

設計竜巻の特性値の設定

当社の竜巻影響評価においては、フジタの竜巻工学モデル DBT-77 (DBT: Design Basis Tornado) を適用していることから、設計竜巻の特性値を以下の通り設定する。

1. フジタモデル DBT-77 について

フジタモデルには、Fujita Work Book⁽¹⁾の 6 章に記載されているフジタモデル DBT-77 と 7 章に記載されているフジタモデル DBT-78 があり、フジタモデル DBT-77 は単一渦型のモデル、フジタモデル DBT-78 はフジタモデル DBT-77 で模擬した大きな竜巻の中に小さな吸込渦 (suction vortices) を加えた多重渦型のモデルである。(図 1)

米国 NRC ガイド⁽²⁾に記載されているフジタモデルは、「内側のコアと外側のコアの間にある環には、強い竜巻の吸引渦が形成され、親竜巻の中心の回りで回転する (In the annulus between the inner core radius and the outer core radius, suction vortices form in strong tornadoes and rotate around the center of the parent tornado)」とあるように、多重渦型のフジタモデル DBT-78 のことを述べている。

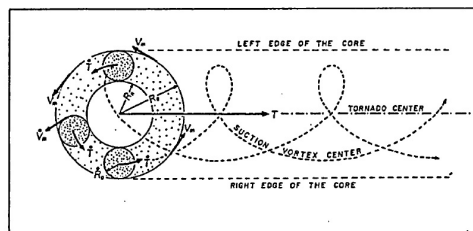


Figure 8.2 Fujita's latest model of multiple-vortex tornadoes for engineering applications. The design-basis tornado model in Chapter 6 developed in 1977 was identified as "DBT-77". Design-basis suction-vortex parameters in Chapter 7 were added to the DBT-77 in constructing this latest analytical model, to be identified as "DBT-78".

図 1 DBT-78 モデルの模式図⁽¹⁾

米国 NRC ガイドでは、フジタモデル DBT-78 中の小さな吸込渦は半径が小さく、圧力の時間変化率が半径に反比例して大きくなることを考慮して、同ガイドで採用したランキン渦モデルでも保守的に圧力の時間変化率が大きくなるように、改訂前 (2007 年以前) の同ガイドで採用されていた最大接線風速半径 45.7m を選択している。

また、米国ローレンス・リバモア国立研究所報告書⁽³⁾では、「多重渦型のフジタモデル DBT-78 で考慮されている吸込渦はすぐに減衰することから、大多数の専門家は竜巻被災の重要因子ではないと考えている」と述べており、単一渦型のフジタ

モデル DBT-77 を飛来物評価の竜巻風速場として選定している。

フジタモデル DBT-78 モデルは、Fujita Work Book⁽¹⁾において、最大風速や発生率がモデル化されているのみであり、飛散解析に必要となる風速場に関する数式が完全には定義されていない。また、仮に DBT-78 モデルを適用した場合、竜巻半径が東京工芸大報告書⁽⁴⁾に示されている日本で観測された被害幅に基づく竜巻半径と整合が取れなくなるといった点が挙げられる。

以上を踏まえ、当社の竜巻影響評価ではフジタモデル DBT-77 を適用している。DBT-77 モデルの入力パラメータは移動速度、最大接線風速及び最大接線風速半径であり、これらについて制限は Fujita Work Book⁽¹⁾では記載されておらず、特に制限はないものと考えられることを踏まえ、以下の通り設計竜巻の特性値を設定する。

(1) 設計竜巻の移動速度 (V_T)

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて移動速度 (V_T) は、下記の式にて設定される。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \text{ (評価ガイドの 3.1 式)} \quad (1)$$

一方、この式は日本の竜巻観測記録（気象庁データベース）に基づいた竜巻移動速度（平均値）と最大風速との関係⁽⁴⁾を参照して設定されており、風速場モデルに関わらず用いることができることから、フジタモデルでも適用できる。

また、参考に、 $V_D=92\text{m/s}$ の際のランキン渦モデルとフジタモデル DBT-77 での移動速度を以下に示す。

表 1 設計竜巻の移動速度 (V_T) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
移動速度 (V_T)	14m/s	14m/s

(2) 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速 (V_{Rm}) は、竜巻の最大風速から移動速度 (V_T) を引いた値として、下記の式にて設定される。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \text{ (評価ガイドの 3.2 式)} \quad (2)$$

一方、上記式は、風速場によらないのでフジタモデルでも適用できる。

また、参考に、 $V_D=92\text{m/s}$ の際のランキン渦モデルとフジタモデル DBT-77 での最大接線風速を以下に示す。

表 2 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm}) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大接線風速 (V_{Rm})	78m/s	78m/s

(3) 設計竜巻の最大接線風速半径 (R_m)

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速半径 (R_m) については、観測された被害幅を用いて推定している。

竜巻によって被害が生じる風速を V_0 とした場合、 R_m を超えた範囲では、風速 $V = V_{Rm} \cdot (R_m/r)$ と表せるため、被害が生じる風速 V_0 と、被害幅 r_0 、及び最大接線風速 V_{Rm} が分かれば最大接線風速半径 R_m を得ることができる。(図 2)

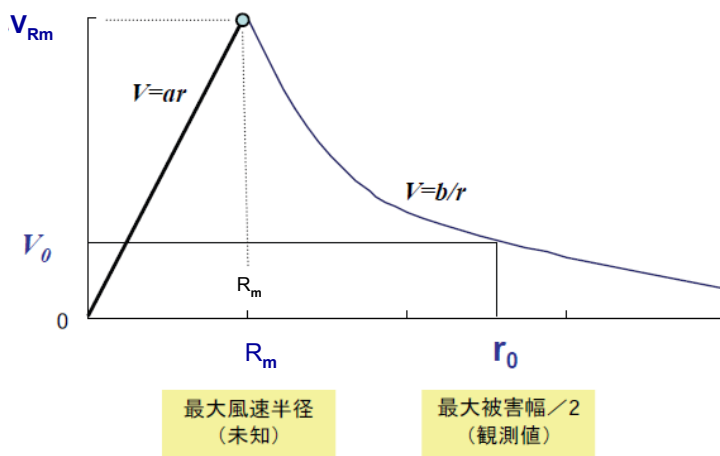


図 2 竜巻半径と風速との関係

例えば、東京工芸大報告書⁽⁴⁾p. 163 の仮定 2 より、最大風速 $V_{Rm}=70\text{m/s}$ (F3 あるいは F3 に近い F2 竜巻)、被害幅 250m の 1/2 である $r_0 = 125\text{m}$ 、被害が生じる風速 $V_0 = 17\text{m/s}$ 、とするとこれを基に設定する最大接線風速半径 (R_m) は、下記の通り。

$$\begin{aligned}
 R_m &= r_0 \cdot V_0 / V_{Rm} \\
 R_m &= 125 \cdot 17 / 70 \\
 R_m &\doteq 30.36 \text{ (m)}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

一方、フジタモデルの水平風速 V は接線風速と径方向風速を合成したものであるので、外部コア半径の外側では水平風速 V は以下で与えられる。

$$\begin{aligned}
 V &= \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} \\
 &= F_r(r) F_h(z) V_m \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\text{ここで、} F_r(r) = \frac{R_m}{r}, \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}
 \tag{5}$$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}
 \tag{6}$$

フジタモデルでは、ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが、外部コア半径の内側では r に比例して風速が大きくなり、外部コア半径の外側では r に反比例して小さくなる点ではランキン渦モデルと同様である。(ランキン渦モデルと同様に、竜巻半径と風速の関係は図 2 の通りとなる)

また、接線風速 V が最大となるのは、流入層の上端 ($z=1$) であるが、このとき、 $F_h(z)=1$, $\tan \alpha_0=0$ となるので、外部コア半径の外側ではランキン渦モデルと同様に $V=V_m R_m/r$ が成立する。

従って、被害幅から最大接線風速半径を推定する際に、ランキン渦モデルと同様に求めることができると考えられるため、本検討においてはガイドを参照して最大接線風速半径 $R_m = 30\text{m}$ を設定する。

また、参考に、 $V_D=92\text{m/s}$ の際のランキン渦モデルとフジタモデル DBT-77 での最大接線風速半径を以下に示す。

表 3 設計竜巻の最大接線風速半径 (R_m) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大接線風速半径 (R_m)	30m	30m

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{\max})・最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$)

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大気圧低下量 (ΔP_{\max})・最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$) は、それぞれ ρV_m^2 , $(V_T/R_m) \cdot \Delta P_{\max}$ と設定される。

一方、フジタモデルにおける設計竜巻の最大気圧低下量・最大気圧低下率については、速度分布が既知である場合、流れの連続式と運動量保存式から導出される以下の圧力ポアソン方程式を解くことにより、圧力を求めることができる。

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad (7)$$

ここで、 x_i は座標 (x, y, z) を、 U_i および p は風速ベクトルおよび圧力を表す。また、 ν は動粘性係数を、 ρ は空気密度を表す。なお、添え字 i, j は 1 から 3 までの整数とする。

式(7)を解くために有限要素法(計算方法の詳細は参考文献(5), (6)を参照)を用い、一辺 300m ($10R_m$) の立方体を解析領域として、この領域を 1 辺 100 個の有限要素に分割した。竜巻(最大接線風速 $V_{Rm}=78\text{m/s}$, 半径 $R_m=30\text{m}$) の中心が解析領域の角部に位置するものとして、各節点に Fujita モデルの風速値を与えた。移動速度 V_{tr} は圧力分布には影響しないため、ここでの計算では $V_{tr}=0$ とした。

図 3 に Fujita モデルの圧力分布(空気密度で除したもの)を示す。空気密度で除した最大圧力差は $5149.8\text{m}^2/\text{s}^2$ であるので、これに空気密度 $1.226\text{kg}/\text{m}^3$ を乗じて最大圧力差を求めた。ただし、この結果は一辺 300m ($10R_m$) の立方体を解析領域とした有限領

域での数値解析結果であるので、これを無限領域における最大気圧低下量とするために、さらに補正係数 1.0066 を乗じた (表 4)。なお、この補正係数 1.0066 は、ランキン渦に対する最大圧力差の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。

図 4 に Fujita モデルの圧力 (空気密度で除したものの) の x -方向空間微分値を示す。 x -方向空間微分値 (絶対値) の最大値は $240.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ であり、最大気圧変化率はこの値に移動速度と空気密度を乗じることにより、式(8)のように求められる。ただし、数値解析誤差を考慮するため、さらに補正係数 1.0096 を乗じて最大気圧低下率とした (表 5)。なお、この補正係数 1.0096 は、ランキン渦に対する最大気圧変化率の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = V_{tr} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8)$$

また、参考として、図 5 に有限領域での数値解析より求めたランキン渦の圧力分布と圧力の x -方向空間微分値を示す (圧力は空気密度で除したもの)。

表 4 最大気圧低下量

最大風速	最大接線風速	空気密度で除した 最大圧力差	最大気圧低下量
92m/s	78m/s	$5149.8 \text{ m}^2/\text{s}^2$	<u>6355Pa</u>

表 5 最大気圧低下率

最大風速	最大接線風速	移動速度	空気密度で除した 最大圧力低下率	最大気圧低下率
92m/s	78m/s	14m/s	$240.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$	<u>4163Pa/s</u>

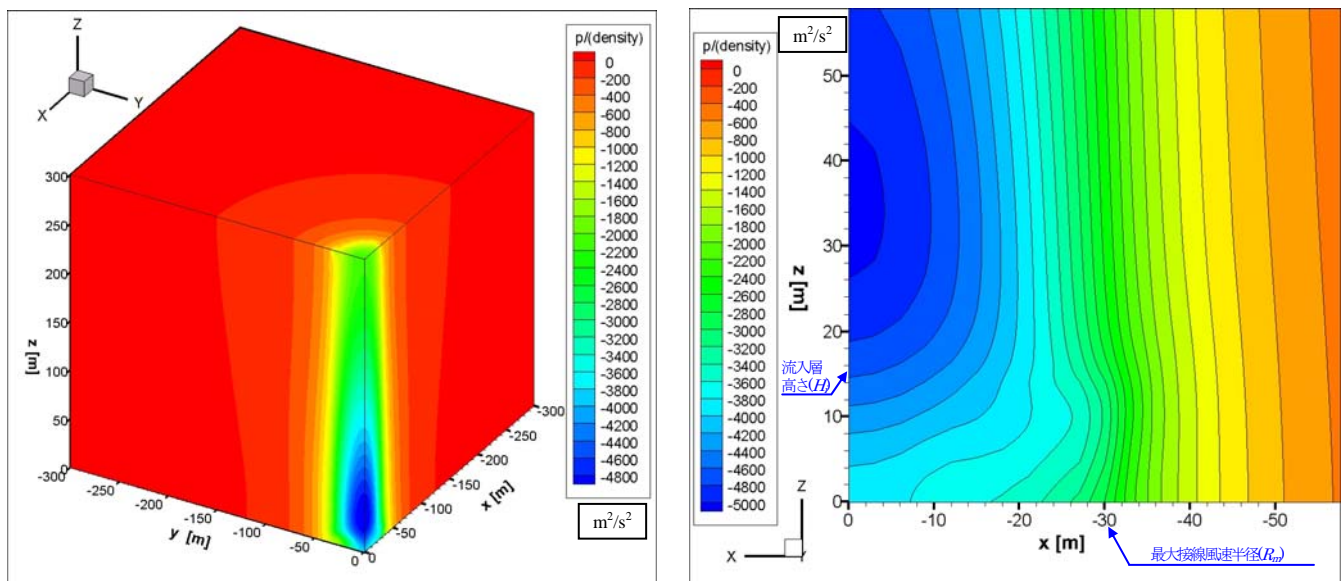


図 3 最大接線風速 $V_{tm}=78\text{m/s}$ における Fujita モデルの圧力分布 (左: 全体図, 右: y 方向からの拡大図, 圧力は空気密度で除したもの, 最大値 $92.83\text{m}^2/\text{s}^2$, 最小値 $-5056.99\text{m}^2/\text{s}^2$)

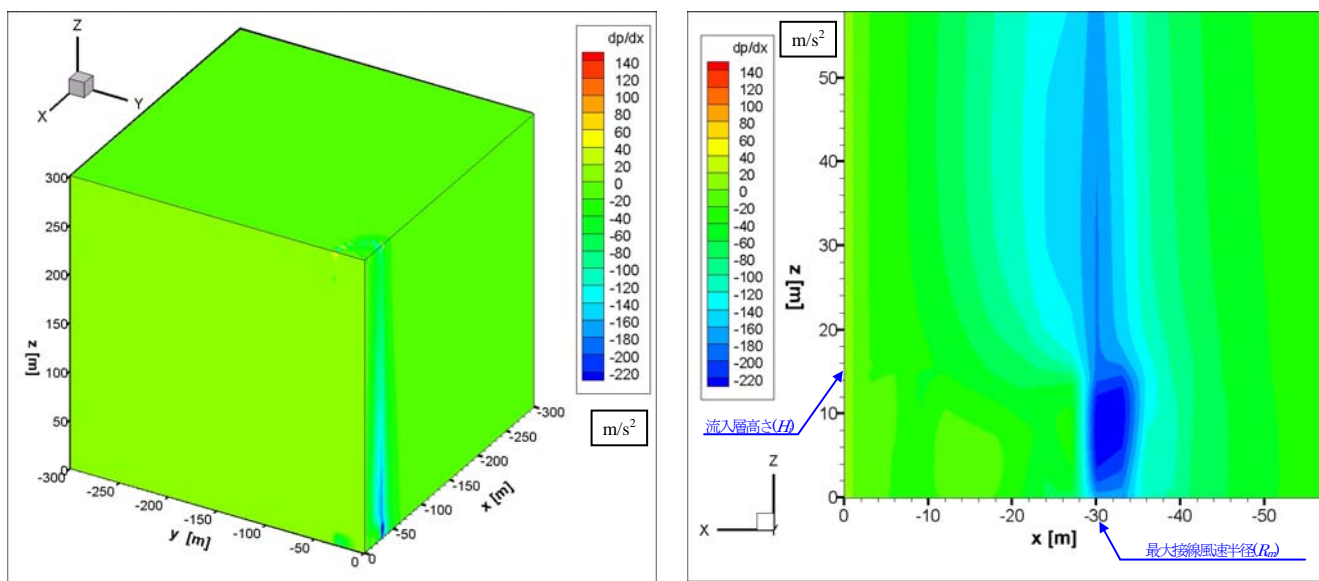


図4 最大接線風速 $V_{tm}=78\text{m/s}$ における Fujita モデルの圧力（空気密度で除したもの）の x -方向空間微分値（左：全体図，右： y 方向からの拡大図，最大値 163.3m/s^2 ，最小値 -240.2m/s^2 ）

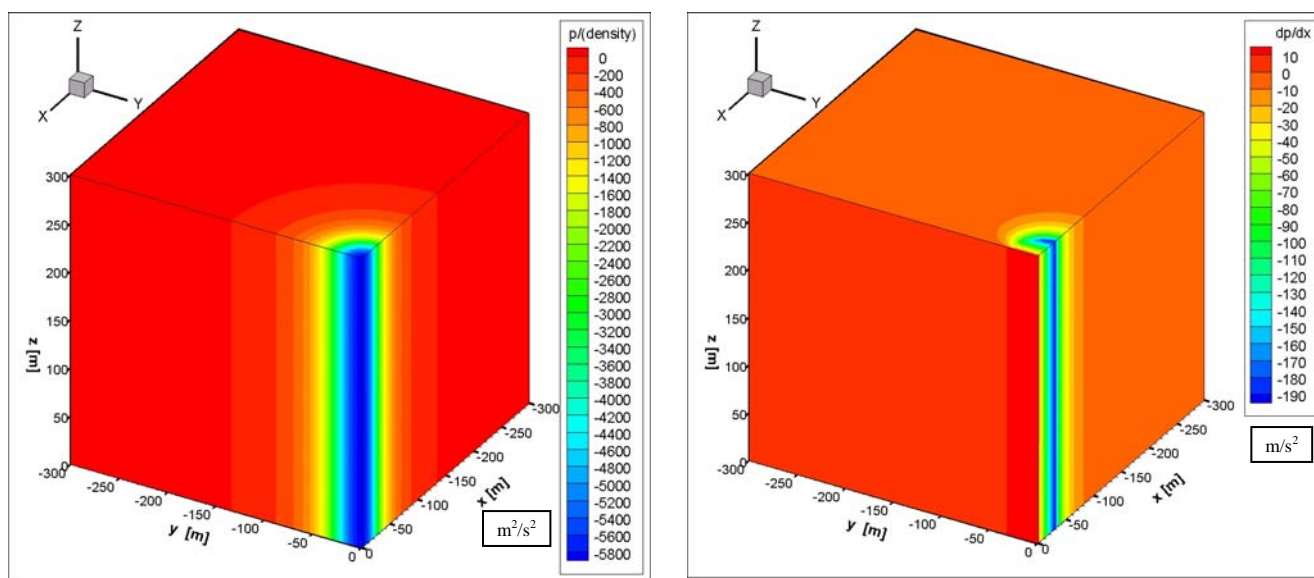


図5 最大接線風速 $V_{tm}=78\text{m/s}$ におけるランキン渦モデルの（左）圧力分布と（右）圧力の x -方向空間微分値（本図は，図3,4同様，有限領域の数値解析により算出）

また，参考に， $V_D=92\text{m/s}$ の際において，ガイドに基づき計算したランキン渦モデルの最大気圧低下量・最大気圧低下率と上記の数値解析により計算したフジタモデル DBT-77 の最大気圧低下量・最大気圧低下率を以下に示す。

表6 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP_{\max})・最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大気圧低下量 (ΔP_{\max})	7459Pa	6355 Pa
最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{\max}$)	3481Pa/s	4163Pa/s

フジタモデルは、地面との摩擦の影響を受けず回転するランキン渦に比べ、地面との摩擦の影響で回転が弱まり竜巻の中心付近が低圧になりにくい(図3及び図5)。また、フジタモデルの流入層は、流体が竜巻中心方向に引き込まれることにより形成されることから、フジタモデルの最も低圧な領域は、竜巻中心において流入層高さの少し上の部分に存在し(図3右図)、同部分の圧力より求まる最大気圧低下量は、ランキン渦モデルの最大気圧低下量よりも小さくなる(表7)。

フジタモデルの圧力分布は複雑であり、上記の数値解析により求めている。そのため、フジタモデルにおける圧力の空間微分値は、局所的に大きな場所(外部コアと外周部の境界)が発生することから、最大気圧低下率がガイドの簡易な式で求めたランキン渦モデルの値より大きくなっている。

表7 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})・最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大気圧低下量(ΔP_{max})	7459Pa	6355 Pa
最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)	3481Pa/s	4163Pa/s

参考文献

- (1)Fujita, T. T., “Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications” (1978), U. Chicago.
- (2)U. S. Nuclear Regulatory Commission, Design-basis tornado and tornado missiles for nuclear power plants, Regulatory Guide 1.76, Revision 1 (2007).
- (3)Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities, UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999
- (4) 東京工芸大学, 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 2011.
- (5)Y. Eguchi, S. Sugimoto, H. Hattori and H. Hirakuchi, “Tornado Pressure Retrieval from Fujita’s Engineering Model, DBT-77”, Proceedings of the 6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models (ICVFM Nagoya 2014), November 17 - 20, 2014, Nagoya, Japan.
- (6) 江口 譲, 服部康男, 流速場情報に基づく圧力場計算法の提案, 第 72 回ターボ機械協会 大分講演会(2014. 10. 3)

3.1 竜巻影響評価の概要及び保守性について

図 3.1.1 に竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況を示す。竜巻影響評価については、その不確実性を踏まえて、各ステップに対し保守性を考慮している。

6 条-別添 2(竜巻)-1-添付 3-1-1

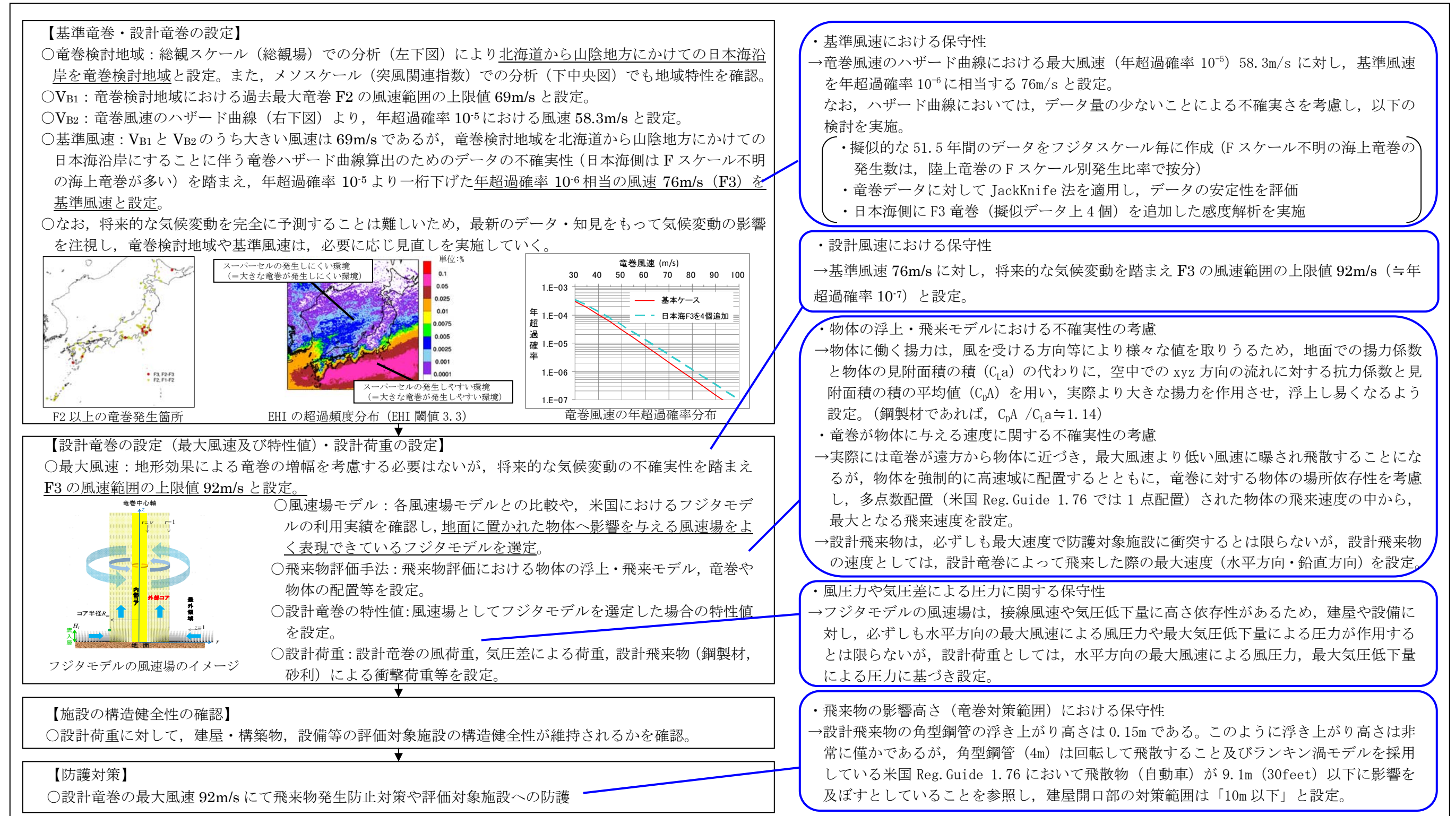


図 3.1.1 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

3.2 竜巻影響評価及び竜巻対策の概要

【設計竜巻荷重，設計荷重の設定】

○竜巻影響評価ガイドに基づき，設計竜巻荷重は，設計竜巻の風圧力による荷重 (W_w)，気圧差による荷重 (W_p) 及び飛来物による (W_m) を適切に組み合わせた荷重を設定するとともに，設計竜巻荷重と組み合わせる荷重（竜巻以外の自然現象による荷重等）は，設計竜巻荷重に包絡される若しくは考慮すべき荷重ではないことを確認。

○ W_w , W_p , W_m は，設計竜巻の最大風速 $V_D=92m/s$ ，風速場モデルをフジタモデルとした場合の荷重を設定する。

【設計飛来物の選定】

○柏崎刈羽原子力発電所の飛来物に係る現地調査を行い，発電所構内の常設物（マンホール蓋等），仮設物（資機材等）及び二次飛来物（屋根等）の中から，それらの飛来物発生防止対策の可否，固定状況，過去の被害事例や代表性（運動エネルギー，貫通力等）を踏まえ，右図の通り設計飛来物を選定。



鋼製材（最大飛散高さ 0.08m） 角型鋼管（大）（最大飛散高さ 0.15m） 砂利（最大飛散高さ 0.08m）

図 3.2.1.1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号炉及び 7 号炉の設計飛来物

【竜巻影響評価】

○設計荷重に対し，評価対象施設（施設，設備）の構造安全性が維持され安全機能が維持されていることを確認。なお，設計飛来物の最大飛散高さは非常に僅か（図 3.2.1.1 より設計飛来物の最大飛散高さは，大きいものでも 0.15m）であるが，設計飛来物の鋼製材（4.2m）や角型鋼管（4m）は回転して飛散することや米国 Reg.Guide1.76 にて飛散物が 9.1m（30feet）以下に影響を及ぼすとしていることを踏まえ，設計飛来物は高さ 10m 迄影響を及ぼすものとして評価。

<施設の評価>

○評価対象施設（原子炉建屋，タービン建屋（海水熱交換器区域），コントロール建屋，廃棄物処理建屋）の構造骨組評価，局部評価，設計飛来物の衝突に関する評価及び建屋外周部建具（扉等）に関する評価を実施し，内包する竜巻防護施設が影響を受けないことを確認し，竜巻防護施設に影響がある場合には，防護対策を実施。

○竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす施設（サービス建屋，5号炉タービン建屋，5号炉，6号炉及び7号炉主排気筒）の構造骨組評価を実施し，倒壊により竜巻防護施設が影響を受けないことを確認。なお，主排気筒は，設計飛来物は貫通しないが，仮に排気筒の機能が喪失した場合の平常時被ばく評価を実施し，敷地境界線量が線量目標値を超えないことも確認。

<設備の評価>

○評価対象施設（換気空調系，軽油タンク，非常用ディーゼル発電機燃料移送系，非常用ディーゼル発電機吸気系）に対する設計飛来物による貫通評価，設計荷重に対する強度評価を実施し，評価対象施設の構造健全性が維持されることを確認し，評価対象施設に影響がある場合には，防護対策を実施。

【飛散防止対策】

○設計飛来物に選定した鋼製材，角型鋼管（大）より運動エネルギー及び貫通力が大きいものについては，設置場所等に応じ下記の通り固縛等を実施。なお，二次飛来物のうち，仮設足場，金属製屋根・外壁については，設計飛来物の影響に包絡されず，過去の被災事例からも飛散の可能性があることから，下記の飛散防止対策を実施する。

<資機材・車両>

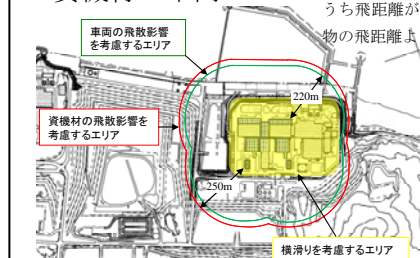


図 3.2.1.2 飛散影響・横滑りを考慮するエリア

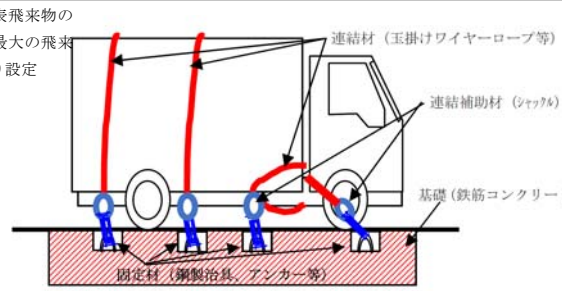


図 3.2.1.3 車両固縛のイメージ

- ・飛散影響・横滑りを考慮するエリア内に設置した資機材等（発電機，仮設小屋等）の飛散防止対策としては，移設，撤去又は浮き上がりや横滑りを考慮した固縛等を実施。
- ・エリア内の車両の飛散防止対策としては，移設，撤去，固縛に加え，作業中車両について竜巻発生確度ナウキャスト等を活用し即座に車両を移動できる体制を整え，エリア外への待避を実施。
- ・建屋近傍の SA 車両は飛散防止対策として，固縛等を実施。高台の SA 車両は，飛散影響エリア外に駐車し，竜巻防護施設に対し離隔距離があることから，飛散防止対策は実施しない。

<仮設足場>

竜巻による風圧力により仮設足場の各部材が飛散しないよう，緊結等の適切な飛散防止対策を実施。

<金属製屋根・外壁>

竜巻による風圧力や気圧差により破損することで竜巻防護施設への影響が考えられる屋根及び外壁に対し，ボルト増し打ちをすることで，屋根及び外壁の補強を実施。

【防護対策】

○設計飛来物によって損傷する可能性がある竜巻防護施設について，下記の通り防護対策を実施。影響評価同様，設計飛来物は高さ 10m 迄影響を及ぼすものとして，原則高さ 10m 以下を対策範囲と設定。

<竜巻防護ネットによる防護>



図 3.2.1.4 竜巻防護ネットの設置イメージ

- ・設計飛来物から防護対象設備を守るため，防護対象設備近傍にある建屋開口部の空調ルーバ等へ鉄板又は竜巻防護ネットを設置。
 - ・竜巻防護ネットは設計飛来物の運動エネルギーを吸収可能な設計にするとともに，小径の飛来物*のすり抜けを防止する設計とする。
- ※：防護ネットをすり抜ける可能性があるため設計飛来物として選定した砂利を除く。

<軽油タンク，燃料移送系の防護>

- ・軽油タンクは，設計飛来物による貫通はしないが，更なる設計上の裕度を確保するため，鋼板肉厚を厚くしたタンクにリプレースを実施。
- ・燃料移送系（ポンプ，配管等）については，設計飛来物からの防護対策として防護壁，エリア上部への防護ネット等を設置。

<鋼製扉による防護>

- ・設計飛来物の貫通により竜巻防護施設への影響が考えられる扉に対し，鋼製扉にリプレースを実施。
- ・鋼製扉は，設計飛来物の貫通力に耐える設計とする。

<格納容器圧力逃がし装置の防護>

- ・竜巻による損傷を考慮した場合でも，代替設備（代替循環冷却）により機能維持可能であるが，飛来物により機能喪失しないように防護対策を実施。

図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要

3.3 設計飛来物の選定について

発電所構内における竜巻飛来物となり得る物品を網羅的に調査し、それらの中から代表性をもたせた設計飛来物を、図 3.3.1 のフローに基づき選定した。

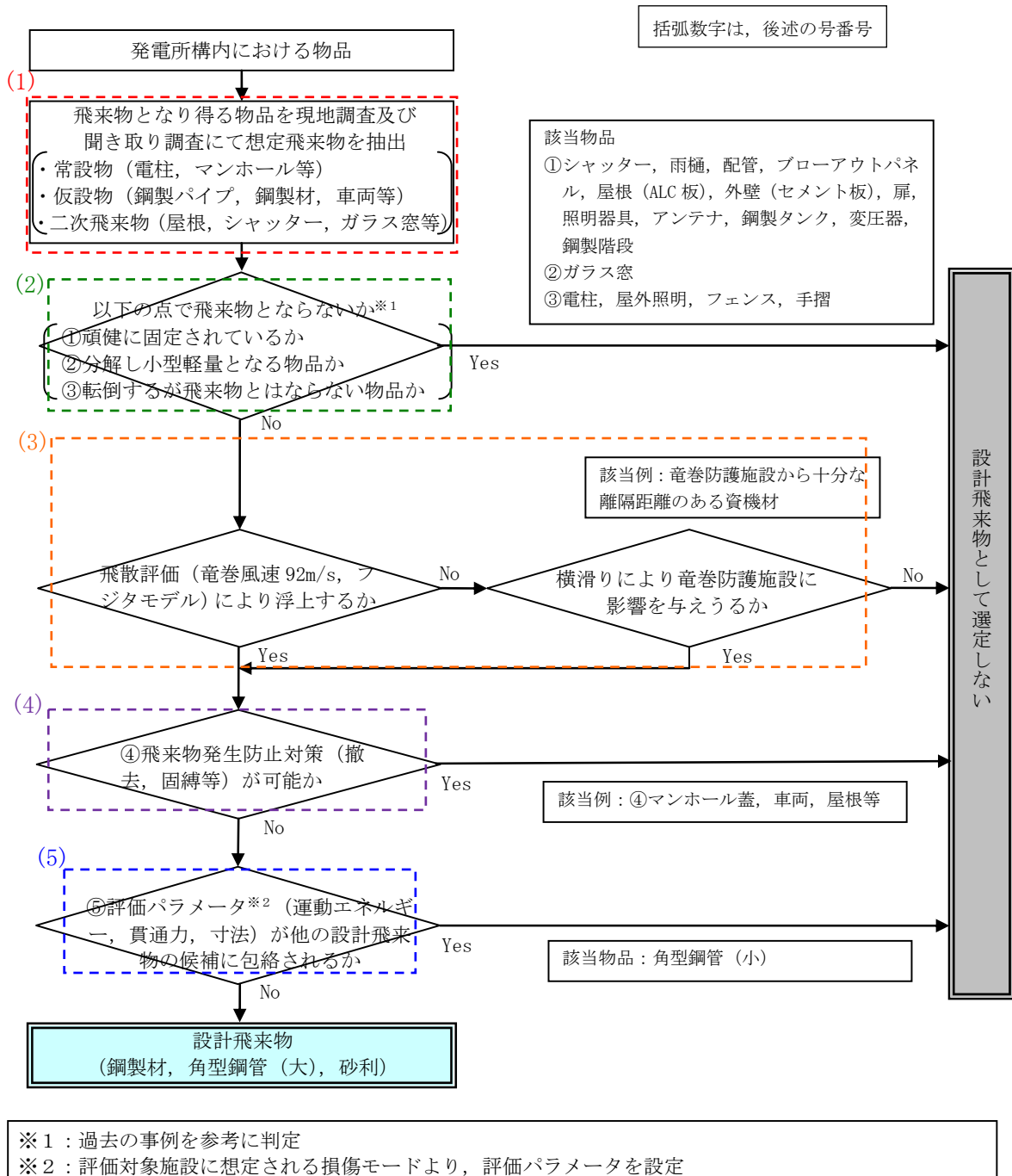


図 3.3.1 設計飛来物の選定フロー

(1)飛来物調査

柏崎刈羽原子力発電所における飛来物に関する現地調査は、平成 25 年 8 月 20 日、8 月 27 日、9 月 12 日、平成 27 年 3 月 13 日に実施した。調査では、常設物、仮設物のうち飛来物のなり得る物品、及び二次飛来物（設置状況等から風圧や飛散による被害を受けて飛来物となり得る物）を抽出した。調査範囲は、米国 **Regulatory Guide** を参考にするとともに、後述の代表的な飛来物の飛散評価結果において、代表的な飛来物の飛散距離は最大でも 400m 程度であることを踏まえ、竜巻防護施設から半径 800m の範囲（図 3.3.2）とした。

また、持ち込み資機材等（夏場や冬場に屋外作業の準備等のために使用する休憩所（仮設小屋）や定期検査中に使用する仮設足場材等）の仮設物について、現地調査にて確認した結果の網羅性を高めることを目的に協力企業への聞き取りも実施し、現地調査で確認した飛来物源と大きな相違がないことを確認している。

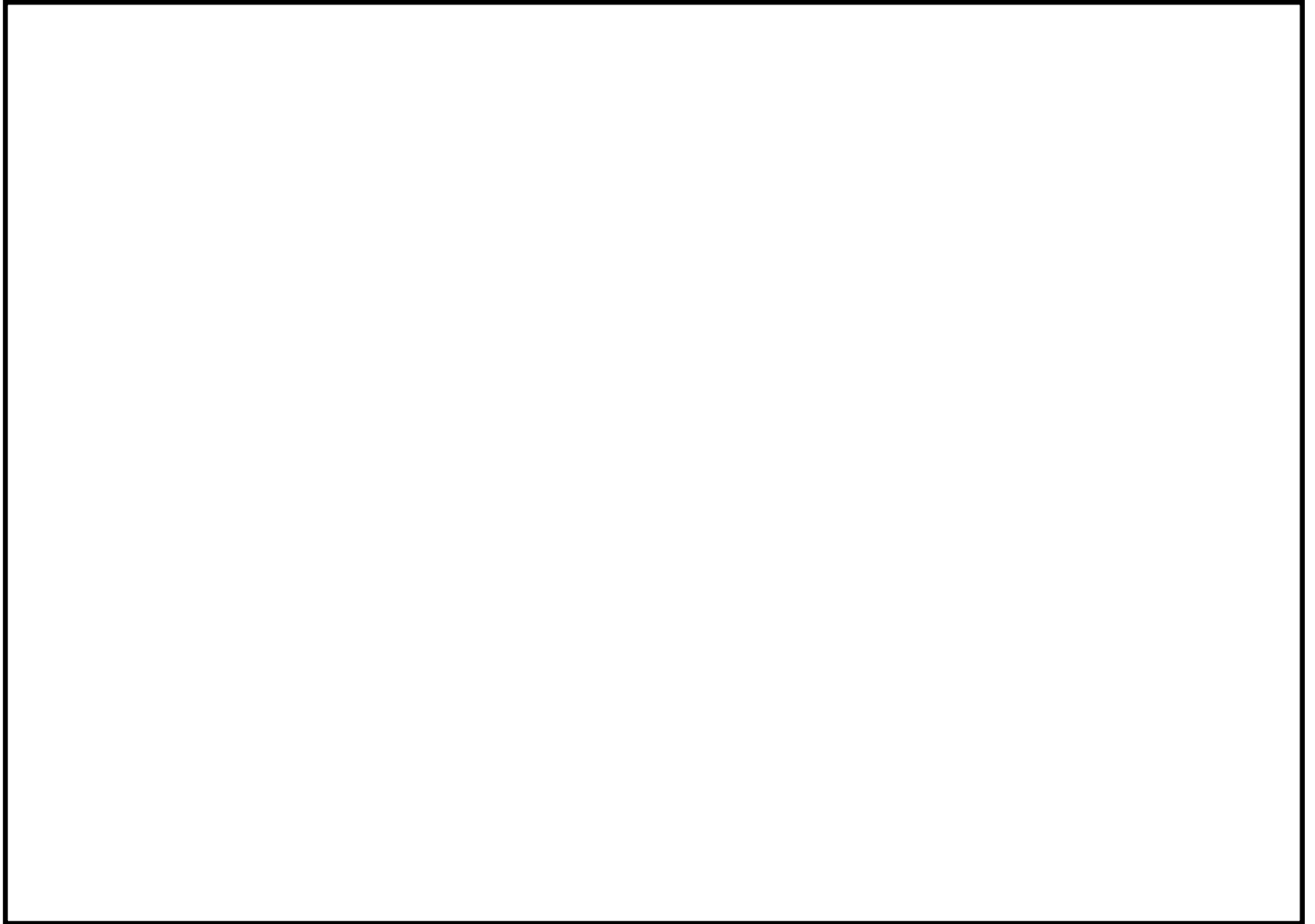


図 3.3.2 調査範囲及び区分

表 3.3.1 調査エリア区分

エリア番号	エリア名称
①	5～7号建屋周辺エリア
②	大湊側高台周辺エリア
③	中央土捨場エリア
④	第二企業センター棟周辺エリア
⑤	固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア
⑥	敷地北側エリア
⑦	取水口・放水口周辺エリア

飛来物調査の結果として、次々頁より、柏崎刈羽原子力発電所において確認した飛来物源をエリア毎に示す。

また、表 3.3.2 に、飛来物調査の結果を踏まえ、飛来物の形状（棒状、板状、塊状）、サイズ（大、中、小）及び柔、剛などの特徴を踏まえ飛来物源を詳細に分類した結果を示す。

※1：柔（木製または中空状、複数の材からなる）、剛（コンクリートまたは鋼製で密実、単体からなる）

表 3.3.2 代表的な飛来物の抽出結果

		棒状			板状			塊状		
		大	中	小	大	中	小	大	中	小
常設物	剛	—	電柱	—	—	—	マンホール蓋	—	—	—
	柔	—	屋外照明	—	—	フェンス	—	変圧器	—	—
仮設物	剛	コンクリート柱	鉄骨 (カイト)鋼製材* 角型鋼管(小,大) 鋼材	(カイト)鋼製パイプ* 鋼製車止め ガスボンベ	トレーラー荷台	クレーンウェイト(2t,5t) (カイト)コンクリート板* コンクリート板 鋼矢板 鋼製架台 敷鉄板(薄,厚)	クレーンウェイト (250kg, 500kg) 鋼製看板	—	鋼製ボビン	コンクリートブロック 砂利
	柔	—	ドラム缶	—	—	—	—	乗用車 (カイト)トラック* トラック 消防車 電源車 代替原子炉補機冷却系 バス	ホイールローダー クレーン車 プレハブ小屋 仮設小屋 (カイト)コンテナボックス* 鋼製タンク フォークリフト	木製ボビン 軽乗用車 分電盤 発電機(大) 産廃コンテナ 自動販売機
二次飛来物	剛	—	配管 仮設足場パイプ(4m)	仮設足場パイプ(2m)	外壁 屋根材(ALC板) フローアウトパネル	扉 仮設足場板(鋼製) ガラス窓	—	鋼製階段	—	—
	柔	—	雨樋	—	屋根材(鋼板) シャッター	仮設足場板(アルミ) 手摺	—	—	—	照明器具 アンテナ

※：竜巻影響評価ガイドにおいてサイズ及び質量が記載されている物品

① 5～7号建屋周辺エリア（常設・仮設物）



①-1 仮設小屋



①-2 仮設小屋



①-3 発電機



①-4 鋼板



①-5 送水用配管蓋



①-6 仮設分電盤



①-7 敷鉄板



①-8 鋼製パイプ



①-9 仮設足場板



①-10 配電盤



①-11 仮設小屋



①-12 鋼製材



①-13 空調室外機



①-14 消火器箱 (小), (大)



①-15 鋼製ボビン



①-16 マンホール蓋



①-17 マンホール蓋



①-18 グレーチング



①-19 ホース格納箱



①-20 分電盤



①-21 チェッカープレート



①-22 乗用車



①-23 鋼製架台



①-24 FRP タンク
(FRP=繊維強化プラスチック)



①-25 カラーコーン



①-26 消火器



①-27 仮設小屋



①-28 角型鋼管 (小), (大)



①-29 鋼製蓋



①-30 鉄骨



①-31 鋼製タンク



①-32 工事看板



①-33 工事看板



①-34 鉄骨



①-35 チェッカープレート



①-36 変圧器



①-37 変圧器



①-38 常設代替交流電源設備
(ガスタービン発電機)



①-39 軽自動車

(二次飛来物)



①-1 仮設足場



①-2 仮設足場



①-3 外壁



①-4 屋根(ポリカーボネート)



①-5 屋根



①-6 屋根



①-7 猿梯子



①-8 シャッター



①-9 庇, 猿梯子, 扉



①-10 屋根



①-11 窓ガラス



①-12 屋根(ガラス)



①-13 シャッター
(大物搬入口)



①-14 屋根



①-15 ガラリ



①-16 屋根, シャッター



①-17 アンテナ



①-18 配管



①-19 ブローアウトパネル



①-20 扉, 換気フード,
猿梯子



①-21 拡声器



①-22 外壁



①-23 シャッター, 配管



①-24 換気フード



①-25 配管



①-26 屋根



①-27 階段



①-28 階段



①-29 アンテナ



①-30 猿梯子



①-31 配管



①-32 扉, 手摺

②大湊側高台周辺エリア（常設・仮設物）



②-1 コンクリート柱



②-2 発電機



②-3 発電機



②-4 木製ボビン



②-5 鋼製ボビン



②-6 カーブミラー



②-7 木板



②-8 ホイールローダ



②-9 可搬型代替注水ポンプ
(消防車)



②-10 可搬型代替交流電源設備
(電源車)



②-11 分電盤



②-12 木材



②-13 鋼製ボビン



②-14 ホース



②-15 ホース



②-16 金属容器



②-17 鋼矢板



②-18 鋼製コンテナ



②-19 プレハブ小屋



②-20 プレハブ小屋



②-21 自動販売機



②-22 鋼製倉庫



②-23 大容量送水車



②-24 泡原液配送車



②-25 放水砲



②-26 代替原子炉捕機冷却系



②-27 タンクローリー (大)



②-28 タンクローリー (小)



②-29 放射能観測車



②-30 クレーン車

(二次飛来物)



②-1 シャッター



②-2 屋根

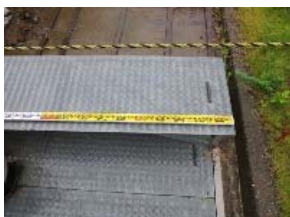


②-3 扉



②-4 排気フード

③中央土捨場エリア（常設・仮設物）



③-1 チェッカープレート



③-2 鋼製車止め
(単管バリケード)



③-3 仮設分電盤



③-4 消火器



③-5 クッションドラム



③-6 グレーチング



③-7 コンクリート板（排水溝蓋）



③-8 グレーチング



③-9 鋼製フェンス



③-10 消火栓蓋



③-11 チェッカープレート



③-12 鋼製フェンス



③-13 移動式投光器
(バルーンライト)



③-14 建設重機
(バックホー)



③-15 敷鉄板



③-16 移動式投光器
(バルーンライト)



③-17 発電機



③-18 高圧洗浄機,
水タンク



③-19 敷鉄板



③-20 産廃コンテナ



③-21 プレハブ小屋



③-22 仮設小屋



③-23 プレハブ小屋



③-24 プレハブ小屋



③-25 梯子



③-26 自動販売機



③-27 プレハブ小屋



③-28 乗用車



③-29 道路標識



③-30 木材



③-31 カーブミラー



③-32 建設重機
(バックホー)



③-33 工事看板



③-34 敷鉄板



③-35 鋼製パイプ



③-36 鉄塊



③-37 フレックス管



③-38 トラック



③-39 マンホール蓋



③-40 分電盤



③-41 仮設足場板



③-42 仮設足場枠組材



③-43 木材



③-44 テント



③-45 信号機



③-46 仮設トイレ



③-47 コンクリートブロック



③-48 ベンチ



③-49 ドラム缶

(二次飛来物)



③-1 窓ガラス



③-2 階段, 窓ガラス, 扉

④第二企業センター棟周辺エリア（常設・仮設物）



④-1 マンホール蓋



④-2 グレーチング



④-3 コンクリート板
(排水溝蓋)



④-4 土のう袋



④-5 分電盤



④-6 屋外照明



④-7 乗用車



④-8 道路標識



④-9 配電盤



④-10 フェンス（単管柵）



④-11 アンテナ



④-12 砂利



④-13 鋼製車止め



④-14 空調室外機



④-15 チェッカープレート



④-16 排水溝蓋



④-17 消火器箱 (小)



④-18 コンクリートブロック



④-19 クレーンウェイト



④-20 FRP タンク
(FRP=繊維強化プラスチック)



④-21 制御盤



④-22 乗用車



④-23 鋼製看板



④-24 コンクリートブロック



④-25 鋼管



④-26 プレハブ小屋



④-27 ステップ



④-28 自動販売機



④-29 コンクリートブロック



④-30 仮設鉄骨



④-31 木製ボビン



④-32 トラック



④-33 バス



④-34 角型鋼管



④-35 産廃コンテナ



④-36 産廃コンテナ



④-37 屋外照明



④-38 鋼製架台



④-39 アミコンテナ



④-40 鋼製フェンス



④-41 鋼製車止め
(単管バリケード)



④-42 木材



④-43 H 鋼



④-44 鋼製パイプ



④-45 砂利



④-46 産廃コンテナ



④-47 自動販売機



④-48 オイル缶



④-49 ガスボンベ



④-50 仮設小屋



④-51 乗用車



④-52 角型鋼管



④-53 アミコンテナ



④-54 プレハブ車庫



④-55 鋼製フェンス



④-56 マンホール蓋



④-57 鋼製フェンス



④-58 流し台



④-59 トレーラー



④-60 トレーラー荷台

(二次飛来物)



④-1 屋根, 外壁



④-2 窓ガラス



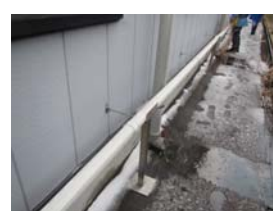
④-3 シャッター



④-4 雨樋



④-5 拡声器



④-6 配管



④-7 拡声器, 換気フード



④-8 シャッター



④-9 照明器具



④-10 屋根, 外壁



④-11 窓ガラス



④-12 窓ガラス



④-13 照明器具



④-14 ガラリ



④-15 猿梯子



④-16 煙突



④-17 拡声器



④-18 拡声器



④-19 庇



④-20 換気フード



④-21 扉



④-22 換気フード



④-23 扉



④-24 屋根, 外壁



④-25 屋根

⑤固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア（常設・仮設物）



⑤-1 トラック（ユック車）



⑤-2 モーター付き排気ファン



⑤-3 屋外照明



⑤-4 鋼製車止め
（単管バリケード）



⑤-5 コンクリート板



⑤-6 グレーチング



⑤-7 ガードレール



⑤-8 グレーチング



⑤-9 プレハブ小屋



⑤-10 鋼製フェンス



⑤-11 鋼板



⑤-12 防火標識



⑤-13 マンホール蓋



⑤-14 敷鉄板



⑤-15 制御盤



⑤-16 屋外照明



⑤-17 立て看板



⑤-18 コンテナボックス



⑤-19 コンテナボックス



⑤-20 鋼製ボビン

(二次飛来物)



⑤-1 配管



⑤-2 シャッター, 窓ガラス



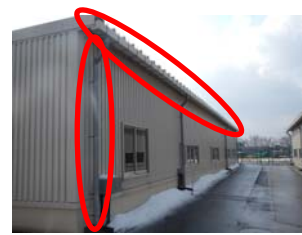
⑤-3 換気フード



⑤-4 排気フード



⑤-5 シャッター



⑤-6 配管, 雨樋



⑤-7 シャッター, 扉



⑤-8 猿梯子



⑤-9 鋼製階段



⑤-10 排気フード



⑤-11 屋根, 壁



⑤-12 窓ガラス, 屋根



⑤-13 屋根, シャッター

⑥敷地北側エリア（常設・仮設物）



⑥-1 電源盤



⑥-2 マンホール蓋



⑥-3 鋼鉄看板



⑥-4 カラーコーン



⑥-5 立ち馬（馬脚立）



⑥-6 クッションドラム



⑥-7 敷鉄板



⑥-8 鋼製車止め
(単管バリケード)



⑥-9 土のう袋



⑥-10 トラック
(ユニック車)



⑥-11 乗用車



⑥-12 仮設小屋



⑥-13 空調室外機



⑥-14 コンクリートブロック



⑥-15 マンホール蓋



⑥-16 グレーチング



⑥-17 屋外照明



⑥-18 消火器箱(大)



⑥-19 樹木



⑥-20 避雷器収納箱



⑥-21 工事看板



⑥-22 空調室外機



⑥-23 チェッカープレート



⑥-24 消火器箱 (小)



⑥-25 電話箱



⑥-26 カラーコーン



⑥-27 空調室外機



⑥-28 車止めポール



⑥-29 乗用車



⑥-30 木製ボビン



⑥-31 電柱



⑥-32 鋼材



⑥-33 鋼管



⑥-34 トラック



⑥-35 フォークリフト



⑥-36 乗用車



⑥-37 鋼製看板



⑥-38 コンクリート板

(二次飛来物)



⑥-1 扉, ガラリ

⑦取水口・放水口周辺エリア（常設・仮設物）



⑦-1 グレーチング



⑦-2 マンホール蓋



⑦-3 カラーコーン



⑦-4 空調室外機



⑦-5 排水溝蓋



⑦-6 鋼材



⑦-7 鋼管



⑦-8 コンクリート板



⑦-9 発電機



⑦-10 一輪車



⑦-11 仮設小屋



⑦-12 乗用車



⑦-13 脚立



⑦-14 配電盤



⑦-15 砂利



⑦-16 テント



⑦-17 敷鉄板



⑦-18 鋼製車止め
(単管バリケード)



⑦-19 工事看板



⑦-20 鋼製看板



⑦-21 屋外照明



⑦-22 マンホール蓋



⑦-23 カラーコーン



⑦-24 鋼製ネット



⑦-25 フレックス管



⑦-26 木材



⑦-27 廃材コンテナ



⑦-28 消火器箱 (大)



⑦-29 台車



⑦-30 仮設足場板

(二次飛来物)



⑦-1 扉



⑦-2 扉

(2)固定状況等を踏まえた抽出

(1)で抽出した結果を踏まえ、過去の被害事例等（別紙1）を参考に、以下の観点のいずれにも当てはまらない物品を設計飛来物候補として抽出した。（表 3.3.3）

- ①溶接やボルトにより頑健に固定されているか
- ②分解し小型軽量となる物品か
- ③竜巻の影響により転倒はするが、飛来物とはならない物品か

(3)代表的な飛来物の飛散評価

(2)で抽出をした代表的な飛来物に対し、設計竜巻の最大風速 92m/s、風速場モデルとしてフジタモデルを適用した場合における飛散評価を実施し、浮上する物品を抽出した結果を表 3.3.3 に示す。飛来物の初期高さは、プラントウォークダウンにて確認した飛来物の設置場所と竜巻防護施設との高低差を踏まえ設定した。但し、仮設物のように設置場所の特定が困難な物品については、竜巻防護施設に到達する可能性のある初期高さのうち、最大の高さを飛来物の初期高さとして設定した。（別紙2）

また、飛来物の速度については、ガイドに基づき、飛散評価により求まる飛散した際の最大水平速度及び最大鉛直速度を設定した。

なお、浮上しないが横滑りにより竜巻防護施設に影響を与えうる物品については、浮上する物品同様、(4)以降の結果を踏まえ設計飛来物として選定する必要があるかを確認する。

(4)飛来物発生防止対策の可否を踏まえた抽出

(3)で抽出した結果を踏まえ、固縛、撤去等の飛来物発生防止対策が可能かどうかを考慮し、設計飛来物の候補を抽出した。（表 3.3.3 右端欄参照）

(5)評価パラメータの代表性の確認

(4)で抽出した結果に対し、竜巻及び飛来物により想定される評価対象施設の損傷モードより設定した評価パラメータ（運動エネルギー、貫通力、寸法）が、最大となる物品を（寸法については最小）、設計飛来物として選定する。（表 3.3.3 黄色箇所参照）

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (1/6)

(常設・仮設物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ ^{※2} [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ ^{※3} [cm]		鋼板の貫通限界厚さ ^{※3} [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか ^{※4} (4) 飛来物発生防止対策 (撤去, 固縛等) が可能か (5) 他の飛来物に包絡されるか
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{s,h}	t _{s,v}	T _h	T _v		
剛飛来物 棒状	(ガイド) 鋼製パイプ ^{※1}	2	0.05	0.05	8.4	0.0058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
	鋼製車止め	1.3	0.217	0.217	90	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
	ガスボンベ	1.515	0.232	0.232	95	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
	鉄骨	2	0.34	0.25	156	0.0034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
	(ガイド) 鋼製材 ^{※1}	4.2	0.3	0.2	135	0.0066	10	7	6	3	9	0.08	6	4	13	10	4	2	○	設計飛来物に選定する。
	角型鋼管 (小)	4	0.06	0.06	12	0.0169	15	7	2	0.23	19	0.13	5	2	9	5	5	2	○	(5) 角型鋼管 (大) に包絡されることから、設計飛来物として選定しない。
	角型鋼管 (大)	4	0.1	0.1	28	0.0118	16	7	4	0.55	20	0.15	6	3	12	7	6	2	○	設計飛来物に選定する。
	鋼材	6	0.3	0.3	558	0.0027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
コンクリート柱	12	0.252	0.252	900	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4) 浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。	

※1: 竜巻評価ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品

※2: 修正 NDRC 式及び, Degen 式を用いて算出

※3: 原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより, 評価パラメータを設定

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (2/6)

(常設・仮設物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ ^{※2} [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ ^{※3} [cm]		鋼板の貫通限界厚さ ^{※3} [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか ^{※4} (4)飛来物発生防止対策(撤去, 固縛等)が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか	
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直			
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{s,h}	t _{s,v}	T _h	T _v			
剛飛来物	塊状	仮設分電盤	1	0.2	1.5	60	0.0223	59	21	103	13	232	17	12	5	28	14	4	1	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なることから、設計飛来物として選定しない。
		コンクリートブロック	0.65	0.65	0.65	660	0.0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		鋼製ボビン	2.6	2.6	1.6	900	0.0101	46	23	938	227	180	5	20	11	51	32	3	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なることから、設計飛来物として選定しない。
		砂利	0.04	0.04	0.04	0.2	0.0160	14	7	0.02	0.004	18	0.08	1	1	2	2	1	1	○	設計飛来物に選定する。

※1: 竜巻評価ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品

※2: 修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出

※3: 原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (3/6)

(常設・仮設物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空カパラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ ^{※2} [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ ^{※3} [cm]		鋼板の貫通限界厚さ ^{※3} [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか ^{※4} (4)飛来物発生防止対策(撤去, 固縛等)が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか	
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直			
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{s,h}	t _{s,v}	T _h	T _v			
剛飛来物	板状	鋼製看板	1.4	1	0.05	40	0.0246	20	7	8	0.78	28	0.16	6	3	13	7	2	1	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能ことから, 設計飛来物として選定しない。
		マンホール蓋	0.65	0.65	0.05	54	0.0046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		敷鉄板(薄)	6	1.5	0.019	1334	0.0046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが, 竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		敷鉄板(厚)	6.1	1.53	0.03	2200	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウエイト 5t	1.5	1.28	0.4	5000	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウエイト 2t	1.5	1.1	0.22	2000	0.0007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウエイト 250kg	1.1	0.9	0.07	250	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		(ガイド) コンクリート板 ^{※1}	1.5	1	0.15	540	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーンウエイト 500kg	1.3	1.1	0.1	500	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鋼矢板	2	2	0.2	960	0.0032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		鋼製架台	3.8	1.8	0.2	10670	0.0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		コンクリート板	3.95	0.98	0.15	1400	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		トレーラー荷台	9	2.5	0.25	4500	0.0036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	

※1: 竜巻評価ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品

※2: 修正 NDRC 式及び, Degen 式を用いて算出

※3: 原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより, 評価パラメータを設定

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (4/6)

(常設・仮設物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ[m]	コンクリートの貫通限界厚さ ^{※2} [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ[cm]		鋼板の貫通限界厚さ ^{※3} [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか ^{※4} (4)飛来物発生防止対策(撤去、固縛等)が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか	
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直			
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{d,h}	t _{d,v}	T _h	T _v			
柔飛来物	棒状 ドラム缶	1.3	0.8	0.8	40	0.0206	54	21	57	9	212	5	5	2	13	7	2	1	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから、設計飛来物として選定しない。	
	発電機(小)	0.91	0.53	0.7	125	0.008	27	7	43	4	36	2	8	3	21	9	2	1	○		
	木製ボビン	2	2	1.2	305	0.0174	54	21	441	67	217	8	7	3	24	13	3	1	○		
	産廃コンテナ	2.915	1.6	0.925	650	0.0091	34	23	367	164	107	2	7	5	25	19	3	2	○		
	仮設小屋	5.81	2.34	2.45	1300	0.0173	57	22	2039	307	247	21	12	5	40	22	5	2	○		
	乗用車	4.9	1.88	1.87	2150	0.0068	39	24	1568	577	143	4	4	12	8	40	29	6	3		○
	軽乗用車	3.395	1.475	1.625	800	0.0108	48	23	913	200	212	6	6	10	5	33	20	5	2		○
	(ガイド)コンテナボックス ^{※1}	6	2.6	2.4	2300	0.0106	50	23	2795	591	220	12	12	14	7	46	28	6	2		○
	フォークリフト	3.69	1.15	1.995	2500	0.0038	21	7	530	53	30	0.6	0.6	8	3	30	14	4	1		○
	プレハブ小屋	5	5	3	4400	0.0084	47	24	4765	1201	204	11	11	15	9	53	33	6	3		○
トラック	8.445	2.23	2.465	3790	0.008	46	24	3883	1025	188	7	7	17	10	54	35	8	4	○		

※1：竜巻評価ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品

※2：修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出

※3：原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (5/6)

(常設・仮設物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量 [kg]	空力パラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ [m]	コンクリートの貫通限界厚さ ^{※2} [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ [cm]		鋼板の貫通限界厚さ ^{※3} [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか ^{※4} (4)飛来物発生防止対策(撤去、固縛等)が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか		
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直				
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{s,h}	t _{s,v}	T _h	T _v				
柔 飛 来 物	塊 状	(ガイド)トラック ^{※1}	5	1.9	1.3	4750	0.0026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。	
		電源車	6.88	2.2	3.04	7960	0.0036	25	24	2427	2211	87	2	14	13	47	46	5	5	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能ことから、設計飛来物として選定しない。	
		消防車	7.11	2.28	2.74	9210	0.0031	17	24	1321	2561	53	0.27	11	14	39	49	4	6	○		
		バス	11.99	2.49	3.75	12100	0.0047	38	24	8647	3464	161	5	23	15	72	53	10	6	○		
		ホイールローダ	11.15	3.19	3.25	24000	0.0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	(4)浮上しないが、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施することから設計飛来物として選定しない。
		代替原子炉捕機冷却系	15.1	2.49	1.565	35450	0.0013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		発電機(大)	4	1.8	1.4	4920	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		クレーン車	12.29	3	3.74	39635	0.0016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	
		自動販売機	0.73	1.83	1.36	365	0.0088	41	23	296	94	142	4	4	16	10	39	26	4	2	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能ことから、設計飛来物として選定しない。
		空調室外機	0.8	0.3	0.6	40	0.015	40	22	31	10	166	2	2	3	2	12	8	2	1	○	

※1：竜巻評価ガイドにおいてサイズ及び重量が記載されている物品

※2：修正 NDRC 式及び、Degen 式を用いて算出

※3：原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4：評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

表 3.3.3 代表的な飛来物の飛散評価結果及び飛散防止対策・固定状況等を踏まえた選定結果 (6/6)

(二次飛来物)

分類	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	質量[kg]	空力パラメータ [m ² /kg]	最大水平速度 [m/s]	最大鉛直速度 [m/s]	運動エネルギー [kJ] (水平)	運動エネルギー [kJ] (鉛直)	最大飛距離[m]	最大飛散高さ*1[m]	コンクリートの貫通 限界厚さ*2 [cm]		コンクリートの裏面はく離限界厚さ [cm]		鋼板の貫通 限界厚さ*3 [mm]		浮き上がり有無	以下の点で飛来物とならないか*4 (4)飛来物発生防止対策(撤去、固縛等)が可能か (5)他の飛来物に包絡されるか
													水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		
													t _{p,h}	t _{p,v}	t _{s,h}	t _{s,v}	T _h	T _v		
剛飛来物	棒状 鋼製パイプ (足場用2m)	2	0.051	0.051	6	0.009	42	38	5	4	266	0.74+(152)	8	7	14	13	11	10	○	(4)固縛等の飛来物発生防止対策が可能なことから、設計飛来物として選定しない。
	鋼製パイプ (足場用4m)	4	0.051	0.051	11	0.0089	42	38	10	8	265	0.65+(152)	11	10	18	17	17	15	○	
柔飛来物	板状 足場板 (鋼製)	4	0.25	0.04	14	0.0525	55	18	21	3	377	52+(152)	12	5	21	10	6	2	○	
	足場板 (アルミ)	4	0.24	0.029	11	0.0683	54	16	15	2	399	57+(152)	5	2	11	5	5	1	○	
	屋根材 (5号機循環水ポンプ建屋:鋼板) *5	13.18	0.519	0.2	90	0.0632	65	16	188	11	236	52+(22)	10	3	23	9	8	2	○	
	外壁 (5号機循環水ポンプ建屋)*5	0.035	0.32	9.12	36	0.0578	69	16	85	5	271	59+(0)	10	3	21	8	13	2	○	

※1: () 内の値は飛来物初期高さ (地面からの物品の高さ)

※2: 修正 NDRC 式及び Degen 式を用いて算出

※3: 原子炉施設のタービンミサイルの評価に用いられている BRL 式にて算出

※4: 評価対象施設に想定される損傷モードにより、評価パラメータを設定

※5: 屋根、外壁は、竜巻防護施設に届き得る範囲のなかで飛散評価結果値が最大である5号機循環水ポンプ建屋を使用

(6)設計飛来物の選定結果

(1)～(5)より、柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物は、表 3.3.4 及び図 3.3.3 の通りとする。

鋼製材については、設計飛来物候補の中で、運動エネルギー、コンクリートに対する貫通力が最大であり、角型鋼管（大）については、鋼板に対する貫通力が最大である。

また、砂利については、換気空調系ルーバへの防護対策として設置する竜巻防護ネットを通過する可能性があり、鋼製材、角型鋼管（大）にて包含できないことから、設計飛来物として選定する。

表 3.3.4 柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物選定結果

飛来物の種類	砂利	鋼製材	角型鋼管（大）
サイズ (m)	長さ×幅×奥行き 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行き 4×0.1×0.1
質量 (kg)	0.2	135	28
最大水平速度 (m/s)	14	10	16
最大鉛直速度 (m/s)	7	7	7
浮き上がり高さ (m)	0.08	0.08	0.15
飛散距離 (m)	18	9	20



(鋼製材)



(角型鋼管（大）)



(砂利)

図 3.3.3 柏崎刈羽原子力発電所における設計飛来物

なお、表 3.3.4 に示した鋼製材、角型鋼管（大）及び砂利の水平、鉛直速度については、竜巻風速場をフジタモデルとし飛来物の最大速度を求めた値を用いることとする。

分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品等について

設計飛来物の選定フローにおいて、「分解し小型軽量となる物品」及び「倒壊するが飛来物とはならない物品」は設計飛来物として選定しないこととしている。これは、過去の主な竜巻の被害概要の調査結果から、分解され小型軽量となる物品及び倒壊するが飛来物とならない物品について検討を行った結果より確認をしている。

以下に平成 2 年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った結果を示す。「分解し小型軽量となる物品」、「倒壊するが飛来物とはならない物品」は柏崎刈羽原子力発電所における調査結果を念頭に被害状況を示す。

(1) 分解し小型軽量となる物品（確認対象：屋外屋根、シャッター、ガラス窓、仮設足場）

竜巻の被害概要調査結果において分解し小型軽量となる物品として、柏崎刈羽原子力発電所に設置の類似品として屋外屋根、シャッター、ガラス窓、仮設足場を確認した。屋外屋根、シャッター、ガラス窓、仮設足場の被害状況は以下のとおり。

a. 屋外屋根の被害状況

図 1～5 に屋外屋根の被害状況を示す。これらより、屋外屋根については、F0～F3 の被害状況において形を保ったままではなく、分解された状態で飛来していることが分かる。また、厚みが薄く、受風面積が大きいため風の影響を受けやすいことから形状が変形（柔飛来物）しており、剛飛来物に比べ、貫通等の影響が小さくはなるが、竜巻防護施設への影響が考えられる屋根については、飛散防止対策を実施する。



牛舎の屋根東方向，柱・トタン板は西方向に飛散している

図 1 平成 16 年 6 月 27 日佐賀県にて発生した F2 竜巻による野外屋根の被害状況⁽¹⁾



カーボード屋根の飛散及び骨組の損傷



カーボード屋根の破損



屋外トイレ屋根の損傷

図2 平成18年9月17日宮城県延岡市で発生したF2竜巻による屋外屋根の被害状況⁽²⁾



折板の損傷



カーボードの被害

図3 平成21年10月8日茨城県土浦市で発生したF1竜巻による屋外屋根の被害状況⁽³⁾

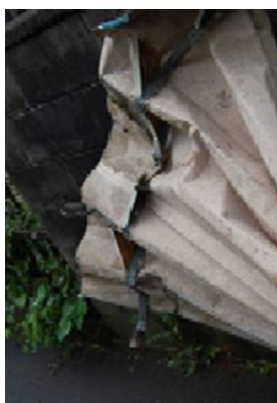


周囲の田に散乱した屋根ふき材

図4 平成24年2月1日島根県出雲市にて発生したF0竜巻による屋外屋根の被害状況⁽⁴⁾



飛散した鋼板製屋根材



飛散した折板屋根の状況



電線等に引っ掛かった飛来物（鋼板製屋根材）

図5 平成24年5月6日茨城県つくば市で発生したF3竜巻による屋外屋根の被害状況⁽⁵⁾

b. シャッター

図 6～10 にシャッターの被害状況を示す。これらより、シャッターについては、F1～F3, EF5 の竜巻において形状は変形しているが、固定部が外れていないことが確認できる。



図 6 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻によるシャッター被害状況⁽⁶⁾



シャッターの破損

図 7 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻によるシャッターの被害状況⁽³⁾



シャッターの外れ

図 8 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F1 (F2) 竜巻によるシャッターの被害状況⁽⁷⁾



消防団施設のシャッターの被害状況

図9 平成24年5月6日茨城県つくば市にて発生したF3竜巻によるシャッターの被害状況⁽⁵⁾



シャッターの被害

図10 平成25年9月2日埼玉県発生したF2竜巻によるシャッターの被害状況⁽⁸⁾

c. ガラス窓

図 11～16 にはガラス窓の被害状況を示す。これらより、ガラス窓については、F0～F3、EF5 の竜巻において損壊し、分解されていることが確認できる。分解された状態では、小型軽量となっており、設計飛来物である鋼製材もしくは砂利に包含されることが考えられる。



エントランスの窓ガラスの破損



破損した窓ガラス片の屋内壁面への突き刺さり

図 11 平成 18 年 9 月 17 日宮城県延岡市で発生した F2 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽²⁾



バスの窓ガラス破損

図 12 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州で発生した EF5 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽⁶⁾



窓ガラスの損壊



窓ガラスの飛来物衝突痕

図 13 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市での F1(F2) 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽⁷⁾



エントランスのガラス破損



倉庫の窓ガラスと屋根の被害状況

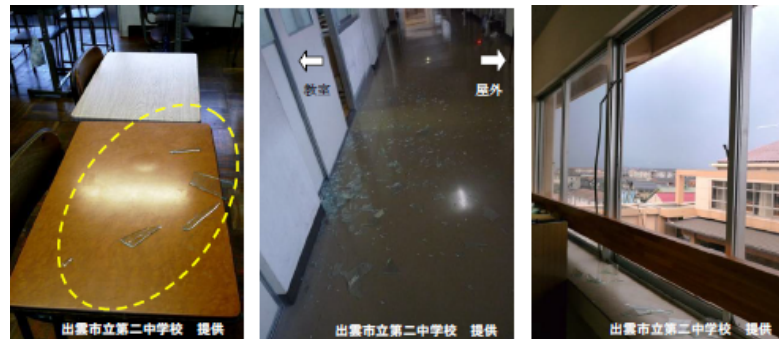


窓ガラスの破損

図 14 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽³⁾



体育館窓ガラスの破損



(a) 教室

(b) 廊下

(c) 屋外に面した窓ガラス

本館 4 階の廊下と教室内のガラス破片の散乱状況

図 15 平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市にて発生した F0 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽⁴⁾



店舗の窓ガラスの被害状況



ガラスへの飛来物の衝突痕

図 16 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市で発生した F3 竜巻によるガラス窓の被害状況⁽⁵⁾

d. 仮設足場

図 17 には仮設足場の被害状況を示す。これらより、仮設足場については、F2 の竜巻において倒壊していることが確認できる。仮設足場材が飛散した場合、設計飛来物の影響に包絡されないことから、飛散防止対策を実施する。



仮設足場の倒壊

図 17 平成 18 年 9 月 17 日宮城県延岡市で発生した F2 竜巻による仮設足場の被害状況⁽⁹⁾

(2) 柏崎刈羽原子力発電所の屋外屋根, シャッター, ガラス窓, 仮設足場の状況

柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況を図 18, シャッターの状況を図 19, ガラス窓の状況を図 20, 仮設足場の状況を図 21 に示す。柏崎刈羽原子力発電所におけるこれらの物品の構造については, 上記の被害にあった物品の構造と大きく変わらないことから, 竜巻通過時には, 同様の被害状況になると考えられる。

そのため, 上記の被害状況からこれらの物品については, 飛散をしていないシャッターを除き, 二次飛来物となる可能性があるが, 設計飛来物に包含される(ガラス窓)若しくは設計飛来物に包含されない物品(屋外屋根, 仮設足場)については飛散防止対策を実施する。

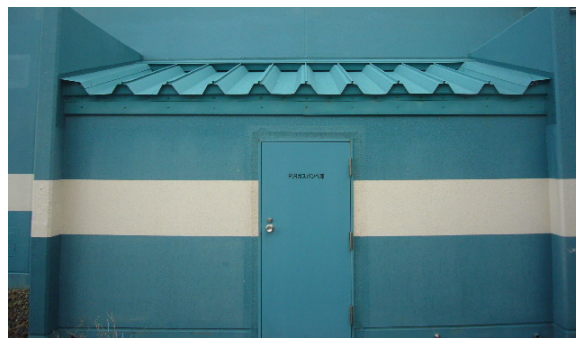


図 18 柏崎刈羽原子力発電所における屋外屋根の状況



図 19 柏崎刈羽原子力発電所におけるシャッターの状況



図 20 柏崎刈羽原子力発電所におけるガラス窓の状況



図 21 柏崎刈羽原子力発電所における仮設足場の状況

(3)倒壊するが飛来物とならない物品（確認対象：樹木，フェンス）

竜巻の被害概要調査結果において倒壊するが飛来物とならない物品で，柏崎刈羽原子力発電所に存在する類似品として樹木，フェンスを確認した。樹木，フェンスの被害状況は以下のとおり。

a. 樹木

図 22～28 には樹木の被害状況を示す。これらより，樹木については，F1～F3 及び EF5 の被害状況において幹の折損，根の引き抜き等が見られるが折れた場合，引き抜かれた場合どちらにおいてもその場で倒壊しているのみであることが確認できる。これは竜巻の風荷重により，樹木が損壊を受けたあと，竜巻がすでに通り過ぎているためであると考えられ，樹木が折損，引き抜かれた後，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。



倒木（南から見る）

倒れなかった樹木も点在している。



倒木（北西から見る）

図 22 平成 14 年 7 月 26 日群馬県境町で発生した F2 竜巻による樹木被害状況⁽¹⁰⁾



樹木の転倒



樹木の転倒（緑ヶ丘）

図 23 平成 18 年 9 月 17 日宮崎県延岡市で発生した F2 竜巻による樹木被害状況⁽²⁾



樹木の折損

図 24 平成 20 年 5 月 25 日米国アイオワ州にて発生した EF5 竜巻による樹木被害状況⁽⁶⁾



倒木（火打谷地区）

図 25 平成 21 年 7 月 19 日岡山県美作市にて発生した F2 竜巻による樹木被害状況⁽¹¹⁾



倒木の被害

図 26 平成 21 年 10 月 8 日茨城県土浦市にて発生した F1 竜巻による樹木被害状況⁽³⁾



倒木の折損



倒木の折損と鳥居の被害



樹木の倒木



倒木による社の倒壊

図 27 平成 24 年 5 月 6 日茨城県つくば市にて発生した F3 竜巻による樹木被害状況⁽⁵⁾



樹木の倒壊



樹木の倒壊による小屋組の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害



樹木の被害

図 28 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻による樹木被害状況⁽⁸⁾

b. フェンス

図 29～31 にはフェンスの被害状況を示す。これらよりフェンスについては、F1～F3 の被害状況において傾き、倒壊等が見られるが樹木と同様にその場で倒壊しているのみであり、倒壊した後、竜巻はすでに通り過ぎていていると考えられ、竜巻により巻き上げられ、飛来物となることは考え難い。



フェンスの著しい変形



フェンスの変形

図 29 平成 21 年 7 月 27 日群馬県館林市で発生した F1 (F2) 竜巻によるフェンスの被害状況⁽⁵⁾



フェンスの被害状況

図 30 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⁽⁷⁾



フェンスの倒壊



屋上フェンスの被害



フェンスの倒壊



支柱部の破断



フェンスの被害（工事中の建築物）



フェンスの被害

図 31 平成 25 年 9 月 2 日埼玉県発生した F2 竜巻によるフェンスの被害状況⁽⁸⁾

(4) 柏崎刈羽原子力発電所の樹木、フェンスの状況

a. 樹木

柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況を図 32 に示す。上記にて示した被害にあった樹木と大きく変わらないことから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり、幹の折損、根の引き抜きによりその場で倒壊すると考えられる。



図 32 柏崎刈羽原子力発電所における樹木の状況

b. フェンス

柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況を図 33 に示す。上記にて示した被害にあったフェンスの構造と大きく変わらないことから、竜巻通過時には、同様の被害状況になり変形もしくは倒壊すると考えられる。



図 33 柏崎刈羽原子力発電所におけるフェンスの状況

以上より、樹木およびフェンスは、竜巻により倒壊するが、飛来しないことから、設計飛来物として選定しない。

参考文献

- (1) 「佐賀市・鳥栖市竜巻現地被害調査報告」(平成 16 年 7 月 13 日)
- (2) 「2006 年台風 13 号被害調査報告ー延岡市の竜巻被害と飯塚市文化施設の屋根被害ー」
(平成 18 年 10 月 10 日)
- (3) 「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)
- (4) 「平成 24 年 2 月 1 日島根県出雲市で発生した突風被害調査報告」(平成 24 年 2 月 14 日)
- (5) 「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)
- (6) 「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)
- (7) 「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)
- (8) 「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)
- (9) 「2006 年台風 13 号に伴って発生した竜巻による延岡市の建物被害」
- (10) 「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)
- (11) 「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)

飛来物初期高さ（高台高さ）の設定

飛来物候補の飛散評価を実施する際に、飛来物の初期高さ（高台高さ）を設定する必要がある。飛来物の初期高さは、プラントウォークダウンにて確認した飛来物の設置場所と竜巻防護施設との高低差を踏まえ設定した。但し、仮設物のように設置場所の特定が困難な物品については、竜巻防護施設に到達する可能性のある初期高さのうち、最大の高さを飛来物の初期高さとして設定した。図1に設定した各飛来物の初期高さを示す。

なお、図1で記載した飛来物のうち、竜巻防護施設に到達する可能性があり、設計飛来物による影響に包絡されない飛来物（図1の灰色）については、竜巻防護施設との離隔をとる又は固縛等を実施する。（図1の黒字は、設計飛来物もしくは設計飛来物の影響に包絡される飛来物のため、固縛等を実施しない）

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



図1 各代表飛来物の設置場所を踏まえた初期高さ

竜巻時に発生する雹の影響について

竜巻時は雹を伴うこともあるため、雹に関する文献を参考に雹の影響について検討を行った。

雹はあられが大きく成長したもので、直径 5mm 以上の氷の粒子である。雹の大きさは、通常は直径が 5～50mm である^{※1}。このことから、直径 50mm の雹を対象に影響評価を行う。なお、雹の大きさの変化に対する影響度を確認するため、比較対象として、参考文献^{※2}に記載の雹で最大である 10cm の雹にて評価を実施したとしても設計飛来物に包含されることも確認した。

空気中を落下する物体は空気抵抗を受けるので、時間が経てば空気抵抗と重力が釣り合い等速運動となり、一定の速度（終端速度）となる。空気中を落下する雹もこの終端速度で落下する。雹の粒径毎の終端速度を表 1 に示す。

表 1 雹の粒径毎の終端速度^{※2}

粒径 (cm)	終端速度 (m/s)
1	9
2	16
5	33
10	59

ここで、雹の影響を評価するため、運動エネルギー、貫通のしやすさを評価した結果を設計飛来物（鋼製材）と比較し表 2 に示す。雹の影響は設計飛来物（鋼製材）に包含できると言える。

表 2 粒径 5cm 及び 10cm 雹の影響評価

		粒径 5cm 雹	粒径 10cm 雹	設計飛来物（鋼製材）
運動エネルギー		0.04kJ	0.91 kJ	3 kJ
貫通限界厚さ （鉛直）	コンクリート Fc=330kgf/cm ²	0.8cm	2.7cm	4cm
	鋼板	0.2mm	0.7mm	2mm

※1 : 白木正規, 百万人の天気教室, 成山堂書局

※2 : 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会

3.4 竜巻随件事象の抽出について

過去の竜巻被害を参考に竜巻の随件事象を検討し、柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から考慮する必要がある事象として、火災、溢水及び外部電源喪失事象を抽出した。

(1) 過去の竜巻被害について

過去の竜巻被害について、1990年以降の主な竜巻による被害概要を調査した文献から検討を行った。竜巻の被害の状況写真から日本国内での竜巻被害では、風圧力及び飛来物の衝突により発生している建築物、電柱及び電線等の損傷がみられ、竜巻の随件事象としては、電柱や電線の損傷による停電事象が発生している。(図3.4.1, 3.4.2)



(建物の被害)



(ガラスへの飛来物衝突痕)



(電柱の折損、傾斜)

図 3.4.1 2012年茨城県常総市で発生したF3竜巻による被害状況⁽¹⁾



(電柱の折損，傾斜)



(建築物への飛来物の衝突痕)



(電柱，道路標識の折損)

図 3.4.2 2006年に北海道佐呂間町にて発生したF3竜巻による被害状況⁽²⁾⁽³⁾

(2) 柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置を参考にした竜巻随件事象について

(1)の過去の竜巻による被害状況から、柏崎刈羽原子力発電所においては送電線等が竜巻による被害を受けることにより、外部電源喪失事象の発生が考えられる。

さらに、柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置から、屋外に軽油タンク、水タンクが配備されていることから、飛来物の衝突により火災事象及び溢水事象が発生する可能性がある。(図 3.4.3)

以上から、竜巻随件事象として火災、溢水、外部電源喪失事象を抽出する。

防護上の観点または機密に係わる事項を含む為、公開できません



軽油タンク等	①	5号炉軽油タンク	軽油タンク等	⑩	7号炉主変圧器
	②	5号炉所内変圧器		⑪	RIP-ASD 入力変圧器
	③	5号炉励磁変圧器		⑫	第一ガスタービン発電機用燃料タンク
	④	5号炉主変圧器		⑬	No.3 純粋タンク, No.4 純粋タンク
	⑤	5号炉起動変圧器		⑭	No.3 ろ過水タンク, No.4 ろ過水タンク
	⑥	6号炉所内変圧器		⑮	5号炉 NSD 収集タンク
	⑦	6号炉主変圧器		⑯	6/7号炉 NSD 収集タンク
	⑧	6号炉起動変圧器		⑰	6号炉苛性ソーダ貯槽, 6号炉硫酸貯槽
	⑨	7号炉所内変圧器		⑱	7号炉苛性ソーダ貯槽, 7号炉硫酸貯槽
			水タンク等		

図 3.4.3 柏崎刈羽原子力発電所のプラント配置図

参考文献

- (1) 「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状況調査報告」(ISSN1346-7328 国総研資料 第 703 号 ISSN 0286-4630 建築研究資料 第 141 号 平成 25 年 1 月)
- (2) 2006 年佐呂間町竜巻被害調査報告(2006 年 11 月 21 日)
- (3) 佐呂間竜巻災害の記録－若佐地区－(平成 19 年 10 月 佐呂間町)