

3.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いて飛来物の飛散評価を行う。TONBOS で解析する際の竜巻風速場にはフジタモデル (DBT-77 モデル) を適用する。F1 竜巻での評価結果を添説建 3-Ⅱ. 3.3-1 表に示す。

評価の結果、最大飛散距離はプレハブ物置 (大) が \square m であるが、最も近い民家や公道からシリンドラ洗浄棟までは 176m 以上離れており、同建物まで到達する飛来物は無いことから、建物の壁、屋根の衝撃評価は不要である。

添説建 3-Ⅱ. 3.3-1 表 F1 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F1)

最大風速	49 (m/s)
最大接線風速	42 (m/s)
移動速度	7 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材												
鋼製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

4. 更なる安全裕度の向上策の確認

4.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建2 II. シリンダ洗浄棟 耐震計算書」のX方向、Y方向それぞれについて正負加力2ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建3ーII.4.1ー1表に示す。評価の結果、保有水平耐力はF3竜巻荷重を上回っており、F3竜巻荷重に対して建物は健全である。

添説建3ーII.4.1ー1表 保有水平耐力とF3竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力(kN)	F3竜巻荷重(kN) ※1	検定比	評価
X方向 (南北方向)				
Y方向 (東西方向)				

※1：添付説明書ー建3ーII付録3 参照

4.2. 屋根、壁、鉄扉の局部評価

終局耐力荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建3ーII.4.2ー1表に示す。評価の結果、各部の強度はF3竜巻荷重を上回っており、F3竜巻荷重に対して、部分的に塑性変形が発生する可能性はあるが、終局耐力内であり、健全である。

添説建3ーII.4.2ー1表 局部評価

	単位面積当りの 終局耐力荷重 (Pa)	単位面積当りの F3竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
建物本体屋根 (RC屋根)				○
建物本体壁 (RC壁)				○
建物本体鉄扉				○

※1：添付説明書ー建3ーII付録5 参照 (屋根については固定荷重を考慮した値)

※2：添付説明書ー建3ーIX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書ー建3ーII付録4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部におけるF3竜巻荷重に対する終局耐力荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比がF3竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、終局耐力荷重は載荷されているF3竜巻荷重を検定比で割り戻す(終局耐力荷重=F3竜巻荷重/検定比)ことで算出した。

4.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

F1 竜巻と同様に F3 竜巻での飛来物評価を実施する。F3 竜巻での評価結果を添説建 3-Ⅱ.4.3-1 表に示す。

敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

評価対象とする飛来物は、敷地境界の公道を走行中の車両は防護フェンスで防護することから対象外とし、飛散距離約 176m 以上のプレハブ物置（小、中、大）の中で飛散距離、飛散高さが最も大きく、運動エネルギーの大きいプレハブ物置（大）とする。

評価の結果、壁^{※1}、屋根^{※1}、鉄扉^{※2}は飛来物の衝撃に対し、健全である。

※1：添付説明書-建 3-Ⅱ付録 6 参照

※2：添付説明書-建 3-Ⅸ. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

添説建 3-Ⅱ.4.3-1 表 F3 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F3)

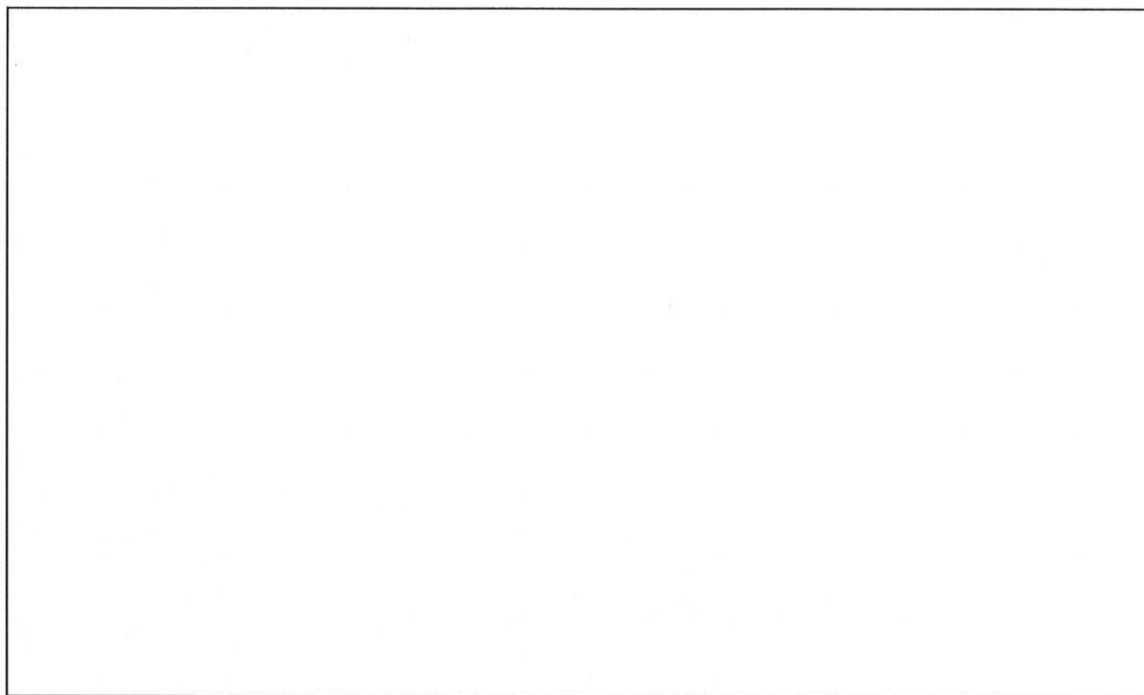
最大風速	92 (m/s)
最大接線風速	78 (m/s)
移動速度	14 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材												
鋼製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

見付面積の算出方法について

見付面積 (A_e, A_p, A_{2F}, A_{1F}) の算出にあたり、高さ方向の寸法はパラペットなどの上端部から一律 200mm を加算して裕度を確保する。また、X 方向、Y 方向の寸法は、通り芯から両側に一律 1500mm を加算して裕度を確保する。

X 方向（南北方向）の見付面積



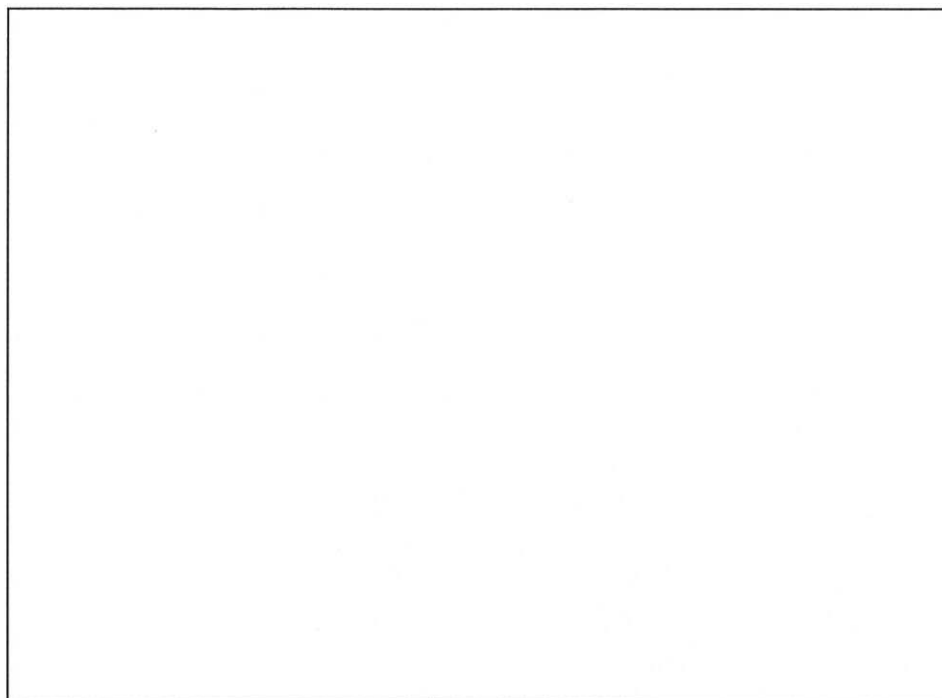
添説建 3—II. 付 1—1 図 X 方向見付面積

- a = 排気塔幅 + 両側幅裕度 = m
- b = 壁幅 + 両側幅裕度 = m
- c = 壁幅 + 片側幅裕度 - 片側幅裕度 = m
- d = 排気塔高さ + 高さ裕度 = m
- e = パラペット高さ + 高さ裕度 = m
- f = 2 階壁高さ / 2 = m
- g = 2 階壁高さ / 2 + (1 階壁高さ + 300) / 2 = m
- h = 前室壁高さ / 2 + パラペット高さ + 高さ裕度 = m

各階見付面積

- 2 階： 排気塔 $A_e = a \times d =$ m²
- パラペット $A_p = b \times e =$ m²
- 壁 $A_{2F} = b \times f =$ m²
- 1 階： 壁 $A_{1F} = b \times g + c \times h =$ m²

Y方向（東西方向）の見付面積



添説建3-Ⅱ.付1-2図 Y方向見付面積

a = 排気塔幅 + 両側幅裕度 = m

b = 壁幅 + 両側幅裕度 = m

c = 排気塔高さ + 高さ裕度 = m

d = パラペット高さ + 高さ裕度 = m

e = 2階壁高さ / 2 = m

f = 2階壁高さ / 2 + (1階壁高さ + 300) / 2 = m

各階見付面積

2階： 排気塔 $A_e = a \times c =$ m²

パラペット $A_p = b \times d =$ m²

壁 $A_{2F} = b \times e =$ m²

1階： 壁 $A_{1F} = b \times f =$ m²

「添説建 3-Ⅱ. 3. 1-1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-Ⅱ. 付 2-1 表 X 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組み合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	W _w (kN)	ΔP×A (kN)	W _p (kN)	W _{T1} =W _p (kN)	W _{T2} =W _w + 0.5×W _p (kN)
2	排気塔								
	パラベット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3-Ⅱ. 付 2-2 表 Y 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組み合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	W _w (kN)	ΔP×A (kN)	W _p (kN)	W _{T1} =W _p (kN)	W _{T2} =W _w + 0.5×W _p (kN)
2	排気塔								
	パラベット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-Ⅱ 付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値

シリンダ洗浄棟の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とした。

「Ⅰ. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重 : $\Delta P = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重 : $q = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用

「添説建 3-Ⅱ. 4. 1-1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-Ⅱ. 付 3-1 表 X 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	排気塔								
	パラベット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3-Ⅱ. 付 3-2 表 Y 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の 組合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	排気塔								
	パラベット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-Ⅱ 付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値

シリンダ洗浄棟の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とした。

「Ⅰ. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重： $\Delta P = \square$ (Pa) → \square (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重： $q = \square$ (Pa) → \square (Pa) として計算に使用

1. 「添説建 3-Ⅱ. 3. 2-1 表 局部評価」の F1 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3-Ⅱ. 付 4-1 表 F1 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1. 22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	49
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	42
速度圧	q	(Pa)	1465
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-2152

添説建 3-Ⅱ. 付 4-2 表 F1 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0. 8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1. 2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-2152
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	
	W_{T2}	(Pa)	—
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-2152
	W_{T2}	(Pa)	

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負
 ・※印の値が評価で使用した荷重

2. 「添説建 3-Ⅱ. 4. 2-1 表 局部評価」の F3 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3-Ⅱ. 付 4-3 表 F3 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1. 22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	92
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	78
速度圧	q	(Pa)	5163
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-7422

添説建 3-Ⅱ. 付 4-4 表 F3 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0. 8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1. 2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-7422
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	
	W_{T2}	(Pa)	—
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-7422
	W_{T2}	(Pa)	

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負
 ・※印の値が評価で使用した荷重

竜巻に対する局所評価用の竜巻許容荷重の計算に関する説明書

建物の損傷防護の観点から、局所評価として建物の屋根、壁とそれらを支持する構造二次部材について評価を行う。

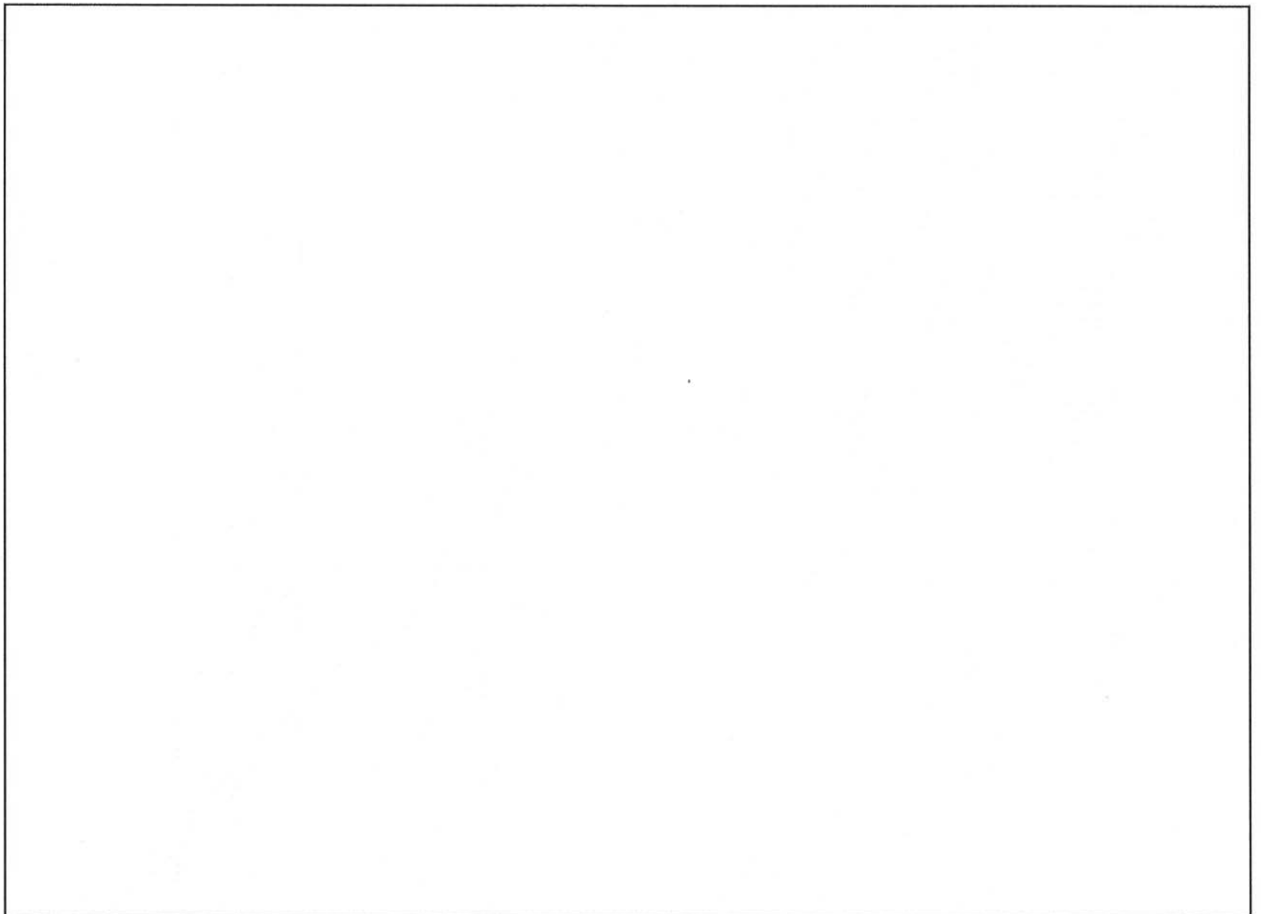
1. 屋根、壁の評価位置と評価モデルについて

建物本体の屋根、壁は鉄筋コンクリート造であり、それぞれ代表する屋根スラブ、壁スラブ、鉄骨小梁を検討対象とする。前室の屋根はALC板屋根であり、代表するALC板、鉄骨小梁を検討対象とする。壁はサイディング壁に交換することで補強を施しており、サイディング材、胴縁、受け材（鉄骨間柱）を検討対象とする。

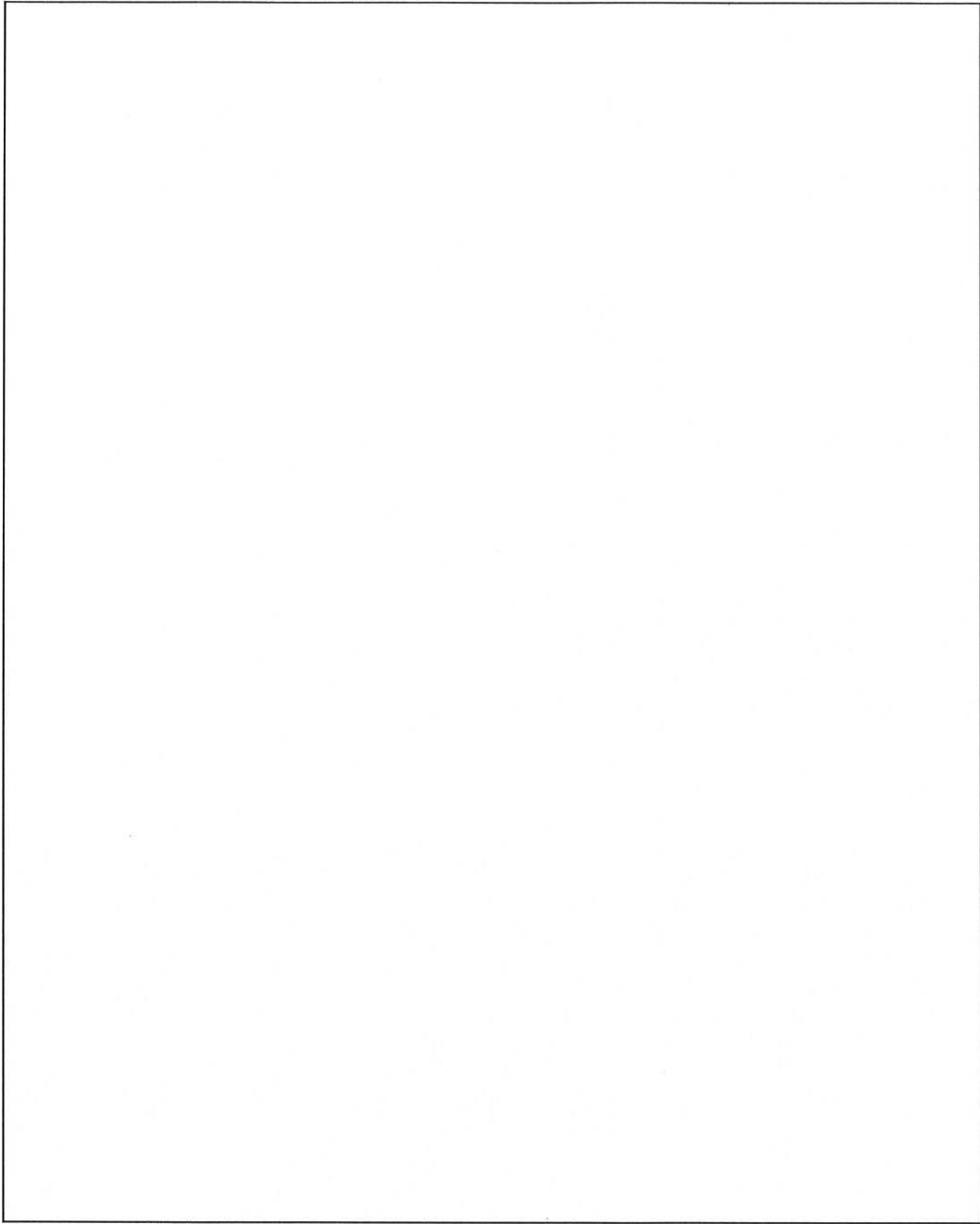
検討対象を添説建 3ーⅡ. 付 5ー1 図～添説建 3ーⅡ. 付 5ー4 図に示す。

スラブは保守的に考えて、内法寸法に対して両側+100mm の裕度を確保して評価する。ただし、鉄骨で支持されたスラブは、鉄骨の梁芯間寸法で評価する。

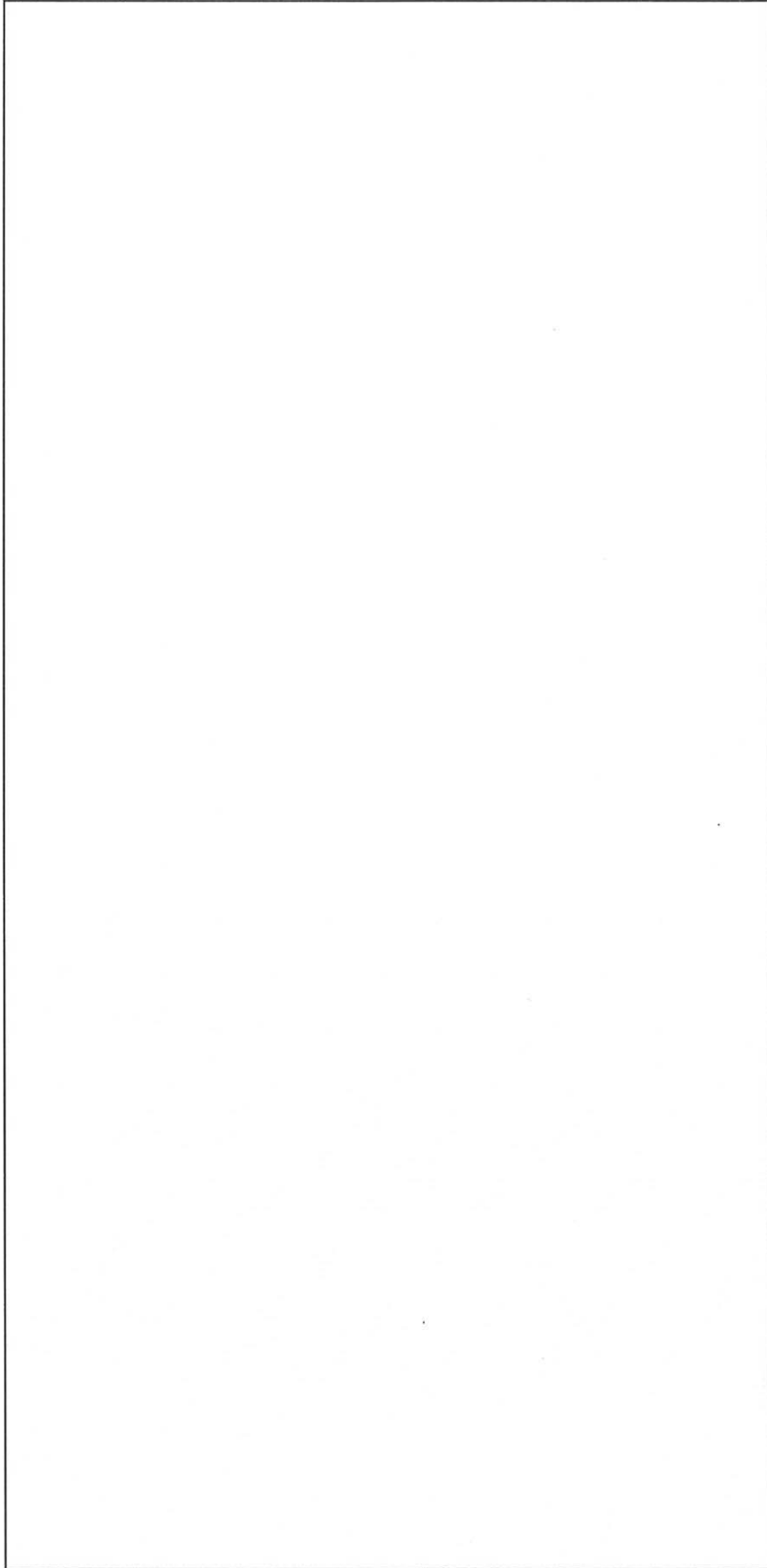
評価位置の選定にあたっては、各屋根、壁毎に、それらを構成する各種部材に対して断面形式、サイズ、支持スパン長等を考慮して代表部材を抽出し、それら代表部材のうち最も厳しい評価結果となった部材箇所を「評価位置」として設定した。



添説建 3ーⅡ. 付 5ー1 図 建物本体屋根検討対象



添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 図 建物本体壁検討対象



添説建 3-Ⅱ. 付 5-4 図 前室壁検討対象

2. 竜巻許容荷重の考え方

2.1. RC 屋根（建物本体）

屋根スラブは F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期許容曲げモーメント以下、F3 竜巻時は終局曲げ耐力以下であることを確認する。また、鉄骨小梁は F3 竜巻時に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。確認にあたり、屋根スラブは日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC 規準」と略記）に基づき評価する。鉄骨小梁は日本建築学会「鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法―」（以下「S 規準」と略記）に基づき評価する。

2.2. RC 壁（建物本体）

壁スラブは F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期許容曲げモーメント以下、F3 竜巻時は終局曲げ耐力以下であることを確認する。確認にあたり、壁スラブは「RC 規準」に基づき評価する。

2.3. ALC 板屋根（前室）

ALC 板はメーカー資料より最大支持スパンが許容スパン以下であることを確認する。また、鉄骨小梁は F1 竜巻時に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。確認にあたり、鉄骨小梁は「S 規準」に基づき評価する。

2.4. サイディング壁（前室）

サイディング材は F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントがメーカー資料による許容荷重以下であることを確認する。また、胴縁、受け材は F1 竜巻荷重及び自重により作用する最大曲げモーメントと短期許容曲げモーメントのそれぞれの検定比の合計値が 1.0 以下であることを確認する。確認にあたり、胴縁、受け材は「S 規準」に基づき評価する。

ALC 板屋根、サイディング壁は前室に設置されており、F3 防護区画外のため F1 竜巻に対してのみ評価する。

以上の評価により安全機能を損なわないことを確認する。

3. 竜巻許容荷重の算出

3.1. 荷重

(1) 屋根固定荷重

屋根に作用する竜巻荷重は負圧で評価するため、屋根の固定荷重の値は切り捨てとする。

屋根スラブは V 型デッキプレートを使用しているが、保守的に考えて突起部を無視したスラブ厚とする。

1) 建物本体

屋根スラブ (S1)

単位体積重量 γ_{RC} (N/m³) :
厚さ t_{RC} (m) : (保守的に考えて突起部を無視する)
単位面積重量 w_{RC1} (N/m²) : $\gamma_{RC} \times t_{RC} =$
デッキプレート、ダクト配管、
仕上げ荷重 w_{RC2} (N/m²) :
検討用固定荷重 w_{RC} (N/m²) : $w_{RC1} + w_{RC2} =$

鉄骨小梁 (SB2)

使用部材
部材単位長さ重量 M_{SB2} (kg/m) : (JIS G3192)
重力加速度 g (m/s²) :
検討用固定荷重 w_{SB2} (N/m) : $M_{SB2} \times g =$

2) 前室

ALC板

単位体積重量 γ_{ALC} (kg/m³) :
(ALCパネル構造設計指針・同解説 (ALC協会) による)
厚さ t_{ALC} (m) :
重力加速度 g (m/s²) :
単位面積重量 w_{ALC1} (N/m²) : $\gamma_{ALC} \times g \times t_{ALC} =$
仕上げ荷重 w_{ALC2} (N/m²) :
検討用固定荷重 w_{ALC} (N/m²) : $w_{ALC1} + w_{ALC2} =$

鉄骨小梁 (SB5)

使用部材
部材単位長さ重量 w_{SB5} (kg/m) : (JIS G3192)
重力加速度 g (m/s²) :
検討用固定荷重 w_{SB5} (N/m) : $w_{SB5} \times g =$

(2) 壁固定荷重

サイディング材

サイディング材単位重量 w_{w1} (N/m²) :
仕上げ荷重 w_{w2} (N/m²) :
検討用固定荷重 w_w (N/m²) : $w_{w1} + w_{w2} =$

鉄骨間柱 (P1)

使用部材
部材単位長さ重量 w_{p1} (kg/m) : (JIS G3192)
重力加速度 g (m/s²) :
検討用固定荷重 W_{p1} (N/m) : $M_{p1} \times g =$

(3) 竜巻荷重

添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 表に示す。

添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 表 竜巻荷重 (添付説明書一建 3-Ⅱ付録 4 より)

竜巻荷重	屋根	壁
F1 竜巻荷重(短期) w_{F1} (N/m ²)		
F3 竜巻荷重(終局) w_{F3} (N/m ²)		

3. 2. 使用材料と許容値

(1) コンクリート

設計基準強度 $F_c = 20.6 \text{ N/mm}^2$

(2) 鉄筋

使用材料 : 建設時設計図書より

JIS G3112 - 1987 での読み替えに従って として取り扱う。

短期許容引張応力度 : $f_t = \text{} \text{ N/mm}^2$

降伏応力度 : $\sigma_y = 1.1 \times f_t = \text{} \text{ N/mm}^2$

(3) 鉄骨

使用材料 : 建設時設計図書より

JIS G3101 - 1995 での読み替えに従って として取り扱う。

基準強度 : $F = \text{} \text{ N/mm}^2$

(4) 鉄骨接合部

使用材料 : 高力ボルト

許容せん断力 : 一面摩擦時 kN/本 (長期)、 kN/本 (短期) (S 規準より)

使用材料 : 高力ボルト

許容せん断力 : 一面摩擦時 kN/本 (長期)、 kN/本 (短期) (S 規準より)

(5) ALC 板

使用材料 : ALC 板 厚さ mm

設計基準強度 : 同等品のメーカー資料に記載された許容荷重を使用する。

(6) サイディング材

使用材料 : サイディング材 厚さ mm

設計基準強度 : 同等品のメーカー資料に記載された許容荷重を使用する。

3.3. 建物本体屋根の検討

添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 表に竜巻荷重と屋根固定荷重の比較を示す。建物本体屋根の F1 竜巻荷重は屋根固定荷重以下であり、浮き上がり力は生じないため検討を省略する。F3 竜巻荷重は屋根固定荷重を上回り、浮き上がり力が生じるため、屋根スラブ、それを受ける鉄骨小梁について検討する。

添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 表 竜巻荷重と固定荷重の比較

F1 竜巻荷重 (N/m ²)	屋根固定荷重 (N/m ²)	F3 竜巻荷重 (N/m ²)

(1) 屋根スラブ (S1)

1) 計算諸条件

長辺スパン長 L(m)	:	
短辺スパン長 B(m)	:	
単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m ²)	:	
屋根スラブ諸元		
厚さ t_{RC} (mm)	:	
単位面積当り固定荷重 w_{RC} (N/m ²)	:	
配筋		
上端筋 主筋	:	
配力筋	:	
下端筋 主筋	:	
配力筋	:	
1 本当り断面積	:	
	:	
鉄筋 ()	:	
短期許容引張応力度 f_t (N/mm ²)	:	
降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	:	
支持条件	:	4 辺固定
着目方向	:	短辺方向
単位面積当り荷重 w (kN/m ²)	:	$w_{F3} - w_{RC} =$ N/m ² \rightarrow kN/m ²

2) 短辺方向での検討結果

屋根スラブの端部では下端側、中央部では上端側に引張が発生する。引張が発生する側の配筋は端部と中央部で同じであるため、曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

この位置での計算条件は以下の通り。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t_{RC} - d_t =$

引張鉄筋断面積 (スラブ 1m 幅当り) a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times (A_{D10} + A_{D13}) / 2$
 =
 =



屋根スラブ断面 (端部)

最大曲げモーメント M (スラブ 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w \times B^2$$

= kN·m/m

終局曲げ耐力 M_u (スラブ 1m 幅当り) は、RC 規準 (解 8.21) 式より

$$M_u = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d =$$
 N·mm/m \rightarrow kN·m/m

最大曲げモーメント M と終局曲げ耐力 M_u の検定比

$$R_1 = M / M_u =$$
 < 1.0 OK

(2) 鉄骨小梁 (SB2)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m) :

圧縮フランジの支点間距離 L_b (m) :

屋根スラブ単位面積当り固定荷重 w_{RC} (N/m²) :

単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²) :

鉄骨小梁諸元

使用部材

高さ h (mm) :

幅 b (mm) :

フランジ厚さ t_f (mm) :

圧縮フランジ断面積 A_f (mm²) :

断面係数 (強軸) Z_x (cm³) :

横座屈断面二次半径 i (cm) :

単位長さ当り固定荷重 w_{SB2} (N/m) :

鉄骨小梁の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 B_b (m) :

屋根固定荷重 w_{RC} (N/m) :

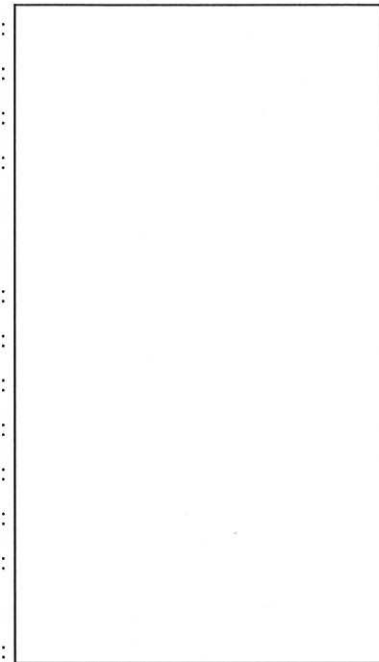
竜巻荷重 w_{F3} (N/m) :

鉄骨小梁分担荷重 W (N/m) :

高力ボルト

一面摩擦許容せん断力 (短期) Q_a (kN/本) :

ボルト本数 n_b (本) :



: $w_{RC} \times B_b =$

: $w_{F3} \times B_b =$

: $w_{F3} - w_{RC} - w_{SB2} =$

:

3. 4. 建物本体壁の検討

(1) 壁スラブ (W15)

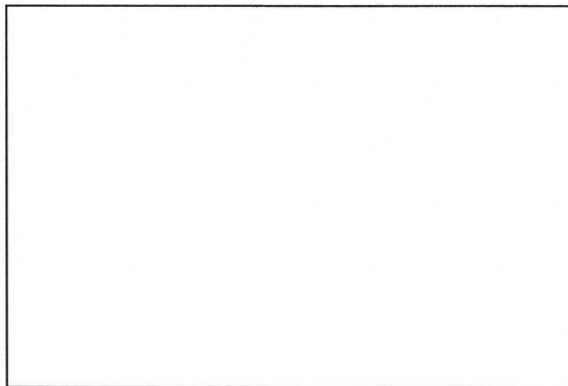
1) 計算諸条件

水平スパン長 (パネル長) L (m) :
 鉛直スパン長 (パネル幅) B (m) :
 単位面積当り F1 竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) :
 単位面積当り F3 竜巻荷重 w_{F3} (N/m²) :
 壁スラブ諸元
 厚さ t_w (mm) :
 配筋
 縦筋 : (ダブルチドリ)
 横筋 : (ダブルチドリ)
 1 本当り断面積 (mm²) :
 鉄筋
 短期許容引張応力度 f_{t1} (N/mm²) :
 降伏応力度 σ_{y1} (N/mm²) :
 支持条件 : 4 辺固定

2) 検討結果

曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :
 有効せい d (mm) : $t_w - d_t =$
 応力中心距離 j (mm) : $(7 / 8) \times d =$
 引張鉄筋断面積 (1m 幅当り) a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times A_{D10}$
 =
 =



3.5. 前室屋根の検討

F1 竜巻荷重（短期）に対する評価を行う。

(1) ALC 板

最大支持スパン L_{max} (mm) :

厚さ t_{ALC} (mm) :

単位面積当り固定荷重 w_{ALC2} (N/m²) : (ALC 板自重は考慮しない)

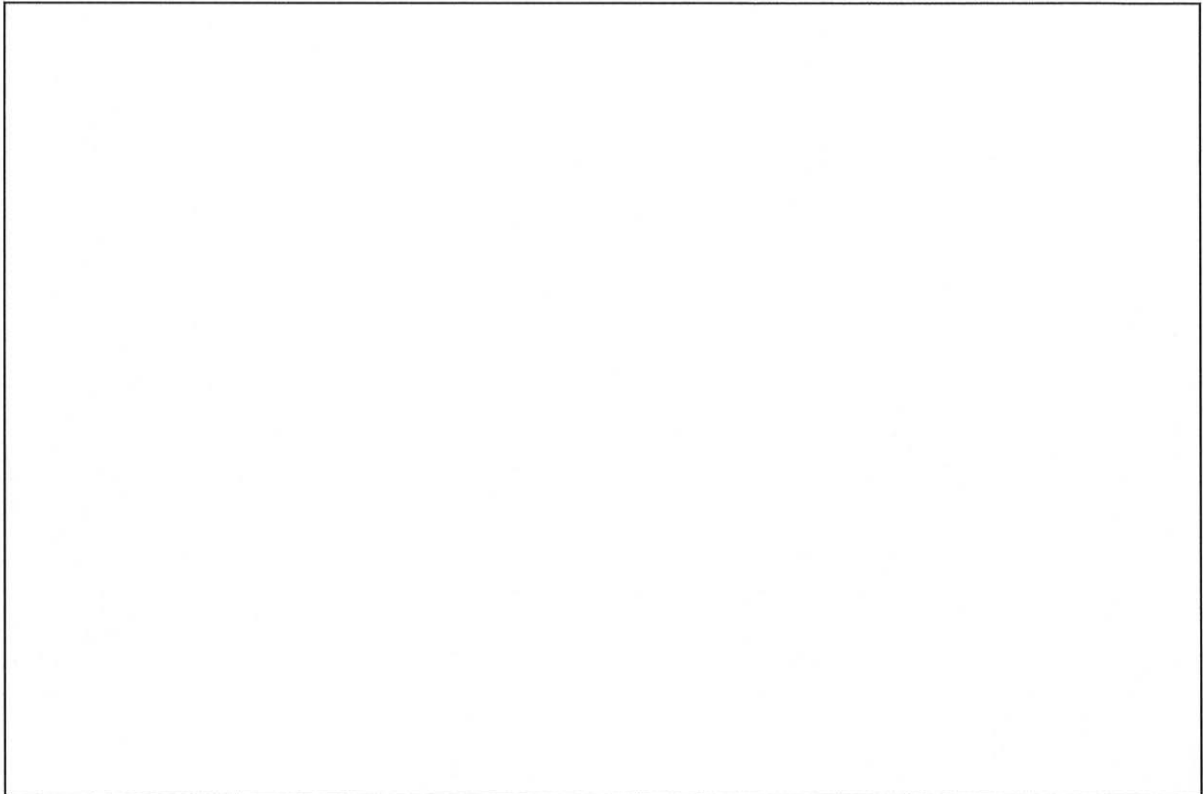
単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) :

単位面積当り荷重 w (N/m²) : $w_{F1} - w_{ALC2} =$

許容支持スパン L_a (mm) : (添説建 3-Ⅱ. 付 5-3 表より)

支持スパン検定比 R_6 : $(L_{max} / L_a)^2 =$ < 1.0 OK

添説建 3-Ⅱ. 付 5-3 表 屋根パネル厚さ別「設計荷重-最大長さ」対応表（メーカー資料^{※1}）



※1：メーカー資料については、三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

(2) 鉄骨小梁 (SB5)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m)

圧縮フランジの支点間距離 L_b (m)

ALC板単位面積当り固定荷重 w_{ALC} (N/m²)

単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²)

鉄骨小梁諸元

使用部材

高さ h (mm)

幅 b (mm)

フランジ厚さ t_f (mm)

圧縮フランジ断面積 A_f (mm²)

断面係数 (強軸) Z_x (cm³)

横座屈断面二次半径 i (cm)

単位長さ当り固定荷重 W_{SB5} (N/m)

鉄骨小梁の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 B_b (m)

屋根固定荷重 W_{ALC} (N/m)

竜巻荷重 W_{F1} (N/m)

鉄骨小梁分担荷重 W (N/m)

高力ボルト

一面摩擦許容せん断力 (短期) Q_a (kN/本)

ボルト本数 n_b (本)

:

:

:

:

:

:

:

: $b \times t_f =$

:

:

:

:

: $W_{ALC} \times B_b =$

: $W_{F1} \times B_b =$

: $W_{F1} - W_{ALC} - W_{SB5} =$

:

:

3.6. 前室壁の検討

F1 竜巻荷重（短期）に対する評価を行う。

(1) サイディング材

胴縁ピッチ P_{max} (mm) :
 厚さ t_s (mm) :
 許容荷重 w_a (N/m²) : (添説建 3-Ⅱ. 付 5-4 表より)
 単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) :

添説建 3-Ⅱ. 付 5-4 表 サイディング材 許容荷重（メーカー資料^{※1}）

--

※1：メーカー資料については、三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

検定比

保守的に考えて、許容荷重（胴縁ピッチ 910）と竜巻荷重との比較で検定比を算出する。

$R_0 = w_{F1} / w_a =$ < 1.0 OK

(2) 胴縁 (NGIR)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m) :
 サイディング材単位面積当り固定荷重 w_w (N/m²) :
 単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) :

胴縁諸元

使用部材
 断面係数（強軸） Z_x (cm³) :
 断面係数（弱軸） Z_y (cm³) :
 胴縁の分担する単位長さ当り荷重
 荷重分担幅 P (m) :
 壁固定荷重 W_w (N/m) : $w_w \times P =$
 竜巻荷重 W_{F1} (N/m) : $w_{F1} \times P =$

2) 検討結果

強軸

支間中央曲げモーメント

$$M_x = 1 / 8 \times W_{F1} \times L^2 = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = M_x / Z_x = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

短期許容曲げ応力度

$$f_{bx} = F = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_x = \sigma_{bx} / f_{bx} = \boxed{}$$

弱軸

支間中央曲げモーメント

$$M_y = 1 / 8 \times W_W \times L^2 = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{by} = M_y / Z_y = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

短期許容曲げ応力度

$$f_{by} = F = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_y = \sigma_{by} / f_{by} = 19 / \boxed{}$$

組合せ検定比

$$R_{10} = R_x + R_y = \boxed{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(3) 鉄骨間柱 (P1)

1) 計算諸条件

鉄骨間柱は単純梁モデルとして検討する。

支持スパン L (m)

圧縮フランジの支点間距離 L_b (m)

サイディング材単位面積当り固定荷重 w_w (N/m²)

単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²)

使用部材

梁高 h (mm)

梁幅 b (mm)

フランジ厚さ t_f (mm)

断面積 A (mm²)

圧縮フランジ断面積 A_f (mm²)

断面係数 (強軸) Z_x (cm³)

断面二次半径 (弱軸) i_y (cm)

横座屈断面二次半径 i (cm)

鉄骨間柱固定荷重 W_{P1} (N/m)

鉄骨間柱の分担する荷重

分担幅 B_{P1} (m)

検討用固定荷重 W_w (N/m)

検討用 F1 竜巻荷重 W_{F1} (N/m)

:

:

:

:

:

:

:

:

: $b \times t_f =$

:

:

:

:

:

: $w_w \times B_{P1} + W_{P1} =$

: $w_{F1} \times B_{P1} =$

3) 圧縮応力度

鉄骨間柱の固定荷重による圧縮力

$$N = W_W \times L = \boxed{} \text{ N}$$

圧縮応力度

$$\sigma_c = N / A = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

短期許容圧縮応力度

平成 13 年国土交通省告示第 1024 号 第 1 項 第三号 表 1 より、

$\lambda > \Lambda$ のとき、

$$f_c = 18 / 65 \times F / (\lambda / \Lambda)^2 \times 1.5$$

ここに、

λ : 圧縮材の細長比

$$\lambda = L_b / i_y = \boxed{}$$

Λ : 限界細長比

$$\Lambda = 1500 / \sqrt{F / 1.5} = \boxed{}$$

$$f_c = \boxed{}$$

検定比

$$R_{12} = \sigma_c / f_c = \boxed{}$$

4) 組み合わせ検定比

$$R_{13} = R_{11} + R_{12} = \boxed{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(4) 前室壁の単位面積当りの短期許容荷重

$$\text{最大検定比 } R_{\max} = \max(R_9, R_{10}, R_{13}) = \max(\boxed{}) = \boxed{}$$

前室壁の単位面積当りの短期許容荷重は

$$w_a = w_{F1} / R_{\max} = \boxed{} \text{ N/m}^2$$

以上より、対象 F1 竜巻荷重（短期）に対して、前室の壁は健全である。

スラブへの飛来物衝撃評価

F3 竜巻による飛来物がシリンダ洗浄棟に衝突した場合の評価を以下に示す。評価対象となる飛来物は 4. 3. 項に示す通りプレハブ物置 (大) である。F3 竜巻で、プレハブ物置 (大) が飛散した際の壁スラブの貫通限界厚さの計算を添説建 3ー II. 付 6ー1 表に、屋根スラブの貫通限界厚さの計算を添説建 3ー II. 付 6ー2 表に、評価結果を添説建 3ー II. 付 6ー3 表に示す。

評価の結果、壁、屋根ともに貫通限界厚さに対し、スラブ厚さの方が厚いことから、飛来物の衝撃に対し、健全である。

添説建 3ー II. 付 6ー1 表 飛来物による RC 壁損傷評価 (水平)

	項目	単位	プレハブ物置 (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F _c	N/mm ²	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	α _c		
	飛来物低減係数	α _p		
	180/√F _c	K	√(mm/N)	
	貫入深さ	X _c	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	t _p	cm	

添説建 3-Ⅱ. 付 6-2 表 飛来物による RC 屋根損傷評価 (鉛直)

	項目	単位	プレハブ物置 (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{4A/\pi}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	Fc	N/mm ²	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	αc		
	飛来物低減係数	αp		
	$180/\sqrt{Fc}$	K	$\sqrt{\text{mm/N}}$	
	貫入深さ	Xc	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	tp	cm	

添説建 3-Ⅱ. 付 6-3 表 評価結果

位置	貫通限界厚さ (cm)	スラブ厚さ (cm)	評価
壁			○
屋根			○

※1 : 添説建 3-Ⅱ. 付 5-2 図 参照

※2 : 添説建 3-Ⅱ. 付 5-1 図 参照

Ⅲ. 原料貯蔵所 竜巻防護設計計算書

1. 原料貯蔵所の概要

1.1. 位置

原料貯蔵所の設置位置を図イ建-1-1「敷地内建物配置図」に示す。
設置場所は敷地内中央の南側に位置し、最も近い民家や公道から約 210m 以上離れている。

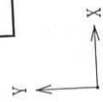
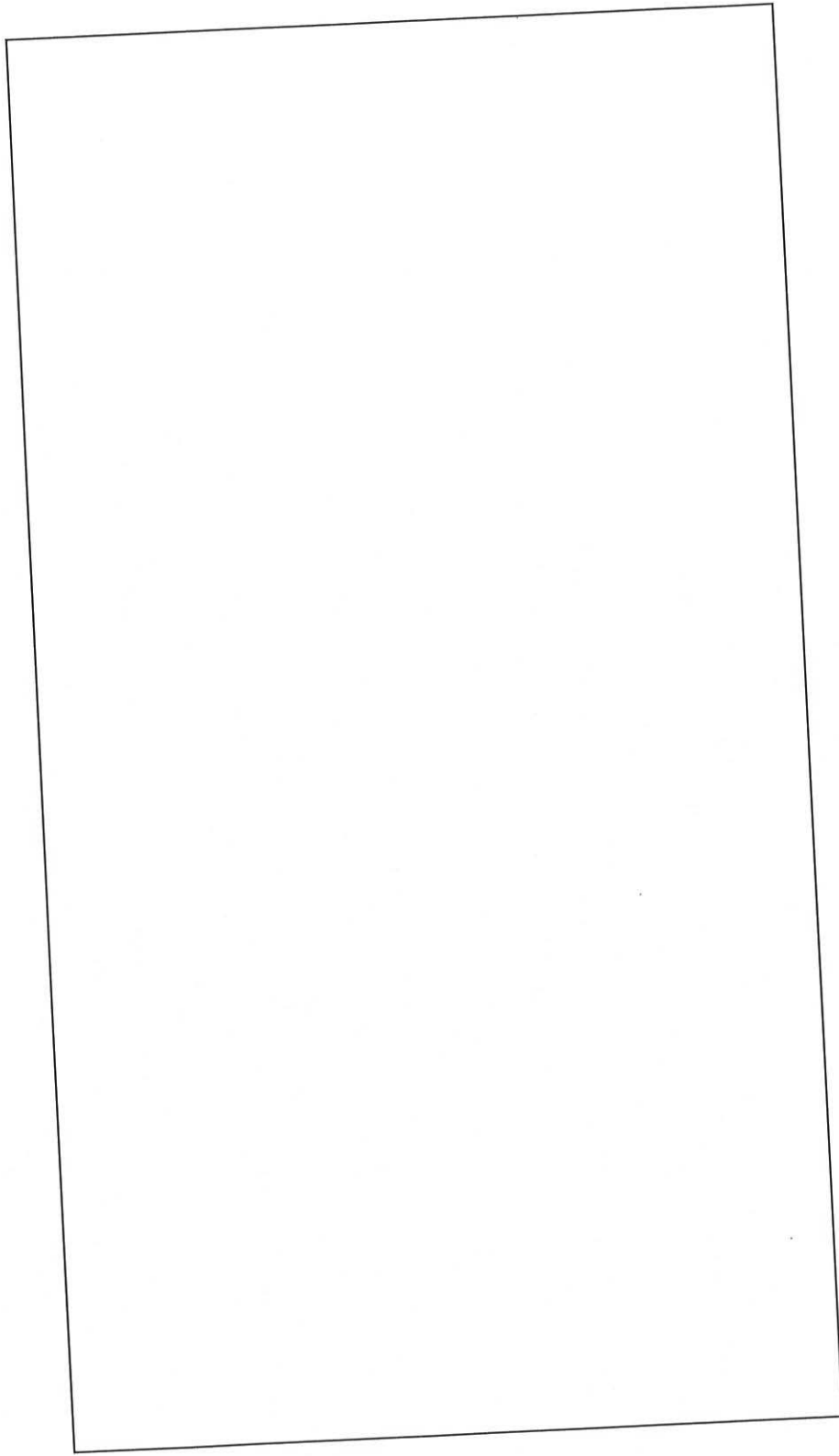
1.2. 建物の概要

原料貯蔵所は 2 層構造平屋建ての鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC 造)、一部鉄骨造 (S 造) であり、平面形状は、約 57.6m×19.5m、高さ約 9.75m の整形な建物である。

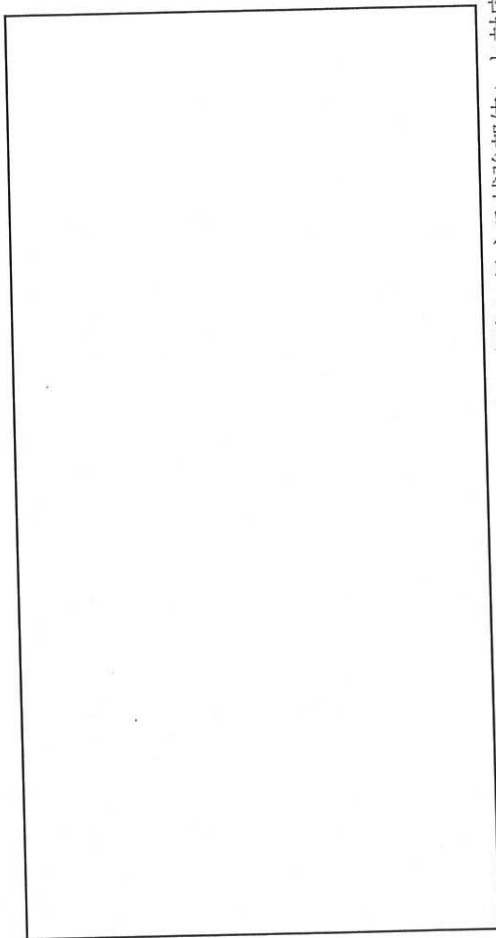
開口部としては鉄扉、シャッターを設置している。

本建物の屋根伏図、立面図、断面図を添説建 3-Ⅲ. 1.2-1 図～添説建 3-Ⅲ. 1.2-3 図に示す。

注) 添付説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。

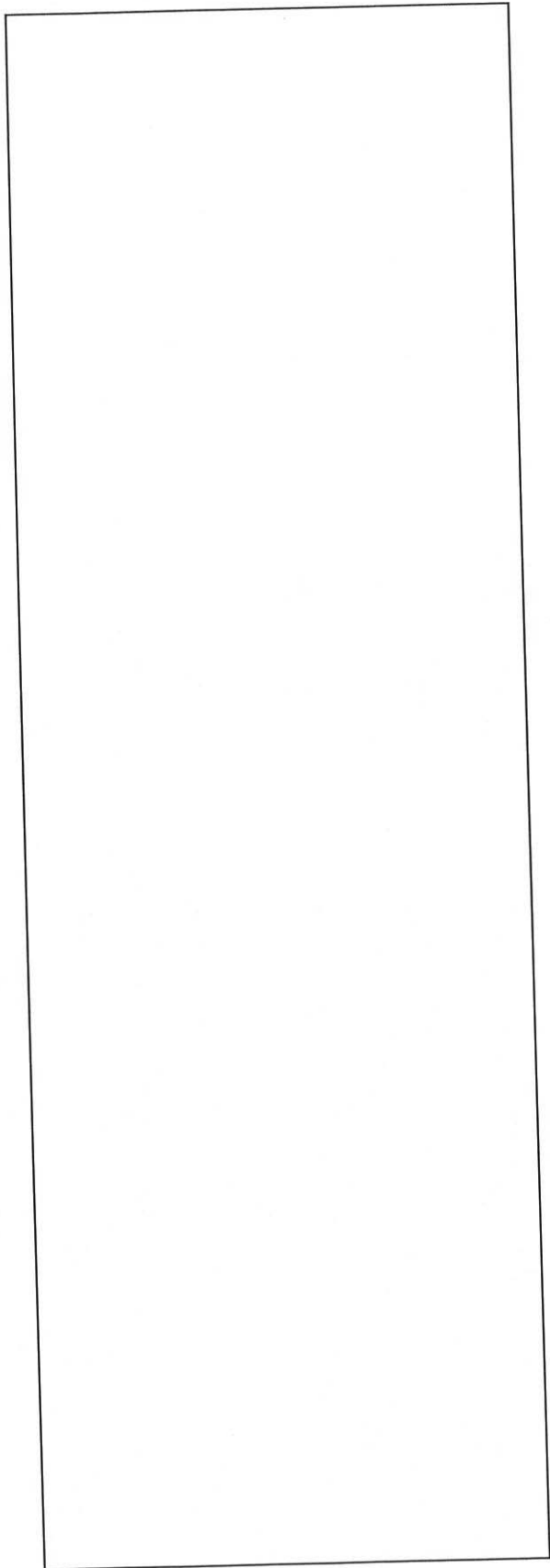


注) 図に示す※の番号は「添説建3-Ⅲ.1.4-1表 竜巻に対する補強部位」と対応する。
添説建3-Ⅲ.1.2-1図 屋根伏図



注) 図に示す※の番号は「添説建 3-Ⅲ. 1. 4-1 表 竜巻に対する補強部位」と対応する。

添説建 3-Ⅲ. 1. 2-2 図 立面図



添説建 3-Ⅲ. 1. 2-3 図 断面図

1.3. 設計方針

竜巻防護設計の方針に従い、竜巻は風速を藤田スケール F1 の最大風速 49m/s とし、構造強度評価「建物に作用する竜巻荷重と保有水平耐力との比較」、局部評価「屋根、壁、鉄扉等に作用する荷重と強度との比較」を実施する。なお、敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

また、更なる安全裕度の向上策の確認として、F3 の最大風速 92m/s で同様の評価を実施する。建物、構築物の竜巻防護設計フローの概要を添説建 3-III. 1.3-1 図に示す。

1.4. 補強内容

本建物における竜巻に対する補強部位を添説建 3-III. 1.4-1 表に示す。

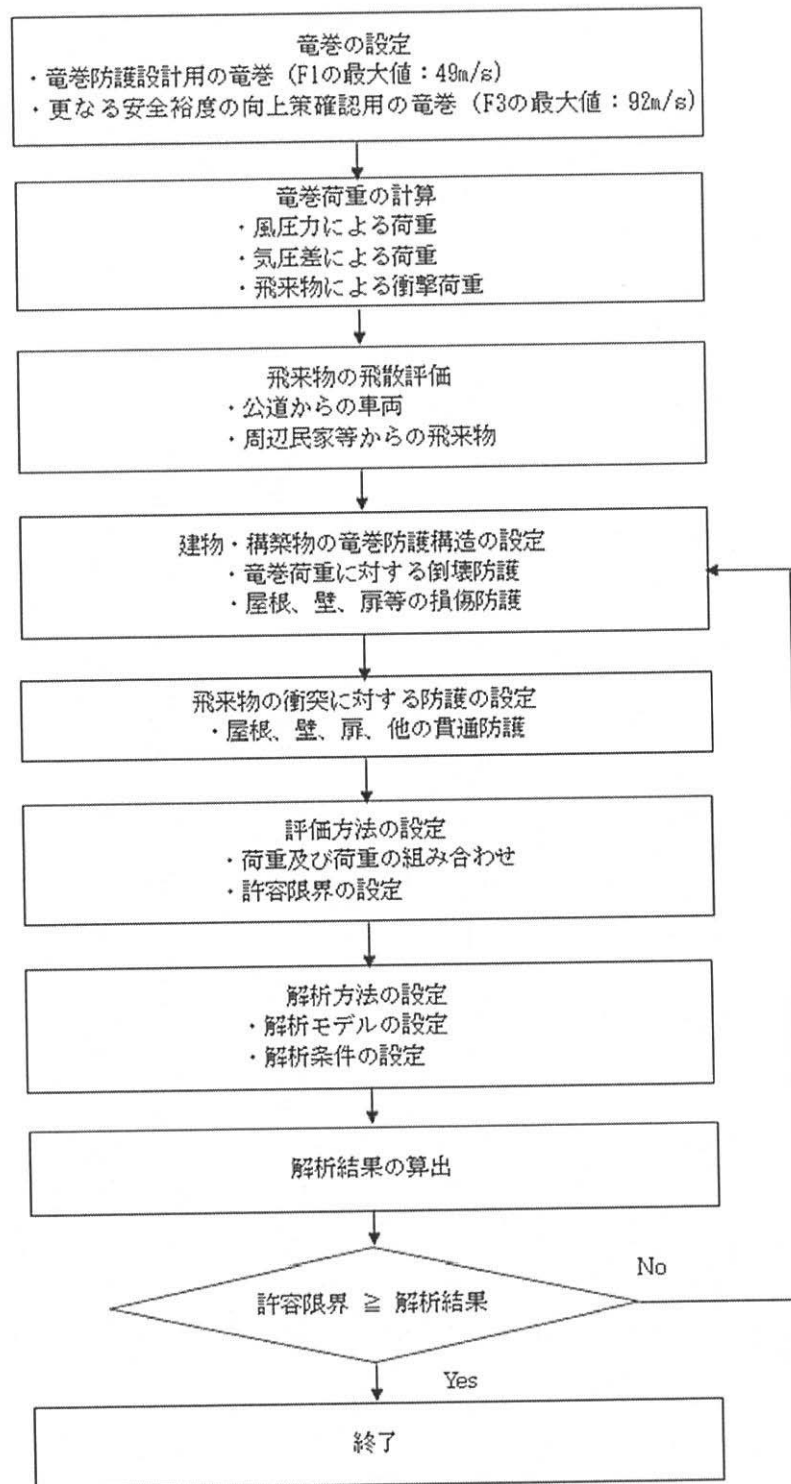
添説建 3-III. 1.4-1 表 竜巻に対する補強部位

項目		F1 竜巻	F3 竜巻
保有水平耐力評価		—	—
局部 評価	屋根	—	—
	壁	—	—
	鉄扉 ※1	○	○
	シャッター ※2	○	○

○：補強あり —：補強なし

※1：既設鉄扉の補強

※2：既設シャッターを撤去し、鉄扉を新設



添説建 3-III. 1. 3-1 図 建物・構築物の竜巻防護設計フロー概要

2. 竜巻荷重の計算

2.1. 建物の構造強度評価に用いる竜巻荷重の計算

構造強度評価は、「建物の保有水平耐力と同建物に作用する気圧差による荷重」と「気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重」との比較で行う。この評価により、原料貯蔵所が竜巻により倒壊することが無いことを確認する。

(1) 竜巻荷重の計算

気圧差による荷重 W_{T1} 、気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重 W_{T2} は以下の式で計算し、荷重の大きい方を採用する。また、F3 竜巻荷重についても同様に計算する。

$$W_{T1} = w_p \times A_L$$

$$W_{T2} = (C_{WU} \times q \times A_U - C_{WL} \times q \times A_L) + 1 / 2 \times w_p \times A_L$$

ここで

A_U : 風上側面積

A_L : 風下側面積

w_p : 竜巻による気圧差による荷重

C_{WU} : 風上側風力係数

C_{WL} : 風下側風力係数

q : 設計用速度圧

速度圧、気圧差による荷重の計算式と各パラメータを下記に示す。

$$q = 1 / 2 \times \rho \times V_D^2$$

$$w_p = \rho \times V_m^2$$

ここで

ρ : 空気密度 = 1.22 kg/m³

V_D : F1 竜巻最大風速 = 49 m/s、F3 竜巻最大風速 = 92 m/s

V_m : F1 竜巻の最大接線風速 = 42 m/s、F3 竜巻の最大接線風速 = 78 m/s

(2) 風力係数

壁等の風力係数を添説建 3-III. 2. 1-1 表に示す。風下側の風力係数 C_{WL} は、風向方向の建物寸法 D と風向に直交する方向の建物寸法 B の比で整理されるが、保守的に絶対値が大きい -0.5 を用いて評価する。

添説建 3-III. 2. 1-1 表 壁等の風力係数 C_w (正が圧縮、負が引張)

		風力係数
風上側 C_{WU}		0.80
風下側 C_{WL}	D/B 比 ≤ 1	-0.50
	D/B 比 > 1	-0.35

D : 風向方向の建物寸法

B : 風向に直交する方向の建物寸法

2.2. 局部評価に用いる竜巻荷重の計算

(1) 荷重計算方法

荷重計算方法を以下に示す。局部評価用の F1 竜巻荷重は、壁、鉄扉については w_{T1} と w_{T2_w} の大きい方、屋根については w_{T1} と w_{T2_r} の大きい方とする。

1) 壁、鉄扉

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2_w} = \begin{cases} C_{WU} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{WU} + C_{WL}) \times q \geq -w_p \text{ の場合} \\ C_{WL} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{WU} + C_{WL}) \times q < -w_p \text{ の場合} \end{cases}$$

2) 屋根

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2_r} = C_R \times q + 1 / 2 \times w_p$$

(2) 風力係数

壁、鉄扉の風力係数は添説建 3-III. 2. 1-1 表に示す通りである。なお、風下側は、保守的に絶対値が大きい-0.5 を用いて評価する。

屋根の風力係数を添説建 3-III. 2. 2-1 表に示す。屋根に作用する荷重は、風上側の屋根端部からの距離 R_b で整理されるが、保守的に絶対値が大きい-1.2 を用いて評価する。

添説建 3-III. 2. 2-1 表 屋根の風力係数 C_R (屋根健全時 正が圧縮、負が引張)

	風力係数
$R_b \leq 0.50B$	-1.20
$0.50B < R_b \leq 1.50B$	-0.60
$R_b > 1.50B$	-0.20

R_b : 風上側の屋根端部からの距離

B : 風向に直交する方向の建物寸法

3. 建物健全性の評価結果

3.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建 2 III. 原料貯蔵所 耐震計算書」の X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3ーIII. 3.1ー1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻荷重に対して建物は健全である。

添説建 3ーIII. 3.1ー1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力 (kN)	F1 竜巻荷重 (kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書ー建 3ーIII付録 2 参照

3.2. 屋根、壁、鉄扉の局部評価

短期許容荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3ーIII. 3.2ー1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻荷重に対して健全である。

添説建 3ーIII. 3.2ー1 表 局部評価

	単位面積当りの 短期許容荷重 (Pa)	単位面積当りの F1 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
屋根 (RC 屋根)				○
壁 (RC 壁)				○
鉄扉				○

※1：添付説明書ー建 3ーIII付録 5 参照

(ただし、屋根については、F1 竜巻荷重が屋根固定荷重 (5340 N/m²) 以下であり、浮き上がり力は生じないことから検討を省略する)

※2：添付説明書ー建 3ーIX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書ー建 3ーIII付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F1 竜巻荷重に対する短期許容荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F1 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、短期許容荷重は載荷されている F1 竜巻荷重を検定比で割り戻す (短期許容荷重=F1 竜巻荷重/検定比) ことで算出した。

3.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いて飛来物の飛散評価を行う。TONBOS で解析する際の竜巻風速場にはフジタモデル (DBT-77 モデル) を適用する。F1 竜巻での評価結果を添説建 3-III. 3.3-1 表に示す。

評価の結果、最大飛散距離はプレハブ物置 (大) が□m であるが、最も近い民家や公道から原料貯蔵所までは 210m 以上離れており、同建物まで到達する飛来物は無いことから、建物の壁、屋根の衝撃評価は不要である。

添説建 3-III. 3.3-1 表 F1 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F1)

最大風速	49 (m/s)
最大接線風速	42 (m/s)
移動速度	7 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材												
鋼製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

4. 更なる安全裕度の向上策の確認

4.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書一建 2 III. 原料貯蔵所 耐震計算書」の X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3-III. 4.1-1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻荷重に対して建物は健全である。

添説建 3-III. 4.1-1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力(kN)	F3 竜巻荷重(kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書一建 3-III 付録 3 参照

4.2. 屋根、壁、鉄扉の局部評価

終局耐力荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3-III. 4.2-1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻荷重に対して、部分的に塑性変形が発生する可能性はあるが、終局耐力内であり、健全である。

添説建 3-III. 4.2-1 表 局部評価

	単位面積当りの 終局耐力荷重 (Pa)	単位面積当りの F3 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
屋根 (RC 屋根)				○
壁 (RC 壁)				○
鉄扉				○

※1：添付説明書一建 3-III 付録 5 参照（屋根については固定荷重を考慮した値）

※2：添付説明書一建 3-IX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書一建 3-III 付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F3 竜巻荷重に対する終局耐力荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F3 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、終局耐力荷重は載荷されている F3 竜巻荷重を検定比で割り戻す（終局耐力荷重=F3 竜巻荷重/検定比）ことで算出した。

4.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

F1 竜巻と同様に F3 竜巻での飛来物評価を実施する。F3 竜巻での評価結果を添説建 3-III. 4.3-1 表に示す。

敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

評価対象とする飛来物は、敷地境界の公道を走行中の車両は防護フェンスで防護することから対象外とし、飛散距離約 210m 以上のプレハブ物置（大）とする。

評価の結果、壁※1、屋根※1、鉄扉※2は飛来物の衝撃に対し、健全である。なお、北側にはプレキャストコンクリートパネルが設置されているが、北側は公道からの飛来物の影響を受けないため、検討対象外とする。

※1：添付説明書-建 3-III付録 6 参照

※2：添付説明書-建 3-IX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

添説建 3-III. 4.3-1 表 F3 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F3)

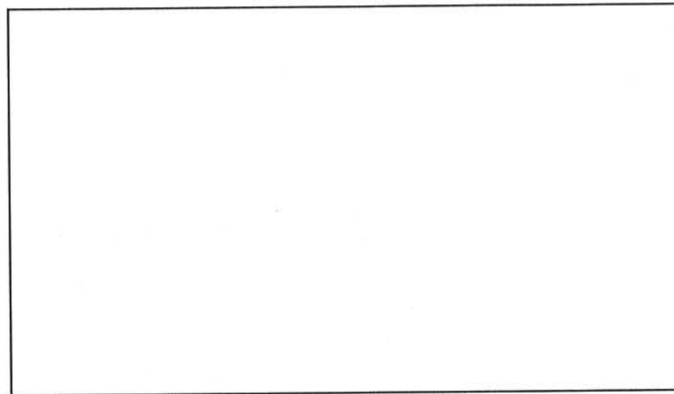
最大風速	92 (m/s)
最大接線風速	78 (m/s)
移動速度	14 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材												
鋼製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

見付面積の算出方法について

見付面積 (A_p, A_{2F}, A_{1F}) の算出にあたり、高さ方向の寸法はパラペットなどの上端部から一律 200mm を加算して裕度を確保する。また、X 方向、Y 方向の寸法は、通り芯から両側に一律 1500mm を加算して裕度を確保する。

X 方向（東西方向）の見付面積



添説建 3—Ⅲ. 付 1—1 図 X 方向見付面積

a = 壁幅 + 両側幅裕度 = m

b = パラペット高さ + 高さ裕度 = m

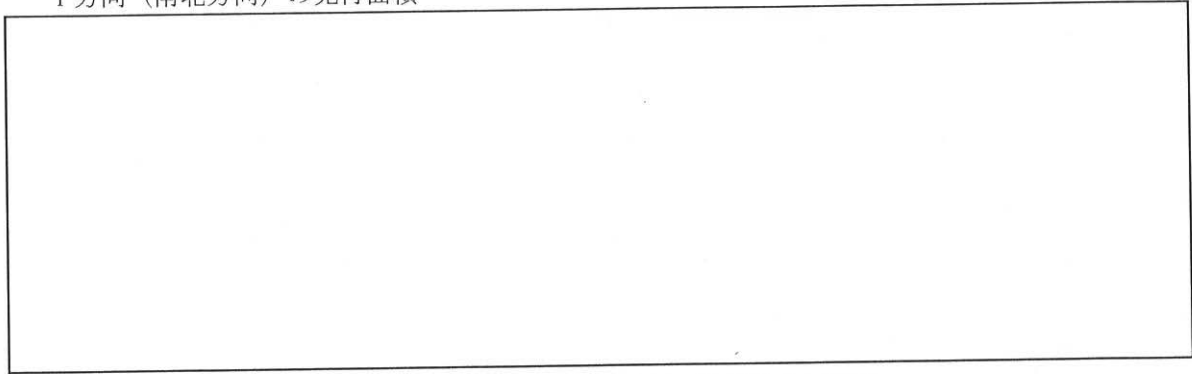
c = 2 階壁高さ / m

d = 2 階壁高さ / 2 + (1 階壁高さ + 200) / 2 = m

各階見付面積

2 階： パラペット	$A_p = a \times b =$	<input type="text"/>	m^2
壁	$A_{2F} = a \times c =$	<input type="text"/>	m^2
1 階： 壁	$A_{1F} = a \times d =$	<input type="text"/>	m^2

Y方向（南北方向）の見付面積



添説建3-III. 付1-2図 Y方向見付面積

a = 壁幅 + 両側幅裕度 = m

b = パラペット高さ + 高さ裕度 = m

c = 2階壁高さ / 2 = m

d = 2階壁高さ / 2 + (1階壁高さ + 200) / 2 = m

各階見付面積

2階： パラペット $A_p = a \times b =$ m^2

壁 $A_{2F} = a \times c =$ m^2

1階： 壁 $A_{1F} = a \times d =$ m^2

「添説建 3-III. 3.1-1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-III. 付 2-1 表 X 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	パラペット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3-III. 付 2-2 表 Y 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	パラペット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-III 付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値

原料貯蔵所の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とした。

「I. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重： $\Delta P = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重： $q = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用

「添説建 3-III. 4. 1-1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-III. 付 3-1 表 X 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	パラペット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3-III. 付 3-2 表 Y 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	パラペット								
	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-III 付録 1 による。

※2：風上 0.8 と風下 0.5 の合計値

原料貯蔵所の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とした。

「I. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重 : $\Delta P = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重 : $q = \square$ (Pa) \rightarrow \square (Pa) として計算に使用

1. 「添説建 3—Ⅲ. 3. 2—1 表 局部評価」の F1 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3—Ⅲ. 付 4—1 表 F1 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	49
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	42
速度圧	q	(Pa)	1465
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-2152

添説建 3—Ⅲ. 付 4—2 表 F1 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-2152
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	※
	W_{T2}	(Pa)	— -1808
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-2152
	W_{T2}	(Pa)	※

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負
 ・※印の値が評価で使用した荷重

2. 「添説建 3—Ⅲ. 4. 2—1 表 局部評価」の F3 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3—Ⅲ. 付 4—3 表 F3 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	92
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	78
速度圧	q	(Pa)	5163
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-7422

添説建 3—Ⅲ. 付 4—4 表 F3 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-7422
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	※
	W_{T2}	(Pa)	— -6293
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-7422
	W_{T2}	(Pa)	※

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負
 ・※印の値が評価で使用した荷重

竜巻に対する局所評価用の竜巻許容荷重の計算に関する説明書

建物の損傷防護の観点から、局部評価として建物の屋根、壁とそれらを支持する構造二次部材について評価を行う。

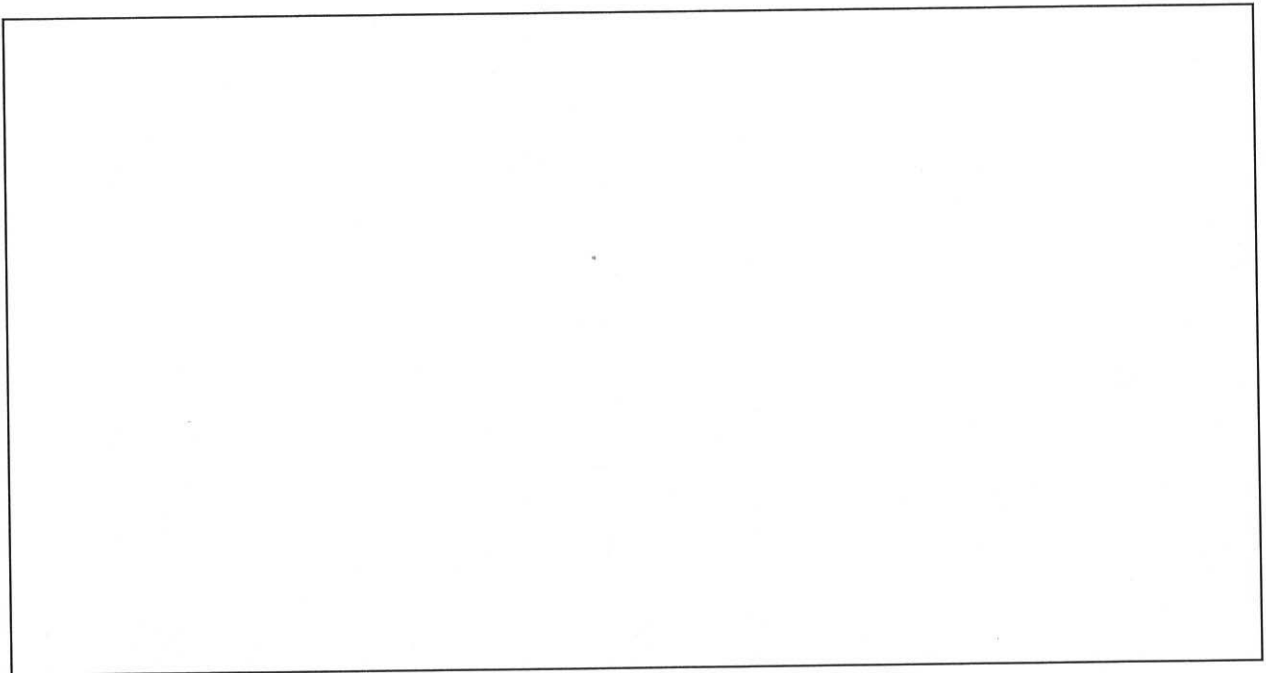
1. 屋根、壁の評価位置と評価モデルについて

原料貯蔵所の屋根、壁は鉄筋コンクリート造であり、それぞれ代表する屋根スラブ、壁スラブ、プレキャストコンクリートパネル（以下「PC板壁」と略記）、鉄骨小梁を検討対象とする。

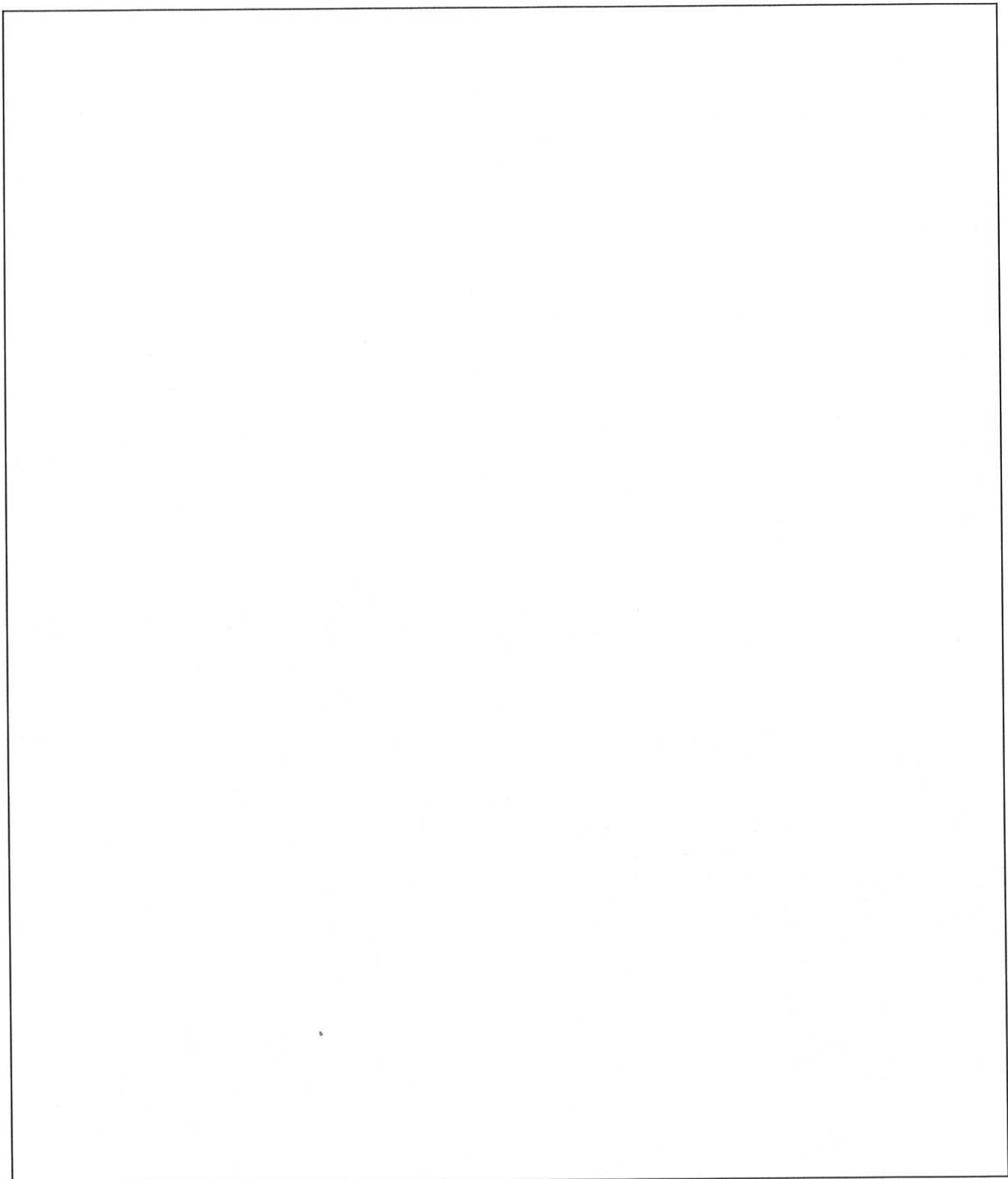
検討対象を添説建 3—Ⅲ. 付 5—1 図～添説建 3—Ⅲ. 付 5—2 図に示す。

スラブは保守的に考えて、内法寸法に対して両側+100mm の裕度を確保して評価する。ただし、鉄骨で支持されたスラブは、鉄骨の梁芯間寸法で評価する。

評価位置の選定にあたっては、屋根、壁毎に、それらを構成する各種部材に対して断面形式、サイズ、支持スパン長等を考慮して代表部材を抽出し、それら代表部材のうち最も厳しい評価結果となった部材箇所を「評価位置」として設定した。



添説建 3—Ⅲ. 付 5—1 図 屋根検討対象



添説建 3-III. 付 5-2 図 壁検討対象

2. 竜巻許容荷重の考え方

2.1. RC 屋根

屋根スラブは F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期許容曲げモーメント以下、F3 竜巻時は終局曲げ耐力以下であることを確認する。また、鉄骨小梁は F3 竜巻時に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。確認にあたり、屋根スラブは日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC 規準」と略記）に基づき評価する。鉄骨小梁は日本建築学会「鋼構造設計規準 —許容応力度設計法—」（以下「S 規準」と略記）に基づき評価する。

2.2. RC 壁

壁スラブ、PC板壁はF1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期許容曲げモーメント以下、F3 竜巻時は終局曲げ耐力以下であることを確認する。確認にあたり、壁スラブ、PC板壁は「RC 規準」に基づき評価する。

以上の評価により安全機能を損なわないことを確認する。

3. 竜巻許容荷重の算出

3.1. 荷重

(1) 屋根固定荷重

屋根に作用する竜巻荷重は負圧で評価するため、屋根の固定荷重の値は切り捨てとする。

屋根スラブは V 型デッキプレートを使用しているが、保守的に考えて突起部を無視したスラブ厚とする。

屋根スラブ (S1)

単位体積重量 γ_{RC} (N/m³)

:

厚さ t (m)

:

単位面積重量 w_{RC1} (N/m²)

: $\gamma_{RC} \times t =$

デッキプレート、仕上げ荷重 w_{RC2} (N/m²)

:

検討用固定荷重 w_{RC} (N/m²)

: $w_{RC1} + w_{RC2} =$

鉄骨小梁 (B2)

使用部材

部材単位長さ重量 M_{B2} (kg/m)

: (JIS G3192)

重力加速度 g (m/s²)

:

検討用固定荷重 w_{B2} (N/m)

: $M_{B2} \times g =$

(2) 竜巻荷重

添説建 3-III. 付 5-1 表に示す。

添説建 3-III. 付 5-1 表 竜巻荷重 (添付説明書-建 3-III 付録 4 より)

竜巻荷重	屋根	壁
F1 竜巻荷重(短期) w_{F1} (N/m ²)		
F3 竜巻荷重(終局) w_{F3} (N/m ²)		

3. 2. 使用材料と許容値

(1) コンクリート

設計基準強度 $F_c = 23.5 \text{ N/mm}^2$

(2) 鉄筋

使用材料 : 建設時設計図書より
JIS G3112 - 1987 での読み替えに従って として取り扱う。

短期許容引張応力度 : $f_t = \text{} \text{ N/mm}^2$

降伏応力度 : $\sigma_y = 1.1 \times f_t = \text{} \text{ N/mm}^2$

(3) 鉄骨

使用材料 : 建設時設計図書より
JIS G3101 - 1995 での読み替えに従って として取り扱う。

基準強度 : $F = \text{} \text{ N/mm}^2$

(4) 鉄骨接合部

使用材料 : 高力ボルト
許容せん断力 : 一面摩擦時 kN/本 (長期)、 kN/本 (短期) (S 規準より)

3. 3. 屋根の検討

添説建 3-III. 付 5-2 表に竜巻荷重と屋根固定荷重の比較を示す。F1 竜巻荷重は屋根固定荷重以下であり、浮き上がり力は生じないため検討を省略する。F3 竜巻荷重は屋根固定荷重を上回り、浮き上がり力が生じるため、屋根スラブ、それを受ける鉄骨小梁について検討する。

添説建 3-III. 付 5-2 表 竜巻荷重と固定荷重の比較

F1 竜巻荷重 (N/m ²)	<	屋根固定荷重 (N/m ²)	<	F3 竜巻荷重 (N/m ²)

(1) 屋根スラブ (S1)

1) 計算諸条件

長辺スパン長 L (m) :
 短辺スパン長 B (m) :
 単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²) :
 屋根スラブ諸元
 厚さ t (mm) :
 単位面積当り固定荷重 w_{RC} (N/m²) :
 配筋
 上端筋 主筋 :
 配力筋 :
 下端筋 主筋 :
 配力筋 :
 1 本当り断面積 (mm²) :
 (mm²) :
 鉄筋 ()
 短期許容引張応力度 f_t (N/mm²) :
 降伏応力度 σ_y (N/mm²) :
 支持条件 : 4 辺固定
 着目方向 : 短辺方向
 単位面積当り荷重 w (kN/m²) : $w_{F3} - w_{RC} =$ N/m² \rightarrow kN/m²

2) 短辺方向での検討結果

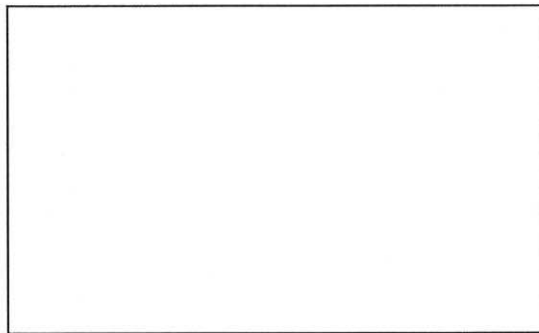
屋根スラブの端部では下端側、中央部では上端側に引張が発生する。引張が発生する側の配筋は端部と中央部で同じであるため、曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

この位置での計算条件は以下の通り。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t - d_t =$

引張鉄筋断面積 (スラブ 1m 幅当り) a_t (mm²/m) : $1000 / 200 \times (A_{D10} + A_{D13}) / 2$
 $=$
 $=$



屋根スラブ断面 (端部)

最大曲げモーメント M (スラブ 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{L^4 / (B^4 + L^4)\} \times w \times B^2$$

$$=$$
 kN・m/m

終局曲げ耐力 M_u (スラブ 1m 幅当り) は、RC 規準 (解 8.21) 式より

$$M_u = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d =$$
 N・mm/m \rightarrow kN・m/m

最大曲げモーメント M と終局曲げ耐力 M_u の検定比

$$R_1 = M / M_u =$$
 OK

(2) 鉄骨小梁 (B2)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m)

圧縮フランジの支点間距離 L_b (m)

屋根スラブ単位面積当り固定荷重 w_{RC} (N/m²)

単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²)

鉄骨小梁諸元

使用部材

高さ h (mm)

幅 b (mm)

フランジ厚さ t_f (mm)

圧縮フランジ断面積 A_f (mm²)

断面係数 (強軸) Z_x (cm³)

横座屈断面二次半径 i (cm)

単位長さ当り固定荷重 w_{B2} (N/m)

鉄骨小梁の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 B_b (m)

屋根固定荷重 w_{RC} (N/m)

竜巻荷重 w_{F3} (N/m)

鉄骨小梁分担荷重 W (N/m)

高力ボルト

一面摩擦許容せん断力 (短期) Q_a (kN/本)

ボルト本数 n_b (本)

:

:

:

:

:

:

:

: $b \times t_f =$

:

:

:

:

: $w_{RC} \times B_b =$

: $w_{F3} \times B_b =$

: $w_{F3} - w_{RC} - w_{B2} =$

:

:

3.4. 壁の検討

(1) 壁スラブ (W22)

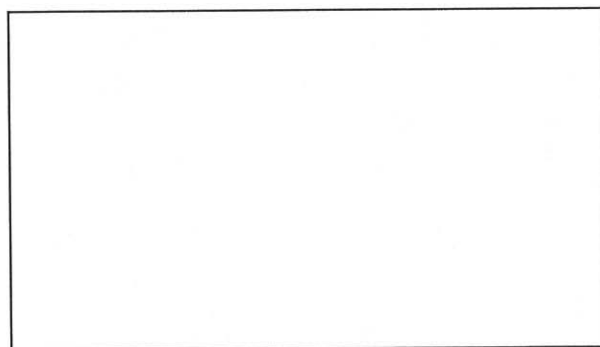
1) 寸法諸元、パネル支持条件

水平スパン長 (パネル長) L(m)	:	<input type="text"/>
鉛直スパン長 (パネル幅) B(m)	:	<input type="text"/>
単位面積当り F1 竜巻荷重 w_{F1} (N/m ²)	:	<input type="text"/>
単位面積当り F3 竜巻荷重 w_{F3} (N/m ²)	:	<input type="text"/>
壁スラブ諸元		
厚さ t_w (mm)	:	<input type="text"/>
配筋		
縦筋	:	<input type="text"/> (ダブル)
横筋	:	<input type="text"/> (ダブル)
1 本当り断面積 <input type="text"/> (mm ²)	:	<input type="text"/>
<input type="text"/> (mm ²)	:	<input type="text"/>
鉄筋 <input type="text"/>		
短期許容引張応力度 f_t (N/mm ²)	:	<input type="text"/>
降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	:	<input type="text"/>
支持条件	:	4 辺固定

2) 検討結果

曲げモーメントが最大となる端部にて検討を行う。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm)	:	<input type="text"/>
有効せい d (mm)	:	$t_w - d_t =$ <input type="text"/>
応力中心距離 j (mm)	:	$(7 / 8) \times d =$ <input type="text"/>
引張鉄筋断面積 (1m 幅当り) a_t (mm ² /m)	:	$1000 / 200 \times (A_{D10} + A_{D13}) / 2$
	=	<input type="text"/>
	=	<input type="text"/>



壁スラブ水平断面

a)F1 竜巻

最大曲げモーメント M (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{ L^4 / (B^4 + L^4) \} \times w_{F1} \times B^2$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

短期許容曲げモーメント M_a (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (13.1) 式より

$$M_a = a_t \times f_t \times j = \boxed{\hspace{10em}} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

最大曲げモーメント M と短期許容曲げモーメント M_a の検定比

$$R_{a1} = M / M_a = \boxed{\hspace{5em}} < 1.0 \quad \text{OK}$$

b)F3 竜巻

最大曲げモーメント M (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 12 \times \{ L^4 / (B^4 + L^4) \} \times w_{F3} \times B^2$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

終局曲げ耐力 M_u (壁 1m 幅当り) は、RC 規準 (解 8.21) 式より

$$M_u = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d = \boxed{\hspace{10em}} \text{ N} \cdot \text{mm/m} \rightarrow \boxed{\hspace{5em}} \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

最大曲げモーメント M と終局曲げ耐力 M_u の検定比

$$R_{u1} = M / M_u = \boxed{\hspace{5em}} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(2) PC 板壁

1) 寸法諸元、パネル支持条件

鉛直スパン長 (パネル長) L(m)	:	<input type="text"/>
水平スパン長 (パネル幅) B(m)	:	<input type="text"/>
単位面積当り F1 竜巻荷重 w_{F1} (N/m ²)	:	<input type="text"/>
単位面積当り F3 竜巻荷重 w_{F3} (N/m ²)	:	<input type="text"/>
PC 板壁諸元		
厚さ t_w (mm)	:	<input type="text"/>
配筋		
縦筋	:	<input type="text"/> (ダブル)
横筋	:	<input type="text"/> (ダブル)
1 本当り断面積 <input type="text"/> (mm ²)	:	<input type="text"/>
鉄筋 (<input type="text"/>)		
短期許容引張応力度 f_t (N/mm ²)	:	<input type="text"/>
降伏応力度 σ_y (N/mm ²)	:	<input type="text"/>
支持条件	:	両端単純支持

2) 検討結果

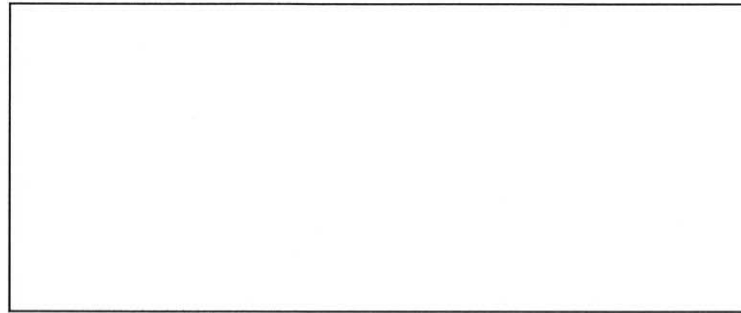
曲げモーメントが最大となる中央部にて検討を行う。

引張側表面より引張側鉄筋中心までの距離 d_t (mm) :

有効せい d (mm) : $t_w - d_t =$

応力中心距離 j (mm) :

引張鉄筋断面積 (1 パネル幅当り) a_t (mm²) : $6 \times A_{D13} =$



PC 板壁水平断面

a) F1 竜巻

PC 板壁に作用する単位長さ当り竜巻荷重

$$W_{F1} = w_{F1} \times B = \text{} \text{ N/m} \rightarrow \text{} \text{ kN/m}$$

最大曲げモーメント M (壁 1 パネル幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 8 \times W_{F1} \times L^2 = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

短期許容曲げモーメント M_a (壁 1 パネル幅当り) は、RC 規準 (13.1) 式より

$$M_a = a_t \times f_t \times j = \text{} \text{ N}\cdot\text{mm} \rightarrow \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

最大曲げモーメント M と短期許容曲げモーメント M_a の検定比

$$R_{a2} = M / M_a = \text{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

b) F3 竜巻

PC 板壁に作用する単位長さ当り竜巻荷重

$$W_{F3} = w_{F3} \times B = \text{} \text{ N/m} \rightarrow \text{} \text{ kN/m}$$

最大曲げモーメント M (壁 1 パネル幅当り) は、RC 規準 (10.1) 式より

$$M = 1 / 8 \times W_{F3} \times L^2 = \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

終局曲げ耐力 M_u (壁 1 パネル幅当り) は、RC 規準 (解 8.21) 式より

$$M_u = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d = \text{} \text{ N}\cdot\text{mm} \rightarrow \text{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

最大曲げモーメント M と終局曲げ耐力 M_u の検定比

$$R_{u2} = M / M_u = \text{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(3) 壁の単位面積当りの短期許容荷重、終局耐力荷重

最大検定比 R_{\max}

$$\begin{aligned} \text{F1 竜巻荷重 } R_{\max 1} &= \max(R_{a1}, R_{a2}) = \max\{\quad\quad\quad\} = \quad\quad\quad \\ \text{F3 竜巻荷重 } R_{\max 3} &= \max(R_{u1}, R_{u2}) = \max\{\quad\quad\quad\} = \quad\quad\quad \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{短期許容荷重 } w_a &= w_{F1} / R_{\max 1} = \quad\quad\quad \text{N/m}^2 \\ \text{終局耐力荷重 } w_u &= w_{F3} / R_{\max 3} = \quad\quad\quad \text{N/m}^2 \end{aligned}$$

以上より、対象 F1 竜巻荷重（短期）、F3 竜巻荷重（終局）に対して、壁は健全である。

スラブへの飛来物衝撃評価

F3 竜巻による飛来物が原料貯蔵所に衝突した場合の評価を以下に示す。評価対象となる飛来物は 4.3. 項に示す通りプレハブ物置 (大) である。F3 竜巻で、プレハブ物置 (大) が飛散した際の壁スラブの貫通限界厚さの計算を添説建 3ーIII. 付 6ー1 表に、屋根スラブの貫通限界厚さの計算を添説建 3ーIII. 付 6ー2 表に、評価結果を添説建 3ーIII. 付 6ー3 表に示す。なお、原料貯蔵所に使用されているコンクリート強度は $F_c=23.5\text{N/mm}^2$ だが、保守的に $F_c=20.6\text{N/mm}^2$ として評価する。

評価の結果、壁、屋根ともに貫通限界厚さに対し、スラブ厚さの方が厚いことから、飛来物の衝撃に対し、健全である。

添説建 3ーIII. 付 6ー1 表 飛来物による RC 壁損傷評価 (水平)

	項目	単位	プレハブ物置 (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F_c	N/mm^2	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	α_c		
	飛来物低減係数	α_p		
	$180/\sqrt{F_c}$	K	$\sqrt{\text{mm/N}}$	
	貫入深さ	X_c	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	t_p	cm	

添説建 3-III. 付 6-2 表 飛来物による RC 屋根損傷評価 (鉛直)

	項目	単位	プレハブ物置 (大)	in、lb系換算値
飛来物諸元	飛来物重量	W	kgf	
	飛来物高さ	h	m	
	飛来物幅	w	m	
	飛来物面積	A	cm ²	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	cm	
	飛来物衝突速度	V	m/s	
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F _c	N/mm ²	
	先端形状係数	N		
	飛来物低減係数	α_c		
	飛来物低減係数	α_p		
	$180/\sqrt{F_c}$	K	$\sqrt{(mm/N)}$	
	貫入深さ	X _c	cm	
	コンクリート貫通限界厚さ	t _p	cm	

添説建 3-III. 付 6-3 表 評価結果

位置	貫通限界厚さ (cm)	スラブ厚さ (cm)	評価
壁			○
屋根			○

※1: 添説建 3-III. 付 5-2 図 参照

※2: 添説建 3-III. 付 5-1 図 参照

IV. 第 1 廃棄物処理所 竜巻防護設計計算書

1. 第 1 廃棄物処理所の概要

1. 1. 位置

第 1 廃棄物処理所の設置位置を図イ建-1-1「敷地内建物配置図」に示す。
設置場所は敷地内北東部に位置し、最も近い民家や公道から約 140m 以上離れている。

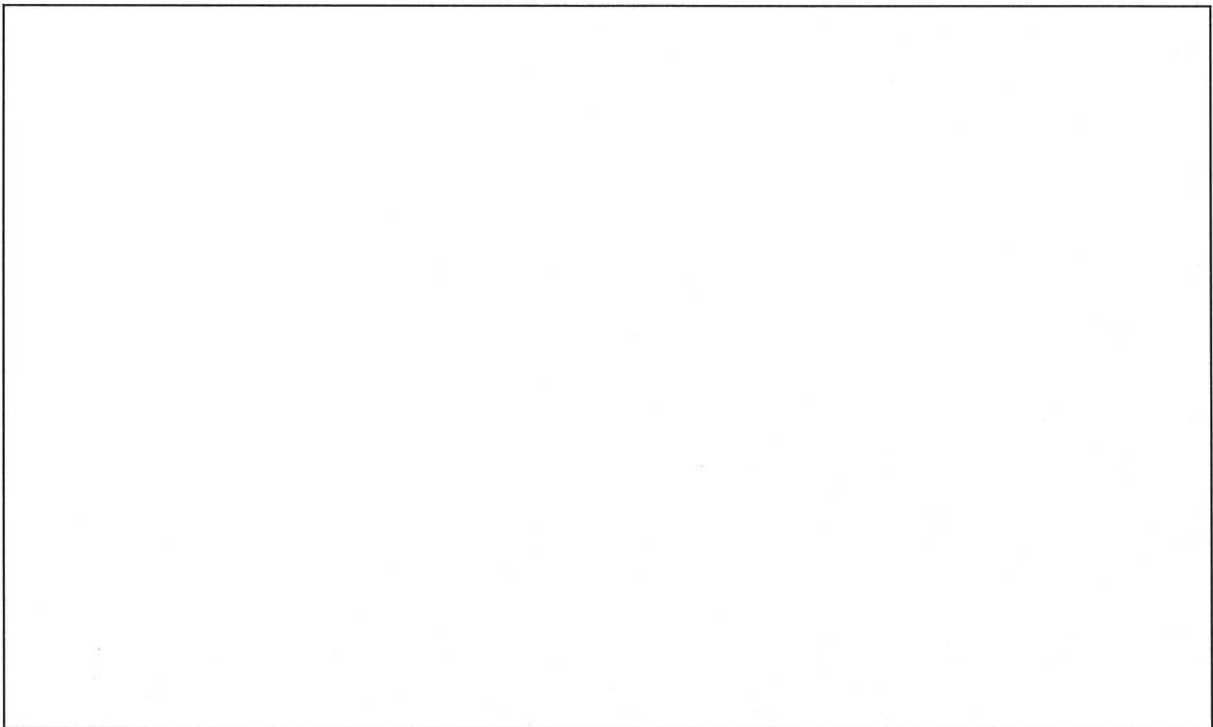
1. 2. 建物の概要

第 1 廃棄物処理所は地上 2 階建てで 2~8 通り間に大きな吹抜けを有する鉄骨造(S 造)であり、平面形状は、約 25.0m×12.6m、高さ約 9.15m の整形な建物である。

開口部としては、鉄扉を設置している。

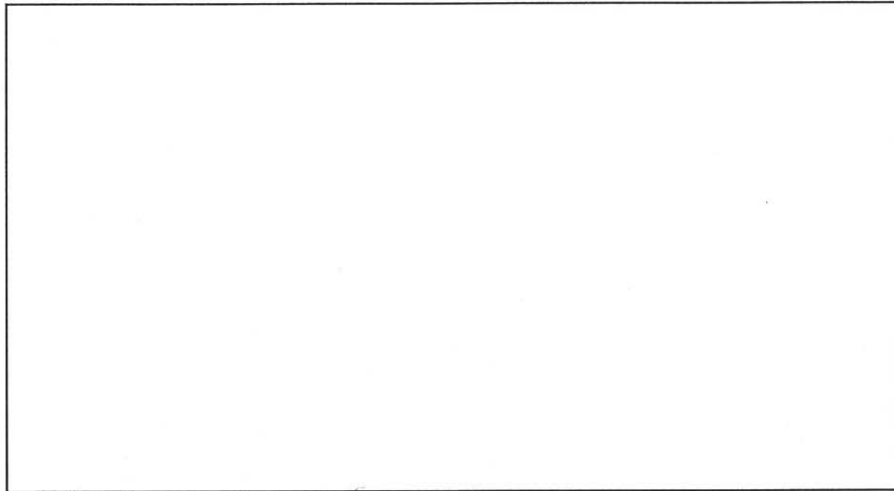
本建物の屋根伏図、立面図、断面図を添説建 3-IV. 1. 2-1 図~添説建 3-IV. 1. 2-3 図に示す。

注) 添付説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。

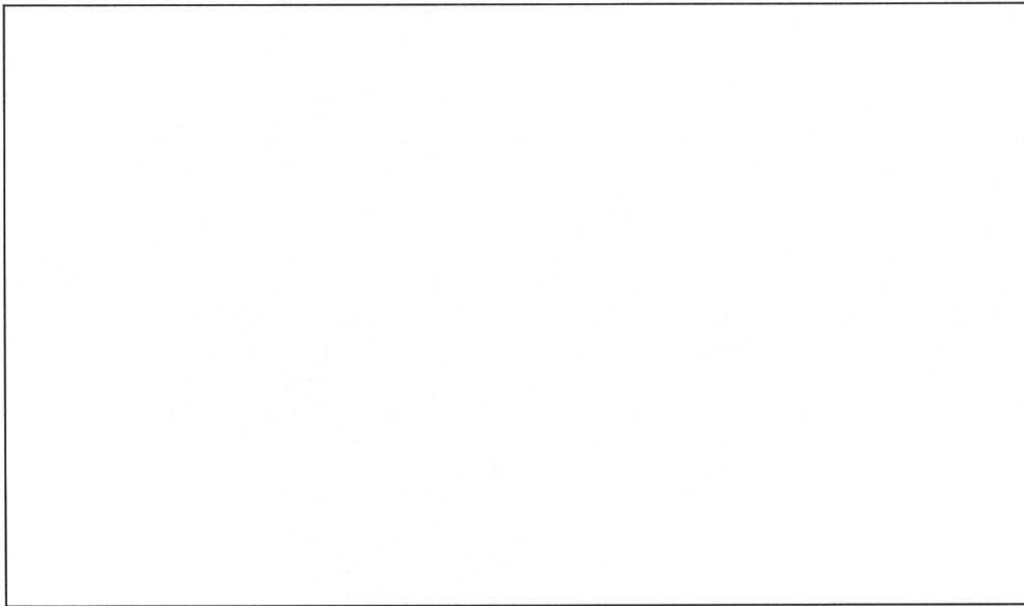


注) 図に示す※の番号は「添説建 3-IV. 1. 4-1 表 竜巻に対する補強部位」と対応する。

添説建 3-IV. 1. 2-1 図 屋根伏図



注) 図に示す※の番号は「添説建 3-IV. 1. 4-1 表 竜巻に対する補強部位」と対応する。
添説建 3-IV. 1. 2-2 図 立面図



注) 図に示す※の番号は「添説建 3-IV. 1. 4-1 表 竜巻に対する補強部位」と対応する。
添説建 3-IV. 1. 2-3 図 断面図

1.3. 設計方針

竜巻防護設計の方針に従い、竜巻は風速を藤田スケール F1 の最大風速 49m/s とし、構造強度評価「建物に作用する竜巻荷重と保有水平耐力との比較」、局部評価「屋根、壁、鉄扉等に作用する荷重と強度との比較」を実施する。なお、敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

また、更なる安全裕度の向上策の確認として、F3 の最大風速 92m/s で同様の評価を実施する。建物、構築物の竜巻防護設計フローの概要を添説建 3-IV. 1.3-1 図に示す。

1.4. 補強内容

本建物における竜巻に対する補強部位を添説建 3-IV. 1.4-1 表に示す。

添説建 3-IV. 1.4-1 表 竜巻に対する補強部位

項目		F1 竜巻	F3 竜巻
保有水平耐力評価		—	—
局部 評価	屋根	—	— 注1
	壁 ※1	○	○
	鉄扉 ※2	○	○
飛来物防護 ※3		— 注2	○ 注1

○：補強あり —：補強なし

※1：既設壁残置でサイディング壁の追設で補強

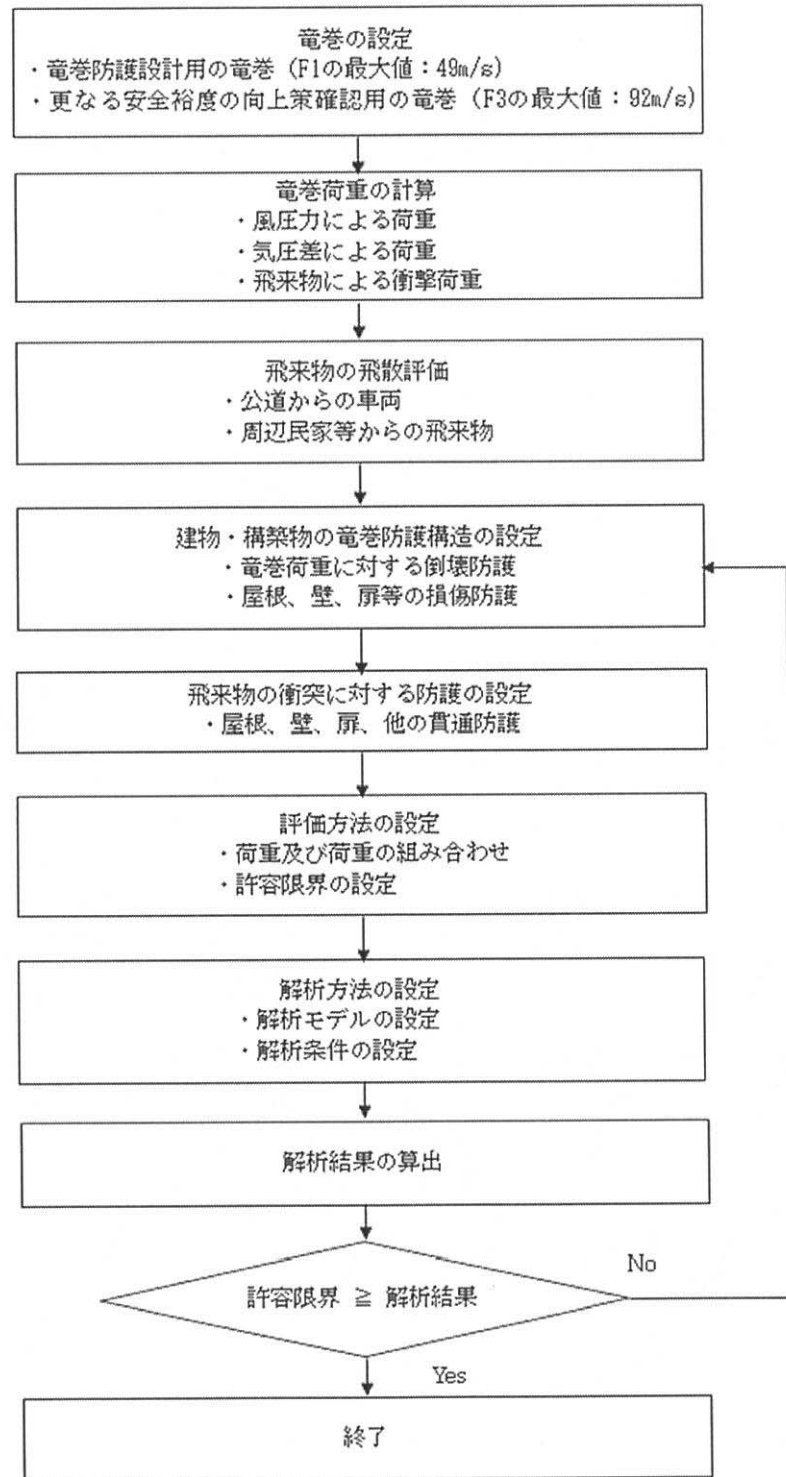
※2：既設鉄扉の補強

※3：飛散防止用防護ネットの設置

なお、竜巻防護ライン上のダクトは飛来物として影響を及ぼさないように固縛を実施する。

注1：F3 竜巻に耐えることができないため、屋根下に飛散防止用防護ネットを設置し、屋内の設備・機器の屋外への飛散防止及び飛来物防護を行う。

注2：F1 竜巻では、屋根が健全でありかつ当該建物に影響する飛来物はないことから、F1 竜巻での飛来物防護のための補強は無い。



添説建 3-IV. 1. 3-1 図 建物・構築物の竜巻防護設計フロー概要

2. 竜巻荷重の計算

2.1. 建物の構造強度評価に用いる竜巻荷重の計算

構造強度評価は、「建物の保有水平耐力と同建物に作用する気圧差による荷重」と「気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重」との比較で行う。この評価により、第1廃棄物処理所が竜巻により倒壊することが無いことを確認する。

(1) 竜巻荷重の計算

気圧差による荷重 W_{T1} 、気圧差による荷重と風圧力による荷重を組合わせた荷重 W_{T2} は以下の式で計算し、荷重の大きい方を採用する。また、F3 竜巻荷重についても同様に計算する。

$$W_{T1} = w_p \times A_L$$

$$W_{T2} = (C_{WU} \times q \times A_U - C_{WL} \times q \times A_L) + 1 / 2 \times w_p \times A_L$$

ここで

A_U : 風上側面積

A_L : 風下側面積

w_p : 竜巻による気圧差による荷重

C_{WU} : 風上側風力係数

C_{WL} : 風下側風力係数

q : 設計用速度圧

速度圧、気圧差による荷重の計算式と各パラメータを下記に示す。

$$q = 1 / 2 \times \rho \times V_D^2$$

$$w_p = \rho \times V_m^2$$

ここで

ρ : 空気密度 = 1.22 kg/m³

V_D : F1 竜巻最大風速 = 49 m/s、F3 竜巻最大風速 = 92 m/s

V_m : F1 竜巻の最大接線風速 = 42 m/s、F3 竜巻の最大接線風速 = 78 m/s

(2) 風力係数

壁等の風力係数を添説建 3-IV.2.1-1 表に示す。風下側の風力係数 C_{WL} は、風向方向の建物寸法 D と風向に直交する方向の建物寸法 B の比で整理されるが、保守的に絶対値が大きい -0.5 を用いて評価する。

添説建 3-IV.2.1-1 表 壁等の風力係数 C_w (正が圧縮、負が引張)

		風力係数
風上側 C_{WU}		0.80
風下側 C_{WL}	D/B 比 ≤ 1	-0.50
	D/B 比 > 1	-0.35

D : 風向方向の建物寸法

B : 風向に直交する方向の建物寸法

2.2. 局部評価に用いる竜巻荷重の計算

(1) 荷重計算方法

荷重計算方法を以下に示す。局部評価用のF1竜巻荷重は、壁、鉄扉については w_{T1} と w_{T2_w} の大きい方、屋根については w_{T1} と w_{T2_r} の大きい方とする。

1) 壁、鉄扉

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2_w} = \begin{cases} C_{wu} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{wu} + C_{wl}) \times q \geq -w_p \text{ の場合} \\ C_{wl} \times q + 1 / 2 \times w_p & (C_{wu} + C_{wl}) \times q < -w_p \text{ の場合} \end{cases}$$

2) 屋根

$$w_{T1} = w_p$$

$$w_{T2_r} = C_R \times q + 1 / 2 \times w_p$$

(2) 風力係数

壁、鉄扉の風力係数は添説建3-IV.2.1-1表に示す通りである。なお、風下側は、保守的に絶対値が大きい-0.5を用いて評価する。

屋根の風力係数を添説建3-IV.2.2-1表に示す。屋根に作用する荷重は、風上側の屋根端部からの距離 R_b で整理されるが、保守的に絶対値が大きい-1.2を用いて評価する。

添説建3-IV.2.2-1表 屋根の風力係数 C_R (屋根健全時 正が圧縮、負が引張)

	風力係数
$R_b \leq 0.50B$	-1.20
$0.50B < R_b \leq 1.50B$	-0.60
$R_b > 1.50B$	-0.20

R_b : 風上側の屋根端部からの距離

B : 風向に直交する方向の建物寸法

3. 建物健全性の評価結果

3.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建 2 IV. 第 1 廃棄物処理所 耐震計算書」の X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3-IV. 3.1-1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻荷重に対して建物は健全である。

添説建 3-IV. 3.1-1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力 (kN)	F1 竜巻荷重 (kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書ー建 3-IV付録 2 参照

3.2. 屋根、壁、鉄扉の局部評価

短期許容荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3-IV. 3.2-1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F1 竜巻荷重を上回っており、F1 竜巻荷重に対して健全である。

添説建 3-IV. 3.2-1 表 局部評価

	単位面積当りの 短期許容荷重 (Pa)	単位面積当りの F1 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
屋根 (ALC 屋根)				○
壁 (既設壁)				○
鉄扉				○

※1：添付説明書ー建 3-IV付録 5 参照 (屋根については固定荷重を考慮した値)

※2：添付説明書ー建 3-IX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書ー建 3-IV付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F1 竜巻荷重に対する短期許容荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F1 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、短期許容荷重は載荷されている F1 竜巻荷重を検定比で割り戻す (短期許容荷重=F1 竜巻荷重/検定比) ことで算出した。

3.3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いて飛来物の飛散評価を行う。TONBOS で解析する際の竜巻風速場にはフジタモデル (DBT-77 モデル) を適用する。F1 竜巻での評価結果を添説建 3-IV.3.3-1 表に示す。

評価の結果、最大飛散距離はプレハブ物置 (大) が \square m であるが、最も近い民家や公道から第 1 廃棄物処理所までは 140m 以上離れており、同建物まで到達する飛来物は無いことから、建物の壁、屋根の衝撃評価は不要である。

添説建 3-IV.3.3-1 表 F1 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F1)

最大風速	49 (m/s)
最大接線風速	42 (m/s)
移動速度	7 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力係数 (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
銅製材												
銅製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

4. 更なる安全裕度の向上策の確認

4.1. 建物の構造強度評価

建物に作用する水平方向の竜巻荷重と保有水平耐力を比較することで構造強度評価を行う。保有水平耐力は、「添付説明書ー建 2 IV. 第 1 廃棄物処理所 耐震計算書」の X 方向、Y 方向それぞれについて正負加力 2 ケースのうち小さい方の値を用いる。

保有水平耐力と竜巻荷重の比較結果を添説建 3ーIV. 4. 1ー1 表に示す。評価の結果、保有水平耐力は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻荷重に対して建物は健全である。

添説建 3ーIV. 4. 1ー1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価

	保有水平耐力 (kN)	F3 竜巻荷重 (kN) ※1	検定比	評価
X 方向 (東西方向)				○
Y 方向 (南北方向)				○

※1：添付説明書ー建 3ーIV付録 3 参照

4.2. 壁、鉄扉の局部評価

終局耐力荷重と竜巻荷重とを比較した局部評価結果を添説建 3ーIV. 4. 2ー1 表に示す。評価の結果、各部の強度は F3 竜巻荷重を上回っており、F3 竜巻荷重に対して、部分的に塑性変形が発生する可能性はあるが、終局耐力内であり、健全である。

第 1 廃棄物処理所の屋根は F3 竜巻荷重による損傷を許容するため評価は省略する。また、損傷により開口するため、気圧差は発生しないものとして竜巻荷重を算出した。

添説建 3ーIV. 4. 2ー1 表 局部評価

	単位面積当りの 終局耐力荷重 (Pa)	単位面積当りの F3 竜巻荷重 (Pa)	検定比	評価
壁 (サイディング壁)				○
鉄扉				○

※1：添付説明書ー建 3ーIV付録 5 参照

※2：添付説明書ー建 3ーIX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

※3：添付説明書ー建 3ーIV付録 4 参照

注) 表記の検定比は、建物の外殻を構成する屋根、外壁、建具等の各部における F3 竜巻荷重に対する終局耐力荷重の比の最大値を示す。ただし、構成各部の評価の過程において、検定比が F3 竜巻荷重時の発生応力度に対する許容応力度で計算されている場合は、終局耐力荷重は載荷されている F3 竜巻荷重を検定比で割り戻す (終局耐力荷重=F3 竜巻荷重/検定比) ことで算出した。

4. 3. 飛来物の飛散による壁、屋根の衝撃評価結果

F1 竜巻と同様に F3 竜巻での飛来物評価を実施する。F3 竜巻での評価結果を添説建 3-IV. 4. 3-1 表に示す。

敷地内の飛来物は、加工施設に影響の無い距離まで離すことや固縛等を行うので対象外とし、評価対象は敷地外から想定される飛来物とする。

評価対象とする飛来物は、敷地境界の公道を走行中の車両は防護フェンスで防護することから対象外とし、飛散距離約 140m 以上の軽トラック、プレハブ物置（小、中、大）の中で飛散距離、飛散高さが最も大きく、運動エネルギーの大きいプレハブ物置（大）とする。

評価の結果、壁^{※1}、鉄扉^{※2}は飛来物の衝撃に対し、健全である。

※1：添付説明書-建 3-IV 付録 6 参照

※2：添付説明書-建 3-IX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書 参照

添説建 3-IV. 4. 3-1 表 F3 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果

竜巻条件 (F3)

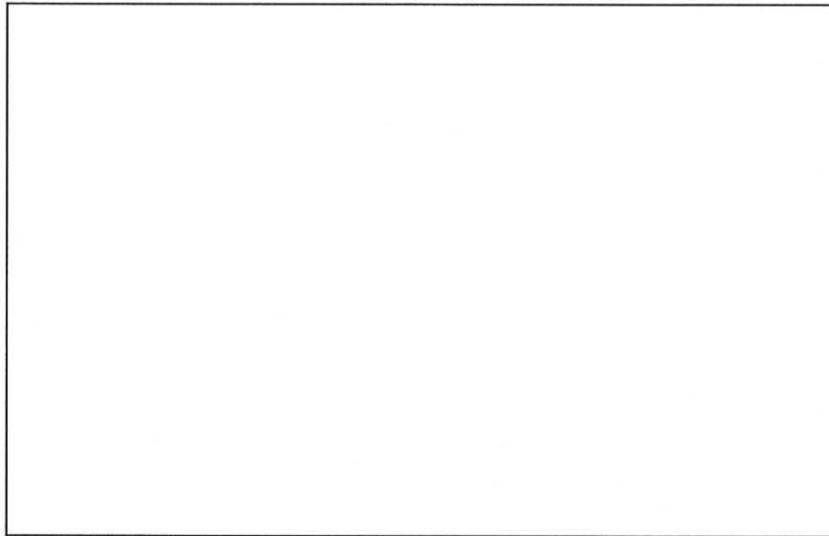
最大風速	92 (m/s)
最大接線風速	78 (m/s)
移動速度	14 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力係数 ^{ラマー} (m ² /kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)
鋼製材												
鋼製パイプ												
乗用車 (ワゴン)												
軽自動車 1												
軽自動車 2												
軽トラック												
4 t トラック												
15t トラック												
バス (路線バスタイプ)												
バス (観光バスタイプ)												
プレハブ物置 (小)												
プレハブ物置 (中)												
プレハブ物置 (大)												

見付面積の算出方法について

見付面積（ A_{2F} 、 A_{1F} ）の算出にあたり、高さ方向の寸法は、母屋などの上端部から一律 200mm を加算して裕度を確保する。また、X 方向、Y 方向の寸法は、通り芯から両側に一律 1000mm を加算して裕度を確保する。

X 方向（東西方向）の見付面積



添説建 3－IV. 付 1－1 図 X 方向見付面積

$a = \text{壁幅} + \text{両側幅裕度}$

$=$ m

$b = 2 \text{階壁高さ} / 2 + \text{高さ裕度}$

$=$ m

$c = 2 \text{階壁高さ} / 2 + (1 \text{階壁高さ} + 150) / 2$

$=$ m

各階見付面積

2 階： 壁 $A_{2F} = a \times b =$ m^2

1 階： 壁 $A_{1F} = a \times c =$ m^2

「添説建 3-IV. 3.1-1 表 保有水平耐力と F1 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3-IV. 付 2-1 表 X 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3-IV. 付 2-2 表 Y 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
								$W_{T1}=W_p$	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$
		A ※1 (m ²)	C (-)	$q \times A \times C$ (kN)	W_w (kN)	$\Delta P \times A$ (kN)	W_p (kN)	$W_{T1}=W_p$ (kN)	$W_{T2}=W_w+0.5 \times W_p$ (kN)
2	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書一建 3-IV付録 1 による。

第 1 廃棄物処理所の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とした。

「I. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重： $\Delta P = \square$ (Pa) → \square (Pa) として計算に使用
- ・風圧力による荷重： $q = \square$ (Pa) → \square (Pa) として計算に使用

「添説建 3ーIV. 4. 1ー1 表 保有水平耐力と F3 竜巻荷重の比較評価」の竜巻荷重（層せん断力）の算出方法について

添説建 3ーIV. 付 3ー1 表 X 方向（東西方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	W _w (kN)	ΔP×A (kN)	W _p (kN)	W _{T1} =W _p (kN)	W _{T2} =W _w + 0.5×W _p (kN)
2	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

添説建 3ーIV. 付 3ー2 表 Y 方向（南北方向）の水平方向の竜巻荷重

階	算定位置	見付面積	風力係数	風圧力による荷重	風圧力による層せん断力	気圧差による荷重	気圧差による層せん断力	層せん断力の組み合わせ荷重	
		A ※1 (m ²)	C (-)	q×A×C (kN)	W _w (kN)	ΔP×A (kN)	W _p (kN)	W _{T1} =W _p (kN)	W _{T2} =W _w + 0.5×W _p (kN)
2	風上								
	風下								
1	風上								
	風下								

※1：見付面積は、添付説明書ー建 3ーIV付録 1 による。

第 1 廃棄物処理所の保有水平耐力との比較評価に用いる竜巻荷重による水平方向の層せん断力算出において、気圧低下による荷重と風圧力による荷重は下記の値とする。

「I. 竜巻防護設計の基本方針」の「2. 竜巻荷重の算定」より、

- ・気圧低下による荷重：ΔP = □ (Pa) (気圧差荷重□)
- ・風圧力による荷重：q = □ (Pa) → □ (Pa) として計算に使用

1. 「添説建 3—IV. 3. 2—1 表 局部評価」の F1 竜巻荷重の算出方法について

添説建 3—IV. 付 4—1 表 F1 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	49
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	42
速度圧	q	(Pa)	1465
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	-2152

添説建 3—IV. 付 4—2 表 F1 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	-2152
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	
	W_{T2}	(Pa)	-1808
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	-2152
	W_{T2}	(Pa)	

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負

・※印の値が評価で使用した荷重

2. 「添説建 3—IV. 4. 2—1 表 局部評価」の F3 竜巻荷重の算出方法について

添説建 4—IV. 付 3—3 表 F3 竜巻の特性値

空気密度	ρ	(kg/m ³)	1.22
竜巻最大風速	V_D	(m/s)	92
竜巻接線風速	V_m	(m/s)	78
速度圧	q	(Pa)	5163
気圧低下による荷重	ΔP_{max}	(Pa)	0

添説建 3—IV. 付 4—4 表 F3 竜巻の局部評価用荷重の算定

風の方向		風上	風下
風力係数 (壁・鉄扉等)	C_w	—	0.8
風力係数 (屋根)	C_R	—	-1.2
気圧差荷重	W_p	(Pa)	0
壁・鉄扉等への荷重	W_{T1}	(Pa)	0
	W_{T2}	(Pa)	
屋根への荷重	W_{T1}	(Pa)	0
	W_{T2}	(Pa)	—

注) ・建物外殻への荷重が外側から内側に作用する場合は正、その逆が負

・※印の値が評価で使用した荷重

竜巻に対する局所評価用の竜巻許容荷重の計算に関する説明書

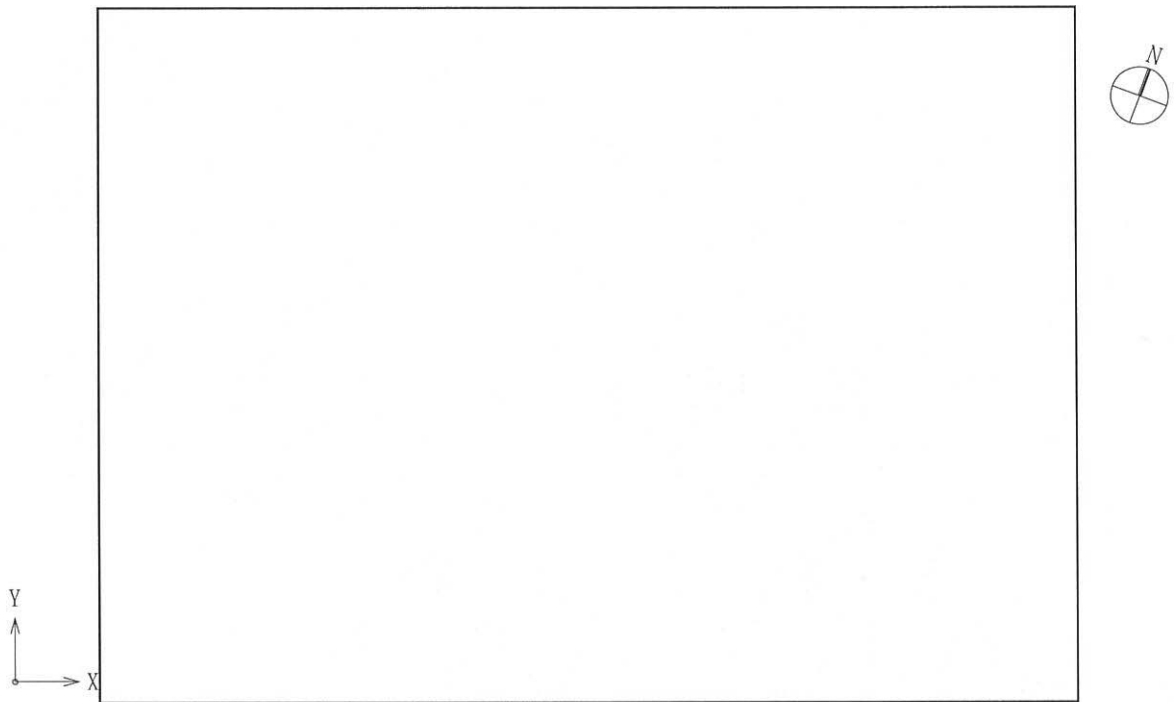
建物の損傷防護の観点から、局所評価として建物の屋根、壁とそれらを支持する構造二次部材について評価を行う。

1. 屋根、壁の評価位置と評価モデルについて

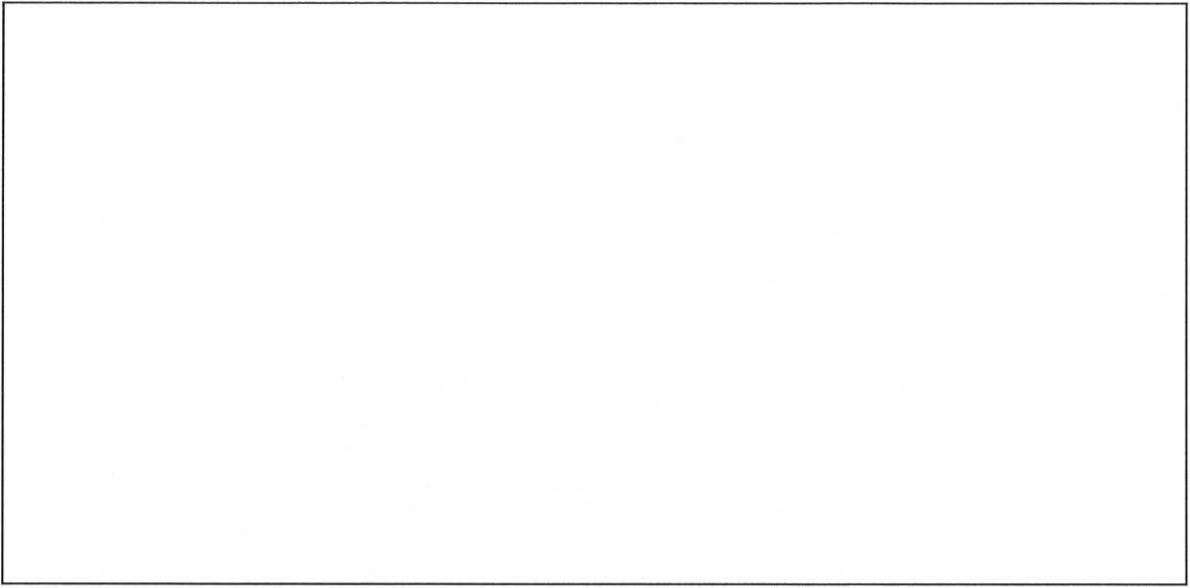
第1 廃棄物処理所の屋根はALC板屋根であり、代表するALC板、鉄骨小梁を検討対象とする。壁はサイディング壁を追設することで補強を施しており、F1 竜巻に対して代表する既設壁、既設胴縁を検討対象とし、F3 竜巻に対して代表するサイディング材、胴縁、受け材（水平梁）を検討対象とする。

検討対象を添説建 3ーIV. 付 5ー1 図～添説建 3ーIV. 付 5ー3 図に示す。

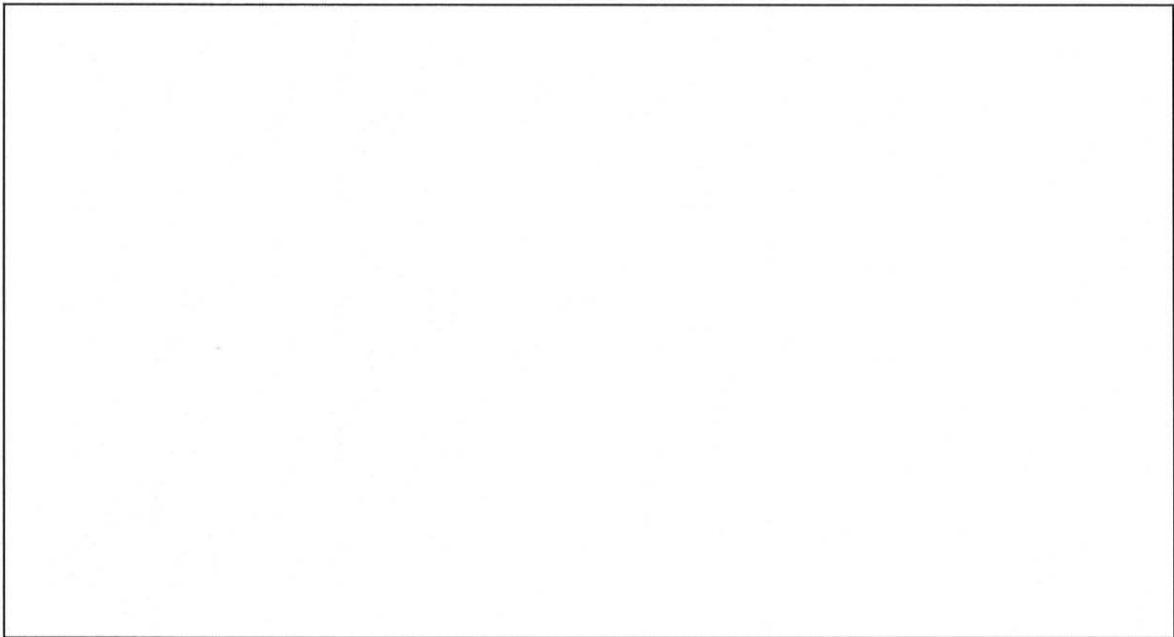
評価位置の選定にあたっては、屋根、壁毎に、それらを構成する各種部材に対して断面形式、サイズ、支持スパン長等を考慮して代表部材を抽出し、それら代表部材のうち最も厳しい評価結果となった部材箇所を「評価位置」として設定した。



添説建 3ーIV. 付 5ー1 図 屋根検討対象



A:通り軸組図



添説建 3-IV. 付 5-2 図 壁検討対象 (1/2)

添説建 3-IV. 付 5-3 図 壁検討対象 (2/2)

2. 竜巻許容荷重の考え方

2.1. ALC 板屋根

ALC 板は ALC 協会「ALC パネル構造設計指針・同解説」(以下「ALC 指針」と略記)に基づいた一般的に使用されているメーカー資料を参照して既設 ALC 板の検討を行う。検討では、F1 竜巻荷重に対して最大支持スパンが許容支持スパン以下であることを確認する。また、鉄骨小梁は F1 竜巻時に作用する最大曲げ応力度が短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。確認にあたり、鉄骨小梁は日本建築学会「鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」(以下「S 規準」と略記)に基づき評価する。

2.2. 既設壁

既設壁は F1 竜巻時に作用する最大曲げモーメントが短期許容曲げモーメント以下であることをメーカー資料を参照して確認する。また、胴縁は F1 竜巻荷重及び自重により作用する最大曲げモーメントと短期許容曲げモーメントのそれぞれの検定比の合計値が 1.0 以下であることを確認する。確認にあたり、胴縁は「S 規準」に基づき評価する。

2.3. サイディング壁

サイディング材は F3 竜巻時に作用する荷重がメーカー資料による許容荷重以下であることを確認する。また、胴縁、受け材は F3 竜巻荷重及び自重により作用する最大曲げモーメントと終局曲げ耐力のそれぞれの検定比の合計値が 1.0 以下であることを確認する。確認にあたり、胴縁、受け材は「S 規準」に基づき評価する。

以上の評価により安全機能を損なわないことを確認する。

3. 竜巻許容荷重の算出

3.1. 荷重

(1) 屋根固定荷重

屋根に作用する竜巻荷重は負圧で評価するため、屋根の固定荷重の値は切り捨てとする。

ALC板

単位体積重量 γ_{ALC} (kg/m³) : (ALC 指針による)
 厚さ t_{ALC} (m) :
 重力加速度 g (m/s²) :
 単位面積重量 w_{ALC1} (N/m²) : $\gamma_{ALC} \times g \times t_{ALC} =$
 仕上げ荷重 w_{ALC2} (N/m²) :
 検討用固定荷重 w_{ALC} (N/m²) : $w_{ALC1} + w_{ALC2} =$

鉄骨小梁 (RB1)

使用部材
 部材単位長さ重量 M_B (kg/m) : (JIS G3353)
 重力加速度 g (m/s²) :
 検討用固定荷重 W_B (N/m) : $M_B \times g =$ とする。

(2) 壁固定荷重

1) 既設壁

石綿スレート木毛セメント板単位重量 w_{A1} (N/m²) :
 仕上げ荷重 w_{A2} (N/m²) :
 検討用固定荷重 w_A (N/m²) : $w_{A1} + w_{A2} =$

2) サイディング壁

サイディング材単位重量 w_{W1} (N/m²) :
 仕上げ荷重 w_{W2} (N/m²) :
 検討用固定荷重 w_W (N/m²) : $w_{W1} + w_{W2} =$

(3) 竜巻荷重

添説建 3-IV. 付 5-1 表に示す。

添説建 3-IV. 付 5-1 表 竜巻荷重 (添付説明書-建 3-IV付録 4 より)

竜巻種類	屋根	壁
F1 竜巻荷重 (短期) w_{F1} (N/m ²)		
F3 竜巻荷重 (終局) w_{F3} (N/m ²)		

※1 : F1 竜巻荷重に対する評価のみとする。

3. 2. 使用材料と許容値

(1) 鉄骨

使用材料 : 建設時設計図書より 、
JIS G3101 - 1995 での読み替えに従って として取り扱う。
基準強度 : $F = \text{ N/mm}^2$

(2) 鉄骨接合部

使用材料 : 建設時設計図書より
許容せん断力 : 一面摩擦時 kN/本 (長期)、 kN/本 (短期) (S 規準より)

(3) ALC 板

使用材料 : ALC 板 厚さ mm
設計基準強度 : 同等品のメーカー資料に記載された許容荷重を使用する。

(4) 既設壁材

使用材料 : 石綿スレート木毛セメント板 厚さ mm
設計強度 : メーカー実施の曲げ破壊試験に基づく。

(5) サイディング材

使用材料 : 厚さ mm
設計基準強度 : 同等品のメーカー資料に記載された許容荷重を使用する。

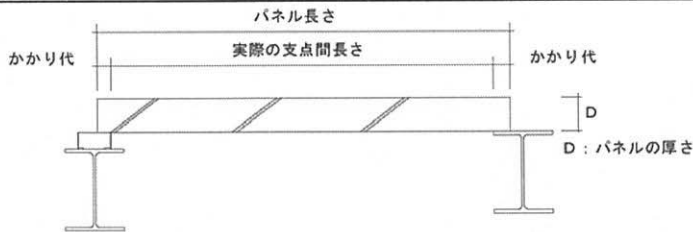
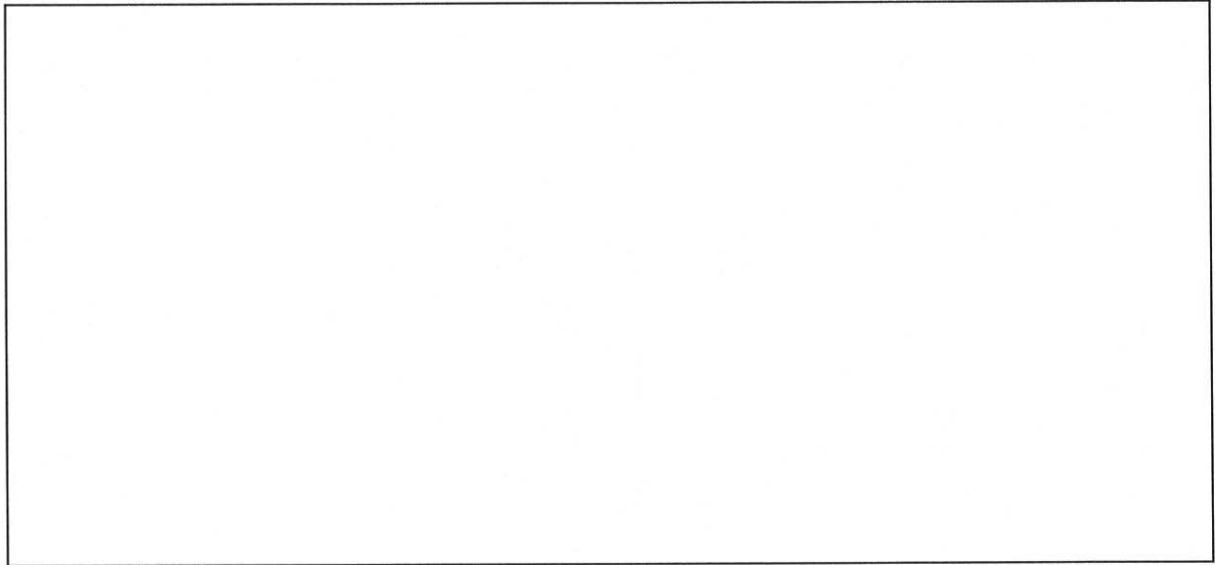
3. 3. 屋根の検討

F1 竜巻荷重（短期）に対する評価を行う。

(1) ALC 板

最大支持スパン L_{max} (mm) :
 厚さ t_{ALC} (mm) :
 単位面積当り固定荷重 w_{ALC2} (N/m²) : (ALC 板自重は考慮しない)
 単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) : →
 単位面積当り荷重 w (N/m²) : $w_{F1} - w_{ALC2} =$
 許容支持スパン L_a (mm) : (添説建 3-IV. 付 5-2 表より)
 支持スパン検定比 R_1 : $(L_{max} / L_a)^2 =$ ² = < 1.0 OK

添説建 3-IV. 付 5-2 表 屋根パネル厚さ別「設計荷重-最大長さ」対応表（メーカー資料※1）



※1：メーカー資料については、三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

3.4. 壁の検討

壁の検討にあたっては、建物内側から外側に作用する F1 竜巻荷重に対して既設壁が抵抗し、建物外側から内側に作用する F3 竜巻荷重に対してサイディング壁が抵抗するものとする。各壁の検討結果を以下に示す。

(1) 既設壁

1) 計算諸条件

最大スパン L_{max} (mm) :

単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²) :

重力加速度 g (m/s²) :

既設壁諸元

幅 b (mm) :

厚さ t_A (mm) :

曲げ破壊試験荷重 P_A (kg) : (スパン中央集中荷重) (メーカー資料^{※1}より)

曲げ破壊試験スパン L_A (mm) :

曲げ破壊に対する安全率 F :

※1：メーカー資料については、三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

2) 検討結果

許容支持スパン L_a は

短期許容曲げモーメント M_a (N・mm)

$$M_a = P_A \times g \times L_A / (4 \times F)$$

許容支持スパン L_a における F1 竜巻荷重による発生曲げモーメント M (N・mm)

$$M = 1 / 8 \times w_{F1} \times 10^{-6} \times b \times L_a^2$$

短期許容曲げモーメント $M_a \geq$ F1 竜巻荷重による発生曲げモーメント M より

$$L_a \leq \sqrt{2 \times P_A \times g \times L_A \times 10^6 / (F \times w_{F1} \times b)}$$

=

=

検定比

$$R_4 = (L_{max} / L_a)^2 =$$

(2) 既設胴縁 (GIR)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m) ※1

既設壁単位面積当り固定荷重 w_A (N/m²)

単位面積当り竜巻荷重 w_{F1} (N/m²)

胴縁諸元

使用部材

高さ h (mm)

幅 b (mm)

圧縮フランジの断面積 A_f (mm²)

断面係数 (強軸) Z_x (cm³)

断面係数 (弱軸) Z_y (cm³)

胴縁の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 P (m)

壁固定荷重 W_A (N/m)

竜巻荷重 W_{F1} (N/m)

:

:

:

:

:

:

:

:

:

: $w_A \times P =$

: $w_{F1} \times P =$

※1: タイロッド拘束点を中間支点とし、柱フランジ幅を考慮する。

2) 検討結果

強軸

中間支点上曲げモーメント

$$M_x = 1 / 8 \times W_{F1} \times L^2 = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = M_x / Z_x = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

短期許容曲げ応力度

$$f_{bx} = 89000 / (L \times h / A_f) \times 1.5 = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_x = \sigma_{bx} / f_{bx} = \boxed{}$$

弱軸

中間支点上曲げモーメント

$$M_y = 1 / 8 \times W_A \times L^2 = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{by} = M_y / Z_y = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

短期許容曲げ応力度

$$f_{by} = F = \boxed{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_y = \sigma_{by} / f_{by} = \boxed{}$$

組合せ検定比

$$R_G = R_x + R_y = \boxed{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(3) サイディング材

胴縁ピッチ P_{max} (mm) :
厚さ t_s (mm) :
許容荷重 w_u (N/m²) : (添説建 3-IV. 付 5-3 表より)
単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²) :

添説建 3-IV. 付 5-3 表 サイディング材 許容荷重 (メーカー資料^{※1})

--

※1：メーカー資料については、三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

検定比

保守的に考えて、許容荷重（胴縁ピッチ 910）と竜巻荷重との比較で検定比を算出する。

$$R_6 = w_{F3} / w_u = \text{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(4) 胴縁 (NGIR)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m) :
サイディング材単位面積当り固定荷重 w_w (N/m²) :
単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²) :

胴縁諸元

使用部材
高さ h (mm) :
幅 b (mm) :
圧縮フランジの断面積 A_f (mm²) :
断面係数 (強軸) Z_x (cm³) :
断面係数 (弱軸) Z_y (cm³) :

胴縁の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 P (m) :
壁固定荷重 W_w (N/m) : $w_w \times P =$
竜巻荷重 W_{F3} (N/m) : $w_{F3} \times P =$

2) 検討結果

強軸

支間中央曲げモーメント

$$M_x = 1 / 8 \times W_{F3} \times L^2 = \text{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = M_x / Z_x = \text{} \text{ N/mm}^2$$

降伏曲げ応力度

$$f_{bx} = 89000 / (L \times h / A_f) \times 1.5 = \text{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_x = \sigma_{bx} / f_{bx} = \text{}$$

弱軸

支間中央曲げモーメント

$$M_y = 1 / 8 \times W_w \times L^2 = \text{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_{by} = M_y / Z_y = \text{} \text{ N/mm}^2$$

降伏曲げ応力度

$$f_{by} = 1.1 \times F = \text{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_y = \sigma_{by} / f_{by} = \text{}$$

組合せ検定比

$$R_7 = R_x + R_y = \text{} < 1.0 \quad \text{OK}$$

(5) 受け材 (NHG1)

1) 計算諸条件

支持スパン長 L (m)

:

圧縮フランジの支点間距離 L_b (m)

:

単位面積当り竜巻荷重 w_{F3} (N/m²)

:

受け材諸元

使用部材

高さ h (mm)

:

幅 b (mm)

:

フランジ厚さ t_f (mm)

:

圧縮フランジの断面積 A_f (mm²)

:

断面係数 (強軸) Z_x (cm³)

:

断面係数 (弱軸) Z_y (cm³)

:

横座屈断面二次半径 i (cm)

:

受け材の分担する単位長さ当り荷重

荷重分担幅 P (m)

:

竜巻荷重 W_{F3} (N/m)

:

$W_{F3} \times P =$

2) 検討結果

支間中央曲げモーメント

$$M = 1 / 8 \times W_{F3} \times L^2 = \text{} \text{ N}\cdot\text{m}$$

曲げ応力度

$$\sigma_b = M_x / Z_x = \text{} \text{ N/mm}^2$$

降伏曲げ応力度

$$f_{by} = F \times 1.1 = \text{} \text{ N/mm}^2$$

検定比

$$R_8 = \sigma_b / f_{by} = \text{}$$

(6) 壁の単位面積当りの許容荷重

$$\text{最大検定比 } R_{\text{amax}} = \max(R_4, R_5) = \max\{\text{}$$

$$R_{\text{umax}} = \max(R_6, R_7, R_8) = \max\{\text{}$$

$$\text{短期許容荷重 } w_{\text{as}} = w_{F1} / R_{\text{amax}} = \text{} \text{ N/m}^2$$

$$\text{終局耐力荷重 } w_{\text{us}} = w_{F3} / R_{\text{umax}} = \text{} \text{ N/m}^2$$

以上より、対象 F1 竜巻荷重 (短期)、F3 竜巻荷重 (終局) に対して、壁は健全である。

第 1 廃棄物処理所 南側及び東側 サイディングへの飛来物衝撃評価

F3 竜巻による飛来物が第 1 廃棄物処理所南側あるいは東側の壁（サイディングで補強）に衝突した場合の評価を以下に示す。なお、評価手法は事業許可の（添五）別添ト-14-2 に則って評価する。

1. 想定される飛来物

「添説建 3ーIV. 4. 3ー1 表 F3 竜巻での敷地外からの飛来物評価結果」より、F3 竜巻で第 1 廃棄物処理所南側及び東側に想定される飛来物は、軽トラック及びプレハブ物置（大）（以下、「プレハブ」と略記）である。

このうち、運動エネルギーが大きいプレハブを検討対象とし、諸元を添説建 3ーIV. 付 6ー1 表に示す。

添説建 3ーIV. 付 6ー1 表 想定飛来物の諸元

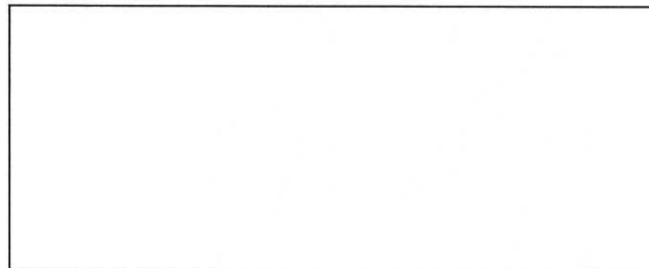
飛来物	質量(kg)	最大水平速度(m/s)	最大飛散高さ(m)	出典
プレハブ				事業許可：別添ト-12

2. 第 1 廃棄物処理所南側の壁に対する評価

第 1 廃棄物処理所南側の壁はサイディングにより補強する。このサイディングにより飛来物の運動エネルギーが吸収できることを確認する。

確認にあたっては、サイディングの鉄骨に加え、既存壁の鉄骨もエネルギー吸収に寄与するものとして評価し、プレハブの運動エネルギーを吸収できることを確認する。

サイディングは胴縁、受け材の梁、柱によって格子状に組まれたものである。エネルギー吸収に寄与するとしたサイディングおよび既存壁の鉄骨についての諸元を添説建 3ーIV. 付 6ー2 表及び添説建 3ーIV. 付 6ー3 表に、また設置状況を添説建 3ーIV. 付 6ー1 図に示す。



添説建 3ーIV. 付 6ー1 図 南側の構造（立面図）

サイディング及び既存壁は構造を構成する梁、柱及び間柱の鉄骨が変形することでエネルギーを吸収することができる。梁、柱及び間柱のそれぞれのたわみに対する荷重と変形エネルギーを添説建 3-IV. 付 6-2 図～添説建 3-IV. 付 6-7 図に示す。

なお、サイディングのエネルギー吸収を考える範囲の鉄骨は、梁 1 本、柱 7 本であるが、中央の柱以外の 6 本は平均してエネルギー吸収に寄与するとし、エネルギー吸収に寄与する柱の本数は、中央の柱 1 本、他の柱 3 本の合計 4 本として評価する。

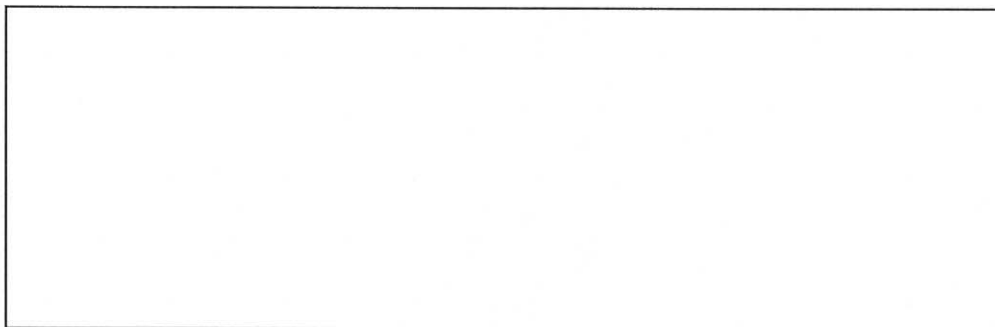
また、同様に既存壁のエネルギー吸収を考える範囲の鉄骨は、既存柱 1 本、その間にある既存間柱 2 本、既存梁 1 本で構成されるが、間柱は平均してエネルギー吸収に寄与するとし、エネルギー吸収に寄与する既存間柱の本数は 1 本として評価する。

飛来物の経路については、飛来物はほぼ正面からの角度で衝突すると考えられる。これを添説建 3-IV. 付 6-8 図に示す。このため、飛来物の衝突角度による衝撃エネルギーの減少は考慮しない。

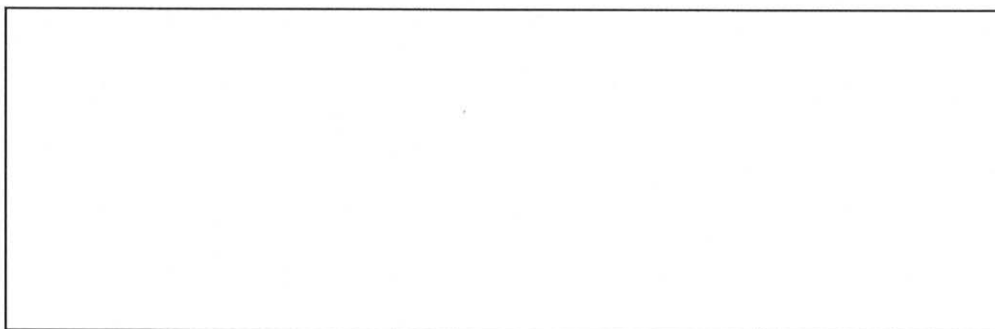
プレハブは自動車に比べて十分に柔な構造であるが、プレハブの剛性は保守的に自動車と同様に文献^{※1}に基づき衝撃時変形が 0.5m 程度あるものとし、この変形によるエネルギー吸収も考慮する。

このように評価した結果を、添説建 3-IV. 付 6-4 表～添説建 3-IV. 付 6-6 表に示す。評価結果より、サイディング及び既存壁の鉄骨による吸収エネルギーは、想定される飛来物であるプレハブの運動エネルギーを上回っており、飛来物を防護できる。

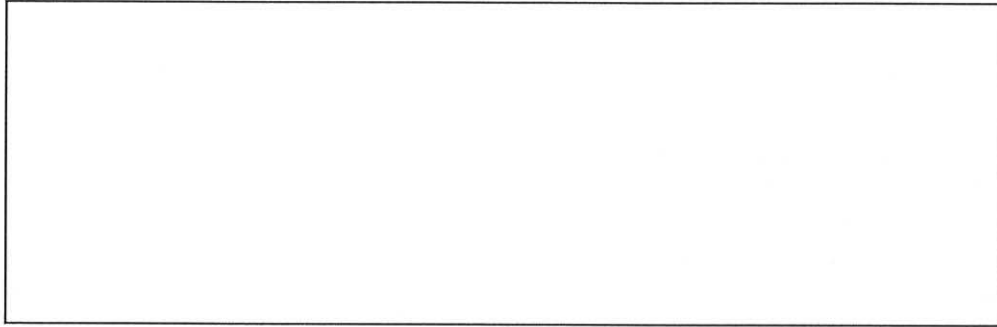
※1：「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治



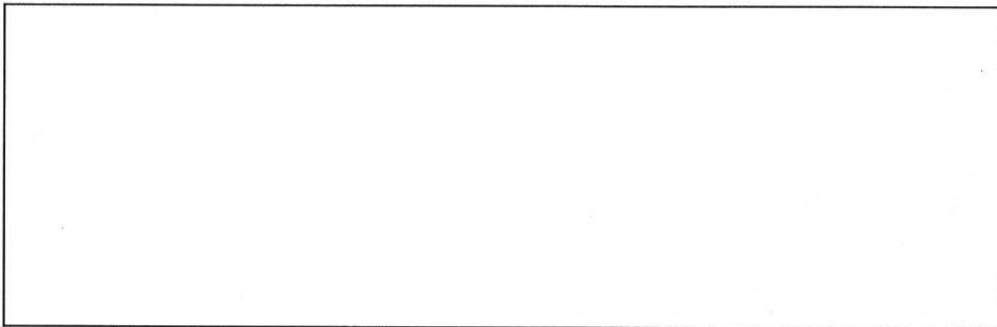
添説建 3-IV. 付 6-2 図 南側サイディング柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



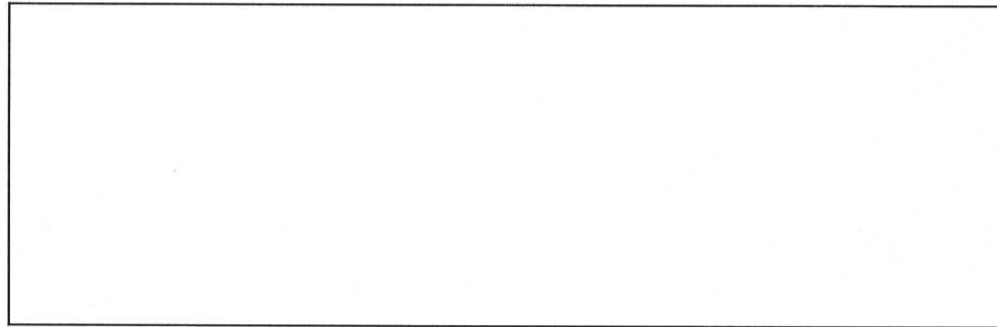
添説建 3-IV. 付 6-3 図 南側サイディング間柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



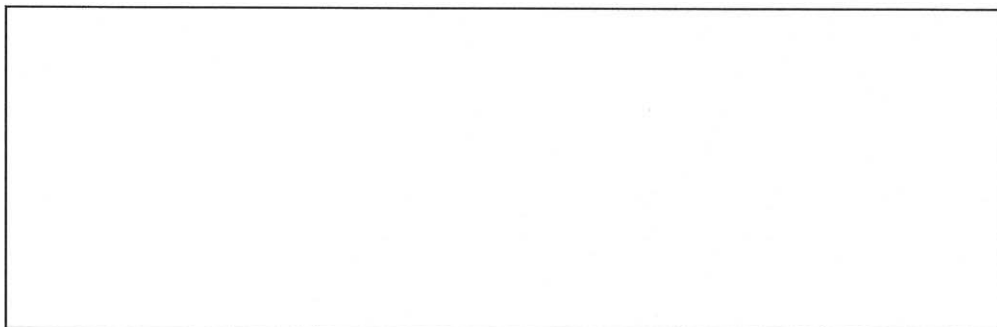
添説建 3-IV. 付 6-4 図 南側サイディング梁のたわみと荷重及び変形エネルギー



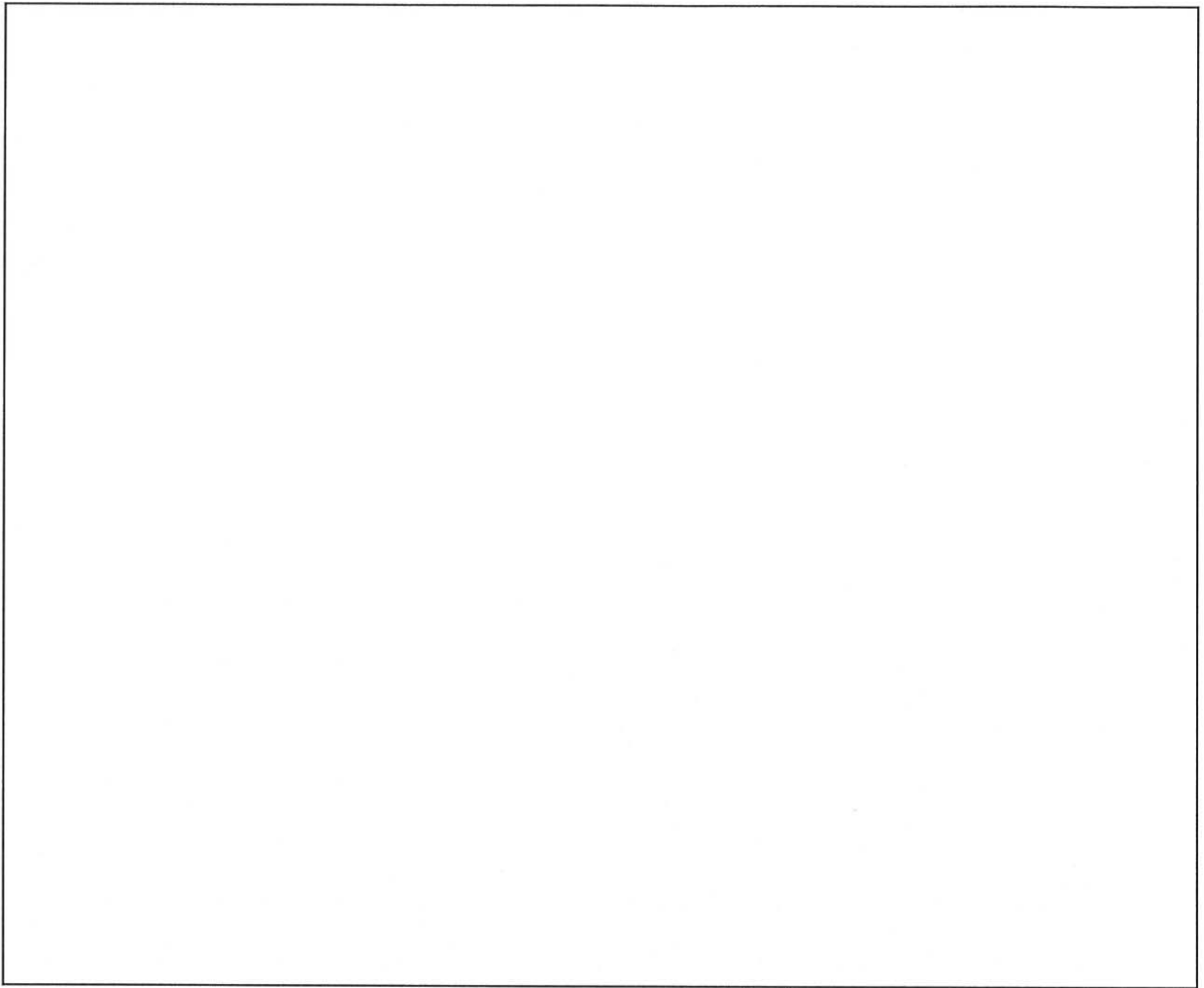
添説建 3-IV. 付 6-5 図 南側既存柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-6 図 南側既存間柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-7 図 南側既存梁のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-8 図 第 1 廃棄物処理所南側の飛来物が想定される壁位置

添説建 3-IV. 付 6-2 表 南側サイディングの諸元

	記号	単位	数値
耐力	σ_y	MPa	
引張強さ	σ_u	MPa	
破断伸び	ε_u		
ヤング率	E	MPa	
塑性変形ヤング率	E_p	MPa	
柱 <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px; margin-top: 5px;"></div>	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
	柱の断面二次モーメント	Ib	mm ⁴
柱の断面係数	Zb	mm ³	
柱の長さ	Lb	mm	
間柱 <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px; margin-top: 5px;"></div>	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
	間柱の断面二次モーメント	Ib	mm ⁴
間柱の断面係数	Zb	mm ³	
間柱の長さ	Lb	mm	
梁 <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px; margin-top: 5px;"></div>	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
	梁の断面二次モーメント	Id	mm ⁴
梁の断面係数	Zd	mm ³	
梁の長さ	Ld	mm	

添説建 3-IV. 付 6-3 表 南側既存壁の諸元

	記号	単位	数値
耐力	σ_y	MPa	
引張強さ	σ_u	MPa	
破断伸び	ϵ_u		
ヤング率	E	MPa	
塑性変形ヤング率	E_p	MPa	
既存柱	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
既存柱の断面二次モーメント	I_b	mm^4	
既存柱の断面係数	Z_b	mm^3	
既存柱の長さ	L_b	mm	
既存間柱	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
既存間柱の断面二次モーメント	I_c	mm^4	
既存間柱の断面係数	Z_c	mm^3	
既存間柱の長さ	L_c	mm	
既存梁	H	mm	
	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
既存梁の断面二次モーメント	I_d	mm^4	
既存梁の断面係数	Z_d	mm^3	
既存梁の長さ	L_d	mm	

添説建 3-IV. 付 6-4 表 サイディング（南側）が吸収するエネルギー

	記号	単位	数値
飛来物質量（プレハブ）	m	kg	
飛来物速度	v0	m/s	
衝突角度	deg	deg	
飛来物速度	$v=v0 \times \sin(\text{deg})$	m/s	
プレハブ剛性（車体剛性相当）	$Kv=588 \cdot m$	N/m	
飛来物変形量	δv	m	
柱到達歪	ε		
間柱到達歪	ε		
梁到達歪	ε		
柱たわみ	δb	m	
間柱たわみ	δc	m	
梁たわみ	δd	m	
柱変形エネルギー	Eeb	J	
間柱変形エネルギー	Eec	J	
梁変形エネルギー	Eed	J	
柱寄与本数	nb	本	
間柱寄与本数	nc	本	
梁寄与本数	nd	本	
変形エネルギー（全寄与部材）	$Ees=nb \times Eeb+nc \times Eec+nd \times Eed$	J	

添説建 3-IV. 付 6-5 表 既存壁（南側）が吸収するエネルギー

	記号	単位	数値
飛来物質量（プレハブ）	m	kg	
飛来物速度	v0	m/s	
衝突角度	deg	deg	
飛来物速度	$v=v0 \times \sin(\text{deg})$	m/s	
プレハブ剛性（車体剛性相当）	$Kv=588 \cdot m$	N/m	
飛来物変形量	δv	m	
既存柱到達歪	ε		
既存間柱到達歪	ε		
既存梁到達歪	ε		
既存柱たわみ	δb	m	
既存間柱たわみ	δc	m	
既存梁たわみ	δd	m	
既存柱変形エネルギー	Eeb	J	
既存間柱変形エネルギー	Eec	J	
既存梁変形エネルギー	Eed	J	
既存柱寄与本数	nb	本	
既存間柱寄与本数	nc	本	
既存梁寄与本数	nd	本	
変形エネルギー（全寄与部材）	$Eek=nb \times Eeb+nc \times Eec+nd \times Eed$	J	

添説建 3-IV. 付 6-6 表

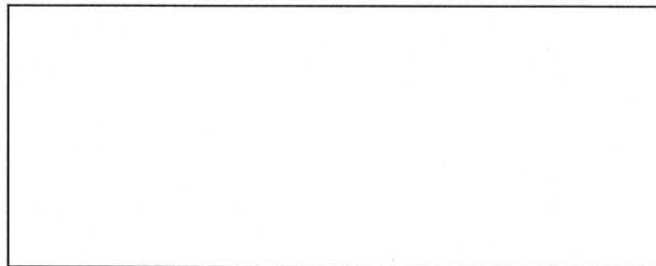
サイディングと既存壁の合計吸収エネルギーとプレハブの運動エネルギーの比較

	記号	単位	数値
サイディング変形エネルギー	Ees	J	
既存壁変形エネルギー	Eek	J	
飛来物変形エネルギー	Eev	J	
全変形エネルギー	$Eet=Ees+Eek+Eev$	J	
飛来物運動エネルギー	Ek	J	
評価	$Eet > Ek$		
サイディング及び既存壁の鉄骨による合計吸収エネルギー（全変形エネルギー）は飛来物運動エネルギーより大きい			

3. 第1廃棄物処理所東側の壁に対する評価

第1廃棄物処理所東側の壁は、南側と同様にサイディングにより補強する。このサイディングにより飛来物の衝撃エネルギーが吸収できることを確認する。

エネルギー吸収に寄与するとしたサイディングの鉄骨についての諸元を添説建 3-IV. 付 6-7 表に、また設置状況を添説建 3-IV. 付 6-9 図に示す。



添説建 3-IV. 付 6-9 図 東側の構造

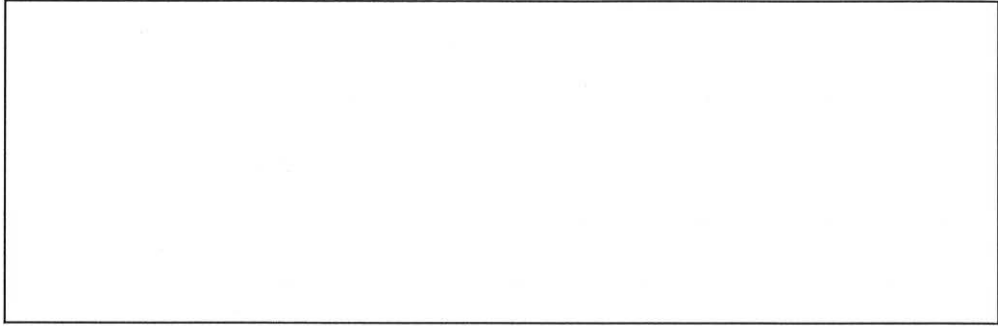
サイディングの鉄骨を構成する梁、柱及び間柱のそれぞれのたわみに対する荷重と変形エネルギーを添説建 3-IV. 付 6-10 図～添説建 3-IV. 付 6-12 図に示す。

なお、サイディングのエネルギー吸収を考える範囲の鉄骨は、梁 1 本、柱 5 本である。中央の柱以外の 4 本は平均してエネルギー吸収に寄与するとし、エネルギー吸収に寄与する柱の本数は、中央の柱 1 本、他の柱 2 本の合計 3 本として評価する。

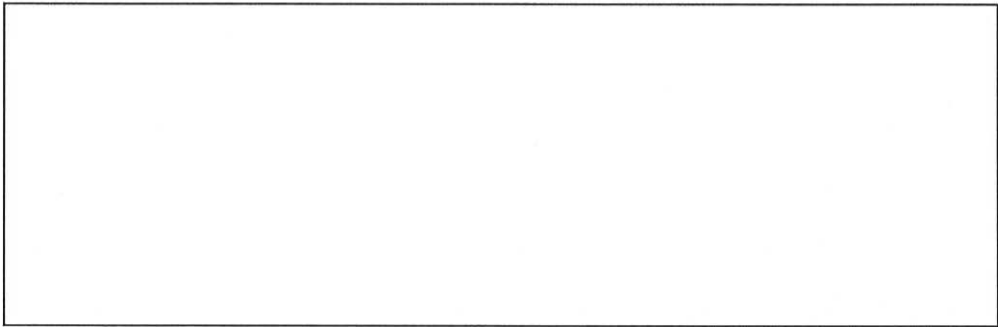
飛来物の経路については、飛来物は非常に浅い角度で衝突すると考えられる。これを添説建 3-IV. 付 6-13 図に示す。ここでは保守的にこの角度を 20° とし、飛来物の衝突角度による衝撃エネルギーの減少を考慮する。

プレハブは南側と同様に、衝撃時変形が 0.5m 程度あるものとし、この変形によるエネルギー吸収も考慮する。

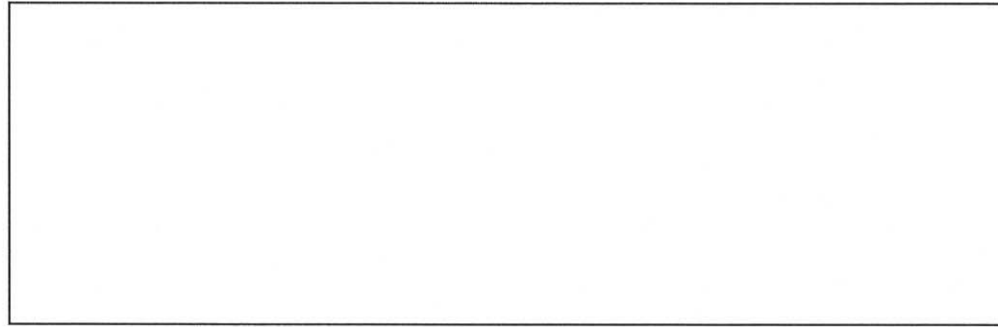
このように評価した結果を添説建 3-IV. 付 6-8 表～添説建 3-IV. 付 6-9 表に示す。評価結果より、サイディングの鉄骨による吸収エネルギーは、想定される飛来物であるプレハブの運動エネルギーを上回っており、飛来物を防護できる。



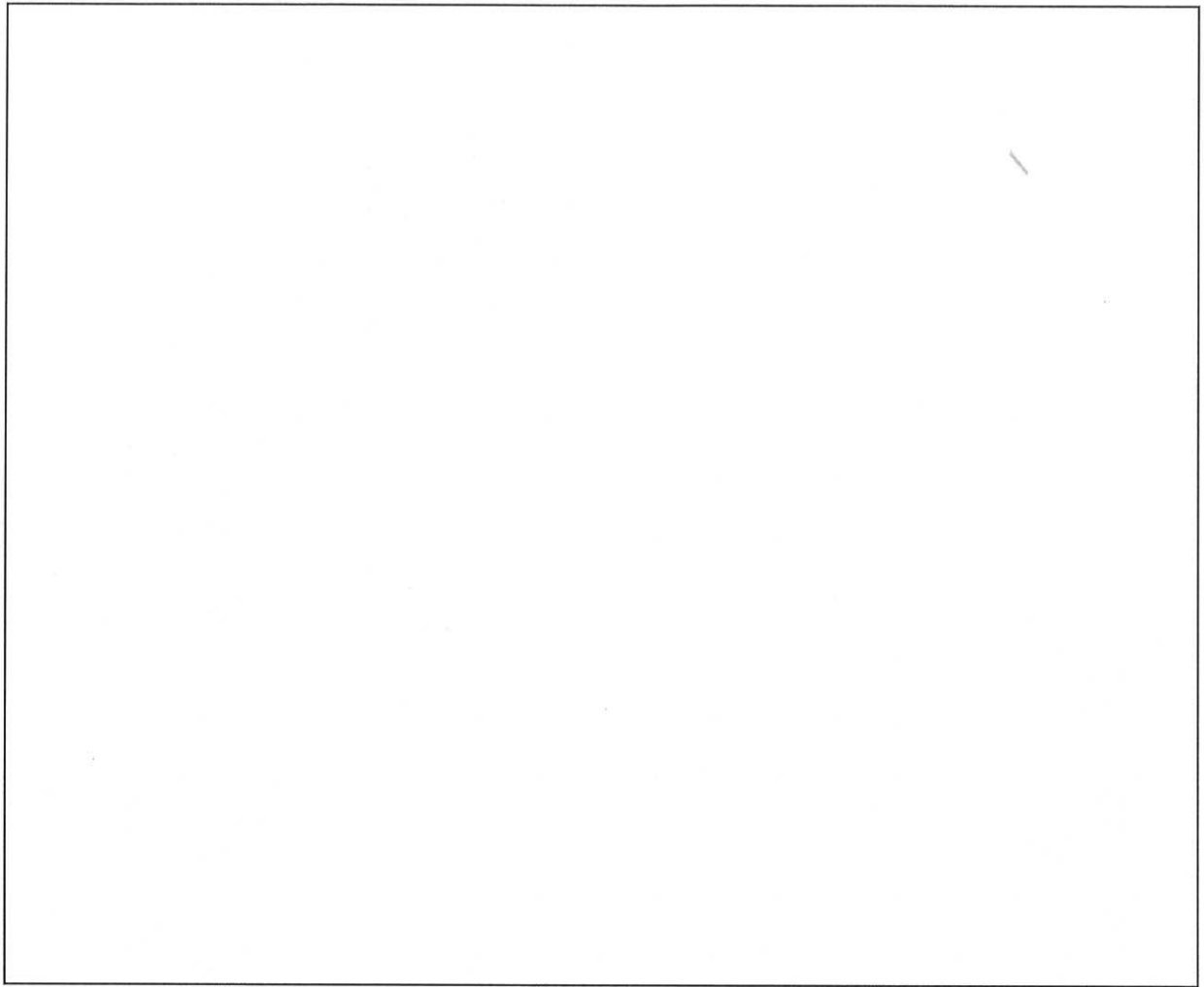
添説建 3-IV. 付 6-10 図 サイディング（東側）柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-11 図 サイディング（東側）間柱のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-12 図 サイディング（東側）梁のたわみと荷重及び変形エネルギー



添説建 3-IV. 付 6-13 図 第 1 廃棄物処理所東側の飛来物が想定される壁位置