

16. 建物・構築物等の構造健全性の確認内容について

本資料は、竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の構造健全性の確認として「設計荷重に対する構造骨組の評価」、「鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物にならないことの確認」、「設計飛来物の衝突に対する評価」についての評価方針、評価手法及び結果を記す。

1. 評価方針

評価については、竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設が、竜巻による荷重に対し、構造健全性の評価基準を満たしていること、それぞれの特徴（形状、構造）に応じた変形、応力等を算出し確認する。（下記（1））

また、竜巻により生じた飛散物の衝突に対し、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを、貫通評価等により確認する。（下記（3））

さらに評価した建屋が飛散物とならないか、竜巻による影響の状況を想定して確認する。（下記（2）及び（4））

（1）構造骨組の評価

鉄筋コンクリート造部分については、設計竜巻による複合荷重により生じる応力に対して、地震応答解析モデルにおける各部材のせん断力の復元力特性（ $Q-\gamma$ 関係）によりせん断ひずみを算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみの評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）^{*1}を下回ることを確認する。

また、鉄骨造部分については、設計竜巻による複合荷重により生じる応力に対して、地震応答解析モデルにおける各部材の荷重変形関係（ $Q-\delta$ 関係）から得られる水平変位より算定した層間変形角が評価基準値（ $1/120$ ）^{*2}を下回ることを確認する。

※1：原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）に示されている鉄筋コンクリート耐震壁のせん断ひずみに関する許容限界の目安値

※2：建築基準法施行令第82条の2に示されている当該層間変位の当該各階の高さに対する割合の許容限界値

（2）鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛来物とならないことの確認

鉄骨造部分の外壁及び屋根については、複合荷重が面外方向に作用する。これらの荷重により、破損し、波及的影響を及ぼさないことを確認する。

ここで、複合荷重のうち W_{T2} については、建屋の外側に向けて働く力（負圧）について検討することから、設計飛来物による衝撃荷重（ W_M ）は考慮しない。また、外壁は構成部材である波板・胴縁・間柱を、屋根はコンクリート屋根スラブ、鉄骨梁について検討を行い、（部材の終局耐力から算定される許容荷重）／（竜巻による荷重）を部材の裕度とし、1.0以上あることを確認する。

なお、裕度が1.0を下回る場合には、接合部のボルトのせん断耐力から算定される許容荷重が竜巻による荷重を上回ることを確認する。

（3）設計飛来物の衝突に対する評価

設計飛来物が鉄筋コンクリート造部分の外壁及び屋根に衝突した場合について、貫通評価及び裏面剥離によるコンクリート片の飛散の評価を実施する。貫通または裏面剥離の有無は、設計飛来物の衝突に対して貫通または裏面剥離が生じないための必要最小厚さをそれぞれ算出し、評価部材の最小厚さと比較することで確認する。屋根に裏面剥離が発生する場合は、剥離したコンクリートが飛散しないことをデッキプレートの有無により確認する。

設計飛来物が鉄骨造部分の外壁（波板）に衝突した場合については、貫通するものとする。

なお、波及的影響を及ぼし得る施設である循環水ポンプ建屋、タービン建屋、電気建屋及び出入管理建屋については、竜巻防護施設の外殻となる施設（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物）には該当しないことから、評価結果は記載していない。

(4) 開口部の建具の飛散に関する評価

建具開口部のうち、扉については複合荷重に対し、飛散物とならないことを確認する。具体的には、竜巻による荷重が、扉部材の許容荷重を下回ることにより確認する。ここで複合荷重のうち W_{T2} については、負圧について検討することから設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) は考慮しない。

2. 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は第 16-1 表の通りとした。

第 16-1 表 設計竜巻の特性値

最大風速	移動速度	最大接線風圧	最大接線風圧半径	気圧低下量	最大気圧低下率 (dp/dt) _{max} (hPa/s)
V_D (m/s)	V_T (m/s)	V_{Rn} (m/s)	R_n (m)	ΔP (hPa)	
100	15	85	30	89	45

3. 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元は第 16-2 表の通りとした。

第 16-2 表 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	57
最大鉛直速度 (m/s)	38
運動エネルギー (kJ)	220

4. 設計竜巻荷重

(1) 設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)、気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重とした。

$$W_{T1} = W_P \quad \dots (1)$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M \quad \dots (2)$$

- W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重
- W_W : 設計竜巻の風圧力による荷重
- W_P : 設計竜巻による気圧差による荷重
- W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

(2) 風圧力による荷重の設定

a. 荷重の算定

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設に作用する風圧力による荷重 (W_w) は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説 (2004)」(以下、「荷重指針」という。)に準拠して、式 (3)、(4) により算定した。

なお、ガスト影響係数 (G) は $G=1.0$ 、風力係数 (C) は施設の形状や風圧力が作用する部位に応じて設定した。風圧力の設定に用いた各パラメータを第 16-3 表に示す。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad \dots (3)$$

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数 (=1.0)

C : 風力係数

A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad \dots (4)$$

ρ : 空気密度

V_D : 竜巻の最大風速

第 16-3 表 風圧力の設定に用いた各パラメータ

項目	値	単位	備考
最大風速 V_D	100	m/s	
空気密度 ρ	1.22	kg/m ³	「荷重指針」による。
ガスト影響係数 G	1.0	—	「原子力発電所の竜巻影響ガイド」(以下、「評価ガイド」という。)による。
風力係数 C	「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」及び「荷重指針」により算定する。詳細は、「b. 風力係数の算定」に示す。		

b. 風力係数の算定

(a) 風力係数の算定の概要

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設に作用する風圧力算定における風力係数については、「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日制定)」及び「荷重指針」に準拠して算定する。第 16-4 表に風力係数の算定方法一覧を示す。

第 16-4 表 風力係数の算定方法

項目		算定方法	
構造骨組 (建屋外壁面)	O/S 以外	「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」	
	O/S 部	ドーム部	「荷重指針」
		シリンダー部	
鉄骨造部分	外壁	波板	「建設省告示第 1454 号(平成 12 年 5 月 31 日制定)」
		胴縁	
		間柱	
	屋根	スラブ	
		大梁 小梁	

(b) 評価に用いる風力係数

評価に用いる風力係数については「建設省告示第1454号（平成12年5月31日制定）」より、 $C_f = C_{pe} - C_{pi}$ として算定する。

出典（一部抜粋）：「建設省告示第1454号（平成12年5月31日制定）」

第3 令第87条第1項の風力係数の数値は、次の図1から図7までに掲げる形状の建築物又は工作物にあつてはそれぞれ当該形状に応じて表1から表9までに掲げる数値を用いて次の式により算出するものとし、その他の形状のものにあつてはそれぞれ類似の形状のもの数値に準じて定めるものとする。ただし、風洞実験の結果に基づき算出する場合においては、当該数値によることができる。

$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$

この式において、 C_f 、 C_{pe} 及び C_{pi} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

C_f 風力係数

C_{pe} 閉鎖型及び開放型の建築物の外圧係数で、次の表1から表4までに掲げる数値（屋外から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）

C_{pi} 閉鎖型及び開放型の建築物の内圧係数で、次の表5に掲げる数値（室内から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）ただし、独立上家、ラチス構造物、金網その他の網状の構造物及び煙突その他の円筒形の構造物にあつては、次の表6から表9までに掲げる数値（図中の一の方向を正とする。）を C_f とするものとする。

図1 閉鎖型の建築物（張り間方向に風を受ける場合。表1から表5までを用いるものとする。）

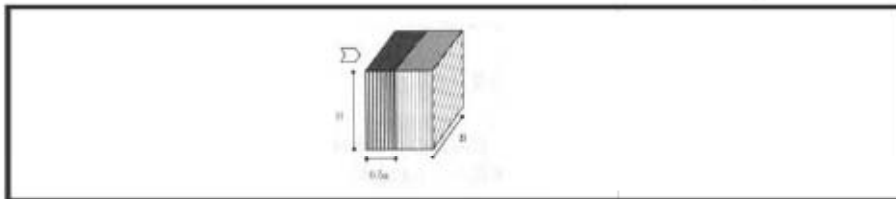


表1 壁面の C_{pe}

部位	風上壁面	側壁面		風下壁面
		風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域	
C_{pe}	0.8kz	-0.7	-0.4	-0.4

表2 陸屋根面の C_{pe}

部位	風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域
C_{pe}	-1.0	-0.5

表5 閉鎖型及び開放型の建築物の C_{pi}

形式	閉鎖型	開放型	
		風上開放	風下開放
C_{pi}	0及び-0.2	0.6	-0.4

【構造骨組の評価に用いる建屋外壁面（O/S以外）の風力係数】

外壁面の風力係数は、「建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日制定）」に従い算定する。第 16-5 表に評価に用いた外壁面の風力係数を示す。なお、 $kz=1.0$ として算出する。

また、内圧係数（ C_{pi} ）については、風上側、風下側ともに作用するため、相殺される。

第 16-5 表 外壁面の風力係数

項目	風力係数
風上側	$C = 0.8$
風下側	$C = -0.4$

出典（一部抜粋）：「建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日制定）」

第3 令第87条第1項の風力係数の数値は、次の図1から図7までに掲げる形状の建築物又は工作物にあつてはそれぞれ当該形状に応じて表1から表9までに掲げる数値を用いて次の式により算出するものとし、その他の形状のものにあつてはそれぞれ類似の形状のもの数値に準じて定めるものとする。ただし、風洞実験の結果に基づき算出する場合においては、当該数値によることができる。

$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$



この式において、 C_f 、 C_{pe} 及び C_{pi} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

C_f 風力係数

C_{pe} 閉鎖型及び開放型の建築物の外圧係数で、次の表1から表4までに掲げる数値（屋外から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）

C_{pi} 閉鎖型及び開放型の建築物の内圧係数で、次の表5に掲げる数値（室内から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）ただし、独立上家、ラチス構造物、金網その他の網状の構造物及び煙突その他の円筒形の構造物にあつては、次の表6から表9までに掲げる数値（図中の一の方向を正とする。）を C_f とするものとする。

表1 壁面の C_{pe}

部位	風上壁面	側壁面		風下壁面
		風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域	
				
C_{pe}	$0.8kz$	-0.7	-0.4	-0.4

【構造骨組の評価に用いる建屋外壁面（O/S部）の風力係数】

O/S部の風力係数は、「荷重指針」に従い算定を行う。第16-6表にO/S部（シリンダー部）の評価に用いた風力係数を示す。なお、ドーム部についても保守的にシリンダー部と同様に求める。

第16-6表 O/S部の風力係数

項目	風力係数	備考
O/S部	C=0.6	$C=1.2 \times 0.64 \times 0.75 \times 1.0 = 0.576 \Rightarrow 0.6$ H=73.1 D=45.2 k ₁ =0.6418⇒0.64 k ₂ =0.75 k _z =1.0

出典（一部抜粋）：「荷重指針」

A6.2.4 構造骨組用の風力係数

(1) 円形平面をもつ建築物の風力係数 C_D

円形平面をもつ建築物の風力係数は、表A6.12により定める。ただし、DU_H ≥ 6(m²/s)で、アスペクト比 H/D が8以下の建築物にのみ適用する。


表 A6.12 円形平面をもつ建築物の風力係数 C_D

$C_D = 1.2k_1k_2k_z$

ここで、

- k₁：アスペクト比の影響を表す係数
- k₂：表面粗さの影響を表す係数
- k_z：高さ方向分布係数で、表A6.8により定める。
ただし、0.8H < Z_b のときは k_z = 0.8^{2α} とする。

k ₁	
H/D < 1	1 ≤ H/D ≤ 8
0.6	0.6(H/D) ^{0.14}



k ₂	
滑らかな表面(金属, コンクリート表面, 平坦なカーテンウォール等)	0.75
粗な表面(外径の1%程度の凹凸のあるカーテンウォール等)	0.9
非常に粗な表面(外径の5%程度の凹凸)	1

D：建築物の外径(m)
H：基準高さ(m)
Z_b：表A6.3に定める高さ(m)
α：表A6.3に定めるパラメータ

【「鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物とならないことの確認」に用いる風力係数】

鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物とならないことの確認に用いる風力係数は、「建設省告示第1454号（平成12年5月31日制定）」に従い算定する。なお、風圧力による荷重及び気圧差による荷重がそれぞれ作用する方向を考慮し、複合荷重が最も大きくなるよう考慮し風力係数を設定する。第16-7表に評価に用いた外壁面及び屋根面の風力係数を示す。

第16-7表 外壁面及び屋根面の風力係数

項目	風力係数
外壁面	C = -0.7
屋根面	C = -1.0

出典（一部抜粋）：「建設省告示第1454号（平成12年5月31日制定）」

第3 令第87条第1項の風力係数の数値は、次の図1から図7までに掲げる形状の建築物又は工作物にあってはそれぞれ当該形状に応じて表1から表9までに掲げる数値を用いて次の式により算出するものとし、その他の形状のものにあってはそれぞれ類似の形状のもの数値に準じて定めるものとする。ただし、風洞実験の結果に基づき算出する場合には、当該数値によることができる。

$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$

この式において、 C_f 、 C_{pe} 及び C_{pi} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

C_f 風力係数

C_{pe} 閉鎖型及び開放型の建築物の外圧係数で、次の表1から表4までに掲げる数値（屋外から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）

C_{pi} 閉鎖型及び開放型の建築物の内圧係数で、次の表5に掲げる数値（室内から当該部分を垂直に押す方向を正とする。）ただし、独立上家、ラチス構造物、金網その他の網状の構造物及び煙突その他の円筒形の構造物にあっては、次の表6から表9までに掲げる数値（図中の→の方向を正とする。）を C_f とするものとする。

表1 壁面の C_{pe}

部位	風上壁面	側壁面		風下壁面
		風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域	
C_{pe}	0.8kz	-0.7	-0.4	-0.4

表2 陸屋根面の C_{pe}

部位	風上端部より0.5aの領域	左に掲げる領域以外の領域
C_{pe}	-1.0	-0.5

表5 閉鎖型及び開放型の建築物の C_{pi}

形式	閉鎖型	開放型	
		風上開放	風下開放
C_{pi}	0及び-0.2	0.6	-0.4

(c) 受圧面積の算定

【構造骨組の評価に用いる受圧面積】

風圧力による風荷重及び気圧差による荷重を算定する際の受圧面積は、建屋の形状を考慮して設定する。荷重は解析モデルに節点荷重として与えるが、節点荷重を算出する際の受圧面積は、「当該節点とその一つ下層の節点までの部材の高さ×受圧面の建屋幅」で算定した。

なお、受圧面積にはパラペットを考慮する。

【「鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物とならないことの確認」に用いる受圧面積】

評価部材ごとに単位面積当たりの許容荷重を算定する。

(3) 気圧差による荷重の設定

建屋については、気圧差による荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による荷重 (W_P) を式 (5) により設定する。

$$W_P = \Delta P \cdot A \quad \dots (5)$$

ΔP : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

なお、 ΔP については、評価ガイドに従い以下の通り設定する。

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2 = 1.22 \text{ [kg/m}^3] \times (85 \text{ [m/s]})^2 = 8.81 \times 10^3 \text{ [N/m}^2] \Rightarrow 89 \text{ [hPa]} \text{を採用する。}$$

(4) 衝撃荷重の設定

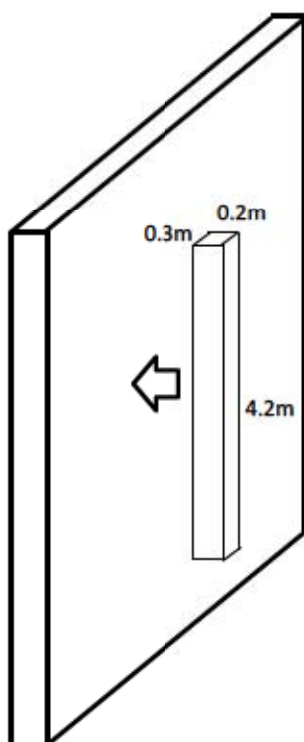
衝撃荷重は設計飛来物のうち、運動エネルギーが最も大きい鋼製材について算出する。評価に用いる衝撃荷重算定に用いた鋼製材の諸元を第 16-8 表に示す。

鋼製材による衝撃荷重の値は、重量分布を均一な直方体として Riera の方法^{*}により評価した。評価においては、設計飛来物と被衝突体の接触時間を考慮し、最も衝撃荷重が大きくなる第 16-1 図に示す衝突方向及び衝突面による荷重 (2, 200kN) を採用するものとする。

※: J. D. Riera, "A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant Safety against Accidental Aircraft Impact", Nuclear Engineering and Design 57, (1980)

第 16-8 表 評価に用いる衝撃荷重算定に用いた鋼製材の諸元

飛来物の種類	サイズ:長さ×幅×奥行(m)	質量(kg)	速度 (m/s)	
			水平	鉛直
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	57	38



第 16-1 図 複合荷重 W_{T2} に用いる衝撃荷重算出時の鋼製材衝突方向

5. 構造骨組の評価

(1) 評価方法

鉄筋コンクリート部分については、設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2}) に対し、地震応答解析モデルにおける各部材のせん断力の復元力特性 ($Q-\gamma$ 関係) によりせん断ひずみを算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみの評価基準値 (2.0×10^{-3}) を下回ることを確認する。

また、鉄骨造部分については、設計竜巻による複合荷重により生じる応力に対して、地震応答解析モデルにおける各部材の荷重変形関係 ($Q-\delta$ 関係) から得られる水平変位より算定した層間変形角が評価基準値 ($1/120$) を下回ることを確認する。なお、波及的影響を及ぼし得る施設である循環水ポンプ建屋及びタービン建屋については、保有水平耐力が複合荷重により発生する層せん断力を上回ることを確認する。

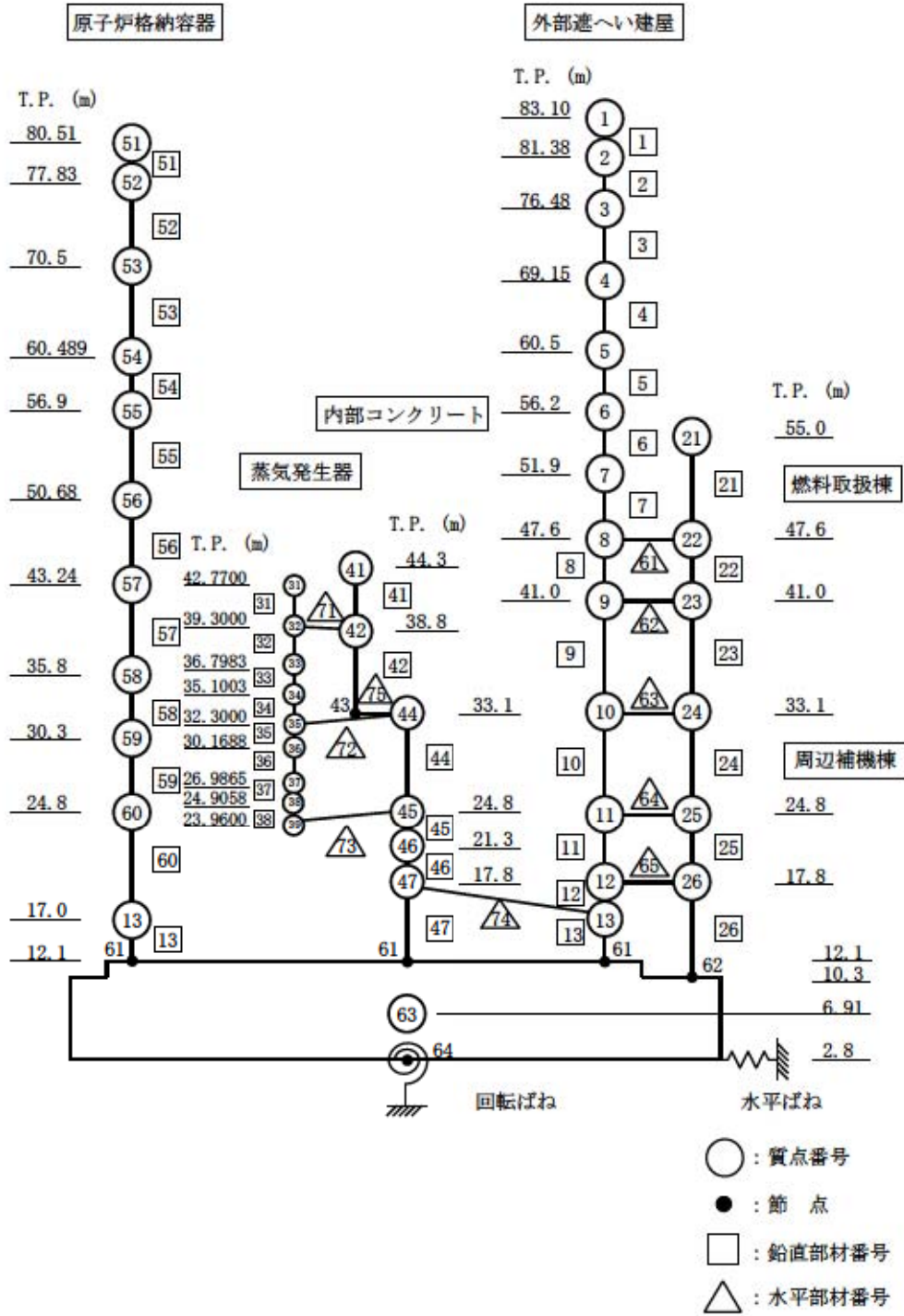
竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響評価を及ぼし得る施設の地震応答解析モデル図を、第 16-2 図～第 16-8 図に示す。地震応答解析モデルの各層に作用する風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) は、建屋の形状を考慮して算出した受圧面積に基づき算定する。

風圧力及び気圧差による荷重算定における受圧面積については、各建屋とも安全側の評価として、遮へい効果を考慮せず、南北・東西方向の検討を行う。

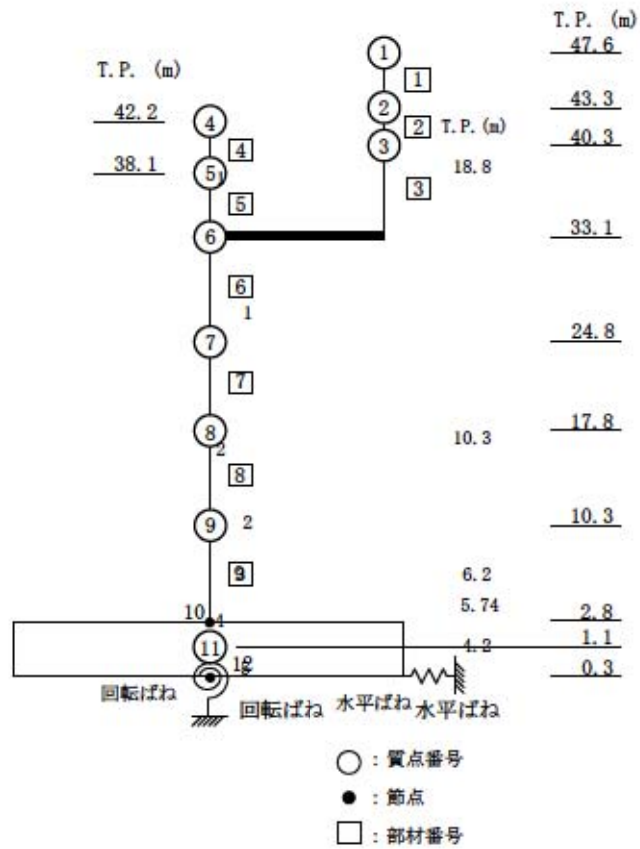
なお、気圧差による荷重 (W_p) の算出にあたっては、風上側に生じる気圧差と風下側に生じる気圧差により、建屋全体における気圧差は相殺される。そこで、本検討では気圧差を風上側、または風下側のみに生じるものとして、建屋全体に作用する水平力を安全側に評価する。

別紙-2 に、各建屋について算定した受圧面積を示す。

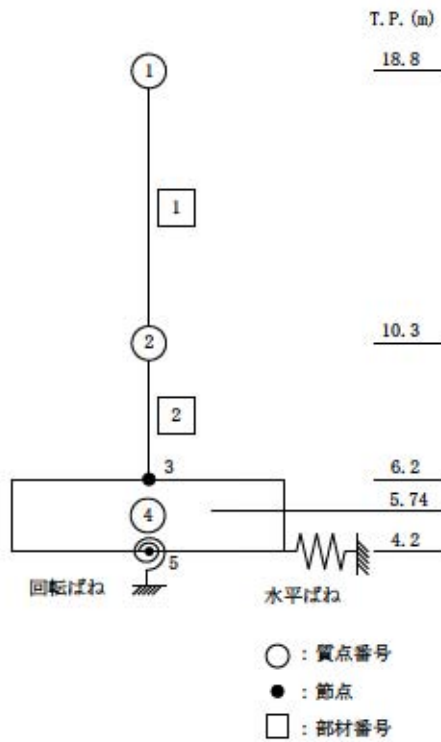
衝撃荷重 (W_M) については、建屋の各層に作用する可能性があるが、地震応答解析モデルに対しては、各層に一定の層せん断力が発生するものとして考慮する。その際、層せん断力は設計飛来物である鋼製材による衝撃荷重を用いるものとした。



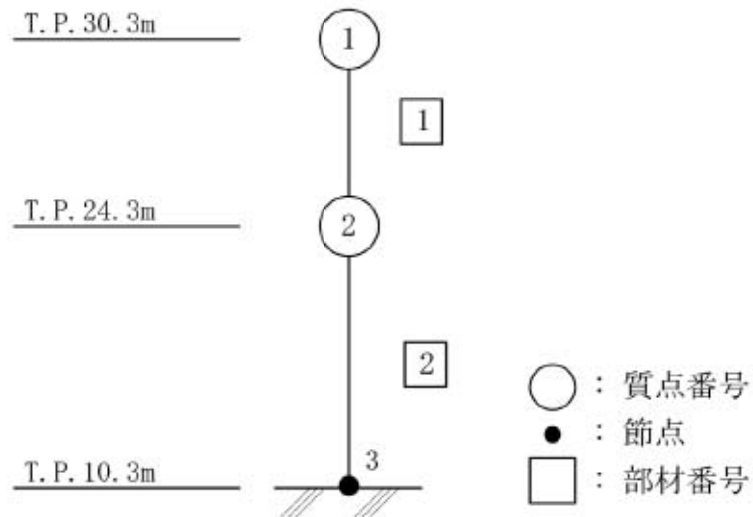
第 16-2 図 原子炉建屋の解析モデル図



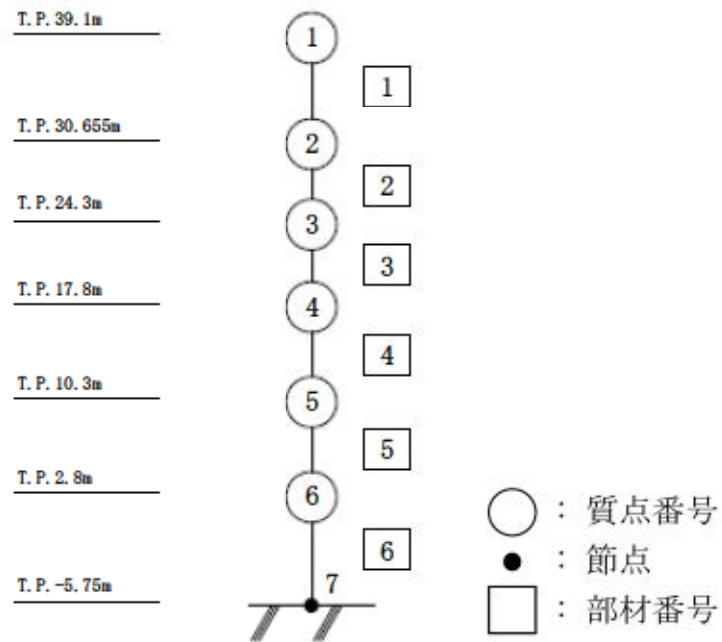
第 16-3 図 原子炉補助建屋の解析モデル図



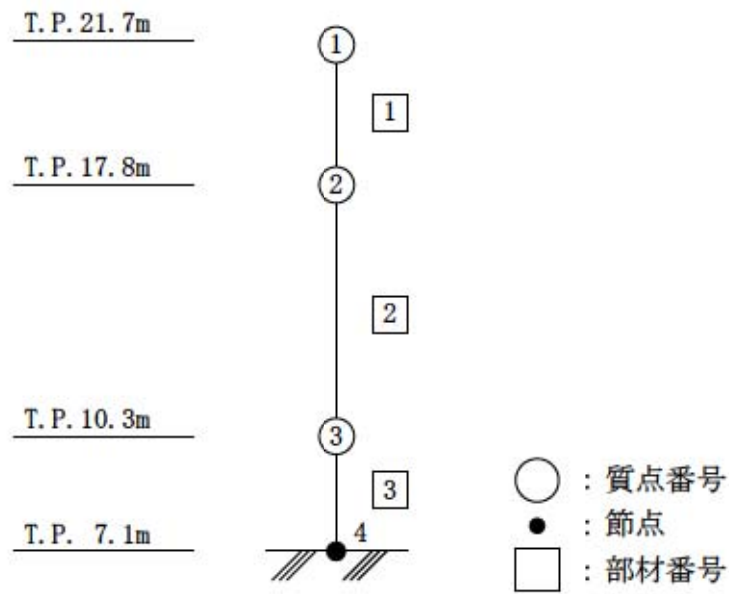
第 16-4 図 ディーゼル発電機建屋の解析モデル図



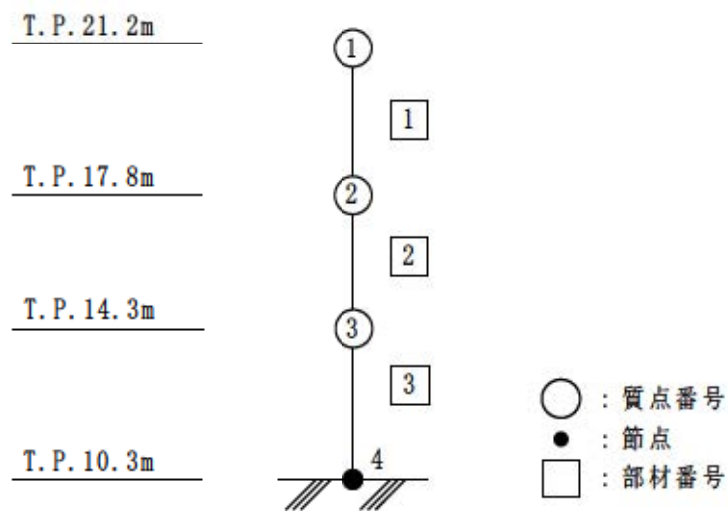
第 16-5 図 循環水ポンプ建屋の解析モデル図



第 16-6 図 タービン建屋の解析モデル図



第 16-7 図 電気建屋の解析モデル図



第 16-8 図 出入管理建屋の解析モデル図

(2) 評価結果

複合荷重の算出過程及び建屋各層に生じる層せん断力の算出結果及び複合荷重に対する構造骨組の評価結果を第 16-9 表～第 16-16 表に示す。なお、鉄筋コンクリート造建屋及び鉄骨造の燃料取扱棟における評価結果には、裕度として、各部材に作用するせん断力と各部材の終局耐力との比較を記載した。

また、鉄骨造のうち波及的影響を及ぼし得る施設である循環水ポンプ建屋及びタービン建屋については、(保有水平耐力) / (竜巻により各部材に作用するせん断力) を裕度として記載した。

第 16-9 表 外部遮へい建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

部材 番号	見付面積	風圧力による荷重			気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果		
		風力係数	層荷重	層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認	
		A	C	P_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000 \mu$	終局耐力
(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)	
O/S												
4	390	0.6	1,427.4	3,001	3,471	7,298	2,200	7,298	8,850	1.434E-05	323,400	36.5
5	200	0.6	732.0	3,733	1,780	9,078	2,200	9,078	10,472	1.478E-05	384,800	36.7
6	200	0.6	732.0	4,465	1,780	10,858	2,200	10,858	12,094	1.705E-05	386,600	31.9
7	200	0.6	732.0	5,197	1,780	12,638	2,200	12,638	13,716	1.935E-05	426,500	31.0
8	300	0.6	1,098.0	6,295	2,670	15,308	2,200	15,308	16,149	2.279E-05	409,400	25.3

第16-10表 燃料取扱棟及び周辺補機棟の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

(EW方向)

部材 番号	風圧力による荷重					気圧差による荷重			衝撃荷重		複合荷重		評価結果		
	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪・変形		裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000\mu$	S部 層間変形角 (せん断) $\leq 1/120$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)		(kN)		
FH/B・E/B															
21	ハコベツト	40	1.2	292.8	1,464	1,464	1,424	1,424	2,200	1,424	4,376	-	1/6886	88,800	20.2
	風上	160	0.8	780.8											
	風下	160	0.4	390.4											
22	ハコベツト	150	1.2	1,098.0	5,051	6,515	4,806	6,230	2,200	6,230	11,830	1.440E-05	-	456,400	38.5
	風上	540	0.8	2,835.2											
	風下	540	0.4	1,317.6											
23	風上	640	0.8	3,123.2	4,685	11,200	5,696	11,926	2,200	11,926	19,363	1.177E-05	-	923,800	47.7
	風下	640	0.4	1,561.6											
	風上	670	0.8	3,269.6											
24	風下	670	0.4	1,634.8	4,904	16,104	5,963	17,889	2,200	17,889	27,249	8.166E-06	-	1,914,000	70.2
	風上	570	0.8	2,781.6											
	風下	570	0.4	1,390.8											
25	風上	630	0.8	3,074.4	4,612	24,888	5,607	28,569	2,200	28,569	41,373	1.528E-05	-	1,384,000	33.4
	風下	630	0.4	1,537.2											

(NS方向)

部材 番号	風圧力による荷重					気圧差による荷重			衝撃荷重		複合荷重		評価結果		
	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪・変形		裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000\mu$	S部 層間変形角 (せん断) $\leq 1/120$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)		(kN)		
FH/B・E/B															
21	ハコベツト	60	1.2	439.2	2,635	2,635	2,670	2,670	2,200	2,670	6,170	-	1/694	41,360	6.7
	風上	300	0.8	1,464.0											
	風下	300	0.4	732.0											
22	ハコベツト	100	1.2	732.0	4,246	6,881	4,272	6,942	2,200	6,942	12,552	2.454E-05	-	285,700	22.7
	風上	480	0.8	2,342.4											
	風下	480	0.4	1,171.2											
23	風上	460	0.8	2,244.8	3,367	10,248	4,094	11,036	2,200	11,036	17,966	9.234E-06	-	1,079,000	60.0
	風下	460	0.4	1,122.4											
	風上	490	0.8	2,391.2											
24	風下	490	0.4	1,195.6	3,587	13,835	4,361	15,397	2,200	15,397	23,734	8.041E-06	-	1,716,000	72.3
	風上	410	0.8	2,000.8											
	風下	410	0.4	1,000.4											
25	風上	460	0.8	2,244.8	3,001	16,836	3,649	19,046	2,200	19,046	28,559	9.736E-06	-	1,692,000	59.2
	風下	460	0.4	1,122.4											
	風上	460	0.8	2,244.8											
26	風下	460	0.4	1,122.4	3,367	20,203	4,094	23,140	2,200	23,140	33,973	1.259E-05	-	1,428,000	42.0

第 16-11 表 原子炉補助建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果（その 1）

(E W方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
A/B 上部														
1	ハブベツト	30	1.2	219.6	805	805	712	712	2,200	712	3,361	2.668E-05	71,990	21.4
	風上	80	0.8	390.4										
	風下	80	0.4	195.2										
2	風上	50	0.8	244.0	366	1,171	445	1,157	2,200	1,157	3,950	2.764E-05	77,200	19.5
	風下	50	0.4	122.0										
3	ハブベツト	10	1.2	73.2	1,244	2,415	1,424	2,581	2,200	2,581	5,906	2.606E-05	120,000	20.3
	風上	160	0.8	780.8										
	風下	160	0.4	390.4										
A/B 上部														
4	ハブベツト	40	1.2	292.8	1,757	1,757	1,780	1,780	2,200	1,780	4,847	3.163E-05	81,390	16.7
	風上	200	0.8	976.0										
	風下	200	0.4	488.0										
5	-	-	-	-	1,757	-	1,780	2,200	1,780	4,847	2.302E-05	108,100	22.3	
A/B 下部														
6	ハブベツト	90	1.2	658.8	5,856	10,028	6,319	10,680	2,200	10,680	17,568	1.598E-05	600,700	34.1
	風上	710	0.8	3,464.8										
	風下	710	0.4	1,732.4										
7	ハブベツト	30	1.2	219.6	3,440	13,468	3,916	14,596	2,200	14,596	22,966	9.580E-06	1,323,000	57.6
	風上	440	0.8	2,147.2										
	風下	440	0.4	1,073.6										
8	風上	490	0.8	2,391.2	3,587	17,055	4,361	18,957	2,200	18,957	28,734	1.428E-05	1,127,000	39.2
	風下	490	0.4	1,195.6										

第 16-11 表 原子炉補助建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果（その 2）

(NS 方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_W	ΔP_A	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
A/B 上部														
1	ハブベッ	30	1.2	219.6	805	805	712	712	2,200	712	3,361	2.954E-05	66,420	19.7
	風上	80	0.8	390.4										
	風下	80	0.4	195.2										
2	風上	50	0.8	244.0	366	1,171	445	1,157	2,200	1,157	3,950	2.821E-05	75,080	19.0
	風下	50	0.4	122.0										
3	ハブベッ	20	1.2	146.4	1,025	2,196	1,068	2,225	2,200	2,225	5,509	2.280E-05	128,900	23.3
	風上	120	0.8	585.6										
	風下	120	0.4	292.8										
A/B 上部														
4	ハブベッ	30	1.2	219.6	1,171	1,171	1,157	1,157	2,200	1,157	3,950	2.347E-05	96,140	24.3
	風上	130	0.8	634.4										
	風下	130	0.4	317.2										
5	-	-	-	-	1,171	-	1,157	2,200	1,157	3,950	2.020E-05	109,000	27.5	
A/B 下部														
6	ハブベッ	70	1.2	512.4	4,319	7,686	4,628	8,010	2,200	8,010	13,891	1.407E-05	633,600	45.6
	風上	520	0.8	2,537.6										
	風下	520	0.4	1,268.8										
7	ハブベッ	30	1.2	219.6	3,294	10,980	3,738	11,748	2,200	11,748	19,054	9.887E-06	1,192,000	62.5
	風上	420	0.8	2,049.6										
	風下	420	0.4	1,024.8										
8	風上	470	0.8	2,293.6	3,440	14,420	4,183	15,931	2,200	15,931	24,586	1.167E-05	1,199,000	48.7
	風下	470	0.4	1,146.8										

第 16-12 表 ディーゼル発電機建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

(EW方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
DG/B														
1	パラベット	50	1.2	366.0	2,416	2,416	1,780	1,780	2,200	1,780	5,506	2.034E-05	154,500	28.0
	塔屋	80	1.2	585.6										
	風上	200	0.8	976.0										
	風下	200	0.4	488.0										

(NS方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 γ $\leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
DG/B														
1	パラベット	50	1.2	366.0	2,050	2,050	1,691	1,691	2,200	1,691	5,096	5.213E-05	56,200	11.0
	塔屋	40	1.2	292.8										
	風上	190	0.8	927.2										
	風下	190	0.4	463.6										

第 16-13 表 循環水ポンプ建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果 (その 1)
(取水ピットポンプ室上屋)

(EW方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果		
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	裕度確認		
	A		C	P_D	ΣP_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	保有水平 耐力	裕度
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
CWP/B (ポンプ室上屋)													
1	ハブベツ	70	1.2	512.4	2,782	2,782	2,225	2,225	2,200	2,225	6,095	7,233	1.1
	塔屋	60	1.2	439.2									
	風上	250	0.8	1,220.0									
	風下	250	0.4	610.0									
2	-	-	-	-	2,782	-	2,225	2,200	2,225	6,095	8,472	1.3	

(NS方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果		
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	裕度確認		
	A		C	P_D	ΣP_D	W_W	$\Delta P A$	W_P	W_M	W_P	$W_W + 0.5W_P + W_M$	保有水平 耐力	裕度
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
CWP/B (ポンプ室上屋)													
1	ハブベツ	120	1.2	878.4	3,562	3,562	3,827	3,827	2,200	3,827	7,676	17,650	2.2
	塔屋	80	1.2	585.6									
	風上	430	0.8	2,098.4									
2	-	-	-	-	3,562	-	3,827	2,200	3,827	7,676	21,510	2.8	

第 16-13 表 循環水ポンプ建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果 (その 2)
(分解ヤード上屋)

(E W 方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重			衝撃荷重	複合荷重		評価結果	
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	保有水平 耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
CWP/B (ヤード上屋)													
1	ハラベツト	120	1.2	878.4	3,806	3,806	3,560	3,560	2,200	3,560	7,786	10,650	1.3
	風上	400	0.8	1,952.0									
	風下	400	0.4	976.0									
2	-	-	-	-	3,806	-	3,560	2,200	3,560	7,786	13,030	1.6	

(N S 方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重			衝撃荷重	複合荷重		評価結果	
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	保有水平 耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
CWP/B (ヤード上屋)													
1	ハラベツト	120	1.2	878.4	2,977	2,977	3,827	3,827	2,200	3,827	7,091	28,800	4.0
	風上	430	0.8	2,098.4									
2	-	-	-	-	2,977	-	3,827	2,200	3,827	7,091	45,310	6.3	

第 16-14 表 タービン建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

(E W 方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果		
部材 番号	見付面積		風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W _{T1}	W _{T2}	裕度確認	
	A		C	P _D	Σ P _D	W _w	Δ P A	W _P	W _M	W _P	W _w + 0.5W _P + W _M	保有水平 耐力	裕度
	(m ²)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
T/B													
1	ハラベット	550	1.2	4,026.0	10,907	10,907	8,188	8,188	2,200	8,188	17,201	23,770	1.3
	塔屋	20	1.2	146.4									
	風上	920	0.8	4,489.6									
	風下	920	0.4	2,244.8									
2	ハラベット	30	1.2	219.6	5,270	16,177	6,141	14,329	2,200	14,329	25,542	27,740	1.0
	風上	690	0.8	3,367.2									
	風下	690	0.4	1,683.6									
3	ハラベット	80	1.2	585.6	5,783	21,960	6,319	20,648	2,200	20,648	34,484	38,790	1.1
	風上	710	0.8	3,464.8									
	風下	710	0.4	1,732.4									
4	ハラベット	10	1.2	73.2	6,295	28,255	7,565	28,213	2,200	28,213	44,562	52,240	1.1
	風上	850	0.8	4,148.0									
	風下	850	0.4	2,074.0									

(N S 方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果		
部材 番号	見付面積		風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W _{T1}	W _{T2}	裕度確認	
	A		C	P _D	Σ P _D	W _w	Δ P A	W _P	W _M	W _P	W _w + 0.5W _P + W _M	保有水平 耐力	裕度
	(m ²)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
T/B													
1	ハラベット	190	1.2	1,390.8	6,002	6,002	4,005	4,005	2,200	4,005	10,205	28,930	2.8
	塔屋	180	1.2	1,317.6									
	風上	450	0.8	2,196.0									
	風下	450	0.4	1,098.0									
2	ハラベット	20	1.2	146.4	2,708	8,710	3,115	7,120	2,200	7,120	14,470	33,750	2.3
	風上	350	0.8	1,708.0									
	風下	350	0.4	854.0									
3	ハラベット	30	1.2	219.6	3,074	11,784	3,471	10,591	2,200	10,591	19,280	47,200	2.4
	風上	390	0.8	1,903.2									
	風下	390	0.4	951.6									
4	ハラベット	10	1.2	73.2	3,514	15,298	4,183	14,774	2,200	14,774	24,885	110,300	4.4
	風上	470	0.8	2,293.6									
	風下	470	0.4	1,146.8									

第 16-15 表 電気建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

(EW方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 $\gamma \leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
EL/B														
1	バレット	60	1.2	439.2	1,757	1,757	1,335	1,335	2,200	1,335	4,625	2.155E-05	76,970	16.6
	塔屋	30	1.2	219.6										
	風上	150	0.8	732.0										
	風下	150	0.4	366.0										
2	バレット	10	1.2	73.2	1,391	3,148	1,602	2,937	2,200	2,937	6,817	3.966E-05	75,500	11.0
	風上	180	0.8	878.4										
	風下	180	0.4	439.2										

(NS方向)

		風圧力による荷重				気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
部材 番号	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 $\gamma \leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
	(m^2)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
EL/B														
1	バレット	140	1.2	1,024.8	4,172	4,172	3,649	3,649	2,200	3,649	8,197	8.269E-05	58,970	7.1
	塔屋	20	1.2	146.4										
	風上	410	0.8	2,000.8										
	風下	410	0.4	1,000.4										
2	バレット	10	1.2	73.2	3,148	7,320	3,738	7,387	2,200	7,387	13,214	1.790E-04	45,240	3.4
	風上	420	0.8	2,049.6										
	風下	420	0.4	1,024.8										

第 16-16 表 出入管理建屋の構造骨組の層せん断力算出結果と健全性評価結果

(EW方向)

部材 番号	風圧力による荷重					気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 $\gamma \leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
(m ²)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
AC/B														
1	バラベツト	80	1.2	585.6	1,830	1,830	1,513	1,513	2,200	1,513	4,787	9.296E-05	20,950	4.3
	風上	170	0.8	829.6										
	風下	170	0.4	414.8										
2	バラベツト	40	1.2	292.8	1,464	3,294	1,424	2,937	2,200	2,937	6,963	7.297E-05	34,770	4.9
	風上	160	0.8	780.8										
	風下	160	0.4	390.4										
3	バラベツト	20	1.2	146.4	1,610	4,904	1,780	4,717	2,200	4,717	9,463	6.556E-05	60,240	6.3
	風上	200	0.8	976.0										
	風下	200	0.4	488.0										

(NS方向)

部材 番号	風圧力による荷重					気圧差による荷重		衝撃荷重	複合荷重		評価結果			
	見付面積	風力係数	層荷重		層せん断力	層荷重	層せん断力	層せん断力	W_{T1}	W_{T2}	最大歪	裕度確認		
	A	C	P_D	ΣP_D	W_w	$\Delta P A$	W_p	W_M	W_p	$W_w + 0.5W_p + W_M$	RC部分 せん断 $\gamma \leq 2000 \mu$	終局耐力	裕度	
(m ²)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(rad)	(kN)		
AC/B														
1	バラベツト	80	1.2	585.6	1,830	1,830	1,513	1,513	2,200	1,513	4,787	1.176E-04	22,170	4.6
	風上	170	0.8	829.6										
	風下	170	0.4	414.8										
2	バラベツト	50	1.2	366.0	1,318	3,148	1,157	2,670	2,200	2,670	6,683	8.475E-05	34,020	5.0
	風上	130	0.8	634.4										
	風下	130	0.4	317.2										
3	風上	150	0.8	732.0	1,098	4,246	1,335	4,005	2,200	4,005	8,449	6.079E-05	63,910	7.5
	風下	150	0.4	366.0										

6. 鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物とならないことの確認

外壁及び屋根は、風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) が衝撃荷重 (W_M) とは逆向きの建屋の内側から外側方向に作用する。これらの荷重に対し、鉄骨造部分の外壁及び屋根が破損の恐れがあると考えられるため、鉄骨造である燃料取扱棟の外壁及び屋根について検討を実施した。

(1) 外壁に対する評価荷重

外壁の評価に用いる荷重としては、風圧力による荷重、気圧差による荷重が作用する方向を考慮し、最大となる複合荷重に対し検討を行う。

建屋外側から内側に作用する荷重を正とすると、複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2}^*) は以下の通りとなる。

$$W_{T1} = W_p = -8.9 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \times W_p = -6.1 \times C - 0.5 \times 8.9 = -6.1 \times 0.7 - 0.5 \times 8.9 = -8.72 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

※：屋外方向への荷重に対して、衝撃荷重 (W_M) は考慮しない

したがって、複合荷重のうち荷重が大きい W_{T1} に対して検討を行う。

(2) 屋根に対する評価荷重

屋根の評価に用いる荷重としては、風圧力による荷重、気圧差による荷重が作用する方向を考慮し、最大となる複合荷重に対し検討を行う。

建屋外側から内側に作用する荷重を正とすると、複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2}^*) は以下の通りとなる。

$$W_{T1} = W_p = -8.9 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \times W_p = -6.1 \times C - 0.5 \times 8.9 = -6.1 \times 1.0 - 0.5 \times 8.9 = -10.55 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

※：屋外方向への荷重に対して、衝撃荷重 (W_M) は考慮しない

したがって、複合荷重のうち荷重が大きい W_{T2} に対して検討を行う。

(3) 評価結果

外壁は構成部材である波板・胴縁・間柱について、屋根はコンクリート屋根スラブ・鉄骨梁について検討を行い、(部材の終局耐力から算定される許容荷重) / (竜巻による荷重) を部材の裕度とし、1.0以上あることを第16-17表の通り確認した。

検討部材及び計算結果の詳細については、別紙-4に記載する。

また、鉄骨造部分の外壁については、設計飛来物の貫通により開口部が発生する可能性があることから、開口部を想定した場合の屋根スラブへの吹上げ荷重の検討を行っており、結果については、別紙-5に記載する。

第16-17表 外壁及び屋根に対する影響評価

		竜巻による荷重 (kN/m ²)	許容荷重 (kN/m ²)	裕度
外壁	波板	8.9	30.8	3.4
	胴縁		11.1	1.2
	間柱		13.6	1.5
屋根	スラブ	10.55	70.3	6.6
	大梁		65.2	6.1
	小梁		39.5	3.7

7. 設計飛来物の衝突に対する評価

(1) 評価方法

屋根及び外壁への設計飛来物の衝突に対し、裏面剥離または貫通を生じないための必要最小厚さを算出し、評価部材の最小厚さと比較することで貫通または裏面剥離の有無を確認する。貫通または裏面剥離が生じないための必要最小壁厚さの評価は、以下に記載する評価式を用いる。評価式に関する詳細は、別紙-3に示す。

なお、屋根に裏面剥離が発生する場合においては、剥離したコンクリートが飛散しないことをデッキプレートの有無により確認する。

貫通及び裏面剥離評価は、修正 NDRC 式 ((6) 式)、Degen 式 ((7) 式) 及び Chang 式 ((8) 式) に基づいて評価を実施する。このうち貫通評価については (6) 式に示す修正 NDRC 式を用いて貫入深さ x_c を求め、Degen 式による (7) 式により貫通限界厚さを求める。

また、裏面剥離評価は Chang による (8) 式により裏面剥離限界厚さを求める。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots (6)$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots (7)$$

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left\{ \frac{200}{V} \right\}^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144Fc)^{0.4}} \quad \dots (8)$$

x_c : 貫入深さ (in)	α_c : 飛来物低減係数	K : $180/\sqrt{Fc}$
W : 飛来物重量 (lb)	N : 形状係数	D : 飛来物直径 (in)
V : 衝突速度 (ft/s)	Fc : コンクリート強度 (psi)	
t_p : 貫通厚さ (in)	α_p : 飛来物低減係数	
t_s : 裏面剥離厚さ (ft)	α_s : 飛来物低減係数	M : 質量 (lb/ (ft/s ²))

(2) 評価結果

飛来物の衝突に対し貫通または裏面剥離を生じないための必要最小壁厚さと、建屋の外壁または屋根の最小厚さとの比較を第 16-18 表に示す。

第 16-18 表 設計飛来物による貫通、裏面剥離評価結果

建 屋	方向	必要最小厚さ※ ¹		評価対象部材		評価結果		備 考
		貫通 (cm)	裏面剥離 (cm)	位置 T.P. (m)	最小厚さ (cm)	貫通	裏面剥離	
原子炉建屋 (外部遮へい建屋)	水平	28	45	41.0~60.5 (シリンダー部)	100	○	○	
	鉛直	20	34	60.5~83.1 (ドーム部)	30	○	○	デッキプレートにより剥離コンクリートは飛散しない
原子炉建屋 (周辺補機棟)	水平	29	49	10.3~49.0 (外壁)	40	○	○	建屋内壁に施工されている鋼板により剥離コンクリートは飛散しない
	鉛直	21	37	49.0 (屋根スラブ)	48	○	○	
原子炉建屋 (燃料取扱棟)	水平	—	—	47.6~55.0 (鉄骨部)	—	×	—	貫通を前提とし、使用済燃料ピット及び新燃料貯蔵庫内への設計飛来物の侵入について影響評価を実施
	鉛直	21	37	47.6、55.0	26	○	○	デッキプレートにより剥離コンクリートは飛散しない
原子炉補助建屋	水平	29	49	10.3~47.6 (外壁)	35	○	○	建屋内壁に施工されている鋼板により剥離コンクリートは飛散しない
	鉛直	21	37	33.1 (屋根スラブ)	38	○	○	
ディーゼル発電機建屋	水平	29	49	18.8~22.8 (塔屋部外壁)	29※ ²	○	○	建屋内壁に施工されている鋼板により剥離コンクリートは飛散しない
	鉛直	21	37	18.8 (屋根スラブ)	26	○	○	デッキプレートにより剥離コンクリートは飛散しない
燃料油貯油槽 (新設)	鉛直	20	34	地中構造物	70	○	○	
燃料油貯油槽 (既設)	鉛直	21	37	地中構造物	70	○	○	
取水ピットポンプ室	鉛直	—	—	地中構造物	—	×	—	当該室の上屋 (外壁及び屋根) の貫通を前提とし、当該室上部の開口部から当該室への設計飛来物の侵入について影響評価を実施
ストレナ室	鉛直	—	—	地中構造物	—	×	—	

※ 1 : 小数点以下を切り上げており、数値以上の部材厚さがあれば、貫通または裏面剥離を生じない厚さ。

※ 2 : 最小厚さ 29cm (コンクリート 18cm+鋼板 16mm (コンクリート換算 11cm 以上))

8. 開口部の建具の飛散に関する評価

(1) 開口部の建具に対する評価荷重

建具の評価に用いる荷重としては、風圧力による荷重、気圧差による荷重が作用する方向を考慮し、最大となる複合荷重に対し検討を行う。

建屋外側から内側に作用する荷重を正とすると、複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2} ^{*}) は以下の通りとなる。なお、シャッター及びブローアウトパネル部については飛散するものとした。

$$W_{T1} = W_P = -8.9 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \times W_P = -6.1 \times C - 0.5 \times 8.9 = -6.1 \times 0.7 - 0.5 \times 8.9 = 8.72 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

※：屋外方向への荷重に対して、衝撃荷重 (W_M) は考慮しない

したがって、複合荷重のうち荷重が大きい W_{T1} に対して検討を行う。

なお、外壁の評価と同様に、風力係数 (C) は気圧差による荷重と同方向に作用する -0.7 とした。

(2) 評価結果

竜巻による荷重と建具の許容荷重の比較結果を第 16-19 表に示す。

評価結果に基づき、竜巻による荷重により建具の飛散が考えられる扉のうち竜巻防護施設近傍の開口部については防護対策を実施する。

なお、飛来物が貫通する一部の扉についても防護対策を実施する。

第 16-19 表 複合荷重と扉の耐力の比較結果

建屋	対象建具	竜巻による荷重 (kN/m ²)	許容荷重 [*] (kN/m ²)	裕度
原子炉建屋 (燃料取扱棟)	3枚引戸	8.9	13.9	1.5
ディーゼル発電機建屋 (ディーゼル発電機室)	両開き扉		280.7	31.5
ディーゼル発電機建屋 (蓄熱室)	片開き		2.1	0.2

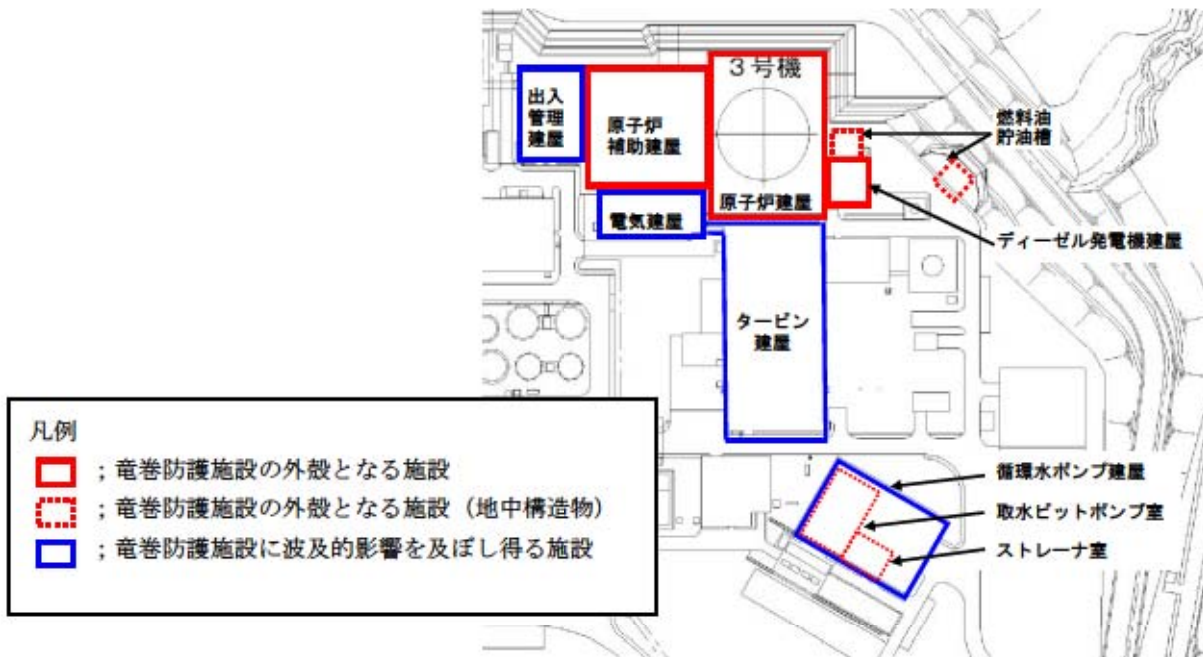
※：許容荷重については、扉を構成する面材及び補強材のうち耐力が最小の部材の値を示す。

【別紙一覧】

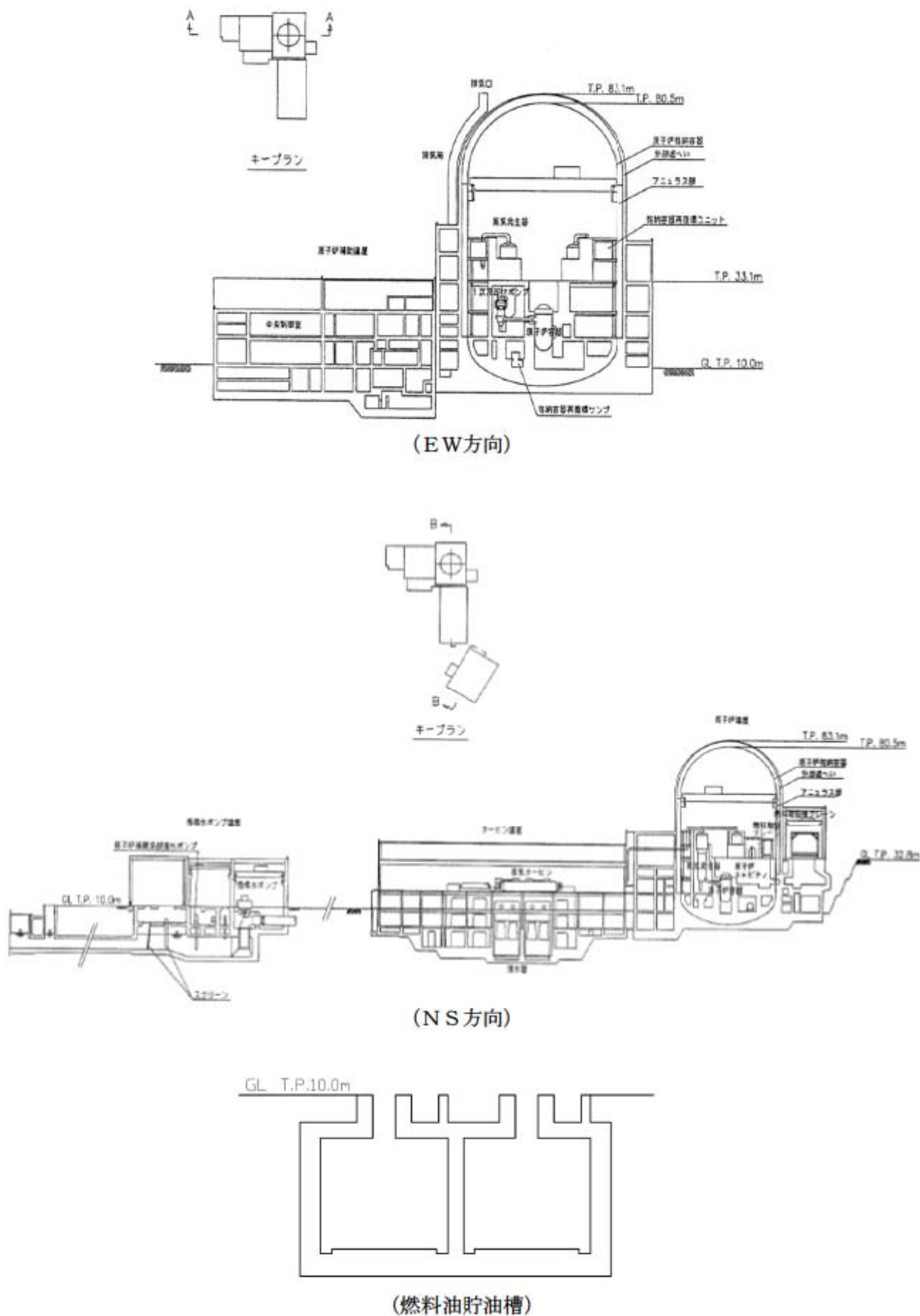
- 別紙-1：竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の概要図
- 別紙-2：構造骨組の評価における風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) 算出時の受圧面積について
- 別紙-3：コンクリート構造物への飛来物衝突影響評価について
- 別紙-4：竜巻防護施設の外殻となる施設の損壊等により部材が飛散物（2次飛来物）となるかの確認について
- 別紙-5：外壁に開口部を想定した際の燃料取扱棟の屋根スラブに対する吹上荷重の評価について

竜巻防護施設の外殻となる施設及び
竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の概要図

竜巻防護施設の外殻となる施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図を第1図に、概略断面図を第2図に示す。



第1図 評価対象施設の外殻となる施設の概略配置図



第2図 評価対象建屋の概略断面図

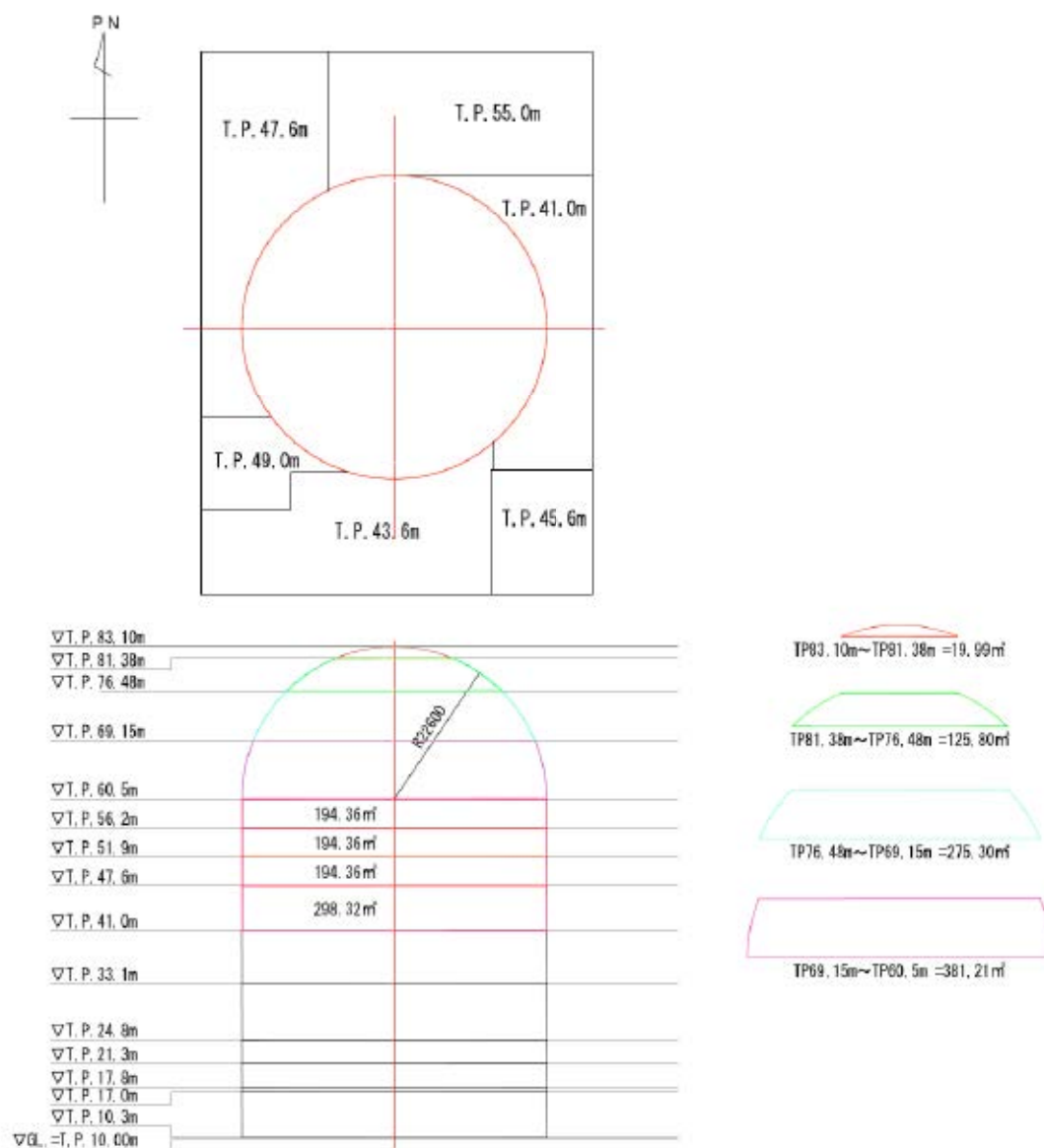
構造骨組の評価における
風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) 算出時の受圧面積について

地震応答解析モデルの各層に作用する風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差による荷重 (W_p) は、建屋の形状を考慮し各層毎に算定した受圧面積に基づき算出する。

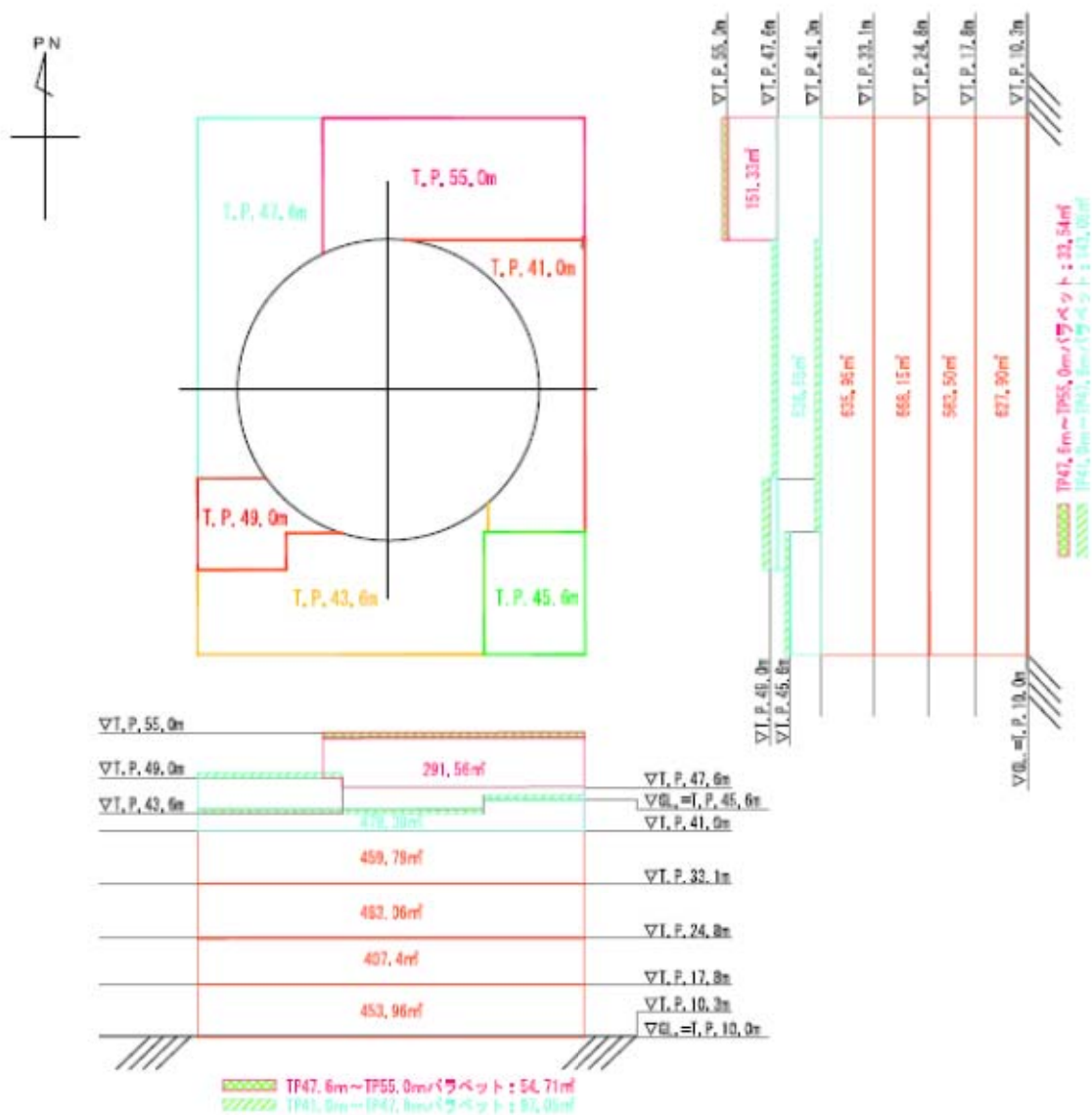
風圧力及び気圧差による荷重 (W_w) 算定における受圧面積については、各建屋とも安全側の評価として、遮へい効果を期待せず、南北・東西方向の検討を行う。

受圧面積は受風面の高さパラペットを考慮し、地震応答解析モデルの「当該節点とその一つ下層の節点までの部材の高さ×受圧面の建屋幅」により算出する。

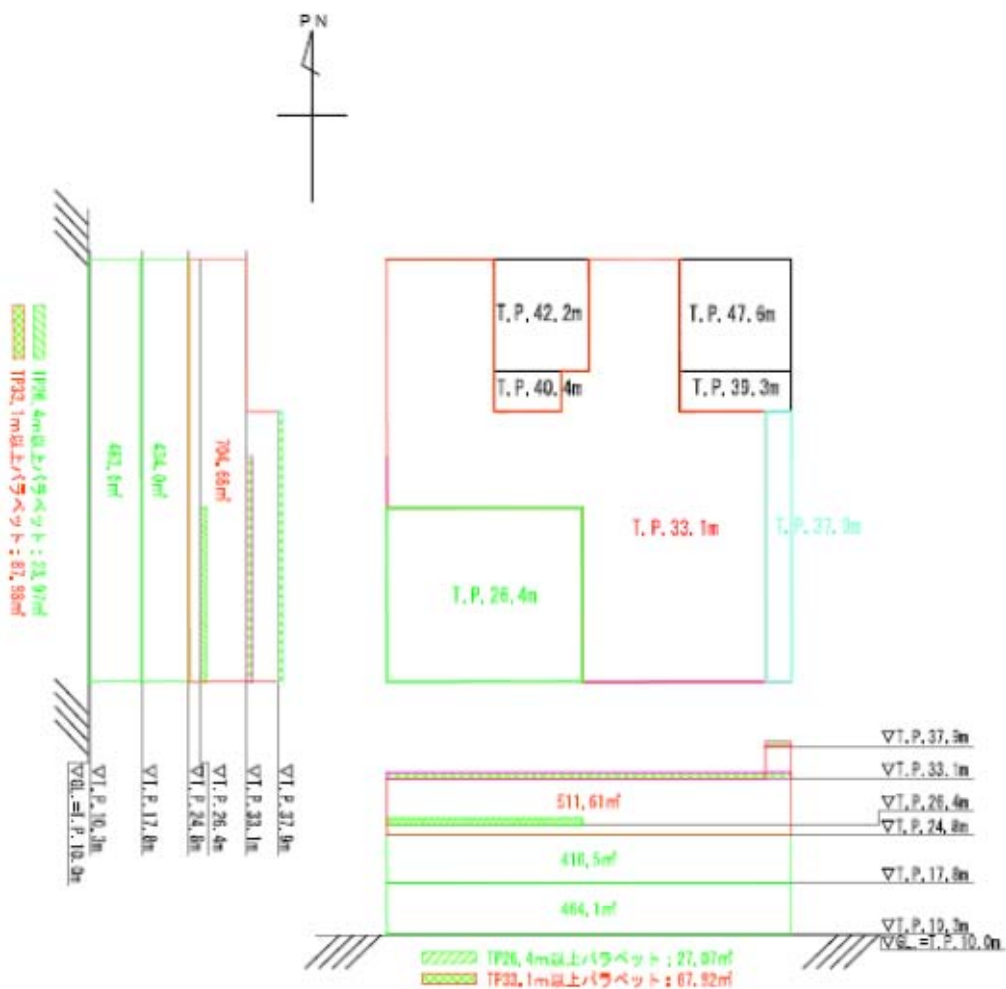
風圧力及び気圧差による荷重算定に用いた、各建屋の受圧面積を建屋立面上に表記し、第1図～第8図に示す。



第1図 原子炉建屋（外部遮へい建屋）の受圧面積図

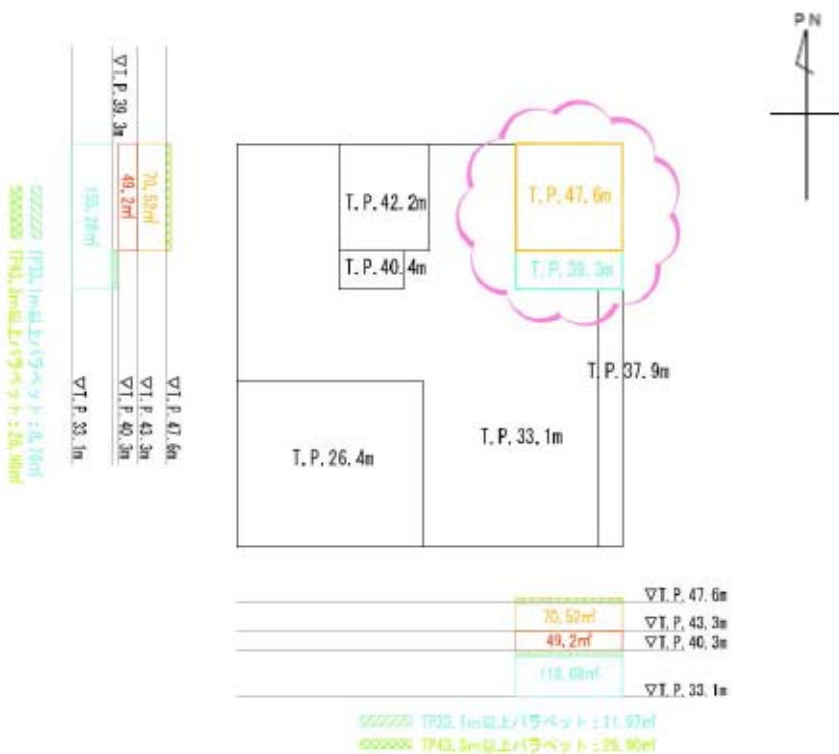


第2図 原子炉建屋（周辺補機棟及び燃料取扱棟）の受圧面積図

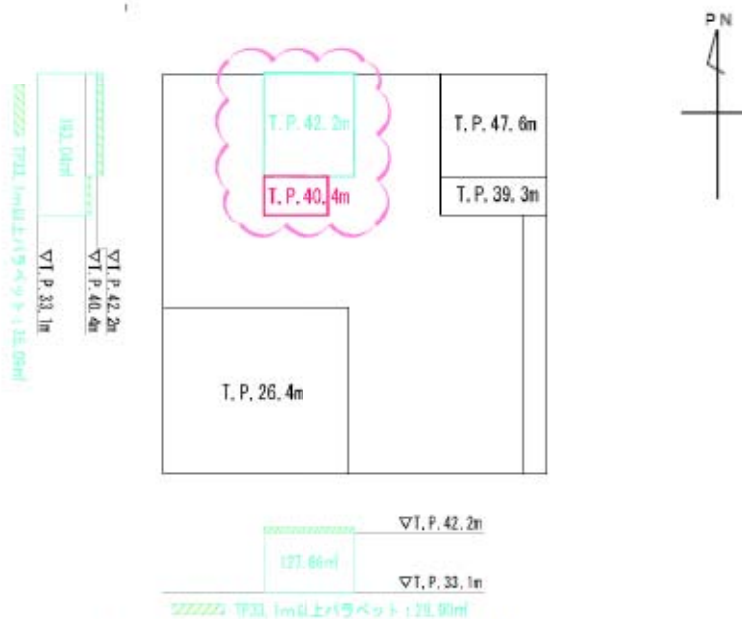


(T. P. 10. 0m (GL.) ~ 33. 1m)

第3図 原子炉補助建屋の受圧面積図 (その1)

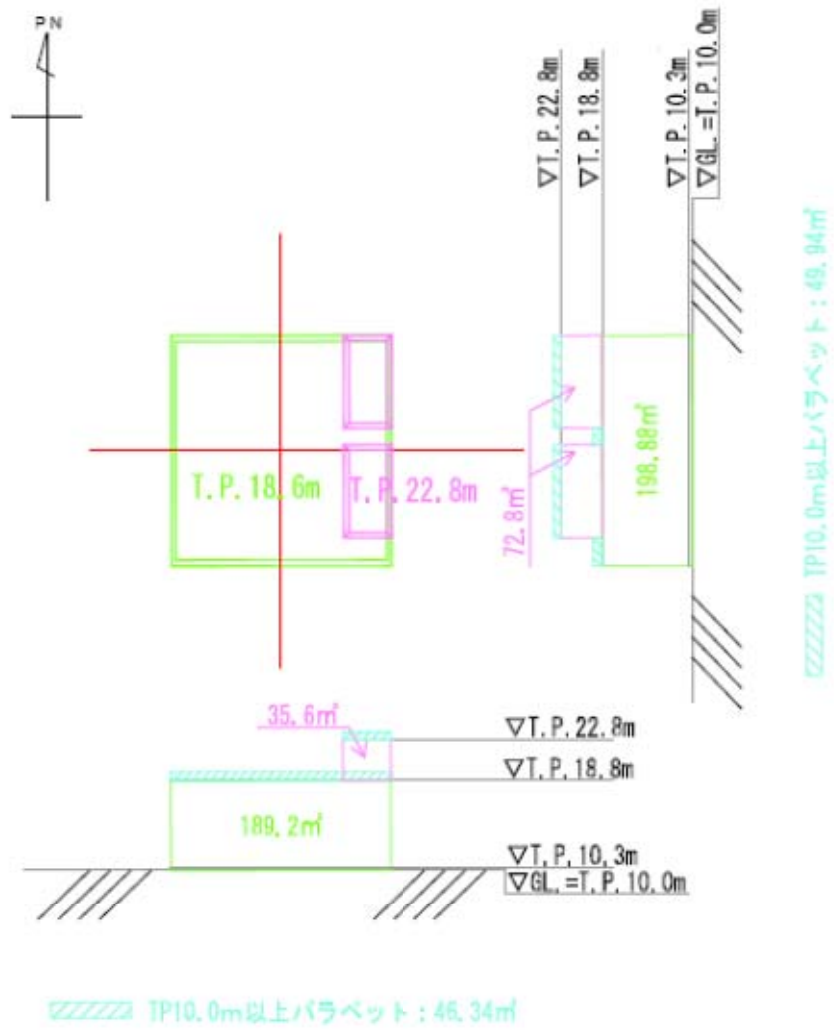


(T. P. 33. 1m~47. 6m (質点 1 ~ 3))

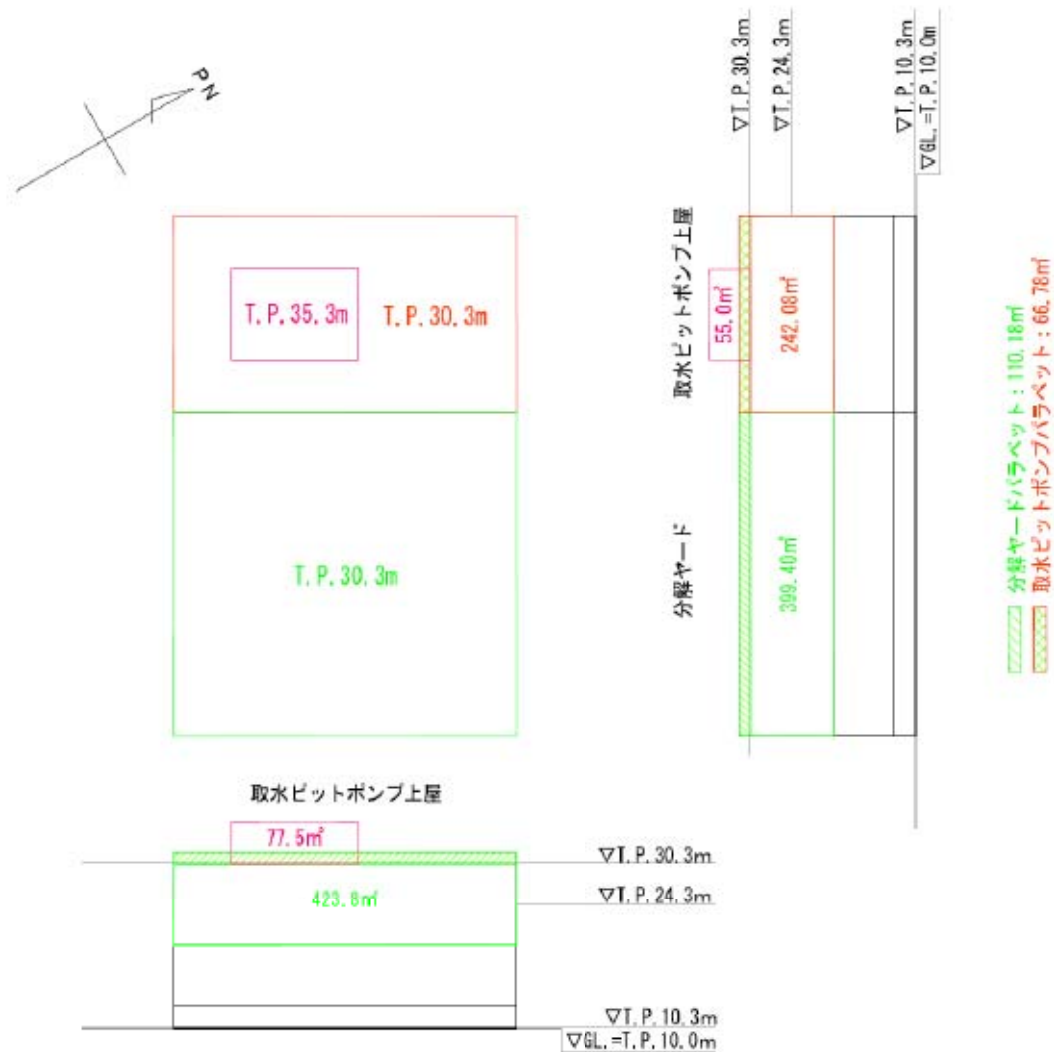


(T. P. 33. 1m~42. 2m (質点 4 ~ 5))

第 3 図 原子炉補助建屋の受圧面積図 (その 2)



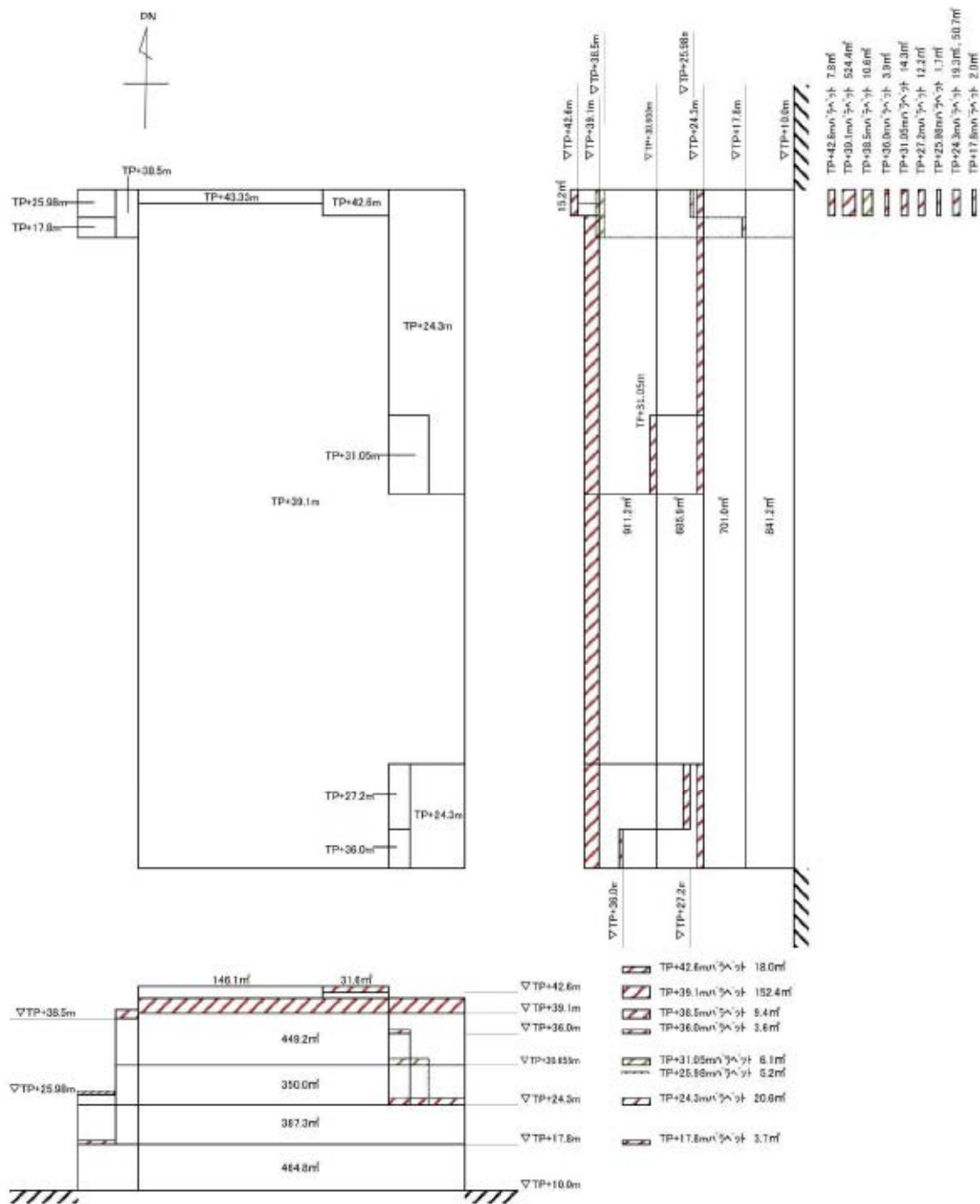
第4図 ディーゼル発電機建屋の受圧面積図



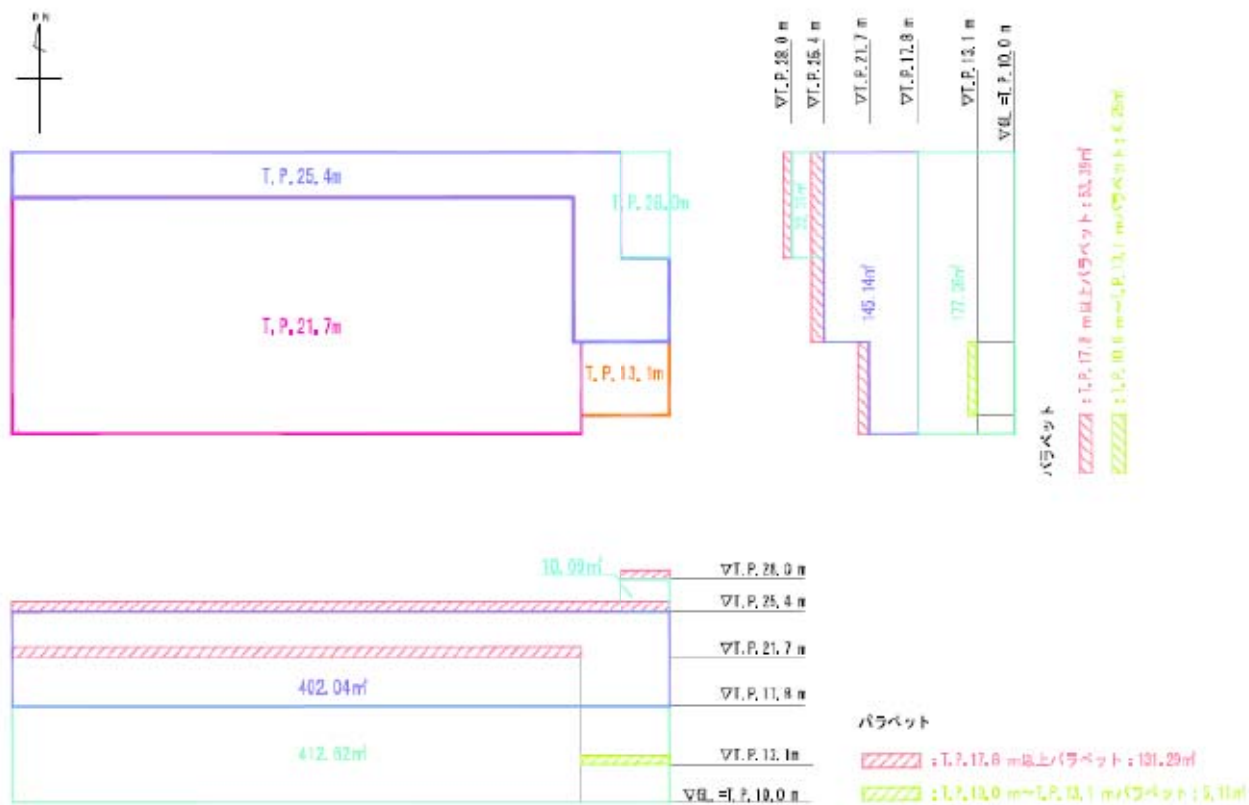
緑色斜線 T.P. 10.0m以上バラベット: 116.9㎡

*分解ヤード上屋: 上記搭屋なしと同じ。

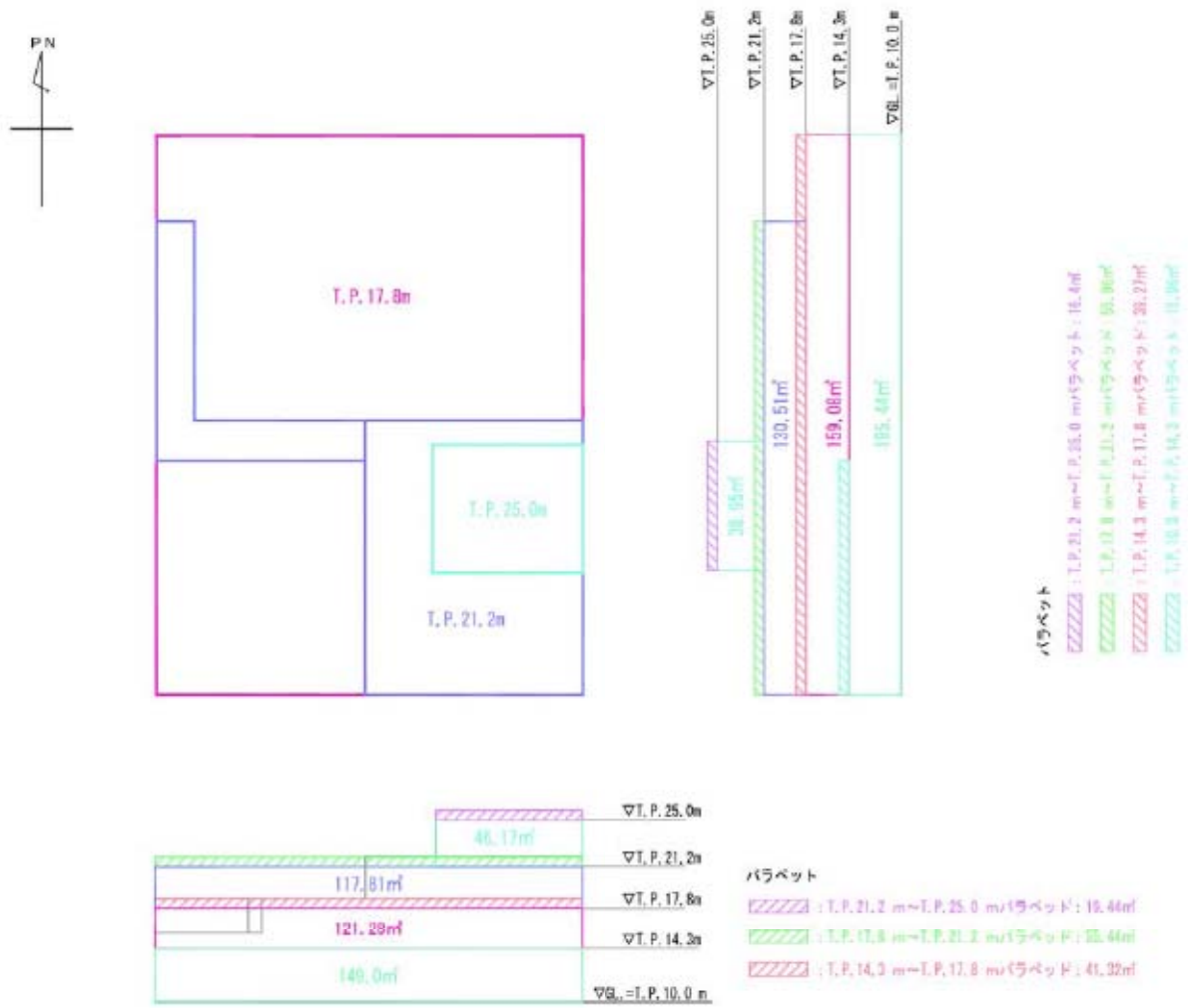
第5図 循環水ポンプ建屋の受圧面積図



第6図 タービン建屋の受圧面積図



第7図 電気建屋の受圧面積図



第 8 図 出入管理建屋の受圧面積図

コンクリート構造物に対する飛来物衝突影響評価について

1. 概要

コンクリート構造物への飛来物衝突影響評価については、以下に示す評価式を用いて貫通限界深さ、裏面剥離限界必要厚さを算定している。

<貫通及び裏面剥離評価>

修正 NDRC 式 ((1) 式)、Degen 式 ((2) 式) 及び Chang 式 ((3) 式) に基づいて評価を実施する。このうち貫通評価については (1) 式に示す修正 NDRC 式を用いて貫入深さ x_c を求め、Degen 式による (2) 式により貫通限界厚さを求める。

また、裏面剥離評価は Chang による (3) 式により裏面剥離限界厚さを求める。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D}\right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots (1)$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D}\right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D}\right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots (2)$$

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left\{ \frac{200}{V} \right\}^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144F_c)^{0.4}} \quad \dots (3)$$

ここで、

x_c : 貫入深さ (in)	α_c : 飛来物低減係数	$K : 180/\sqrt{F_c}$
W : 飛来物重量 (lb)	N : 形状係数	D : 飛来物直径 (in)
V : 衝突速度 (ft/s)	F_c : コンクリート強度 (psi)	
t_p : 貫通厚さ (in)	α_p : 飛来物低減係数	
t_s : 裏面剥離厚さ (ft)	α_s : 飛来物低減係数	M : 質量 (lb/ (ft/s ²))

以下に上記評価式の採用理由を記す。

- ・飛来物衝突に対する評価式として、NEI07-13^{*1} 及び米国 NRC の基準類^{*2} に算定式として記載されている。
- ・「構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)においては、貫通限界厚さの評価式として Degen 式の適用性が高く、裏面剥離限界厚さの評価式として、Chang 式の適用性が高いとされている。なお、これは電力中央研究所^{*3} の実験結果に基づくものである。

※1 : Methodology for performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : U. S NUCLEAR REGULATORY COMMISSION : STANDARD REVIEW PLAN, 3. 5. 3 BARRIER DESIGN PROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3-March 2007

※3 : 飛来物の衝突に対するコンクリート構造物の耐衝撃設計手法 電力中央研究所

2. 評価式の形状係数及び低減係数

貫入防止および裏面剥離防止必要厚さの算定に用いる係数は、NEI07-13における推奨値の他に、第1表に示す係数が提案されている。

第1表 評価式における形状係数及び低減係数

	NEI07-13	文献 ^{※1}	文献 ^{※2}
対象飛来物	【剛飛来物】 大型商用機のエンジン	—	【剛飛来物】 航空機エンジン
貫通深さ式 形状係数	0.72	0.72~1.14	—
貫通防止式 低減係数	0.60	—	0.65
裏面剥離防止式 低減係数	0.55	—	0.6

※1：構造工学シリーズ6 「構造物の衝撃挙動と設計法」土木学会

※2：Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles Part4

：Overall Evaluation of Local Damage, Kiyoshi Muto, etc., 10th SMiRT

剛飛来物である鋼製材が飛来衝突する場合、隅角部から衝突し、かつ航空機エンジン以上に剛体であり得ることも想定して、形状係数は「1.14」（非常に鋭い場合の係数）とし、低減係数についてはすべて「1.0」（低減せず）とする。

本評価における各係数を第2表に示す。

第2表 採用した形状係数及び低減係数

貫通深さ式 形状係数	1.14
貫通防止式 低減係数	1.00
裏面剥離防止式 低減係数	1.00

竜巻防護施設の外殻となる施設の損壊等により
部材が飛散物（2次飛来物）となるかの確認について

部材が飛散物（2次飛来物）となるかの確認について、竜巻防護施設の外殻となる施設のうち鉄骨造である燃料取扱棟について確認を行った。

ここでは、建屋の外壁及び屋根について評価を実施し、竜巻による複合荷重によって生じる荷重が部材の許容荷重を下回ることを確認している。

1. 評価荷重

評価荷重については、本文「6. 鉄骨造部分の外壁及び屋根が飛散物とならないことの確認」に記載の通り、竜巻による複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2}) のうち最も大きくなる以下の荷重として評価を実施する。

外壁： $W_{T1}=8.9$ kN

屋根： $W_{T2}=10.55$ kN

2. 評価方法

(1) 外壁について

波板・胴縁・間柱を評価対象とし、「1. 評価荷重」に示す評価荷重により、破損し、波及的影響を及ぼさないことを確認する。具体的には、各部材の終局耐力から算定した許容荷重が、竜巻による複合荷重を上回っている事を、(許容荷重) / (竜巻による荷重) を部材の裕度とし、この裕度が1.0以上あることで確認する。

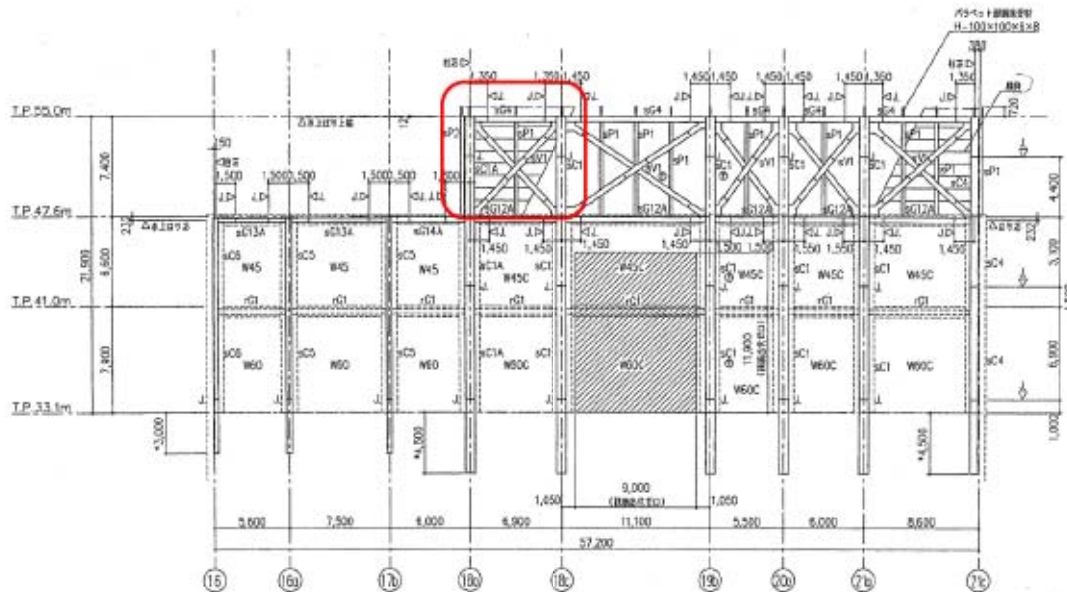
a. 使用材料及び許容応力度

外壁の飛散評価における、使用材料及び各部材の仕様を以下に示す。なお、終局時の検討であることから、鋼材は「建設省告示第2464号（平成12年12月26日施行）」に基づき、検討時にはF値を1.1倍する。

- ・波板 金属製リブ板 ($t=0.8$ mm)
- ・胴縁 SS400 ($F=235$ N/mm²)
- ・間柱 SS400 ($F=235$ N/mm²)

b. 検討対象範囲

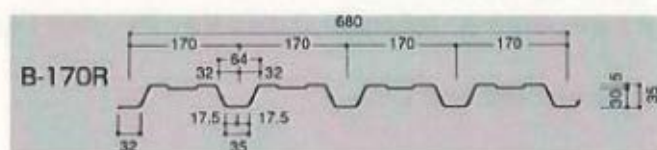
検討対象範囲を第1図に示す。



(軸組図)

検討部位	符号	断面
波板	—	t=0.8 山高35mm (横胴縁ピッチ900mmにて支持)
胴縁	—	[-125×65×6×8
間柱	sP1	H-340×250×9×14

(部材リスト)



■断面性能

芯鋼板厚 mm	波板重量 kg/m ²				断面2次 モーメント I=cm ⁴ /m	断面係数 Z=cm ³ /m
	S.T.L.	F.L.	F.L.-S	E.T.C.-F		
0.5	6.0	5.8	5.6	6.1	12.85	5.52
0.6	7.0	6.9	6.6	7.2	15.40	6.63
0.8	9.2	9.0	8.8	9.3	20.60	8.84

(波板詳細)

第1図 燃料取扱棟の外壁部材(外装材、胴縁、間柱)の検討箇所及び詳細(W通り軸組図)

(2) 屋根について

コンクリート屋根スラブ、鉄骨梁（大梁、小梁）を評価対象とし、「1. 評価荷重」に示す評価荷重により、破損し、波及的影響を及ぼさないことを確認する。具体的には、各部材の終局耐力から算定した許容荷重が、竜巻による複合荷重を上回っている事を、(許容荷重) / (竜巻による荷重) を部材の裕度とし、この裕度が 1.0 以上あることで確認する。

a. 使用材料及び許容応力度

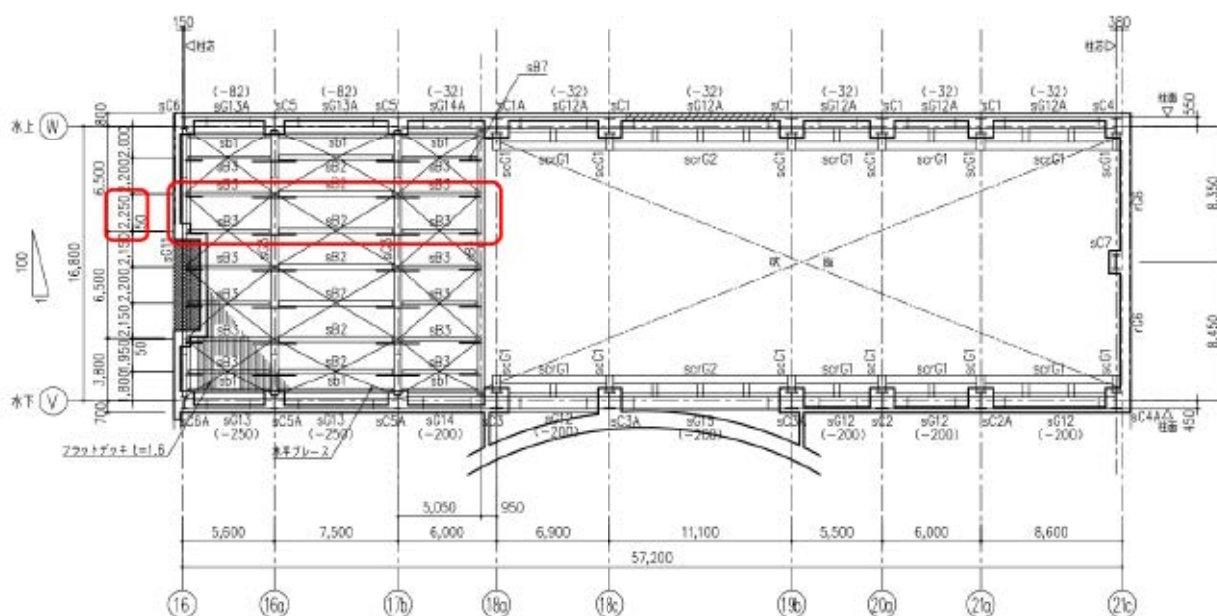
屋根の飛散評価における、使用材料及び各部材の仕様を以下に示す。なお、終局時の検討であることから、鋼材は「建設省告示第 2464 号（平成 12 年 12 月 26 日施行）」に基づき、検討時にはF値を 1.1 倍する。

- ・コンクリート $F_c = 24 \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋 床板 SD345 ($F = 345 \text{ N/mm}^2$)
- ・大梁 SN490B ($F = 325 \text{ N/mm}^2$)
- ・小梁 SS400 ($F = 235 \text{ N/mm}^2$)

b. 検討対象範囲

検討対象範囲を第 2 図～第 4 図に示す。

検討箇所は、屋根スラブにおいてはスパンが広い箇所、屋根梁においてはピッチが広い箇所を基準に選定している。

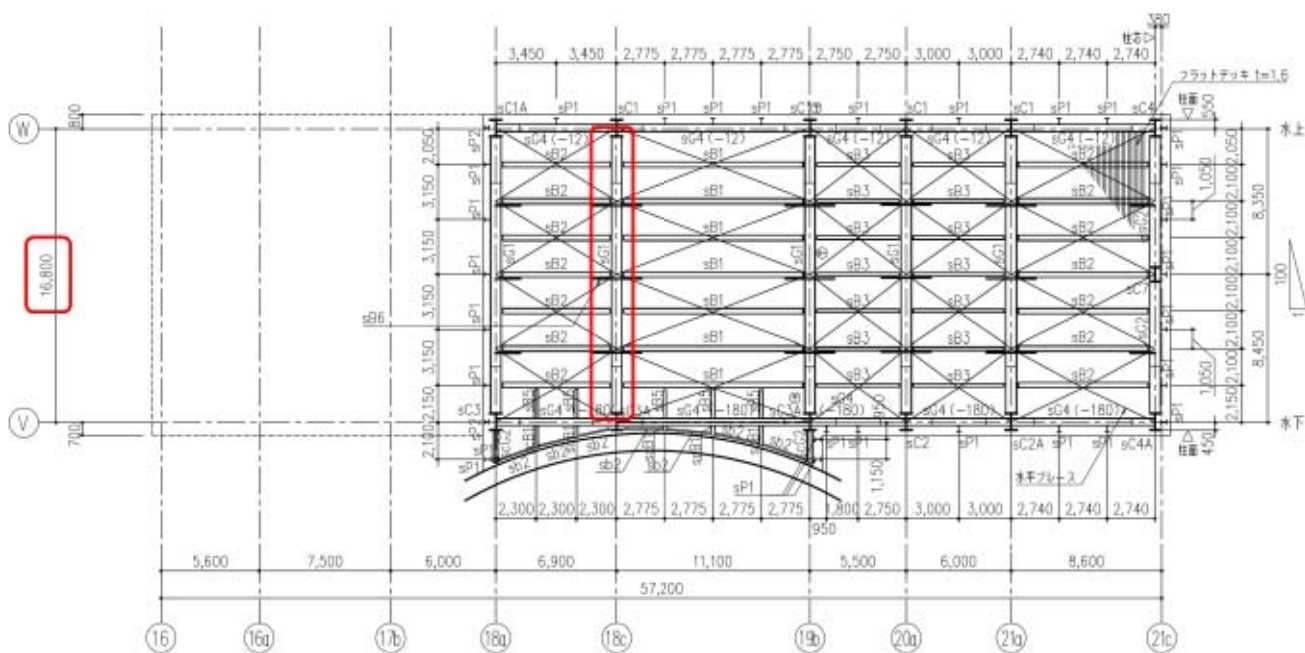


(T.P. 47.6m 屋根伏図)

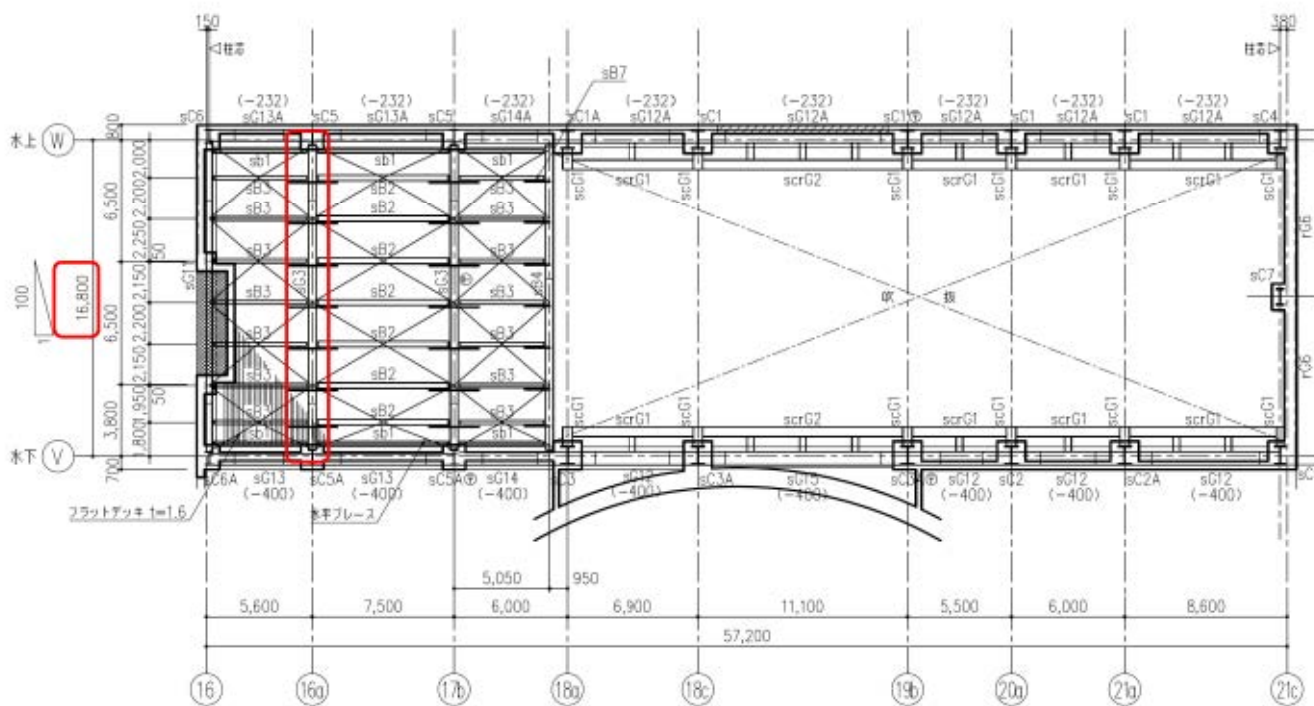
符号	断面
S18 屋根	

(スラブ詳細)

第 2 図 燃料取扱棟の屋根部材（屋根スラブ）の検討箇所及び詳細



(T. P. 55.0m 屋根伏図)

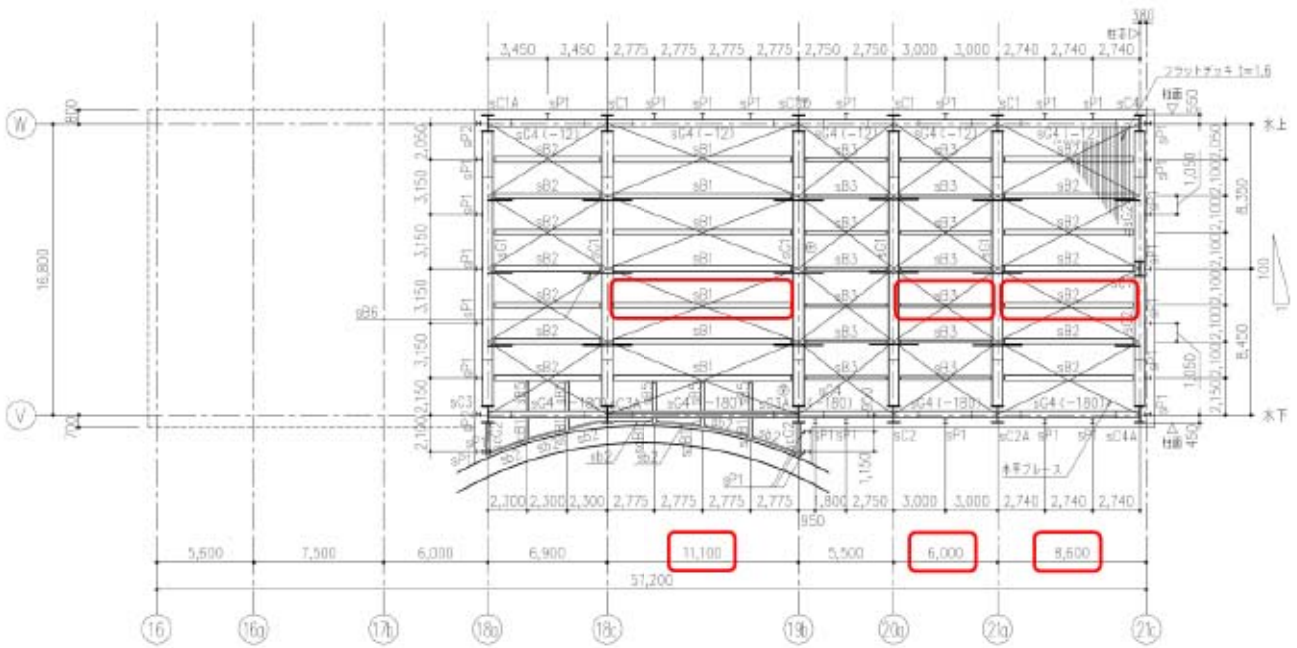


(T. P. 47.6m 屋根伏図)

符号	位置	断面
sG1	18c 通り	BH-1700×600×30×40
sG3	16a 通り	BH-1400×400×22×30

(部材リスト)

第3図 燃料取扱棟の屋根部材(大梁)の検討箇所及び詳細



(T. P. 55. 0m 屋根伏図)

符号	位置	断面
sB1	18c～19b 通り	H-700×300×13×24
sB2	21a～21c 通り	H-440×300×11×18
sB3	20a～21a 通り	H-400×200×8×13

(部材リスト)

第4図 燃料取扱棟の屋根部材（小梁）の検討箇所及び詳細

3. 評価結果

各部材の計算過程及び結果を第1表～第6表に示す。

第1表 燃料取扱棟の外装材の計算結果

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	8,840	mm ³ /m
	断面2次モーメント	I	206,000	mm ⁴ /m
	材長	L	0.90	m
	材間隔	a	1.00	m
竜巻荷重	風圧力荷重	W_W (Cf = 0.7)	4,270	N/m ²
	気圧差荷重	W_P	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	$W_{(T1,T2)} = \max(W_P, W_W + 0.5W_P)$	8,900	N/m ²
	設計用風荷重	$w = W_{(T1,T2)} \times a$	8,900	N/m
応力計算	最大モーメント	$M_{\max} = wL^2/12$	601	Nm/m
断面検討	最大繰応力度	$\sigma_{\max} = M_{\max}/Z$	68.0	N/mm ² /m
	許容応力度	sfb	235.0	N/mm ² /m
	検定値	$\sigma = \sigma_{\max}/sfb$	0.29	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	$Ma = sfb \times Z$	2077	Nm/m
	最大負担荷重	$Ma = w_1 L^2 / 12$ より $w_1 = 12 \times Ma / L^2$	30,770	N/m/m
	最大負担竜巻荷重	$w_1 = wa \times a$ より $wa = w_1 / a$	30,770	N/m ²
	裕度	$wa / W_{(T1,T2)}$	3.4	

第2表 燃料取扱棟の胴縁の計算結果

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z_x	67,800	mm^3
		Z_y	13,400	mm^3
	断面2次モーメント	I_x	4,240,000	mm^4
		I_y	618,000	mm^4
	ウェブ断面積	A_w	654	mm^2
	材長	L	3.45	m
	材間隔	a	0.90	m
鉛直荷重	外装重量	w_v	400	N/m^2
		$W_v = w_v \times a$	360	N/m
竜巻荷重	風圧力荷重	W_w (Cf = 0.7)	4,270	N/m^2
	気圧差荷重	W_p	8,900	N/m^2
	荷重の組合せ	$W_{(T1,T2)} = \max(W_p, W_w + 0.5W_p)$	8,900	N/m^2
	設計用風荷重	$w = W_{(T1,T2)} \times a$	8,010	N/m
応力計算	水平方向最大モーメント	$M_{x_{\max}} = wL^2/8$	11,917	Nm
	鉛直方向最大モーメント	$M_{y_{\max}} = W_v L^2/8$	536	Nm
	せん断力	$Q = wL/2$	13,817	N
断面検討	水平方向最大線応力度	$\sigma_h = M_{x_{\max}}/Z_x$	175.8	N/mm^2
	鉛直方向最大線応力度	$\sigma_v = M_{y_{\max}}/Z_y$	40.0	N/mm^2
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 235 N/mm^2)	258.5	N/mm^2
	曲げ検定値	$(\sigma_h/1.1\text{sfb}) + (\sigma_v/1.1\text{sfb})$	0.83	< 1.00 OK
	せん断応力度	$\tau = Q/A_w$	21.1	N/mm^2
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 135.7 N/mm^2)	135.7	N/mm^2
	せん断検定値	τ/sfs	0.16	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	$M_x = (1 - M_y/(Z_y \cdot 1.1\text{sfb})) \times 1.1\text{sfb} \times Z_x$	14,814	Nm
	最大負担荷重	$M_x = w_1 L^2/8$ より $w_1 = 8 \times M_x/L^2$	9957	N/m
	最大負担竜巻荷重	$w_1 = w_a \times a$ より $w_a = w_1/a$	11063	N/m^2
	裕度	$w_a/W_{(T1,T2)}$	1.2	

第3表 燃料取扱棟の間柱の計算結果

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	1,250,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	212,000,000	mm ⁴
	断面積	A	9,950	mm ²
	ウェブ断面積	A _w	2,808	mm ²
	材長	L	7.40	m
	材間隔	a	3.45	m
鉛直荷重	設計荷重	w _v	600	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (C _f = 0.7)	4,270	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	8,900	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a	30,705	N/m
応力計算	最大モーメント	M _{max} = wL ² /8	210,176	Nm
	せん断力	Q = wL/2	113,609	N
	軸力	N = w _v × a × L	15,318.0	N
断面検討	線応力度	σ = M _{max} /Z	168.1	N/mm ²
	圧縮応力度	σ _c = N/A	1.5	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 235 N/mm ²)	258.5	N/mm ²
	許容圧縮応力度	1.1sfc (sfc = 235 N/mm ²)	258.5	N/mm ²
	検定値	σ _c /1.1sfc + σ/1.1sfb	0.66	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/A _w	40.5	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 135.7 N/mm ²)	135.7	N/mm ²
	せん断検定値	τ/sfs	0.30	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = (1 - N/(A × 1.1sfc)) × 1.1sfb × Z	321,201	Nm
	最大負担荷重	Ma = w ₁ L ² /8 より w ₁ = 8 × Ma/L ²	46,925	N/m
	最大負担竜巻荷重	w ₁ = wa × a より wa = w ₁ /a	13,601	N/m ²
	裕度	wa/W _(T1,T2)	1.5	

第4表 燃料取扱棟のスラブの計算結果

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
諸元	コンクリート強度	F_c24	24	N/mm^2
	鉄筋の短期許容応力度	f_t	345	N/mm^2
	スラブ厚	t	180	mm
	鉄筋量	$at = 1.986 \times 1000/200$	993	mm^2
	有効せい	d	122	mm
	部材幅	b	1,000	mm
	応力中心間距離	$j = 7/8d$	106.75	mm
	スパン	L	2.25	m
鉛直荷重	屋根重量	w_v	6,700	N/m^2
竜巻荷重	風圧力荷重	W_w (Cf = 1.0)	6,100	N/m^2
	気圧差荷重	W_p	8,900	N/m^2
	荷重の組合せ	$W_{(T1,T2)} = \max(W_p, W_w + 0.5W_p)$	10,550	N/m^2
	設計用風荷重	$w = W_{(T1,T2)} - w_v$	3,850	N/m^2
応力計算	中央モーメント	$M = wL^2/8$	2,436	Nm/m
	端部せん断力	$Q = wL/2$	4,331	N/m
断面検討	引張応力度	1.1ft	379.5	N/mm^2
	許容曲げモーメント	$Ma = at \cdot 1.1ft \cdot j$	40,228	Nm/m
	曲げ検定値	M/Ma	0.06	< 1.00 OK
	許容せん断応力度	$f_s = \min(F_c/30 \times 1.5, (0.49 + F_c/100) \times 1.5)$	1.095	N/mm^2
	許容せん断力	$Qa = b \cdot j \cdot f_s$	116,891	N/m
	せん断検定値	Q/Qa	0.04	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担荷重	$Ma = w_1 L^2/8$ より $w_1 = 8 \times Ma/L^2$	63,570	N/m
	最大負担竜巻荷重	$w_1 = w_a - w_v$ より $w_a = w_1 + w_v$	70,270	N/m^2
	裕度	$w_a/W_{(T1,T2)}$	6.6	

第5表 燃料取扱棟の大梁の計算結果 (sG1)

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	51,410,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	43,700,000,000	mm ⁴
	ウェブ断面積	A _w	48,600	mm ²
	材長	L	16.80	m
	材間隔	a	9.00	m
鉛直荷重	屋根重量	w _v	8,900	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (C _f = 1.0)	6,100	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	10,550	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a - (w _v × a)	14,850	N/m
応力計算	荷重項 (風荷重)	C = wL ² /12	349,272	Nm
		Mo = wL ² /8	523,908	Nm
		Qo = wL/2	124,740	N
	曲げモーメント	ML = α _L × C α _L = 0.463	161,713	Nm
		Mc = α _C × Mo α _C = 0.662	346,827	Nm
		MR = α _R × C α _R = 0.550	192,100	Nm
せん断力	Q = Qo + (ML - MR)/L	126,549	N	
断面検討	縁応力度	σ = M _{max} /Z	6.7	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 325 N/mm ²)	357.5	N/mm ²
	曲げ検定値	σ / 1.1sfb	0.02	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/A _w	2.6	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 187.6 N/mm ²)	187.6	N/mm ²
	せん断検定値	τ / sfs	0.01	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = 1.1sfb × Z	18,379,075	Nm
	応力係数	α _L = 0.463		
		α _C = 0.662		
		α _R = 0.550		
	最大荷重項	C _L = Ma / α _L = w _{1L} L ² /12 より w _{1L} = (12 × Ma / α _L) / L ²	1,687,739	Nm
		Mo = Ma / α _C = w _{1C} L ² /8 より w _{1C} = (8 × Ma / α _C) / L ²	786,932	Nm
	最大負担竜巻荷重	C _R = Ma / α _R = w _{1R} L ² /12 より w _{1R} = (12 × Ma / α _R) / L ²	1,420,770	Nm
w ₁ = wa × a - (w _v × a) より wa _L = w _{1L} /a + w _v wa _C = w _{1C} /a + w _v wa _R = w _{1R} /a + w _v		196,427 96,337 166,763	N/m ² N/m ² N/m ²	
裕度	wa _{min} / W _(T1,T2)	9.1		

第5表 燃料取扱棟の大梁の計算結果 (sG3)

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	22,390,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	15,674,000,000	mm ⁴
	ウェブ断面積	A _w	29,480	mm ²
	材長	L	16.80	m
	材間隔	a	6.55	m
鉛直荷重	屋根重量	w _v	8,900	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (C _f = 1.0)	6,100	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	10,550	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a - (w _v × a)	10,808	N/m
応力計算	荷重項 (風荷重)	C = wL ² /12	254,204	Nm
		Mo = wL ² /8	381,306	Nm
		Qo = wL/2	90,787	N
	曲げモーメント	ML = α _L × C α _L = 0.923	234,630	Nm
		Mc = α _C × Mo α _C = 0.437	166,631	Nm
		MR = α _R × C α _R = 0.766	194,720	Nm
せん断力	Q = Qo + (ML - MR)/L	93,163	N	
断面検討	縁応力度	σ = M _{max} /Z	10.5	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 325 N/mm ²)	357.5	N/mm ²
	曲げ検定値	σ / 1.1sfb	0.03	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/A _w	3.2	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 187.6 N/mm ²)	187.6	N/mm ²
	せん断検定値	τ / sfs	0.02	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = 1.1sfb × Z	8,004,425	Nm
	応力係数	α _L = 0.923		
		α _C = 0.437		
		α _R = 0.766		
	最大荷重項	C _L = Ma / α _L = w _{1L} L ² /12 より w _{1L} = (12 × Ma / α _L) / L ²	368,715	Nm
		Mo = Ma / α _C = w _{1C} L ² /8 より w _{1C} = (8 × Ma / α _C) / L ²	519,183	Nm
		C _R = Ma / α _R = w _{1R} L ² /12 より w _{1R} = (12 × Ma / α _R) / L ²	444,287	Nm
最大負担竜巻荷重	w ₁ = wa × a - (w _v × a) より			
	wa _L = w _{1L} /a + w _v	65,192	N/m ²	
	wa _C = w _{1C} /a + w _v	88,165	N/m ²	
	wa _R = w _{1R} /a + w _v	76,730	N/m ²	
裕度	wa _{min} / W _(T1,T2)	6.1		

第6表 燃料取扱棟の小梁の計算結果 (sB1)

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	5,630,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	1,970,000,000	mm ⁴
	ウェブ断面積	Aw	8,476	mm ²
	材長	L	11.10	m
	材間隔	a	2.10	m
鉛直荷重	屋根重量	w _v	7,200	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (Cf = 1.0)	6,100	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	10,550	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a - (w _v × a)	7,035	N/m
応力計算	最大モーメント	M _{max} = wL ² /8	108,348	Nm
	せん断力	Q = wL/2	39,044	N
断面検討	縁応力度	σ = M _{max} /Z	19.2	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 235 N/mm ²)	258.5	N/mm ²
	曲げ検定値	σ/1.1sfb	0.07	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/Aw	4.6	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 135.7 N/mm ²)	135.7	N/mm ²
	せん断検定値	τ/sfs	0.03	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = 1.1sfb × Z	1,455,355	Nm
	最大負担荷重	Ma = w ₁ L ² /8 より w ₁ = 8 × Ma/L ²	94,496	N/m
	最大負担竜巻荷重	w ₁ = wa × a - (w _v × a) より wa = w ₁ /a + w _v	52,198	N/m ²
	裕度	wa/W _(T1,T2)	4.9	

第6表 燃料取扱棟の小梁の計算結果 (sB2)

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	2,490,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	547,000,000	mm ⁴
	ウェブ断面積	Aw	4,444	mm ²
	材長	L	8.60	m
	材間隔	a	2.10	m
鉛直荷重	屋根重量	w _v	7,200	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (C _f = 1.0)	6,100	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	10,550	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a - (w _v × a)	7,035	N/m
応力計算	最大モーメント	M _{max} = wL ² /8	65,039	Nm
	せん断力	Q = wL/2	30,251	N
断面検討	縁応力度	σ = M _{max} /Z	26.1	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 235 N/mm ²)	258.5	N/mm ²
	曲げ検定値	σ/1.1sfb	0.10	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/Aw	6.8	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 135.7 N/mm ²)	135.7	N/mm ²
	せん断検定値	τ/sfs	0.05	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = 1.1sfb × Z	643,665	Nm
	最大負担荷重	Ma = w ₁ L ² /8 より w ₁ = 8 × Ma/L ²	69,623	N/m
	最大負担竜巻荷重	w ₁ = wa × a - (w _v × a) より wa = w ₁ /a + w _v	40,354	N/m ²
	裕度	wa/W _(T1,T2)	3.8	

第6表 燃料取扱棟の小梁の計算結果 (sB3)

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
部材諸元	断面係数	Z	1,180,000	mm ³
	断面2次モーメント	I	235,000,000	mm ⁴
	ウェブ断面積	Aw	2,992	mm ²
	材長	L	6.00	m
	材間隔	a	2.10	m
鉛直荷重	屋根重量	w _v	7,200	N/m ²
竜巻荷重	風圧力荷重	W _w (Cf = 1.0)	6,100	N/m ²
	気圧差荷重	W _p	8,900	N/m ²
	荷重の組合せ	W _(T1,T2) = max(W _p , W _w + 0.5W _p)	10,550	N/m ²
	設計用風荷重	w = W _(T1,T2) × a - (w _v × a)	7,035	N/m
応力計算	最大モーメント	M _{max} = wL ² /8	31,658	Nm
	せん断力	Q = wL/2	21,105	N
断面検討	縁応力度	σ = M _{max} /Z	26.8	N/mm ²
	許容曲げ応力度	1.1sfb (sfb = 235 N/mm ²)	258.5	N/mm ²
	曲げ検定値	σ/1.1sfb	0.10	< 1.00 OK
	せん断応力度	τ = Q/Aw	7.1	N/mm ²
	許容せん断応力度	sfs (sfs = 135.7 N/mm ²)	135.7	N/mm ²
	せん断検定値	τ/sfs	0.05	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担曲げモーメント	Ma = 1.1sfb × Z	305,030	Nm
	最大負担荷重	Ma = w ₁ L ² /8 より w ₁ = 8 × Ma/L ²	67,784	N/m
	最大負担竜巻荷重	w ₁ = wa × a - (w _v × a) より wa = w ₁ /a + w _v	39,478	N/m ²
	裕度	wa/W _(T1,T2)	3.7	

4. 検討結果のまとめ

部材が飛来物（2次飛来物）となるかの確認について、外壁及び屋根の評価結果を以下の通りまとめる。

a. 外壁の検討結果

外壁の検討結果を以下の第7表に示す。

外壁部材において、(許容荷重) / (竜巻による荷重) が 1.0 以上あることを確認できたことから、部材の飛散はない。

第7表 燃料取扱棟の外壁部材の飛散有無確認結果

検討部位	符号	断面	裕度	備考
波板	—	t = 0.8 山高 35mm	3.4	波板 B-170R
胴縁	—	[-125×65×6×8]	1.2	SS400
間柱	sP1	H-340×250×9×14	1.5	SS400

b. 屋根の検討結果

屋根の検討結果を第8表に示す。

屋根部材において、(許容荷重) / (竜巻による荷重) が 1.0 以上あることを確認できたことから、部材の飛散はない。

第8表 燃料取扱棟の屋根部材の飛散有無確認結果

検討部位	符号	断面	裕度	備考
スラブ	S18	t = 180mm	6.6	T. P. 47.6m
大梁	sG1	BH-1700×600×30×40	9.1	SN490B、T. P. 55.0m
	sG3	BH-1400×400×22×30	6.1	SN490B、T. P. 47.6m
小梁	sB1	H-700×300×13×24	4.9	SS400、T. P. 55.0m
	sB2	H-440×300×11×18	3.8	SS400、T. P. 55.0m
	sB3	H-400×200×8×13	3.7	SS400、T. P. 55.0m

外壁に開口部を想定した際の燃料取扱棟の屋根スラブ
に対する吹上げ荷重の評価について

燃料取扱棟において、外壁に開口部を想定した際に屋根スラブに生じる吹上げ荷重に対する検討を実施した。

ここでは、吹上げ荷重として作用する複合荷重が屋根スラブの許容荷重を下回ることを確認している。

1. 評価荷重

(1) 風力係数の設定

風圧力による荷重算定にあたり、開口部を想定した際の風力係数は、「平成 12 年 建設省告示第 1454 号」に従い算定する。第 1 表に評価に用いた屋根の風力係数を示す。

第 1 表 開口部を想定した際の屋根面の風力係数

項目	風力係数
屋根面	$C = -1.6$

出典（一部抜粋）：「建設省告示第1454号（平成12年5月31日制定）」

第3 令第87条第1項の風力係数の数値は、次の図1から図7までに掲げる形状の建築物又は工作物にあってはそれぞれ当該形状に応じて表1から表9までに掲げる数値を用いて次の式により算出するものとし、その他の形状のものにあってはそれぞれ類似の形状のもの数値に準じて定めるものとする。ただし、風洞実験の結果に基づき算出する場合においては、当該数値によることができる。

$$C_f = C_{pe} - C_{pi}$$

この式において、 C_f 、 C_{pe} 及び C_{pi} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

C_f 風力係数
 C_{pe} 閉鎖型及び開放型の建築物の外圧係数で、次の表1から表4までに掲げる数値〔屋外から当該部分を垂直に押す方向を正とする。〕
 C_{pi} 閉鎖型及び開放型の建築物の内圧係数で、次の表5に掲げる数値〔室内から当該部分を垂直に押す方向を正とする。〕ただし、独立上家、ラチス構造物、金網その他の網状の構造物及び煙突その他の円筒形の構造物にあっては、次の表6から表9までに掲げる数値（図中の一の方向を正とする。）を C_f とするものとする。

図3 開放型の建築物（表1、表3及び表5を用いるものとする。）

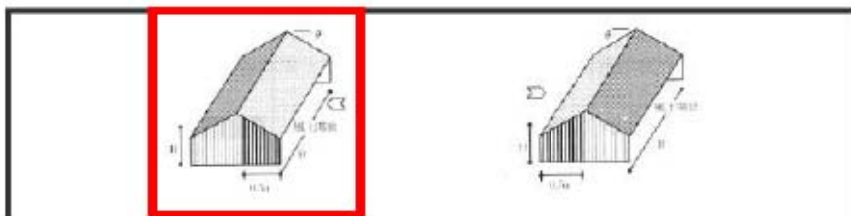


表3 切妻屋根面、片流れ屋根面及びのこぎり屋根面の C_{pe}

部位	風上面		風下面
	正の係数	負の係数	
θ			
10度未満	—	-1.0	-0.5
10度	0	-1.0	
30度	0.2	-0.3	
45度	0.4	0	
90度	0.8	—	

この表に掲げる θ の数値以外の θ に応じた C_{pe} は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とする。ただし、 θ が10度未満の場合にあっては正の係数を、 θ が45度を越える場合にあっては負の係数を用いた計算は省略することができる。

表5 閉鎖型及び開放型の建築物の C_{pi}

形式	閉鎖型	開放型	
		風上開放	風下開放
C_{pi}	0及び-0.2	0.6	-0.4

(2) 複合荷重

屋根の評価に用いる荷重としては、風圧力による荷重、気圧差による荷重が作用する方向を考慮し、最大となる複合荷重に対し検討を行う。

建屋外側から内側に作用する荷重を正とすると、複合荷重 (W_{T1} 、 W_{T2} [※]) は以下の通りとなる。

$$W_{T1} = W_P = -8.9 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \times W_P = -6.1 \times C - 0.5 \times 8.9 = -6.1 \times 1.6 - 0.5 \times 8.9 = -14.21 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

※：屋外方向への荷重に対して、衝撃荷重 (W_M) は考慮しない

したがって、複合荷重のうち荷重が大きい W_{T2} に対して検討を行う。

(3) 評価荷重

評価荷重 (w) は、上記による W_{T2} に対して逆向きに作用する自重 ($W_D = 6.7 \text{ kN/m}^2$) を考慮し、 $w = -7.51 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ とする。

2. 評価方法

コンクリート屋根スラブを評価対象とし、「1. 評価荷重」に示す評価荷重 (w) により、破損し、波及的影響を及ぼさない事を確認する。具体的には、各部材の終局耐力から算定した許容荷重が、竜巻による複合荷重を上回っている事を、(許容荷重) / (竜巻による荷重) を部材の裕度とし、この裕度が 1.0 以上あることで確認する。

(1) 使用材料及び許容応力度

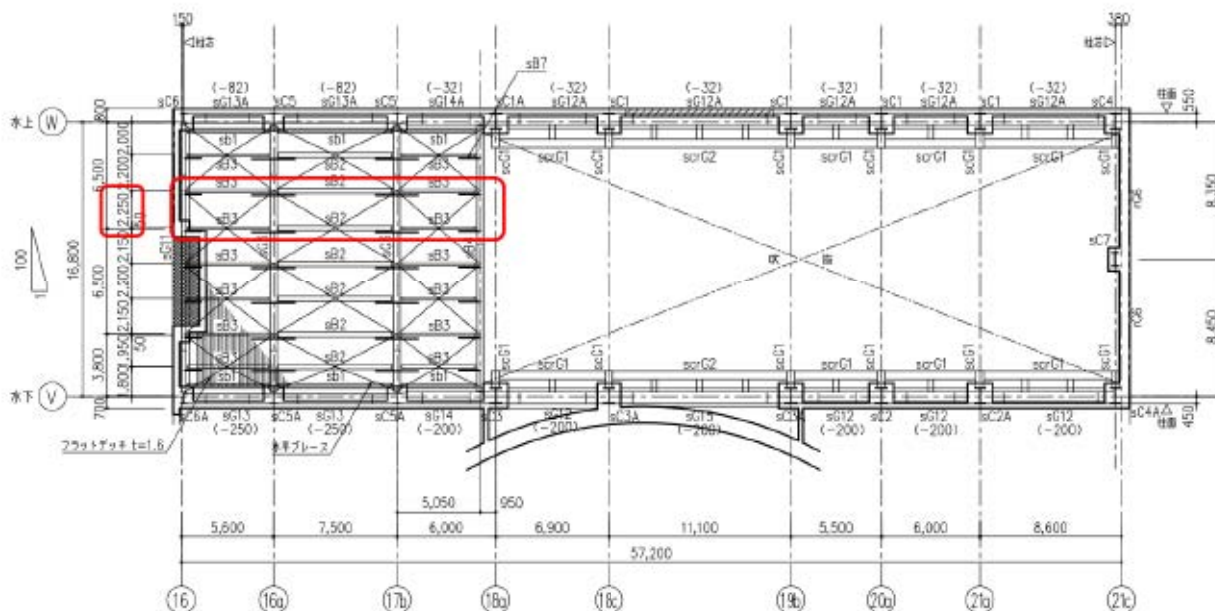
屋根の飛散評価における、使用材料及び各部材の仕様を以下に示す。なお、終局時の検討であることから、鋼材は建設省告示第 2464 号 (平成 12 年 12 月 26 日施行) に基づき、検討時にはF 値を 1.1 倍する。

- ・コンクリート $F_c = 24 \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋 SD345 ($F = 345 \text{ N/mm}^2$)

(2) 検討対象範囲

検討対象範囲を第 1 図に示す。

検討箇所は、最も支持間隔が長い箇所としてスラブ S18 を選定している。



(T. P. 47.6m 屋根伏図)

符号	断面
S18 屋根	

(スラブ詳細)

第 1 図 燃料取扱棟の屋根部材 (屋根スラブ) の検討箇所及び詳細

3. 評価結果

評価にあたっては、部材を両端固定の一方向版として検討する。竜巻による複合荷重が等分布荷重として部材に作用するものとして、最大曲げモーメント及びせん断力より評価荷重を算出し、部材の許容荷重と比較評価する。

評価結果を第2表に示す。評価結果より、外壁に開口部を想定した際の吹上げ荷重に対して、部材の飛散はない。

第2表 燃料取扱棟のスラブの計算結果

種別	項目	記号・計算式	計算値	単位
諸元	コンクリート強度	F_c24	24	N/mm^2
	鉄筋の短期許容応力度	f_t	345	N/mm^2
	スラブ厚	t	180	mm
	鉄筋量	$at = 1.986 \times 1000/200$	993	mm^2
	有効せい	d	122	mm
	部材幅	b	1,000	mm
	応力中心間距離	$j = 7/8d$	106.75	mm
	スパン	L	2.25	m
鉛直荷重	屋根重量	w_v	6,700	N/m^2
竜巻荷重	風圧力荷重	W_w (Cf = 1.6)	9,760	N/m^2
	気圧差荷重	W_p	8,900	N/m^2
	荷重の組合せ	$W_{(T1,T2)} = \max(W_p, W_w + 0.5W_p)$	14,210	N/m^2
	設計用風荷重	$w = W_{(T1,T2)} - w_v$	7,510	N/m^2
応力計算	中央モーメント	$M = wL^2/8$	4,752	Nm/m
	端部せん断力	$Q = wL/2$	8,449	N/m
断面検討	引張応力度	1.1ft	379.5	N/mm^2
	許容曲げモーメント	$Ma = at \cdot 1.1ft \cdot j$	40,228	Nm/m
	曲げ検定値	M/Ma	0.12	< 1.00 OK
	許容せん断応力度	$f_s = \min(F_c/30 \times 1.5, (0.49 + F_c/100) \times 1.5)$	1.095	N/mm^2
	許容せん断力	$Qa = b \cdot j \cdot f_s$	116,891	N/m
	せん断検定値	Q/Qa	0.07	< 1.00 OK
裕度の算定	最大負担荷重	$Ma = w_1 L^2/8$ より $w_1 = 8 \times Ma/L^2$	63,570	N/m
	最大負担竜巻荷重	$w_1 = w_a - w_v$ より $w_a = w_1 + w_v$	70,270	N/m^2
	裕度	$w_a/W_{(T1,T2)}$	4.9	

17. 評価式の妥当性及び評価方法について

泊発電所における設計飛来物のコンクリート構造物への衝突による影響は、以下の「修正 NDRC 式」(①式)、「Degen 式」(②式)及び「Chang 式」(③式)に基づいて評価している。

このうち、貫通評価は①式に示す修正 NDRC 式を用いて貫入深さ x_c を求め、Degen による②式により貫通限界厚さを求めている。裏面剥離評価は Chang による③式により裏面剥離限界厚さを求めている。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left\{ \frac{200}{V} \right\}^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144Fc)^{0.4}} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

ここで、

x_c : 貫入深さ (in)	α_c : 飛来物低減係数	$K : 180/\sqrt{Fc}$
W : 飛来物重量 (lb)	N : 形状係数	D : 飛来物直径 (in)
V : 衝突速度 (ft/s)	Fc : コンクリート強度 (psi)	
t_p : 貫通厚さ (in)	α_p : 飛来物低減係数	
t_s : 裏面剥離厚さ (ft)	α_s : 飛来物低減係数	M : 質量 (lb/ (ft/s ²))

1. 評価式の妥当性

これらの評価式については、NEI07-13^{*1}に記載されている。また、竜巻による飛来物の取り扱いに関して、米国 NRC の基準類^{*2}では、修正 NDRC 式等の実験式によってコンクリートへの貫入深さ、必要防護厚さを算定することができると記載されている。

また、これらの評価式は、飛来物を受けるコンクリート構造物の局部的損傷評価式として国内でも認知されており、「構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)においても、裏面剥離限界厚さの評価式としては Chang 式の適用性が高く、貫通限界厚さの評価式としては Degen 式が比較的適用性が高いとされている。

以上のことから、設計飛来物のコンクリート構造物への衝突による影響評価において、上記の評価式を適用することは妥当であると考えられる。

※1 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs

※2 : STANDARD REVIEW PLAN, 3.5.3 BARRIER DESIGN PROCEDURES

2. 評価方法

泊発電所における設計飛来物の諸元を第 17-1 表に示す。この諸元のうち鋼製材が原子炉建屋に水平に衝突した場合の評価について、評価式に基づく計算過程を以降に示す。

第 17-1 表 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×奥行 0.04×0.04×0.04	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.17	8.4	135
最大水平速度 (m/s)	62	49	57
最大鉛直速度 (m/s)	42	33	38

<飛来物評価諸元の設定>

設定が必要な各定数は、以下に基づいて設定している。設定した評価諸元を第 17-2 表に示す。

- ・低減係数：考慮しない (=1.0)
- ・コンクリート強度：原子炉建屋のコンクリート強度である $F_c=24 \text{ N/mm}^2$
- ・飛来物直径：飛来物の衝突評価にあたっては、衝突面積が小さいほど貫入深さは大きくなるため、設計飛来物の最小面積となる部分が衝突するものとして評価する。
鋼製材の場合は、幅 30cm×奥行 20cm=600cm² となることから、これと等面積の円となる直径を算出すると 27.6cm となる。
- ・形状係数：「構造工学シリーズ 6 建造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会) に記載されている形状係数 (0.72~1.14) のうち、先端の形状が非常に鋭いもの (=1.14) として評価する。

第 17-2 表 飛来物評価諸元

低減係数 $\alpha_c, \alpha_P, \alpha_S$	コンクリート強度 F_c	飛来物重量 W	形状係数 N	飛来物直径 D	衝突速度 V
1.0	24 (N/mm ²) ↓ 3480 (psi)	135 (kg) ↓ 298 (lbf)	1.14	27.6 (cm) ↓ 10.9 (in)	57 (m/s) ↓ 187 (ft/s)

<貫通評価>

$$x_c = 1.0 \sqrt{4 \times \frac{180}{\sqrt{3480}} \times 298 \times 1.14 \times 10.9 \left(\frac{187}{1000 \times 10.9} \right)^{1.8}}$$

$$= 5.48 \text{ (in)}$$

$$t_p = 1.0 \times 10.9 \left\{ 2.2 \left(\frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right) - 0.3 \left(\frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right)^2 \right\}$$

$$= 11.23 \text{ (in)}$$

$$= 28.52 \text{ (cm)} \Rightarrow 29 \text{ (cm)}$$

<裏面剥離評価>

$$t_s = 1.0 \times 1.84 \left(\frac{200}{187} \right)^{0.13} \frac{(9.26 \times 187^2)^{0.4}}{\left(\frac{10.9}{12} \right)^{0.2} (144 \times 3480)^{0.4}}$$

$$= 1.589 \text{ (ft)}$$

$$= 48.44 \text{ (cm)} \Rightarrow 49 \text{ (cm)}$$

計算過程を示した鋼製材を含む設計飛来物の評価結果を第 17-3 表に示す。

第 17-3 表 原子炉建屋のコンクリートの必要最小厚

	砂利		鋼製パイプ		鋼製材	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
貫通 (cm)	3	2	12	9	29	21
裏面剥離 (cm)	6	4	21	16	49	37

※小数点以下は切り上げている。

18. デッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止について

1. 検討方針

設計飛来物に対して、裏面剥離を生じさせないために必要な屋根スラブのコンクリート最小厚さを周辺補機棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋では37cm以上と、外部遮へい建屋では34cm以上と評価している。

周辺補機棟、原子炉補助建屋及びディーゼル発電機建屋の屋根スラブには、防水押えコンクリート（厚さ8cm）を施工しているため、実質のコンクリート厚さは第18-1表の通りであり、周辺補機棟及び原子炉補助建屋は裏面剥離がないものと評価できる。一方、ディーゼル発電機建屋は、防水押えコンクリートを考慮しても裏面剥離を生じるコンクリート厚さであることから、外部遮へい建屋とともにデッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止効果を確認する。

第18-1表 各建屋の屋根スラブのコンクリート厚さ

建屋名	コンクリート厚さ		評価	必要スラブ厚
	屋根スラブ	防水押え考慮		
周辺補機棟	40 (cm)	48 (cm)	>	37 (cm)
原子炉補助建屋	30 (cm)	38 (cm)	>	
ディーゼル発電機建屋	18 (cm)	26 (cm)	<	34 (cm)
外部遮へい建屋	30 (cm)	—	<	

2. 検討結果

コンクリートの裏面剥離は、応力波の伝播・反射によって生じる引張応力が原因とされているため、この応力波の反射を抑制する等により引張応力を小さくすることが必要であり、この対策としては、衝突面裏面に鋼製ライナーを取り付ける方法が有効であることが各種検討※1※2において確認されている。

【ディーゼル発電機建屋】

- ・屋根スラブに施工されているデッキプレートは、厚さが1.6mmの鋼板であり、鋼製ライナーとほぼ同等な性能を有していると考えられることから、裏面剥離発生の抑止効果が期待できる。
- ・また、デッキプレートは、1,500~2,200mm程度の間隔で鉄骨梁に支持されていることから、裏面剥離が生じた場合にも鉄骨梁に支持されたデッキプレートでコンクリート片の飛散を抑える効果が期待できる。（屋根スラブの概略図を第18-1図に示す。）

これらのことから、デッキプレートによる効果を定量的に評価することは難しいものの、ディーゼル発電機建屋の屋根スラブに施工されたデッキプレートは、裏面剥離に対して十分な効果を発揮するとともに、コンクリート片の飛散防止に寄与するものと考えられる。

※1：「飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の対衝撃補強工法」コンクリート工学年次論文報告集

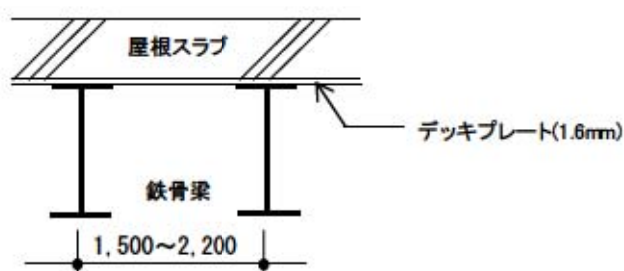
※2：「飛来物の高速衝突を受ける鋼製ライナー付き鉄筋コンクリート板の局部損傷評価法」日本建築学会構造系論文集

【外部遮へい建屋のドーム部】

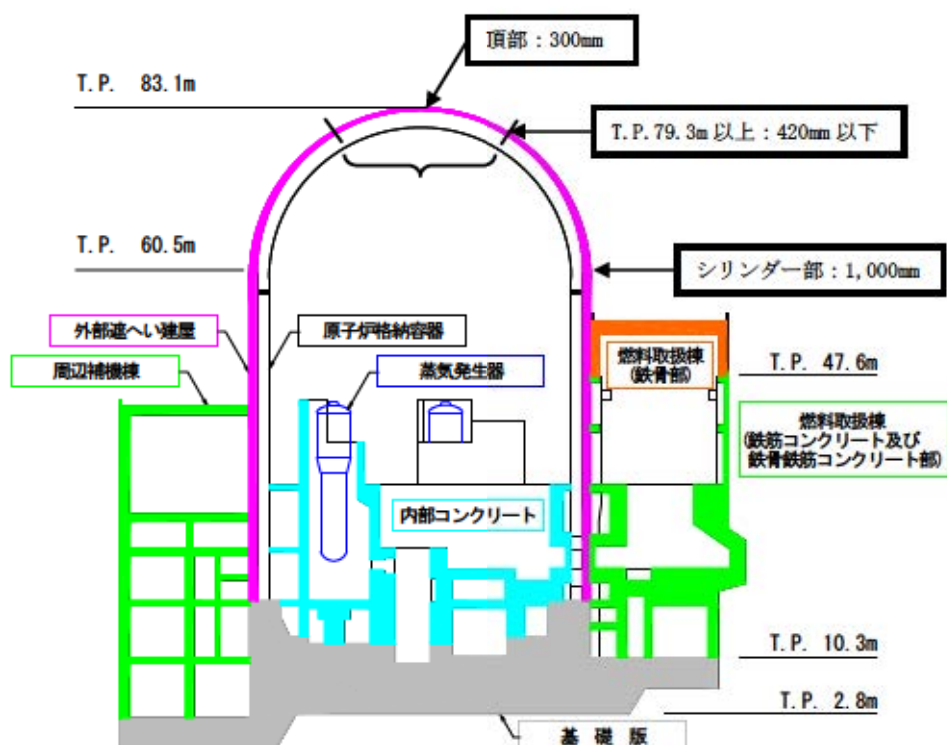
- ・ 頂部からシリンダー部にかけて 300mm～1,000mm と徐々にコンクリートが厚くなっている。(原子炉建屋の概略断面図を第 18-2 図に示す。)
- ・ コンクリート厚さが薄いドーム部の頂部付近には、厚さ 12mm の鋼板を施工している。
- ・ また、これ以外の部分は、他の建屋同様に厚さ 1.6mm のデッキプレートを施工しており、かつドーム部全体はトラス梁に支持されている。

これらのことから、外部遮へい建屋のドーム部の屋根スラブに施工された鋼板及びデッキプレートは、ディーゼル発電機建屋と同様に裏面剥離及びコンクリート片の飛散防止に対して十分な効果を発揮するものと考えられる。

なお、仮にコンクリート片の飛散が発生し、直下の原子炉格納容器に当たったとしても、その範囲は限定的であり、かつ厚さは 22.5mm の鋼板であることから、原子炉格納容器への影響はないものと考ええる。



第 18-1 図 屋根スラブの概略図



第 18-2 図 概略断面図

19. 評価対象施設の評価実施項目および考え方について

評価対象施設（設備）の構造健全性の確認にあたっては、「設計竜巻の風圧力による荷重」、「設計竜巻による気圧差による荷重」、「設計飛来物による衝撃荷重」を組み合わせた複合荷重（以下、「設計竜巻による複合荷重」という。）または「設計竜巻による気圧差による荷重」による影響を評価する。また、評価対象施設（設備）が屋外に設置されている場合および設計飛来物が外殻となる建屋の外壁等を貫通する場合は設計飛来物による影響を評価する。

設計竜巻による複合荷重 ($W_{T1}=W_P$, $W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$) または設計竜巻による気圧差による荷重 (W_P) による影響評価の際に考慮する荷重については、次の考え方に基づいて設定する。

①設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)

下記の設備については、 W_W を考慮する。

- 建屋外設備
- 建屋内設備のうち、設計竜巻により外壁（外装材等）が損傷することも考えられる鉄骨造建屋内に設置されている設備（全ての外壁が損傷することを考慮し、建屋外設備と同様に扱うものとする。）

②設計竜巻による気圧差による荷重 (W_P)

下記の設備については、 W_P を考慮する。ただし、建屋外設備で大気開放されている場合は原則考慮しない。

- 建屋外設備
- 建屋内設備のうち、設計竜巻により外壁（外装材等）が損傷することも考えられる鉄骨造建屋内に設置されている設備（全ての外壁が損傷することを考慮し、建屋外設備と同様に扱うものとする。）
- 建屋内設備のうち、外気と繋がっている排気筒（建屋内）および換気空調設備

③設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

下記の設備については、 W_M を考慮する。ただし、設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られた場合は考慮しない（貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う）。

- 建屋外設備
- 建屋内設備のうち、設計飛来物が衝突する可能性のある設備

評価対象施設の評価実施項目および考え方を表-1 に示す。

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (1/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_v + 0.5 \cdot W_p + W_u$)		
1. 竜巻防護施設				
原子炉補機冷却海水ポンプ (モータ含む)	○	○ ^{*1}	○	① ・当該設備は取水ピットポンプ室内に設置されているが、当該室の上部は開口しており、当該室の上屋 (循環水ポンプ建屋) は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。 ・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備が損傷する可能性が考えられる。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の据付面基礎ボルト、端子箱取付ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
				② ・当該設備が設置されている取水ピットポンプ室の上屋 (循環水ポンプ建屋) の天井 (コンクリート) および外壁 (外装材) の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
排気筒 (建屋外)	○	○ ^{*1}	○	① ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。 ・当該設備は大気開放されており、気圧差の影響は受けないと考えられるが、当該設備 (建屋外露出部) の高さは約 35m と長尺であることを踏まえ、気圧差の影響を考慮する。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備 (角ダクト、丸ダクト) の鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。
				② ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※1：設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られたことから、 W_u については考慮しない (貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う)。

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (2/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_w + 0.5 \cdot W_p + W_w$)		
蓄熱室加熱器	-	-	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備はディーゼル発電機建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガラリ室の吸気フードおよび扉の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
配管および弁 (原子炉補機冷却海水系統)	○	○ ^{※1}	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は取水ピットポンプ室及びブストレーナ室内に設置されているが、当該室の上部は開口しており、当該室の上屋（循環水ポンプ建屋）は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。 ・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備（配管（弁は配管の評価に包絡））に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備が設置されている取水ピットポンプ室及びブストレーナ室の上屋（循環水ポンプ建屋）の天井（コンクリート）および外壁（外装材）の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※1：設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られたことから、 W_w については考慮しない（貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う）。

<凡例>

W_T ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_w ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (3/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_v + 0.5 \cdot W_p + W_w$)		
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ	○	○ ^{*1}	○	<p>・当該設備はストレーナ室内に設置されているが、当該室の上部は開口しており、当該室の上屋（循環水ポンプ建屋）は鉄骨造であるため、設計竜巻により当該建屋外壁の外装材等は損傷することも考えられる。</p> <p>① ・当該建屋外壁の外装材等が損傷した場合は、当該設備に設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備が転倒する可能性が考えられる。</p> <p>・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の胴板、基礎ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。</p> <p>② ・当該設備が設置されているストレーナ室の上屋（循環水ポンプ建屋）の天井（コンクリート）および外壁（外装材）の厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。</p> <p>・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</p>
原子炉補機冷却水サージタンク他	—	—	○	<p>① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。</p> <p>・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。</p> <p>② ・当該設備が設置されている区画の扉は薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。</p> <p>・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。</p>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※1：設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られたことから、 W_w については考慮しない（貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う）。

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_w ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (4/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_v + 0.5 \cdot W_p + W_u$)		
配管および弁 (主蒸気管内)	-	-	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルおよび上部換気口周りに設置されているガラの厚さは薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
制御用空気系統配管	-	-	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は原子炉補助建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備が設置されている区画の扉は薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
使用済燃料ピット (使用済燃料ラック含む)	-	-	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋(燃料取扱棟)は、外壁(外装材)の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備(使用済燃料ラックに貯蔵される燃料集合体を含む)への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (5/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_v + 0.5 \cdot W_p + W_u$)		
新燃料ラック	-	-	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備（新燃料ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への設計飛来物による影響を評価する。
燃料移送装置	-	-	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
使用済燃料ピットクレーン	-	-	○	① ・当該設備は原子炉建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・以上より、当該設備が設計竜巻による影響を受けないと考えられることから評価対象外とする。
				② ・当該設備が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は、外壁（外装材）の厚さが薄いため、設計飛来物が貫通して侵入してくることが想定される。 ・以上より、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (6/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計竜巻による気圧差による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_w + 0.5 \cdot W_p + W_u$)	W_p	
排気筒 (建屋内) 換気空調設備※2	—	—	○	<p>・当該設備は原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋内に設置されているが、これらの建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。</p> <p>・ただし、当該設備は外気と繋がっているため、設計竜巻による気圧差が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。</p> <p>① ② ・以上より、設計竜巻による気圧差により外気と繋がるダクトの鋼板、ファンのケーシング、空調ユニットの外板や外気との境界となるダンパのケーシング、パタフライ弁等に発生する応力を算定し、許容値との比較 (パタフライ弁は気圧差により生じる内圧と許容値との比較) により安全余裕を確認する。</p>

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※2：アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置、安全補機開閉器室空調装置

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (7/9)

2. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設				
評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_w + 0.5 \cdot W_p + W_u$)		
ディーゼル発電機排気消音器	—	○ ^{※3}	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。ただし、ディーゼル発電機吸気消音器(吸気口)と当該設備(排気口)は共に大気開放されており、かつ近接して設置されているため、当該設備は気圧差の影響は受けない。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の取付ボルトに発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
主蒸気逃がし弁消音器	—	○ ^{※3}	○	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。ただし、当該設備は大気開放されており、気圧差の影響は受けない。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備の架台の柱脚すみ肉溶接部に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※3：当該設備は大気開放されているため、 W_p については考慮しない。また、設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られたことから、 W_w については考慮しない(貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う)。

<凡例>

W_w ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (8/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計飛来物による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_v + 0.5 \cdot W_p + W_w$)		
主蒸気安全弁排気管	—	○ ^{※3}	○	① ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。ただし、当該設備は大気開放されており、気圧差の影響は受けない。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ② ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
タービン動補助給水ポンプ排気管	—	○ ^{※3}	○	① ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。ただし、当該設備は大気開放されており、気圧差の影響は受けない。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ② ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。
ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管	—	○ ^{※3}	○	① ・当該設備は屋外に設置されているため、設計竜巻による複合荷重が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。ただし、当該設備は大気開放されており、気圧差の影響は受けない。 ・以上より、設計竜巻による複合荷重により当該設備本体およびサポートに発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ② ・当該設備は屋外に設置されているため、当該設備への設計飛来物による影響を評価する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※3：当該設備は大気開放されているため、 W_p については考慮しない。また、設計飛来物による影響評価より貫通するとの結果が得られたことから、 W_w については考慮しない（貫通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う）。

<凡例>

W_v ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_w ：設計飛来物による衝撃荷重

表-1 評価対象施設の評価実施項目および考え方 (9/9)

評価対象施設	①設計竜巻による複合荷重による影響評価		②設計竜巻による気圧差による影響評価	考え方
	W_{T1} (W_p)	W_{T2} ($W_w + 0.5 \cdot W_p + W_u$)	W_p	
換気空調設備※4	—	—	○	・当該設備は原子炉補助建屋内に設置されているが、当該建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性が維持される。 ・ただし、当該設備は外気と繋がっているため、設計竜巻による気圧差が作用し、当該設備の構造健全性が維持されない可能性が考えられる。 ② ・当該設備が損傷した場合は、竜巻防護施設の機能に影響を与える可能性がある。 ・以上より、設計竜巻による気圧差により外気と繋がるダクトの鋼板、ファンのケーシングや外気との境界となるダンパのケーシング等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。

注：表中の「○」は評価実施項目であることを示す。

※4：蓄電池室排気装置

<凡例>

W_w ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重、 W_u ：設計飛来物による衝撃荷重

20. 評価対象施設の評価方法について

設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) および気圧差 (W_P) による影響評価ならびに設計飛来物による影響評価の方法を以下に示す。また、表-1 に評価部位選定の考え方を示す。

(1) 設計竜巻による複合荷重による影響評価

評価対象施設	評価方法	許容値
<竜巻防護施設>		
原子炉補機冷却海水ポンプ (モータ含む)	設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) により原子炉補機冷却海水ポンプおよびモータの据付面基礎ボルト、端子箱取付ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	<ポンプ> JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 支持構造物) <モータ> JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 支持構造物準用)
排気筒 (建屋外)	設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) により排気筒 (角ダクト、丸ダクト) の鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス2, 3 配管準用) 等
原子炉補機冷却海水ポンプ 出口ストレーナ	設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) により原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの胴板、基礎ボルト等に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 容器・クラス3 支持構造物)
配管および弁 (原子炉補機冷却海水系統)	設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) により配管 (弁は配管の評価に包絡) に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 配管)
<竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設>		
ディーゼル発電機排気消音器	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2}=W_v$) により取付ボルトに発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス1 支持構造物準用)
主蒸気逃がし弁消音器	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2}=W_v$) により当該消音器架台の柱脚すみ肉溶接部に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 支持構造物準用)
主蒸気安全弁排気管	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2}=W_v$) により排気管に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 配管準用)
タービン動補助給水ポンプ 排気管	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2}=W_v$) により排気管に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3 配管準用)

評価対象施設	評価方法	許容値
ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管	設計竜巻による複合荷重 ($W_{T2}=W_w$) によりベント管およびサポートに発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	<ベント管> JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3配管準用) <サポート> JEAG4601 に基づく許容応力状態 III _A S (クラス3支持構造物準用)

注：許容値欄のクラス分類は JSME 設計・建設規格 2005 年版・2007 年追補版に基づく。

<凡例>

$$W_{T1}=W_p, W_{T2}=W_w+0.5 \cdot W_p$$

W_w ：設計竜巻の風圧力による荷重、 W_p ：設計竜巻による気圧差による荷重

(2) 設計飛来物による影響評価

評価対象施設	評価方法
<竜巻防護施設>	
原子炉補機冷却海水ポンプ (モータ含む)	設計竜巻に対して、設計飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さと評価対象施設の最小板厚を比較することで、飛来物の貫通有無を確認する。鋼板の必要最小厚さは BRL 式 (補足説明資料 2 1. 参照) を用いて求める。
排気筒 (建屋外)	
蓄熱室加熱器	
原子炉補機冷却海水ポンプ 出口ストレーナ	
配管および弁 (原子炉補機冷却海水系統)	
原子炉補機冷却水サージタンク他	
配管および弁 (主蒸気管室内)	
制御用空気系統配管	
燃料移送装置	
使用済燃料ピットクレーン	

評価対象施設	評価方法
<竜巻防護施設>	
使用済燃料ピット（使用済燃料ラック含む）	<p><使用済燃料ラック></p> <p>①鋼製パイプ 鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する歪と許容歪を比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルに衝突した場合の貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p>②鋼製材 鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する歪と許容歪を比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p><使用済燃料ピット> 設計竜巻に対して、設計飛来物の貫通を生じないために必要な最小厚さ（コンクリート・鋼板）と評価対象施設（コンクリート躯体・ライニング）の最小板厚を比較することで、飛来物の貫通有無を確認する。コンクリートの必要最小厚さは修正 NDRC 式、Degen 式（補足説明資料 17. 参照）を、鋼板の必要最小厚さは BRL 式（補足説明資料 21. 参照）を用いて求める。</p>
新燃料ラック	<p>①鋼製パイプ 鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルに衝突した場合の貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p> <p>②鋼製材 鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量から、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する場合は、燃料被覆管に発生する応力と許容引張強さを比較し、燃料被覆管が破損しないことを確認する。また、ラックセルの貫入量と許容貫入量を比較し、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部（許容貫入量）に達しないことを確認する。</p>
<竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設>	
ディーゼル発電機排気消音器	設計竜巻に対して、設計飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さと評価対象施設の最小板厚を比較することで、飛来物の貫通有無を確認する。鋼板の必要最小厚さは BRL 式（補足説明資料 21. 参照）を用いて求める。
主蒸気逃がし弁消音器	
主蒸気安全弁排気管	
タービン動補助給水ポンプ排気管	
ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管	

(3) 気圧差による影響評価

評価対象施設	評価方法	許容値
＜竜巻防護施設＞		
排気筒（建屋内） 換気空調設備*1	排気筒、外気との境界となるダンパおよびバタフライ弁、外気と繋がるダクト、ファンおよび空調ユニットについて、気圧差 (W_p) に対する健全性を評価する。 ①ダンパ 気圧差によってケーシングに生じる最大曲げ応力、ペーンに生じる最大曲げ応力、シャフト断面に生じる最大せん断応力を算定し、それぞれ許容値との比較により安全余裕を確認する。 ②バタフライ弁 気圧差によってバタフライ弁に生じる内圧と許容値との比較により安全余裕を確認する。 ③排気筒（角ダクト）、ダクト（角ダクト、丸ダクト） 気圧差によってダクトの鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ④ファン 気圧差によってケーシングに生じる周応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ⑤空調ユニット 気圧差によってユニット外板に生じる最大曲げ応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	＜ダンパ＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス1支持構造物準用） ＜バタフライ弁＞ ・ 設計上の圧力基準（JIS10k） ＜排気筒、ダクト＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス2、3配管準用）等 ＜ファン＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス3ポンプ準用） ＜空調ユニット＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス2、3容器準用）
＜竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設＞		
換気空調設備*2	外気との境界となるダンパ、外気と繋がるダクトおよびファンについて、気圧差 (W_p) に対する健全性を評価する。 ①ダンパ 気圧差によってケーシングに生じる最大曲げ応力、ペーンに生じる最大曲げ応力、シャフト断面に生じる最大せん断応力を算定し、それぞれ許容値との比較により安全余裕を確認する。 ②ダクト（角ダクト、丸ダクト） 気圧差によってダクトの鋼板に発生する応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。 ③ファン 気圧差によってケーシングに生じる周応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認する。	＜ダンパ＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス1支持構造物準用） ＜ダクト＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス2、3配管準用）等 ＜ファン＞ ・ JEAG4601 に基づく許容応力状態Ⅲ _A S（クラス3ポンプ準用）

注：許容値欄のクラス分類は JSME 設計・建設規格 2005 年版・2007 年追補版に基づく。

※1：アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置、安全補機開閉器室空調装置


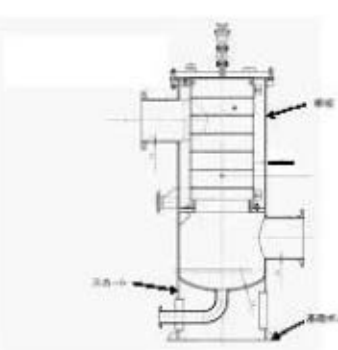
※2：蓄電池室排気装置

表-1 設備の構造健全性の確認における評価部位選定の考え方等について (1/4)

評価対象施設	評価部位	評価部位選定の考え方	荷重のかけ方		評価項目						備考			
			W_{H1} による評価	W_{H2} による評価	引張	せん断	圧縮	曲げ	結合せ	摩耗		一次-鉛直		
原子炉軽機冷却海水ポンプ(モータ含む)	 <p>ポンプ</p>	A部 電動機取合ボルト				○	○			○			ボルトには、電巻により引張応力・せん断応力が生じる	
		B部 電動機実入台取合ボルト	設計電巻による複合荷重により損傷する可能性が考えられるため、高圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部(各ボルト)を選定	設計電巻により当該ポンプ設置建屋内の気圧が低下するため、当該ポンプの内外で気圧差が生じることから、 W_{H1} を評価する。 W_{H1} を水平荷重として評価する。ただし、自重については安全側に考慮しない。	W_{H2} を水平荷重として評価高さの半分の位置に作用させる。ただし、自重については安全側に考慮しない。	○	○			○				
		C部 配付取合ボルト				○	○			○				
		D部 配付取合ボルト				○	○			○				
	 <p>モータ</p>	①部 電動機フレーム		設計電巻により当該モータ設置建屋内の気圧が低下するため、当該モータの内外で気圧差が生じることから、 W_{H1} を評価する。 W_{H1} を水平荷重として重心に作用させる。ただし、自重については安全側に考慮しない。	W_{H2} を水平荷重として重心に作用させる。ただし、自重については安全側に考慮しない。				○				電動機フレームには、電巻により曲げ応力が発生する	
		②部(端子箱) 端子箱取付ボルト	設計電巻による複合荷重により損傷する可能性が考えられるため、高圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部(各ボルト)や強度面で相対的に弱いと想定される部位(電動機フレーム)を選定	設計電巻により当該モータ設置建屋内の気圧が低下するため、当該モータの内外で気圧差が生じることから、 W_{H1} を評価する。 W_{H1} を水平荷重として重心に作用させる。自重についてもボルトを引張る力として作用するため考慮する。	W_{H2} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重についてもボルトを引張る力として作用するため考慮する。	○	○			○			ボルトには、自重・電巻により引張応力、せん断応力が生じる	
		③部(空気冷却器) 空気冷却器取付ボルト				○	○			○				
		④部(外筒カバー)接続部 外筒カバー-接続部取付ボルト		設計電巻により当該モータ設置建屋内の気圧が低下するため、当該ポンプ等の内外で気圧差が生じることから、 W_{H1} を評価する。 W_{H1} を水平荷重として重心に作用させる。ただし、自重については安全側に考慮しない。	W_{H2} を水平荷重として重心に作用させる。ただし、自重については安全側に考慮しない。	○	○			○				ボルトには、電巻により引張応力、せん断応力が生じる
		⑤部(外筒カバー) 外筒カバー-取付ボルト				○	○			○				
	 <p>排気室(建屋外)</p>	スダクト製板										○		ダクト製板には、自重・電巻により摩耗応力が生じる
角ダクト製板		設計電巻による複合荷重を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	建屋外とダクト内で蒸気(気圧差)が発生すると考え、 W_{H1} を評価する。 W_{H1} および自重を等分布荷重として作用させる。	W_{H2} および自重を等分布荷重として作用させる。							○		ダクト製板には、自重・電巻により曲げ応力・摩耗応力が生じる	

※: 衝撃荷重(W_{H3})については、設計飛来物による影響評価より異なるとの結果が得られたことから考慮しない(異通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う)。

表-1 設備の構造健全性の確認における評価部位選定の考え方等について(2/4)

評価対象施設	評価部位	評価部位選定の考え方	荷重のかけ方		評価項目							備考			
			W_{11} による評価	W_{12} による評価	引張	せん断	圧縮	曲げ	結合せ	腐蝕	一次-飽和				
配管(弁) (原子炉補機冷却海水系統) 	管	全口径の配管を選定(弁については、配管に比べて断面係数が大きく肉厚なため、配管の評価に包括される)	設計電圧により当該配管設置区間の気圧が低下するため、当該配管の内外で気圧差が生じることから、 W_{11} を評価する。気圧が低下した分、内圧が増加すると考え、 W_{11} および運転時荷重(最高使用圧力)を内圧として作用させる。また、自重を等分布荷重として作用させ、応力算出時に重ね合わせる。	W_{12} および自重を等分布荷重として作用させる。また、 W_{12} および(運転時荷重(最高使用圧力)を内圧として作用させ、応力算出時に重ね合わせる。					○	○			○	配管には、自重・高圧力により曲げ応力、気圧差・運転時荷重(最高使用圧力)により膜応力が生じる	
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレータ 	胴板	設計電圧による複合荷重により転倒する可能性が考えられるため、「原子力発電所耐震設計技術指針(JAAG401-1987)」におけるスカート支持たて蓋円筒形容器の評価方法を採用して選定	設計電圧により当該装置設置区間の気圧が低下するため、当該装置の内外で気圧差が生じることから、 W_{11} を評価する。 W_{11} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重および運転時荷重(最高使用圧力)については、胴板の応力として作用するための考慮する。	W_{12} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重および(運転時荷重(最高使用圧力)については、胴板の応力として作用するための考慮する。						○	○	(引張・圧縮・せん断の組合せ)	○	(圧縮・曲げの組合せ)	胴板には、自重・電圧により引張応力・圧縮応力・曲げ応力・せん断応力が生じる
	スカート		設計電圧により当該装置設置区間の気圧が低下するため、当該装置の内外で気圧差が生じることから、 W_{11} を評価する。 W_{11} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重については、スカートの応力として作用するための考慮する。	W_{12} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重については、スカートの応力として作用するための考慮する。						○	○	(圧縮・せん断の組合せ)	○	(圧縮・曲げの組合せ)	スカートには、自重・電圧により圧縮応力・曲げ応力・せん断応力が生じる
	基礎ボルト		設計電圧により当該装置設置区間の気圧が低下するため、当該装置の内外で気圧差が生じることから、 W_{11} を評価する。 W_{11} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重については、基礎ボルトの応力として作用するための考慮する。	W_{12} を水平荷重として重心に作用させる。また、自重についても基礎ボルトの応力として作用するための考慮する。	○	○				○					
排気筒(煙室内)	角ダクト胴板	気圧差荷重を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	煙室内とダクト内で高圧(気圧差)が発生するため、 W_{11} および自重を等分布荷重として作用させる。	当該設備を内包する煙室に防護されるため、 W_{12} は発生しない。										○	ダクト胴板には、自重・電圧により曲げ応力・腐蝕応力が生じる

※:衝撃荷重(W_{10})については、設計飛来物による影響評価より異なるとの結果が得られたことから考慮しない(異通により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う)。

表-1 設備の構造健全性の確認における評価部位選定の考え方等について (3/4)

評価対象施設	評価部位	評価部位選定の考え方	荷重のかけ方		評価項目							備考				
			W_{11} による評価	W_{12} による評価	引張	せん断	圧縮	曲げ	捻じり	腐蝕	一次- 加振					
換気空調設備	 ケーシング パーン シャフト	気圧差を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	ダクト前後で隣室内外と大気圧の気圧差が発生するため、 W_{11} および自重を等分布荷重として作用させる。					○					ケーシングには、自重・電巻により曲げ応力が生じる			
												○		パーンには、自重・電巻により曲げ応力が生じる		
					○									シャフトには、自重・電巻によりせん断応力が生じる		
	 弁体 弁箱 弁ふた	気圧差を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	弁前後で隣室内外と大気圧の気圧差が発生するため、 W_{11} と設計上の圧力基準を比較する。											気圧差と設計上の圧力基準(設計)との比較にて評価		
	 ダクト製板	気圧差荷重を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	隣室内外とダクト内で差圧(気圧差)が発生するため、 W_{11} および自重を等分布荷重として作用させる。		当該設備を囲む隣室に防護されるため、 W_{12} は発生しない。									ダクト製板には、自重・電巻により弯曲応力が生じる		
 ケーシング	気圧差を受けた場合、その荷重を受ける部位を選定	ケーシング内外で差圧(気圧差)が発生するため、 W_{11} を等分布荷重として作用させる。											ケーシングには、電巻により圧縮応力が生じる			
 ユニット外板	気圧差荷重を受けた場合、換気室で最も弱い部位を選定	空調ユニット内外で差圧(気圧差)が発生するため、 W_{11} を等分布荷重として作用させる。											ユニット外板には、電巻により曲げ応力が生じる			

※：衝撃荷重(W_{12})については、設計規準値による影響評価より異なるとの結果が得られたことから考慮しない(異議により安全機能を損なう可能性のある評価対象施設については別途影響評価を行う)。

表-1 設備の構造健全性の確認における評価部位選定の考え方等について (4/4)

評価対象施設	評価部位	評価部位選定の考え方	荷重のかけ方		評価項目							備考		
			W_H による評価	W_U による評価	引張	せん断	圧縮	曲げ	結合せ	摩耗	一次- 地震			
ディーゼル発電機 排気消音器	取付ボルト	設計電巻による横荷重により転倒する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部を選定した。	ディーゼル発電機排気消音器(吸気口)とディーゼル発電機排気消音器(排気口)は共に大気開放されており、かつ直接して設置されているため、 W_H は発生しない。	W_U (自重を考慮)を水平荷重として重心に作用させる。	○	○								取付ボルトには、風圧力(自重を考慮)により引張応力・せん断応力が生じる
主蒸気過がし弁 消音器	架台の柱脚すみ肉溶接部	設計電巻による横荷重により転倒する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、強度面で相対的に弱いと想定される部位を選定した。	大気開放されているため、 W_H は発生しない。	W_U を水平荷重として架台頂部に作用させる。	○	○								架台の柱脚すみ肉溶接部には、風圧力により引張応力・せん断応力が生じる
主蒸気安全弁排 気管	管	設計電巻による横荷重を受ける部位(建屋外に露出している部分)を選定	大気開放されているため、 W_H は発生しない。	W_U を等分布荷重として作用させる。										排気管には、風圧力により曲げ応力が生じる
タービン駆補助給 水ポンプ排気管														
ディーゼル発電機 燃料油貯油槽ベ ント管	管	設計電巻による横荷重を受ける部位(建屋外に露出している部分)を選定	大気開放されているため、 W_H は発生しない。	W_U を等分布荷重として作用させる。										ベント管およびサポートには、風圧力により曲げ応力が生じる
	サポート				W_U を水平荷重としてサポート頂部に作用させる。									

※: 衝撃荷重(W_U)については、設計飛来物による影響評価より超過するとの結果が得られたことから考慮しない(異通により安全機能を失う可能性のある評価対象施設については飛来物防護対策を行う)。

2 1. BRL 式の妥当性および評価内容について

(1) 妥当性について

設計飛来物が評価対象施設（鋼板部分）に衝突した場合の影響については、以下の「BRL 式」に基づいて貫通評価を行っている。

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

ここで、

T：鋼板貫通厚さ (in) M：ミサイル質量 (lb・s²/ft) V：ミサイル速度 (ft/s)
D：ミサイル直径 (in) K：鋼板の材質に関する定数≒1

本評価式については、(旧) 原子炉安全専門審査会においてタービンミサイル評価の判断基準等を決定することを目的として設置されたタービンミサイル検討会にて纏められた報告書「タービンミサイル評価について」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式として使用する旨規定されていることから^{※1}、設計飛来物の設備への衝突による貫通評価において、本評価式を適用することは妥当であると考えます。

※1：本報告書において、BRL 式については、「ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（高温構造安全技術研究組合）」を引用している。

(2) 評価内容について

設計飛来物の諸元を表-1 に示す。この諸元のうち鋼製材が水平に衝突した場合の貫通評価について、上記 (1) 項の「BRL 式」に基づく計算過程を以下に示す。

表-1 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	砂利	鋼製パイプ	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	0.17	8.4	135
最大水平速度 (m/s)	62	49	57
最大鉛直速度 (m/s)	42	33	38

<貫通評価に係る諸元の設定>

貫通評価にあたっては、衝突面積が小さいほど鋼板の貫通厚さは大きくなるため、設計飛来物の最小面積となる部分が衝突するものとし、ミサイル直径については、以下のとおり設定している。

表-2 に設定した貫通評価に係る諸元を示す。

▶ ミサイル直径

・ 鋼製材の場合

最小面積は幅 300mm×奥行き 200mm=60000mm²となるため、これと等面積の円となる直径を算出すると 276.40mm となるが、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において参照されている東京工芸大学の委託研究成果^{※2}の中で記載されている鋼製材の板厚 5mm を参考にして最小面積を 300mm×200mm-290mm×190mm=4900mm² とし、これと等面積の円となる直径 78.99mm をミサイル直径とする。

※2：「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度） 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書、平成 23 年 2 月（東京工芸大学）

表-2 貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 (kg·s ² /m)	57 (m/s)	78.99 (mm)
↓	↓	↓
9.25 (lb·s ² /ft)	187.01 (ft/s)	3.11 (in)

<貫通評価>

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

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 187.01^2}{17400 \times 1^2 \times 3.11^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 1.42... \text{ (in)}$$

$$= 36.10... \text{ (mm)} \Rightarrow 37 \text{ (mm)}^{※3}$$

※3：飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さ

表-3 に計算過程を示した鋼製材を含む設計飛来物の評価結果を示す。

表-3 鋼板の必要最小厚さ

	砂利		鋼製パイプ		鋼製材	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
最大飛来物速度 (m/s)	62	42	49	33	57	38
必要最小厚さ (mm)	1	1	18	11	37	22

注：必要最小厚さは計算結果を切り上げた値

2.2. 使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について

(1) 使用済燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）

a. はじめに

使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合、使用済燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への影響が考えられるため、以下の評価条件および評価式にて、①設計飛来物が燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる歪および②設計飛来物が使用済燃料ラック（ラックセル）に衝突した場合のラックセル貫入量を評価する。

ただし、砂利については、鋼製材および鋼製パイプの評価に包絡されるため、評価対象外とする。

b. 評価条件

- ✓ 燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、設計飛来物の進入方向は鉛直方向とする。
- ✓ 使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ ラックセルは近接して設置されているため（図-1 参照）、設計飛来物は複数のラックセルに同時に衝突することが考えられるが、保守的に1体のラックセルに集中して衝突するものとする（図-2 参照）。
- ✓ 設計飛来物の衝突速度（最大鉛直速度）は水中抵抗による減速を考慮し以下のとおりとする。

鋼製パイプ：18.82m/s

鋼製材：24.03m/s

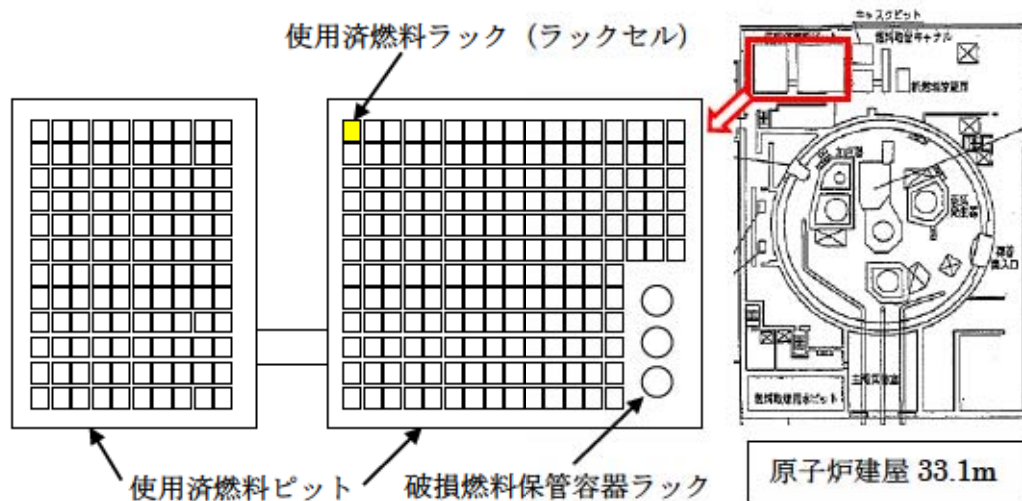


図-1 使用済燃料ラックの配置イメージ

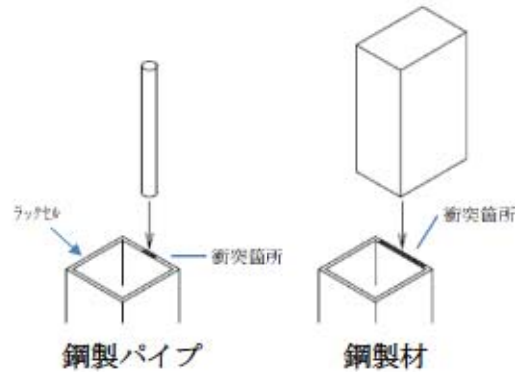


図-2 ラックセルの衝突箇所

c. 評価式

(a) 燃料被覆管に生じる歪

飛来物の衝突に伴う荷重は、燃料集合体の上部ノズルを介して燃料棒及び制御棒案内シムプルに作用することとなる。この際に燃料被覆管に生じる歪を評価した。算出にあたっては、保守的な評価となるよう次の仮定を設けた。

- ・ 飛来物の運動エネルギー E_0 は燃料集合体の変形エネルギー E_1 に等しいとし、飛来物の運動エネルギー全てが燃料被覆管の変形に費やされるものとする（制御棒案内シムプルによる荷重の分担は考慮しない）。
- ・ 燃料被覆管は弾完全塑性体とする（塑性変形に伴う硬化を考慮しない）。（図-3）

すなわち、

$$E_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_1 = \left(\frac{1}{2}\sigma_y \varepsilon_y + \sigma_y \varepsilon_p \right) \times AL$$

より、 $E_0=E_1$ として ε_p を求める。

但し、 $\left(\frac{1}{2}\sigma_y \varepsilon_y \right) \times AL$ が E_0 よりも大きい場合、 $\varepsilon_p=0$ （弾性範囲内）となる。

ここで

m：飛来物の質量

鋼製パイプ 8.4kg

鋼製材 135kg

v：飛来物の衝突速度

鋼製パイプ 18.82m/s

鋼製材 9.83m/s

σ_y ：被覆管耐力 MPa

ε_y ：弾性歪、 $\sigma_y=E \times \varepsilon_y$ より算出

E : 燃料集合体の縦弾性係数 MPa

ϵ_p : 塑性歪

A : 受圧面積 (被覆管の断面積) $3.15 \times 10^{-3} \text{m}^2$

L : 被覆管長さ 3856mm

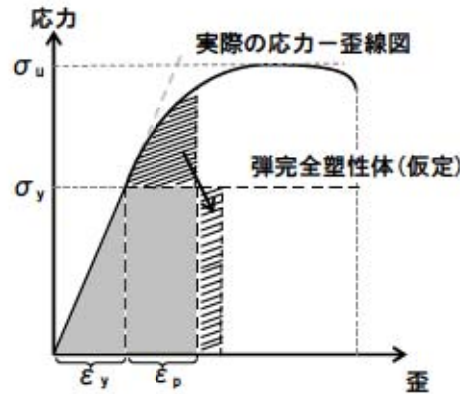


図-3 弾完全塑性体の保守性
(イメージ図)

(b) ラックセル貫入量

設計飛来物がラックセルに衝突すると、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーは、ラックセルの変形によって吸収される^{※1}ことになる。

このため、設計飛来物の衝突によるラックセルの貫入量 (変形量) については、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーとラックセルの変形による吸収エネルギーが等しくなるときの貫入量となるため、以下のとおり算出している。

※1: 保守的な評価となるよう、飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

<算出式>

設計飛来物の運動エネルギー W (N・m) は、ラックセルの圧縮エネルギー E_c (N・m) (圧縮破壊による吸収エネルギー) とせん断エネルギー E_s (N・m) (せん断破壊による吸収エネルギー) により吸収されるため^{※2}、次の式で与えられる。

※2: 飛来物衝突時にラックセルに発生する圧縮応力は、ラックセルの細長比を考慮した許容圧縮応力よりも小さく座屈は発生しないことから、座屈によるエネルギー吸収は考慮していない。

$$W = E_c + E_s$$

$$W = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

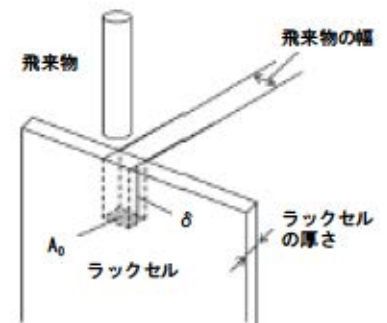
m : 飛来物の質量 (kg)、v : 飛来物の衝突速度 (m/s)

ここで、ラックセルの圧縮エネルギー E_c (N・m) とせん断エネルギー E_s (N・m) は次の式で与えられる。

①ラックセルの圧縮エネルギー E_c

$$E_c = e \cdot V = e \cdot A_0 \cdot \delta$$

e : 単位体積当たりの吸収エネルギー (N/m²) = ラックセル



圧縮エネルギー

ルの引張強さ×ラックセルの伸び

$$V: \text{貫入体積 (m}^3\text{)} = A_0 \cdot \delta$$

A_0 : 飛来物の幅×ラックセルの厚さ

δ : ラックセルの貫入量 (m)

②ラックセルのせん断エネルギー

$$E_s = 1/2 \cdot (A_s \cdot \tau) \cdot \delta = t \cdot \tau \cdot \delta^2$$

A_s : ラックセルのせん断断面積 (m²) = 2面×t× δ

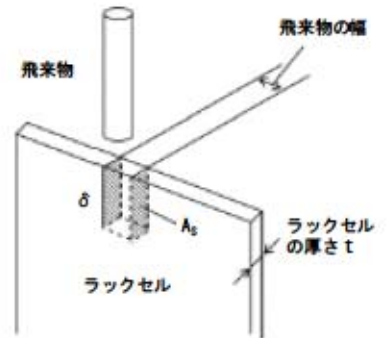
τ : 最大せん断応力 (N/m²) = ラックセルの引張強さ÷ $\sqrt{3}$

δ : ラックセルの貫入量 (m)

t: ラックセルの厚さ (m)

以上より、下式を満足するラックセルの貫入量 δ を求める。

$$e \cdot A_0 \cdot \delta + t \cdot \tau \cdot \delta^2 - W = 0$$



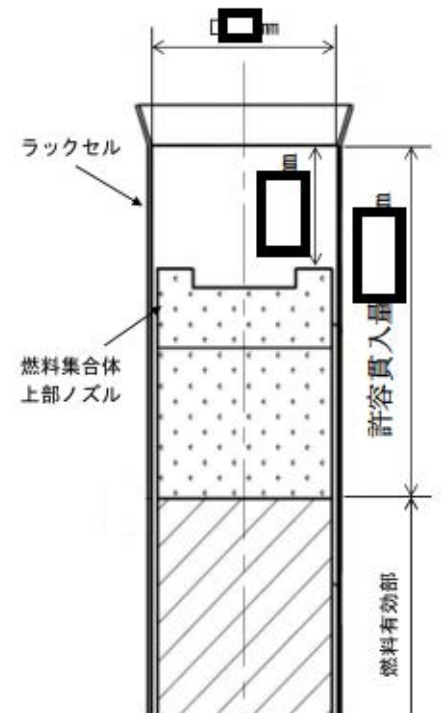
せん断エネルギー

d. 評価結果

(a) 鋼製パイプ

鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料被覆管に発生する歪を評価した結果、燃料被覆管の許容歪 1% に対して、塑性歪は発生しない(弾性範囲内)ことから、燃料被覆管は破損しないため健全性は維持される。

なお、ラックセルに衝突した場合は、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離 \square mm に対して、31mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはない、未臨界性は維持される。



ラックセル概要図

(b) 鋼製材

鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を評価した結果、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離 \square mm に対して、162mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはない、未臨界性は維持されるが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する。その際に燃料被覆管に発生する歪を評価した結果、燃料被覆管の許容歪 1% に対して、塑性歪は発生しない(弾性範囲内)ことから、燃料被覆管は破損せず健全性は維持される。

e. 斜め方向から進入した設計飛来物の衝突による燃料集合体への影響について

使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られているが、上記のとおり、燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、屋根は考慮せずに、設計飛来物は鉛直方向から進入するものとして評価している。しかしながら、実際には、設計飛来物は燃料取扱棟の壁（斜め方向）から進入してラックセルに衝突することが考えられる。

設計飛来物が斜め方向から進入して燃料集合体に衝突した場合、燃料集合体の燃料被覆管には鉛直方向の衝突速度成分による発生歪と水平方向の衝突速度成分による発生歪が生じるが、鉛直方向の衝突速度成分による発生歪については、前述の設計飛来物が鉛直方向から進入した場合の評価に包絡されるため、以下の評価条件および評価式にて水平方向の衝突速度成分による発生歪を算出し、設計飛来物が斜め方向から燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管への影響を評価した。

<評価方針>

- ・ 設計飛来物が斜め方向から衝突する場合、ラックセルに衝突し、直接燃料集合体に衝突することはないが、評価においては、保守的に設計飛来物が直接燃料集合体（上部ノズル上端）に衝突するものとする。
- ・ 設計飛来物のうち、鋼製パイプについては、衝突速度、質量共に鋼製材より小さいため、より衝撃荷重の大きい鋼製材にて代表する。

(a) 評価条件

- ・ 設計飛来物は鋼製材とする。
質量 : 135kg
衝突速度 : 22.54m/s（最大水平速度）※水中抵抗による減速を考慮。
- ・ ラックセルは上部、下部 2 箇所の支持格子で支持されているため、ラックセルを支持格子部で水平方向に支持された張り出し梁にモデル化して、設計飛来物により発生する曲げ応力を算出する（評価モデルは図-4 のとおり）。

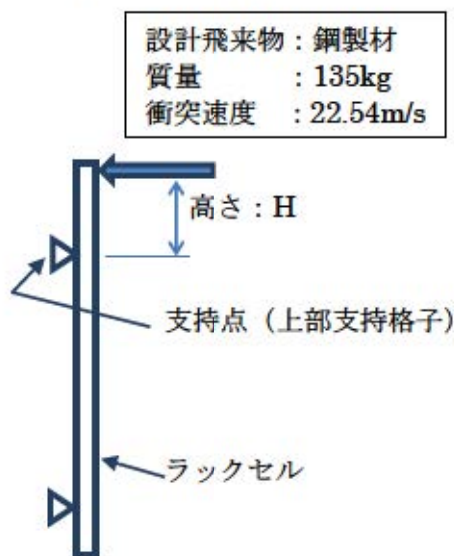


図-4 評価モデル

(b) 評価結果

イ. ラックセル

(イ) 衝突荷重

ラックセルに作用する荷重 F は、運動量と力積の関係から求める。荷重と時間の関係を \sin カーブと仮定し、積分計算により力積を求めた。

ここで、衝突時間 ΔT は、ラックセルの一次固有周期の $1/4$ とする。

$m \cdot v = F \cdot \Delta T / (\pi/2)$ より、

$$F = (\pi/2) \cdot m \cdot v / \Delta T = (\pi/2) \times 135 \times 22.54 / 0.0098$$

$$= 4.88 \times 10^5 \text{ N}$$

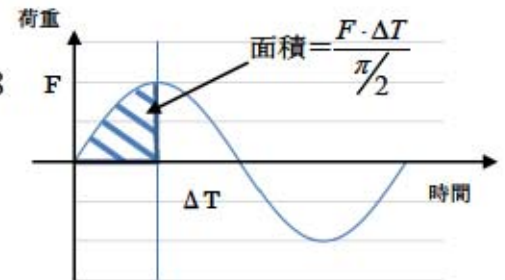
ここで、 m : 鋼製材の質量 135kg

v : 鋼製材の衝突速度 22.54m/s

ΔT : 衝突時間 0.0098s

$$\Delta T = 1/4f = 1/(4 \times 25.38 \text{ Hz}) = 0.0098 \text{ s}$$

ここで、 f : ラックセルの一次固有振動数



(ロ) ラックセルに生じる曲げモーメントおよびせん断力

ラックセルに生じる曲げモーメントは、支持点（上部支持格子）で最大となる。上部支持格子における曲げモーメント M およびせん断力 Q は、次式より求める。

$$M = F \cdot H = 4.88 \times 10^5 \times \boxed{} = 3.56 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、 H : 燃料集合体頂部から上部支持格子までの距離 $\boxed{}$ mm

$$Q = F = 4.88 \times 10^5 \text{ N}$$

(ハ) ラックセルに生じる曲げ応力およびせん断応力

$$\text{曲げ応力: } \sigma = M/Z = 3.56 \times 10^8 / 2.82 \times 10^5 = 1263 \text{ MPa} > \text{許容曲げ応力: } 205 \text{ MPa}$$

$$\text{せん断応力: } \tau = Q/A = 4.88 \times 10^5 / 3712 = 132 \text{ MPa} > \text{許容せん断応力: } 118 \text{ MPa}$$

ここで、 Z : ラックセルの断面係数 $\boxed{} = 2.82 \times 10^5 \text{ mm}^3$

A : ラックセルの断面積 $\boxed{} = 3712 \text{ mm}^2$

以上より、曲げ応力およびせん断応力は材料の降伏点を超過し、永久変形が残ると考えられる。このときの塑性ひずみ量を以下の方法で求める。

(ニ) ラックセルの塑性ひずみ

ラックセルの塑性ひずみを求めるにあたり、以下の仮定を設ける。

- ・ ラックセルの材料 (1%B-SUS) を弾完全塑性体とする。
- ・ ラックセルを完全弾性体としたときの弾性ひずみエネルギーが、弾完全塑性体

のひずみエネルギーに等しいとする。

以上の仮定より、曲げ応力による塑性ひずみ量 ε は、以下のとおりとなる。

$$\text{弾性ひずみエネルギー } E_e : E_e = \frac{\sigma^2}{2E}$$

$$\text{塑性ひずみエネルギー } E_p : E_p = \sigma_y \cdot \varepsilon - \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

$E_e = E_p$ より、

$$\varepsilon = \frac{\sigma^2 + \sigma_y^2}{2E\sigma_y} = \frac{1263^2 + 189^2}{2 \times 1.918 \times 10^5 \times 189} = 0.023$$

ここで、 σ : 弾性体とした時の曲げ応力 $\sigma = 1263 \text{ MPa}$

σ_y : 材料の降伏点 $\sigma_y = 189 \text{ MPa}$

E : 材料の縦弾性係数 $E = 1.918 \times 10^5 \text{ MPa}$

(JSME 設計・建設規格の SUS304, at 65°C)

同様に、せん断応力による塑性ひずみ γ は、以下のとおりとなる。

$$\gamma = \frac{\tau^2 + \tau_y^2}{2G\tau_y} = \frac{132^2 + 109^2}{2 \times 7.377 \times 10^4 \times 109} = 0.002$$

ここで、 τ : 弾性体とした時のせん断応力 $\tau = 132 \text{ MPa}$

τ_y : 材料の降伏点 $\tau_y = 189 / \sqrt{3} = 109 \text{ MPa}$

G : 材料のせん断弾性係数 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.918 \times 10^5}{2 \times (1+0.3)} = 7.377 \times 10^4 \text{ MPa}$

ν : ポアソン比 $\nu = 0.3$

以上より、ラックセルの曲げ応力による塑性ひずみ量は 2.3% 程度であり、材料の破断伸び 16% (工認記載値) に対して余裕を有しており破断することはない。

また、同様にせん断応力による塑性ひずみ量は 0.2% 程度であり破断することはない。

(ホ) ラックセルの曲げたわみ量

ラックセルのたわみ量は、以下の構造力学公式より求める。

構造力学公式

燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルのたわみ量：

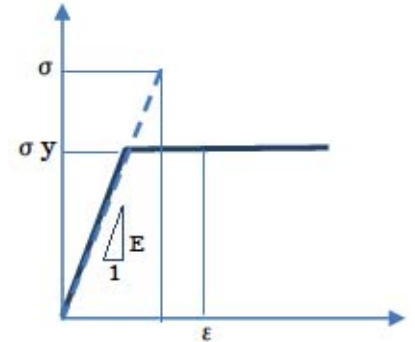


図-5 塑性ひずみの算定方法

弾性ひずみエネルギーと面積が等しくなる塑性ひずみ ε を求める。

$$\delta = \frac{FH^2(H + \ell)}{3EI}$$

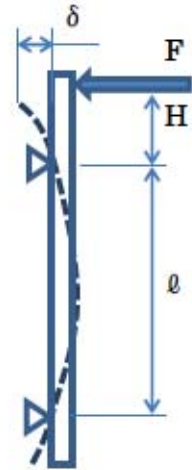
ここで、 $F = 4.88 \times 10^5 N$

$$H = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell = \boxed{} \text{ mm}$$

$$E = 1.918 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$I : \text{断面2次モーメント } I = \boxed{} = 3.33 \times 10^7 \text{ mm}^4$$



よって、曲げたわみ量は、 $\delta = 45.7 \text{ mm}$ である。

(へ) ラックセルのせん断変形量

ラックセルのせん断変形量 δ_Q は次式で表される。

$$\delta_Q = \tan(\gamma) \cdot H = \tan\left(\frac{\tau}{G}\right) \cdot H = \tan\left(\frac{132}{7.377 \times 10^4}\right) \times \boxed{} = 1.4 \text{ mm}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ $\gamma = \frac{\tau}{G}$

τ : せん断応力 $\tau = 132 \text{ MPa}$

G : せん断弾性係数 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.918 \times 10^5}{2 \times (1+0.3)} = 7.377 \times 10^4 \text{ MPa}$

E : 縦弾性係数

ν : ポアソン比 $\nu = 0.3$

H : ラックセルのせん断力を受ける長さ (上図参照) $H = \boxed{} \text{ mm}$

(ト) ラックセルの変形量 (曲げたわみ+せん断変形)

上記 (ホ) 項および (へ) 項の結果より、燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルの変形量は、 47.1 mm となる。

ラックセルの変形量 = 曲げたわみ量 δ + せん断変形量 δ_Q

$$= 45.7 \text{ mm} + 1.4 \text{ mm} = 47.1 \text{ mm}$$

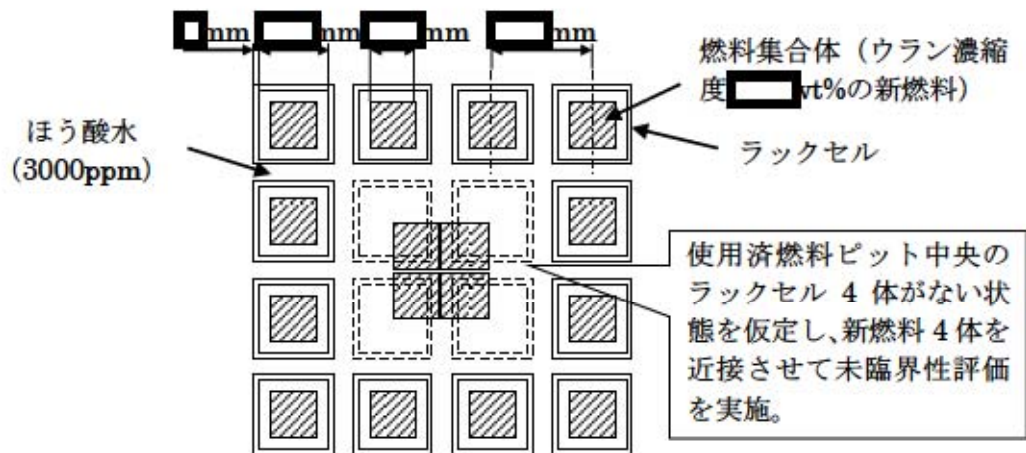
(チ) ラックセルの変形に伴う未臨界性への影響

使用済燃料ピットにはウラン濃縮度が約 4.8wt%の燃料集合体(新燃料または使用済燃料)がほう酸水中(約 3000ppm)に保管されている。

燃料集合体が貯蔵される使用済燃料ラックセル間の距離は、鋼製材(サイズ 200×300mm)と比較して短いため、同時に複数のラックセルに衝突し、最大で4体のラックセルの変形や燃料間距離の減少が生じる可能性が考えられることから、保守的に使用済燃料ピット中央のラックセル4体がない状態を仮定し、ウラン濃縮度 \square wt%の新燃料4体が直接近接した条件で未臨界性への影響を評価した。

影響評価の結果、ウラン濃縮度 \square wt%の新燃料4体が近接しても、ほう酸水中(3000ppm)の実効増倍率は約 0.90 であり、臨界となることはないと考える。

なお、新燃料と比較して反応度が低い照射燃料およびウラン濃縮度約 4.1wt%相当であるウラン・プルトニウム混合酸化物燃料(MOX燃料)についても、臨界となることはない。



未臨界性評価体系イメージ図
(使用済燃料ピット中心付近拡大図)

ロ. 燃料被覆管

(イ) 燃料被覆管に生じる歪

燃料集合体(上部ノズル)が水平方向に変位すると、燃料集合体に曲がりが発生する。また、燃料集合体に曲がりがあると、図-6のように鉛直方向の荷重によっても曲がりが発生する。ここでは、燃料集合体の曲がり量として、e. (b)イ. (ト)で求めた燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルの変形量47.1mm、燃料集合体とラックセルの間隔 \square mmおよび鉛直方向からの飛来物による荷重を考慮した解析を実施し、燃料被覆管に生じる曲げ応力による歪量と、曲がりに伴い燃料集合体とラックセルの接触により燃料被覆管に発生する応力による歪量を評価した。

このとき、燃料被覆管に生じる曲げ応力等を地震時の燃料集合体の応力評価で使用しているANSYSコードを用いて評価した結果、燃料被覆管に生じる曲げ応力は約 60MPaであり、また、曲がりに伴い燃料集合体とラックセルの接触により燃料被覆管に発生する応力約2MPaと合わせても、燃料被覆管の許容歪1%に対して、発生する塑性歪は0.1%であり、燃料被覆管は破損しないため健全性は維持される。

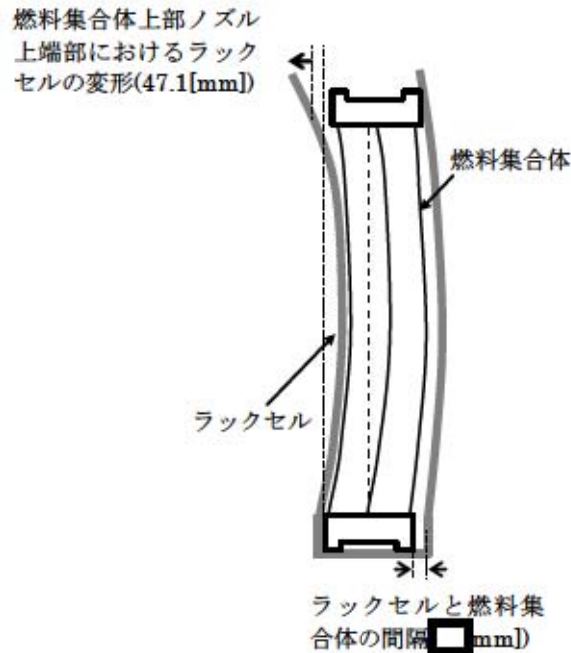


図-6 ラックセルの変形・燃料集合体曲がりによる評価イメージ

(c) まとめ

以上より、設計飛来物が斜め方向から燃料集合体に衝突した場合に燃料被覆管に生じる歪は0.1%であり、燃料被覆管の許容歪1%に対して十分小さい値である。また、前述した設計飛来物が鉛直方向から進入した場合の評価における燃料被覆管に生じる歪（弾性範囲内）を考慮しても、燃料被覆管の許容歪を下回っており、燃料被覆管は破損せず健全性が維持できることを確認した。また、ラックセルの変形に伴う未臨界性への影響はないことを確認した。

f. 燃料被覆管の許容歪について

設計飛来物が燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる歪の評価にあたって、燃料被覆管の許容歪については、未照射材、照射材の引張試験により求められる破断歪データを踏まえて保守的に1%としている。

(2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合、使用済燃料ピットへの影響が考えられるため、設計飛来物が使用済燃料ピットに衝突した場合の貫通評価を実施した。評価は使用済燃料ピットのコンクリート躯体および使用済燃料ピット内面に内張りされているステンレス製のライニングについて実施した。

a. 評価条件

- ✓ 使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ 保守的に飛来物は使用済燃料ピット内に水平または鉛直に進入して当該ピットの側面または底面に衝突するものとする。
- ✓ 保守的に飛来物は使用済燃料ピット内の保有水により減速することなく衝突するものとする。

✓ 保守的に飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

b. 評価結果

(a) ライニング

飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さとライニングの最小板厚を比較した結果、飛来物が貫通することを確認した。評価結果を表-1に示す。

表-1 ライニングに対する貫通評価結果

飛来物の種類		鋼製パイプ	鋼製材
最大水平速度 (m/s)		49	57
最大鉛直速度 (m/s)		33	38
水 平	鋼板の必要最小厚さ (mm)	18	37
	ライニング最小板厚 4.5mm に対する評価	貫通する	貫通する
鉛 直	鋼板の必要最小厚さ (mm)	11	22
	ライニング最小板厚 4.5mm に対する評価	貫通する	貫通する

(b) コンクリート躯体

飛来物の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さとコンクリート躯体の最小板厚を比較した結果、飛来物は貫通しないことを確認した（使用済燃料ピット内面のライニング厚さは保守的に考慮していない）。評価結果を表-2に示す。

表-2 コンクリート躯体に対する貫通評価結果

飛来物の種類		鋼製パイプ	鋼製材
最大水平速度 (m/s)		49	57
最大鉛直速度 (m/s)		33	38
水 平	コンクリートの必要最小厚さ (mm)	120	290
	コンクリート躯体最小板厚 1800mm に対する評価	貫通しない	貫通しない
鉛 直	コンクリートの必要最小厚さ (mm)	90	210
	コンクリート躯体最小板厚 1800mm に対する評価	貫通しない	貫通しない

c. 安全機能への影響

上記 b. 項の評価結果から、設計飛来物により使用済燃料ピット内面のライニングは貫通等の損傷を受ける可能性があるが、コンクリート躯体は貫通せず、コンクリートの必要最小厚さ 290mm（最大）に対して、コンクリート躯体の最小板厚は 1800mm あることから損傷の程度は小さく、直ちに使用済燃料ピットの保有水が漏えいすることはない。また、ライニングが損傷することにより、使用済燃料ピットから漏えいした保有水はライニング背面の漏えい検知溝を通り漏えい検知管から排水されるが、①使用済燃料ピットの水位低警報（NWL-0.08 m）等により漏えいを検知でき、その後水張り等の処置を行う手順としていること、②使用済燃料ピット内面（4面のうち1面）のライニングが無い状態を仮定し、漏えい検知溝（直径 8mm の半円状でありライニングの溶接線に沿って設置されている）12本（A, Bピットのうち、1面あたりの本数が最大となる Bピットの値）を通り使用済燃料ピット保有水が漏えいしたとしても、漏えい量は約 17m³/h であり、使用済燃料ピットへの給水量 46 m³/h（ポンプ定格流量）を下回っていることから、使用済燃料ピット保有水の有意な消失は生じず、使用

済燃料ピットの冷却および遮へい機能は維持されることから、安全機能に影響を与えない。

なお、設計飛来物により使用済燃料ピット内面のライニングに貫通等の損傷を受けた場合は補修を実施することになるが、国内におけるライニングの補修実績としては、日本原燃の使用済燃料受入れ・貯蔵施設の燃料貯蔵プールにおいて、当該プール内に仮設補修用ダクトを設置し、ダクト内を排水して気中環境とした上でライニングの補修を行った事例がある。

(3) まとめ

前述のとおり、使用済燃料ピットが設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は設計飛来物が貫通して進入してくることが想定されるため、①使用済燃料ラック、②使用済燃料ラックに貯蔵される燃料集合体、および③使用済燃料ピットへの設計飛来物による影響を評価した結果、当該設備に設計飛来物が衝突したとしても、①ラックセルの損傷範囲は燃料有効部に達することはないこと等により未臨界性は維持されること、②燃料被覆管は破損せず健全性は維持されること、および③使用済燃料ピット内面のライニングは損傷しても保有水の有意な消失は生じず、使用済燃料ピットの冷却および遮へい機能は維持され安全機能が維持できることを確認した。

また、設計飛来物が上屋を貫通して進入してくることから、発電所周辺の公衆に対する被ばく影響が懸念されるが、上記のとおり安全機能は維持できるため、放射性物質が大量に放出される事態にはならない。

以上から、設計飛来物が上屋を貫通して進入してきた場合でも、使用済燃料ラック等の安全機能は維持されるため、発電所周辺の公衆に対する被ばく影響は小さいと考える。

2.3. 新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について

(1) 新燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）

a. はじめに

新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合、新燃料ラック（当該ラックに貯蔵される燃料集合体を含む）への影響が考えられるため、以下の評価条件および評価式にて、①設計飛来物が直接燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる歪および②設計飛来物が新燃料ラック（ラックセル）に衝突した場合のラックセル貫入量を評価する。

ただし、砂利については、鋼製材及び鋼製パイプの評価に包絡されるため、評価対象外とする。

b. 評価条件

- ✓ 新燃料貯蔵庫が設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られたが保守的に考慮しない。
- ✓ 燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、設計飛来物の進入方向は鉛直方向とする。
- ✓ 設計飛来物の衝突速度（最大鉛直速度）は以下のとおりとする。

鋼製パイプ：33m/s

鋼製材：38m/s

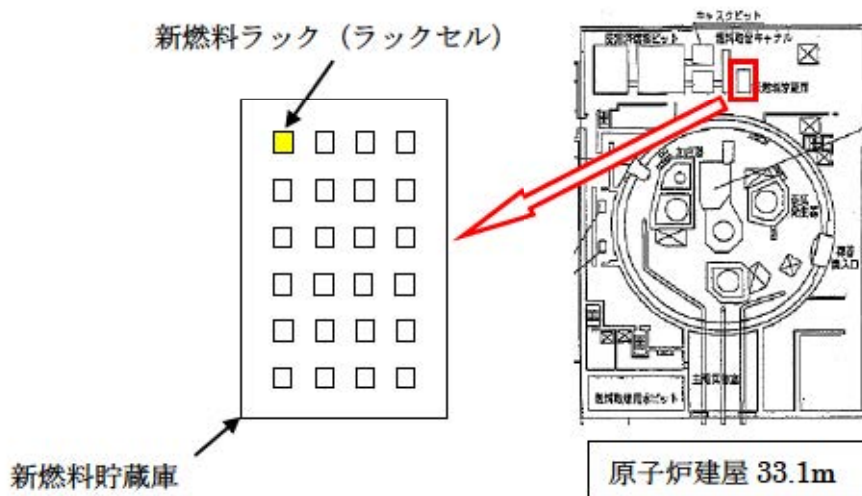


図-1 新燃料ラックの配置イメージ

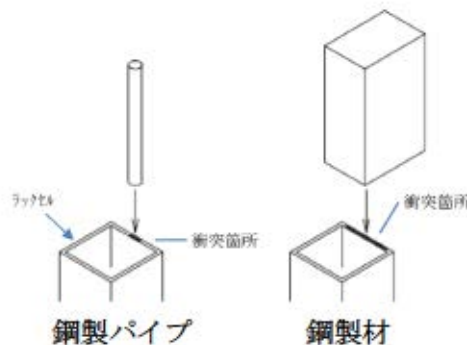


図-2 ラックセルの衝突箇所

c. 評価式

(a) 燃料被覆管に生じる歪

飛来物の衝突に伴う荷重は、燃料集合体の上部ノズルを介して燃料棒及び制御棒案内シンプルに作用することとなる。この際に燃料被覆管に生じる歪を評価した。算出にあたっては、保守的な評価となるよう次の仮定を設けた。

- ・ 飛来物の運動エネルギー E_0 は燃料集合体の変形エネルギー E_1 に等しいとし、飛来物の運動エネルギー全てが燃料被覆管の変形に費やされるものとする（制御棒案内シンプルによる荷重の分担は考慮しない）。
- ・ 燃料被覆管は弾完全塑性体とする（塑性変形に伴う硬化を考慮しない）。(図-3)

すなわち、

$$E_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_1 = \left(\frac{1}{2}\sigma_y \varepsilon_y + \sigma_y \varepsilon_p \right) \times AL$$

より、 $E_0=E_1$ として ε_p を求める。

但し、 $\left(\frac{1}{2}\sigma_y \varepsilon_y \right) \times AL$ が E_0 よりも大きい場合、 $\varepsilon_p=0$ （弾性範囲内）となる。

ここで

m：飛来物の質量

鋼製パイプ 8.4kg

鋼製材 135kg

v：飛来物の衝突速度

鋼製パイプ 33m/s

鋼製材 15.6m/s

σ_y ：被覆管耐力 MPa

ε_y ：弾性歪、 $\sigma_y=E \times \varepsilon_y$ より算出

E：燃料集合体の縦弾性係数 MPa

ε_p ：塑性歪

A：受圧面積（被覆管の断面積） $4.22 \times 10^{-3} \text{m}^2$

L：被覆管長さ 3856mm

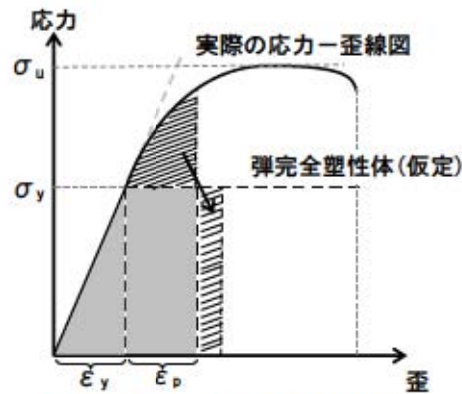


図-3 弾完全塑性体の保守性
(イメージ図)

(b) ラックセル貫入量

設計飛来物がラックセルに衝突すると、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーは、ラックセルの変形によって吸収される^{※1}ことになる。

このため、設計飛来物の衝突によるラックセルの貫入量(変形量)については、衝突直前の設計飛来物の運動エネルギーとラックセルの変形による吸収エネルギーが等しくなるときの貫入量となるため、以下のとおり算出している。

※1: 保守的な評価となるよう、飛来物は剛体と考えて、飛来物の変形によるエネルギー吸収は考慮しない。

<算出式>

設計飛来物の運動エネルギー W (N・m) は、ラックセルの圧縮エネルギー E_c (N・m) (圧縮破壊による吸収エネルギー) とせん断エネルギー E_s (N・m) (せん断破壊による吸収エネルギー) により吸収されるため^{※2}、次の式で与えられる。

※2: 飛来物衝突時にラックセルに発生する圧縮応力は、ラックセルの細長比を考慮した許容圧縮応力よりも小さく座屈は発生しないことから、座屈によるエネルギー吸収は考慮していない。

$$W = E_c + E_s$$

$$W = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

m : 飛来物の質量 (kg)、 v : 飛来物の衝突速度 (m/s)

ここで、ラックセルの圧縮エネルギー E_c (N・m) とせん断エネルギー E_s (N・m) は次の式で与えられる。

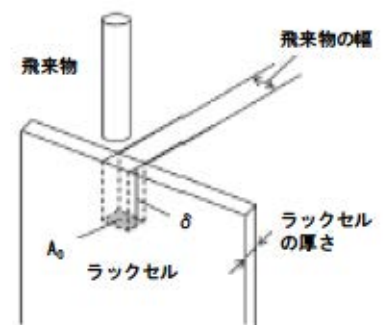
① ラックセルの圧縮エネルギー E_c

$$E_c = e \cdot V = e \cdot A_0 \cdot \delta$$

e : 単位体積当たりの吸収エネルギー (N/m²) = ラックセルの引張強さ × ラックセルの伸び

V : 貫入体積 (m³) = $A_0 \cdot \delta$

A_0 : 飛来物の幅 × ラックセルの厚さ



圧縮エネルギー

δ : ラックセルの貫入量 (m)

②ラックセルのせん断エネルギー

$$E_s = 1/2 \cdot (A_s \cdot \tau) \cdot \delta = t \cdot \tau \cdot \delta^2$$

A_s : ラックセルのせん断面積 (m²) = 2面 × t × δ

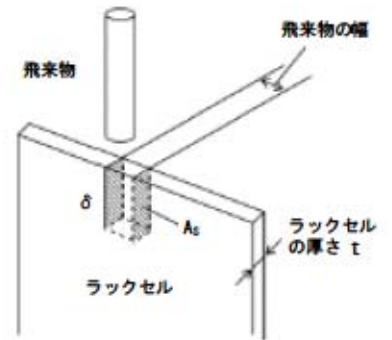
τ : 最大せん断応力 (N/m²) = ラックセルの引張強さ ÷ $\sqrt{3}$

δ : ラックセルの貫入量 (m)

t : ラックセルの厚さ (m)

以上より、下式を満足するラックセルの貫入量 δ を求める。

$$e \cdot A_0 \cdot \delta + t \cdot \tau \cdot \delta^2 - W = 0$$



せん断エネルギー

d. 評価結果

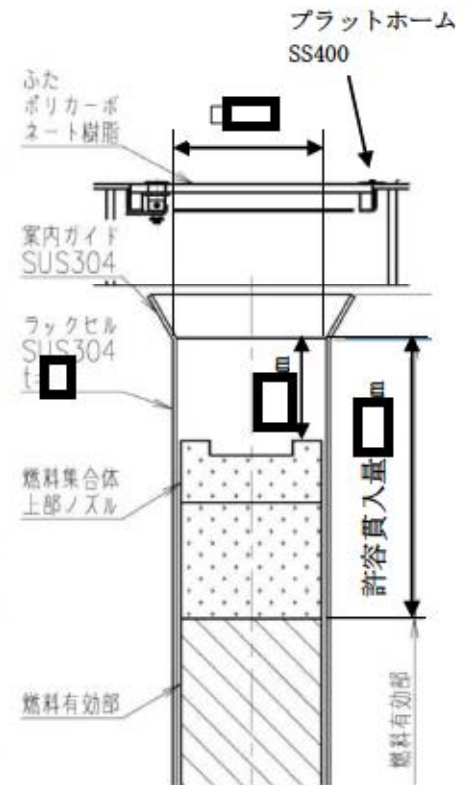
(a) 鋼製パイプ

鋼製パイプは直接燃料集合体に衝突することが考えられるため、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルに衝突した場合の燃料集合体への影響を評価した結果、鋼製パイプは当該ノズルを貫通すると考えられるため、燃料被覆管は破損する可能性があることから、鋼製パイプが直接燃料集合体に衝突しないように飛来物防護対策を実施する（補足説明資料26.参照）。

なお、ラックセルに衝突した場合は、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離 \square m に対して、36mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持される。

(b) 鋼製材

鋼製材は直接燃料集合体に衝突することはないため、ラックセルに衝突した場合の貫入量を評価した結果、ラックセル上端から燃料集合体上部ノズルまでの最小距離 \square m に対して、174mm の貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性は維持されるが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体上部ノズルに衝突する。その際に燃料被覆管に発生する歪を評価した結果、燃料被覆管の許容歪 10% に対して、塑性歪は発生しない（弾性範囲内）ことから、燃料被覆管は破損せず健全性は維持される。



ラックセル概要図

e. 斜め方向から進入した設計飛来物の衝突による燃料集合体への影響について

新燃料貯蔵庫が設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の屋根は設計飛来物が貫通しないとの結果が得られているが、上記のとおり、燃料集合体に直接衝突する場合は最も厳しい評価となるため、屋根は考慮せずに、設計飛来物は鉛直方向から進入するものとして評価している。しかしながら、実際には、設計飛来物は燃料取扱棟の壁（斜め方向）から進入してラックセルに衝突することが考えられる。

設計飛来物が斜め方向から進入して燃料集合体に衝突した場合、燃料集合体の燃料被覆管には鉛直方向の衝突速度成分による発生歪と水平方向の衝突速度成分による発生歪が生じるが、鉛直方向の衝突速度成分による発生歪については、前述の設計飛来物が鉛直方向から進入した場合の評価に包絡されるため、以下の評価条件および評価式にて水平方向の衝突速度成分による発生歪を算出し、設計飛来物が斜め方向から燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管への影響を評価した。

<評価方針>

- ・ 設計飛来物が斜め方向から衝突する場合、ラックセルに衝突し、直接燃料集合体に衝突することはないが、評価においては、保守的に設計飛来物が直接燃料集合体（上部ノズル上端）に衝突するものとする。
- ・ 設計飛来物のうち、鋼製パイプについては、衝突速度、質量共に鋼製材より小さいため、より衝撃荷重の大きい鋼製材にて代表する。

(a) 評価条件

- ・ 設計飛来物は鋼製材とする。
質量 : 135kg
衝突速度 : 57m/s (最大水平速度)
- ・ ラックセルは上部、下部 2 箇所のサポート板で支持されているため、ラックセルを支持格子部で水平方向に支持された張り出し梁にモデル化して、設計飛来物により発生する曲げ応力を算出する（評価モデルは図-4 のとおり）。

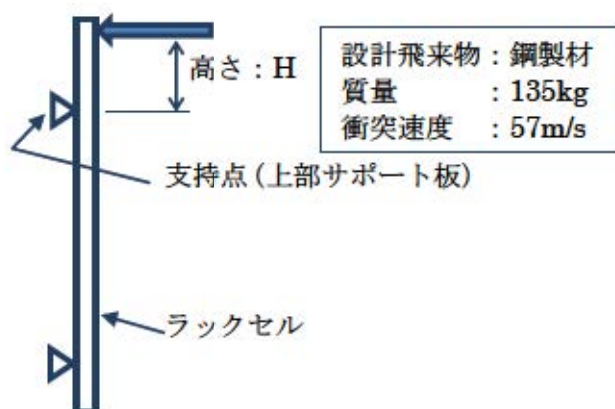


図-4 評価モデル

(b) 評価結果

イ. ラックセル

(イ) 衝突荷重

ラックセルに作用する荷重 F は、運動量と力積の関係から求める。荷重と時間の

関係を sin カーブと仮定し、積分計算により力積を求めた。

ここで、衝突時間 ΔT は、ラックセルの一次固有周期の 1/4 とする。

$$m \cdot v = F \cdot \Delta T / (\pi/2) \text{より、}$$

$$F = (\pi/2) \cdot m \cdot v / \Delta T = (\pi/2) \times 135 \times 57 / 0.0065$$

$$= 1.86 \times 10^6 \text{ N}$$

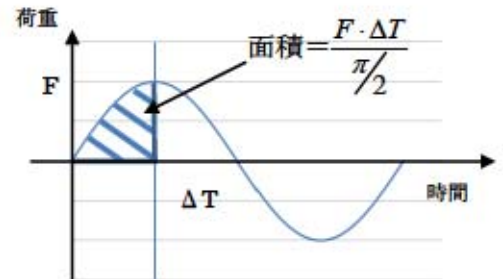
ここで、 m : 鋼製材の質量 135kg

v : 鋼製材の衝突速度 57m/s

ΔT : 衝突時間 0.0065s

$$\Delta T = 1/4f = 1/(4 \times 38.19\text{Hz}) = 0.0065\text{s}$$

ここで、 f : ラックセルの一次固有振動数



(ロ) ラックセルに生じる曲げモーメントおよびせん断力

ラックセルに生じる曲げモーメントは、支持点(上部サポート板)で最大となる。

上部サポート板における曲げモーメント M およびせん断力 Q は、次式より求める。

$$M = F \cdot H = 1.86 \times 10^6 \times \boxed{} = 1.57 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、 H : 燃料集合体頂部から上部サポート板までの距離 $\boxed{}$ mm

$$Q = F = 1.86 \times 10^6 \text{ N}$$

(ハ) ラックセルに生じる曲げ応力およびせん断応力

$$\text{曲げ応力: } \sigma = M/Z = 1.57 \times 10^9 / 4.27 \times 10^5 = 3677 \text{ MPa} > \text{降伏点: } 205 \text{ MPa}$$

$$\text{せん断応力: } \tau = Q/A = 1.86 \times 10^6 / 5616 = 332 \text{ MPa} > \text{許容せん断応力: } 118 \text{ MPa}$$

ここで、 Z : ラックセルの断面係数 $\boxed{} = 4.27 \times 10^5 \text{ mm}^3$

A : ラックセルの断面積 $\boxed{} = 5616 \text{ mm}^2$

以上より、曲げ応力およびせん断応力は材料の降伏点を超過し、永久変形が残ると考えられる。このときの塑性ひずみ量を以下の方法で求める。

(ニ) ラックセルの塑性ひずみ

ラックセルの塑性ひずみを求めるにあたり、以下の仮定を設ける。

- ・ ラックセルの材料 (SUS304) を弾完全塑性体とする。
- ・ ラックセルを完全弾性体としたときの弾性ひずみエネルギーが、弾完全塑性体のひずみエネルギーに等しいとする。

以上の仮定より、曲げ応力による塑性ひずみ量 ε は、以下のとおりとなる。

$$\text{弾性ひずみエネルギー } E_e : E_e = \frac{\sigma^2}{2E}$$

$$\text{塑性ひずみエネルギー } E_p : E_p = \sigma_y \cdot \varepsilon - \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

$E_e = E_p$ より、

$$\varepsilon = \frac{\sigma^2 + \sigma_y^2}{2E\sigma_y} = \frac{3677^2 + 205^2}{2 \times 1.936 \times 10^5 \times 205} = 0.171$$

ここで、 σ : 弾性体とした時の曲げ応力 $\sigma = 3677 \text{ MPa}$

σ_y : 材料の降伏点 $\sigma_y = 205 \text{ MPa}$

E : 材料の縦弾性係数 $E = 1.936 \times 10^5 \text{ MPa}$

(JSME 設計・建設規格の SUS304, at 40°C)

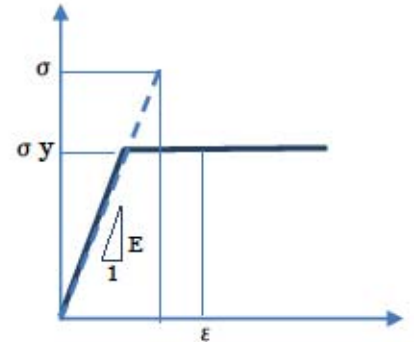


図-5 塑性ひずみの算定方法

弾性ひずみエネルギーと面積が等しくなる塑性ひずみ ε を求める。

同様に、せん断応力による塑性ひずみ量 γ は、以下のとおりとなる。

$$\gamma = \frac{\tau^2 + \tau_y^2}{2G\tau_y} = \frac{332^2 + 118^2}{2 \times 7.446 \times 10^4 \times 118} = 0.008$$

ここで、 τ : 弾性体とした時のせん断応力 $\tau = 332 \text{ MPa}$

τ_y : 材料の降伏点 / $\sqrt{3}$ $\tau_y = 205 / \sqrt{3} = 118 \text{ MPa}$

G : 材料のせん断弾性係数 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.936 \times 10^5}{2 \times (1+0.3)} = 7.446 \times 10^4 \text{ MPa}$

ν : ポアソン比 $\nu = 0.3$

以上より、ラックセルの曲げ応力による塑性ひずみ量は 17% 程度であり、材料の破断伸び 40% (規格値) に対して余裕を有しており破断することはない。

また、同様にせん断応力による塑性ひずみ量は 0.8% 程度であり破断することはない。

(ホ) ラックセルの曲げたわみ量

ラックセルのたわみ量は、以下の構造力学公式より求める。

構造力学公式

燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルのたわみ量：

$$\delta = \frac{FH^2(H + \ell)}{3EI}$$

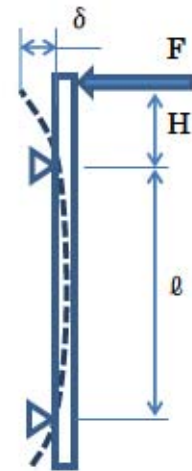
ここで、 $F = 1.86 \times 10^6 N$

$$H = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell = \boxed{} \text{ mm}$$

$$E = 1.936 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$I : \text{断面 2 次モーメント } I = \boxed{} = 5.12 \times 10^7 \text{ mm}^4$$



よって、曲げたわみ量は、 $\delta = 141.8 \text{ mm}$ である。

(へ) ラックセルのせん断変形量

ラックセルのせん断変形量 δ_θ は次式で表される。

$$\delta_\theta = \tan(\gamma) \cdot H = \tan\left(\frac{\tau}{G}\right) \cdot H = \tan\left(\frac{332}{7.446 \times 10^4}\right) \times \boxed{} = 3.8 \text{ mm}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ $\gamma = \frac{\tau}{G}$

τ : せん断応力 $\tau = 332 \text{ MPa}$

G : せん断弾性係数 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.936 \times 10^5}{2 \times (1+0.3)} = 7.446 \times 10^4 \text{ MPa}$

E : 縦弾性係数 $E = 1.936 \times 10^5 \text{ MPa}$

ν : ポアソン比 $\nu = 0.3$

H : ラックセルのせん断力を受ける長さ (上図参照) $H = \boxed{} \text{ mm}$

(ト) ラックセルの変形量 (曲げたわみ+せん断変形)

上記 (ホ) 項および (へ) 項の結果より、燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルの変形量は、 145.6 mm となる。

ラックセルの変形量 = 曲げたわみ量 δ + せん断変形量 δ_θ

$$= 141.8 \text{ mm} + 3.8 \text{ mm} = 145.6 \text{ mm}$$

(チ) 燃料有効部のラックセルの曲げたわみ量

燃料有効部のラックセルのたわみ量は、以下の構造力学公式より求める。

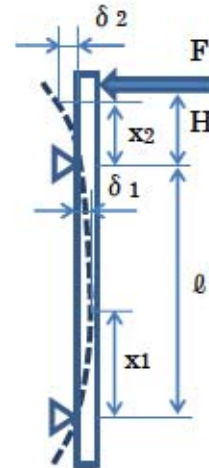
構造力学公式

燃料有効部支持点間の最大たわみ量：

$$\delta_1 = \frac{FH\ell^2}{9\sqrt{3EI}} = 57.3\text{mm}$$

燃料有効部上端のたわみ量：

$$\delta_2 = \frac{FH\ell x_2}{3EI} + \frac{Fx_2^2}{6EI}(3H - x_2) = 91.0\text{mm}$$



ここで、 $F = 1.86 \times 10^6 \text{ N}$

$$H = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\ell = \boxed{} \text{ mm}$$

$$x_1 = \frac{\boxed{}}{\sqrt{3}} = 1374\text{mm}$$

$$x_2 = 570\text{mm}$$

$$E = 1.936 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$I = 5.12 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

(リ) 燃料有効部のラックセルのせん断変形量

燃料有効部支持点間のラックセルのせん断変形量 δ_{Q1} は次式で表される。

$$\delta_{Q1} = \tan(\gamma_1) \cdot (\ell - x_1) = \tan\left(\frac{\tau_1}{G}\right) \cdot (\ell - x_1) = \tan\left(\frac{117}{7.446 \times 10^4}\right) \times \boxed{} - 1374 = 1.6\text{mm}$$

また、燃料有効部上端のラックセルのせん断変形量 δ_{Q2} は次式で表される。

$$\delta_{Q2} = \tan(\gamma_2) \cdot x_2 = \tan\left(\frac{\tau_2}{G}\right) \cdot x_2 = \tan\left(\frac{332}{7.446 \times 10^4}\right) \times 570 = 2.6\text{mm}$$

ここで、 γ_1 ：せん断ひずみ $\gamma_1 = \frac{\tau_1}{G}$

τ_1 : 支持点間のせん断応力

$$\tau_1 = \frac{QH}{\ell A} = 1.86 \times 10^6 \times \frac{\square}{\square} \times 5616 = 117 \text{MPa}$$

H : 荷重作用点から上部支持点までの距離(上図参照) $H = \square \text{mm}$

ℓ : 支持点間距離(上図参照) $\ell = \square \text{mm}$

A : ラックセルの断面積 $A = 5616 \text{mm}^2$

x_1 : 支持点間の最大たわみ位置(上図参照) $x_1 = 1374 \text{mm}$

γ_2 : せん断ひずみ $\gamma_2 = \frac{\tau_2}{G}$

τ_2 : せん断応力 $\tau_2 = \tau = 332 \text{MPa}$

x_2 : 燃料有効部上端位置(上図参照) $x_2 = 570 \text{mm}$

G : せん断弾性係数 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{1.936 \times 10^5}{2 \times (1+0.3)} = 7.446 \times 10^4 \text{MPa}$

E : 縦弾性係数 $E = 1.936 \times 10^5 \text{MPa}$

ν : ポアソン比 $\nu = 0.3$

(ヌ) 燃料有効部のラックセルの変形量(曲げたわみ+せん断変形)

上記(チ)項および(リ)項の結果より、燃料有効部支持点間の変形量は、58.9mmとなる。

$$\begin{aligned} \text{燃料有効部支持点間の変形量} &= \text{曲げたわみ量 } \delta_1 + \text{せん断変形量 } \delta_{\theta_1} \\ &= 57.3 \text{mm} + 1.6 \text{mm} = 58.9 \text{mm} \end{aligned}$$

また、燃料有効部上端の変形量は、93.6mmとなる。

$$\begin{aligned} \text{燃料有効部上端の変形量} &= \text{曲げたわみ量 } \delta_2 + \text{せん断変形量 } \delta_{\theta_2} \\ &= 91.0 \text{mm} + 2.6 \text{mm} = 93.6 \text{mm} \end{aligned}$$

※: 上記変形量は設計飛来物が1体のラックセルに衝突する場合の変形量

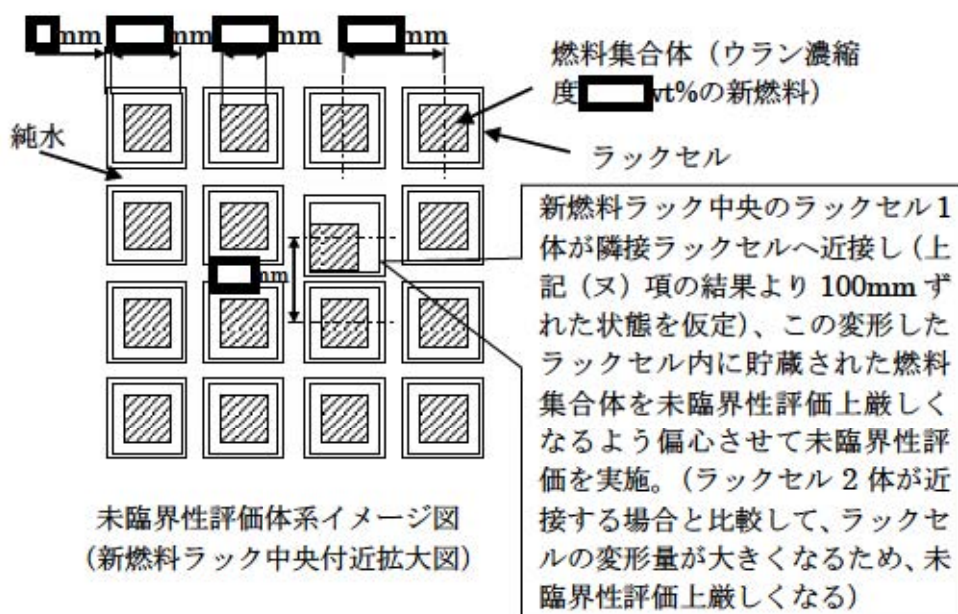
(ル) ラックセルの変形に伴う未臨界性への影響

新燃料ラックにはウラン濃縮度が約4.8wt%の燃料集合体(新燃料)が空气中に貯蔵されている。

燃料集合体が貯蔵される新燃料ラックセル間の距離と鋼製材のサイズから、鋼製材の衝突により、1体もしくは2体のラックセルの変形や燃料間距離の減少が生じる可能性が考えられることから、未臨界性評価上厳しくなるよう、新燃料ラック中央のラックセル1体が隣接ラックセルへ近接し、この変形したラックセル内に貯蔵されたウラン濃縮度 \square wt% の燃料集合体を未臨界性評価上厳しくなるよう偏心させた条件で未臨界性への影響を評価した。

なお、評価にあたって、水密度は $0.0\sim 1.0\text{g/cm}^3$ のあらゆる状態を考慮した。

影響評価の結果、純水中の実効増倍率は最大約 0.91 (水密度 1.0g/cm^3) であり、臨界となることはないと考える。



未臨界性評価体系イメージ図
(新燃料ラック中央付近拡大図)

ロ. 燃料被覆管

(イ) 燃料被覆管に生じる歪

燃料集合体 (上部ノズル) が水平方向に変位すると、燃料集合体に曲がりが発生する。また、燃料集合体に曲がりがあると、図-6のように鉛直方向の荷重によっても曲がりが発生する。ここでは、燃料集合体の曲がり量として、e. (b) イ. (ト) で求めた燃料集合体上部ノズル上端部におけるラックセルの変形量 145.6mm 、燃料集合体とラックセルの間隔 $\square\text{mm}$ および鉛直方向からの飛来物による荷重を考慮した解析を実施し、燃料被覆管に生じる曲げ応力による歪量と、曲がりに伴い燃料集合体とラックセルの接触により燃料被覆管に発生する応力による歪量を評価した。

このとき、燃料被覆管に生じる曲げ応力等を地震時の燃料集合体の応力評価で使用している ANSYS コードを用いて評価した結果、燃料被覆管に生じる曲げ応力は約 120MPa であり、また、曲がりに伴い燃料集合体とラックセルの接触により燃料被覆管に発生する応力約 1MPa と合わせても、燃料被覆管の許容歪 10% に対して、発生する塑性歪は 0.2% であり、燃料被覆管は破損しないため健全性は維持される。

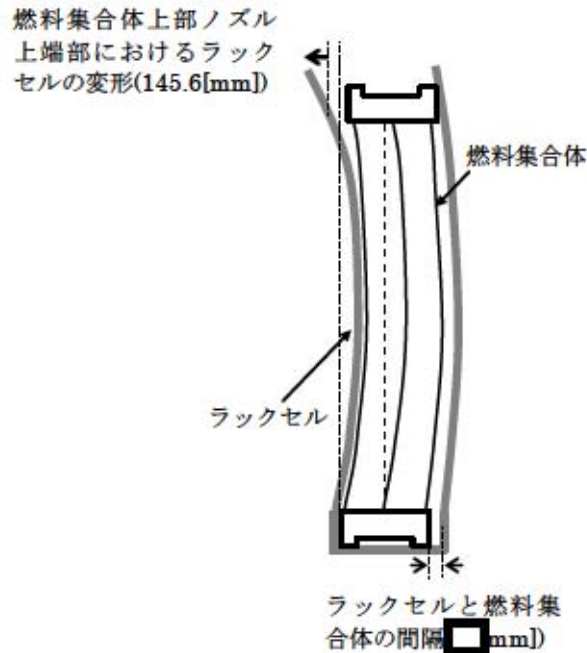


図-6 ラックセルの変形・燃料集合体曲がりによる評価イメージ

(c) まとめ

以上より、設計飛来物が斜め方向から燃料集合体に衝突した場合に燃料被覆管に生じる歪は0.2%であり、燃料被覆管の許容歪10%に対して十分小さい値である。また、前述した設計飛来物が鉛直方向から進入した場合の評価における燃料被覆管に生じる歪（弾性範囲内）を考慮しても、燃料被覆管の許容歪を下回っており、燃料被覆管は破損せず健全性が維持できることを確認した。また、ラックセルの変形に伴う未臨界性への影響はないことを確認した。

f. 燃料被覆管の許容歪について

設計飛来物が燃料集合体に衝突した場合の燃料被覆管に生じる歪の評価にあたって、燃料被覆管の許容歪については、未照射材の引張試験により求められる破断歪データを踏まえて保守的に10%としている。

(2) まとめ

前述のとおり、新燃料貯蔵庫が設置されている原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）は設計飛来物が貫通して進入してくることが想定されるため、「新燃料ラック」および「新燃料ラックに貯蔵される燃料集合体」への設計飛来物による影響を評価した結果、当該設備に設計飛来物が衝突した場合、「新燃料ラック」については、ラックセルの損傷範囲は燃料有効部に達することはないこと等により未臨界性は維持されることを確認した。一方、「新燃料ラックに貯蔵される燃料集合体」については、鋼製パイプが燃料集合体上部ノズルを貫通すると考えられるため、燃料被覆管は破損する可能性があることから、鋼製パイプが直接燃料集合体に衝突しないように飛来物防護対策を実施する（補足説明資料26.参照）。

2.4. 燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンへの設計飛来物による影響評価について

(1) 評価結果

a. 燃料移送装置

原子炉容器から取り出された燃料集合体については、燃料移送装置により原子炉容器側（原子炉格納容器内）から使用済燃料ピット側（原子炉建屋（燃料取扱棟）内）に移送され、使用済燃料ピットクレーンにて使用済燃料ピット内の使用済燃料ラックに貯蔵される。

燃料移送装置は安全上の機能別重要度分類 PS-2 に該当し、燃料を安全に取り扱う機能を有しているが、使用済燃料ピット側にて当該装置により燃料集合体を移送中に原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通して侵入した設計飛来物が燃料コンテナに衝突した場合、当該コンテナが貫通等の損傷を受けることにより燃料集合体の損傷が想定されることから、当該装置が有する安全機能を損なう恐れがある。

b. 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーンは、使用済燃料ピット内の使用済燃料ラックに燃料集合体を貯蔵する、あるいは使用済燃料ラックから原子炉容器に燃料を装荷する際などに使用される。

当該クレーンは安全上の機能別重要度分類 PS-2 に該当し、燃料を安全に取り扱う機能を有しているが、当該クレーンにて燃料集合体を取扱い中に原子炉建屋（燃料取扱棟）の壁を貫通して設計飛来物が当該クレーンのホイストや燃料保持機構に衝突した場合、ホイスト等が破損することにより燃料集合体の落下が想定されることから、当該クレーンが有する安全機能を損なう恐れがある。

(2) 竜巻襲来時における燃料集合体の取扱い作業について

燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンが設置されている原子炉建屋（燃料取扱棟）内において、燃料集合体の取扱い作業を行っている際に竜巻襲来が予想される場合は、使用済燃料ピットクレーンにて取扱い中の燃料集合体は使用済燃料ラック内に戻した上で、燃料移送装置にて移送中の燃料集合体は設計飛来物の影響を受けない原子炉格納容器（原子炉建屋）内に移動した上で、当該作業を一時中断する旨マニュアルに反映することとしている。

(3) 安全機能への影響

上記のとおり燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンにて燃料集合体の取扱い作業を行っている際に、設計飛来物が当該設備に衝突した場合は、当該設備が有する安全機能（燃料を安全に取り扱う機能）を損なう恐れがあるが、竜巻襲来が予想される場合は、燃料集合体の健全性が維持できるよう対処して当該作業を一時中断することとしていることから、当該設備に設計飛来物が衝突して貫通等の損傷を受けたとしても、安全機能に影響を与えない。

以上から、当該設備への飛来物対策としては、屋外に保管されている各種資機材等に十分な重さのウェイトを取付ける等の対策を実施するとともに、竜巻の襲来に備えて必要な対策を定めたマニュアルの整備を行う。

＜実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（抜粋）＞
第二条

2

五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。

イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能

ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下「工場等」という。）外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

2.5. 評価対象施設の評価結果について

設計竜巻による複合荷重 (W_{T1} , W_{T2}) および気圧差、ならびに設計飛来物による評価対象施設への影響評価結果を以下に示す。設計竜巻による複合荷重および気圧差に対しては、いずれの評価対象施設についても構造健全性が維持され、安全機能が維持できることを確認した。

一方、設計飛来物に対しては、いずれの評価対象施設についても飛来物が貫通する等の損傷を生じることから、飛来物対策として、安全機能を喪失する可能性のある評価対象施設については、飛来物から防護する対策を実施する（補足説明資料2.6. 参照）。

なお、使用済燃料ピットおよび使用済燃料ラックの評価結果は補足説明資料2.2. に、新燃料ラックの評価結果は補足説明資料2.3. に、燃料移送装置および使用済燃料ピットクレーンの評価結果は補足説明資料2.4. に示す。

(1) 設計竜巻による複合荷重による影響評価結果

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ（モータ含む）

評価対象機器	評価部位	材質	発生応力	応力値 (MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価
				W_{T1}	W_{T2}		W_{T1}	W_{T2}	
ポンプ	電動機取合ボルト	SS400 (M30)	引張	22	29	175	7.9	6.0	○
			せん断	7	10	135	19.2	13.5	○
	電動機支え台取合ボルト	SS400 (M30)	引張	30	39	172	5.7	4.4	○
			せん断	9	11	132	14.6	12.0	○
	据付面取合ボルト	SUS304 (M36)	引張	18	24	153	8.5	6.3	○
			せん断	5	7	117	23.4	16.7	○
据付面基礎ボルト	SUS304 (M36)	引張	24	31	153	6.3	4.9	○	
		せん断	7	10	117	16.7	11.7	○	
モータ	電動機フレーム	SS400 (t12)	曲げ	2	3	282	141.0	94.0	○
	端子箱取付ボルト	SS400 (M10)	引張	12	22	183	15.2	8.3	○
			せん断	5	9	141	28.2	15.6	○
	空気冷却器取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	10	14	153	15.3	10.9	○
			せん断	9	14	117	13.0	8.3	○
	外扇カバー接続箱取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	7	14	153	21.8	10.9	○
			せん断	3	5	117	39.0	23.4	○
	外扇カバー取付ボルト	SUS304 (M12)	引張	2	3	153	76.5	51.0	○
せん断			4	8	117	29.2	14.6	○	

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

$$W_{T1}=W_P, W_{T2}=W_P+0.5W_P$$

b. 排気筒（建屋外）

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による複合荷重）による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

(a) 角ダクト

ダクトサイズ (mm)	ダクト材質	自重＋竜巻による複合荷重による面外荷重により発生する曲げ応力 (MPa)			竜巻による気圧差荷重による面内荷重により発生する座屈応力 (MPa)			自重＋竜巻による複合荷重による面内荷重により発生する曲げモーメント (kN・mm)			評価
		発生応力	許容値	裕度	発生応力	許容値	裕度	発生曲げモーメント	許容値	裕度	
2300×2300×4.0t	SUS304	110.6	165	1.4	11.5	165	14.3	76387.8	486747.3	6.3	○

(b) 丸ダクト

ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	竜巻による気圧差荷重 による周方向応力 (MPa)			自重+竜巻による複合 荷重に対する制限			評価
		発生 応力	許容値	裕度	発生値 [※]	許容値	裕度	
φ2300×4.0t	SUS304	2.6	21.1	8.1	0.2	0.9	4.5	○

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値

c. 配管（原子炉補機冷却海水系統）

材質	口径	支持間隔 (m)	発生応力	応力値 (MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価
				W _{T1}	W _{T2}		W _{T1}	W _{T2}	
STPY400	22B	8.3	曲げ	25	41	216	8.6	5.2	○
STPG370	18B	7.9	曲げ	24	39	174	7.2	4.4	○
STPG370	2B	2.7	曲げ	15	66	174	11.6	2.6	○
STPG370	1B	2.0	曲げ	14	68	174	12.4	2.5	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

d. 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

機器名称	評価部材	発生応力	算出値 (MPa or -) [※]		許容値 (MPa or -) [※]	裕度		評価
			W _{T1}	W _{T2}		W _{T1}	W _{T2}	
原子炉補機冷却海水ポンプ 出口ストレーナ	胴板	組合せ一次	29	30	220	7.5	7.3	○
		座屈	0.04	0.04	1	25	25	○
	スカート	組合せ	22	28	240	10.9	8.5	○
		座屈	0.09	0.12	1	11.1	8.3	○
	基礎ボルト	引張/組合せ	32	45	175	5.4	3.8	○
		せん断	9	12	135	15	11.2	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※：座屈は「-」、それ以外は「MPa」

e. ディーゼル発電機排気消音器

機器名称	評価部位	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
ディーゼル発電機排気消音器	取付ボルト	引張	45	175	3.8	○
		せん断	19	135	7.1	○
		組合せ	45	175	3.8	○

f. 主蒸気逃がし弁消音器

機器名称	評価部位	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
主蒸気逃がし弁消音器	柱脚すみ肉溶接部	引張	9.1	245	26.9	○
		せん断	7.0	141	20.1	○
		組合せ	15.2	245	16.1	○

g. 主蒸気安全弁排気管

機器名称	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
主蒸気安全弁排気管	曲げ	14.6	182.7	12.5	○

h. タービン動補助給水ポンプ排気管

機器名称	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
タービン動補助給水ポンプ排気管	曲げ	34.0	182.7	5.3	○

i. ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

機器名称	評価部位	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
ディーゼル発電機 燃料油貯油槽ベント管 (A側)	ベント管	曲げ	9.0	215	23.8	○
	サポート	曲げ	16.0	245	15.3	○
ディーゼル発電機 燃料油貯油槽ベント管 (B側)	ベント管	曲げ	5.0	215	43.0	○
	サポート	曲げ	14.0	245	17.5	○

(2) 気圧差による影響評価結果

a. 換気空調設備等

(a) 評価対象施設

竜巻防護施設または竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の換気空調設備等	評価対象設備
排気筒	排気筒 (建屋内)
アニュラス空気浄化設備	ダクト バタフライ弁 (アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁)
格納容器空調装置	ダンパ、ダクト
補助建屋空調装置	ダンパ、ダクト
試料採取室空調装置	ダンパ、ダクト
電動補助給水ポンプ室換気装置	ダンパ、ダクト ファン (電動補助給水ポンプ室給気ファン)
制御用空気圧縮機室換気装置	ダンパ、ダクト ファン (制御用空気圧縮機室給気ファン)
ディーゼル発電機室換気装置	ダンパ、ダクト ファン (ディーゼル発電機室給気ファン)
安全補機閉閉器室空調装置	ダンパ、ダクト ファン (安全補機閉閉器室給気ファン、安全補機閉閉器室排気ファン) 空調ユニット (安全補機閉閉器室給気ユニット)
中央制御室空調装置	ダンパ、ダクト
蓄電池室排気装置	ダンパ、ダクト ファン (蓄電池室排気ファン)



角ダクト



丸ダクト



ファン



バタフライ弁



空調ユニット

(b) ダンパ

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸 (mm)		ベーン長さ (mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考 ^{※1}
			W	H		応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度		
空気作動ダンパ	格納容器空調系	3A-格納容器排気ファン出口ダンパ	710	1360	646.0	-										代表ダンパの評価に包絡
		3B-格納容器排気ファン出口ダンパ	710	1360	646.0											
		3-格納容器給気ユニット入口ダンパ	1310	1310	591.2											
	補助建屋空調系	3-補助建屋非管理区域排気・補助建屋給気連絡ダンパ	805	805	741.0	34	217	6.3	50	217	4.3	3	141	47.0	○	ベーン最大
		3A-補助建屋給気ユニット入口ダンパ	2110	2610	470.2	-										代表ダンパの評価に包絡
		3B-補助建屋給気ユニット入口ダンパ	2110	2610	470.2											
	3-補助建屋排気風量調節ダンパ	2310	2610	520.2	60	217	3.6	25	217	8.6	3	141	47.0	○	ケーシング最大	
	試料採取室空調系	3-試料採取室排気風量調節ダンパ	610	1210	546.0											
		3-試料採取室給気ユニット入口ダンパ	1210	710	541.2											
	電動補助給水ポンプ室換気系	3A-電動補助給水ポンプ室給気循環ダンパ	605	605	541.0											
		3B-電動補助給水ポンプ室給気循環ダンパ	605	605	541.0											
		3A-電動補助給水ポンプ室外気取入風量調節ダンパ	705	705	641.0											
		3B-電動補助給水ポンプ室外気取入風量調節ダンパ	705	705	641.0											
	制御用空気圧縮機室換気系	3A-制御用空気圧縮機室給気循環ダンパ	505	505	441.0											
		3B-制御用空気圧縮機室給気循環ダンパ	505	505	441.0											
		3A-制御用空気圧縮機室外気取入風量調節ダンパ	505	505	441.0											
		3B-制御用空気圧縮機室外気取入風量調節ダンパ	505	505	441.0											
	ディーゼル発電機室換気系	3A-ディーゼル発電機室給気循環ダンパ	1405	1405	638.7											代表ダンパの評価に包絡
		3B-ディーゼル発電機室給気循環ダンパ	1405	1405	638.7											
		3A-ディーゼル発電機室排気ダンパ	1202.5	2405	555.3											
		3B-ディーゼル発電機室排気ダンパ	1202.5	2405	555.3											
		3C-ディーゼル発電機室排気ダンパ	1202.5	2405	555.3											
		3D-ディーゼル発電機室排気ダンパ	1202.5	2405	555.3											
		3A-ディーゼル発電機室外気取入風量調節ダンパ	1405	1405	638.7											
	3B-ディーゼル発電機室外気取入風量調節ダンパ	1405	1405	638.7												
	安全補機閉閉器室空調系	3A-安全補機閉閉器室外気取入ダンパ	605	705	541.0											
		3B-安全補機閉閉器室外気取入ダンパ	605	705	541.0											
	中央制御室空調系	3-中央制御室排気第2隔壁ダンパ	305	305	241.0											
		3-中央制御室排気大気放出ダンパ	505	505	441.0											
		3-中央制御室排気・試料採取室給気連絡ダンパ	505	505	441.0											
3A-中央制御室外気取入ダンパ		605	605	541.0												
3B-中央制御室外気取入ダンパ		605	605	541.0												
3A-中央制御室排気風量調節ダンパ		605	605	541.0												
3B-中央制御室排気風量調節ダンパ		605	605	541.0												
高気密ダンパ	格納容器空調系	3-格納容器給気気密ダンパ	1310	1310	1292.0	56	247	4.4	53	247	4.6	4	117	29.2	○	ケーシング・ベーン最大

※1：ダンパの種類毎（角型・丸型も考慮）に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸 (W×H) の長平方寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、電巻過速時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)」以外のダンパから選定する。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm)		ベーン長さ(mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考 ^{※1}											
			W	H		応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度													
高気密ダンパ	格納容器空調系	3-格納容器排気密ダンパ	1310	× 1310	1292.0	56	247	4.4	53	247	4.6	4	117	29.2	○	ケーシング・ベーン最大											
逆止ダンパ	電動補助給水ポンプ室換気系	3A-電動補助給水ポンプ室排気逆止ダンパ	755	× 755	723.4	45	217	4.8	116	217	1.8	4	135	33.7	○	ベーン最大											
		3B-電動補助給水ポンプ室排気逆止ダンパ	755	× 755	723.4	45	217	4.8	116	217	1.8	4	135	33.7	○	ベーン最大											
	制御用空気圧縮機室換気系	3A-制御用空気圧縮機室排気逆止ダンパ	605	× 605	573.4	-										代表ダンパの評価に包絡											
		3B-制御用空気圧縮機室排気逆止ダンパ	605	× 605	573.4																						
	ディーゼル発電機室換気系	3A-ディーゼル発電機室給気ファン出口逆止ダンパ	1105	× 1105	483.2																						
		3B-ディーゼル発電機室給気ファン出口逆止ダンパ	1105	× 1105	483.2																						
		3C-ディーゼル発電機室給気ファン出口逆止ダンパ	1105	× 1105	483.2																						
		3D-ディーゼル発電機室給気ファン出口逆止ダンパ	1105	× 1105	483.2																						
	安全補機閉閉器室空調系	3A-安全補機閉閉器室排気ファン出口逆止ダンパ	455	× 455	423.4																						
		3B-安全補機閉閉器室排気ファン出口逆止ダンパ	455	× 455	423.4																						
	安全補機閉閉器室空調系	3A-安全補機閉閉器室給気ファン出口逆止ダンパ	1510	× 2510	685.7												69	217	3.1	122	217	1.7	4	135	33.7	○	ケーシング最大
		3B-安全補機閉閉器室給気ファン出口逆止ダンパ	1510	× 2510	685.7												69	217	3.1	122	217	1.7	4	135	33.7	○	ケーシング最大
	蓄電池室排気系	3A-蓄電池室排気ファン出口逆止ダンパ	455	× 455	423.4												-										代表ダンパの評価に包絡
		3B-蓄電池室排気ファン出口逆止ダンパ	455	× 455	423.4																						
風量調整ダンパ	補助建屋空調系	3A-補助建屋給気ガタリ出口手動ダンパ	2705	× 2705	643.7												179	217	1.2	_#2			_#2			○	ケーシング最大
		3B-補助建屋給気ガタリ出口手動ダンパ	2705	× 2705	643.7												179	217	1.2	_#2			_#2			○	ケーシング最大
	電動補助給水ポンプ室換気系	3A-電動補助給水ポンプ室給気循環手動ダンパ	605	× 605	_#1	-			_#2			_#2			-	代表ダンパの評価に包絡											
		3B-電動補助給水ポンプ室給気循環手動ダンパ	605	× 605	_#1	-			_#2			_#2															
	制御用空気圧縮機室換気系	3A-制御用空気圧縮機室給気循環手動ダンパ	505	× 505	_#1	-			_#2			_#2															
		3B-制御用空気圧縮機室給気循環手動ダンパ	505	× 505	_#1	-			_#2			_#2															
	試験採取室空調系	3-安全補機閉閉器室排気・試験採取室給気連絡手動ダンパ	605	× 805	_#1	-			_#2			_#2															
		3-試験採取室給気系補助建屋給気チャンパー出口手動ダンパ	605	× 805	_#1	-			_#2			_#2															
	ディーゼル発電機室換気系	3A-ディーゼル発電機室給気ファン入口手動ダンパ	1055	× 1055	_#1	-			_#2			_#2															
		3B-ディーゼル発電機室給気ファン入口手動ダンパ	1055	× 1055	_#1	-			_#2			_#2															
		3C-ディーゼル発電機室給気ファン入口手動ダンパ	1055	× 1055	_#1	-			_#2			_#2															
		3D-ディーゼル発電機室給気ファン入口手動ダンパ	1055	× 1055	_#1	-			_#2			_#2															
	安全補機閉閉器室空調系	3-安全補機閉閉器室循環系1次系補機操作室手動ダンパ	505	× 505	_#1	-			_#2			_#2															
		3-安全補機閉閉器室循環系1次系補機計量機室手動ダンパ	555	× 555	_#1	-			_#2			_#2															

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※1：ダンパの種類毎（角型・丸型も考慮）に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸(W×H)の長平方寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、電巻通過時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)」以外のダンパから選定する。

※2：当該ダンパについては、電巻通過時は「開」であり、ベーン、シャフトには電巻による負圧は作用しない。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm)		ベーン長さ(mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考 ^{※1}														
			W	H		応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度																
風量調整ダンパ	安全補機開閉器常空調系	3A-安全補機開閉器 室外気取入手動ダンパ	605	705	— ^{※1}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
		3B-安全補機開閉器 室外気取入手動ダンパ	605	705	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 循環系制御機駆動装 置電源系手動ダンパ	655	655	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 循環系プロセス計算 機室手動ダンパ	705	705	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 循環系常用系針装 置手動ダンパ	955	955	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパA	1010	1410	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパB	1010	1410	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパC	1010	1410	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパD	1010	1410	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパE	1010	1410	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパF	1010	1410	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパG	1010	1410	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室給気ユニット入口 手動ダンパH	1010	1410	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室循環連絡ダクト隔 断手動ダンパ	2505	2005	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室循環連絡ダクト隔 断手動ダンパ	2505	2005	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 循環系資料室手動 ダンパ	φ 405	— ^{※1}	— ^{※1}													—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3A-安全補機開閉器 室排気ファン入口手 動ダンパ	φ 498	— ^{※1}	89													217	2.4	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	○	ケーシング 最大		
		3B-安全補機開閉器 室排気ファン入口手 動ダンパ	φ 498	— ^{※1}	89													217	2.4	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	— ^{※2}	○	ケーシング 最大		
		3A-安全補機開閉器 室給気ファン出口手 動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}													—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3B-安全補機開閉器 室給気ファン出口手 動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}																									
		3A-安全補機開閉器 室給気連絡ダクト隔 断手動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}																									
		3B-安全補機開閉器 室給気連絡ダクト隔 断手動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系A安全系針装 置室手動ダンパ	605	605	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系B安全系針装 置室手動ダンパ	605	605	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系常用系針装 置室手動ダンパ	905	905	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系1次系補機操 作室手動ダンパ	505	405	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系計算機室手動 ダンパ	805	805	— ^{※1}																									
		3-安全補機開閉器常 給気系常用系イン バータ室手動ダンパ	805	805	— ^{※1}																									

※1：ダンパの種類毎（角型・丸型も考慮）に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸（W×H）の長平方寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、電巻通過時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ（防火兼風量調整ダンパを含む）」以外のダンパから選定する。

※2：当該ダンパについては、電巻通過時は「開」であり、ベーン、シャフトには電巻による負圧は作用しない。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm) W × H	ベーン長さ (mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考※1
					応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度	応力値 (MPa)	許容応 力(MPa)	裕度		
風量調整 ダンパ	安全補機 閉閉器室 空調系	3-安全補機閉閉器室 給気系2次系計装整 室手動ダンパ	1005 × 1005	__#1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3-安全補機閉閉器室 給気系制御機駆動装 置電動室手動ダンパ	605 × 705	__#1											
	普通電室 排気系	3A-普通電室排気連 絡ダクト隔離手動ダ ンパ	555 × 455	__#1											
		3B-普通電室排気連 絡ダクト隔離手動ダ ンパ	555 × 455	__#1											
		3A-普通電室排気 ファン入口手動ダン パ	φ 448	__#1											
		3B-普通電室排気 ファン入口手動ダン パ	φ 448	__#1											
防火ダン パ(防火 兼風量調 整ダンパ を含む)	電動補助 給水ポン プ室換気 系	3A-電動補助給水ポ ンプ室給気系防火兼 風量調節ダンパ	605 × 605	__#1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3B-電動補助給水ポ ンプ室給気系防火兼 風量調節ダンパ	605 × 605	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系A電動補 助給水ポンプ室防火 ダンパ	755 × 755	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系B電動補 助給水ポンプ室防火 ダンパ	755 × 755	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系A制御用 空気圧縮機室入口防 火ダンパ	755 × 755	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系B制御用 空気圧縮機室入口防 火ダンパ	755 × 755	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系A制御用 空気圧縮機室出口防 火ダンパ	1005 × 1005	__#1											
		3-電動補助給水ポン プ室排気系B制御用 空気圧縮機室出口防 火ダンパ	1005 × 1005	__#1											
	制御用空 気圧縮機 室換気系	3A-制御用空気圧縮 機室給気系防火兼風 量調節ダンパ	455 × 455	__#1											
		3B-制御用空気圧縮 機室給気系防火兼風 量調節ダンパ	455 × 455	__#1											
		3A-制御用空気圧縮 機室排気系防火ダン パ	605 × 605	__#1											
		3B-制御用空気圧縮 機室排気系防火ダン パ	605 × 605	__#1											
	ディーゼ ル発電機 室換気系	3-ディーゼル発電機 室給気系Aディーゼ ル発電機室防火兼風 量調節ダンパ	1605 × 1205	__#1											
		3-ディーゼル発電機 室給気系Bディーゼ ル発電機室防火兼風 量調節ダンパ	1605 × 1205	__#1											
3A-ディーゼル発電 機室給気循環系防火 兼風量調節ダンパ		1405 × 1405	__#1												
3B-ディーゼル発電 機室給気循環系防火 兼風量調節ダンパ		1405 × 1405	__#1												
3A-ディーゼル発電 機室排気系防火ダン パ		2405 × 2405	__#1	55	217	3.9	__#2	__#2	○	ケーシング 最大					
3B-ディーゼル発電 機室排気系防火ダン パ		2405 × 2405	__#1	55	217	3.9	__#2	__#2	○	ケーシング 最大					
	3-ディーゼル発電機 室給気系Aサービス ダクト室防火ダンパ	φ 255	__#1	-	-	-	__#2	__#2	-	-	-	-	-	-	代表ダンパ の評価に包 絡

※1：ダンパの種類毎（角型・丸型も考慮）に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸（W×H）の長手方向寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、電巻通時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)」以外のダンパから選定する。

※2：当該ダンパについては、電巻通時は「開」であり、ベーン、シャフトには電巻による負圧は作用しない。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm)		ベーン長さ(mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考 ^{※1}
			W	H		応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度		
防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)	ディーゼル発電機室換気系	3-ディーゼル発電機室給気系Bサービスタンク室防火ダンパ	φ	255	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}			—	代表ダンパの評価に包括
		3-ディーゼル発電機室給気系Aディーゼル発電機補機室防火兼風量調整ダンパ	φ	455	— ^{※1}	34	217	6.3	— ^{※2}			— ^{※2}			○	ケーシング最大
		3-ディーゼル発電機室給気系Bディーゼル発電機補機室防火兼風量調整ダンパ	φ	455	— ^{※1}	34	217	6.3	— ^{※2}			— ^{※2}			○	ケーシング最大
	安全補機閉閉器室	3-安全補機閉閉器室循環系Aディーゼル発電機制御室防火兼風量調整ダンパ	505 × 405	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}			—	代表ダンパの評価に包括	
		3-安全補機閉閉器室循環系Bディーゼル発電機制御室防火兼風量調整ダンパ	505 × 405	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系1次系補機操作室入口防火兼風量調整ダンパ	505 × 505	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系A安全系計装盤室防火兼風量調整ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系B安全系計装盤室防火兼風量調整ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系MGセット室防火ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系原子炉トリップ遮断器室防火ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系A安全補機閉閉器室防火兼風量調整ダンパ	705 × 705	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系B安全補機閉閉器室防火兼風量調整ダンパ	805 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系電気連送格ダクト防火兼風量調整ダンパ	1005 × 1005	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室給気系電気連送格ダクト防火兼風量調整ダンパ	1005 × 1005	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
	安全補機閉閉器室空調系	3-安全補機閉閉器室循環系1次系補機操作室入口第1防火兼風量調整ダンパ	φ	155	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}			—	代表ダンパの評価に包括
		3-安全補機閉閉器室循環系MGセット制御室防火ダンパ	φ	155	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}				
		3-安全補機閉閉器室循環系A-EP室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}				
		3-安全補機閉閉器室循環系B-EP室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}				
		3-安全補機閉閉器室循環系1次系補機操作室入口第2防火兼風量調整ダンパ	φ	355	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}				
		3-安全補機閉閉器室給気系A安全系計装盤室防火ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室給気系B安全系計装盤室防火ダンパ	605 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室給気系A安全補機閉閉器室防火兼風量調整ダンパ	705 × 705	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室給気系B安全補機閉閉器室防火兼風量調整ダンパ	805 × 605	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					

※1：ダンパの種類毎(角型・丸型も考慮)に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸(W×H)の長平方向寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、電巻通過時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)」以外のダンパから選定する。

※2：当該ダンパについては、電巻通過時は「開」であり、ベーン、シャフトには電巻による負圧は作用しない。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm)		ベーン長さ(mm)	ケーシング			ベーン			シャフト			評価	備考 ^{※1}
			W	H		応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度		
防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)	安全補機閉器室空調系	3-安全補機閉器室給気系A安全系蓄電池室防火ダンパ	455	155	__#1				__#2			__#2			-	代表ダンパの評価に包括
		3-安全補機閉器室給気系B安全系蓄電池室防火ダンパ	455	155	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系A-EP整室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系B-EP整室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系Aディーゼル発電機制御整室防火兼風量調整ダンパ	505	405	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系Bディーゼル発電機制御整室防火兼風量調整ダンパ	505	405	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系1次系補機操作室防火ダンパ	505	405	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系常用系蓄電池室防火ダンパ	305	305	__#1				__#2			__#2				
		3-安全補機閉器室給気系原子炉トリップ遮断器整室防火ダンパ	305	205	__#1				__#2			__#2				
	蓄電池室排気系	3-蓄電池室排気系常用系蓄電池室防火兼風量調整ダンパ	605	205	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系A安全系蓄電池室防火ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系B安全系蓄電池室防火ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系A安全補機閉器室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系B安全補機閉器室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系A後備蓄電池室防火兼風量調整ダンパ	φ	305	__#1				__#2			__#2				
		3-蓄電池室排気系B後備蓄電池室防火兼風量調整ダンパ	φ	305	__#1				__#2			__#2				

※1：ダンパの種類毎(角型・丸型も考慮)に「ケーシング最大」及び「ベーン最大」のダンパを代表ダンパとして選定し評価する。「ケーシング最大」のダンパについては、角型ダンパはフランジ内寸(W×H)の長方向寸法が最長のもの、丸型ダンパは最大径のものとする。「ベーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ベーン長さが最長のものとする。ただし、「ベーン最大」については、竜巻通過時に開状態である「風量調整ダンパ」及び「防火ダンパ(防火兼風量調整ダンパを含む)」以外のダンパから選定する。

※2：当該ダンパについては、竜巻通過時は「開」であり、ベーン、シャフトには竜巻による負圧は作用しない。

(c) バタフライ弁

アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁については、設計上の圧力基準 JIS10k (=9806.65hPa (1kgf/cm²=980.665hPa)) の規定を満足しており、設計竜巻により生じる気圧差 (89hPa) に対して裕度は 110.1 倍であることから、設計竜巻により生じる気圧差に対して、構造健全性が維持され安全機能が維持できることを確認した。

(d) 丸ダクト

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重(自重) + 短期荷重(設計竜巻による内外差圧) による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	竜巻による気圧差荷重 による周方向応力 (MPa)			自重+竜巻による気圧差 荷重に対する制限			評価
				発生応力	許容値	裕度	発生値*	許容値	裕度	
アニユラス空 気浄化系	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 650×2.3t	SS400	1.3	6.1	4.6	0.3	0.9	3.0	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 500×2.3t	SS400	1	7	7.0	0.2	0.9	4.5	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 400×2.3t	SS400	0.8	9.9	12.3	0.1	0.9	9.0	○
	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 300×2.3t	SS400	0.6	11.6	19.3	0.1	0.9	9.0	○
格納容器空調 系	低圧丸ダクト(溶 接)	φ 500×2.3t	SS400	1	7	7.0	0.2	0.9	4.5	○
安全補機開閉 器室空調系	スパイラル中圧丸 ダクト-保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	4.8	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 500×1.6t	SGCC	1.5	49.1	32.7	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 500×1.2t	SGCC	1.9	8	4.2	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 500×1.2t	SGCC	1.9	7.6	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	4.7	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	6.8	2.3	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 400×0.6t	SGCC	3	6.5	2.1	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 350×0.6t	SGCC	2.6	5.4	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	5.2	2.2	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×1.6t	SGCC	0.8	30.7	38.3	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	9	9.0	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	7.4	7.4	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.1	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	4.8	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	6.8	3.5	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	2.3	1.2	0.83	0.9	1.08	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	6.2	5.1	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	3.1	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.9	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト-保温有	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.8	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	5.3	4.4	0.3	0.9	3.0	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	竜巻による気圧差荷重 による周方向応力 (MPa)			自重+竜巻による気圧差 荷重に対する制限			評価
				発生応力	許容値	裕度	発生値 [※]	許容値	裕度	
蓄電池室排気 系	低圧丸ダクト(溶 接)ー保温有	φ250×1.2t	SGCC	1	7.7	7.7	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル中圧丸 ダクトー保温有	φ450×0.6t	SGCC	3.4	9.7	2.8	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクトー保温有	φ450×0.6t	SGCC	3.4	9.7	2.8	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクトー保温有	φ450×0.6t	SGCC	3.4	6.4	1.8	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ400×0.6t	SGCC	3	5.9	1.9	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクトー保温有	φ400×0.6t	SGCC	3	5.1	1.7	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ300×0.6t	SGCC	2.3	2.9	1.2	0.8	0.9	1.1	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	6.8	3.5	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	2.9	1.5	0.7	0.9	1.2	○
ディーゼル発 電機室換気系	スパイラル中圧丸 ダクト	φ450×0.6t	SGCC	3.4	6.4	1.8	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル中圧丸 ダクト	φ1100×1.0t	SGCC	4.9	8	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ650×0.8t	SGCC	3.7	15	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低圧丸 ダクト	φ200×0.6t	SGCC	1.5	6	4.0	0.3	0.9	3.0	○

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値

(e) 角ダクト

設計竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力を算定し、許容値との比較により安全余裕を確認した。

イ. 排気筒（建屋内）

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気圧差荷重による面外 荷重により発生する 曲げ応力(MPa)			竜巻による気圧差荷重 による面内荷重に より発生する座屈応 力(MPa)			自重+竜巻による気圧差荷 重による面内荷重により発 生する曲げモーメント(kN· mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
排気筒	排気筒	2300×2600× 4.0t	SUS304	76.8	165	2.1	13	165	12.6	1110.9	468014.8	421.2	○
	排気筒	2300×2300× 4.0t	SUS304	76.5	165	2.1	11.5	165	14.3	8454.6	486747.3	57.5	○

※：発生値＝曲げ応力/許容値＋圧縮応力/許容値

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

ロ. 換気空調設備

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気圧差荷重による面外荷重により発生する曲げ応力(MPa)			竜巻による気圧差荷重による面内荷重により発生する座屈応力(MPa)			自重+竜巻による気圧差荷重による面内荷重により発生する曲げモーメント(kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
格納容器空調系	低圧角ダクト(溶接)	2300×2600× 4.5t	SS400	85.8	216	2.5	11.5	216	18.7	2825.2	711579	251.8	○
	低圧角ダクト(溶接)-保温有	700×1350× 3.2t	SS400	80.8	216	2.6	3.6	216	60.0	1719.4	103658.6	60.2	○
	低圧角ダクト(溶接)	600×1200× 3.2t	SS400	80.8	216	2.6	2.8	216	77.1	468.0	88881.8	189.9	○
補助建屋空調系	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	1300×1300× 1.0t	SGCC	114.8	189	1.6	60.6	189	3.1	1473.8	13854.8	9.4	○
	低圧角ダクト(溶接)	2300×2600× 4.5t	SS400	85.8	216	2.5	11.5	216	18.7	2825.2	711579	251.8	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	2100×2600× 1.6t	SGCC	102.6	189	1.8	76.5	189	2.4	824.2	47780.2	57.9	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	1150×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	61.8	189	3.0	900.3	11435	12.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	800×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	35.9	189	5.2	514.8	6510.8	12.6	○
	ハゼ折中圧角ダクト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	556.1	6510.8	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	600×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	26.9	189	7.0	248.6	4850.6	19.5	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	176.8	5091.4	28.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	288.6	5091.4	17.6	○
試料採取室空調系	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	225.1	4659.7	20.7	○
	低圧角ダクト(溶接)	600×1200× 3.2t	SS400	80.8	216	2.6	2.8	216	77.1	468.0	88881.8	189.9	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	700×1300× 1.0t	SGCC	114.8	189	1.6	32.6	189	5.7	429.3	8050	18.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	700×1200× 0.8t	SGCC	125	189	1.5	47.1	189	4.0	140.9	4730.3	33.5	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	400×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	18	189	10.5	90.8	3188.3	35.1	○
	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	600×800× 0.8t	SGCC	133.4	189	1.4	26.9	189	7.0	337.6	4850.6	14.3	○
	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	600×600× 1.2t	SGCC	105.2	189	1.7	9	189	21.0	474.8	12956.3	27.2	○
	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	600×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	35.9	189	5.2	333.4	2746.7	8.2	○
	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	500×800× 0.8t	SGCC	133.4	189	1.4	22.4	189	8.4	288.6	4018.2	13.9	○
電動補助給水ポンプ室換気系	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	200.6	2273.6	11.3	○
	ハゼ折低圧角ダクト-保温有	400×800× 0.8t	SGCC	133.4	189	1.4	18	189	10.5	73.0	3188.3	43.6	○
	ハゼ折中圧角ダクト	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.3	189	1.7	56	189	3.3	104.3	7065.8	67.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト	750×750× 1.2t	SGCC	97.1	189	1.9	14	189	13.5	316.2	15726.7	49.7	○
	ハゼ折中圧角ダクト	750×750× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	31.5	189	6.0	506.6	6280.6	12.3	○
	ハゼ折中圧角ダクト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	77.0	6012.1	78.0	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	146.4	5389.3	36.8	○
	ハゼ折中圧角ダクト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	42.6	5389.3	126.5	○
	ハゼ折中圧角ダクト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	10.7	5389.3	503.6	○
制御用空圧縮機室換気系	ハゼ折低圧角ダクト	750×1050× 0.8t	SGCC	140.6	189	1.3	44.1	189	4.2	23.6	5364.1	227.2	○
	ハゼ折低圧角ダクト	700×700× 0.6t	SGCC	108.8	189	1.7	48.8	189	3.8	16.3	2933.3	179.9	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	700×700× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	12.2	189	15.4	474.0	14834.3	31.2	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	283.6	6012.1	21.1	○
	ハゼ折中圧角ダクト-保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	459.4	6012.1	13.0	○

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気圧差荷重による面外荷重により発生する曲げ応力(MPa)			竜巻による気圧差荷重による面内荷重により発生する産屈応力(MPa)			自重+竜巻による気圧差荷重による面内荷重により発生する曲げモーメント(kN・mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
制御用空気 圧縮機室換 気系	ハゼ折中圧角ダ クト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	10.7	5389.3	503.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	500×500× 0.8t	SGCC	112.5	189	1.6	14	189	13.5	20.2	4659.7	230.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	292.8	2273.6	7.7	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	700×700× 0.6t	SGCC	108.8	189	1.7	48.8	189	3.8	16.3	2933.3	179.9	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	500×500× 0.6t	SGCC	95.9	189	1.9	24.9	189	7.5	11.9	2454.9	206.2	○
ディーゼル 発電機室換 気系	低圧角ダクト(溶 接)	900×1300× 1.6t	SGCC	88.7	189	2.1	16.4	189	11.5	34.4	30547.5	888.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	70.3	189	2.6	6.6	13791.1	2089.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	70.3	189	2.6	371.0	13791.1	37.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1400×1400× 1.0t	SGCC	116.1	189	1.6	70.3	189	2.6	378.9	13791.1	36.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1200×1600× 1.0t	SGCC	118.5	189	1.5	68.8	189	2.7	410.0	11224.3	27.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1100×1100× 0.8t	SGCC	116.6	189	1.6	67.8	189	2.7	58.4	7081.3	121.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1050×1050× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	61.8	189	3.0	125.5	7094.8	56.5	○
安全補機開 閉器室空調 系	低圧角ダクト(溶 接)-保温有	2000×2800× 4.5t	SS400	87.5	245	2.8	11.3	245	21.6	1815.5	643242.3	354.3	○
	低圧角ダクト(溶 接)-保温有	1500×2500× 3.2t	SGCC	91.7	189	2.0	13.2	189	14.3	798.9	202402.1	253.3	○
	低圧角ダクト(溶 接)-保温有	1500×1900× 3.2t	SGCC	89.3	189	2.1	10	189	18.9	2516.8	217010.1	86.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	2000×2500× 3.2t	SGCC	88.3	189	2.1	17.5	189	10.8	1570.5	277577.8	176.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	2000×2500× 3.2t	SGCC	88.3	189	2.1	17.5	189	10.8	2630.2	277577.8	105.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	2000×2500× 2.3t	SGCC	93.3	189	2.0	33.9	189	5.5	1504.1	129518.8	86.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1500×2500× 3.2t	SGCC	88.3	189	2.1	13.2	189	14.3	1089.2	202402.1	185.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1500×2100× 1.6t	SGCC	101.9	189	1.8	44.1	189	4.2	2249.9	42913.1	19.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1500×2100× 1.2t	SGCC	112.9	189	1.6	78.4	189	2.4	2028.8	18411	9.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1500×1650× 1.0t	SGCC	119.5	189	1.5	88.7	189	2.1	1777.7	12199.6	6.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1500×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	80.7	189	2.3	1383	13479.7	9.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1500×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	80.7	189	2.3	605.8	13479.7	22.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1300×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	69.9	189	2.7	263.2	12422	47.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1200×2100× 1.6t	SGCC	101.9	189	1.8	35.3	189	5.3	854.0	35034.6	41.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1200×2100× 1.2t	SGCC	112.9	189	1.6	62.7	189	3.0	769.8	16179.6	21.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1150×1150× 0.8t	SGCC	121.3	189	1.5	74.1	189	2.5	290.2	7017.7	24.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1150×1150× 0.8t	SGCC	120.7	189	1.5	74.1	189	2.5	1289.2	7017.7	5.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1040×1760× 1.0t	SGCC	120.3	189	1.5	65.6	189	2.8	534.2	9565.2	17.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	1000×1400× 1.6t	SGCC	98	189	1.9	19.6	189	9.6	1245.8	33495.4	26.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1000×1400× 1.0t	SGCC	116.6	189	1.6	50.2	189	3.7	626.1	10702.8	17.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1000×1000× 1.2t	SGCC	89.8	189	2.1	24.9	189	7.5	935.6	19639.3	20.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	56	189	3.3	592.5	7065.8	11.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	56	189	3.3	1333.2	7065.8	5.2	○

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気 圧差荷重による面外 荷重により発生する 曲げ応力(MPa)			竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する座屈応 力(MPa)			自重+竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する曲げモー メント(kN・ mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
				安全補機開 閉器室空調 系	ハゼ折中圧角ダ クト	1000×1000× 0.8t	SGCC	107.3	189	1.7	56	189	
	ハゼ折中圧角ダ クト	950×950× 0.8t	SGCC	109.6	189	1.7	50.6	189	3.7	85.6	6986	81.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 1.2t	SGCC	93.8	189	2.0	20.2	189	9.3	496.8	18188.9	36.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 1.2t	SGCC	93.8	189	2.0	20.2	189	9.3	961.6	18188.9	18.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	45.4	189	4.1	666.0	6867.9	10.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	45.4	189	4.1	456.2	6867.9	15.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	45.4	189	4.1	256.6	6867.9	26.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	45.4	189	4.1	712.7	6867.9	9.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	900×900× 0.8t	SGCC	111.6	189	1.6	45.4	189	4.1	254.2	6867.9	27.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	900×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	50.4	189	3.7	187.6	6462.6	34.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	890×1560× 1.0t	SGCC	118.7	189	1.5	49.8	189	3.7	469.1	9185.0	19.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×1200× 0.8t	SGCC	125	189	1.5	53.8	189	3.5	687.2	5269.0	7.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×1100× 0.8t	SGCC	117.2	189	1.6	49.3	189	3.8	563.5	5534.7	9.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×1100× 0.8t	SGCC	117.2	189	1.6	49.3	189	3.8	241.0	5534.7	22.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	44.8	189	4.2	316.8	5824.8	18.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	40.4	189	4.6	587.3	6143.4	10.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×900× 0.8t	SGCC	112.1	189	1.6	40.4	189	4.6	506.4	6143.4	12.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×900× 0.8t	SGCC	111.6	189	1.6	40.4	189	4.6	102.4	6143.4	59.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 1.6t	SGCC	87.4	189	2.1	9	189	21.0	135.1	30711.4	227.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×800× 1.2t	SGCC	96.7	189	1.9	16	189	11.8	913.1	16578.4	18.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	52.0	6510.8	125.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	800×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	35.9	189	5.2	290.1	6510.8	22.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	800×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	35.9	189	5.2	553.6	6510.8	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	775×1660× 1.2t	SGCC	110.9	189	1.7	32.1	189	5.8	458.0	12617.2	27.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	750×850× 0.8t	SGCC	113.7	189	1.6	35.7	189	5.2	254.9	5932.7	23.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	750×750× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	31.5	189	6.0	638.5	6280.6	9.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×1060× 0.8t	SGCC	113.6	189	1.6	41.6	189	4.5	174.4	5019.7	28.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×1060× 0.8t	SGCC	113.6	189	1.6	41.6	189	4.5	151.9	5019.7	33.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×700× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	12.2	189	15.4	549.8	14834.3	26.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	283.6	6012.1	21.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	527.4	6012.1	11.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	700×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	27.5	189	6.8	492.8	6012.1	12.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	41.4	6012.1	145.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	268.2	6012.1	22.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	700×700× 0.8t	SGCC	114.9	189	1.6	27.5	189	6.8	520.2	6012.1	11.5	○

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気 圧差荷重による面外 荷重により発生する 曲げ応力 (MPa)			竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する座屈応 力 (MPa)			自重+竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する曲げモー メント (kN· mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
安全補機開 閉器室空調 系	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	700×1200× 0.8t	SGCC	125	189	1.5	47.1	189	4.0	403.5	4730.3	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	650×650× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	10.6	189	17.8	846.8	13904.9	16.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	650×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	23.7	189	7.9	368.8	5715.6	15.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	650×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	23.7	189	7.9	491.0	5715.6	11.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	650×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	23.7	189	7.9	491.0	5715.6	11.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	650×650× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	23.7	189	7.9	326.4	5715.6	17.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×1500× 1.0t	SGCC	118	189	1.6	32.3	189	5.8	1048.5	6645.3	6.3	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×1500× 1.0t	SGCC	117.5	189	1.6	32.3	189	5.8	646.1	6645.3	10.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×1000× 0.8t	SGCC	107.8	189	1.7	33.6	189	5.6	514.8	4463.3	8.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×800× 1.2t	SGCC	96.7	189	1.9	12	189	15.7	577.6	11939.3	20.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	26.9	189	7.0	358.0	4850.6	13.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	26.9	189	7.0	559.4	4850.6	8.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	26.9	189	7.0	412.5	4850.6	11.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	176.8	5091.4	28.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	23.6	189	8.0	427.7	5091.4	11.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×600× 1.2t	SGCC	103.2	189	1.8	9	189	21.0	784.9	12956.3	16.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	291.7	5389.3	18.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	202.6	5389.3	26.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	600×600× 0.8t	SGCC	120.3	189	1.5	20.2	189	9.3	184.7	5389.3	29.1	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	550×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	24.7	189	7.6	346.0	4432.8	12.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	550×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	24.7	189	7.6	406.1	4432.8	10.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	550×800× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	24.7	189	7.6	173.6	4432.8	25.5	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	550×800× 0.8t	SGCC	114.3	189	1.6	24.7	189	7.6	118.4	4432.8	37.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	550×550× 0.8t	SGCC	116.5	189	1.6	17	189	11.1	27.3	5035.6	184.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	500×850× 0.8t	SGCC	113.7	189	1.6	23.8	189	7.9	101.6	3943.8	38.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	500×700× 0.8t	SGCC	115.4	189	1.6	19.6	189	9.6	267.9	4186.9	15.6	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	500×650× 1.2t	SGCC	98	189	1.9	8.1	189	23.3	455.6	10232.7	22.4	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	500×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	18.2	189	10.3	328.2	4284.2	13.0	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	500×650× 0.8t	SGCC	114.8	189	1.6	18.2	189	10.3	235.0	4284.2	18.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト	500×500× 0.8t	SGCC	112.5	189	1.6	14	189	13.5	224.0	4659.7	20.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保溫有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	89.2	2273.6	25.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	700×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	48.8	189	3.8	171.6	2933.3	17.0	○
ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	700×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	48.8	189	3.8	119.2	2933.3	24.6	○	
ハゼ折低圧角ダ クト	700×700× 0.6t	SGCC	152.5	189	1.2	48.8	189	3.8	48.5	2933.3	60.4	○	

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気 圧差荷重による面外 荷重により発生する 曲げ応力(MPa)			竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する座屈応 力(MPa)			自重+竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する曲げモー メント(kN・ mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
				安全補機開 閉器室空調 系	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	650×650× 0.6t	SGCC	147.5	189	1.2	42.1	189	
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×800× 0.8t	SGCC	132.8	189	1.4	26.9	189	7.0	34.3	4850.6	141.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	600×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	41.8	189	4.5	142.8	2546.3	17.8	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 1.2t	SGCC	104.8	189	1.8	9	189	21.0	143.0	12956.3	90.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	600×600× 1.2t	SGCC	105.2	189	1.7	9	189	21.0	509.3	12956.3	25.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	600×600× 1.2t	SGCC	105.2	189	1.7	9	189	21.0	474.8	12956.3	27.2	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	600×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	35.9	189	5.2	358.5	2746.7	7.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	600×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	35.9	189	5.2	148.2	2746.7	18.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	131.0	2746.7	20.9	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	253.6	2746.7	10.8	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	600×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	35.9	189	5.2	269.7	2746.7	10.1	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	550×760× 0.8t	SGCC	131.3	189	1.4	23.4	189	8.0	93.1	4511.9	48.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	550×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	30.2	189	6.2	121.6	2612.3	21.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	532×532× 0.6t	SGCC	133.6	189	1.4	28.2	189	6.7	69.0	2558.9	37.0	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	500×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	29.9	189	6.3	94.7	2280.5	24.0	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	500×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	29.9	189	6.3	168.2	2280.5	13.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	500×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	24.9	189	7.5	240.6	2454.9	10.2	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	500×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	24.9	189	7.5	75.5	2454.9	32.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	500×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	24.9	189	7.5	169.8	2454.9	14.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	456×456× 0.6t	SGCC	124.3	189	1.5	20.7	189	9.1	59.7	2296.9	38.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	450×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	31.4	189	6.0	344.1	1932.4	5.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	450×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	24.7	189	7.6	154.0	2112.0	13.7	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	450×450× 1.2t	SGCC	96.6	189	1.9	5.1	189	37.0	387.7	9947.6	25.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	89.2	2273.6	25.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	200.6	2273.6	11.3	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	27.9	189	6.7	203.6	1722.0	8.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	23.9	189	7.9	154.0	1812.1	11.7	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	21.9	189	8.6	118.8	1864.5	15.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 1.6t	SGCC	92.8	189	2.0	2.8	189	67.5	193.4	15171.5	78.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 1.2t	SGCC	99.4	189	1.9	5	189	37.8	243.9	8409.2	34.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 1.2t	SGCC	99.4	189	1.9	5	189	37.8	597.4	8409.2	14.0	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 1.2t	SGCC	99.4	189	1.9	5	189	37.8	361.4	8409.2	23.2	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	20	189	9.4	78.4	1922.7	24.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	20	189	9.4	356.5	1922.7	5.3	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保溫有	400×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	20	189	9.4	68.3	1922.7	28.1	○

系統名	ダクト種別	ダクトサイズ (mm)	ダクト 材質	自重+竜巻による気 圧差荷重による面外 荷重により発生する 曲げ応力 (MPa)			竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する座屈応 力 (MPa)			自重+竜巻による気圧差荷 重による面内荷重に より発生する曲げモー メント (kN・ mm)			評価
				発生 応力	許容値	裕度	発生 応力	許容値	裕度	発生曲げ モーメント	許容値	裕度	
安全補機開 閉器室空調 系	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	400×400× 0.6t	SGCC	117.4	189	1.6	16	189	11.8	150.7	2072.3	13.7	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	400×400× 0.6t	SGCC	117.4	189	1.6	16	189	11.8	124.6	2072.3	16.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	350×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	19.2	189	9.8	139.3	1618.1	11.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	300×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	20.9	189	9.0	86.7	1295.1	14.9	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	300×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	18	189	10.5	139.3	1345.0	9.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	300×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	16.5	189	11.4	131.9	1374.6	10.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	300×300× 0.6t	SGCC	105.2	189	1.7	9	189	21	77.5	1619.5	20.8	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	250×600× 0.6t	SGCC	141.7	189	1.3	15	189	12.6	84.5	1114.3	13.1	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	200×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	11	189	17.1	117.7	899.0	7.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	200×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	11	189	17.1	29.5	899.0	30.4	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	200×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	11	189	17.1	57.7	899.0	15.5	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	200×300× 0.6t	SGCC	105.2	189	1.7	6	189	31.5	65.6	1008.4	15.3	○
ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	150×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	6.8	189	27.7	8.7	685.5	78.7	○	
蓄電池室排 気系	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	450×450× 1.2t	SGCC	96.6	189	1.9	5.1	189	37	29.5	9947.6	337.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	34.9	2273.6	65.1	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	450×550× 0.6t	SGCC	135.7	189	1.3	24.7	189	7.6	55.5	2112	38.0	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	450×450× 0.6t	SGCC	123.6	189	1.5	20.2	189	9.3	139.3	2273.6	16.3	○
	ハゼ折低圧角ダ クト	200×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	12	189	15.7	20.5	885.8	43.2	○
中央制御室 空調系	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	99.3	5389.3	54.2	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	600×600× 0.8t	SGCC	120.8	189	1.5	20.2	189	9.3	245.1	5389.3	21.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	500×500× 1.2t	SGCC	98.4	189	1.9	6.3	189	30.0	855.2	10972	12.8	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	225.1	4659.7	20.7	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	500×500× 0.8t	SGCC	113	189	1.6	14	189	13.5	95.8	4659.7	48.6	○
	ハゼ折低圧角ダ クト-保温有	500×500× 0.6t	SGCC	129.7	189	1.4	24.9	189	7.5	169.8	2454.9	14.4	○

(f) ファン

機器名称	ケーシング		応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
	内径 (mm)	板厚 (mm)				
電動補助給水ポンプ室給気ファン	691	4.5	1	240	240.0	○
制御用空気圧縮機室給気ファン	691	4.5	1	240	240.0	○
ディーゼル発電機室給気ファン	1088	6	1	240	240.0	○
安全補機開閉器室給気ファン	4138	6	4	240	60.0	○
安全補機開閉器室排気ファン	493.6	3.2	1	240	240.0	○
蓄電池室排気ファン	591	4.5	1	240	240.0	○

注：網掛けは最も裕度の小さいものを示す。

(g) 空調ユニット

機器名称	ユニット外板		応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価
	長さ (mm)	板厚 (mm)				
安全補機開閉器室給気ユニット	2000×690	3.2	207	360	1.7	○

(3) 設計飛来物による影響評価結果

評価対象施設	設計飛来物による影響評価				
	最小板厚	飛来物侵入箇所 (想定)	飛来物の 種類	鋼板の 必要最小厚さ	評価 結果
原子炉冷却海水ポンプ (モータ含む)	3.2mm (モータ部 ケーシング)	設置建屋(上屋) の天井・壁	砂利 鋼製パイプ 鋼製材	■砂利 1mm (水平) 1mm (鉛直) ■鋼製パイプ 18mm (水平) 11mm (鉛直) ■鋼製材 37mm (水平) 22mm (鉛直)	※1
排気筒 (建屋外)	4.0mm	— (屋外設置)			※2
蓄熱室加熱器	1.0mm 以下 (ヒータ エレメント発熱管:厚 さ1mmの素管を 絞り加工)	設置区画に隣接 する区画の扉・ 換気口			※1
原子炉補機冷却海水ポ ンプ出口ストレーナ	14.0mm	設置建屋(上屋) の天井・壁			※1
配管および弁 (原子炉 補機冷却海水系統)	3.2mm	設置建屋(上屋) の天井・壁			※1
原子炉補機冷却水サー ジタンク他	6.0mm	設置区画の扉			※1
配管および弁 (主蒸気 管室内)	3.0mm	設置区画のプロ アアウトパネル・上部換気口			※1
制御用空気系統配管	3.4mm	設置区画の扉			※1
燃料移送装置	9.0mm	設置建屋(上屋) の壁			※3
使用済燃料ピットクレ ーン	16.0mm	設置建屋(上屋) の壁			※3
ディーゼル発電機排気 消音器	6.0mm	— (屋外設置)			※4
主蒸気逃がし弁消音器	4.5mm	— (屋外設置)			※4
主蒸気安全弁排気管	9.5mm	— (屋外設置)			※4
タービン動補助給水ポ ンプ排気管	7.8mm	— (屋外設置)			※4
ディーゼル発電機燃料 油貯油槽ベント管	8.6mm	— (屋外設置)			※4

※1: 設計飛来物が当該施設に衝突した場合、貫通等の損傷により安全機能を喪失する可能性があることから、飛来物防護対策を実施する。

※2: 当該施設に設計飛来物が衝突した場合、貫通等の損傷が生じる可能性があるが、竜巻を起因として当該施設にその安全機能を期待する放射性物質の放出を伴う事故 (LOCA 等) は発生しないため、竜巻襲来時において当該施設に求められる安全機能要求はないと考える。また、設計飛来物による当該施設の損傷を確認した場合は、プラントを停止して補修を実施する (補足説明資料 2 7. 参照)。

※3: 当該施設にて燃料集合体の取扱い作業を行っている際に設計飛来物が衝突した場合は、当該設備が貫通等の損傷を受けることにより、取扱い中の燃料集合体が損傷する可能性があることから、竜巻襲来が予想される場合は、燃料移送装置にて移送中の燃料集合体は設計飛来物の影響を受けない原子炉格納容器 (原子炉建屋) 内に移動した上で、使用済燃料ピットクレーンにて取扱い中の燃料集合体は使用済燃料ラック内に戻した上で、当該作業を一時中断する運用とすることから、当該設備に設計飛来物が衝突して貫通等の損傷を受けたとしても、燃料集合体の健全性は維持され安全機能に影響を与えない (補足説明資料 2 4. 参照)。

※4: 設計飛来物が当該施設に衝突した場合、貫通等の損傷により、竜巻防護施設の安全機能に影響を与える可能性があることから、補修を実施する。

26. 飛来物対策について

泊発電所構内には、屋外に保管されている各種資機材、車両等、飛来物になり得る物が存在している。設計竜巻によりこれら飛来物が評価対象施設（竜巻防護施設（設備）または竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設）に衝突した場合は、貫通等の損傷により安全機能の維持に影響を与えることも考えられることから、以下の対策を実施する。

(1) 基本方針

a. 飛来物発生防止対策

飛来物になり得る物を極力減らすことが重要であるため、次の事項を遵守し飛散防止を図る。

(a) 作業等で使用しないもの

- ・ 発電所構内に置かない（撤去する）。

(b) 作業等で使用するもの

- ・ アンカーにより建屋等堅牢な構造物等へ固縛する。
- ・ 十分な重さのウェイトを取付ける、または複数纏めて固縛あるいは固定する。
- ・ 業務車両は竜巻襲来が予想される場合に固縛する、または速やかに移動できる体制を取る。
- ・ 業務車両以外の車両は構内への入構を禁止する。
- ・ 重大事故等対処設備は必要時の利用可能性を確保しつつ、十分な重さのウェイトを取付ける、またはアンカーにより地面へ固縛する。
- ・ 飛散および横滑りを考慮して、竜巻防護施設を内包する建屋および竜巻防護施設を内包する建屋の上屋である循環水ポンプ建屋（以下「竜巻防護施設を内包する建屋等」という。）から十分な離隔距離を確保する。

b. 竜巻防護対策

上記 a. 項の飛来物発生防止対策を確実に実施するものとするが、作業のために設置している仮設足場等、飛来物になり得る物をゼロにするのは困難と考えられるため、評価対象施設への設計飛来物による影響を評価し、設計飛来物が衝突した場合に安全機能を喪失する可能性のある設備については、安全機能の維持に影響を与えないよう、設備による竜巻防護対策として、防護ネット、防護鋼板等（竜巻飛来物防護対策設備）の設置により当該設備（以下「防護対象設備」という。）を飛来物から防護する、あるいは運用による竜巻防護対策として、竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中断等を行う。

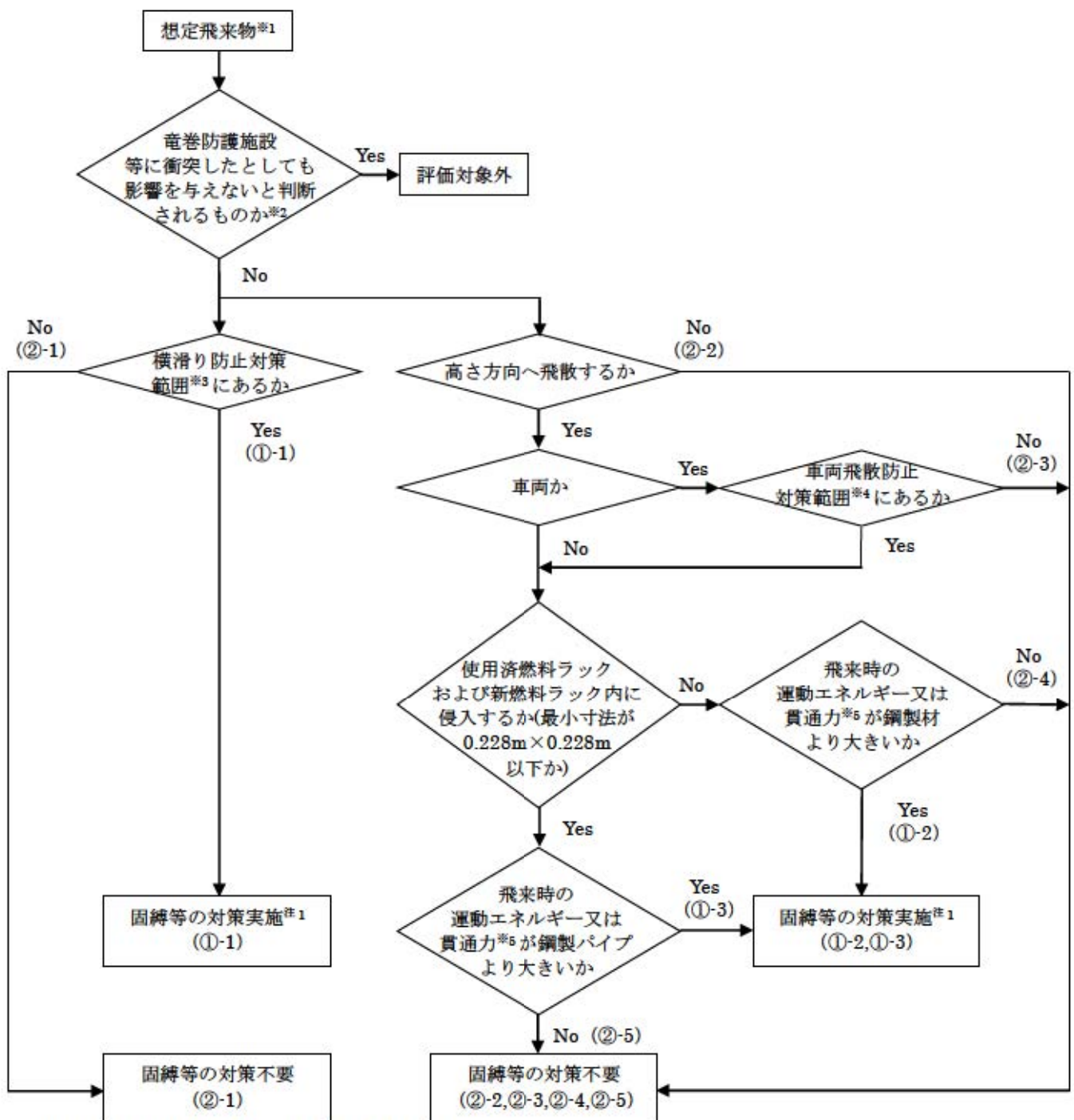
(2) 飛来物発生防止対策

a. 対策要否評価

泊発電所における想定飛来物については、敷地内において現地調査を実施した上で抽出している（補足説明資料12. 参照）。

これら想定飛来物については、飛散または横滑りにより、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないよう、図-1 に示す飛来物発生防止対策要否評価フローに基づいて固縛等の対策要否を評価する（今後新たに屋外に保管または設置する物についても同様に評価する）。

表-1 に飛来物発生防止対策要否一覧を示す。



- ※1：今後新たに屋外に保管または設置する物を含む。
- ※2：非金属製で明らかに柔らかいものや、金属製であっても、竜巻防護施設等に衝突した際に自身（想定飛来物）が変形すると容易に予想される薄板形状（数mm以下）のもの等。
- ※3：竜巻防護施設を内包する建屋等から190m（高さ方向へ飛散しないが横滑りする物の最長の移動距離を踏まえて設定）の範囲。
- ※4：竜巻防護施設を内包する建屋等から350m（高さ方向へ飛散する車両の最長の飛散距離を踏まえて設定）の範囲。
- ※5：BRL式から算出した想定飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さ。
- 注1：設置状況（アンカー固定や、竜巻防護施設を内包する建屋等との間に頑健な物理障壁がある等）により、飛散または横滑りしない、あるいは飛散または横滑りしても竜巻防護施設等に衝突しない場合は、固縛等の対策は不要とする。
- 注2：作業等で使用するなど運転手が付近に常駐している車両（以下「停車車両」という。）については、上記のフローに拠らず、竜巻襲来が予想される場合は、車両飛散防止対策範囲外に退避する。

図-1 飛来物発生防止対策要否評価フロー

表-1 飛来物発生防止対策要否一覧

主な想定飛来物	サイズ(m) (長さ×幅×高さ)	質量 (kg)	衝突した 場合の影 響有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影響回避対策		飛散影響回避対策				
						横滑り防 止対策範 囲にある か	対策 要否	高さ方 向への 飛散有 無	車両か	車両飛 散防止 対策範 囲にあ るか	最小寸法 が0.228m ×0.228m 以下か	対策 要否
							評価 フロー					評価 フロー
有：○ 無：×	有：○ 無：×	要：○ 否：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×					
鋼製パイプ（設計飛来物）	2.0×0.05×0.05	8.4	—	11	18	—	—	—	—	—	—	—
鋼製材（設計飛来物）	4.20×0.30×0.20	135	—	220	37	—	—	—	—	—	—	—
自転車	1.90×1.10×0.60	25	○	125	3	○	○	×	—	×	×	×
							①-1					②-4
脚立・踏み台	0.59×0.49×0.32	30	○	53	3	×	×	×	—	×	×	×
							②-1					②-4
照明	0.50×0.50×0.46	6	○	30	2	○	○	×	—	×	×	×
							①-1					②-4
スピーカー	0.60×0.60×0.60	4	○	20	1	×	×	×	—	×	×	×
							②-1					②-4
コーン	0.47×0.84×1.10	39	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							対象外					対象外
アンテナ	1.00×1.00×1.50	7	○	35	1	×	×	×	—	×	×	×
							②-1					②-4
屋外カメラ	0.30×0.20×0.70	10	○	50	4	×	×	×	—	×	×	×
							②-1					②-4
バリケード	0.45×1.20×0.45	30	○	150	5	○	○	×	—	×	×	×
							①-1					②-4

主な想定飛来物	サイズ(m) (長さ×幅×高さ)	質量 (kg)	衝突した 場合の影 響有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影響回避対策		飛散影響回避対策				
						横滑り防 止対策範 囲にある か	対策 要否	高さ方 向への 飛散有 無	車両か	車両飛 散防止 対策範 囲にあ るか	最小寸法 が0.228m ×0.228m 以下か	対策 要否
							評価 フロー					評価 フロー
有：○ 無：×	有：○ 無：×	要：○ 否：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×					
鋼製パイプ（設計飛来物）	2.0×0.05×0.05	8.4	－	11	18	－	－	－	－	－	－	－
鋼製材（設計飛来物）	4.20×0.30×0.20	135	－	220	37	－	－	－	－	－	－	－
グレーチング	3.60×2.30×0.20	200	○	1000	11	×	×	○	×	－	×	○ ①-2
マンホール蓋	0.65×0.65×0.01	32	○	45	11	○	○	○	×	－	×	×
アーケード屋根	2.91×2.40×0.0008	20	×	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ベンチ	3.00×3.00×0.04	115	○	575	14	○	○	○	×	－	×	○ ①-2
看板	4.00×1.00×0.003	32.4	×	－	－	－	－	－	－	－	－	－
カーブミラー	1.20×1.20×0.04	25	○	125	8	×	×	○	×	－	×	×
柵	2.33×0.50×0.004	38.8	○	77	29	○	○	○	×	－	×	×
空調室外機	0.77×0.86×1.33	220	○	309	4	○	○	○	×	－	×	○ ①-2

主な想定飛来物	サイズ(m) (長さ×幅×高さ)	質量 (kg)	衝突した 場合の影 響の有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影響回避対策		飛散影響回避対策				
						横滑り防 止対策範 囲にある か	対策 要否	高さ方 向への 飛散有 無	車両か	車両飛 散防止 対策範 囲にあ るか	最小寸法 が0.228m ×0.228m 以下か	対策 要否
							評価 フロー					評価 フロー
有：○ 無：×	有：○ 無：×	要：○ 否：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×					
鋼製パイプ（設計飛来物）	2.0×0.05×0.05	8.4	－	11	18	－	－	－	－	－	－	－
鋼製材（設計飛来物）	4.20×0.30×0.20	135	－	220	37	－	－	－	－	－	－	－
プレハブ小屋	4.50×3.50×2.50	1735	○	2919	5	○	○ ①-1	○	×	－	×	○ ①-2
消火器・消火栓	0.30×0.70×1.50	50	○	106	4	○	○ ①-1	○	×	－	×	×
鋼製かご	0.64×1.84×1.20	150	○	289	4	○	○ ①-1	○	×	－	×	○ ①-2
ドラム缶	0.60×0.60×0.90	245	○	238	5	×	×	○	×	－	×	○ ①-2
鋼板	6.10×1.54×0.021	1900	○	1757	57	○	○ ①-1	○	×	－	×	○ ①-2
コンクリート板	1.34×0.67×0.10	210	○	186	9	×	×	○	×	－	×	×
鋼管	28.15×0.265×0.265	600	○	692	21	×	×	○	×	－	×	○ ①-2
カードル	1.01×1.39×1.41	1500	○	1141	7	○	○ ①-1	×	×	－	×	○ ①-2

主な想定飛来物	サイズ(m) (長さ×幅×高さ)	質量 (kg)	衝突した 場合の影 響有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影響回避対策		飛散影響回避対策				
						横滑り防 止対策範 囲にある か	対策 要否 評価 フロー	高さ方 向への 飛散有 無	車両か	車両飛 散防止 対策範 囲にあ るか	最小寸法 が0.228m ×0.228m 以下か	対策 要否 評価 フロー
鋼製パイプ（設 計飛来物）	2.0×0.05×0.05	8.4	－	11	18	－	－	－	－	－	－	－
鋼製材（設計飛 来物）	4.20×0.30×0.20	135	－	220	37	－	－	－	－	－	－	－
コンクリートブ ロック	0.25×1.00×0.22	55	○	67	5	×	×	○	×	－	×	×
							②-1					②-4
ケーブルドラム	2.42×2.42×1.16	2650	○	2228	8	×	×	○	×	－	×	○
							②-1					①-2
発電機	0.98×2.09×1.55	1690	○	1421	8	×	×	○	×	－	×	○
							②-1					①-2
コンテナ	2.44×12.20×2.60	5500	○	7436	11	×	×	○	×	－	×	○
							②-1					①-2
電気盤	3.50×2.40×2.20	1830	○	2380	6	○	○	○	×	－	×	○
							①-1					①-2
タンク	3.08×9.20×3.46	95504.8	○	4776	7	○	○	×	－	－	－	×
							①-1					②-2
鋼材	7.10×3.05×0.63	4340	○	4202	14	×	×	○	×	－	×	○
							②-1					①-2
鋼製ステップ	3.00×3.00×2.00	200	○	1000	3	×	×	○	×	－	×	○
							②-1					①-2

主な想定飛来物	サイズ(m) (長さ×幅×高さ)	質量 (kg)	衝突した 場合の影 響の有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影響回避対策		飛散影響回避対策				
						横滑り防 止対策範 囲にある か	対策 要否 評価 フロー	高さ方 向への 飛散有 無	車両か	車両飛 散防止 対策範 囲にあ るか	最小寸法 が0.228m ×0.228m 以下か	対策 要否 評価 フロー
鋼製パイプ（設計飛来物）	2.0×0.05×0.05	8.4	—	11	18	—	—	—	—	—	—	—
鋼製材（設計飛来物）	4.20×0.30×0.20	135	—	220	37	—	—	—	—	—	—	—
重機	12.80×2.80×3.20	20700	○	17399	16	○	○ ①-1	○	○	○	×	○ ①-2
放水砲	2.00×4.70×1.00	3000	○	2774	10	○	○ ①-1	○	×	—	×	○ ①-2
トラック	11.93×2.49×2.66	15764	○	13250	16	×	×	○	○	×	—	×
タンクローリー	6.27×2.20×2.40	7730	○	6498	11	○	○ ①-1	○	○	○	×	○ ①-2
自動車	5.50×1.88×2.90	2770	○	3603	7	○	○ ①-1	○	○	○	×	○ ①-2
発電機車	20.10×7.50×8.25	58120	○	58847	14	○	○ ①-1	○	○	○	×	○ ①-2
ポンプ車	8.79×2.50×2.88	12450	○	10465	13	○	○ ①-1	○	○	○	×	○ ①-2
仮設資機材	6.00×5.00×5.60	14000	○	14175	8	○	○ ①-1	○	×	—	×	○ ①-2

注：設置状況（アンカー固定や、竜巻防護施設を内包する建屋等との間に頑健な物理障壁がある等）により、飛散または横滑りしない、あるいは飛散または横滑りしても竜巻防護施設等に衝突しない場合は、固縛等の対策は不要とする。

図-1の評価フローに基づき、車両以外の物と車両に区分して対策要否を整理すると下表のとおりとなる。

なお、車両飛散防止対策範囲及び横滑り防止対策範囲については、以下のとおり設定している。

■車両飛散防止対策範囲

高さ方向へ飛散する車両の最長の飛散距離は346mであるため、車両飛散防止対策範囲は竜巻防護施設を内包する建屋等から350mの範囲とする（表-3参照）。

■横滑り防止対策範囲

高さ方向へ飛散しないが横滑りする物の最長の移動距離は、空力パラメータが0.0028の時の移動距離（181m）となるため、横滑り防止対策範囲は竜巻防護施設を内包する建屋等から190mの範囲とする。

想定飛来物 ^{※1}	保管または設置場所 (作業場所)	飛散影響を回避する ための対策	横滑り影響を回避 するための対策
高さ方向へ飛散する物（車両除く）	車両飛散防止対策範囲	実施 ^{※2}	考慮 ^{※2,3}
	車両飛散防止対策範囲外	実施 ^{※2}	不要
高さ方向へ飛散しない物（車両除く）	横滑り防止対策範囲	不要	実施 ^{※2}
	横滑り防止対策範囲外	不要	不要
高さ方向へ飛散する車両	車両飛散防止対策範囲	実施 ^{※2}	考慮 ^{※2,3}
	車両飛散防止対策範囲外	不要	不要
高さ方向へ飛散しない車両	横滑り防止対策範囲	不要	実施 ^{※2}
	横滑り防止対策範囲外	不要	不要
停車車両	車両飛散防止対策範囲	実施 ^{※4}	不要
	車両飛散防止対策範囲外	不要	不要

※1：図-1の評価フローにより固縛等の対策が必要と評価した想定飛来物

※2：設置場所等を考慮して、①固縛（業務車両のうち、一時的に固縛を解除して使用している停車車両以外の車両（警備車両等）に対する竜巻襲来が予想される場合の固縛を含む）、②固定、③竜巻防護施設からの離隔の中から、適切な対策を行うものとする。また、作業等で使用しないものについては、発電所構内から撤去する。

※3：横滑り防止対策範囲に保管または設置する場合



※4：竜巻襲来が予想される場合は車両飛散防止対策範囲外へ退避する

b. 対策方法

図-1の評価フローにより固縛等の対策が必要と評価した想定飛来物（今後新たに屋外に保管または設置する物を含む）に対して固縛等の対策を実施する。

表-2に主な想定飛来物（図-1の評価フローにより固縛等の対策が必要と評価した物）の飛来物発生防止対策を示す。

表-2 主な想定飛来物の飛来物発生防止対策

No.	想定飛来物	飛来物発生防止対策
1	コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 十分な重さのウェイトを取付ける。 ウェイトの重量については、コンテナの自重+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする（対策の計算例を別紙-1 に示す）。  <p>コンテナの飛散防止対策例</p>
2	鋼管	<ul style="list-style-type: none"> 単品で置かず複数本を束にして固縛する。 束にする本数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる本数とする。  <p>鋼管の飛散防止対策例</p>
3	鋼材	<ul style="list-style-type: none"> 単品で置かず複数本を重ねて固縛する、または十分な重さのウェイトを取付ける。 重ねる本数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる本数とする。 ウェイトの重量については、鋼製材の自重+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする。
4	鋼板	<ul style="list-style-type: none"> 単品で置かず複数枚を重ねて固縛する。 重ねる枚数については、空力パラメータが 0.0026 以下となる枚数とする。
5	マンホール蓋	<ul style="list-style-type: none"> 容易に飛散しないよう高さ方向への飛散防止対策を行う（マンホール蓋上面からの固定、マンホール蓋へのチェーン接続など）。
6	車両（重大事故等対処設備含む）	<p><高さ方向へ飛散する車両></p> <ul style="list-style-type: none"> 竜巻防護施設を内包する建屋等から 350m の範囲内（図-2 参照）について下記の対策を実施する（高さ方向へ飛散する主な車両の飛散距離を表-3 に示す）。 アンカーにより地面へ固縛する、または十分な重さのウェイトを取付ける。 ウェイトの重量については、車両の自重+ウェイトの重量により空力パラメータが 0.0026 以下となる重量とする。 停車車両については、竜巻襲来が予想される場合に速やかに竜巻防護施設を内包する建屋等から 350m の範囲外に退避できる体制を取る旨マニュアルに反映することとしており固縛不要とする。 業務車両以外の車両については、構内への入構を禁止する。 <p><高さ方向へは飛散しないが横滑りする車両></p> <ul style="list-style-type: none"> 竜巻防護施設を内包する建屋等から 190m の範囲内（図-2 参照）について下記の対策を実施する（高さ方向へ飛散しないが横滑りする主な車両の移動距離を表-4 に示す）。 アンカーにより地面へ固縛する（対策の計算例を別紙-1 に示す）。

なお、上記（１）項および（２）項の内容については、保安規定の下位文書（社内規程類）に規定し、これに基づいて管理する。

表-3 高さ方向へ飛散する主な車両の飛散距離一覧

名称	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ $C_D A/m$ (m^2/kg)	飛散距離 (m)
自動車 (ノア)	4.58	1.69	1.87	1590	0.0081	325
自動車 (アルト)	3.39	1.47	1.54	790	0.0104	340
自動車 (サクシード)	4.30	1.69	1.53	1140	0.0095	336
自動車 (ラッシュ)	3.99	1.69	1.70	1190	0.0091	333
自動車 (カラーラフィルダー)	4.41	1.69	1.52	1200	0.0092	334
自動車 (ランサー)	4.47	1.69	1.43	1210	0.0089	332
自動車 (キャリー)	3.39	1.47	1.76	740	0.0121	346
可搬型大型送水ポンプ車	8.79	2.50	2.88	12450	0.0029	187
可搬型中型送水ポンプ車	7.63	2.30	2.75	10050	0.0029	187
可搬型注水ポンプ車	8.45	2.50	2.75	12510	0.0027	174
代替非常用発電機	20.10	7.50	8.25	58120	0.0043	257
水槽付消防ポンプ車	6.93	2.31	2.82	8650	0.0032	208
化学消防ポンプ車	7.26	2.29	2.83	8860	0.0033	213
可搬型タンクローリー	6.27	2.20	2.40	7.73	0.0029	187
シルトフェンス車 (4t車)	8.20	2.46	2.50	6998	0.0044	260
シルトフェンス車 (10t車)	11.93	2.49	2.66	15764	0.0028	181
SWPモータ運搬用トラック (11tユニック車)	11.98	2.49	3.41	11730	0.0045	263
4tユニック車	8.17	2.37	1.50	8000	0.0029	187
モニタリングカー	5.50	1.88	2.90	2770	0.0076	320
屋外ルート軽油汲み上げ資機材搬送車両	6.18	2.18	3.02	6625	0.0039	242
小型船舶積載車	8.185	2.465	2.55	4500	0.0069	313
コンテナ式運搬車	6.76	2.30	3.23	10640	0.0028	181
ホイールローダ	6.30	2.30	3.10	7800	0.0035	223
バックホウ	12.80	2.80	3.20	20700	0.0027	174
可搬型モニタリングポスト等運搬車輛	4.695	1.695	1.98	1960	0.0069	313

表-4 高さ方向へ飛散しないが横滑りする主な車両の移動距離一覧

名称	長さ (m)	幅 (m)	厚さ (m)	高さ (kg)	空力パラメータ $C_D A/m$ (m^2/kg)	移動距離 (m)
可搬型大容量海水送水ポンプ車	13.37	2.50	3.27	24860	0.0023	139
ホース延長・回収車（送水車用）	9.00	2.50	3.25	15420	0.0026	166
ホース延長・回収車（放水砲用）	8.73	2.50	3.13	21930	0.0017	83
可搬型代替電源車	16.59	2.438	4.992	47030	0.0019	101
資機材運搬車	4.67	1.69	1.98	5700	0.0024	148
3号非常用変圧器	11.05	2.515	3.42	25250	0.0019	101
ブルドーザー	6.50	3.30	3.20	26600	0.0013	56

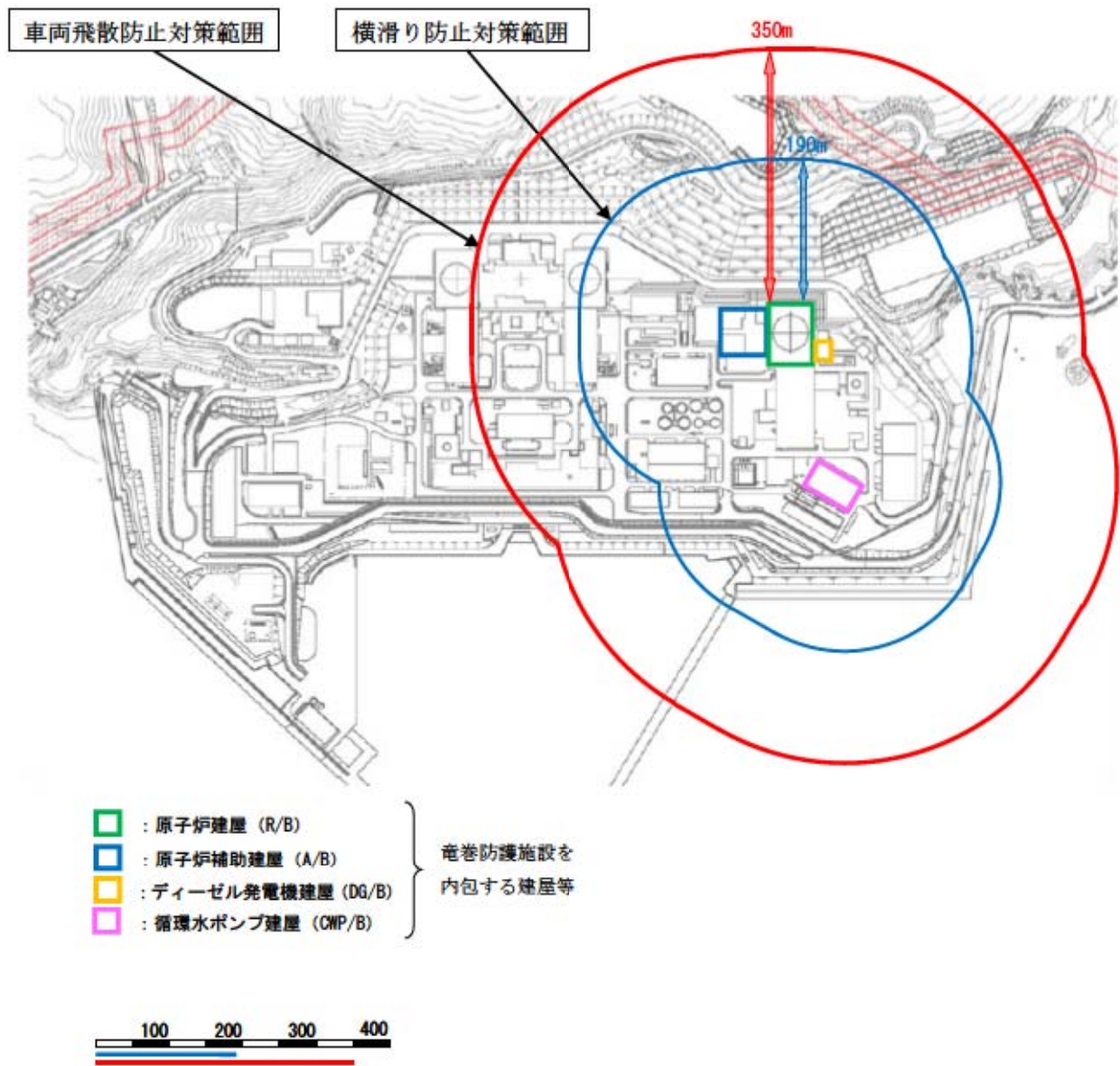


図-2 泊発電所における車両飛散防止対策範囲および横滑り防止対策範囲

■固縛対策（飛散防止対策）の計算例

<可搬型代替電源車の場合>

(可搬型代替電源車の諸元)

全長：16.59m、高さ：4.992m、幅：2.438m

重量：m=47030kg



(空力パラメータの確認)

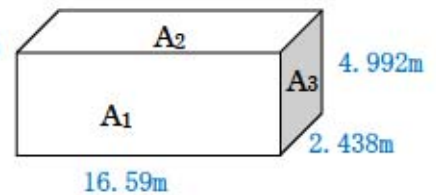
$$C_D A/m = c \times (C_{D1} \times A_1 + C_{D2} \times A_2 + C_{D3} \times A_3) / m$$

$$= 0.33 \times (2.0 \times 82.817 + 2.0 \times 40.446 + 2.0 \times 12.170) / 47030$$

$$= 89.386 / 47030$$

$$= 0.0019$$

空力パラメータ ($C_D A/m$) が、0.0026 以下であることから、可搬型代替電源車は高さ方向に飛散しない。



空力パラメータ算出上のモデル
($C_{D1}=C_{D2}=C_{D3}=2.0$)

(水平方向風荷重)

$$\text{風荷重} = q_H \times C_D \times G_D \times A$$

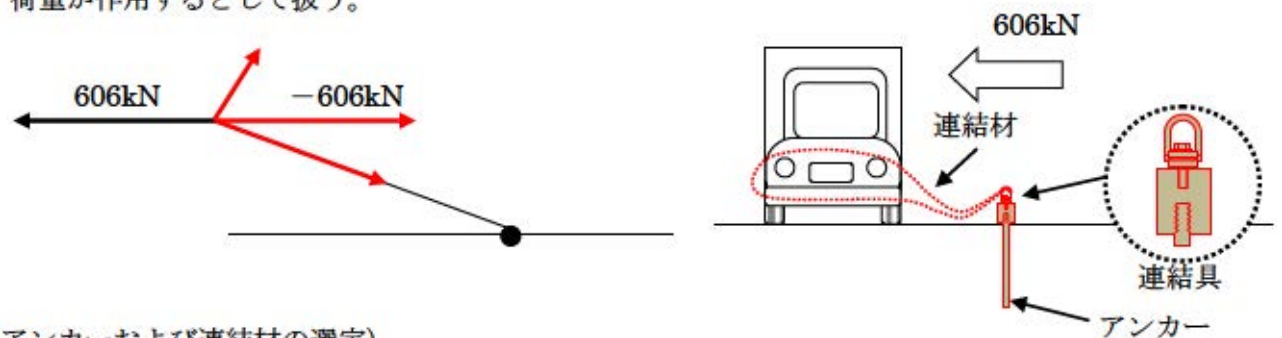
$$= 1.22 \times 100^2 / 2 \times 1.2 \times 1.00 \times 82.817$$

$$= 606 \text{ kN}$$

q_H : 速度圧 ($= \rho \times V^2 / 2$)
ρ : 空気密度 ($= 1.22 \text{ kg/m}^3$)
V : 設計竜巻の最大風速 ($= 100 \text{ m/s}$)
C_D : 風力係数 ($= 1.2$)
G_D : 風方向ガスト係数 ($= 1.00$)
A : 受圧面積 (車輛の側面積の最大値)

(横滑り防止のための連結材に作用する荷重)

可搬型代替電源車については、高さ方向の荷重は自重が勝り、下方向に作用していることから、水平方向風荷重により横滑りした際の荷重は、下図のとおりとなるが、連結材の張力として水平方向風荷重が作用するとして扱う。



(アンカーおよび連結材の選定)

固定する連結材（スリング）の扱い易さを考慮し、可搬型代替電源車の固定に必要な張力 606kN を受けるアンカーは 4 本とし、1 本あたり 200kN の水平・垂直荷重に耐えうるよう $\phi 50 \text{ mm} \times$ 埋込長 2000mm (SUS304) を設置する。この場合、1 本あたり定格 200kN のスリング (200mm 幅以下の製品が選択可能) を使用する。スリングとアン

カーの接続は、連結具（汎用吊冶具とアンカー頂部を丸鋼で一体化）にシャックルを取り付けて使用する。

○アンカーのせん断に対する検討

ステンレスアンカーの許容せん断力は、建築基準法施行令第90条「鋼材の短期許容応力度」より

$$\tau_s = F \times 1.5 \div (1.5\sqrt{3})$$

SUS304 の JIS G4303 (ステンレス鋼棒) に示されている以下に記載の耐力を用いる。

$$F = 205 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = 205 \times 1.5 / 1.5\sqrt{3} \approx 118 \text{ N/mm}^2$$

アンカーに求められるせん断耐力は 200kN であるから、アンカー鋼の必要断面積 A は、

$$A = 200,000 / 118 = 1,695 \text{ mm}^2$$

上記を満足するステンレス丸鋼として $\phi 50$ を選定する (断面積 $A=1,964 \text{ mm}^2$)

○アンカーの必要長さの検討

可搬型代替電源車設置場所 (TP.31m) の岩盤は硬岩と考えられるが、余裕を考慮し、周面摩擦抵抗は、「軟岩」相当の下限值である 1.0 N/mm^2 * を使用する。

(※: グランドアンカー設計・施工基準, 同解説 (地盤工学会編) より)

アンカーの引抜きに対する摩擦抵抗力は、次のとおり。

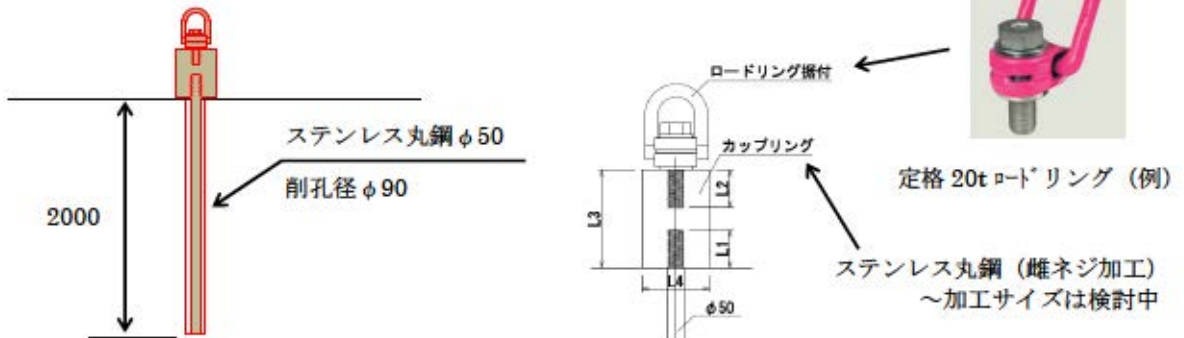
$$L = F \times P / (L1 \times \mu)$$

L: 必要アンカー長
 F: 安全率=1.5
 P: 引抜き力
 L1: アンカー周長= $50 \times \pi = 157.1 \text{ mm}$
 μ : 周面摩擦抵抗= 1.0 N/mm^2

アンカーに求められる引抜き耐力は 200kN であるから、アンカーの必要長さ L は、

$$L = 1.5 \times 200,000 / 157.1 \times 1.0 = 1,910 \text{ mm}$$

上記を満足するアンカー長として 2,000mm を選定する。



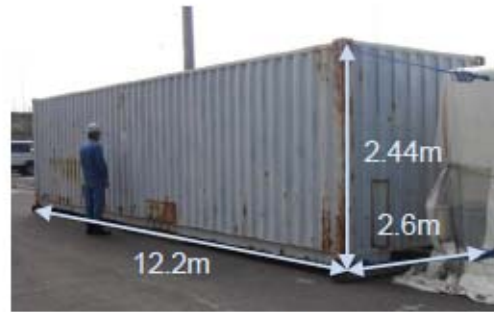
なお、アンカーについては、グランドアンカー設計・施工基準, 同解説 (地盤工学会編) に基づき、引抜き試験を実施する計画である。

<コンテナの場合>

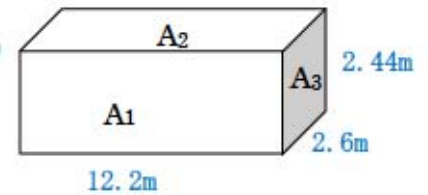
(コンテナの諸元 (例))

全長：12.2m、高さ：2.44m、幅：2.6m

重量：m=5500kg



コンテナ (例)



空力パラメータ算出上のモデル
($C_{D1}=C_{D2}=C_{D3}=2.0$)

(空力パラメータの確認)

$$\begin{aligned} C_{DA}/m &= c \times (C_{D1} \times A_1 + C_{D2} \times A_2 + C_{D3} \times A_3) / m \\ &= 0.33 \times (2.0 \times 29.768 + 2.0 \times 31.72 + 2.0 \times 6.344) / 5500 \\ &= 44.76912 / 5500 \\ &= 0.0081 \end{aligned}$$

空力パラメータ (C_{DA}/m) が、0.0026 を超えていることから、コンテナは高さ方向に飛散する。

(必要ウエイト重量)

コンテナの空力パラメータが 0.0026 となる時の重量を M_0 とすると、飛散防止対策のために必要となるウエイト重量 M は、以下のとおりとなる。

$$M = M_0 - m = 17218.9 - 5500 = 11718.9[\text{kg}]$$

ここで、 m ：コンテナの重量(= 5500[kg])

$$M_0 = \frac{\left(\frac{C_{DA}}{m}\right)}{\left(\frac{C_{DA}}{M_0}\right)} \times m = 17218.9[\text{kg}]$$

(飛散防止のための連結材に作用する荷重)

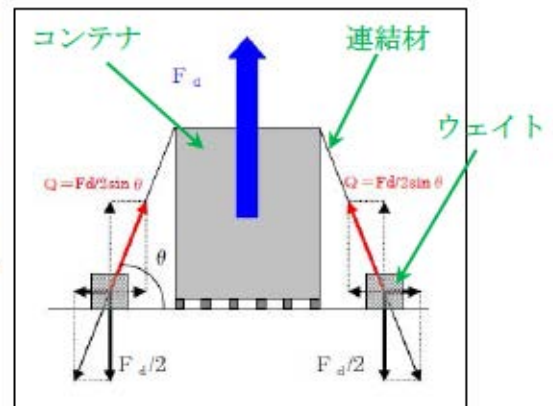
コンテナに作用する浮力 F_d は、コンテナを継続的に浮遊させないためにウエイトにて抑えるべき荷重と同じであり、以下のとおりとなる。

$$F_d = M \times g = 11718.9 \times 9.80665 = 114923.2[\text{N}]$$

ここで、 g ：重力加速度(= 9.80665[m/s²])

なお、固定する連結材 (ワイヤーロープ等) に作用する力 Q は、次の式で求められるため、固縛の角度 θ を考慮した適切な荷重に耐えうるもの選定する。

$$Q = \frac{F_d}{2 \sin \theta} = \frac{114923.2}{2 \sin \theta} = \frac{57461.6}{\sin \theta} [\text{N}]$$



浮き上がりに対する対策荷重の考え方について

空力パラメータを用いた飛来物の浮上と飛散状況に係る評価については、気象庁ホームページに掲載されている藤田（F）スケールにおける被害状況のうち、自動車を対象として比較を行い、保守的な結果となることを確認している（補足説明資料12 別紙-3参照）。

想定飛来物の固縛対策（飛散防止対策）として、浮き上がりに対する対策荷重の設定にあたっては、空力パラメータから算出した浮力を用いることとしており、以下に浮き上がりに対する対策荷重の考え方を示す。

【対策荷重の考え方】

飛散防止対策においては、(1)式より算定される空力パラメータから算出した浮力に対して、物品の浮き上りを評価した上で対策を実施する。

<空力パラメータによる浮力の算定方法>

空力パラメータを用いて浮き上がるときに受ける全体浮力を算出し、自重より大きい場合に「浮き上がり発生」と判断する。このときの正味の上向きの力（＝空力パラメータから算出される全体浮力－自重）を「浮力」とし、飛散防止対策の検討を行う。

想定飛来物の空力パラメータの値が0.0026となる時の重量を M_0 とすると、浮き上がり力 F_d は(1)式のとおり算出される。

$$F_d = (M_0 - m) \times g [N] \cdots (1)$$

ここで、 M_0 ：想定飛来物の空力パラメータが0.0026となる時の重量[kg]

$$M_0 = \frac{\text{想定飛来物の空力パラメータ}}{0.0026} \times m$$

m ：想定飛来物の自重[kg]

g ：重力加速度

なお、竜巻風速100m/sにおける空中の飛来物の浮上条件は空力パラメータ0.0028m²/kgであるが（補足説明資料12参照）、保守的に浮上条件を空力パラメータ0.0026m²/kgとして評価しており、対策荷重について余裕をみている。

以下に具体例を示す。

■自動車（長さ5.5m、幅1.88m、高さ2.9m、重量2770kg）の例

表-1のとおり、当該自動車においては、浮上条件を空力パラメータ0.0028m²/kgとした場合と比較し、浮上条件を空力パラメータ0.0026m²/kgとした場合においては、約5.7kNの余裕をみていることとなる。

表-1 自動車の空力パラメータから算出される浮力

想定飛来物		自動車
サイズ (長さ×幅×高さ) [m]		5.5×1.88×2.9
重量[kg]		2770
空力パラメータ $C_D A/m$ [m ² /kg]		0.0076
浮力 [kN]	浮上条件が空力パラメータ0.0028[m ² /kg]の場合	46.2
	浮上条件が空力パラメータ0.0026[m ² /kg]の場合	51.9
浮力の荷重差[kN]		5.7
浮力の重量差[kg]		581.2

以上より、飛散防止対策においては、保守性を考慮して、浮上条件を空力パラメータ0.0026m²/kgとして算出した浮力から対策荷重を設定し、設計飛来物に包含できない物品の飛散を防止していくこととする。また、実際の飛散防止対策においては、上述した浮き上がりの対策荷重のみでなく、横滑り対策荷重についても適切に考慮し対策を実施していくこととする。

なお、本考え方にに基づき、適切に荷重を設定して飛散防止対策を実施することから、複数の飛来物が同一の竜巻防護施設に衝突する可能性は極めて小さいものと考えている。

(3) 竜巻防護対策

評価対象施設のうち、設計飛来物の衝突により損傷する可能性がある施設について、竜巻防護対策実施有無の抽出フローを図-3に示す。

使用済燃料ピットおよび使用済燃料ラックについては、構造健全性評価の結果、設計飛来物が衝突したとしても、使用済燃料ラックに貯蔵されている燃料集合体の燃料被覆管の健全性等は確保され、当該設備の安全機能は維持されることから竜巻防護対策は不要である。また、換気空調設備については、設計飛来物が外殻となる施設を貫通して、当該設備が損傷する可能性はないことから、竜巻防護対策は不要である。

竜巻防護対策が必要な設備については、設備または運用による対応を実施する。設備による対応としては、防護ネット、防護鋼板等（竜巻飛来物防護対策設備）の設置により、設計飛来物が防護対象設備に衝突することを防止する。また、運用による対応としては、設計飛来物の衝突により損傷した場合の補修、取替等や、竜巻襲来が予想される場合の燃料取扱作業の中断等を実施する。

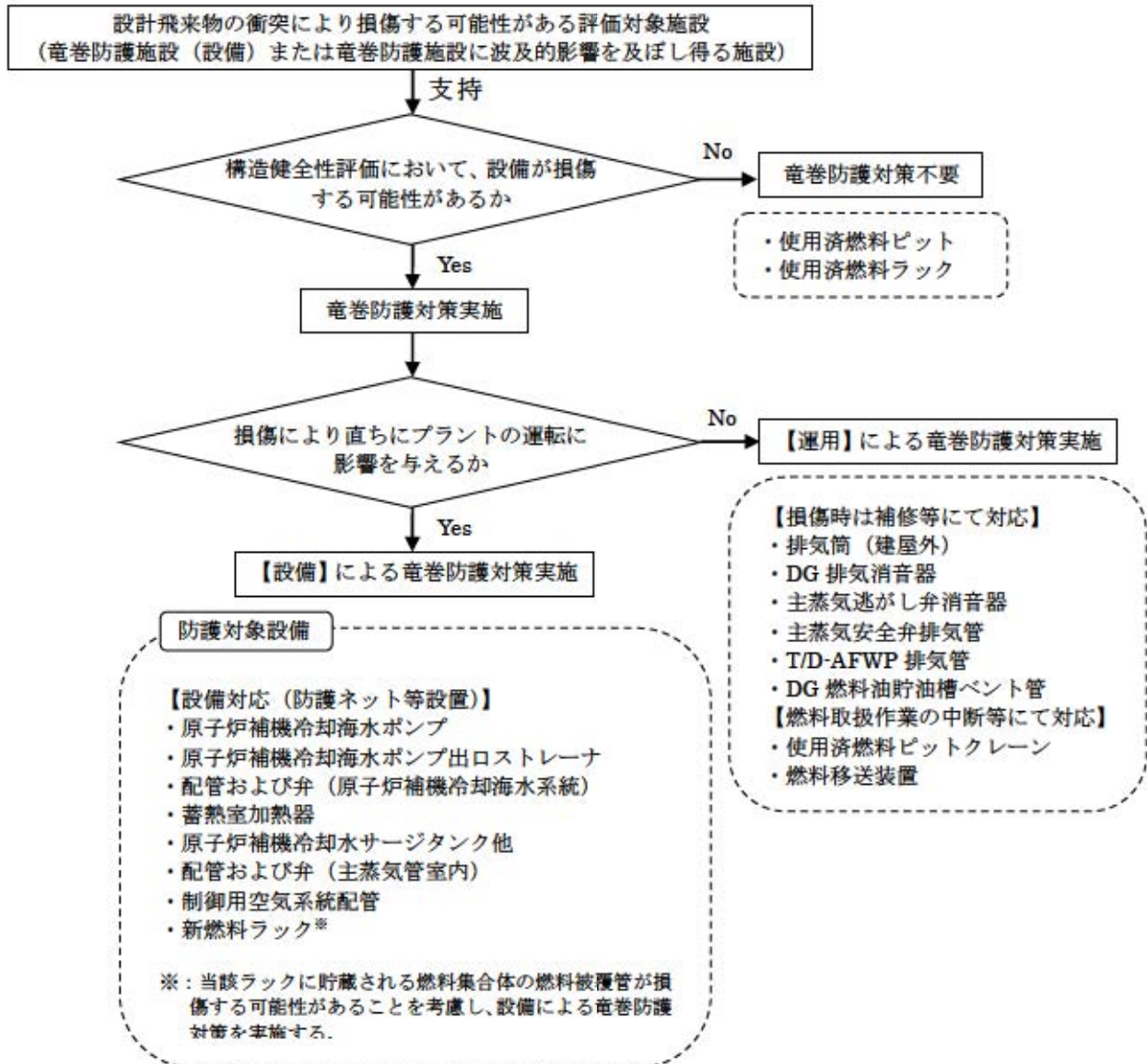


図-3 竜巻防護対策実施有無の抽出フロー

上記のとおり、設計飛来物の衝突により損傷する可能性がある設備については、設備または運用による竜巻防護対策を実施することとしており、このうち、設備による竜巻防護対策（以下「飛来物防護対策」という。）については、以下のとおり実施する（運用による竜巻防護対策については、補足説明資料24., 27. 参照）。

なお、評価にあたっては、設計飛来物のうち、運動エネルギーが大きく、飛来物の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さが厚い（貫通しやすい）鋼製材を飛来物として想定する。

ただし、新燃料ラックについては、燃料被覆管が破損する可能性があるとの評価結果となった鋼製パイプを想定する。

a. 飛来物防護対策の概要

防護対象設備については、安全機能の維持に影響を与えないよう、防護ネット、防護鋼板等を設置し飛来物から防護することとしており、防護対象設備毎の防護対策の概要を以下に示す。

なお、防護対策に係る設計については見直す場合があることから、設計の詳細は工認審査の場において説明する。

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）／原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ／配管および弁（原子炉補機冷却海水系統）

当該設備（原子炉補機冷却海水ポンプ等）が設置されている取水ピットポンプ室およびストレーナ室の上屋（循環水ポンプ建屋）は鉄骨造であり飛来物は天井（コンクリート）や外壁（外装材）を貫通して侵入してくることが想定されるため、当該設備設置エリア上部の開口部（循環水ポンプ建屋床面（T.P. 10.3m））に防護ネット（金網）を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-4に示す。

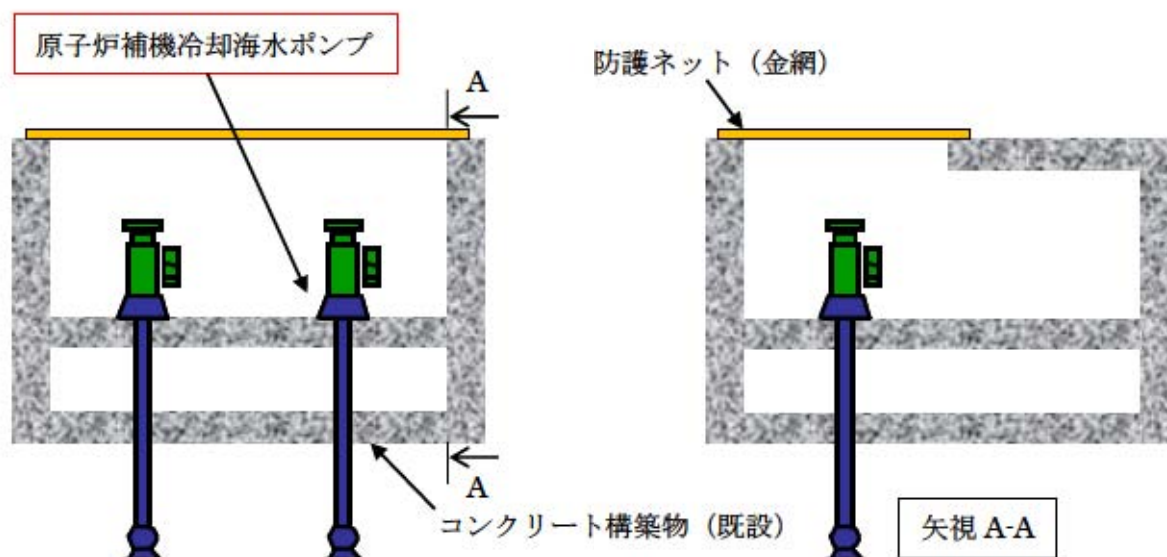


図-4 原子炉補機冷却海水ポンプの飛来物防護対策イメージ図

(b) 蓄熱室加熱器

イ. 蓄熱室

当該設備はディーゼル発電機建屋（塔屋部）の蓄熱室に設置されているが、飛来物の侵入方向に面した壁（A、B-蓄熱室の東側、西側および南側の壁）の内側には、鋼製材の貫通を防止するために必要な厚さの鋼板を施工すること、また、当該区画の扉（A、B-蓄熱室扉）は、鋼製材の貫通を防止する厚さを確保した扉に交換することから、飛来物が侵入してくることはない。

ロ. 吸気ガラリ室

当該設備が設置されている蓄熱室に隣接して吸気ガラリ室があり、飛来物は当該ガラリ室の吸気フードを貫通して換気口から侵入または当該区画の扉を貫通して侵入し直接蓄熱室加熱器背面に衝突することが考えられることから、蓄熱室加熱器背面にある空気口の前面に防護鋼板等を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-5に示す。

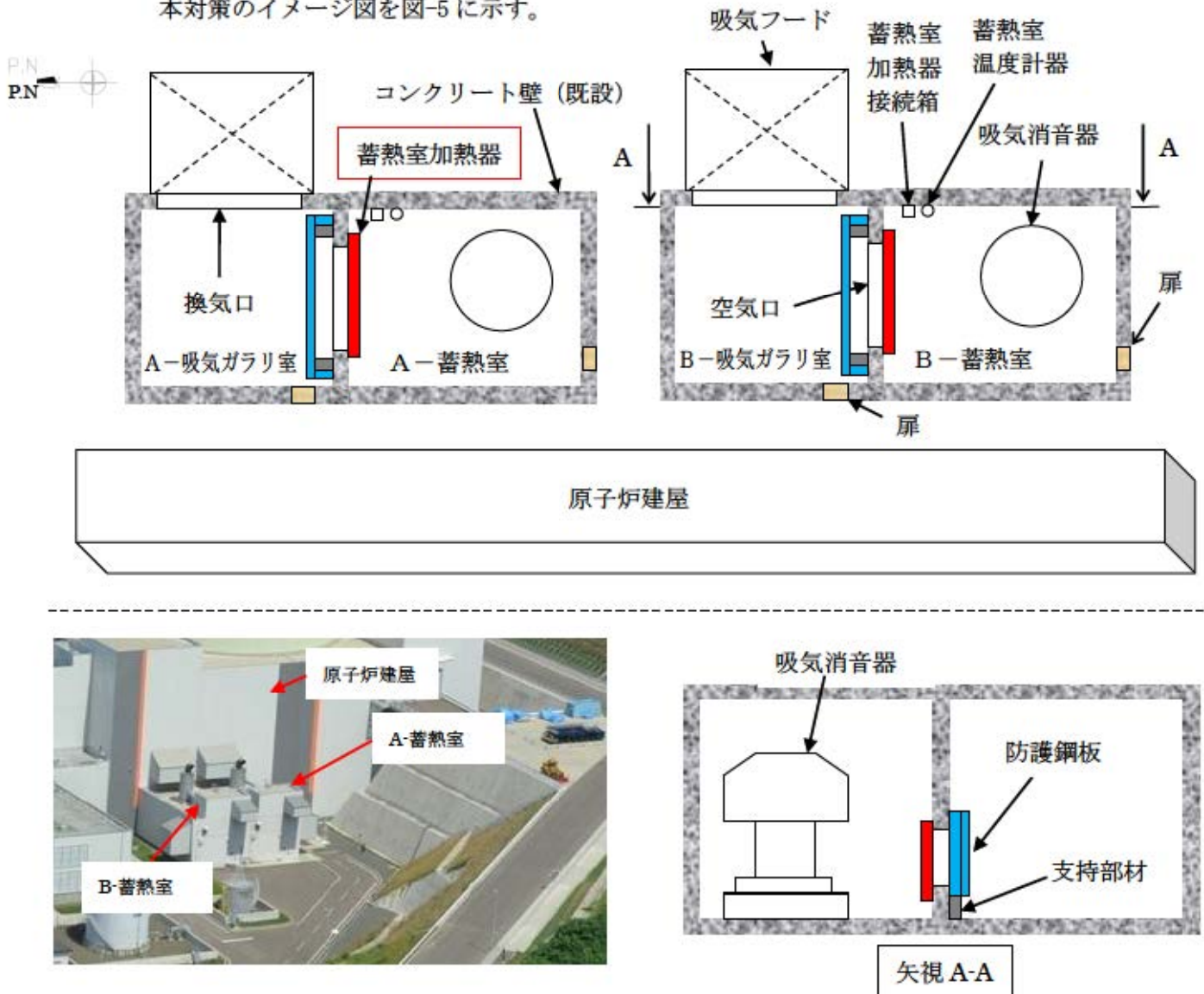


図-5 蓄熱室加熱器の飛来物防護対策イメージ図

(c) 原子炉補機冷却水サージタンク他

原子炉補機冷却水サージタンクおよび原子炉補機冷却水システムの配管・弁は、原子炉建屋の原子炉補機冷却水サージタンク・空調用冷水膨脹タンク室 (T.P. 43.6m) に設置されているが、飛来物は当該区画の扉を貫通して侵入してくることが想定されるため、当該扉の前面 (建屋内) にコンクリート製の防護壁を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-6 に示す。

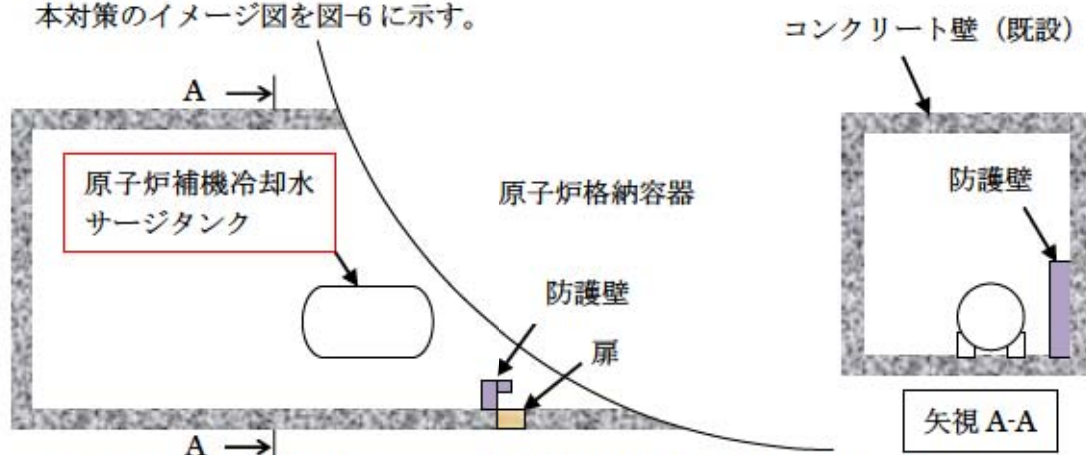


図-6 原子炉補機冷却水サージタンク他の飛来物防護対策イメージ図

(d) 配管および弁 (主蒸気管室内)

当該設備は原子炉建屋の主蒸気管室に設置されているが、飛来物は当該区画のブローアウトパネル (隣接建屋であるタービン建屋との境界部に設置) を貫通して侵入またはタービン建屋屋上に設置されているガラリーを貫通して主蒸気管室上部の換気口から侵入してくることが想定されるため、当該ブローアウトパネルおよび当該換気口の前面 (原子炉建屋外壁面) に防護鋼板を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-7 に示す。

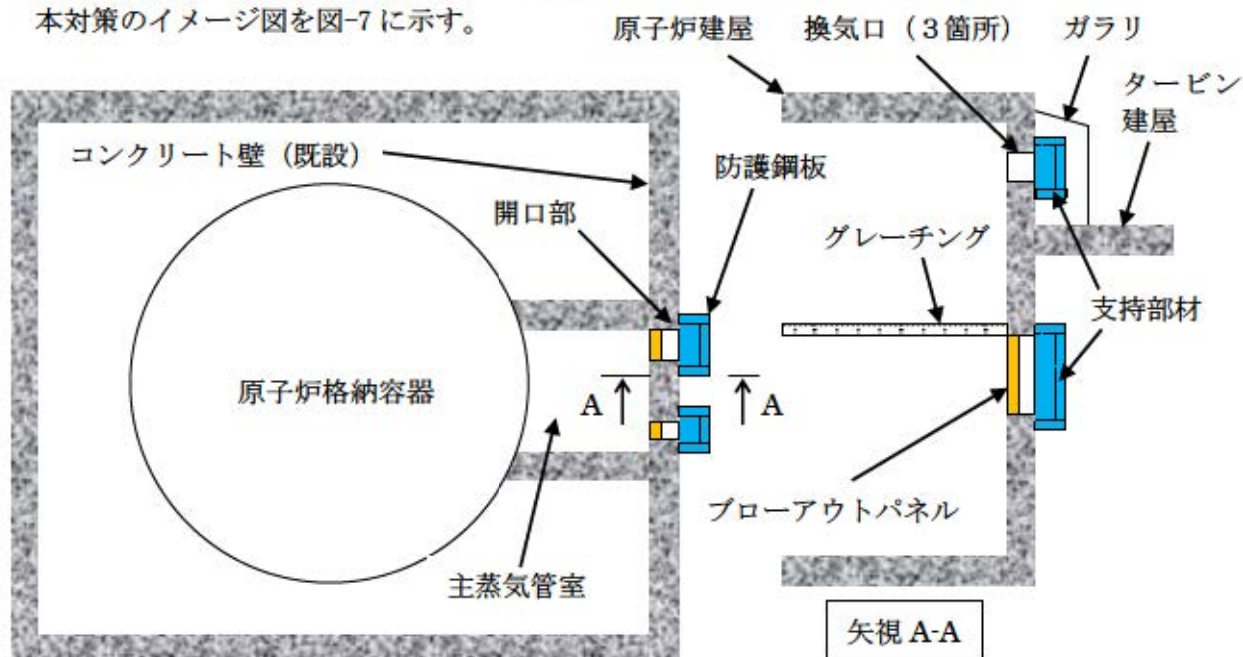


図-7 配管および弁 (主蒸気管室内) の飛来物防護対策イメージ図

(e) 制御用空気系統配管

当該設備は原子炉補助建屋のトラックアクセスエリア（2）（T.P. 33.1m 塔屋部）に設置されているが、飛来物は当該区画の扉を貫通して侵入してくることが想定されるため、当該設備設置場所の前面にコンクリート製の防護壁を設置し、当該設備を飛来物から防護する。

本対策のイメージ図を図-8 に示す。

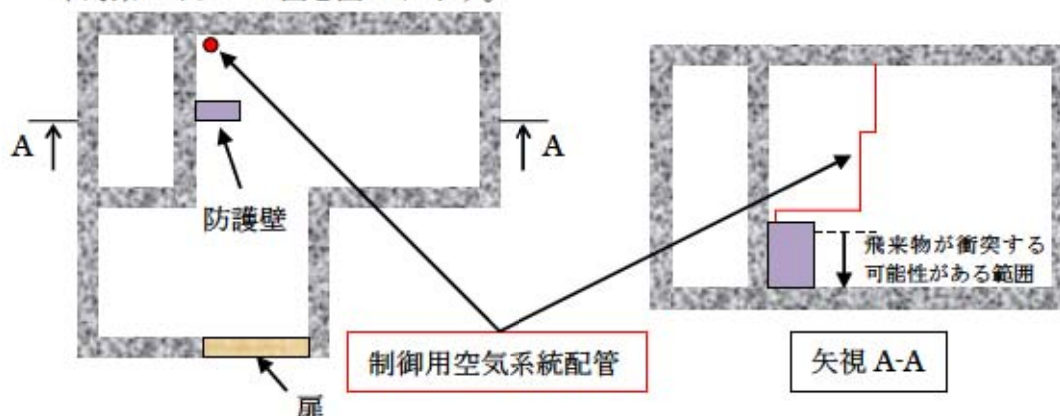


図-8 制御用空気系統配管の飛来物防護対策イメージ図

(f) 新燃料ラックに貯蔵している燃料集合体

当該設備は原子炉建屋の上屋（燃料取扱棟）に設置されているが、飛来物は燃料取扱棟の外壁（外装材）を貫通して侵入してくることが想定されるため、当該設備（ラックセル）に燃料集合体を貯蔵した場合は、ラックセル内の上部に防護鋼板等（鋼製パイプ貫通防止蓋）を設置し、当該設備に貯蔵している燃料集合体を飛来物から防護する。

また、当該貫通防止蓋設置により、新燃料ラックの耐震性に影響を与えない設計とする。

本対策のイメージ図を図-9 に示す。

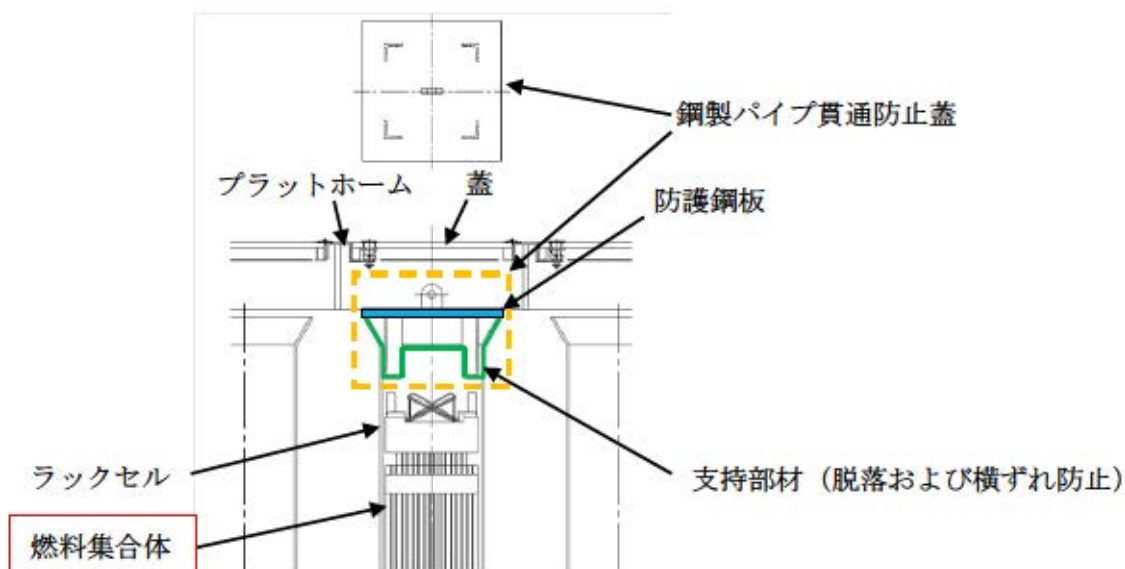


図-9 新燃料ラックの飛来物防護対策イメージ図

b. 防護ネット（金網）の設計

(a) 基本方針

- ・ 防護ネットは金網を2枚重ねとし、飛来物捕捉時に金網の変形を拘束しないよう、金網の四辺はワイヤーロープにて支持して、ワイヤーロープを鋼製枠に締結する構造とする（図-10 参照）。
- ・ 鋼製枠の四隅にはワイヤーロープに発生する張力の急激な増加を緩和する目的で緩衝機構を設置する（図-10 参照）。
- ・ 金網の吸収エネルギーについては、飛来物の衝突エネルギー並びに風圧力および自重により金網が受けるエネルギーを上回るよう設計する。
- ・ 防護ネットは飛来物を捕捉した際に防護対象設備あるいは既存建屋に接触しないよう、適切な離隔距離を確保した上で、設置箇所の既存建屋床あるいは壁（コンクリート）に設置する。
- ・ 防護ネットと防護対象設備あるいは既存建屋との離隔を適切に取る観点から、必要に応じて鋼製枠には支持脚を設置する。
- ・ 防護ネットを構成する金網、ワイヤーロープ等については、飛来物捕捉時に発生する荷重に対して十分な強度を有する設計とする。
- ・ 地震により防護ネットが落下して防護対象設備の安全機能に影響を与える可能性がある場合は、基準地震動に対して耐震性を確保する等、防護対象設備の安全機能に影響を及ぼさない設計とする。
- ・ 防護ネットについては、防護対象設備の保守点検に伴う取り外し等を考慮して、以下のとおり設置する。
 - <既存建屋床に設置する場合>
 - 鋼製枠をアンカーボルトにて固定する。
 - または、
 - 位置決め用の枠をアンカーボルトにて固定し、その枠内に鋼製枠を置く形で設置する。
 - <既存建屋壁に設置する場合>
 - 鋼製枠をアンカーボルトにて固定する。
- ・ 既存建屋床に位置決め用の枠を設置する場合は、飛来物衝突時の反力あるいは風圧力による鋼製枠の浮き上がりを考慮して、鋼製枠が位置決め枠から外れないように設計する。

以上の基本方針を踏まえ、金網、ワイヤーロープ、鋼製枠が設計飛来物を捕捉するのに十分な強度を有しているか検討した。

防護ネットは設置箇所全てに共通仕様であり、今回、防護ネットを設置する箇所の開口寸法と設置する防護ネット（金網）の寸法を表-5に示す。

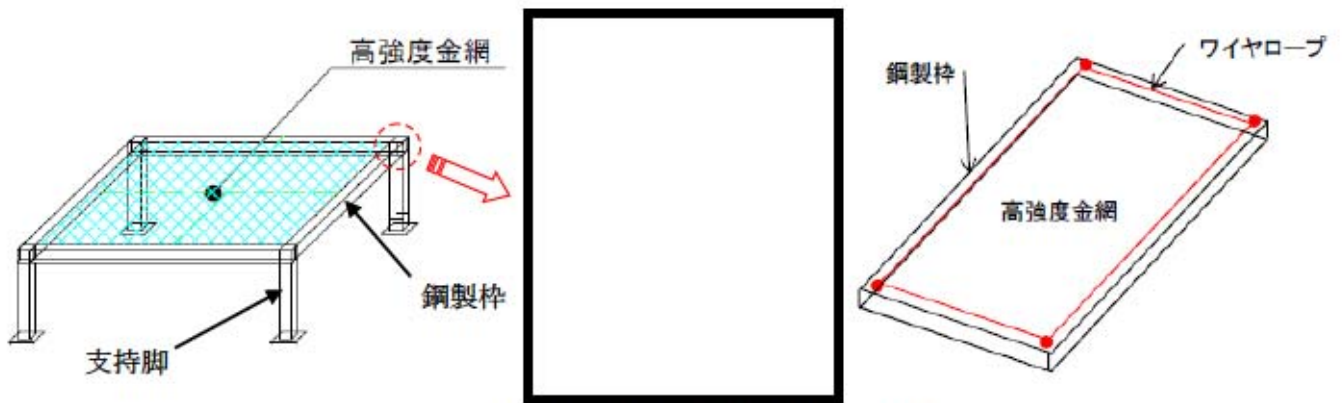


図-10 防護ネットの構造イメージ図

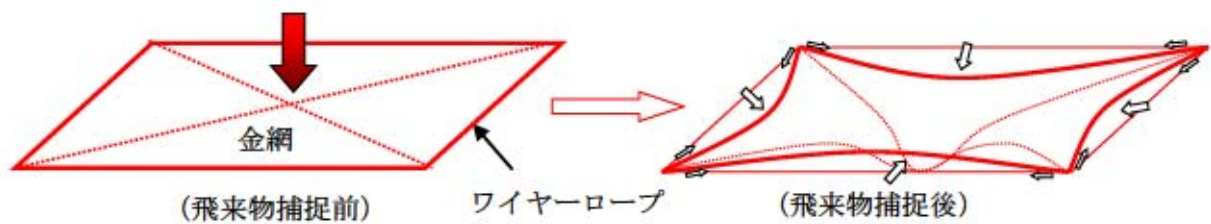


図-11 金網とワイヤロープの変形イメージ

表-5 防護ネット設置箇所の開口寸法と防護ネット（金網）の寸法一覧

防護対象設備	防護ネット設置箇所	開口寸法	金網寸法（計画）
原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）	防護対象設備設置エリア上部開口部（2箇所）	9.5m×5.2m	5.1m×4.7m/組 （2組設置/箇所）
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ（配管および弁含む）	防護対象設備設置エリア上部開口部	9.2m×2.4m	4.3m×2.8m/組 （2組設置）

(b) 金網の強度評価

金網の強度評価は、次のとおり実施する。

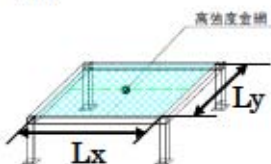
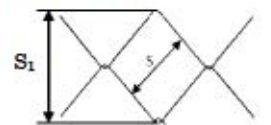
- ・ 金網の引張試験結果から破断時の金網の伸び量を設定する
- ・ 破断時の金網の伸び量から金網変位角を求める
- ・ 破断時の金網変位角から金網最大変位量を求める
- ・ 金網最大変位量から各列の金網変位量を求める
- ・ 各列の金網変位量から金網の吸収エネルギーを求める
- ・ 金網の吸収エネルギーが鋼製材の衝突エネルギー等より大きいことを確認する（金網の等価剛性を等価剛性近似した場合と多直線近似した場合の吸収エネルギーの差を考慮する）

以下に原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）設置エリア上部開口部に設置する金網の強度評価例を示す。

イ. 金網の諸元

金網の諸元を表-6に示す。

表-6 金網の諸元

設置箇所	原子炉補機冷却海水ポンプ (配管および弁含む) 設置エリア上部開口部	原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ (配管および弁含む) 設置エリア上部開口部
設置方向	水平設置	同左
材質	JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A) JIS G3548 亜鉛めっき鋼線	同左
寸法	 Lx=5.1m、Ly=4.7m	Lx=4.3m、Ly=2.8m
素線径	d=φ4mm	同左
金網の目合い	 S=50mm $S_1 = 50 \times \sqrt{2} = 70.7\text{mm}$	同左
素線の引張強さ	1400N/mm ²	同左
破断時の金網 1 目当たりの伸び量	L=20mm ※：金網メーカーで実施した引張試験結果 (30 回実施) から抽出した最大伸び量の小さい 3 回の試験データ (図-12 参照) の平均値から設定	同左

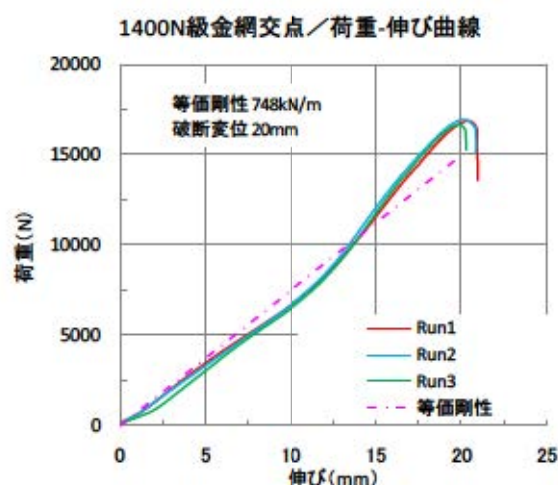


図-12 荷重-伸び曲線 (引張試験結果)

<等価剛性について>

等価剛性は金網メーカーで実施した引張試験結果（30回実施）から抽出した最大伸び量の小さい3回の試験データ（図-12参照）を用いて、各試験データにおける最大荷重発生時の最大エネルギーを算出し、これらの平均値と等価となる剛性（748kN/m）として設定している（等価剛性近似）。

上記の試験データを用いて算出した多直線近似剛性を図-13に、等価剛性近似（一定）した場合と多直線近似した場合の作用力と吸収エネルギーの比較を図-14に示す。

最大変形時は等価剛性近似と多直線近似の吸収エネルギーは等価となるが、それよりたわみの小さい領域では、等価剛性近似の方が多直線近似より最大で約13%吸収エネルギーが高めに算定されることとなる。

以上より、金網の最大変形時には、等価剛性近似により金網の吸収エネルギーを適切に評価できることから、強度評価にあたっては、金網の最大変形時の吸収エネルギーが、鋼製材の衝突エネルギーを上回っていることを確認できれば十分であるが、保守的に上記（等価剛性近似した場合と多直線近似した場合の吸収エネルギーの差）を考慮して設計する。

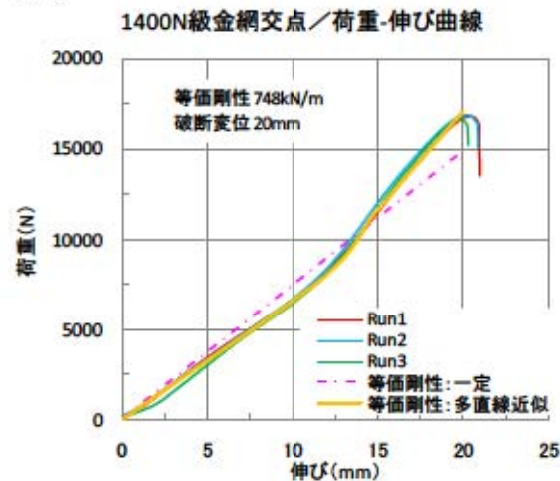


図-13 荷重-伸び曲線（多直線近似剛性）

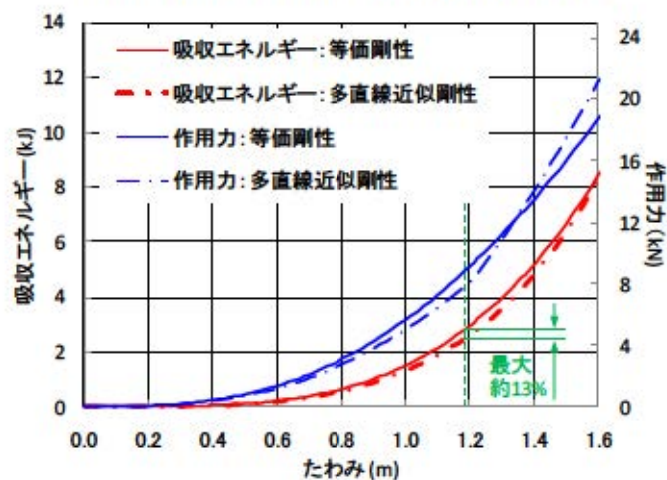


図-14 等価剛性近似した場合と多直線近似した場合の作用力と吸収エネルギーの比較

ロ. 飛来物の諸元

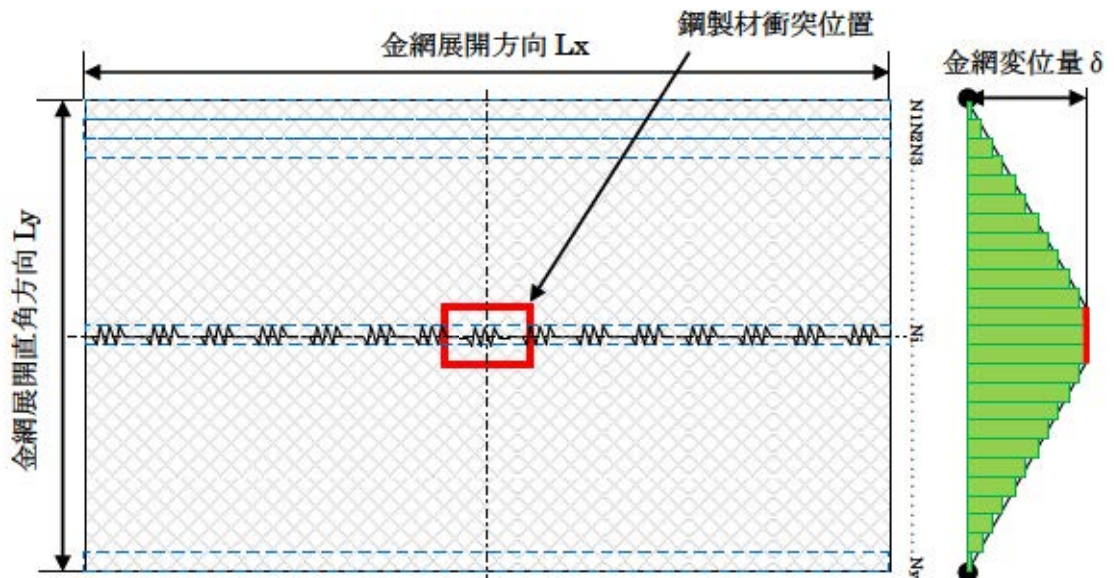
飛来物として想定する鋼製材の諸元を表-7に示す。

表-7 鋼製材の諸元

サイズ	4.2m×0.3m×0.2m
質量	m=135kg
最大水平速度	Vh=57m/s
最大鉛直速度	Vv=38m/s
衝突速度	V=38m/s (水平設置のため) ※：鋼製材は、防護ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるよう、防護ネットに対して垂直に衝突するものとし、衝突速度については、防護ネットの設置方向に応じて、水平設置の場合は最大鉛直速度、鉛直設置の場合は最大水平速度を適用する。
金網への衝突エネルギー	$E=1/2 \times m \times V^2 / 1000 = 97.5 \text{kJ} \Rightarrow 98 \text{kJ}$

ハ. 金網の吸収エネルギー

金網の吸収エネルギーは、下図のとおり金網を金網展開直角方向に1目合い毎(□)で囲った形)に分割し、N1からNyまでの各列で分担する吸収エネルギーを各列の金網展開方向変位量から算出して、各列の吸収エネルギーを積算することにより評価する。また、各列の吸収エネルギーは、金網を1目合い毎に「図-12 荷重-伸び曲線」から算出した等価剛性 748kN/m を持つばねが Nx (=Lx/70.7mm) 個直列につなげた状態と模擬して評価する。



(イ) 各列の金網変位量

・ 金網変位角

表-6 より、金網の目合い対角寸法 S_1 は 70.7mm、破断時の金網 1 目当たりの伸び量 L は 20mm であることから、破断時の金網変位角 θ は、

$$\theta = \cos^{-1} [S_1 / (S_1 + L)] = 38.8^\circ$$

となる。

- ・金網展開方向長さ

$$L_x = 5.1\text{m}$$

- ・金網最大変位量

$$\delta_{\max} = L_x / 2 \times \tan \theta = 2.05\text{m}$$

- ・各列の金網変位量

鋼製材と接触する列の金網変位量は「金網最大変位量 δ_{\max} 」となるため、それ以外の列の金網変位量は「金網最大変位量 δ_{\max} 」から比例計算により算出する。

(算出例)

- ・金網展開直角方向長さ L_y : 780mm

- ・金網展開直角方向目合い数 N_y : $780\text{mm} / 70.7\text{mm} = 11$ 個

- ・鋼製材との接触目合い数 (金網展開直角方向における接触する列の数): $200\text{mm}^* / 70.7\text{mm} = 2$ 個

※: 鋼製材の形状は短辺 0.2m × 長辺 0.3m であるため、金網の吸収エネルギーが小さくなるよう、短辺側の寸法を適用。

- ・N1 列の金網変位量: $\delta_{\max} \times 1/5 = 0.41\text{m}$

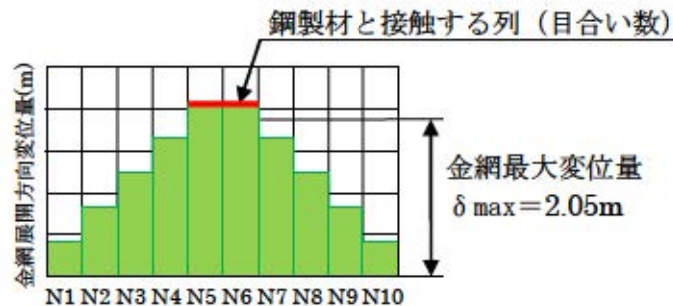
- ・N2 列の金網変位量: $\delta_{\max} \times 2/5 = 0.82\text{m}$

- ・N3 列の金網変位量: $\delta_{\max} \times 3/5 = 1.23\text{m}$

- ・N4 列の金網変位量: $\delta_{\max} \times 4/5 = 1.64\text{m}$

- ・N5, N6 列の金網変位量: $\delta_{\max} = L_x / 2 \times \tan \theta = 2.05\text{m}$

- ・N7 ~ N10 列の金網変位量: N4 ~ N1 列に同じ



以下に原子炉補機冷却海水ポンプ (配管および弁含む) 設置エリア上部開口部に設置する金網の算出結果を示す。

金網展開直角方向長さ L_y	4.7m
金網展開直角方向目合い数 N_y	$4.7\text{m} \times 1000 / 70.7\text{mm} = 66$ 個

鋼製材との接触目合い数		200mm/70.7mm=2 個					
列	N1, N66	N2, N65	N3, N64	N4, N63	N5, N62	N6, N61	N7, N60
変位量(m)	0.06	0.12	0.19	0.25	0.31	0.37	0.43
列	N8, N59	N9, N58	N10, N57	N11, N56	N12, N55	N13, N54	N14, N53
変位量(m)	0.50	0.56	0.62	0.68	0.75	0.81	0.87
列	N15, N52	N16, N51	N17, N50	N18, N49	N19, N48	N20, N47	N21, N46
変位量(m)	0.93	0.99	1.06	1.12	1.18	1.24	1.30
列	N22, N45	N23, N44	N24, N43	N25, N42	N26, N41	N27, N40	N28, N39
変位量(m)	1.37	1.43	1.49	1.55	1.61	1.68	1.74
列	N29, N38	N30, N37	N31, N36	N32, N35	N33, N34		
変位量(m)	1.80	1.86	1.92	1.99	2.05		

(ロ) 金網の吸収エネルギー

前述のとおり、各列の吸収エネルギーは、金網を1目合い毎に等価剛性 748kN/m を持つばねを N_x ($=L_x/70.7\text{mm}$) 個直列につなげた状態と模擬して評価する。

この時の1つの列の剛性(金網展開剛性 K_x)は、金網展開剛性 $K_x=748/N_x$ となるため、 i 番目の列における張力 P_i は、

$$P_i = 2K_x \cdot (x_i/2) = K_x \cdot x_i$$

となり、作用力 F_i は、

$$F_i = 2P_i \cdot \sin \theta = 2k_x \cdot x_i \cdot \sin \theta \\ = 2k_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta - \sin \theta)$$

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

となる。

また、 i 番目の列における吸収エネルギー E_i は、

$$E_i = \int F_i d\delta_i = \int 4k_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\ = 2k_x \cdot \delta_i^2 - k_x \cdot L_x \cdot (\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x)$$

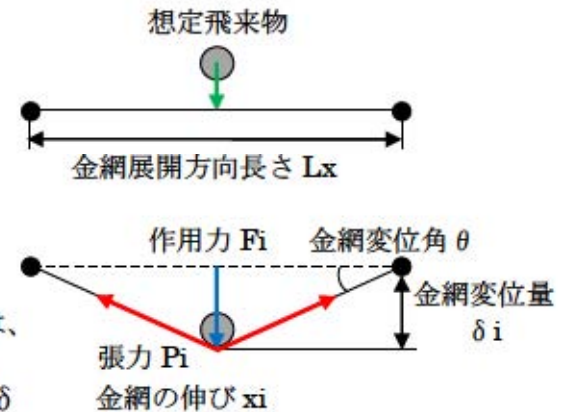
となり、金網の吸収エネルギー E は、 N_1 から N_y までの各列の吸収エネルギーを積算することにより求められる。

$$E = \sum_{i=N_1}^{N_y} E_i$$

(算出例)

- ・金網展開方向長さ L_x : 5.1m
- ・金網展開方向目合い数 N_x : 5100mm/70.7mm=72 個
- ・金網展開剛性 K_x : 748/72=10.39kN/m
- ・ N_1 列の吸収エネルギー :

$$2 \times 10.39 \times 0.41^2 - 10.39 \times 5.1 \times (\sqrt{4 \times 0.41^2 + 5.1^2} - 5.1) = 0.02\text{kJ}$$



・N2列の吸収エネルギー：

$$2 \times 10.39 \times 0.82^2 - 10.39 \times 5.1 \times (\sqrt{4 \times 0.82^2 + 5.1^2} - 5.1) = 0.34 \text{kJ}$$

・N3列の吸収エネルギー：

$$2 \times 10.39 \times 1.23^2 - 10.39 \times 5.1 \times (\sqrt{4 \times 1.23^2 + 5.1^2} - 5.1) = 1.64 \text{kJ}$$

・N4列の吸収エネルギー：

$$2 \times 10.39 \times 1.64^2 - 10.39 \times 5.1 \times (\sqrt{4 \times 1.64^2 + 5.1^2} - 5.1) = 4.82 \text{kJ}$$

・N5, N6列の吸収エネルギー：

$$2 \times 10.39 \times 2.05^2 - 10.39 \times 5.1 \times (\sqrt{4 \times 2.05^2 + 5.1^2} - 5.1) = 10.81 \text{kJ}$$

・N7～N10列の吸収エネルギー：N4～N1列に同じ

・金網の吸収エネルギーE：

$$\sum_{i=N_1}^{N_{10}} E_i = (0.02 + 0.34 + 1.64 + 4.82) \times 2 + (10.81 \times 2) = 35.26 \text{kJ}$$

以下に原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）設置エリア上部開口部に設置する金網の算出結果を示す。

金網展開方向長さ Lx	5.1m					
金網展開方向目合い数 Nx	5.1m × 1000 / 70.7mm = 72個					
金網展開剛性 Kx	748 / 72 = 10.39kN/m					
列	N1, N66	N2, N65	N3, N64	N4, N63	N5, N62	N6, N61
吸収エネルギー(kJ)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
列	N7, N60	N8, N59	N9, N58	N10, N57	N11, N56	N12, N55
吸収エネルギー(kJ)	0.03	0.05	0.08	0.12	0.17	0.24
列	N13, N54	N14, N53	N15, N52	N16, N51	N17, N50	N18, N49
吸収エネルギー(kJ)	0.32	0.43	0.56	0.72	0.91	1.14
列	N19, N48	N20, N47	N21, N46	N22, N45	N23, N44	N24, N43
吸収エネルギー(kJ)	1.40	1.70	2.05	2.44	2.89	3.38
列	N25, N42	N26, N41	N27, N40	N28, N39	N29, N38	N30, N37
吸収エネルギー(kJ)	3.94	4.55	5.23	5.98	6.79	7.68
列	N31, N36	N32, N35	N33, N34			
吸収エネルギー(kJ)	8.64	9.68	10.81			
金網の吸収エネルギーE	163.9kJ					

(ハ) 風および自重による影響

原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）設置エリア上部開口部に設置する金網については、循環水ポンプ建屋内に設置するが、当該建屋は鉄骨造建屋であり、設計竜巻により外壁（外装材等）が損傷することも考えられることから、竜巻襲来時においては、防護ネットに風圧力が作用するものと考え、設計竜巻の最大風速 V_0 （=100m/s）の風圧力による金網への影響を評価した。

また、当該金網は水平に設置するため、自重によりたわみが発生することから、自重による金網への影響を評価した。

上記（ロ）項の金網の吸収エネルギー評価と同様に、金網を金網展開直角方向に1目合い毎に分割し、分割された1列に作用する風圧力 P_D および自重 P_V は次のとおり算出できる。

$$P_D = \frac{q \times G \times C \times A \times N}{1000} = \frac{\frac{1}{2} \times \rho \times V_D^2 \times G \times C \times A \times N}{1000} = 1.064 \text{ kN}$$

ここで、設計用速度圧 $q = \frac{1}{2} \times \rho \times V_D^2$

空気密度 ρ : 1.22 kg/m³

ガスト影響係数 G : 1.0

風力係数 C : 1.4

$$\text{受圧面積 } A = \left\{ \left(\frac{S + 2d}{1000} \right)^2 - \left(\frac{S}{1000} \right)^2 \right\} \times \frac{1000 \times Lx}{S_1}$$

ここで、素線径 d : ϕ 4mm

金網の目合い S : 50mm

金網の目合い対角寸法 S_1 : $50 \times \sqrt{2}$ mm

金網展開方向長さ Lx : 5.1m

ネットの設置枚数 N : 2

$$P_V = \frac{a \times m \times g \times n}{1000} \Bigg/ \frac{1000 \times Ly}{S_1} = 0.033 \text{ kN}$$

ここで、ネットの面積 $a = Lx \times Ly$

ここで、金網展開方向長さ Lx : 5.1m

金網展開直角方向長さ Ly : 4.7m

ネットの単位質量 m : 4.6 kg/m²

重力加速度 g : 9.80665 m/s²

ネットの設置枚数 n : 2

金網の目合い対角寸法 S_1 : $50 \times \sqrt{2}$ mm

上記で算出した風圧力 P_D が全て金網展開方向 Lx の中央に作用したとして、上記（ロ）項の金網に生じる作用力及び金網の吸収エネルギーの評価式から、1列に作用する風圧力により金網が受けるエネルギーを算出し、それを列数倍して、金網全体が受けるエネルギーを算出する。

$$F = P_0 = 4kx \cdot \delta i \cdot \left(1 - \frac{Lx}{\sqrt{4\delta i^2 + Lx^2}} \right)$$

$$E = 2kx \cdot \delta i^2 - kx \cdot Lx \cdot \left(\sqrt{4\delta i^2 + Lx^2} - Lx \right)$$

以下に原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）設置エリア上部開口部に設置する金網の算出結果を示す。

・ 風圧力により金網が受けるエネルギー：12.6kJ

また、上記同様、自重 P_w により金網が受けるエネルギーを算出した結果を以下に示す。

・ 自重により金網が受けるエネルギー：0.12kJ

(二) 評価結果

金網は2枚重ねて設置することから、金網2枚で吸収できるエネルギーは上記を2倍したものとなり327.8kJとなる。これに対して、鋼製材の衝突エネルギーは98kJ、風圧力により金網が受けるエネルギーは12.6kJ、自重により金網が受けるエネルギーは0.12kJであるため、金網の吸収エネルギーの方が大きいことから（裕度2.96（=327.8/110.72））、金網で鋼製材を受け止めることができることを確認した。また、金網最大変位量 δ_{max} は2.05mであり、防護対象設備と金網の離隔距離は2.05m以上確保することから、金網が防護対象設備に接触することはない。

(c) ワイヤロープの強度評価

ワイヤロープの強度評価は、次のとおり実施する。

- ・ 飛来物捕捉時の金網に発生する衝突荷重からワイヤロープに発生する張力を求める
- ・ ワイヤロープに発生する張力が許容荷重以内であることを確認する

以下に原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価例を示す。

イ. ワイヤロープの諸元

ワイヤロープの諸元を表-8に示す。

表-8 ワイヤロープの諸元

断面構成		7×7 鋼製
ロープ径		φ = 16mm
断面積		$A_w = 125\text{mm}^2$
弾性係数		$E_w = 100\text{kN/mm}^2$
破断荷重		$T_b = 165\text{kN}$
許容荷重		$T_y = 82.5\text{kN}$ (安全率 2)

ロ. ワイヤロープに発生する張力

・金網の最大変位量

$$\delta \max[\text{m}] = Lx/2 \times \tan \theta$$

ここで、金網変位角 $\theta [^\circ] = \cos^{-1} [S_1 / (S_1 + L)]$

$$\text{金網の目合い対角寸法 } S_1[\text{mm}] = 50 \times \sqrt{2}$$

$$\text{破断時の金網 1 目当たりの伸び量 } L[\text{mm}] = 20$$

$$\text{金網の展開方向長さ } Lx[\text{m}] = 5.1$$

・鋼製材衝突時に金網に発生する衝突荷重

鋼製材の衝突速度は 38m/s (最大鉛直速度) であるため、後述 (g) 項の < 飛来物衝突部における金網の局部貫通評価 > より、衝突荷重 F は、

$$F = Qt = \frac{76m}{t} = 126.8 \text{ kN}$$

となる。

ここで、鋼製材の質量 $m = 135\text{kg}$

$$\text{衝突時間 } t = \frac{3 \times \delta \max}{76}$$

・ワイヤロープに発生する張力

$F = 2P \sin \theta$ より、金網に発生する張力 P は、

$$P = F / (2 \times \sin \theta)$$

となる。

ここで、ワイヤロープに発生する張力を p' とすると、 $P = 2p'$ となることから、

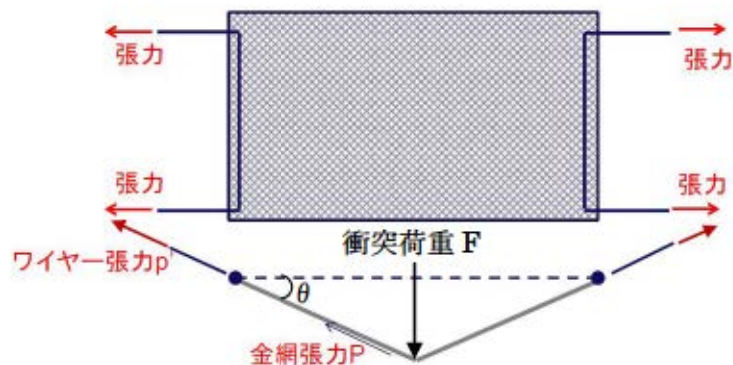
$$p' = F / (4 \times \sin \theta)$$

となる。

金網は 2 枚重ねて設置するため、上記 p' は 2 枚の金網のワイヤロープに発生する張力となることから、1 枚の金網のワイヤロープに発生する張力は上記 p' の半分となり、

$$F / (8 \times \sin \theta) = 25.3 \text{ kN}$$

となる。



ハ. 評価結果

鋼製材の衝突によりワイヤーロープに発生する荷重は 25.3kN であり、許容荷重 82.5kN 以内であることを確認した。

(d) 鋼製柱の強度評価

ワイヤーロープを固定する鋼製柱は下図に示す反力 R_p , N_p , M_p を外力として、この外力により鋼製柱に発生する応力度が許容応力度を満足することを確認する（ワイヤーロープ許容荷重での評価条件であり、他の鋼製柱設置箇所も同評価となる）。

イ. 鋼製柱の諸元

鋼製柱の諸元を表-9 に示す。

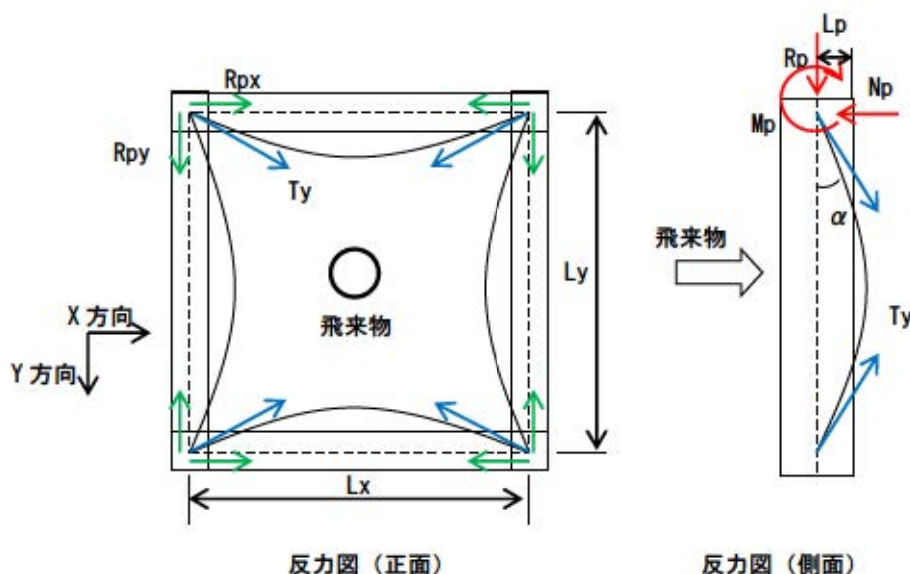
表-9 鋼製柱の諸元

サイズ	H-294×200×8×12
断面積	$A=7105\text{mm}^2$
断面係数	$Z_y=160000\text{mm}^3$ (弱軸)
断面二次モーメント	$I_y=16000000\text{mm}^4$ (弱軸)
許容曲げ応力度	0.21kN/mm^2 (短期)
許容圧縮応力度	98.74N/mm^2 (短期) ※

※：許容圧縮応力度は金網の固定間隔（金網寸法）に依存し、固定間隔が長くなる程小さくなることから、今回設置する金網の中で固定間隔が最長となる 5.1m にて評価を行った。

ロ. 鋼製柱に発生する外力

鋼製材の衝突荷重は、金網およびワイヤーロープを介して鋼製柱に作用することから、鋼製柱への入力荷重は、ワイヤーロープ荷重 (T_y) であり、ワイヤーロープの許容荷重を用いて評価する。



- ・ワイヤーロープ許容荷重
 $T_y=82.5\text{kN}$
- ・ワイヤーロープ変位角

$$\alpha = \tan^{-1}(4 \times f / L_x) = 38.7^\circ$$

ここで、 f : ワイヤロープたわみ量 $= 0.2^{**} \times L_x$

※ : 金網メーカーの試験結果より固定間隔の 20% とする。(別紙-2 参照)

・ 軸方向外力

$$N_p = (N_1 + N_2) \times \sqrt{2} \times T_y \times \sin \alpha = 145.8 \text{ kN}$$

ここで、 N_1, N_2 : 金網設置枚数 $= 2$

・ 軸直角方向外力

$$R_p = (N_1 + N_2) \times \sqrt{2} \times T_y \times \cos \alpha = 182.2 \text{ kN}$$

・ 底面にかかるモーメント

$$M_p = R_p \times L_p = 27.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ここで、 L_p : 鋼製枠定着面からロープ取付点までの距離 $= 0.15 \text{ m}$

・ 鋼製枠に作用する曲げ応力

$$M_p / Z_y = 0.17 \text{ kN/mm}^2$$

・ 軸直角方向 (x 成分、y 成分) 外力

$$R_{px} = R_{py} = R_p / \sqrt{2} = 128.8 \text{ kN}$$

・ 鋼製枠に作用する軸方向圧縮応力

$$R_{px} / A = 18.13 \text{ N/mm}^2$$

ハ. 評価結果

鋼製枠に発生する曲げ応力は 0.17 kN/mm^2 であり、許容曲げ応力度 0.21 kN/mm^2 を満足することを確認した。また、軸直角方向外力により鋼製枠に発生する軸方向圧縮応力は 18.13 N/mm^2 (X, Y 方向とも) であり、許容圧縮応力度 98.74 N/mm^2 を満足することを確認した。

(e) 鋼製パイプ対策

設計飛来物のうち鋼製パイプについては、作業のために設置する仮設足場等に使用されており、確実に飛散を防止することは困難と考えられる。鋼製パイプの直径は 50 mm であり、 50 目合いの防護ネット (金網) をすり抜ける可能性があることから、 50 目合いの金網を下図のように $1/2$ 目合いずらして設置し、すり抜けを防止する。

表-10 に金網の網目寸法のメーカー規格値を示す。金網の網目寸法の許容差は $\pm 1.5 \text{ mm}$ 、金網の素線径は $\phi 4 \text{ mm}$ であることから、2 枚のネットが完全に重なって鋼製パイプがすり抜けることは考え難いが、現地据付段階においては完全に重なる箇所がないか確認し、万一、鋼製パイプがすり抜ける箇所があれば、金網の設置位置を調整する。

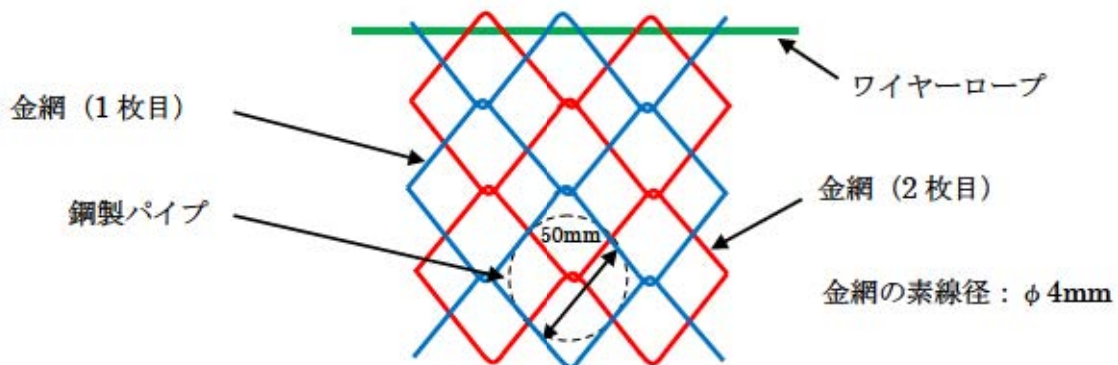


表-10 金網の網目寸法のメーカー規格値

網目寸法(mm)	許容差(%)	メーカー規格値(mm)
50	±3	48.50～51.50

(f) 鉄骨部材への飛来物衝突時の影響

防護ネットは、金網、金網を支持するワイヤーロープ、ワイヤーロープを締結する鋼製枠から構成する*設計としている(前述「図-10 防護ネットの構造イメージ図」参照)。

※：原子炉補機冷却海水ポンプ(配管および弁を含む)設置エリア(以下「海水ポンプ等設置エリア」という)、原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ(配管および弁を含む)設置エリア(以下「海水ポンプ出口ストレーナ等設置エリア」という)上部の開口部に設置する防護ネットについては、支持脚を設置しなくても防護対象設備との離隔を確保できることから、支持脚は設置しない。

支持脚に鋼製材が衝突した場合は、支持脚の変形等により、防護ネットが落下する可能性が考えられるが、上記のとおり、海水ポンプ等設置エリア及び海水ポンプ出口ストレーナ等設置エリア上部の開口部に設置する防護ネットには、支持脚は設置しないことから、防護ネットが落下して防護対象設備に影響を与えることはない。

一方、当該防護ネットについては、現場での施工性等を考慮し、当該開口部に対して2組設置することとしており(前述「表-5 防護ネット設置箇所の開口寸法と防護ネット(金網)の寸法一覧」参照)、2組の防護ネット(鋼製枠)が接する位置に鋼製材が衝突した場合は、当該部位の変形により鋼製材が防護ネットをすり抜ける可能性があるため、防護対象設備である海水ポンプ等に影響を与えないよう、当該部位にすり抜け防止用鋼材(平板+アングル材)を置く形で設置する計画であるため、鋼製材衝突時の影響をLS-DYNAを用いて解析した。図-15に海水ポンプ等設置エリア上部の開口部に設置する防護ネットのイメージ図を示す。

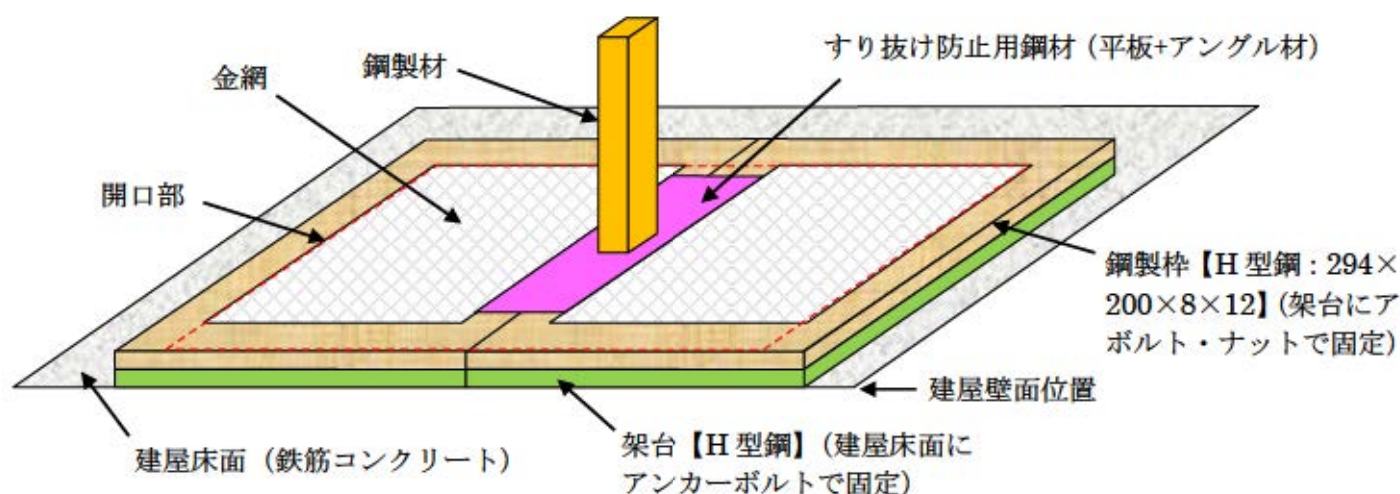


図-15 海水ポンプ等設置エリア上部の開口部に設置する防護ネットのイメージ図

H型钢の枠をシェル要素でモデル化して2組並べ、その上にすり抜け防止用鋼材を載せて鉄筋コンクリート(RC)上に設置し、2組のH型钢の枠(130mm間隔で設置)の中間

にシェル要素でモデル化した鋼製材（質量 135kg）を衝突させた結果、すり抜け防止用鋼材に変形が認められるものの、鋼製材のすり抜けを防止できることを確認した。表-11に材料物性値、図-16に解析モデル図、図-17に鋼製材衝突時の変形図、図-18に鋼製材衝突時の相当応力分布図を示す。

表-11 材料物性値

	材質	質量密度 [ton/mm ³]	ヤング率 [MPa]	ポアソン比
H型鋼 すり抜け防止用鋼材	SS400	7.85×10^{-9}	205000	0.3
RC	鉄筋コンクリート	2.40×10^{-9}	22960	0.2
鋼製材	SN490	7.65×10^{-9}	205000	0.3

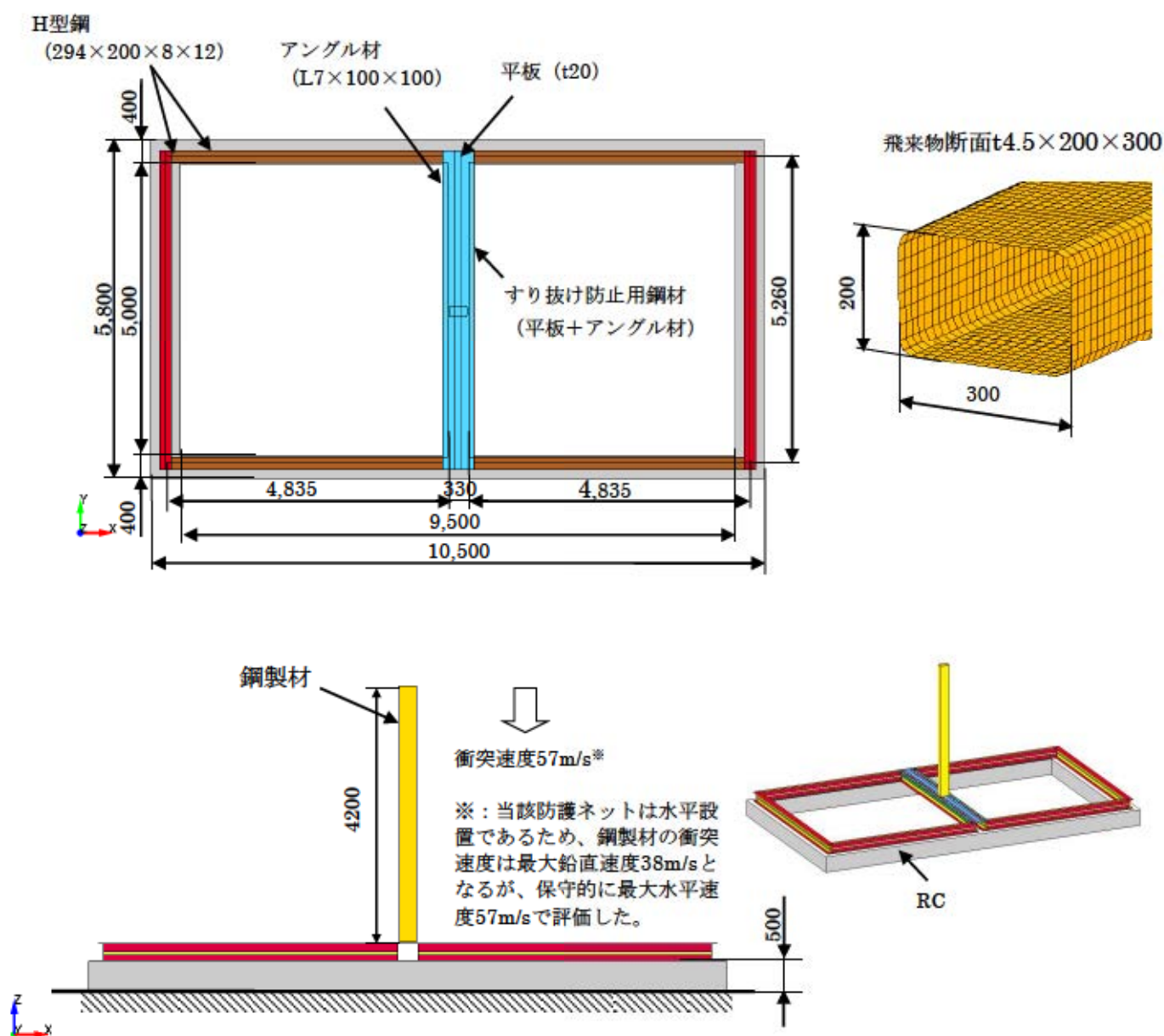
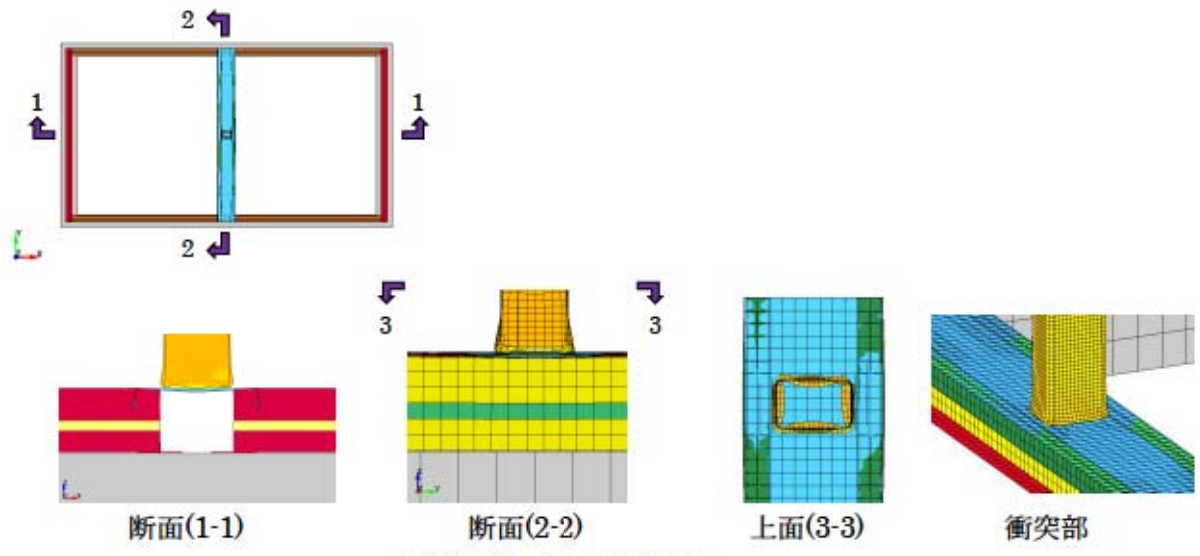
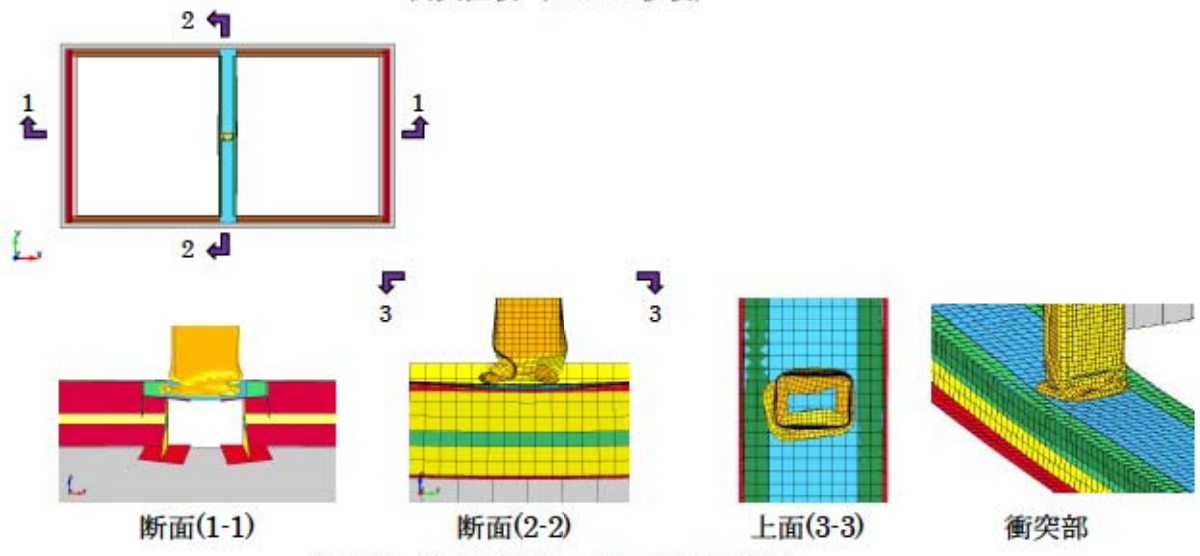


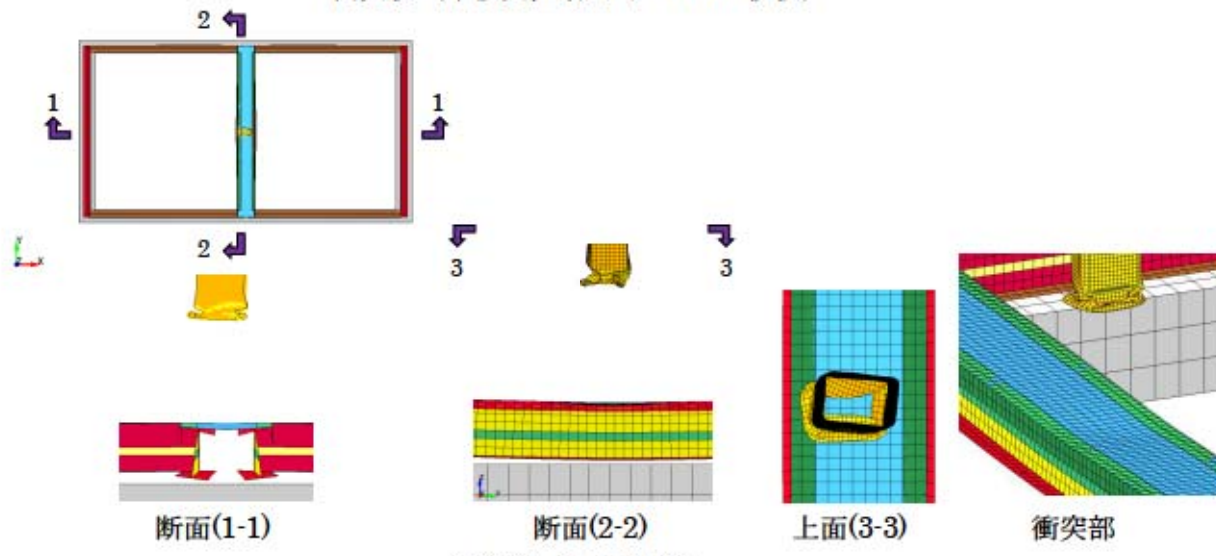
図-16 解析モデル図



衝突直後 (0.0015 秒後)



衝突後 (平板変位最大時 : 0.017 秒後)



衝突後 (0.15 秒後)

図-17 鋼製材衝突時の変形図

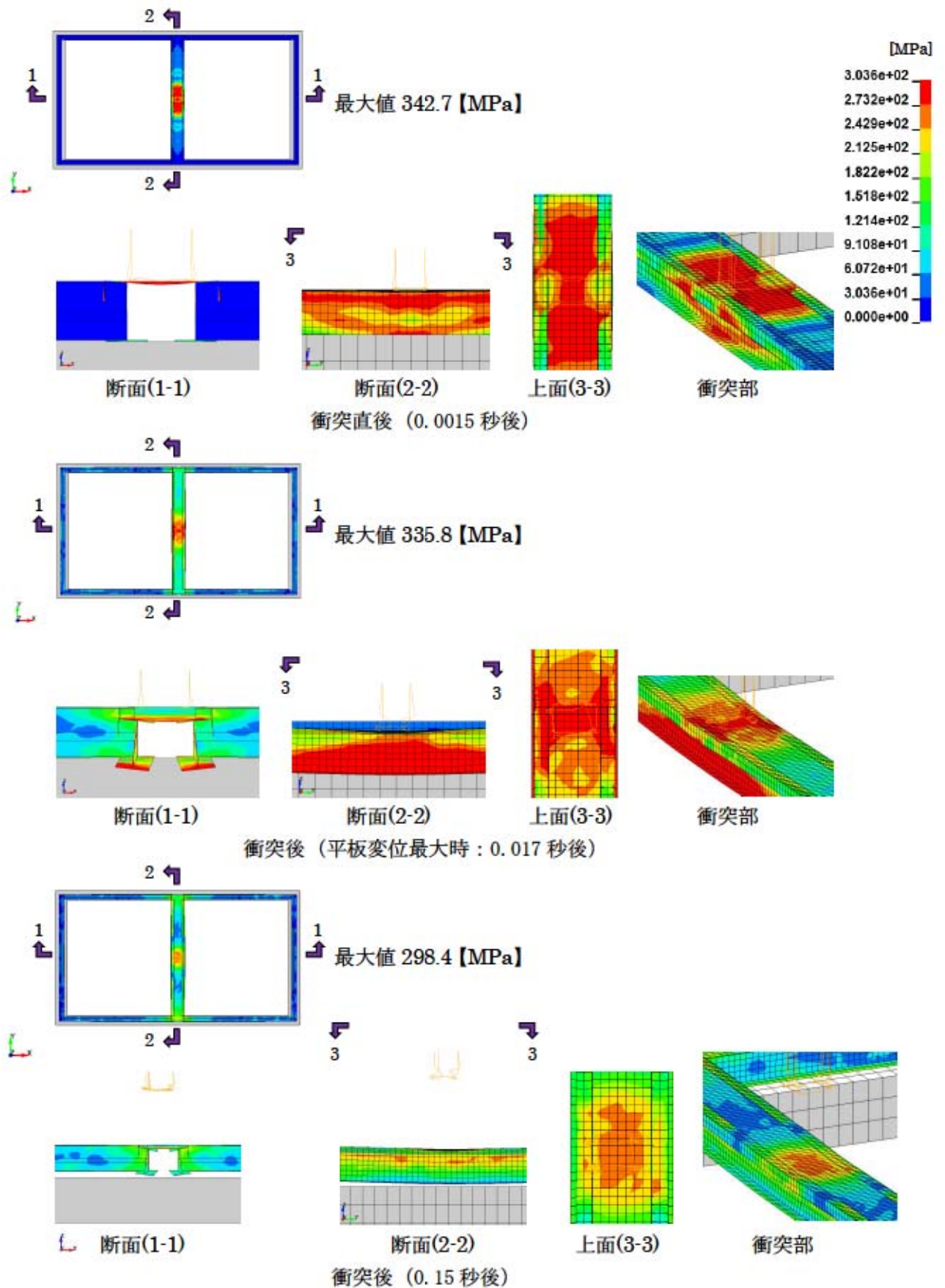


図-18 鋼製材衝突時の相当応力分布図

(g) まとめ

表-12 に上記で計算過程を示した原子炉補機冷却海水ポンプを含む防護対象設備毎の評価結果を示すが、防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護ネット（金網）については、飛来物防護対策にあたって想定する飛来物である鋼製材の衝突エネルギーを吸収でき、防護対象設備と防護ネット（金網）との離隔を適切に取ることにより、防護対象設備への飛来物の衝突を防止できることを確認した。

表-12 防護対象設備毎の評価結果一覧

防護対象設備	①金網の 吸収エネ ルギー (kJ)	②衝突 エネ ルギー (kJ)	③風圧力 によるエ ネルギー (kJ)	④自重に よるエネ ルギー (kJ)	裕度 $\left(\frac{\text{①}}{\text{②}+\text{③}+\text{④}}\right)$	最大 変位量 (m)	ワイヤーロー プ張力(kN) ≤82.5kN
原子炉補機冷却海 水ポンプ（配管およ び弁含む）	327.8	98.0	12.6*	0.12	2.96	2.05	25.3
原子炉補機冷却海 水ポンプ出口スト レーナ（配管および 弁含む）	169.2		5.1*	0.05	1.64	1.73	30.0

※：当該防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護ネットは建屋内に設置するが、当該建屋は鉄骨造建屋であり、設計竜巻により外壁（外装材等）が損傷することも考えられることから、竜巻襲来時においては、当該防護ネットに風圧力が作用するものと考え評価実施。

なお、今回設置する防護ネットの設計に当たって用いた金網の吸収エネルギー評価式の妥当性を確認するため、今回設置する金網と同仕様の金網（材質：JIS G3506 硬鋼線材、目合い寸法：50mm、素線径 4mm、素線の引張強さ 1400N/mm²）に対して行った自由落下試験の結果から、金網の吸収エネルギー算定値 E_{Design} と試験時の落下エネルギー E_{Drop} の比較を行った。自由落下試験は、重錘を実物大の金網（寸法 3m×4m）に衝突させる本試験（実物大スケール）と、防護ネットの候補材選定のため、鉄球を実物大の 1/4 程度の金網（寸法 1m×1m）に衝突させる予備試験（要素スケール）を実施しており、これら自由落下試験の全体概要図を図-19 に、試験結果を図-20 に、 E_{Design} と E_{Drop} の比較結果を図-21 に示す。

$E_{\text{Design}} > E_{\text{Drop}}$ の領域においては、いずれの試験においても貫通は発生せず捕捉する結果となったことから、当該評価式は妥当であると考え。

また、鋼製パイプを模擬した飛来物を高速（60m/s）で衝突させる試験を 2 回実施し、いずれも捕捉する結果となった（高速衝突試験の全体概要図を図-22 に、試験結果を図-23 に示す）。

高速衝突試験においては飛来物を金網の 1/4 高さにオフセット衝突させているため、オフセット衝突時の吸収エネルギーを評価して、当該評価式（中央衝突）を用いて設計することの妥当性を確認するとともに、飛来物衝突部における金網の局部貫通評価を行い、高速飛来物に対する当該評価式の適用性を確認した。

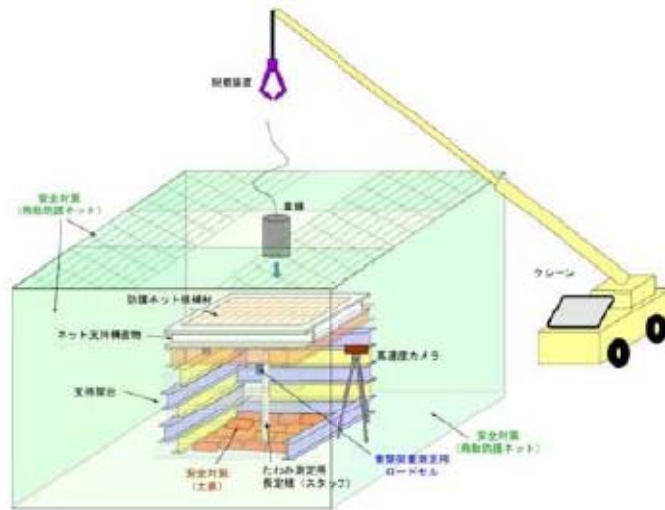


図-19 自由落下試験全体概要図（重錘落下の場合）

本試験（実物大スケール：金網寸法3m×4m）

試験ケース	枚数	支持条件	飛来物（重錘）			落下高さ (m)	最大変位 測定値(m)	落下エネル ギー(kJ)	吸収エネルギー 算定値(kJ)	試験結果
			直径 (mm)	質量 (kg)	衝突 位置					
HS2-F1	2	可動	500	1500	中央	17.0	2.04	[Redacted]	○	
HS2-F2	2	固定				19.5	-		310	×
HS2-F3	2	固定				19.5	-		310	×
HS2-F4	2	固定				19.5	-		310	×
HS2-F5	2	固定				19.5	-		310	×
HS2-F6	2	可動				17.0	1.91		278	○
HS2-F7	2	可動				17.0	-		276	×
HS2-F8	2	可動				15.4	2.10		257	○
HS2-F9	2	可動				15.4	1.73		252	○
HS3-F1	3	固定				21.6	-		341	×

○：貫通無し，×：貫通有

※：緩衝装置の吸収エネルギー含む

予備試験（要素スケール：金網寸法1m×1m）

試験ケース	枚数	支持条件	飛来物（鉄球）			落下高さ (m)	最大変位 測定値(m)	落下エネル ギー(kJ)	吸収エネルギー 算定値(kJ)	試験結果		
			直径 (mm)	質量 (kg)	衝突 位置							
HS1-3	1	固定	210	37.8	中央	25.0	-	0.98	[Redacted]	○		
HS1-4	1	固定				21.0		7.78		○		
HS1-5	1	固定				41.0		15.20		×		
HS1-6	1	固定				41.0		15.20		×		
HS1-7	1	固定				34.0		12.60		○		
HS1-8	1	可動				34.0		12.60		○		
HS1-9	1	可動				41.0		15.20		○		
HS1-10	1	可動				41.0		15.20		○		
HS2-3	2	固定				100		4		25.0	0.98	○
HS2-4	2	固定				21.0		7.78		○		
HS2-5	2	固定	41.0	15.20	○							
HS2-6	2	固定	41.0	15.20	○							
HS2-7	2	固定	41.0	15.20	○							

○：貫通無し，×：貫通有

図-20 自由落下試験結果（1/2）

<自由落下試験時の金網変形状況例 (HS2-F9) >



図-20 自由落下試験結果 (2/2)

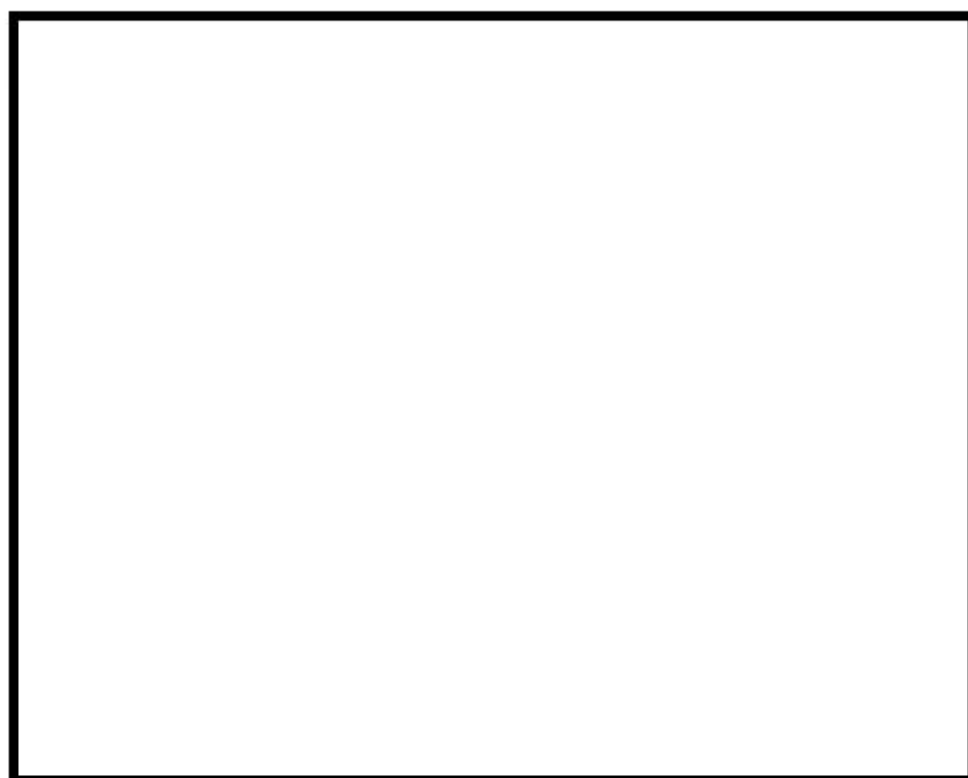


図-21 E_{Design} と E_{Drop} の比較結果



図-22 高速衝突試験全体概要図

高速衝突試験(実物大スケール:金網寸法3m×4m)

試験ケース	枚数	支持条件	飛来物(ハイツ形状)			衝突速度 (m/s)	最大変位 測定値(m)	衝突エネル ギー(kJ)	吸収エネルギ- 算定値(kJ)	試験結果
			直径 (mm)	質量 (kg)	衝突 位置					
HS-TM-1	2	可動	60	8.5	1/4	60.3	0.75	15.5	□	○
HS-TM-2	2	可動			高さ	59.5	0.74	15.0		○

○:貫通無し,×:貫通有

<高速衝突試験時のネット変形状況例 (HS-TM-1) >



図-23 高速衝突試験結果

<オフセット衝突時の吸収エネルギー評価について>

①オフセット衝突時の飛来物の挙動

展開方向長さ 4m の金網の中央 (座標 0, 0) を原点として、金網固定点を A 点 (座標 -2000, 0)、B 点 (座標 2000, 0) として、飛来物により y 軸方向に最大変形した後の飛来物停止位置を点 P' とすると、AP' + BP' は一定となり、点 P' の軌跡は楕円となる。図-24 に展開方向長さ 4m の金網における飛来物停止位置 (衝突点) の軌跡を示す。

$$\text{点 } P' \text{ の軌跡 } \frac{x^2}{2566^2} + \frac{y^2}{1607^2} = 1$$

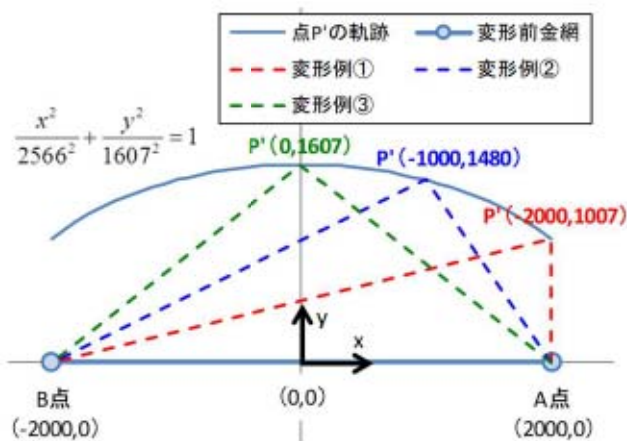


図-24 展開方向長さ 4m の金網における飛来物停止位置 (衝突点) の軌跡

図-24 において、y 軸方向に進行する飛来物がオフセット位置で金網に衝突して金網がたわみ始めると、衝突位置左右の金網の x 軸方向張力の差分により、飛来物は金網の中心から離れる方向に力を受け、図-24 で示した楕円軌道上で停止する。図-25 に展開方向長さ 4m の金網におけるオフセット衝突 (中央から 1.2m 位置) した場合の飛来物の軌跡を示すが、この場合、飛来物が中央に衝突した際の y 軸方向の最大たわみは約 1.6m となるが、中央から 1.2m オフセットした位置に衝突した際の最大たわみは約 1.0m となる。

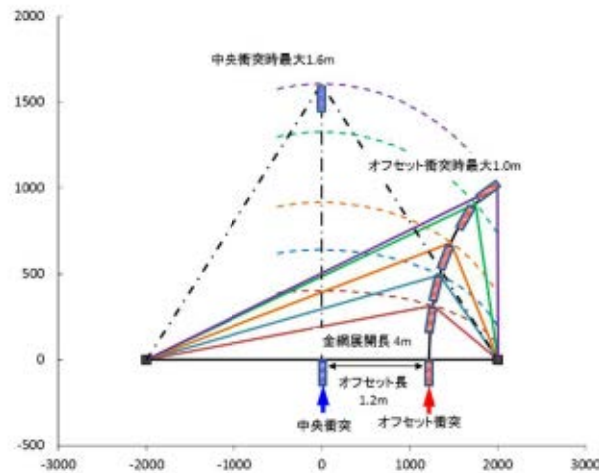


図-25 展開方向長さ 4m の金網におけるオフセット衝突 (中央から 1.2m 位置) した場合の飛来物の軌跡

②オフセット衝突時の吸収エネルギー評価（展開方向）

飛来物が金網の展開方向にオフセット衝突した場合、飛来物のエネルギーは垂直方向寄与分と水平方向寄与分に分解され、各々が金網の吸収エネルギーに変換されることとなる。図-26に展開方向長さ4mの金網におけるオフセット衝突（中央から1.2m位置）した場合の吸収エネルギーとたわみの関係を示すが、飛来物が中央から1.2m オフセットした位置に衝突した場合、最大たわみ量はオフセット位置から短い側の金網の最大たわみ量（図-25に示す約1.0m）に制限されるが、金網の吸収エネルギーは飛来物が垂直方向に金網を引っ張るエネルギーと、水平方向に引っ張るエネルギーとの合計となり、その値は中央衝突した場合の吸収エネルギーと同じになると考えられる。

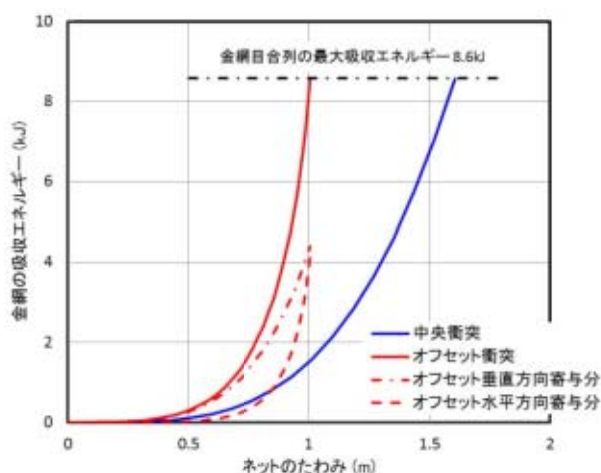


図-26 展開方向長さ4mの金網におけるオフセット衝突（中央から1.2m位置）した場合の吸収エネルギー

③オフセット衝突時の吸収エネルギー評価（展開直角方向）

金網の展開直角方向にオフセット衝突した場合の金網の吸収エネルギーへの影響について、①中央部に衝突した場合、②展開直角方向端部に衝突した場合、③展開直角方向の1/4高さに衝突した場合の3ケースを比較する形で検討した。

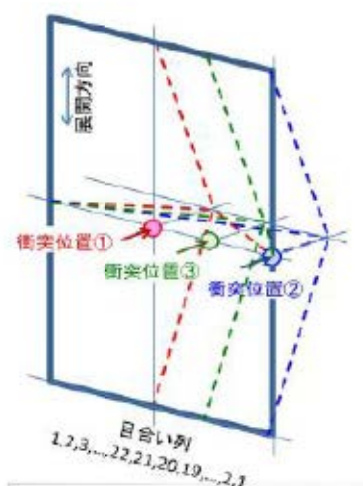
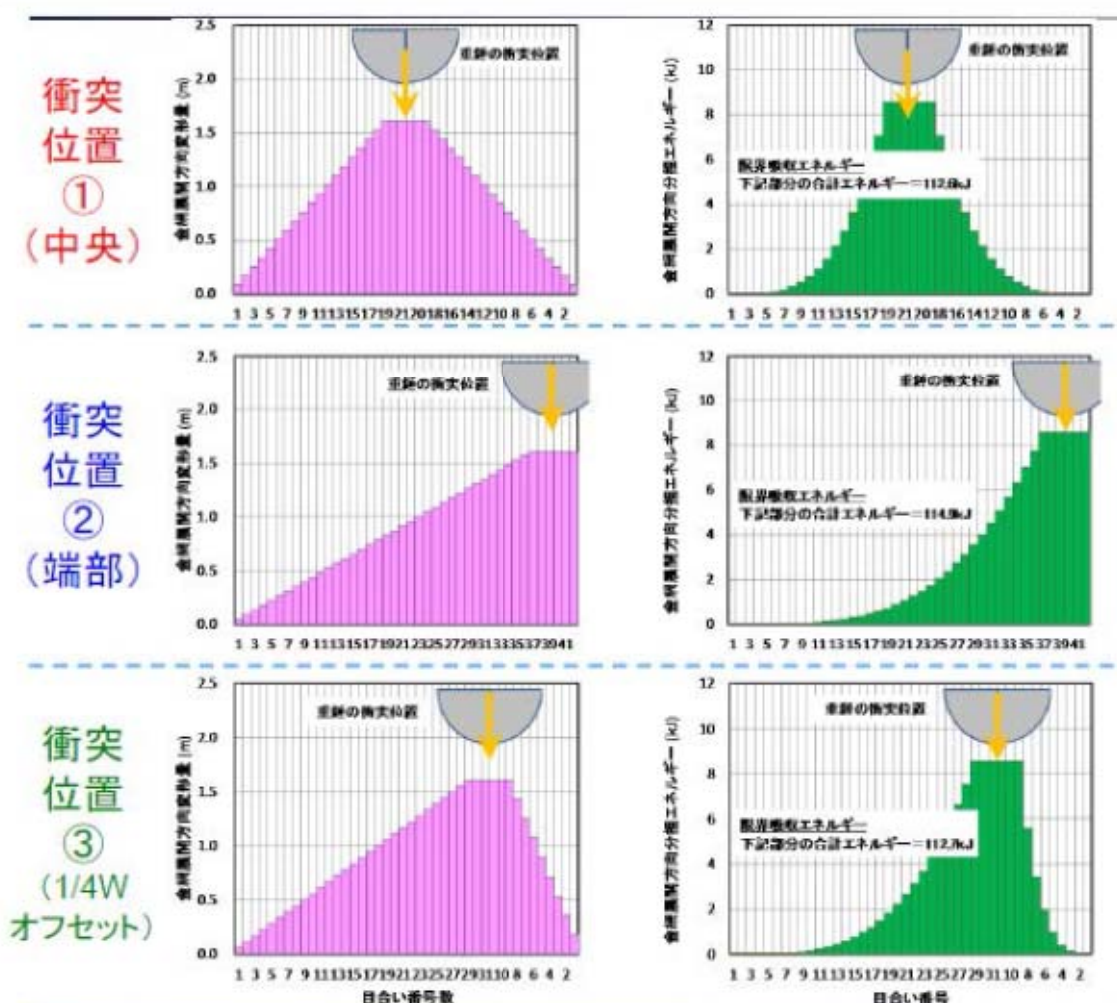


図-27 展開直角方向オフセット衝突位置（検討ケース）

図-27 に示す展開直角方向オフセット衝突位置（検討ケース）における金網の吸収エネルギーを算定した結果（表-14 参照）、衝突位置が中央から離れるほど、金網の吸収エネルギーが大きくなる結果となった。これは衝突位置が中央から離れるほど、衝突位置からオフセットした方向とは反対側の金網端部までの距離が長くなるため、飛来物の衝突により金網が大きく変形する範囲が増え、金網の吸収エネルギーが大きくなったものと考えられる。

表-14 展開直角方向オフセット衝突位置における金網の吸収エネルギー

衝突位置	金網の吸収エネルギー（1枚分）
①中央	112.6kJ
②端部	114.9kJ
③1/4高さ	112.7kJ



④まとめ

以上より、展開方向にオフセット衝突した場合の吸収エネルギーは、中央衝突した場合の吸収エネルギーと同じであり、一方、展開直角方向にオフセット衝突した場合の吸収エネルギーは、中央衝突した場合の吸収エネルギーよりも大きくなるため、当該評価式（中央衝突）を用いた設計とすることは妥当と考える。

<飛来物衝突部における金網の局部貫通評価>

飛来物が金網に衝突した場合の局部貫通評価を次のとおり実施した。

- ①飛来物衝突による衝突荷重を算定
- ②衝突部の金網から交点1点当たりの荷重を算出
- ③交点1点当たりの荷重が交点強度以下であることを確認

①飛来物衝突による衝突荷重を算定

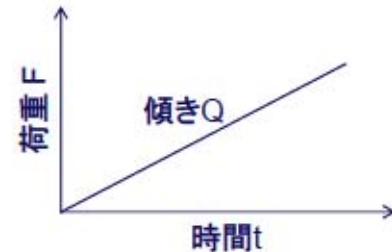
鋼製材が4m（金網展開方向長さ L_x ）×3m（金網展開直角方向長さ L_y ）の金網に衝突した場合の衝突荷重を以下のとおり算出した。

鋼製材が金網に衝突する速度を、最大水平速度 57m/s を切り上げて 60m/s、鋼製材の質量を m とすると、衝突荷重 F 、時間 t 秒後の飛来物の速度 v および変位量 δ は次式で表される。

$$F = Qt$$

$$v = -\frac{1}{m} \int Qt = -\frac{Qt^2}{2m} + 60$$

$$\delta = -\int \left(-\frac{Qt^2}{2m} + 60 \right) = -\frac{Qt^3}{6m} + 60t$$



ここで、最大変位量 δ_{\max} に到達したときの飛来物速度は $v=0$ であるため、

$$-\frac{Qt^2}{2m} + 60 = 0$$

より、

$$Qt^2 = 120m$$

$$\delta_{\max} = -\frac{Qt^3}{6m} + 60t = -\frac{120mt}{6m} + 60t = -20t + 60t = 40t$$

となることから、

$$t = \frac{\delta_{\max}}{40}$$

$$F = Qt = \frac{120m}{t}$$

となる。

鋼製材の質量は $m=135\text{kg}$ であるため、4m×3m の金網の最大変位量 δ_{\max} は、金網の吸収エネルギー評価式より、

$$\delta_{\max} = \frac{Lx}{2} \times \tan \theta = \frac{4}{2} \times \tan 38.8 = 1.608m$$

となるため、

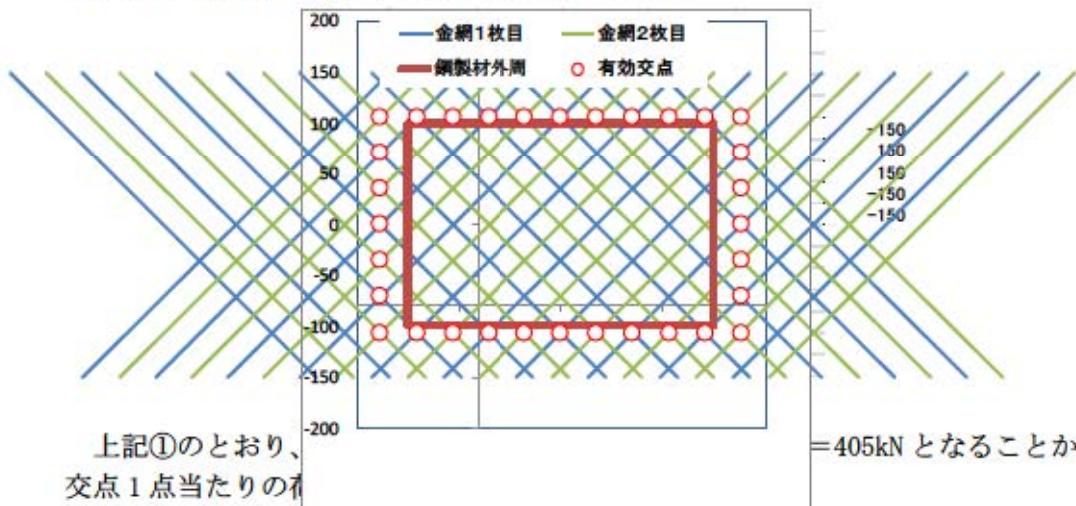
$$\text{衝突時間 } t = \frac{\delta_{\max}}{40} = \frac{1.608}{40} = 0.040s$$

$$\text{衝突荷重 } F = Qt = \frac{120m}{t} = \frac{120 \times 135}{0.040} = 405kN$$

となる。

②衝突部の金網から交点 1 点当たりの荷重を算出

鋼製材の形状は短辺 0.2m×長辺 0.3m であり、防護ネットは 50 目合いの金網を 1/2 目合いずらして 2 枚重ねて設置することから、鋼製材が金網に衝突した時の鋼製材外周近傍の金網交点は下図のとおり 32 点となるため、この交点数にて鋼製材が金網に衝突した際の衝突荷重を受け止めることとなる。



$$\text{交点 1 点当たりの荷重} = \frac{405}{32} = 12.7kN$$

となる。

③交点 1 本当たりの荷重が交点強度以下であることを確認

「図-12 荷重-伸び曲線」より、交点の破断荷重（交点強度）は 15.0kN（等価剛性 748kN/m×破断時の金網 1 目当たりの伸び量 20mm=15.0kN）であり、交点 1 点当たりの荷重<交点強度となり、鋼製材の衝突による金網の局部貫通は発生しない。

④まとめ

上記同様に今回設置する金網の局部貫通評価を行った結果（表-15 参照）、いずれの金網も交点 1 点当たりの荷重が交点強度を下回っており、鋼製材の衝突による金

網の局部貫通は発生しないことから、高速飛来物に対しても当該評価式は適用可能と考える。

表-15 今回設置する金網の局部貫通評価結果一覧

防護対象設備	最大変位量 δ_{\max} (m)	衝突時間 t (S)	衝突荷重 F (kN)	金網交 点数	交点1点当 たりの荷重 (kN)
原子炉補機冷却海水ポン プ (配管および弁含む)	2.05	0.081	126.8	32	4.0 (<15.0)
原子炉補機冷却海水ポン プ出口ストレーナ (配管 および弁含む)	1.73	0.068	150.4	32	4.7 (<15.0)

注：鋼製材の衝突速度は38m/s (最大鉛直速度)

<ワイヤーロープ曲がり部緩衝機構設置による影響>

防護ネットは金網を2枚重ねとし、金網の四辺はワイヤーロープにて支持して、ワイヤーロープを鋼製枠に締結する構造としており、この鋼製枠の四隅に緩衝機構を設置し、ワイヤーロープを緩衝機構に沿わせて締結することによって、ワイヤーロープに発生する張力の急激な増加を緩和することとしている。緩衝機構は、鋼製枠にボルト止めされる固定部と、ワイヤーロープに沿わせる可動部に分かれており、飛来物衝突時には、ワイヤーロープの変形により可動部（外径保持管）が動作し、緩衝機構内の部材が変形することによって、ワイヤーロープに発生する張力の急激な増加を緩和するものであり、飛来物衝突時のエネルギーを吸収する効果も期待できる。

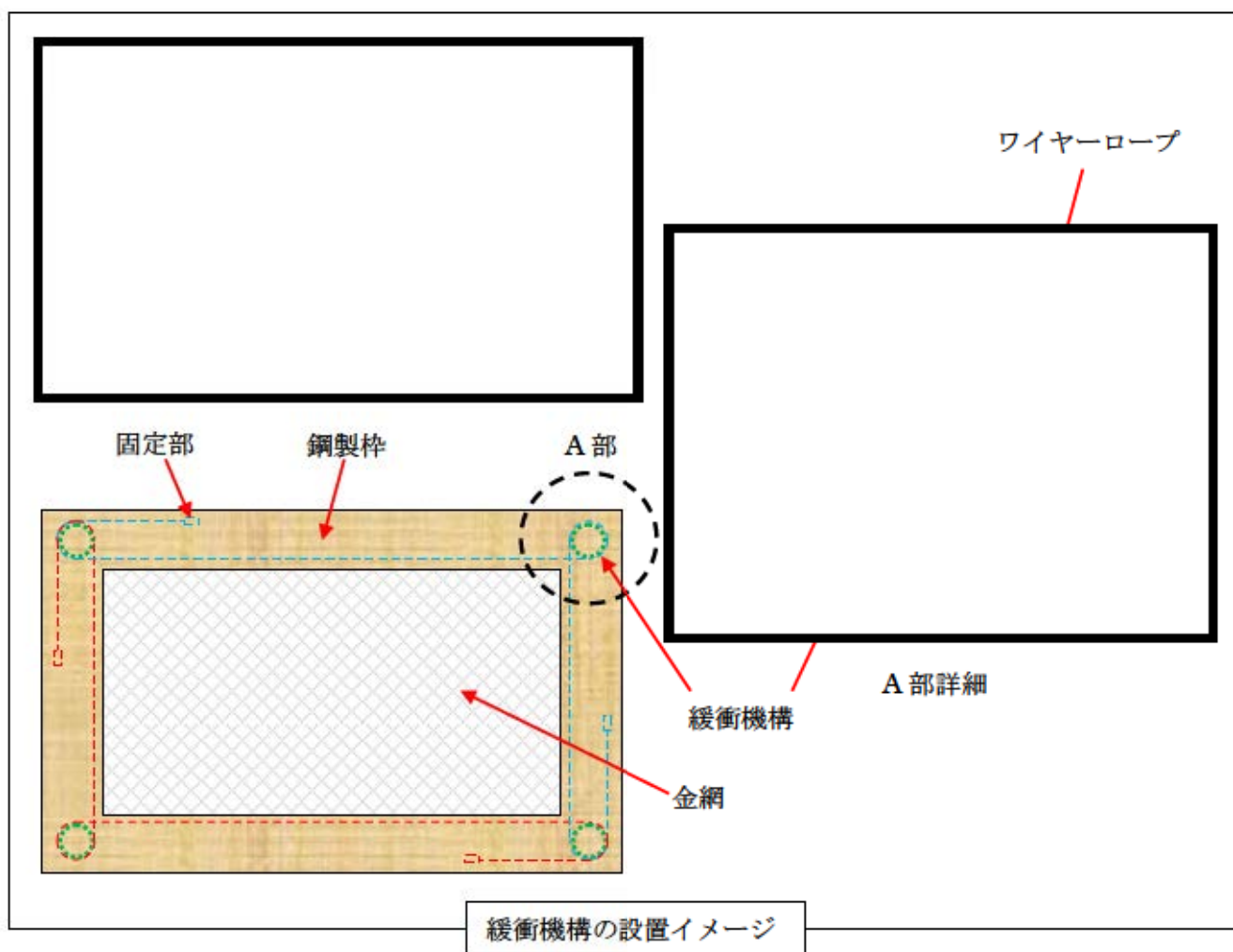
地震時に金網に作用する地震力等によって緩衝機構が動作した場合、外径保持管が斜め方向に最大で約70mm変位するため、金網を支持しているワイヤーロープにたるみが生じて金網にたわみが発生することから、この状態で飛来物が衝突した場合の影響を評価した。評価結果を表-16に示す。

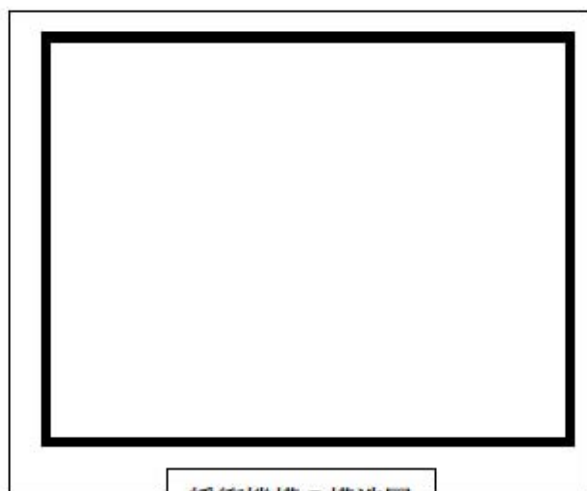
緩衝機構が動作した状態では動作しない状態と比較して、初期たわみが発生する分、金網変位角が大きくなり最大変位量が増加するため、金網の吸収エネルギーは若干ではあるが増加することになり、必要な裕度は確保されることを確認した。一方、最大変位量は上記のとおり増加するため、防護ネット（金網）が防護対象設備に接触しないよう、緩衝機構が動作した状態を考慮して、防護対象設備と防護ネット（金網）との離隔距離を確保する。

表-16 飛来物衝突時の緩衝機構動作状況の違いによる防護対象設備毎の評価結果一覧

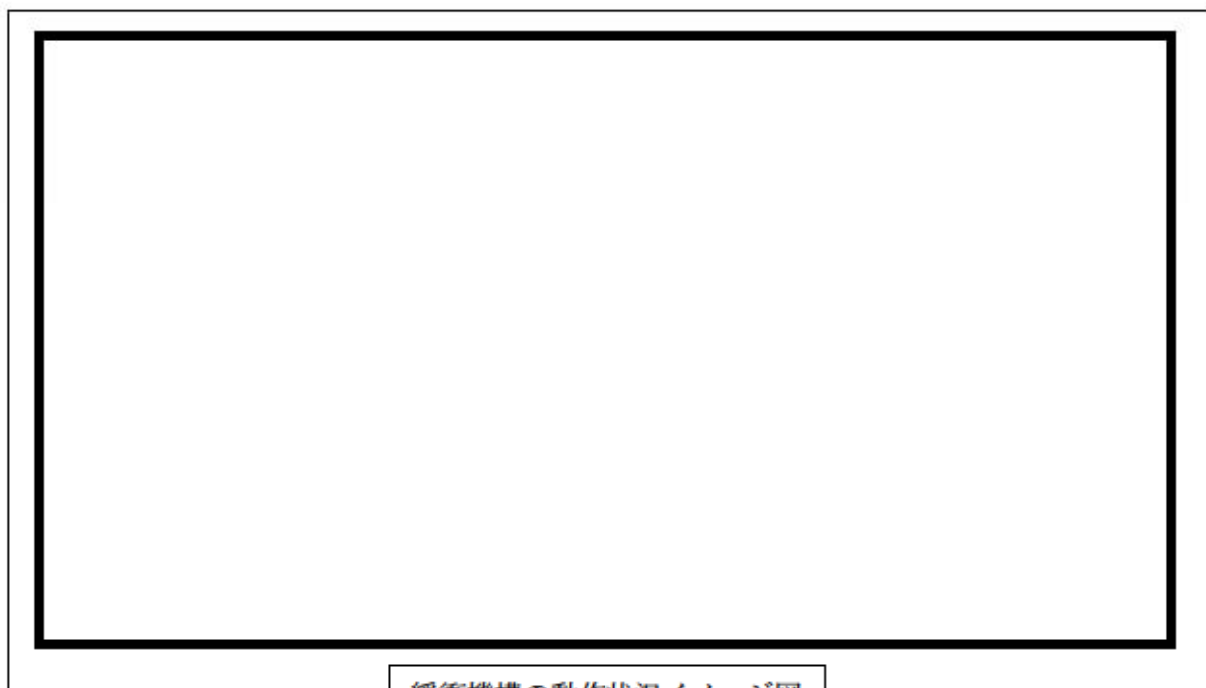
防護対象設備	①金網の吸収エネルギー (kJ)		②衝突エネルギー (kJ)	③風圧力によるエネルギー (kJ)		④自重によるエネルギー (kJ)		裕度 $\left(\frac{①}{②+③+④}\right)$		最大変位量 (m)	
	動作前	動作後		動作前	動作後	動作前	動作後	動作前	動作後	動作前	動作後
飛来物衝突時の緩衝機構動作状況											
原子炉補機冷却海水ポンプ (配管および弁含む)	327.8	330.9	98.0	12.6*	12.6*	0.12	0.12	2.96	2.98	2.05	2.11
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ (配管および弁含む)	169.2	171.0		5.1*	5.1*	0.05	0.05	1.64	1.65	1.73	1.79

※：当該防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護ネットは建屋内に設置するが、当該建屋は鉄骨造建屋であり、設計竜巻により外壁（外装材等）が損傷することも考えられることから、竜巻襲来時には、当該防護ネットに風圧力が作用するものと考え評価実施。





緩衝機構の構造図



緩衝機構の動作状況イメージ図

c. 防護鋼板の設計

蓄熱室加熱器が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガラリ室に設置する防護鋼板、配管および弁（主蒸気管室内）が設置されている主蒸気管室のブローアウトパネル前面（原子炉建屋外壁）および上部換気口前面（原子炉建屋外壁）に設置する防護鋼板については、既存建屋床もしくは壁（コンクリート）にアンカーボルト等にて固定する。一方、新燃料ラック内の上部に設置する防護鋼板（鋼製パイプ貫通防止蓋）については、防護鋼板の裏面に脱落および横ずれ防止用の支持部材（アングル材）を設け、当該ラック内上部に置くだけの構造とする。

以下に防護鋼板が鋼製材の貫通を防止できる強度を有しているか検討した。

(a) 防護鋼板の強度評価

イ. 蓄熱室加熱器防護用防護鋼板

鋼製材は吸気ガラリ室の吸気フードまたは扉を貫通して直接防護鋼板に衝突すると考えられるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s (=187.01ft/s) から、鋼板の貫通評価で用いている BRL 式（下式）により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 37mm となる。

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

ここで、

T: 鋼板貫通厚さ (in)

M: ミサイル質量 (lb・s²/ft)

V: ミサイル速度 (ft/s)

D: ミサイル直径 (in)

K: 鋼板の材質に関する定数=1

表-17 鋼板貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 (kg・s ² /m)	57 (m/s)	78.99 (mm)
↓	↓	↓
9.25 (lb・s ² /ft)	187.01 (ft/s)	3.11 (in)

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

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 187.01^2}{17400 \times 1^2 \times 3.11^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 1.42... \text{ (in)}$$

$$= 36.11... \text{ (mm)} \Rightarrow 37 \text{ (mm)}$$

以上より、防護鋼板の板厚は必要最少厚さ 37mm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

ロ. 配管および弁（主蒸気管室内）防護用防護鋼板

鋼製材は原子炉建屋に隣接しているタービン建屋の外壁、屋根または屋上に設置されているガラリーを貫通して直接防護鋼板に衝突すると考えられるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s (=187.01ft/s) から、前述した鋼板の貫通評価で用いている BRL 式により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 37mm となる。

以上より、防護鋼板の板厚は必要最少厚さ 37mm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

ハ. 新燃料ラックに貯蔵している燃料集合体防護用防護鋼板

鋼製パイプは燃料取扱棟の外壁を貫通して直接防護鋼板に衝突すると考えられるため、鋼製パイプの最大鉛直速度 33m/s (=108.27ft/s) から、鋼板の貫通評価で用いている BRL 式（下式）により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 11mm となる。

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

ここで、

T : 鋼板貫通厚さ (in)

M : ミサイル質量 (lb・s²/ft)

V : ミサイル速度 (ft/s)

D : ミサイル直径 (in)

K : 鋼板の材質に関する定数=1

表-18 鋼板貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
0.86 (kg・s ² /m)	33 (m/s)	21.38 (mm)
↓	↓	↓
0.58 (lb・s ² /ft)	108.27 (ft/s)	0.84 (in)

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

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 0.58 \times 108.27^2}{17400 \times 1^2 \times 0.84^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 0.39... (in)$$

$$= 10.10... (mm) \Rightarrow 11 (mm)$$

以上より、防護鋼板の板厚は必要最少厚さ 11mm 以上確保することから、鋼製パイプの貫通を防止できる。

(b) まとめ

以上より、防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護鋼板については、飛来物防護対策にあたって想定する飛来物である鋼製材あるいは鋼製パイプの貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さ以上の板厚を確保することにより、防護対象設備への飛来物の衝突を防止できることを確認した。

d. 防護壁（防護コンクリート）の設計

原子炉補機冷却水サージタンク他が設置されている原子炉建屋（T.P. 43. 6m）の扉前面（建屋内）に設置する防護壁、制御用空気系統配管が設置されている原子炉補助建屋（T.P. 33. 1m）内に設置する防護壁については、既存建屋床もしくは壁（コンクリート）にアンカーボルトにて固定する。

以下に防護壁が鋼製材の貫通を防止できる強度を有しているか検討した。

(a) 防護壁の強度評価

イ. 原子炉補機冷却水サージタンク他防護用防護壁

鋼製材は原子炉建屋（T.P. 43. 6m）の扉を貫通して直接防護壁に衝突すると考えられるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s（=187ft/s）から、コンクリートの貫通評価で用いている「修正 NDRC 式」（①式）、「Degen 式」（②式）により、鋼製材の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さを算出すると 29cm となる。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

ここで、

x_c : 貫入深さ (in)	α_c : 飛来物低減係数	K : $180/\sqrt{F_c}$
W : 飛来物重量 (lb)	N : 形状係数	D : 飛来物直径 (in)
V : 衝突速度 (ft/s)	F_c : コンクリート強度 (psi)	
t_p : 貫通厚さ (in)	α_p : 飛来物低減係数	

表-19 コンクリート貫通評価に係る諸元

低減係数 α_c, α_p	コンクリート強度 F_c	飛来物重量 W	形状係数 N	飛来物直径 D	衝突速度 V
1.0	24 (N/mm ²) ↓ 3480 (psi)	135 (kg) ↓ 298 (lbf)	1.14	27.6 (cm) ↓ 10.9 (in)	57 (m/s) ↓ 187 (ft/s)

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

$$x_c = 1.0 \sqrt{4 \times \frac{180}{\sqrt{3480}} \times 298 \times 1.14 \times 10.9 \left(\frac{187}{1000 \times 10.9} \right)^{1.8}}$$

$$= 5.48 \text{ (in)}$$

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$t_p = 1.0 \times 10.9 \left\{ 2.2 \left(\frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right) - 0.3 \left(\frac{5.48}{1.0 \times 10.9} \right)^2 \right\}$$

$$= 11.23 \text{ (in)}$$

$$= 28.52 \text{ (cm)} \Rightarrow 29 \text{ (cm)}$$

以上より、防護壁のコンクリート厚さは必要最少厚さ 29cm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

ロ. 制御用空気系統配管防護用防護壁

鋼製材は原子炉補助建屋 (T. P. 33. 1m) の扉を貫通して直接防護壁に衝突すると考えられるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s (=187ft/s) から、前述したコンクリートの貫通評価で用いている「修正 NDRC 式」および「Degen 式」により、鋼製材の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さを算出すると 29cm となる。

以上より、防護壁のコンクリート厚さは必要最少厚さ 29cm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できる。

(b) まとめ

以上より、防護対象設備を飛来物から防護するために設置する防護壁については、飛来物防護対策にあたって想定する飛来物である鋼製材の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さ以上の厚さを確保することにより、防護対象設備への飛来物の衝突を防止できることを確認した。

【参考】

■蓄熱室加熱器が設置されている蓄熱室内壁に施工している鋼板の強度評価

鋼製材は蓄熱室のコンクリート壁を貫通して防護鋼板に衝突することになるため、鋼製材の最大水平速度 57m/s (=187ft/s) から、前述したコンクリートの貫通評価で用いている「修正 NDRC 式」、「Degen 式」により、鋼製材の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さを算出すると 29cm となる。また、同様の条件で前述した鋼板の貫通評価で用いている BRL 式により、鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さを算出すると 37mm となる。

参考表-1 鋼板貫通評価に係る諸元

ミサイル質量 M	ミサイル速度 V	ミサイル直径 D
13.77 (kg·s ² /m)	57 (m/s)	78.99 (mm)
↓	↓	↓
9.25 (lb·s ² /ft)	187.01 (ft/s)	3.11 (in)

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

$$T = \sqrt[3]{\left(\frac{0.5 \times 9.25 \times 187.01^2}{17400 \times 1^2 \times 3.11^{3/2}}\right)^2}$$

$$= 1.42... \text{ (in)}$$

$$= 36.11... \text{ (mm)} \Rightarrow 37 \text{ (mm)}$$

ここで、蓄熱室のコンクリート壁厚さは 18cm であるため、鋼製材の貫通を生じないために必要なコンクリートの最小厚さ 29cm に対してコンクリート厚さが 11cm 不足していることから、不足しているコンクリート厚さに相当する鋼板厚さを算出すると 15mm となる。

$$T = \frac{(29 - 18)}{29} \times 37$$

$$= 14.03... \text{ (mm)} \Rightarrow 15 \text{ (mm)}$$

以上より、防護鋼板の板厚は必要最少厚さ 15mm 以上確保することから、鋼製材の貫通を防止できることを確認した。

e. 飛来物防護対策による防護対象設備の安全機能への影響

飛来物防護対策として今回設置する防護ネット、防護鋼板および防護壁（以下「防護ネット等」という）については、防護対象設備近傍に設置するため、防護対象設備の安全機能に影響を与える可能性があることから、防護対象設備の安全機能に影響を与える恐れがないか以下に検討した。

(a) 防護ネット等の損傷等により防護対象設備に及ぼす波及的影響

防護ネット等を防護対象設備近傍に設置する場合、防護ネット等の損傷により防護対象設備に波及的影響を与える可能性がある。

イ. 地震による防護ネット等の落下・転倒

地震により防護ネット等が落下もしくは転倒すると、防護対象設備の安全機能に悪影響を与える可能性がある。

ロ. 防護ネット等の腐食

防護ネット等を支える支持部材等が腐食により破損すると、防護対象設備に波及的影響を与える可能性も考えられるが、防護ネット（金網）の構成部材である金網、ワイヤーロープは亜鉛メッキが施されており、鋼製枠は防食塗装を施すこととしていること、また、防護鋼板の構成部材である鋼板、支持部材（鋼材）は防食塗装を施すこととしていること等から、耐食性を有しており、防護ネット等の腐食による波及的影響はないものと考えている。

なお、防護壁の構成部材として支持部材等はないため、腐食による波及的影響はないものと考えている。

ハ. 火災

防護ネット等が燃え火災となれば防護対象設備に波及的影響を与える恐れがあるが、防護ネット（金網）の構成部材である金網（硬鋼線）、鋼製枠（鋼製）、ワイヤーロープ（鋼線）、および防護鋼板の構成部材である鋼板、支持部材（鋼材）並びに防護壁（コンクリート製）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護ネット等に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。

(b) 防護ネット等の設置により防護対象設備の周辺環境が変化することによる悪影響

防護ネット等の設置により防護対象設備の冷却、アクセス性などの周辺環境が変わることにより、防護対象設備の安全機能に影響を与える可能性がある。

イ. 冷却空気等の流路阻害

防護ネット等は飛来物の進入が想定される建屋開口部や防護対象設備を収めるピット開口部に設置するケースがあるが、これらは防護対象設備にとって必要な冷却空気等の流路でもあり、防護ネット等がこれを阻害し防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。

ロ. 消火活動への悪影響

防護ネット等が防護対象設備周辺で発生した火災の消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。

(c) 評価結果

上記（a）、（b）項から、防護対象設備に影響を与える可能性のある①地震による防護ネット等の落下・転倒、②冷却空気等の流路阻害、③消火活動への悪影響による防護対象設備の安全機能への影響について評価した結果、①防護ネット等は基準地震動に対して耐震性を確保すること、②防護ネット等が開口部を閉塞することはないこと、③防

護ネット等が消火あるいは消火活動の妨げになることはないこと等から、防護対象設備の安全機能に影響を与えないことを確認した。評価結果を表-20 に示す。

表-20 飛来物防護対策による防護対象設備の安全機能への影響評価結果一覧(1/2)

項目	防護対象設備への影響内容	評価結果						
		原子炉補機冷却海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ、配管および弁含む）	蓄熱室加熱器	原子炉補機冷却水サージタンク他	配管および弁（主蒸気管内）	制御用空気系統配管	新燃料ラック	
防護対象設備に及ぼす波及的影響 防護ネット等の損傷等により	地震による防護ネット等の落下・転倒	地震により防護ネット等が落下もしくは転倒すると、防護対象施設の安全機能に悪影響を与える可能性がある。	防護ネットは基準地震動に対して耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	吸気ガラリー室内に設置する防護鋼板が仮に転倒しても吸気流路を閉塞させることは考えがたいことから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護壁の設置に当っては基準地震動に対する耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護鋼板が仮に落下してもタービン建屋内であり、当該建屋内には防護対象設備は設置されていないことから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護壁の設置に当っては基準地震動に対する耐震性を確保するため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護鋼板（鋼製パイプ貫通防止蓋）は新燃料ラック内上部に置く形で設置するため、防護鋼板の裏面に脱落および横ずれ防止用の支持部材（アングル材）を設けることから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。また、当該貫通防止蓋設置による当該ラックの耐震性に影響を与えない設計とする。
	防護ネット等の腐食	防護ネット等を支える支持脚、支持部材等が腐食により破損すると、防護対象施設に波及的影響を与える可能性がある。	防護ネット（金網）の構成部材である金網、ワイヤーロープは亜鉛メッキが施されており、鋼製枠は防食塗装を施すこととしていること、また、防護鋼板の構成部材である鋼板、支持部材（鋼材）は防食塗装を施すこととしていること等から、耐食性を有しており、防護ネット等の腐食による波及的影響はないものと考えている。なお、防護壁の構成部材として支持部材等はないため、腐食による波及的影響はないものと考えている。					
	火災	防護ネット等が燃え火災となれば防護対象設備に波及的影響を与える恐れがある。	金網（硬鋼線）、鋼製枠（鋼製）、ワイヤーロープ（鋼線）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護ネット（金網）に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。	鋼板、支持部材（鋼材）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護鋼板に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。	防護壁（コンクリート製）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護壁に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。	鋼板、支持部材（鋼材）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護鋼板に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。	防護壁（コンクリート製）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護壁に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。	鋼板、支持部材（鋼材）は可燃性ではなく耐火性を有していることから、防護鋼板に起因する火災による波及的影響はないものと考えている。

表-20 飛来物防護対策による防護対象設備の安全機能への影響評価結果一覧(2/2)

項目	防護対象設備への影響内容	評価結果					
		原子炉補機冷却海水ポンプ（原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ、配管および弁含む）	蓄熱室加熱器	原子炉補機冷却水サージタンク他	配管および弁（主蒸気管内）	制御用空気系統配管	新燃料ラック
周辺環境が変化することによる悪影響	冷却空気等の流路阻害	防護ネット（金網）が開閉口部を閉塞することはない、冷却空気流路は十分に確保できるため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護鋼板は既給気開口面積を上回るよう設置するため、開口部を閉塞することはない、吸気流路は十分に確保できることから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	当該設備は冷却を要しないため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護鋼板は既開口面積を上回るよう設置するため、開口部を閉塞することはない、蒸気排出流路および排気流路は十分に確保できることから、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	当該設備は冷却を要しないため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	当該ラックに貯蔵される燃料集合体（新燃料）は冷却を要しないため、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。
	消火活動への悪影響	防護ネット等が防護対象設備周辺で発生した火災の消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に悪影響を及ぼす可能性がある。	防護ネット（金網）設置後においても、開口部を閉塞することはないため、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護鋼板を設置する吸気ガラリ室内に可燃物はないことから、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	建屋内に設置する防護壁は、扉へのアクセス性を考慮して設置するため、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	設置箇所は壁面近傍であり消火活動に影響を与えることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	建屋内に設置する防護壁は、扉へのアクセス性を考慮して設置するため、消火活動の妨げになることはなく、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。

ワイヤーロープのたわみ量の設定について

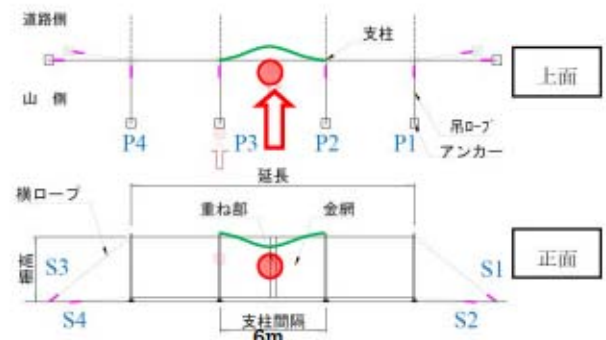
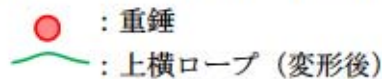
防護ネットの設計において、ワイヤーロープを締結する鋼製枠の設計条件として、ワイヤーロープのたわみ量を固定間隔の20%としている根拠は次のとおりである。

(メーカー確認試験)

硬鋼線網を使用した防護ネットについて衝撃吸収装置の有効性を確認した試験において、従来ワイヤーロープを使用した比較対象ケースの試験結果が、今回、設置する防護ネットと同様、高強度金網+ワイヤーロープの組合せを使用している。

名称	寸法・規格
高強度金網	φ4.0×50
上横ロープ	3×7 φ18

(防護ネットのロープは、7×7 φ16)



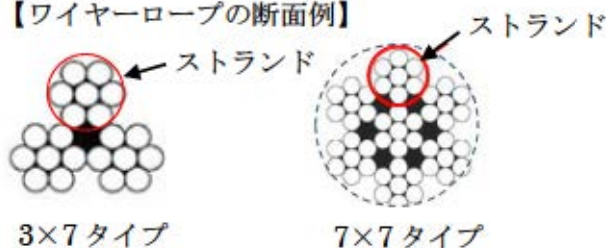
【試験装置 概要図】

当該試験の結果、および防護ネット設計に適用するロープたわみ量の考え方は次のとおり。

- ✓ 重錘の衝突エネルギー137.8kJを受けてネット変位量は最大2.4mに達し、上横ロープは破断した。上横ロープが破断する直前のネット変位量は2.0mであることから、画像により判断したところ1.2mのたわみ量を計測した。
- ✓ 上横ロープの固定間隔は支柱間隔と同じ6.0mであり、破断前のロープたわみ量1.2mから、ロープのたわみ量と固定間隔の比は、 $1.2\text{m}/6.0\text{m}=0.2$
- ✓ よって、ネットに衝突した際のネットを固定しているロープのたわみ量fは固定間隔の20%と設定した。

上記試験で使用されているワイヤーロープは3×7タイプ(7本よりで1本にしたストランドを3本よりにした製品)であるが、今回使用するワイヤーロープは7×7タイプであり、ロープ径はφ18とφ16でほぼ同じである。同一径のロープでは、一般にストランド数が増加するほどストランド径は細くなり、ロープは柔軟性を増してよりたわみやすいことから、上記試験結果を適用することは妥当と考える。

【ワイヤーロープの断面例】



3×7タイプ

7×7タイプ

試験状況を次ページに示す。

(試験状況)

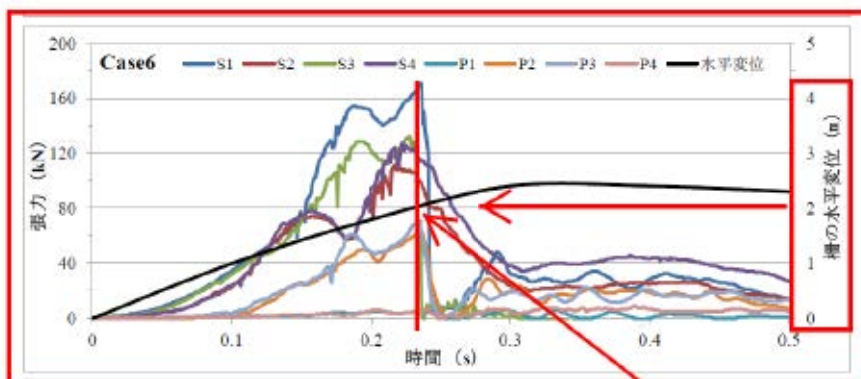
1. 重錘衝突前のネット状況



2. 重錘衝突位置のネット変位量が 2.0m に達した状況 (ワイヤー健全状態での伸び位置)



3. 上横ロープが部分破断し、重錘衝突位置のネット変位量が最大 2.4m に達した状況



重錘先端（網位置）の変位（黒線）から 2.0m 時点（2.時点）では各部張力が働いておりワイヤーロープは破断していないが、その後破断（3. 時点）し、張力が低下している。

停車車両の退避について

1. はじめに

泊発電所構内の屋外に保管されている各種資機材、車両等（重大事故等対象設備含む）、飛来物になり得るものについては、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないよう、必要に応じて固縛する等の飛来物発生防止対策を実施することとしている。

表-1 に車両（重大事故等対象設備含む）の飛来物発生防止対策を示すが（補足説明資料26. 参照）、停車車両については、竜巻襲来が予想される場合（竜巻が襲来する恐れが生じた場合）に速やかに竜巻防護施設を内包する建屋および竜巻防護施設を内包する建屋の上屋である循環水ポンプ建屋（以下「竜巻防護施設を内包する建屋等」という。）から350mの範囲外に退避できる体制を取る旨マニュアルに反映することとしており固縛不要としていることから、退避手順等を以下に示す。

表-1 車両（重大事故等対象設備含む）の飛来物発生防止対策

区分	対策範囲	対策内容
高さ方向へ飛散する車両	竜巻防護施設を内包する建屋等から350mの範囲内	<ul style="list-style-type: none"> 十分な重さのウエイトを取付ける。 ウエイトの重量については、車両の自重+ウエイトの重量により空力パラメータが0.0026以下となる重量とする。 停車車両については、竜巻襲来が予想される場合に速やかに竜巻防護施設を内包する建屋等から350mの範囲外に退避できる体制を取る旨マニュアルに反映することとしており固縛不要とする。 業務車両以外の車両については、構内への入構を禁止する。
高さ方向へは飛散しないが横滑りする車両	竜巻防護施設を内包する建屋等から190mの範囲内	<ul style="list-style-type: none"> アンカーにより地面へ固縛する。

2. 対象車両

竜巻防護施設を内包する建屋等から350mの範囲内にある車両のうち、作業等で使用するなど運転手が付近に常駐している車両とする。

なお、「運転手が付近に常駐している」とは、作業場所周辺に駐車しており運転手が速やかに車両を移動可能な場合、あるいは総合管理事務所や保修事務所の駐車場に駐車し、

運転手が事務所内にいる場合をいう。

3. 停車車両の退避体制について

停車車両を速やかに退避できる体制とは、上記2. 項のとおり、運転手が付近に常駐している場合とする。

4. 退避場所の選定

(a) 基本方針

- 竜巻防護施設を内包する建屋等から350m以上離れていること。
- 速やかに避難できるよう複数箇所を選定。
- 運転手が避難できる建物があること。

(b) 退避場所（案）

- ① 保修事務所駐車場
- ② とまりん館駐車場
- ③ ほくでん体育館駐車場
- ④ 宮丘駐車場
- ⑤ 滝ノ洞駐車場

図-1 に退避場所を示す。

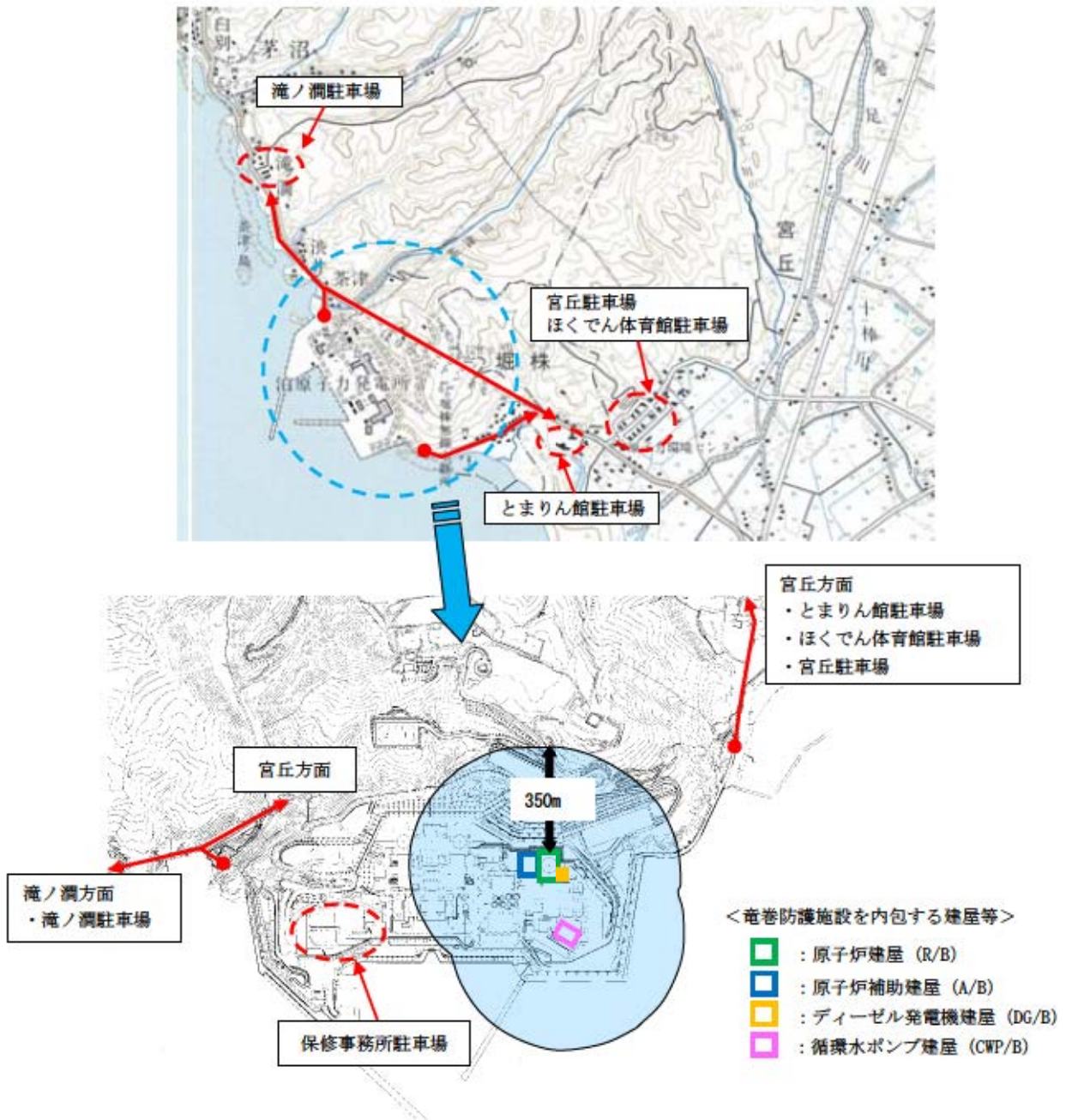


図-1 退避場所

(c) 退避場所の周知方法 (案)

- ✓ 作業者に関しては入所時教育、定検前教育等で避難方法など竜巻に対する対応方法の周知を図る。
- ✓ 一時立入者については、正門で避難ルールを記載したペーパーを手渡すことにより周知を図る。

5. 退避手順（暫定案）

停車車両については、竜巻の襲来が予想される場合に速やかに退避することとしており、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないためには、竜巻襲来の恐れを早期に検知し、事前に準備を行うことが重要である。

強い竜巻は、メソサイクロン（小規模な低気圧性の循環構造）を伴う発達した積乱雲の下で発生するため、積乱雲の移動に伴って竜巻が発生しやすい状況も移動すると考えられる。そのため、レーダーナウキャストにより積乱雲の移動方向を確認することで、竜巻が発生しやすい状況の移動方向が予測できると考えられることから、レーダーナウキャストによる「竜巻発生確度」および「雷活動度」の実況値および予測値を指標として用いる。

気象庁による監視体制も強化*され、さらに研究も進んでいることから、今後更なる予測精度の向上が見込まれる。後述の判断基準等については、今後もデータ・知見等の収集に努め、より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し、改善を図っていくものとする。

※：2013年3月に気象レーダーのドップラーレーダー化が完了

（1）竜巻監視対応（STEP1）

以下の条件のうち、いずれかに該当した場合は、竜巻襲来の恐れを検知するため、適宜レーダーナウキャストの監視を行う。また、竜巻が発生する可能性があることを館内放送等により、発電所員、協力会社員へ周知する。

<監視開始条件>

- ・ 後志西部地方のうち岩内町、共和町、泊村、神恵内村の4町村のうち、いずれかに「雷注意報（竜巻）」または「雷注意報（ひょう）」が発表された場合
- ・ 「竜巻注意情報（石狩・空知・後志地方）」が発表された場合

<監視範囲>

監視範囲は図-2のとおり、泊発電所を中心とした1辺90kmの正方形の範囲とする。

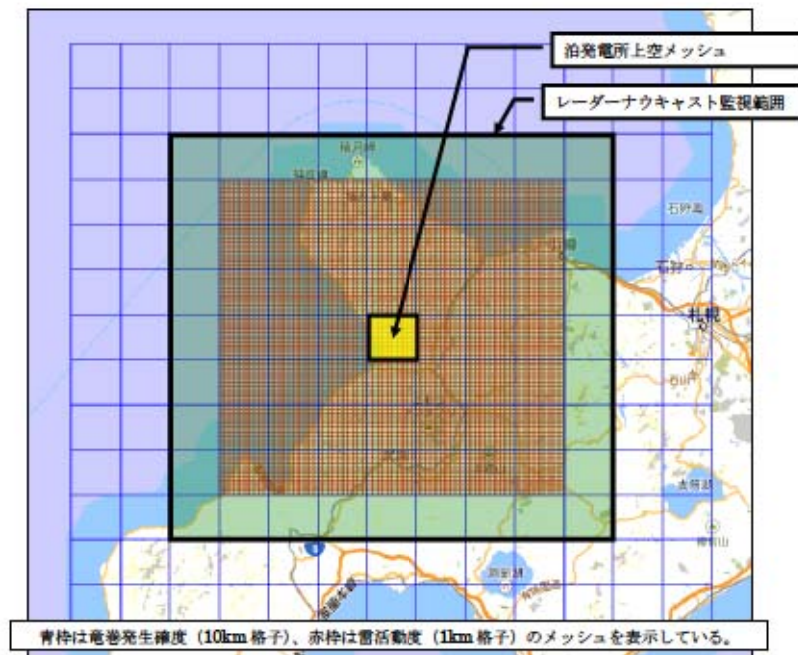


図-2 レーダーナウキャスト監視範囲

(2) 竜巻退避準備対応 (STEP2)

STEP1で監視を開始したレーダーナウキャストにおいて、以下の条件のうち、いずれかに該当した場合は、竜巻の襲来が予想されるため、竜巻退避準備対応を開始する。

<準備開始条件>

- ・ レーダーナウキャストにより、発電所上空に「竜巻発生確度2」が発生したことを確認した場合、または予測値からその恐れがある場合
- ・ レーダーナウキャストにより、発電所上空に「雷活動度2以上」が発生したことを確認した場合、または予測値からその恐れがある場合

竜巻退避準備対応として、ディーゼル発電機建屋の扉閉止等を実施する。

(3) 竜巻退避対応 (STEP3)

以下の条件に該当した場合は、竜巻の襲来が予想されるため、竜巻退避対応を開始する。

<避難開始条件>

- ・ レーダーナウキャストにより、発電所上空に「竜巻発生確度2」かつ「雷活動度3以上」が発生したことを確認した場合、または予測値からその恐れがある場合

竜巻退避対応として、停車車両の発電所構外への退避、屋外作業の中止、作業者の

屋内退避等を実施する。

(4) 竜巻対応終了

以下の条件に該当した場合は、竜巻監視対応、竜巻退避準備対応および竜巻退避対応を終了する。

<終了条件>

- ・ 各 STEP 毎に定める開始条件を満たさなくなった場合

竜巻対応フローを図-3 に示す。

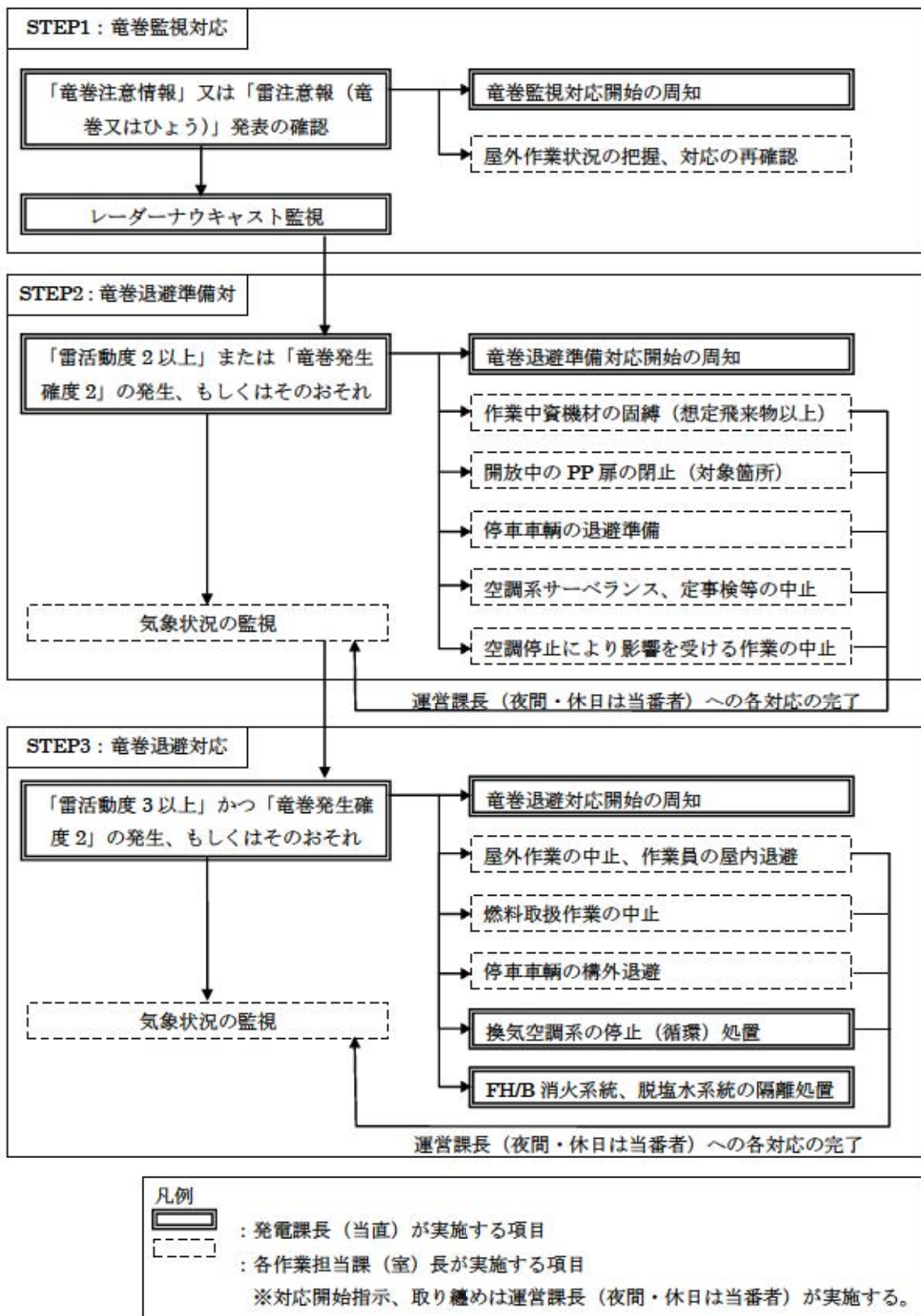


図-3 竜巻対応フロー

なお、上記2．項～5．項の内容については、保安規定の下位文書（社内規程類）に規定し、竜巻の襲来が予想される場合の対応を迅速かつ的確に実施することとする。

停車車両退避訓練の状況について

1. はじめに

停車車両については、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないよう、竜巻襲来が予想される場合（竜巻が襲来する恐れが生じた場合）に速やかに竜巻防護施設を内包する建屋および竜巻防護施設を内包する建屋の上屋である循環水ポンプ建屋（以下「竜巻防護施設を内包する建屋等」という。）から 350m の範囲外に退避することとしている。

作業員（運転手）への退避指示については、ページングにより行うこととしていることから、速やかな退避が可能か訓練にて確認した。

2. 訓練実施日

平成 26 年 2 月 13 日

3. 訓練内容

中央制御室にて竜巻が襲来する恐れが高い状況を検知した想定で、ページングにより車両の退避指示を行うとともに、今回の訓練で想定した作業場所等から退避場所まで車両を退避する訓練を実施した。

今回の訓練で想定した作業場所等および退避場所を第 1 図に示す。

<今回の訓練で想定した作業場所等>

今回の訓練で想定した作業場所等は以下のとおり。

①作業場所 A：屋外 T.P. 31m 盤での作業を模擬

②作業場所 B：屋外 T.P. 10m 盤での作業を模擬

③総合管理事務所前駐車場：作業を伴わない車両による事務所間の往来を模擬

通常、屋外作業は T.P. 31m 盤と T.P. 10m 盤で行われることが多く、車両の退避に時間を要すると考えられる場所として作業場所 A, B を選定。また、作業場所 B については、スピーカーとの位置関係からページングが聞き取り難いと想定される場所とした。

4. 訓練結果

想定作業場所等	退避指示を受けてからの 車両退避時間*		ページングの聞き 取り状況
	350m 範囲外まで	退避場所まで	
①作業場所 A	2分	7分	聞こえた。
②作業場所 B	3分	4分	微かに聞こえた。
③総合管理事務所前駐車場	4分	5分	明瞭に聞こえた。

※：作業場所 A, B は、ページング後に構内 PHS により、ページングの聞き取り状況確認

を実施。作業場所 A では、ページングは聞こえたものの、指示内容は明瞭に聞き取れなかったこと、作業場所 B では、ページングは微かに聞こえたが指示内容は分からなかったことを確認した。退避は上記構内 PHS による聞き取り状況確認後に開始し、この時点から退避時間を計測した。

総合管理事務所前駐車場は、ページングによる退避指示と同時に総合管理事務所内の要員が退避開始。作業場所 A, B と比較すると屋内移動に時間を要している。

5. 考察

(1) 車両の退避について

今回の訓練では上記に記載したとおり、退避指示を受けてから車両の退避完了まで作業場所 A では 7 分、作業場所 B では 4 分、総合管理事務所前駐車場では 5 分であった。

冬季間であり、一部路面の凍結など道路状況が悪い部分もあったが、特に問題なく退避が可能であった。

また、第 1 図に示したとおり、今回の訓練では車両退避場所として保修事務所駐車場を想定した。この付近には協力会社作業員の常駐する建物として保修事務所および新保修事務所があることから、運転手は降車後、速やかに屋内退避が可能である。

今後、複数の退避場所を選定するなど、退避車両が多く混雑が予想される場合でも速やかな退避が可能となるよう検討を進める。

(2) ページングについて

今回の訓練では、ページングにより車両の退避指示を行った。

総合管理事務所内ではページングが明瞭に聞き取れたため、ページングによる退避指示と同時に、総合管理事務所前駐車場からの車両の退避を開始した。

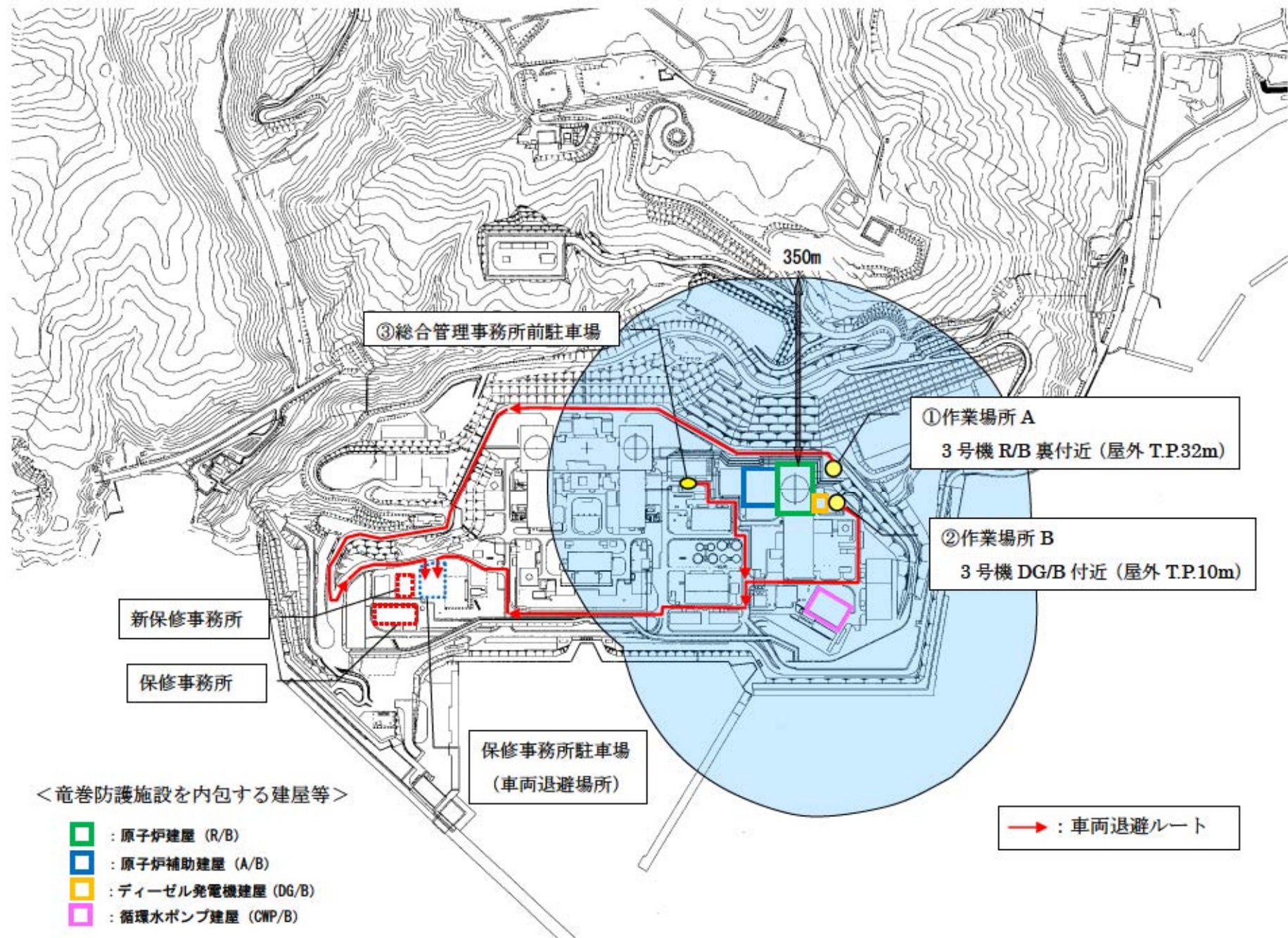
作業場所 A では、ページングは聞こえたものの、指示内容が明瞭には聞き取れなかった。また、作業場所 B では、ページングは微かに聞こえたが指示内容は分からなかった(構内 PHS によるページングの聞き取り状況確認後に車両退避を開始した)。

ページングが聞こえ難かった要因としては、作業場所 A, B 共に付近で重機を使用した作業が実施されていたこと、建屋の陰になる位置でありスピーカーからの音が届き難いこと等、が考えられる。

重機を使用した作業は安全対策工事の一環であり、今後、工事の終了に伴い騒音の発生源は少なくなると考えられるが、対策を検討する中で工事等に伴う騒音の発生について考慮する。

ページングについては、その他の自然災害等発生時においても、構内作業員等への連絡手段として有効であると考えており、現在、ページングの聞こえ難さの改善を行っているところであるが、今後さらにページングの増強等を含めて検討する。

また、構内 PHS の使用も含め連絡体制などの運用面も併せて検討し、複数の手段でより効率的に退避指示を行うことが出来るよう検討する。



第1図 訓練で想定した作業場所等および退避ルート

防護ネット等の設置による防護対象設備のメンテナンス性への影響について

1. はじめに

防護ネット、防護鋼板および防護壁（以下「防護ネット等」という）は新たに設置するものであるため、巡視点検に影響を与える可能性が考えられる。

また、防護ネット等のうち、防護対象設備である原子炉補機冷却海水ポンプおよび原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの設置エリア上部開口部に設置する防護ネット（金網）（以下「海水ポンプ周りの防護ネット」という）については、当該ポンプ等の保守点検時に取り外す必要があるため、当該ポンプ等の保守点検に影響を与える可能性が考えられる。更には、新燃料ラック内上部に設置する防護鋼板（以下「新燃料防護鋼板」という）については、新燃料装荷時に取り外す必要があるため、新燃料装荷作業に影響を与える可能性が考えられる。一方、上記以外の防護鋼板および防護壁については、防護対象設備の保守点検時に取り外しは不要であり、これら防護対象設備の保守点検に影響を与えることはない。

以上より、巡視点検への影響ならびに海水ポンプ周りの防護ネットおよび新燃料防護鋼板の固定方法について検討した。

<防護ネット等の設置箇所一覧>

防護対象設備	防護対策	設置箇所
原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）	防護ネット（金網）	防護対象設備設置エリア上部開口部
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ（配管および弁含む）	防護ネット（金網）	防護対象設備設置エリア上部開口部
蓄熱室加熱器	防護鋼板	防護対象設備が設置されている蓄熱室に隣接する吸気ガラリ室の壁面開口部（当該加熱器背面の空気口）前面
原子炉補機冷却水サージタンク他	防護壁	防護対象設備が設置されている原子炉建屋（原子炉補機冷却水サージタンク・空調用冷水膨脹タンク室）の壁面開口部（扉）前面（建屋内）
配管および弁（主蒸気管室内）	防護鋼板	防護対象設備が設置されている原子炉建屋（主蒸気管室）の壁面開口部（ブローアウトパネル（2箇所）および上部換気口（3箇所））前面（原子炉建屋外壁）
制御用空気系統配管	防護壁	防護対象設備が設置されている原子炉補助建屋（トラックアクセスエリア（2））の当該設備設置場所前面
新燃料ラック（貯蔵している燃料集合体）	防護鋼板	新燃料ラック内上部* ※：当該ラックに燃料集合体を貯蔵した場合に設置

2. 巡視点検への影響

防護ネット等については、巡視点検に影響を与えないよう防護対象設備からある程度距離が離れた飛来物の進入口となる開口部等に設置するとともに、巡視点検の移動経路には設置しない設計とする。また、新燃料防護鋼板については、新燃料ラックへの新燃料受け入れ時に外観検査を実施した上で設置することから、新燃料防護鋼板設置による外観検査への影響はない。

3. 海水ポンプ周りの防護ネットおよび新燃料防護鋼板の固定方法

(1) 海水ポンプ周りの防護ネット

原子炉補機冷却海水ポンプおよび原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの保守点検時は海水ポンプ周りの防護ネットの取り外しが必要となるため、当該ポンプ等の保守点検に影響を与えないよう、アンカーボルトにて固定する構造とする等、当該ポンプ等保守点検用クレーンにて容易に取り外し可能な設計とする。

(2) 新燃料防護鋼板

新燃料装荷時は新燃料防護鋼板の取り外しが必要となるため、新燃料装荷作業に影響を与えないよう、防護鋼板の裏面に脱落および横ずれ防止用の支持部材を設けた鋼製パイプ貫通防止蓋を新燃料ラック内上部に置く構造とし、人力で容易に取り外し可能な設計とする。