

ハ. 評価結果

(イ) 燃料被覆管への影響評価

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（塑性歪）を評価した結果、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。

評価結果を表 4.13 に示す。

表4.13 燃料被覆管への影響評価結果

評価部位	飛来物	衝突方向	発生歪（算出値）	許容歪	結果
燃料集合体の 燃料被覆管	鋼製パイプ	鉛直	発生しない（弾性範囲内）※1	1%	○
	鋼製材	鉛直	発生しない（弾性範囲内）※2		○
		斜め	0.1%		

※1：鋼製パイプのサイズはラックセルの内径より小さいため、燃料集合体に直接衝突した場合の評価結果。

※2：鋼製材のサイズはラックセルの内径より大きく、燃料集合体に直接衝突することはないが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体に衝突した場合の評価結果（後述（ロ）項表 4.14 参照）。

(ロ) 使用済燃料ラック（ラックセル）への影響評価

①鉛直方向

設計飛来物が鉛直方向から衝突した場合のラックセルの貫入量を評価した結果、許容貫入量を満足しており、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部に達しないことを確認した。

評価結果を表 4.14 に示す。

表 4.14 使用済燃料ラックへの影響評価結果（鉛直方向）

評価部位	飛来物	貫入量	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	許容貫入量	結果
使用済燃料ラック（ラックセル）	鋼製パイプ	31mm	□ mm	□ mm	○
	鋼製材	162mm			○

※：鋼製材については、貫入量が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を上回っているため、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体に衝突する。

②斜め方向

設計飛来物が斜め方向から衝突した場合のラックセルの歪を評価した結果、塑性歪量は破断伸びに対して余裕を有することを確認した。

□ 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。

評価結果を表 4.15 に示す。

表 4.15 使用済燃料ラックへの影響評価結果（斜め方向）

評価部位	飛来物	発生応力	発生歪量	破断伸び	結果
使用済燃料ラック（ラックセル）	鋼製材	曲げ	2.3%	16%	○
		せん断	0.2%		○

(ハ) 使用済燃料ピット（躯体）への影響評価

設計飛来物が衝突した場合、使用済燃料ピット内面のライニングは貫通等の損傷を受ける可能性があるが、ライニング背面のコンクリート躯体は十分な厚さを有しており、コンクリートを貫通することはない。損傷の程度は小さいことから、直ちに使用済燃料ピットの保有水が漏えいすることはない。

また、ライニングが損傷した場合、ピット保有水の漏えいが生じるが、漏えい量は使用済燃料ピットへの給水量を下回っており、ピット保有水の有意な消失は生じず、使用済燃料ピットの冷却機能及び遮へい機能は維持されることから、安全機能に影響を与えない。

なお、ライニングが損傷した場合には、補修等により対応する。

(c) 新燃料貯蔵庫内へ侵入した設計飛来物による影響評価

（補足説明資料 19, 20, 23 参照）

イ. 評価方針

設計飛来物が新燃料貯蔵庫が設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）の壁を貫通することを想定して、新燃料貯蔵庫に対して、設計飛来物の影響を評価する。

評価においては、燃料取扱棟の屋根を考慮せずに、設計飛来物が鉛直方向と斜め方向の2方向から直接新燃料貯蔵庫内へ侵入するものとし、燃料集合体及び新燃料ラックに衝突した場合の影響評価を実施する。

ただし、砂利については、鋼製材及び鋼製パイプの評価に包絡されるため、評価対象外とする。

なお、斜め方向から侵入した場合の影響評価において、設計飛来物は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、保守的に直接燃料集合体（上部ノズル上端）に衝突するものとする。また、鋼製パイプについては、鋼製材の評価に包絡されるため評価対象外とする。

ロ. 評価条件

(イ) 評価部位

- ・燃料集合体の燃料被覆管

・新燃料ラック（ラックセル）

(ロ) 設計飛来物の衝突速度

設計飛来物の衝突速度は，設計飛来物の最大速度とする。

設計飛来物の衝突速度を表 4.16 に示す。

表 4.16 設計飛来物の衝突速度

設計飛来物	侵入方向	燃料集合体又は新燃料ラック衝突時 (m/s)	影響評価に用いる衝突速度 (m/s)
鋼製パイプ	鉛直	水平：0 鉛直：33	33
鋼製材	鉛直	水平：0 鉛直：38	38
	斜め	水平：57 鉛直：38	57

(ハ) 燃料被覆管への影響評価

設計飛来物が鉛直方向から燃料集合体（上部ノズル上端）に衝突した場合と，斜め方向から衝突した場合の燃料被覆管の歪量を算出し，燃料被覆管の健全性を評価する。また，評価にあたっては，次の仮定を設ける。

- ・ 設計飛来物の運動エネルギーは燃料集合体の変形エネルギーに等しいものとし，設計飛来物の運動エネルギー全てが燃料被覆管の変形に費やされるものとする（制御棒案内シンプルによる荷重の分担は考慮しない）。
- ・ 燃料被覆管は弾完全塑性体とする（塑性変形に伴う硬化を考慮しない）。（図 4.9）

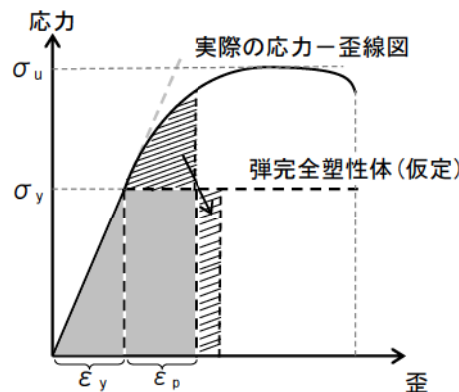


図 4.9 弾完全塑性体の保守性
(イメージ図)

なお，設計飛来物が斜め方向から燃料集合体に衝突した場合，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、鉛直方向から衝突した場合の影響評価に包絡されるため、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については、水平方向の衝突速度成分による発生歪を算出して評価する。

(ニ) 燃料被覆管の許容歪の設定

試験により求められる破断歪データを踏まえ、燃料被覆管の許容歪を10%と設定し、評価値と比較する。

(ホ) 新燃料ラック（ラックセル）への影響評価

①鉛直方向

設計飛来物が鉛直方向から衝突した場合のラックセルの貫入量（変形量）を算出し、許容貫入量を満足していること（ラックセルの損傷範囲が燃料有効部に達しないこと）を確認する（図4.10）。

②斜め方向

設計飛来物が斜め方向から衝突した場合のラックセルの歪量を算出し、塑性歪を生じた場合であっても、破断伸びに対して余裕を有することを確認する。

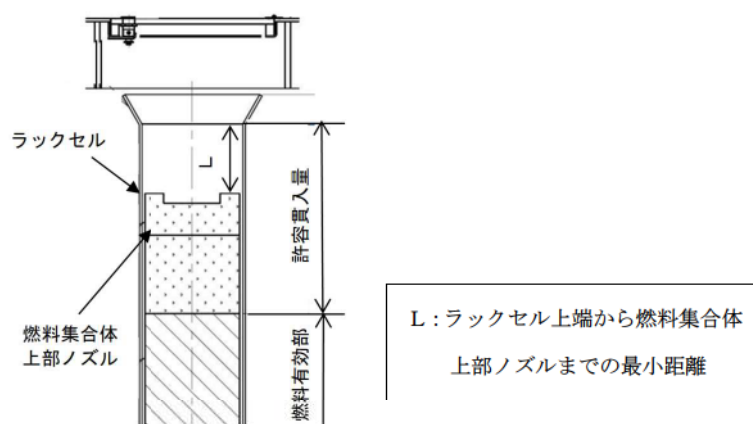


図 4.10 ラックセル概要図

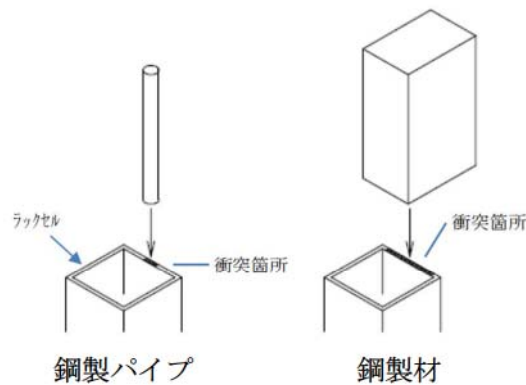


図 4.11 ラックセルの衝突箇所

ハ. 評価結果

(イ) 燃料被覆管への影響評価

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（塑性歪）を評価した結果、鋼製パイプについては、直接燃料集合体に衝突した場合、燃料集合体上部ノズルを貫通することが考えられ、燃料被覆管が破損する可能性があることから、後述する竜巻飛来物防護対策設備により防護する。

鋼製材については、燃料被覆管に生じる歪が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。

評価結果を表 4.17 に示す。

表4.17 燃料被覆管への影響評価結果

評価部位	飛来物	衝突方向	発生歪（算出値）	許容歪	結果
燃料集合体の 燃料被覆管	鋼製パイプ	鉛直	破損※1	10%	×
	鋼製材	鉛直	発生しない（弾性範囲内）※2		○
		斜め	0.2%		○

※1：鋼製パイプのサイズはラックセルの内径より小さいため、燃料集合体に直接衝突した場合の評価結果。直接衝突した場合は燃料集合体上部ノズルを貫通し、燃料被覆管が破損する可能性がある。

※2：鋼製材のサイズはラックセルの内径より大きく、燃料集合体に直接衝突することはないが、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体に衝突した場合の評価結果（後述（ロ）項表 4.18 参照）。

(ロ) 新燃料ラック（ラックセル）への影響評価

①鉛直方向

設計飛来物が鉛直方向から衝突した場合のラックセルの貫入量を評価した結果、

許容貫入量を満足しており、ラックセルの損傷範囲が燃料有効部に達しないことを確認した。

評価結果を表 4.18 に示す。

表 4.18 新燃料ラックへの影響評価結果（鉛直方向）

評価部位	飛来物	貫入量	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	許容貫入量	結果
新燃料ラック (ラックセル)	鋼製パイプ	36mm	□mm	□mm	○
	鋼製材	174mm			○

※：鋼製材については、貫入量が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を上回っているため、ラックセルを押しつぶした後に燃料集合体に衝突する。

②斜め方向

設計飛来物が斜め方向から衝突した場合のラックセルの歪を評価した結果、塑性歪量は破断伸びに対して余裕を有することを確認した。

評価結果を表 4.19 に示す。

表 4.19 新燃料ラックへの影響評価結果（斜め方向）

評価部位	飛来物	発生応力	発生歪量	破断伸び	結果
新燃料ラック (ラックセル)	鋼製材	曲げ	17%	40%	○
		せん断	0.8%		○

(d) 強度評価（設計荷重によって設備に生じる変形・応力に対する影響評価）

（補足説明資料 13, 19, 20, 25 参照）

イ. 竜巻防護施設

(イ) 原子炉補機冷却海水ポンプ

①評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの電動機取合ボルト、電動機支え台取合ボルト等に対して、設計竜巻による気圧差による荷重($W_{T1}=W_P$)並びに、設計竜巻の風圧力による荷重(W_W)、設計竜巻による気圧差による荷重(W_P)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$)により発生する応力を算出し、各ボルトの許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、「6. 竜巻対策」のとおり、設計飛来物から防護する対策として竜巻飛来物防護対策設備を設置することから、衝撃荷重 (W_M) としては、竜巻防護対策設備を通過する砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重 (W_M) については複合荷重に含めないものとする。

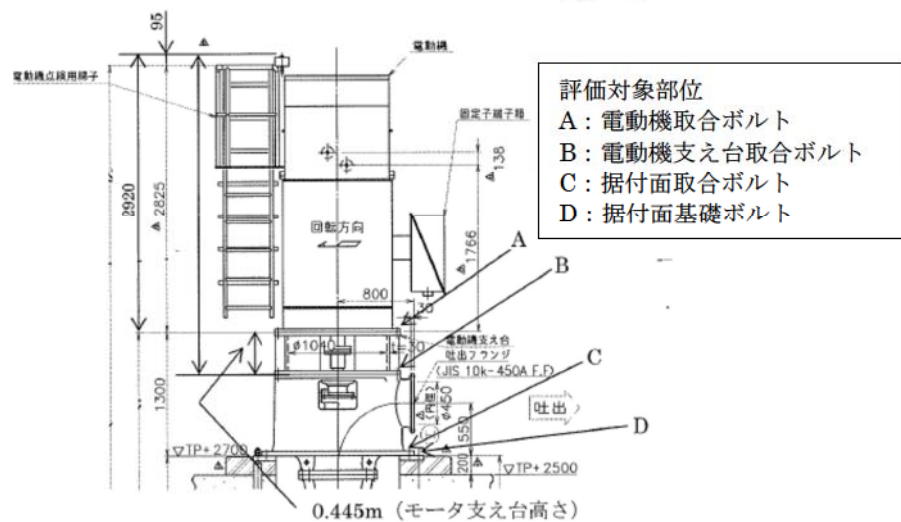
□ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重により損傷する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部（各ボルト）を選定した。

③運転時荷重の考慮

評価対象部位（ボルト）には、ポンプ（立型）の運転（揚水）によって生じる下向きスラスト荷重による転倒モーメントと、設計竜巻による複合荷重によって生じる転倒モーメント（逆向き）が作用する。これらのモーメントは、お互いに打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ポンプの揚水によって生じる下向きスラスト荷重）との組合せは考慮してない。



④評価結果

設計竜巻による気圧差による荷重(W_{T1})並びに、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計竜巻による気圧差を組み合わせた複合荷重(W_{T2})に対する各ボルトの評価結果を表 4.20 に示す。

各ボルトに発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.20 原子炉補機冷却海水ポンプの影響評価結果

評価対象部位		材質	発生 応力	応力値(MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価 結果
				W_{T1}	W_{T2}		W_{T1}	W_{T2}	
A	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	○
B	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	○
C	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	○
D	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	○

(ロ) 原子炉補機冷却海水ポンプモータ

①評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプモータの電動機フレーム、端子箱取付ボルト等に対して、設計竜巻による気圧差による荷重($W_{T1}=W_p$)並びに、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_w+0.5W_p+W_M$)により発生する応力を算出し、各部位の許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、「6. 竜巻対策」のとおり、設計飛来物から防護する対策として竜巻飛来物防護対策設備を設置することから、衝撃荷重(W_M)としては、竜巻防護対策設備を通過する砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重(W_M)については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重により損傷する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部(各ボルト)や強度面で相対的に弱いと想定される部位(電動機フレーム)を選定した。

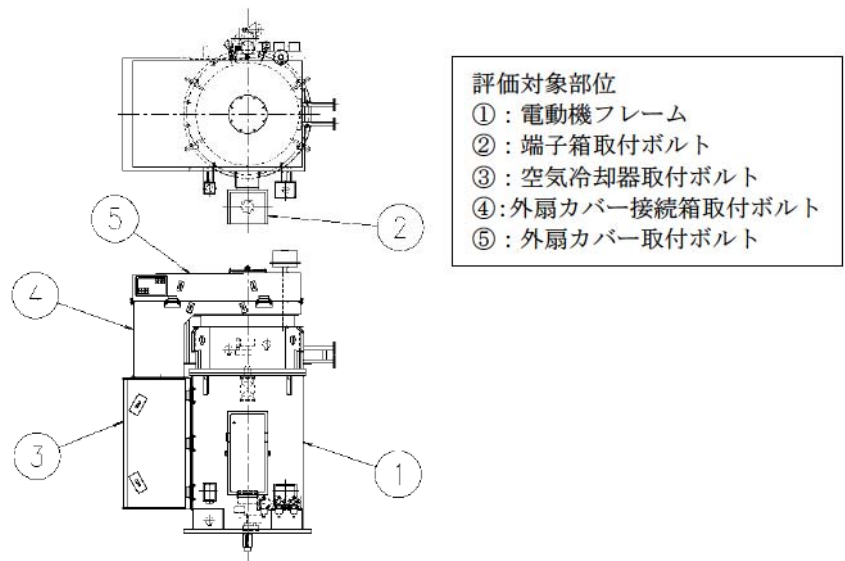


図 4.13 原子炉補機冷却海水ポンプモータの評価対象部位

③評価結果

設計竜巻による気圧差による荷重(W_{T1})並びに、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計竜巻による気圧差による荷重を組み合わせた複合荷重(W_{T2})に対する電動機フレーム、各ボルトの評価結果を表 4.21 に示す。

電動機フレーム、各ボルトに発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.21 原子炉補機冷却海水ポンプモータの影響評価結果

評価対象部位	材質	発生 応力	応力値(MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価 結果
			W_{T1}	W_{T2}		W_{T1}	W_{T2}	
① 電動機フレーム	SS400 (t12)	曲げ	2	3	282	141.0	94.0	○
② 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	○
③ 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	○
④ 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	○
⑤ 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	○

(ハ) 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ

①評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの胴板、スカート及び基礎ボルトに対して、設計竜巻による気圧差による荷重($W_p=W_{T1}$)並びに、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_w+0.5W_p+W_M$)により発生する応力を算出し、各部位の許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、「6. 竜巻対策」のとおり、設計飛来物から防護する対策として竜巻飛来物防護対策設備を設置することから、衝撃荷重 (W_M) としては、竜巻防護対策設備を通過する砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重 (W_M) については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重により転倒する可能性が考えられるため、「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1987)」におけるスカート支持たて置円筒形容器の評価方法を準用して選定した。

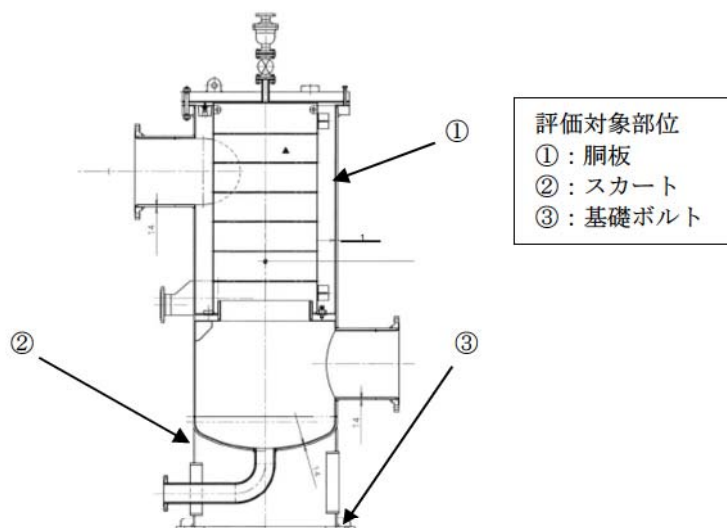


図 4.14 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの評価対象部位

③運転時荷重の考慮

原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナの内圧 (最高使用圧力) を考慮して評価を行う。

④評価結果

設計竜巻による気圧差による荷重(W_{T1})並びに、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計竜巻による気圧差による荷重を組み合わせた複合荷重(W_{T2})に対する胴板等の評価結果を表4.22に示す。

胴板等に発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.22 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレナーの影響評価結果

評価対象部位	発生応力	算出値 (MPa or -)※		許容値 (MPa or -)※	裕度		評価結果
		W_{T1}	W_{T2}		W_{T1}	W_{T2}	
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	○

※：座屈は「-」、それ以外は「MPa」

(二) 配管、弁（原子炉補機冷却海水系統）

①評価方針

原子炉補機冷却海水系統の配管、弁について、設計竜巻による気圧差による荷重($W_p=W_{T1}$)（自重及び内圧を考慮）並びに、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_w+0.5W_p+W_M$)（自重及び内圧を考慮）により発生する応力を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、「6. 竜巻対策」のとおり、設計飛来物から防護する対策として竜巻飛来物防護対策設備を設置することから、衝撃荷重(W_M)としては、竜巻防護対策設備を通過する砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重(W_M)については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

全口径の配管を選定した。

③運転時荷重の考慮

配管の内圧（最高使用圧力）を考慮して評価を行う。

④評価結果

設計竜巻による気圧差による荷重(W_{T1})（自重及び内圧を考慮）並びに、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計竜巻による気圧差による荷重を組み合わせた複合荷重(W_{T2})（自重及び内圧を考慮）に対する配管の評価結果を表 4.23 に示す。

配管に発生する応力は許容応力を下回り、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。

なお、弁については、配管に比べて断面係数が大きく肉厚なため、配管の評価に包絡される。

表4.23 原子炉補機冷却海水系統配管の影響評価結果

評価対象			発生 応力	応力値(MPa)		許容応力 (MPa)	裕度		評価 結果
材質	口径	支持間隔(m)		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	○

(ホ) 換気空調設備

クラス1, 2の換気空調設備のうち、排気筒（建屋外・建屋内）、アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置及び安全補機開閉器室空調装置について、竜巻による影響評価を行う（各換気空調設備の評価対象設備については表 4.24 参照）。

なお、評価にあたっては、排気筒（建屋外）については、設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_m)を、排気筒（建屋外）を除く換気空調設備については、鉄筋コンクリート造の建屋内に設置されており、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_m)は作用しないため、設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)を考慮する（詳細は後述のとおり）。

表 4.24 各換気空調設備の評価対象設備

換気空調設備	評価対象設備
排気筒	排気筒（建屋外・建屋内）
アニュラス空気浄化設備	外気と繋がるダクト，外気との境界となるバタフライ弁
格納容器空調装置	外気と繋がるダクト，外気との境界となるダンパ
補助建屋空調装置	外気と繋がるダクト，外気との境界となるダンパ
試料採取室空調装置	外気と繋がるダクト，外気との境界となるダンパ
中央制御室空調装置	外気と繋がるダクト，外気との境界となるダンパ
電動補助給水ポンプ室換気装置	外気と繋がるダクト，ファン，外気との境界となるダンパ
制御用空気圧縮機室換気装置	外気と繋がるダクト，ファン，外気との境界となるダンパ
ディーゼル発電機室換気装置	外気と繋がるダクト，ファン，外気との境界となるダンパ
安全補機開閉器室空調装置	外気と繋がるダクト，ファン，空調ユニット，外気との境界となるダンパ

①排気筒（建屋外・建屋内），ダクト

①-1 評価方針

・排気筒

排気筒の建屋外に露出している部分（角ダクト及び丸ダクトの鋼板）に対しては，設計竜巻による気圧差による荷重 ($W_P=W_{T1}$) 並びに，設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)，設計竜巻による気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重 ($W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$) を，建屋に内包されている部分（角ダクトの鋼板）に対しては，設計竜巻による気圧差による荷重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（竜巻）により発生する応力等を算出し，許容値と比較することにより，構造健全性を評価する。ただし，設計飛来物のうち，鋼製材及び鋼製パイプは，衝突により当該施設を貫通することから，衝撃荷重 (W_M) としては，砂利のみを考慮することになるが，砂利については，衝突時間が極めて短く，機器に対する影響がごくわずかであることから，衝撃荷重 (W_M) については複合荷重に含めないものとする。

・角ダクト

角ダクトの鋼板に対して，設計竜巻による気圧差による荷重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（竜巻）により発生する応力等を算出し，許容値と比較することにより，構造健全性を評価する。

・丸ダクト

丸ダクトの鋼板に対して，設計竜巻による気圧差による荷重を短期荷重と

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（竜巻）により発生する応力等を算定し、許容値と比較することにより、構造健全性を評価する。

①-2 評価対象部位

排気筒（建屋外・建屋内）及び設計竜巻による気圧差の影響を受けるダクトを選定した。

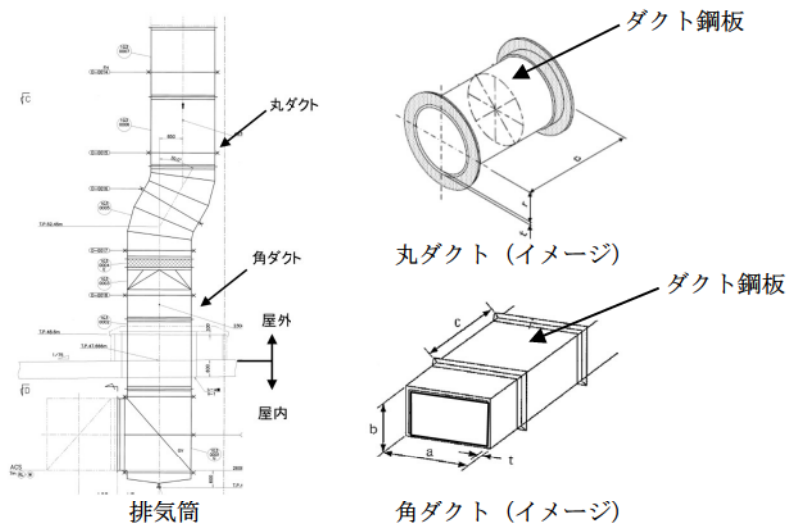


図 4.15 排気筒およびダクトの評価対象部位

①-3 評価結果

・排気筒

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するダクト鋼板の評価結果を表 4.25, 26 に示す。

ダクト鋼板に発生する応力等は許容値を下回り、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。

表4.25 排気筒（建屋外）の影響評価結果

<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	○

<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

表4.26 排気筒（建屋内）の影響評価結果

<角ダクト>

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 結果
		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	
2300×2600× 4.0t	SUS304	76.8	165	2.1	13	165	12.6	1110.9	468014.8	421.2	○

注：最も裕度の小さいものを記載

・角ダクト

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するダクト鋼板の評価結果を表4.27に示す。

ダクト鋼板に発生する応力等は許容値を下回り，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。

表4.27 角ダクトの影響評価結果

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 結果
			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	
ハゼ折低圧角ダ クトー保温有	700×700× 0.6t	SGCC	153.2	189	1.2	48.8	189	3.8	171.6	2933.3	17.0	○

注：最も裕度の小さいものを記載

・丸ダクト

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するダクト鋼板の評価結果を表4.28に示す。

ダクト鋼板に発生する応力等は許容値を下回り，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。

表4.28 丸ダクトの影響評価結果

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 結果
			発生応力	許容値	裕度	発生値*	許容値	裕度	
スパイラル低压丸 ダクト-保温有	φ250×0.6t	SGCC	1.9	2.3	1.2	0.83	0.9	1.08	○

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値
注：最も裕度の小さいものを記載

②ダンパ

②-1 評価方針

ダンパの構成部材であるケーシング，ベーン及びシャフトに対して，設計竜巻による気圧差による荷重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（竜巻）により発生する応力を算出し，許容応力と比較することにより，構造健全性を評価する。

なお，ケーシング又はベーンの長さが長いダンパの方が発生応力は大きくなるため，評価対象ダンパの中から，ダンパの種類毎（角型・丸型の別）にケーシング又はベーンの長さが最も長いダンパを代表ダンパとして選定し評価する。

・ケーシング

ケーシングの断面と同等の断面性能を持つ単純梁として曲げ応力による評価を行う。

・ベーン

ベーンの断面と同等の断面性能を持つ単純梁として曲げ応力による評価を行う。

・シャフト

ベーンが自重及び内部圧力によって受ける荷重を支持するシャフト断面について，せん断応力による評価を行う。

②-2 評価対象部位

設計竜巻による気圧差の影響を受けるダンパのケーシング，ベーン及びシャフトを選定した。

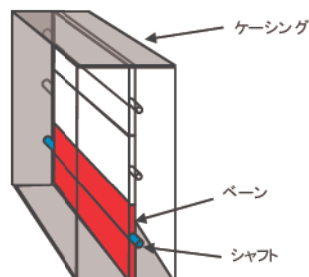


図 4.16 ダンパの評価対象部位

②-3 評価結果

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するケーシング，ベーン及びシャフトの評価結果を表 4. 29～31 に示す。

ケーシング，ベーン及びシャフトに発生する応力は許容応力を下回り，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。

表4. 29 ダンパの影響評価結果（ケーシング）

種類	ダンパ名称	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
空気作動 ダンパ	3-補助建屋排気風量制御ダンパ	60	217	3. 6	○
高気密 ダンパ	3-格納容器給気気密ダンパ	56	247	4. 4	○
	3-格納容器排気気密ダンパ	56	247	4. 4	○
逆止ダンパ	3A-安全補機開閉器室給気ファン出口逆止ダンパ	69	217	3. 1	○
	3B-安全補機開閉器室給気ファン出口逆止ダンパ	69	217	3. 1	○
風量調整 ダンパ	3A-補助建屋給気ガラリ出口手動ダンパ	179	217	1. 2	○
	3B-補助建屋給気ガラリ出口手動ダンパ	179	217	1. 2	○
	3A-安全補機開閉器室排気ファン入口手動ダンパ	89	217	2. 4	○
	3B-安全補機開閉器室排気ファン入口手動ダンパ	89	217	2. 4	○
防火ダンパ (防火兼風量 調整ダンパ を含む)	3A-ディーゼル発電機室排気系防火ダンパ	55	217	3. 9	○
	3B-ディーゼル発電機室排気系防火ダンパ	55	217	3. 9	○
	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節ダンパ	34	217	6. 3	○
	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節ダンパ	34	217	6. 3	○

※代表ダンパの評価結果を示す

表4.30 ダンパの影響評価結果（ベーン）

種類	ダンパ名称	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
空気作動 ダンパ	3-補助建屋非管理区域排 気・補助建屋給気連絡ダン パ	50	217	4.3	○
高気密 ダンパ	3-格納容器給気気密ダンパ	53	247	4.6	○
	3-格納容器排気気密ダンパ	53	247	4.6	○
逆止 ダンパ	3A-電動補助給水ポンプ室 排気逆止ダンパ	116	217	1.8	○
	3B-電動補助給水ポンプ室 排気逆止ダンパ	116	217	1.8	○

※代表ダンパの評価結果を示す

※評価対象ダンパのうち、「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)」については、竜巻通過時は開状態であり、設計竜巻による気圧差による荷重はベーンに作用しないため、評価不要とする。一方、「空気作動ダンパ」、「高気密ダンパ」及び「逆止ダンパ」については、竜巻通過時の開閉状態が各ダンパによって異なることを考慮し、代表ダンパとして選定したダンパについては、竜巻通過時の開閉状態に拠らず、設計竜巻による気圧差による荷重がベーンに作用した場合の評価を実施。

表4.31 ダンパの影響評価結果（シャフト）

種類	ダンパ名称	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
空気作動 ダンパ	3-補助建屋非管理区域排 気・補助建屋給気連絡ダン パ	3	141	47.0	○
高気密 ダンパ	3-格納容器給気気密ダンパ	4	117	29.2	○
	3-格納容器排気気密ダンパ	4	117	29.2	○
逆止 ダンパ	3A-電動補助給水ポンプ室 排気逆止ダンパ	4	135	33.7	○
	3B-電動補助給水ポンプ室 排気逆止ダンパ	4	135	33.7	○

※代表ダンパの評価結果を示す

※評価対象ダンパのうち、「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)」については、竜巻通過時は開状態であり、設計竜巻による気圧差による荷重はシャフトに作用しないため、評価不要とする。一方、「空気作動ダンパ」、「高気密ダンパ」及び「逆止ダンパ」については、竜巻通過時の開閉状態が各ダンパによって異なることを考慮し、代表ダンパとして選定したダンパについては、竜巻通過時の開閉状態に拠らず、設計竜巻による気圧差による荷重がシャフトに作用した場合の評価を実施。

③ バタフライ弁

③-1 評価方針

アニュラス全量排気弁及びアニュラス少量排気弁に対して、設計上の圧力基準と設計竜巻により生じる気圧差を比較することにより、構造健全性を評価する。

③-2 評価対象部位

設計竜巻による気圧差の影響を受ける当該弁を選定した。

③-3 評価結果

アニュラス全量排気弁及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 に対し、設計竜巻により生じる気圧差は微小であることから、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。

評価結果を表 4.32 に示す。

表4.32 バタフライ弁の影響評価結果

機器名称	気圧低下量	設計上の圧力基準	裕度	評価結果
アニュラス全量排気弁	89hPa	9806.65hPa	110.1	○
アニュラス少量排気弁				

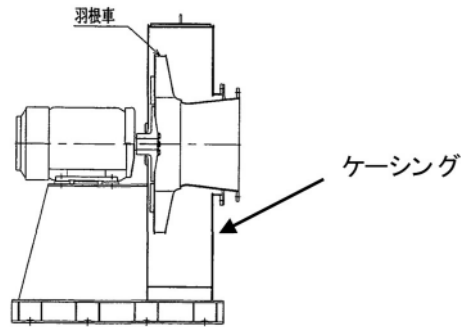
④ ファン

④-1 評価方針

電動補助給水ポンプ室給気ファン、制御用空気圧縮機室給気ファン、ディーゼル発電機室給気ファン、安全補機開閉器室給気ファン及び安全補機開閉器室排気ファンのケーシングに対して、設計竜巻による気圧差による荷重により発生する周応力（圧縮応力）を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

④-2 評価対象部位

設計竜巻による気圧差の影響を受けるファンのケーシングを選定した。



ファン外形図 (イメージ)

図 4.17 ファンの評価対象部位

④-3 評価結果

設計竜巻による気圧差荷重に対するケーシングの評価結果を表 4.33 に示す。
ケーシングに発生する周応力は許容応力を下回り、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。

表4.33 ファンの影響評価結果

機器名称	周応力(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	評価結果
電動補助給水ポンプ室給気ファン	1	240	240.0	○
制御用空気圧縮機室給気ファン	1	240	240.0	○
ディーゼル発電機室給気ファン	1	240	240.0	○
安全補機開閉器室給気ファン	4	240	60.0	○
安全補機開閉器室排気ファン	1	240	240.0	○

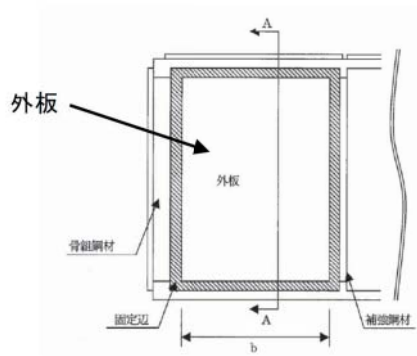
⑤空調ユニット

⑤-1 評価方針

安全補機開閉器室給気ユニットの外板に対して、設計竜巻による気圧差による荷重により発生する曲げ応力を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

⑤-2 評価対象部位

設計竜巻による気圧差の影響を受ける部分のうち、強度面で最も弱い部位を選定した。



ユニットモデル図

図 4.18 空調ユニットの評価対象部位

⑤-3 評価結果

設計竜巻による気圧差荷重に対する外板の評価結果を表 4.34 に示す。

外板に発生する曲げ応力は許容応力を下回り、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。

表4.34 空調ユニットの影響評価結果

機器名称	曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
安全補機開閉器室給気ユニット	207	360	1.7	○

ロ. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

(イ) ディーゼル発電機排気消音器

①評価方針

ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルトに対して、設計竜巻による気圧差による荷重 ($W_P=W_{T1}$) 並びに、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_W)、設計竜巻による気圧差による荷重 (W_P) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重 ($W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$) により発生する応力を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、ディーゼル発電機吸気消音器 (吸気口) とディーゼル発電機排気消音器 (排気口) は共に大気開放されており、かつ近接して設置されているため、ディーゼル発電機排気消音器については、設計竜巻による気圧差による荷重 (W_P) は考慮しない。また、設計飛来物のうち、鋼製材及び鋼製パイプは、衝突により当該施設を貫通することから、衝撃荷重 (W_M) としては、砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重 (W_M) については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重により転倒する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、評価上厳しくなる構造上の不連続部を選定した。

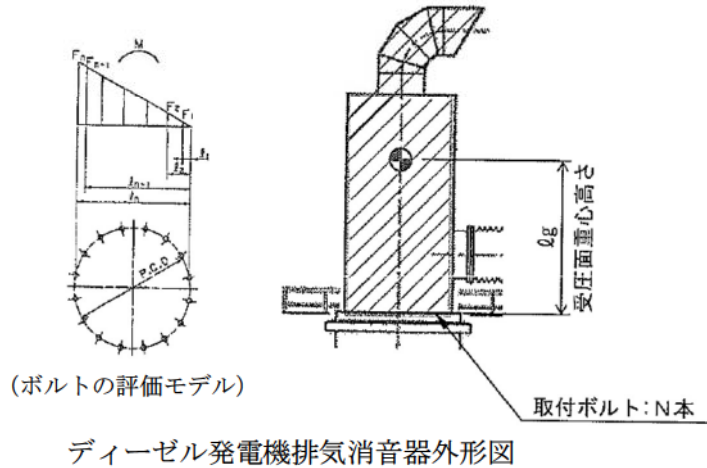


図 4.19 ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位

③評価結果

設計竜巻の風圧力による荷重に対するディーゼル発電機排気消音器の評価結果を表 4.35 に示す。

ディーゼル発電機排気消音器に発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.35 ディーゼル発電機排気消音器の影響評価結果

機器名称	評価対象部位	発生応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
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	○

(ロ) 主蒸気逃がし弁消音器

①評価方針

主蒸気逃がし弁消音器の架台の柱脚すみ肉溶接部に対して、設計竜巻による気圧差による荷重 ($W_{T1}=W_p$) 並びに、設計竜巻の風圧力による荷重 (W_w)、設計竜巻による気圧差による荷重 (W_p) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) を組み合わせた複合荷重 ($W_{T2}=W_w+0.5W_p+W_M$) により発生する応力を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

ただし、主蒸気逃がし弁消音器については、大気開放されているため、設計竜巻

による気圧差による荷重(W_p)は考慮しない。また、設計飛来物のうち、鋼製材及び鋼製パイプは、衝突により当該施設を貫通することから、衝撃荷重 (W_M) としては、砂利のみを考慮することになるが、砂利については、衝突時間が極めて短く、機器に対する影響がごくわずかであることから、衝撃荷重 (W_M) については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重により転倒する可能性が考えられるため、風圧力による荷重を受ける部分のうち、強度面で相対的に弱いと想定される部位を選定した。

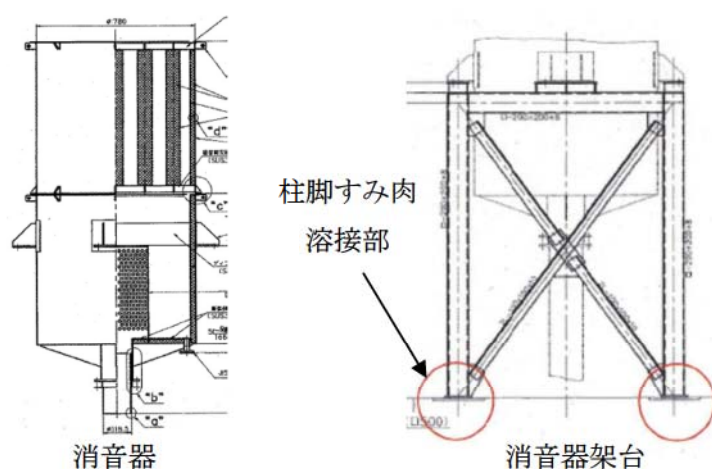


図 4.20 主蒸気逃がし弁消音器の評価対象部位

③評価結果

設計竜巻の風圧力による荷重に対する柱脚すみ肉溶接部の評価結果を表 4.36 に示す。

柱脚すみ肉溶接部に発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.36 主蒸気逃がし弁消音器の影響評価結果

機器名称	評価対象部位	発生応力	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	評価結果
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	○

(ハ) 主蒸気安全弁排気管，タービン動補助給水ポンプ排気管

①評価方針

主蒸気安全弁排気管及びタービン動補助給水ポンプ排気管に対して，設計竜巻による気圧差による荷重($W_{T1}=W_p$)並びに，設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)，設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_w+0.5W_p+W_M$)により発生する応力を算出し，許容応力と比較することにより，構造健全性を評価する。

ただし，主蒸気安全弁排気管及びタービン動補助給水ポンプ排気管については，大気開放されているため，設計竜巻による気圧差による荷重(W_p)は考慮しない。また，設計飛来物のうち，鋼製材及び鋼製パイプは，衝突により当該施設を貫通することから，衝撃荷重(W_M)としては，砂利のみを考慮することになるが，砂利については，衝突時間が極めて短く，機器に対する影響がごくわずかであることから，衝撃荷重(W_M)については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重を受ける部位(建屋外に露出している部分)を選定した。

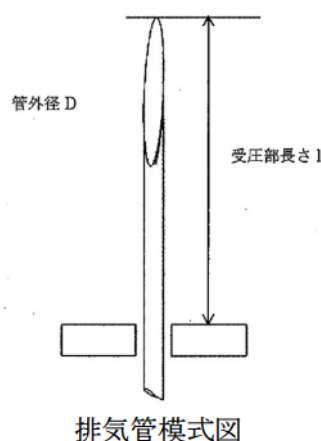


図 4.21 主蒸気安全弁排気管，タービン動補助給水ポンプ排気管の評価対象部位

③評価結果

設計竜巻の風圧力による荷重に対する主蒸気安全弁排気管及びタービン動補助給水ポンプ排気管の評価結果を表 4.37，38 に示す。

主蒸気安全弁排気管及びタービン動補助給水ポンプ排気管に発生する応力は許容応力を下回り，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。

表4.37 主蒸気安全弁排気管の影響評価結果

機器名称	発生応力	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	評価結果
主蒸気安全弁排気管	曲げ	14.6	182.7	12.5	○

表4.38 タービン動補助給水ポンプ排気管の影響評価結果

機器名称	発生応力	応力値(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	評価結果
タービン動補助給水ポンプ排気管	曲げ	34.0	182.7	5.3	○

(ニ) A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管, B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

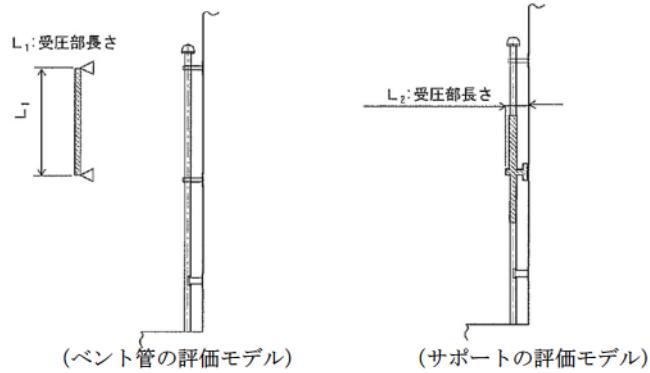
①評価方針

A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽及び B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽のベント管及びサポートに対して, 設計竜巻による気圧差による荷重($W_{T1}=W_P$)並びに, 設計竜巻の風圧力による荷重(W_W), 設計竜巻による気圧差による荷重(W_P)及び設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重($W_{T2}=W_W+0.5W_P+W_M$)により発生する応力を算出し, 許容応力と比較することにより, 構造健全性を評価する。

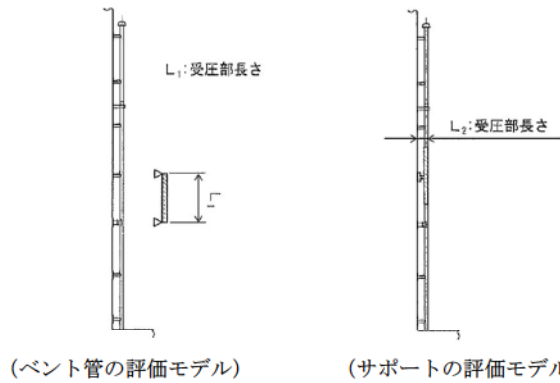
ただし, ベント管については, 大気開放されているため, 設計竜巻による気圧差による荷重(W_P)は考慮しない。また, 設計飛来物のうち, 鋼製材及び鋼製パイプは, 衝突により当該施設を貫通することから, 衝撃荷重(W_M)としては, 砂利のみを考慮することになるが, 砂利については, 衝突時間が極めて短く, 機器に対する影響がごくわずかであることから, 衝撃荷重(W_M)については複合荷重に含めないものとする。

②評価対象部位

設計竜巻による複合荷重を受ける部位(建屋外に露出している部分)を選定した。



A1, A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管外形図



B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管外形図

図 4.22 ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管の評価対象部位

③評価結果

設計竜巻の風圧力による荷重に対するベント管及びサポートの評価結果を表 4.39 に示す。

ベント管及びサポートに発生する応力は許容応力を下回り、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。

表4.39 ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管の影響評価結果

機器名称	評価部位	発生 応力	応力値 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	評価結果
A1, A2-ディーゼル発電機 燃料油貯油槽ベント管	ベント管	曲げ	9.0	215	23.8	○
	サポート		16.0	245	15.3	○
B1, B2-ディーゼル発電機 燃料油貯油槽ベント管	ベント管	曲げ	5.0	215	43.0	○
	サポート		14.0	245	17.5	○

(ホ) 換気空調設備

蓄電池室排気装置について、竜巻による影響評価を行う。

具体的には、外気と繋がるダクト、ファン及び外気との境界となるダンパに対して影響評価を行う。

①ダクト

①-1 評価方針

・角ダクト

「イ. (ホ) ①ダクト」に同じ。

・丸ダクト

「イ. (ホ) ①ダクト」に同じ。

①-2 評価対象部位

設計竜巻による気圧差の影響を受けるダクトを選定した。

①-3 評価結果

・角ダクト

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するダクト鋼板の評価結果を表 4.40 に示す。

ダクト本体（ダクト鋼板）に発生する応力等は許容値を下回り、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。

表4.40 角ダクトの影響評価結果

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)			評価結果
			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	
ハゼ折低圧角ダクト	200×600× 0.6t	SGCC	141	189	1.3	12	189	15.7	20.5	885.8	43.2	○

注：最も裕度の小さいものを記載

・丸ダクト

長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対するダクト鋼板の評価結果を表 4.41 に示す。

ダクト鋼板に発生する応力等は許容値を下回り、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。

表4.41 丸ダクトの影響評価結果

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 結果
			発生応力	許容値	裕度	発生値*	許容値	裕度	
スパイラル低圧丸 ダクト	φ300×0.6t	SGCC	2.3	2.9	1.2	0.8	0.9	1.1	○

※：発生値＝周方向応力/許容値＋曲げモーメント/許容値

注：最も裕度の小さいものを記載

②ダンパ

②-1 評価方針

「イ. (ホ) ②ダンパ」に同じ。

②-2 評価対象部位

「イ. (ホ) ②ダンパ」に同じ。

②-3 評価結果

評価対象ダンパのケーシング又はベーンの様子が「イ. (ホ) ②ダンパ」において選定した代表ダンパより短いことから、代表ダンパの評価に包絡される。

③ファン

③-1 評価方針

蓄電池室排気ファンのケーシングに対して、設計竜巻による気圧差による荷重により発生する周応力（圧縮応力）を算出し、許容応力と比較することにより、構造健全性を評価する。

③-2 評価対象部位

「イ. (ホ) ④ファン」に同じ。

③-3 評価結果

設計竜巻による気圧差荷重に対するケーシングの評価結果を表 4.42 に示す。ケーシングに発生する周応力は許容応力を下回り、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。

表4.42 ファンの影響評価結果

機器名称	周応力(MPa)	許容応力(MPa)	裕度	評価結果
蓄電池室排気ファン	1	240	240.0	○

(e) その他の確認事項（補足説明資料2 8 参照）

イ. 気圧差に対する影響評価

「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

(イ) 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

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（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を含む）、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。

(ロ) 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25.（2）項参照）。

(ハ) 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，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の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。

ロ. 竜巻による風の流入による影響

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、上記イ. (ハ)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。

(f) 基準津波の高さや防護範囲の広さ等の重要性に鑑み、自主的に機能維持のための配慮を行う施設

イ. 防潮堤

風圧力による荷重に対して、倒壊せず安全機能を損なわない設計とする。

設計飛来物により損傷が生じた場合には、損傷状況を踏まえ、必要に応じて、プラント停止して修復する。

ロ. 溢水防止壁

風圧力による荷重に対して、倒壊せず安全機能を損なわない設計とする。

設計飛来物により損傷が生じた場合には、損傷状況を踏まえ、必要に応じて、プラント停止して修復する。

5. 竜巻随件事象に対する評価

(1) 概要

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及び泊発電所のプラント配置から想定される以下の事象を抽出し、これらの事象に対して、竜巻防護施設の安全機能が維持されることを確認する。(補足説明資料3 3参照)

(2) 評価結果

a. 火災

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計竜巻により飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突し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はなく、火災防護計画により適切に管理することから、建屋内の竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認した。

また、設計竜巻による発電所敷地内の危険物タンクの火災に関しては、外部火災影響評価における発電所敷地内の危険物タンクの火災影響評価と同様であり、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認した。

なお、建屋外の火災については、竜巻通過後、速やかに消火用水、化学消防自動車及び水槽付き消防ポンプ自動車等による消火活動を行う。

b. 溢水

竜巻防護施設を内包する建屋内については、設計竜巻により飛来物が侵入する場合でも、建屋開口部付近に飛来物が衝突し発電用原子炉施設の安全性を損なう可能性のある溢水源はないことから、建屋内の竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認した。

また、燃料取扱棟には使用済燃料ピットが設置されているため、設計竜巻により使用済燃料ピットの水が吸い上げられて流出することも考えられるが、設計飛来物により外壁の一部が損傷したとしても、損傷することで評価荷重は小さくなるため、当該建屋の構造健全性は維持され、屋根が崩落するようなことはないと考えられることから、設計竜巻により使用済燃料ピットの水が吸い上げられて流出することはなく、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認した。

さらに、設計飛来物の衝突による発電所敷地内の屋外タンクの溢水に関しては、内部溢水影響評価における屋外タンクの溢水影響評価において、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認する方針としている。

c. 外部電源喪失

設計竜巻と同時に発生する雷、ダウンバーストの影響により外部電源が喪失した場合でも、非常用ディーゼル発電機(D/G)はディーゼル発電機建屋内に収納してあり、設計竜巻による風圧力、気圧差による圧力及び飛来物による機関への影響はない。吸排気については外気と

繋がっているが、吸気口と排気口は近接して設置されていることから、気圧差は生じ難いと考えられるが、吸排気系統出入口で気圧差が発生することを考慮しても、吸気側が負圧となった場合、吸入空気の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と、排気ガス温度が徐々に上昇し、520℃を超過すれば出力制限となるが、竜巻は吸排気口設置区間を短時間で通過することから、排気ガス温度の急激な上昇はなく D/G の運転に支障をきたすことはない。

また、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機による送気がし難くなるため、上記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。

以上から、D/G は安全機能を維持しており、設計竜巻と同時に発生する雷、ダウンバーストの影響により外部電源が喪失した場合でも、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えないことを確認した。

6. 竜巻対策（補足説明資料2-6参照）

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。
- ・飛散及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場合は、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、防護鋼板、防護ネット等（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

竜巻襲来時に泊発電所構内に保管されている屋外の各種資機材等（重大事故等対処設備含む）の飛散・衝突により，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 6.1 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）。

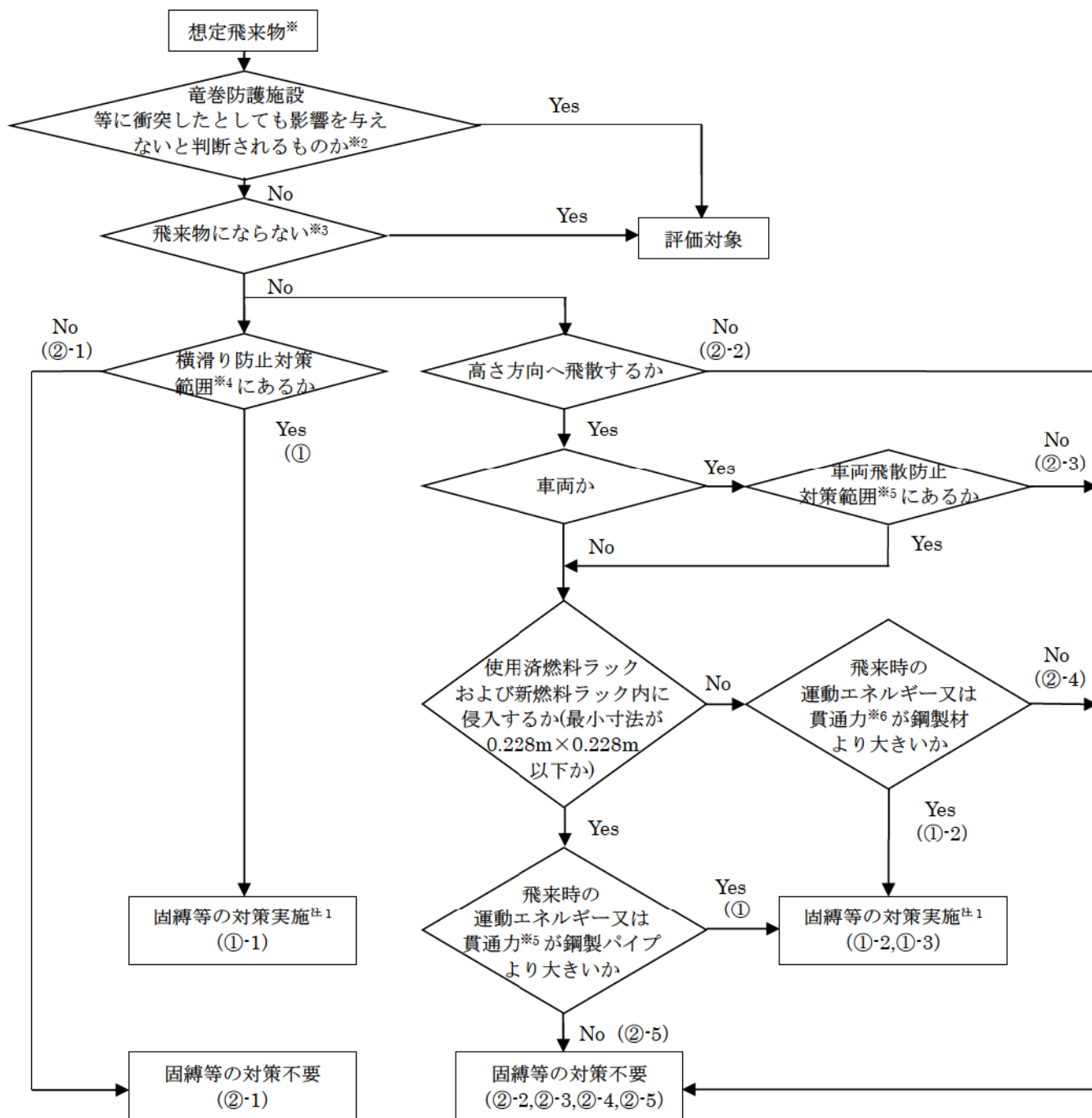


図 6.1 飛来物発生防止対策要否評価フロー

- ※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。
- ※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、上記のフローに抛らず、竜巻襲来が予想される場合は、車両飛散防止対策範囲外へ退避する。

図 6.1 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 346m 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。

■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 6.1 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 6.1 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 6.1 に主な想定飛来物（図 6.1 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 6.1 主な想定飛来物の飛来物発生防止対策

想定飛来物	飛来物発生防止対策
コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 十分な重さのウェイトを取付ける。 ウェイトの重量については、コンテナの自重+ウェ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。
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。
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ェイトを取付ける。 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。 ウェイトの重量については、鋼製材の自重+ウェ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。
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"> 車両の飛散距離を考慮し、竜巻防護施設を内包する建屋等から 350m の範囲内について下記の対策を実施する。 アンカーにより地面へ固縛する、または十分な重さのウェイトを取付ける。 ウェイトの重量については、車両の自重+ウェ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"> 車両の移動距離を考慮し、竜巻防護施設を内包する建屋等から 190m の範囲内について下記の対策を実施する。 アンカーにより地面へ固縛する。

(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 6.2 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。

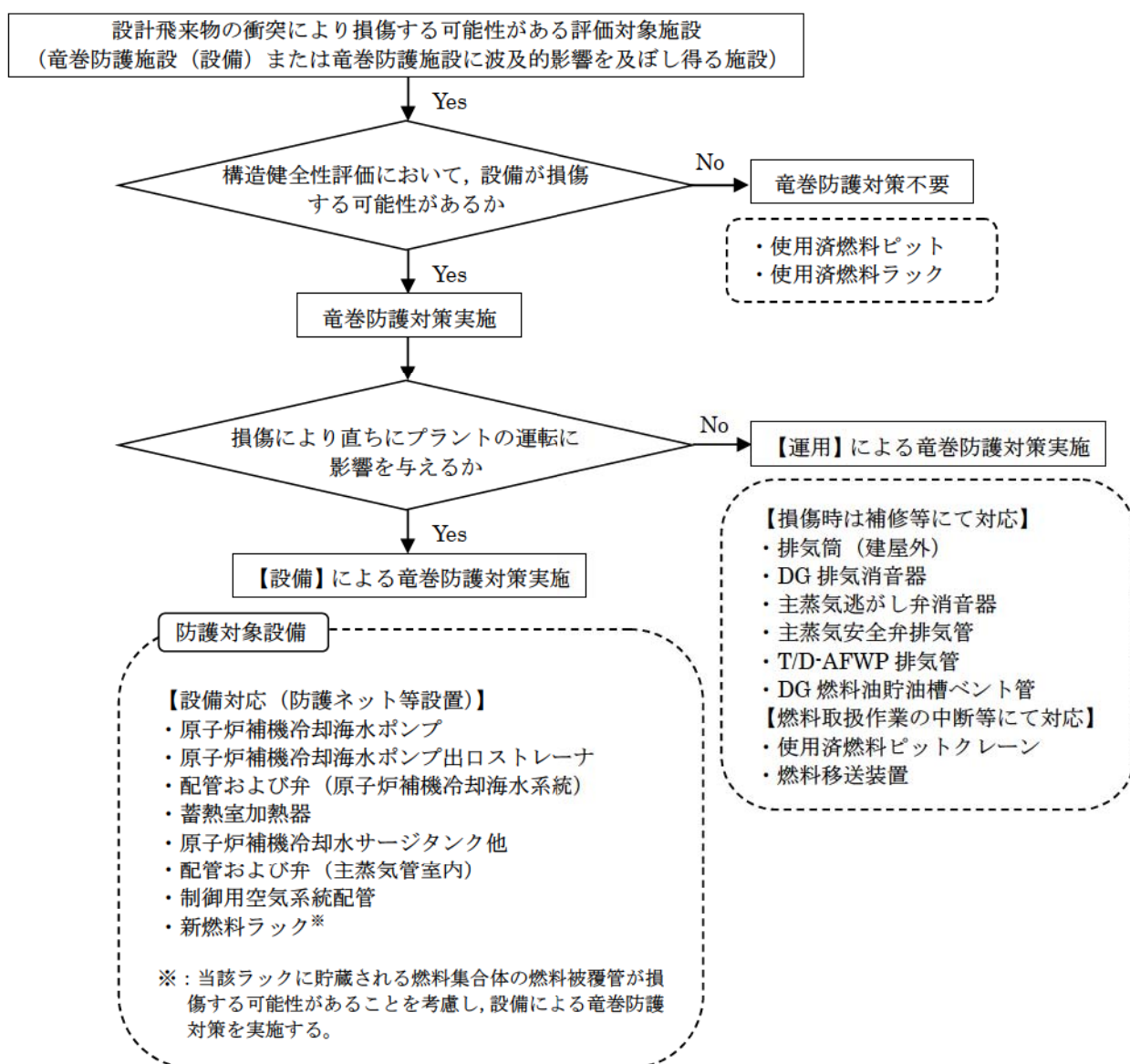


図 6.2 竜巻防護対策実施有無の抽出フロー

a. 設備による竜巻防護対策

設備による竜巻防護対策（以下「飛来物防護対策」という。）として、防護鋼板、防護ネット等の設置により、防護対象設備を飛来物から防護する対策を実施する（表 6.2 参照）。

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。

原子炉補機冷却海水ポンプ及び蓄熱室加熱器の竜巻飛来物防護対策設備概念図を図 6.3 に示す。

表 6.2 防護対象設備毎の飛来物防護対策内容一覧

防護対象設備	対策内容
原子炉補機冷却海水ポンプ（配管および弁含む）	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されている取水ピットポンプ室の上部開口部に防護ネット（金網）を設置する。
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）	<ul style="list-style-type: none"> 防護対象設備が設置されているストレーナ室の上部開口部に防護ネット（金網）を設置する。
蓄熱室加熱器	<ul style="list-style-type: none"> 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ー室の壁面開口部（当該加熱器背面の空気口）に防護鋼板を設置する。
原子炉補機冷却水サージタンク他	<ul style="list-style-type: none"> 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）に防護壁を設置する。
配管および弁（主蒸気管室内）	<ul style="list-style-type: none"> 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）に防護鋼板を設置する。
制御用空気系統配管	<ul style="list-style-type: none"> 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に防護壁を設置する。
新燃料ラック（貯蔵している燃料集合体）	<ul style="list-style-type: none"> 新燃料ラック内上部に防護鋼板を設置する。（当該ラックに燃料集合体を貯蔵した場合に設置）

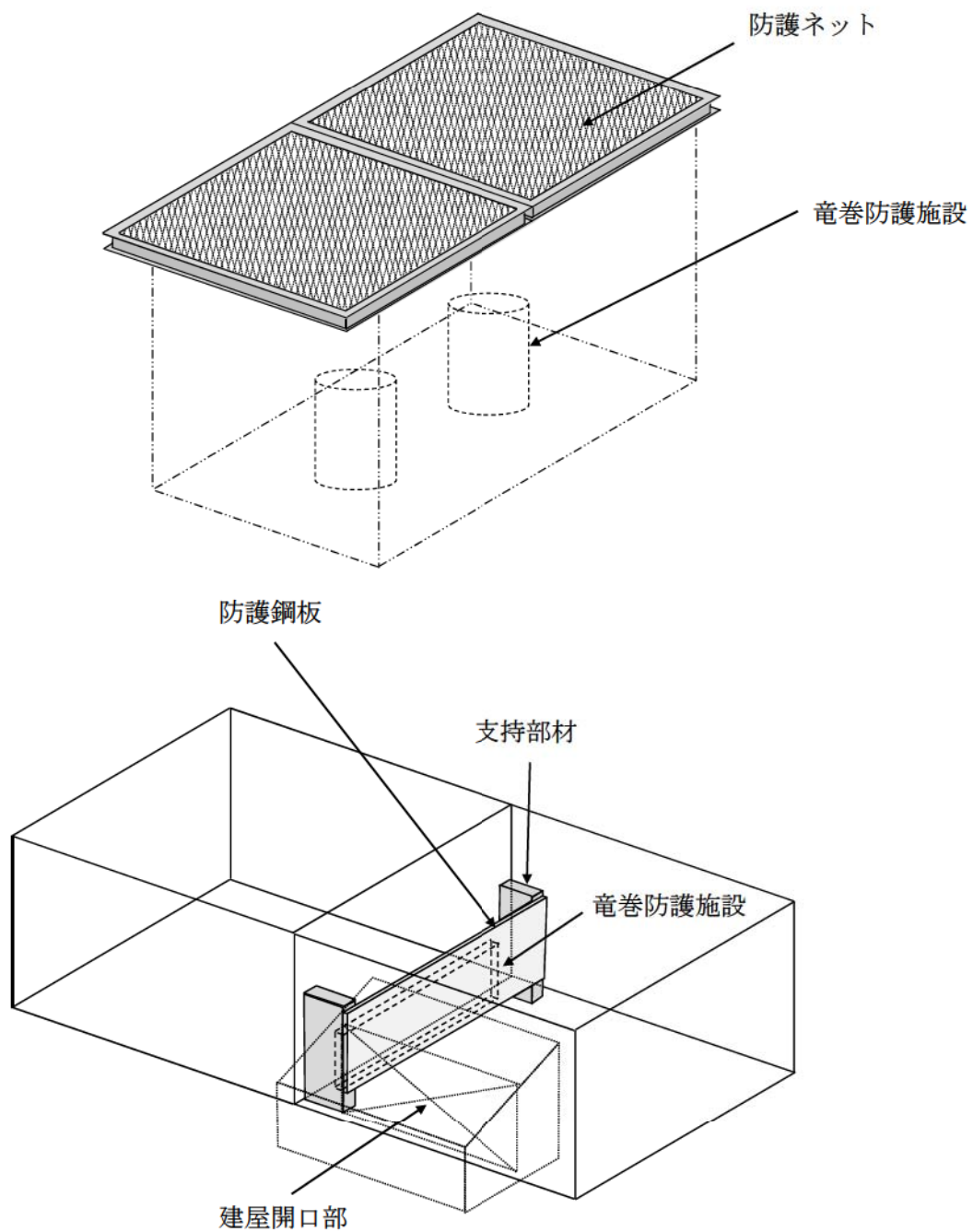


図 6.3 竜巻飛来物防護対策設備概念図

(a) 防護ネット（金網）の設計

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しており、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を確認するために、以下の方法にて評価を実施する。

なお、評価にあたっては、飛来物防護対策にあたって想定する設計飛来物である鋼製材、鋼製パイプ、砂利のうち、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。

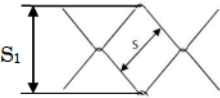
イ. 金網の強度評価

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）

評価に係る諸元を以下に示す。

<金網の諸元>

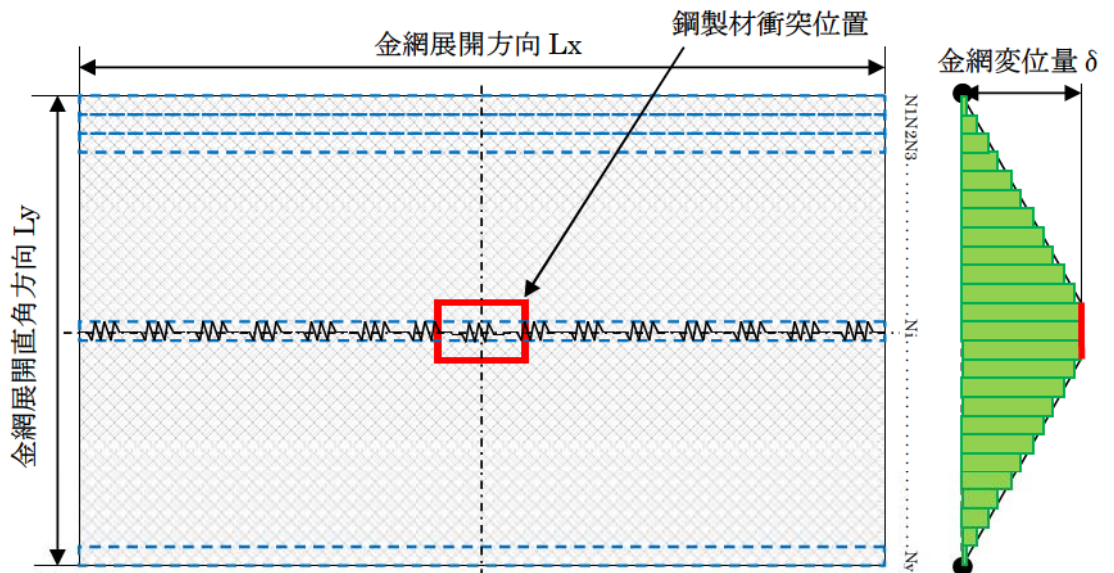
金網の目合い 	$S=50\text{mm}$ $S_1=50 \times \sqrt{2} = 70.7\text{mm}$
素線径	$d = \phi 4\text{mm}$
素線の引張強さ	1400N/mm^2
破断時の金網1目当たりの伸び量	$L=20\text{mm}$
材質	JIS G3506 硬鋼線材 (SWRH62A) JIS G3548 亜鉛めっき鋼線

<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=57m/s 又は 38m/s (設置方向による) ※：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	$E=1/2 \times m \times V^2 / 1000 = 97.5 \text{kJ} \Rightarrow 98 \text{kJ}$

(イ) 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。



各列の吸収エネルギーは、金網1目合いを1つのバネと考え、 $N_x (=L_x/70.7\text{mm})$ 個のバネを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）を K_x とすると、 i 番目の列における張力 P_i は、

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

となり、作用力 F_i 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 E_i は、

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

となり、金網の吸収エネルギー E は、 N_1 から N_y 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。

$$E = \sum_{i=N_1}^{N_y} E_i$$

(ロ) 風および自重による影響

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する。

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する。

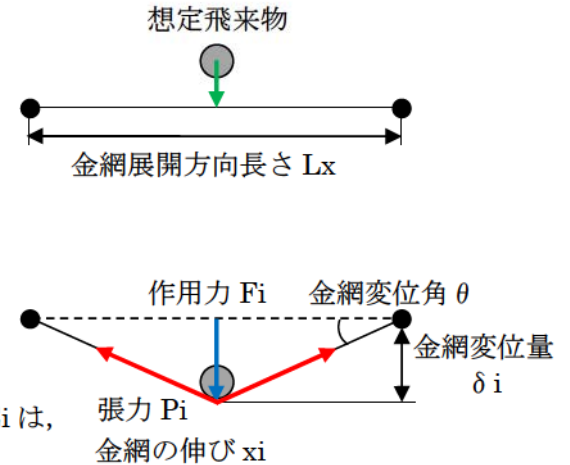
上記(イ)項の金網の吸収エネルギー評価と同様に、金網を金網展開直角方向に1目間合い毎に分割し、分割された1列に作用する風圧力 P_D および自重 P_W は次のとおり算出できる。

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

ここで、 ρ : 空気密度

G : ガスト影響係数

C : 風力係数



$$A : \text{受圧面積} = \left\{ \left(\frac{S+2d}{1000} \right)^2 - \left(\frac{S}{1000} \right)^2 \right\} \times \frac{1000 \times Lx}{S_1}$$

ここで, d : 素線径

S : 金網の目合い

S₁ : 金網の目合い対角寸法

Lx : 金網展開方向長さ

N : ネットの設置枚数

$$P_w = \frac{a \times m \times g \times n}{1000} \Bigg/ \frac{1000 \times Ly}{S_1}$$

ここで, ネットの面積 $a = Lx \times Ly$

ここで, Lx : 金網展開方向長さ

Ly : 金網展開直角方向長さ

m : ネットの単位質量

g : 重力加速度

n : ネットの設置枚数

S₁ : 金網の目合い対角寸法

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 (イ) 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。

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

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

また, 自重 P_w により金網全体が受けるエネルギーについても, 上記同様に算出する。

ロ. 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

ハ. 鋼製枠の強度評価

鋼製材の衝突荷重は、金網及びワイヤーロープを介して鋼製枠に作用することから、鋼製枠へ作用する荷重はワイヤーロープ荷重であり、評価にあたっては、ワイヤーロープの許容荷重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。

ニ. 評価結果

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、風圧力および自重により金網が受けるエネルギーを考慮しても、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（あるいは設置建屋）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 6.3 に防護対象設備毎の評価結果一覧を示す。

なお、鋼製枠については、ワイヤーロープの許容荷重により発生する応力度が許容応力度を満足することを確認した。

表 6.3 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

(b) 防護鋼板の設計

防護鋼板が設計飛来物の貫通を防止するのに十分な強度を有しているかを確認するために、以下の方法にて評価を実施する。

イ. 防護鋼板の強度評価

BRL 式を用いて算出した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、防護鋼板の厚さ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。

なお、評価にあたっては、飛来物防護対策にあたって想定する設計飛来物である鋼製材、鋼製パイプ、砂利のうち、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飛来物として想定する。

ロ．評価結果

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。

(c) 防護壁（防護コンクリート）の設計

防護壁が設計飛来物の貫通を防止するのに十分な強度を有しているかを確認するために、以下の方法にて評価を実施する。

イ．防護壁の強度評価

修正 NDRC 式及び Degen 式を用いて算出した設計飛来物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と、防護壁の厚さ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。

なお、評価にあたっては、飛来物防護対策にあたって想定する設計飛来物である鋼製材、鋼製パイプ、砂利のうち、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。

ロ．評価結果

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。

b．運用による竜巻防護対策

設計飛来物の衝突により、構造健全性が維持できない評価対象施設については、安全機能の維持に影響を与えないよう、補修等を実施する。

また、換気空調設備については、気圧差の影響を極力回避する観点から、竜巻襲来が予想される場合は、外気との境界となるダンパ及びバタフライ弁の閉止又は閉止状態確認を行う。

(a) 排気筒

当該設備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、竜巻が原因で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。

なお、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統
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、補修を実施する。（補足説明資料27参照）

（b）燃料移送装置

当該設備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、当該設備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）内に移動して、当該作業を一
時中断する運用とする。これにより、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24参照）

（c）使用済燃料ピットクレーン

当該設備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、当該設備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て、当該作業を一時中断する運用とする。これにより、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24参照）

（d）換気空調設備

換気空調設備（アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試
料採取室空調装置、中央制御室空調装置、電動補助給水ポンプ室換気装置、制御用空気
圧縮機室換気装置、ディーゼル発電機室換気装置、安全補機開閉器室空調装置及び蓄電
池室排気装置）については、外気と繋がっているため、設計竜巻による気圧差の影響を
受ける。

このうち、アニュラス空気浄化設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置、試料採
取室空調装置及び中央制御室空調装置については、気圧差の影響を極力回避する観点か
ら、竜巻襲来が予想される場合は、排気筒に繋がる換気空調設備（アニュラス空気浄化
設備、格納容器空調装置、補助建屋空調装置及び試料採取室空調装置）及び中央制御室
空調装置の外気との境界となるダンパ及びバタフライ弁を閉止する、又は閉止状態を確
認する運用とする（これに伴って排気筒に繋がる換気空調設備のファンは停止する、又

は停止状態を確認する，中央制御室空調装置のファンは閉回路循環運転とする)。

なお，上記以外の換気空調設備については，竜巻防護施設の冷却等に使用されているため，冷却継続等の観点から，竜巻襲来時においてもファンは停止しない。

- (e) ディーゼル発電機排気消音器，主蒸気逃がし弁消音器，主蒸気安全弁排気管，タービン動補助給水ポンプ排気管，A1,A2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管，B1,B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽ベント管

当該設備に設計飛来物が衝突した場合，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，竜巻襲来後の巡視点検により，飛来物による当該設備の損傷を確認した場合は補修を実施する。

(4) 竜巻防護に関する運用・手順等

竜巻防護に関する運用及び手順等については，以下の項目について社内規程類に規定し実施する。

- a. 飛来物となる可能性のある物のうち，飛来時の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物である鋼製材よりも大きな物については，管理規定を定め，設置場所等に応じて固縛，固定，竜巻防護施設からの離隔又は撤去により飛来物とならない管理を行う手順等を整備し，的確に実施する。
- b. 車両については入構を管理するとともに，上記 a. 項に加え，竜巻襲来が予想される場合の退避又は固縛により飛来物とならない管理を行う手順等を整備し，的確に実施する。
- c. 竜巻飛来物防護対策設備の取付け・取外し手順，飛来物発生防止対策に使用する資機材の操作手順等を整備し，的確に実施する。
- d. 竜巻襲来が予想される場合には，原子炉建屋及びディーゼル発電機建屋の扉を閉止する，又は閉止状態を確認する手順等を整備し，的確に実施する。
- e. 竜巻襲来が予想される場合には，換気空調系統のダンパ等を閉止する，又は閉止状態を確認する手順等を整備し，的確に実施する。
- f. 竜巻襲来が予想される場合の原子炉建屋（燃料取扱棟）における燃料取扱作業中断については，手順等を整備し，的確に実施する。
- g. 安全施設のうち，竜巻に対して構造健全性が維持できない場合の代替設備又は予備品の確保においては，運用等を整備し，的確に実施する。
- h. 竜巻飛来物防護対策設備に要求される機能を維持するため，適切に保守管理を実施するとともに，必要に応じ補修を行う。
- i. 建屋開口部付近に飛来物が衝突し，原子炉施設の安全性を損なう可能性がある発火性又は引火性物質を内包する機器の設置については，火災防護計画により適切に管理するとともに，必要に応じ防護対策を行う。

- j. 竜巻襲来後においては、巡視点検により損傷の有無を確認する手順等を整備し、的確に実施する。
- k. 竜巻襲来後の巡視点検により、排気筒に損傷を確認した場合には、プラントを停止して補修する手順等を整備し、的確に実施する。
- l. 竜巻の襲来後、建屋外において火災を発見した場合、消火用水、化学消防自動車及び水槽付き消防ポンプ自動車等による消火活動を行う手順等を整備し、的確に実施する。
- m. 竜巻に対する運用管理を確実に実施するために必要な技術的能力を維持・向上させることを目的とし、竜巻に対する運用管理に関する教育及び訓練を実施する。

(5) 停車車両の退避（補足説明資料2_6_添付資料-1参照）

車両の飛来物発生防止対策のうち、停車車両の退避にあたっては、以下のとおり運用する。

a. 対象車両

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修事務所内の駐車場に駐車し、運転手が事務所内にいる場合をいう。

b. 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 滝ノ間駐車場

図6.3に退避場所を示す。

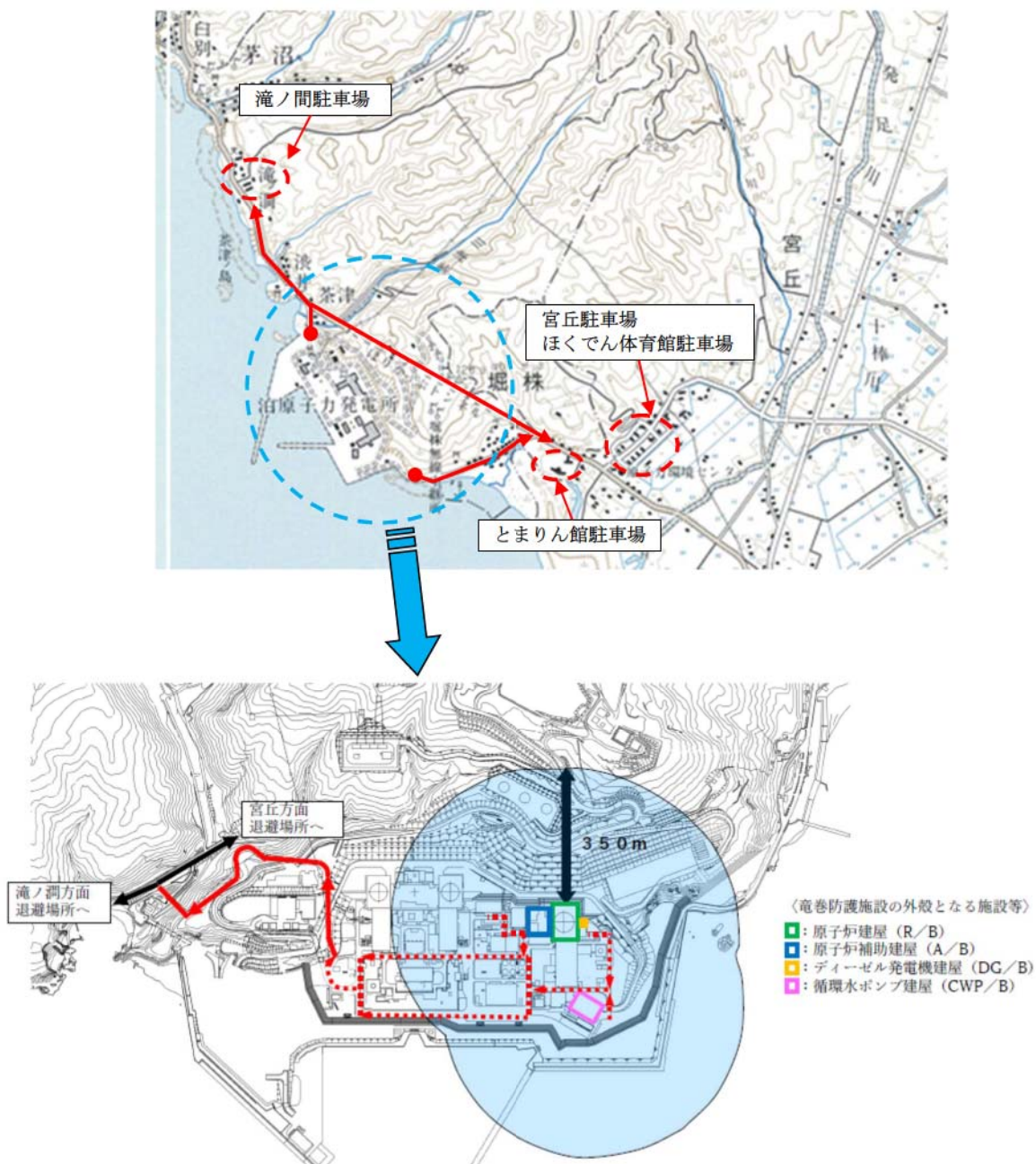


図6.3 退避場所

(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。

c. 退避手順（暫定案）

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。竜巻襲来の恐れを早期に検知する方法として，気象庁から発表される「竜巻注意情報」，「雷注意報（竜巻，ひょう）」，さらに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。図 6.4 の対応フローに示す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

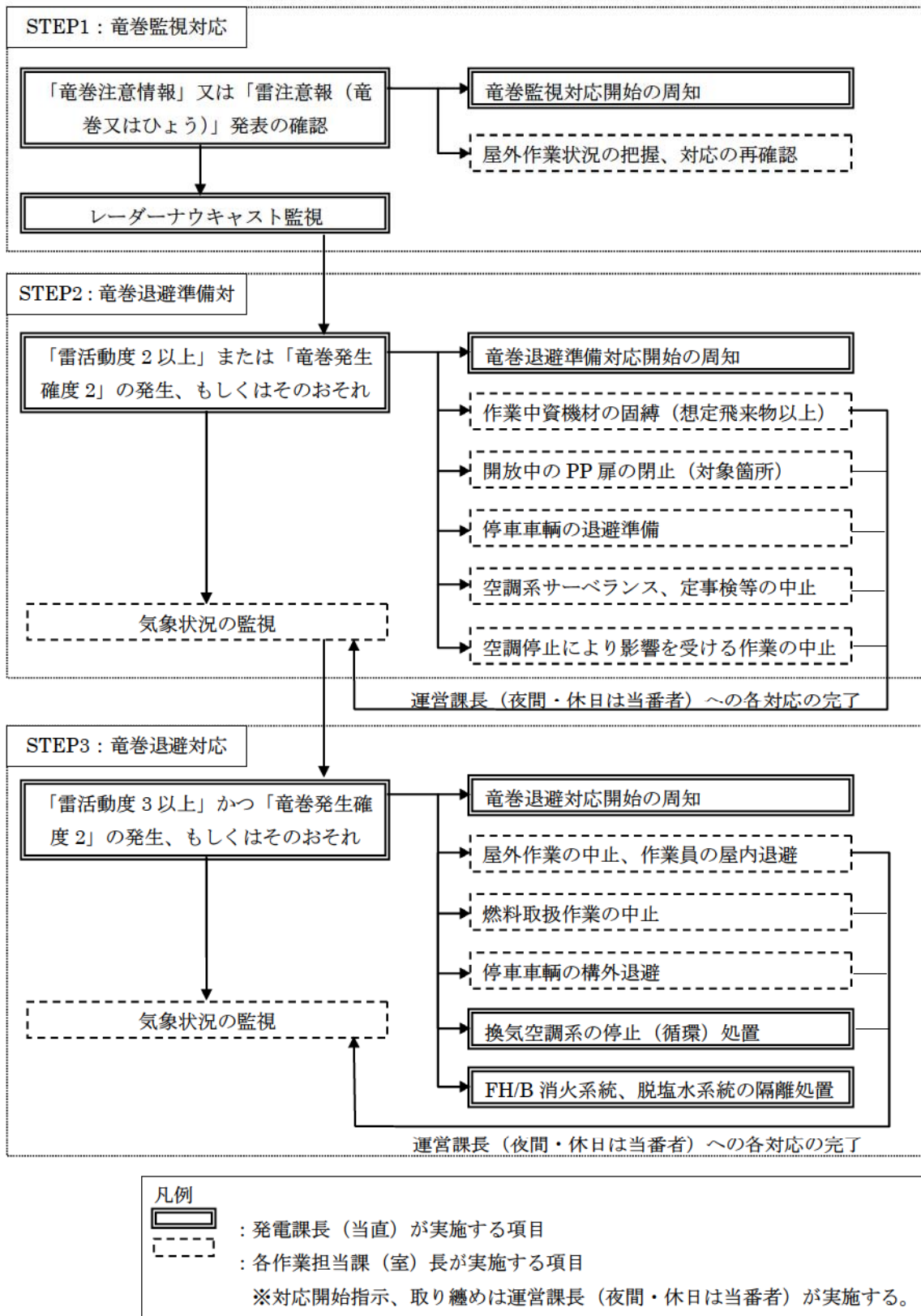


図 6.4 竜巻対応フロー

(6) 竜巻襲来時の排気筒に関する運用（補足説明資料2.7参照）

排気筒は建屋外に露出している部分があるため（図6.5参照）、竜巻襲来時の飛来物によって損傷する可能性がある。

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システムが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、補修を実施することとしている。

以下に竜巻襲来後の点検手順を示す。

<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。

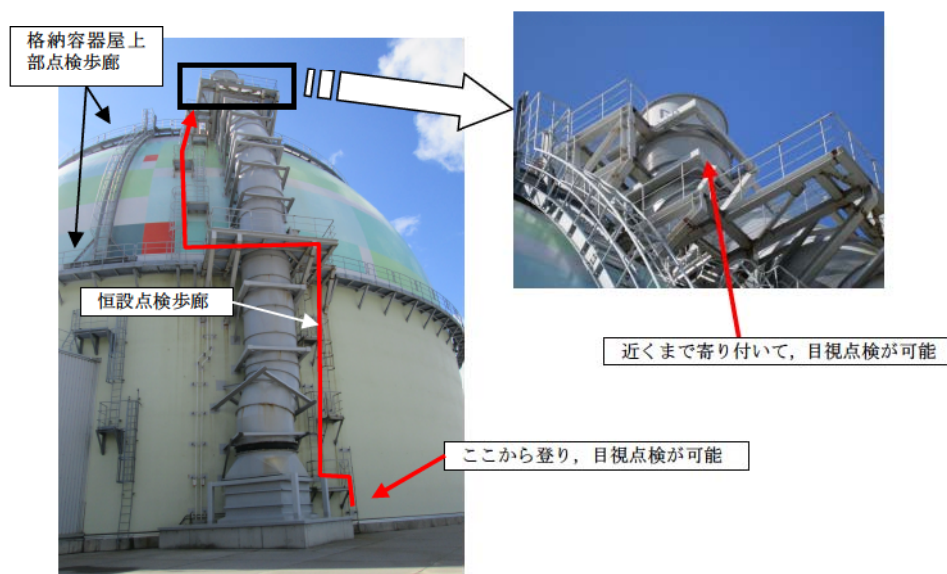


図 6.5 排気筒外観

泊発電所 3 号機

竜巻影響評価結果

補足説明資料

目 次

I. 竜巻影響評価について

1. 基準竜巻の設定について
2. 相関係数の算出及び検定方法について
3. 総観場の分布図
4. 襟裳岬から東側の海岸線等における竜巻発生数
5. 円形構造物に対する竜巻移動方向の依存性について
6. 竜巻発生個数の補正方法の妥当性について
7. 竜巻集中地域の評価について
8. ポアソン分布を用いたハザード曲線の評価
9. 地形効果による竜巻風速の増幅について
10. 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出について
11. 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について
12. 想定飛来物の抽出及び設計飛来物の設定について
13. 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重について
14. 雹を飛来物として想定した場合の影響評価について
15. 設計基準事故時荷重の組み合わせを考慮していない理由について
16. 建物・構築物等の構造健全性の確認内容について
17. 評価式の妥当性及び評価方法について
18. デッキプレート等によるコンクリート片の飛散防止について
19. 評価対象施設の評価実施項目および考え方について
20. 評価対象施設の評価方法について
21. BRL 式の妥当性および評価内容について
22. 使用済燃料ピット内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について
23. 新燃料貯蔵庫内へ設計飛来物が進入した場合の影響評価に係る評価条件等について
24. 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
25. 評価対象施設の評価結果について
26. 飛来物対策について
 - 添付資料－1 停車車両の退避について
 - 添付資料－2 停車車両退避訓練の状況について
 - 添付資料－3 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

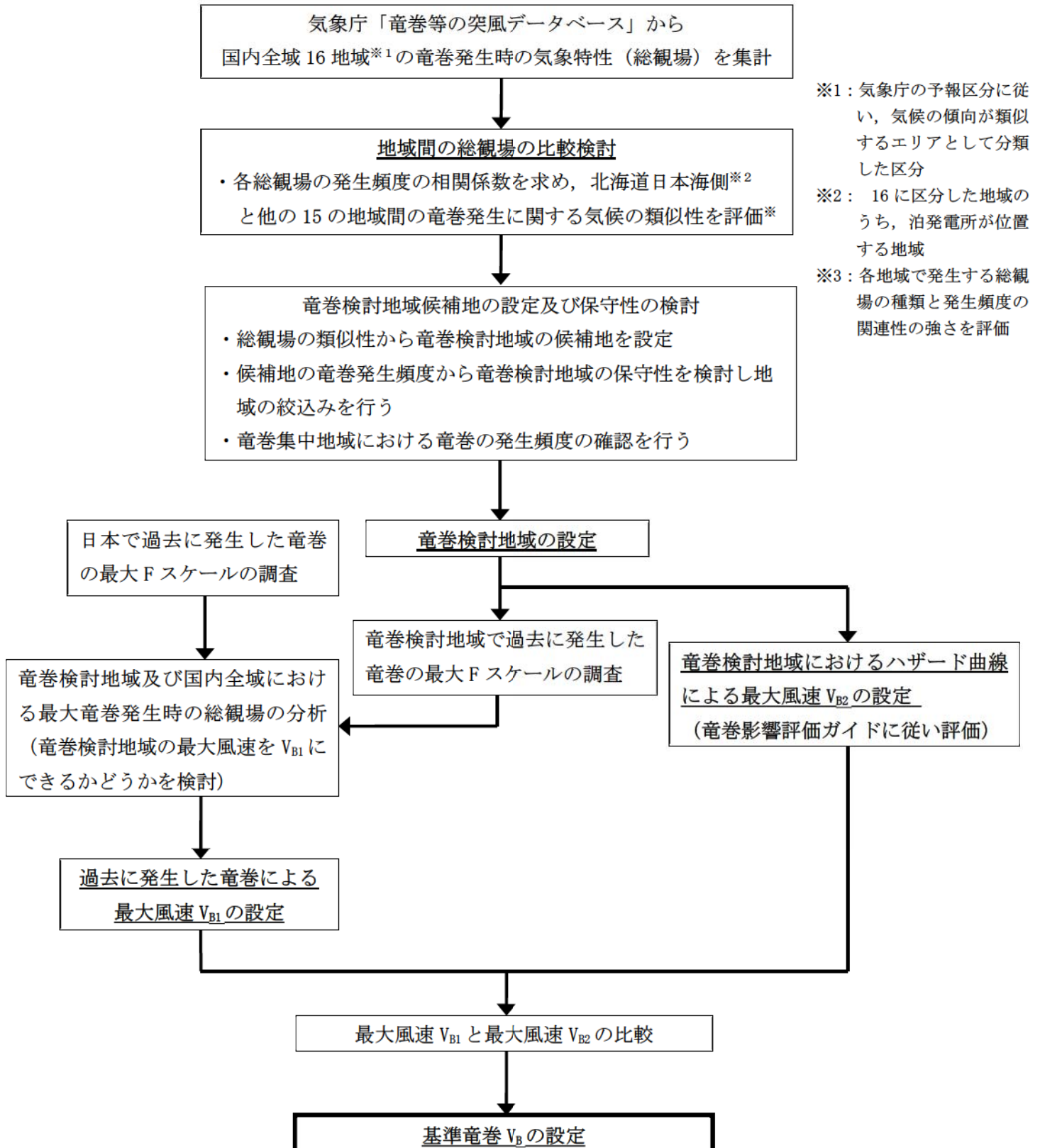
27. 竜巻襲来時において排気筒に求められる機能について
28. 気圧差の影響を受けることが想定される設備の影響評価について
29. 2次飛来物の抽出について
30. 竜巻防護施設（設備）に影響を及ぼす可能性のある建屋開口部について
31. 極小飛来物の衝突に対する設備への影響について
32. 砂等の粒子状の飛来物による目詰まり、閉塞、噛み込みに対する影響評価について
33. 竜巻随件事象として想定される事象の抽出について
34. 送電鉄塔への竜巻襲来時における影響について
35. 解析コードについて
36. 竜巻発生時における重大事故等対処設備の考慮について
37. 竜巻影響評価の概要及び保守性について
38. 竜巻影響評価及び竜巻対策の概要

II. 原子力発電所の竜巻影響評価ガイドへの適合状況について

I. 竜巻影響評価について

1. 基準竜巻の設定について

1.1 基準竜巻の設定フロー



1.2 竜巻検討地域の設定

竜巻影響評価ガイドでは、以下の方針に基づいて基準竜巻の最大風速 (V_B) を設定することとしている。

- ・ 基準竜巻の最大風速 (V_B) は、下記に示す V_{B1} と V_{B2} のうちの大きな風速とする。

①過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

日本で過去に発生した竜巻による最大風速を V_{B1} として設定することを原則とする。ただし、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できる場合においては、「日本」を「竜巻検討地域」に読み替えることができる。

②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻検討地域における竜巻の観測記録等に基づいて作成した竜巻最大風速のハザード曲線上において、年超過確率に対応する竜巻最大風速を V_{B2} とする。

以上より、 V_{B1} 及び V_{B2} を求めるために竜巻検討地域を設定する。

(1) 竜巻の発生状況

国内全域の竜巻の発生状況は図 1.2.1 のとおりである。竜巻は国内全域で発生しているが、その発生には地域特性がある。

発生が多い地域は、北海道西部、関東及び愛知の平野部、日本海及び関東以南の太平洋に面する沿岸部並びに南西諸島となっている。

泊発電所は、北海道西部（後志地方）の日本海側に面しているが、後志地方で発生した竜巻は、表 1.2.1 のとおり 11 個（1961～2012 年）と少なく、いずれの事例も藤田スケールについては不明である。

このため、より多くの竜巻の大きさ等の検討資料を得るために、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下、「竜巻影響評価ガイド」という）に従い、泊発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から当該地域と気象条件が類似する地域より竜巻検討地域を設定する。

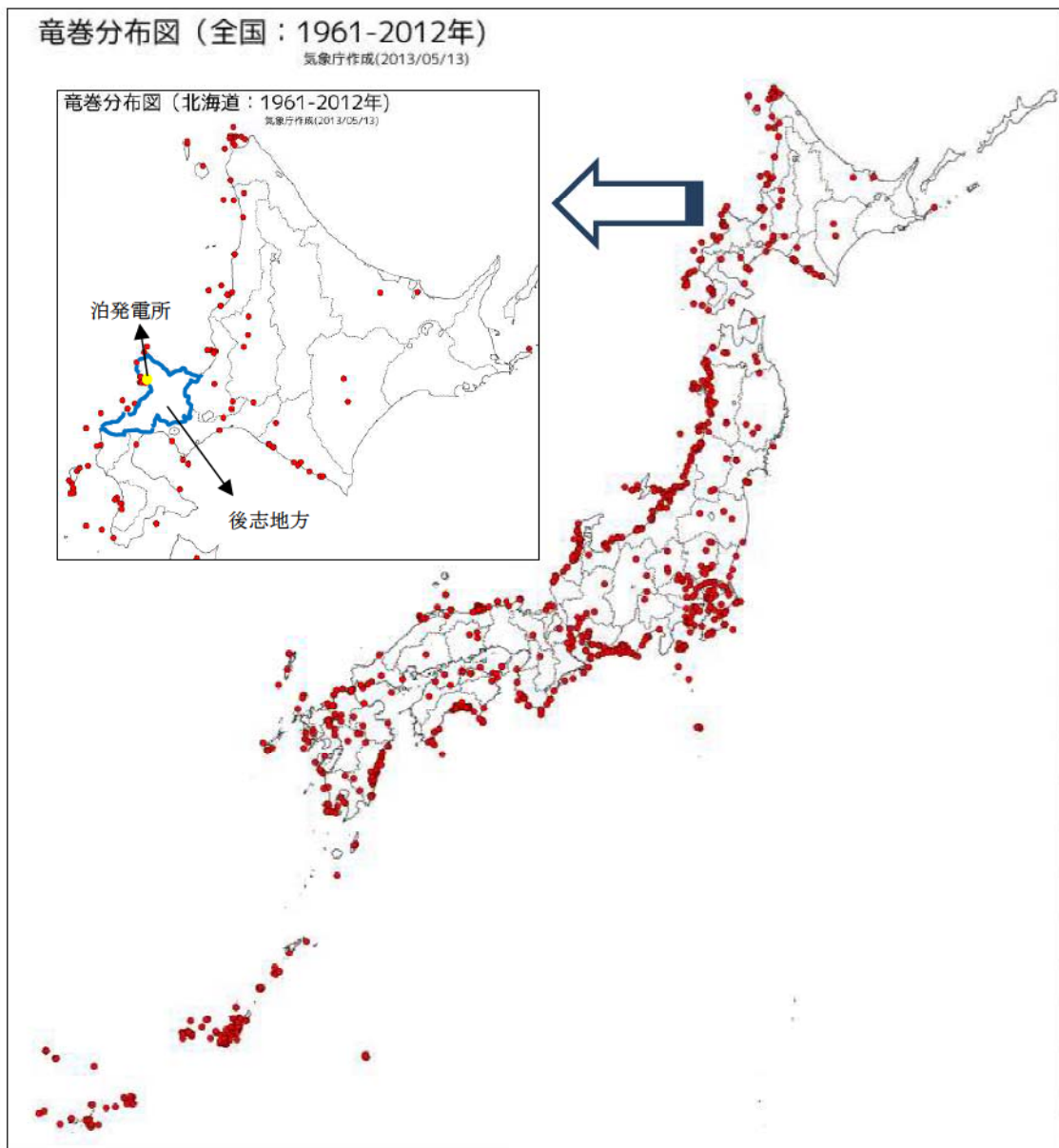


図 1.2.1 竜巻の発生状況（出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース）

表 1.2.1 北海道後志地方で発生した竜巻（出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース
(2013年9月))

現象区別	発生日時	発生場所	藤田 スケール	総観場
竜巻	2011/08/20 18:45 頃	後志地方 (海上)	不明	気圧の谷
竜巻	2011/08/20 18:40 頃	後志地方 (海上)	不明	気圧の谷
竜巻	2011/08/20 18:30 頃	後志地方 (海上)	不明	気圧の谷
竜巻	2010/12/17 10:20 頃	後志地方 (海上)	不明	気圧の谷
竜巻	2010/10/26 08:10 頃	後志地方 (海上)	不明	寒気の移流
竜巻	2010/10/26 07:05 頃	後志地方 (海上)	不明	寒気の移流
竜巻	2007/10/01 14:27	後志支庁 (海上)	不明	気圧の谷・寒気の移流
竜巻	2007/10/01 14:25 頃	後志支庁 (海上)	不明	気圧の谷・寒気の移流
竜巻	2007/10/01 14:10 頃	後志支庁 (海上)	不明	気圧の谷・寒気の移流
竜巻	1991/09/17 08:50 頃	後志支庁 (海上)	不明	寒気の移流・気圧の谷・ 局地性じょう乱
竜巻	1989/10/06 21:00 頃	後志支庁 小樽市		寒冷前線

(2) 地域区分の設定

独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果（以下、「東京工芸大学委託成果」という）においては、「竜巻等突風の気象的発生要因はいくつかあるが、明らかに地域性が見られる。」としている。このため、国内の各地域の竜巻発生の観点からの気候特性をもとに竜巻検討地域を検討した。

検討にあたり国内全域を、図 1.2.2 に示す気象庁資料（気象庁 HP 季節予報で用いる予報区分）を参考に、表 1.2.2 に示すとおり、日本を 16 の地域に区分し、これらの地域の、竜巻発生時の気象特性をもとに竜巻検討地域を検討した。

なお、図 1.2.2 の予報区分図は、気候の傾向が類似する地域として設定されたものである。



図 1.2.2 地方季節予報の予報区分図
 (出典：気象庁 HP 季節予報で用いる予報区分)

表 1.2.2 日本の地域区分一覧

(出典：気象庁 HP 過去の地域平均気象データ検索：地域選択)

No	地域区分	No	地域区分
1	<u>北海道日本海側</u> 宗谷（北部）、空知 上川、留萌、石狩、 後志、桧山	10	<u>近畿太平洋側</u> 奈良、和歌山、大阪、 兵庫（南部）、京都（南部） 滋賀（南部）
2	<u>北海道オホーツク海側</u> 宗谷（南部）、網走 北見、紋別	11	<u>山陰</u> 鳥取、島根
3	<u>北海道太平洋側</u> 根室、釧路 十勝、日高 胆振、渡島	12	<u>山陽</u> 広島、岡山
4	<u>東北日本海側</u> 青森（津軽）、秋田 山形、福島（会津）	13	<u>四国</u> 徳島、香川、愛媛、高知
5	<u>東北太平洋側</u> 青森（下北）、岩手 宮城、福島（浜通り、 中通り）	14	<u>九州北部</u> 山口、福岡、佐賀 長崎、大分、熊本
6	<u>関東甲信</u> 茨城、千葉、栃木 群馬、埼玉、東京 神奈川、山梨、長野	15	<u>九州南部・奄美</u> 宮崎、鹿児島 奄美
7	<u>北陸</u> 新潟、富山、石川、福井	16	<u>沖縄</u> 沖縄
8	<u>東海</u> 静岡、愛知、岐阜、三重		
9	<u>近畿日本海側</u> 滋賀（北部）、京都（北部） 兵庫（北部）		

(3) 日本の竜巻発生状況の総観場による解析

a. 日本の竜巻発生状況の総観場^{※1}の集計

竜巻の発生分布性状は総観場に大きく影響を受けることから、総観場による解析は重要であると考えられる。このため、先に設定した16の地域区分の総観場を解析することにより、竜巻検討地域を設定する。

1961年から2012年6月までの総観場の数を、16の地域区分毎・21種類の総観場毎に表1.2.3に集計した。

また、総観場の地域性の概要を把握するため、国内全域と泊発電所が含まれる北海道日本海側、東日本の関東甲信地方及び西日本の九州南部について図1.2.3で比較した。

図1.2.3に示す総観場の集計結果によると、国内全域を対象とした集計では「暖気の移流」、「寒気の移流」、「寒冷前線」、「気圧の谷」及び「台風」の出現頻度が高い。北海道日本海側では、上記のうち「寒気の移流」及び「気圧の谷」の出現が多く見られるが、九州南部ではこれらの総観場は竜巻発生時の主要な気象特性とはなっていない。一方で、国内全域で出現頻度の高い「暖気の移流」、「停滞前線」及び「台風」は、北海道日本海側ではほとんど出現しておらず、関東甲信地方及び九州南部で多い傾向が見られる。

このように、一部地域の比較からではあるが、竜巻の成因となる総観場の出現には地域性があるものと考えられる。

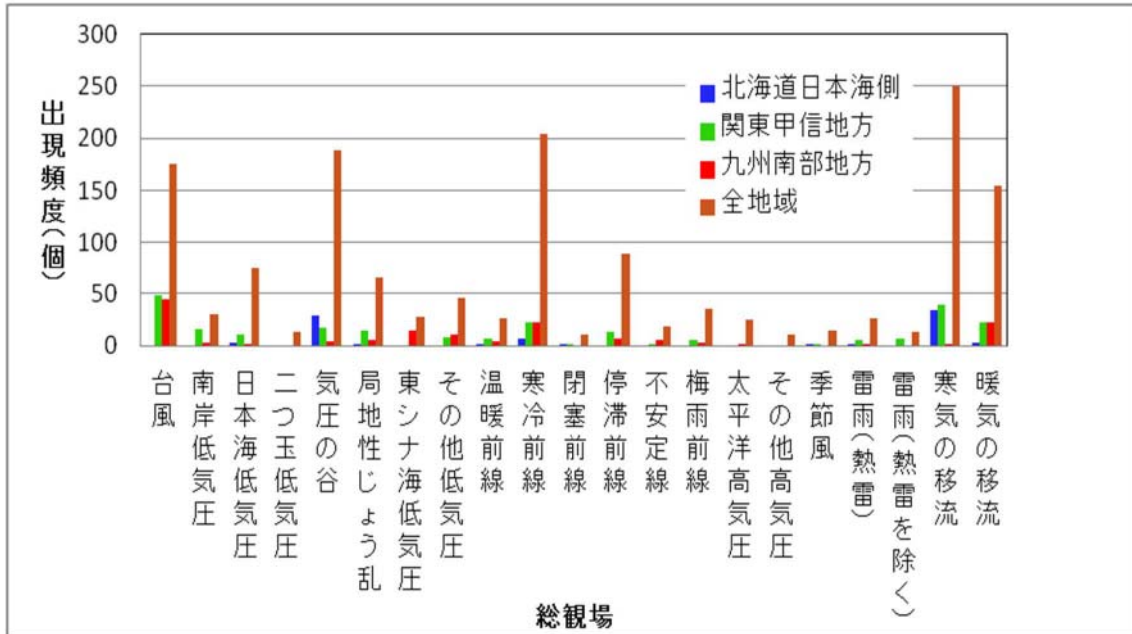
※1 総観場：竜巻発生時の気象特性（東京工芸大学委託成果より引用）

表 1.2.3 地域区分毎の総観場の集計※2

地域区分	台風	南岸低気圧	日本海低気圧	二つ玉低気圧	気圧の谷	局地性じょう乱	東シナ海低気圧	その他低気圧	温暖前線	寒冷前線	閉塞前線	停滞前線	不安定線	梅雨前線	太平洋高気圧	その他高気圧	季節風	雷雨(熱雷)	雷雨(熱雷を除く)	寒気の移流	暖気の移流	計	藤田スケールの最大
北海道日本海側	0	0	3	0	29	1	0	0	1	7	2	0	0	0	0	0	1	1	0	34	3	82	F2
北海道オホーツク海側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	F3
北海道太平洋側	0	0	2	0	12	2	0	0	1	13	2	0	2	0	0	1	0	1	1	7	4	48	F2
東北日本海側	0	0	14	0	35	7	0	4	2	28	0	5	0	0	1	0	1	3	0	17	3	120	(F2)
東北太平洋側	2	0	1	1	2	2	2	0	1	0	10	1	2	1	0	1	0	3	1	8	4	41	(F2)
関東甲信地方	49	16	11	0	17	15	0	8	7	22	2	14	2	5	0	0	1	6	7	39	22	243	F3
北陸地方	0	0	12	1	27	3	0	2	0	27	0	3	4	0	0	0	8	0	2	82	2	173	F2
東海地方	27	4	11	9	7	3	0	1	7	10	2	11	1	3	0	0	1	0	0	5	10	112	F3
近畿日本海側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	7	1	10	F0
近畿太平洋側	3	4	5	0	1	1	0	0	0	6	0	3	0	1	0	0	1	1	0	3	5	34	F1~F2
山陰地方	0	0	5	0	5	5	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	28	7	63	F1
山陽地方	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	8	F2
四国地方	18	3	9	2	2	2	0	4	1	1	2	10	0	3	1	1	0	0	9	26	92	F2	
九州北部地方	11	0	1	0	8	18	0	8	2	22	0	10	2	7	2	0	1	5	1	8	13	119	F2
九州南部地方	45	3	1	0	4	6	15	11	4	22	0	7	5	3	2	0	0	1	0	1	22	152	F2~F3
沖縄地方	20	0	0	0	39	2	13	6	1	26	0	22	0	10	17	8	0	5	0	2	30	201	F2
全地域	175	30	75	13	188	65	28	46	26	204	11	89	19	35	25	11	15	27	13	250	155	1500	F3

※2 : 総観場の分類は、気象庁(出典:気象庁HP 竜巻等の突風データベース(2013年9月))に従った。また、国内全域の出現が10個未満の総観場は解析から除外し、35種類の総観場の中から21種類を解析の対象とした。

竜巻発生の1事例に対し複数の総観場があるため、合計は竜巻発生個数より多い。



注：総観場の分類は、気象庁（出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース（2013 年 9 月））に従い、国内全域の出現が 10 個未満の総観場は解析から除外した。（35 種類の総観場の中から 21 の総観場を解析の対象とした。）

図 1.2.3 各地域の総観場の出現頻度

b. 日本の竜巻発生状況の相関係数による検討

竜巻発生に関する総観場には地域特性があると考えられることから、この地域特性について相関係数を用いて検討した。

相関係数は、2 組のデータがどれだけ関連性があるかを示す係数で、2 組のデータの関連性が強ければ相関係数が 1 に近づき、関連性が低ければ 0 に近づく。

相関係数を利用して、2 つの地域の総観場の関連性を評価し、関連性が強ければ、2 つの地域は総観場の出現の観点から類似の地域であると判断した。

具体的には、表 1.2.3 の総観場の集計結果から、泊発電所が位置する北海道日本海側とその他地域間の、総観場の出現数に関する相関係数を求め、出現する総観場の種類及び出現頻度の関連性の強さを評価した。

また、求めた相関係数については、無相関検定を行い有意水準 1%で無相関について確認している。（補足説明資料 2. 参照）

相関係数を算出した結果は、表 1.2.4 のとおりであり、「北海道日本海側」と相関が認められる地域は、「北海道太平洋側」、「東北日本海側」、「北陸地方」、「近畿日本海側」及び「山陰地方」となった。

表 1.2.4 北海道日本海側と他地域区分間の相関係数一覧

地域区分	北海道日本海側との相関	
	相関係数	有意水準1% 相関の有○、無×
北海道日本海側	1.00	-
北海道オホーツク海側	0.04	×
北海道太平洋側	0.73	○
東北日本海側	0.75	○
東北太平洋側	0.54	×
関東甲信地方	0.47	×
北陸地方	0.90	○
東海地方	0.07	×
近畿日本海側	0.70	○
近畿太平洋側	0.20	×
山陰地方	0.81	○
山陽地方	-0.17	×
四国地方	0.10	×
九州北部地方	0.22	×
九州南部地方	-0.10	×
沖縄地方	0.32	×

注：有意水準1%で、相関が認められるものに黄色を付している。

また、北海道日本海側を基準（横軸）とした総観場の分布図の例を図 1.2.4 に示す。

相関が見られる例（北陸地方：左図）では、相関係数は0.90と大きく、北海道日本海側で出現が多い「気圧の谷」と「寒気の移流」に対して、北陸地方でも出現が多くなっている。

一方、相関がみられない例（九州南部地方：右図）では、相関係数は-0.10と小さく、北海道日本海側で出現が多い「気圧の谷」と「寒気の移流」に対して九州南部地方での出現が少なく、九州南部地方で出現が多い「台風」に対しては北海道日本海側での出現がない。（他の地域区分の分布図については補足説明資料3．参照）

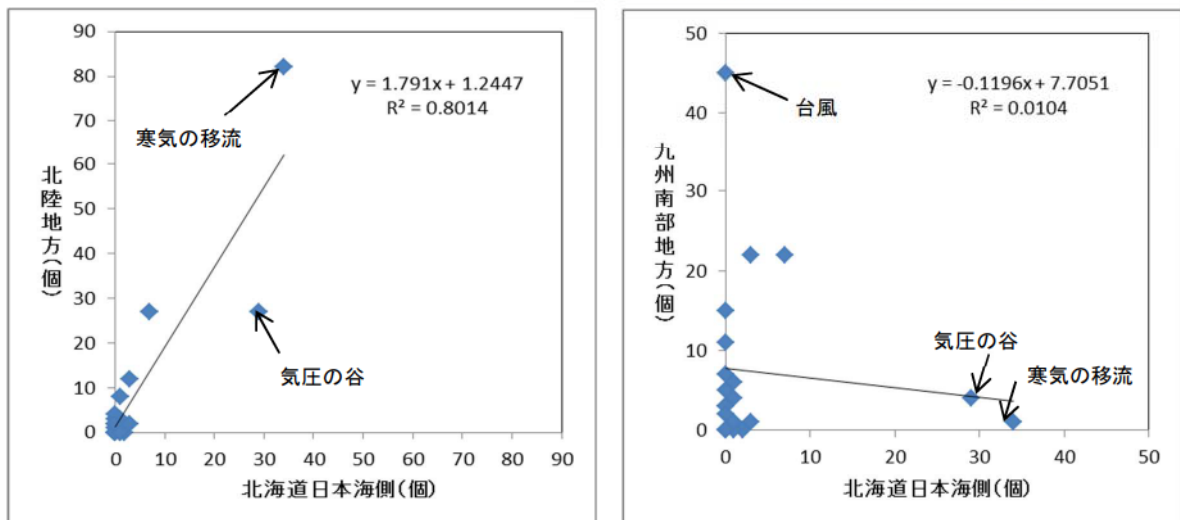


図 1.2.4 総観場の分布図

(4) 竜巻検討地域の設定

発電所が海岸線付近に立地することから竜巻影響評価ガイドに従い、北海道日本海側と総観場の出現の観点から類似であると判断された地域の海岸線から、陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を竜巻検討地域の候補地とする。候補地の範囲を図 1.2.5 に示す。



図 1.2.5 北海道日本海側と相関係数に有意性が認められた地域（候補地）

次に、竜巻検討地域候補地の竜巻発生数を考慮し、ハザード曲線が保守的なものとなるよう、以下のとおり竜巻検討地域を絞り込む。

候補地のうち、北海道太平洋側の襟裳岬から東側の海岸線及び陸奥湾の海岸線においては、竜巻がほとんど発生していないことから、この地域を竜巻検討地域に含めた場合には、ハザード曲線評価において竜巻発生個数が極端に少ないわりにリスク対象評価面積が大きくなり、ハザードが過小評価されることになるため、北海道太平洋側の襟裳岬から東側の海岸線及び陸奥湾から竜飛岬にかけての海岸線を竜巻検討地域から除くこととする。（補足説明資料 4. 参照）

更に、日本海側は同様の気候区分に分類されることを考慮し、泊発電所の竜巻検討地域は、図 1.2.6 に示すとおり、北海道から山口県を含む本州にかけての日本海側及び北海道の襟裳岬以西とした。（竜巻検討地域の面積 38,895km²）

なお、泊発電所は竜巻集中地域に位置しているが、この地域の竜巻の年発生頻度と上記で設定した地域の竜巻の年発生頻度は同程度であることを踏まえ、竜巻発生個数を多く確保できる観点から上記で設定した地域の方が竜巻検討地域に適していると判断している。(補足説明資料7. 参照)

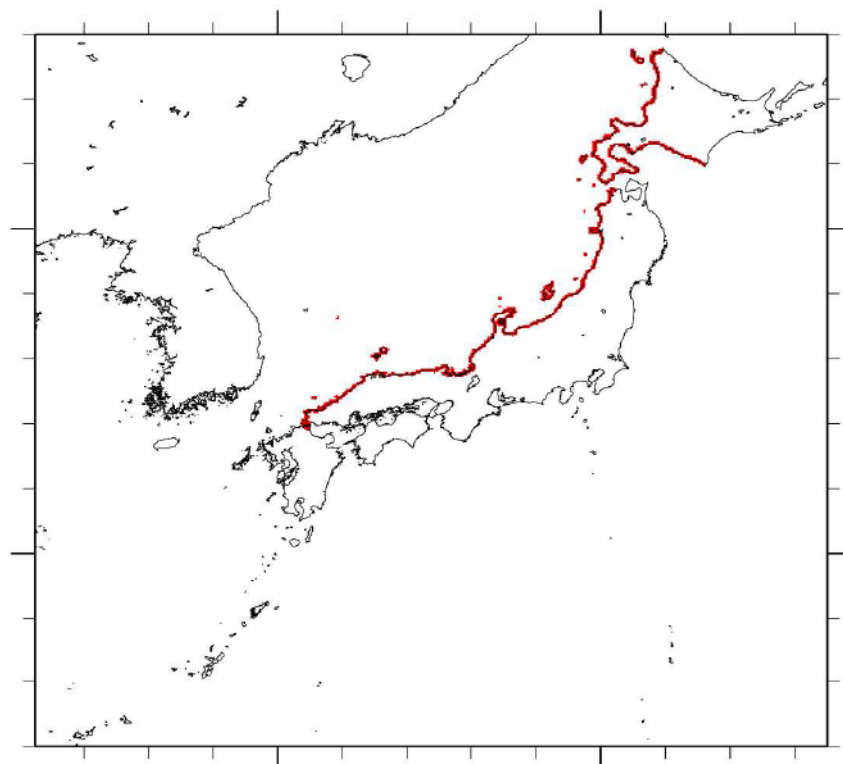


図 1.2.6 泊発電所の竜巻検討地域

1.3 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{61}) の設定

(1) 竜巻検討地域で発生した最大スケールの竜巻及び国内全域で発生した最大スケールの竜巻の総観場の解析

表 1.3.1 に、竜巻検討地域において過去に発生した最大の竜巻の F スケールと総観場を示す。これによれば、F2 が最大の F スケールであり、当該 F スケールが出現する際の主な総観場は日本海低気圧、寒気の移流、及び寒冷前線となっている。

表 1.3.2 に、日本で過去に発生した最大の F スケールとなる、F3 スケール竜巻発生時の総観場を示す。太平洋側では台風が主な総観場となっているが、日本海側では発生がない。また、寒冷前線は国内全域各地で発生しており、その発生については地域が限定されないものと考えられる。

以上の結果から、将来にわたって日本海側において台風起因の F3 スケールの竜巻が発生する可能性は小さいと考えられるが、気圧の谷や寒冷前線起因で発生する竜巻のような低気圧起因とみなされる竜巻^{※1} は、竜巻検討地域においても F3 スケールのものが発生し得ると考えられる。

※1：独立行政法人原子力基盤機構作成の「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」より

表 1.3.1 竜巻検討地域で過去に発生した最大の竜巻スケールと総観場
(1961 年～2016 年 3 月)

発生年月	発生場所	Fスケール	総観場
1990年4月	石川県富来町	F2	オホーツク海低気圧・気圧の谷
2004年10月	北海道日高支庁	F2	寒冷前線・暖気の移流
1962年9月	北海道宗谷支庁	(F2)	寒冷前線
1971年10月	北海道留萌支庁	(F2)	寒気の移流
1975年5月	島根県大社町	(F2)	日本海低気圧・局地性じょう乱・寒気の移流
1979年11月	北海道渡島支庁	(F2)	日本海低気圧・温暖前線
1989年3月	島根県大社町	(F2)	局地性じょう乱・寒気の移流
1974年10月	北海道檜山支庁	(F1～F2)	温暖前線
1974年10月	北海道檜山支庁	(F1～F2)	寒冷前線
1975年9月	北海道檜山支庁	(F1～F2)	日本海低気圧・暖気の移流
1980年10月	北海道日高支庁	(F1～F2)	閉塞前線
1994年10月	北海道日高支庁	(F1～F2)	寒冷前線
1999年11月	秋田県八森町	(F1～F2)	日本海低気圧・寒冷前線

※ 2022 年 8 月末時点で、2016 年 4 月以降の JEF スケール（速報値）についても、竜巻検討地域において F2 スケールの上限値（69m/s）を超える竜巻の報告はない。

表 1.3.2 日本で過去に発生した F2 を超える竜巻の総観場（1961 年～2016 年 3 月）

発生年月	発生場所	Fスケール	総観場
2006年11月	北海道佐呂間町	F3	寒冷前線・暖気の移流
2012年5月	茨城県常総市	F3	気圧の谷・寒気の移流
1971年7月	埼玉県浦和市	(F3)	台風
1990年12月	千葉県茂原市	F3	暖気の移流・気圧の谷・寒冷前線
1967年10月	千葉県飯岡町	(F2～F3)	台風
1966年1月	千葉県南総町	(F2～F3)	南岸低気圧・寒冷前線
1978年2月	神奈川県川崎市	F2～F3	寒冷前線・暖気の移流
1999年9月	愛知県豊橋市	F3	台風
1969年12月	愛知県豊橋市	(F2～F3)	二つ玉低気圧
1968年9月	宮崎県高鍋町	(F2～F3)	台風
1990年2月	鹿児島県枕崎市	(F2～F3)	寒冷前線・暖気の移流・その他（低気圧）

※ 2022 年 8 月末時点で、2016 年 4 月以降の JEF スケール（速報値）についても、日本全国において F3 スケールの上限値（92m/s）を超える竜巻の報告はない。

(2) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定

竜巻影響評価ガイドでは、 V_{B1} は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を十分な信頼性のあるデータ等に基づいて評価できる場合は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速にできるとしている。

しかし、(1) で解析した結果からは、竜巻検討地域では、これまでに国内全域で発生した最大の竜巻と同様の総観場を成因として F3 スケールの竜巻が発生する可能性があることから、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の最大風速を V_{B1} とすることはできないと判断される。

また、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」では、竜巻が発生した際の気象条件（総観場）のうち低気圧は全国どこでも発生し得る条件であるため、これまで佐呂間等で発生している低気圧が成因の F3 竜巻を、設計に用いる最低限の風速の設定において考慮すべきとしている。

以上より、将来における竜巻検討地域における F3 スケール竜巻の発生の可能性を考慮し、竜巻影響評価ガイドの原則に従い、過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) は、日本で過去に発生した竜巻による最大風速とする。

先に述べたとおり、日本で過去に発生した竜巻のうち最大のものは、藤田スケールで「F3」となっている。藤田スケールと風速の関係は、表 1.3.3 のとおりであることから、過去に発生した最大竜巻による最大風速 (V_{B1}) は、竜巻影響評価ガイドに従い、F3 スケールの最大風速である 92m/s とする。

過去最大竜巻による最大風速 (V_{B1}) = 92 m/s

表 1.3.3 藤田スケールと風速の関係（出典：気象庁 HP より）

スケール	風速	被害状況
F0	17～32m/s (約15秒間の平均)	テレビのアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33～49m/s (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50～69m/s (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70～92m/s (約5秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93～116m/s (約4秒間の平均)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117～142m/s (約3秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

<参考> 竜巻検討地域において発生した竜巻

竜巻検討地域において1961年～2012年6月に発生した竜巻の一覧を下表に示す。

表1 竜巻検討地域において1961年～2012年6月に発生した竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
1	1961年01月24日13時50分	33度54分8秒	130度56分12秒	F1	竜巻
2	1962年09月28日14時20分	45度13分30秒	141度15分25秒	F2	竜巻
3	1965年09月30日02時35分	39度44分33秒	140度4分46秒	F1	竜巻
4	1965年09月30日03時00分	39度19分29秒	140度0分10秒	F0～F1	竜巻または ダウンバースト
5	1968年01月08日09時50分	37度13分48秒	138度19分22秒	F1	竜巻
6	1969年06月22日09時00分	34度37分30秒	131度36分10秒	F1	竜巻
7	1969年11月18日07時08分	38度54分31秒	139度50分7秒	F1	竜巻
8	1971年02月01日00時20分	36度41分10秒	136度40分30秒	F1	竜巻
9	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	F0～F1	竜巻
10	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	F2	竜巻
11	1972年11月21日17時05分	36度53分27秒	137度24分57秒	F1	竜巻
12	1973年05月21日16時30分	36度49分56秒	136度44分45秒	F0～F1	竜巻
13	1973年09月27日23時00分	45度26分20秒	141度2分10秒	F1	竜巻
14	1973年10月22日13時20分	39度41分41秒	140度4分20秒	F1	竜巻
15	1974年08月08日05時05分	40度16分53秒	140度3分24秒	F0～F1	竜巻
16	1974年10月03日19時05分	42度11分20秒	139度31分0秒	F1～F2	竜巻
17	1974年10月20日15時00分	41度47分45秒	140度7分47秒	F1～F2	竜巻
18	1975年05月31日18時10分	35度26分6秒	132度37分57秒	F0～F1	竜巻
19	1975年05月31日18時10分	35度25分57秒	132度37分42秒	F2	竜巻
20	1975年05月31日18時40分	35度25分8秒	132度37分53秒	F0～F1	竜巻
21	1975年09月08日01時30分	42度12分52秒	139度32分58秒	F1～F2	竜巻
22	1977年01月13日01時30分	36度34分5秒	136度34分0秒	F0～F1	竜巻
23	1978年08月14日10時40分	45度5分0秒	141度38分0秒	不明	竜巻
24	1979年10月31日13時00分	37度8分21秒	136度41分2秒	F0～F1	竜巻
25	1979年11月02日01時58分	41度30分7秒	140度1分6秒	F2	竜巻
26	1980年10月31日09時30分	42度25分30秒	142度13分24秒	F1～F2	竜巻
27	1984年11月19日22時00分	35度26分4秒	133度19分22秒	F1	竜巻
28	1987年01月11日01時32分	40度2分27秒	139度56分19秒	F0～F1	竜巻
29	1987年01月11日02時00分	40度6分9秒	139度57分57秒	F1	竜巻
30	1989年03月16日19時20分	35度24分0秒	132度40分0秒	F2	竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
31	1990年04月06日02時55分	37度12分10秒	136度40分56秒	F2	竜巻
32	1991年01月13日14時48分	38度1分25秒	138度12分20秒	不明	竜巻
33	1991年02月15日11時00分	35度33分54秒	135度52分53秒	F1	竜巻
34	1991年09月17日08時50分	42度49分12秒	140度12分50秒	不明	竜巻
35	1991年12月11日20時10分	36度35分59秒	136度38分0秒	F1	竜巻
36	1992年09月13日08時50分	45度26分50秒	141度40分0秒	不明	竜巻
37	1992年09月17日09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	F1	竜巻
38	1992年09月17日09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	不明	竜巻
39	1993年09月26日15時52分	43度57分17秒	141度36分54秒	不明	竜巻
40	1993年10月17日09時30分	36度55分9秒	136度43分51秒	不明	竜巻
41	1993年10月23日17時00分	38度5分30秒	138度12分30秒	不明	竜巻
42	1993年11月24日13時50分	37度13分27秒	138度12分49秒	不明	竜巻
43	1994年03月26日11時40分	38度48分32秒	139度46分19秒	F1	竜巻
44	1994年09月01日16時00分	37度59分6秒	139度2分56秒	不明	竜巻
45	1994年10月05日06時15分	42度27分43秒	142度9分39秒	F1	竜巻
46	1994年10月05日06時35分	42度27分29秒	142度10分23秒	F1～F2	竜巻
47	1995年12月01日13時51分	36度26分13秒	136度25分3秒	不明	竜巻
48	1996年09月05日10時20分	39度15分18秒	139度54分1秒	不明	竜巻
49	1996年10月08日23時07分	44度43分7秒	141度48分15秒	F1	竜巻
50	1996年11月30日07時05分	37度23分39秒	138度34分14秒	F1	竜巻
51	1997年01月22日09時20分	37度54分58秒	139度2分0秒	F0	竜巻
52	1997年10月07日12時50分	42度36分13秒	141度29分9秒	F1	竜巻
53	1998年09月24日15時00分	35度38分26秒	134度55分31秒	不明	竜巻
54	1998年10月31日08時40分	37度19分6秒	136度42分10秒	不明	竜巻
55	1998年11月15日22時30分	38度56分40秒	139度49分22秒	F1	竜巻
56	1999年10月08日09時30分	36度43分56秒	136度40分18秒	不明	竜巻
57	1999年10月29日21時25分	40度13分10秒	140度4分11秒	F0～F1	竜巻
58	1999年11月25日15時40分	40度20分50秒	140度1分37秒	F1～F2	竜巻
59	2000年07月25日06時20分	36度8分1秒	136度4分13秒	不明	竜巻
60	2000年07月25日06時30分	36度13分26秒	136度8分2秒	不明	竜巻
61	2001年06月01日13時20分	40度32分7秒	139度56分44秒	F1	竜巻
62	2001年06月19日14時50分	35度37分58秒	136度3分11秒	F1	竜巻
63	2002年09月23日14時30分	36度58分15秒	137度33分15秒	F0～F1	竜巻
64	2002年09月24日13時15分	39度30分6秒	140度4分56秒	F1	竜巻
65	2002年11月04日11時20分	36度21分14秒	136度19分32秒	F0	竜巻
66	2002年11月05日10時30分	35度38分45秒	135度56分16秒	不明	竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
67	2003年09月29日14時40分	42度11分0秒	142度43分21秒	不明	竜巻
68	2003年10月18日16時25分	36度11分51秒	136度7分2秒	不明	竜巻
69	2004年08月15日12時10分	45度27分22秒	141度2分1秒	F0未満	竜巻
70	2004年09月16日14時00分	33度53分13秒	130度53分24秒	F1	竜巻
71	2004年10月22日16時50分	42度25分53秒	142度12分42秒	F2	竜巻
72	2005年01月12日07時50分	35度32分0秒	134度3分30秒	不明	竜巻
73	2005年10月02日19時30分	42度29分25秒	140度49分52秒	F0	竜巻
74	2005年11月18日13時00分	36度38分59秒	136度38分52秒	不明	竜巻
75	2005年12月05日11時50分	35度23分26秒	132度42分50秒	F1	竜巻または ダウンバースト
76	2005年12月25日19時10分	38度51分16秒	139度47分16秒	F1	竜巻
77	2006年10月11日22時15分	42度16分40秒	142度36分21秒	F1	竜巻
78	2006年10月11日22時30分	42度16分34秒	142度30分32秒	F1	竜巻
79	2006年11月07日11時20分	42度25分43秒	142度13分28秒	不明	竜巻
80	2006年11月07日11時20分	42度25分37秒	142度13分22秒	F1	竜巻
81	2006年11月09日12時05分	42度3分31秒	139度26分50秒	F1	竜巻
82	2007年08月24日08時20分	38度47分40秒	139度42分0秒	不明	竜巻
83	2007年08月24日08時20分	38度47分40秒	139度42分0秒	不明	竜巻
84	2007年10月01日14時25分	43度23分0秒	140度26分30秒	不明	竜巻
85	2007年10月01日14時27分	43度17分8秒	140度20分16秒	不明	竜巻
86	2007年10月01日15時30分	42度26分26秒	139度47分30秒	不明	竜巻
87	2007年10月04日07時50分	42度18分10秒	140度58分40秒	不明	竜巻
88	2007年10月04日13時36分	44度53分0秒	141度41分0秒	不明	竜巻
89	2007年10月04日16時30分	42度27分15秒	139度50分20秒	不明	竜巻
90	2007年10月11日09時55分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
91	2007年10月11日10時25分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
92	2007年10月16日15時23分	35度36分35秒	133度5分10秒	不明	竜巻
93	2007年10月17日07時45分	42度0分0秒	140度56分00秒	不明	竜巻
94	2007年11月22日09時00分	36度54分32秒	137度24分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲
95	2007年12月02日01時30分	38度54分26秒	139度50分18秒	F0	竜巻
96	2008年06月01日12時50分	40度23分20秒	139度58分55秒	不明	竜巻
97	2008年07月30日08時03分	35度34分20秒	134度13分5秒	不明	竜巻
98	2008年07月30日08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
99	2008年07月30日08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲
100	2008年07月30日08時41分	35度33分36秒	134度11分26秒	不明	竜巻または 漏斗雲
101	2008年07月30日08時55分	35度34分48秒	134度9分30秒	不明	竜巻
102	2008年07月30日09時01分	35度34分16秒	134度9分26秒	不明	竜巻
103	2008年07月30日09時18分	35度34分6秒	134度8分16秒	不明	竜巻
104	2008年08月14日11時25分	38度55分10秒	139度48分31秒	不明	竜巻
105	2008年08月15日16時20分	35度30分51秒	133度59分38秒	F0以下	竜巻
106	2008年09月14日08時33分	45度28分53秒	141度50分14秒	不明	竜巻
107	2008年09月14日08時47分	45度29分22秒	141度37分30秒	不明	竜巻
108	2008年09月21日11時07分	38度28分16秒	139度28分39秒	不明	竜巻
109	2008年10月01日11時55分	40度1分15秒	139度45分45秒	不明	竜巻
110	2008年10月01日11時55分	40度0分37秒	139度44分9秒	不明	竜巻
111	2008年10月10日09時05分	39度47分5秒	140度0分55秒	不明	竜巻
112	2008年10月10日10時20分	39度44分36秒	140度0分23秒	不明	竜巻
113	2008年10月10日12時07分	39度40分20秒	140度1分7秒	不明	竜巻
114	2008年10月11日00時45分	41度51分7秒	140度7分37秒	F0	竜巻
115	2008年10月15日13時48分	37度51分36秒	138度54分57秒	F0	竜巻
116	2008年10月15日14時47分	38度40分48秒	139度34分48秒	不明	竜巻
117	2008年10月15日16時10分	38度22分2秒	139度26分44秒	不明	竜巻
118	2008年10月26日18時30分	37度56分11秒	139度6分24秒	F0	竜巻
119	2008年10月27日14時55分	36度9分11秒	136度4分16秒	不明	竜巻
120	2008年10月30日12時33分	35度32分51秒	134度12分26秒	不明	竜巻
121	2008年10月30日12時38分	35度35分1秒	134度17分35秒	F0	竜巻
122	2008年10月30日12時50分	35度34分34秒	134度16分10秒	不明	竜巻
123	2008年10月31日07時30分	37度7分33秒	136度42分25秒	不明	竜巻
124	2008年11月02日16時20分	37度44分35秒	138度48分7秒	不明	竜巻
125	2008年11月07日08時50分	42度8分1秒	142度52分21秒	F0～F1	竜巻
126	2008年11月19日08時36分	36度27分26秒	136度23分41秒	不明	竜巻または 漏斗雲
127	2008年11月19日11時45分	37度55分41秒	139度1分4秒	不明	竜巻
128	2008年11月20日08時30分	37度26分19秒	138度34分17秒	不明	竜巻
129	2008年11月20日08時40分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻
130	2008年11月20日08時42分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻
131	2008年11月20日08時42分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
132	2008年11月20日09時40分	37度27分8秒	138度34分43秒	不明	竜巻
133	2008年11月23日10時20分	36度59分16秒	136度46分25秒	F0～F1	竜巻
134	2009年01月24日11時05分	42度5分27秒	139度23分57秒	不明	竜巻
135	2009年01月24日11時15分	42度0分27秒	139度27分46秒	不明	竜巻
136	2009年02月07日20時15分	39度41分6秒	140度5分11秒	F0	竜巻
137	2009年03月14日17時26分	35度35分53秒	134度13分28秒	不明	竜巻または 漏斗雲
138	2009年08月23日18時37分	38度36分36秒	139度34分27秒	不明	竜巻
139	2009年08月23日18時51分	38度37分26秒	139度35分7秒	不明	竜巻
140	2009年09月10日13時30分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
141	2009年09月10日13時35分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
142	2009年09月13日03時40分	38度34分7秒	139度33分9秒	F0	竜巻
143	2009年10月04日12時50分	39度39分55秒	140度4分26秒	不明	竜巻
144	2009年10月27日13時10分	37度2分7秒	137度49分14秒	不明	竜巻
145	2009年10月30日07時26分	40度30分18秒	139度59分57秒	F0	竜巻
146	2009年10月30日09時20分	40度9分56秒	140度0分26秒	F1	竜巻
147	2009年11月03日06時25分	36度52分52秒	137度21分58秒	不明	竜巻または 漏斗雲
148	2009年11月03日06時37分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
149	2009年11月03日06時38分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
150	2009年11月03日06時39分	36度53分27秒	137度22分8秒	不明	竜巻
151	2009年11月03日06時43分	36度54分56秒	137度23分51秒	不明	竜巻
152	2009年12月18日02時00分	36度34分20秒	136度33分53秒	F0	竜巻
153	2009年12月18日11時03分	35度34分22 秒	134度14分26 秒	不明	竜巻または 漏斗雲
154	2010年08月25日12時30分	43度57分25秒	141度35分10秒	不明	竜巻
155	2010年08月25日13時05分	43度59分0秒	141度39分15秒	F0未満	竜巻
156	2010年09月07日03時45分	39度46分12秒	140度3分59秒	F0	竜巻
157	2010年09月16日14時30分	35度37分0秒	134度24分5秒	不明	竜巻
158	2010年09月17日10時45分	37度38分56秒	138度44分42秒	不明	竜巻
159	2010年09月17日10時55分	37度38分3秒	138度45分37秒	F0 以下	竜巻
160	2010年10月15日04時30分	37度10分5秒	136度40分32秒	F0	竜巻
161	2010年10月15日17時00分	38度3分23秒	139度19分23秒	F0	竜巻
162	2010年10月15日17時05分	38度4分24秒	139度21分9秒	F1	竜巻
163	2010年10月17日12時40分	40度22分52秒	139度59分42秒	F0	竜巻
164	2010年10月17日13時20分	39度51分44秒	140度1分32秒	F0	竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
165	2010年10月26日07時00分	43度24分30秒	141度22分0秒	不明	竜巻
166	2010年10月26日07時05分	43度8分28秒	140度23分6秒	不明	竜巻
167	2010年10月26日07時10分	43度24分0秒	141度24分40秒	不明	竜巻
168	2010年10月26日07時10分	43度23分40秒	141度25分50秒	F0未満	竜巻
169	2010年10月26日07時38分	43度22分30秒	141度24分15秒	不明	竜巻
170	2010年10月26日08時10分	43度8分38秒	140度23分6秒	不明	竜巻
171	2010年10月26日15時50分	41度51分39秒	140度6分25秒	不明	竜巻
172	2010年11月12日13時15分	40度19分0秒	140度1分47秒	F0	竜巻
173	2010年11月29日09時20分	37度0分3秒	136度46分18秒	F0	竜巻
174	2010年11月29日12時18分	36度15分21秒	136度6分51秒	不明	竜巻または 漏斗雲
175	2010年11月29日12時24分	36度15分23秒	136度6分59秒	不明	竜巻
176	2010年11月29日12時25分	36度15分17秒	136度6分37秒	不明	竜巻
177	2010年12月03日15時30分	37度50分58秒	138度55分4秒	F0	竜巻
178	2010年12月03日15時36分	37度52分15秒	138度58分57秒	F0未満	竜巻
179	2010年12月03日15時45分	37度53分11秒	139度2分24秒	F1	竜巻
180	2010年12月09日17時10分	37度12分36秒	138度18分7秒	F0～F1	竜巻
181	2010年12月15日07時56分	36度51分20秒	137度23分5秒	不明	竜巻
182	2010年12月16日08時00分	38度2分43秒	138度37分10秒	不明	竜巻
183	2010年12月17日10時20分	42度52分12秒	140度18分46秒	不明	竜巻
184	2010年12月18日07時18分	35度34分17秒	134度10分6秒	不明	竜巻または 漏斗雲
185	2010年12月24日15時57分	35度34分17秒	134度10分4秒	不明	竜巻
186	2010年12月27日01時30分	37度1分3秒	136度44分37秒	F0	竜巻
187	2010年12月29日13時50分	35度46分56秒	135度14分0秒	不明	竜巻
188	2010年12月29日14時00分	35度46分54秒	135度12分6秒	不明	竜巻
189	2011年01月03日14時52分	38度3分48秒	139度16分7秒	不明	竜巻
190	2011年03月09日11時30分	36度13分1秒	136度11分51秒	F0未満	竜巻または 漏斗雲
191	2011年03月09日17時25分	35度34分6秒	134度8分57秒	不明	竜巻
192	2011年03月31日09時50分	37度10分31秒	138度13分58秒	F0未満	竜巻または 漏斗雲
193	2011年08月13日17時32分	40度29分8秒	139度53分20秒	不明	竜巻
194	2011年08月20日18時40分	43度4分56秒	140度23分57秒	不明	竜巻
195	2011年08月20日18時45分	43度4分52秒	140度24分37秒	不明	竜巻

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区別
196	2011年08月22日12時05分	45度19分0秒	140度58分47秒	不明	竜巻または 漏斗雲
197	2011年09月20日05時50分	45度25分27秒	141度41分35秒	不明	竜巻
198	2011年11月15日16時10分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
199	2011年11月15日16時12分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
200	2011年11月15日16時14分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
201	2011年11月15日16時15分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
202	2011年11月15日16時20分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
203	2011年11月24日12時10分	36度56分25秒	137度23分30秒	不明	竜巻または 漏斗雲
204	2011年11月25日06時27分	36度53分45秒	137度23分0秒	不明	竜巻または 漏斗雲
205	2011年12月24日12時10分	36度48分30秒	136度42分0秒	不明	竜巻
206	2012年02月01日04時15分	35度21分41秒	132度40分40秒	F0	竜巻

気象庁 「竜巻等の突風データベースより作成」

1.4 ハザード曲線に基づく最大風速 (V_{B2}) の設定

(1) ハザード曲線の評価方針

竜巻影響評価ガイドに従い、既往の算定方法 (Wen and Chu 及び Garson et al. : 竜巻に遭遇しかつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法) に基づいて竜巻最大風速のハザード曲線を算定し、 V_{B2} を評価する。

具体的には竜巻影響評価ガイドに、 V_{B2} 算定の参考になると示されている東京工芸大学委託成果」を参考に次頁のフローに従い算定する。

ハザード曲線は、竜巻影響評価ガイドに従い竜巻検討地域の海岸線から陸側及び海側 5km の範囲を 1km に刻んだエリアと、竜巻検討地域全域について評価する。

1.2 で設定した竜巻検討地域の竜巻発生数のデータ等に基づきハザード曲線の評価する。

ハザード曲線の算定に当たっては、以下の理由から、竜巻年発生数の確率密度分布としてポリヤ分布を用いる。

(竜巻年発生数の確率密度分布の設定)

竜巻影響評価ガイドでは、「竜巻の年発生数の確率分布は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づいてポアソン過程等により設定することを基本とする。」としている。

また、竜巻影響評価ガイドに、 V_{B2} 算定の参考になるとされている東京工芸大学委託成果によれば、Wen and Chu が、竜巻に遭遇しかつ竜巻風速がある値以上となる確率モデルの推定法を提案し、竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布はポアソン分布もしくはポリヤ分布に従うとしている。

更に、国内を対象とした竜巻の年発生数の分布の適合性に関する検討結果としては、先に述べた東京工芸大学委託成果に示されており、陸上竜巻及び海上竜巻の両方の発生数について、ポリヤ分布の適合性がポアソン分布に比べて優れているとしている。

以上より、ハザード曲線の評価に当たって使用する竜巻年発生数の確率密度分布は、ポリヤ分布を使用するものとする。

(2) ハザード曲線算定の流れ

ハザード曲線の算定は、竜巻発生数の解析、竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布、平均、標準偏差及び相関係数の算定ならびにハザード曲線の算出で構成される。

1.2 で設定した竜巻検討地域の竜巻発生数のデータ等に基づきハザード曲線进行评估する。

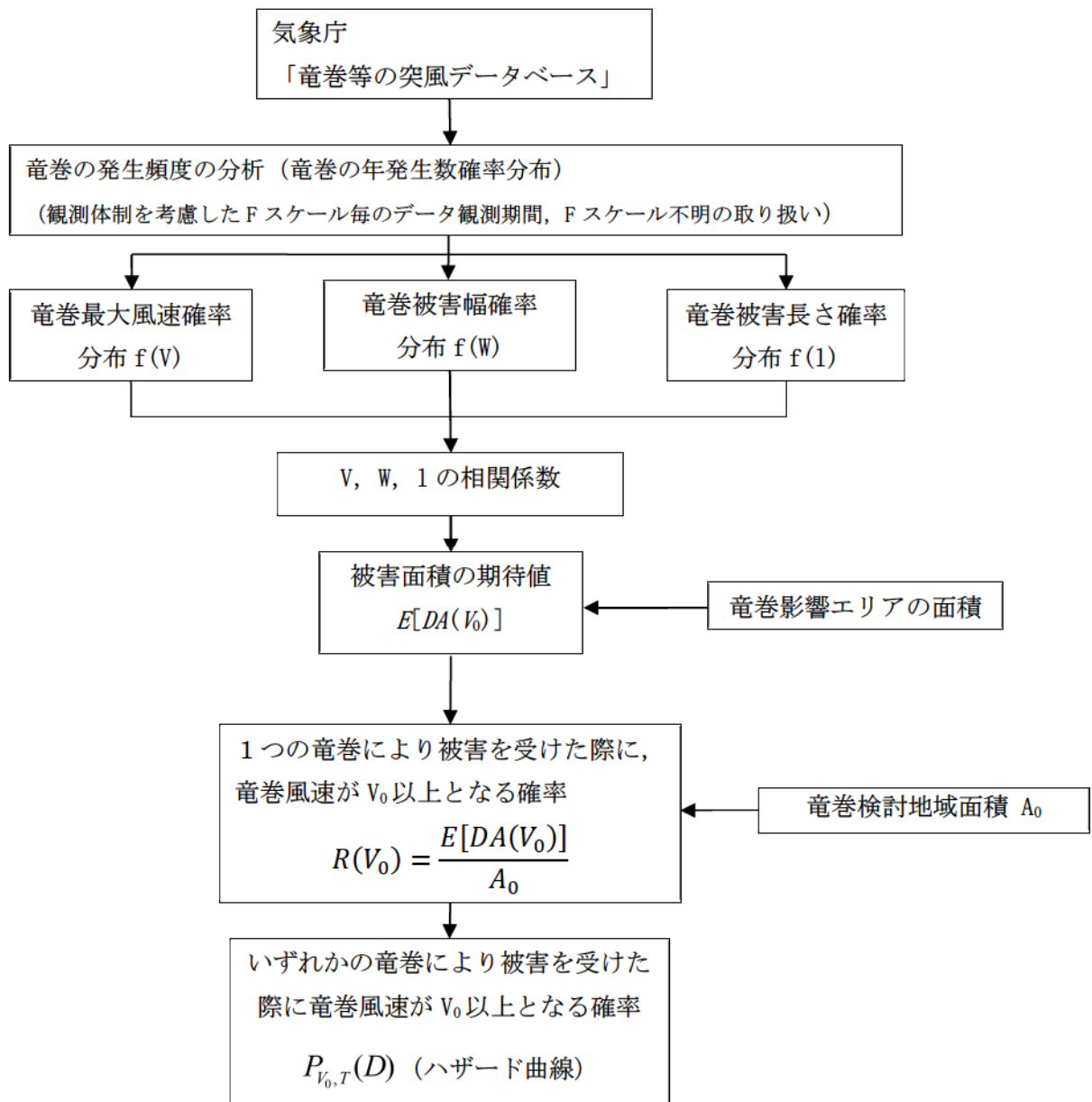


図 1.4.1 評価フロー

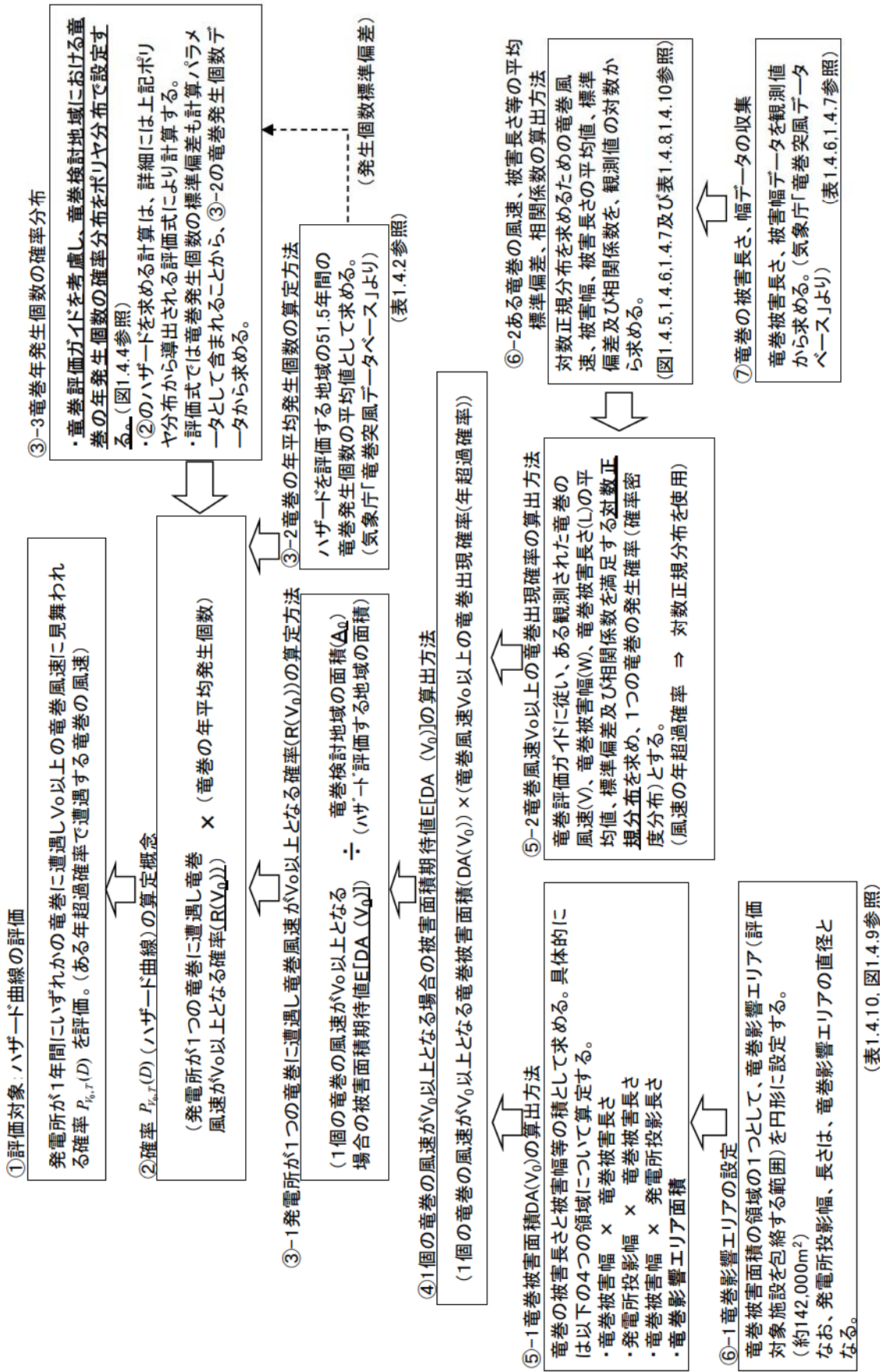


図 1.4.2 詳細評価フロー