	6130	0.4	466			8900	—		
	バラベット	140	6130	1.2	1030			8900	—		
5	風上	300	6130	0.8	1471	2207	5738	8900	2670	2670	4628
	風下	300	6130	0.4	736			8900	—		
4	風上	400	6130	0.8	1962	3090	8827	8900	3560	3560	8188
	風下	400	6130	0.4	981			8900	—		
	バラベット	20	6130	1.2	147			8900	—		
3	風上	460	6130	0.8	2256	3752	12579	8900	4094	4450	12638
	風下	460	6130	0.4	1128			8900	—		
	風上	40	6130	0.8	196			8900	356		
	風下	40	6130	0.4	98			8900	—		
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
2	バラベット	20	6130	1.2	147	3678	16257	8900	—	4272	16910
	風上	480	6130	0.8	2354			8900	4272		
	風下	480	6130	0.4	1177			8900	—		
1	風上	520	6130	0.8	2550	3825	20082	8900	4628	4628	21538
	風下	520	6130	0.4	1275			8900	—		

表 3-4 (2) リサイクル機器試験施設 (RETF) の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _b (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
6	バラベット	10	6130	1.2	74	1839	1839	8900	—	801	801
	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
	風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
	風上	80	6130	0.8	392			8900	712		
	風下	80	6130	0.4	196			8900	—		
	バラベット	110	6130	1.2	809			8900	—		
5	風上	240	6130	0.8	1177	1765	3604	8900	2136	2136	2937
	風下	240	6130	0.4	588			8900	—		
4	風上	320	6130	0.8	1569	2648	6253	8900	2848	2848	5785
	風下	320	6130	0.4	785			8900	—		
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
3	風上	340	6130	0.8	1667	2722	8974	8900	3026	3204	8989
	風下	340	6130	0.4	834			8900	—		
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178		
	風下	20	6130	0.4	49			8900	—		
2	バラベット	40	6130	1.2	294	2869	11843	8900	—	3115	12104
	風上	350	6130	0.8	1716			8900	3115		
	風下	350	6130	0.4	858			8900	—		
1	風上	380	6130	0.8	1864	2795	14638	8900	3382	3382	15486
	風下	380	6130	0.4	932			8900	—		

表 3-5 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層			受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重				気圧差による風荷重				
				速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _p (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)
R	ペントハウス	パラペット	20	6130	1.2	147	588	588	8900		534	534
		風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
		風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
	給気塔	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
		風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
4	パラペット		60	6130	1.2	441	1398	1986	8900	—	1157	1691
	風上		130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
3	風上		130	6130	0.8	638	956	2942	8900	1157	1157	2848
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
2	風上		130	6130	0.8	638	956	3899	8900	1157	1157	4005
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
1	風上		150	6130	0.8	736	1103	5002	8900	1335	1335	5340
	風下		150	6130	0.4	368			8900	—		

表 3-5 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層		受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重				気圧差による風荷重					
			速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _b (kN)	層荷重 P _n (kN)	層せん断力 W _n (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
R	ペントハウス	パラペット	20	6130	1.2	147	588	588	8900	—	534	534
		風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
		風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
	給気塔	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
		風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
4	パラペット	30	6130	1.2	221	1103	1692	8900	—	890	1424	
		20	6130	1.2	147			8900	—			
	風上	100	6130	0.8	490			8900	890			
	風下	100	6130	0.4	245			8900	—			
3	風上	100	6130	0.8	490	736	2427	8900	890	890	2314	
	風下	100	6130	0.4	245			8900	—			
2	風上	100	6130	0.8	490	736	3163	8900	890	890	3204	
	風下	100	6130	0.4	245			8900	—			
1	風上	110	6130	0.8	539	809	3972	8900	979	979	4183	
	風下	110	6130	0.4	270			8900	—			

表 3-6 (1) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _b (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
3	パラペット	40	6130	1.2	294	1545	1545	8900	—	1424	1424
	風上	130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下	130	6130	0.4	319			8900	—		
	パラペット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	30	6130	0.8	147			8900	267		
	風下	30	6130	0.4	74			8900	—		
2	パラペット	80	6130	1.2	588	1913	3457	8900	—	1602	3026
	風上	180	6130	0.8	883			8900	1602		
	風下	180	6130	0.4	441			8900	—		
1	パラペット	10	6130	1.2	74	2207	5664	8900	—	2581	5607
	風上	290	6130	0.8	1422			8900	2581		
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		

表 3-6 (2) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m ²)	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m ²)	風力係数 C _f	風圧力 ΔP _b (kN)	層荷重 P _w (kN)	層せん断力 W _w (kN)	低下圧力 ΔP _{max} (N/m ²)	層外力 ΔP _{max} ・A (kN)	層荷重 P _f (kN)	層せん断力 W _f (kN)	
3	パラペット	40	6130	1.2	294	2060	2060	8900	—	1869	1869
	風上	120	6130	0.8	588			8900	1068		
	風下	120	6130	0.4	294			8900	—		
	パラペット	30	6130	1.2	221			8900	—		
	風上	90	6130	0.8	441			8900	801		
	風下	90	6130	0.4	221			8900	—		
2	パラペット	40	6130	1.2	294	956	3016	8900	—	801	2670
	風上	90	6130	0.8	441			8900	801		
	風下	90	6130	0.4	221			8900	—		
1	パラペット	10	6130	1.2	74	1324	4340	8900	—	1513	4183
	風上	170	6130	0.8	834			8900	1513		
	風下	170	6130	0.4	417			8900	—		

表 5-1 (1) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
5	1030	979	1756	979	3275	7443	0.45
4	2648	2670	1756	2670	5739	142716	0.05
3	4046	4361	1756	4361	7982	203390	0.04
B1	6179	6942	1756	6942	11406	433846	0.03

表 5-1 (2) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
5	662	534	1756	534	2685	8738	0.31
4	2427	2314	1756	2314	5340	94624	0.06
3	3899	4094	1756	4094	7702	201605	0.04
B1	6105	6764	1756	6764	11243	415871	0.03

表 5-2 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の
 建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
R	1398	1157	1756	1157	3732	36363	0.11
3	5517	5162	1756	5162	9854	215364	0.05
2	8386	8633	1756	8633	14458	294062	0.05
1	11255	12104	1756	12104	19063	497913	0.04

表 5-2 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の
 建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
R	662	534	1756	534	2685	41119	0.07
3	3752	3560	1756	3560	7288	197790	0.04
2	5885	6141	1756	6141	10711	385352	0.03
1	8018	8722	1756	8722	14135	500345	0.03

表 5-3 (1) 分離精製工場 (MP) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力※	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
6	4046	3382	1756	3382	7493	59280	0.13
5	7601	6586	1756	6586	12650	109900	0.12
4	10789	9434	1756	9434	17262	188500	0.10
3	14124	12549	1756	12549	22154	330800	0.07
2	17900	16109	1756	16109	27710	594100	0.05
1	21161	19847	1756	19847	32840	784200	0.05

※ 分離精製工場 (MP) は保有水平耐力を設定しておらず、せん断力 Q -せん断ひずみ γ の関係 (トリリニア・スケルトンカーブ) における第 3 折点の値 (Q_3) を用いて評価した (出典 再処理施設に関する設計及び工事の方法 (分離精製工場のクレーンホール鉄骨屋根等の耐震性向上対策工事) 平成 20 年 3 月)。

表 5-3 (2) 分離精製工場 (MP) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力※	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
6	2722	2581	1756	2581	5768	69660	0.09
5	6817	7387	1756	7387	12266	933000	0.02
4	9685	10858	1756	10858	16870	151900	0.12
3	12848	14685	1756	14685	21947	338800	0.07
2	16232	18601	1756	18601	27289	597300	0.05
1	19542	22606	1756	22606	32601	697000	0.05

※ 分離精製工場 (MP) は保有水平耐力を設定しておらず、せん断力 Q -せん断ひずみ γ の関係 (トリリニア・スケルトンカーブ) における第 3 折点の値 (Q_3) を用いて評価した (出典 再処理施設に関する設計及び工事の方法 (分離精製工場のクレーンホール鉄骨屋根等の耐震性向上対策工事) 平成 20 年 3 月)。

表 5-4 (1) リサイクル機器試験施設 (RETF) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
6	3531	1958	1756	1958	6266	231780	0.03
5	5738	4628	1756	4628	9808	464315	0.03
4	8827	8188	1756	8188	14677	584015	0.03
3	12579	12638	1756	12638	20654	610611	0.04
2	16257	16910	1756	16910	26468	823738	0.04
1	20082	21538	1756	21538	32607	920746	0.04

表 5-4 (2) リサイクル機器試験施設 (RETF) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
6	1839	801	1756	801	3996	156278	0.03
5	3604	2937	1756	2937	6829	517536	0.02
4	6253	5785	1756	5785	10901	608963	0.02
3	8974	8989	1756	8989	15225	612925	0.03
2	11843	12104	1756	12104	19651	1083811	0.02
1	14638	15486	1756	15486	24137	1198892	0.03

表 5-5 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の
 建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
R	588	534	1756	534	2611	7649	0.35
4	1986	1691	1756	1691	4588	31156	0.15
3	2942	2848	1756	2848	6122	32735	0.19
2	3899	4005	1756	4005	7657	43522	0.18
1	5002	5340	1756	5340	9428	53132	0.18

表 5-5 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の
 建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
R	588	534	1756	534	2611	9395	0.28
4	1692	1424	1756	1424	4160	41600	0.10
3	2427	2314	1756	2314	5340	47935	0.12
2	3163	3204	1756	3204	6521	57359	0.12
1	3972	4183	1756	4183	7820	129271	0.07

表 5-6 (1) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
3	1545	1424	1756	1424	4013	6999	0.58
2	3457	3026	1756	3026	6726	18750	0.36
1	5664	5607	1756	5607	10224	29160	0.36

表 5-6 (2) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	W_w (kN)	W_p (kN)	W_M (kN)	W_{T1} (kN)	W_{T2} (kN)	Q_u (kN)	
3	2060	1869	1756	1869	4750	8182	0.58
2	3016	2670	1756	2670	6107	17977	0.34
1	4340	4183	1756	4183	8188	31727	0.26

表 5-7 各部材の強度評価結果 (屋上スラブ及び側面壁)

部位	電巻荷重 (kN/m ²)	短辺有効スパン長さ l_x (m)	長辺有効スパン長さ l_y (m)	単位面積当たりの分担荷重 w_k (kN/m ²)	最大曲げモーメント		引張り鉄筋断面積 a_s (m ²)	鉄筋の短期許容応力度 ^{*1} f_t (N/m ²)	応力中心距離 j (m)	許容曲げモーメント M_a (kNm)	MAX (M_x, M_y) / M_a	
					短辺方向 M_x (kNm)	長辺方向 M_y (kNm)						
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	屋上スラブ (D13@200) 周辺固定	10.58	4.2	7.8	9.76	14.3	7.8	6.35×10^{-4}	3.24×10^8 (SD295)	1.40×10^{-1}	28.8	0.50
	側壁面 (D16@200) 片持ち梁	8.90	2.17	-	8.90	21.0	-	9.95×10^{-4}	3.24×10^8 (SD295)	2.28×10^{-1}	73.3	0.29
ガラス固化技術開発施設 (TVF)	屋上スラブ (D13@200) 周辺固定	10.58	3.9	6.85	9.57	12.1	6.7	6.35×10^{-4}	3.24×10^8 (SD295)	9.63×10^{-2}	19.8	0.61
	側壁面 (D19@200) 片持ち梁	8.90	2.4	-	8.90	25.6	-	1.44×10^{-3}	3.79×10^8 (SD345)	2.98×10^{-1}	161.8	0.16

*1 SD30 は SD295, SD35 は SD345 として基準強度 F を求め 1.1 倍して短期許容応力度とした。

風圧力による荷重における速度圧と風力係数の設定について

風力係数 C （建築基準法施行令では C_f ）は、建築物の形状、規模等により異なり、当該高さの速度圧で基準化された値（無次元）である。「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻影響評価ガイド」という。）に従い、建築基準法施行令及び建築物荷重指針・同解説（日本建築学会）に基づきの表1のように設定する。

表1 風力係数 C の設定

適用	風力係数 ^{※2}		備考	
外圧係数 C_{pe} ^{※1}	風上壁面	0.8 q_z	<ul style="list-style-type: none"> ・平成12年建設省告示第1454号に準拠 ・鉛直分布パラメータ $k_z=1.0$（一定）とする。 ・外圧係数は建物外→内向きが正 	
	側壁面	風上端部より0.5 a の領域		-0.7
		上記以外の領域		-0.4
	風下壁面	-0.4		
陸屋根	風上端部より0.5 a の領域	-1.0		
	上記以外の領域	-0.5		
内圧係数 C_{pi}	—		<ul style="list-style-type: none"> ・別途、竜巻影響評価ガイドに基づく気圧低下量 ΔP_{max} を考慮する。 	

※1 陸屋根面の領域を定めるパラメータ a （m）は、図1に示す風向に対する見付幅 B （m）と、建築物の高さと軒の高さとの平均 H （m）の2倍の数値のいずれか小さな数値（ $\min(B, 2H)$ ）

※2 風力係数の設定に係る考え方を図2に示す。

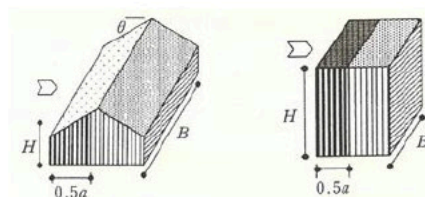


図1 閉鎖型の建築物（張り間方向に風を受ける場合）

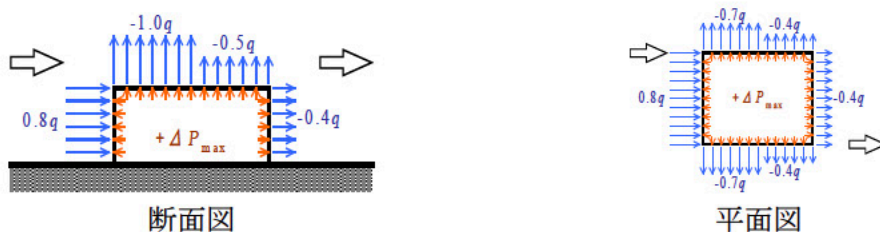


図2 竜巻影響評価に用いた速度圧 q と風圧係数 C の設定

屋外施設の竜巻影響評価

1. 評価方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の屋外に設置されるポンプ、冷却塔等の施設について、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による風圧力による荷重に対する構造健全性の評価、設計飛来物の衝突による局部破壊による評価を実施する。なお、設計飛来物の衝突による局部破壊の評価は、設計飛来物の貫通限界厚さと施設の構造材の厚さを比べて、貫通の有無を確認する。

2. 評価対象

2.1 評価対象施設

- 高放射性廃液貯蔵場（HAW）
 - ・二次系の送水ポンプ
 - ・冷却塔
 - ・浄水ポンプ
 - ・浄水受槽
- ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟
 - ・ポンプ
 - ・冷却塔

2.2 評価部位

- 風圧力による荷重に対する構造健全性の評価
 - ・評価上厳しくなる据付ボルト
- 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価
 - ・各施設の構成部材の厚さ

3. 風圧力による荷重に対する構造健全性の評価方法

3.1 評価方法

風圧力による荷重に対する構造健全性評価は、ポンプ、冷却塔等の風圧力による荷重と、耐震性についての計算書における水平地震力による荷重を比較し、水平地震力による荷重を超えないことを確認する。

風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える施設については、設計竜巻の風圧力による荷重、運転時荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

3.2 計算方法

(1) 風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価

風圧力による荷重 (W_w) は、「建築基準法施行令」, 「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日)」に準拠し, 下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで,

q : 設計用速度圧 6130 (N/m²)

G : ガスト影響係数 1.0

C : 風力係数 1.2 (風上面の風力係数 0.8+風下面の風力係数 0.4 として評価)

A : 機器の受圧面積

水平地震力による水平荷重 F は, 下式により算定する。

$$F = m \cdot g \cdot C_H$$

ここで,

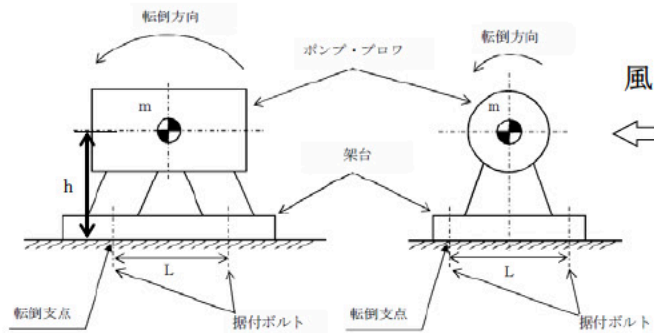
m : 評価対象施設の総質量 (kg)

g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)

C_H : 評価対象施設を設置した階層の水平方向の静的解析用震度

(2) 風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える施設の構造強度評価

ポンプに対して, 設計竜巻の風圧力による荷重, 運転時荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。据付ボルトの強度評価には, 設計竜巻による荷重と水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え, 「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠した評価式を用いる。計算モデルを図 3.2-1 に示す。



(a) 軸方向転倒モデル (b) 軸直角方向転倒モデル

図3.2-1 ポンプの計算モデル

ポンプ等の発生応力の計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式に準じ、 $mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2}$ を $W_w h$ と置き換えて評価する。

構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行う。評価対象施設の主要寸法・仕様を表 3.2-1 に示す。

a. 引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{1}{L}(W_w h + mgC_p(h + l_1) + M_p - mgl_1)$$

ここで、

- W_w : 風圧力による荷重 (N)
- h : 据付面から重心までの距離 (m)
- L : 据付ボルトの支持間隔 (m)
- m : 評価対象設備の質量 (kg)
- g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)
- C_p : ポンプ振動による震度 (-)
- M_p : ポンプ回転により働くモーメント (N・m)
- l_1 : 重心と据付ボルト間の水平方向距離

b. 据付ボルトの引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

ここで、

n_f : 引張力の作用する据付ボルトの評価本数 (本)

A_b : 据付ボルトの有効断面積 (m²)

c. 据付ボルトのせん断力 (Q_b)

$$Q_b = W_w + mgC_p$$

d. 据付ボルトのせん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

ここで、

n : 据付ボルトの本数 (本)

e. 許容応力

許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格設計・建設規格JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態Dsにおける許容応力を用いた。供用状態Dsについては、温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と設計竜巻の風圧力による荷重地震力を組合せた状態とする。

据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 3.2-2 に示す。

3.3 評価結果

風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価を表3.3-1、風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える機器の評価を表3.3-2に示す。

評価対象設備の風圧力による荷重が、廃止措置計画用設計地震動による水平地震力による荷重を超える機器についても、据付ボルトに発生する応力は、許容応力以下となることを確認する。

4. 設計飛来物の衝突による局部破壊

4.1 評価方針

動的機能を有するポンプ及び冷却塔については、設計飛来物の衝突に伴い、貫通又は変形が生じることにより、動的機能が失われ、安全機能を喪失するものとする。静的機器の浄水受槽については、設計飛来物の衝突による局部破壊の評価を行う。

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価は、設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限

界厚さと、評価対象設備を構成する部材の厚さを比較し、部材の厚さが設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さを超える場合は、貫通しないものと判断する。

4.2 計算方法

設計飛来物の鋼板に対する貫通力は、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式を用いて貫通限界厚さを算定する。

BRL 式

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで、

- T : 鋼板貫通限界厚さ (m)
- M : 飛来物の質量 135 (kg)
- V : 飛来物の最大水平衝突速度 51 (m/s)
- d : 飛来物の直径 0.276 (m)
(設計飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)
- K : 鋼板の材質に関する係数 (=1)

4.3 評価結果

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果を表4.3-1に示す。浄水受槽は、設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある。

5. 設計飛来物への対策

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の安全機能 (閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能) を担う施設のうち建家屋上に設置されている設備については、風圧力による荷重に対して構造健全性を維持できるものの、設計飛来物の衝突に耐えるようにすることが困難かつ合理的でないことから、設計飛来物によって損傷を受けた際には、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備により閉じ込め及び崩壊熱除去に必要な安全機能が維持できるようにする。

表 3.2-1 評価対象設備の主要寸法・仕様

	二次系の 送水ポンプ	浄水ポンプ
据付ボルトの支持間隔 L (m)	0.5	0.30
ポンプ振動による震度 C_p (-)	0.16	0.16
ポンプ回転により働くモーメント M_p (N・m)	0	0
据付面から重心までの距離 h (m)	0.38	0.30
重心と据付ボルト間の水平方向距離 l_1 (m)	0.25	0.15
据付ボルトの呼び径	M16	M12
据付ボルトの材質	SS400	SS400
据付ボルトの仕様温度	40	40
引張力の作用する据付ボルトの評価本数 n_f (本)	2	2
据付ボルトの有効断面積 A_b (m ²)	1.57×10^{-4}	8.43×10^{-5}
据付ボルトの本数 n (本)	4	4

表 3.2-2 据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

応力分類	許容応力
引張応力 (1.5ft)	$1.5 \times (F/1.5)$
せん断応力 (1.5fs)	$1.5 \times (F / (1.5\sqrt{3}))$

表 3.3-1 風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価

評価対象設備	受圧面積 A (m ²)	風圧力 による荷重 W _w (kN)	総質量 m (kg)	静的解析用 震度 C _H (—)	水平地震力 による荷重 F (kN)	評価結果 (W _w <F:○, W _w >F:×)
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	二次系の 送水ポンプ	8.1	575	1.36	7.7	×
	冷却塔	300.9	46700	1.36	622.9	○
	浄水ポンプ	3.7	193	1.36	2.6	×
	浄水受槽	56	16000	1.36	213.4	○
ガラス固化技術開発施設 (TVF)	ポンプ	17	1680	1.28	21.1	○
	冷却塔	132.5	17500	1.28	219.7	○

表 3.3-2 風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える機器の構造強度評価

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 (発生応力/許容応力)
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW)	二次系の送水ポンプ	引張	14.2	280	0.06
		せん断	14.3	161	0.09
	浄水ポンプ	引張	19.0	280	0.07
		せん断	11.9	161	0.08

表4.3-1 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果

評価対象設備		部材厚さ (mm)	貫通限界厚さ (mm)	貫通の有無
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	浄水受槽	8	8.9	有

屋外配管及びダクトの竜巻影響評価

1. 評価方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の屋外に設置される配管及び換気系のダクトについて、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による風圧力による荷重に対する構造健全性の評価を実施する。また、設計飛来物の衝突による局部破壊としては、設計飛来物の貫通限界厚さと施設の構造材の厚さを比べて、貫通の有無を確認する。

2. 評価対象

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の配管及びダクトは、鋼管又は鋼材で構成される。配管及びダクト（以下「配管等」という。）は、建家壁及び架台等にサポートで固定されている。

評価対象の配管及びダクトの仕様を表2-1及び表2-2に示す。

2.1 評価対象施設

○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・二次冷却水系統（浄水系統を含む。）の配管
- ・セル換気系のダクト
- ・緊急放出系のダクト

○ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

- ・冷却水系統（浄水系統を含む。）の配管
- ・純水系統の配管
- ・セル換気系のダクト

2.2 評価部位

- 風圧力による荷重に対する構造健全性
 - ・配管等の本体
- 設計飛来物の衝突による局部破壊
 - ・配管等の厚さ

3. 風圧力による荷重に対する構造健全性の評価方法

3.1 評価方法

配管等は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様

な荷重を受ける場合は単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は配管外径ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。また、保温材を使用している配管は、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管等のモデル図を図3.1-1に示す。

配管等の健全性評価は、設計竜巻の風圧力による荷重、運転時荷重及び自重により配管及びダクトに作用する応力等が許容限界に収まることを確認する。

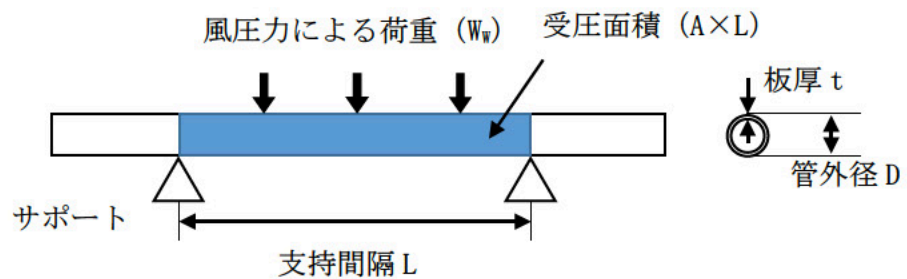


図3.1-1 配管等の両端支持の評価モデル図

3.2 計算方法

(1) 荷重の設定

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。なお、配管に保温材が巻かれている場合は保温材の質量についても考慮する。

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) を考慮する。なお、それぞれの配管が仮に飛来物による衝撃荷重により損傷した場合には、速やかに補修対応を行うことから、飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

○風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 (W_w) は、「建築基準法施行令」, 「日本建築学会建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日)」に準拠し、下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

q : 設計用速度圧 6130 (N/m²)

G : ガスト影響係数 1.0

C : 風力係数 1.2 (「建設物荷重指針・同解説 (2015)」の「表 A6.14 部材の風力係数 C」より風力係数 1.2 として評価)

A : 単位長さ当たりの受圧面積 (m²/m)

○気圧差による荷重 (W_p)

配管については、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.3 発生応力の計算」に示す。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

強度評価に用いる荷重の組合せは、配管の評価対象部位ごとに設定する。配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。構造強度評価の荷重の組合せを表3.2-1に示す。

表3.2-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	・ 冷却水配管 ・ 浄水配管 ・ 換気ダクト	配管本体	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟	・ 冷却水配管 ・ 浄水配管 ・ 純水配管 ・ 換気ダクト	配管本体	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.3 発生応力の計算

(1) 風圧力により生じる応力 (σ_{w_w})

風圧力による荷重が配管及びダクトの支持スパンに等分布荷重として加わり、配管及びダクトに作用する曲げモーメント M により、曲げ応力 σ_{w_w} を発生させるものとして、以下の式により算定する。

両端支持の配管等

$$\sigma_{W_w} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w L^2}{8Z}$$

ここで、

L : 配管及びダクトの支持間隔 (m)

Z : 断面係数 (m⁴)

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

D : 配管又はダクトの外径 (m)

t : 配管又はダクトの厚さ (m)

(2) 気圧差により生じる応力 (σ_{W_p})

気圧差により生じる応力 (σ_{W_p}) は、配管及びダクトの内外に作用する圧力差 ΔP により生じる一次一般膜応力が増加すると考え、その応力増加分を算定する。

$$\sigma_{W_p} = \frac{\Delta P D}{4t}$$

ここで、

ΔP : 最大気圧低下量 8900 (Pa)

以上より、複合荷重により生じる応力 $\sigma_{W_{T1}}$ 及び $\sigma_{W_{T2}}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{W_{T1}} = \sigma_{W_w}$$

$$\sigma_{W_{T2}} = \sigma_{W_w} + 0.5\sigma_{W_p}$$

(3) 自重により生じる応力

両端支持の配管等

$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{WL^2}{8Z}$$

ここで、

$$W = m \cdot g \text{ (N)}$$

m : 配管及びダクトの質量 (kg)

g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)

(4) 内圧により生じる応力

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{PD}{4t}$$

ここで、

P ：運転時の内圧 (Pa)

(5) 組合せ応力

竜巻荷重及び自重により配管又はダクトに生じる組合せ応力 (σ_1 及び σ_2) は、以下の式により算定する。

$$\sigma_1 = \sigma_{WT1} + \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{WT2} + \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}}$$

3.4 許容限界

配管の許容限界は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601」を準拠し、「クラス2, 3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_{AS}から算出した許容応力を許容限界とする。配管及びダクトの許容限界を表3.4-1に示す。

表3.4-1 配管及びダクトの許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力 (膜+曲げ)
Ⅲ _{AS}	S_y

3.5 評価結果

風圧力による荷重等により生じる応力の評価結果を表3.5-1及び表3.5-2に示す。屋外の配管及びダクトは、風圧力による荷重等に対して、構造健全性を維持できる。

4. 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価

4.1 評価方法

設計飛来物の鋼板に対する貫通力は、「タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式を用いて貫通限界厚さを算定する。

設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さと、配管及びダクトの板厚さを比較し、配管及びダクトの板厚さが設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さを超える場合は、貫通しないものと判断する。

BRL式

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで、

- T : 鋼板貫通限界厚さ (m)
M : 設計飛来物の質量 135 (kg)
V : 設計飛来物の最大水平衝突速度 51 (m/s)
d : 設計飛来物の直径 0.276 (m)
(設計飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)
K : 鋼板の材質に関する係数 (=1)

4.2 評価結果

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果を表4.2-1に示す。屋外の配管及びダクトは設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある。

5. 設計飛来物への対策

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の安全機能 (閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能) を担う施設のうち、建家屋上に設置されている配管及びダクトについては、風圧力等による荷重には耐えられるものの、設計飛来物の衝突に耐えるようにすることが困難かつ合理的でない。

設計飛来物によって損傷を受けた際には、修復による対応や代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備により必要な安全機能を維持できるようにする。

以上

表2-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋外の配管及びダクトの仕様

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m ² /m)	運転時の内圧 P (MPa)
二次冷却水系統の配管	89.1	SUS304	60	2.92	3	7.24	0.1691	0.49
	114.3	SUS304	45	2.58	3	9.29	0.1943	0.49
	216.3	SUS304	60	3.60	4	22.36	0.2763	0.49
浄水系統の配管	60.5	SUS304	45	2.52	2.8	5.84	0.1605	0.539
	89.1	SUS304	45	2.92	3	7.52	0.1891	0.539
セル換気系のダクト	856	SUS304	40	4.18	3	63.5	0.8560	0.044
緊急放出系のダクト	406.4	SUS304	100	2.81	9	92.8	0.4064	0.029

*1 設計温度

表2-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋外の配管及びダクトの仕様

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当たりの受圧面積 A (m ² /m)	運転時の内圧 P (MPa)
冷却水系統の配管	76.3	STPG370	55	2.48	5.2	9.62	0.1363	0.98
	139.8	STPG370	55	3.37	6.6	22.50	0.1998	0.98
	165.2	STPG370	55	3.69	7.1	28.62	0.2252	0.98
	216.3	STPG370	55	4.26	8.2	43.26	0.2763	0.98
浄水系統の配管	34	STPG370	55	2.00	3.4	3.03	0.1140	0.588
	48.6	STPG370	55	2.222	3.7	4.66	0.1286	0.588
	60.5	STPG370	55	2.45	3.9	6.07	0.1405	0.588
	114.3	STPG370	55	2.245	6	16.97	0.1943	0.588
純水系統の配管	21.7	SUS304	55	0.45	2.8	1.71	0.1017	0.588
	34	SUS304	55	1.197	3	2.78	0.1140	0.588
	34	STPG370	55	1.407	3.4	3.03	0.1140	0.588
	60.5	STPG370	55	2.95	3.9	6.07	0.1405	0.588
セル換気系のダクト	2708	SUS304	60	4.60	4	269.5	2.708	0.021
	2008	SUS304	60	5.50	4	199.7	2.008	0.021

*1 設計温度

表3.5-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋外の配管及びダクトの風圧力による荷重に対する構造健全性の評価

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	組合せ応力		許容応力 Sy (MPa)	構造健全性の評価	
				σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)		σ_1/Sy	σ_2/Sy
二次冷却水系統の配管	89.1	SUS304	60	12	90	188	0.07	0.48
	114.3	SUS304	45	11	53	200	0.06	0.27
	216.3	SUS304	60	12	35	188	0.06	0.19
浄水系統の配管	60.5	SUS304	45	15	149	200	0.08	0.75
	89.1	SUS304	45	14	101	200	0.07	0.51
セル換気系のダクト	856	SUS304	40	5	13	205	0.03	0.07
緊急放出系のダクト	406.4	SUS304	100	2	4	170	0.01	0.03

*1 設計温度

表3.5-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋外の配管及びダクトの風圧力による荷重に対する構造健全性の評価

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	組合せ応力		許容応力 Sy (MPa)	構造健全性の評価	
				σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)		σ_1/Sy	σ_2/Sy
冷却水系統の配管	76.3	STPG370	55	11	51	200	0.06	0.26
	139.8	STPG370	55	12	35	200	0.06	0.18
	165.2	STPG370	55	12	33	200	0.06	0.17
	216.3	STPG370	55	12	30	200	0.06	0.15
浄水系統の配管	34	STPG370	55	12	196	200	0.06	0.98
	48.6	STPG370	55	11	119	200	0.06	0.59
	60.5	STPG370	55	11	95	200	0.06	0.48
	114.3	STPG370	55	7	24	200	0.04	0.12
	21.7	SUS304	55	7	34	192	0.04	0.18
純水系統の配管	34	SUS304	55	9	81	192	0.05	0.42
	34	STPG370	55	9	100	200	0.05	0.50
	60.5	STPG370	55	13	135	200	0.07	0.68
セル換気系のダクト	2708	SUS304	60	6	7	188	0.03	0.04
	2008	SUS304	60	5	9	188	0.03	0.05

*1 設計温度

表4.2-1 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果

評価対象		配管又はダクト の外径D (mm)	配管又はダクト の板厚さt (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	貫通 の有無
高放射性廃液 貯蔵場 (HAW)	二次冷却水システムの配管	89.1	3	8.9	有
		114.3	3	8.9	有
		216.3	4	8.9	有
	浄水システムの配管	60.5	2.8	8.9	有
		89.1	3	8.9	有
	セル換気系のダクト	856	3	8.9	有
緊急放出系のダクト	406.4	9	8.9	無	
ガラス固化技 術開発施設 (TVF) ガラス固化技 術開発棟	冷却水システムの配管	76.3	5.2	8.9	有
		139.8	6.6	8.9	有
		165.2	7.1	8.9	有
		216.3	8.2	8.9	有
	浄水システムの配管	34	3.4	8.9	有
		48.6	3.7	8.9	有
		60.5	3.9	8.9	有
		114.3	6	8.9	有
	純水システムの配管	21.7	2.8	8.9	有
		34	3	8.9	有
		34	3.4	8.9	有
		60.5	3.9	8.9	有
セル換気系のダクト	2708	4	8.9	有	
	2008	4	8.9	有	

屋外ダクト損傷時における周辺監視区域の外における実効線量の概略評価

1. 評価の概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置している屋外ダクトについては、設計飛来物の衝突により損傷した場合には、安全上支障のない期間においてあらかじめ準備しておく補修材等により応急措置を実施することとしている。

その場合、屋外ダクトの損傷により、本来、主排気筒又は第二付属排気筒を通して高所から放散している放射性物質が低所から放散されることとなるため、そのような場合における周辺監視区域の外での実効線量を概算し、応急措置のための時間的裕度を評価した。

保守的に地上位置での放散を仮定した場合、周辺監視区域の外においては約 7.5×10^{-3} mSv/日の実効線量となった。これに基づき、目安として平常時の年間の線量限度 1 mSv に至るまでの期間を求めると約 133 日程度となり、補修による応急措置を行うのに十分な期間が確保できる。

2. 評価方法

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 再処理事業指定申請書では、周辺監視区域の外における実効線量（約 2.2×10^{-2} mSv/年）を算定している。実効線量の内訳は、気体廃棄物に起因する線量（約 1.3×10^{-2} mSv/年）、液体廃棄物に起因する線量（約 5.4×10^{-3} mSv/年）及び放射性廃棄物の保管廃棄施設等に起因する線量（約 3.5×10^{-3} mSv/年）となっている。

気体廃棄物に起因する線量は、使用済燃料の再処理運転を考慮したもので、主排気筒、第一付属排気筒及び第二付属排気筒を通じて高所から放出した場合における線量であり、主排気筒を通じて放出した気体廃棄物によるものが支配的である。

再処理事業指定申請書に記載している主排気筒又は第二付属排気筒からの放散時における相対濃度 χ/Q^* と高放射性廃液貯蔵場（HAW）又はガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の地上から放散した場合における相対濃度 χ/Q の比を求め、気体廃棄物に起因する線量に乗じて、気体廃棄物がすべて高放射性廃液貯蔵場（HAW）又はガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の地上から放散したものとして、屋外ダクトの損傷時の気体廃棄物に起因する線量を評価する。

*1 付表 6-1 「運転時の異常な過渡変化を超える事象」の線量当量計算に用いる χ/Q 及び D/Q

3. 評価結果

主排気筒又は第二付属排気筒からの放散時における相対濃度 χ/Q 、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の地上からの放散における相対濃度 χ/Q の比を表 3-1 に、主排気筒又は第二付属排気筒からの放散時と地上からの放散時における周辺監視区域の外における実効線量の比較を表 3-2 に示す。

当該評価の結果、屋外ダクトの損傷により、気体廃棄物が地上から放散したとしても、周辺監視区域の外における実効線量は約 7.5×10^{-3} mSv/日であり、平常時の年間の線量限度 1 mSv に至るまで約 133 日の時間余裕がある。あらかじめダクト補修用の資材を準備することにより、安全上支障のない期間において十分補修が可能であると考えられる。

現状、再処理施設は廃止措置段階に入っており、新たな使用済燃料の再処理を行わないこと、設計飛来物により屋外ダクトが損傷した場合には、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟のガラス固化運転を停止することから、更に時間的な余裕がある。

表 3-1 相対濃度の比較

	主排気筒又は第二付属 排気筒からの放散	地上 (0 m) からの放散 *2	
		高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
相対濃度 χ/Q (h/m ³)	1.3×10^{-9}	2.67×10^{-7}	1.99×10^{-7}
	比 :	約 205 倍	約 153 倍

*2 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従い、2005年から2015年における核燃料サイクル工学研究所で観測した気象統計データのうち、異常年でない2013年の1年間における気象観測結果から求めた値。放出継続時間を1時間とし、建家の風向き方向の投影面積を考慮している。

表 3-2 周辺監視区域の外における実効線量の比較評価

	再処理事業指定申請書	当該評価における結果
相対濃度 χ/Q (h/m ³)	1.3×10^{-9}	2.67×10^{-7} (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))
気体廃棄物に起因する線量 (日換算)	3.6×10^{-5} mSv/日	7.4×10^{-3} mSv/日
液体廃棄物に起因する線量 (日換算)	1.5×10^{-5} mSv/日	同左
放射性廃棄物の保管廃棄施設等に 起因する線量 (日換算)	9.6×10^{-6} mSv/日	同左
周辺監視区域の外における実効線量 (日換算)	6.1×10^{-5} mSv/日	7.5×10^{-3} mSv/日

屋上に設置されている設備、配管等の損傷時の復旧方法の考え方について

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置している設備、配管等については、設計飛来物の衝突により損傷した場合、事故対処設備により安全機能の代替を行うが、可搬型設備による長期間の代替は安全性の観点から好ましいものではないことから、損傷を受けた設備の復旧までの期間においては補修資材や予備品を用いた修理又は交換による応急的措置を行う。

屋上に設置されている設備、配管等が担う安全上の機能としては、崩壊熱除去機能（二次冷却水系統の設備（冷却塔、ポンプ、浄水受槽及び冷却水系統の配管））、閉じ込め機能に係る放出経路の維持機能（換気系ダクト）がある。二次冷却水系統の設備が損傷した場合には崩壊熱除去機能の喪失となり、重大事故の起因事象となり得るため、早急に事故対処設備による機能の代替を行い、応急的措置を行う。一方、換気系ダクトは損傷によって直ちに事故に至るものではないため、別紙参考 6-1-4-4-4-5-1「屋外ダクト損傷時における周辺監視区域の外における実効線量の概略評価」に示した約 133 日の時間裕度の間に応急的措置を行う。

以上の段階的な復旧の考え方を図-1 に示す。なお、事故対処設備による代替策の有効性については他の事象に対する事故対処の有効性評価と合わせて示す。

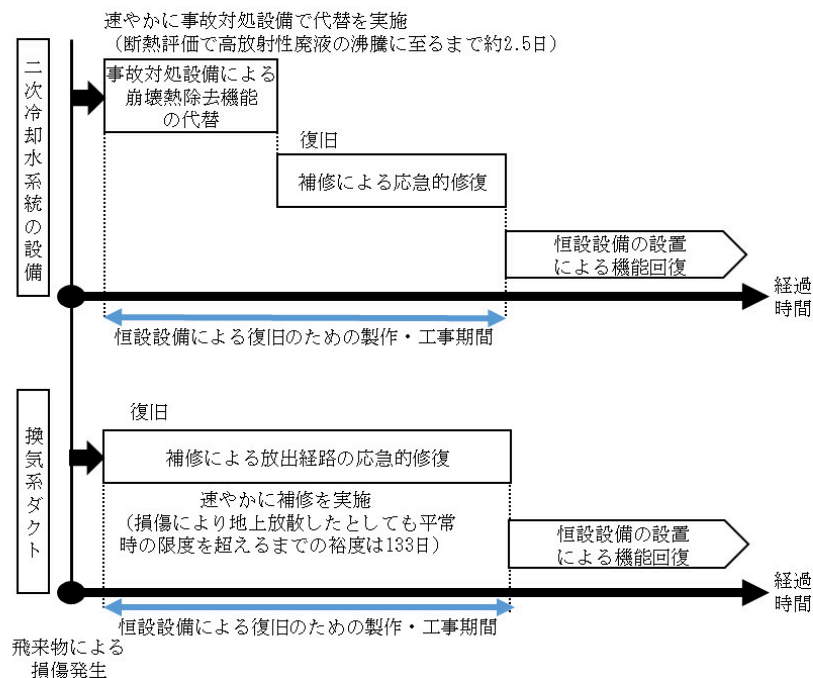


図-1 屋上設置機器・配管が竜巻により損傷した場合の段階的復旧の考え方

各設備の仕様を表-1に示す。また、以下に各設備の復旧方法の考え方を示す。

① 冷却塔

使用中の系統が損傷した場合は予備系統に切り替えて崩壊熱除去機能を維持する*1。予備系統も同時に損傷した場合には、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替*2し、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する間に冷却塔の補修による復旧を行う。

その後、冷却塔の交換等を実施し、恒設設備により機能回復を行う。

*1 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟は、通常2系統運転（50%負荷×2系統）している。片系統の故障時にはバランス運転（1系統100%負荷）に切り替える。

*2 冷却水系統の配管の接続箇所にホース接続用フランジを取付け、ホースにより接続したポンプ車等により浄水系統から浄水を直接供給することで高放射性廃液の崩壊熱除去機能を代替する。

② ポンプ

使用中の系統が損傷した場合は予備系統に切り替えて崩壊熱除去機能を維持する。予備系統も同時に損傷した場合には、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替し、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する間にポンプの補修による復旧を行う。

その後、ポンプの交換等を実施し、恒設設備により機能回復を行う。なお、ポンプの電動機が損傷した場合には、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替しながら、速やかに予備品と交換する。

③ 浄水受槽

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の浄水受槽が損傷した場合には、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する。事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する間に補修資材（当て板等）の手配を行い、当て板等により浄水受槽の損傷箇所の復旧を行う。

その後、浄水受槽の交換等を実施し、恒設設備により機能回復を行う。

④ 冷却水系統の配管

使用中の系統が損傷した場合は予備系統に切り替えて崩壊熱除去機能を維持する。予備系統も同時に損傷した場合には、事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する。事故対処設備により崩壊熱除去機能を代替する間にあらかじめ用意している補修資材（補修クランプ等）により復旧を行う。

その後、配管の交換等を実施し、恒設設備により機能回復を行う。

⑤ 換気系ダクト

屋上ダクトが損傷した場合はガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟であればガラス固化処理を停止して可能な限り放射性物質の放出を低減する対応を行う。速やかに繊維強化プラスチックシート、ダクトテープ等による応急措置を行う

とともに、補修資材（当て板等）の手配を並行で進め、当て板を損傷個所に溶接することにより復旧を行う。

その後、ダクトの交換等を実施し、恒設設備により機能回復を行う。

上記の設備及び配管等の補修方法及び補修期間については、設計飛来物による破損のモードを明確にした上で、令和3年1月に予定している廃止措置計画の変更において示す。なお、応急的措置については、復旧作業時の従事者の被ばく量についても考慮する。

表-1 屋上に設置している安全機能を担う設備の仕様 (1/2)

機器 系統	安全 機能	仕様	
		高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
冷却塔	崩壊 熱除去	<ul style="list-style-type: none"> ・高さ 3.7 m×幅 11 m×奥行き 3 m ・設計圧力 0.39 MPa ・熱交換量 1930.6 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ・高さ 3.3 m×幅 5.5 m×奥行き 3.7 m ・設計圧力 0.69 MPa ・熱交換量 1133.7 kW
ポンプ	崩壊 熱除去	<p>二次系の送水ポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高さ 0.7 m×幅 1.6 m×奥行き 5.5 m ・全揚程：40 m ・吐出量：200 m³/h ・回転数：2900 rpm ・電動機：37 kW <p>浄水ポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高さ 0.47 m×幅 1.03 m×奥行き 0.34 m ・全揚程：20 m ・吐出量：30 m³/h ・回転数：2900 rpm ・電動機：5.5 kW 	<p>ポンプ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高さ 1.1 m×幅 2.1 m×奥行き 1.1 m ・全揚程：45 m ・吐出量：195 m³/h ・回転数：1460 rpm ・電動機：45 kW
浄水 受槽	崩壊 熱除去	<p>形状：φ 2.5 m×3 m</p> <p>全容量：13.25 m³</p> <p>材質：SUS304</p>	/

表-1 屋上に設置している安全機能を担う設備の仕様 (2/2)

機器 系統	安全 機能	仕様	
		高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
冷却水 系統の 配管	崩壊 熱除去	二次冷却水系統の配管 ・ 80A (10S) SUS304 ・ 100A (10S) SUS304 ・ 200A (10S) SUS304 浄水系統の配管 ・ 50A (10S) SUS304 ・ 80A (10S) SUS304	冷却水系統の配管 ・ 65A (40S) STPG370 ・ 125A (40S) STPG370 ・ 150A (40S) STPG370 ・ 200A (40S) STPG370 浄水系統の配管 ・ 25A (40S) STPG370 ・ 40A (40S) STPG370 ・ 50A (40S) STPG370 ・ 100A (40S) STPG370 純水系統の配管 ・ 15A (40S) SUS304 ・ 25A (20S) SUS304 ・ 25A (40S) STPG370 ・ 50A (40S) STPG370
換気系 ダクト	閉じ込め (放出経 路維持)	セル換気系統のダクト ・ 外径 ϕ 856 mm (板厚 3 mm) SUS304 緊急放出系統のダクト ・ 外径 ϕ 406.4 mm (板厚 9 mm) SUS304	セル換気系統のダクト ・ 外径 ϕ 2008 mm (板厚 4 mm) SUS304 ・ 外径 ϕ 2708 mm (板厚 4 mm) SUS304