

島根原子力発電所2号炉 竜巻影響評価について (コメント回答)

令和元年9月
中国電力株式会社

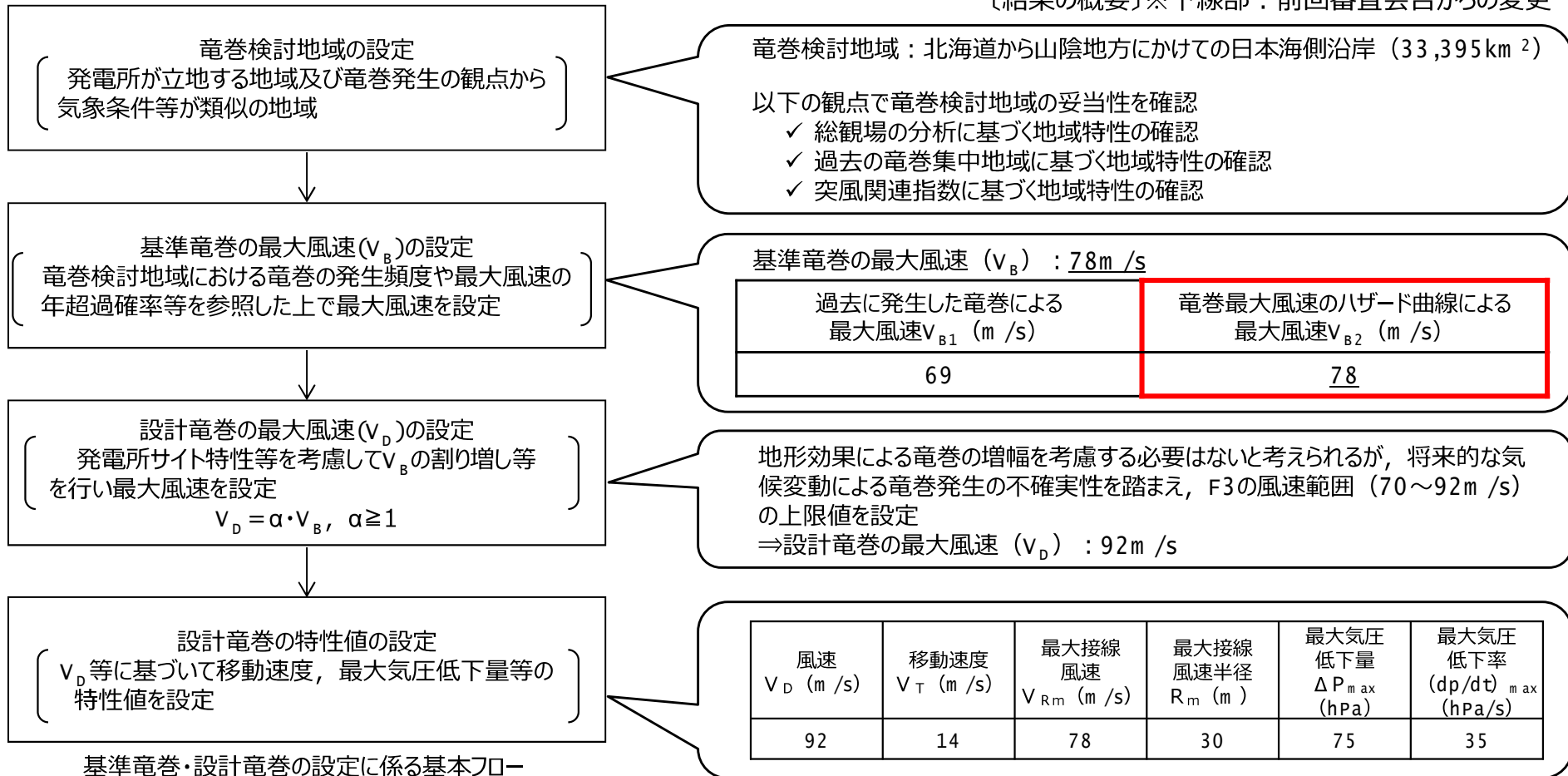
| No. | 審査会合日 | コメント要旨 | 回答頁 |
|-----|---------|---|------|
| 1 | R1.6.27 | 基準竜巻の最大風速 v_B 及び設計竜巻の最大風速 v_D の設定において考慮している将来的な気候変動等について、 v_B と v_D の関係を踏まえ、設計としての時点で考慮すべきか検討し説明すること。 | 2~4 |
| 2 | R1.6.27 | 砂利については竜巻防護ネットを通過するものに該当するため、設計のプロセスの観点から設計飛来物の選定フローを見直し、再度説明すること。 | 5 |
| 3 | R1.6.27 | 障害物となる建物としている建物の高さは設置許可、工事計画認可等の申請書で担保することを検討し説明すること。また、障害物となる建物としている1号機の建物については、1号機の廃止措置計画も踏まえて説明すること。 | 6 |
| 4 | R1.6.27 | 地表面付近の風速場の不確定性と地上からの初期高さの感度解析結果の関係を踏まえ、飛散解析を妥当とする根拠について、詳細に説明すること。 | 7,8 |
| 5 | R1.6.27 | 塊状以外の代表的な想定飛来物についても、地上からの初期高さに係る感度解析結果を示すこと。 | 9,10 |

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(1/3)

■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）
 基準竜巻の最大風速 V_B 及び設計竜巻の最大風速 V_D の設定において考慮している将来的な気候変動等について、 V_B と V_D の関係を踏まえ、設計としてどの時点で考慮すべきか検討し説明すること。

■ 回答
 上記指摘事項を踏まえ、 V_B 及び V_D の設定に関する考え方を見直した

〔結果の概要〕※下線部：前回審査会合からの変更



竜巻検討地域：北海道から山陰地方にかけての日本海側沿岸 (33,395 km²)

以下の観点で竜巻検討地域の妥当性を確認

- ✓ 総観場の分析に基づく地域特性の確認
- ✓ 過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認
- ✓ 突風関連指数に基づく地域特性の確認

基準竜巻の最大風速 (V_B) : 78 m/s

| | |
|-------------------------------------|---|
| 過去に発生した竜巻による 最大風速 V_{B1} (m/s) | 竜巻最大風速のハザード曲線による 最大風速 V_{B2} (m/s) |
| 69 | <u>78</u> |

地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられるが、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、F3の風速範囲 (70~92 m/s) の上限値を設定
 ⇒設計竜巻の最大風速 (V_D) : 92 m/s

| 風速 V_D (m/s) | 移動速度 V_T (m/s) | 最大接線 風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線 風速半径 R_m (m) | 最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa) | 最大気圧 低下率 (dp/dt) _{max} (hPa/s) |
|-------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|--|--|
| 92 | 14 | 78 | 30 | 75 | 35 |

基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(2/3)

基準竜巻の設定

●竜巻検討地域の設定

- ✓ 島根原子力発電所に対する竜巻検討地域について、ガイドを参考に、島根原子力発電所が立地する地域と気象条件の類似性の観点で以下の検討を行い、日本海側沿岸（北海道から本州、各都道府県に含まれる島、離島を含む）の海岸線より海側5kmと陸側5kmの地域（面積：33,395km²）を竜巻検討地域に設定
 - ①総観場の分析に基づく地域特性の確認
 - ②過去の竜巻集中地域に基づく地域特性の確認
 - ③突風関連指数に基づく地域特性の確認

●過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1}

- ✓ 竜巻検討地域における過去最大竜巻は気象庁「竜巻等の突風データベース」によるとF2である
- ✓ F2における風速は50～69m/sであることから、風速範囲の上限値69m/sを V_{B1} と設定



竜巻検討地域における竜巻の観測記録（F1より大きい竜巻）

| 発生日時 | 発生場所 | Fスケール※ |
|-------------|----------------|---------|
| 1962年09月28日 | 北海道宗谷支庁東利尻町 | (F2) |
| 1971年10月17日 | 北海道留萌支庁羽幌町 | (F2) |
| 1974年10月03日 | 北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町 | (F1～F2) |
| 1974年10月20日 | 北海道檜山支庁檜山郡上ノ国町 | (F1～F2) |
| 1975年05月31日 | 島根県簸川郡大社町 | (F2) |
| 1975年09月08日 | 北海道檜山支庁奥尻郡奥尻町 | (F1～F2) |
| 1979年11月02日 | 北海道渡島支庁松前郡松前町 | (F2) |
| 1989年03月16日 | 島根県簸川郡大社町 | (F2) |
| 1990年04月06日 | 石川県羽咋郡富来町 | F2 |
| 1999年11月25日 | 秋田県八森町 | (F1～F2) |

※ Fスケールは、ア)被害の詳細な情報等から推定できたもの、イ)文献等からの引用又は被害のおおまかな情報等から推定したものが、F2以上の事例ではア)とイ)を区別し、イ)の場合には値を括弧で囲んでいる

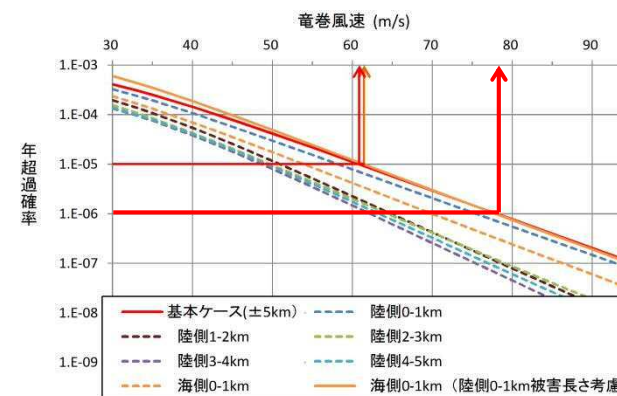
審査会合における指摘事項に対する回答【No.1】(3/3)

基準竜巻・設計竜巻の設定

- 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2}
 - ✓ 竜巻検討地域全域及び竜巻検討地域を1km ごとに細分化（1km 短冊）した場合のハザード曲線を算定した結果、 10^{-5} /年の風速値はそれぞれ61m /s, 62m /sとなる
 - ✓ 竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性を踏まえ、参照する年超過確率を 10^{-5} から一桁下げた年超過確率 10^{-6} における風速とすると、陸側及び海側5km 全域での評価、1km 範囲ごとに細分化した評価ともに78m /sとなる
 - ✓ 以上より、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} は78m /sと設定

- 基準竜巻の最大風速 V_B
 - ✓ V_{B1} 及び V_{B2} のうち、大きな風速を適用し78m /sを V_B と設定

- 設計竜巻の最大風速 V_D
 - ✓ 周辺地形や竜巻の移動方向を確認した結果、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられる
 - ✓ 一方、将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、 V_B の値がF3の風速範囲（70～92m /s）にあることから設計竜巻の最大風速 V_D はF3の風速範囲の上限値92m /sと設定



竜巻最大風速のハザード評価

竜巻の最大風速の算定結果

| 項目 | 最大風速 |
|-------------------------------|--------|
| 過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} | 69m /s |
| 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} | 78m /s |
| 基準竜巻の最大風速 V_B | 78m /s |
| 設計竜巻の最大風速 V_D | 92m /s |

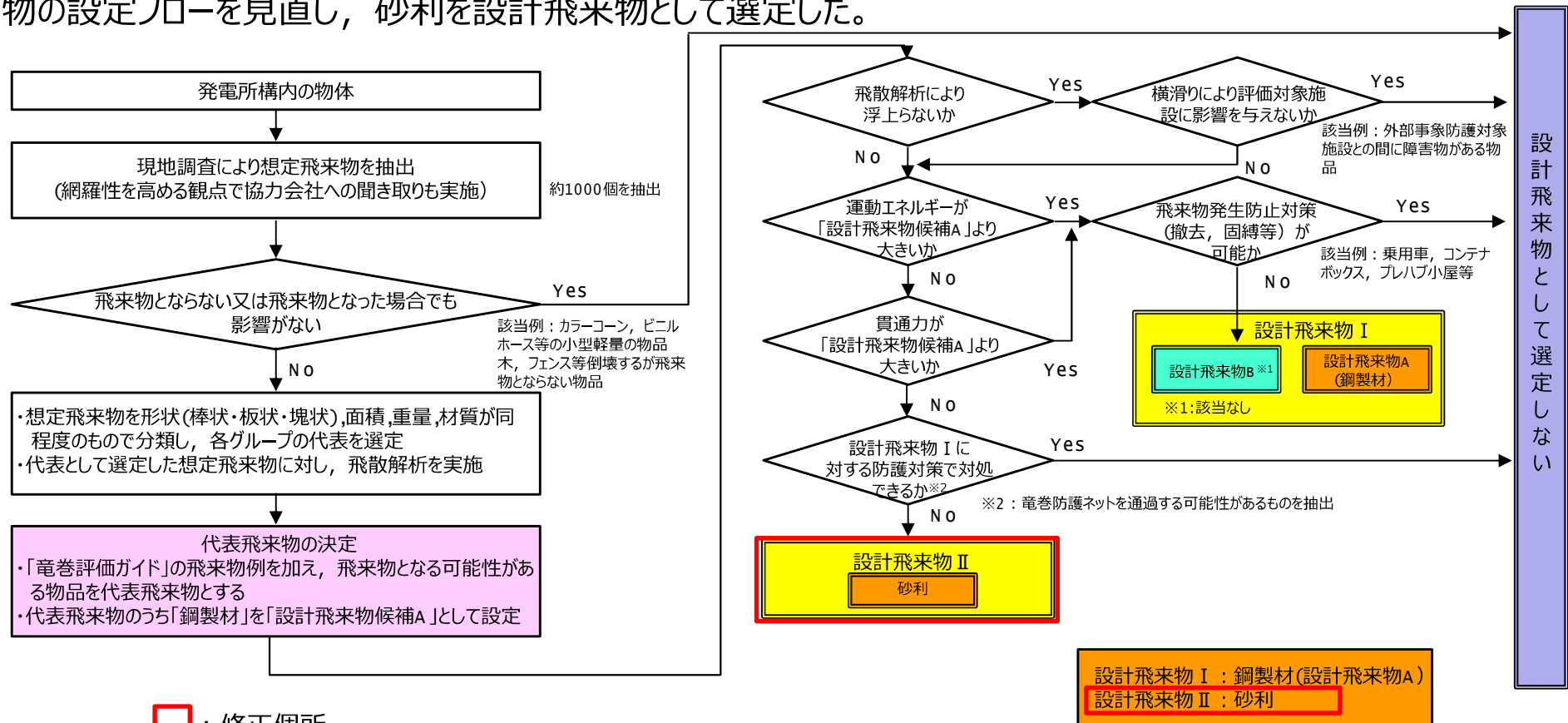
審査会合における指摘事項に対する回答【No.2】

■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）

砂利については竜巻防護ネットを通過するものに該当するため、設計のプロセスの観点から設計飛来物の選定フローを見直し、再度説明すること。

■ 回答

竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻防護ネットを通過する飛来物を設計飛来物として選定するよう設計飛来物の設定フローを見直し、砂利を設計飛来物として選定した。



審査会合における指摘事項に対する回答【No.3】

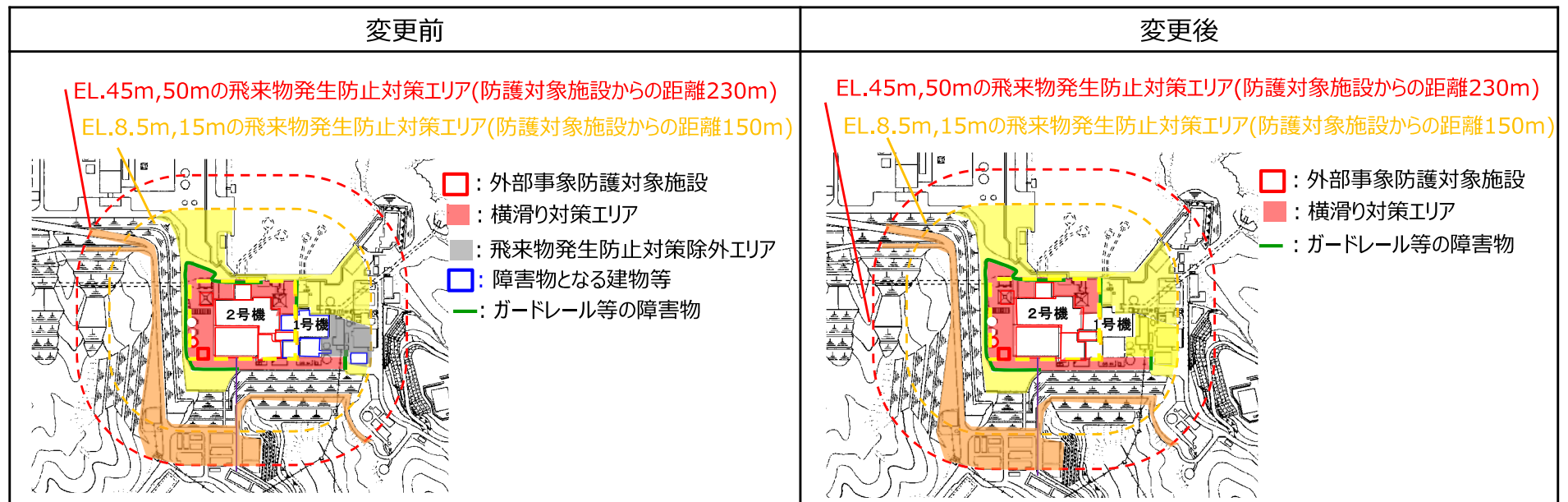
■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）

障害物となる建物としている建物の高さは設置許可，工事計画認可等の申請書で担保することを検討し説明すること。また，障害物となる建物としている1号機の建物については，1号機の廃止措置計画も踏まえて説明すること。

■ 回答

障害物となる建物として，管理事務所2号館，1号炉原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物を考慮していたが，一般的な事務棟である管理事務所2号館は「実用発電用原子炉及びその附属施設」とは位置付けておらず設置変更許可や工事計画認可の申請書で担保することが難しいこと，また，1号炉は廃止措置中であり将来的には建物を撤去することから，飛散する物品に対して建物を障害物として考慮せずに飛来物発生防止対策エリアを設定し，新たに飛来物発生防止対策エリアとなった範囲も含め固縛等の飛来物発生防止対策を実施することとする。

資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの変更前後



審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(1/2)

■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）

地表面付近の風速場の不確定性と地上からの初期高さの感度解析結果の関係を踏まえ、飛散解析を妥当とする根拠について、詳細に説明すること。

■ 回答

前回審査会合（R1.6.27）において、フジタモデルの地表面付近の風速場の不確定性を考慮し、地表面に設置された物品の飛散解析の妥当性を確認するために、フジタモデルの風速場で約90m/sの風速となる高さである地上からの初期高さを5mとした場合の飛散解析も実施し、以下を説明した。

- ・地上からの初期高さ0mの解析結果は、飛来物発生防止対策エリアの設定に使用
- ・地上からの初期高さ5mの解析結果は、地上からの初期高さ0mの最大飛散距離を超えないことから、飛来物発生防止対策エリアの設定に影響がない

今回、地上からの初期高さ0mの解析結果の方が地上からの初期高さ5mに比べ飛散距離が大きくなったことに対する考察及び地表面に設置された物品の飛散解析の妥当性について説明する。（次頁参照。）

地上からの初期高さ0m及び5mの解析結果

| 分類 | 地上からの初期高さ0mの解析結果 | 地上からの初期高さ5mの解析結果 |
|--------|--|--------------------------------------|
| 資機材・車両 | 設計飛来物の影響を超えるもののうち最大飛散距離は乗用車 ^{※1} の144m | 飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた最大飛散距離（144m）を超えない |
| 軽量大型機材 | 設計飛来物の影響を超えるもののうち最大飛散距離はプレハブ小屋 ^{※2} の222m | 飛来物発生防止対策エリアの設定に用いた最大飛散距離（222m）を超えない |

※1 乗用車の諸元：長さ5.2m 幅1.9m 高さ2.3m，質量1,890kg

※2 プレハブ小屋の諸元：長さ7.2m 幅27m 高さ3.4m，質量7,500kg

審査会合における指摘事項に対する回答【No.4】(2/2)

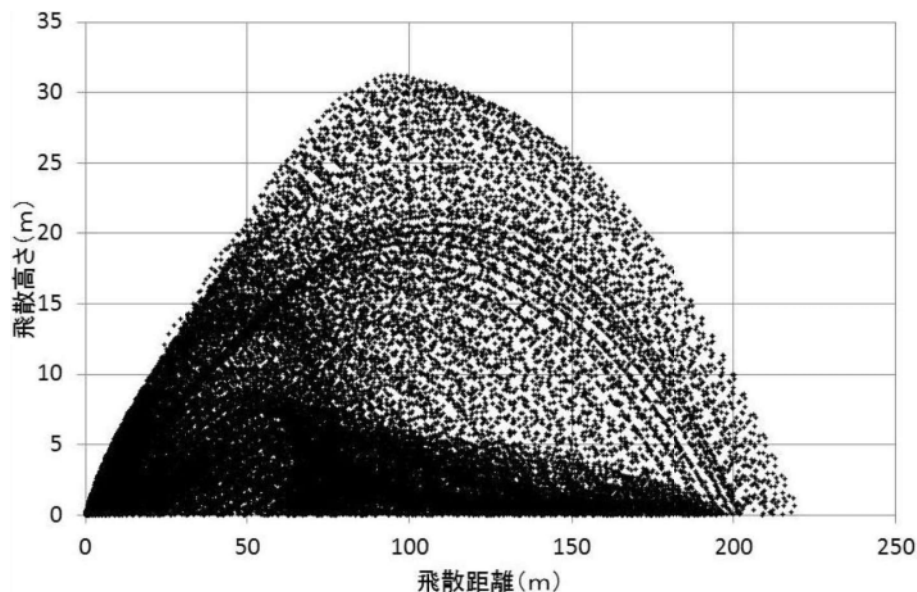
解析結果に対する考察及び飛散解析の妥当性について

フジタモデルを風速場として用いて飛散解析を行う解析コード「TONBOS」では、飛来物の運動モデルに流体抗力と地面効果による揚力を考慮しており、地面効果による揚力は、地面から物品高さの3倍まで作用するよう設定している。(飛来物の運動モデルについては11ページ参照。)

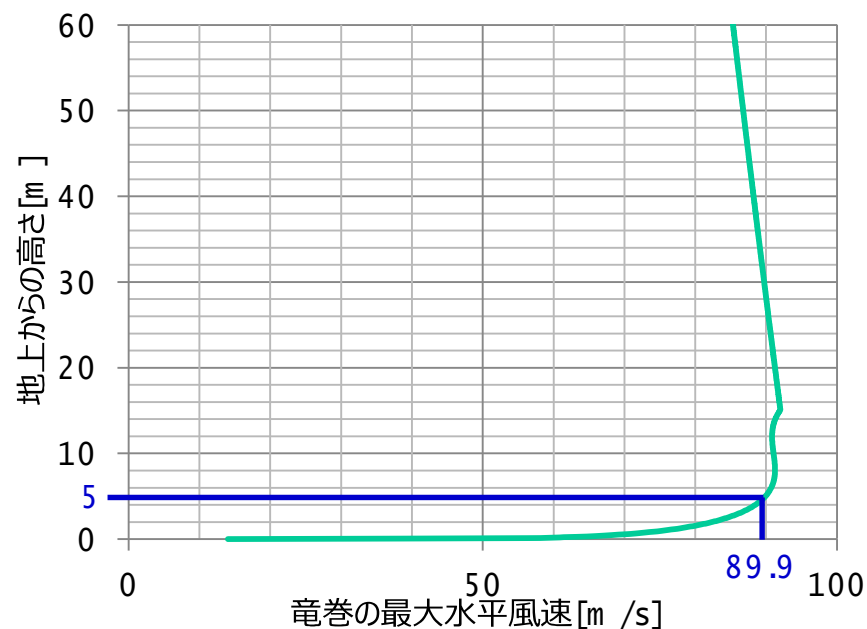
「資機材・車両」や「軽量大型機材」に分類されるような表面積及び物品高さ大きい物品は、地面効果による揚力の影響により高く浮上すること及び地上からの初期高さ0mとした方が地上からの初期高さ5mより長時間設計竜巻の最大風速程度の強い風を受けることが要因で飛散距離が大きくなったと考えられる。

プレハブ小屋の例では、左図の通り飛散高さが最大で約30mとなっており、右図より地上からの高さ30mでは、90m/s程度の強い風を受けることになる。

従って、飛来物発生防止対策エリアの設定に対して、地表面付近の風速場の不確定性の影響は小さく、地表面に設置した物品に対する飛散解析結果を用いることは妥当であると考えられる。



プレハブ小屋(軽量大型機材)の飛跡
(諸元：長さ7.2m 幅27m 高さ3.4m，質量7,500kg，
最大風速92m/s，地上からの初期高さ0m)



フジタモデルの風速場における最大水平風速と地上からの高さ
(最大風速92m/s，外部コア半径位置)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5】(1/2)

■ 指摘事項（審査会合R1.6.27）

塊状以外の代表的な想定飛来物についても、地上からの初期高さに係る感度解析結果を示すこと。

■ 回答

地上からの初期高さが飛散距離に及ぼす影響を確認するために、地上からの初期高さに係る感度解析を実施する。

感度解析を実施する対象飛来物については、3種類の物品形状（塊状、板状、棒状）のうち、それぞれ地上からの初期高さを0mとした場合の飛散距離が最大となる物品を選定する。

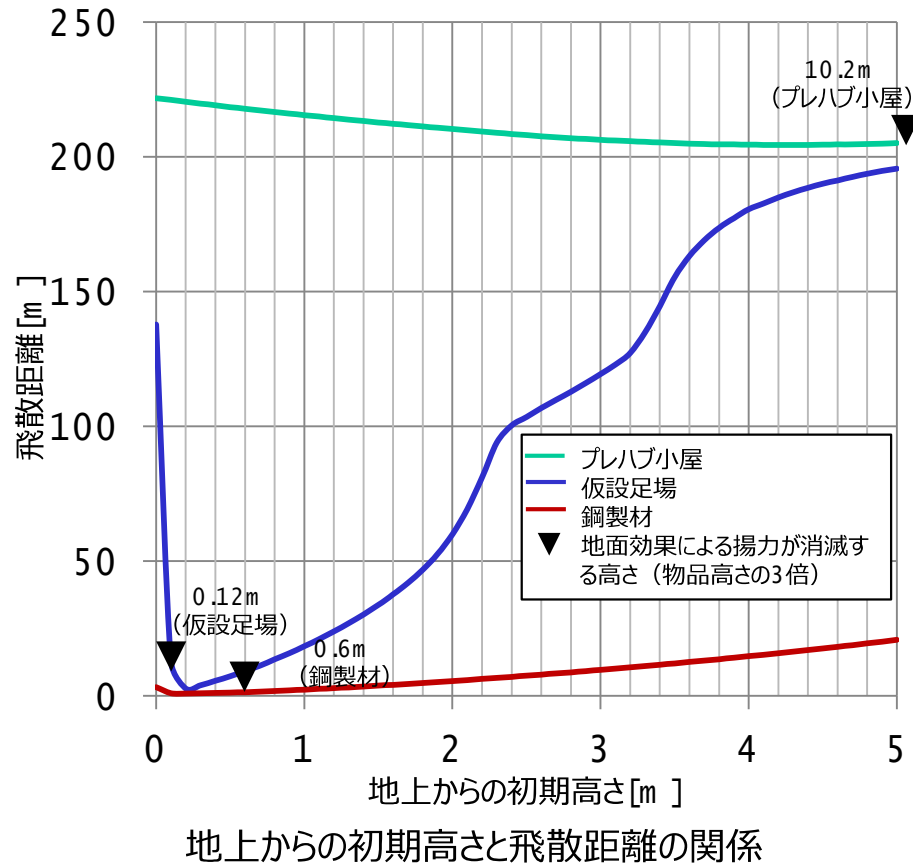
地上からの初期高さの感度解析条件

| | |
|-----------------------------------|---|
| 最大風速 | 92m /s |
| 地上からの初期高さの解析範囲 | 0～5m (フジタモデルの風速場で約90m /sの風速となる地上からの高さ) |
| 対象物品 (3種類の物品形状のうち飛散距離が最大となる物品) | 塊状：プレハブ小屋 (諸元：長さ7.2m × 幅27m × 高さ3.4m 質量7,500kg 空力パラメータ 0.0277m ² /kg) 板状：仮設足場 (諸元：長さ0.25m × 幅4m × 高さ0.04m 質量14kg 空力パラメータ 0.0557 m ² /kg) 棒状：鋼製材 (諸元：長さ0.3m × 幅4.2m × 高さ0.2m 質量135kg 空力パラメータ 0.0066 m ² /kg) |

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5】(2/2)

地上からの初期高さの感度解析結果

各対象物品の感度解析結果及び考察



| 対象物品 | 感度解析結果及び考察 |
|-------------|--|
| プレハブ小屋 (塊状) | 【結果】地上からの初期高さの増加に伴い、飛散距離が減少 【考察】地上からの初期高さの増加に伴い、物品に作用する初期風速も増加するが、地面効果による揚力の減少の影響の方が大きい |
| 仮設足場 (板状) | 【結果】地上からの初期高さ約0.1mまでは、地上からの初期高さの増加に伴い、飛散距離が減少し、その後は、地上からの初期高さの増加に伴い、飛散距離が増加 【考察】地上からの初期高さ約0.1mまでは、物品の地上からの初期高さの増加に伴い、地面効果による揚力が減少するためであり、その後は、地面効果による揚力が消滅するが、鋼製材 (棒状) よりも空力パラメータが大きく、地上からの初期高さの増加に伴い、物品に作用する初期風速が増加し、流体抗力が増加するため |
| 鋼製材 (棒状) | 【結果】地上からの初期高さの増加に伴い、飛散距離が徐々に増加 【考察】鋼製材 (棒状) は物品高さが低いいため地面効果による揚力の影響を受けにくく、仮設足場 (板状) よりも空力パラメータが小さいことから、地面効果による揚力が消滅した後も竜巻風速により加速されにくい |

仮設足場 (板状) 及び鋼製材 (棒状) は地上からの初期高さの増加に伴い飛散距離も大きくなる傾向が確認されたが、これらを含め構内の現地調査等で確認された板状、棒状の物品は、飛散した場合の影響が設計飛来物以下であることを確認しており、飛来物発生防止対策エリアの設定に影響しない。

【参考】飛来物の運動モデルについて

飛散解析コード「TONBOS」では、飛来物に流体抗力、地面効果による揚力、重力が作用するよう、飛来物の運動をモデル化している。また、地面効果による揚力は、物品高さの3倍の高さで消滅するよう考慮している。

地面上の物体（図の状態A）は、地面効果による揚力が重力を上回ると浮上し、浮上後の物品底面の高さ $z \leq 3d$ の高さの範囲（図の状態B）では、地面効果による揚力と流体抗力の影響を受けて飛散する。地面効果による揚力は、 z が大きくなるほど小さくなり、 $z > 3d$ の高さの範囲（図の状態C）は0となるようモデル化している。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - (g - L) \mathbf{k}$$

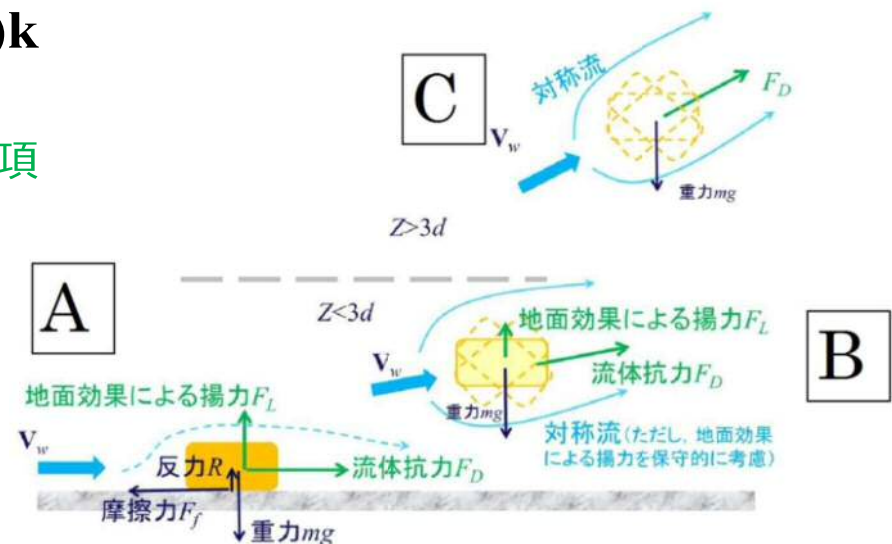
↑ 抗力項 ↑ 重力項 ↑ 揚力項

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d)$$

$$f(Z/d) = \begin{cases} \{1 - (Z/3d)\} / \{1 + (Z/d)\} & (0 \leq Z \leq 3d) \\ 0 & (3d < Z) \end{cases}$$

\mathbf{V}_M : 飛来物の速度ベクトル(m/s)
 \mathbf{V}_w : 風速ベクトル(m/s)
 ρ : 空気密度(kg/m³)
 C_D : 飛来物の平均抗力係数(-)
 A : 飛来物の代表見附面積(m²)
 m : 飛来物の質量(kg)

g : 重力加速度(m/s²)
 \mathbf{k} : 上向き単位ベクトル(-)
 L : 揚力による加速度(z方向)(m/s²)
 $|*|_{x,y}$: *のx,y成分(水平成分)の大きさ
 Z : 物品底面の高さ(m)
 d : 物品高さ(m)



物品高さ d の飛来物の運動モデルの模式図
 (A: 地面上, B: $Z \leq 3d$ の高さの範囲, C: $Z > 3d$ の高さの範囲,
 ただし、 $Z = z - d/2$)