

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

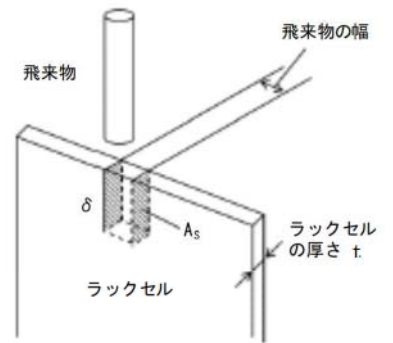
τ : 最大せん断応力 (N/m²) = ラックセルの引張強さ ÷ $\sqrt{3}$

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

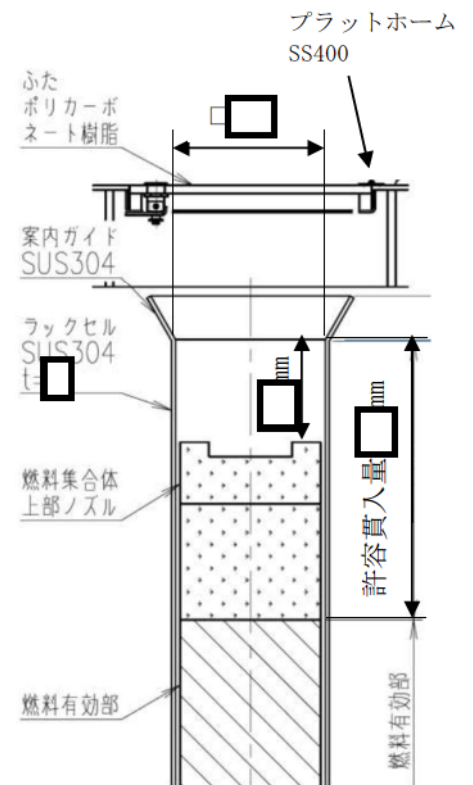
(a) 鋼製パイプ

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2.6.参照）。

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 mm 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 mm 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

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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が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）。

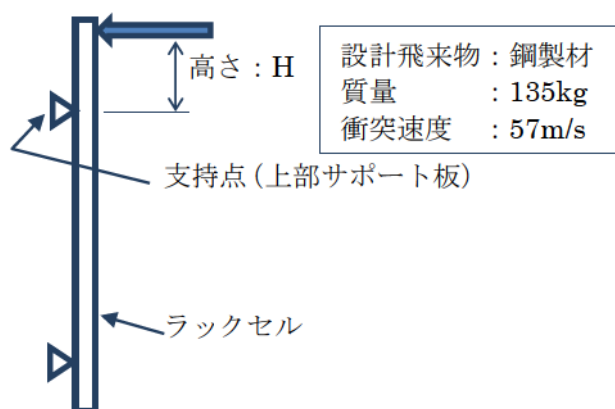


図-4 評価モデル

(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

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)

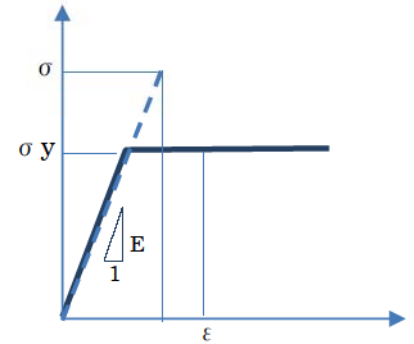


図-5 塑性ひずみの算定方法

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：

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

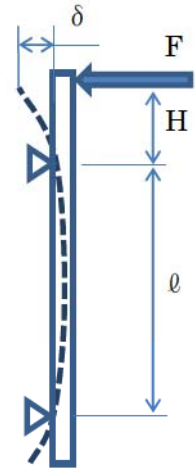
ここで、 $F = 1.86 \times 10^6 N$

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

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

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

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



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_Q は次式で表される。

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

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_Q

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

$\boxed{}$ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(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。

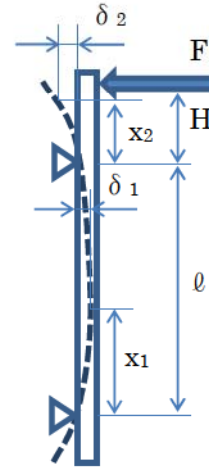
構造力学公式

燃料有効部支持点間の最大たわみ量：

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

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_{Q_1} は次式で表される。

$$\delta_{Q_1} = \tan(\gamma_1) \cdot (\ell - x_1) = \tan\left(\frac{\tau_1}{G}\right) \cdot (\ell - x_1) = \tan\left(\frac{117}{7.446 \times 10^4}\right) \times \boxed{} - 1374 = 1.6\text{mm}$$

また、燃料有効部上端のラックセルのせん断変形量 δ_{Q_2} は次式で表される。

$$\delta_{Q_2} = \tan(\gamma_2) \cdot x_2 = \tan\left(\frac{\tau_2}{G}\right) \cdot x_2 = \tan\left(\frac{332}{7.446 \times 10^4}\right) \times 570 = 2.6\text{mm}$$

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

$\boxed{}$ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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 $\nu = 0.3$

\square 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(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。

$$\begin{aligned} \text{燃料有効部支持点間の変形量} &= \text{曲げたわみ量 } \delta_1 + \text{せん断変形量 } \delta_{Q_1} \\ &= 57.3 \text{mm} + 1.6 \text{mm} = 58.9 \text{mm} \end{aligned}$$

また、燃料有効部上端の変形量は、93.6mmとなる。

$$\begin{aligned} \text{燃料有効部上端の変形量} &= \text{曲げたわみ量 } \delta_2 + \text{せん断変形量 } \delta_{Q_2} \\ &= 91.0 \text{mm} + 2.6 \text{mm} = 93.6 \text{mm} \end{aligned}$$

※：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

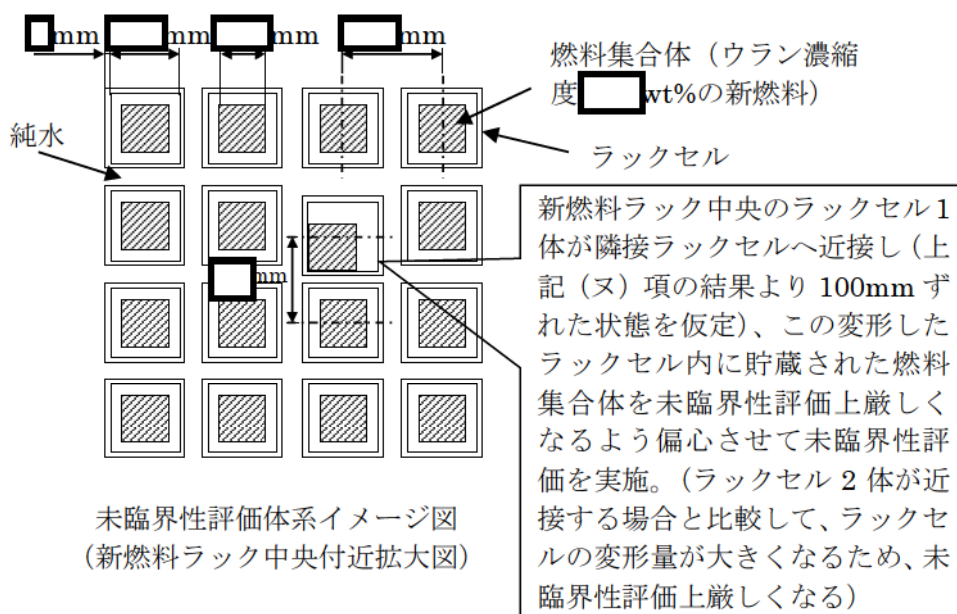
(ル) ラックセルの変形に伴う未臨界性への影響

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する。



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 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。

\square 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

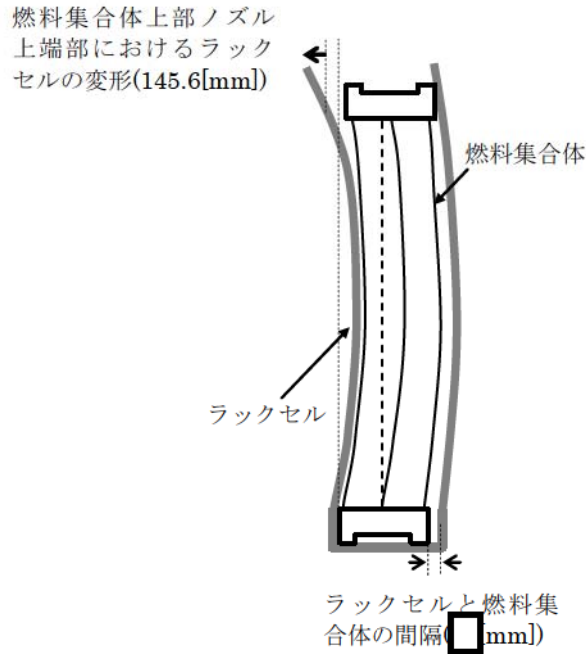


図-6 ラックセルの変形・燃料集合体曲がりによる評価イメージ

(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）。

□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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エ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

25. 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 26. 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 22. に, 新燃料ラックの評価結果は補足説明資料 23. 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 24. 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)	引張	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。

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

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	
φ 2300×4.0t	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)
安全補機開閉器室空調装置	ダンパ、ダクト ファン (安全補機開閉器室給気ファン、安全補機開閉器室排気ファン) 空調ユニット (安全補機開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)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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	○	ペーン最大	
		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-補助建屋排気風量制御ダンパ	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制御ダンパ	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	-											
		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												
	安全補機開閉器室空調系	3A-安全補機開閉器室外気取入ダンパ	605	× 705	541.0												
		3B-安全補機開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隔離ダンパ	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・ペーン最大	

※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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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。

種類	系統名	ダンパ名称	フランジ内寸(mm)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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・ペーン最大											
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	○	ペーン最大											
		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	○	ペーン最大											
	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																						
	安全補機開閉器室空調系	3A-安全補機開閉器室排気ファン出口逆止ダンパ	455	455	423.4																						
		3B-安全補機開閉器室排気ファン出口逆止ダンパ	455	455	423.4																						
	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																						
		3B-蓄電池室排気ファン出口逆止ダンパ	455	455	423.4																						
	補助建屋空調系	3A-補助建屋給気ガリ出口手動ダンパ	2705	2705	643.7												179	217	1.2	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	○	ケーシング最大
		3B-補助建屋給気ガリ出口手動ダンパ	2705	2705	643.7												179	217	1.2	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	- ^{※2}	○	ケーシング最大
風量調整ダンパ	電動補助給水ポンプ室換気系	3A-電動補助給水ポンプ室給気循環手動ダンパ	605	605	- ^{※1}												-			-			-			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}																						
	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}																						
		3B-制御用空気圧縮機室給気循環手動ダンパ	505	505	- ^{※1}																						
	試料採取室空調系	3-安全補機開閉器室排気・試料採取室給気連絡手動ダンパ	605	805	- ^{※1}																						
		3-試料採取室給気系補助建屋給気チャンバー出口手動ダンパ	605	805	- ^{※1}																						
	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}																						
		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}																						
		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}																						
		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}																						
	安全補機開閉器室空調系	3-安全補機開閉器室循環系1次系補機操作室手動ダンパ	505	505	- ^{※1}																						
		3-安全補機開閉器室循環系1次系補機計算機室手動ダンパ	555	555	- ^{※1}																						

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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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、ペーン、シャフトには竜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)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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	安全補機開閉器室空調系	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-安全補機開閉器室循環系制御棒駆動装置電源室手動ダンパ	655	655	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室循環系プロセス計算機室手動ダンパ	705	705	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室循環系常用系計装盤室手動ダンパ	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系ダクト隔離手動ダンパ	2505	2005	— ^{※1}																							
		3B-安全補機開閉器室循環系ダクト隔離手動ダンパ	2505	2005	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室循環系資料室手動ダンパ	φ	405	— ^{※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}	○	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}	○	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離手動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}																							
		3B-安全補機開閉器室給気連絡ダクト隔離手動ダンパ	2005	2505	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室給気系A安全系計装盤室手動ダンパ	605	605	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室給気系B安全系計装盤室手動ダンパ	605	605	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室給気系常用系計装盤室手動ダンパ	905	905	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室給気系1次系補機操作室手動ダンパ	505	405	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室給気系計算機室手動ダンパ	805	805	— ^{※1}																							
		3-安全補機開閉器室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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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、ペーン、シャフトには竜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)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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	安全補機開閉器室空調系	3-安全補機開閉器室給気系2次系計装盤室手動ダンパ	1005	×	1005	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}		—	代表ダンパの評価に包絡		
		3-安全補機開閉器室給気系制御機駆動装置電源室手動ダンパ	605	×	705	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
	蓄電池室排気系	3A-蓄電池室排気連絡ダクト隔離手動ダンパ	555	×	455	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3B-蓄電池室排気連絡ダクト隔離手動ダンパ	555	×	455	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3A-蓄電池室排気ファン入口手動ダンパ	φ		448	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3B-蓄電池室排気ファン入口手動ダンパ	φ		448	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
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整ダンパ	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系防火兼風量調整ダンパ	605	×	605	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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}				— ^{※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系防火兼風量調整ダンパ	455	×	455	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3B-制御用空気圧縮機室給気系防火兼風量調整ダンパ	455	×	455	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3A-制御用空気圧縮機室排気系防火ダンパ	605	×	605	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3B-制御用空気圧縮機室排気系防火ダンパ	605	×	605	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
	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整ダンパ	1605	×	1205	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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整ダンパ	1605	×	1205	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3A-ディーゼル発電機室給気循環系防火兼風量調整ダンパ	1405	×	1405	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		3B-ディーゼル発電機室給気循環系防火兼風量調整ダンパ	1405	×	1405	— ^{※1}				— ^{※2}			— ^{※2}					
		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サービスタンク室防火ダンパ	φ		255	— ^{※1}						— ^{※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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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、ペーン、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)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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絡
		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盤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絡	
		3-安全補機閉閉器室循環系Bディーゼル発電機制御盤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次系補機操作室出口防火ダンパ	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盤室防火ダンパ	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建屋連絡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建屋連絡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}					
		3-安全補機閉閉器室循環系MGセット制御盤室防火ダンパ	φ 155	— ^{※1}	—			— ^{※2}			— ^{※2}					
		3-安全補機閉閉器室循環系A-EP盤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盤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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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、ペーン、シャフトには竜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)		ペーン長さ(mm)	ケーシング			ペーン			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)	安全補機開閉器室空調系	3-安全補機開閉器室給気系A安全系蓄電池室防火ダンパ	455	155	— ^{※1}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		3-安全補機開閉器室給気系B安全系蓄電池室防火ダンパ	455	155	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系A-EP盤室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系B-EP盤室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系Aディーゼル発電機制御盤室防火兼風量調整ダンパ	505	405	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系Bディーゼル発電機制御盤室防火兼風量調整ダンパ	505	405	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系1次系補機操作室防火ダンパ	505	405	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系常用系蓄電池室防火ダンパ	305	305	— ^{※1}											
		3-安全補機開閉器室給気系原子炉トリップ遮断器盤室防火ダンパ	305	205	— ^{※1}											
	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}											
		3-蓄電池室排気系A安全系蓄電池室防火ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		3-蓄電池室排気系B安全系蓄電池室防火ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		3-蓄電池室排気系A安全補機開閉器室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		3-蓄電池室排気系B安全補機開閉器室防火兼風量調整ダンパ	φ	255	— ^{※1}											
		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}											
		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}											

※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「ペーン最大」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。「ペーン最大」のダンパについては、角型、丸型ダンパともに、ペーン長さが最長のものとする。ただし、「ペーン最大」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、ペーン、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	
アニュラス空 気浄化系	低压丸ダクト(溶 接)	φ 650×2.3t	SS400	1.3	6.1	4.6	0.3	0.9	3.0	○
	低压丸ダクト(溶 接)	φ 500×2.3t	SS400	1	7	7.0	0.2	0.9	4.5	○
	低压丸ダクト(溶 接)	φ 400×2.3t	SS400	0.8	9.9	12.3	0.1	0.9	9.0	○
	低压丸ダクト(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	低压丸ダクト(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	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 500×1.6t	SGCC	1.5	49.1	32.7	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 500×1.2t	SGCC	1.9	8	4.2	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 500×1.2t	SGCC	1.9	7.6	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	4.7	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 500×0.8t	SGCC	2.9	6.8	2.3	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 400×0.6t	SGCC	3	6.5	2.1	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 350×0.6t	SGCC	2.6	5.4	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	5.2	2.2	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×1.6t	SGCC	0.8	30.7	38.3	0.1	0.9	9.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	9	9.0	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×1.2t	SGCC	1	7.4	7.4	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.1	1.6	0.7	0.9	1.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	4.8	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	6.8	3.5	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	2.3	1.2	0.83	0.9	1.08	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	6.2	5.1	0.2	0.9	4.5	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	3.1	2.5	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸 ダクト	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.9	4.0	0.3	0.9	3.0	○
スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ 150×0.6t	SGCC	1.2	4.8	4.0	0.3	0.9	3.0	○	
スパイラル低压丸 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	低压丸ダクト(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	○
	スパイラル低压丸ダクトー保温有	φ450×0.6t	SGCC	3.4	9.7	2.8	0.4	0.9	2.2	○
	スパイラル低压丸ダクトー保温有	φ450×0.6t	SGCC	3.4	6.4	1.8	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ400×0.6t	SGCC	3	5.9	1.9	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸ダクトー保温有	φ400×0.6t	SGCC	3	5.1	1.7	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ300×0.6t	SGCC	2.3	2.9	1.2	0.8	0.9	1.1	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	6.8	3.5	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸ダクト	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	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ650×0.8t	SGCC	3.7	15	4.0	0.3	0.9	3.0	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ300×0.6t	SGCC	2.3	4.7	2.0	0.5	0.9	1.8	○
	スパイラル低压丸ダクト	φ250×0.6t	SGCC	1.9	3.8	2.0	0.6	0.9	1.5	○
	スパイラル低压丸ダクト	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	○
	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	○
補助建屋空調系	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	○
	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	○
	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	○
	試料採取室空調系	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	○
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	○
電動補助給水ポンプ室換気系	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	○
	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	○
制御用空気圧縮機室換気系	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	
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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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)ー保温有	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)ー保温有	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)ー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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	3.3	579.4	7065.8	12.1	○
	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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	427.7	5091.4	11.9	○
	ハゼ折中圧角ダ クト-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	650×650× 0.6t	SGCC	147.5	189	1.2	42.1	189	4.4	239.2	2854.5	11.9	○
	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-保温有	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-保温有	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	358.5	2746.7	7.6	○
	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	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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	400×700× 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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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-保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	200×300× 0.6t	SGCC	105.2	189	1.7	6	189	31.5	65.6	1008.4	15.3	○
蓄電池室排 気系	ハゼ折中圧角ダ クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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 クトー保温有	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	設置区画のブロ ーアウトパネル・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。

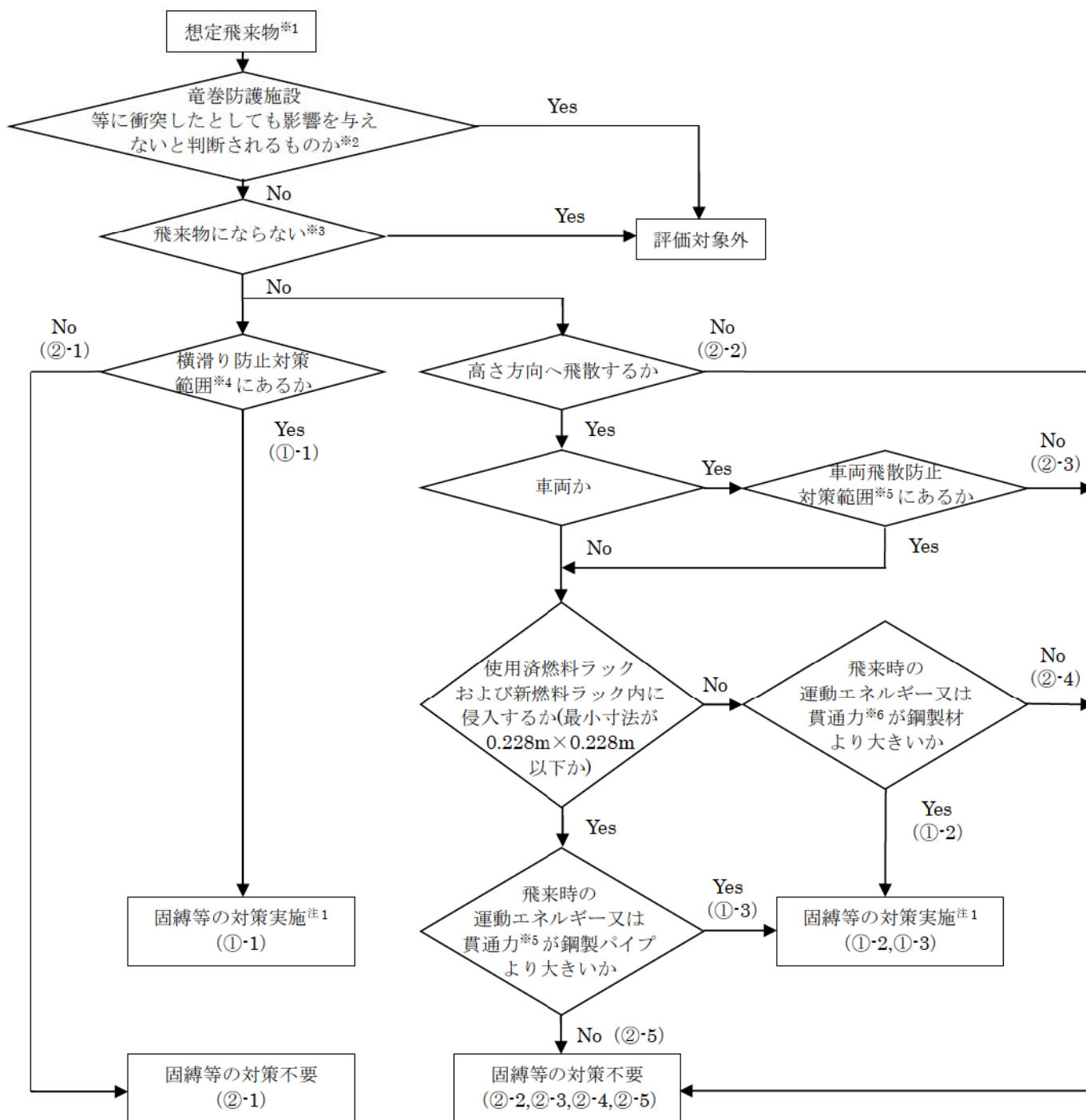
(2) 飛来物発生防止対策

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：倒木、フェンス等損傷するが飛来物とならない物品をいう（別紙-1参照）
- ※4：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。
- ※5：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。
- ※6：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
			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	○	88	2	○	○ ①-1	○	×	-	×	×
脚立・踏み台	0.59×0.49×0.32	30	○	52	3	×	×	○	×	-	×	×
照明	0.50×0.50×0.46	6	○	20	2	○	○ ①-1	○	×	-	×	×
スピーカー	0.60×0.60×0.60	4	○	16	1	○	○ ①-1	○	×	-	×	×
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	○	31	1	○	○ ①-1	○	×	-	×	×
屋外カメラ	0.30×0.20×0.70	10	○	23	3	×	×	○	×	-	×	×
バリケード	0.45×1.20×0.45	30	○	69	3	×	×	○	×	-	×	×

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 響回避策		飛散影 響回避策				
						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
			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	0.69×0.66×0.065	36	○	52	5	×	×	○	×	—	×	×
マンホール蓋	0.65×0.65×0.01	32	○	45	11	○	○	○	×	—	×	×
アーケード屋根	2.91×2.40×0.008	20	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ベンチ	3.00×3.00×0.04	115	○	329	10	○	○	○	×	—	×	○
看板	4.00×1.00×0.003	32.4	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
カーブミラー	1.20×1.20×0.04	25	○	65	6	×	×	○	×	—	×	×
柵	2.33×0.50×0.004	38.8	○	77	29	○	○	○	×	—	×	×
空調室外機	0.77×0.86×1.33	220	○	298	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 響の有無	運動エ ネルギー (kJ)	貫通力 (mm)	横滑り影 響回避策		飛散影 響回避策				
						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	有：○ 無：×	11	18	有：○ 無：×	有：○ 無：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×
鋼製材 (設計飛 来物)	4.20×0.30×0.20	135	有：○ 無：×	220	37	有：○ 無：×	有：○ 無：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×
プレハブ小屋	6.00×3.06×2.08	2000	○	3212	6	○	×	○	×	○	×	○
消火器・消火栓	0.30×0.70×1.50	50	○	105	4	○	○	○	×	○	×	×
鋼製かご	0.64×1.84×1.20	150	○	287	4	○	○	○	×	○	×	○
ドラム缶	0.60×0.60×0.90	245	○	234	5	×	×	○	×	○	×	○
鋼板	6.10×1.54×0.021	1900	○	1690	55	○	○	○	×	○	×	○
鋼管	2.5×0.05×0.05	6.825	○	10	7	×	×	○	×	○	○	×
カードル	1.01×1.39×1.41	1500	○	1099	7	×	×	×	×	○	×	○

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	有：○ 無：×	11	18	有：○ 無：×	有：○ 無：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×
鋼製材 (設計飛 来物)	4.20×0.30×0.20	135	有：○ 無：×	220	37	有：○ 無：×	有：○ 無：×	有：○ 無：×	車両：○ 車両以外：×	有：○ 無：×	以下：○ 超過：×	要：○ 否：×
コンクリートブ ロック	0.25×1.00×0.22	55	○	54	5	×	×	○	×	○	×	×
ケーブルドラム	2.42×2.42×1.16	2650	○	2211	8	×	×	○	×	○	×	○
発電機	0.98×2.09×1.55	1690	○	1374	7	×	×	○	×	○	×	○
電気盤	3.50×2.40×2.20	1830	○	2384	6	○	○	○	×	○	×	○
タンク	3.08×9.20×3.46	95504.8	○	4302	6	○	○	×	×	○	×	×
鋼材	2.50×0.25×0.25	250	○	186	10	×	×	×	×	×	×	×
鋼製ステップ	0.60×5.00×1.20	183.1	○	378	5	×	×	○	×	○	×	○

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	
						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	—	—	—	—	—	—	—	—
重機	9.53×2.80×3.16	20800	○	15185	15	○	○ ①-1	×	○	○	×	×	×
放水砲	2.00×4.70×1.00	3000	○	2752	10	○	○ ①-1	○	×	—	×	×	○ ①-2
タンクローリー	6.28×2.20×2.41	4380	○	4758	9	○	○ ①-1	○	○	○	×	×	○ ①-2
自動車	4.90×1.87×1.87	2250	○	2687	8	○	○ ①-1	○	○	○	×	×	○ ①-2
発電機車	20.10×7.50×8.25	58120	○	58081	14	○	○ ①-1	○	○	○	×	×	○ ①-2
ポンプ車	8.79×2.49×3.16	13050	○	10947	13	○	○ ①-1	○	○	○	×	×	○ ①-2
仮設資機材	6.00×5.00×5.60	14000	○	14016	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 344m 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（183m）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"> 十分な重さのウエイトを取付ける。 ウエイトの重量については、コンテナの自重+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（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エイトを取付ける。 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。 ウエイトの重量については、鋼製材の自重+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。
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。 <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-2 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_{DA}/m (m^2/kg)	飛散距離 (m)
自動車 (ミライース)	3.39	1.47	1.51	720	0.01141	344
自動車 (カローラフィールダー)	4.40	1.69	1.50	1180	0.00937	336
自動車 (サクシード)	4.24	1.69	1.53	1170	0.00926	335
自動車 (クロスビー)	3.76	1.67	1.70	1000	0.01035	341
自動車 (カローラアクシオ)	4.40	1.69	1.48	1170	0.00938	336
自動車 (ビーゴ)	4.00	1.69	1.70	1200	0.00913	334
自動車 (ライズ)	3.99	1.69	1.62	1040	0.01023	340
可搬型大型送水ポンプ車	8.79	2.49	3.16	13050	0.00294	192
可搬型中型送水ポンプ車	7.63	2.30	3.05	10000	0.00319	206
代替非常用発電機	20.10	7.50	8.25	58120	0.00435	259
水槽付消防ポンプ車	6.93	2.31	2.82	8650	0.00325	209
化学消防ポンプ車	7.26	2.29	2.83	8860	0.00329	212
大規模火災消防車	7.63	2.30	3.05	10000	0.00319	206
可搬型タンクローリー	6.28	2.20	2.41	4380	0.00522	284
シルトフェンス車 (4t車)	8.21	2.46	2.50	7410	0.00422	254
SWPモータ運搬用トラック (11tユニット車)	11.98	2.49	3.41	11730	0.00450	264
モタリングカー	5.50	1.88	2.90	2770	0.00764	323
ホイールローダ	7.13	3.37	3.37	10140	0.00391	243
可搬型モタリングポスト等運搬車両	4.695	1.695	1.98	1960	0.00702	314

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)	高さ (m)	質量 (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	11.99	2.49	3.55	24750	0.00219	130
可搬型代替電源車	16.606	2.438	4.992	48215	0.00188	100
資機材運搬車	4.67	1.69	1.98	5865	0.00233	143
3号非常用変圧器	11.05	2.515	3.42	25250	0.00196	107
ブルドーザー	6.50	3.26	3.17	26600	0.00131	57
コンテナ式運搬車	6.76	2.30	3.23	10815	0.00277	181

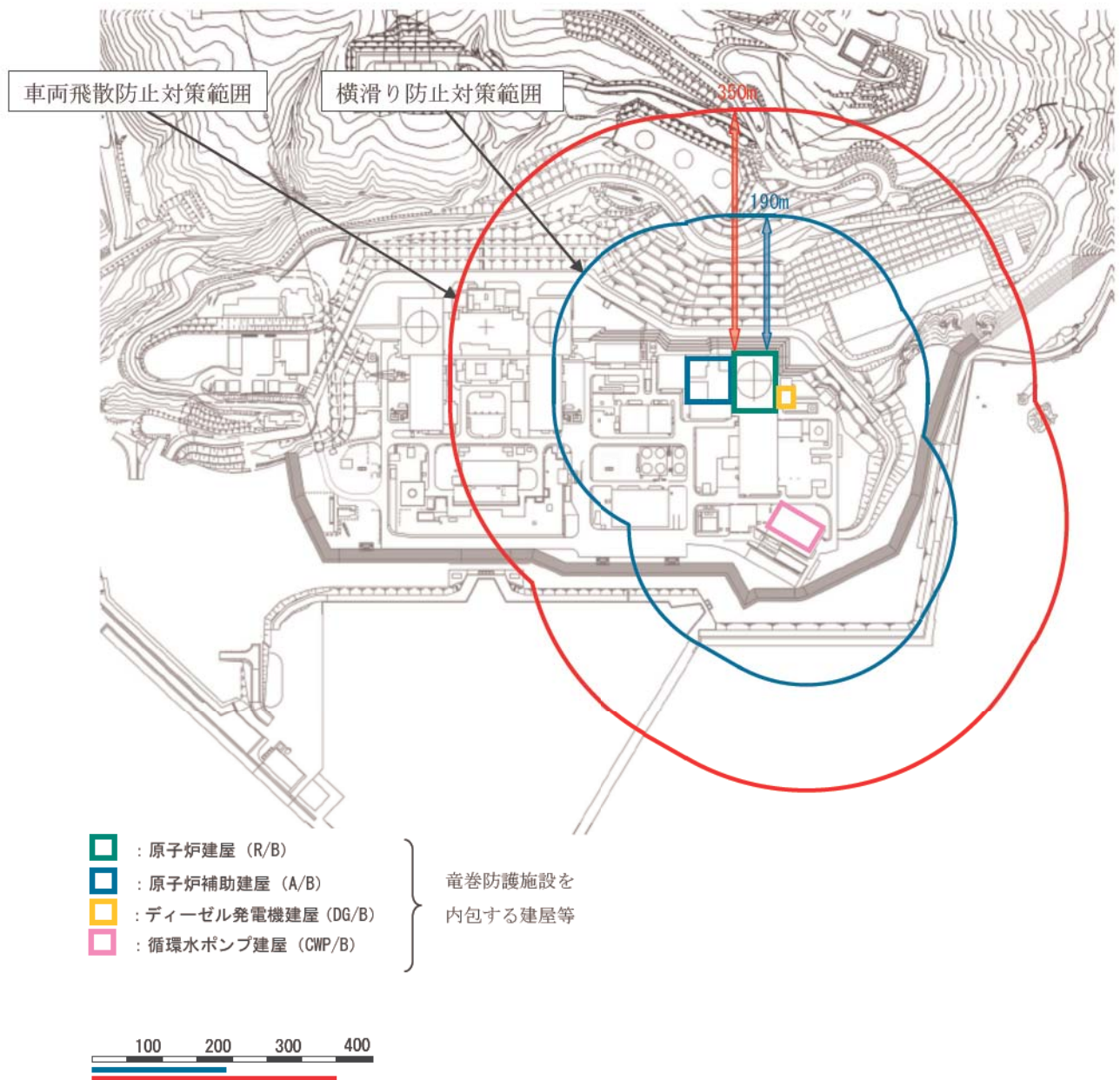


図-2 泊発電所における車両飛散防止対策範囲および横滑り防止対策範囲

過去の主な竜巻事例に基づく飛来物の検討について

設計飛来物の設定にあたり、「損傷するが飛来物とならない物品」について、過去の主な竜巻による被害概要を調査した文献を用いて検討を行った。

検討の結果、「樹木、フェンスについては、竜巻時に損傷するが飛来物とならない」と判断した。検討内容を以下に示す。

(1) 損傷するが飛来物とならない物体

① 樹木

樹木の被害状況を図1～7に示す。

樹木について、被害状況により幹の折損、根の引抜き等が見られるが、折損した場合、引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で損傷しているのみであることが確認できる。これらは竜巻の風荷重により、樹木が損傷した後、竜巻が既に通過しているためであると考えられ、樹木が折損、引く抜かれた後、さらに竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。



写真1 天神寺外観(南から見る)



写真3 倒木(北西からみる)

図1 平成14年7月10日に群馬県境町にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況※1



写真16 樹木の転倒



写真38 樹木の転倒(緑ヶ丘)

図2 平成18年9月17日宮崎県延岡市にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況※2



写真 47 樹木の折損

図3 平成20年5月25日米国アイオワ州にて発生したEF5竜巻による樹木の被害状況^{※3}



写真 25 倒木(火打谷地区)

図4 平成21年7月19日岡山県美作市にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況^{※4}



写真 44 樹木の被害

図5 平成21年10月8日茨城県土浦市にて発生したF1竜巻による樹木の被害状況^{※5}



写真 3.5-15 樹木の折損



写真 3.5-16 樹木の折損と鳥居の被害



写真 3.5-17 樹木の倒木



写真 3.5-18 倒木による社の倒壊

図6 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3竜巻による樹木の被害状況^{※6}



写真 5.1.12 樹木の倒壊



写真 5.1.13 樹木の倒壊による小屋組の被害



写真 5.2.14 樹木の被害



写真 5.2.15 樹木の被害



写真 5.2.16 樹木の被害



写真 5.2.17 樹木の被害

図7 平成25年9月2日埼玉県にて発生したF2竜巻による樹木の被害状況^{※7}

②フェンス

フェンスの被害状況を図8～10に示す。

フェンスについては、被害状況により、傾き、損傷等が見られるが樹木と同様にその場で損傷しているのみであり、損傷した後、竜巻はすでに通過していると考えられ、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。



写真 20 フェンスの著しい変形



写真 31 フェンスの変形

図8 平成21年7月27日群馬県館林市にて発生したF1 (F2) 竜巻によるフェンスの被害状況^{※8}



写真 3.5-10 フェンスの被害状況

図9 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3 竜巻によるフェンスの被害状況^{※6}



写真 4.1.9 フェンスの倒壊



写真 5.1.14 屋上フェンスの被害



写真 4.1.14 フェンスの倒壊



写真 4.1.15 支柱部の破断



写真 5.2.19 フェンスの被害（工事中の建築物）



写真 5.2.20 フェンスの被害

図 10 平成 25 年 9 月 2 日 埼玉県にて発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況^{※7}

※1：「群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について」（平成 14 年 7 月 26 日独立
行政法人 建築研究所）

※2：「2006 年台風 13 号被害調査報告延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害 -」（
平成 18 年 10 月 10 日）

※3：「米国アイオワ州におけるトルネード被害調査報告」（平成 20 年 6 月 9 日）

※4：「平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 8 月 4 日）

※5：「平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市竜巻被害調査報告」（平成 21 年 10 月 13 日）

※6：「平成 24 年（2012 年）5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査
報告」（ISSN1346-7328 国総研資料第 703 号 ISSN0286-4630 建
築研究資料第 141 号平成 25 年 1 月）

- ※7 : 「平成25年9月2日に発生した竜巻による埼玉県越谷市，北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報）」（国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人 建築研究所 平成25年9月10日一部修正）
- ※8 : 「平成21年7月27日群馬県館林市竜巻被害調査報告」（平成21年8月17日一部修正）

■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)

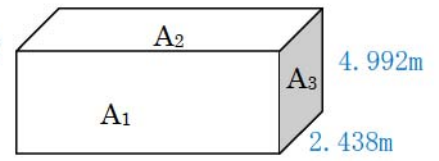
$$C_D A/m = c \times (C_{D1} \times A_1 + C_{D2} \times A_2 + C_{D3} \times A_3) / m$$

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

$$= 89.386 / 47030$$

$$= 0.0019$$

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)

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

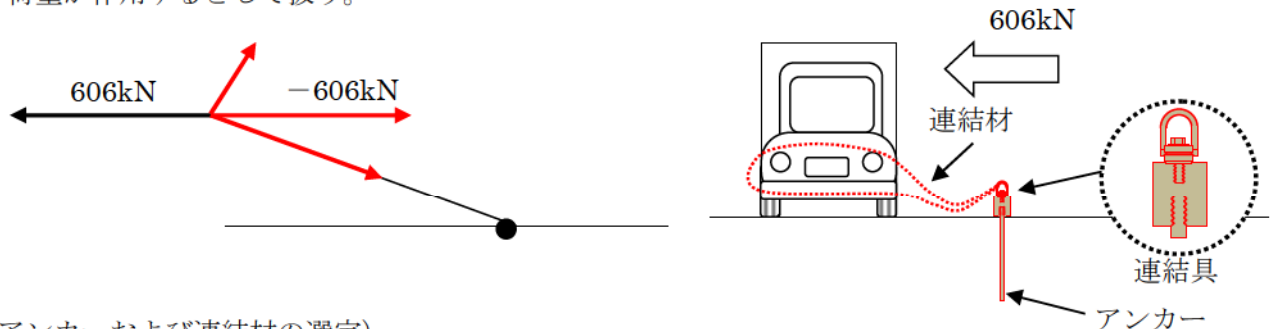
$$= 1.22 \times 100^2 / 2 \times 1.2 \times 1.00 \times 82.817$$

$$= 606 \text{ kN}$$

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 (T.P.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」相当の下限値である 1.0 N/mm^2 *を使用する。

(※：グラウンドアンカー設計・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。

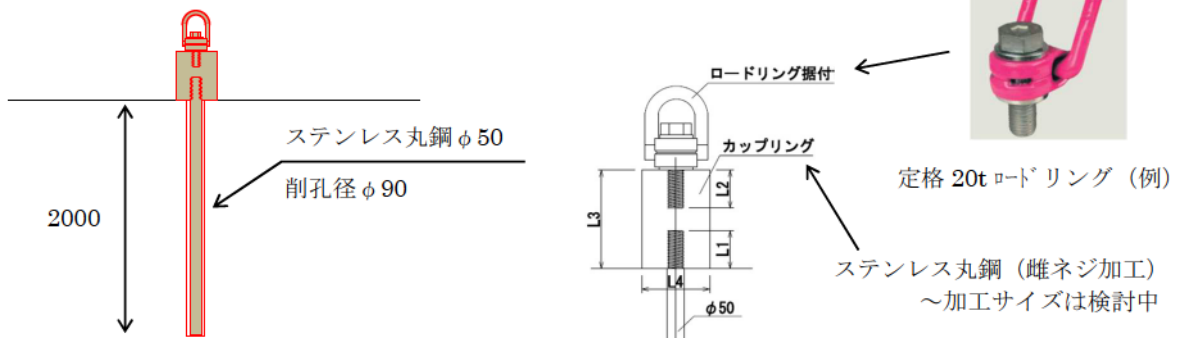
$$L = F \times P / (L1 \times \mu)$$

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×π=157.1mm
 μ：周面摩擦抵抗=1.0N/mm²

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。



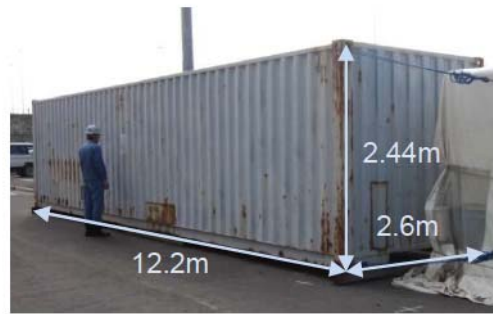
なお、アンカーについては、グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（地盤工学会編）に基づき、引抜き試験を実施する計画である。

<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

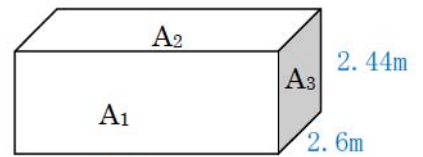
重量：m=5500kg



コンテナ (例)

(空力パラメータの確認)

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



12.2m
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 (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)

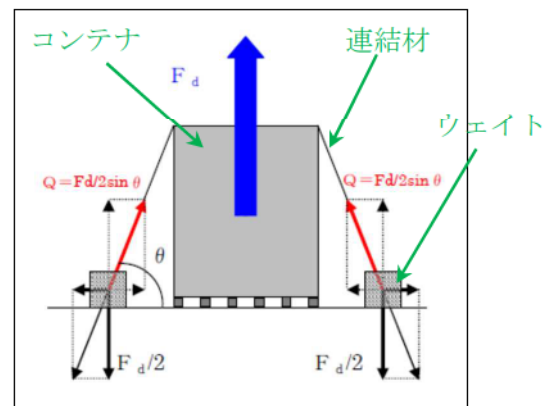
コンテナに作用する浮力 F_d は, コンテナを継続的に浮遊させないためにウエイトにて抑えるべき荷重と同じであり, 以下のとおりとなる。

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

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。

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

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 $0.0028\text{m}^2/\text{kg}$ 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 $0.0026\text{m}^2/\text{kg}$ 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 $0.0028\text{m}^2/\text{kg}$ とした場合と比較し，浮上条件を空力パラメータ $0.0026\text{m}^2/\text{kg}$ 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。

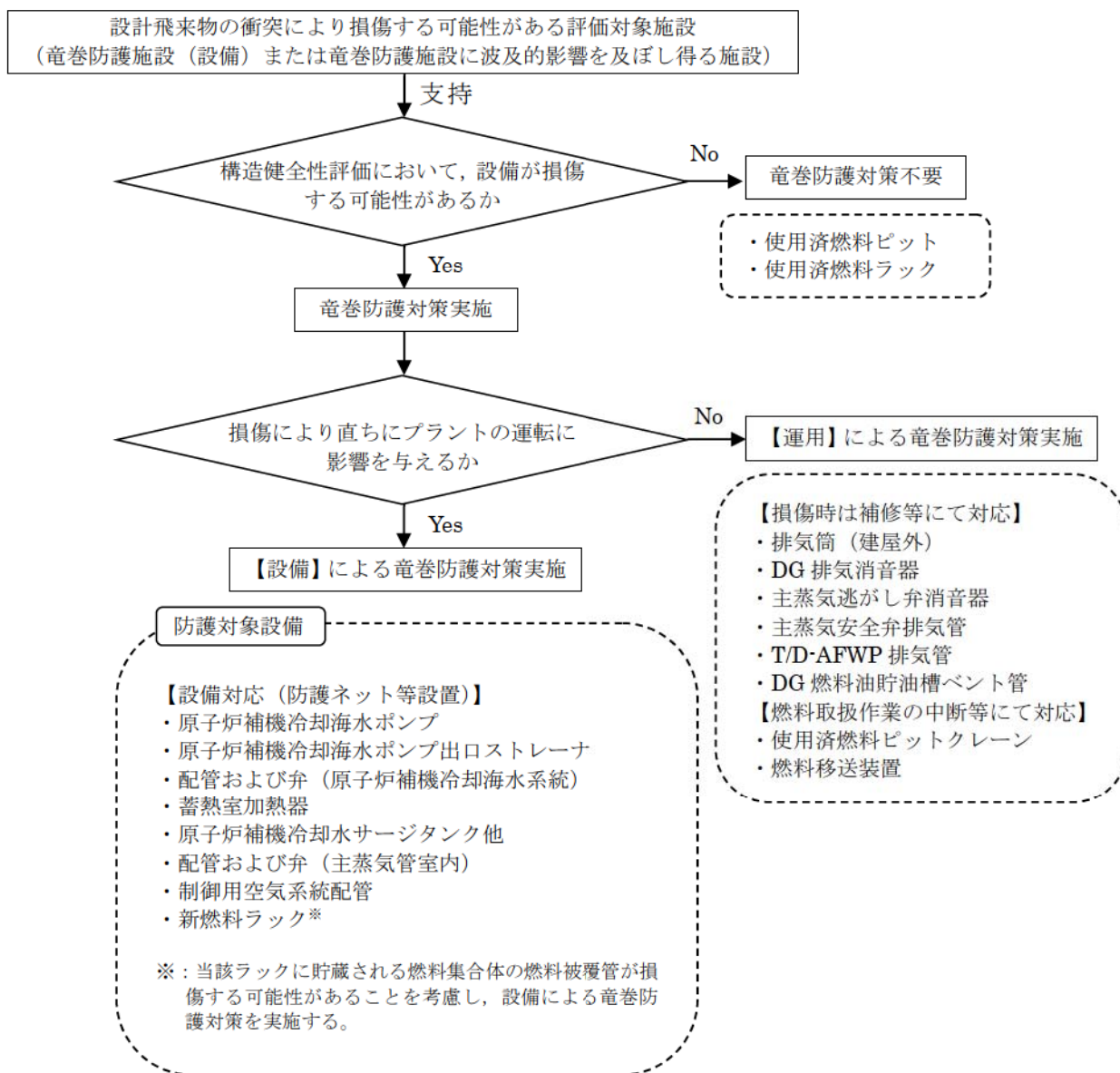


図-3 竜巻防護対策実施有無の抽出フロー

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。

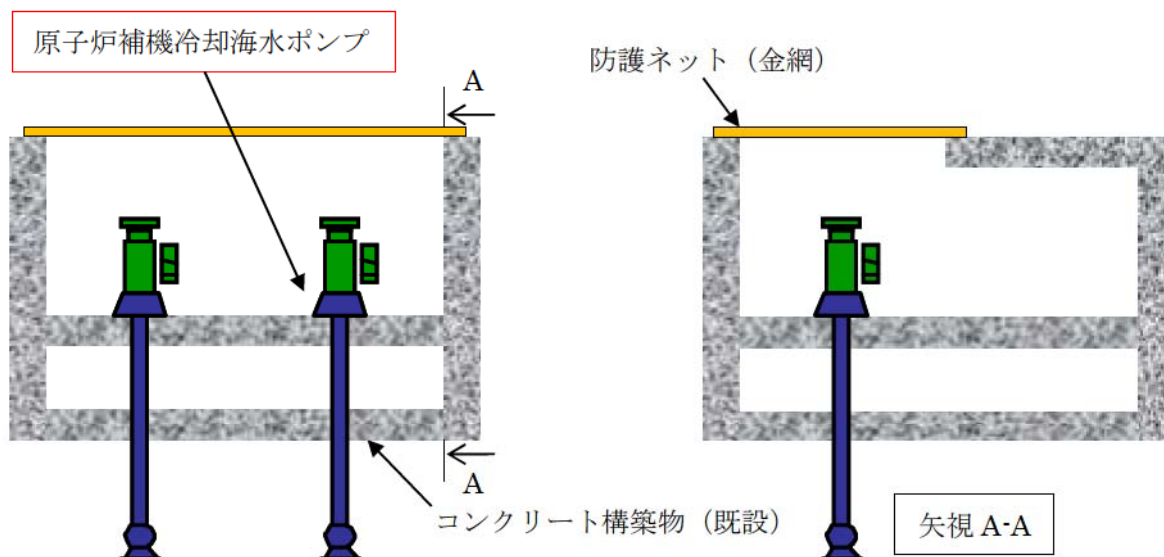


図-4 原子炉補機冷却海水ポンプの飛来物防護対策イメージ図

(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。

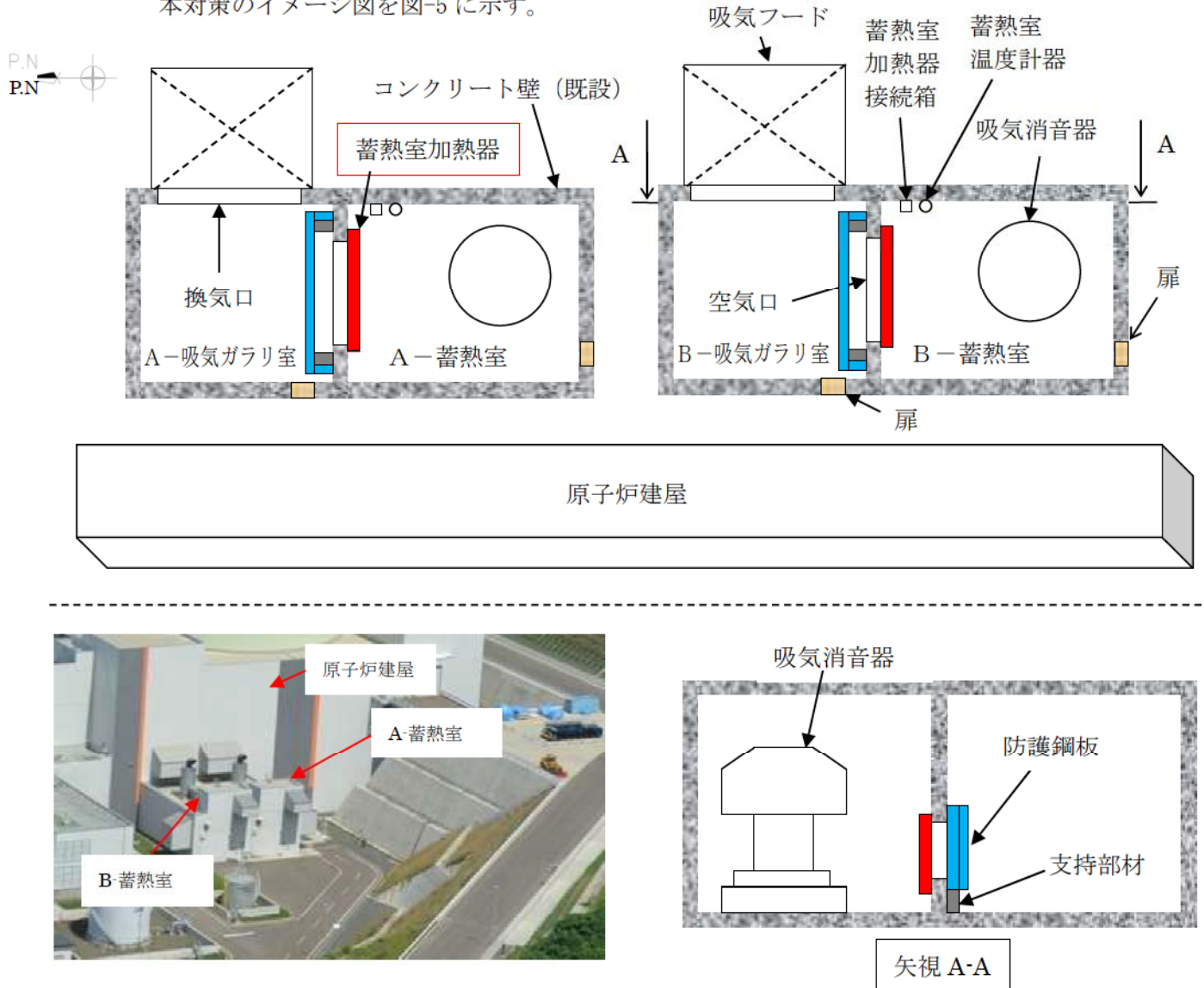


図-5 蓄熱室加熱器の飛来物防護対策イメージ図

(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。

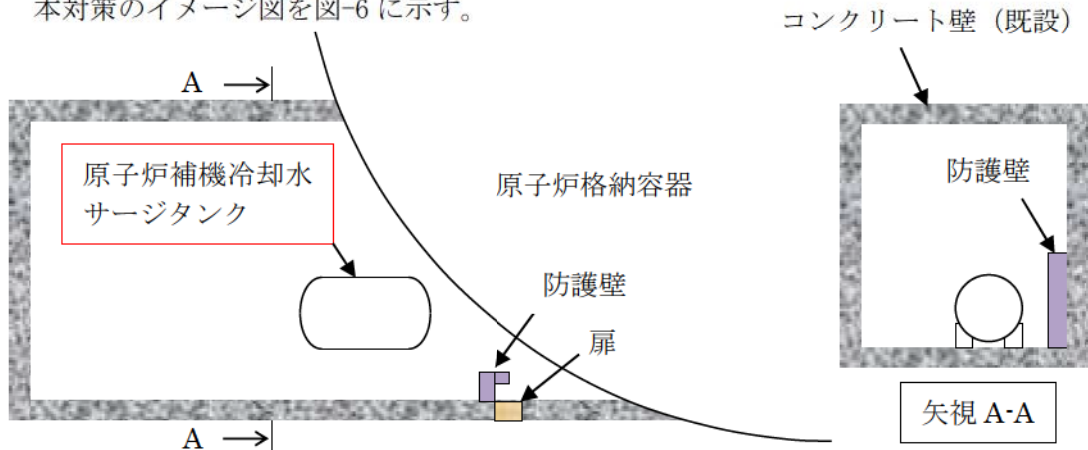


図-6 原子炉補機冷却水サージタンク他の飛来物防護対策イメージ図

(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。

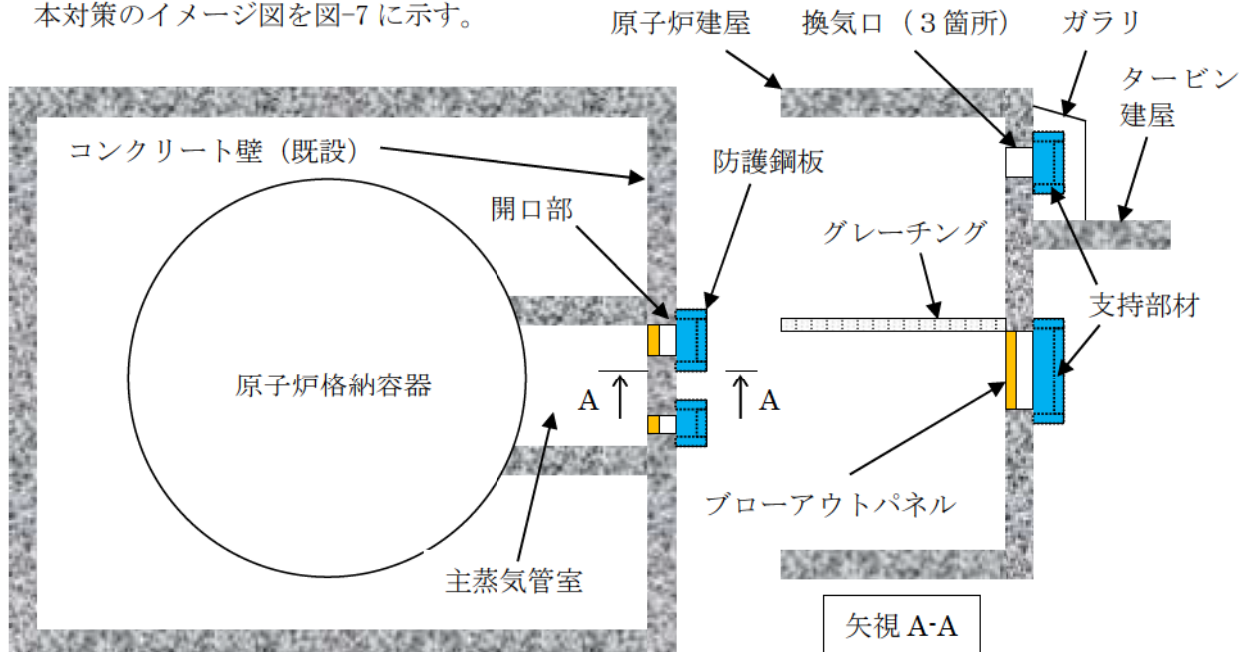


図-7 配管および弁 (主蒸気管室内) の飛来物防護対策イメージ図

(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。

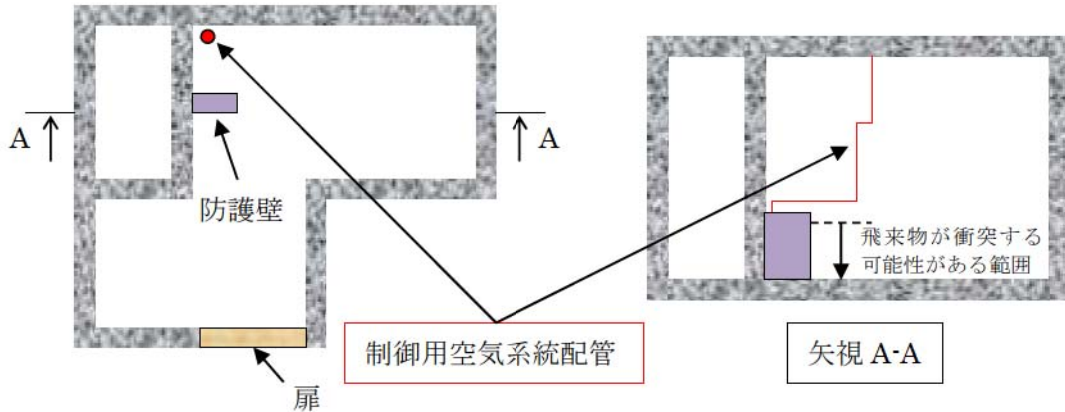


図-8 制御用空気系統配管の飛来物防護対策イメージ図

(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。

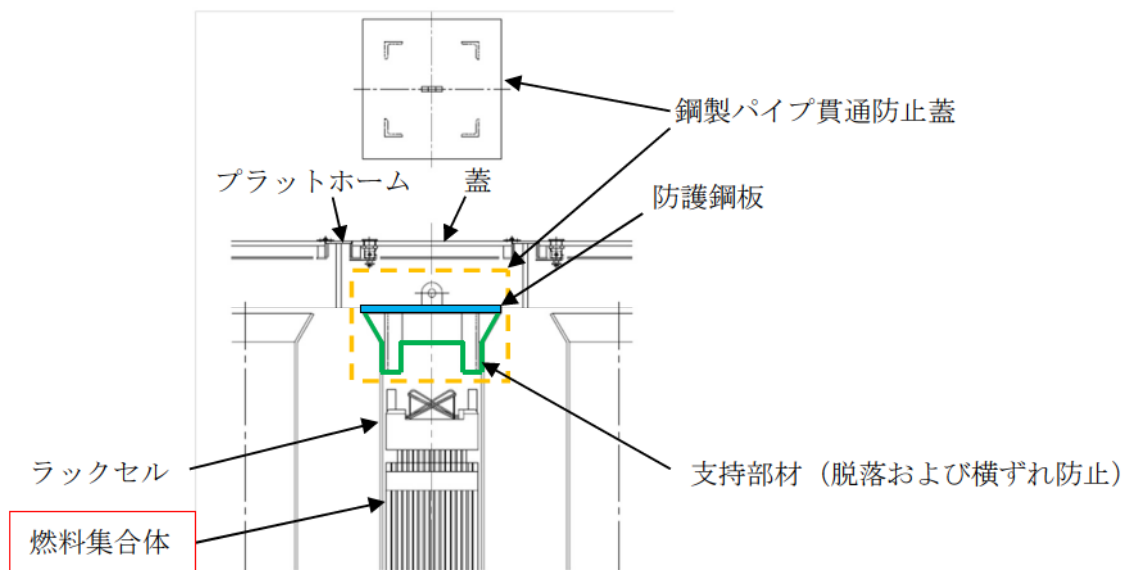


図-9 新燃料ラックの飛来物防護対策イメージ図

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

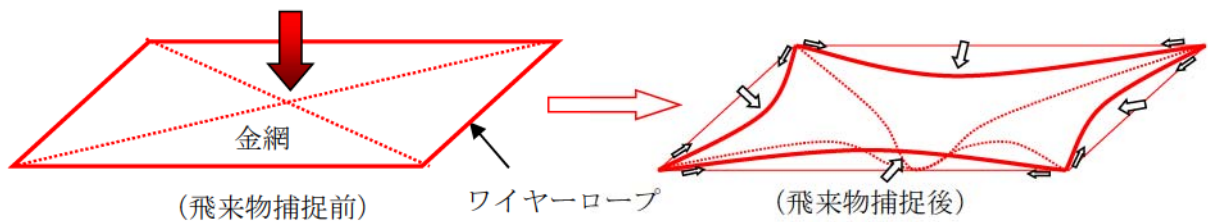


図-11 金網とワイヤロープの変形イメージ

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）

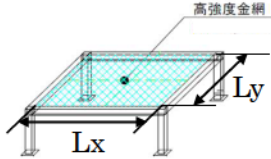
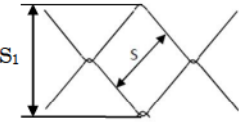
以下に原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）設置エリア上部開口部に設置する金網の強度評価例を示す。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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 = φ 4mm	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

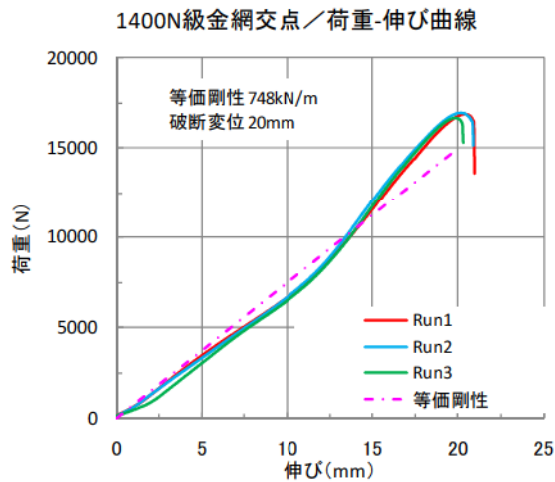


図-12 荷重-伸び曲線（引張試験結果）

<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。

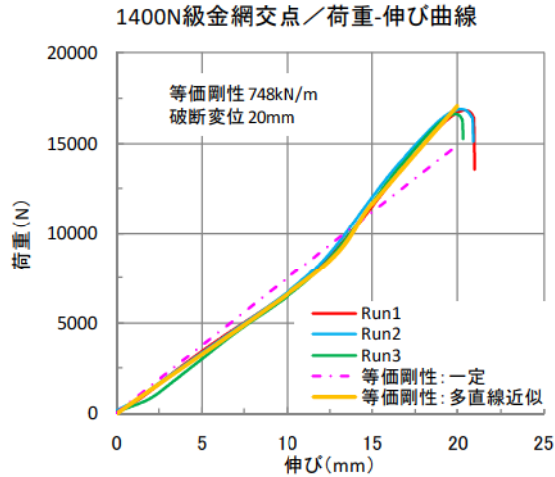


図-13 荷重-伸び曲線（多直線近似剛性）

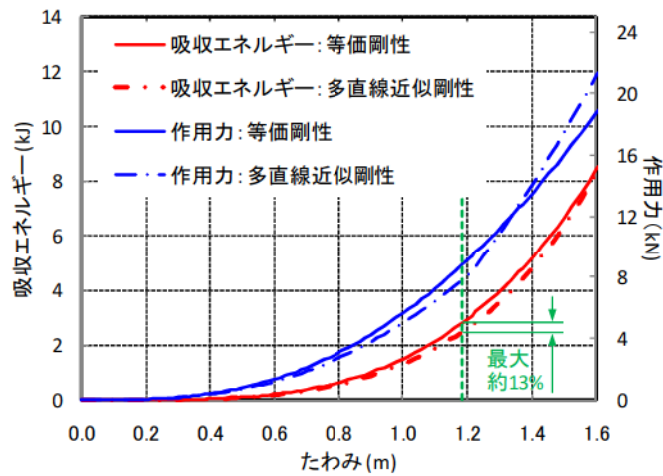


図-14 等価剛性近似した場合と多直線近似した場合の作用力と吸収エネルギーの比較

ロ. 飛来物の諸元

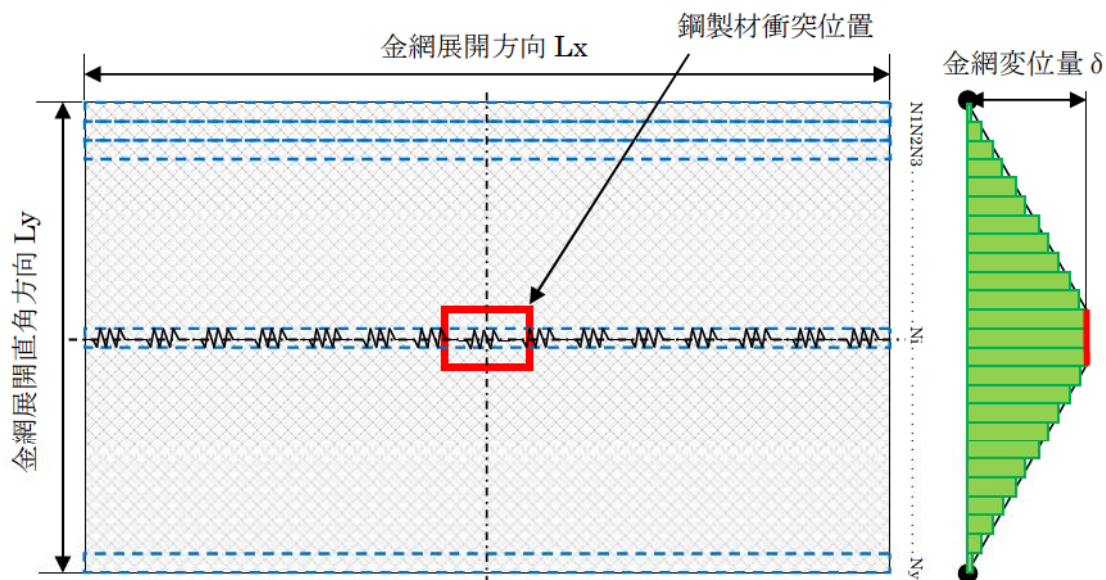
飛来物として想定する鋼製材の諸元を表-7に示す。

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: $\delta_{\max} \times 1/5 = 0.41\text{m}$

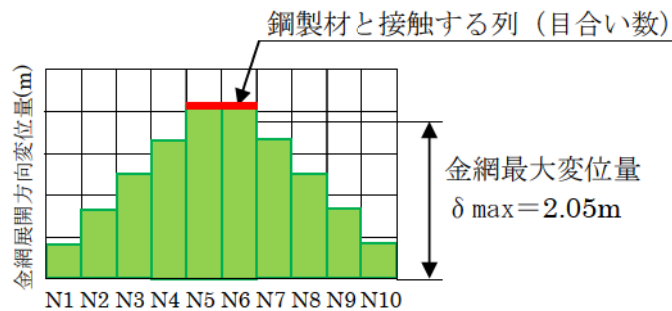
- N2 列の金網変位量: $\delta_{\max} \times 2/5 = 0.82\text{m}$

- 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 Ly	4.7m						
金網展開直角方向目合い数 Ny	4.7m×1000/70.7mm=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Nx(=Lx/70.7mm)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Kx)は、金網展開剛性Kx=748/Nxとなるため、i番目の列における張力Piは、

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

となり、作用力Fi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Eiは、

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

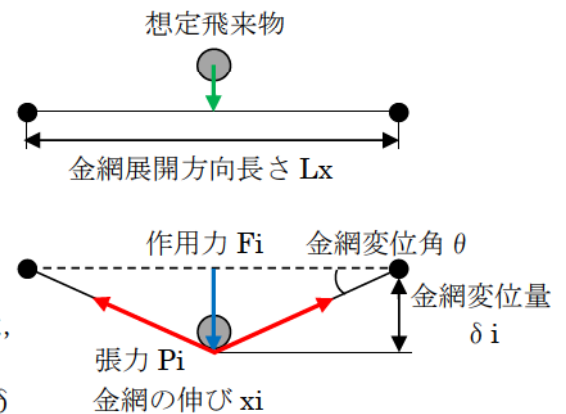
$$= 2k_x \cdot \delta i^2 - k_x \cdot L_x \cdot (\sqrt{4\delta i^2 + L_x^2} - L_x)$$

となり、金網の吸収エネルギーEは、N1からNy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 Lx : 5.1m
- ・金網展開方向目合い数 Nx : 5100mm/70.7mm=72個
- ・金網展開剛性 Kx : 748/72=10.39kN/m
- ・N1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 $V_D (=100\text{m/s})$ 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_W は次のとおり算出できる。

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

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

空気密度 $\rho : 1.22\text{kg/m}^3$

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 $d : \phi 4\text{mm}$

金網の目合い $S : 50\text{mm}$

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

金網展開方向長さ $Lx : 5.1\text{m}$

ネットの設置枚数 $N : 2$

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

ここで、ネットの面積 $a = Lx \times Ly$

ここで、金網展開方向長さ $Lx : 5.1\text{m}$

金網展開直角方向長さ $Ly : 4.7\text{m}$

ネットの単位質量 $m : 4.6\text{kg/m}^2$

重力加速度 $g : 9.80665\text{m/s}^2$

ネットの設置枚数 $n : 2$

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

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。

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

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

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。

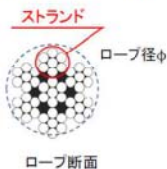
- ・ 飛来物捕捉時の金網に発生する衝突荷重からワイヤロープに発生する張力を求める
- ・ ワイヤロープに発生する張力が許容荷重以内であることを確認する

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		$\phi = 16\text{mm}$
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、

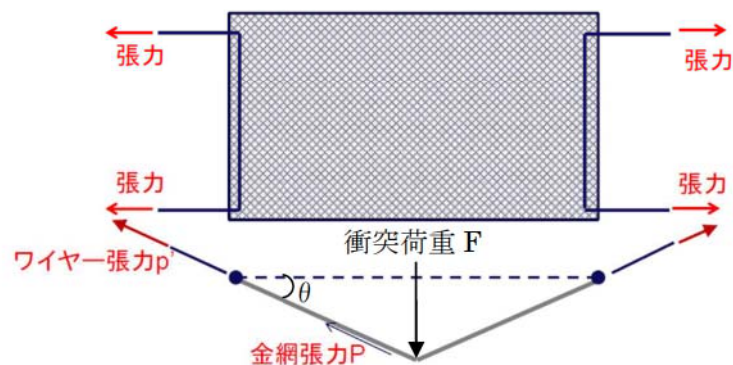
$$p' = F / (4 \times \sin \theta)$$

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) 鋼製枠の強度評価

ワイヤーロープを固定する鋼製枠は下図に示す反力 R_p, N_p, M_p を外力として, この外力により鋼製枠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, 他の鋼製枠設置箇所も同評価となる)。

イ. 鋼製枠の諸元

鋼製枠の諸元を表-9 に示す。

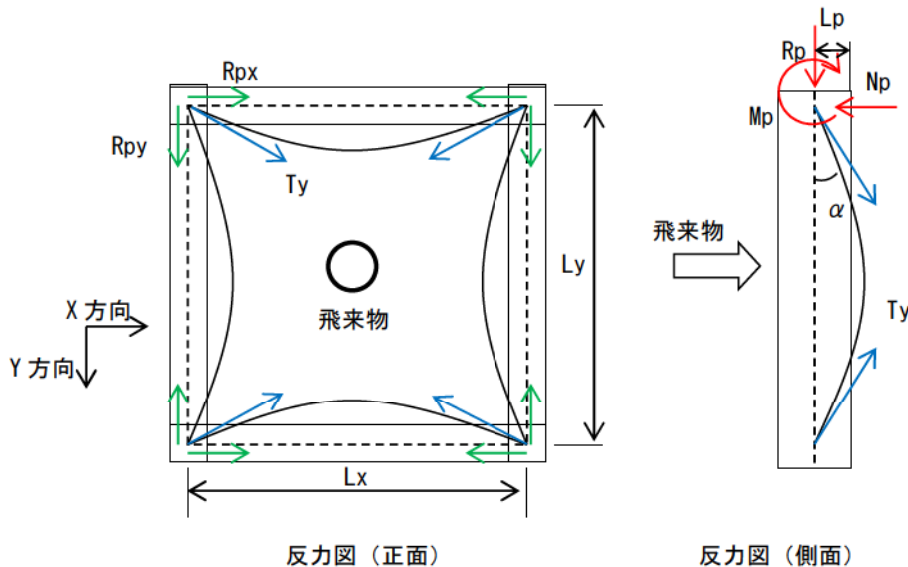
表-9 鋼製枠の諸元

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. 鋼製枠に発生する外力

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枠に作用することから, 鋼製枠への入力荷重は, 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。

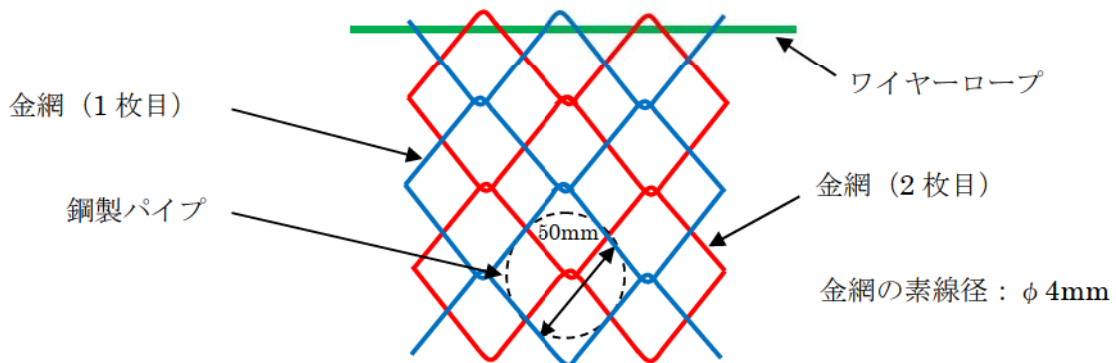


表-10 金網の網目寸法のメーカー規格値

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。

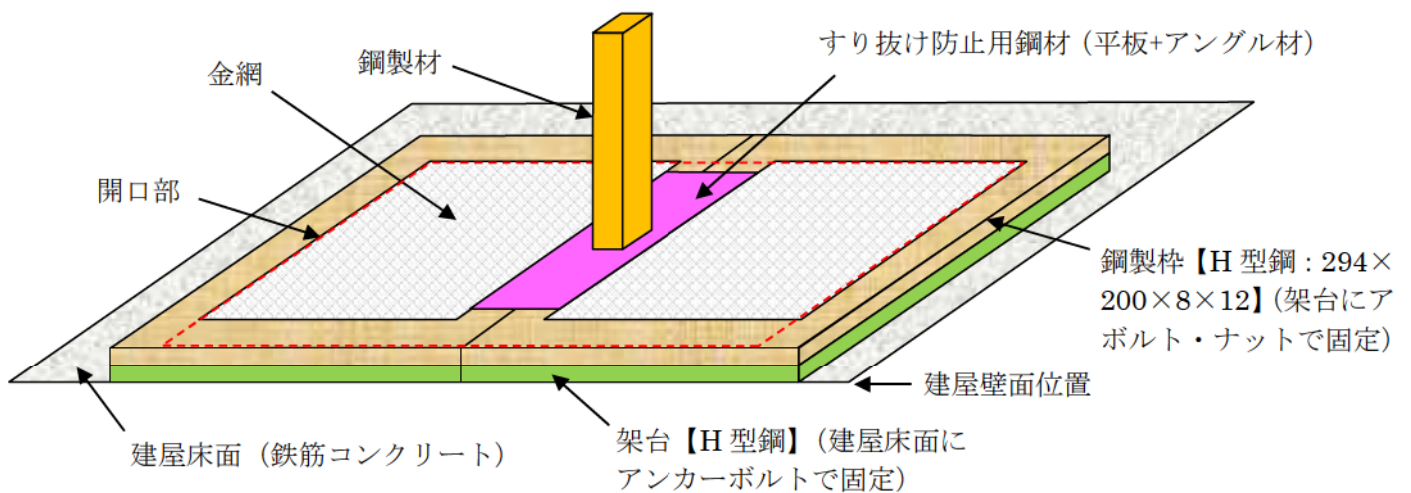


図-15 海水ポンプ等設置エリア上部の開口部に設置する防護ネットのイメージ図

H型鋼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型鋼の枠(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

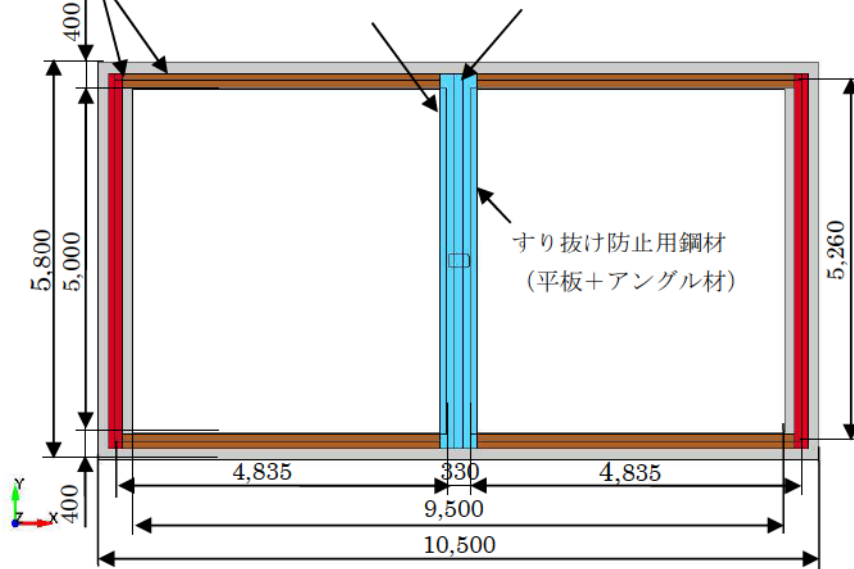
H型鋼

(294×200×8×12)

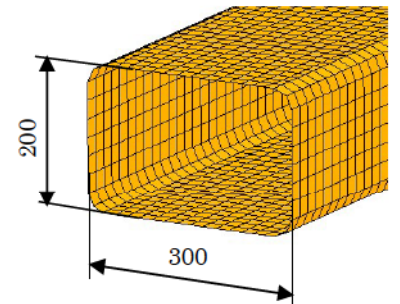
アングル材

(L7×100×100)

平板 (t20)



飛来物断面t4.5×200×300



鋼製材



衝突速度57m/s*

※：当該防護ネットは水平設置であるため、鋼製材の衝突速度は最大鉛直速度38m/sとなるが、保守的に最大水平速度57m/sで評価した。

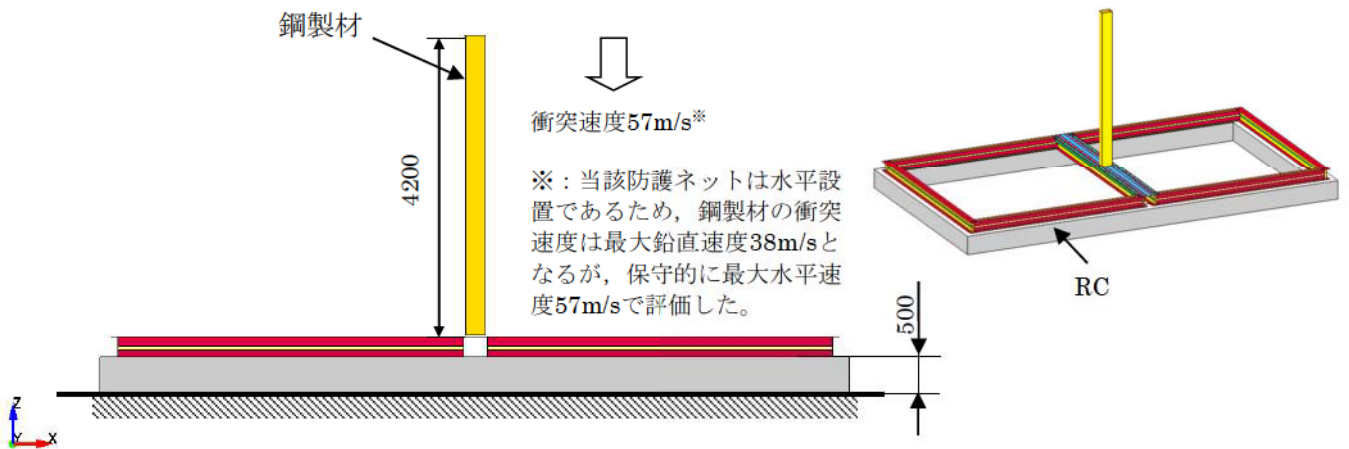
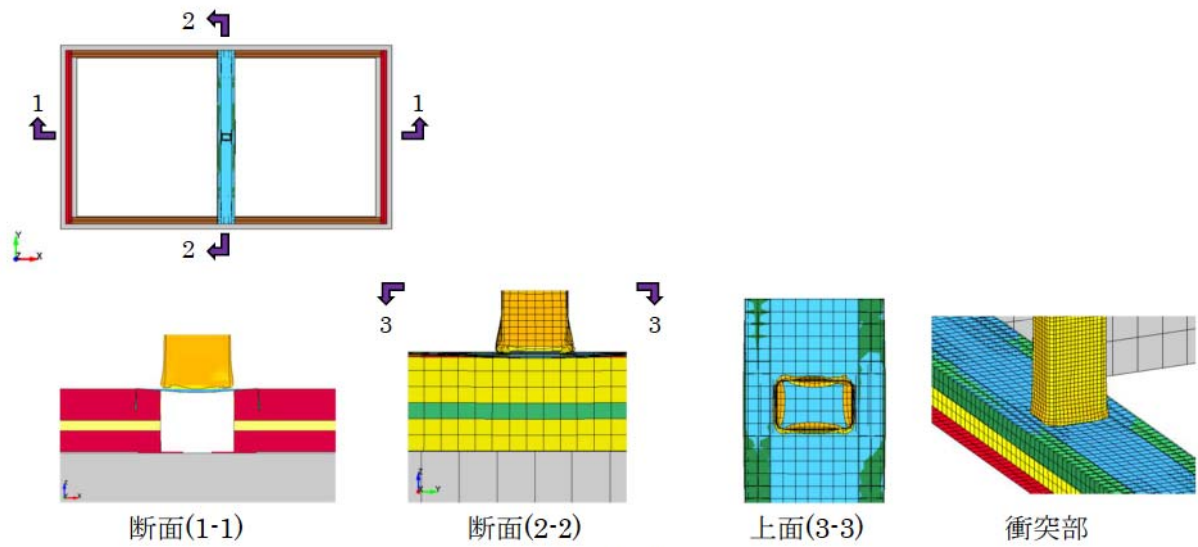
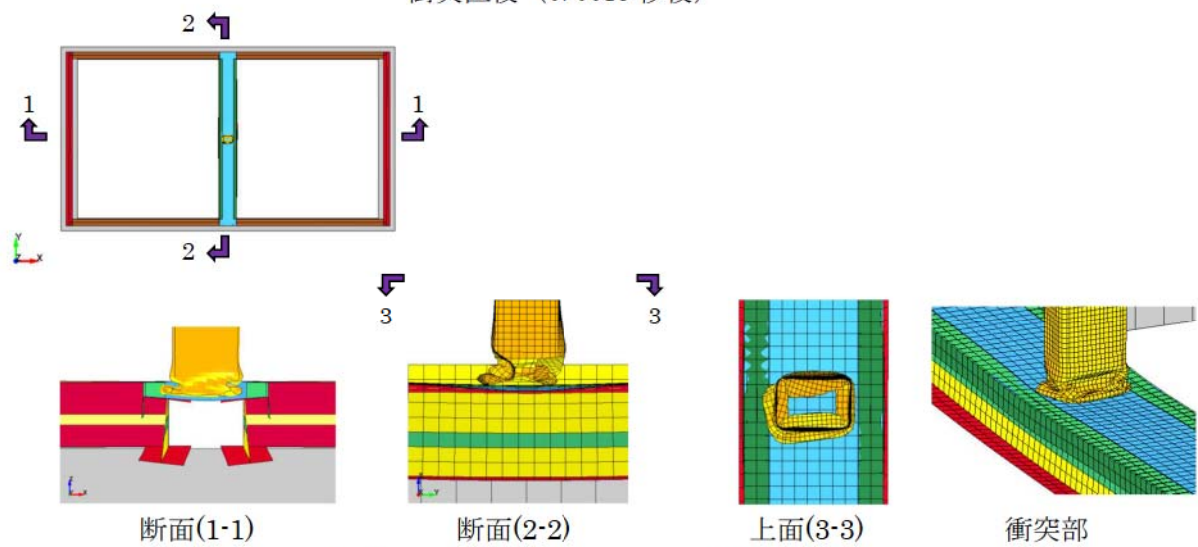


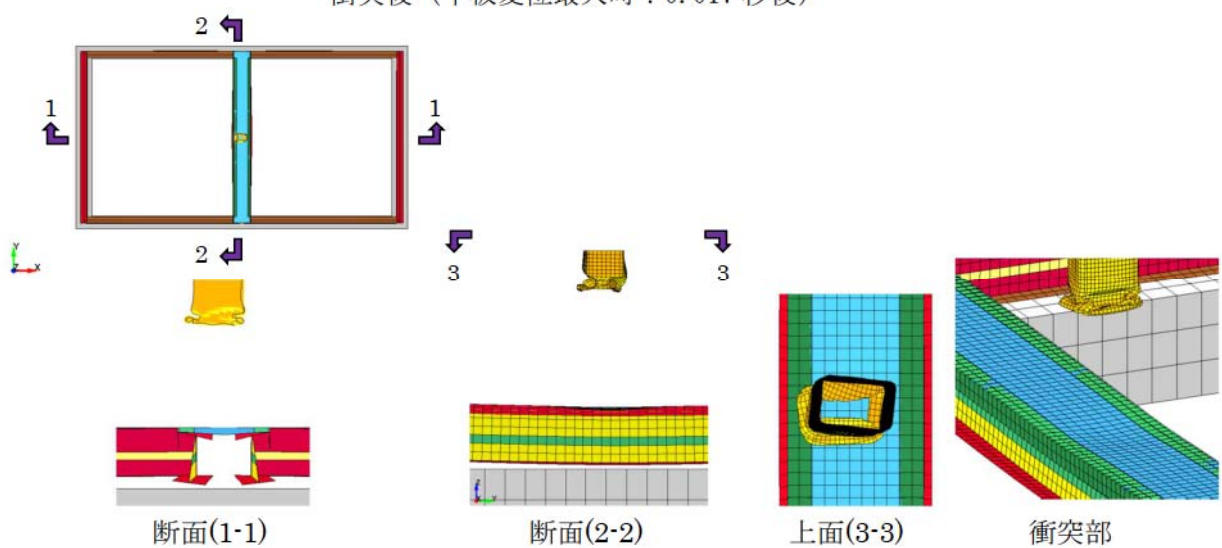
図-16 解析モデル図



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

(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の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える。

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。

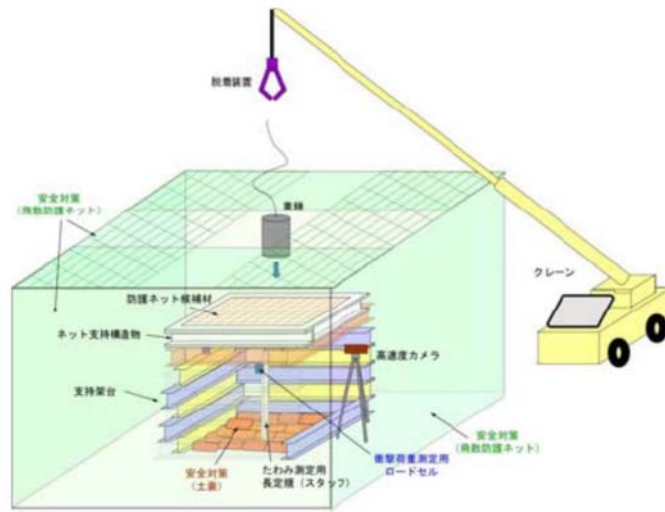


図-19 自由落下試験全体概要図（重錘落下の場合）

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	280	[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)

[Redacted] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

<自由落下試験時の金網変形状況例（HS2-F9）>

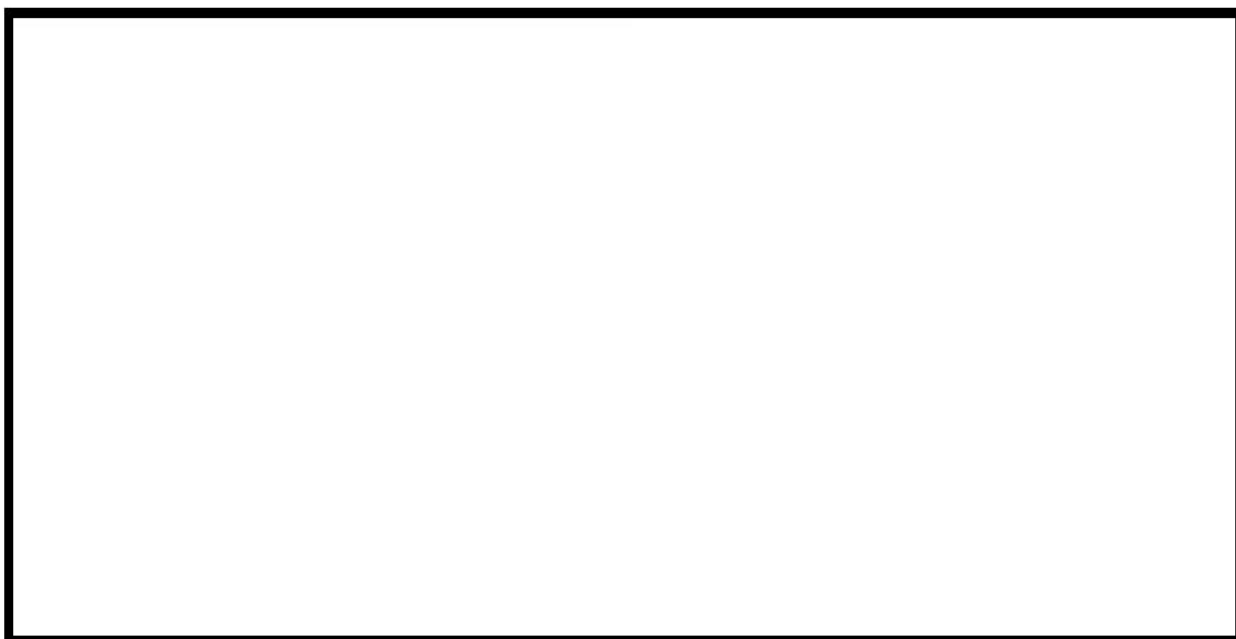


図-20 自由落下試験結果（2/2）



図-21 E_{Design} と E_{Drop} の比較結果


 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



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)	吸収エネルギー 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	[Redacted]	○
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

[Redacted] 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

<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。

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

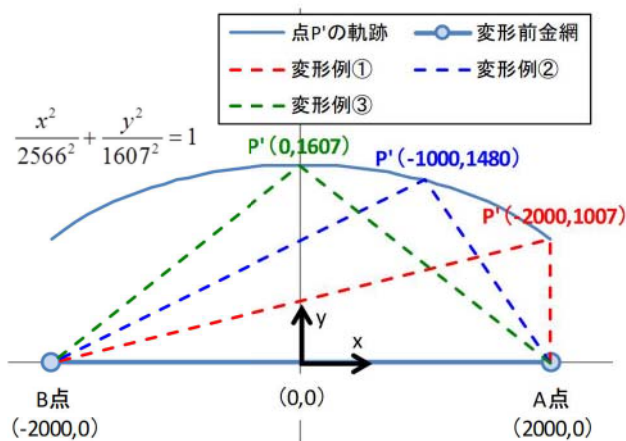


図-24 展開方向長さ 4m の金網における飛来物停止位置 (衝突点) の軌跡

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。

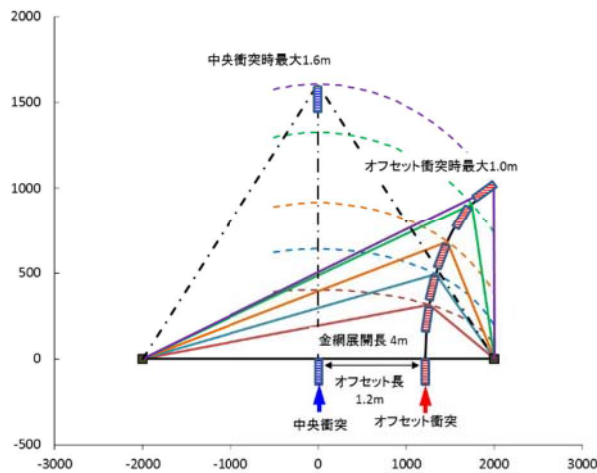


図-25 展開方向長さ 4m の金網におけるオフセット衝突 (中央から 1.2m 位置) した場合の飛来物の軌跡

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。

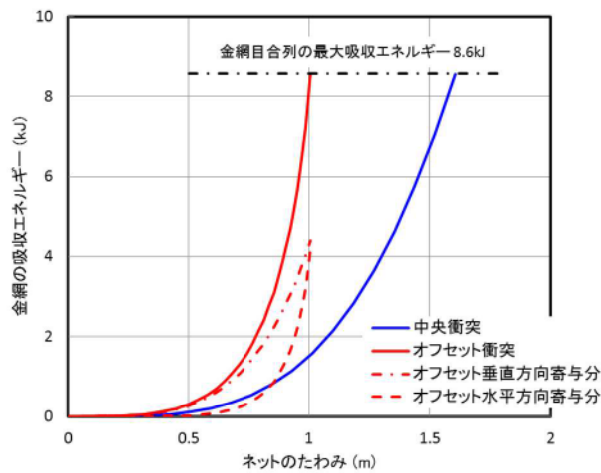


図-26 展開方向長さ4mの金網におけるオフセット衝突（中央から1.2m位置）した場合の吸収エネルギー

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。

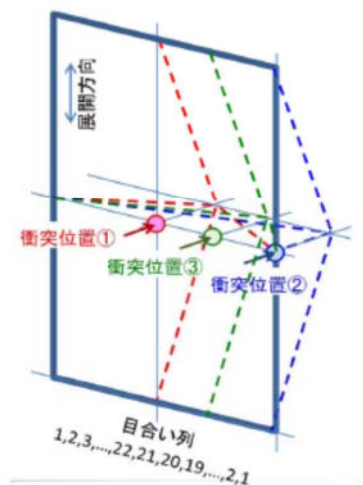
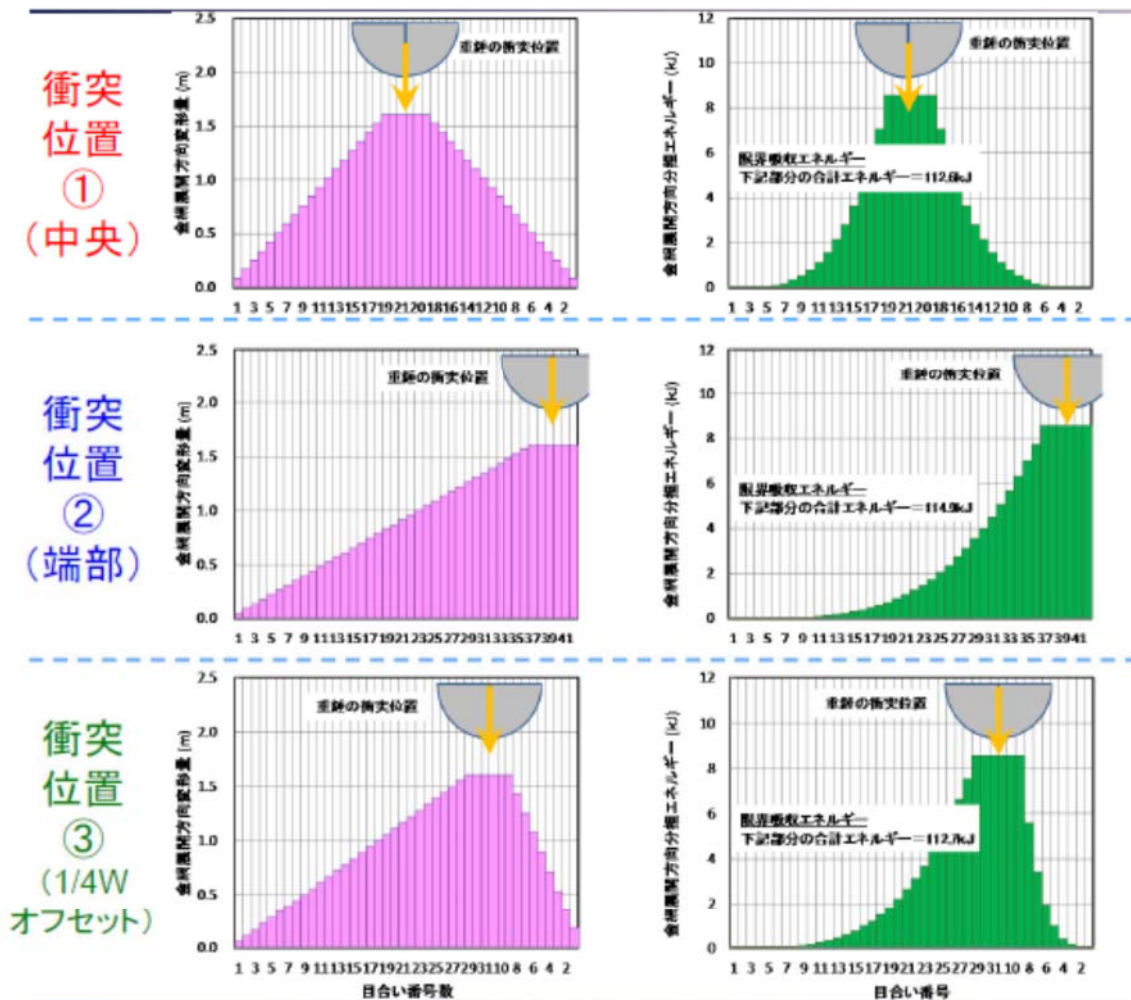


図-27 展開直角方向オフセット衝突位置（検討ケース）

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

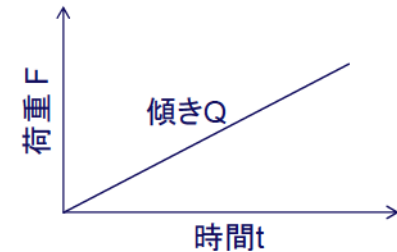
鋼製材が4m（金網展開方向長さ L_x ）×3m（金網展開直角方向長さ L_y ）の金網に衝突した場合の衝突荷重を以下のとおり算出した。

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、 $4\text{m} \times 3\text{m}$ 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、

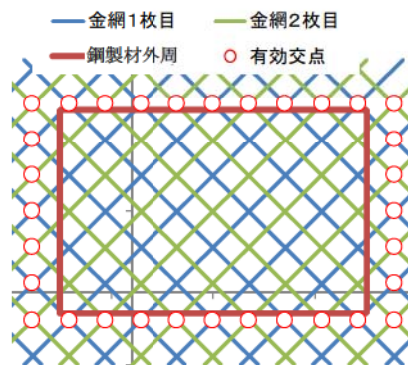
$$\text{衝突時間 } t = \frac{\delta_{\max}}{40} = \frac{1.608}{40} = 0.040s$$

$$\text{衝突荷重 } F = Qt = \frac{120m}{t} = \frac{120 \times 135}{0.040} = 405kN$$

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。



上記①のとおり、鋼製材が金網に衝突した際の衝突荷重 $F=405kN$ となることから、交点 1 点当たりの荷重は、

$$\text{交点 1 点当たりの荷重} = \frac{405}{32} = 12.7kN$$

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。

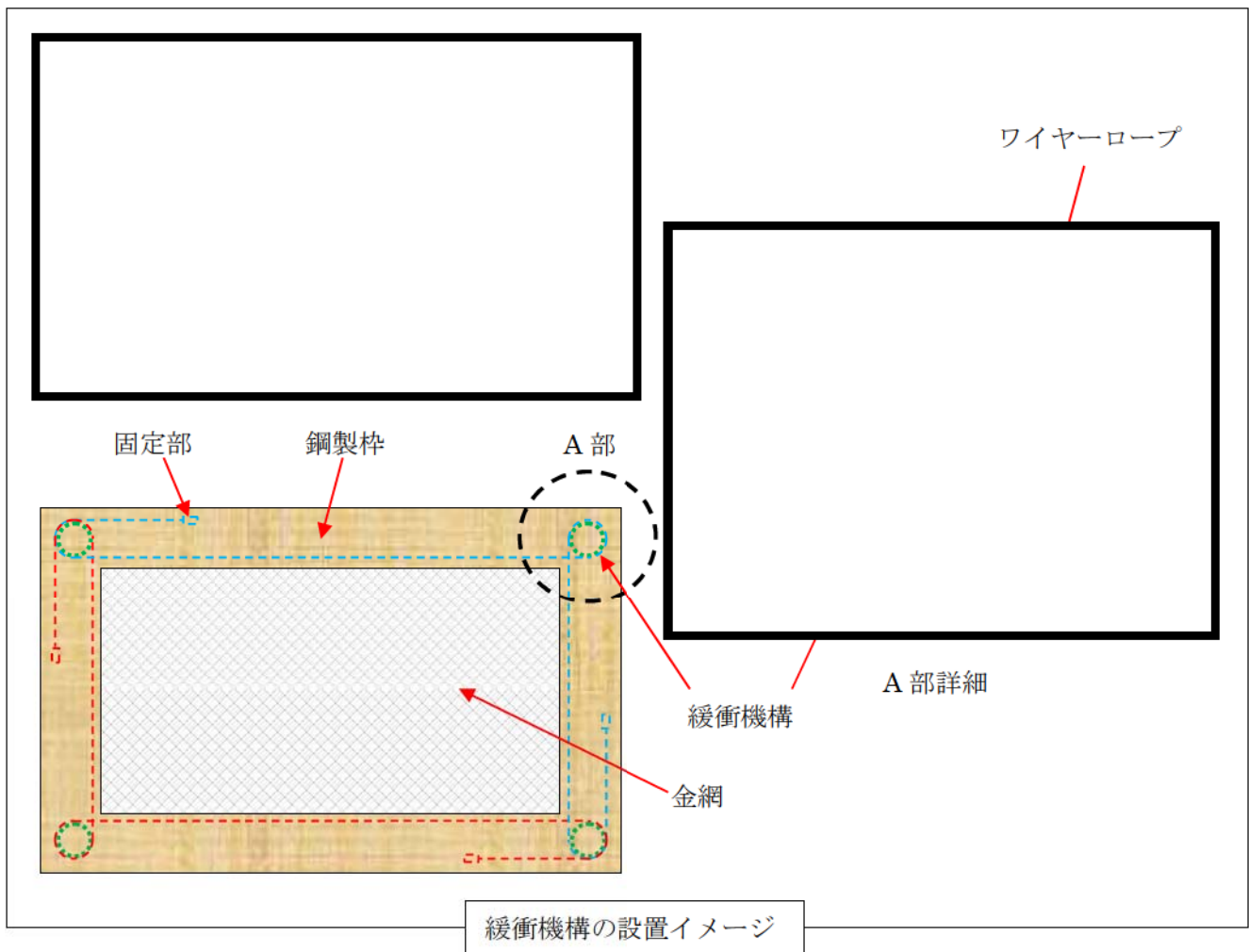
地震時に金網に作用する地震力等によって緩衝機構が動作した場合、外径保持管が斜め方向に最大で約70mm変位するため、金網を支持しているワイヤーロープにたるみが生じて金網にたわみが発生することから、この状態で飛来物が衝突した場合の影響を評価した。評価結果を表-16に示す。

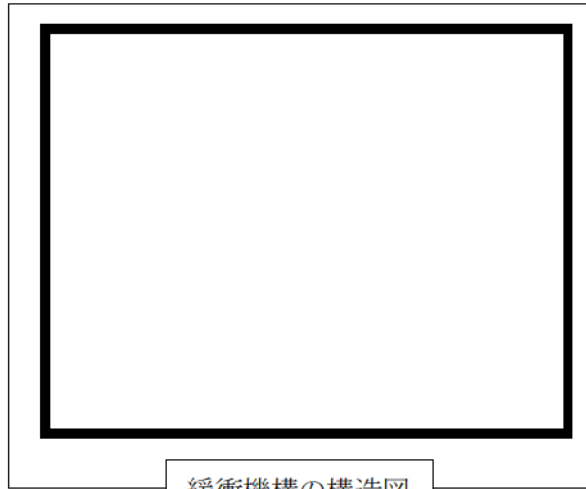
緩衝機構が動作した状態では動作しない状態と比較して、初期たわみが発生する分、金網変位角が大きくなり最大変位量が増加するため、金網の吸収エネルギーは若干ではあるが増加することになり、必要な裕度は確保されることを確認した。一方、最大変位量は上記のとおり増加するため、防護ネット（金網）が防護対象設備に接触しないよう、緩衝機構が動作した状態を考慮して、防護対象設備と防護ネット（金網）との離隔距離を確保する。

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

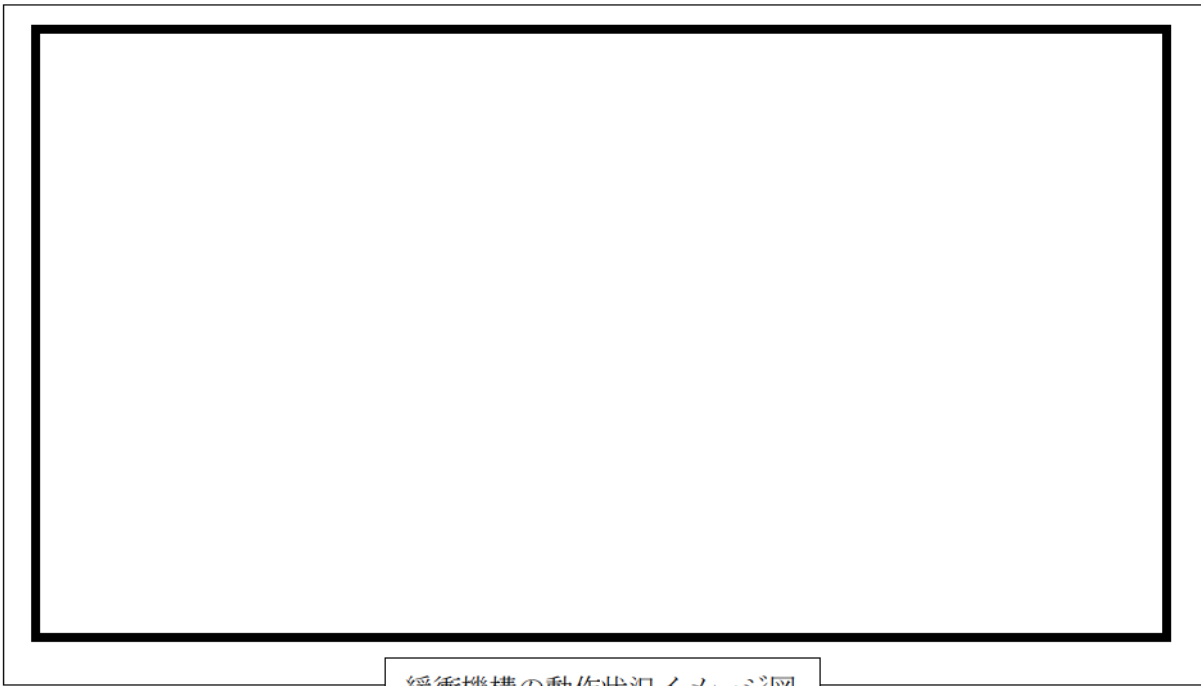
防護対象設備	①金網の吸収エネルギー (kJ)		②衝突エネルギー (kJ)	③風圧力によるエネルギー (kJ)		④自重によるエネルギー (kJ)		裕度 $\left(\frac{\text{①}}{\text{②}+\text{③}+\text{④}}\right)$		最大変位量 (m)	
	動作前	動作後		動作前	動作後	動作前	動作後	動作前	動作後	動作前	動作後
飛来物衝突時の緩衝機構動作状況											
原子炉補機冷却海水ポンプ (配管および弁含む)	327.8	330.9	98.0	12.6*	12.6*	0.12	0.12	2.96	2.98	2.05	2.11
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

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

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)

		評価結果					
項目	防護対象設備への影響内容	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(主蒸気管室内)	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	地震による防護ネット等の落下・転倒	防護ネットは基準地震動に対して耐震性を確保するたため、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。	防護壁の設置に当た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おらず、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	防護壁の設置に当た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、ワイヤーロープは重鉛メッキが施されており、鋼製棒は防食塗装を施すこととしておいており、また、防護鋼板の構成部材(鋼材)は防食塗装を施すこととしておいており、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。	防護ネット(金網)の構成部材である金網、ワイヤーロープは重鉛メッキが施されており、鋼製棒は防食塗装を施すこととしておいており、また、防護鋼板の構成部材(鋼材)は防食塗装を施すこととしておいており、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。	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。	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。	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。
	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可能性がある。	金網(硬鋼線)、鋼製棒(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。	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)

		評価結果					
項目	防護対象設備への影響内容	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
	防護対象設備への影響内容	防護ネット(金網)が開閉を閉塞することはない。冷却空気流路は十分に確保でき、防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	防護鋼板は既給気開口面積を上回るため、開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、防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	防護鋼板は既給気開口面積を上回るため、開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、防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	防護鋼板は既給気開口面積を上回るため、開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、防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	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。	当該ラック内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。
	冷却空気等の流路阻害						
	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。	防護鋼板を設ける吸気ガガリ室内に可燃物はないことから、消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	建屋内に設置する防護壁は、扉へのアクセシ性を考慮して設置することはない。消火活動の妨げになり、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ない。防護対象設備の安全機能に影響を与えない。	建屋内に設置する防護壁は、扉へのアクセシ性を考慮して設置することはない。消火活動の妨げになり、防護対象設備の安全機能に影響を与えることはない。	当該ラック内に可燃物はないこと、防護鋼板(鋼製パイプ貫通防止蓋)は当該ラック内上部に置く形で設置することから、消火活動に影響を与えない。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						

ワイヤーロープのたわみ量の設定について

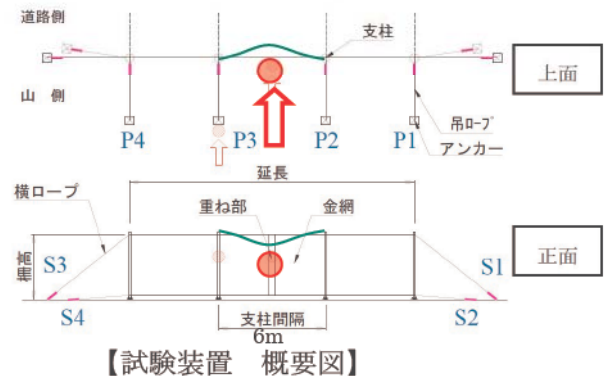
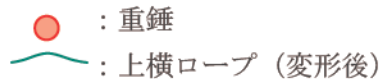
防護ネットの設計において、ワイヤーロープを締結する鋼製枠の設計条件として、ワイヤーロープのたわみ量を固定間隔の20%としている根拠は次のとおりである。

(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)

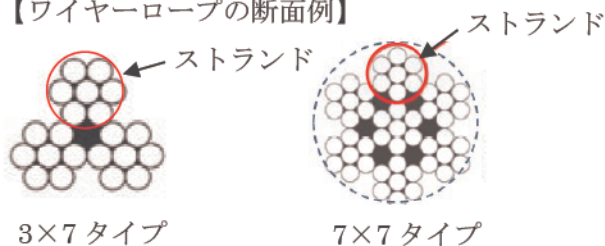


当該試験の結果、および防護ネット設計に適用するロープたわみ量の考え方は次のとおり。

- ✓ 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】



試験状況を次ページに示す。

(試験状況)

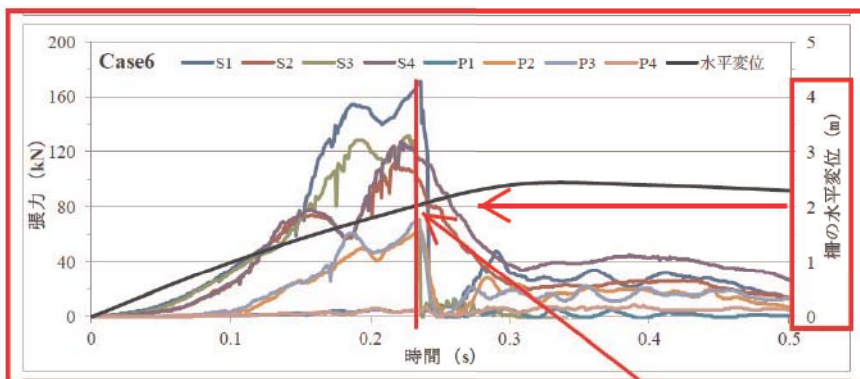
1. 重錘衝突前のネット状況



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 2.6. 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守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 とまりん館駐車場
- ② ほくでん体育館駐車場
- ③ 宮丘駐車場
- ④ 滝ノ澗駐車場

図-1 に退避場所を示す。

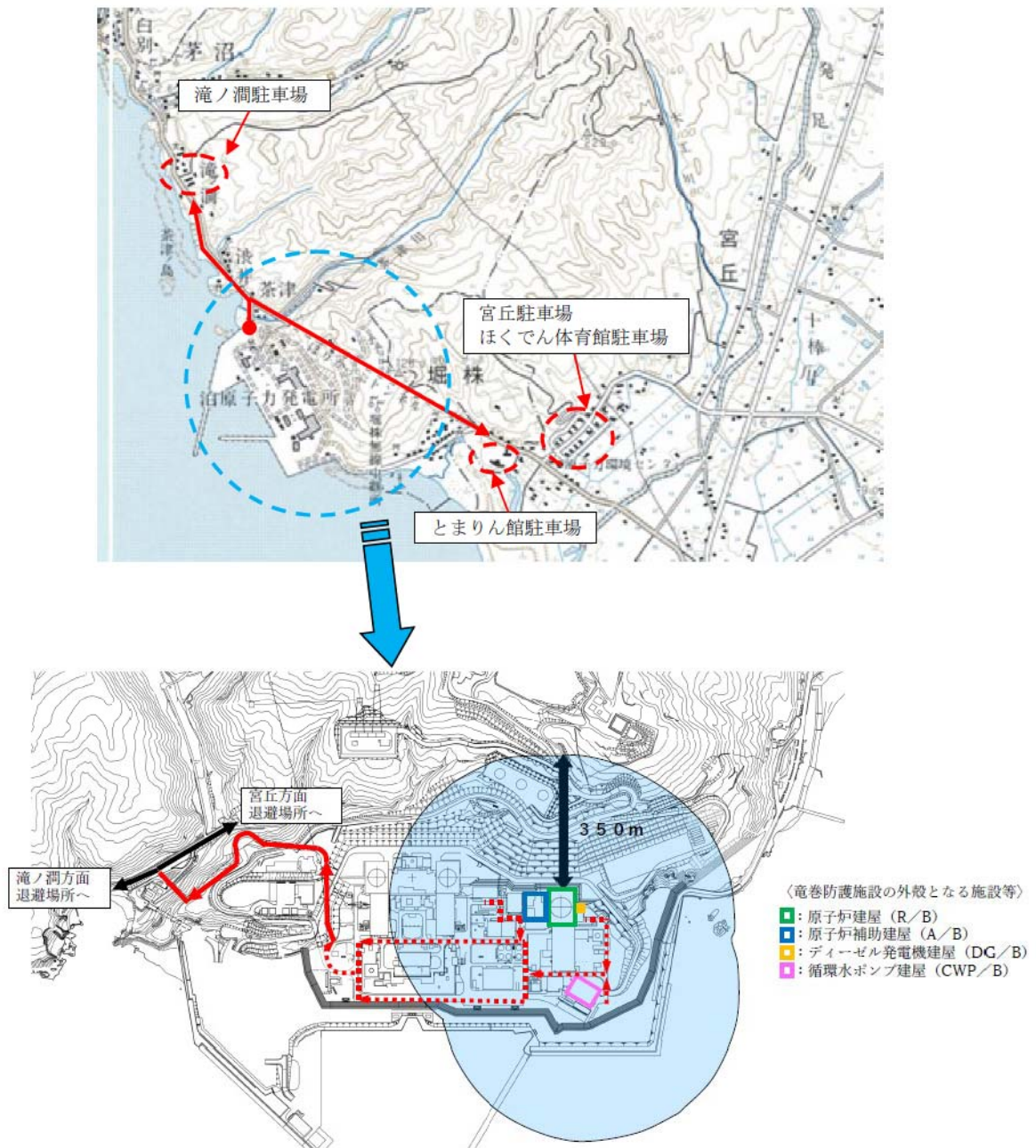


図-1 退避場所

(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。

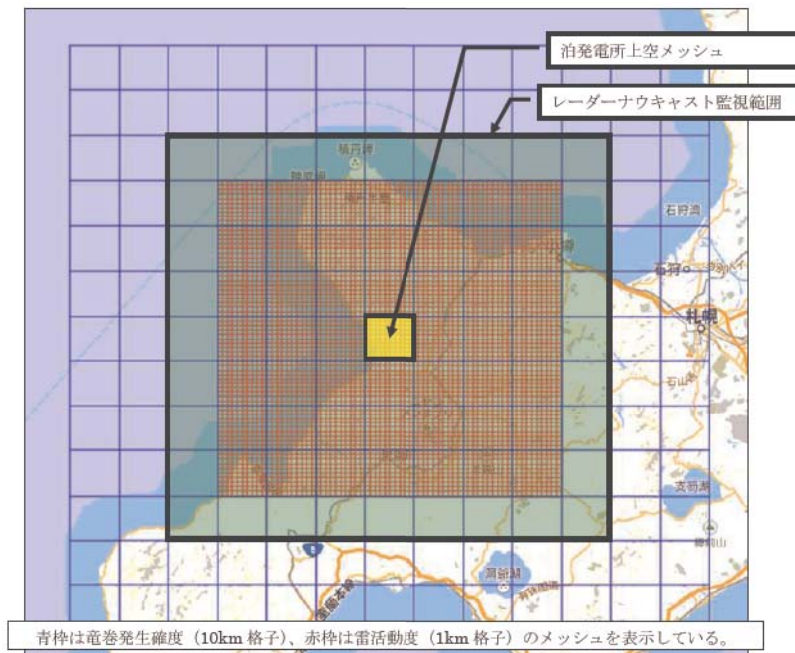


図-2 レーダーナウキャスト監視範囲

(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。

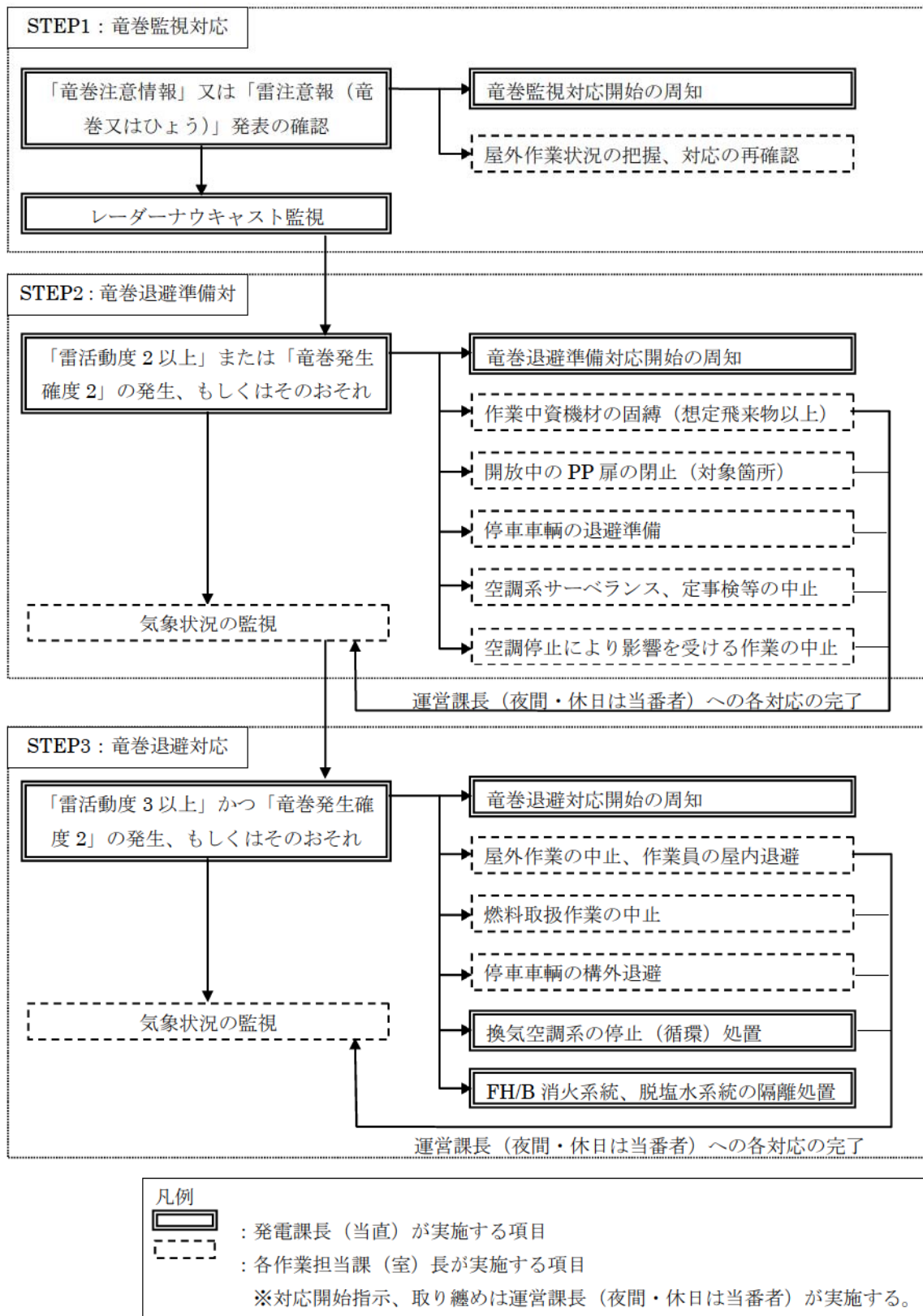


図-3 竜巻対応フロー

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。

6. 車両の退避時間について

車両の退避に要する時間について、退避場所（案）で示されているほくでん体育館駐車場及び滝ノ間駐車場へ退避する時間について考察する。

退避する場合の構内の基点としては、退避場所（案）までの距離が遠くなるディーゼル発電機建屋東側とする。

ほくでん体育館駐車場及び滝ノ間駐車場への車両の避難については、表-2のとおりであり、竜巻襲来までの時間余裕としても見込んでいる60分の中で、退避は可能と判断している。

今後は、構内の道路状況及び関連設備の整備状況を踏まえ、マニュアルに反映する。

表-2 退避に要する所要時間

	基点からの距離	想定時間※1
ほくでん体育館	約5.1 km	約31分
滝ノ間駐車場	約3.0 km	約18分

※1 公益財団法人 日本道路交通情報センターHPより、一般道の渋滞速度10km/hを採用した。

竜巻準備体制の発令の判断基準について

(1) 竜巻対応準備開始判断基準の捕捉性

藤田スケール（JEFスケール）1以上の竜巻に対し、判断基準である「竜巻注意情報」又は「雷注意報（竜巻又はひょう）」が竜巻を捕捉した確率を調査（気象庁HP「竜巻注意情報の発表状況」より、2016～2021年の6年間のデータにて調査）

表－1 竜巻発生と注意情報等発令時間

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	6年間合計
発令なし・遅れ	1	0	1	1	0	0	2
30分以内	1	0	0	3	1	0	5
1時間以内	1	0	1	1	1	2	6
1時間超	11	11	10	4	6	5	47
合計	14	11	12	9	8	7	60

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	6年間合計
全捕捉率	92.9%	100%	91.7%	88.9%	100%	100%	96.7%
猶予30分超えでの捕捉率	85.7%	0	91.7%	55.6%	87.5%	100%	88.3%
猶予60分超えでの捕捉率	78.6%	100%	83.3%	44.4%	75%	71.4%	78.3%

・捕捉率96.7%（60回の竜巻発生回数に対し、捕捉出来なかったのは2回のみ）で、ほぼ100%であり、「竜巻注意情報」又は「雷注意報（竜巻又はひょう）」発令による監視強化開始は妥当であると考ええる。

(2) 竜巻対応準備，避難開始判断の妥当性

a. 判断基準（暫定案）：

竜巻退避準備対応：レーダーナウキャスト「竜巻発生確度2」又は「雷活動度2以上」
 竜巻退避対応：レーダーナウキャスト「竜巻発生確度2」及び「雷活動度3以上」
 上記の状況が発電所上空に発生，又は，発生の恐れがある場合
 （泊発電所を中心とした1辺90kmの正方形の範囲）

b. レーダーナウキャストについて

①竜巻発生確度について※¹

○「発生確度1」は，下記の条件1，2のAND条件によって判定されている。

条件1：周辺100km範囲において，

- ・気象ドップラーレーダーにより，メソサイクロンを検出した場合
- ・数値シミュレーションと気象レーダー観測値から得られる「突風危険指数」の基準値を超えた場合
- ・上記のOR条件

条件2：気象レーダー観測による降水強度20mm/h

○「発生確度2」は、条件1，2のAND条件で、「発生確度1」と判定される。

条件1：周辺40km範囲において、

- ・気象ドップラーレーダーにより、メソサイクロンを検出した場合
- ・数値シミュレーションと気象レーダー観測値から得られる「突風危険指数」の基準値を超えた場合
- ・上記のAND条件

条件2：気象レーダー観測による降水強度20mm/h

○竜巻発生確度は10kmメッシュで10分ごとに60分先まで予測される。

②雷活動度について^{*2}

- ・「放電の検知から発雷密度を解析」，「レーダー3次元データから落雷を解析」，「レーダー観測から雨雲を解析」から解析される。
- ・雷活動度は1kmメッシュで10分ごとに60分先まで予測される。

c. 判断基準の妥当性について

①「竜巻発生確度2」と「雷活動度2」との重ね合わせについて

- ・強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する^{*1}。
竜巻発生確度2では、メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数kmの小さな低気圧）の検出が条件となっている。
これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性があるとして判断される^{*1}ためである。
更に降水強度を低めに見積もることによって、発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。
- ・積乱雲は30分から60分のライフサイクル（成長期，成熟期，衰退期による3段階）で形成，消滅する^{*1}。このライフサイクル中，竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり，この成熟期の初期段階，又は，発達した成熟期の積乱雲の接近を把握する方法として，雷活動度を利用する。レーダーナウキャストの雷活動度2は，上空の放電状態や，近接する雷雲の周辺，気象レーダーによる雷雲の立体的特徴などから，落雷が間近に迫っている雷雲の状態を表している。
つまり，発達しつつある積乱雲や，発達した積乱雲の周辺を表しており，竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生，又は接近を予告する指標として活用できると考える。
また，ナウキャストにおいては，予測だけでなく，直近の観測データの変化傾向を把握することができるため，経時変化を見ることが可能である。つまり，監視強化後にナウキャストを確認することにより，発電所周辺の積乱雲の状況を確認することが可能である
- ・以上より，「竜巻発生確度2」と「雷活動度2以上」を竜巻発生指標とすることは，妥当であると判断した。

②「竜巻発生確度2」と「雷活動度3以上」との組み合わせについて

- ・雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する^{※3}。つまり、落雷が発生している場所（雷活動度3以上の地域）は、強い上昇気流場であると言える。
- ・レーダーナウキャストの雷活動度の解析には、雷放電時に発生する電磁波を全国30ヶ所の検知局にある計測装置により、雷の位置、電界強度を計測した結果を用いている。実況値において雷活動度3以上の場所は、その時間において、既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を表しており、強い雷雲の位置を示していることになる。
- ・雷活動度の予測には、盛衰傾向による補正が加えられており、現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち、単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測ではなく、積乱雲の発達も考慮に加えられている^{※1}。
- ・前述の通り、竜巻発生確度2はメソサイクロンの検出が条件であり、強い竜巻の発生する可能性が高いことを示唆している。
- ・メソサイクロンと雷活動度による積乱雲中の上昇気流場の検知を組み合わせることにより、強い竜巻の発生する可能性が高い条件の場所を推定する。
- ・以上より、「竜巻発生確度2」と「雷活動度3以上」を強い竜巻の発生の指標とすることは、妥当であると判断した。

なお、判断基準とする情報については、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。

※1：雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報78.3 2011）

※2：気象庁HP：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（平成22年3月）

※3：大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）

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。

27. 竜巻襲来時において排気筒に求められる機能について

1. 竜巻襲来時において求められる機能

「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」（以下「設置許可基準規則」という。）第6条において、『安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。』旨規定されており、設置許可基準規則第2条第2項第5号において、「安全機能」とは次のとおり定義されている。

＜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って、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

排気筒は「事故時における環境への放射線影響軽減機能」と、「平常時における環境への放射線影響軽減機能」を有しており、このうち「事故時における環境への放射線影響軽減機能」は、「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外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能」に該当する。

しかしながら、竜巻を起因として排気筒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排気筒に求められる安全機能要求はないと考える。

また、竜巻襲来後速やかに排気筒の点検を実施し、飛来物による排気筒の損傷（貫通穴）を確認した場合は、放射性物質の放出低減機能喪失（アニュラス空気浄化系が2系統とも動作不能）となることから、泊発電所原子炉施設保安規定に則り、速やかにプラントを停止して補修を行うことにより、設置許可基準規則第6条に適合していると考えている。

ここで、仮に鋼製材が長手方向に衝突し排気筒上部に全周破断が生じたケースを想定した場合（鋼製材のサイズは0.2×0.3mであることから破断幅は0.3mを想定）の応急処置方法の例を下記に示す。

＜応急処置方法の例＞

①-1* 材料手配、当て板製作・・・約2週間

①-2* 排気筒上部まで足場設置・・・約2週間

※：①-1と①-2は並行して実施

②当て板溶接・・・約1週間

応急処置期間：①+②=約3週間

なお、排気筒の損傷により本来排気筒を通して高所から放出される放射性物質が低所から放出されることになるため、保守的に放射性物質の全量が地上放出されるとして、平常時の敷地等境界外における実効線量を評価した。また、参考に事故時（原子炉冷却材喪失（設計基準事故）を想定）の敷地等境界外における実効線量も合わせて評価した。

<評価結果>

①平常時

解析条件および評価結果の比較を、それぞれ表-1 および表-2 に示す。

飛来物による排気筒の損傷により、放射性物質の全量が地上放出されとした場合の敷地等境界外における実効線量は年間約 $8.1 \mu\text{Sv}$ であり、排気筒放出時の実行線量は年間約 $7.9 \mu\text{Sv}$ であること、また、線量目標値である年間 $50 \mu\text{Sv}$ に対しても十分な裕度があることから、排気筒損傷による被ばく影響は小さいと考える。

なお、排気筒上部の全周破断（破断幅 0.3m ）を想定した場合の応急処置期間は約3週間であり、実際の被ばく影響は更に小さくなると考える。

②事故時【参考】

解析条件および評価結果の比較を、それぞれ表-3 および表-4 に示す。

飛来物による排気筒の損傷により、放射性物質の全量が地上放出されとした場合の敷地等境界外における最大の実効線量は約 0.23mSv であり、排気筒放出時の実行線量と同等であること、また、判断基準である 5mSv に対しても十分な裕度があることから、排気筒損傷による被ばく影響は小さいと考える。

表-1 平常時被ばく解析条件の比較

項 目	設置許可添付9章の解析条件	影響評価における解析条件
気象データ (拡散)	排気筒風 (1, 2, 3号機とも)	排気筒風 (1, 2号機) 地上風 (3号機)
放出源高さ	排気筒放出 (1, 2, 3号機とも)	排気筒放出 (1, 2号機) 地上放出: 0 m (3号機)

※ どちらの解析も建屋拡散を考慮していない。

※ その他評価条件については、設置許可申請書添付9と同様。

表-2 平常時被ばく評価結果の比較

項 目	設置許可添付9章の評価結果	影響評価における評価結果
希ガスの γ 線からの外部 被ばくによる実効線量	約3.6 μ Sv/y	約3.7 μ Sv/y
液体廃棄物中の放射性物質 摂取に伴う内部被ばくによ る実効線量	約2.6 μ Sv/y	同 左
よう素の摂取に伴う内部 被ばくによる実効線量	約1.7 μ Sv/y	約1.8 μ Sv/y
合 計	約7.9 μ Sv/y	約8.1 μ Sv/y

※ 上記の値は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に示される線量目標値の年間50 μ Svを下回る。

表-3 事故時被ばく解析条件の比較

項目	設計基準事故(原子炉冷却材喪失)の解析条件	影響評価における解析条件
環境への放射性物質の放出	排気筒放出で評価	地上放出で評価
環境に放出された放射性物質の大気中の拡散条件	1997年1月～1997年12月の気象データに基づき「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度及び相対線量 <排気筒放出> 相対濃度 (χ/Q) $4.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ 相対線量 (D/Q) $3.1 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$	1997年1月～1997年12月の気象データに基づき「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従って評価された相対濃度及び相対線量 <地上放出> 相対濃度 (χ/Q) $4.5 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ 相対線量 (D/Q) $3.1 \times 10^{-19} \text{ Gy/Bq}$

※ 解析条件の異なっている項目について記載。

表-4 事故時被ばく評価結果の比較

項目		設計基準事故(原子炉冷却材喪失)の評価結果	影響評価結果
環境に放出されるよう素量 (I-131等価量－小児実効線量係数換算)	現行評価経路(排気筒放出)	約 2.7×10^{11} Bq	—
	排気筒破損により地上放出とした場合	—	約 2.7×10^{11} Bq
環境に放出される希ガス量 (γ 線エネルギー0.5MeV換算)	現行評価経路(排気筒放出)	約 6.1×10^{13} Bq	—
	排気筒破損により地上放出とした場合	—	約 6.1×10^{13} Bq
実効線量 ^(注1)		0.23mSv	0.23mSv

(注1) 直接線量及びスカイシャイン線量 約0.086mSvを含む

2. 竜巻襲来後の点検手順

竜巻襲来後の点検手順を下記に示す。

<点検手順>

- ① 双眼鏡を用いて排気筒全体の塗膜の剥離状況（上塗りと下塗りでは塗装色が異なる）および凹みの有無を確認する。
- ② ①で異常を確認した部位については、恒設点検歩廊および格納容器屋上部点検歩廊を用いて目視により点検（貫通穴の有無を確認）する。また、恒設点検歩廊等から確認できにくい部分は仮設足場などを設置して点検する。

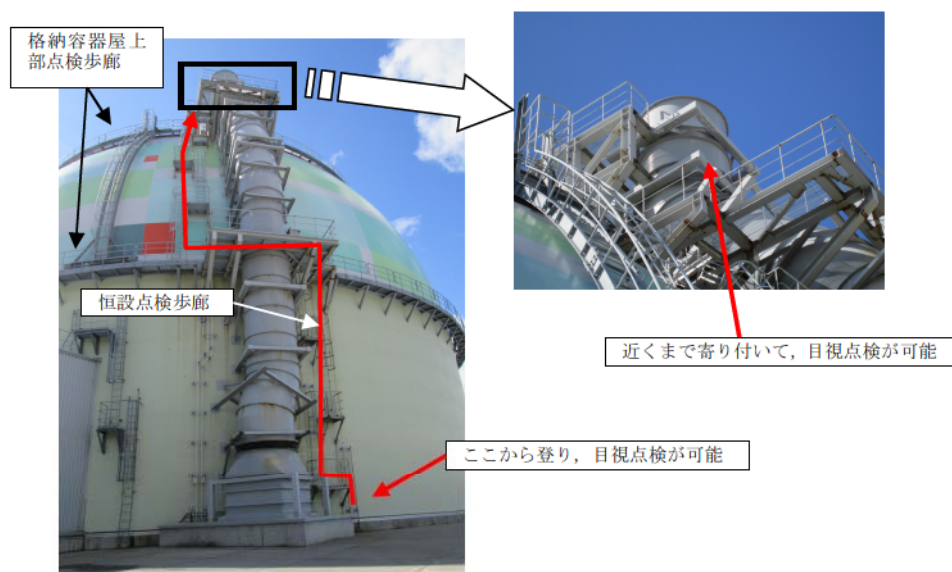


図-1 排気筒外観

28. 気圧差の影響を受けることが想定される設備の影響評価について

1. はじめに

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において、気圧差による圧力の影響を受けることが想定される設備については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該設備が破損した場合の安全機能維持への影響についても確認を行う旨記載されている。

設備は基本的に建屋内に設置されているため、建屋の防護機能によって気圧差の影響は受けないと考えられるが、設計竜巻により外壁（外装材等）の損傷が考えられる鉄骨造建屋内に設置されている計器等、気圧差の影響を受けることが想定される設備が存在する。

また、竜巻は長期間停滞することではなく短時間（数秒～数十秒のオーダー）で通過すると考えられる。

以上を踏まえ、気圧差の影響を受けることが想定される設備として下記を抽出し、気圧差の影響を評価した。

- ①設計竜巻により外壁の損傷が考えられる鉄骨造建屋内に設置されている計器
- ②外気に繋がっている換気空調設備（排気筒含む）
- ③外気を吸入して運転する非常用ディーゼル発電機

2. 評価結果

(1) 設計竜巻により外壁の損傷が考えられる鉄骨造建屋内に設置されている計器

設計竜巻により外壁の損傷が考えられる鉄骨造建屋は循環水ポンプ建屋（CWP/B）とタービン建屋（T/B）であり、CWP/B、T/B（以下「当該エリア」という）内に設置されている計器については、気圧差の影響を受ける可能性がある。

当該エリアに設置されている計器を含め、気圧差が計測に影響を与えるものとしては、①圧力計、②水位計、③流量計が考えられるが、以下のとおり気圧差による安全機能維持への影響はないことを確認した。

①圧力計

圧力計の高圧側（プロセス圧）は変化せず、低圧側（大気）のみ変化することとなり、圧力計測信号が見かけ上高めを示すこととなるが、一般に圧力計の計測範囲はMPaオーダーであり、気圧差のhPaオーダーよりも非常に大きいことから、安全機能維持への影響はない。

②水位計

<開放タンクの場合>

差圧計の高圧側（タンク内圧）、低圧側（大気）共に圧力が低下するため、気圧差の影響は受けないことから、安全機能維持への影響はない。

<密閉タンクの場合（高圧側、低圧側ともにタンク内圧を受圧）>

差圧計の高圧側、低圧側ともに外気の影響を受けず、気圧差の影響は受けないことから、安全機能維持への影響はない。

③流量計

差圧計の高圧側、低圧側共にプロセス配管に接続されており、気圧差の影響は受けないことから、安全機能維持への影響はない。

なお、当該エリア内に設置されている耐震Sクラスおよびクラス1、2に属する計器の

評価結果を表-1 に示す。

表-1 当該エリア内に設置されている計器の気圧差影響評価

計器名称	設置場所	評価結果
3 A - 原子炉補機冷却海水供給母管圧力	CWP/B	圧力計の高圧側（プロセス圧）は変化せず、低圧側（大気）のみ変化することとなり、圧力計測信号が見かけ上高めを示すこととなるが、計測範囲に対しては微小な値であり（通常指示値 0.5MPa（計測レンジ 0~1.0MPa）に対し、設計竜巻による気圧差（気圧低下）は 89hPa）、計測への影響はほとんどない。
3 B - 原子炉補機冷却海水供給母管圧力	CWP/B	

(2) 外気に繋がっている換気空調設備（排気筒含む）

竜巻防護施設および竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出した換気空調設備（ダンパ、バタフライ弁、ダクト、ファン、空調ユニット）および排気筒について、気圧差に対する健全性を評価した結果、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（補足説明資料 2 5. (2) 項参照）。

(3) 外気を吸入して運転する非常用ディーゼル発電機

非常用ディーゼル発電機（D/G）の吸排気口に気圧差の影響（気圧低下）が生じた場合、D/G の運転に影響を与える可能性が考えられる。

D/G の吸気口と排気口は近接して設置されているため（図-1 参照）、竜巻が接近した場合においても、気圧差は生じ難いと考えられるが、以下のとおり①吸気口側、②排気口側、③吸気口側および排気口側の双方が気圧低下した場合に想定される現象について評価を行い、D/G の安全機能に影響を与えないことを確認した。

①吸気口側が気圧低下した場合に想定される現象

吸気口側が気圧低下した場合は吸入空気密度が低くなるため、過給機により送気される空気量が減少する。過給機により送気される空気は燃料油の燃焼と燃焼後の燃焼室廻りの冷却に用いられており、空気量が減少したとしても燃料油の燃焼は健全に行われるが、燃焼室廻りの冷却に必要な空気量は減少するため、徐々に排気ガス温度が上昇することになる。排気ガス温度が許容限界温度（520℃（通常運転時は 400℃前後））となった場合は出力制限となるが、竜巻は長期間停滞することではなく短時間（数秒～数十秒のオーダー）で通過すると考えられるため、この程度であれば排気ガス温度が上昇したとしても許容限界温度に達することはない。また燃焼用空気は失われないため、機関の失火は発生しないことから、D/G の運転に支障をきたすことはない。

②排気口側が気圧低下した場合に想定される現象

排気口側が気圧低下した場合は排気がし易くなると共に、吸気口側と排気口側は構造上繋がっているため吸気もし易くなるため、吸気口側と排気口側で気圧差は生じないことから、吸気と排気のバランスが崩れることはなく、D/G の運転に支障をきたすことはない。

③吸気口側および排気口側の双方が気圧低下した場合に想定される現象

吸・排気口側の双方が気圧低下した場合は双方の気圧差は生じないが、吸気側が気圧

低下することから、上記①と同じ結果となる。

なお、竜巻による風が排気系統に流入した場合、系統内の背圧（抵抗）が増加することによって過給気による送気がし難くなるため、上記①同様に吸入空気量が減少して、徐々に排気ガス温度が上昇することが考えられるが、竜巻は短時間で通過すると考えられるため、D/Gの運転に支障をきたすことはない。



図-1 非常用ディーゼル発電機の吸排気口

29. 2次飛来物の抽出について

2次飛来物は、以下の観点により抽出を行うとともに、抽出された2次飛来物については、設計飛来物に包絡されているかについて確認を行った。

- ・竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性がある建屋・構築物、設備等の損壊等により主要な部材（壁，屋根等）が2次飛来物となるか。
- ・竜巻による過去の建築物の被害事例により、竜巻による風荷重の影響を受けやすいと考えられる部位であるか。

具体的な2次飛来物の評価手順は、以下の通りである。

- ①竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性がある建屋・構築物及び設備であり、損壊等により主要な部材が2次飛来物となる可能性が考えられるかについて、鉄骨造である循環水ポンプ建屋（CWP/B）及びタービン建屋（T/B）並びに送電鉄塔について評価を実施した。
- ②上記で抽出された部材に加え、過去に発生した竜巻による建築物の被害状況等により、竜巻による風荷重の影響を受けやすいと考えられる部材について、2次飛来物となった場合にも設計飛来物である鋼製材に包絡されるかについて検討を実施した。
- ③コンテナが破損した場合に、コンテナ内保管物が飛散することにより2次飛来物となった場合にも設計飛来物である鋼製材に包絡されるかについて検討を実施した。

評価手順に従った評価結果を第29-1表に示す。

抽出された2次飛来物については、設計飛来物に包絡されていることを確認した。

第 29-1 表 2 次飛来物評価結果

	施設の倒壊等の有無	飛散部材の設計飛来物への包絡性
CWP/B	無 ^{※1}	建屋のシャッター及びガラス窓等の飛散可能性は否定できないものの、設計飛来物に包絡されることを確認した。(別紙参照)
T/B	無 ^{※1}	
コンテナ	飛散防止対策は実施しているが、破損の可能性があることから、コンテナ内保管物について評価する。	コンテナが破損し、保管物が飛散することが否定できないものの、設計飛来物に包絡されることを確認した。(別紙参照)
送電鉄塔	強度検討の結果、鉄塔下部の部材（腹材）の余裕度が 1.00 を下回る結果となった。万一、鉄塔が損壊した場合においても、架渉線の径間長が長く高張力側である No.6 鉄塔方向に倒壊し、竜巻防護施設を内包する建屋側に倒壊するリスクは極めて低い。また、鉄塔の高さ（約 29m）に対して、鉄塔から竜巻防護施設を内包する建屋までの距離は約 400m 確保されているため、鉄塔が倒壊したとしても竜巻防護施設を内包する建屋に衝突することはない。さらに当該部材が破断したとしても、当該部材を支柱材に連結しているボルトの余裕度が 1.00 以上確保されており、少なくとも部材の片端は他の部材と連結されていると考えられるため、飛散することは考え難いことから、送電鉄塔への竜巻襲来時における影響はないことを確認した。 ^{※2}	（余裕度が 1.00 を下回る結果となった部材は、設計飛来物に包絡されることを確認した。）

※1：評価結果は補足説明資料 16 に記載

※2：評価結果は補足説明資料 34 に記載

以上より、シャッター、ガラス窓、給気用ガラリ及びコンテナ内保管物については 2 次飛来物となる可能性を否定できないものの、これらについては設計飛来物である鋼製材に包絡されることを確認した。

以 上

< 2次飛来物の設計飛来物への包絡性について >

泊発電所において、竜巻による風圧荷重等や飛来物の影響を受けやすいと考えられる部位について、過去に発生した竜巻による被害事例を参考に抽出した。

抽出された部位は、竜巻により飛散する可能性が否定できないことから2次飛来物として選定し、設計飛来物に包絡されることを確認した。

また、コンテナ内保管物についても、飛散することにより2次飛来物となった場合にも設計飛来物に包絡されることを同様に確認した

選定された主な2次飛来物を別 29-1 図に、確認結果を別 29-1 表に示す。



(給気用ガラリ)



(ガラス窓)



(シャッター)



(工具箱)



(台車)

別 29-1 図 2次飛来物

別 29-1 表 2 次飛来物と設計飛来物の比較結果

	仕様				運動エネルギー (kJ)
	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	質量 (kg)	
鋼製材	4.2	0.3	0.2	135	219
給気用ガラリ	1.0	2.0	0.12	20	64
ガラス窓	0.8	1.0	0.005	10	29
シャッター*	8.3	0.1	0.002	16	40
工具箱	0.6	0.3	0.5	21	42
台車	0.9	0.6	0.2	26	53

※被害状況から分解すると仮定

30. 竜巻防護施設（設備）に影響を及ぼす可能性のある建屋開口部について

竜巻防護施設を内包している原子炉建屋，原子炉補助建屋およびディーゼル発電機建屋については，鉄筋コンクリート造であり，当該建屋内の竜巻防護施設は，当該建屋によって設計荷重または設計飛来物の衝突から防護される。

しかしながら，当該建屋には扉等の建屋開口部が存在しているため，設計飛来物が侵入した場合に竜巻防護施設（設備）に影響を及ぼす可能性のある建屋開口部の有無を評価した結果，以下の建屋開口部については，設計飛来物が侵入した場合，設計飛来物の衝突により，当該建屋開口部周辺に設置されている竜巻防護施設（設備）の安全機能を喪失させる可能性があることから，設備による竜巻防護対策（飛来物防護対策）または運用による竜巻防護対策を実施する（飛来物防護対策については，補足説明資料26.参照）。

<飛来物防護対策を実施する建屋開口部>

No.	建屋開口部	建屋開口部周辺の竜巻防護施設（設備）	参照図面
1	A, B-吸気ガラリ室扉 A, B-吸気ガラリ室吸気口	A, B-蓄熱室加熱器	図-3
2	主蒸気管室ブローアウトパネル	配管および弁（主蒸気管室内）	図-5
3	トラックアクセスエリア（2）扉	制御用空気系統配管	図-5
4	主蒸気管室上部換気口	配管および弁（主蒸気管室内）	図-7
5	原子炉補機冷却水サージタンク・空調用冷水膨張タンク室扉	原子炉補機冷却水サージタンク他	図-9

なお，上記以外の建屋開口部については，当該開口部周辺に竜巻防護施設（設備）がないこと等から，設備または運用による竜巻防護対策は不要である。

また，これらの建屋開口部周辺に発電用原子炉施設の安全性を損なう可能性のある発火性又は引火性物質を内包する機器および溢水源がないことを確認した。

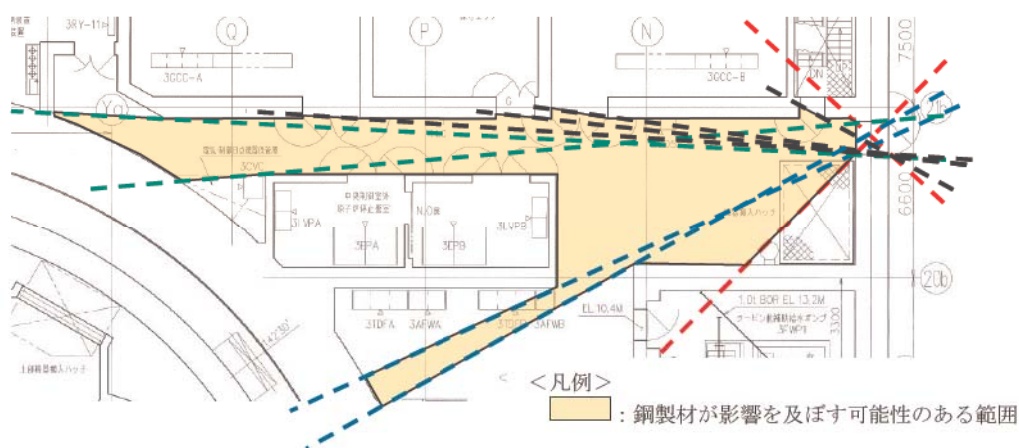
<評価方針>

- ①全体機器配置図から建屋開口部（扉等）を抽出する。
- ②建屋開口部（扉等）の貫通評価（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建屋開口部（扉等）の最小板厚を比較することにより，設計飛来物の貫通有無を確認する）にあたっては，設計飛来物（砂利，鋼製パイプ，鋼製材）のうち，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最も厚い鋼製材を飛来物として想定する（鋼製材の貫通を生じないために必要な鋼板の最小厚さは37mm）。
- ③上記①で抽出した建屋開口部（扉等）に対して，当該開口部に繋がる区画に竜巻防

護施設が設置されているか否かを確認するとともに、竜巻防護施設が設置されている建屋開口部の中から、飛来物の侵入方向にある建屋、構築物及び設備等の障害物や敷地形状を考慮し、鋼製材が建屋内に侵入する可能性のある建屋開口部（扉等）を抽出する。

④上記③で抽出した建屋開口部（扉等）に対して貫通評価を行い、鋼製材が建屋内に侵入する可能性がある場合は、建屋内に侵入した鋼製材が影響を及ぼす可能性のある範囲を以下の考え方に基づいて設定する（下図の例を参照）。

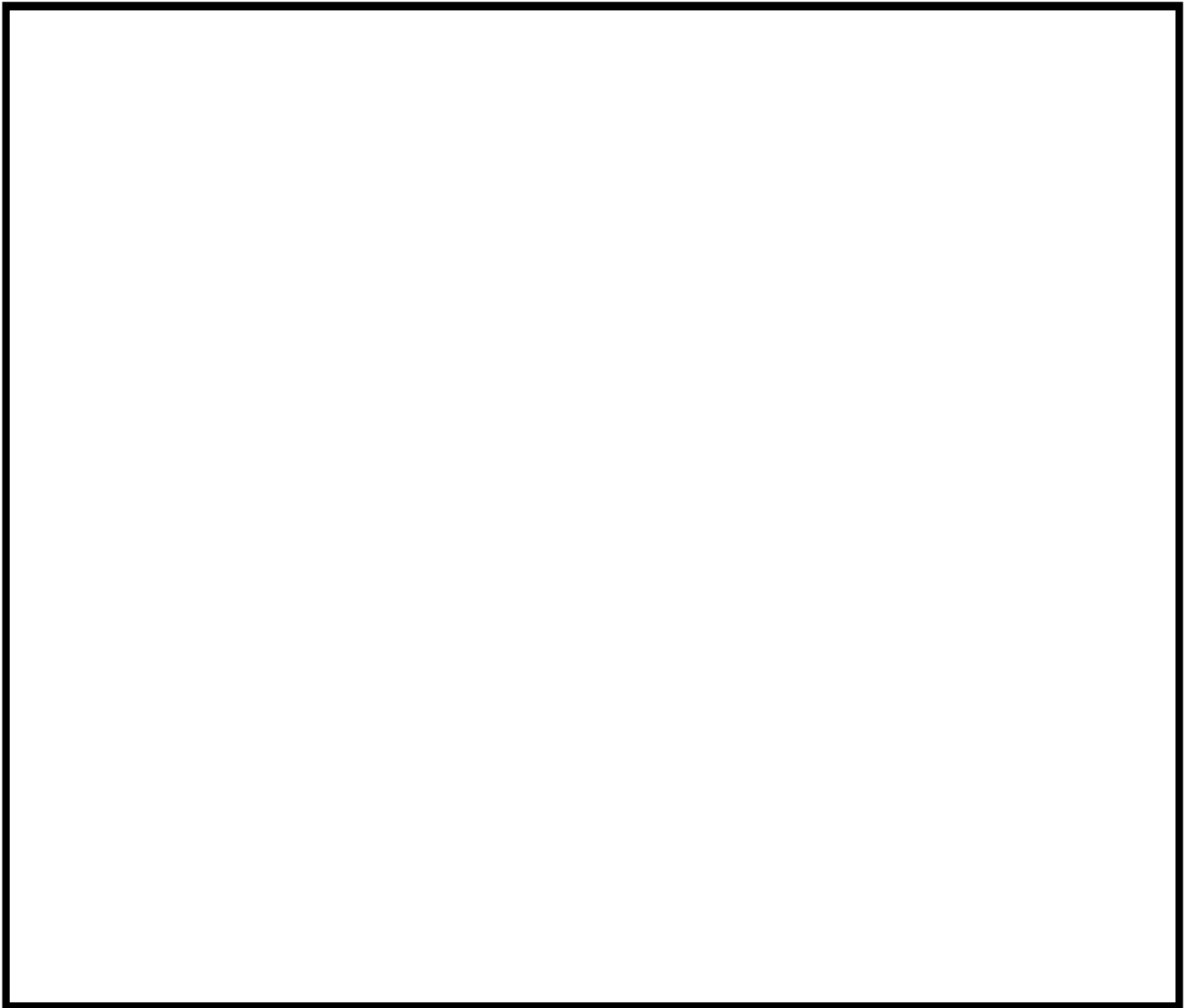
- ・鋼製材が影響を及ぼす可能性のある範囲の検討にあたっては、建屋開口部から繋がる建屋内の壁および扉等で仕切られた区画を検討範囲とする。ただし、当該の壁および扉等に対する設計飛来物の貫通有無を考慮する。
- ・鉛直方向の影響を及ぼす可能性のある範囲は床から扉等の高さまでの範囲とする。
- ・水平方向の影響を及ぼす可能性のある範囲は扉等からの侵入角度を考慮する。




⑤全体機器配置図，配管製作図等から，上記④で設定した影響範囲内にある（鋼製材が衝突する可能性のある）竜巻防護施設（設備）を抽出する。

⑥上記より，竜巻防護施設（設備）に影響を及ぼす可能性のある建屋開口部を抽出する。

以下に原子炉建屋，原子炉補助建屋およびディーゼル発電機建屋におけるフロア毎の建屋開口部の位置および竜巻防護施設（設備）への影響を評価した結果を示す。



図－1 泊発電所3号機における建屋開口部（T.P.10.3m（中間床含む））

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

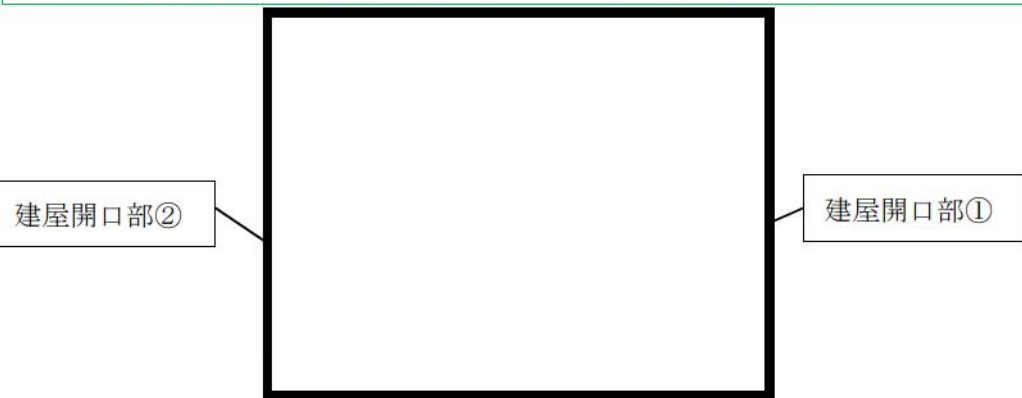


建屋開口部①



建屋開口部②

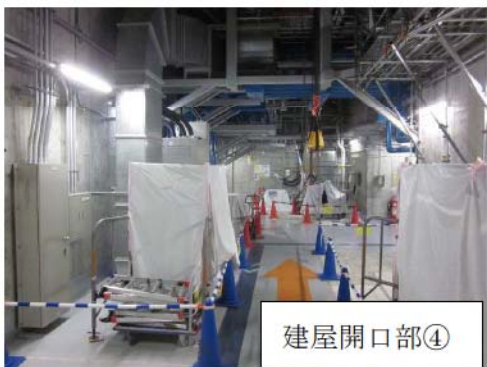
当該開口部（扉）は、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保した扉に交換するため、ディーゼル発電機建屋内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部（扉）から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である A,B-ディーゼル発電機に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。



建屋開口部③



（扉）は、設計飛来物を防止する厚さを確保した扉に交換するため、原子力発電機建屋内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部（扉）から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である配管に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。



建屋開口部④



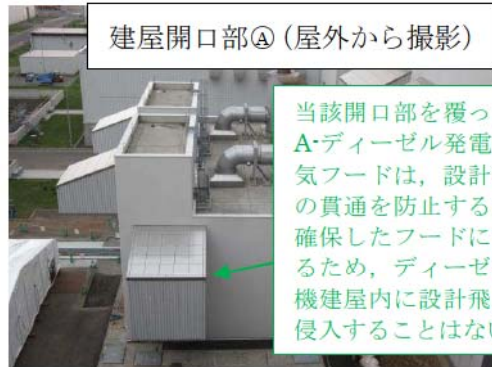
（扉）は、設計飛来物を防止する厚さを確保した扉に交換するため、原子力発電機建屋内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部（扉）から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である配管に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。

図-2(1) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.10.3m (中間床含む))

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



建屋開口部Ⓐ



建屋開口部Ⓐ (屋外から撮影)

当該開口部を覆っているA・ディーゼル発電機室排気フードは、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保したフードに交換するため、ディーゼル発電機建屋内に設計飛来物が侵入することはない。



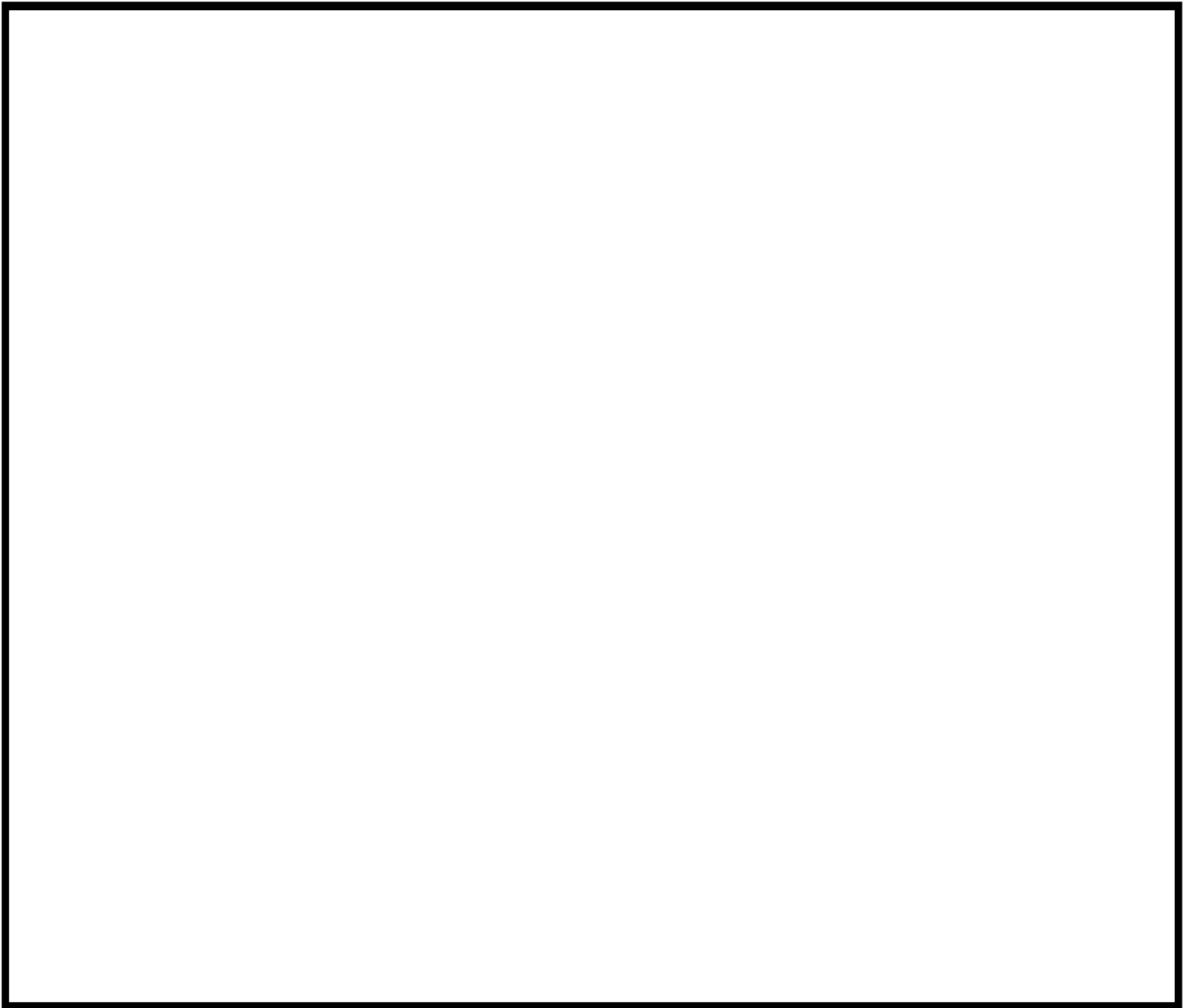
建屋開口部Ⓑ




建屋開口部Ⓑ (屋外から撮影)

当該開口部を覆っているB・ディーゼル発電機室排気フードは、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保したフードに交換するため、ディーゼル発電機建屋内に設計飛来物が侵入することはない。

図-2(2) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.10.3m (中間床含む))



図－3 泊発電所3号機における建屋開口部（T.P.17.8m（中間床含む））

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



建屋開口部⑤,⑦および⑦,⑨から侵入してきた設計飛来物が竜巻防護施設である蓄熱室加熱器に衝突しないよう、蓄熱室加熱器背面の空気口に防護鋼板を設置する。



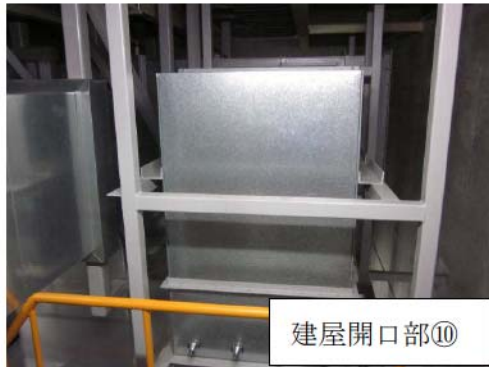
は、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保した扉に交換するため、ディーゼル発電機建屋（B・蓄熱室）内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部（扉）から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である蓄熱室加熱器に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。



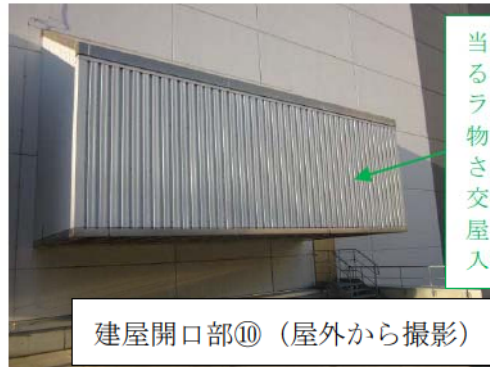
当該開口部（扉）は、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保した扉に交換するため、ディーゼル発電機建屋（B・蓄熱室）内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部（扉）から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である蓄熱室加熱器に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。

図-4(1) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.17.8m (中間床含む))

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

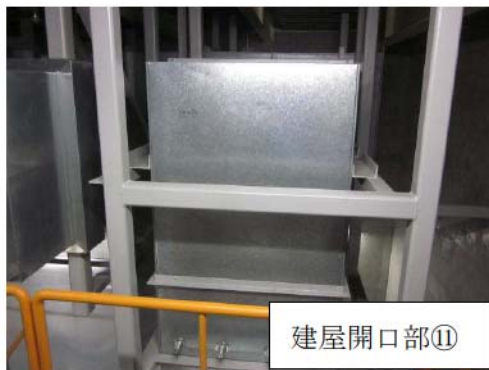


建屋開口部⑩



建屋開口部⑩ (屋外から撮影)

当該開口部を覆っている A・原子炉建屋給気ガラリフードは、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保したフードに交換するため、原子炉建屋内に設計飛来物が侵入することはない。



建屋開口部⑪



建屋開口部⑪ (屋外から撮影)

当該開口部を覆っている B・原子炉建屋給気ガラリフードは、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保したフードに交換するため、原子炉建屋内に設計飛来物が侵入することはない。



建屋開口部⑫



建屋開口部⑫

当該開口部 (扉) は、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保した扉に交換するため、原子炉建屋内に設計飛来物が侵入することはない。なお、当該開口部 (扉) から設計飛来物が侵入し、竜巻防護施設である配管に衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は当該扉を閉止する運用とする。

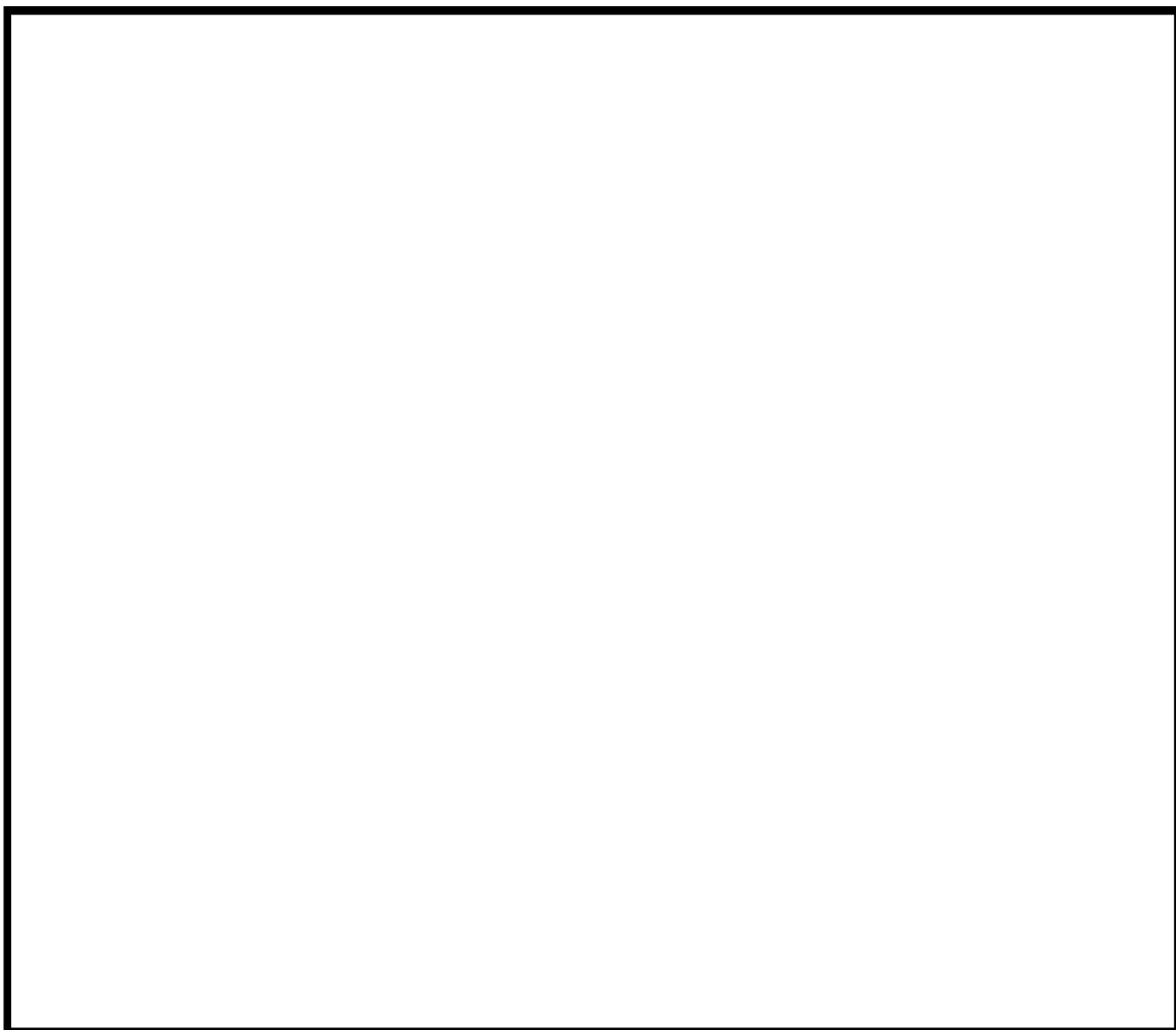


建屋開口部⑨




建屋開口部①

図-4(2) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.17.8m (中間床含む))



図－5 泊発電所3号機における建屋開口部 (T.P.33.1m)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



当該開口部（扉）から侵入してきた設計飛来物が竜巻防護施設である使用済燃料ピットクレーンに衝突して当該設備の安全機能を損なわないよう、竜巻襲来が予想される場合は燃料取扱棟における燃料取扱作業を中断する運用とする。

燃料取扱棟




図－6(1) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.33.1m)



当該開口部から侵入してきた設計飛来物が竜巻防護施設である制御用空気系統配管に衝突しないよう、当該配管設置場所前面にコンクリート製の防護壁を設置する。



図-6(2) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.33.1m)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



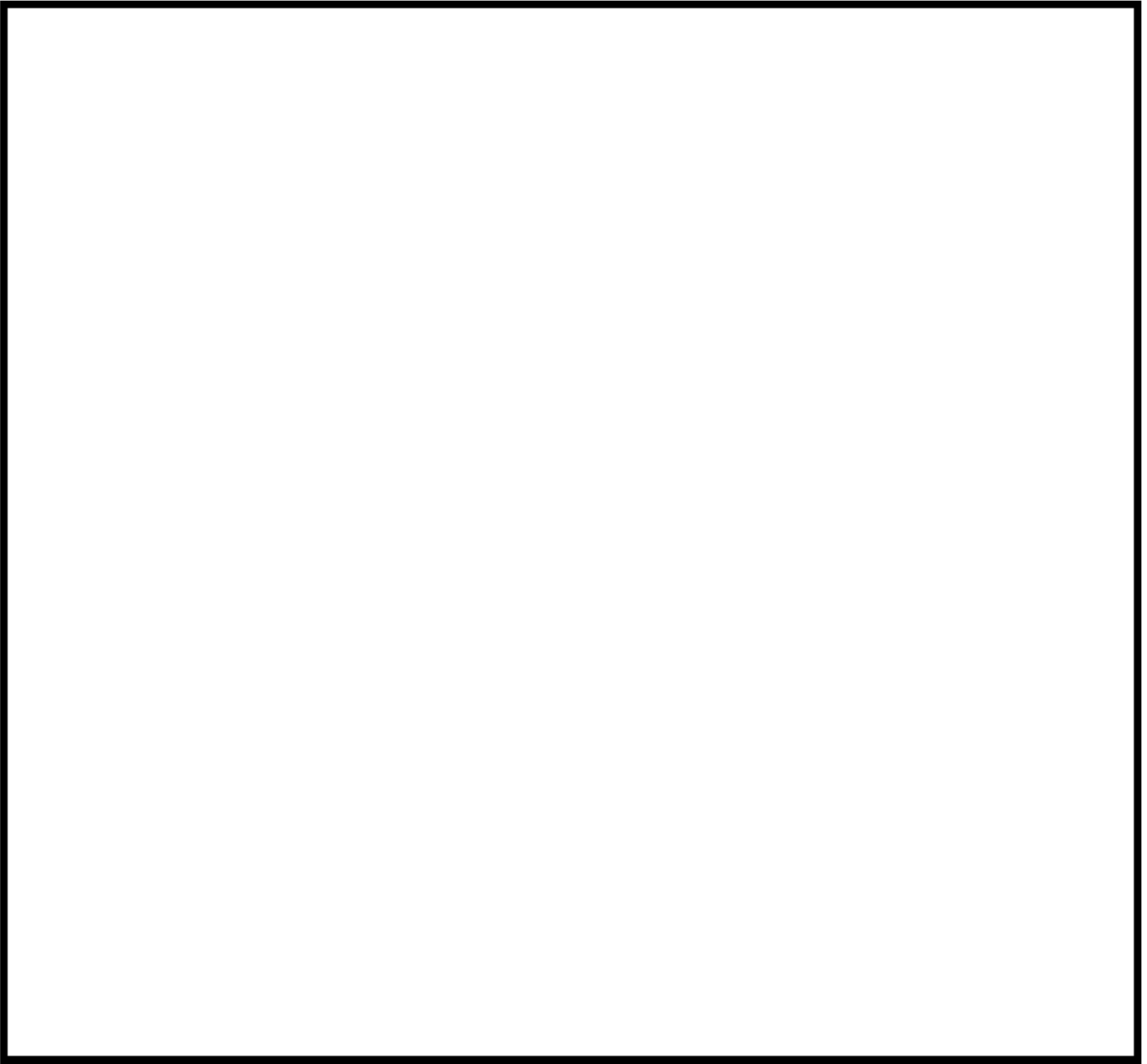
建屋開口部 (P)




建屋開口部 (H)



図-6(3) 泊発電所3号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.33.1m)



図ー 7 泊発電所 3 号機における建屋開口部 (T.P.40.3m,T.P.43.3m)

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



当該開口部を覆っている格納容器排気希釈用外気取入ガラリフードは、設計飛来物の貫通を防止する厚さを確保したフードに交換するため、原子炉建屋内に設計飛来物が侵入することはない。

ガラリ (タービン建屋屋上)



ガラリ内



原子炉建屋に隣接しているタービン建屋屋上のガラリを貫通した設計飛来物が原子炉建屋 (主蒸気管室) に侵入することを防ぐため、当該開口部前面 (室外) に防護鋼板を設置する。

図一 8 泊発電所 3 号機における建屋開口部周辺の屋内写真他 (T.P.40.3m,T.P.43.3m)