

(4) 壁の単位面積当りの許容荷重

最大検定比 $R_{\max} = \max(R_4, R_5, R_6) = \max$

許容荷重 $w_a = w_{F1} / R_{\max} =$ N/m^2

以上より、対象 F1 竜巻荷重（短期）に対して、壁は健全である。

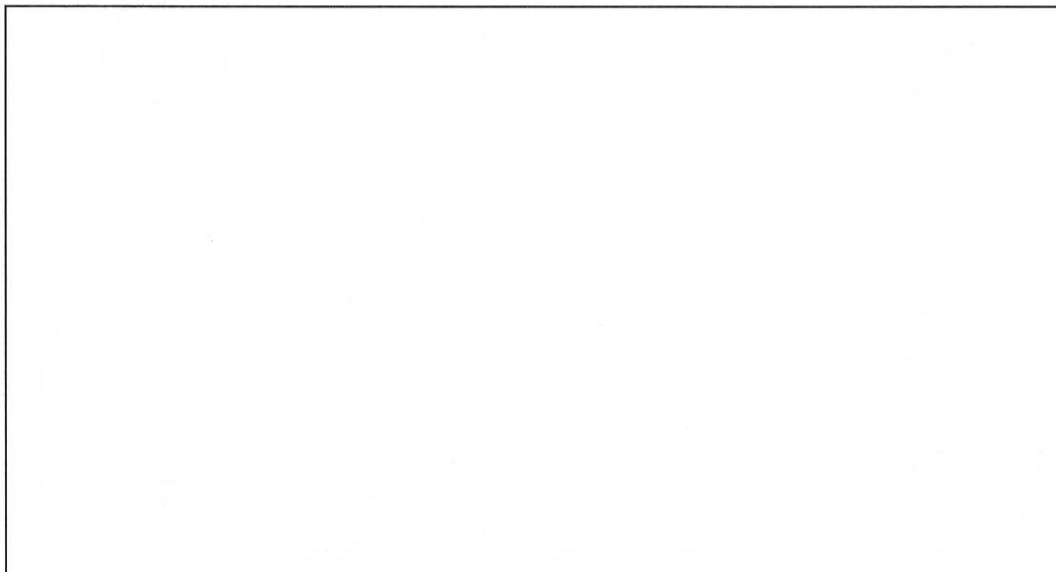
VIII. 独立遮蔽壁 竜巻防護設計計算書

1. 一般事項

構造物概要

- ・ 用途 : 遮蔽壁
- ・ 構造概要 構造種別 : RC 造
 - 基礎種別 : 杭基礎 (独立遮蔽壁 (1))
 - 直接基礎 (独立遮蔽壁 (2) ~ (5))
- ・ 耐震重要度 : 第 1 類 割増係数 = 1.5 (独立遮蔽壁 (1) ~ (4))
 - : 第 3 類 割増係数 = 1.0 (独立遮蔽壁 (5))
- ・ 配置、構造 : 独立遮蔽壁の配置図を添説建 3-VIII.1-1 図に、独立遮蔽壁 (1) 及び (2) の構造を添説建 3-VIII.5.2-2 図、添説建 3-VIII.5.3-2 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。



添説建 3-VIII.1-1 図 配置図

2. 適用基準

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (建築研究所)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)

3. 使用材料及び材料の許容応力度

鉄筋、コンクリート、地耐力の許容応力度は以下の通り。

鉄筋、コンクリートについては、添説建 3-VIII. 3-1 表～添説建 3-VIII. 3-4 表に示す。

(1) 鉄筋

添説建 3-VIII. 3-1 表 鉄筋の基準強度[F] (N/mm²)

鉄筋の種類		基準強度	鉄筋径
異形鉄筋		295	
		345	

添説建 3-VIII. 3-2 表 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

種 別	長 期			短 期		
	圧 縮	引 張	せん断	圧 縮	引 張	せん断
	195	195	195	295	295	295
	215	215	195	345	345	345

建築基準法施行令第 90 条

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による。

(2) コンクリート

添説建 3-VIII. 3-3 表 コンクリートの設計基準強度[F_c] (N/mm²)

コンクリート種別	設計基準強度	使用箇所
普通コンクリート	24.0	躯体全般

添説建 3-VIII. 3-4 表 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

材 料	長 期			短 期	
	圧 縮	せん断		圧 縮	せん断
	F _c /3	8.00	F _c /30 かつ 0.49+F _c /100 以下	0.73	16.00 1.09

建築基準法・同施行令・告示等

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による。

(3) 直接基礎部地盤の許容応力度

独立遮蔽壁 (2) ~ (5) は、地盤改良を行い、下記に示す地盤の許容応力度を確保する。

改良した地盤の許容応力度は、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号第 4 に準じた方法により確保する。

長期地耐力 σ_{La} (kN/m²) :

短期地耐力 σ_{Sa} (kN/m²) :

4. 設計荷重条件

(1) 竜巻荷重

フジタモデルによる F1 及び F3 竜巻時風圧評価により算定した各遮蔽壁に作用する竜巻荷重を添説建 3-VIII. 4-1 表に示す。

添説建 3-VIII. 4-1 表 竜巻荷重

独立遮蔽壁	(1)		(2)	(3)	(4)	(5)
	北側	南側				
F1 竜巻荷重 w_{F1} (Pa)						
F3 竜巻荷重 w_{F3} (Pa)						

(2) 鉄筋コンクリートの単位体積重量

γ_c (kN/m³) : 24 (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説による。)

(3) 埋め戻し土の単位体積重量

γ_s (kN/m³) : 20 (建築基礎構造設計指針より保守的に設定)

5. 独立遮蔽壁の検討

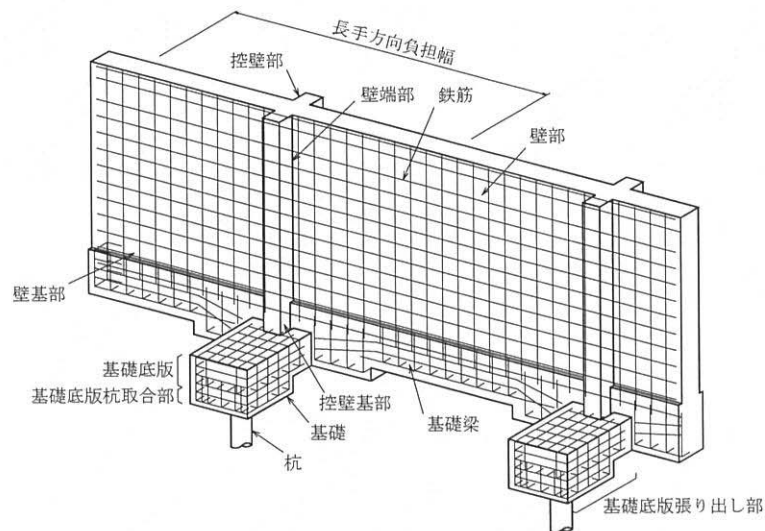
5.1. 設計方針

杭、壁、基礎底版の部材評価に当たっては、F1 竜巻荷重、F3 竜巻荷重による発生応力に対して短期許容応力、終局耐力との比較で評価する。

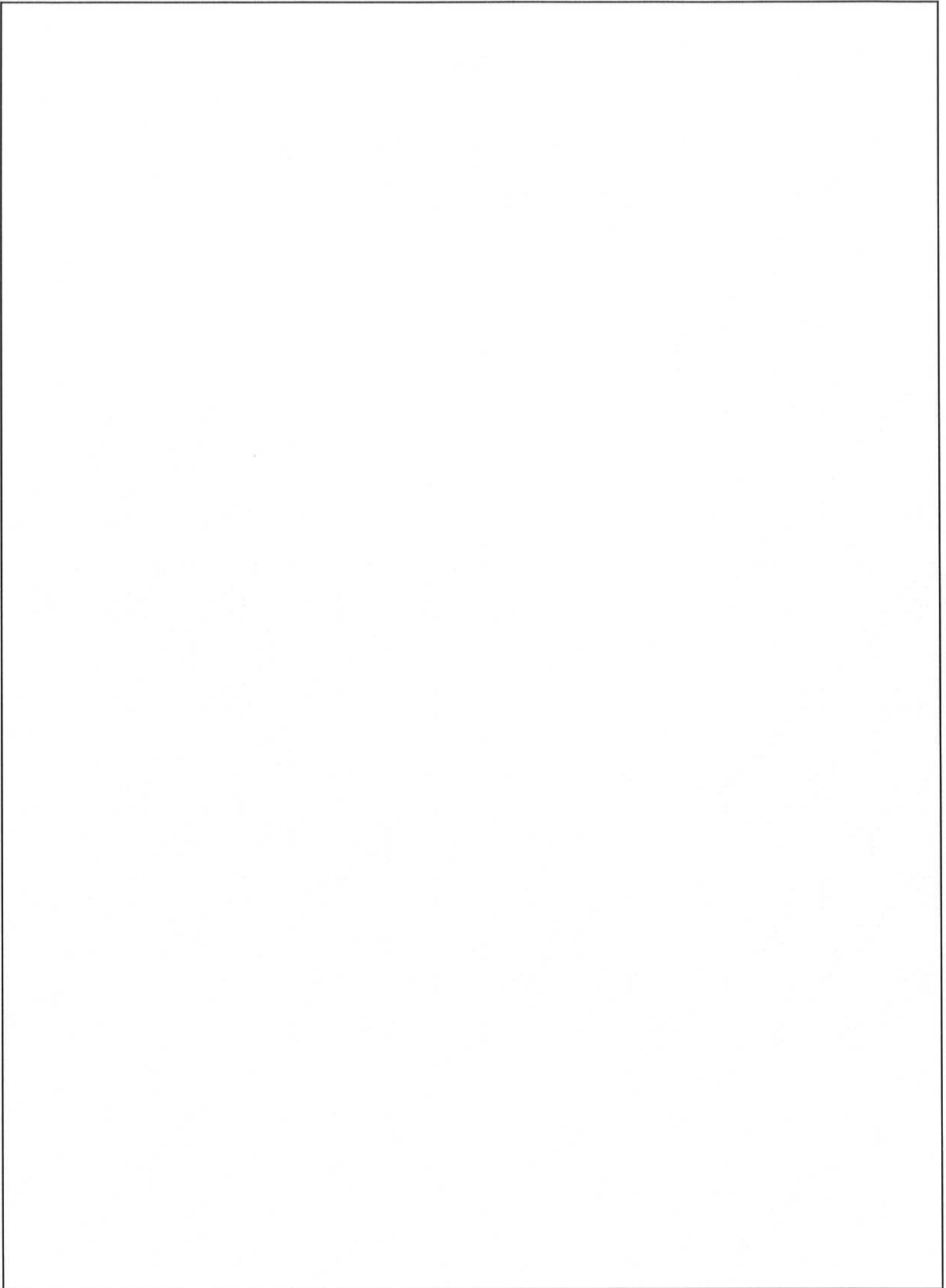
5.2. 独立遮蔽壁 (1) の検討諸元

(1) 構造概要図

構造概要図を添説建 3-VIII. 5.2-1 図に示す。



添説建 3-VIII. 5.2-1 図 構造概要図



添説建 3-VIII. 5. 2-2 図 独立遮蔽壁 (1) の伏図、構造断面図

(2) 構造寸法

独立遮蔽壁 (1) の構造及び諸元を添説建 3-VIII. 5. 2-1 表に示す。

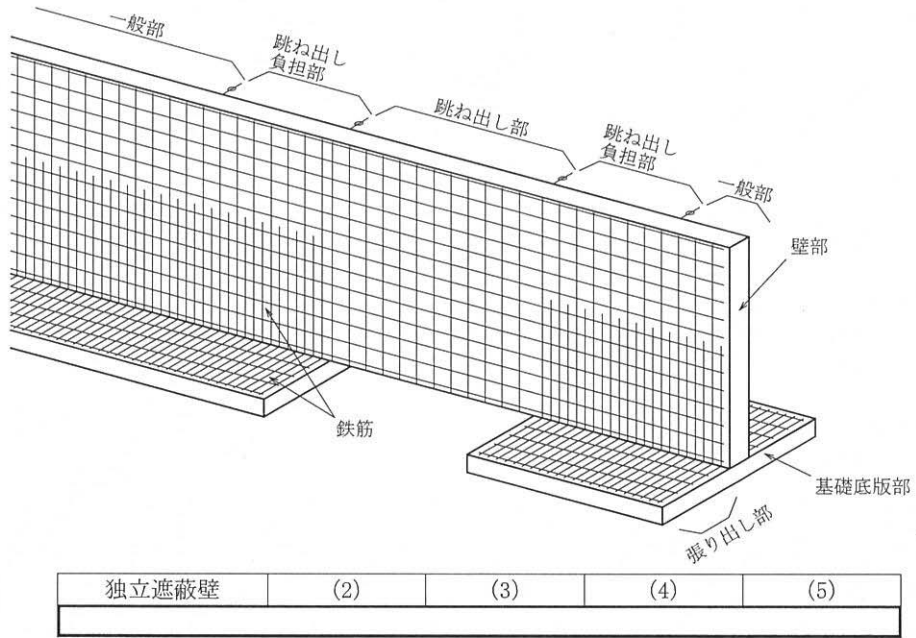
添説建 3-VIII. 5. 2-1 表 諸元一覧

独立遮蔽壁 (1)		北側	南側
壁長手方向負担幅	B (m)		
単位幅	B ₀ (m)		
基礎底版幅	B ₁ (m)		
基礎梁端部長さ	B ₂ (m)		
仕上げコンクリート厚さ×2	t ₁ (m)		
壁厚さ	t ₂ (m)		
控壁厚さ	t ₃ (m)		
壁高さ	H ₁ (m)		
基礎梁上端～設計 GL-70	H ₂ (m)		
設計 GL-70～基礎梁端部下端	H ₃ (m)		
設計 GL-70～基礎梁中央部下端	H ₄ (m)		
基礎底版高さ	H ₅ (m)		
基礎底版杭取合部高さ	H ₆ (m)		
基礎底版幅	L ₁ (m)		
基礎底版張り出し	L ₂ (m)		
基礎梁幅 (仕上げコンクリート含む)	L ₃ (m)		
控壁幅	L ₄ (m)		
基礎底版杭取合い部	L ₅ (m)		
杭間隔	L ₆ (m)		
杭径	D (m)		

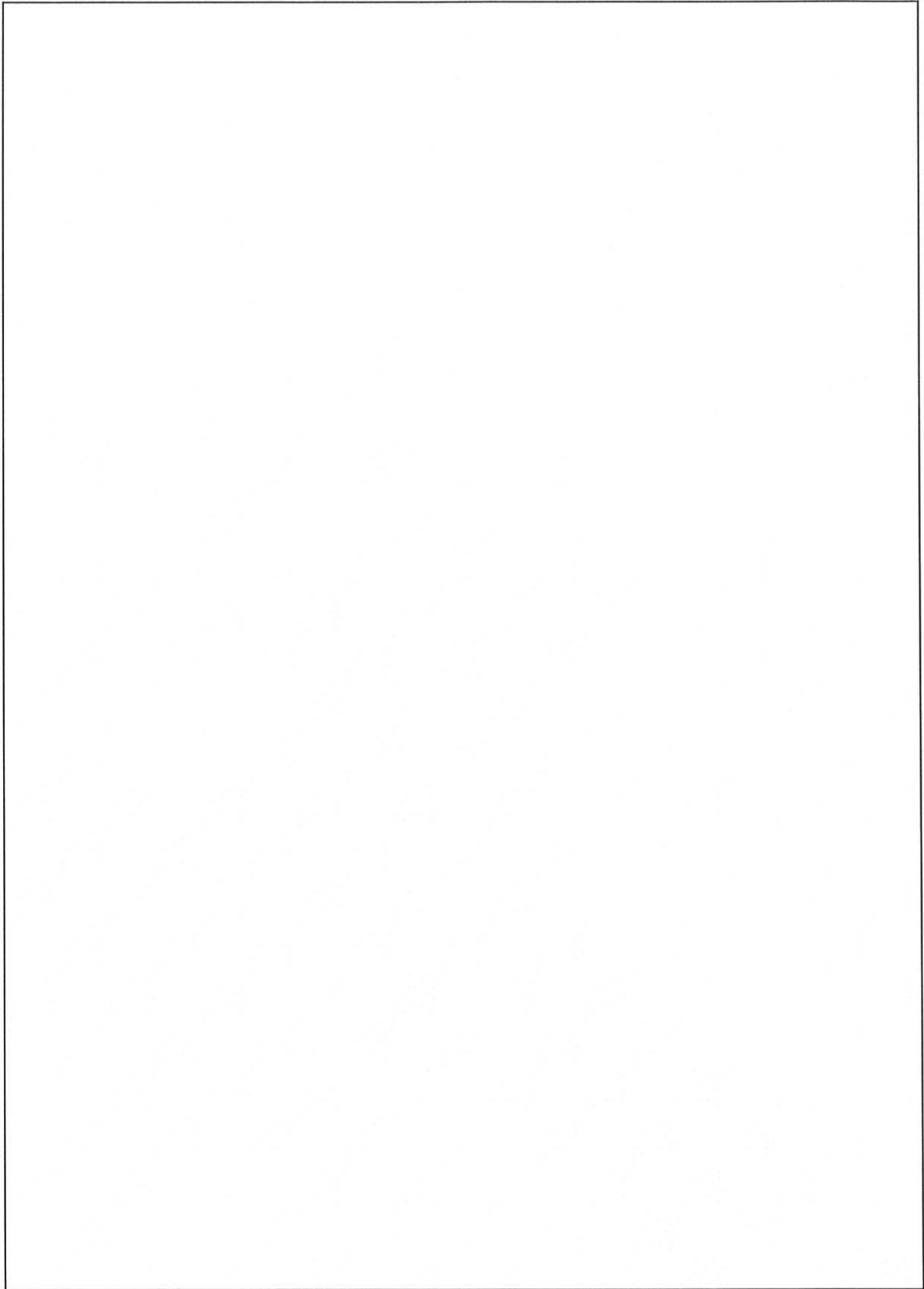
5.3. 独立遮蔽壁 (2) ~ (5) の検討諸元

(1) 構造概要図

構造概要図を添説建 3-VIII. 5.3-1 図に示す。



添説建 3-VIII. 5.3-1 図 検討位置



添説建 3-VIII. 5. 3-2 図 独立遮蔽壁 (2) の伏図、構造断面図

(2) 構造寸法

独立遮蔽壁 (2) ～ (5) の構造及び諸元を添説建 3-VIII. 5. 3-1 表に示す。

添説建 3-VIII. 5. 3-1 表 諸元一覧

<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>							
		独立遮蔽壁		(2)	(3)	(4)	(5)
		壁長手方向単位長さ	B_0 (m)				
		壁厚さ	t_1 (m)				
		仕上げコンクリート厚さ×2	t_2 (m)				
		壁高さ	H_1 (m)				
		基礎底版上端部～設計 GL	H_2 (m)				
		設計 GL～壁上端高さ	H_3 (m)				
		基礎底版厚さ	t_3 (m)				
		基礎底版幅	L_1 (m)				
基礎底版張り出し	L_2 (m)						

5.4. 竜巻荷重と地震荷重の比較

竜巻荷重のうち、最も厳しいものは添説建 3-VIII.4-1 表より、独立遮蔽壁 (2) の F3 竜巻荷重 $w_{F3} = \square$ Pa である。

これに対し独立遮蔽壁に作用する地震荷重は「添付説明書ー建 2 VIII. 独立遮蔽壁 耐震計算書」より、水平地震力 0.3G である。

ここで、独立遮蔽壁の最も薄い壁部の水平地震力を算出する。

水平地震力 (地上部) K_H	:	<input type="text"/>
鉄筋コンクリートの単位体積重量 $\gamma_c (N/m^3)$:	<input type="text"/>
独立遮蔽壁厚 $t (m)$:	<input type="text"/>
仕上げコンクリート厚さ $\times 2$ $t_1 (m)$:	<input type="text"/>

壁単位面積当り地震時水平力

$$\begin{aligned}
 w_E &= \gamma_c \times (t + t_1) \times K_H \\
 &= \square \\
 &= \square \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

最大 F3 竜巻荷重 (独立遮蔽壁 (2)) : \square Pa < 単位面積当り最小水平地震力 (壁部) : \square Pa

また、構造各部の検討においては、F3 竜巻荷重時は終局耐力評価となるのに対し、地震荷重時は短期の許容応力評価となる。

以上より、独立遮蔽壁の検討において竜巻荷重は水平地震力に包絡されるので、竜巻荷重時における各部構造検討は省略する。

IX. 工場棟及び付属建物鉄扉説明書

1. 概要

付属建物の第1廃棄物処理所、第2廃棄物処理所、シリンダ洗浄棟、原料貯蔵所、第3廃棄物倉庫における竜巻対応鉄扉は、既設の鉄扉を補強して竜巻荷重に対応させる「補強鉄扉」が13箇所、第2廃棄物処理所の既設アルミ扉を新規に交換する扉と第1廃棄物処理所前室の「新設鉄扉」が3箇所の合計16箇所で構成される。

また、工場棟の転換工場、組立工場及び付属建物の容器管理棟、除染室・分析室、シリンダ洗浄棟、原料貯蔵所においては、既設鋼製シャッタをF3竜巻荷重に対応させるために新規に交換、もしくは鋼製シャッタに隣接して設置する大型の「新設鉄扉」が6箇所ある。

これらの鉄扉について、本説明書で強度検討を行う。

本説明書では、補強鉄扉、新設鉄扉、大型の新設鉄扉の各タイプについて扉面積が最大となる鉄扉を代表例に検討詳細を示すものとし、それ以外の検討結果については、一覧表の形式にて記載する。

検討の結果、全ての竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全である。

2. 工場棟及び付属建物鉄扉の検定比及び鉄扉配置図

2.1. 各建物 検定比最大鉄扉一覧

竜巻荷重に対する鉄扉の強度評価において、各建物の検定比最大鉄扉を添説建 3-IX. 2.1-1 表に示す。

添説建 3-IX. 2.1-1 表 各建物 検定比最大鉄扉一覧

	鉄扉部位	項目	記号	単位	組立工場	転換工場	容器管理棟	除染室・分析室	第1廃棄物処理所				
					SD-17	SD-2	SD-221	SD-220	SD-74				
					新設	新設	新設	新設	補強				
					両開	両開	両開	両開	両開				
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²									
		F3	q_3	N/m ²									
	扉	幅	W	mm									
		高さ	H	mm									
		厚み	T	mm									
表面板厚		t	mm										
評価	許容荷重(q_{1a}, q_{3u}) 検定比(K_1, K_3)	F1	q_{1a}	N/m ²									
			K_1	—									
		判定											
		F3	q_{3u}	N/m ²									
			K_3	—									
			判定		OK	OK	OK	OK	OK				

	鉄扉部位	項目	記号	単位	第1廃棄物処理所前室	第2廃棄物処理所	シリンダ洗浄棟	原料貯蔵所	第3廃棄物倉庫				
					SD-34	SD-36	SD-40	SD-42	SD-90				
					新設	補強	補強	補強	補強				
					両開	両開	片開	片開	片開				
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²									
		F3	q_3	N/m ²									
	扉	幅	W	mm									
		高さ	H	mm									
		厚み	T	mm									
表面板厚		t	mm										
評価	許容荷重(q_{1a}, q_{3u}) 検定比(K_1, K_3)	F1	q_{1a}	N/m ²									
			K_1	—									
		判定											
		F3	q_{3u}	N/m ²									
			K_3	—									
			判定		OK	OK	OK	OK	—				

2.2. 鉄扉配置図

工場棟及び付属建物竜巻対応鉄扉の配置については、本文図イ建-1-6、本文図イ建-3-2、図ト建-4-4及び図へ建-1-4に示す。

3. 使用材料

鋼材の設計基準強度を添説建 3-IX. 3-1 表に示す。

添説建 3-IX. 3-1 表 鋼材の設計基準強度[F]

鋼材の種別	基準強度
	235 [*] N/mm ²

t ≤ 40^{*}mm (鉄扉の部材は厚さ 40mm 以下)

※鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会)

4. 鉄扉の強度評価方法

(1) 評価方針

竜巻対応鉄扉の評価に当たっては、竜巻荷重が作用する以下の構成要素について、作用応力が耐力より小さいことを確認する。

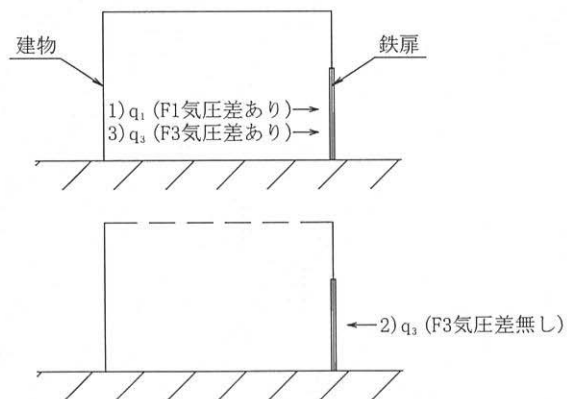
補強鉄扉については、作用応力が耐力より大きい部分に対し、追加補強材を取り付け、耐力を増加させるものとする。

- ・鉄扉表面板
- ・鉄扉内部構造材
- ・鉄扉扉枠
- ・フランス落とし、グレモンピン

(2) 設計荷重

鉄扉の強度評価に使用する竜巻荷重 (各建物の局部評価用荷重のうち鉄扉への荷重) を添説建 3-IX. 4-1 図に示す。

- 1) F1 竜巻荷重 気圧差ありの場合 : $q_1 = \square$ N/m²
- 2) F3 竜巻荷重 気圧差無しの場合 : $q_3 = \square$ N/m²
- 3) F3 竜巻荷重 気圧差ありの場合 : $q_3 = \square$ N/m²



添説建 3-IX. 4-1 図 鉄扉の竜巻荷重の作用方向

(3) 許容耐力

短期許容曲げ耐力(F1の場合)

$$F(\text{基準強度}) = 235 \text{ (N/mm}^2\text{)} : \boxed{}$$

Z : 弾性断面係数 (mm³)

$$M_{1a} = F \times Z = 235 \times Z \text{ (N}\cdot\text{mm)}$$

終局曲げ耐力(F3の場合)

$$F_y = F(\text{基準強度}) \times 1.1 = 235 \times 1.1 = 258 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Z_p : 塑性断面係数 (mm³)

$$M_{3u} = F_y \times Z_p = 258 \times Z_p \text{ (N}\cdot\text{mm)}$$

短期許容せん断耐力(F1の場合)

A : せん断応力抵抗断面積 (mm²)

$$S_{1a} = \frac{F}{\sqrt{3}} \times A = 135 \times A \text{ (N)}$$

終局せん断耐力(F3の場合)

A : せん断応力抵抗断面積 (mm²)

$$S_{3u} = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \times A = \frac{F \times 1.1}{\sqrt{3}} \times A = 149 \times A \text{ (N)}$$

(4) 適用基準

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会)
- ・ 鋼構造塑性設計指針 (日本建築学会)
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- ・ 構造力学公式集 (土木学会)

5. 補強鉄扉の検討

5.1. 鉄扉概要

下記の付属建物において、既設の扉に補強することで、竜巻対応させる補強鉄扉の一覧を添説建3-IX.5.1-1表に示す。

なお、本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。

- | | | | |
|-------------|------|------------|------|
| 第1廃棄物処理所 1F | : 2扉 | シリンダ洗浄棟 2F | : 1扉 |
| 第2廃棄物処理所 1F | : 4扉 | 原料貯蔵所 1F | : 1扉 |
| 第2廃棄物処理所 2F | : 1扉 | 第3廃棄物倉庫 1F | : 1扉 |
| シリンダ洗浄棟 1F | : 3扉 | | |

添説建3-IX.5.1-1表 竜巻対応 補強鉄扉一覧

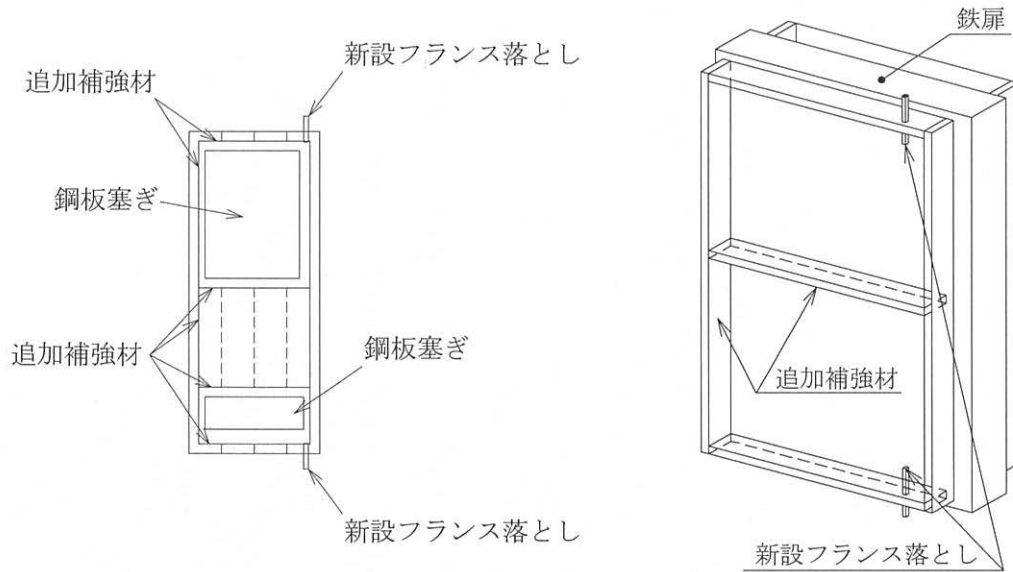
付属建物名	扉番号	場所	形式	扉幅 W (mm)	扉高さ H (mm)	竜巻荷重	
						スケール	強度 (N/m ²)
第1廃棄物 処理所	1F	SD-35	B-C通り間前室-屋外	片開			
		SD-74	第1廃棄物処理所-渡り廊下	両開	親扉 子扉		
第2廃棄物 処理所	1F	SD-36	廃棄物プレス室-屋外	両開	親扉 子扉		
		SD-38	倉庫-屋外	両開	親扉 子扉		
		SD-75	廃棄物プレス室-渡り廊下	両開	親扉 子扉		
		SD-76	前室-渡り廊下	片開			
	2F	SD-78	給気室-屋外	両開	親扉 子扉		
シリンダ 洗浄棟	1F	SD-40	洗浄室-前室	片開			
		SD-79	洗浄室-渡り廊下	片開			
		SD-81	前室-屋外	片開			
	2F	SD-147	排気室-スタック	片開			
原料貯蔵所	1F	SD-42	建物入口	片開			
第3廃棄物 倉庫	1F	SD-90	建物入口	片開			

5.2. 竜巻対応鉄扉補強内容

(1) 鉄扉の補強概要

鉄扉の補強内容を添説建 3-IX. 5. 2-1 図及び以下に示す。

- 1) 扉枠追加補強材の取付 : 扉枠フレームの耐力増加
- 2) フランス落としの新設 : 鉄扉に作用する竜巻荷重に対する支持点の付与
- 3) 鋼板による開口部塞ぎ : ガラス窓、ガラリ部の耐力増加



添説建 3-IX. 5. 2-1 図 鉄扉補強内容例

(2) 鉄扉補強位置

各扉の追加補強位置一覧を添説建 3-IX. 5. 2-1 表に示す。

両開き

添説建 3-IX. 5. 2-1 表 鉄扉追加補強位置一覧(1/4)

鉄扉番号	SD-74	SD-36
竜巻荷重	F3	F3
補強材配置		
扉厚		

両開き

添説建 3-IX. 5.2-1 表 鉄扉追加補強位置一覧(2/4)

鉄扉番号	SD-38	SD-75
竜巻荷重	F3	F3
補強材 配 置		
扉 厚		

鉄扉番号	SD-78
竜巻荷重	F3
補強材 配 置	
扉 厚	

片開き

添説建 3-IX. 5.2-1 表 鉄扉追加補強位置一覧(3/4)

鉄扉番号	SD-35	SD-76
竜巻荷重	F3	F3
補強材 配 置		
扉 厚		

片開き

添説建 3-IX. 5. 2-1 表 鉄扉追加補強位置一覧(4/4)

鉄扉番号	SD-40	SD-79
竜巻荷重	F3	F3
補強材 配 置		
扉 厚		

鉄扉番号	SD-81	SD-147
竜巻荷重	F1	F3
補強材 配 置		
扉 厚		

鉄扉番号	SD-42	SD-90
竜巻荷重	F3	F1
補強材 配 置		
扉 厚		

5.3. 補強鉄扉の強度評価

補強鉄扉の竜巻に対する強度検討に当たっては、F3 荷重が作用する扉のうち、扉面積が最大となる第2 廃棄物処理所 1F SD-36 に着目し、検討詳細を示す。

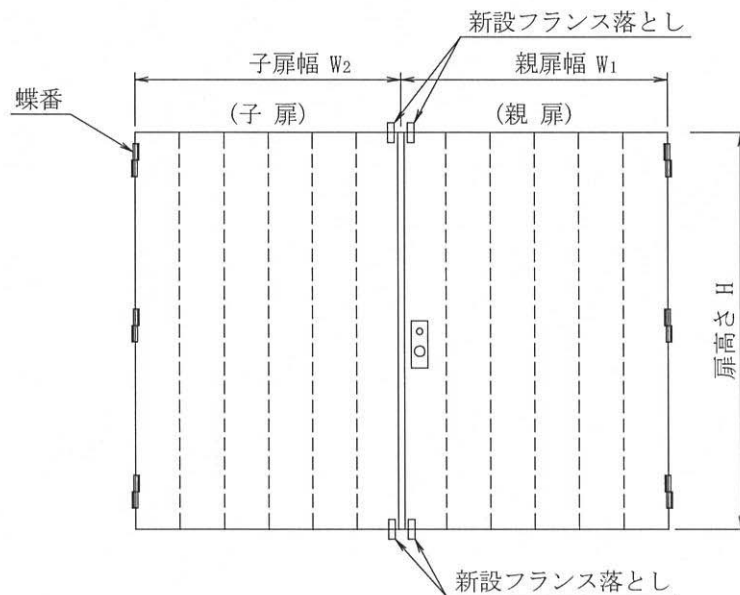
また、SD-36 以外の鉄扉については、同様方法による検討結果を添説建 3-IX. 5. 5-1 表に記載する。

(1) 鉄扉の寸法諸元

鉄扉 SD-36 の寸法諸元を添説建 3-IX. 5. 3-1 表に、構造概要を添説建 3-IX. 5. 3-1 図に示す。

添説建 3-IX. 5. 3-1 表 鉄扉 SD-36 の寸法諸元

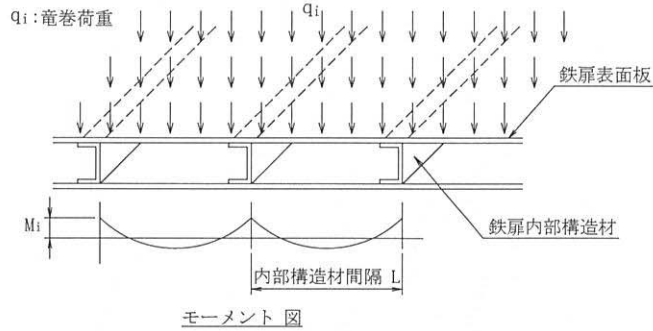
大項目	小項目	名称	記号	数値	単位	備考
荷重	短期荷重	竜巻荷重 F1	q_1		N/m ²	
	終局荷重	竜巻荷重 F3	q_3		N/m ²	
寸法諸元	扉	幅	W_1, W_2		mm	
		高さ	H		mm	
		厚さ	T		mm	
		表面板厚	t		mm	
		内部構造材板厚	t_1		mm	
		内部構造材ピッチ	L		mm	実測平均寸法+20mm
新設フランス落とし	ピン寸法	S_f	mm			



添説建 3-IX. 5. 3-1 図 鉄扉 SD-36 の構造概要

(2) 鉄扉の表面板の曲げ強度

鉄扉内部構造材で支持された鉄扉表面板が竜巻荷重を受けた場合に発生する曲げ応力に対して検討する。鉄扉表面には添説建 3-IX. 5. 3-2 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 5. 3-2 図 鉄扉表面板の荷重負担

竜巻荷重 q_i :

F1 竜巻荷重 : q_1

F3 竜巻荷重 : q_3

表面板の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{12} \times q_i \times L^2 \quad (\text{両端固定条件、単位幅 1mm 当り}) \quad (i = 1, 3)$$

弾性断面係数 Z

$$Z = \frac{t^2}{6} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

塑性断面係数 Z_p

$$Z_p = \frac{t^2}{4} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z$ (単位幅 1mm 当り)

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_p$ (単位幅 1mm 当り)

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5. 3-2 表に示す。

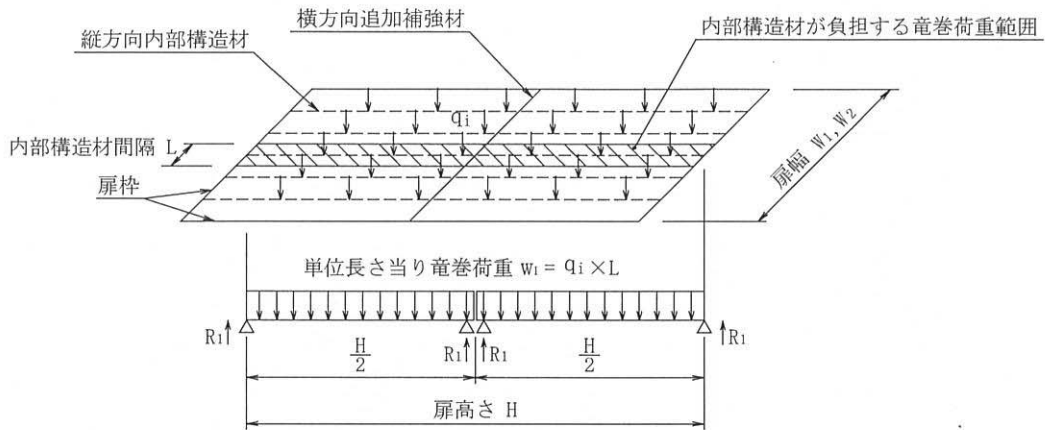
添説建 3-IX. 5. 3-2 表 鉄扉表面板の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	t (mm)	M_1, M_3 ($\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$)	F, F_y (N/mm^2)	Z, Z_p (mm^3/mm)	M_{1a}, M_{3u} ($\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

(3) 鉄扉の内部構造材強度

鉄扉表面板を支持する内部構造材は、扉枠に支持された梁として検討する。
鉄扉内部構造材には添説建 3-IX. 5.3-3 図に示す荷重が作用する。

縦方向内部構造材（鉛直方向）



添説建 3-IX. 5.3-3 図 鉄扉内部構造材の荷重負担範囲

縦方向内部構造材の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_1 \times \left(\frac{H}{2}\right)^2 = \frac{q_i \times L \times H^2}{32} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z_{DS1}$

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_{DS1}$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5.3-3 表に示す。

添説建 3-IX. 5.3-3 表 鉄扉内部構造材の強度検討

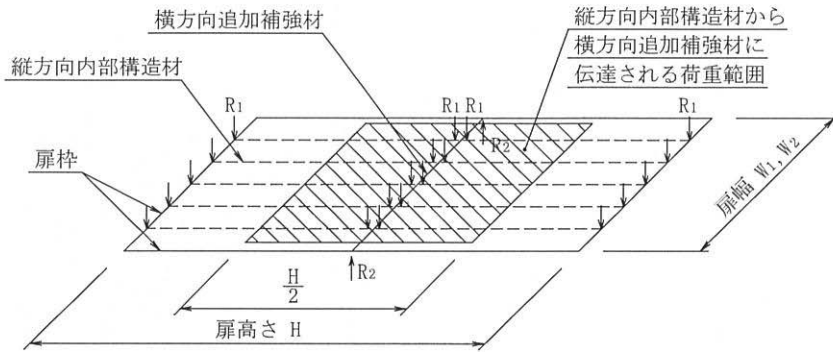
ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	L (mm)	H (mm)	M_1, M_3 (N・m)	F, F_y (N/mm ²)	Z_{DS1} (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N・m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1									
F3									

Z_{DS1} : 縦方向内部構造材の弾性断面係数

(4) 鉄扉の横方向補強材強度

鉄扉追加補強材には添説建 3-IX. 5.3-4 図に示す荷重が作用する。

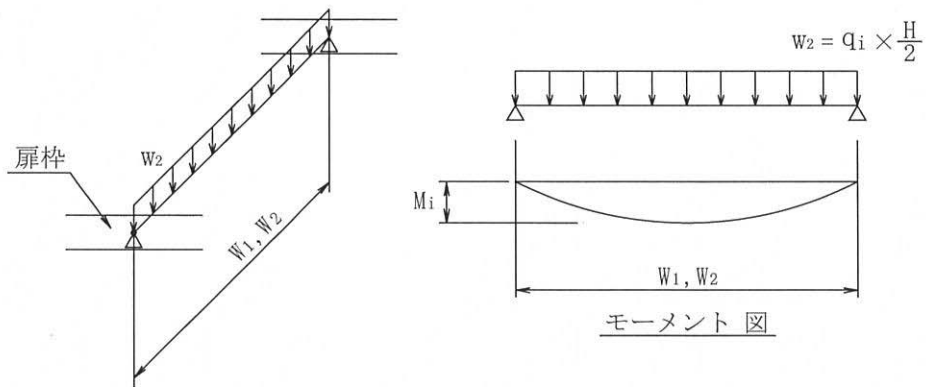
横方向追加補強材（水平方向）



添説建 3-IX. 5.3-4 図 鉄扉横方向追加補強材の荷重負担範囲

縦方向内部構造材反力を扉枠に支持された横方向追加補強材に負担させる。

添説建 3-IX. 5.3-5 図に示す梁モデルとし、曲げ応力については安全側に梁全長の等分布荷重として検討する。

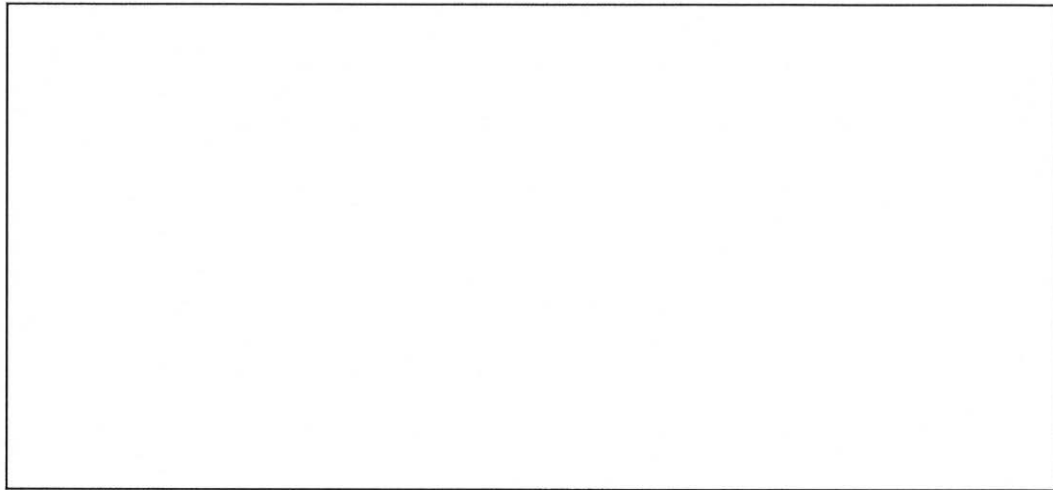


添説建 3-IX. 5.3-5 図 鉄扉横方向追加補強材の梁モデル

横方向追加補強材の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_2 \times W_1^2 = \frac{1}{16} \times q_i \times H \times W_1^2 \quad (i = 1,3)$$

添説建 3-IX. 5. 3-6 図に示すように横方向追加補強材を鉄扉両面に配置する。



添説建 3-IX. 5. 3-6 図 鉄扉横方向追加補強材の配置

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DS2}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDS2}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5. 3-4 表に示す。

添説建 3-IX. 5. 3-4 表 鉄扉横方向追加補強材の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	M_1, M_3 (N・m)	F, F_y (N/mm ²)	Z_{DS2}, Z_{PDS2} (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N・m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1									
F3									

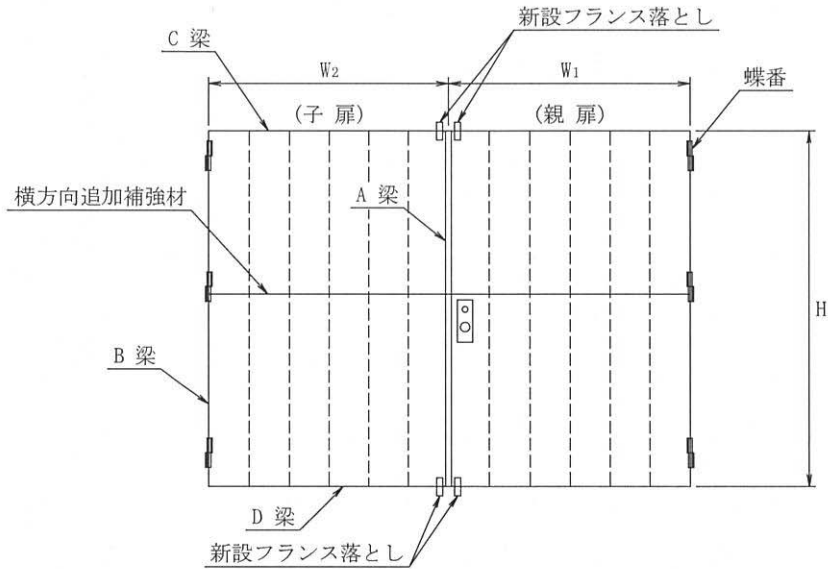
Z_{DS2} : 横方向追加補強材の弾性断面係数

Z_{PDS2} : 横方向追加補強材の塑性断面係数

(5) 鉄扉の扉枠強度

横方向追加補強材を支持する扉枠について、蝶番及びフランス落としを支点とした梁として検討する。

鉄扉の扉枠梁材の名称を添説建 3-IX. 5. 3-7 図に示す。



添説建 3-IX. 5. 3-7 図 鉄扉の扉枠梁材の名称

1) 親扉の検討

鉄扉の側部扉枠 A、B、頂部扉枠 C 及び底部扉枠 D の各梁について検討する。

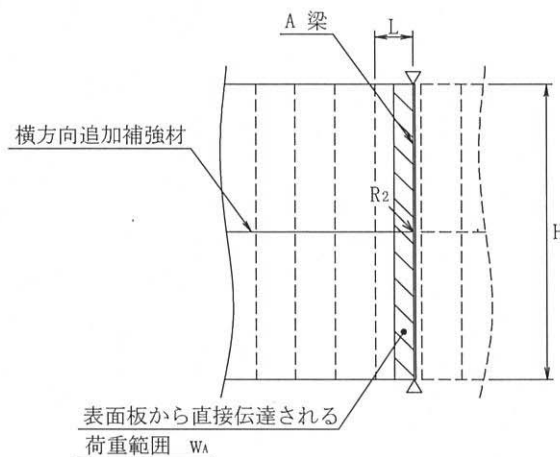
a) 側部（召し合わせ側）扉枠 A 梁

扉枠 A 梁には、添説建 3-IX. 5. 3-8 図に示す荷重が作用する。

- ・ 表面板から直接伝達される荷重 w_A
- ・ 横方向追加補強材の反力として伝達される荷重 R_2

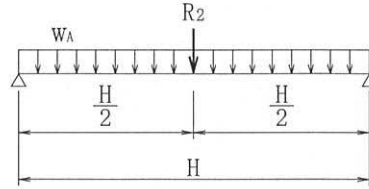
$$w_A = q_i \times \frac{L}{2}$$

$$R_2 = \frac{q_i \times H \times (W_1 - L)}{4}$$



添説建 3-IX. 5. 3-8 図 側部扉枠 A 梁の荷重負担範囲

添説建 3-IX. 5. 3-9 図に示す梁モデルとして検討する。



添説建 3-IX. 5. 3-9 図 側部扉枠 A 梁の梁モデル

扉枠 A 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{w_A \times H^2}{8} + \frac{R_2 \times H}{4} = \frac{q_i \times H^2 \times W_1}{16} \quad (i = 1, 3)$$

扉枠 A 梁については鉄扉両面に添説建 3-IX. 5. 3-10 図に示す追加補強材による断面補強を実施する。



添説建 3-IX. 5. 3-10 図 側部扉枠 A 梁の追加補強材の配置

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DA}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDA}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5. 3-5 表に示す。

添説建 3-IX. 5. 3-5 表 側部扉枠 A 梁の強度検討

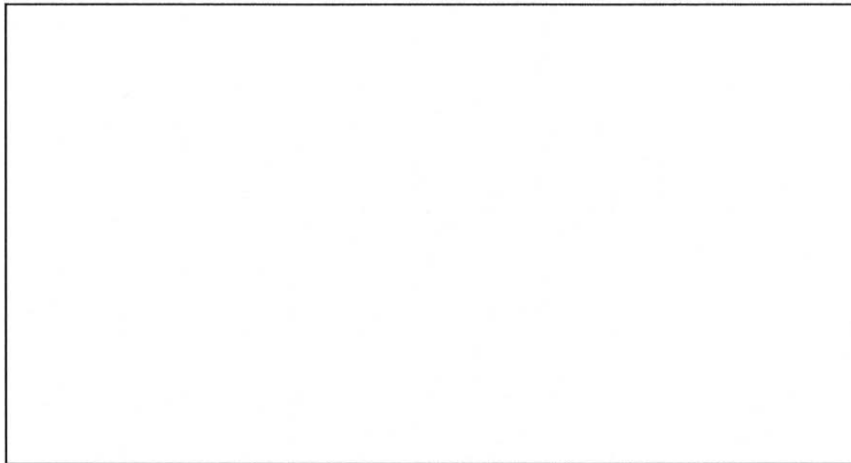
ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	H (mm)	W_1 (mm)	M_1, M_3 ($\text{N}\cdot\text{m}$)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DA}, Z_{PDA} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} ($\text{N}\cdot\text{m}$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1										
F3										

Z_{DA} : 扉枠 A 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDA} : 扉枠 A 梁の補強後の塑性断面係数

b) 側部 (蝶番側) 扉枠 B 梁

扉枠 B 梁の作用荷重は扉枠 A 梁と同じであり、扉枠 A 梁と同様に扉枠 B 梁についても添説建 3-IX. 5. 3-11 図に示す追加補強材 による断面補強を実施するものとし、検討を省略する。

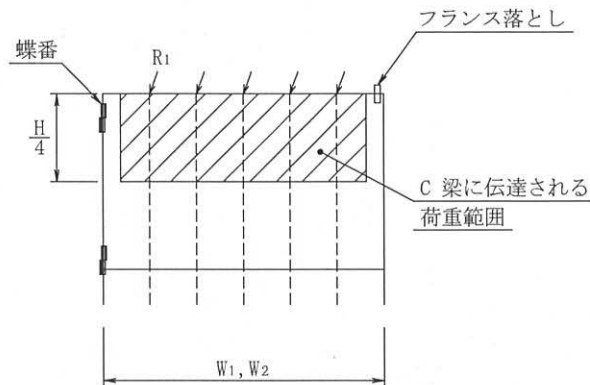


添説建 3-IX. 5. 3-11 図 側部扉枠 B 梁の追加補強材の配置

c) 頂部扉枠 C 梁

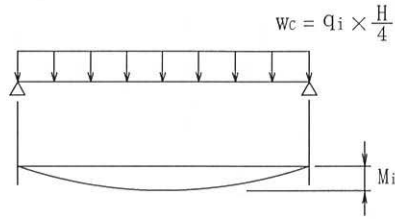
扉枠 C 梁には添説建 3-IX. 5. 3-12 図に示す荷重が作用する。

縦方向内部構造材の反力として伝達される荷重 R_1



添説建 3-IX. 5. 3-12 図 頂部扉枠 C 梁の荷重負担範囲

添説建 3-IX. 5. 3-13 図に示す梁モデルとし、曲げ応力については安全側に梁全長の等分布荷重として検討する。

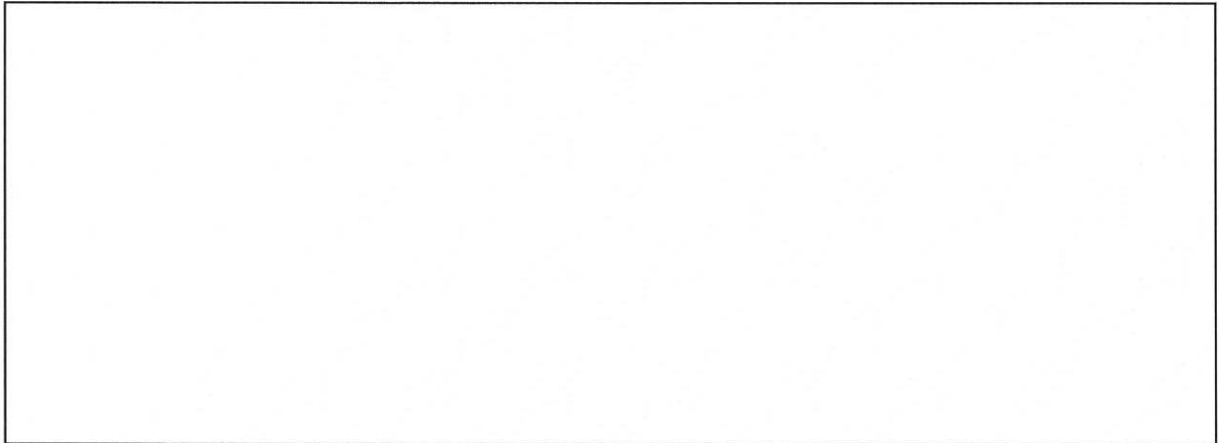


添説建 3-IX. 5. 3-13 図 頂部扉枠 C 梁の梁モデル

扉枠 C 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_c \times W_1^2 = \frac{q_i \times H \times W_1^2}{32} \quad (i = 1, 3)$$

添説建 3-IX. 5. 3-14 図に示すように扉枠 A 梁と同様に扉枠 C 梁についても追加補強材 による断面補強を実施する。



添説建 3-IX. 5. 3-14 図 頂部扉枠 C 梁の追加補強材の配置

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DC}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDC}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5. 3-6 表に示す。

添説建 3-IX. 5. 3-6 表 頂部扉枠 C 梁の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	H (mm)	W_1 (mm)	M_1, M_3 ($N \cdot m$)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DC}, Z_{PDC} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} ($N \cdot m$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

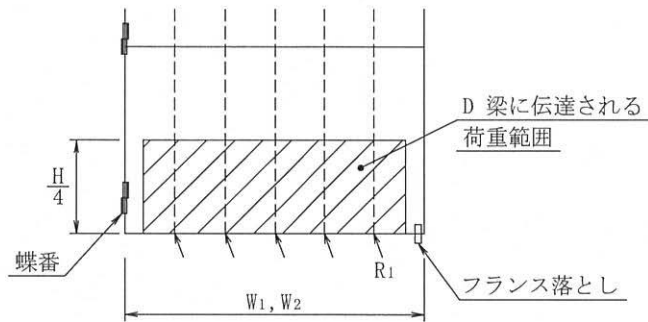
Z_{DC} : 扉枠 C 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDC} : 扉枠 C 梁の補強後の塑性断面係数

d) 底部扉枠 D 梁

扉枠 D 梁には添説建 3-IX. 5. 3-15 図に示す荷重が作用する。

- ・縦方向内部構造材の反力として伝達される荷重 R_1

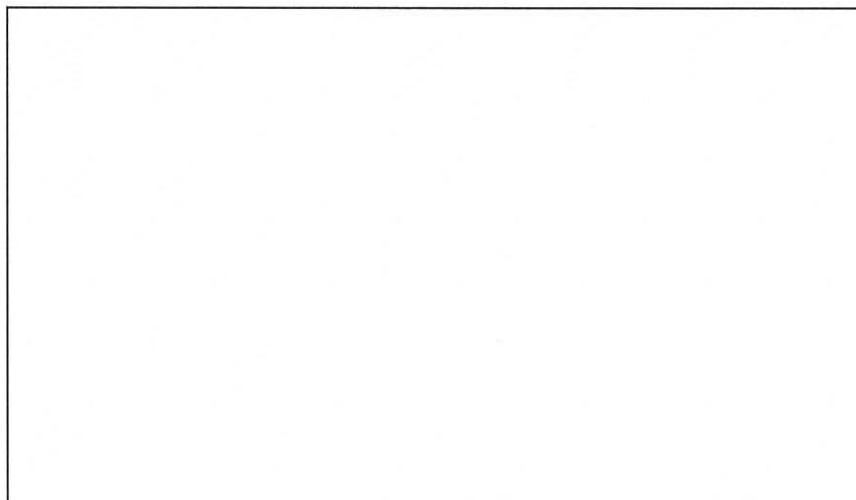


添説建 3-IX. 5. 3-15 図 底部扉枠 D 梁の荷重負担範囲

扉枠 D 梁の作用荷重は扉枠 C 梁と同じであり、扉枠 C 梁と同様に扉枠 D 梁についても追加補強材 による断面補強を実施するものとし、検討を省略する。

(6) 新設フランス落としの検討

添説建 3-IX. 5. 3-16 図に示すように鉄扉に作用する荷重の 1/2 については、鉄扉上下に追加する新設フランス落としが全て負担するものとし、ピンの必要最小寸法を確認する。

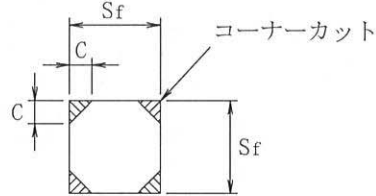


添説建 3-IX. 5. 3-16 図 新設フランス落としの荷重負担範囲

添説建 3-IX. 5. 3-17 図に新設フランス落としの断面形状を示す。

新設するフランス落としピンの断面積 A_f

$$A_f = S_f^2 - 2 \times C^2$$



添説建 3-IX. 5. 3-17 図 新設フランス落としの断面形状

ピンの形状係数 κ (矩形断面 1.5) “構造力学公式集, 土木学会” より

新設するフランス落としに作用する荷重 R_{fi}

$$R_{fi} = \kappa \times \frac{q_i \times H \times W_1(W_2)}{4} \quad (i = 1, 3)$$

せん断耐力 S_{1a}, S_{3u}

$$\text{短期許容せん断耐力 } S_{1a} = \square \times A_f$$

$$\text{終局せん断耐力 } S_{3u} = \square \times A_f$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{R_{f1}}{S_{1a}}, \quad K_3 = \frac{R_{f3}}{S_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 5. 3-7 表に示す。

添説建 3-IX. 5. 3-7 表 新設フランス落としの強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1, W_2 (mm)	S_f (mm)	C (mm)	k	R_{f1}, R_{f3} (N)	A_f (mm ²)	$\frac{F/\sqrt{3}}{F_y/\sqrt{3}}$ ※ (N/mm ²)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1												
F3												

W_1 : 親扉幅

W_2 : 子扉幅

※ : $F_y/\sqrt{3} = F \times 1.1/\sqrt{3}$

5.4. 各付属建物の新設フランス落としの検討

計算結果を添説建 3-IX. 5.4-1 表～添説建 3-IX. 5.4-4 表に示す。

第1 廃棄物処理所

添説建 3-IX. 5.4-1 表 新設フランス落としの強度検討

番号	ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	S_f (mm)	C (mm)	k	R_{f1}, R_{f3} (N)	A_f (mm ²)	$F/\sqrt{3}$ $F_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
SD-74	F1												
	F3												

シリンダ洗浄棟

添説建 3-IX. 5.4-2 表 新設フランス落としの強度検討

番号	ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	S_f (mm)	C (mm)	k	R_{f1}, R_{f3} (N)	A_f (mm ²)	$F/\sqrt{3}$ $F_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
SD-40	F1												
	F3												

原料貯蔵所

添説建 3-IX. 5.4-3 表 新設フランス落としの強度検討

番号	ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	S_f (mm)	C (mm)	k	R_{f1}, R_{f3} (N)	A_f (mm ²)	$F/\sqrt{3}$ $F_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
SD-42	F1												
	F3												

第3 核燃料倉庫

添説建 3-IX. 5.4-4 表 新設フランス落としの強度検討

番号	ケース	q_1 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	S_f (mm)	C (mm)	k	R_{f1} (N)	A_f (mm ²)	$F/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	S_{1a} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a} (N/m ²)
SD-90	F1												

5.5. 補強鉄扉最大検定比一覧

竜巻荷重に対する鉄扉の強度評価において、各鉄扉の最大検定比を添説建 3-IX. 5.5-1 表に示す。全ての竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全である。

添説建3-IX.5.5-1表 補強鉄扉の各扉最大検定比一覧

鉄扉の設計仕様概念	項目	記号	単位	第1廃棄物処理所			第2廃棄物処理所		
				SD-35	SD-74 ^{※1}	SD-38	SD-36 ^{※1}	SD-75	SD-78
対応する竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²	片開	両開	両開	両開(子扉) ^{※3}	片開	両開
	F3	q_3	N/m ²						
	幅	W	mm						
	高さ	H	mm						
	厚み	T	mm						
追加補強材	扉補強材(外周部)	FB ^{※2}	mm						
	水平補強材	FB ^{※2}	mm						
	新設フランス落とし	SB ^{※2}	mm						
評価	F1	q_{1a}	N/m ²	OK	OK	OK	OK	OK	OK
		k_1	—	判定					
	F3	q_{3a}	N/m ²	OK	OK	OK	OK	OK	OK
		k_3	—	判定					

鉄扉の設計仕様概念	項目	記号	単位	シリンドラ洗淨棟			第3廃棄物倉庫		
				SD-40 ^{※1}	SD-79	SD-81 ^{※1}	SD-147	SD-42 ^{※1}	SD-90 ^{※1}
対応する竜巻荷重	F1			片開	片開	片開	片開	片開	片開
	F3								
	幅								
	高さ								
	厚み								
追加補強材	扉補強材(外周部)								
	水平補強材								
	新設フランス落とし								
評価	F1			OK	OK	OK	OK	OK	—
	F3			判定					

※1 各建物 F1, F3 竜巻荷重検定比最大扉

※2 FB: 平鋼 (FLAT BAR), SB: 角棒 (SQUARE BAR)

※3 親扉と幅寸法が異なるため、子扉の検定比を記載

6. 新設鉄扉の強度評価

6. 1. 鉄扉概要

下記の付属建物において、新設もしくは新規の扉に交換することで竜巻対応させる新設鉄扉の一覧を添説建 3-IX. 6. 1-1 表に示す。なお、本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。

第 1 廃棄物処理所前室 1F : 2 扉

第 2 廃棄物処理所 1F : 1 扉

添説建 3-IX. 6. 1-1 表 竜巻対応 新設鉄扉一覧

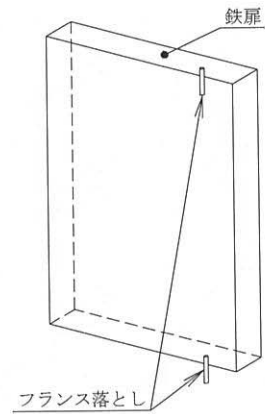
付属建物名		扉番号	場所	形式		扉幅 W (mm)	扉高さ H (mm)	竜巻荷重	
								スケール	強度 (N/m ²)
第 1 廃棄物 処理所前室	1F	SD-34	前室-屋外	両 開	親扉				
					子扉				
		SD-94	前室-屋外		片開				
第 2 廃棄物 処理所	1F	SD-77	玄関-屋外	両 開	親扉				

各鉄扉の一覧を添説建 3-IX. 6. 1-2 表に示す。

添説建 3-IX. 6.1-2 表 鉄扉の概要一覧

鉄扉番号	SD-34	SD-94
竜巻荷重	F3	F3
概要		
扉厚		

鉄扉番号	SD-77
竜巻荷重	F3
概要	
扉厚	



6. 2. 鉄扉の強度評価

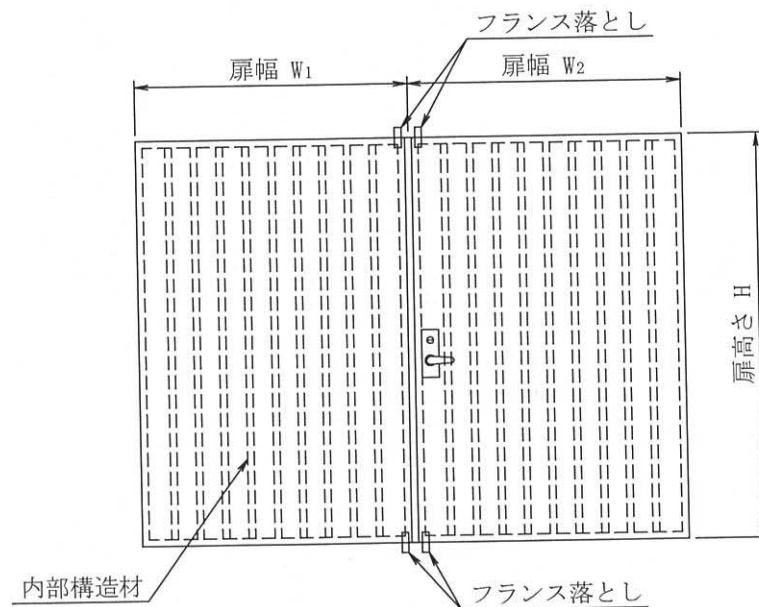
鉄扉の竜巻に対する強度検討に当たっては、扉面積が最大となる第 1 廃棄物処理所 1F SD-34 に着目し、検討詳細を示す。SD-34 の寸法諸元を添説建 3-IX. 6. 2-1 表に、構造概要を添説建 3-IX. 6. 2-1 図示す。

また、SD-34 以外の鉄扉については、同様方法による検討結果を添説建 3-IX. 6. 3-1 表に記載する。

(1) 鉄扉の寸法諸元

添説建 3-IX. 6. 2-1 表 鉄扉 SD-34 の寸法諸元

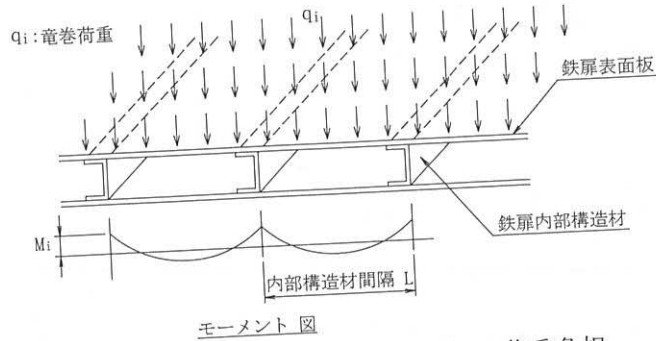
大項目	小項目	名称	記号	数値	単位
荷重	短期荷重	竜巻荷重 F1	q_1		N/m ²
	終局荷重	竜巻荷重 F3	q_3		N/m ²
寸法諸元	扉	幅	W_1, W_2		mm
		高さ	H		mm
		厚さ	T		mm
		表面板厚	t		mm
		内部構造材板厚	t_1		mm
		内部構造材ピッチ	L		mm
	フランス落とし	ピン寸法	D_f		mm



添説建 3-IX. 6. 2-1 図 鉄扉 SD-34 の構造概要

(2) 鉄扉の表面板の曲げ強度

添説建3-IX.6.2-2図に示すように鉄扉内部構造材で支持された鉄扉表面板が竜巻荷重を受けた場合に発生する曲げ応力に対して検討する。



添説建3-IX.6.2-2図 鉄扉表面板の荷重負担

竜巻荷重 q_i

F1 竜巻荷重: q_1

F3 竜巻荷重: q_3

表面板の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{12} \times q_i \times L^2 \quad (\text{両端固定条件、単位幅 1mm 当り}) \quad (i = 1, 3)$$

弾性断面係数 Z

$$Z = \frac{t^2}{6} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

塑性断面係数 Z_p

$$Z_p = \frac{t^2}{4} \quad (\text{単位幅 1mm 当り})$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げ耐力 $M_{1a} = F \times Z$ (単位幅 1mm 当り)

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_p$ (単位幅 1mm 当り)

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建3-IX.6.2-2表に示す。

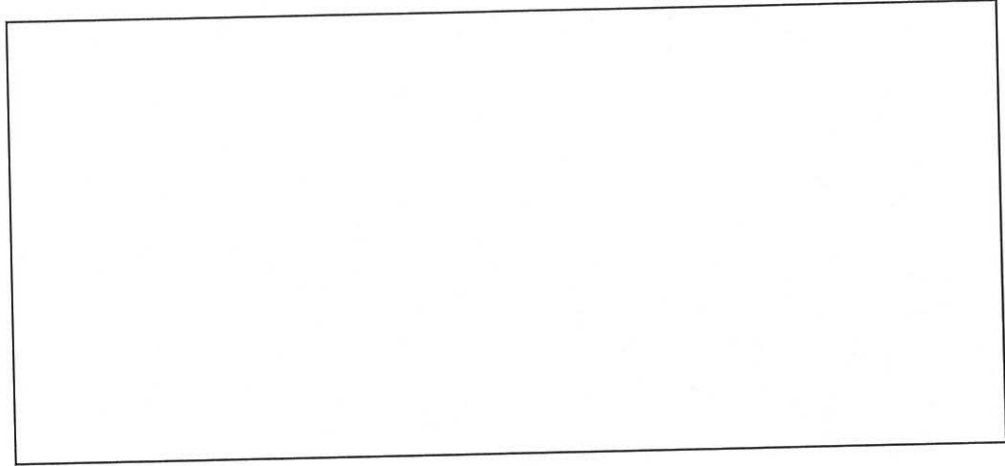
添説建3-IX.6.2-2表 鉄扉表面板の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	L (mm)	t (mm)	M_1, M_3 (N・mm/mm)	F, F_y (N/mm ²)	Z, Z_p (mm ³ /mm)	M_{1a}, M_{3u} (N・mm/mm)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1									
F3									

(3) 鉄扉の内部構造材強度

添説建 3-IX. 6. 2-3 図に示すように鉄扉表面板を支持する内部構造材は、扉枠に支持された梁として検討する。

縦方向内部構造材（鉛直方向）



添説建 3-IX. 6. 2-3 図 鉄扉内部構造材の荷重負担範囲

内部構造材の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_1 \times H^2 = \frac{q_i \times L \times H^2}{8} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DS1}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{DS1}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 6. 2-3 表に示す。

添説建 3-IX. 6. 2-3 表 鉄扉内部構造材の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	L (mm)	H (mm)	M_1, M_3 (N・m)	F, F_y (N/mm ²)	Z_{DS1} (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N・m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1									
F3									

Z_{DS1} : 縦方向内部構造材の弾性断面係数

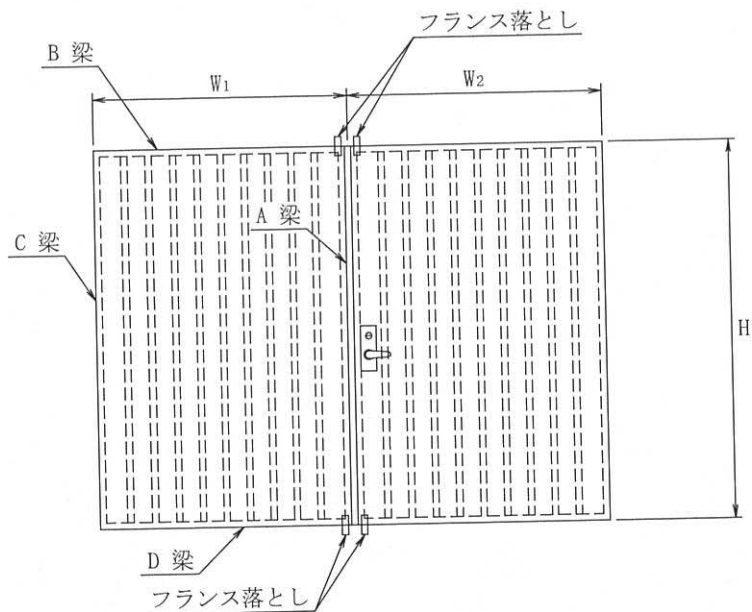
(4) 鉄扉の扉枠強度

鉄扉の側部扉枠 A 梁及び頂部扉枠 B 梁について検討する。

側部扉枠 C 梁及び底部扉枠 D 梁の作用荷重については上記扉枠と同様につき、検討を省略する。

各扉枠は、フランス落としを支点とした単純梁モデルとして検討する。

鉄扉の扉枠梁材の名称を添説建 3-IX. 6. 2-4 図に示す。

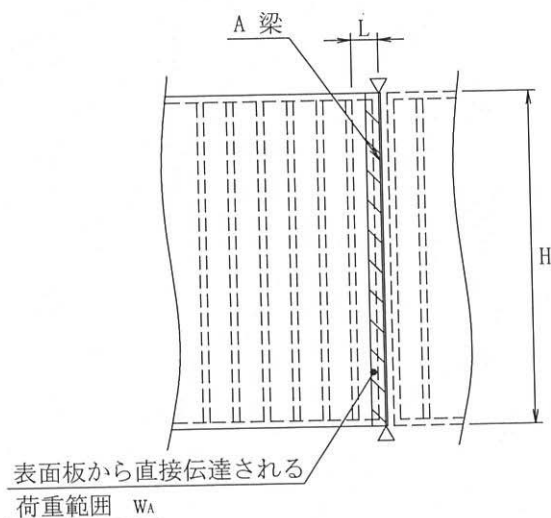


添説建 3-IX. 6. 2-4 図 鉄扉の扉枠梁材の名称

1) 側部（召し合わせ側）扉枠 A 梁

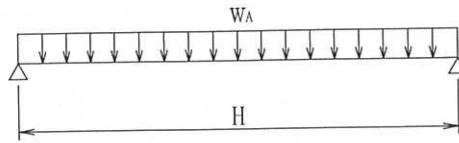
扉枠 A 梁には、添説建 3-IX. 6. 2-5 図に示す表面板から直接伝達される荷重 w_A が作用する。

$$w_A = q_i \times \frac{L}{2}$$



添説建 3-IX. 6. 2-5 図 側部扉枠 A 梁の荷重負担範囲

添説建 3-IX. 6. 2-6 図に示す梁モデルとして検討する。



添説建 3-IX. 6. 2-6 図 側部扉枠 A 梁の梁モデル

扉枠 A 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{w_A \times H^2}{8} = \frac{q_i \times L \times H^2}{16} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DA}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDA}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 6. 2-4 表に示す。

添説建 3-IX. 6. 2-4 表 側部扉枠 A 梁の強度検討

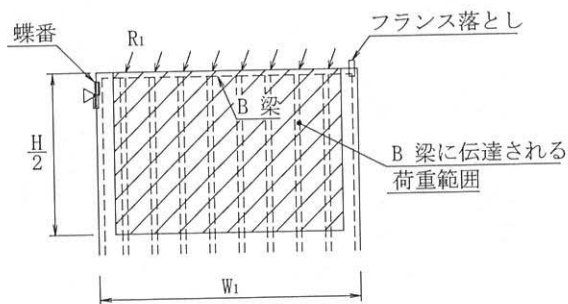
ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L (mm)	H (mm)	M_1, M_3 ($\text{N}\cdot\text{m}$)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DA}, Z_{PDA} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} ($\text{N}\cdot\text{m}$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

Z_{DA} : 扉枠 A 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDA} : 扉枠 A 梁の補強後の塑性断面係数

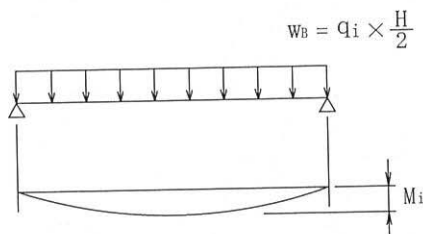
2) 頂部扉枠 B 梁

扉枠 B 梁には添説建 3-IX. 6. 2-7 図に示す縦方向内部構造材の反力として伝達される荷重 R_1 が作用する。



添説建 3-IX. 6. 2-7 図 頂部扉枠 B 梁の荷重負担範囲

添説建 3-IX. 6. 2-8 図に示す梁モデルとし、曲げ応力については安全側に梁全長の等分布荷重として検討する。



添説建 3-IX. 6. 2-8 図 頂部扉枠 B 梁の梁モデル

扉枠 B 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_B \times W_1^2 = \frac{q_i \times H \times W_1^2}{16} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げ耐力 } M_{1a} = F \times Z_{DB}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDB}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 6. 2-5 表に示す。

添説建 3-IX. 6. 2-5 表 頂部扉枠 B 梁の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	M_1, M_3 (N·m)	F, F_y (N/mm ²)	Z_{DB}, Z_{PDB} (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N·m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1									
F3									

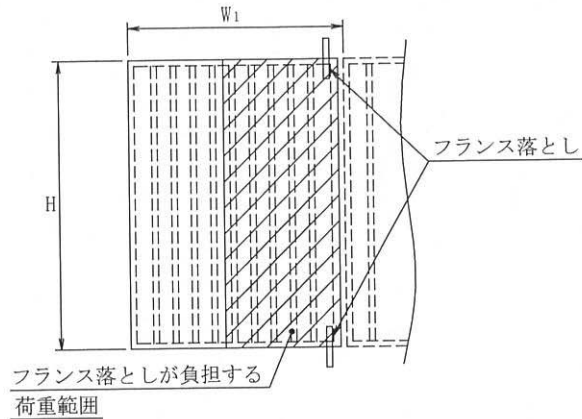
Z_{DB} : 扉枠 B 梁の補強後の弾性断面係数

Z_{PDB} : 扉枠 B 梁の補強後の塑性断面係数

(5) フランス落としの検討

扉に作用する荷重の 1/2 については、扉上下の新設フランス落としが全て負担するものとし、ピンが必要最小寸法を確認する。

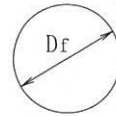
フランス落としには添説建 3-IX. 6. 2-9 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 6. 2-9 図 フランス落としの荷重負担範囲

フランス落としピンの断面積 A_f

$$A_f = \frac{\pi}{4} \times D_f^2$$



フランス落とし断面

ピンの形状係数 κ : 4/3 (円形断面) “構造力学公式集, 土木学会” より
扉のフランス落としに作用する荷重 R_{fi}

$$R_{fi} = \kappa \times \frac{q_i \times H \times W_1}{4} \quad (i = 1, 3)$$

せん断耐力 S_{1a}, S_{3u}

$$\text{短期許容せん断耐力 } S_{1a} = F/\sqrt{3} \times A_f \text{ (N)}$$

$$\text{終局せん断耐力 } S_{3u} = F_y/\sqrt{3} \times A_f \text{ (N)}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{R_{f1}}{S_{1a}}, \quad K_3 = \frac{R_{f3}}{S_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 6. 2-6 表に示す。

添説建 3-IX. 6. 2-6 表 フランス落としの強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	D_f (mm)	A_f (mm ²)	R_{f1}, R_{f3} (N)	$F/\sqrt{3},$ $F_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	S_{1a}, S_{3u} (N)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1										
F3										

6. 3. 新設鉄扉最大検定比一覧

竜巻荷重に対する鉄扉の強度評価において、各鉄扉の最大検定比を添説建 3-IX. 6. 3-1 表に示す。全ての竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全である。

添説建 3-IX. 6. 3-1 表 鉄扉の各扉最大検定比一覧

	鉄扉部位	項目	記号	単位	第 1 廃棄物処理所前室		第 2 廃棄物処理所
					SD-34	SD-94	SD-77
					新設	新設	新設
					両開	片開	両開
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²			
		F3	q_3	N/m ²			
	扉	幅	W	mm			
		高さ	H	mm			
		厚み	T	mm			
	フランス落とし	ピンサイズ	RB ^{※1}	mm			
評価	許容荷重 (q_{1a}, q_{3u})	F1	q_{1a}	N/m ²	OK	OK	OK
			K_1	—			
		判定					
	検定比 (K_1, K_3)	F3	q_{3u}	N/m ²			
			K_3	—			
		判定					

※1 RB : 丸鋼 (ROUND BAR)

7. 大型の新設鉄扉の強度評価

7. 1. 鉄扉概要

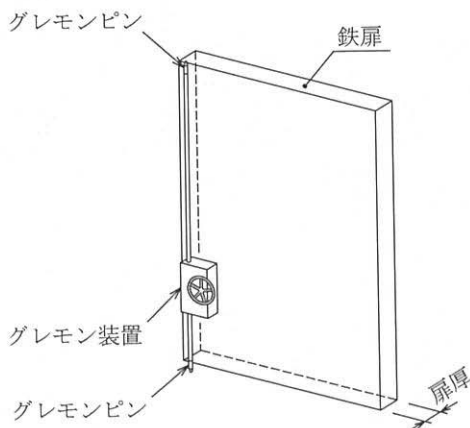
下記の本工場及び付属建物において、既設鋼製シャッタを扉に交換もしくは隣接して新設し、竜巻対応させる大型の新設鉄扉の一覧を添説建 3-IX. 7. 1-1 表に示す。なお、本説明書の図に示す寸法の単位は、特記以外ミリメートルとする。

- | | | | |
|----------|-------|------------|-------|
| 組立工場 1F | : 1 扉 | 除染室・分析室 1F | : 1 扉 |
| 転換工場 1F | : 1 扉 | シリンダ洗浄棟 1F | : 1 扉 |
| 容器管理棟 1F | : 1 扉 | 原料貯蔵所 | : 1 扉 |

添説建 3-IX. 7. 1-1 表 竜巻対応 大型の新設鉄扉一覧

建物名	扉番号	場所	形式	扉幅 W (mm)	扉高さ H (mm)	竜巻荷重	
						スケール	強度 (N/m ²)
組立工場	1F	SD-17	燃料集合体 貯蔵室 一前室	両開	親扉 潜戸 子扉		F3
転換工場	1F	SD-2	原料倉庫一前室	両開	親扉 潜戸 子扉		F3
容器管理棟	1F	SD-221	保管室一前室	両開	親扉 子扉		F3
除染室・ 分析室	1F	SD-220	通路(1)一屋外	両開	親扉 子扉		F3
シリンダ 洗浄棟	1F	SD-39	洗浄室一前室	両開	親扉 子扉		F3
原料貯蔵所	1F	SD-44	建物入口	両開	親扉 子扉		F3

各鉄扉の一覧を添説建 3-IX. 7. 1-2 表及び以下に示す。



添説建 3-IX. 7. 1-2 表 鉄扉の概要一覧

鉄扉番号	SD-2	SD-17
竜巻荷重	F3	F3
概要		
扉厚		

鉄扉番号	SD-39	SD-44
竜巻荷重	F3	F3
概要		
扉厚		

鉄扉番号	SD-220	SD-221
竜巻荷重	F3	F3
概要		
扉厚		

7.2. 鉄扉の強度検討

鉄扉の竜巻に対する強度検討に当たっては、扉面積が最大となる転換工場 1F SD-2 に着目し、検討詳細を示す。SD-2 の寸法諸元を添説建 3-IX. 7.2-1 表に、構造概要を添説建 3-IX. 7.2-1 図に示す。

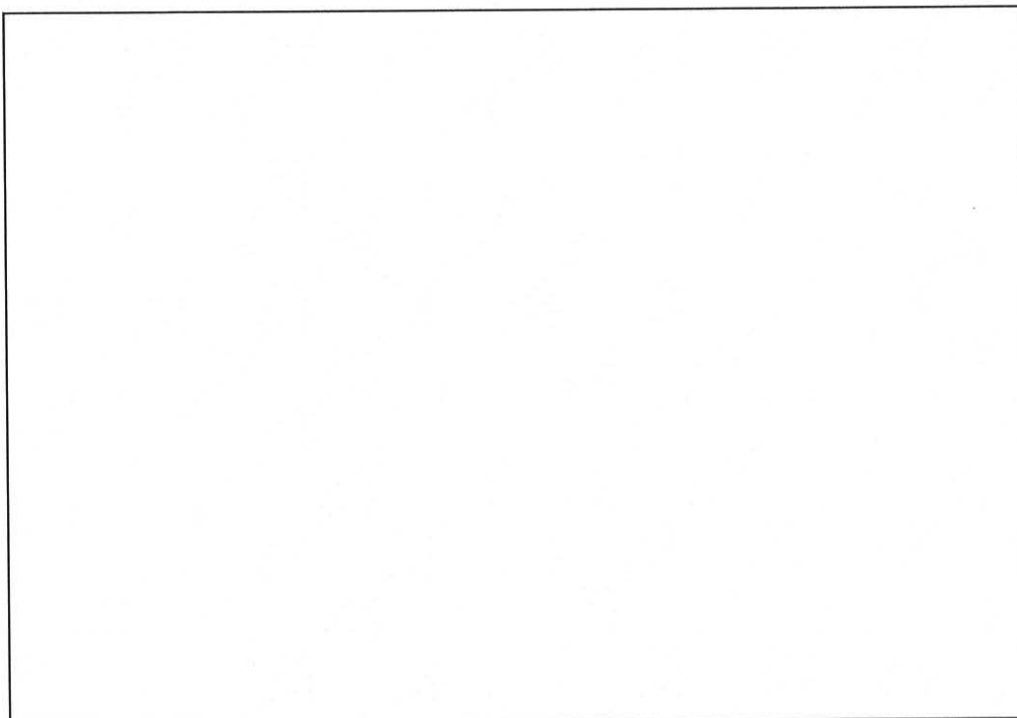
また、SD-2 以外の鉄扉については、同様方法による検討結果を添説建 3-IX. 7.3-1 表に記載する。

(1) 鉄扉 SD-2 の寸法諸元

添説建 3-IX. 7.2-1 表 鉄扉 SD-2 の寸法諸元

大項目	小項目	名称	記号	数値	単位
荷重	短期荷重	竜巻荷重 F1	q_1		N/m ²
	終局荷重	竜巻荷重 F3	q_3		N/m ²
寸法諸元	扉	幅	W_1, W_2		mm
		高さ	H		mm
		厚さ	T		mm
		表面板厚	t		mm
		内部構造材	CH ^{※1}		mm
	内部構造材ピッチ	L	mm		
グレモンピン	ピン径	D_f	mm		

※1 CH：溝形鋼

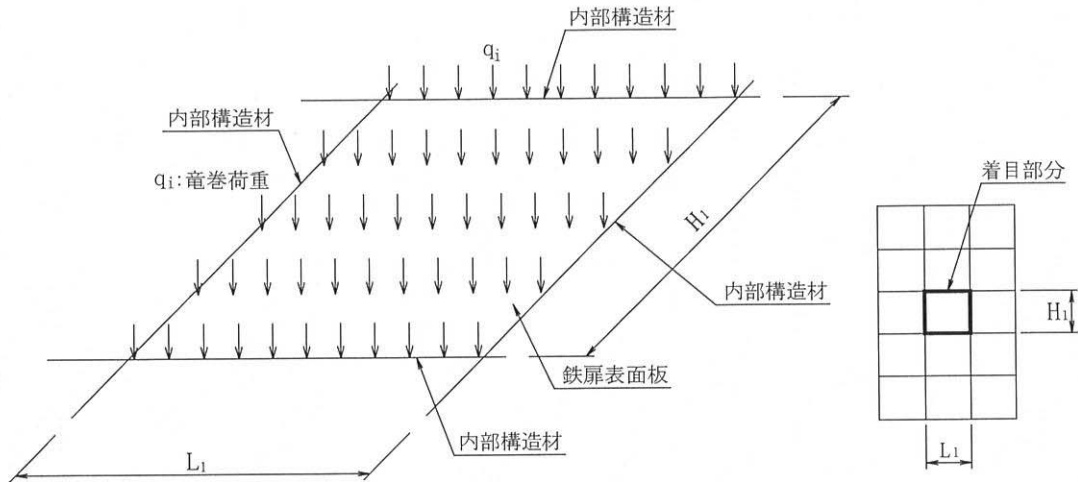


添説建 3-IX. 7.2-1 図 鉄扉 SD-2 の構造概要

(2) 鉄扉の表面板の曲げ強度

鉄扉構造材で支持された鉄扉表面板が竜巻荷重を受けた場合に発生する曲げ応力に対して検討する。検討は表面板 mm、mm のうち板厚の薄い 2.3mm を対象に行う。

鉄扉表面には添説建 3-IX. 7. 2-2 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 7. 2-2 図 鉄扉表面板の荷重負担

竜巻荷重 q_i

F1 竜巻荷重: q_1

F3 竜巻荷重: q_3

表面板の曲げ応力 M_i

曲げ応力は等分布荷重を受ける 4 辺単純支持板として“構造力学公式集, 土木学会”より以下の通り算出する。

$$\frac{b}{a} = \frac{L_1}{H_1} = \boxed{}$$

$$\beta = \boxed{}$$

$$M_i = \beta \times q_i \times H_1^2 \quad (4 \text{ 辺単純支持板、単位幅 } 1\text{mm 当り}) \quad (i = 1, 3)$$

$$= \boxed{} \times q_i \times H_1^2$$

弾性断面係数 Z

$$Z = \frac{t^2}{6} \quad (\text{単位幅 } 1\text{mm 当り})$$

塑性断面係数 Z_p

$$Z_p = \frac{t^2}{4} \quad (\text{単位幅 } 1\text{mm 当り})$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げモーメント } M_{1a} = F \times Z \quad (\text{単位幅 } 1\text{mm 当り})$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_p \quad (\text{単位幅 } 1\text{mm 当り})$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 7. 2-2 表に示す。

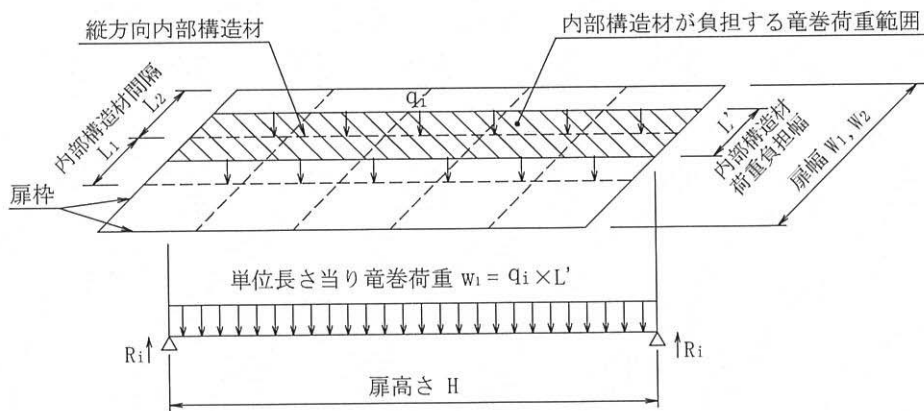
添説建 3-IX. 7. 2-2 表 鉄扉表面板の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	H_1 (mm)	β	t (mm)	M_1, M_3 ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$)	F, F_y (N/mm^2)	Z, Z_p (mm^3/mm)	M_{1a}, M_{3u} ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1										
F3										

(3) 鉄扉の内部構造材強度

鉄扉表面板を支持する内部構造材は、扉枠に支持された梁として検討する。

鉄扉内部構造材には添説建 3-IX. 7. 2-3 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 7. 2-3 図 鉄扉内部構造材の荷重負担範囲

内部構造材荷重負担幅 L'

$$L' = (L_1 + L_2) / 2 = \boxed{} \text{ mm}$$

内部構造材の曲げ応力 M_i

$$M_i = \frac{1}{8} \times w_1 \times H^2 = \frac{q_i \times L' \times H^2}{8} \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げモーメント } M_{1a} = F \times Z_{DS1}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDS1}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 7.2-3 表に示す。

添説建 3-IX. 7.2-3 表 鉄扉内部構造材の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m^2)	L' (mm)	H (mm)	M_1, M_3 ($\text{N}\cdot\text{m}$)	F, F_y (N/mm^2)	Z_{DS1}, Z_{PDS1} (mm^3)	M_{1a}, M_{3u} ($\text{N}\cdot\text{m}$)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m^2)
F1									
F3									

Z_{DS1} : 縦方向内部構造材の弾性断面係数

Z_{PDS1} : 縦方向内部構造材の塑性断面係数

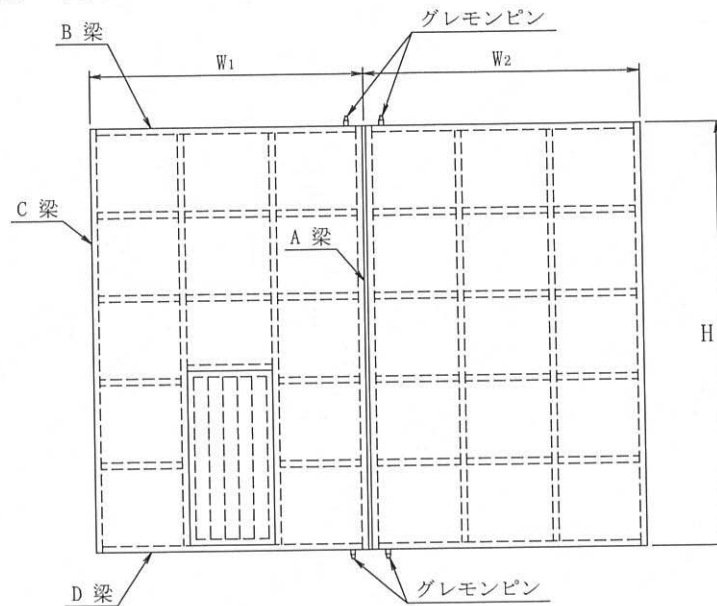
(4) 鉄扉の扉枠強度

鉄扉の側部扉枠 A 梁及び C 梁については、縦方向内部構造材と比較して荷重負担面積が小さく、また、同じサイズの溝形鋼で構成されているため検討を省略し、頂部扉枠 B 梁について検討する。

底部扉枠 D 梁については扉枠 B 梁と同様につき、検討を省略する。

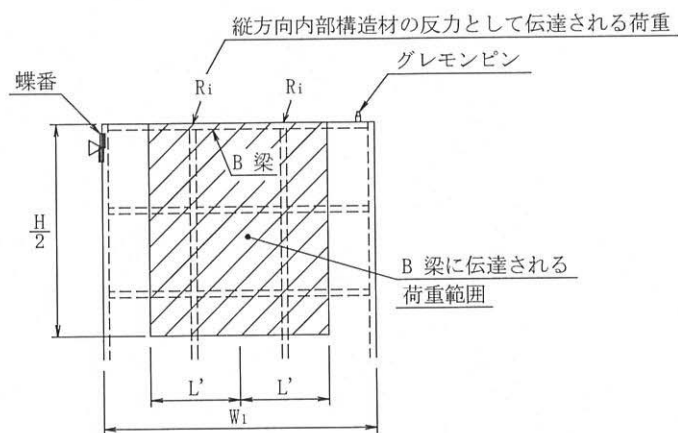
扉枠の検討にあたっては、グレモンピンを支点とした単純梁モデルとして検討する。

鉄扉の扉枠梁材の名称を添説建 3-IX. 7.2-4 図に示す。



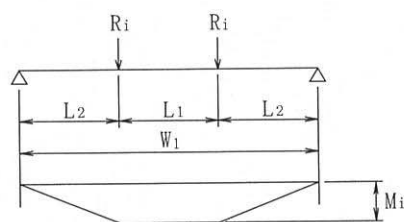
添説建 3-IX. 7.2-4 図 鉄扉の扉枠梁材の名称

扉枠 B 梁には添説建 3-IX. 7. 2-5 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 7. 2-5 図 頂部扉枠 B 梁の荷重負担範囲

添説建 3-IX. 7. 2-6 図に示す梁モデルとして検討する。



添説建 3-IX. 7. 2-6 図 頂部扉枠 B 梁の梁モデル

縦方向内部構造材の反力 R_i

$$R_i = \frac{q_i \times L' \times H}{2} \quad (i = 1, 3)$$

扉枠 B 梁の曲げ応力 M_i

$$M_i = R_i \times L_2 = \frac{q_i \times L' \times H}{2} \times L_2 \quad (i = 1, 3)$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

$$\text{短期許容曲げモーメント } M_{1a} = F \times Z_{DB}$$

$$\text{終局曲げ耐力 } M_{3u} = F_y \times Z_{PDB}$$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, \quad K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 7. 2-4 表に示す。

添説建 3-IX. 7. 2-4 表 頂部扉枠 B 梁の強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	L' (mm)	H (mm)	L_2 (mm)	M_1, M_3 (N・m)	F, F_y (N/mm ²)	Z_{DB}, Z_{PDB} (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N・m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1										
F3										

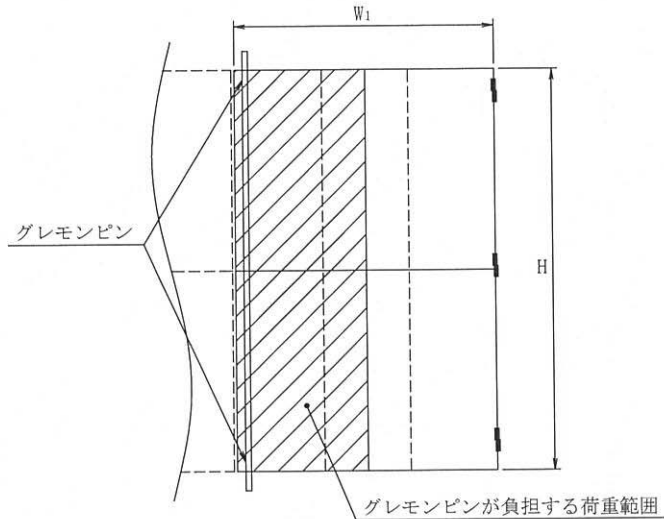
Z_{DB} : 扉枠 B 梁の弾性断面係数

Z_{PDB} : 扉枠 B 梁の塑性断面係数

(5) グレモンピンの検討

鉄扉に作用する荷重の 1/2 については、鉄扉上下のグレモンピンが全て負担する。

グレモンピンには添説建 3-IX. 7. 2-7 図に示す荷重が作用する。



添説建 3-IX. 7. 2-7 図 グレモンピンの荷重負担範囲

グレモンピンに作用する荷重 Rfi

$$Rfi = \frac{q_i \times H \times W_1}{4} \quad (i = 1, 3)$$

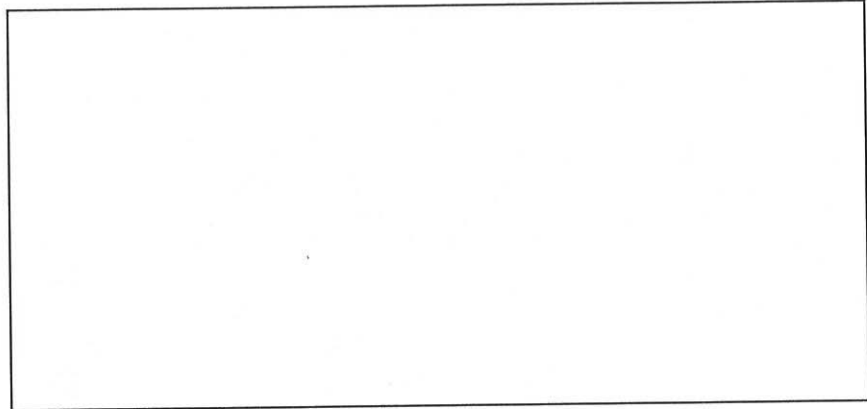
グレモンピンの曲げ応力 M_i

$$M_i = Rfi \times H_1 \quad (\text{片側固定条件}) \quad (i = 1, 3)$$

グレモンピンの曲げ応力を添説建 3-IX. 7. 2-5 表に示す。

添説建 3-IX. 7. 2-5 表 グレモンピンの曲げ応力

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	H (mm)	W_1 (mm)	R_{f1}, R_{f3} (N)	H_1 (mm)	M_1, M_3 (N・m)
F1						
F3						



弾性断面係数 Z

$$Z = \frac{\pi D_f^3}{32}$$

塑性断面係数 Z_p

$$Z_p = \frac{D_f^3}{6}$$

曲げ耐力 M_{1a}, M_{3u}

短期許容曲げモーメント $M_{1a} = F \times Z$

終局曲げ耐力 $M_{3u} = F_y \times Z_p$

検定比 K_i

$$K_1 = \frac{M_1}{M_{1a}}, K_3 = \frac{M_3}{M_{3u}}$$

許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (検定比 1.0 相当の F1, F3 の竜巻荷重)

$$\text{短期許容荷重 } q_{1a} = \frac{q_1}{K_1} \quad \text{終局許容荷重 } q_{3u} = \frac{q_3}{K_3}$$

計算結果を添説建 3-IX. 7. 2-6 表に示す。

添説建 3-IX. 7. 2-6 表 グレモンピンの強度検討

ケース	q_1, q_3 (N/m ²)	M_1, M_3 (N・m)	D_f (mm)	F, F_y (N/mm ²)	Z, Z_p (mm ³)	M_{1a}, M_{3u} (N・m)	検定比 K_1, K_3	許容荷重 q_{1a}, q_{3u} (N/m ²)
F1								
F3								

7.3. 大型の新設鉄扉最大検定比一覧

竜巻荷重に対する鉄扉の強度評価において、各鉄扉の最大検定比を添説建 3-IX.7.3-1 表に示す。竜巻対応鉄扉は、竜巻荷重に対して健全である。

添説建 3-IX.7.3-1 表 鉄扉の各扉最大検定比一覧

	鉄扉部位	項目	記号	単位	組立工場		転換工場		
					SD-17		SD-2		
					新設		新設		
					両開		両開		
		潜戸				潜戸			
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²					
		F3	q_3	N/m ²					
	扉	幅	W	mm					
		高さ	H	mm					
		厚み	T	mm					
		表面板厚	t	mm					
評価	許容荷重 (q_{1a}, q_{3u})	F1	q_{1a}	N/m ²					
			K_1	—					
		判定							
		検定比 (K_1, K_3)	F3	q_{3u}					N/m ²
	K_3			—					
	判定		OK	OK					OK

	鉄扉部位	項目	記号	単位	容器管理棟	除染室・分析室	シリンダ洗浄棟	原料貯蔵所	
					SD-221	SD-220	SD-39	SD-44	
					新設	新設	新設	新設	
					両開	両開	両開	両開	
鉄扉仕様	竜巻荷重	F1	q_1	N/m ²					
		F3	q_3	N/m ²					
	扉	幅	W	mm					
		高さ	H	mm					
		厚み	T	mm					
		表面板厚	t	mm					
評価	許容荷重 (q_{1a}, q_{3u})	F1	q_{1a}	N/m ²					
			K_1	—					
		判定							
		検定比 (K_1, K_3)	F3	q_{3u}					N/m ²
	K_3			—					
	判定		OK	OK					OK

F3 竜巻による飛来物が鉄扉に衝突した場合の評価を以下に示す。

1. 想定される飛来物

付属建物において、F3 竜巻で想定される飛来物は、軽トラック（以下、「軽トラ」と略記）及びプレハブ物置（大）（以下、「プレハブ」と略記）とする。

但し、シリンダ洗浄棟の飛来物はプレハブのみとする。

これらの飛来物の諸元を添説建 3-IX. 付 1-1 表に示す。

添説建 3-IX. 付 1-1 表 想定飛来物の諸元

飛来物	質量(kg)	水平速度(m/s)	飛散高さ(m)	出典
軽トラ				事業許可：別添ト-13
プレハブ				事業許可：別添ト-12

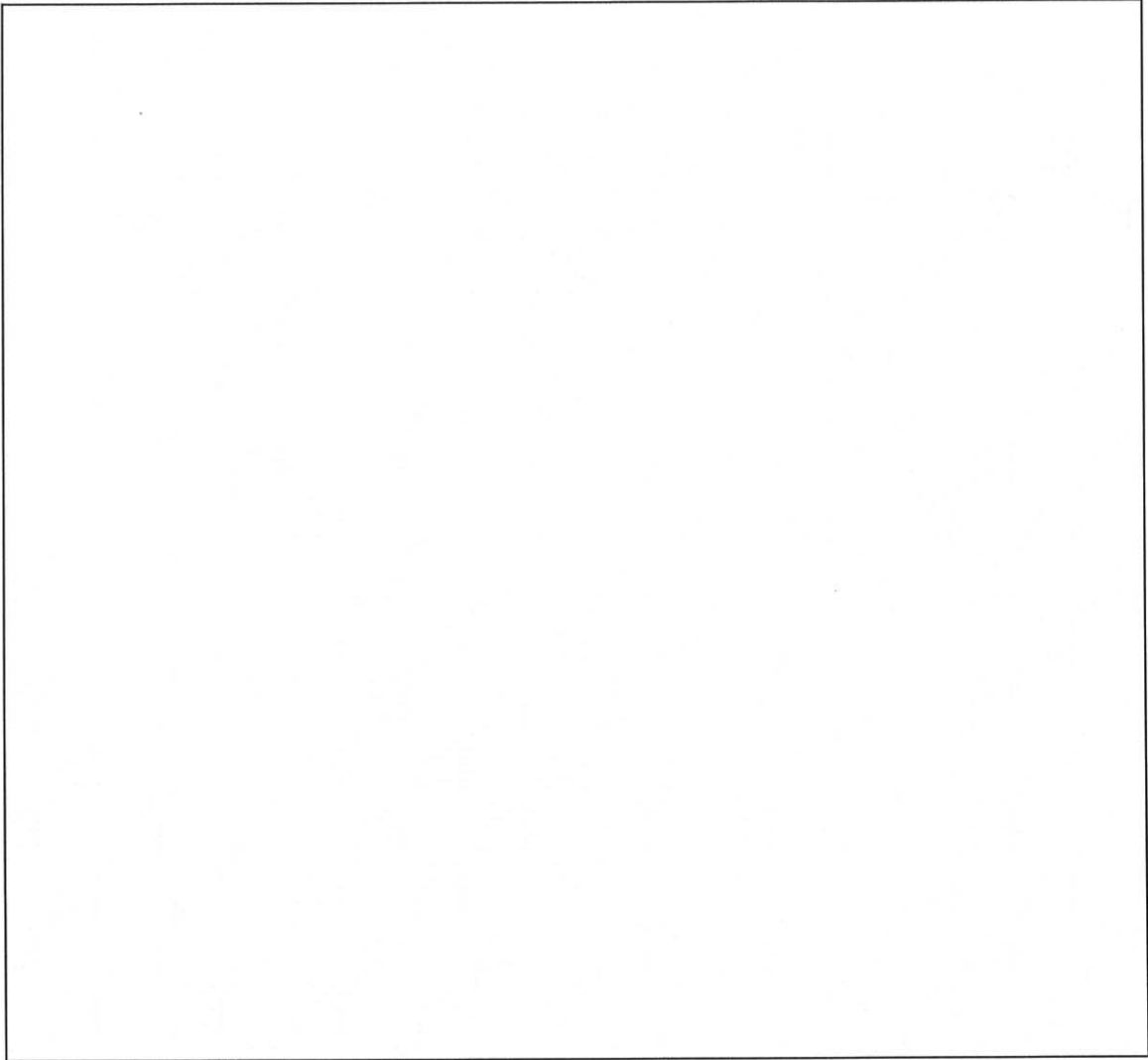
2. 対象となる鉄扉

付属建物（第 1 廃棄物処理所、第 2 廃棄物処理所、シリンダ洗浄棟、原料貯蔵所）の位置を添説建 3-IX. 付 1-1 図に示す。また、付属建物に設置される鉄扉位置の拡大図を添説建 3-IX. 付 1-2 図に示す。

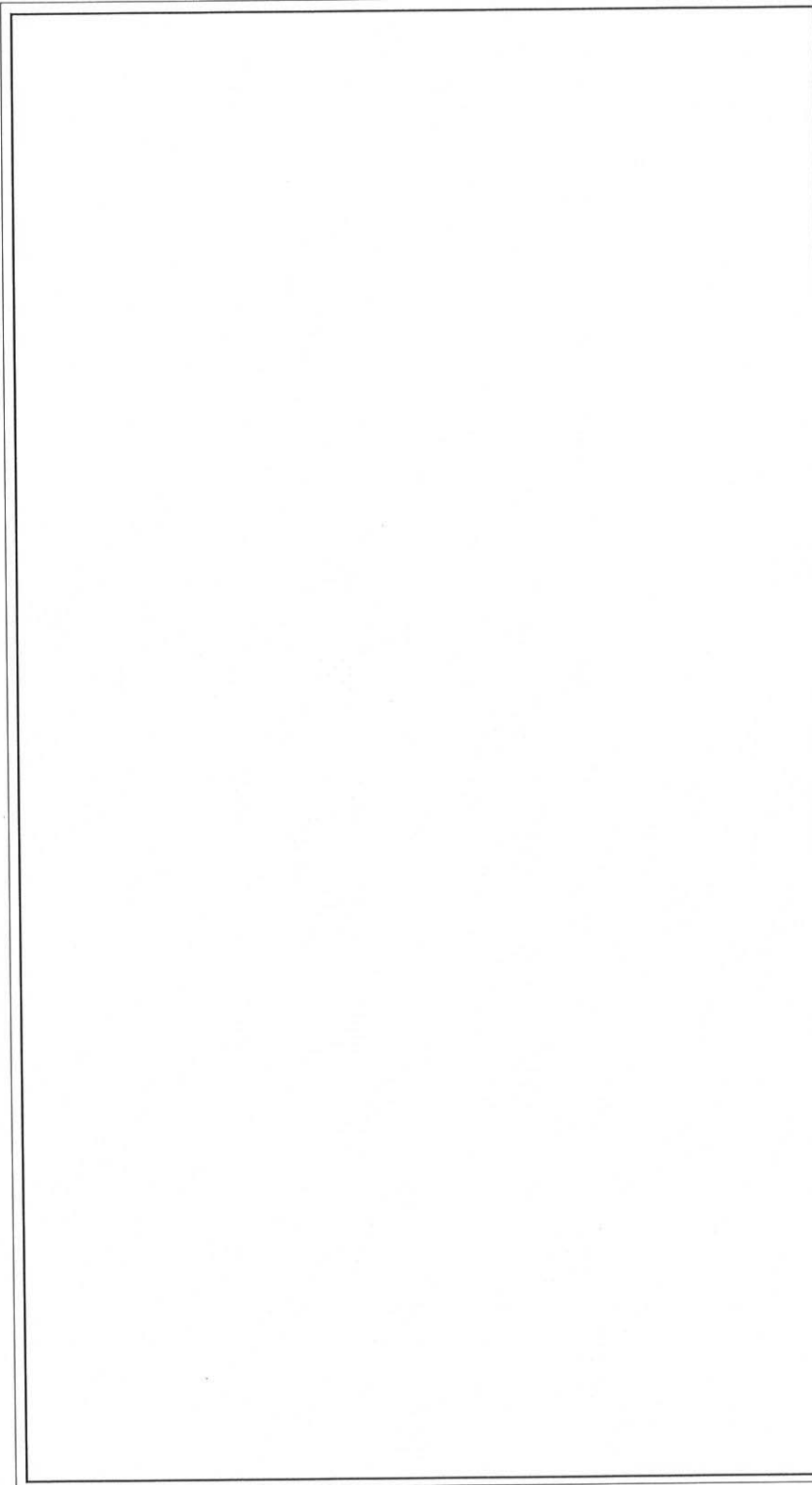
また、民家などがあり、プレハブや軽トラなどの飛来物が想定されるエリアを薄いオレンジ色で添説建 3-IX. 付 1-1 図に示す。

添説建 3-IX. 付 1-1 図と添説建 3-IX. 付 1-2 図からわかるとおり、飛来物は南又は南東方向からのみで、西又は北方向からは無いものとし、南方向からの軽トラは第 1 廃棄物処理所までを対象とする。また、ほとんどの鉄扉は地表面（1 階）に設置されているため、飛来物が鉄扉に衝突するためには低空を飛来してくる必要があるが、このような飛来物は、周辺の一般建物で妨害されるため鉄扉への衝突は生じない。

以上より、飛来物が想定される建物東面と南面に設置されている鉄扉（第 1 廃棄物処理所 SD-35、第 1 廃棄物処理所前室 SD-34, SD-94、原料貯蔵所 SD-42, SD-44）を対象に飛来物が衝突した場合の貫通限界厚さを評価する。なお、鉄扉 (SD-34) は厚さ mm、鉄扉 (SD-35, SD-94, SD-42) は厚さ mm、鉄扉 (SD-44) は厚さ mm, mm のそれぞれ鋼板による 2 枚張り（表と裏の両面張り）の構造である。



添説建 3-IX. 付 1-1 図 付属建物における想定飛来物方向



凡例

■ ■ ■ ■ : 竜巻防護ライン

SD : 鉄扉

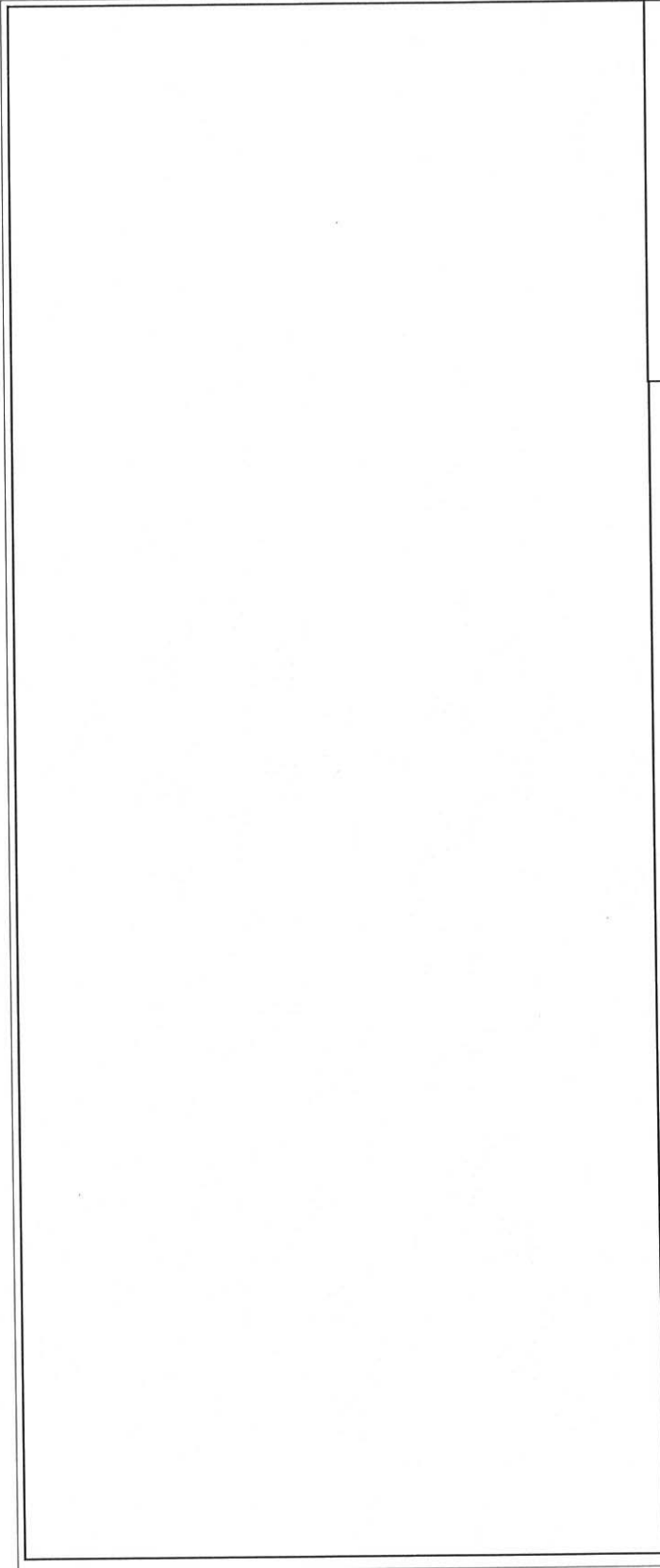
SS : シャッター

← : 勾配

注1) 竜巻防護ライン上の鉄扉はF3竜巻で耐える設計とする
 注2) 竜巻防護ライン以外の鉄扉、シャッターはF1竜巻で耐える設計とする

名	シリンドラ洗浄棟、第1廃棄物処理所、第2廃棄物処理所
称	鉄扉、シャッター配置及び竜巻防護ライン
図	図イ建-1-6
番	—

添説建3-IX.付1-2 図 付属建物に設置される鉄扉位置(1/2)



建具表

番号	竜巻	材料	寸法(mm) ※	鋼板の板厚
SD-42 *1	F3			
SD-44 *2	F3			

※鉄扉の寸法は、扉の概略寸法を示す *1：補強する鉄扉 *2：新設する鉄扉

凡例

■■■■■：竜巻防護ライン

注1) SDは鉄扉を示す

注2) 竜巻防護ライン上の鉄扉はF3竜巻で耐える設計とする

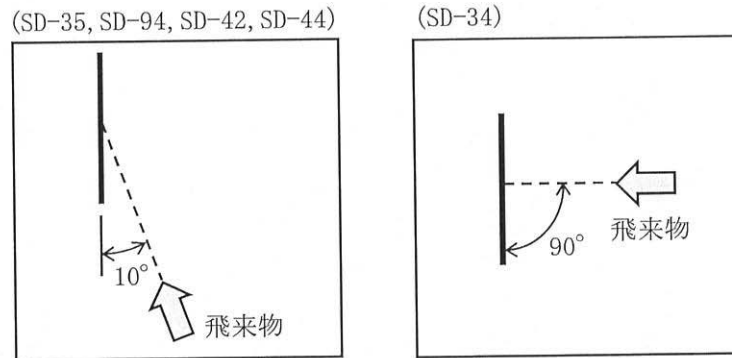
名称	付属建物 原料貯蔵所 鉄扉配置、建具表、補強概要及び竜巻防護ライン
図番	図へ建-1-4 付属建物 原料貯蔵所

添説建3-IX. 付1-2 図 付属建物に設置される鉄扉位置(2/2)

3. 飛来物による鉄扉の貫通限界厚さの評価

飛来物の飛来経路を考慮すると、評価対象の鉄扉には、添説建 3-IX. 付 1-1 図に示すとおり鉄扉面に対し約 10° ~13° 程度と非常に浅い角度で衝突してくることとなるが、評価は保守的に衝突角度を 20° として行う。

但し、SD-34 は南面を向いているため飛来物が正面(鉄扉面に対して 90° の角度)衝突することになる。(添説建 3-IX. 付 1-3 図参照)



添説建 3-IX. 付 1-3 図 飛来物と鉄扉の衝突の状況

鉄扉の鋼板の貫通評価は、竜巻防護設計の基本方針に示す BRL 式 (式(1)) により実施する。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}} \quad (1)$$

T : 鋼板厚さ (in)

M : 飛来物質量 (lbf · s²/ft)

V : 飛来物速度 (ft/s)

D : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (in)

K : 鋼板の材質に関する係数 (≒1)

文献¹⁾に基づき、上述の BRL 式を、SI 単位換算した式についても併記する。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{1.44 \times 10^9 K^2 D^{3/2}} \quad (2)$$

T : 鋼板厚さ (m)

M : 飛来物質量 (kg)

V : 飛来物速度 (m/s)

D : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (m)

K : 鋼板の材質に関する係数 (≒1)

評価では、飛来物の変形によるエネルギー吸収を、飛来物の運動エネルギーから差し引いて、水平方向の等価な速度を求めて評価した。この評価結果を添説建 3-IX. 付 1-2 表に示す。

軽トラは自動車であるため、この剛性を文献²⁾から求め、変形が 0.5m 程度あるものとした。また、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、自動車と同じ手法で評価し、変形量も 0.5m 程度とした。

評価結果を添説建 3-IX. 付 1-3 表に示す。貫通限界厚さは、SD-34 の軽トラが mm、プレハブが mm で、SD-35, SD-94, SD-42, SD-44 の軽トラが mm、プレハブが mm となり、鉄扉 (SD-34) の板厚合計 (鉄扉表面の鋼板の板厚 mm × 2 面 = mm)、鉄扉 (SD-35, SD-94, SD-42, SD-44) の最小板厚合計 (鉄扉表面の鋼板の板厚 mm × 2 面 = mm) が上回ることを確認した。

添説建 3-IX. 付 1-2 表 飛来物の変形によるエネルギー吸収を考慮した等価な衝突速度

		軽トラ	プレハブ
飛来物質量	M		
飛来物剛性 (自動車とみなす)	$K_v = 588 \cdot M$		
飛来物変形量	δv		
飛来物変形エネルギー	$E_{ev} = 0.5 K_v \delta v^2$		
飛来物飛来速度	V_0		
飛来物運動エネルギー	$E_k = 0.5 M V_0^2$		
飛来物変形エネルギーを 考慮した等価衝突速度	$V_{eff} = \sqrt{2(E_k - E_{ev})/M}$		

添説建 3-IX. 付 1-3 表 飛来物による鋼板の貫通限界厚さ評価(1/2)

(SD-34)

			軽トラ
飛来物諸元	飛来物重量	W	
	飛来物高さ	h	
	飛来物幅	w	
	飛来物面積	A	
	等価直径	$D=\sqrt{4A/\pi}$	
	飛来物速度 (変形によるエネルギー吸収考慮)	V_{eff}	
	衝突角度	θ	
	飛来物衝突速度 (衝突角度考慮)	$V=V_{eff}\times\sin(\theta)$	
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	$M=W/g$	
	重力加速度	g	
	貫通厚さ	鋼板の材質に関する係数	
鋼板貫通限界厚さ		T	

			プレハブ
飛来物諸元	飛来物重量	W	
	飛来物高さ	h	
	飛来物幅	w	
	飛来物面積	A	
	等価直径	$D=\sqrt{4A/\pi}$	
	飛来物速度 (変形によるエネルギー吸収考慮)	V_{eff}	
	衝突角度	θ	
	飛来物衝突速度 (衝突角度考慮)	$V=V_{eff}\times\sin(\theta)$	
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	$M=W/g$	
	重力加速度	g	
	貫通厚さ	鋼板の材質に関する係数	
鋼板貫通限界厚さ		T	

添説建 3-IX. 付 1-3 表 飛来物による鋼板の貫通限界厚さ評価(2/2)

(SD-35, SD-94, SD-42, SD-44)

			軽トラ
飛来物諸元	飛来物重量	W	
	飛来物高さ	h	
	飛来物幅	w	
	飛来物面積	A	
	等価直径	$D=\sqrt{4A/\pi}$	
	飛来物速度 (変形によるエネルギー吸収考慮)	V_{eff}	
	衝突角度	θ	
	飛来物衝突速度 (衝突角度考慮)	$V=V_{eff}\times\sin(\theta)$	
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	$M=W/g$	
	重力加速度	g	
	貫通厚さ	鋼板の材質に関する係数	
鋼板貫通限界厚さ		T	

			プレハブ
飛来物諸元	飛来物重量	W	
	飛来物高さ	h	
	飛来物幅	w	
	飛来物面積	A	
	等価直径	$D=\sqrt{4A/\pi}$	
	飛来物速度 (変形によるエネルギー吸収考慮)	V_{eff}	
	衝突角度	θ	
	飛来物衝突速度 (衝突角度考慮)	$V=V_{eff}\times\sin(\theta)$	
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	$M=W/g$	
	重力加速度	g	
	貫通厚さ	鋼板の材質に関する係数	
鋼板貫通限界厚さ		T	

4. まとめ

F3 竜巻による飛来物（軽トラ、プレハブ）が鉄扉に衝突した場合の鋼板の貫通限界厚さを評価した結果、鉄扉表面の鋼板の厚さが貫通限界厚さを十分上回っており、飛来物が鉄扉を貫通して屋内に影響を及ぼすことがないことを確認した。

参考文献

- 1) 北田他、竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価、日本機械学会論文集、Vol. 83, No. 851 (2017), p16-00501
- 2) 「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

X. 付属建物 飛散防止用防護ネットの説明書

1. 概要

第1 廃棄物処理所及び第2 廃棄物処理所の屋根は ALC 屋根であり、竜巻防護設計の竜巻である藤田スケールの F1 の最大風速 49m/s に対しては、安全機能を損なうことがないように、竜巻荷重を上回る強度を有する設計であるが、更なる安全裕度の向上策の確認として用いる藤田スケールの F3 の最大風速 92m/s に対しては、同建物の屋根が損傷することから、建物内に設置される設備・機器の建物外部へ飛散を防止するため、防護が必要な範囲の屋根の下に飛散防止用防護ネット（以下、防護ネットと略記）を設置する。

本説明書では、F3 竜巻時において建物内の飛散物の運動エネルギーを防護ネットが吸収することで、飛散物を建物内部に止めることが可能なことを確認する。

また、F3 竜巻時に対象建物の屋根に落下する可能性がある飛来物（プレハブ物置（大）（以下、プレハブという。）及び軽トラック）の落下による運動エネルギーを防護ネットが吸収することで、建物内部への落下防止も同防護ネットで可能なことを確認する。

検討にあたっては、事業許可の設計方針に従い、竜巻の風圧力による荷重、竜巻による気圧差による荷重、建物内飛散物の衝撃荷重を考慮することになるが、防護ネットへの荷重作用時は、建物屋根が損傷している状態であるため建物内外の気圧差は解消していること、竜巻による風圧力荷重、飛散物衝撃荷重は、建物内側から外側への荷重方向となり、飛来物衝撃荷重を相殺する方向であること、また、飛来物衝撃荷重は、F3 竜巻による風圧力荷重（金網の充実率考慮）と飛散物衝撃荷重を組み合わせたものを包絡する荷重であることを考慮し、防護ネットの評価は保守的に飛来物の衝撃荷重だけを対象に行う。

2. 防護ネットの機能と設置位置

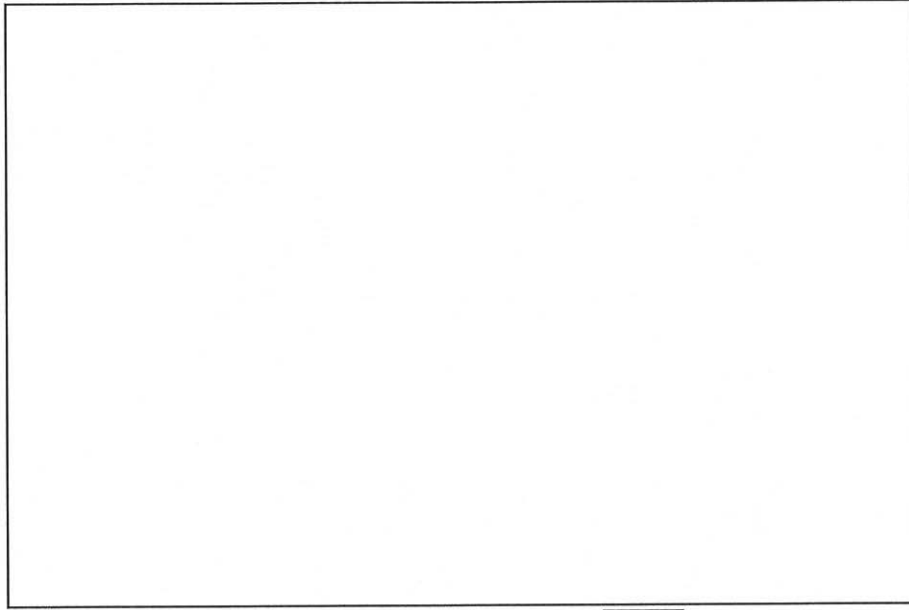
添説建 3-X.2-1 表に各建物の防護ネット機能とその対象物を示す。


なお、第1 廃棄物処理所は軽トラックも飛来物の対象となるが、鉛直方向の運動エネルギーは軽トラック (32kJ) に対しプレハブ (62kJ) の方が大きいことから、対象飛来物はプレハブとして検討する。(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 参照)

また、添説建 3-X.2-1 図及び添説建 3-X.2-2 図に防護ネット設置範囲平面図を示す。

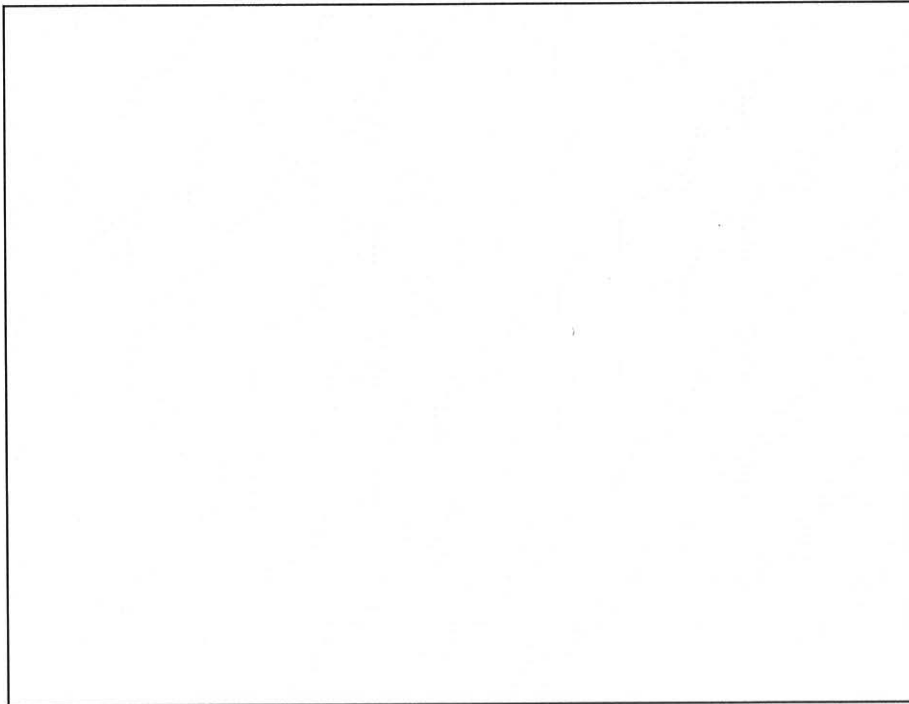
添説建 3-X.2-1 表 各建物の防護ネット機能とその対象物


建物 機能	第1 廃棄物処理所 第2 廃棄物処理所
飛散防止機能	ダクト
飛来物防護機能	プレハブ 軽トラック
建物高さ	約 9m
防護ネット 設置模式図	<p>プレハブ 軽トラック 防護ネット ダクトは建物構造に固縛し落下防止 壁</p>



注)  防護ネット設置範囲

添説建 3-X.2-1 図 防護ネット設置範囲平面図 (第 1 廃棄物処理所)



注)  防護ネット設置範囲

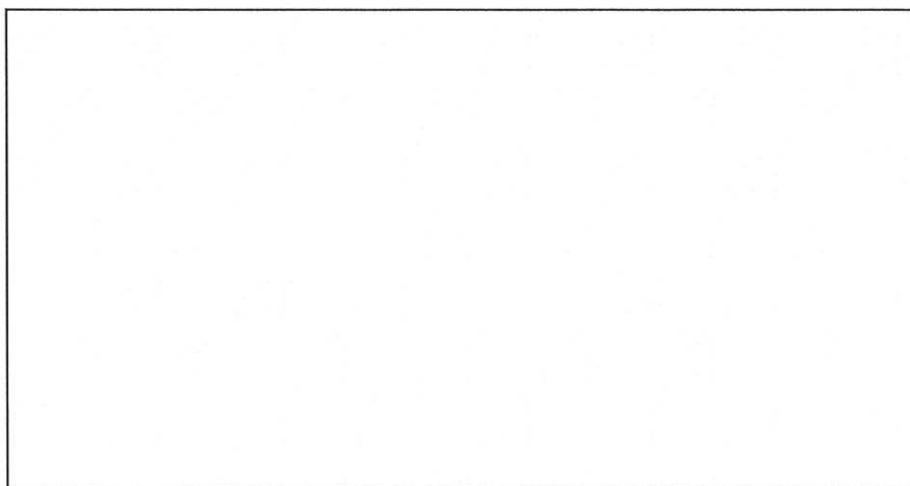
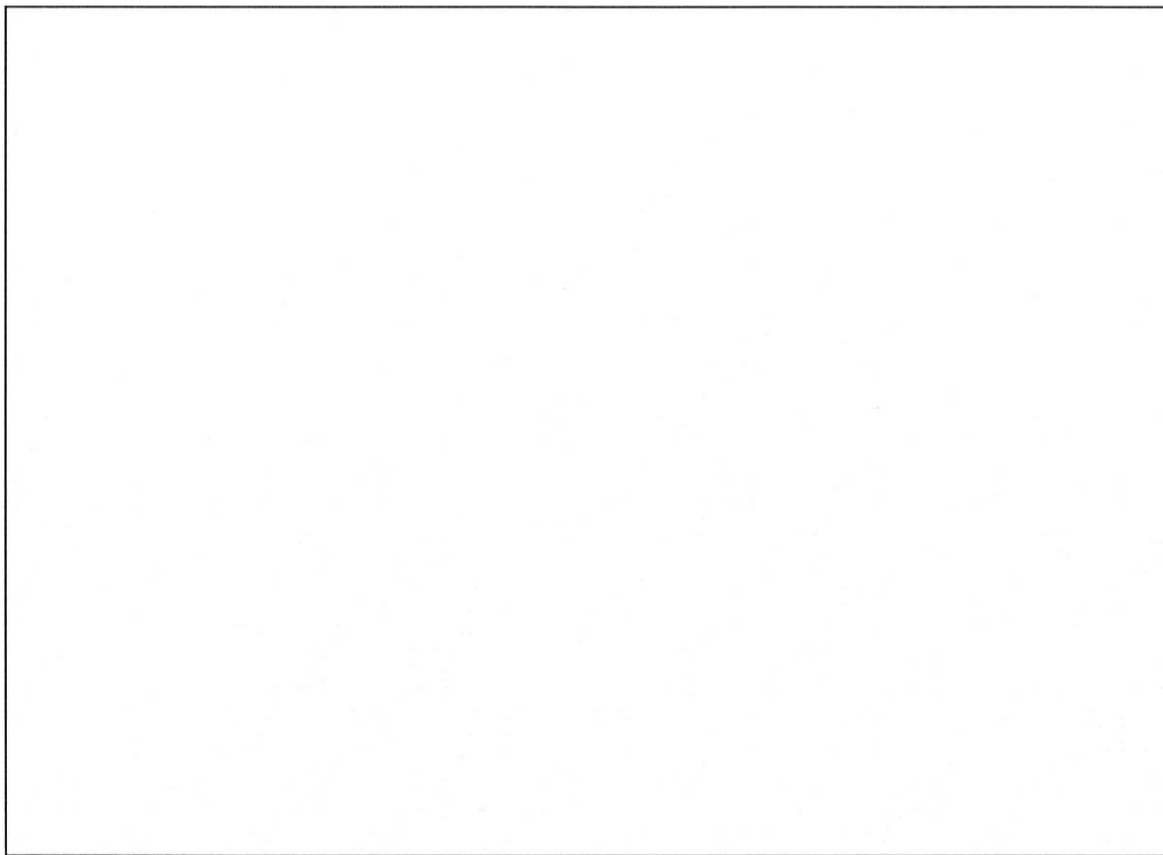
添説建 3-X.2-2 図 防護ネット設置範囲平面図 (第 2 廃棄物処理所)

3. 防護ネット仕様

3.1. 防護ネット標準図

防護ネットの標準図を添説建 3-X.3.1-1 図に示す。

防護ネットは、金網及び付属物からなる。



添説建 3-X.3.1-1 図 防護ネット標準図 (第1 廃棄物処理所)

3.2. 防護ネット各部の標準仕様

防護ネット各部の標準仕様の設定にあたっては、防護ネット各辺寸法を示す全体サイズを各建物について設定した。全体サイズは、建物の区画寸法である建物通り芯間距離（第1廃棄物処理所 $\square\text{m} \times \square\text{m}$ 、第2廃棄物処理所 $\square\text{m} \times \square\text{m}$ ）を基本寸法とし、それに防護ネット固定部のシャックル取付孔位置、防護ネット施工性確保のために必要な建物主構造大梁、壁とワイヤーロープとの離隔距離を考慮して設定した防護ネットの標準サイズである。

防護ネット各部の標準仕様は、上記の全体サイズを前提に最大吸収エネルギー量が飛来物のエネルギー量を上回る金網仕様を決め、金網の吸収エネルギー量評価から定まる各部への荷重に対して強度検討を実施して設定した。

各部の強度検討については6章に、検討の評価結果一覧を7章に示す。

なお、防護ネットを設置する第1廃棄物処理所及び第2廃棄物処理所の防護ネット設計における各部強度評価の検定比は、標準仕様の全体サイズにおいて最も厳しい金網の検定比を各建物の閾値としてこれを必ず下回るものとし、標準仕様が各建物の防護ネットの仕様を包絡するものとなっている。

防護ネット各部の仕様を添説建3-X.3.2-1表及び添説建3-X.3.2-2表、添説建3-X.3.2-1図及び添説建3-X.3.2-2図に示す。

添説建3-X.3.2-1表 防護ネット仕様（金網）

	項目	第1廃棄物処理所	第2廃棄物処理所
金網	線材材質		
	線材引張強度		
	線材破断伸び		
	目合い		
	線径		
	全体サイズ		

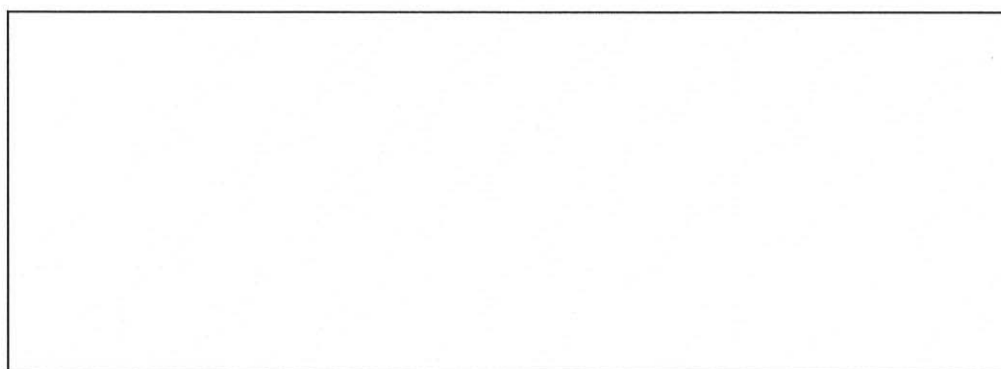


金網の線径を d
金網の網目の目合い寸法を S とする。

添説建3-X.3.2-1図 金網線径と目合い寸法

添説建 3-X.3.2-2 表 防護ネット仕様 (付属物)

	項目	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
ワイヤーロープ	素線材質		
	縦弾性係数		
	径、断面積、破断荷重		
クランプ	規格、材質		
	定着効率		
ターンバックル	規格、材質		
	破断荷重、ねじの呼び		
シャックル	規格、材質		
	使用荷重、ピン径		
強力長シャックル	規格、材質		
	使用荷重、ピン径		
接合コイル	線材材質		
	線径、内径、コイル長さ		
結束線	線材材質		
	線径、重ね		



添説建 3-X.3.2-2 図 付属物取り付け図

4. 防護ネット評価手法の説明

本説明書で記載する防護ネット評価手法は、事業許可の通りのものである。これは電力中央研究所が開発した評価手法であり（9. 文献参照）、原子力発電所の新規制基準適合性に係わる審査で用いられているものである。

上記の評価手法の適用範囲は、9章の文献にある電中研報告「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法(001)」に基づき、以下項目を考慮したものとする。

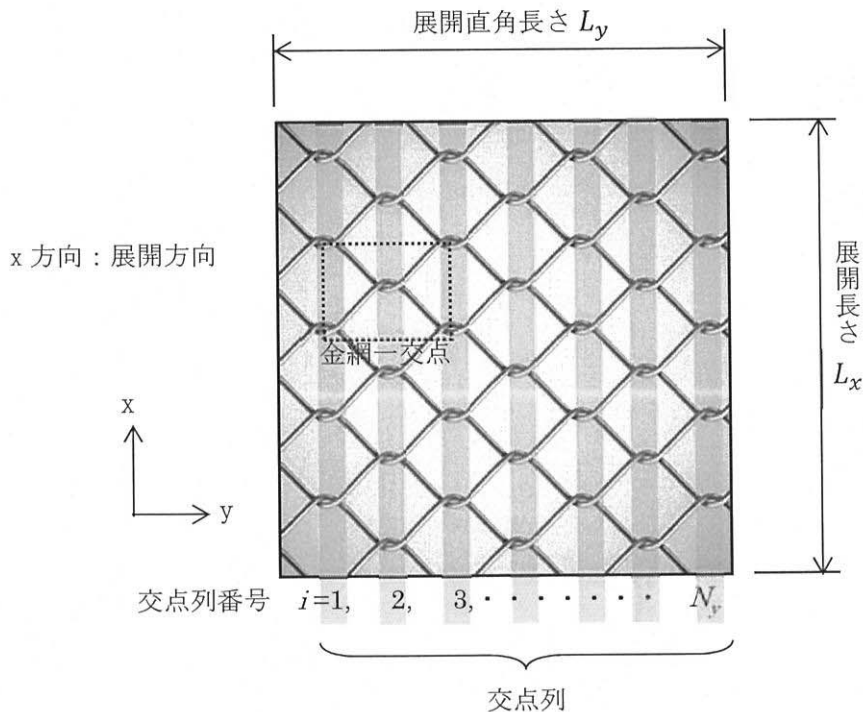
- ・金網幅寸法が展開長よりも大きい金網は、展開長を辺長とした正方形を有効範囲として吸収エネルギーを算出する。
- ・金網のアスペクト比（展開長/幅寸法）は2を上限とする。

金網寸法が上記に適合しない場合、適用範囲内に評価寸法を変更し、吸収エネルギーが保守的になるように評価する。

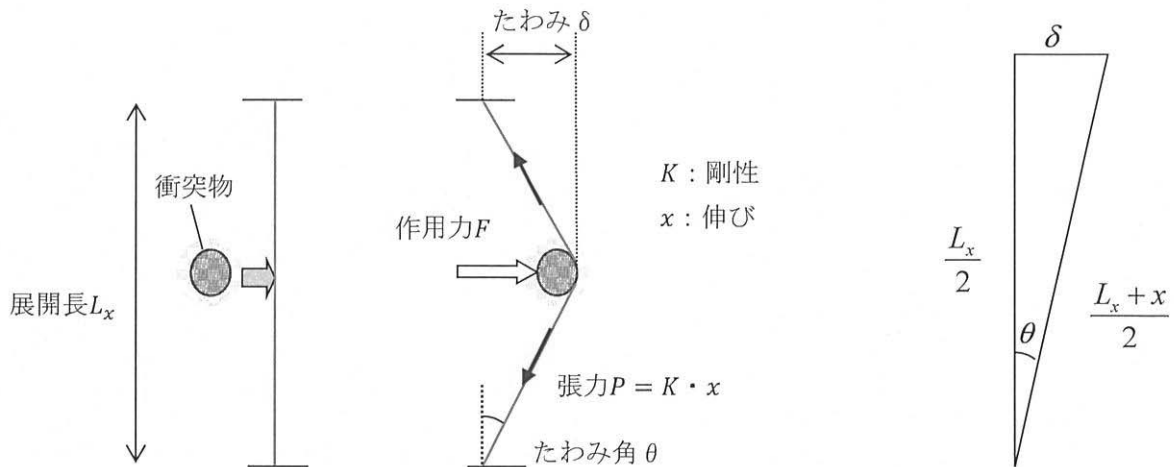
4.1. 防護ネット吸収エネルギー

ここでは、想定している防護ネットが吸収できるエネルギーについて、評価手法を示す。

金網の評価モデル及び全長（幅）を添説建3-X.4.1-1図に示す。添説建3-X.4.1-1図において、金網は編みこみの方向からx方向が展開方向となる。また、金網の展開長さ L_x の中央に作用する荷重 F とたわみ δ の関係を添説建3-X.4.1-2図に示す。



添説建3-X.4.1-1図 金網の評価モデル及び全長（幅）



添説建 3-X. 4. 1-2 図 金網に作用する荷重

金網の吸収エネルギーの算出については 8 章の文献 8 に基づき、次のように求める。

金網の展開方向を x 方向の水平面に展開されるとして、金網 1 交点の剛性を K , x 方向の交点数を N_x とすると、 x 方向の剛性は、

$$K_x = \frac{K}{N_x} \quad (1)$$

となる。

i 列目の交点列の金網の張力を P_i とすると

$$P_i = K_x x_i \quad (2)$$

i 列目の交点列の金網の作用力 F_i は、

$$F_i = 2P_i \cdot \sin\theta_i = 2K_x x_i \cdot \sin\theta_i \quad (3)$$

となる。また、作用力方向のたわみを δ_i として、添説建 3-X. 4. 1-2 図より、

$$\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4} = \left(\frac{L_x + x_i}{2}\right)^2 \quad (4)$$

$$\sin\theta_i = \frac{\delta_i}{\frac{L_x + x_i}{2}} = \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \quad (5)$$

式(4)より、

$$x_i = 2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}} - L_x \quad (6)$$

となる。また、式(5)、式(6)を式(3)に代入して、

$$F_i = 2K_x \cdot \left(2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}} - L_x \right) \cdot \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \\ = 2 \cdot K_x \delta_i \left(2 - \frac{L_x}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_x^2}{4}}} \right) = 2 \cdot K_x \delta_i \left(2 - \frac{2L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right)$$

したがって、

$$F_i = 4 \cdot K_x \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \quad (7)$$

i 列目の交点列の吸収エネルギーは次の通り。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i d\delta \\ = \int_0^{\delta_i} 4K_x \delta \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} \right) d\delta \quad (8)$$

$$\phi = 4\delta^2 + L_x^2 \quad \text{とすると} \quad (9)$$

$$\frac{d\phi}{d\delta} = 8\delta, d\delta = \frac{1}{8\delta} d\phi$$

$$E_i = \int_0^{\delta_i} 4K_x \delta \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} \right) d\delta \\ = 4K_x \int_0^{\delta_i} \delta d\delta - \int_0^{\delta_i} \frac{4K_x L_x \delta}{\sqrt{4\delta^2 + L_x^2}} d\delta = 2K_x \delta_i^2 - \int_0^{\delta_i} \frac{4K_x L_x \delta}{\sqrt{\phi}} \frac{1}{8\delta} d\phi$$

$$\text{第 2 項} = - \int_0^{\delta_i} \frac{K_x L_x}{\sqrt{\phi}} \frac{1}{2} d\phi = \left[-K_x L_x \sqrt{4\delta^2 + L_x^2} \right]_0^{\delta_i} = -K_x L_x \sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} + K_x L_x^2$$

したがって、

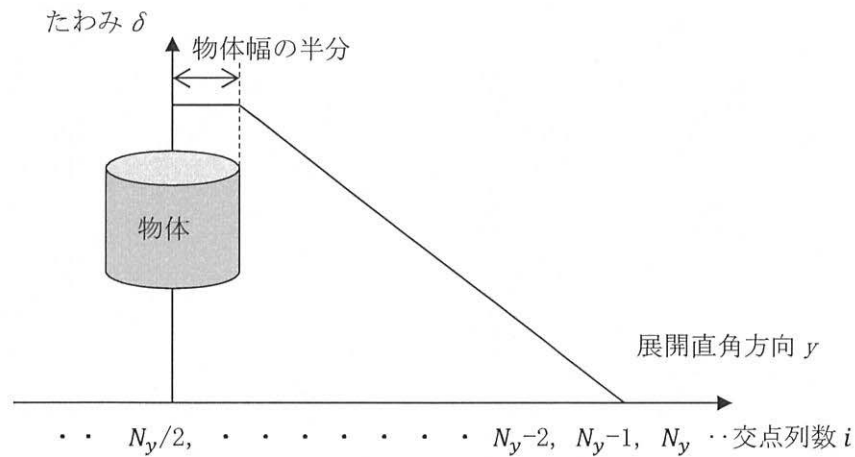
$$E_i = 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad (10)$$

金網の総吸収エネルギーは、

$$E = \sum_i^{N_y} E_i \quad (11)$$

以上の通り、展開直角方向の各交点列のたわみ δ_i を決定することで金網全体の吸収可能エネルギーを求めることができる。

展開直角方向の金網のたわみは直線的になると考えられることから、衝突する物体と接触する中央部分はたわみ一定とし、添説建 3-X. 4. 1-3 図に示す。



添説建 3-X. 4. 1-3 図 金網各列のたわみの与え方

金網の吸収エネルギーを評価するうえで、金網の交点剛性を求める必要がある。ここではその評価手法を示す。

金網 1 交点分の剛性を求める。

1 本の線材の線方向の剛性は、

$$K_s = \frac{AE}{S} \quad (12)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

E : 線材のヤング率

S : 目合い寸法 (線材の長さ)

金網は展開方向のみに伸びるものとし、金網の角度は変化するとする。目合い寸法 S の金網に対し、1 目合い分の金網の展開方向 (x) の伸びを q 、金網の線材方向の伸びを r とする。金網の 1 交点の変形模式図を添説建 3-X. 4. 1-4 図に示す。

金網の張力 P は金網 1 目合い分の線材の剛性より、

$$P = K_s r \quad (13)$$

金網の初期角度を 45° として、破断伸びを ε_u とすると、破断する直前の角度を μ として、

$$r = \varepsilon_u \cdot S$$

$$\cos \mu = \frac{q + S/\sqrt{2}}{S + r} = \frac{q + S/\sqrt{2}}{S(1 + \varepsilon_u)}$$

一方、添説建 3-X. 4. 1-4 図より、

$$\left(\frac{S}{\sqrt{2}} + q\right)^2 = (S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2 \quad (14)$$

$$q = \sqrt{(S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2} - S/\sqrt{2}$$

となる。

金網 1 交点に作用する展開方向力 F は、

$$F = 2P \cdot \cos\mu = 2K_s r \cos\mu$$

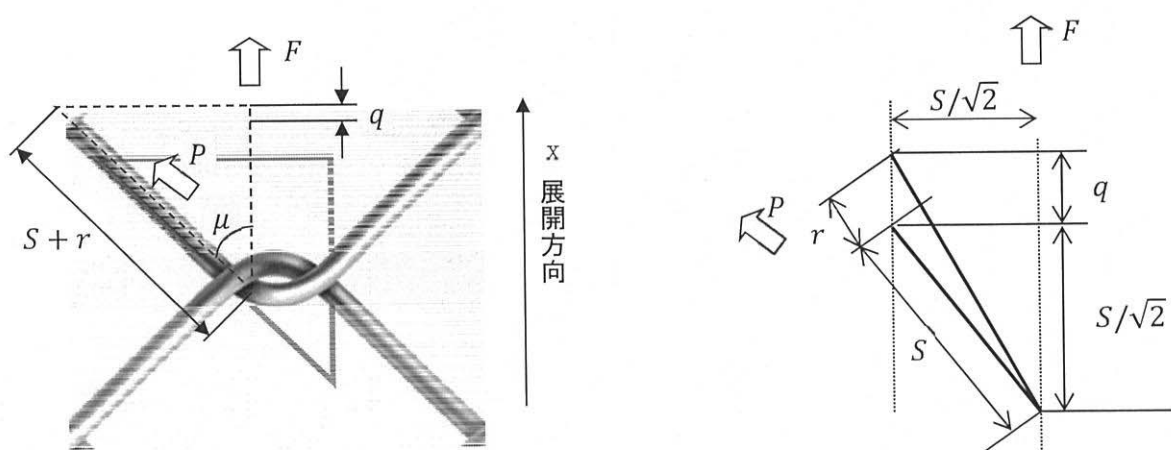
1 交点の剛性 K は展開方向張力 F を添説建 3-X. 4. 1-4 図に示した q の 2 倍のたわみ量で除し、

$$K = \frac{F}{2q} = \frac{r \cos\mu}{q} K_s = \eta K_s \quad (15)$$

ここで、

$$\eta = \frac{r \cos\mu}{q} = \frac{\frac{\varepsilon_u}{1 + \varepsilon_u} (q + S/\sqrt{2})}{\sqrt{(S+r)^2 - \left(\frac{S}{\sqrt{2}}\right)^2} - S/\sqrt{2}} \quad (16)$$

とすると、破断伸び ε_u が与えられれば η を求めることができ、1 交点の展開方向の引張剛性を線材の諸元から求めることができる。



添説建 3-X. 4. 1-4 図 1 交点の変形模式図

なお、線材のヤング率 E は塑性変形後の挙動を評価するため、以下の E_p を用いる。

$$E_p = \frac{\sigma_u}{\varepsilon_u}$$

E_p : 塑性変形を考慮したヤング率 (N/mm²)

σ_u : 引張強さ (N/mm²)

ε_u : 破断伸び (—)

また、金網破断時のたわみ角は以下の通りとなる。金網の線材が破断するときの最大のたわみ角は添説建 3-X. 4. 1-2 図より伸びを x_i とし、金網の展開長 L_x とすると、

$$\cos\theta_i = \frac{\frac{L_x}{2}}{\frac{L_x + x_i}{2}} = \frac{L_x}{L_x + x_i}$$

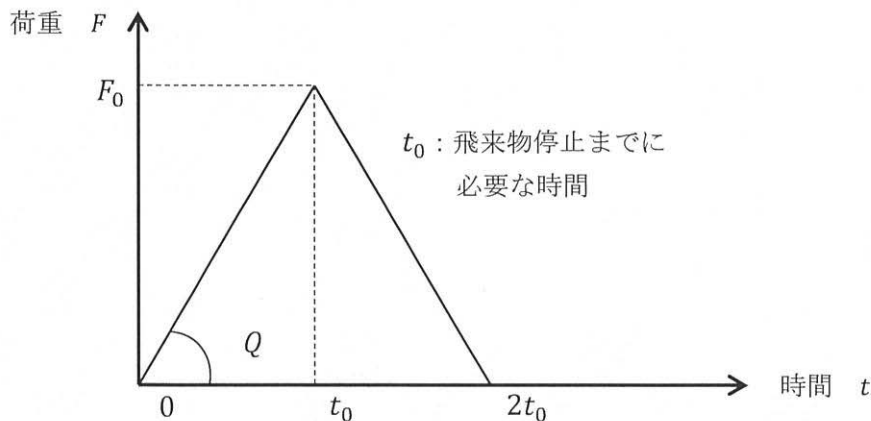
となり、破断伸びを ε_u とすると、 $x_i = L_x \varepsilon_u$

$$\cos\theta_i = \frac{L_x}{L_x + L_x \varepsilon_u} = \frac{1}{1 + \varepsilon_u}$$

$$\theta_i = \cos^{-1}\left(\frac{1}{1 + \varepsilon_u}\right)$$

4. 2. 防護ネット作用荷重

飛来物が防護ネットに衝突することで、防護ネットに衝撃荷重が作用する。この衝撃荷重は金網のたわみとともに時間的に変化するが、この荷重変化を添説建 3-X. 4. 2-1 図に示す通り、二等辺三角形荷重と仮定する。この場合、金網に作用する荷重 F は、時間とともに比例する。この比例定数を Q とする。



添説建 3-X. 4. 2-1 図 二等辺三角形荷重 (金網への衝撃荷重の時刻歴変化)

金網に作用する衝撃荷重 F は、

$$F = Qt \tag{17}$$

金網に衝突した物体が初速 v_0 からある速度 v に至るまでの運動量変化は、飛来物に作用する力積に等しいので、飛来物の質量を m とすると、

$$mv_0 - mv = \int_0^t F dt = \int_0^t Qt dt = \frac{1}{2} Qt^2 \tag{18}$$

$$v = -\frac{Qt^2}{2m} + v_0 \tag{19}$$

変位 d は速度 v を時間で積分したものとなるため、

$$d = \int_0^t v dt = -\frac{Qt^3}{6m} + v_0 t \tag{20}$$

$t = t_0$ のとき、変位 d は最大値 d_{max} となり、 v は 0 となる。

$$v_0 = \frac{Qt_0^2}{2m} \tag{21}$$

$$d_{max} = -\frac{Qt_0^3}{6m} + v_0 t_0 = t_0 \left(-\frac{v_0}{3} + v_0 \right) = \frac{2}{3} v_0 t_0 \tag{22}$$

$$t_0 = \frac{3d_{max}}{2v_0} \tag{23}$$

$$F_0 = Qt_0 = \frac{2mv_0}{t_0} = \frac{4mv_0^2}{3d_{max}} \tag{24}$$

飛来物の運動エネルギーは $E = mv_0^2/2$ 、とあらわされるので

$$F_0 = \frac{8E}{3d_{max}} \tag{25}$$

このように飛来物の運動エネルギー E と金網の最大たわみ d_{max} を用いて金網に作用する最大荷重を求めることができる。

4. 3. 防護ネット取付部荷重

9章の電中研文献に基づく、金網の周を縁取るワイヤーロープ（以下、ワイヤーという）に作用する荷重として、以下の式が提案されている。

$$T_w = \frac{F}{4n \cdot \sin\theta} \tag{26}$$

ここで、

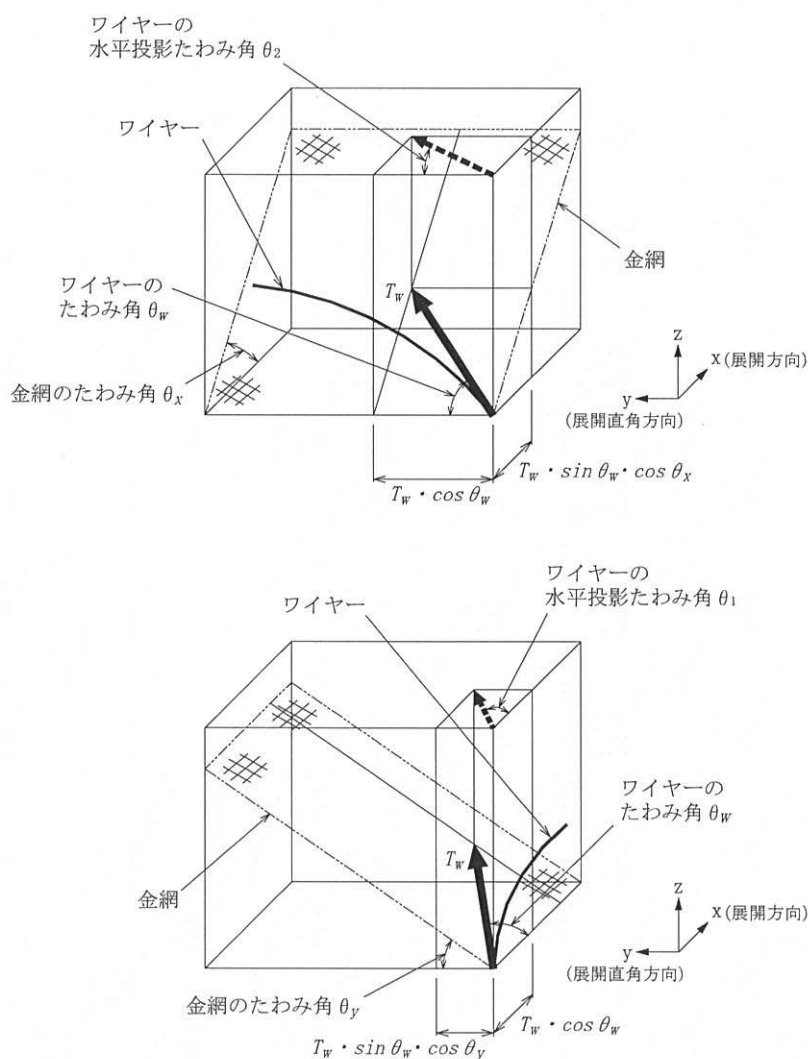
T_w : ワイヤー張力

n : 金網枚数

θ : 金網たわみ角

F : 金網に作用する衝撃力

このワイヤーからの支持部材に作用する荷重の評価手法は以下の方法による。
 ここで、金網の一つのコーナー部についての荷重の状況を添説建 3-X. 4. 3-1 図に示す。
 ここで、
 x 軸と金網のなす角度を θ_x 、y 軸と金網のなす角度を θ_y 、
 x 方向（展開方向）の金網の長さを L_x 、y 方向（展開直角方向）の金網の長さを L_y 、
 金網のたわみを δ とする。



添説建 3-X. 4. 3-1 図 ワイヤーの水平投影たわみ角

(1) 金網の展開直角方向の辺に設置されているワイヤーについて

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2\delta}{L_x} \right) \quad (27)$$

T_W が x-z 平面に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \quad (28)$$

さらにこの成分が x 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_x \quad (29)$$

T_W が y 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \cos\theta_w \quad (30)$$

ここから、このワイヤーと y 軸とのなす角度が x-y 平面に投影される角度は

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_x}{T_W \cdot \cos\theta_w} \right) = \tan^{-1}(\tan\theta_w \cdot \cos\theta_x) \quad (31)$$

ここで、ワイヤーのたわみを δ_w とすると、

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{4\delta_w}{L_x} \right) \quad (32)$$

(2) 金網の展開方向の辺に設置されているワイヤーについて

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{2\delta}{L_y} \right) \quad (33)$$

T_W が y-z 平面に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \quad (34)$$

さらにこの成分が y 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_y \quad (35)$$

T_W が x 軸に投影される成分は

$$T_W \cdot \cos\theta_w \quad (36)$$

ここから、このワイヤーと x 軸とのなす角度が x-y 平面に投影される角度は

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{T_W \cdot \sin\theta_w \cdot \cos\theta_y}{T_W \cdot \cos\theta_w} \right) = \tan^{-1}(\tan\theta_w \cdot \cos\theta_y) \quad (37)$$

ここで、ワイヤーのたわみを θ_w とすると、

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{4\delta_w}{L_y} \right) \quad (38)$$

(3) θ_w の導出について

ワイヤーが放物線形状となるものとする、

$$y = a\left(x - \frac{L}{2}\right)^2 + b \quad (39)$$

とできる。

ここで

y : ワイヤーたわみ

L : 変形前のワイヤー長さ

x : ワイヤー座標

$x = L/2$ のとき、たわみが δ_w であるとする、 $b = \delta_w$

$x = 0$ のときたわみが 0 であるとする、

$$a = -\frac{4\delta_w}{L^2} \quad (40)$$

$x = 0$ のときのワイヤーのたわみ角を θ_w とすると、

$$\tan\theta_w = \frac{dy}{dx}_{x=0} = 2a\left(x - \frac{L}{2}\right)_{x=0} = 2\frac{4\delta_w}{L^2}\frac{L}{2} = \frac{4\delta_w}{L} \quad (41)$$

$$\theta_w = \tan^{-1}\left(\frac{4\delta_w}{L}\right) \quad (42)$$

(4) δ_w の計算について

ワイヤーに作用する張力からワイヤーの歪を求め、ワイヤーの伸び δ' を求める。

$$\delta' = L \cdot \varepsilon \quad (43)$$

ワイヤーの縦弾性係数を E_w とすると、ワイヤーの歪は張力を下式に代入して求める。

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_w} = \frac{T_w}{AE_w} \quad (44)$$

ワイヤーが放物線上にたわむとすると、その変形後の長さ S は放物線の線積分から以下の式が導出される。

$$S = \frac{1}{2}\sqrt{L^2 + 16\delta_w^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w + \sqrt{L^2 + 16\delta_w^2}}{L}\right) \quad (45)$$

この S が $S = L + \delta'$ となることから、 δ_w を逆算する。 S の算出式については、後述する。

(5) 防護ネット取付部荷重について

標準金網を $\phi 16$ のワイヤーで縁取った場合の金網 4 コーナーのワイヤー固定部分 1 箇所に作用する荷重を以下の通り求める。

鉛直方向荷重 F_z

$$F_z = \frac{1}{4}F \quad (46)$$

水平方向荷重 F_x

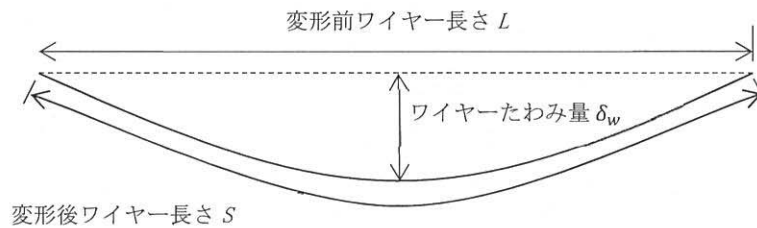
$$F_x = \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \cos\theta_1 + \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \sin\theta_2 \quad (47)$$

水平方向荷重 F_y

$$F_y = \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \cos\theta_2 + \sqrt{T_w^2 - F_z^2} \sin\theta_1 \quad (48)$$

(6) 変形後のワイヤー長さ S の式の導出について

ワイヤーの変形状態を添説建 3-X. 4. 3-2 図に示す。



添説建 3-X. 4. 3-2 図 ワイヤー変形図

S の求め方について、変形後のワイヤーの形状が放物線になるものとして、式を再掲すると、

$$y = a \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + b \quad (49)$$

この線積分は

$$2 \int_{x=0}^{x=\frac{L}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx \quad (50)$$

$$2 \int \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx = 2 \int \sqrt{1 + 4a^2 \left(x - \frac{L}{2} \right)^2} dx \quad (51)$$

ここで、 $t = 2a(x - L/2)$ とすると、

$$dt/dx = 2a \quad dx = dt/2a$$

$$2 \int \sqrt{1 + 4a^2 \left(x - \frac{L}{2} \right)^2} dx = \frac{1}{a} \int \sqrt{1 + t^2} dt \quad (52)$$

$$\int \sqrt{1 + t^2} dt = \frac{1}{2} \{ t\sqrt{t^2 + 1} + \ln(t + \sqrt{t^2 + 1}) \} \quad (53)$$

$$x = 0 \rightarrow t = -aL$$

$$x = \frac{L}{2} \rightarrow t = 0$$

$$\begin{aligned}
\int_{x=0}^{x=\frac{L}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx &= \left[\frac{1}{a} \frac{1}{2} \left\{ t\sqrt{t^2+1} + \ln(t + \sqrt{t^2+1}) \right\} \right]_{t=-aL}^{t=0} \\
&= \frac{1}{a} \frac{1}{2} \left\{ aL\sqrt{(aL)^2+1} - \ln(-aL + \sqrt{(aL)^2+1}) \right\} \\
&= \frac{1}{2} L\sqrt{(aL)^2+1} - \frac{1}{2a} \ln(-aL + \sqrt{(aL)^2+1})
\end{aligned} \tag{54}$$

式(40)で a を求めているので、これを式(54)に代入し、

$$a = -\frac{4\delta_w}{L^2} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2} L \sqrt{\left(\frac{4\delta_w}{L}\right)^2 + 1} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w}{L} + \sqrt{\left(\frac{4\delta_w}{L}\right)^2 + 1}\right) \\
= \frac{1}{2} \sqrt{16\delta_w^2 + L^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w + \sqrt{16\delta_w^2 + L^2}}{L}\right)
\end{aligned} \tag{56}$$

したがって、

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{16\delta_w^2 + L^2} + \frac{L^2}{8\delta_w} \ln\left(\frac{4\delta_w + \sqrt{16\delta_w^2 + L^2}}{L}\right) \tag{57}$$

(7) 動的倍率について

飛来物が防護ネットに衝突することで、防護ネットに衝撃荷重が作用する。

この荷重が防護ネットの支持構造物に伝達する際、動的倍率を考慮する必要がある。

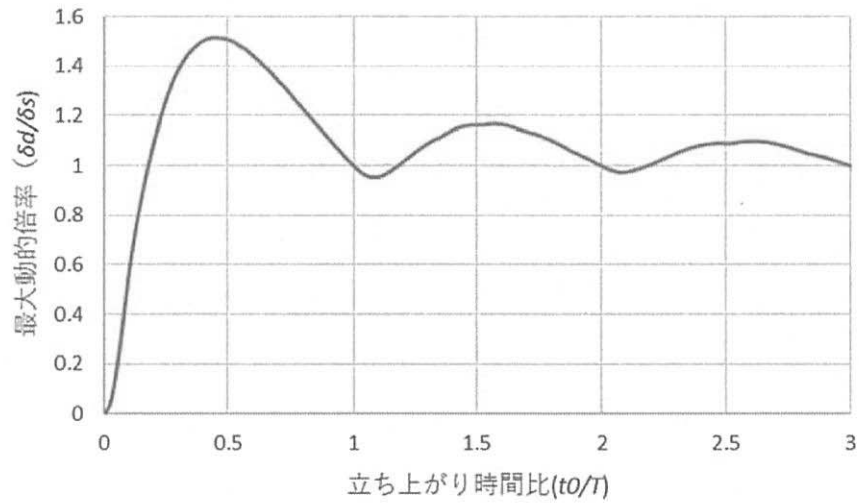
防護ネット及びその支持構造物全体の系の固有周期を $T=2\pi/\omega$ とする一質点系モデルに添説建3-X.4.2-1図に示す二等辺三角形荷重が作用する場合の動的変位の倍率(動的変位 δ_d / 静的変位 δ_s) は、二等辺三角形荷重の立ち上がり時間を t_0 とすると、時間 t の区分毎に以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
0 \leq t \leq t_0 \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = \frac{t}{t_0} - \frac{\sin\omega t}{\omega t_0}
\end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
t_0 \leq t \leq 2t_0 \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = 2 - \frac{t}{t_0} - \frac{\sin\omega t}{\omega t_0} + \frac{2}{\omega t_0} \sin\omega(t - t_0)
\end{aligned} \tag{59}$$

$$\begin{aligned}
2t_0 \leq t \\
\frac{\delta_d}{\delta_s} = \frac{1}{\omega t_0} \{2\sin\omega(t - t_0) - \sin\omega t - \sin\omega(t - 2t_0)\}
\end{aligned} \tag{60}$$

立ち上がり時間 t_0 と固有周期 T の比 (立ち上がり時間比 t_0/T) を横軸として最大動的倍率を求めると、添説建 3-X. 4. 3-3 図の通りとなる。ここで、8 章の電中研文献によると最大動的倍率は最大となる 1.52 で、この動的倍率を荷重に考慮する。



添説建 3-X. 4. 3-3 図 二等辺三角形荷重に対する最大動的倍率

5. 防護ネット評価結果

各建物の防護ネットに対し、最大吸収可能エネルギー量、評価用ワイヤー張力及び取付金物作用荷重の評価結果を添説建 3-X.5-1 表に示す。

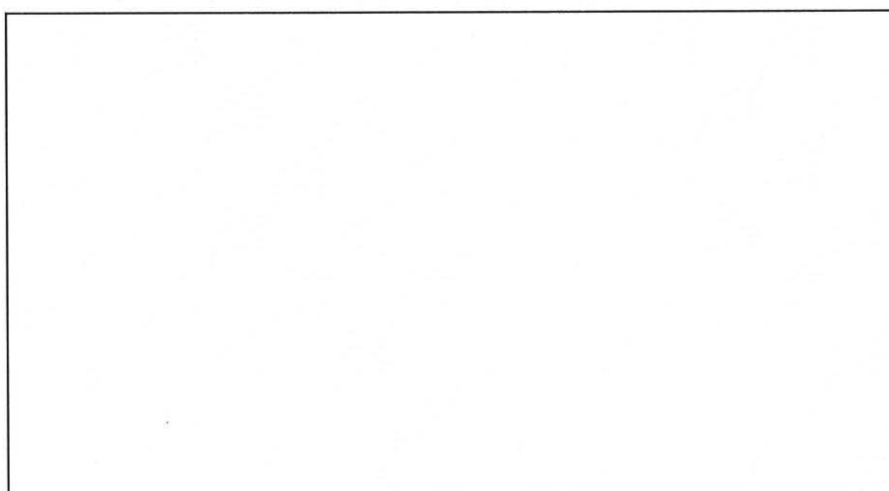
なお、評価の仮定条件として、飛来物は防護ネットの最も柔な中央部分に転がって移動し、飛来物の荷重は防護ネット中央部に作用するものとする。

添説建 3-X.5-1 表 防護ネット 評価結果

項目		第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
金網の仕様 目合い、線径			
最大吸収可能エネルギー			
プレハブ落下時エネルギー※2			
ダクト飛散時鉛直エネルギー※2			
動的倍率			
評価用鉛直荷重			
評価用ワイヤー張力			
取付金物 作用荷重※1	展開方向 水平荷重 F_{xx}		
	展開直角方向 水平荷重 F_{yy}		
	鉛直方向荷重 F_{xz}		
	展開方向 水平荷重 F_{yx}		
	展開直角方向 水平荷重 F_{yy}		
	鉛直方向荷重 F_{yz}		

※1：ワイヤー固定部分 1 箇所（添説建 3-X.5-1 図）に作用する荷重

※2：飛来物、飛散物のエネルギー評価は、電力中央研究所が開発した竜巻飛来物解析コード「TONBOS」を用いて行い、竜巻風速場にはフジタモデル(DBT-77 モデル)を適用した。



添説建 3-X.5-1 図 取付金物作用荷重

6. 防護ネット各部の強度検討

第1 廃棄物処理所及び第2 廃棄物処理所に設置する防護ネットの各部の強度検討を行う。

各部の強度検討にあたっては、防護ネットが更なる安全裕度の向上策として設置されるものであることより、金網の最大吸収可能エネルギー量は金網素線の破断伸びまでを考慮したもの（4. 1 防護ネット吸収エネルギー）とし、同様に付属物についても破断強度（引張荷重）を許容荷重として強度評価を行うものとする。

6. 1. 金網の強度検討

第1 廃棄物処理所及び第2 廃棄物処理所の金網の強度評価においては、飛来物（プレハブ）が落下した時のエネルギーを対象とし、金網の最大吸収可能エネルギーとの比で検討する。

対象飛来物、飛散物エネルギー量 : E (kJ)

金網の最大吸収可能エネルギー量 : E_a (kJ)

$$\text{検定比 } K_1 = \frac{E}{E_a}$$

検討結果を添説建 3-X. 6. 1-1 表に示す。

添説建 3-X. 6. 1-1 表 金網の吸収エネルギー検討結果

	第1 廃棄物処理所	第2 廃棄物処理所
防護対象	プレハブ落下	プレハブ落下
対象エネルギー量 E (kJ)		
最大吸収可能エネルギー量 E_a (kJ)		
検定比 K_1		

なお、金網の吸収エネルギーは、金網素線が破断に至る限界から算出しているため、飛来物の運動エネルギーが金網の吸収エネルギーよりも小さい限り素線は破断しない。ただし、鋼製材のように小さい断面を持つ飛来物を想定する場合は、金網に局所的な荷重が作用するため、素線自体の破断に対する強度確認が必要となる。これに対し、本検討では、対象となる飛来物の軽トラック、プレハブが十分な大きさを持つため、金網に対する局所的な荷重影響は小さく、よって金網素線の破断強度評価の記載は省略する。

6. 2. 防護ネット付属物の強度検討

防護ネットを構成する付属物であるワイヤー、ターンバックル、シャックルの強度検討を行う。
各建物の検討結果を添説建 3-X. 6. 2-1 表～添説建 3-X. 6. 2-3 表に示す。

(1) ワイヤー

ワイヤー端末施工部に工場圧着シンコーランプもしくは現地圧着シンコーランプを使用するものとし、定着効率は、保守的に考えて現場圧着型の 90%を適用し検討する。

ワイヤー :

使用径 : ϕD (mm)

破断荷重 : BL_0 (kN)

クランプ :

(NEXCO 総研 承認品)

クランプ定着効率 : 90%^{※1}

評価用破断荷重 : BL (kN)

$BL = BL_0 \times 0.90$

評価用ワイヤー張力 : T (kN)

検定比 $K_2 = \frac{T}{BL}$

※1：メーカー技術資料を三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

添説建 3-X. 6. 2-1 表 ワイヤーの強度検討

	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
評価用ワイヤー張力 T (kN)		
使用ワイヤー径 ϕD (mm)		
破断荷重 BL_0 (kN)		
評価用破断荷重 BL (kN)		
検定比 K_2		

(2) ターンバックル

ターンバックルの強度検討にあたっては、 の破断荷重に対する評価用ワイヤー張力との比で評価する。

ターンバックル :
 破断荷重 : TB (kN)
 評価用ワイヤー張力 : T (kN)

$$\text{検定比 } K_3 = \frac{T}{TB}$$

添説建 3-X.6.2-2 表 ターンバックルの強度検討

	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
評価用ワイヤー張力 T (kN)		
ねじの呼び		
破断荷重 TB (kN) ^{※1}		
検定比 K_3		

※1：メーカーによる引張試験結果を三菱原子燃料株式会社にて確認、保証したものである。

(3) シャックル

シャックルの強度検討にあたっては、シャックル JIS B2801 では、「使用荷重に相当する力の 5 倍以上の引張荷重に耐えなければならない」となっているため安全率を保守的に 5.0 とし、それを乗じた値を評価用破断荷重として、評価用ワイヤー張力との比で評価する。

シャックル : (JIS B 2801)
 使用荷重 : WL_1 (kN)
 最低限安全率 F : 5.0
 評価用引張荷重 : SH (kN)
 $SH = WL_2 \times F = WL_2 \times 5.0$
 評価用ワイヤー張力 : T (kN)

$$\text{検定比 } K_4 = \frac{T}{SH}$$

添説建 3-X.6.2-3 表 シャックルの強度検討^{※1}

	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
評価用ワイヤー張力 T (kN)		
JIS 形シャックル		
使用荷重 WL_1 (kN) ^{※2}		
評価用引張荷重 SH (kN)		
検定比 K_4		

※1：強力長シャックルの使用荷重は JIS 形シャックル SC16 より大きいので記載省略

※2：JIS B 2801 使用荷重(t)×9.80665

6.3. 防護ネット固定部の強度検討

防護ネットの固定部は、建物構造の部材格点部に位置しており、飛来物による衝撃荷重は、その格点部から建物構造に伝達され建物全体構造で抵抗する。

第1廃棄物処理所と第2廃棄物処理所の取付金物は同じタイプであり、形状寸法も類似しているため、金網の検定比が大きく、取付金物作用荷重も大きい第1廃棄物処理所にて検討詳細を示し、第2廃棄物処理所については、検討結果を一覧表の形式にて示すものとする。

なお、検討は、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」という。）に準拠して行う。

6.3.1. 第1廃棄物処理所の検討

以下に第1廃棄物処理所の固定部の検討を示す。

(1) 固定部の仕様

材質	:	<input type="text"/>	
サイズ (ガセットプレート)	:	<input type="text"/>	
(リブプレート)	:		
基準強度 f (N/mm ²)	:	<input type="text"/>	(S規準)
終局強度 f_y (N/mm ²)	:	<input type="text"/>	(第2464号告示より $f_y = f \times 1.1$)
短期許容せん断応力度 $f/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/>	(S規準)
終局せん断耐力 $f_y/\sqrt{3}$ (N/mm ²)	:	<input type="text"/>	(第2464号告示より $f_y = f \times 1.1$)

(2) 高力ボルトの仕様

種類	:	<input type="text"/>	
サイズ	:		
軸断面積 A_b (mm ²)	:		
高力ボルトの設計ボルト張力 T_o (kN)	:		
ボルト本数 n_b (本)	:		
1面摩擦短期許容せん断力 Q_{sa} (kN/本)	:	<input type="text"/>	

(3) 固定部に作用する荷重

固定部のシャックル取合孔部に作用する飛来物衝撃時荷重を計算する。

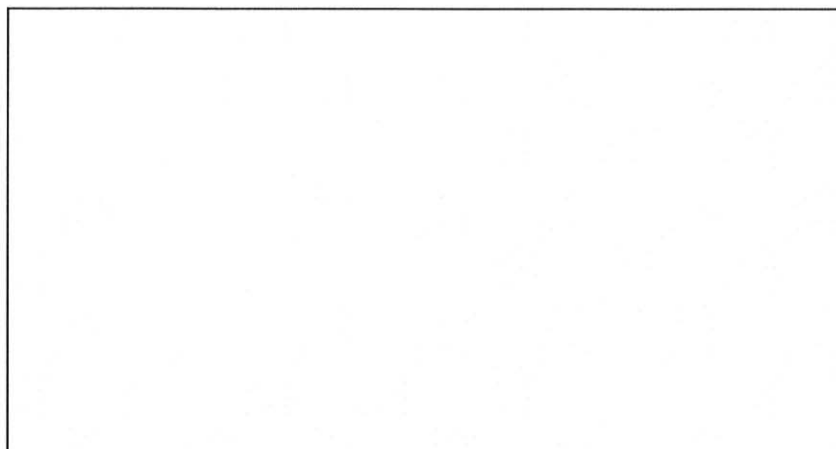
展開方向 水平荷重 F_{yx} (kN)	:	<input type="text"/>
展開直角方向 水平荷重 F_{yy} (kN)	:	
鉛直方向荷重 F_{yz} (kN)	:	

上記の F_{yx}, F_{yy}, F_{yz} の数値は、添説建3-X.5-1表を参照。

$$\begin{aligned} \text{飛来物衝撃時作用荷重 } Fi &= \sqrt{F_{yx}^2 + F_{yy}^2 + F_{yz}^2} \\ &= \text{ kN} \end{aligned}$$

(4) 孔部端抜きの検討

固定部のシャックルが取り合う孔部の端抜きの検討を行う。



端抜け検討位置

飛来物衝撃時作用荷重 F_i (kN)

端抜けライン長さ L_s (mm)

固定部板厚 t (mm)

終局端抜け抵抗力 Q_p

$$Q_p = L_s \times t \times f_y / \sqrt{3}$$

$$= \text{[]} \text{ kN}$$

飛来物衝撃時端抜け検定比 R_{i1}

$$R_{i1} = \frac{F_i}{Q_p} = \text{[]}$$

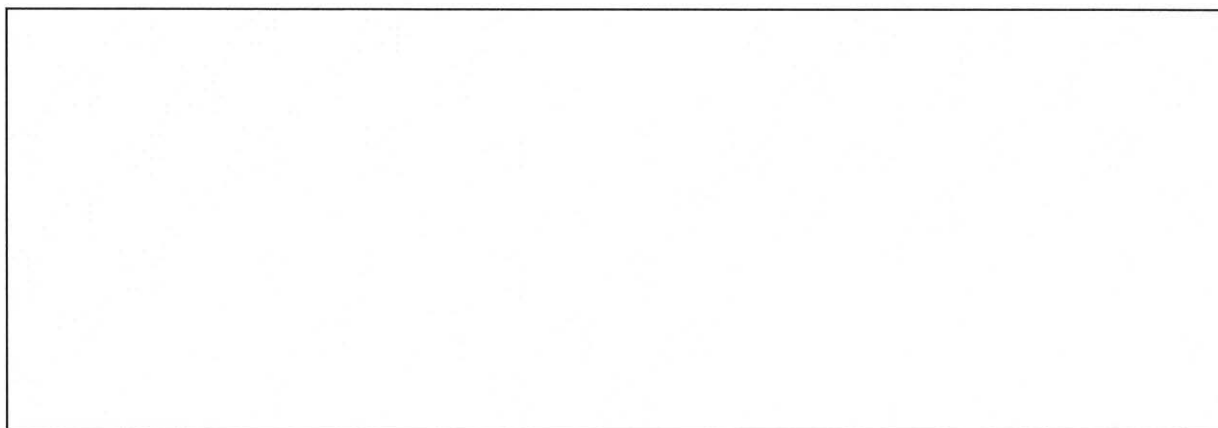
: []
:
:

(5) ガセット部の検討

固定部のガセット部の検討を行う。

(a) ガセット部の仕様

ガセット部の諸寸法は下図の通り

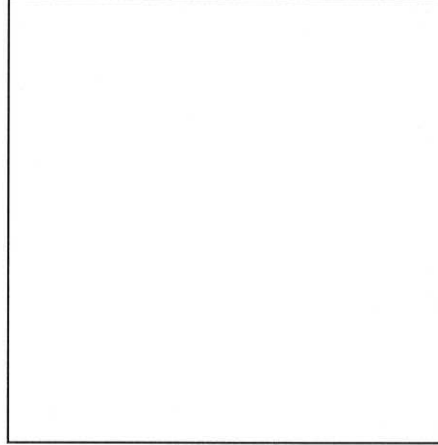


ガセットプレート平面図

A 部板組図

(b) ガセットプレート板曲げの検討

シャックルから伝達される鉛直荷重に対してガセットプレートの板曲げの検討を行う。
板曲げ検討にあたっては、リブプレート位置からの片持ち梁モデルにて行う。



板曲げ片持ち梁モデル

板曲げモーメント M_{i2}

$$M_{i2} = F_{yz} \times \ell_2 = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

板曲げ有効幅部の塑性断面係数 Z_{p2}

$$Z_{p2} = \frac{1}{4} \times a \times t^2 = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ mm}^3$$

板曲げ有効幅部の終局曲げ耐力 M_{ia}

$$M_{ia} = Z_{p2} \times f_y = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

板曲げモーメントに対する検定比 R_{i2}

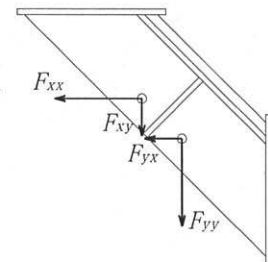
$$R_{i2} = \frac{M_{i2}}{M_{ia}} = \boxed{}$$

(c) ガセット部に作用する荷重の集約

以降のガセット部の検討においては、2つのシャックル取合孔に作用する飛来物衝撃時荷重を水平方向力、鉛直方向力のそれぞれ合力荷重にて集約して検討する。

$$\text{水平方向荷重 } F_{ih} = \sqrt{(F_{xx} + F_{yx})^2 + (F_{yy} + F_{xy})^2} \\ = \boxed{} \text{ kN}$$

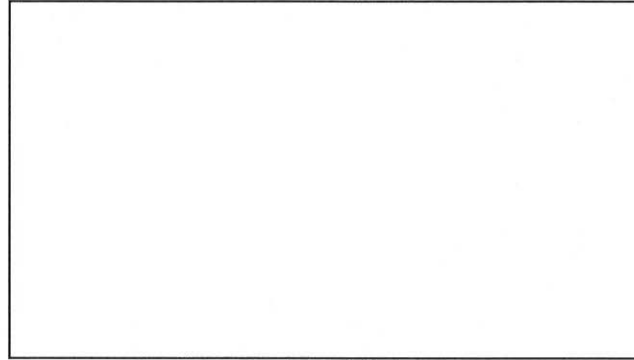
$$\text{鉛直方向荷重 } F_{iv} = F_{xz} + F_{yz} \\ = \boxed{} \text{ kN}$$



ガセットに作用する水平力

(d) ガセットプレートの水平方向荷重に対する検討

ガセットプレートに作用する水平方向荷重に対しては、ガセットプレートのせん断力にてベースプレートまで伝達する。



断面積算定位置

ガセットプレート断面積 A_g

$$A_g = \boxed{} \text{ mm}^2$$

飛来物衝撃時水平方向荷重によるせん断力 Q_{i3}

$$Q_{i3} = F_{ih} / 2 = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ N}$$

ガセットプレートの終局せん断耐力 Q_{ia}

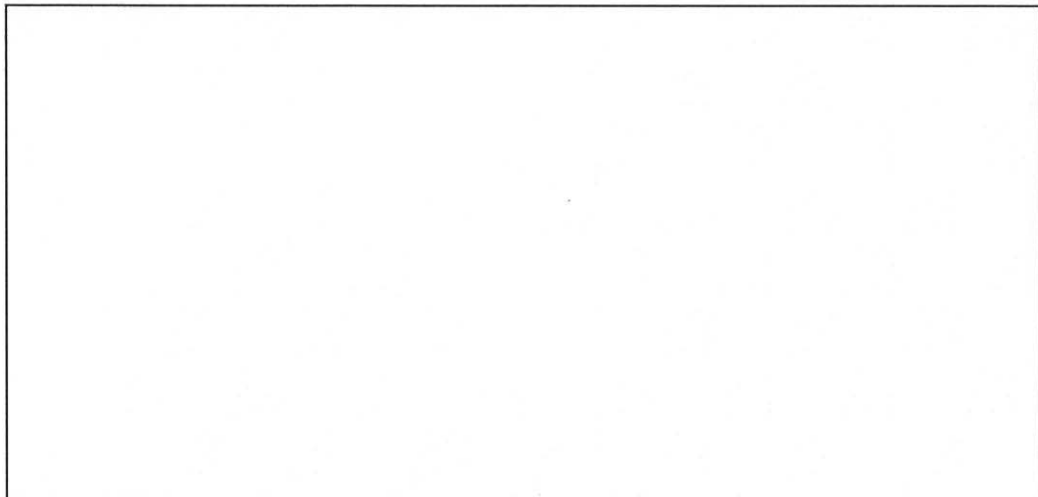
$$Q_{ia} = A_g \times f_y / \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ N}$$

ガセットプレートの水平荷重に対する検定比 R_{i3}

$$R_{i3} = \frac{Q_{i3}}{Q_{ia}} = \boxed{}$$

(e) ガセットプレートの鉛直方向荷重に対する検討

ガセットプレートの鉛直方向荷重に対しては、リブプレートとガセットプレートで構成された片持ち梁で負担する。



ガセットプレート片持ち梁モデル

偶力 H_i によりフランジリブプレートに発生する曲げモーメント M_{i5}

$$M_{i5} = \frac{1}{8} \times H_i \times \ell_5' = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

フランジリブプレートの塑性断面係数 Z_{p5}

$$Z_{p5} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

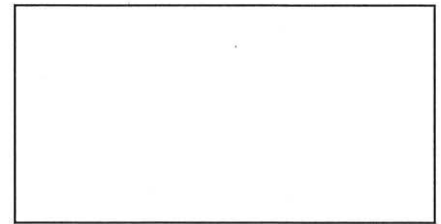
フランジリブプレートの終局曲げ耐力 M_{ia}

$$M_{ia} = Z_{p5} \times f_y = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

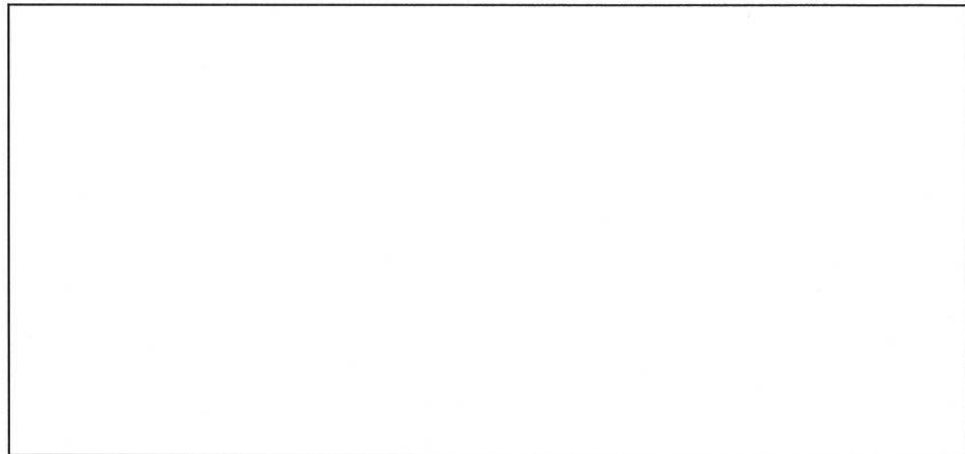
片持ち梁固定端モーメントによる偶力に対する検定比 R_{i5}'

$$R_{i5}' = \frac{M_{i5}}{M_{ia}} = \boxed{}$$



終局曲げ耐力図

ここで、フランジプレート、ウェブプレート、ガセットプレートで構成された梁の作用による曲げモーメントを考慮する。



両端固定梁モデル

梁には、リブプレートから伝達する F_{iv} が作用する。これに対して両端固定端モデルにて検討する。

F_{iv} により梁に作用する曲げモーメント M_{i5}'

$$M_{i5}' = \frac{1}{8} \times F_{iv} \times \ell_5' = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

梁の塑性断面係数 Z_{p5}'

$$Z_{p5}' = \boxed{} \text{ mm}^3$$

梁の終局曲げ耐力 M_{ia}'

$$M_{ia}' = Z_{p5}' \times f_y = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

梁作用による曲げモーメントに対する検定比 R_{i5}''

$$R_{i5}'' = \frac{M_{i5}'}{M_{ia}'} = \boxed{}$$

片持ち梁固定端モーメント及び梁作用曲げモーメントに対する検定比 R_{i5}

$$R_{i5} = R_{i5}' + R_{i5}'' = \boxed{}$$

(6) 高力ボルトの検討

ガセット部の高力ボルトに対しては、水平方向荷重によるせん断力と鉛直方向荷重によるせん断力にて検討を行う。

高力ボルト本数 n_b (本) :

水平方向荷重により接合面に作用するせん断力 F_{ihs}

$$F_{ihs} = \frac{F_{ih}}{\sqrt{2}} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}$$

鉛直方向荷重により接合面に作用するせん断力 F_{ivs}

$$F_{ivs} = \frac{F_{iv}}{2} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}$$

高力ボルト接合面に作用するせん断力 F_{is}

$$F_{is} = \sqrt{F_{ihs}^2 + F_{ivs}^2} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}$$

高力ボルト接合面の終局せん断耐力 F_{isa} については、保守的に考えて短期許容せん断力を適用する。

$$F_{isa} = Q_{sa} \times n_b = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ N}$$

高力ボルト接合面に作用するせん断力に対する検定比 R_{i6}

$$R_{i6} = \frac{F_{is}}{F_{isa}} = \boxed{}$$

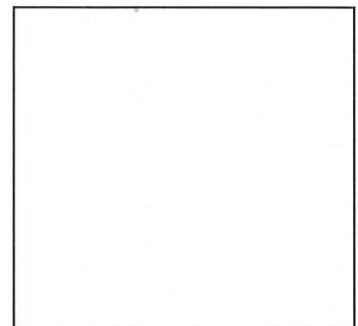
(7) 固定部の最大検討比

防護ネット固定部の最大検定比 K

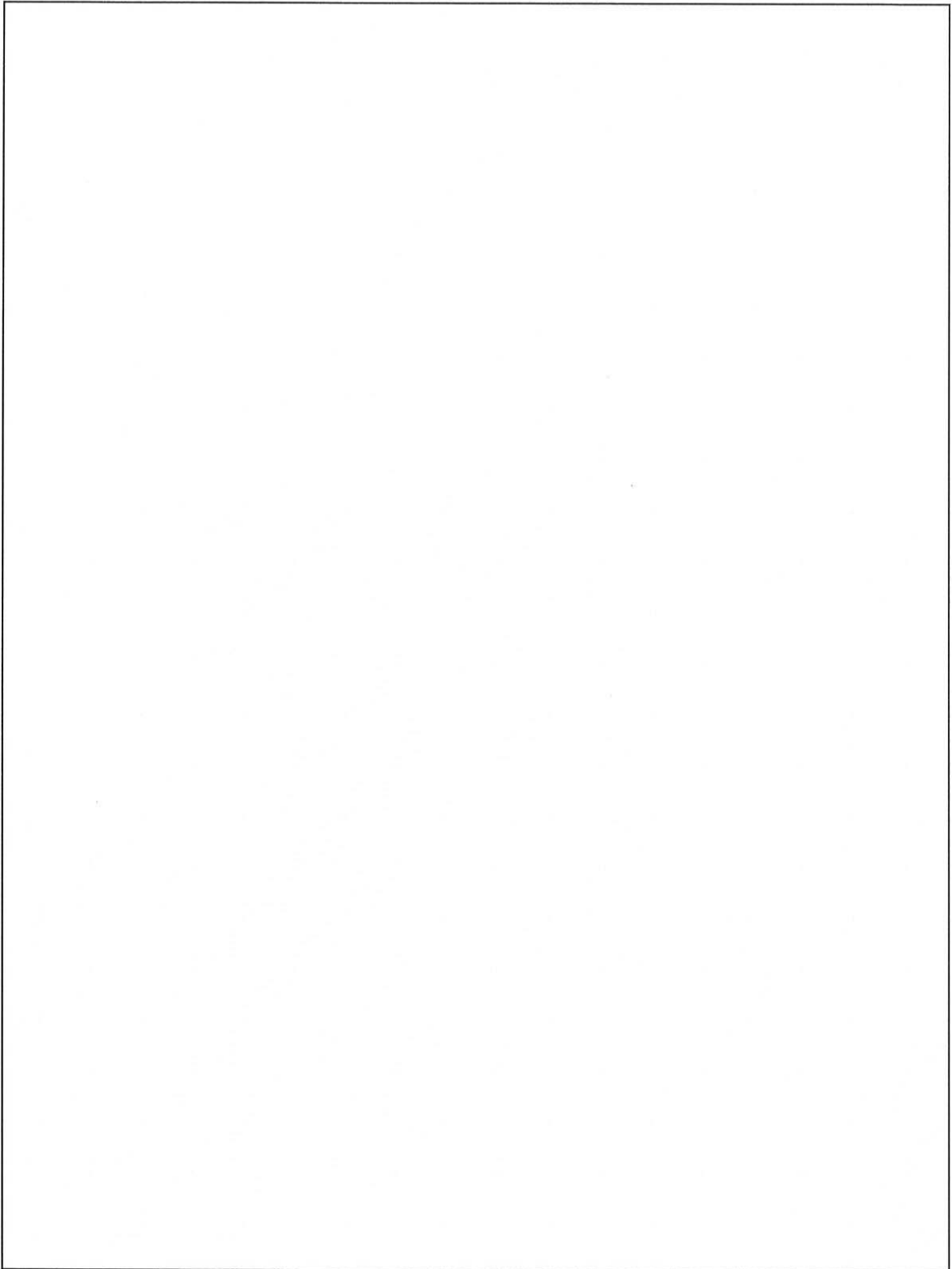
$$K = \max(R_{i1}, R_{i2}, R_{i3}, R_{i4}, R_{i5}, R_{i6})$$

$$= \max(\boxed{})$$

$$= \boxed{}$$

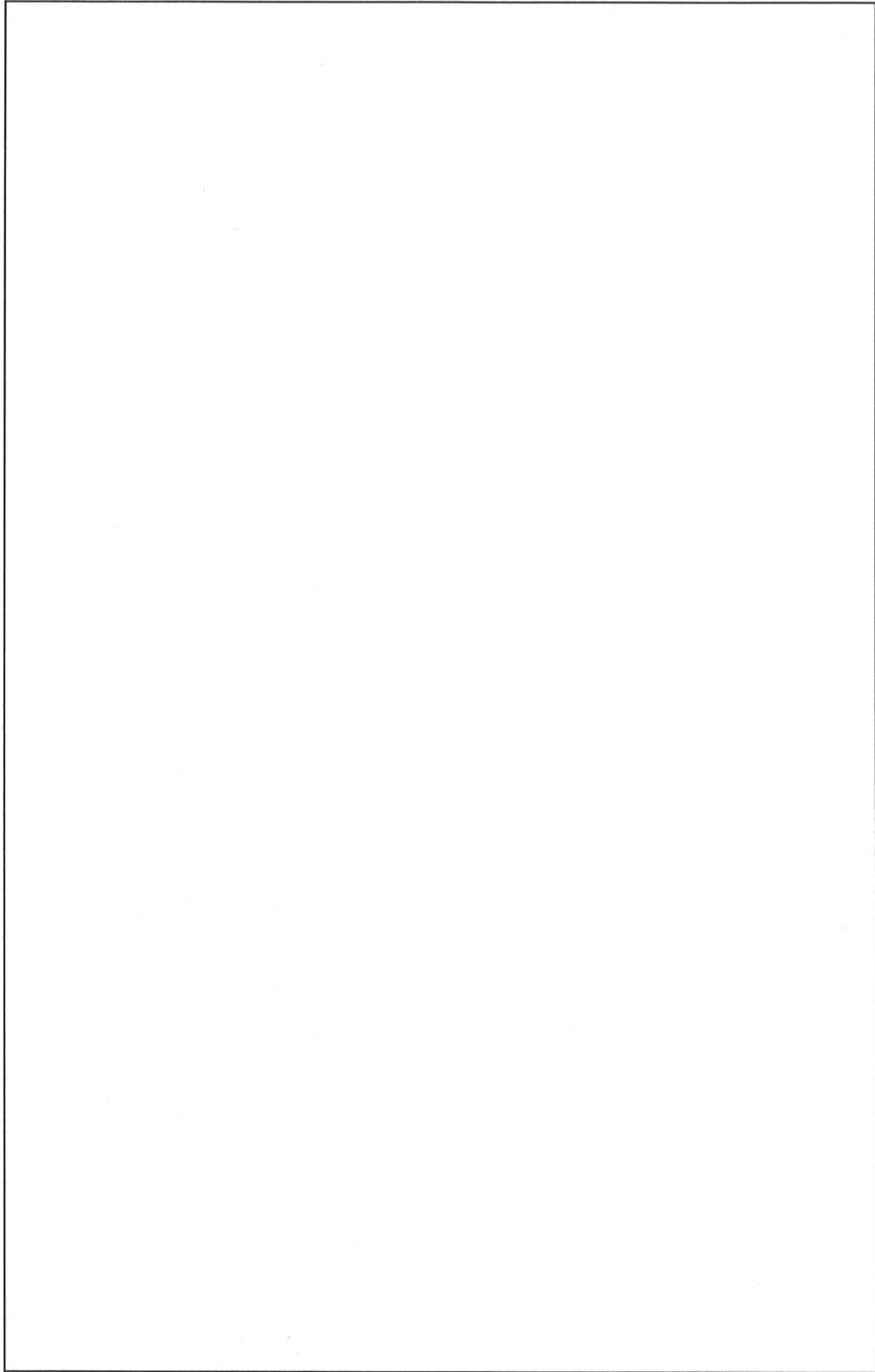


第1 廃棄物処理所の防護ネット固定部詳細図を添説建3-X.6.3.1-1図に示す。



添説建3-X.6.3.1-1図 防護ネット固定部詳細図

第2 廃棄物処理所の防護ネット固定部詳細図を添説建3-X.6.3.1-2図に示す。



添説建3-X.6.3.1-2図 防護ネット固定部詳細図

6.3.2. 防護ネット固定部の検討結果

防護ネット固定部取付金物の検討結果を添説建 3-X.6.3.2-1 表に示す。

添説建 3-X.6.3.2-1 表 取付金物の強度検討結果（検定比）一覧

各部検定比	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
取付金物サイズ B×D		
端抜け R_{i1}		
板曲げ R_{i2}		
せん断力伝達 R_{i3}		
片持ち梁固定端 R_{i4}		
梁作用 R_{i5}		
高力ボルト R_{i6}		
最大検定比 K		

7. 防護ネット評価結果一覧

第 1 廃棄物処理所及び第 2 廃棄物処理所に設置する防護ネットの各部強度評価結果（検定比）を添説建 3-X.7-1 表に総括する。また、各建物の全ての防護ネットに対する吸収エネルギー評価結果を添付説明書一建 3-X 付録 1 に示す。

添説建 3-X.7-1 表 防護ネットの強度評価結果（検定比）一覧

防護ネット各部	第 1 廃棄物処理所	第 2 廃棄物処理所
金網		
ワイヤーロープ		
ターンバックル		
シャックル		
取付金物		

各建物共に、防護ネット各部のうち金網の検定比が最も大きくなる。

8. 防護ネットたわみの影響

第 1 廃棄物処理所及び第 2 廃棄物処理所の飛来物が落下した際の防護ネットのたわみによる影響評価を屋内の設備・機器について実施し、影響がないことを確認した。

9. 文献

- ・ 電中研報告：竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案（N13014）
- ・ 土木学会：竜巻防護設備に用いる金網形状の異なる高強度金網に関する吸収エネルギー算定手法の適用性
- ・ 電中研報告：高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法（001）

付属建物の各区画における防護ネット設計と吸収エネルギーについて

1. 概要

第1 廃棄物処理所及び第2 廃棄物処理所のすべての区画における防護ネットの仕様及び吸収エネルギー評価結果を4章の一覧表に整理した。

すべての防護ネットの吸収エネルギーが、外部飛来物の運動エネルギーを上回ることを確認した。よって、想定される内部飛散物の運動エネルギー（最大 28.0kJ）を防護ネットの吸収エネルギーが上回り、F3 竜巻時に屋根損傷部から吹き込む風圧力により損傷するおそれがあるダクトを建物内部に止めることが可能なことを確認した。

また、F3 竜巻時に建物に落下する可能性のある飛来物の運動エネルギー（最大 62.0kJ）を防護ネットの吸収エネルギーが上回ることから、建物内部への飛来物の落下防止が可能なことを確認した。

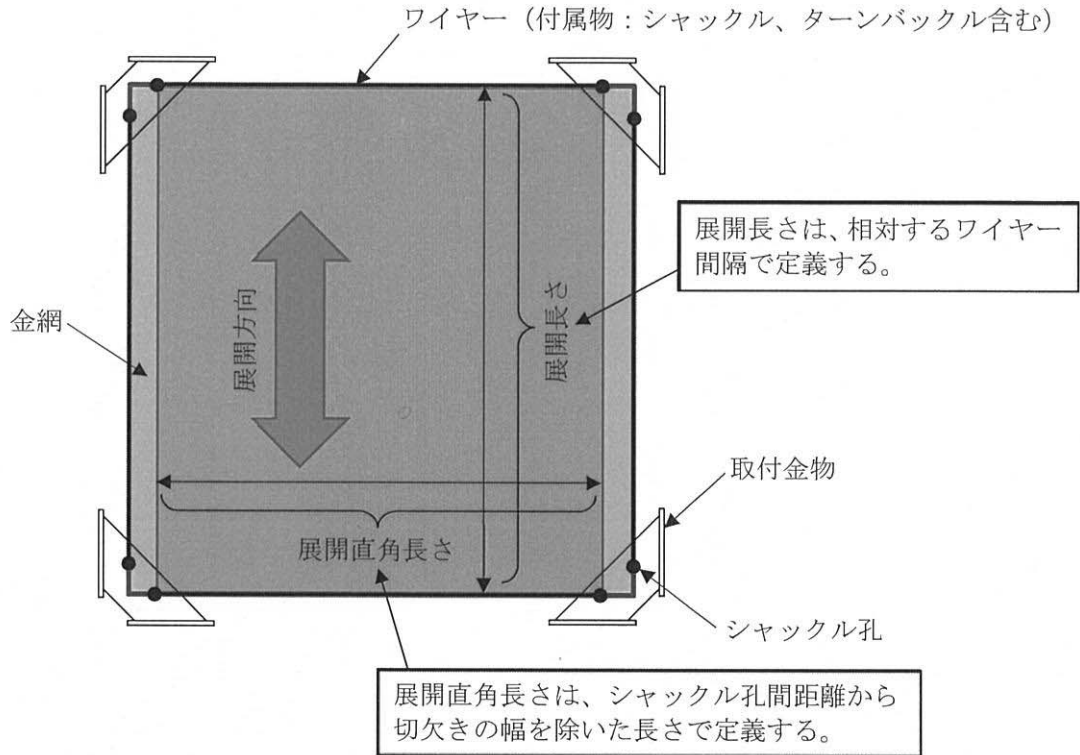
評価手法の適用範囲として、電中研報告「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法(001)」に基づき、以下項目を考慮している。

- ・金網幅寸法が展開長よりも大きい金網は、展開長を辺長とした正方形を有効範囲として吸収エネルギーを算出する。
- ・金網のアスペクト比（展開長／幅寸法）は2を上限とする。

ネット寸法が上記に適合しない場合、適用範囲内に評価寸法を変更し、吸収エネルギーが保守的になるようにして評価している。

2. 防護ネット評価寸法

防護ネットの吸収エネルギーの算定にあたっては、各防護ネットの評価寸法を添説建 3-X. 付 1-1 図に示す要領にて設定する。

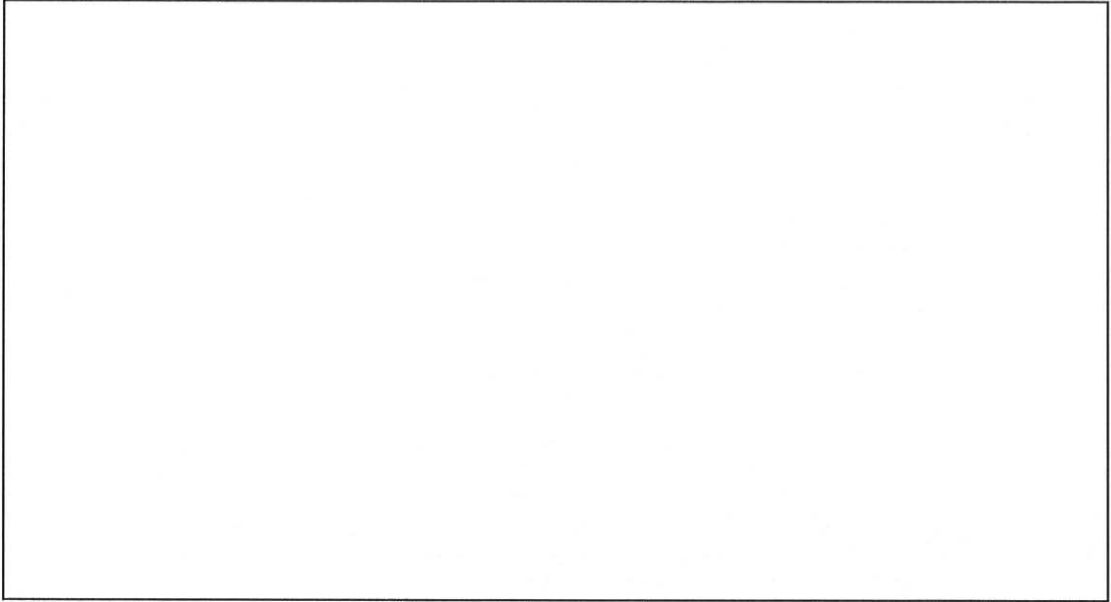


一般部評価寸法 (展開長さ、展開直角長さ)

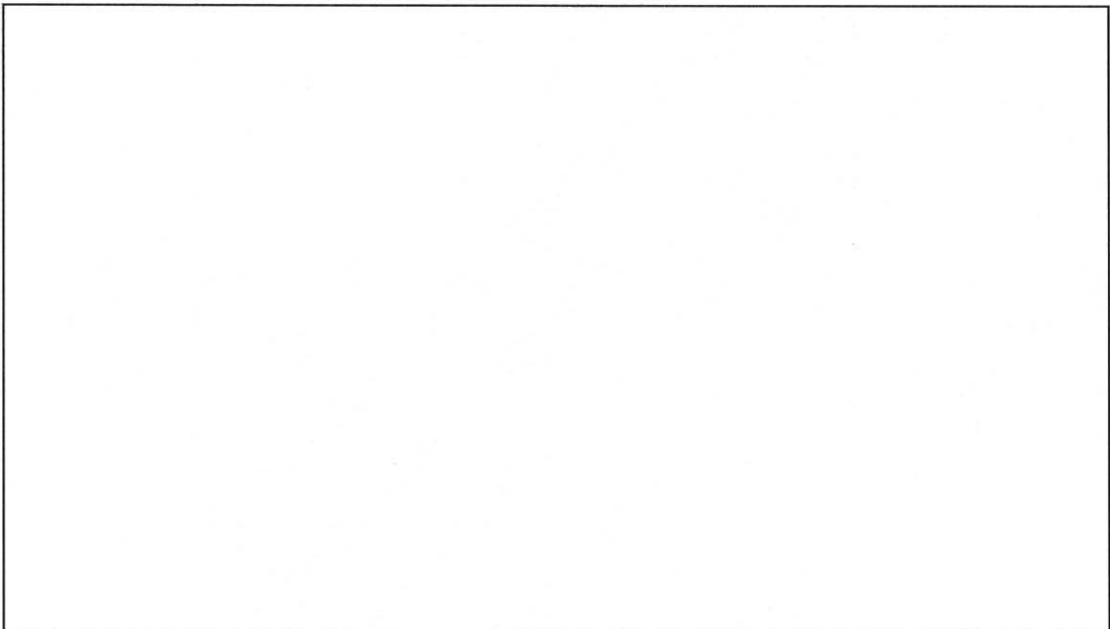
添説建 3-X. 付 1-1 図 防護ネット評価寸法模式図

3. 防護ネット配置図

各建物の防護ネット配置図を添説建 3-X. 付 1-2 図及び添説建 3-X. 付 1-3 図に示す。各防護ネットは評価寸法毎に付番し、各評価寸法の吸収エネルギーを算定する。



添説建 3-X. 付 1-2 図 ネット配置図 (第 1 廃棄物処理所)



添説建 3-X. 付 1-3 図 ネット配置図 (第 2 廃棄物処理所)

4. 防護ネットの仕様及び吸収エネルギー評価結果

各建物の防護ネット評価寸法毎の吸収エネルギー算定結果を添説建 3-X. 付 1-1 表に示す。

添説建 3-X. 付 1-1 表 評価寸法毎の吸収エネルギー算定結果

区分 (工場)	位置	防護ネット仕様			評価結果		
	(区画番号)	評価寸法(m)	仕様(mm)		吸収エネルギー (kJ) ①	飛来物エネルギー (kJ) ②	検定比 ②/①
		展開長×直角長	目合い	線径			
第1 廃棄物処理所 標準ネット	—						
第2 廃棄物処理所 標準ネット	—						
第1 廃棄物処理所	①						
	②						
第2 廃棄物処理所	①						
	②						

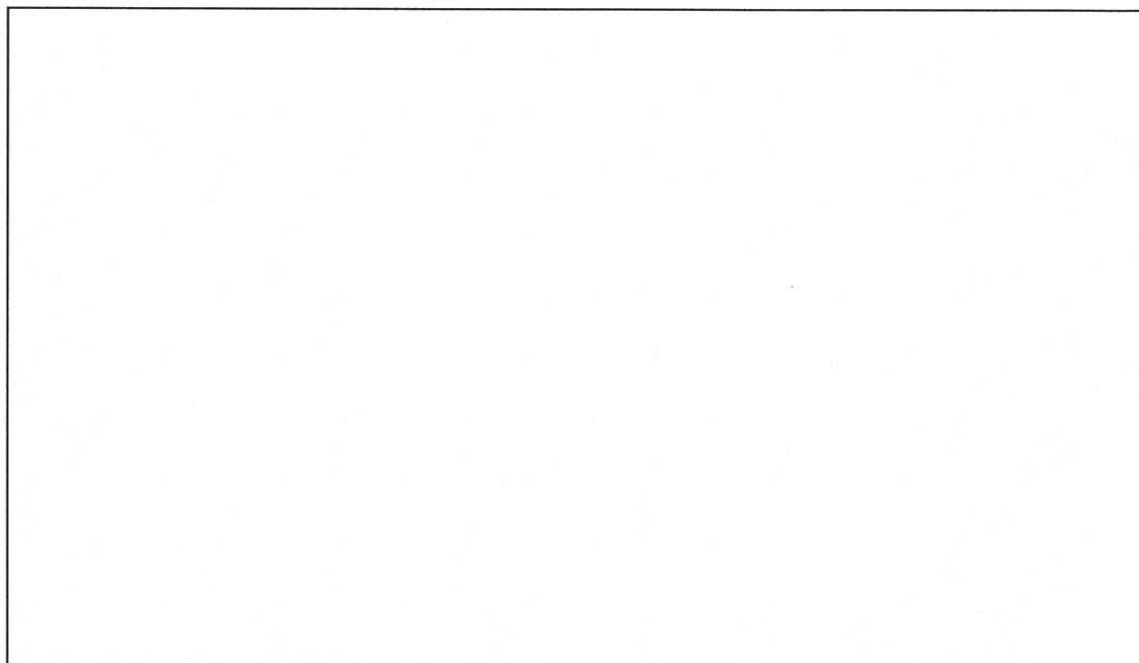
X I . 障壁 竜巻防護設計計算書

1. 一般事項

構造物概要

- ・ 用途 : 障壁
- ・ 構造概要 構造種別 : RC 造
基礎種別 : 杭基礎
- ・ 耐震重要度 : 第 1 類 割増係数 = 1.5
- ・ 配置、構造 : 障壁の配置図を添説建 3-X I . 1-1 図に、構造を添説建 3-X I . 5. 1-2 図～添説建 3-X I . 5. 1-4 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。



添説建 3-X I . 1-1 図 配置図

2. 適用基準

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (建築研究所)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)

3. 使用材料及び材料の許容応力度

鉄筋、コンクリートの許容応力度を添説建 3-X I. 3-1 表～添説建 3-X I. 3-4 表に示す。

(1) 鉄筋

添説建 3-X I. 3-1 表 鉄筋の基準強度[F] (N/mm²)

鉄筋の種類		基準強度	鉄筋径
異形鉄筋		295	
		345	

添説建 3-X I. 3-2 表 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

種別	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
	195	195	195	295	295	295
	215	215	195	345	345	345

建築基準法施行令第 90 条

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による。

(2) コンクリート

添説建 3-X I. 3-3 表 コンクリートの設計基準強度[F_c] (N/mm²)

コンクリート種別	設計基準強度	使用箇所
普通コンクリート	24.0	躯体全般

添説建 3-X I. 3-4 表 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

材料	長期			短期		
	圧縮	せん断		圧縮	せん断	
	F _c /3	8.00	F _c /30 かつ 0.49+F _c /100 以下	0.73	16.00	1.09

建築基準法・同施行令・告示等

日本産業規格 (JIS) (日本規格協会)

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会) による。

4. 設計荷重条件

(1) 竜巻荷重

フジタモデルによる F1 及び F3 竜巻時風圧評価により算定した各障壁に作用する竜巻荷重を添説建 3-X I. 4-1 表に示す。

添説建 3-X I. 4-1 表 竜巻荷重

障壁	X1 通り	Y2 通り	X2 通り	Y1 通り
	CW55、W55、W55A	W25A	W25	CW25、W25
F1 竜巻荷重 w_{F1} (Pa)				
F3 竜巻荷重 w_{F3} (Pa)				

(2) 鉄筋コンクリートの単位体積重量

γ_c (kN/m³) : 24 (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説による。)

(3) 埋め戻し土の単位体積重量

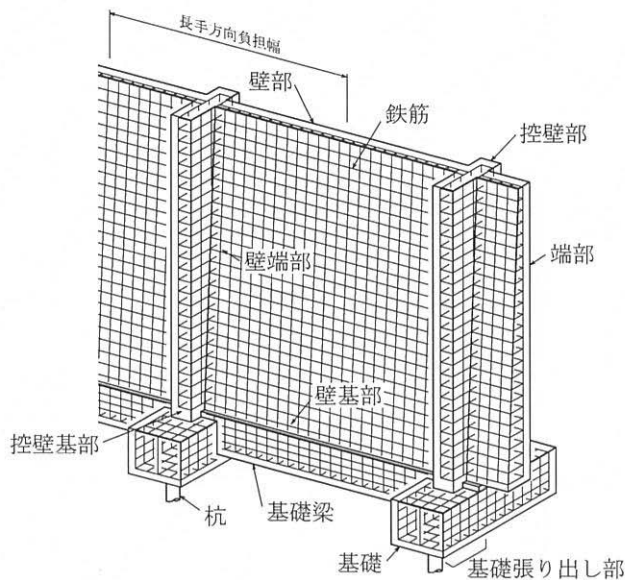
γ_s (kN/m³) : 20 (建築基礎構造設計指針より保守的に設定)

5. 障壁の検討

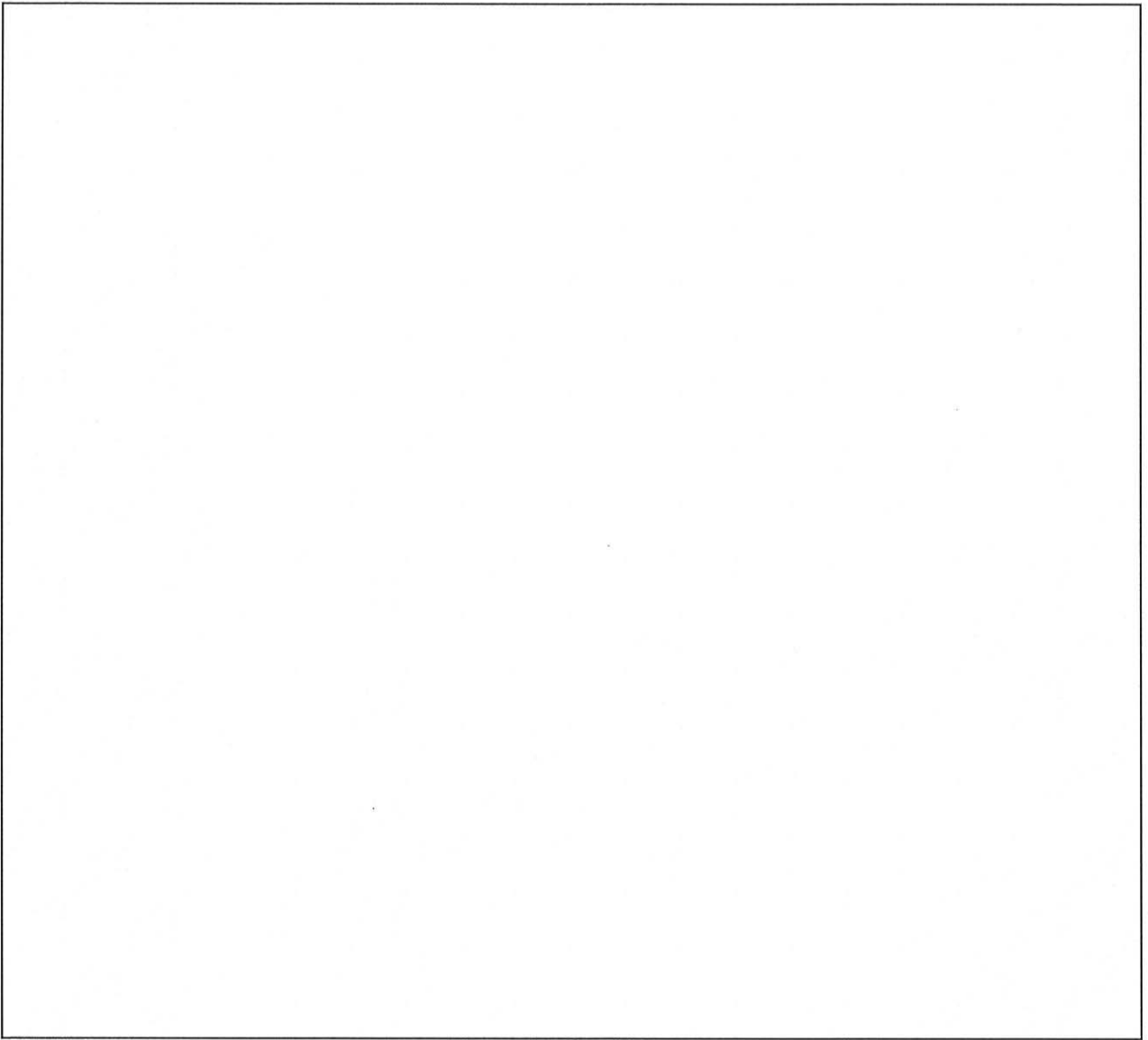
5.1. 設計方針

杭、壁、基礎底版の部材評価に当たっては、F1 竜巻荷重、F3 竜巻荷重による発生応力に対して短期許容応力、終局耐力との比較で評価する。

構造概要図を添説建 3-X I. 5.1-1 図に示す。



添説建 3-X I. 5.1-1 図 構造概要図



添説建 3-X I . 5. 1-2 図 伏図