

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 03 R2
提出年月日	令和 3 年 5 月 21 日

設工認に係る補足説明資料

竜巻防護設計の基本方針に関する

飛来物の選定について

## 目 次

1. 概要	1
2. 飛来物の選定について	1
2.1 飛散評価	1
2.2 対策要否の判定	7

## 1. 概要

本資料は、再処理施設、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設の設計基準対象施設に対する後次回申請を含めた飛来物の選定及び飛来物発生防止対策について説明するものである。

ここでは、再処理事業所敷地内において屋外に保管している資機材及び駐車している車両について、最大水平速度、運動エネルギー等の算出方法及び対策要否の判定方法を示す。

また、本資料は、第1回申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」
- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-2 固縛対象物の選定」
- ・MOX燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」
- ・MOX燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-2-3 固縛対象物の選定」

## 2. 飛来物の選定について

再処理事業所敷地内において屋外に保管している資機材等については、竜巻防護対象施設等への影響の有無を確認し、影響を及ぼすおそれがあるものについては、飛来物として選定し、固定、固縛、竜巻防護対象施設等からの隔離及び頑健な建屋内に収納又は撤去などの飛来物発生防止対策を講ずる必要がある。

飛来物の選定及び飛来物発生防止対策の要否を判定する手順について説明する。

### 2.1 飛散評価

飛来物源である資機材及び車両が、設計竜巻により飛来物となり飛散した評価を行う。設計飛来物である鋼製材に加え、再処理事業所敷地内における飛来物の現地調査結果から鉄筋、車両を計算例として選定する。

飛散評価は、寸法、質量、形状、並びにこれらの値より算出する空力パラメータより、解析コード「TONBOS」を用いて最大飛来速度、飛散高さ、水平飛散距離を算出する。

なお、「TONBOS」で用いる設計竜巻の風速場モデルはランキン渦モデルを基本とするが、車両の飛散高さ及び飛散距離の算出においては、地表面の風速場をよく再現しているフジタモデルを採用する。

#### (1) 空力パラメータの算出

空力パラメータは飛来物の各寸法（長さ×幅×奥行き（高さ））より受圧面積を算出し、飛来物の質量及び抗力係数より算出する。a. 項に算出式、b. 項に計算例を示す。

a. 算出式

空力パラメータは (1.1) 式により算出する。

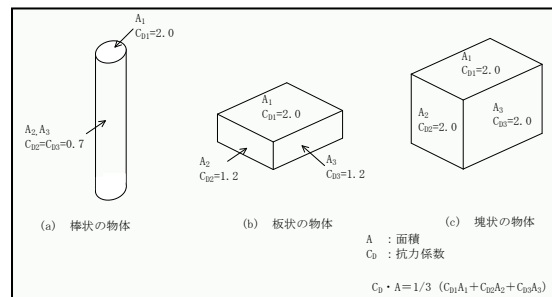
$$\frac{C_D A}{M} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{M} \quad \dots (1.1)$$

A : 代表面積 (m<sup>2</sup>)

c : 係数 (1/3)

C<sub>D</sub> : 抗力係数 (第 1 図)

M : 質量 (kg)

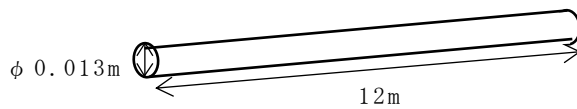


第 1 図 抗力係数

b. 計算例

(a) 鉄筋 (棒状物体) (第 2 図)

長さ : 12m 直径 : 0.013m 質量 : 11.9kg



第 2 図 鉄筋

円形断面であるので、抗力係数 C<sub>D</sub> は、C<sub>D1</sub> = 2.0、C<sub>D2</sub> = 0.7、C<sub>D3</sub> = 0.7 である。

$$\frac{C_D A}{M} = \frac{c(C_{D1}A_1^{*1} + C_{D2}A_2^{*2} + C_{D3}A_3^{*2})}{M} \quad \text{より}$$

※ 1 : 0.013m の正方形断面として算出

※ 2 : 見付面積 (直径 × 長さ) を算出

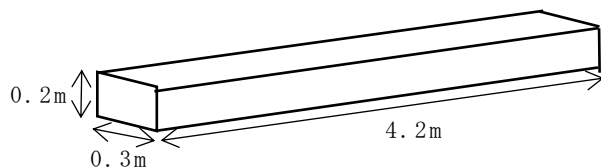
空力パラメータは、

$$\frac{C_D A}{M} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(2.0 \times 0.013 \times 0.013 + 0.7 \times 0.013 \times 12 + 0.7 \times 12 \times 0.013)}{11.9}$$

$$= 0.0061 \text{ (m}^2\text{/kg)}$$

(b) 鋼製材 (設計飛来物) (棒状物体) (第3図)

長さ : 4.2m 幅 : 0.30m 厚さ : 0.20m 質量 : 135kg



第3図 鋼製材

矩形断面であるので、抗力係数 $C_D$ は、 $C_{D1}=2.0$ 、 $C_{D2}=1.2$ 、 $C_{D3}=1.2$ である。

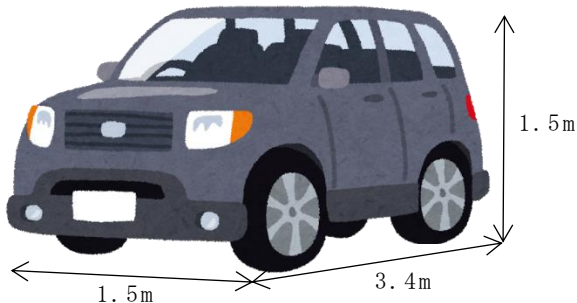
$$\frac{C_D A}{M} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{M} \quad \text{より}$$

空力パラメータは、

$$\begin{aligned} \frac{C_D A}{M} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{(2.0 \times 0.2 \times 0.3 + 1.2 \times 0.3 \times 4.2 + 1.2 \times 0.2 \times 4.2)}{135} \\ &= 0.0065 \text{ (m}^2\text{/kg)} \end{aligned}$$

(c) 車両 (塊状物体) (第4図)

長さ : 3.4m 幅 : 1.5m 厚さ : 1.5m 質量 : 710kg



第4図 車両

塊状物体であるので、抗力係数 $C_D$ は、 $C_{D1}=2.0$ 、 $C_{D2}=2.0$ 、 $C_{D3}=2.0$ である。

$$\frac{C_D A}{M} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{M} \quad \text{より}$$

空力パラメータは、

$$\begin{aligned} \frac{C_D A}{M} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{(2.0 \times 3.4 \times 1.5 + 2.0 \times 1.5 \times 1.5 + 2.0 \times 1.5 \times 3.4)}{710} \\ &= 0.0117 \text{ (m}^2\text{/kg)} \end{aligned}$$

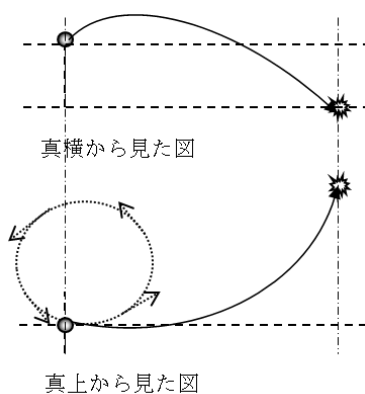
(2) 初期高さ

ランキン渦モデルの場合、飛散評価における初期高さは40mとし、初期状態から上昇流を受ける評価としている。

(3) 飛来物の最大水平速度、飛散高さ及び飛散距離の算出

飛来物の形状による入力条件をもとに、解析コード「TONBOS」を用いて、飛来物の最大速度、飛散高さ及び飛散距離を求める。解析の風速場モデルをランキン渦モデルとした場合の飛来物の軌跡評価のイメージを第5図に示す。

解析コード「TONBOS」の詳細については、添付書類「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



第5図 飛来物の軌跡評価のイメージ

第1表に(1) b. 項の計算例に示した、鉄筋、鋼製材及び車両の飛散評価による各数値の算出結果を示す。

第1表 飛来物の最大速度等

飛来物の種類	棒状物体 (円形断面)	棒状物体 (矩形断面)	塊状物体
	鉄筋	鋼製材	車両
寸法(m)	長さ×直径 12×0.013	長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×高さ 3.4×1.5×1.5
質量(kg)	11.9	135	710
空力パラメータ (m <sup>2</sup> /kg)	0.0061	0.0065	0.0117
飛来物の最大水平速度 (m/s)	48	51 <sup>*1</sup>	55.8
飛散高さ(m)	26	— <sup>*1</sup>	8.6 <sup>*2</sup>
飛散距離(m)	302	— <sup>*1</sup>	170 <sup>*2</sup>

注記 ※1：鋼製材は設計飛来物であり、最大水平速度は、竜巻影響評価ガイドの値を用いることとし、TONBOSでの飛散評価では決定しない。

※2：車両の飛散高さ及び飛散距離の算出においては、ランキン渦モデルよりもフジタモデルの方が地表面の風速場をよく再現していること及び車両は地表面にあることから、フジタモデルを採用する。フジタモデルについては「外竜巻21 竜巻影響評価の風速場モデルについて」にて示す。

#### (4) 運動エネルギーの算出

飛散評価によって算出された飛来物の最大水平速度により、運動エネルギーを算出する。

##### a. 運動エネルギーの算出式

飛来物の運動エネルギーEは下式によって算出する。

$$E = 0.5M \cdot V^2$$

M：飛来物の質量(kg)

V：飛来物の最大水平速度(m/s)

##### b. 計算例

###### (a) 鉄筋（棒状物体）

質量：11.9kg 最大水平速度：48 m/s

・運動エネルギー（水平） $E = 0.5M \cdot V_{max}^2 = 0.5 \times 11.9 \times 48^2 = 14$  (kJ)

###### (b) 鋼製材（棒状物体）

質量：135kg 最大水平速度：51 m/s

・運動エネルギー（水平） $E = 0.5M \cdot V_{max}^2 = 0.5 \times 135 \times 51^2 = 176$  (kJ)

###### (c) 車両（塊状物体）

質量：710kg 最大水平速度：55.8 m/s

・運動エネルギー (水平)  $E = 0.5M \cdot V_{max}^2 = 0.5 \times 710 \times 55.8^2 = 1105 \text{ (kJ)}$

(5) 貫通力の算出

飛来物の貫通力を、コンクリートに対して米国 N R C の基準類に算出式として記載されている修正 N D R C 式 (1.2) 及び D e g e n 式 (1.3)、鋼板に対して「タービンミサイル評価 (昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)」の中で貫通厚さの算出式に使用されている B R L 式から求める。また、コンクリートに対する裏面剥離限界厚さは、実物航空機のエンジン実験に基づき、C h a n g 式から求める。

< 修正 N D R C 式及び D e g e n 式 >

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_c}{a_c d} \leq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} &= 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5} \\ \frac{x_c}{a_c d} \geq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} &= 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_c}{a_c d} \leq 1.52 \quad \text{の場合} \quad t_p &= a_p d \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right)^2 \right\} \\ 1.52 \leq \frac{x_c}{a_c d} \leq 13.42 \quad \text{の場合} \quad t_p &= a_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

$t_p$  : 貫通限界厚さ (cm)

$x_c$  : 貫入深さ (cm)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度

$d$  : 飛来物の直径 (cm)

(飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

$M$  : 飛来物の質量 (kg)

$V$  : 飛来物の最大水平速度 (m/s)

$N$  : 飛来物の先端形状係数

$\alpha_c$  : 飛来物の低減係数

$\alpha_p$  : 飛来物の低減係数

< B R L 式 >

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5mv^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

$T$  : 貫通限界厚さ (m)

$d$  : 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m)

(最も投影面積が小さくなる衝突断面の等価直径)

$K$  : 鋼板の材質に関する係数 (= 1.0)

$m$  : 飛来物の質量 (kg)

$v$  : 飛来物の飛来速度 (m/s)



< C h a n g 式 >

$$S = 1.84\alpha_s \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13} \cdot \frac{(mV^2)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c'^{0.4}}$$

s : 裏面剥離限界厚さ (ft)

$\alpha_s$  : 飛来物係数

$V_0$  : 飛来物基準速度 (200ft/s)

V : 飛来物衝突速度 (ft/s)

m : 飛来物質量 (lb)

d : 飛来物直径 (ft)

$f_c'$  : コンクリート圧縮強度 (lbf/ft<sup>2</sup>)

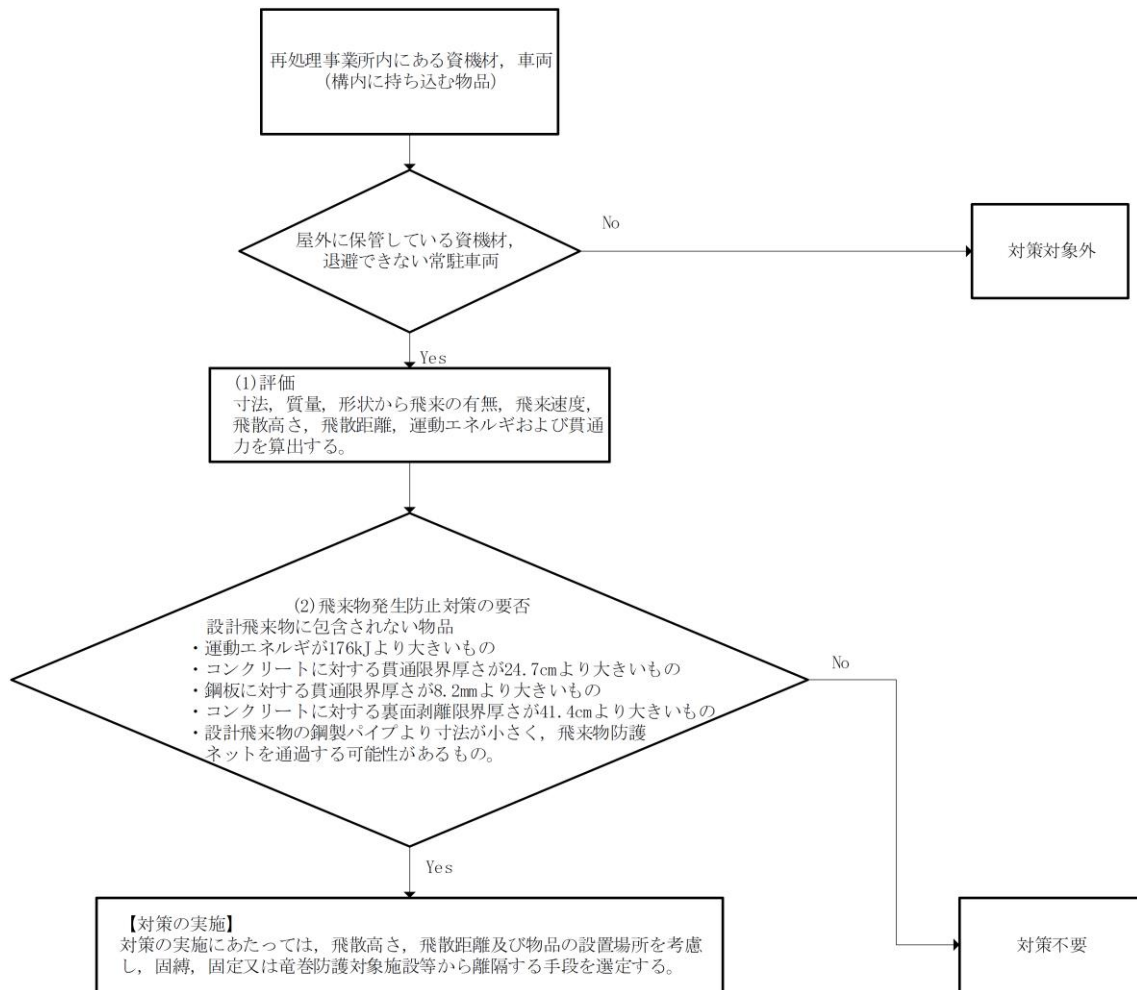
## 2.2 対策要否の判定

2.1(4)項にて算出した運動エネルギーが、以下に示す指標より設計飛来物に包含されていない物品については、飛来物発生防止対策(固縛, 固定又は竜巻防護対象施設等からの隔離)を行う。飛来物発生防止対策のうち固縛対策については、屋外の重大事故等対処設備に対する固縛対策にて説明する。

飛来物源である資機材及び車両に対して、飛来物として選定し、飛来物発生防止対策の要否の判定をするフローを第6図に示す。

### 【設計飛来物に包含されない飛来物の指標】

- 運動エネルギーが設計飛来物に設定している鋼製材の176kJより大きいもの。
- コンクリートに対する貫通力(貫通限界厚さ)が設計飛来物に設定している鋼製材の24.7cmより大きいもの。
- 鋼板に対する貫通力(貫通限界厚さ)が設計飛来物に設定している鋼製材の8.2mmより大きいもの。
- コンクリートに対する貫通力(裏面剥離限界厚さ)が設計飛来物に設定している鋼製材の41.4cmより大きいもの。
- 設計飛来物の鋼製パイプより寸法が小さく、飛来物防護ネットを通過する可能性があるもの。なお、砂利等の極小飛来物については「外竜巻20砂利等の極小飛来物による竜巻防護対象施設への影響について」にて示す。



第6図 飛来物の選定及び飛来物発生防止対策の要否の判定フロー

以上