

---

# 東海第二発電所

## 外部からの衝撃による損傷の防止 (竜巻)

平成29年8月24日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、の内容は商業機密又は防護上の観点から公開できません。

1. 東海第二発電所の竜巻影響評価方針.....	3
2. 竜巻影響評価の対象施設の抽出.....	4
3. 設計竜巻の設定.....	7
3-1. 設計竜巻の設定の概要.....	7
3-2. 竜巻検討地域( $T_A$ )の設定.....	8
3-3. 基準竜巻の最大風速( $V_B$ )の設定.....	9
3-4. 設計竜巻の最大風速( $V_D$ )の設定.....	10
4. 竜巻影響評価.....	11
4-1. 設計荷重の設定.....	11
5. 防護設計方針.....	17
5-1. 評価対象施設の防護設計方針.....	17
5-2. 防護対策.....	18
別紙 外部事象に対する津波防護施設, 浸水防護施設及び津波監視設備の 防護方針について	

# 1. 東海第二発電所の竜巻影響評価方針



原子力規制委員会の定める「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」第六条において，外部からの衝撃による損傷の防止として，「安全施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）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」としており，敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして，竜巻の影響を挙げている。

発電用原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風，強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随件事象等によって発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計であることを評価するため，「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照し，竜巻影響評価を実施し，安全機能が維持されることを確認する。

東海第二発電所の竜巻影響評価での特有の事項は以下の項目がある。

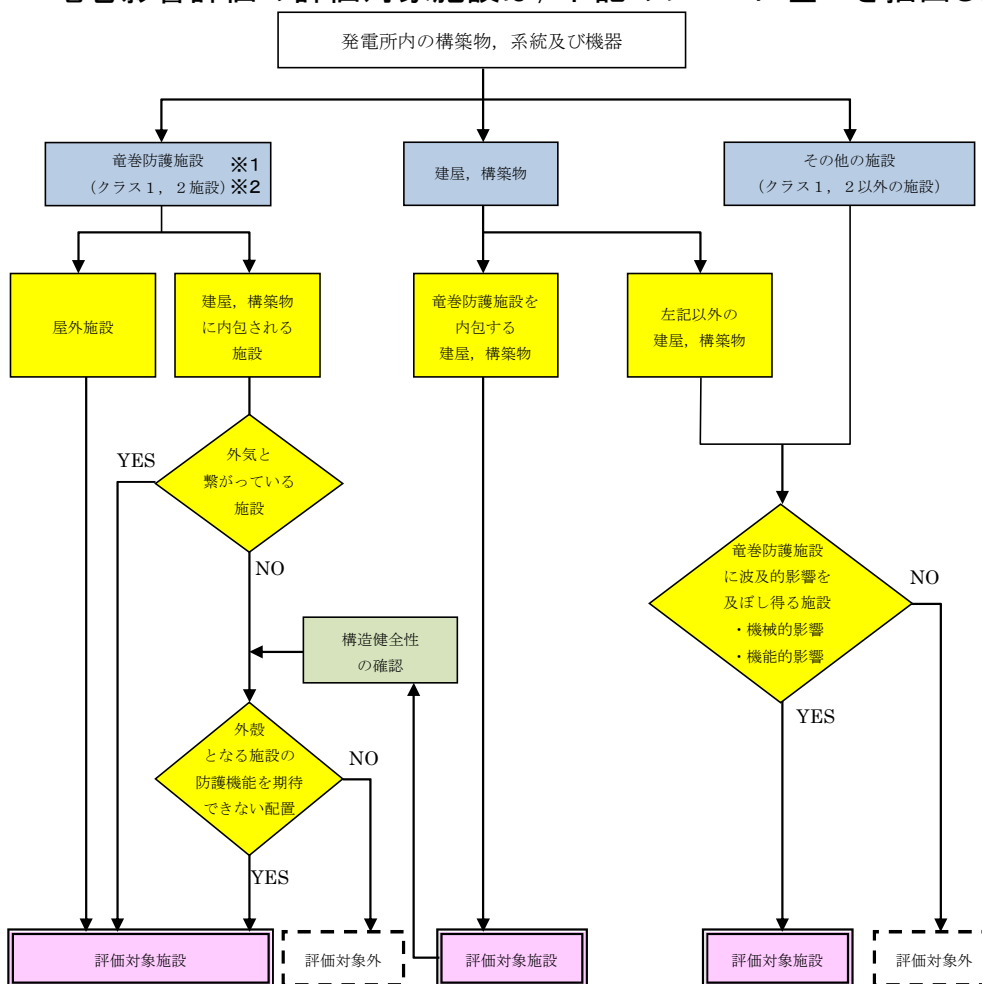
- ① 飛散評価の竜巻風速場モデルへのフジタモデルの適用
- ② 東海第二発電所敷地外からの飛来物の影響  
（東海発電所（廃止措置中），近隣の一般国道及び近隣施設）
- ③ 竜巻防護施設選定における防潮堤の取扱い

# 2. 竜巻影響評価の対象施設



## 2-1 評価対象施設の抽出

竜巻影響評価の評価対象施設は、下記のフローに基づき抽出した。



評価対象施設の抽出フロー

( Page. 6条 (竜巻)-1-3参照)

竜巻防護施設	屋外施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機吸気フィルタ</li> <li>・ディーゼル発電機室ルーフトファン</li> <li>・中央制御室換気系冷凍機</li> <li>・海水ポンプ室内設備</li> <li>・非常用ガス処理系排気配管</li> <li>・排気筒</li> </ul>
	竜巻防護施設を内包する施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・軽油貯蔵タンクタンク室</li> </ul>
竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	屋内の施設で外気と繋がっている施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気系隔離弁, ファン (ダクト含む)</li> <li>・ディーゼル発電機室換気系ダクト</li> <li>・原子炉建屋換気系隔離弁, ダクト</li> </ul>
	外殻となる施設による防護機能が期待できない施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気系ファン</li> <li>・非常用電源盤</li> <li>・非常用ガス処理系設備</li> <li>・非常用ガス再循環系設備</li> <li>・使用済燃料プール</li> <li>・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵容器</li> </ul>
	倒壊により、竜巻防護施設を機能喪失させる可能性がある施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サービス建屋</li> <li>・鋼製防護壁</li> <li>・海水ポンプ室</li> <li>・排気筒</li> </ul>
	屋外に設置されている竜巻防護施設の附属施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディーゼル発電機排気消音器</li> <li>・ディーゼル発電機附属設備配管</li> <li>・海水ポンプ室内設備附属配管</li> </ul>

評価対象施設

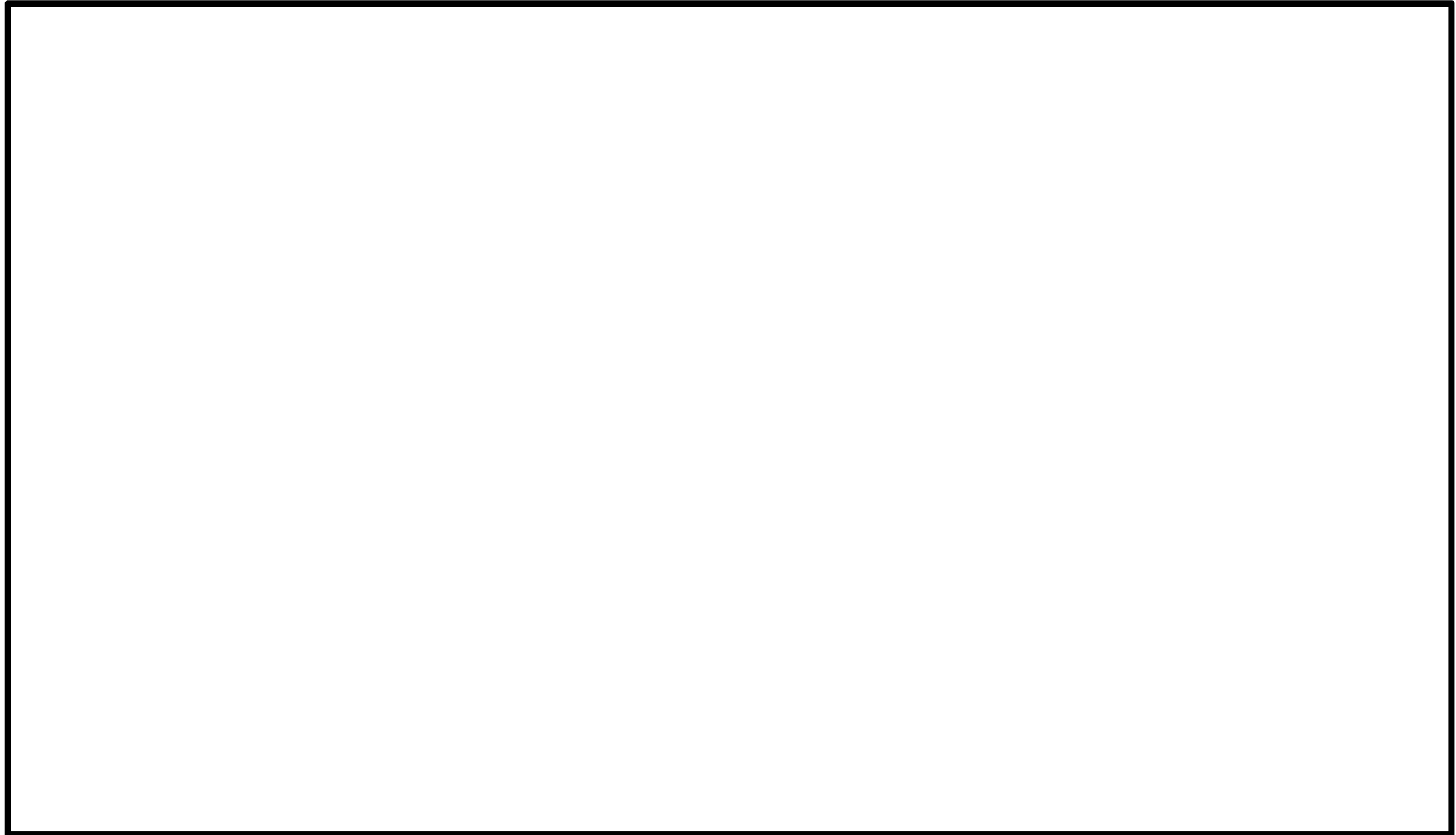
( Page. 6条 (竜巻)-1-4~11参照)

※1: クラス3施設については、竜巻による損傷を考慮して、代替設備による機能確保、安全上支障の無い期間での修復等の対応が可能な設計とするため、評価対象施設の抽出対象としない。

※2: 防潮堤の取扱いについては別紙参照。

## 2. 竜巻影響評価の対象施設の抽出

### 2-3 評価対象施設のうち、竜巻防護施設

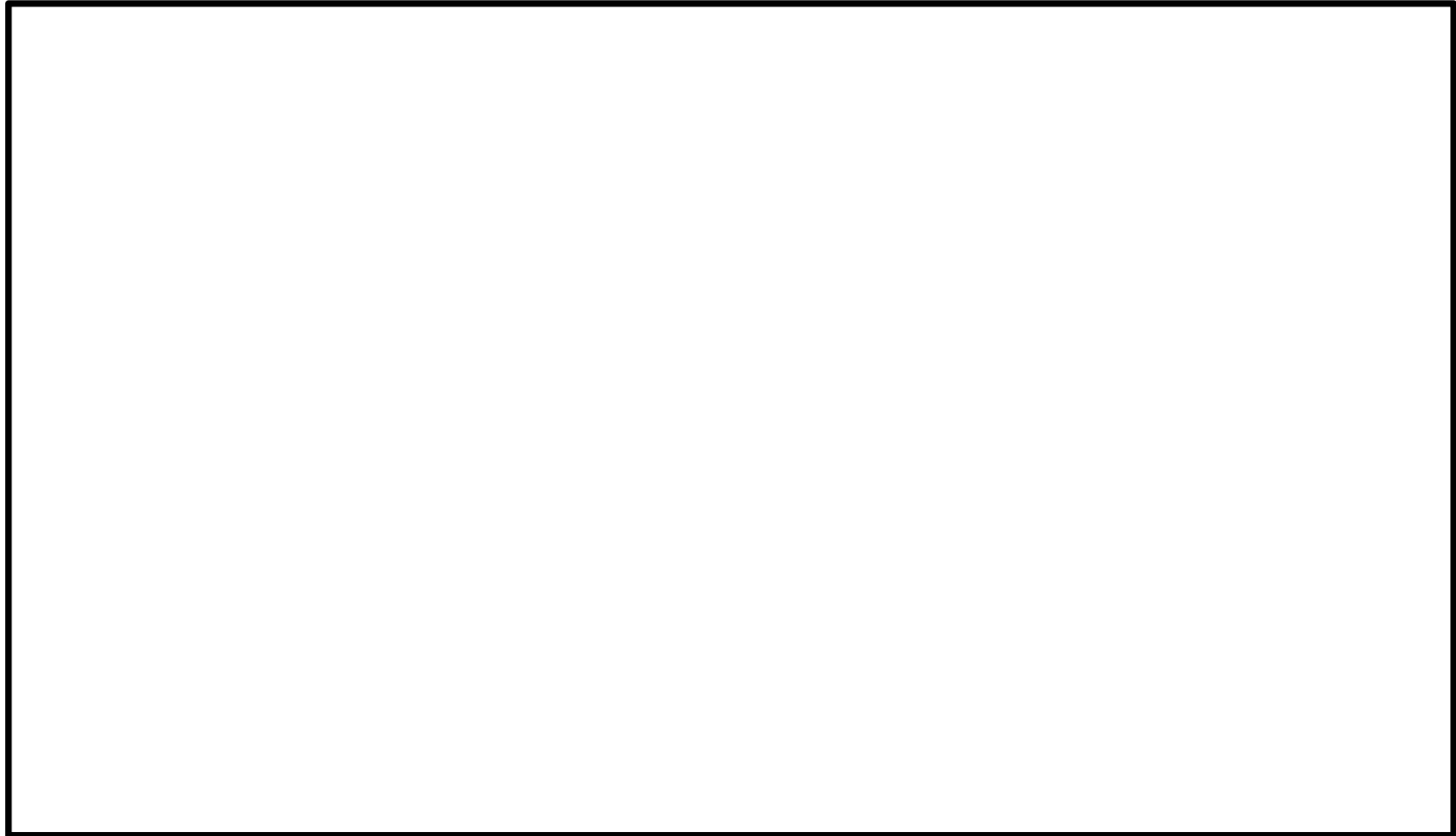


竜巻防護施設（屋外施設）の配置図

## 2. 竜巻影響評価の対象施設の抽出



### 2-4 評価対象施設のうち、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設



竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

# 3. 設計竜巻の設定

## 3-1 設計竜巻の設定の概要

下のフローに従い、設計竜巻を設定した。

〔結果の概要〕

### 3-1. 竜巻検討地域 (T<sub>A</sub>) の設定

竜巻検討地域の設定  
 [ 東海第二発電所が立地する地域及び竜巻発生観点から東海第二発電所が立地する地域と気象条件が類似の地域を基に設定 ]

竜巻検討地域：総観場の気象条件に基づく福島県～沖縄県の太平洋沿岸

	領域面積 (km <sup>2</sup> )	51.5年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数 (個/年/km <sup>2</sup> )
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T A <sub>1</sub>	57,000	300	1.02 × 10 <sup>-4</sup>
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T A <sub>2</sub>	7,900	40	0.98 × 10 <sup>-4</sup>

### 3-2. 基準竜巻の最大風速 (V<sub>B</sub>) の設定

基準竜巻の最大風速 (V<sub>B</sub>) の設定  
 [ 竜巻検討地域における竜巻の発生頻度や最大風速の年超過確率等を参照し、最大風速を設定 ]

基準竜巻の最大風速 (V<sub>B</sub>) : 過去最大竜巻による最大風速 92 m/s

過去最大竜巻による最大風速 V <sub>B1</sub> (m/s)	ハザード曲線による最大風速 V <sub>B2</sub> (m/s)
92	80

### 3-3. 設計竜巻の最大風速 (V<sub>D</sub>) の設定

設計竜巻の最大風速 (V<sub>D</sub>) の設定  
 [ サイト特性等を考慮して必要に応じて V<sub>B</sub> の割増し等を行い最大風速を設定 ]

- ・平坦な地形のため、地形効果の影響による竜巻の増幅は考慮しない。
- ・現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず不確実性があることを考慮する。

⇒ V<sub>D</sub> は、基準竜巻の最大風速 92 m/s を安全側に切り上げ 100 m/s とする。

### 3-4. 設計竜巻の特性値の設定

設計竜巻の特性値の設定  
 [ V<sub>D</sub> 等に基づいて移動速度、気圧低下量等の特性値を設定 ]

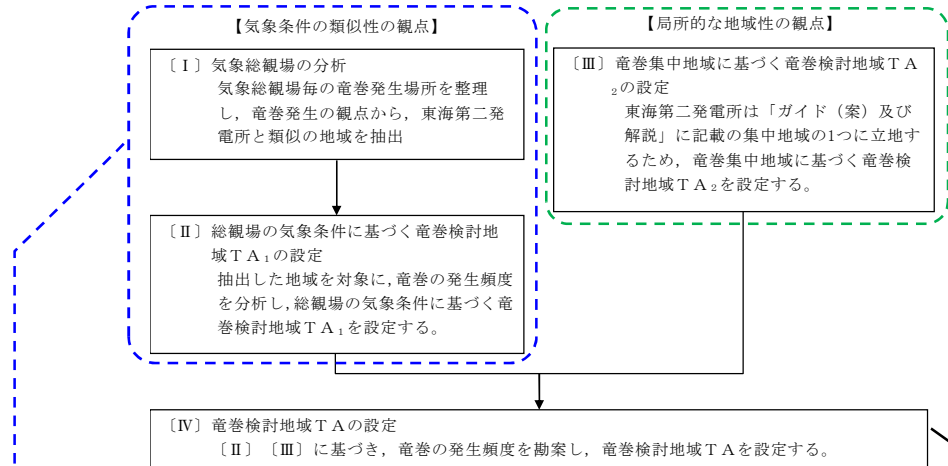
設計竜巻の最大風速 V <sub>D</sub> (m/s)	移動速度 V <sub>T</sub> (m/s)	最大接線風速 V <sub>Rm</sub> (m/s)	最大接線風速半径 R <sub>m</sub> (m)	最大気圧低下量 ΔP <sub>max</sub> (hPa)	最大気圧低下率 (dp/dt) <sub>max</sub> (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

(Page. 6条(竜巻)-1-14参照)

# 3. 設計竜巻の設定

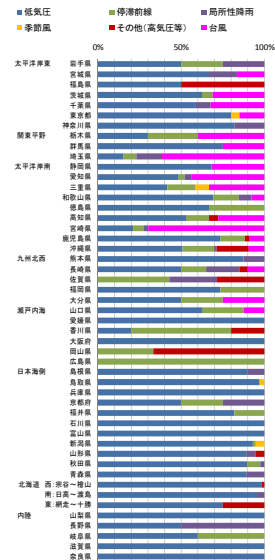
## 3-2 竜巻検討地域(T<sub>A</sub>)の設定

下のフローに従い、竜巻検討地域を設定した。



(Page. 6条(竜巻)-1-15参照)

### ● 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T<sub>A1</sub>



各都道府県の竜巻の発生要因比率

東海第二発電所の立地地域の地域性  
・台風起因の竜巻の発生

台風起因の特性を有する地域を細分化し、発生頻度が最大となる組合せ (T<sub>A1.6</sub>) を T<sub>A1</sub> とした

領域	領域面積 (km <sup>2</sup> )	51.5年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数 (個/年/km <sup>2</sup> )	
T <sub>A1.1</sub> ①	福島県～神奈川県	7,900	40	0.98E-04
T <sub>A1.2</sub> ①～②	福島県～静岡県	15,700	68	0.84E-04
T <sub>A1.3</sub> ①～③	福島県～和歌山県	23,400	104	0.86E-04
T <sub>A1.4</sub> ①～④	福島県～高知県	28,600	138	0.94E-04
T <sub>A1.5</sub> ①～⑤	福島県～鹿児島県	46,700	194	0.81E-04
<b>T<sub>A1.6</sub> ①～⑥</b>	<b>福島県～静岡県</b>	<b>57,000</b>	<b>300</b>	<b>1.02E-04</b>
T <sub>A1.7</sub> ①～⑦	福島県～九州全県	79,700	337	0.82E-04
T <sub>A1.8</sub> ①～⑥,⑧	宮城県～沖縄県	59,700	302	0.98E-04

(Page. 6条(竜巻)-1-17, 19参照)

### ● 竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T<sub>A2</sub>



竜巻の発生する地点と竜巻が集中する19の地域

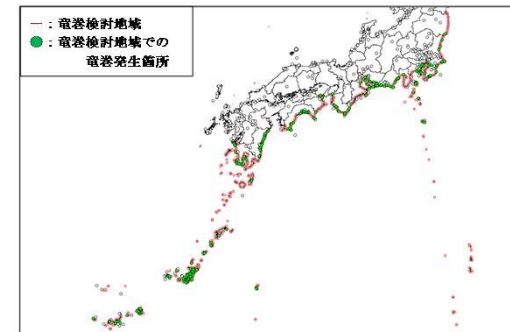
(Page. 6条(竜巻)-1-20参照)

### ● 竜巻検討地域

竜巻の発生頻度が大きい T<sub>A1</sub> を T<sub>A</sub> とした。

竜巻検討地域内で発生が確認された竜巻個数と単位面積当たり発生個数

	領域面積 (km <sup>2</sup> )	51.5年間に領域内で発生した個数	単位面積当たり発生数 (個/年/km <sup>2</sup> )
総観場の気象条件に基づく竜巻検討地域 T <sub>A1</sub>	57,000	300	1.02×10 <sup>-4</sup>
竜巻集中地域に基づく竜巻検討地域 T <sub>A2</sub>	7,900	40	0.98×10 <sup>-4</sup>



竜巻検討地域 T<sub>A</sub>

(Page. 6条(竜巻)-1-21参照)

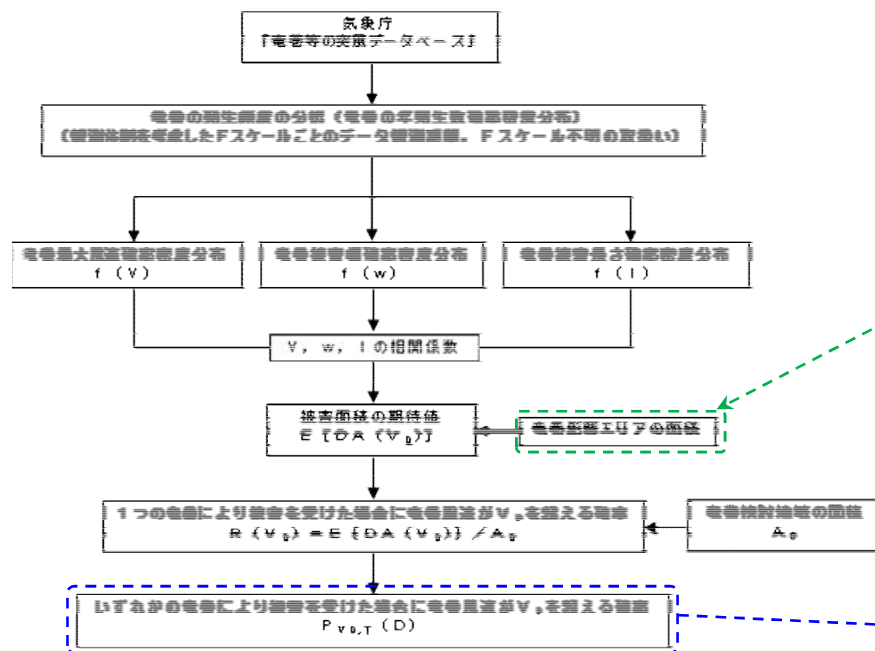


# 3. 設計竜巻の設定

## 3-3 基準竜巻の最大風速( $V_B$ )の設定

下記の $V_{B1}$ 及び $V_{B2}$ のうち大きい方の値を採用し、 $V_B=92\text{m/s}$ とした。

- 過去に発生した竜巻による最大風速 ( $V_{B1}$ )  
 竜巻検討地域内で過去(1961年1月~2012年6月)に発生した最大の竜巻であるF3スケールの風速上限値92m/s
- 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )  
 下のフローに従い設定した竜巻最大風速のハザード曲線における、年超過確率 $10^{-5}$  (1/y)の風速の最大値80m/s

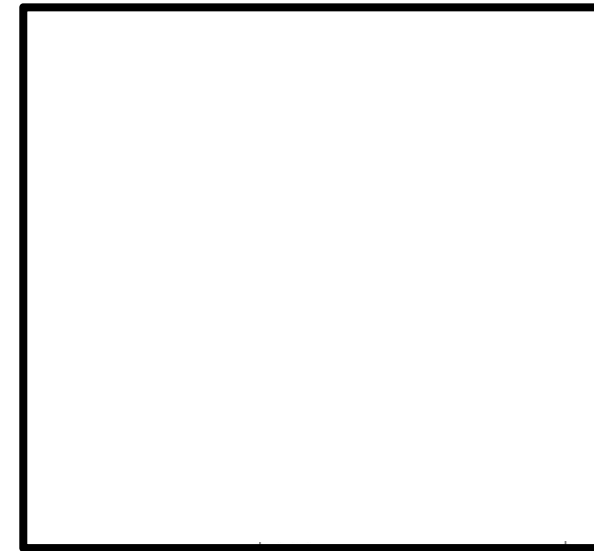


(Page. 6条(竜巻)-1-23参照)

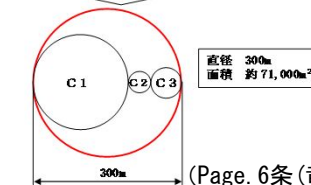
ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 $10^{-5}$ での最大風速
竜巻検討地域全域 (10km幅)	73m/s
1km幅ごとの最大	80m/s (陸側3-4km)

(Page. 6条(竜巻)-1-36参照)

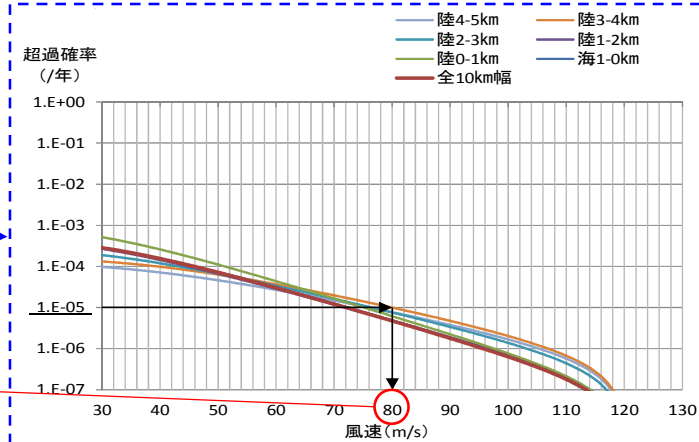
<竜巻影響エリア>



計算上の取扱い



(Page. 6条(竜巻)-1-32参照)



### 3. 設計竜巻の設定

#### 3-4 設計竜巻の最大風速 ( $V_D$ ) の設定

以下の観点から、基準竜巻の最大風速  $V_B$  からの割り増し要否を検討した。

(1) 地形効果による竜巻風速への影響

敷地周辺は最大でも標高40 m程度のなだらかな地形であり、竜巻渦の旋回強度に影響を及ぼすと考えられるマイクロスケール(数百m)規模の起伏は認められないことから、地形効果による竜巻の増幅の可能性は低い。

(2) 竜巻データの不確かさの影響

現状では竜巻の観測数等のデータが十分とまでは言い切れず、不確か性があることを考慮



設計竜巻の最大風速  $V_D$  は、100m/sとする。

(基準竜巻の最大風速  $V_B = 92m/s$  を、安全側に切り上げ)

(Page. 6条(竜巻)-1-43参照)

#### 3-5 設計竜巻の特性値の設定

「竜巻影響評価ガイド」に示される方法に基づき下表のとおり設定した。

設計竜巻の特性値

設計竜巻の最大風速 $V_D$ (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 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

(Page. 6条(竜巻)-1-45参照)

## 4. 竜巻影響評価

### 4-1 設計荷重の設定

#### 4-1-1 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重として、以下の3種を設定した。「竜巻影響評価ガイド」に示された式による

##### (1) 風圧力による荷重( $W_W$ )

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$q$ : 設計用速度圧 ( $= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$ )

$\rho$ : 空気密度

$G$ : ガスト影響係数 ( $= 1.0$ )

$C$ : 風力係数 (施設の形状や風圧力が作用する部位 (屋根, 壁等) に応じて設定)

$A$ : 施設の受圧面積

(Page. 6条 (竜巻)-1-48参照)

##### (2) 気圧差による荷重( $W_P$ )

$$W_P = \Delta P_{\max} \cdot A$$

$\Delta P_{\max}$ : 最大気圧低下量

$A$ : 施設の受圧面積

(Page. 6条 (竜巻)-1-49参照)

##### (3) 設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )

設計飛来物の衝突方向及び衝突面積を考慮し、評価対象施設に衝突した場合の影響が大きくなる様に設定する。

[設計飛来物]

設計飛来物は、現場調査結果及び先行プラントの実績を踏まえ、設備対策 (飛来物防護ネット等) の規模と運用管理の規模 (固縛等を要する物品の物量) のバランスを考え設定した。〔詳細は後述〕

東海第二発電所の設計飛来物

	砂利	鋼製材
サイズ(m)	長さ×幅×高さ 0.04×0.04×0.04	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	0.18	135
最大水平速度(m/s)	62	51
最大鉛直速度(m/s)	42	34

(Page. 6条 (竜巻)-1-57参照)

## 4. 竜巻影響評価

### 4-1 設計荷重の設定

#### 4-1-2 評価に用いる複合荷重

竜巻影響評価においては、 $W_W$ 、 $W_P$ 及び $W_M$ を組み合わせた複合荷重を用いる。  
複合荷重は、以下の竜巻影響評価ガイドの式によって算出した。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5W_P + W_M$$

$W_{T1}$ 、 $W_{T2}$ : 設計竜巻による複合荷重

$W_W$ : 設計竜巻の風圧力による荷重

$W_P$ : 設計竜巻の気圧差による荷重

$W_M$ : 設計飛来物による衝撃荷重

なお $W_{T2}$ においては、保守性を確保する観点から、 $W_W$ 、 $W_P$ 及び $W_M$ の作用方向が同一となるように扱う。

(Page. 6条(竜巻)-1-58~59参照)

#### 4-1-3 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の考え方は以下のとおり。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重

自重、死荷重及び活荷重を考慮する。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻と同時に発生する可能性のある自然現象(雷, 雪, 雹及び大雨)の組合せによる荷重は設計竜巻荷重に包絡されるため、考慮しない。

(3) 設計基準事故時荷重

設計竜巻と設計基準事故は独立事象であり、同時に発生する頻度は十分小さいことから、組合せは考慮しない。

(Page. 6条(竜巻)-1-59~60参照)

# 4. 竜巻影響評価

## 4-1 設計荷重の設定

### 4-1-4 $W_P$ 及び $W_M$ の設定

$W_P$ 及び $W_M$ は、それぞれ以下の竜巻風速場モデルをベースに評価した。

#### ① $W_P$ の設定:ランキン渦モデル

ランキン渦モデルの気圧低下量算出式（竜巻影響評価ガイドの式）を採用。

#### ② $W_M$ の設定:フジタモデル

管理が困難な一般道(国道245号線)からの車両の飛散の影響は、可能な限り現実的に評価する必要があるため、保守性確保の配慮をした上で、ランキン渦モデルに比べ物品の飛散挙動を実現象に近く評価できるフジタモデルを採用する。

なお、複合荷重 $W_{T2}$ の算出においては $W_W$ 、 $W_P$ 及び $W_M$ の作用方向を揃える方針としているため、 $W_P$ 及び $W_M$ の値にそれぞれ保守性が確保出来ていれば、モデルを使い分けても複合荷重としての保守性を失うことはない。

竜巻荷重の設定要素と竜巻風速場の適用状況

設計荷重設定要素 ( ■:風速場モデルに無関係 ■:風速場モデルの影響あり)		適用対象			設定 ( ■:フジタモデル, ■:ランキン渦モデル)		備考	
		$W_W$	$W_P$	$W_M$	東海第二	大飯3/4, 高浜1~4, 美浜3, 伊方3, 川内1/2, 玄海3/4		
竜巻の 基本 特性	最大接線風速 $V_{Rm}$	○	(○)※	—	85m/s	85m/s	設計竜巻の最大風速 $V_D$ (100m/s)から、竜巻影響評価ガイドの式を用いて算出	
	竜巻の移動速度 $V_T$	○		—	15m/s	15m/s		
	最大接線風速半径 $R_m$	—		—	30m	30m		竜巻影響評価ガイドの値
	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$	—	○	—	89hPa	89hPa		
	最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$	—	—	—	45hPa/s	45hPa/s		
飛散 解析 に 関 する 設 定	設計飛来物(候補)の設定		—	—	○	竜巻影響評価ガイドの「鋼製材」	竜巻影響評価ガイドの「鋼製材」	「基準」として、設計者が任意に設定可能。
	その他の 飛来物源 の評価	飛来物源の 初期高さ	—	—	○	物品毎に設定	40m	・フジタモデルは高さ方向に風速分布を持つため、 配置状況を踏まえ個別に設定。 ・ランキン渦モデルは高さ方向の風速が一様分布なので、 米国基準等を参考に一律で設定
		フジタモデル固有の 設定値	—	—	○	内部/外部コア半径比:0.3 流入層高さ:15m	—	フジタモデルの風速場の形を決める因子(文献値) (ランキン渦は $V_{Rm}$ , $R_m$ だけで決まる)

※:必要に応じ、竜巻風速場モデルのパラメータとして使用

# 4. 竜巻影響評価

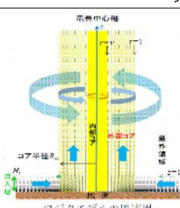
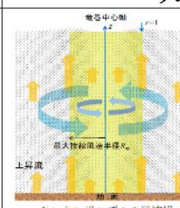
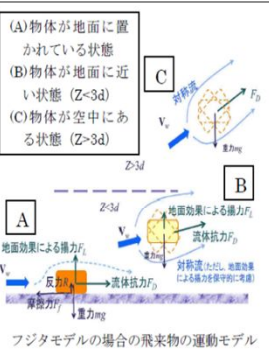
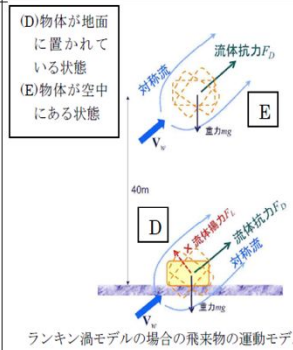


## 4-1 設計荷重の設定

### 4-1-4 $W_p$ 及び $W_M$ の設定(続き)

$W_M$ の設定に係る「フジタモデル」と「ランキン渦モデル」の風速場モデル及びこれらを用いた飛散解析手法特徴は下表のとおり。

「フジタモデル」及び「ランキン渦モデル」の特徴及び飛散評価手法の比較

	フジタモデル (及び同モデルを用いた飛散解析手法)	ランキン渦モデル (及び同モデルを用いた飛散解析手法)
風速場モデル	<p><b>モデルの概要</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fujitaにより実観測に基づき考案された竜巻風速場モデルであり、実際に近い風速場構造を有する</li> <li>• 半径方向に3つの領域 (内部コア、外部コア及び最外領域) を有し、外部コアに上昇流が存在する</li> <li>• 接線風速や上昇風速に高さ依存性がある</li> <li>• 米国DOEの重要施設の基準において、竜巻飛来物の速度及び飛散高さの設定に使用</li> </ul>	<p><b>ランキン渦モデル (及び同モデルを用いた飛散解析手法)</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現</li> <li>• 上昇流は全領域に存在</li> <li>• 接線風速や上昇風速に高さ依存性がなく、地面から吹き出しが生じる流れとなっている (飛散評価を行う場合、地上からの物体の浮上、飛散挙動を表現できないため、地上の物体であっても空中浮遊状態を仮定し評価することになる)</li> <li>• 米国NRC Regulatory Guide 1.76にて採用</li> </ul>
	<p><b>メリット</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地面に置かれた物体へ影響を与える風速場をよく表現できており、地上からの物体の浮上、飛散解析が可能</li> <li>→地上にある物体に対する力や挙動を表現するのに適しているモデルであり、防護対策や固縛対策の範囲や強度について、実効性の高い対策とすることが可能。</li> </ul>	<p><b>メリット</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡易な式で上空での水平方向の風速場を表現可能</li> </ul>
	<p><b>デメリット</b></p> <p>特になし。 (ランキン渦モデルに比べ解析プログラムが複雑になるが、近年の計算機能力の向上や評価ツールの高度化により問題とならない)</p>	<p><b>デメリット</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する (地面からも吹き出しがある) ため、実現象から乖離しており、地上からの物体の浮上、飛散挙動を表現できない</li> <li>→地上における構造物に対し、過度に保守的な防護対策や固縛対策が必要となる。</li> </ul>
飛散解析手法	<p><b>物体の浮上、飛散モデル</b></p>  <p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地面の存在により物体上面と下面の流れが非対象となることで生じる地面効果による揚力 (左図A/B) と流れの速度方向に平行な抗力 (左図A~C、但し地面付近では抗力の影響は小さい) を考慮し、地面に置かれた状態からの浮上高さや飛散速度等を評価</li> </ul> <p>《揚力係数 <math>C_{L\alpha}</math> 》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地面から浮き上がる際の物体挙動を理論的に評価することは困難であるため、翼のような極端な形状を除き保守的となるよう、風洞実験の結果を踏まえ、代用の揚力係数を設定 (物体の風の受け方や高度を変化させた場合でも、代用揚力係数が実測値より保守的になっていることを確認)</li> </ul> <p>フジタモデルの場合の飛来物の運動モデル</p>	<p><b>物体の浮上、飛散モデル</b></p>  <p>《物体の浮上、飛散モデル》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 物体に働く流れの速度方向に平均的な抗力 (左図D/E) と自重の関係から、物体が飛来するか否かを判定し、飛来する場合には、風速場を表現できている空中浮遊状態からの浮上高さや飛散速度等を評価</li> </ul> <p>《抗力係数 <math>C_D A</math> 》</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 物体がランダム回転し、物体の各面に均等に力を受けるものとして、抗力係数は3方向の平均値を設定</li> </ul> <p>ランキン渦モデルの場合の飛来物の運動モデル</p>
	<p><b>竜巻が物体に与える速度に関する設定</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 竜巻内の物体の場所依存性 (風速場における竜巻風速の不均一性) を考慮し、風速場における物体の中から、最大の飛散速度や飛散距離を設定</li> <li>• 実際に竜巻が遠方から近づく場合には、最大風速より低い風速に曝された時点で飛散する可能性があるが、物体を強制的に高速域に配置し、物体が瞬時に最大風速を受けるよう設定</li> </ul>	<p>同左</p>



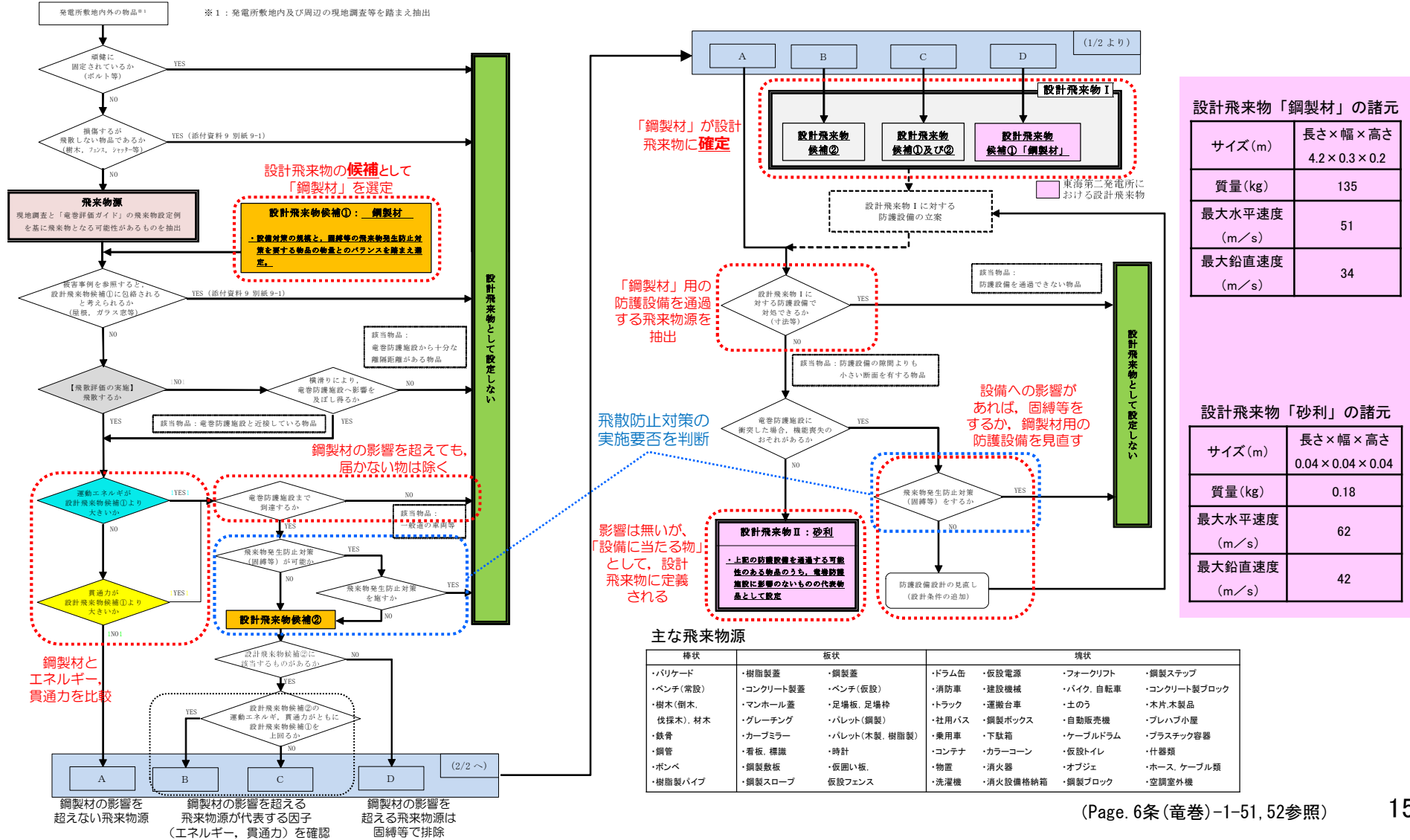
# 4. 竜巻影響評価



## 4-1 設計荷重の設定

### 4-1-5 設計飛来物の設定と対策が必要な飛来物源の抽出

飛来物源の飛散解析を行い、下のフローに従い設計飛来物を「鋼製材」と「砂利」に設定するとともに、飛来物発生防止対策が必要な物品を特定した。



# 4. 竜巻影響評価



## 4-1 設計荷重の設定

### 4-1-6 飛散解析における空力パラメータの設定

飛来物源の飛散解析に用いる空力パラメータは、「竜巻影響評価ガイド」及び米国NRCのNUREG-0800（1996）に引用されている各種文献を参照し、下式により算出した。

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

ここで、

$\frac{C_D A}{m}$  : 空力パラメータ (m<sup>2</sup>/kg)

$m$  : 物品の質量 (kg)

$c$  : 係数 (0.33)

$C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}$  : 直交3方向における物品の抗力係数(別表2-1より選定)

$A_1, A_2, A_3$  :  $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積 (m<sup>2</sup>)

別表2-1 空力パラメータ算出のための抗力係数

物体の形状	$C_{D1}$	$C_{D2}$	$C_{D3}$
塊状	2.0	2.0	2.0
板状	1.2	1.2	2.0
棒状	2.0	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)	0.7 (円形断面) 1.2 (矩形断面)

塊状物体:  $C_{D1}: 2.0$ ,  $C_{D2}: 2.0$ ,  $C_{D3}: 2.0$

板状物体:  $C_{D1}: 1.2$ ,  $C_{D2}: 1.2$ ,  $C_{D3}: 2.0$   
 ・  $A_3 > A_2, A_1$

棒状物体:  $C_{D1}: 2.0$ ,  $C_{D2}: 0.7$  (円形断面) /  $1.2$  (矩形断面),  $C_{D3}: 0.7$  (円形断面) /  $1.2$  (矩形断面)  
 ・ 円形断面の場合,  $A_2, A_3$ は「見付面積 (直径×長さ)」



## 5. 防護設計方針

### 5-1 評価対象施設の防護設計方針

#### (1) 屋外施設(竜巻防護施設を内包する施設を含む)

屋外施設は、設計荷重に対して安全機能を損なわない設計とする。必要に応じて、施設の補強、防護ネット等の設置等の竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

竜巻防護施設を内包する施設は、設計荷重に対して、構造骨組の構造健全性が維持されるとともに、屋根、壁、開口部(扉類)の破損により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。また、設計飛来物の衝突に対しては、貫通及び裏面剥離の発生により内包される竜巻防護施設が安全機能を損なわない設計とする。

(Page. 6条(竜巻)-1-62~64参照)

#### (2) 竜巻防護施設のうち、屋内の施設で外気と繋がっている施設

設計荷重に対して安全機能を損なわない設計とする。必要に応じて、施設の補強、防護ネット等の設置等の竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

(Page. 6条(竜巻)-1-65参照)

#### (3) 竜巻防護施設のうち、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設

設計荷重に対して安全機能を損なわない設計とする。必要に応じて、施設の補強等の設置等の竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

(Page. 6条(竜巻)-1-66~67参照)

#### (4) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

設計荷重に対して当該施設の構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での取替、補修が可能なことにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわない設計とする。

(Page. 6条(竜巻)-1-67~69参照)

## 5. 防護設計方針

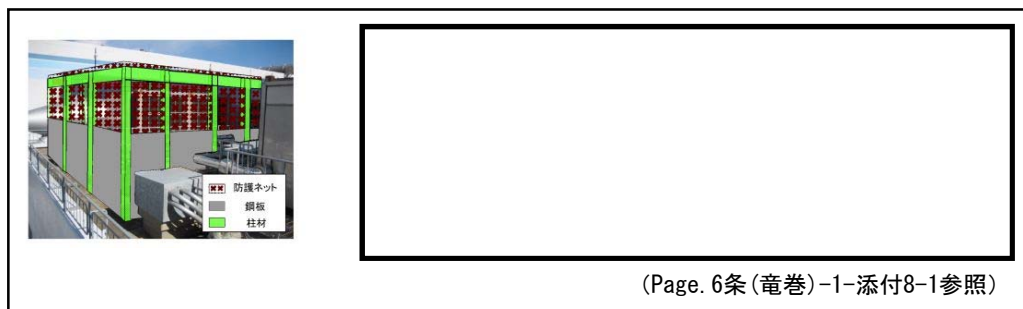
### 5-2 防護対策

#### 5-2-1 防護対策の分類

##### 竜巻防護対策

###### 飛来物防護対策

設計飛来物の衝突によって損傷する可能性がある竜巻防護施設については、竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット、防護鋼板等）を設置する。



飛来物防護対策例のイメージ図

###### 飛来物発生防止対策

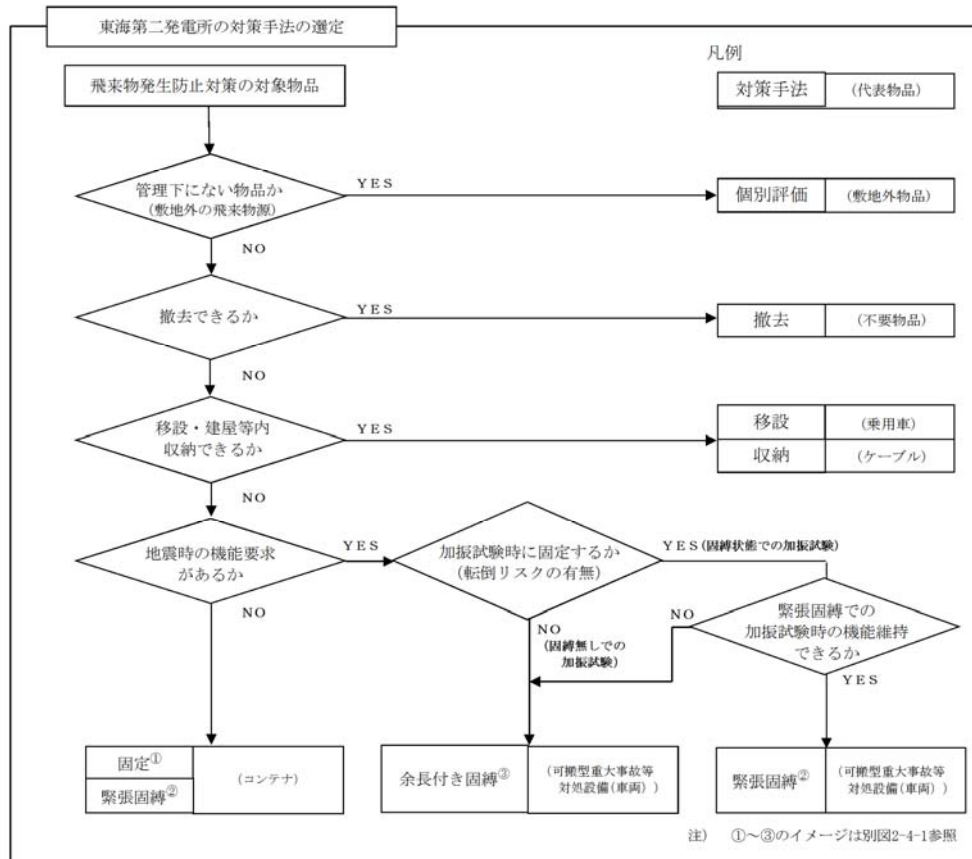
設計飛来物の影響（運動エネルギー及び貫通力）を超え、かつ竜巻防護施設に到達し得る範囲に存在する飛来物源に対し、飛来物発生防止対策（撤去、移設（退避を含む）、収納及び固定・固縛）を実施する。

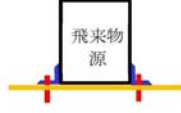





# 5. 防護設計方針

## 5-2 防護対策

### 5-2-2 飛来物発生防止対策の基本方針

飛来物発生防止対策の手法（撤去，移設（退避を含む），収納及び固定・固縛）の適用方針は以下のとおり。



手法	対策の概要図	
①固定		飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊張固縛		飛来物源に車輪部を連結材と固定金具を用いて固定
		飛来物源を連結材(ロープ)を用いて固定
③余長付き固縛	(通常時) 	飛来物源を連結材(ロープ)を用いて固縛【動き代がある】
	(地震時(展張の可能性もある)) 	
	(竜巻時(展張)) 	

別図2-4-1 飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

# 5. 防護設計方針

## 5-2 防護対策

### 5-2-3 東海第二発電所外からの飛来物の影響

東海第二発電所の敷地近傍には、東海発電所並びに一般道及び近隣施設があり、当社による管理が困難な飛来物の影響も考えられるが、これらについての対応方針は以下のとおり。

#### (1) 東海発電所(廃止措置中)からの飛来物の影響

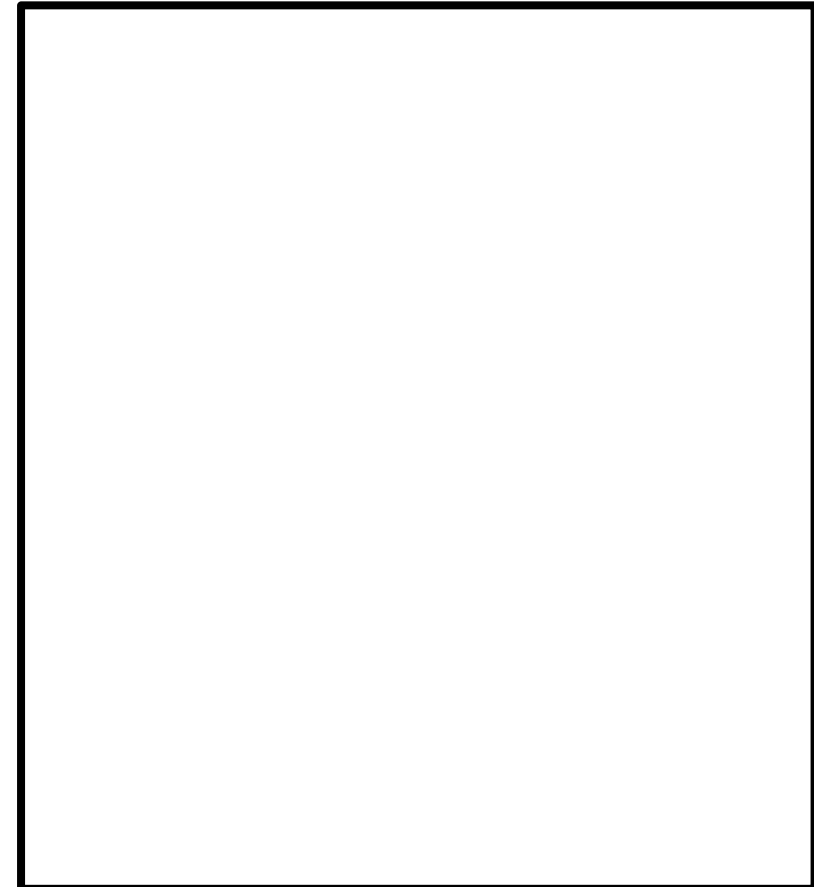
当社の管理が及ぶため、以下の対応をすることで、東海第二発電所に影響を及ぼすことはない。

- ・作業工法の工夫等により、設計飛来物の影響を超えるような飛来物を発生させない。
- ・これらの措置は、規程等に定め適切に管理する。

#### (2) 発電所敷地外からの飛来物

敷地外からの飛来物が到達する可能性がある施設に対しての影響は以下のとおり。

施設	車両		その他の飛来物
	西側から	南側から	
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	なし (到達しない)	あり 〔車両管理エリアを設定※1〕	なし 〔堅牢な構造であり、機能に影響を及ぼす可能性は低い〕
緊急時対策所 (43条関連)※2	なし (到達しない)	なし (到達しない)	
重大事故等 対処施設 (43条関連) ・可搬型設備 ・常設代替 高圧電源装置	なし 〔各設備に対し、対応する設計基準対象施設を含め分散配置されているため、飛来物により同時に機能を喪失しない。〕		



発電所敷地外からの飛来物の到達範囲

(Page. 6条(竜巻)-1-54~56参照)

※1: JAEAと協議する方針

※2: 機能維持については43条(SA)としての評価。

6条(DB)としてはクラス3施設のため、損傷時は代替設備や復旧で対応。

## 5. 防護設計方針

### 5-2 防護対策

#### 5-2-4 車両の退避

車両については、速やかに固縛・固定することが難しい場合も想定されるため、以下の管理を行う。

- 発電所構内での作業に関係のない車両は、原則として入構を禁止する。
- 竜巻襲来の恐れが高まった場合、速やかに固縛・固定することが難しい車両は、下図に示す車両管理エリアの外、もしくは堅牢な建屋内に退避する。



※：緊急時対策所は、SA設備として  
建屋への車両衝突を防止する。

車両管理エリア

(Page. 6条(竜巻)-1-添付8-別紙3- 参照)

## 別紙

# 外部事象に対する津波防護施設，浸水防護施設 及び津波監視設備※の防護方針について

※：以後「津波防護施設等」という。

# 外部事象に対する津波防護施設等の防護方針



津波防護施設等に対しては、外部事象に対する機能維持の方針を以下のとおりとする。

## ●津波の随伴もしくは重畳が否定できない事象

⇒防護対象施設とする

機能喪失モードが認められる場合は、設計により機能維持を担保する

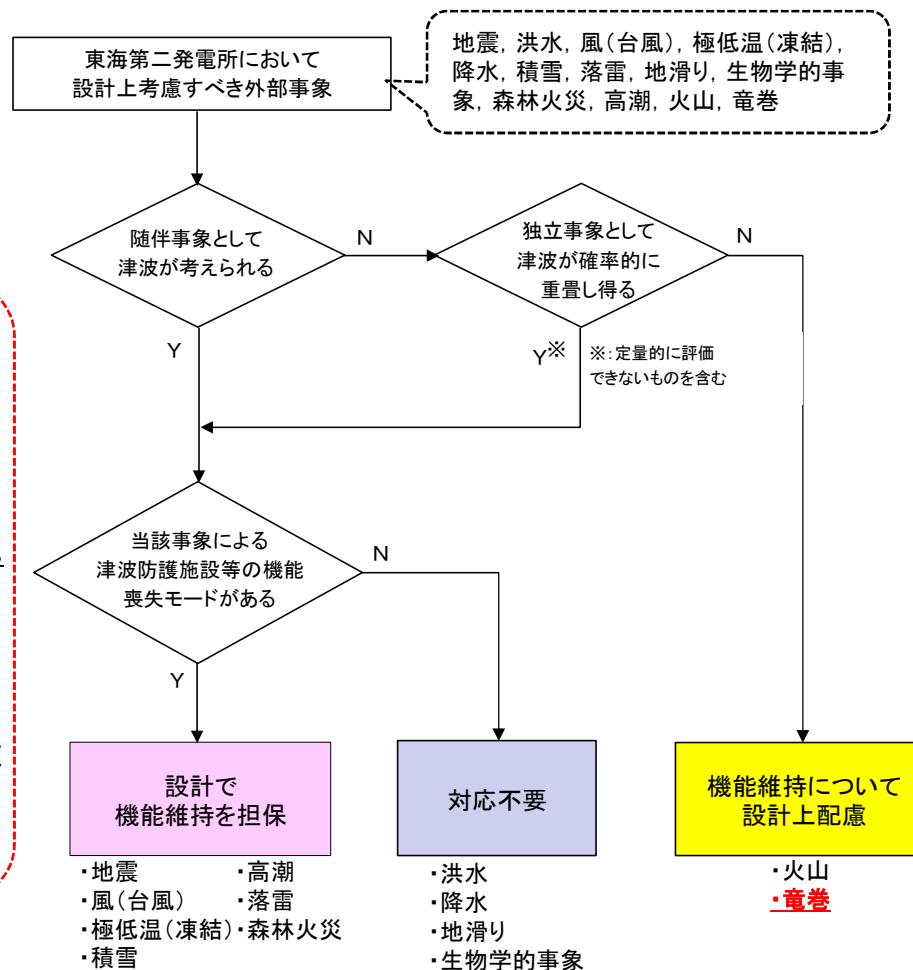
## ●津波の随伴、重畳が有意でない事象(火山, 竜巻)

⇒防護対象施設とは位置付けない

(=竜巻防護施設とはしない)

但し、東海第二発電所の防潮堤は、基準津波の高さや防護範囲の広さ等、その重要性に鑑み、設計においては自主的に以下の配慮を行う。

- ・損傷防止が可能な因子(例:降下火砕物の荷重, 竜巻風荷重)は、設計にて機能維持を担保する
- ・損傷防止が困難な因子(竜巻飛来物)においては、敷地高さを超える津波の襲来前に復旧が可能な設計とする





# 外部事象に対する津波防護施設等の防護方針



津波の随伴、重畳が有意でない事象(火山, 竜巻)に対する設計上の配慮は, 以下のとおりとする。

## a. 火山

津波との重畳確率は有意ではない※が, 降下火砕物の堆積荷重について長期荷重に対する構造健全性を確保するとともに, 降灰後に適宜除去が可能な設計とする。

※: 以下の積は約 $8.6 \times 10^{-8}$  (1/y)であり, 目安値 $10^{-7}$ を下回る。

- ・想定する火山の噴火確率: 約 $2.2 \times 10^{-5}$  (1/y)
- ・津波の年超過確率: 約 $3.9 \times 10^{-3}$  (1/y) ← 海水ポンプ室の水密高さ(EL.+約6m)

## b. 竜巻

津波との重畳確率は有意ではない※<sup>1</sup>が, 設計にて以下の点を配慮する。

### ①風荷重

風荷重に対し損傷, 倒壊しない設計とする。

### ②飛来物

飛来物の衝突による大規模な損傷は考え難い※<sup>2</sup>。仮に大規模な損傷を受けたとしても, 安全上支障のない期間に修復する※<sup>3</sup>。

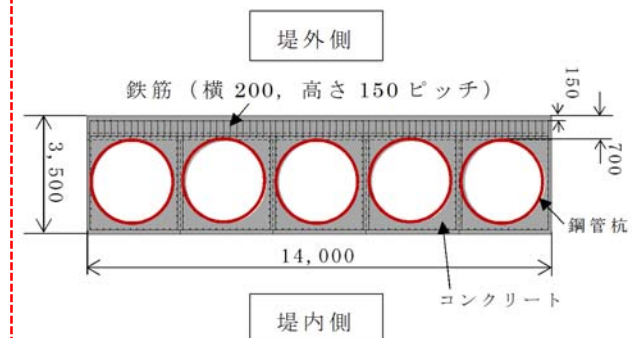
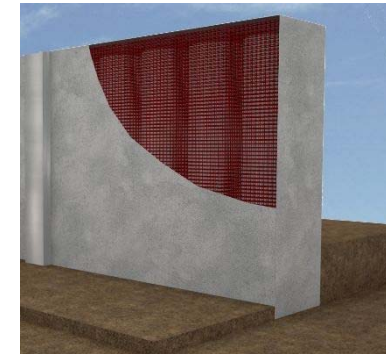
※<sup>1</sup>: 以下の積は約 $3.8 \times 10^{-8}$  (1/y)であり, 目安値 $10^{-7}$ を下回る。

- ・設計竜巻の年超過確率: 約 $3.9 \times 10^{-6}$  (1/y)
- ・津波の年超過確率: 約 $9.6 \times 10^{-3}$  (1/y)

↑ 海水ポンプ室設置高さ(EL.+約3m: 飛来物による側壁の損傷を想定)

※<sup>2</sup>: 設計飛来物(鋼製材)は防潮堤の被覆コンクリートを貫通しない。また, 飛来物源の飛散解析結果より, 鋼製材以上のエネルギーを有する物品(車両, 物置, プレハブ小屋等)は柔飛来物が主と推定される。

※<sup>3</sup>: 仮に大規模な損傷を想定しても, 敷地高さを超える津波の襲来確率が有意となるまでの期間中には, 補修が可能。



鋼管杭鉄筋コンクリート  
防潮壁の概要図