

泊発電所3号機
竜巻影響評価結果
補足説明資料

平成25年11月19日
北海道電力株式会社

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. 総観係数の分布図
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. 運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由について
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

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

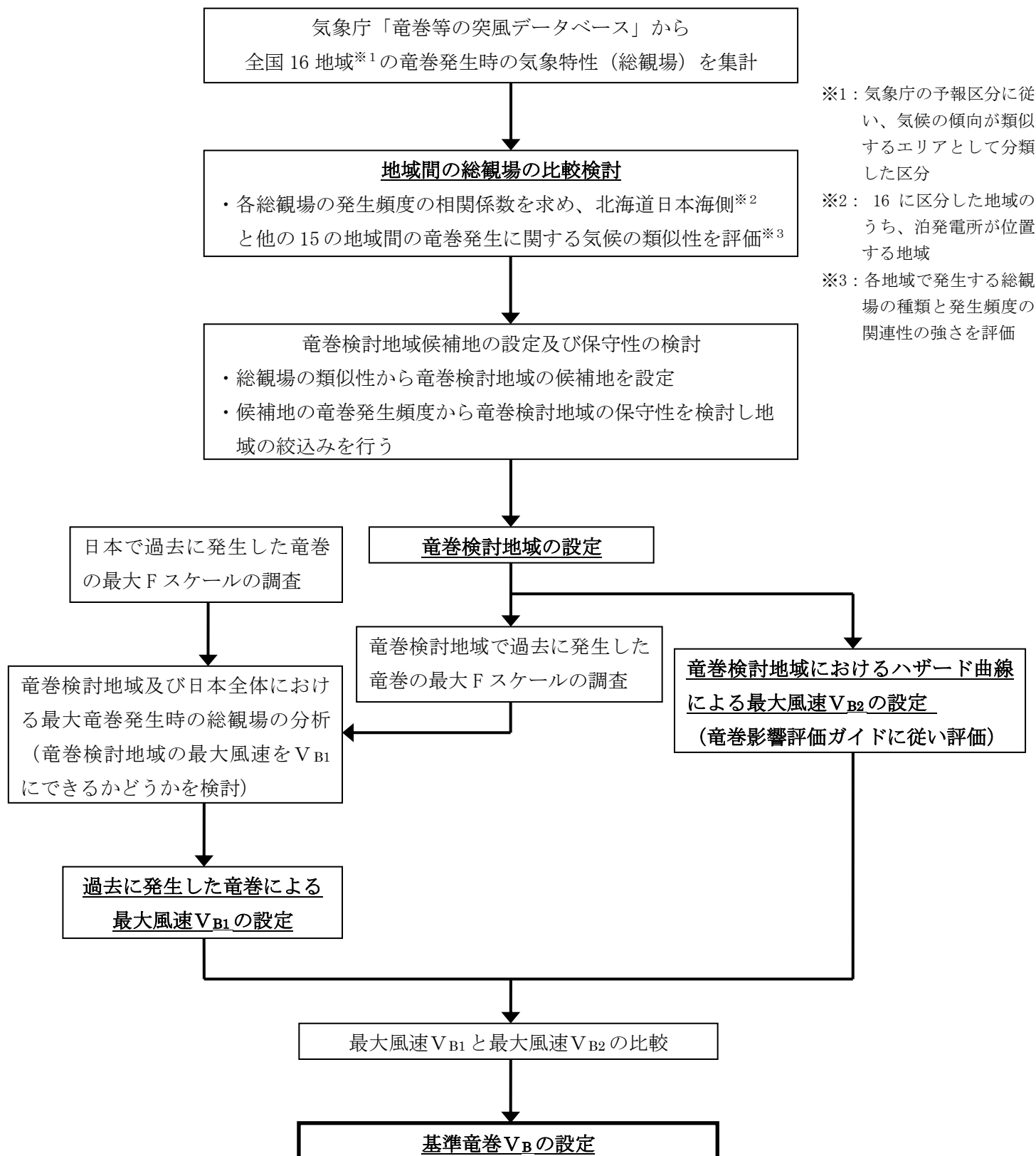
I. 竜巻影響評価について

1. 基準竜巻の設定について

目 次

1. 基準竜巻設定フロー	1-1
2. 竜巻検討地域の設定	1-2
(1) 竜巻の発生状況	1-2
(2) 地域区分の設定	1-4
(3) 日本の竜巻発生状況の総観場による解析	1-7
(4) 竜巻検討地域の設定	1-11
3. 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定	1-13
(1) 竜巻検討地域で発生した最大スケールの竜巻及び全国で発生した最大スケールの竜巻の総観場の解析	1-13
(2) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定	1-14
4. ハザード曲線に基づく最大風速 (V_{B2}) の設定	1-15
(1) ハザード曲線の評価方針	1-15
(2) ハザード曲線算定の流れ	1-16
(3) 竜巻発生数の解析	1-17
(4) 竜巻被害幅、被害長さのデータ	1-19
(5) 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の設定及び相関係数の算定	1-20
(6) 竜巻影響エリアの設定	1-23
(7) ハザード曲線の算定	1-25
(8) ハザード曲線	1-28
5. 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定	1-30

1. 基準竜巻の設定フロー



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

日本全国の竜巻の発生状況は図 2.1 のとおりである。竜巻は日本全国で発生しているが、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（後志支庁）の日本海側に面しているが、後志支庁で発生した竜巻は、表 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。

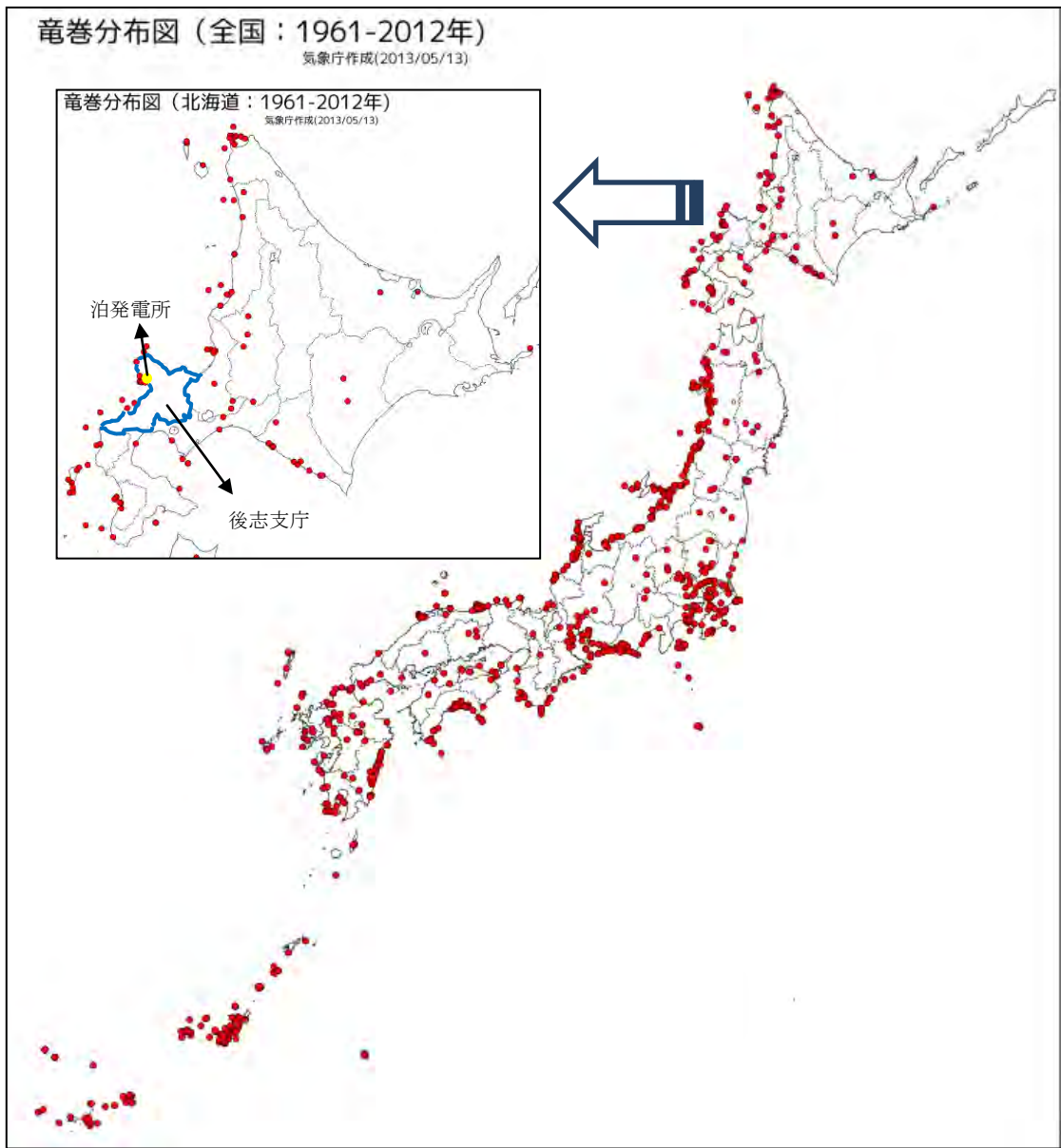


図 2.1 竜巻の発生状況（出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース）

表 2.1 北海道後志支庁で発生した竜巻（出典：気象庁 HP 竜巻等の突風データベース）

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	2007/10/1 14:27 頃	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、「原子力安全基盤機構委託成果」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。

検討にあたり日本国内を、図 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 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 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 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 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	北海道日本海側 宗谷（北部）、空知 上川、留萌、石狩、 後志、桧山	10	近畿太平洋側 奈良、和歌山、大阪、 兵庫（南部）、京都（南部） 滋賀（南部）
2	北海道オホーツク海側 宗谷（南部）、網走 北見、紋別	11	山陰 鳥取、島根
3	北海道太平洋側 根室、釧路 十勝、日高 胆振、渡島	12	山陽 広島、岡山
4	東北日本海側 青森（津軽）、秋田 山形、福島（会津）	13	四国 徳島、香川、愛媛、高知
5	東北太平洋側 青森（下北）、岩手 宮城、福島（浜通り、 中通り）	14	九州北部 山口、福岡、佐賀 長崎、大分、熊本
6	関東甲信 茨城、千葉、栃木 群馬、埼玉、東京 神奈川、山梨、長野	15	九州南部・奄美 宮崎、鹿児島 奄美
7	北陸 新潟、富山、石川、福井	16	沖縄 沖縄
8	東海 静岡、愛知、岐阜、三重		
9	近畿日本海側 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、日本の全地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2.3で比較した。

図2.3に示す総観場の集計結果によると、全地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」の出現が多くみられるが、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、全地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みられる。

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。

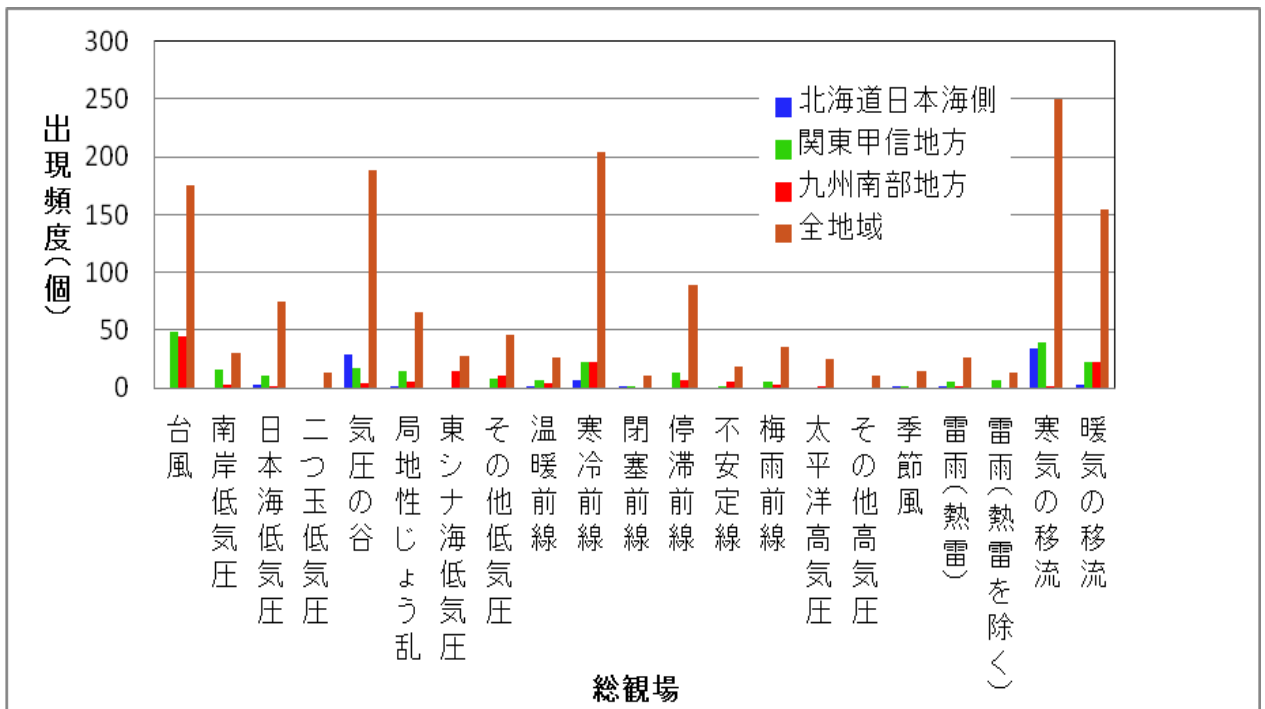
※1 総観場：竜巻発生時の気象特性（原子力安全基盤機構委託成果より引用）

表 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	不安定前線	梅雨前線	太平洋高気圧	その他高気圧	季節風	雷雨(熱雷を除く)	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	0	1	0	10	1	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	1	1	0	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	2	0	2	2	0	0	0	0	0	2	8	F2
四国地方	18	3	9	2	2	0	0	4	1	1	2	10	0	3	1	1	0	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）に従った。また、全地域の出現が 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）に従い、全地域の出現が 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 2.3 各地域の相観場の出現頻度

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発生の観点から類似の地域であると判断した。

具体的には、表 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、発生する総観場の種類及び発生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 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 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 2.4 に示す。

相関がみられる例（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）

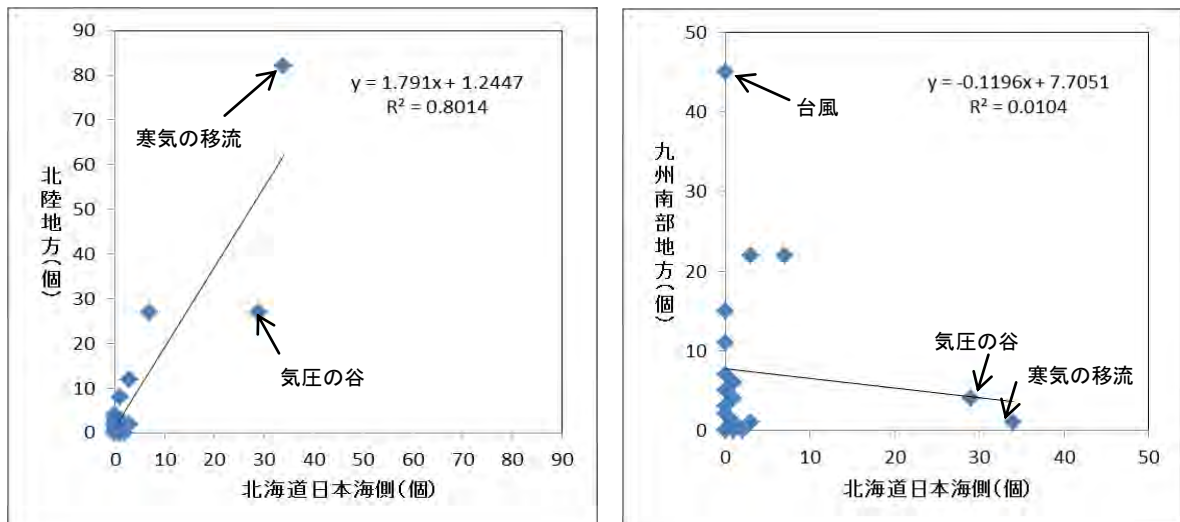


図 2.4 総観場の分布図



図 2.6 泊発電所の竜巻検討地域

3. 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) 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全国で発生した最大スケールの竜巻の総観場の解析

表 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 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、寒冷前線は全国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 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

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
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
1999年11月	秋田県八森町	(F1~F2)	日本海低気圧、寒冷前線

表 3.2 日本で過去に発生した F2 を超える竜巻の総観場

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)

(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、これまでに全国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 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。

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「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」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 5 km の範囲を 1 km に刻んだエリアと、竜巻検討地域全域について評価する。

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を評価する。

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「原子力安全基盤機構の委託研究成果」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、先に述べた原子力安全基盤機構の委託結果 (平成 23 年 2 月) 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。

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を評価する。

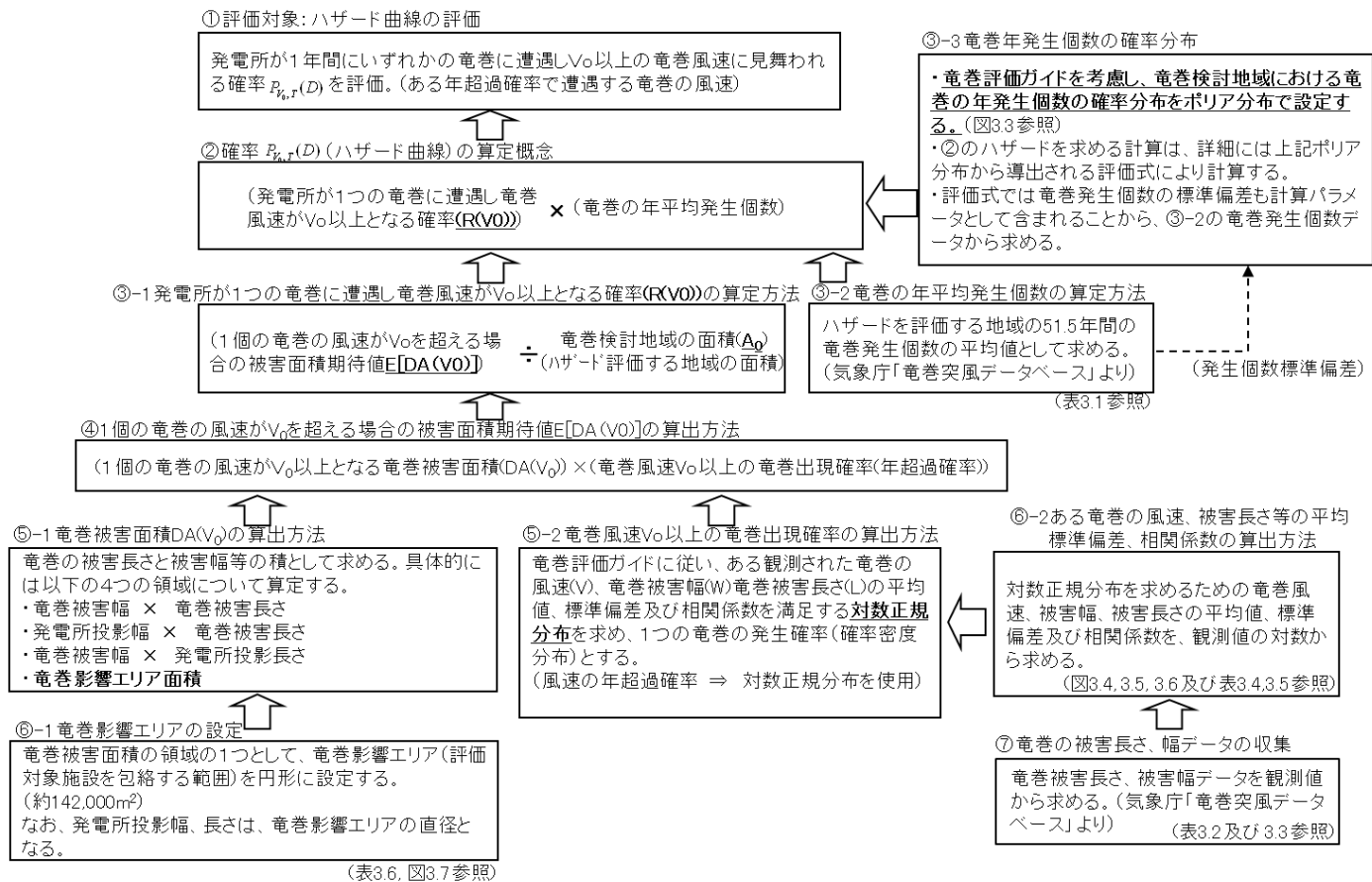


図 4.1 ハザード曲線算定の流れ

(3) 竜巻発生数の解析

a. 適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」より、竜巻検討地域における 1961 年から 2012 年 6 月までの 51.5 年間の竜巻発生データを用いる。

b. 竜巻の発生数及びその補正

気象庁による竜巻の調査方法は、1991 年と 2007 年を基点に 2 度にわたり改善が図られており、年代により竜巻の発生数にばらつきがある。日本におけるこれまでの竜巻突風の評定の改善の状況を以下に示す。

- ✓1961～1990 年：一定規模・被害以上の突風について収集、被害のない海上竜巻は含まない
- ✓1991～2006 年：竜巻等突風の発生に関する情報収集を強化、被害のない海上竜巻も区別して収集
- ✓2007 年以降：竜巻等突風の現地調査を強化、海上竜巻の確認数が格段に増加
(出典：気象庁 竜巻等突風の強さの評定に関する検討会第 1 回資料)

1961～2012 年 6 月、1991 年～2012 年 6 月及び 2007 ～2012 年 6 月の各期間の竜巻発生数を表 4.1 に示す。

ハザード曲線の評価にあたっては、上記の気象庁の各年代の調査業務の精度の違いを考慮し、各年代の発生数と観測期間を基に竜巻発生個数について補正を行い、擬似的な 51.5 年間の竜巻発生個数を作成した。また、これをもとに F スケール毎に統計量（平均、標準偏差）を求めた。擬似的な竜巻発生個数の作成にあたっての基本的な考え方は次のとおり。

- ① F0 及び不明竜巻の発生個数は、観測精度が向上した 2007 年以降の年平均発生数が現実に近いものと推測されるため、同期間の発生数と観測期間から補正する。
($26 \text{ 個} \times 51.5 \text{ 年} / 5.5 \text{ 年} \doteq 244 \text{ 個}$)
- ② F1 竜巻についても同様に観測制度を考慮し、1991 年以降の年平均発生数が現実に近いものと類推されることから、この期間の発生数と観測期間から補正する。
($27 \text{ 個} \times 51.5 \text{ 年} / 21.5 \text{ 年} \doteq 65 \text{ 個}$)
- ③ 被害が比較的大きく見逃されることが少ない F2 竜巻については、1961 年以降の全期間の年間発生数を採用する。(以上で、表 4.1 の 4 段目までの補正が完了。)
- ④ F スケール不明の海上竜巻については、竜巻スケールを推定することは困難であるため、「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は海岸線から陸側 5 km の範囲と海側 5 km の範囲で類似している。」との考えに基づいて、F スケール不明の海上竜巻を陸上竜巻の各 F スケールに按分する。(表 4.1 の 4 段目に記載した陸上竜巻の F スケール別の発生比率毎に各 F スケールに按分する。)

表 4.1 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の 統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	90	30	47	13	0	5	111	206
	平均値(年)	1.748	0.583	0.913	0.252	0	0.097	2.155	4
	標準偏差(年)	2.526	2.003	1.02	0.522	0	0.359	5.87	7.687
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	60	30	27	3	0	5	110	175
	平均値(年)	2.791	1.395	1.256	0.14	0	0.233	5.116	8.14
	標準偏差(年)	3.467	2.956	1.124	0.356	0	0.535	8.341	10.683
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	32	26	6	0	0	0	93	125
	平均値(年)	5.818	4.727	1.091	0	0	0	16.909	22.727
	標準偏差(年)	6.087	4.814	1.337	0	0	0	10.661	14.7
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	322	244	65	13	0	0	871	1193
	平均値(年)	6.252	4.727	1.256	0.252	0	0	16.909	23.165
	標準偏差(年)	4.97	4.814	1.124	0.522	0	0	10.661	11.762
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	0
	平均値(年)	23.204	17.573	4.680	0.951	0	0	0	0
	標準偏差(年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0	0	0	0

※疑似全竜巻の発生数は、按分の際の切り上げにより小計が増加している。

c. 竜巻の年発生数の確率密度分布の設定

確率密度分布の設定にあたっては、竜巻は極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、原子力安全基盤機構委託成果にならってポリヤ分布により設定した。bで求めた竜巻の発生頻度をもとに、竜巻の年発生数の確率分布として求めた、年平均値と標準偏差に対するポリヤ分布を図4.2に示す。

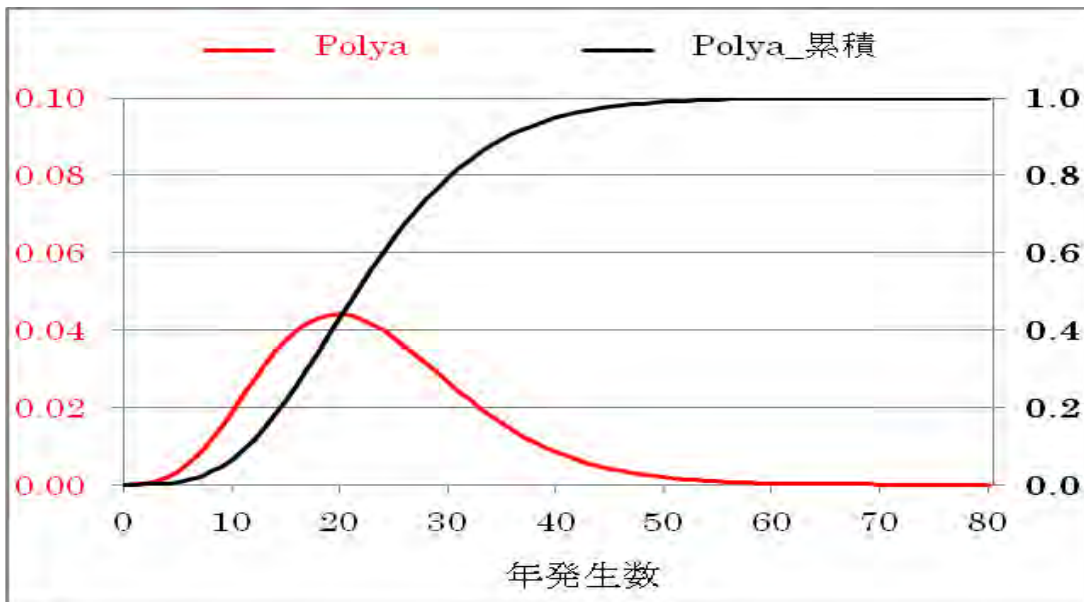


図 4.2 竜巻の年発生数の確率分布（ポリヤ分布）

(4) 竜巻被害幅、被害長さのデータ

竜巻発生数と同様に、被害幅の観測データを解析した結果を表 4.2 に示す。不明とは、被害幅と F スケールの両方もしくは片方が不明であることを表す。被害幅の解析に利用可能なデータ数は、64 個と少ない。

安定した統計値を算出するために、データ数を確保する必要がある。また、先に推定した 51.5 年間の擬似竜巻発生数との整合性も確保する必要がある。そこで、以下のように 51.5 年間の被害幅の統計量を推定した。

- ① 1961 年以降の観測データを使用し、F スケール別に被害幅データを抽出する。このデータをもとに、F スケール別に被害幅のデータや平均値・標準偏差を求める（表 4.2 の上段）。
- ② 各スケール別の 51.5 年間の発生数(期間内総数)を、①で得られた観測値から、表 4.1 で推定した 51.5 年間の擬似発生数に置き換える。(F2 の場合、7 個を 49 個に置き換える。)
- ③ ①で抽出された F スケール別の被害幅データを大きい順に並び替え②で設定した 51.5 年間の擬似発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い、被害幅の疑似データを作成する。(例えば、F2 の場合、被害幅が観測されている 7 個のデータを大きい順に並べ、これを順に 49 個のデータに繰り返し当てはめデータを作成する。)
- ④ ③で作成した疑似データをもとに、平均値と標準偏差を求める。

竜巻被害長さについても、被害幅と同様の解析を行った。結果を表 4.3 に示す。

表 4.2 竜巻被害域幅の解析結果

日本海+北海道 (沿岸±5km)	竜巻幅 の統計 (m)	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	64	24	33	7	0	23	119	206
	平均値 (m)	117.6	115.5	108.6	167.1	0			
	標準偏差 (m)	144.7	123.8	101.7	324.4	0			
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	0
	平均値 (m)	117.7	116.2	113.5	167.1	0			
	標準偏差 (m)	130.8	121.5	103.1	303.4	0			

表 4.3 竜巻被害域長さの解析結果

日本海+北海道 (沿岸±5km)	被害長さ の統計(km)	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	69	25	36	8	0	17	120	206
	平均値 (km)	2.278	1.072	3.031	2.662	0			
	標準偏差 (km)	3.729	1.443	4.73	3.054	0			
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	0
	平均値 (km)	1.572	1.084	3.156	2.812	0			
	標準偏差 (km)	2.68	1.427	4.741	3.043	0			

(5) 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の設定及び相関係数の算定

ハザード曲線を算定するために、一つの竜巻が発生した際の竜巻風速、被害幅及び長さの確率密度分布が必要となる。このため表 4.4 に示す (3) 及び (4) で求めた竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数、被害幅、被害長さのデータを用いて、それぞれの確率密度分布を求めた。

確率密度分布の設定にあたっては、竜巻影響評価ガイド及び原子力安全基盤機構委託成果に示される対数正規分布に従う。

推定した竜巻被害幅、竜巻被害長さ、竜巻風速の確率密度分布は以下のとおり。

a. 被害幅の確率密度分布

確率密度分布を図 4.3 に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

b. 被害長さの確率密度分布

確率密度分布を図 4.4 に示す。推定された分布形は、超過確率のグラフより適切に観測値を推定していると判断される。

c. 竜巻風速の確率密度分布

超過確率を図 4.5 に示す。観測結果を適切に表現できる形となっており、風速の大きい領域でも不自然な形となっていない。

次に、ハザード曲線の算定において、2 変量あるいは 3 変量の確率分布関数を対象とするため、竜巻風速・被害幅・被害長さについての相関係数を求めた。本来ならば、これら 3 つが同時に観測されているデータを用いるのが望ましいが、十分なデータ数が確保されないため、1961 年以降の利用可能なデータ（風速と被害幅のみが観測されているデータ等、2 変量の比較が行える観測データ）を全て用いて相関を取った。また、風速、被害幅等の変数の確率密度分布の推定では、発生頻度が重要であるため繰り返しサンプリングを行ったデータを使用した。以下の理由から相関係数の推定ではそのような措置をおこなわず、観測の元データを使用した。

F スケール不明や F0 スケールの竜巻では、被害規模が小さいために被害幅や長さの観測データがより大きな F2 スケール竜巻に比べて得られる機会が少なく、ばらつきも大きいと考えられる。そのようなデータをサンプリングにより増やすと、F2 スケール竜巻で見られる相関の高さが反映されなくなることが懸念される。

表 4.5 に算定結果を示すが、泊発電所における竜巻検討地域では、風速-被害長さ間では 0.3 程度、被害幅-被害長さ間では 0.4 以上の相関が認められた。

表 4.4 竜巻検討地域における竜巻パラメータ (51.5 年間の推定結果)

パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(年)	23.204	17.573	4.680	0.951	0
		標準偏差(年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0
疑似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(m)	117.7	116.2	113.5	167.1	0
		標準偏差(m)	130.8	121.5	103.1	303.4	0
疑似 51.5年間 (全竜巻)	被害長	期間内総数	1195	905	241	49	0
		平均値(km)	1.572	1.084	3.156	2.812	0
		標準偏差(km)	2.680	1.427	4.741	3.043	0

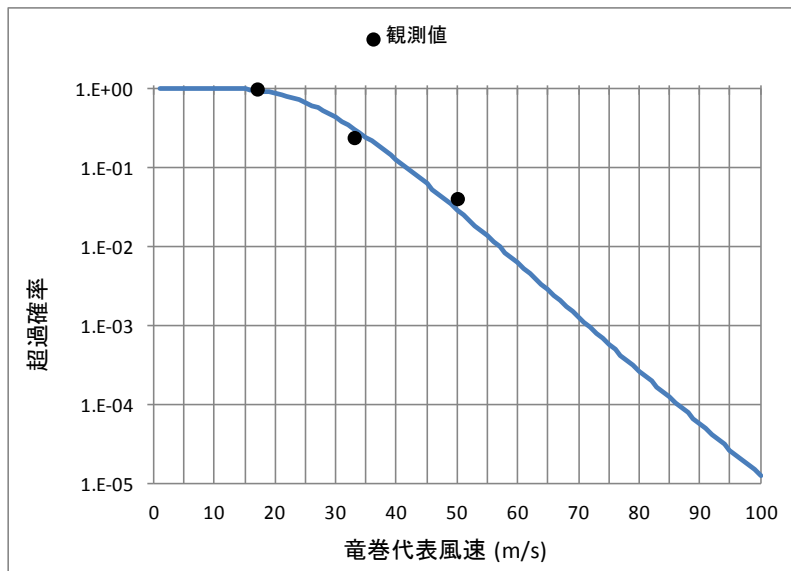


図 4.3 竜巻風速の超過確率分布

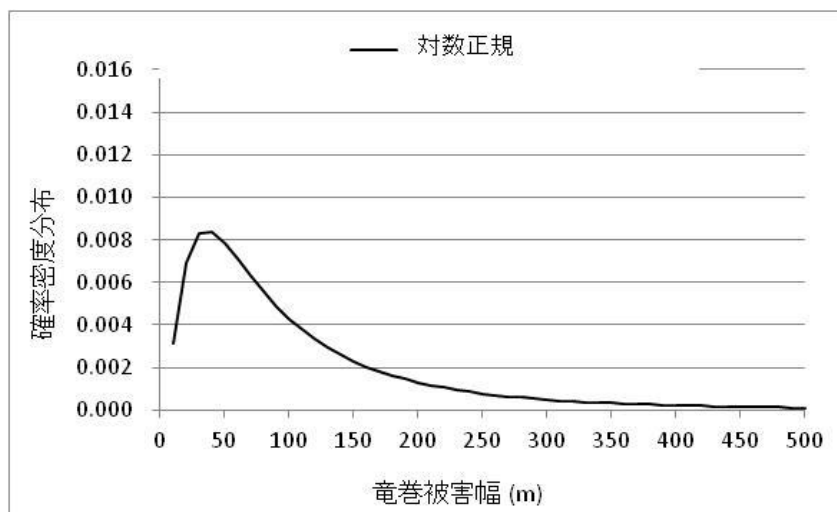


図 4.4(1) 竜巻被害域幅の確率密度分布

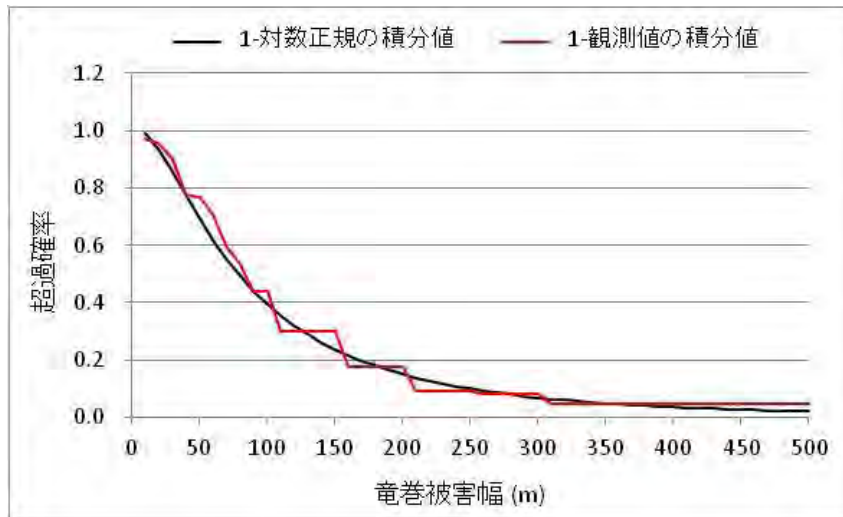


図 4.4(2) 竜巻被害域幅の超過確率

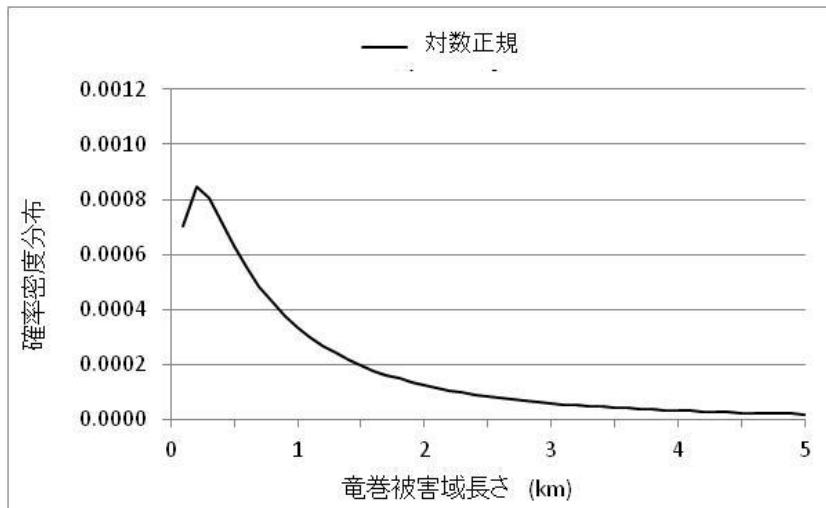


図 4.5(1) 竜巻被害域長さの確率密度分布

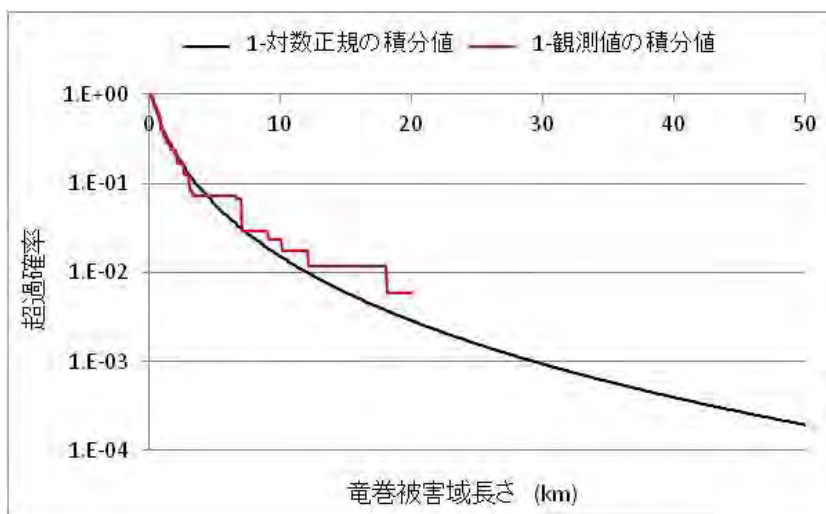


図 4.5(2) 竜巻被害域長さの超過確率

表 4.5(1) 相関係数算定に用いた竜巻風速、被害幅、被害長さのデータ数

データ数	風速 (個)	被害幅 (個)	被害長さ (個)
風速 (個)	90	64	69
被害幅 (個)	64	67	62
被害長さ (個)	69	62	70

表 4.5(2) 相関係数

相関係数(対数)	風速 (m/s)	被害幅 (m)	被害長さ (m)
風速 (m/s)	1.000	0	0.301
被害幅 (m)	0	1.000	0.458
被害長さ (m)	0.301	0.458	1.000

(6) 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響評価ガイドに従い、竜巻影響エリアの設定にあたり泊 3 号機における評価対象設備の面積を設定する。なお、評価対象設備は、本文「2. 評価対象施設の抽出」に示した竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である。

評価対象設備の設置位置と面積を、図 4.6 及び表 4.6 に示す。

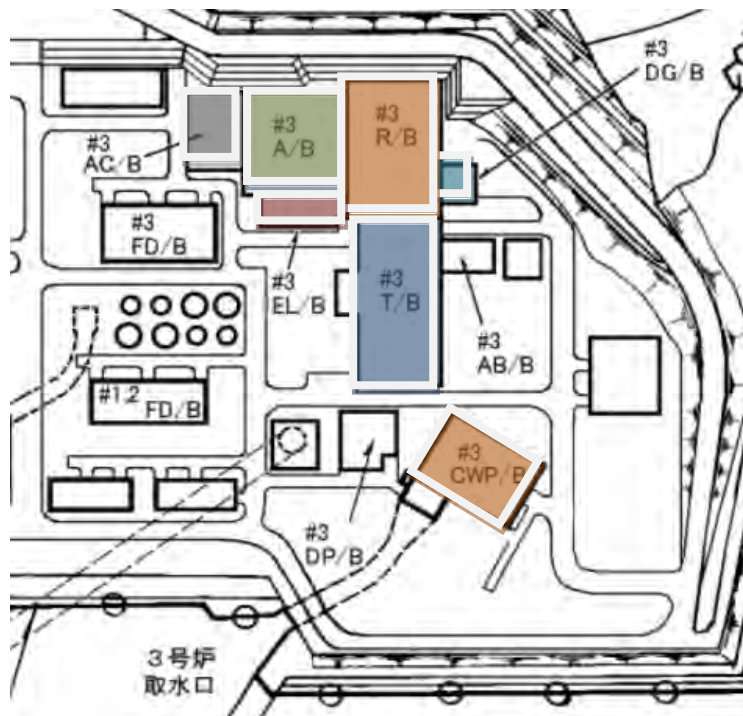


図 4.6 評価対象施設の設置位置概略図

表 4.6 評価対象施設の設置面積

評価対象施設	設置面積 (m ²)
原子炉建屋 (R/B)	4, 8 8 9
原子炉補助建屋 (A/B)	3, 6 8 9
ディーゼル発電機建屋 (DG/B)	4 9 3
タービン建屋 (T/B)	5, 2 2 5
電気建屋 (EL/B)	1, 2 1 4
出入管理建屋 (AC/B)	1, 6 0 3
循環水ポンプ建屋 (CWP/B)	2, 7 4 8
合 計	1 9, 8 6 1

泊 3 号機における竜巻影響エリアを図 4.7 に示す。評価対象施設は、図 4.6 に示すとおりに分散しているため、竜巻影響エリアは、保守性を考慮して 3 号機施設全体を囲うように設定する。具体的には、原子炉建屋の端から循環水ポンプ建屋の端までの距離 270m に余裕をみて、1 辺を 300m とする正方形を仮定し、更にこの正方形を囲む、直径($\sqrt{2} \times 300 \div 425$)m の円形 (面積: 約 142, 000m²) の範囲とする。

なお、竜巻影響エリアを円形に設定するため、ハザード曲線は竜巻移動方向に対する依存性無しとして評価を行う。

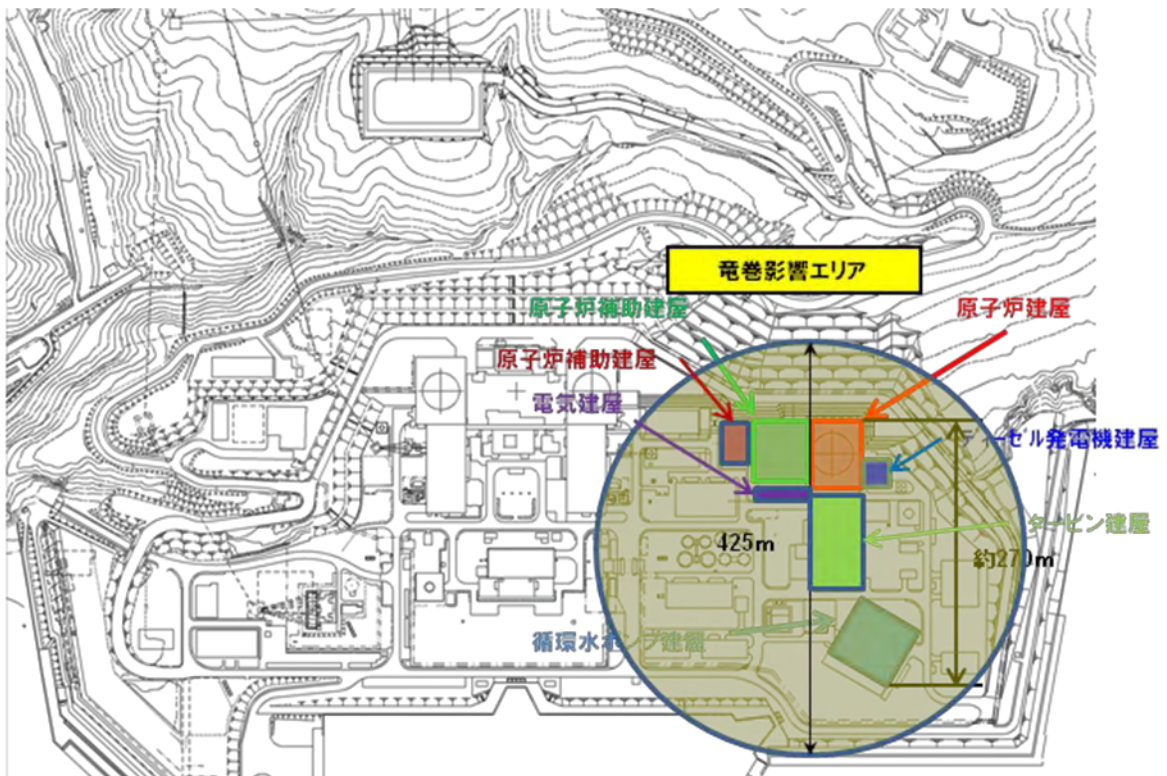


図 4.7 泊 3 号機の竜巻影響エリア

(7) ハザード曲線の算定

「原子力安全基盤機構委託成果」によれば、Wen and Chu は、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方法を提案している。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、4.1式に示すポリヤ分布に適合するとしている。このため、本ハザード曲線の算定においては上記委託成果にならって、適合性の良いポリヤ分布を用いる。

$$\text{ポリヤ分布} : P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (4.1 \text{ 式})$$

$$\beta = \left(\frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (4.2 \text{ 式})$$

ここで、

- N : 竜巻の年発生数
- v : 竜巻の年平均発生数
- T : 年数
- σ : 竜巻の年発生数の標準偏差

評価対象とする建造物が1つの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が V_0 以上となる確率を $R(V_0)$ とした時、 T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し V_0 以上の竜巻風速に見舞われる確率 $P_{V_0,T}(D)$ は、4.1式から導き出された4.3式で表される。また、必要なハザード曲線は、4.4式を4.3式に代入することにより求めることができる。

$$P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (4.3 \text{ 式})$$

ここで、

- D : 対象とする建造物が風速 V_0 以上の竜巻風速に遭遇する事象
- $R(V_0)$: リスクの評価対象とする建造物が1つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が V_0 以上となる確率

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4.4 \text{ 式})$$

- $DA(V_0)$: 1個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積
- $E[DA(V_0)]$: $DA(V_0)$ の期待値
- A_0 : リスクの評価対象とする地域の面積 (竜巻検討地域の面積 38,895km²)

次に、面積期待値 $E[DA(V_0)]$ の算出の仕方について説明する。

1個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積 $DA(V_0)$ は4.5式のように表される。

$$\begin{aligned}
 DA(V_0) &= WL + HL + WG + AB \quad ; V_i \geq V_0 \\
 DA(V_0) &= 0 \quad ; V_i < V_0
 \end{aligned}
 \tag{4.5式}$$

ここで、Wは竜巻の被害域幅、Lは被害域長さ、A、Bは構造物の寸法、HとGは竜巻の被害域幅や長さ方向への構造物の投影長さである。

4.5式の4つの項が表す面積部分の概念図を図4.8に示す。

WL (第1項) = ①、 HL (第2項) = ②

WG (第3項) = ③、 AB (第4項) = ④

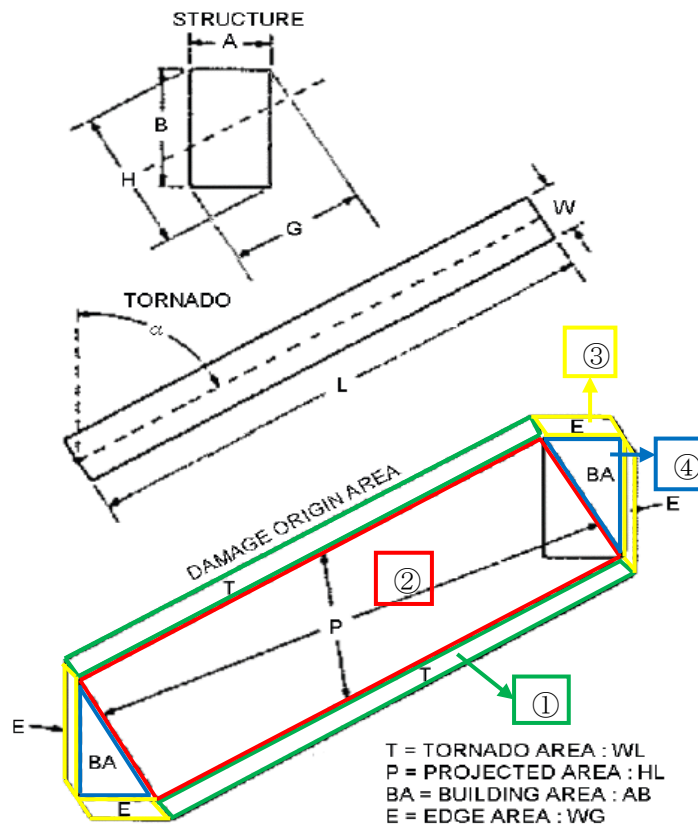


図 4.8 竜巻被害エリアの定義(「原子力安全基盤機構委託成果」より)

4.5式の右辺第1項は、竜巻被害長さ・竜巻被害幅の積で被害面積を表しており点構造物に対する被害に対応する。第2項と第3項は、竜巻被害長さ・被害幅と構造物寸法の積で構造物の被害面積を表す。第4項は建物面積ABに依存する項である。

上記から、竜巻風速、被害幅、被害長さの同時確率密度分布を用い、また、建物面積を直径Lの円形構造物として $DA(V_0)$ の期待値を表すと式(4.6)になる。

$$\begin{aligned}
E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
&+ L \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + L \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV
\end{aligned} \tag{4.6式}$$

V : 竜巻最大風速、 w : 被害域幅、 l : 被害域長さ

α : 竜巻の移動方向、 $f(\cdot)$: 確率密度分布

L : 円形構造物の直径、 S : 円形構造物の面積

$$W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \tag{4.7式}$$

w : 竜巻の被害域幅の観測値

V_{\min} : 被害域幅 w 内の最小竜巻風速

ここで、4.7式は、竜巻被害幅のうち風速が V_0 を超える部分の幅であり、この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布があることが考慮されている。4.7式の V_{\min} は、gale intensity velocity と呼ばれ(Gale は「非常に強い風」という意味)、被害が発生し始める風速に位置付けられる。米国の気象庁(National Weather Service)では、34~47ノット(17.5~24.2m/s)とされている。また、日本の気象庁が使用している風力階級では風力8が疾強風(Gale, 17.2~20.7m/s)、風力9は大強風(Strong gale, 20.8~24.4m/s)と分類されており、風力9では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされている。以上を参考に、 $V_{\min}=25\text{m/s}$ とした。この値はF0(17~32m/s)のほぼ中央値に相当する。

また、 $H(\alpha)$ 及び $G(\alpha)$ は構造物の投影長さであるが、竜巻影響エリアを円形で設定していることから、直径425mで一定(竜巻の移動方向に依存しない)となる。(補足説明資料5.参照)

ABは先に説明したとおり建物面積ABに依存する項であり、具体的には竜巻影響エリアの面積を表す。

ここで、4.6式中の同時確率密度分布 f は、以下の2変量及び3変量の対数正規分布で表される。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \frac{1}{xy} \exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right) + \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right] \tag{4.8式}$$

$$f(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \left| \begin{array}{ccc} \sigma_x^2 & \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} \\ \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} \\ \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{array} \right|^{1/2}} \times \frac{1}{xyz} \times \exp \left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x & \ln(y) - \mu_y & \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} \\ \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} \\ \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x \\ \ln(y) - \mu_y \\ \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \right] \quad (4.9 \text{ 式})$$

μ 、 σ 、 ρ は $\ln(x)$ 、 $\ln(y)$ 、 $\ln(z)$ の平均値、標準偏差及び相関係数であり、(5)で求めた竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の平均値、標準偏差ならびに相関係数を用いる。

(8) ハザード曲線

竜巻影響エリアを1km毎に刻んだエリアで求めるハザード曲線の評価条件は、以下のとおり。

- ①各エリア内の通過竜巻を考慮する。
- ②5km以遠から進入する竜巻を考慮する。
- ③相関係数を求める際の竜巻被害長さは、全長を用いる。
- ④竜巻被害面積期待値を求める際の被害長さ、被害幅及び風速はエリア内のデータを用いる。
- ⑤竜巻発生個数、被害幅及び被害長さについては、竜巻検討地域全域での評価と同様に観測期間51.5年間の擬似データを作成し評価する。
- ⑥風速、被害長さ、被害幅の確率密度分布等その他条件については、竜巻影響評価ガイドに従う。

求めたエリア毎の竜巻発生個数等の計算条件を表4.7に示す。

表 4.7 エリア毎のハザード曲線評価条件

竜巻検討地域 (1km毎の評価)	統計量	発生数	風速	幅	長さ	相関係数_LN(検討地域全域)		
		(個)	m/s	m	m	U ~ W	U ~ L	W ~ L
陸側 0~1km	平均値	3.845	30.1212	127.914	661.010	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	3.574	9.9000	153.044	507.026			
陸側 1~2km	平均値	2.369	30.7623	185.492	944.098	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	2.134	9.4415	174.304	1377.451			
陸側 2~3km	平均値	2.058	28.9670	179.811	790.000	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	1.594	8.6521	192.567	330.027			
陸側 3~4km	平均値	1.243	32.2813	214.063	880.625	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	0.948	9.4204	223.958	933.643			
陸側 4~5km	平均値	0.796	34.7561	395.122	1110.250	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	0.936	9.9907	257.373	416.989			
海側 0~-1km	平均値	9.670	28.6335	91.697	1511.950	0.0000	0.3013	0.4585
	標準偏差	5.360	8.6895	117.267	2244.919			

(7) までの検討及び表 4.7 の評価条件から求めたハザード曲線の算定結果を、図 4.9 に示す。海側 1 km から 5 km の範囲については、F スケール不明の竜巻しかないため、ハザード曲線の評価ができなかった。このため、陸側 5 km から海側 1 km の範囲で 1 km 毎に刻んだ 6 つのエリアと竜巻検討地域全域についてハザード曲線を求めた。結果、図のとおり、海側 0 から 1 km のエリアのハザードが最も厳しくなり、年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻風速 V_{B2} は 65m/s となった。なお、ポアソン分布を用いたハザード曲線においても同様の結果が得られている。

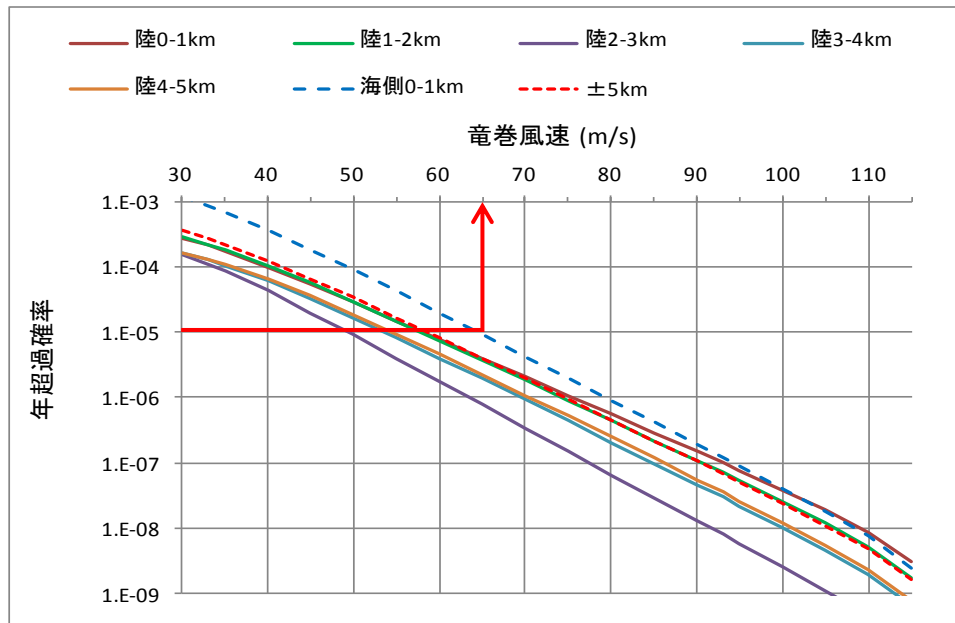


図 4.9 竜巻最大風速のハザード曲線 ($P_{V_0,T}(D)$)

5. 基準竜巻の最大風速(V_B)の設定

これまでに評価した、竜巻の最大風速の結果は以下のとおり。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1}) \Rightarrow 92m/s

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2}) \Rightarrow 65m/s

竜巻影響評価ガイドに従い、基準竜巻の最大風速(V_B)は V_{B1} と V_{B2} のうち大きい方とし、92m/sとする。

基準竜巻の最大風速(V_B) 92 m/s
--

なお、4. で求めたハザード曲線より、基準竜巻の最大風速 92m/s の年超過確率を求めると、約 1.4×10^{-7} /年となる。

2. 相関係数の算出及び検定方法について

相関係数の算出及び相関係数の検定方法は、下記のとおりである。

i) 相関係数の算出

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1 \text{ 式})$$

r	: 相関係数
$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$: 資料 x と資料 y の共分散
$\sum (x_i - \bar{x})^2$: 資料 x の分散
$\sum (y_i - \bar{y})^2$: 資料 y の分散
x, y	: 地域区分 (16 区分)
i	: 総観場 (21 種類)

ii) 相関係数の検定方法 (無相関検定)

母集団の相関係数 ($\rho = 0$) を帰無仮説として、相関係数 r を用いて以下の統計量を計算したとき、この値は自由度 $n-2$ (n は標本数) の t 分布に従うことが知られている。

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2 \text{ 式})$$

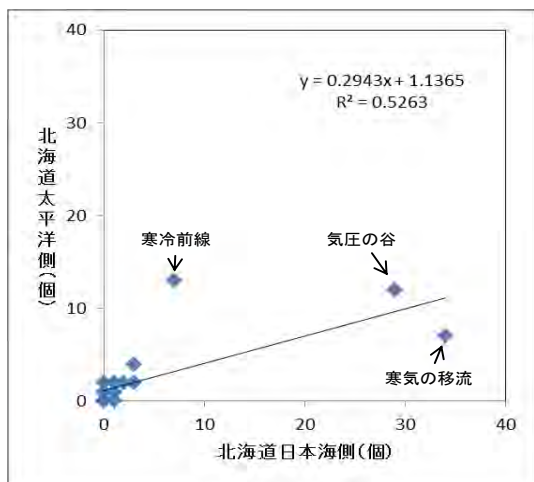
有意水準 α のときの t 値を t_α とすれば、そのときの相関係数 r_α は次式で与えられる。

$$r_\alpha = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n-2+t_\alpha^2}} \quad (3 \text{ 式})$$

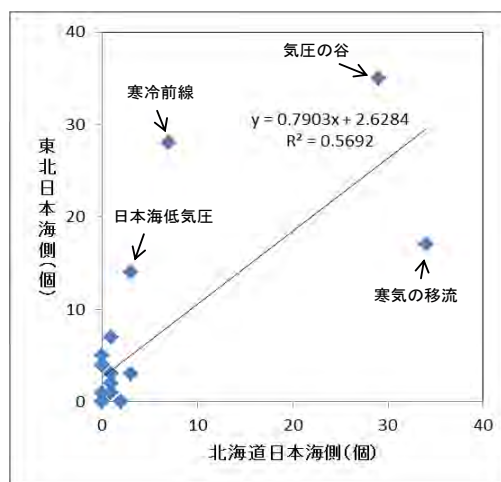
有意水準 $\alpha = 0.01$ (1%) としたとき、 $r > r_{0.01}$ であれば、「母集団の相関係数 ($\rho = 0$) の仮説」が棄却され、危険率 1% で有意な相関があるといえる (無相関であるという仮説は棄却せざるを得ない)。

3. 総観係数の分布図

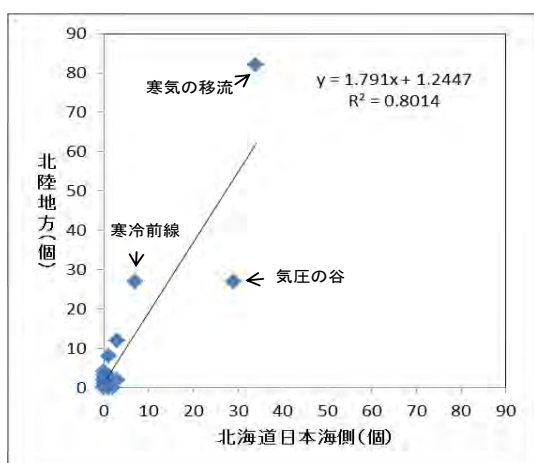
(1) 相関の優位性が認められた地域の分布図



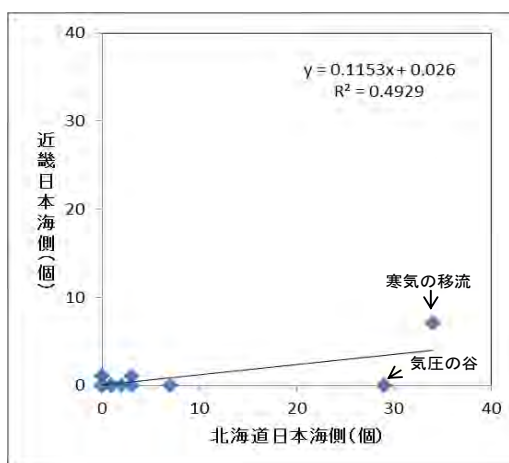
(北海道日本海側⇔北海道太平洋側)



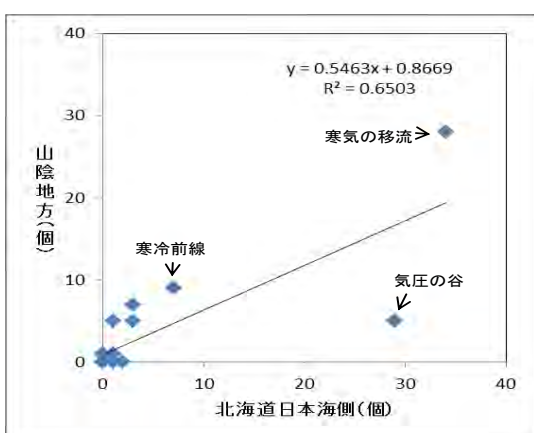
(北海道日本海側⇔東北日本海側)



(北海道日本海側⇔北陸地方)

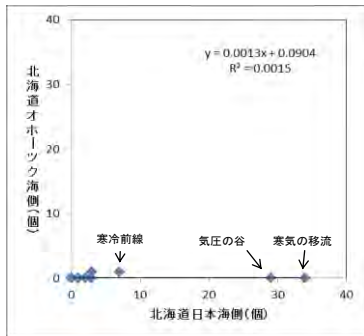


(北海道日本海側⇔近畿日本海側)

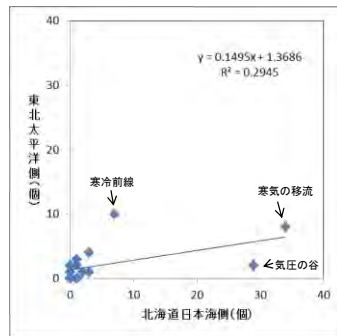


(北海道日本海側⇔山陰地方)

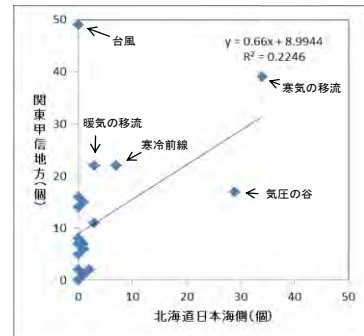
(2) 相関の優位性が認められない地域の分布図



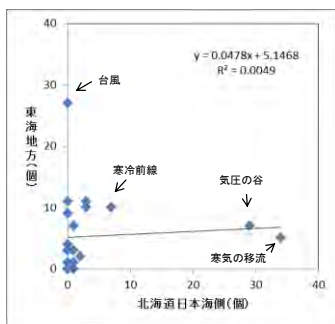
(北海道日本海⇔オホーツク)



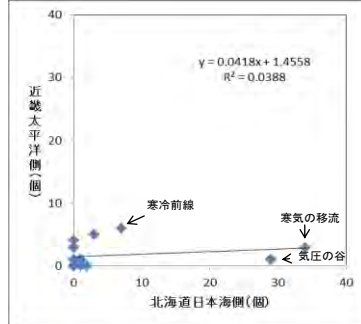
(北海道日本海⇔東北太平洋)



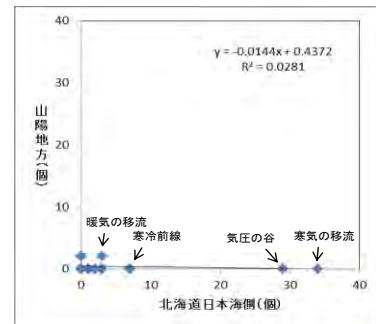
(北海道日本海⇔関東甲信)



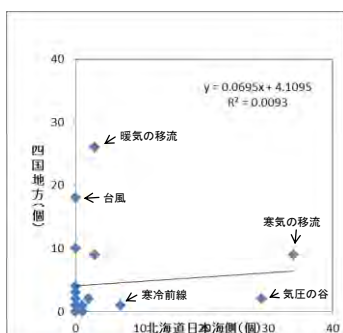
(北海道日本海⇔東海地方)



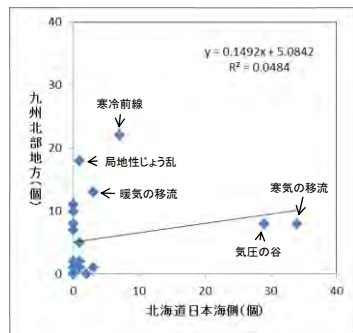
(北海道日本海⇔近畿太平洋)



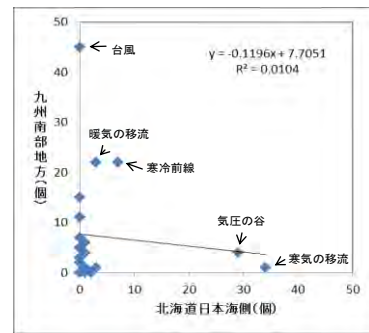
(北海道日本海⇔山陽地方)



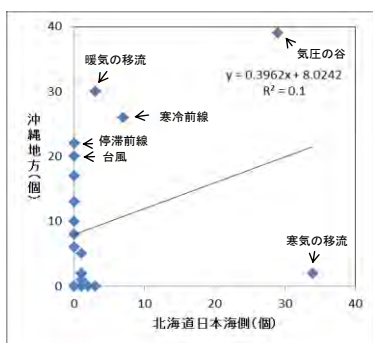
(北海道日本海⇔四国地方)



(北海道日本海⇔九州北部)



(北海道日本海⇔九州南部)



(北海道日本海⇔沖縄地方)

4. 襟裳岬から東側の海岸線等における竜巻発生数

- ・ 襟裳岬から知床半島までの海岸線における竜巻の発生実績

番号	発生日時	発生場所	藤田スケール
1	1969/10/11 09:25	北海道根室支庁(海上)	不明

- ・ 竜飛岬までの陸奥湾西側海岸線における竜巻の発生実績

番号	発生日時	発生場所	藤田スケール
1	1966/10/05 16:02	青森県 青森市	—

※詳細な発生場所データがないことから、海岸線10km範囲での発生かどうか不明。

(出典：気象庁HP 竜巻等の突風データベース)

5. 円形構造物に対する竜巻移動方向の依存性について

原子力発電所の竜巻影響評価ガイドでは、竜巻の移動方向を考慮するよう求めている。

竜巻移動方向と、竜巻風速、長さ、幅に相関がない場合には、竜巻の移動方向を α 、移動方向の確率分布を $p(\alpha)$ 、建物寸法を A、B とすると、例えば、1 個の竜巻の風速が V_0 以上となる面積の期待値 $E[DA(V_0)]$ に関する式の、第 2 項内の方向に関する項は、以下で与えられる。

$$\int_0^{2\pi} H(\alpha) p(\alpha) d\alpha = \int_0^{2\pi} (B|\sin(\alpha)| + A|\cos(\alpha)|) p(\alpha) d\alpha \quad (1 \text{ 式})$$

ここで、建物を直径 D の円形構造物と考える。円形構造物の場合、被害域長さ方向に沿った面への構造物の投影長さ $H(\alpha)$ は、次式で与えられる。

$$H(\alpha) = D \quad (2 \text{ 式})$$

即ち、竜巻の移動方向によらず常に定数となる。従って、1 式も定数となり、竜巻移動方向がどのような分布形でも方向依存性は生じない。これは、下記 3 式より、移動方向の確率分布 $p(\alpha)$ を 2π まで積分した場合に 1 となることから説明できる。

$$\int_0^{2\pi} H(\alpha) p(\alpha) d\alpha = D \int_0^{2\pi} p(\alpha) d\alpha = D \quad (3 \text{ 式})$$

以上のことは、 $E[DA(V_0)]$ に関する式の第 3 項の $G(\alpha)$ についても成り立つ。

6. 竜巻発生個数の補正方法の妥当性について

ハザード曲線の評価にあたっては、竜巻発生個数は、気象庁の各年代の調査業務の精度の違いを考慮し、各年代の発生数と観測期間を基に補正を行っている。補正結果を表1に示す。

各年代の竜巻調査方法の特徴は以下のとおりであり、1991年と2007年を基点に2度にわたり竜巻等突風の評定の改善を図っている。このため、近年スケールの小さい竜巻の観測精度が上がっている。これは、表1に示すとおり、F0スケールの竜巻の約90%が2007年以降に、また、F1スケールの竜巻の約60%が1991年以降に確認されていることから類推される。

【日本におけるこれまでの竜巻等突風の評定の改善】

●1961～1990年

- ✓一定規模・被害以上の突風について収集
- ✓被害のない海上竜巻は含まない

●1991～2006年

- ✓竜巻等突風の発生に関する情報収集を強化
- ✓被害のない海上竜巻も区別して収集

●2007年以降

- ✓竜巻等突風の現地調査を強化
- ✓海上竜巻の確認数が格段に増加

(出典：気象庁 竜巻等突風の強さの評定に関する検討会第1回資料)

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	90	30	47	13	0	5	111	206
	平均値(年)	1.748	0.583	0.913	0.252	0	0.097	2.155	4
	標準偏差(年)	2.526	2.003	1.02	0.522	0	0.359	5.87	7.687
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	60	30	27	3	0	5	110	175
	平均値(年)	2.791	1.395	1.256	0.14	0	0.233	5.116	8.14
	標準偏差(年)	3.467	2.956	1.124	0.356	0	0.535	8.341	10.683
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	32	26	6	0	0	0	93	125
	平均値(年)	5.818	4.727	1.091	0	0	0	16.909	22.727
	標準偏差(年)	6.087	4.814	1.337	0	0	0	10.661	14.7
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	322	244	65	13	0	0	871	1193
	平均値(年)	6.252	4.727	1.256	0.252	0	0	16.909	23.165
	標準偏差(年)	4.97	4.814	1.124	0.522	0	0	10.661	11.762
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1195	905	241	49	0	0	0	0
	平均値(年)	23.204	17.573	4.680	0.951	0	0	0	0
	標準偏差(年)	9.567	9.265	2.163	1.004	0	0	0	0

表1 竜巻発生数の補正結果

ここで、補正を全く行わない観測期間 51.5 年間の発生個数 90 個の竜巻のデータ(Fスケールがわかっているもののみ:表 1 の 1 段目のデータ)を用いてハザード曲線を評価する。結果、先に述べたとおり観測精度の違いから F 0、F 1 の小さなスケールの竜巻の個数が最近の観測結果を反映して評価されておらず、F スケールの大きい竜巻の割合が相対的に高い出現頻度を持つため、風速の大きい領域で年超過確率が大きく評価される。

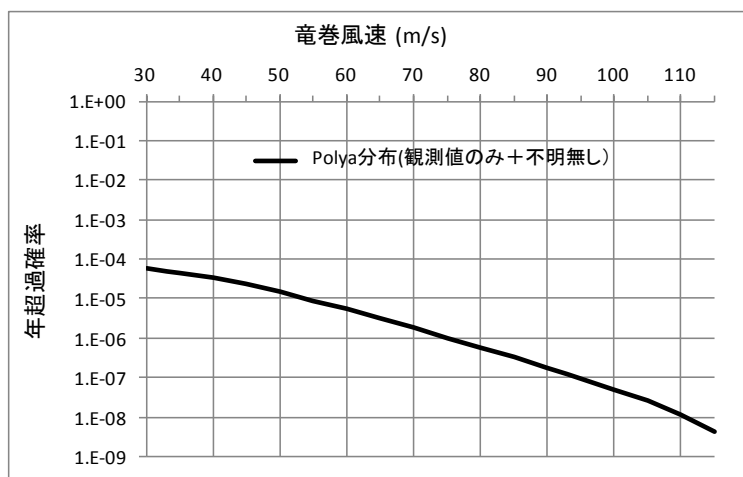


図 1 発生個数 90 個で評価したハザード曲線

次に、観測精度の違いを考慮し、各観測年代(1961～2012 年、1991～2012 年、2007～2012 年)の竜巻発生数と観測期間を基に補正を行った擬似発生数 322 個の竜巻データ(表 1 の 4 段目のデータ)を用いて評価したハザード曲線を図 2 に示す。なお、不明竜巻については按分補正していない。

F 0、F 1 の発生個数を補正したことから、風速の大きいエリアの年超過確率が図 1 と比較し小さく評価されている。最近の観測精度の向上を考慮した評価という観点からは、図 2 の結果の方が実態に即しているものと考えられる。

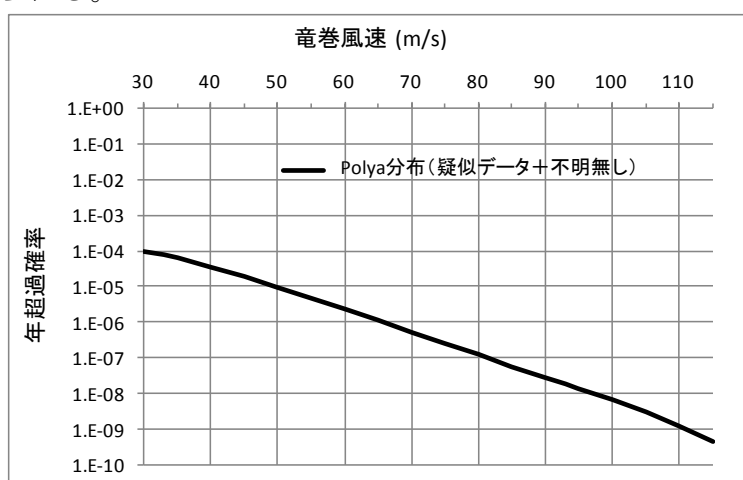


図 2 擬似発生個数 322 個で評価したハザード曲線

F 0、F 1 スケールの竜巻発生個数の補正方法を以下に示す。

① F 0 スケール竜巻の補正

- 先に述べたとおり観測精度の向上により、F 0 スケールの竜巻の約 90%が 2007 年以降に確認されていると考えられる。このため、2007 年以降の年平均発生数が現実に近いものと類推されることから、この期間の発生数と観測期間から補正する。

(26 個×51.5 年/5.5 年≒244 個)

② F 1 スケール竜巻の補正

- F 0 スケールと同様の理由から、F 1 スケールの竜巻の約 60%が 1991 年以降に確認されていると考えられる。このため、1991 年以降の年平均発生数が現実に近いものであると類推されることから、この期間の発生数と観測期間から補正する。

(27 個×51.5 年/21.5 年≒65 個)

なお、F 2 スケール竜巻については、被害が大きく見逃されることが少ないため、1961 年以降の全期間の発生数 13 個のままとする。

最後に、今回のハザード評価で行った F スケール不明の竜巻を按分補正した場合の、擬似発生数 1195 個の場合(表 1 の 5 段目のデータ)のハザード曲線を図 3 に示す。補正にあたっては、最近の観測で著しく増加している F スケール不明の海上竜巻の発生数を、F スケールが分かっている竜巻の比率で按分した。具体的には、F スケール不明の竜巻を、最近の F スケール毎の陸上竜巻の発生割合を用いて按分補正した。結果、表 2 に示すとおり、観測値のみから評価したケースと比較し、年超過確率が 10^{-5} オーダーでほぼ同程度の竜巻風速を示している。以上より、当該ハザードを用いることは問題ないものと考えられる。

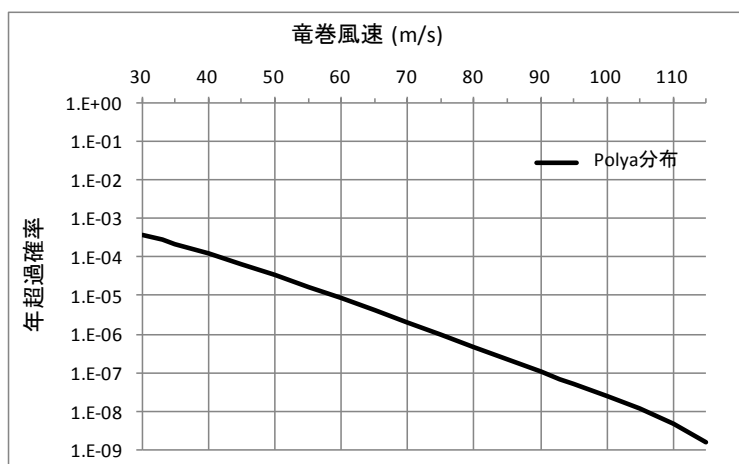


図 3 擬似発生個数 1195 個で評価したハザード曲線

表 2 に、各評価ケースにおける、各超過確率に対する風速を示す。

竜巻検討地域	超過確率 (Polya) に対応する風速 (m/s)			
	1. E-05	1. E-06	1. E-07	1. E-08
観測値のみ (不明補正無し)	54.1	75.3	94.6	110.9
(疑似 322 個)	49.6	65.7	81.3	97.0
(疑似 1195 個)	58.8	74.6	90.4	105.7

表 2 各超過確率に対する風速(m/s)

7. 竜巻集中地域の評価について

独立行政法人原子力安全基盤機構「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説」においては、竜巻集中地域に原子力発電所が立地している場合、当該地域の竜巻の年発生頻度（単位面積当たりの年発生数）を調査し、総観スケールの気象条件から設定した地域の年発生頻度と比較し、発生頻度の高い方を竜巻検討地域とする、としている。

泊発電所は、図1に示すように、竜巻集中地域に位置していることから、この地域の竜巻の年発生頻度を、今回、総観スケールの気象条件から設定した竜巻検討地域の年発生頻度と比較する。

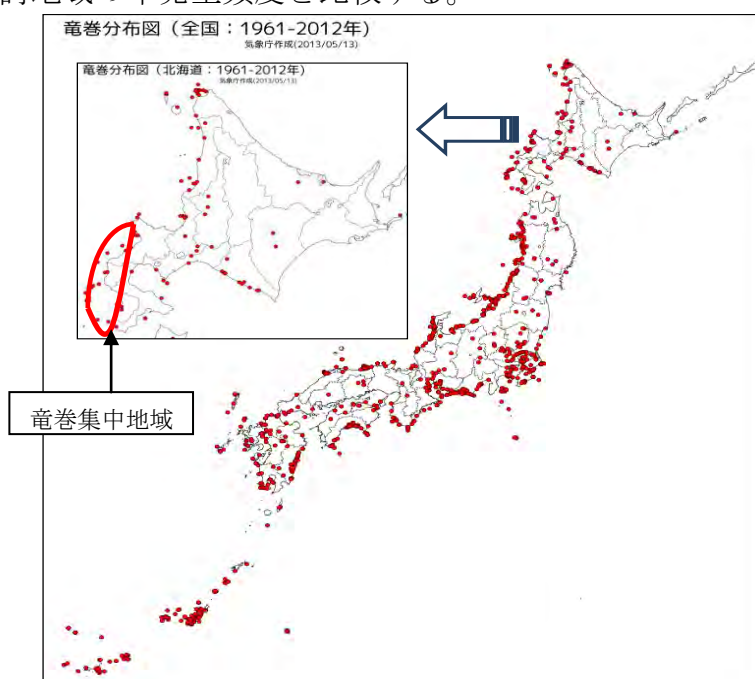


図1 原子力安全基盤機構が示す泊発電所が位置する竜巻集中地域

竜巻集中地域と竜巻検討地域それぞれの、発生頻度を表1に示す。結果、両地域の竜巻発生頻度は同一と見なせる。このため、竜巻発生個数を多く確保できる、総観スケールの気象条件から設定した地域を竜巻検討地域とすることは妥当であると判断される。

	対象面積(km ²)	竜巻発生個数(個) (観測期間 51.5 年)	発生頻度(個/km ² /年)
竜巻集中地域	3,850	19	9.6×10^{-5}
竜巻検討地域	38,895	206	1.1×10^{-4}

表1 竜巻集中地域及び竜巻検討地域の竜巻発生頻度の比較

8. ポアソン分布を用いたハザード曲線の評価

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「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」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。

原子力安全基盤機構の委託成果によれば、国内を対象とした竜巻発生個数の分布の適合性に関する検討結果としては、海上及び陸上竜巻ともポリヤ分布の方が優れているとしているが、比較を行うためにポアソン分布についてもハザード曲線を評価した。

評価は、陸側 5km から海側 1km までの 1km 刻みの 6つのエリアと竜巻検討地域全域について実施した。評価結果を図 2 に示す。

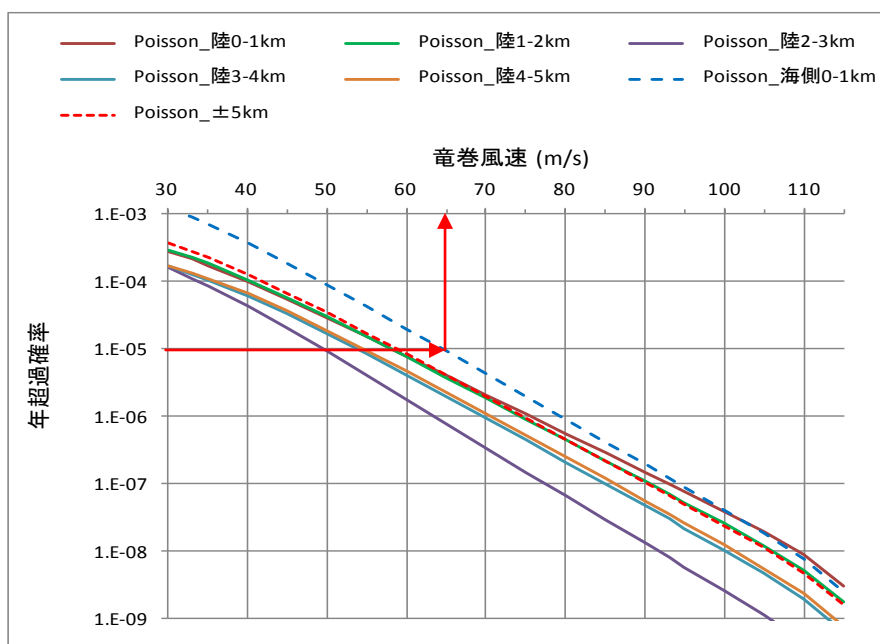


図 2 ポアソン分布によるハザード曲線

上記ハザード曲線から求めた、各エリアの年超過確率 10^{-5} /年における竜巻風速を表 3 に示す。合わせて、ポリヤ分布のハザード曲線から求めた、竜巻風速についても記載する。結果、ポアソン分布及びポリヤ分布とも有効数字 2 桁目を切り捨てた値であるが、両者とも同じ評価値となった。

表3 年超過確率 10^{-5} /年の場合の竜巻風速

竜巻検討地域	竜巻風速(m/s) 年超過確率 1.E-05	
	ポリア分布	ポアソン分布
±5km 範囲内	58.7	58.7
陸側 0～1km	58.1	58.1
陸側 1～2km	57.9	57.9
陸側 2～3km	49.4	49.4
陸側 3～4km	53.7	53.7
陸側 4～5km	54.6	54.6
海側 0～1km	64.4	64.4

9. 地形効果による竜巻風速の増幅について

1. はじめに

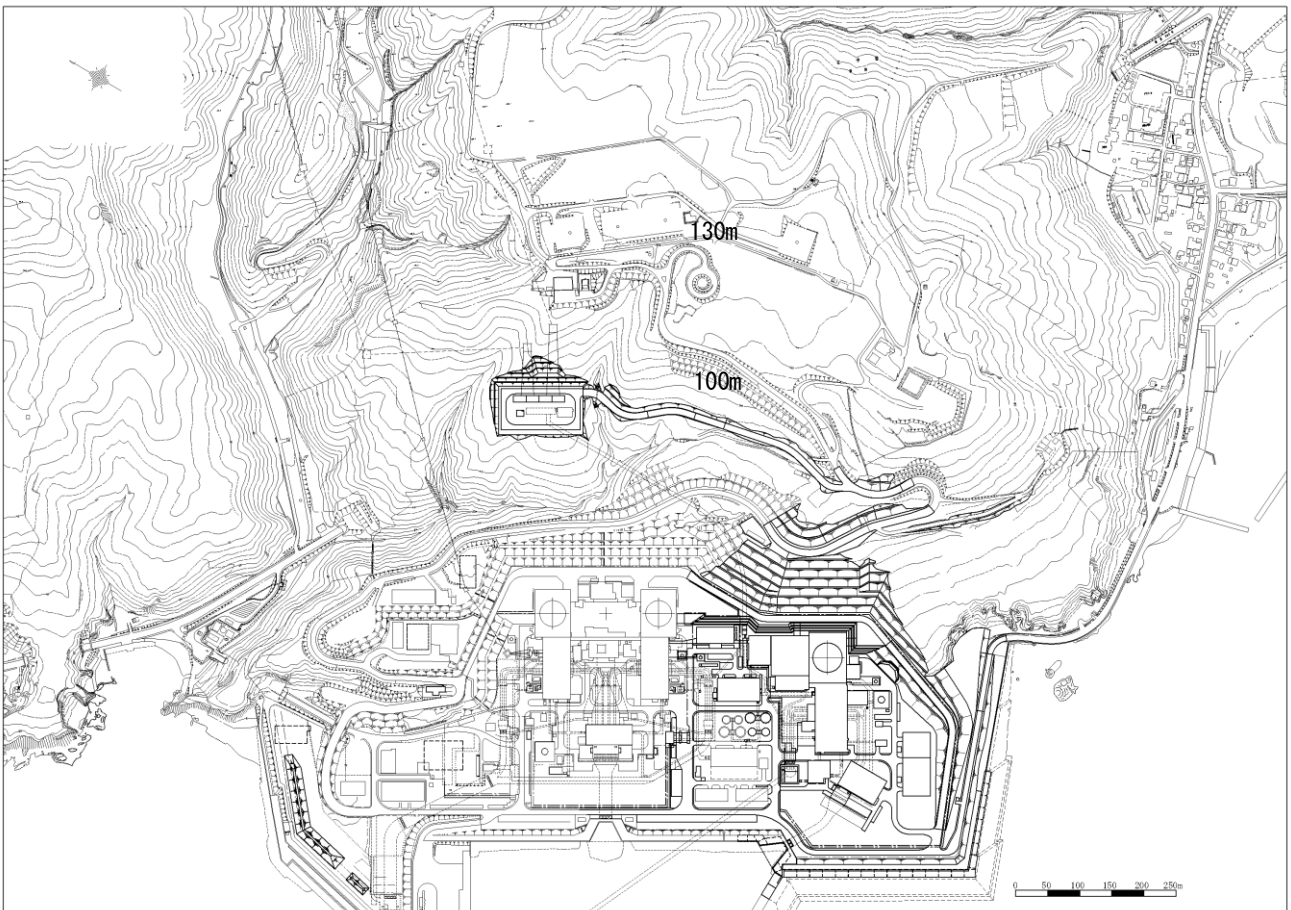
設計竜巻の設定にあたっては、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速を設定することとされている。

これを踏まえ、泊発電所における地形効果による竜巻風速の増幅の可能性について検討する。

2. 泊発電所周辺の地形

泊発電所周辺の地形図を第9-1図に示す。

泊発電所敷地の形状は、おおむね半円状であり、敷地前面（北西～南西方向）は日本海に面し、背後は積丹半島中央部の山嶺に続く標高40mから130mの丘陵地である。



第9-1図 泊発電所周辺地形図

3. 泊発電所における地形効果による竜巻風速の増幅の可能性

(1) 地形効果に関する既往の知見

地形効果による竜巻及び風速の増幅に関する知見として以下のものがある。

① 建築物荷重指針・同解説^{※1}

傾斜地や尾根状地形を風が流れるとき、傾斜地や尾根状地形の風上側では、風は傾斜地や尾根状地形によってせき止められ、平均風速は平坦な地形上よりも小さくなるが、風は斜面を上がるにつれて加速するため、斜面の中程よりも上の地表面付近の平均風速は平坦な地形よりも大きくなるとしている。

② 佐々ほか (2007) ^{※2}

2006年11月7日に北海道佐呂間町で発生した竜巻の地形効果に関する模型実験を行っており、この竜巻の発生には、南西側丘陵の存在と、南風や西からのガスト（突風）に伴い生じた正の鉛直渦度が上昇気流により伸張されて発達したものであるとしている。

③ Forbes (1998) ^{※3}

米国で発生した竜巻に関する被害調査を行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・竜巻による被害の痕跡は下り斜面で幅が狭まるとともに強さが増すことが、たびたび確認されている。
- ・たまに、非常に強い旋回が下り斜面や山のふもとの特定の地点で生じる。
- ・上り斜面で竜巻の強度は弱められる。
- ・しばしば、強い竜巻のコアが後ろに続く高台の上に再出現する。

④ Lewellen (2012) ^{※4}

竜巻における地形効果を把握するため、山及び谷を単純モデル化したシミュレーションを行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・上り斜面で渦の強度が増し、下り斜面で渦の強度が弱まる。
- ・尾根の頂部で強い痕跡が渦の再構成に伴って現れる傾向を示す。

⑤ Selvam et al. (2013) ^{※5}

米国で発生した竜巻に関する被害調査を行い、地形による影響を以下のとおり整理している。

- ・上り斜面ではより大きな被害をもたらす、下り斜面では被害が少ない。
- ・竜巻は、標高の低い所よりも、高い場所へと移動する傾向にある。
- ・丘に囲まれた場所では被害が小さい、もしくは、ないことが認められるが、周辺の丘の上では被害が大きい。

上記のとおり様々な知見が存在しており、地形効果による竜巻風速の増幅についても、上り斜面及び下り斜面で竜巻の強度が弱まる場合と増す場合の両方の知見がみられる。

(2) 泊発電所の竜巻検討地域における竜巻の移動方向

泊発電所の竜巻検討地域における過去の発生竜巻について、移動方向の傾向を整理した。

観測されている発生竜巻の実績は全 206 個であり、そのうち 143 個の竜巻について移動方向が判明しており、これらを整理した結果を第 9-1 表及び第 9-2 図に示す。

その結果、東側方向に向けて移動する竜巻が大半を占めており、北東～南東までの範囲に 121 個が集中している。これは全個数のおよそ 85%である。

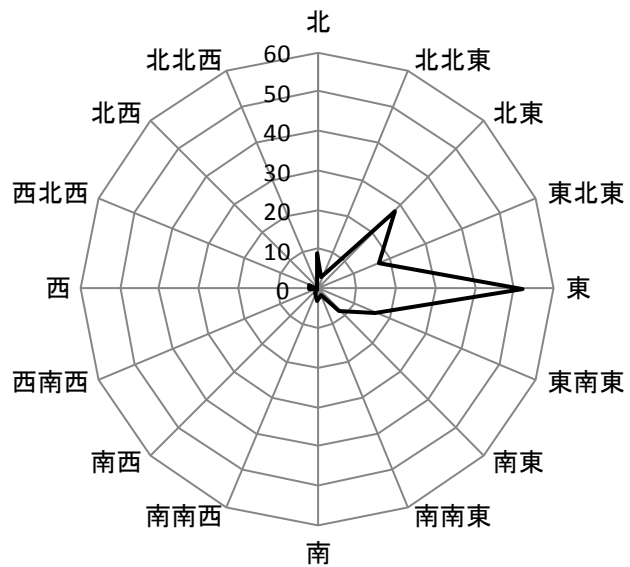
特に、泊発電所が位置する北海道後志支庁沿岸部の発生竜巻については、全て東側（北東～南東までの範囲）方向への移動が確認されている。

これらを踏まえると、泊発電所における竜巻の到来方向の傾向としては、海側から進入してくる可能性が高く、山側から進入してくる可能性は低いと考えられる。

第 9-1 表 移動方向別の竜巻発生個数

[個]

北	9
北北東	3
北東	28
東北東	17
東	52
東南東	16
南東	8
南南東	2
南	3
南南西	1
南西	0
西南西	0
西	2
西北西	2
北西	0
北北西	0
計	143



第 9-2 図 移動方向別の竜巻発生個数

4. まとめ

竜巻が傾斜地を通過する場合には風速が増幅する可能性があるものの、泊発電所は背後に急峻な傾斜地をもつ地形に立地しており、海側から進入する竜巻については、発電所を含む敷地が平坦なため地形効果による風速の増幅条件には当てはまらないものと考えられる。

また、竜巻が山側から進入した場合には、泊発電所背後の傾斜地を竜巻が下ってくることにより竜巻風速が増幅する可能性はあるものの、泊発電所で考えられる到来方向の傾向を踏まえると山側から進入する可能性は低いと考えられる。

以上より、泊発電所では地形による影響は小さいことから、風速の割り増しは行わない。

なお、念のため地形効果による竜巻風速の増幅特性については、数値シミュレーションにより確認する計画としている。

※1：建築物荷重指針・同解説，日本建築学会，2004

※2：佐々浩司・山下賢介，佐呂間竜巻の地形効果に関する模擬実験，日本気象学会大会講演予稿集 92 号，2007

※3：Forbes, G. S., Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, 19th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Sep. 14-18, 1998

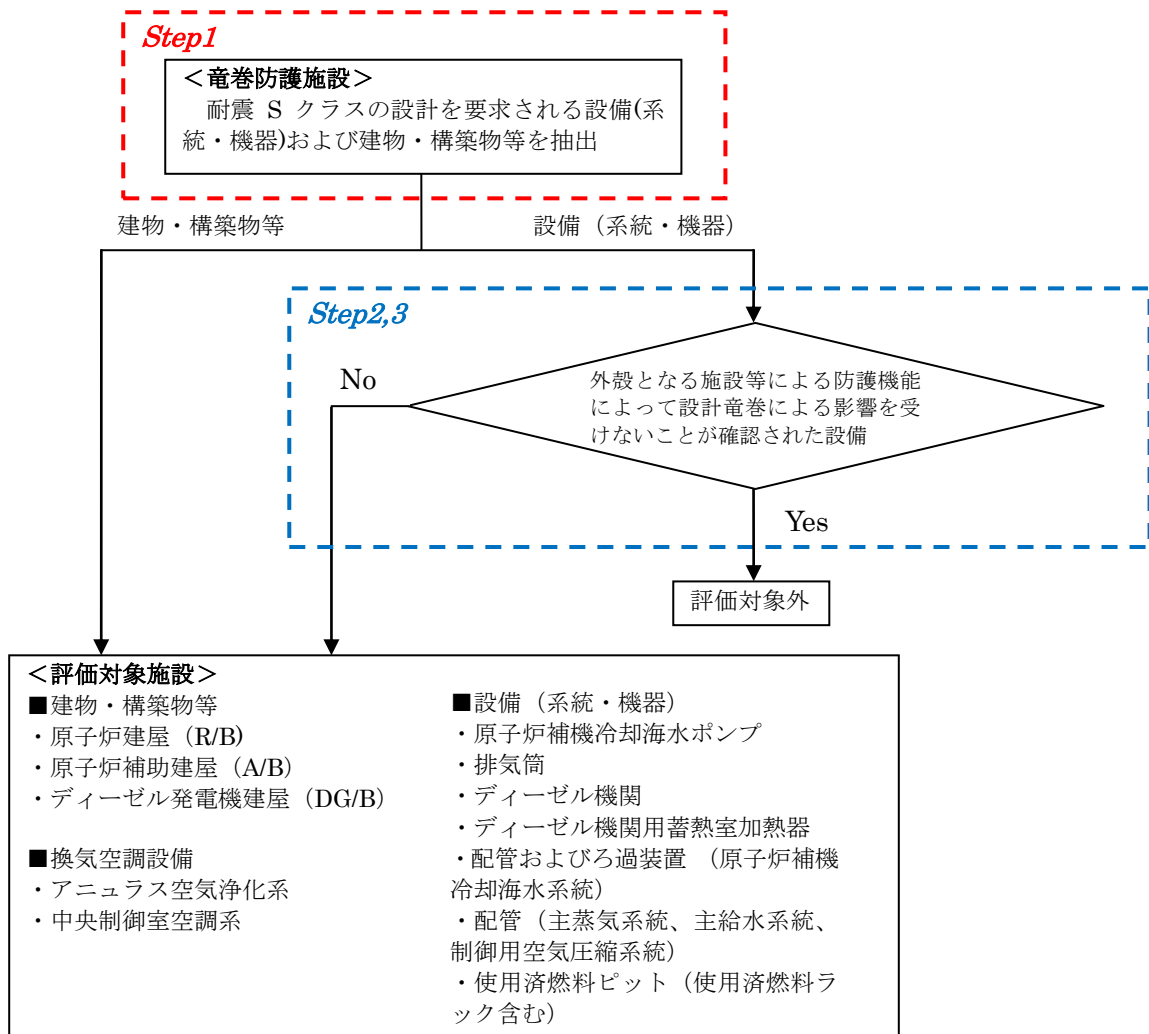
※4：Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Nov. 5-8, 2012

※5：Selvam R. P. and Ahmed, N., The Effect of Terrain Elevation on Tornado Path, The 12th Americas Conference on Wind Engineering (12AVWE), June 16-20, 2013

10. 竜巻防護施設の評価対象施設の抽出について

(1) 抽出方法について

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において、竜巻防護施設は「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等とされている。また、同ガイドの解説 2.1 では、竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、設計対象から除外できる旨記載されていることを踏まえ、竜巻防護施設の評価対象施設については、以下のフローに基づき抽出している。



さらに「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6条において、「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。」とされていることから、クラス 1, 2 に属する構築物、系統および機器も竜巻防護施設とする。

クラス 1, 2 に属する構築物、系統および機器を加えて上記フローに従い評価対象施設を抽出した結果、「新燃料貯蔵庫」および「燃料取扱設備」が加えられることとなる。

具体的には、次の Step にて評価対象施設を抽出しており、抽出結果を別紙－ 1 に示す。

Step1 : 工事計画認可申請書（新規基準で工認対象に変更となった設備を含む）の耐震重要度分類より耐震 S クラスの設備およびこれらの間接支持構造物（建屋）を抽出

Step2 : 上記 Step1 で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記 Step1 で抽出した設備のうち、設置建屋等による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を評価対象施設から除外

なお、配管・弁の支持構造物については、以下の理由により、設計竜巻に対して構造健全性は維持されることから、評価対象施設としては抽出していない。

- ・ 設計竜巻と地震による発生応力（配管に発生する応力）を比較した結果、一部の小口径配管を除き、設計竜巻による発生応力は地震による発生応力以下であった。
- ・ 上記から設計竜巻による反力（支持構造物に作用する反力）は地震による反力よりも小さくなる。
- ・ 支持構造物は地震による反力を考慮して設計されているため、設計竜巻による反力に対して構造健全性は維持される。
- ・ 一部の小口径配管においては、設計竜巻による発生応力が地震による発生応力より大きくなったが、発生応力のオーダーに大きな差はないことから、支持構造物は設計竜巻による反力に対して十分な強度を有している。

(2) 重大事故等対処設備の取り扱いについて

重大事故等対処設備については、「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」の規定（下記）から、竜巻防護施設には当たらないが、「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の解釈」第 6 条第 1 項に「第 6 条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全施設が安全機能を損なわないために必要な安全施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含む。」旨規定されているため、設計飛来物による影響評価にあたっては、重大事故等対処設備も想定飛来物として抽出し、設計飛来物の設定を行っている。

＜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（抜粋）＞
（外部からの衝撃による損傷の防止）

第六条 安全施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）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。

第二条 この規則において使用する用語は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）において使用する用語の例による。

2 この規則において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

八 「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。

竜巻防護施設の評価対象施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStep1にて評価対象施設を抽出した。

Step1: 工事計画認可申請書(新規基準で工認対象に変更となった設備を含む)の耐震重要度分類より耐震Sクラスの設備およびこれらの間接支持構造物(建屋)を抽出

Step2: 上記Step1で抽出された設備の設置場所を確認

Step3: 上記Step1で抽出した設備のうち、設置建屋等による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を評価対象施設から除外

2. 抽出結果

(1) 建屋・構築物等 (Step1)

① R/B(O/S、E/B、FH/B)

② A/B

③ DG/B

(2) 設備(系統・機器)

第1回工認

設備名称	Step1 Sクラス設備	屋内 屋外		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)						Step3			
				R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.原子炉冷却系統設備													
(1)冷却材貯蔵槽	燃料取替用水ピット	✓			✓						可	①	×
2.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ピット	✓			✓						否	⑨	○
3.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	補助給水ピット	✓			✓						可	①	×

第2回工認

設備名称	Step1 Sクラス設備	屋内 屋外		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)						Step3			
				R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.原子炉冷却系統設備													
(1)原子炉補機冷却海水設備	原子炉補機冷却海水ポンプ	✓							✓		否	②	○
	原子炉補機冷却水冷却器海水入ロストレーナ	✓			✓						可	①	×
	原子炉補機冷却海水ポンプ出ロストレーナ	✓							✓		否	②	○
	配管	✓			✓						可	①	×
	弁	✓			✓				✓		否	②	○
2.放射線管理設備													
(1)生体遮へい装置	中央制御室遮へい	✓									可	①	×
3.廃棄設備													
(1)廃棄物貯蔵設備													
a.固体廃棄物貯蔵設備	なし												
(2)廃棄物処理設備													
a.気体廃棄物処理設備	なし												
b.液体廃棄物処理設備	配管	✓			✓						可	①	×
	弁	✓			✓						可	①	×
c.固体廃棄物処理設備	なし												
d.堰その他の設備	なし												
e.漏えいの検出装置及び自動警報装置	なし												

第4回工認

設備名称	Step1 Sクラス設備	屋内 屋外		Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)						Step3			
				R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.原子炉本体													
(1)原子炉容器	原子炉容器支持構造物	✓			✓						可	①	×
2.原子炉冷却系統設備													
(1)主蒸気・主給水設備	配管	✓			✓						否	⑧	○
	弁	✓			✓						否	⑧	○
(2)余熱除去設備	余熱除去冷却器	✓				✓					可	①	×
	余熱除去ポンプ	✓				✓					可	①	×
	配管	✓			✓	✓					可	①	×
	弁	✓			✓	✓					可	①	×
(3)非常用炉心冷却設備	高圧注入ポンプ	✓				✓					可	①	×
	ほう酸注入タンク	✓				✓					可	①	×
	格納容器再循環サンブ	✓			✓						可	①	×
	配管	✓			✓	✓					可	①	×
	弁	✓			✓	✓					可	①	×
(4)化学体積制御設備	充てんポンプ	✓				✓					可	①	×
	封水注入フィルタ	✓				✓					可	①	×
	配管	✓			✓	✓					可	①	×
	弁	✓			✓	✓					可	①	×
(5)原子炉補機冷却水設備	原子炉補機冷却水冷却器	✓				✓					可	①	×
	原子炉補機冷却水ポンプ	✓				✓					可	①	×
	原子炉補機冷却水サージタンク	✓				✓					可	①	×
	配管	✓			✓	✓					可	①	×
	弁	✓			✓	✓					可	①	×
3.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	配管	✓			✓						可	①	×
4.放射線管理設備													
(1)生体遮へい装置	なし												
5.廃棄設備													
(1)廃棄物処理設備													
a.1次冷却設備	なし												
b.液体廃棄物処理設備	配管	✓			✓						可	①	×
	弁	✓			✓						可	①	×
c.固体廃棄物処理設備	なし												
6.原子炉格納施設													
(1)原子炉格納容器	原子炉格納容器	✓			✓						可	①	×
	機器搬入口	✓			✓						可	①	×
	エアロック	✓			✓						可	①	×
	伸縮式配管貫通部	✓			✓						可	①	×
	固定式配管貫通部	✓			✓						可	①	×
	電線貫通部	✓			✓						可	①	×
(2)二次格納施設	アニュラスシール	✓			✓						可	①	×

【凡例】

R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋

【考え方】

①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けなため除外する。

②当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

⑨当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
(3) 圧力低減設備 その他の安全設備													
a. 格納容器スプレイ設備	格納容器スプレイ冷却器	✓			✓						可	①	×
	格納容器スプレイポンプ	✓			✓						可	①	×
	よう素除去薬品タンク	✓			✓						可	①	×
	pH調整剤貯蔵タンク	✓			✓						可	①	×
	配管 弁	✓		✓	✓	✓					可	①	×
b. 真空逃がし装置	真空逃がし装置	✓		✓							可	①	×
c. 圧力逃がし装置	配管 弁	✓		✓	✓						可	①	×

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1. 原子炉本体													
(1) 炉心	炉心支持構造物	✓		✓							可	①	×
(2) 原子炉容器	原子炉容器	✓		✓							可	①	×
	原子炉容器内部構造物のうち制御棒クラスター案内管	✓		✓							可	①	×
	原子炉容器内部構造物	✓		✓							可	①	×
	熱遮へい材	✓		✓							可	①	×
2. 原子炉冷却系統設備													
(1) 一次冷却材の循環設備	蒸気発生器	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材ポンプ	✓		✓							可	①	×
	加圧器	✓		✓							可	①	×
	加圧器ヒータ	✓		✓							可	①	×
	配管 弁	✓		✓	✓						可	①	×
(2) 主蒸気・主給水設備	配管	✓		✓							可	①	×
(3) 余熱除去設備	配管 弁	✓		✓							可	①	×
(4) 非常用炉心冷却設備	蓄圧タンク	✓		✓							可	①	×
	配管 弁	✓		✓							可	①	×
	再生熱交換器	✓		✓							可	①	×
(5) 化学体積制御設備	配管 弁	✓		✓							可	①	×
	配管 弁	✓		✓							可	①	×
(6) 原子炉補機冷却水設備	配管 弁	✓		✓							可	①	×
(7) 原子炉補機冷却海水設備	配管	✓			✓		✓				可	①	×
(8) 原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えいを監視する装置	なし												
3. 計測制御系統設備													
(1) 制御材	制御棒クラスター	✓		✓							可	①	×
	バーナブルボイズン	✓		✓							可	①	×
(2) 制御棒駆動装置	制御棒駆動装置	✓		✓							可	①	×
(3) ほう酸注入機能を有する設備	ほう酸ポンプ	✓			✓						可	①	×
	ほう酸タンク	✓			✓						可	①	×
	ほう酸フィルタ	✓			✓						可	①	×
	配管	✓			✓						可	①	×
	弁	✓			✓						可	①	×
(4) 計測装置	運転コンソール	✓			✓						可	①	×
	安全系FDPプロセッサ	✓			✓						可	①	×
	安全系マルチプレクサ	✓			✓						可	①	×
	原子炉安全保護盤	✓			✓						可	①	×
	工学的安全施設作動盤	✓			✓						可	①	×
	原子炉トリップ遮断器盤	✓			✓						可	①	×
	安全系現場制御監視盤	✓			✓						可	①	×
	1次冷却材圧力検出器	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材温度(広域)(高温側)検出器	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材温度(広域)(低温側)検出器	✓		✓							可	①	×
	加圧器水位検出器	✓		✓							可	①	×
	蒸気発生器水位(広域)検出器	✓		✓							可	①	×
	蒸気発生器水位(狭域)検出器	✓		✓							可	①	×
	主蒸気ライン圧力検出器	✓			✓						可	①	×
	水平方向加速度検出器	✓			✓						可	①	×
	鉛直方向加速度検出器	✓			✓						可	①	×
	原子炉安全保護盤(炉外核計装信号処理部)	✓			✓						可	①	×
	1次冷却材ポンプ母線計測盤	✓			✓						可	①	×
	炉外核計測装置(中性子源領域中性子束検出器)	✓		✓							可	①	×
	炉外核計測装置(中間領域中性子束検出器)	✓		✓							可	①	×
	炉外核計測装置(出力領域中性子束検出器)	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材温度(狭域)(高温側)検出器	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材温度(狭域)(低温側)検出器	✓		✓							可	①	×
	1次冷却材流量検出器	✓		✓							可	①	×
	加圧器圧力検出器	✓		✓							可	①	×
格納容器圧力検出器	✓			✓						可	①	×	
(5) 制御用空気設備	制御用空気圧縮装置制御用空気圧縮機	✓			✓						可	①	×
	制御用空気圧縮装置制御用空気ため	✓			✓						可	①	×
	制御用空気除湿装置除湿塔	✓			✓						可	①	×
	配管 弁	✓		✓	✓	✓					否	⑧	○
4. 廃棄設備													
(1) 気体、液体又は固体廃棄物処理設備													
a. 液体廃棄物処理設備	なし												
5. 非常用予備発電装置													
(1) 非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル機関	✓					✓				否	⑩	○
	(蓄熱室加熱器)*	✓						✓			否	③	○
	ディーゼル発電機空気ため	✓					✓				可	①	×
	弁	✓					✓				可	①	×
	ディーゼル発電機燃料油サービスタンク	✓			✓						可	①	×
	ディーゼル発電機	✓					✓				可	①	×
	ディーゼル発電機励磁装置	✓					✓				可	①	×
ディーゼル発電機保護継電器	✓					✓				可	①	×	

*: 寒冷地におけるディーゼル機関の急速始動対策として、吸入空気加温用の蓄熱室加熱器が設置されており、当該加熱器は耐震Sクラス設備であることから、当該加熱器も含めて検討した。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)								Step3			
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1. 蒸気タービン	なし												

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋
【考え方】
① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
③ 当該設備はディーゼル発電機建屋の塔屋部に設置されている。ディーゼル発電機建屋は鉄筋コンクリート造であるため、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は塔屋部の外壁を貫通するとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
⑧ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物が貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
⑩ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物は当該設備が設置されている区画の排気フードを貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	なし												
(2)新燃料貯蔵設備	なし												
(3)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ラック 破損燃料保管容器ラック	✓			✓					否	④	○	
(4)燃料取替用水設備	燃料取替用水ポンプ 配管	✓			✓					可	①	x	
2.放射線管理設備													
(1)放射線管理用計測装置	原子炉安全保護盤(放射線監視設備信号処理部)	✓				✓				可	①	x	
a.プロセスモニタリング設備	なし												
b.エリアモニタリング設備	格納容器高レンジエリアモニタ(低レンジ) 格納容器高レンジエリアモニタ(高レンジ)	✓		✓						可	①	x	
(2)換気設備	中央制御室給気ファン 中央制御室循環ファン 中央制御室非常用循環ファン アニュラス空気浄化ファン 中央制御室非常用循環フィルタユニット アニュラス空気浄化フィルタユニット 配管 弁	✓				✓				否	⑤	○	
3.排気筒													
(1)排気筒	排気筒	✓	✓		✓					否	⑤ ⑥	○	
4.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する管等	配管	✓			✓					可	①	x	

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
原子力設備													
1.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する熱交換器	なし												
(2)蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	タービン動補助給水ポンプ 電動補助給水ポンプ	✓			✓					可	①	x	
(3)蒸気タービンに附属する管等	配管	✓			✓					否	⑧	○	
2.非常用予備発電装置													
(1)その他の電源装置													
a.無停電電源装置	計装用インバータ	✓				✓				可	①	x	
b.蓄電池	蓄電池	✓				✓				可	①	x	

設備名称	Step1 Sクラス設備	Step2 屋内設置の場合(具体的な設置建屋等)							Step3				
		屋内	屋外	R/B		A/B	DG/B	DG/B (塔屋部)	CWP/B	その他	除外可否	考え方	評価対象施設
				O/S(C/V)	O/S以外								
新規制基準で工認対象に変更となった設備													
その他発電用原子炉の附属施設	ディーゼル発電機燃料油貯油槽 配管	✓								✓	可	⑦ ⑦ ①	x x x

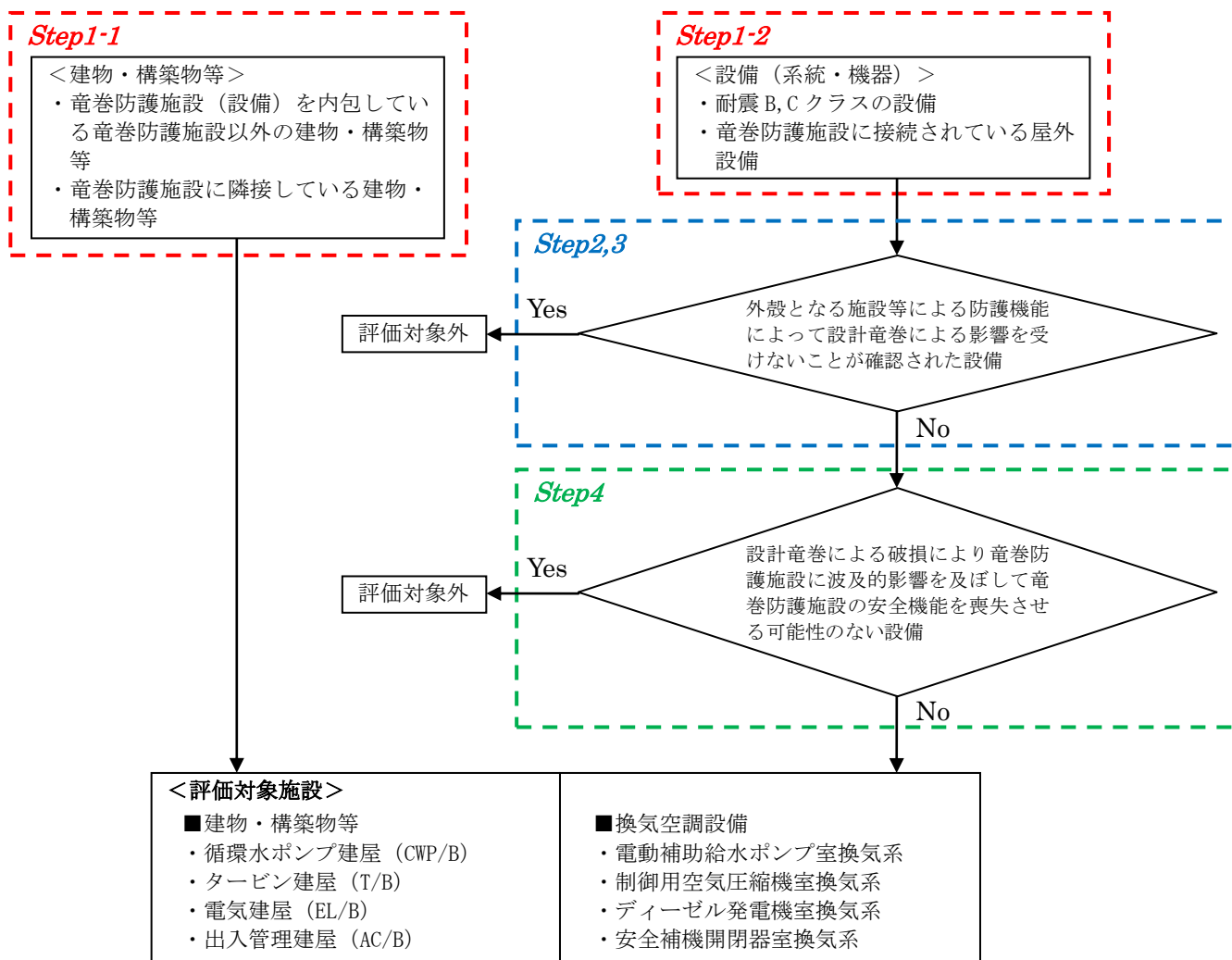
【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋
【考え方】
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けないため除外する。
④当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。(当該設備に貯蔵される燃料集合体を含む)
⑤当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系等は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受けるため除外不可。(換気設備については、アニュラス空気浄化系および中央制御室空調系として評価する)
⑥当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けることから除外不可。
⑦ディーゼル発電機燃料油貯油槽は地下に埋設されたコンクリート躯体の中に設置されており、躯体上部のコンクリート厚さは70cmである。また、配管はトレンチ内に敷設されているが、トレンチ上部には厚さ27cmのコンクリート蓋があり、いずれのコンクリートも設計飛来物が貫通しないコンクリートの必要最小厚さ(設計飛来物の中で必要最小厚さが最も厚い鋼製材で21cm(鉛直)必要)以上の厚さが確保されていることから、設計飛来物は貫通しない結果となった。

以上より当該設備は設計竜巻による影響は受けないと考えるため除外する。
⑧当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備が設置されている区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。

1.1. 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

(1) 抽出方法について

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」において、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設は「当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画（竜巻防護施設を内包する区画）」とされていることを踏まえ、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設（評価対象施設）については、以下のフローに基づき抽出している。



具体的には、次の Step にて竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出しており、抽出結果を別紙－1，2 に示す。

Step1-1: 竜巻防護施設（耐震 S クラス設備）を内包している竜巻防護施設以外の建屋および竜巻防護施設（建屋）に隣接している建屋を抽出※1

※1: 設計竜巻により建屋は倒壊することが考えられるため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該建屋を抽出した。

Step1-2: 工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震 B, C クラス設備^{※2} および竜巻防護施設に接続されている屋外設備^{※3} を抽出

※2: 竜巻防護施設は工事計画認可申請書の耐震 S クラス設備としていることから、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該設備を抽出した。

※3: 設計竜巻により屋外設備は破損することが考えられるため、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性のある施設として当該設備を抽出した。

Step2 : 上記 Step1-2 で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記 Step1-2 で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

Step4 : 上記 Step3 で除外されなかった設備のうち、設計竜巻による破損^{※4}により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性のない設備を除外

※4: 当該設備の破損による飛散物は設計飛来物による影響評価に包絡される。

(2) 共用設備の取り扱いについて

固体廃棄物貯蔵庫等の共用設備^{※5}については、3号機の竜巻防護施設に隣接していない建屋や、3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置されている設備であり、設計竜巻によって当該設備が破損等した場合でも竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性はないため、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ていない。表-1 に共用設備を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ていない理由を示す。

※5: 工事計画認可申請書から抽出した。

表-1 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ていない理由

建屋・設備名	設置場所	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ていない理由
固体廃棄物貯蔵庫	図-1 参照	当該建屋は3号機の竜巻防護施設（建屋）に隣接している建屋ではない。また、竜巻防護施設を内包している建屋でもないことから、設計竜巻により当該建屋が倒壊した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。
雑固体焼却設備	放射性廃棄物処理建屋（図-1 参照）	当該設備は3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置しているため、設計竜巻により当該設備が破損した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。

建屋・設備名	設置場所	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ていない理由
ベイラ	2号機原子炉補助建屋 (図-1 参照)	当該設備は3号機の竜巻防護施設を内包している建屋以外の場所に設置しているため、設計竜巻により当該設備が破損した場合でも、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはない。
モニタリングポスト	図-1 参照	同上
モニタリングステーション	図-1 参照	同上
放射能観測車とう載機器	放射能観測車内 (図-1 参照)	同上

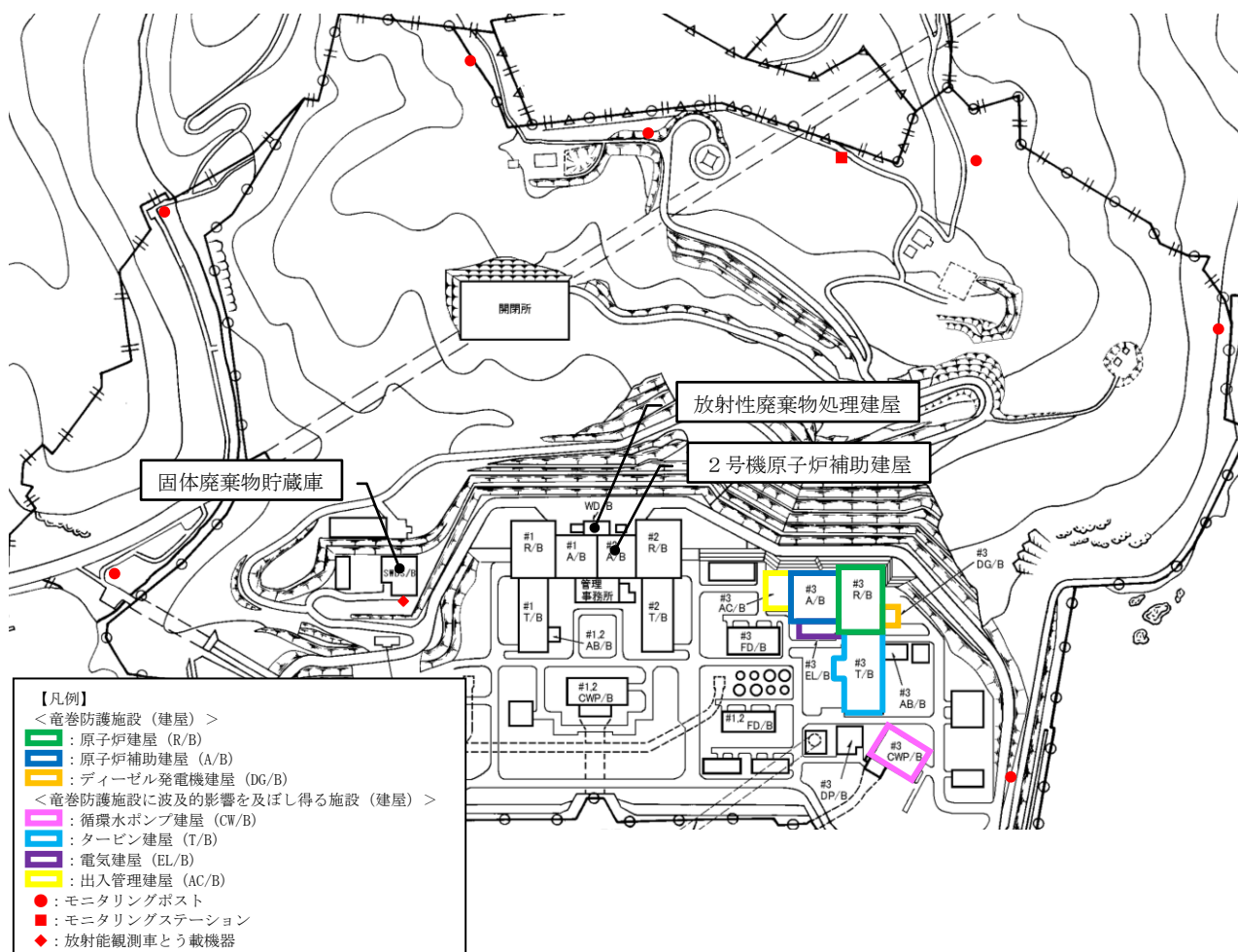


図-1 共用設備等の設置場所

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStepにて竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出した。

Step1-1: 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋および竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋を抽出

Step1-2: 工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震B,Cクラス設備および竜巻防護施設に接続されている屋外設備を抽出

Step2 : 上記Step1-2で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記Step1-2で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

Step4 : 上記Step3で除外されなかった設備のうち、設計竜巻による破損により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性のない設備を除外

2. 抽出結果

(1) 建屋・構築物等(Step1-1)

a. 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋

①CWP/B

b. 竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋

②T/B

③EL/B

④AC/B

(2) 設備(系統・機器)

第1回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B					
O/S(C/V)	O/S以外												
原子力設備													
1原子炉冷却系統設備													
(1)冷却材貯蔵槽	なし												
2.燃料設備													
(1)燃料取扱設備	燃料取扱キャナル(原子炉格納容器外)	✓								可	①	—	×
(2)使用済燃料貯蔵設備	キャスクピット	✓								可	①	—	×
3.放射線管理設備													
(1)生体遮へい装置	外部遮へい	✓								可	①	—	×
	補助遮へい(原子炉格納容器外燃料移送遮へい)	✓								可	①	—	×
	補助遮へい(周辺補機棟)	✓								可	①	—	×
	補助遮へい(燃料取扱棟)	✓								可	①	—	×
4.原子炉格納施設													
(1)原子炉格納施設の基礎	なし												
(2)外部遮へい建屋	なし												
5.蒸気タービン													
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	なし												

第2回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B					
O/S(C/V)	O/S以外												
原子力設備													
1原子炉冷却系統設備													
(1)原子炉補機冷却海水設備	なし												
2.放射線管理設備													
(1)生体遮へい装置	補助遮へい(原子炉補助建屋)		✓							可	①	—	×
3.廃棄設備													
(1)廃棄物貯蔵設備													
a.固体廃棄物貯蔵設備	使用済み樹脂貯蔵タンク		✓							可	①	—	×
(2)廃棄物処理設備													
a.気体廃棄物処理設備	ガス圧縮装置ガス圧縮機	✓								可	①	—	×
	ガス圧縮装置気水分離器	✓								可	①	—	×
	ガス圧縮装置封水冷却器	✓								可	①	—	×
	ガス圧縮装置封水循環ポンプ	✓								可	①	—	×
	廃ガス除湿装置除湿塔	✓								可	①	—	×
	廃ガス除湿装置廃ガス湿分離器	✓								可	①	—	×
	廃ガス除湿装置廃ガス冷却器	✓								可	①	—	×
	活性炭式希ガスホールドアップ装置ホールドアップ塔	✓								可	①	—	×
	ガスサージタンク	✓								可	①	—	×
	配管	✓	✓							可	①	—	×
b.液体廃棄物処理設備	ほう酸回収装置蒸発器		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置精留塔		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置脱ガス塔		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置予熱器		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置ベントコンデンサ		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置濃縮液ポンプ		✓							可	①	—	×
	廃液蒸発装置蒸発器		✓							可	①	—	×
	廃液蒸発装置精留塔		✓							可	①	—	×
	廃液蒸発装置加熱器		✓							可	①	—	×
	廃液蒸発装置濃縮液ポンプ		✓							可	①	—	×
	冷却材貯蔵タンク		✓							可	①	—	×
	補助建屋サンブタンク		✓							可	①	—	×
	廃液貯蔵ピット		✓							可	①	—	×
	酸液ドレンタンク		✓							可	①	—	×
	濃縮廃液タンク		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置給水ポンプ		✓							可	①	—	×
	補助建屋サンブポンプ		✓							可	①	—	×
	廃液給水ポンプ		✓							可	①	—	×
	酸液ドレンポンプ		✓							可	①	—	×
	濃縮廃液ポンプ		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置混床式脱塩塔		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置陽イオン脱塩塔		✓							可	①	—	×
	ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ		✓							可	①	—	×
	廃液フィルタ		✓							可	①	—	×
	配管		✓	✓						可	①	—	×
c.固体廃棄物処理設備	配管		✓	✓						可	①	—	×
d.堰その他の設備	なし												
e.漏えいの検出装置及び自動警報装置	なし												

第4回工認

設備名称	Step1-2 Bクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B					
O/S(C/V)	O/S以外												
原子力設備													
1原子炉本体													
(1)原子炉容器	なし												
2.原子炉冷却系統設備													
(1)主蒸気・主給水設備	なし												
(2)余熱除去設備	なし												
(3)非常用炉心冷却設備	なし												
(4)化学体積制御設備	非再生冷却器		✓							可	①	—	×
	封水冷却器		✓							可	①	—	×
	体積制御タンク		✓							可	①	—	×
	冷却材混床式脱塩塔		✓							可	①	—	×
	冷却材陽イオン脱塩塔		✓							可	①	—	×
	冷却材フィルタ		✓							可	①	—	×
	冷却材脱塩塔入口フィルタ		✓							可	①	—	×
	配管		✓	✓						可	①	—	×
	弁		✓	✓						可	①	—	×
(5)原子炉補機冷却水設備	なし												

【凡例】

R/B:原子炉建屋、O/S:外部しゃへい建屋、C/V:原子炉格納容器、A/B:原子炉補助建屋、DG/B:ディーゼル発電機建屋、CWP/B:循環水ポンプ建屋、T/B:タービン建屋、EL/B:電気建屋

【考え方】

<Step3>

①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けなため除外する。

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
3.燃料設備														
(1)燃料取扱設備	原子炉キャビティ	✓								可	①	—		×
	燃料取替キャナル(原子炉格納容器内)	✓								可	①	—		×
(2)使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	使用済燃料ピット冷却器		✓							可	①	—		×
	使用済燃料ピットポンプ		✓							可	①	—		×
	使用済燃料ピット脱塩塔			✓						可	①	—		×
	使用済燃料ピットフィルタ			✓						可	①	—		×
	配管		✓	✓						可	①	—		×
4.放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	1次遮へい	✓								可	①	—		×
	2次遮へい	✓								可	①	—		×
	補助遮へい(原子炉格納容器内燃料移送遮へい)	✓								可	①	—		×
5.廃棄設備														
(1)廃棄物処理設備														
a.1次冷却設備	配管	✓								可	①	—		×
	格納容器冷却材ドレンポンプ	✓								可	①	—		×
b.液体廃棄物処理設備	格納容器サンポンプ	✓								可	①	—		×
	加圧器逃がしタンク	✓								可	①	—		×
	格納容器冷却材ドレンタンク	✓								可	①	—		×
	格納容器サン	✓								可	①	—		×
	配管	✓								可	①	—		×
	セメント固化装置乾燥機復水器			✓						可	①	—		×
c.固体廃棄物処理設備	セメント固化装置濃縮廃液供給ポンプ			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置濃縮廃液前処理タンク			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置濃縮廃液供給タンク			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置ヘッドタンク			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置粉体受ホッパ			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置粉体計量器			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置酸液ドレン計量タンク			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置乾燥機			✓						可	①	—		×
	セメント固化装置混練機			✓						可	①	—		×
	配管			✓						可	①	—		×
6.原子炉格納施設														
(1)原子炉格納容器	なし									—				
(2)二次格納施設	なし									—				
(3)圧力低減設備														
その他の安全設備														
a.格納容器スプレイ設備	なし									—				
b.真空逃がし装置	なし									—				
c.圧力逃がし装置	なし									—				

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1.原子炉本体														
(1)炉心	なし									—				
(2)原子炉容器	なし									—				
2.原子炉冷却系統設備														
(1)一次冷却材の循環設備	なし									—				
(2)主蒸気・主給水設備	なし									—				
(3)余熱除去設備	なし									—				
(4)非常用炉心冷却設備	なし									—				
(5)化学体積制御設備	余剰抽出冷却器	✓								可	①	—		×
	配管	✓								可	①	—		×
	弁	✓								可	①	—		×
(6)原子炉補機冷却水設備	なし									—				
(7)原子炉補機冷却海水設備	なし									—				
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えいを監視する装置	なし									—				
3.計測制御系統設備														
(1)制御材	なし									—				
(2)制御棒駆動装置	なし									—				
(3)ほう酸注入機能を有する設備	配管			✓						可	①	—		×
(4)計測装置	なし									—				
(5)制御用空気設備	なし									—				
4.廃棄設備														
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備														
a.液体廃棄物処理設備	配管	✓								可	①	—		×
附帯設備														
非常用予備発電装置														
(1)非常用ディーゼル発電設備	なし									—				

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1.蒸気タービン														
	なし									—				

設備名称	Bクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1.燃料設備														
(1)燃料取扱設備	燃料取替クレーン	✓								可	①	—		×
	燃料移送装置	✓								可	①	—		×
	使用済燃料ピットクレーン		✓							否	②	可	a	×
	燃料取扱棟クレーン		✓							否	②	可	b	×
	燃料仮置ラック	✓	✓							否	②	可	c	×
(2)新燃料貯蔵設備	なし									—				
(3)使用済燃料貯蔵設備	なし									—				
(4)燃料取替用水設備	なし									—				

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けなため除外する。
②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受ける可能性があるため除外不可。
<Step4>
a 当該設備は燃料取替キャナル(ピット形状)内に設置されているが、当該キャナル内に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
b 当該クレーンは竜巻防護施設である使用済燃料ピットの上部を走行する設計となっており、当該クレーンに設計飛来物が衝突した場合は転倒する可能性があるが、当該クレーンの外形寸法は使用済燃料ピットの開口より大きく、当該クレーンが斜めに転倒して使用済燃料ピット内に進入した場合でも、使用済燃料燃料ラック等に到達することはないことから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。
c 当該クレーンは竜巻防護施設である使用済燃料ピットの上部を走行する設計とはなっていないため、設計飛来物により当該クレーンが破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

設備名称	Bクラス設備	Step2								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外								
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
O/S(C/V)	O/S以外													
2.放射線管理設備														
(1)放射線管理用計測装置	なし													
a.プロセスモニタリング設備	なし													
b.エリアモニタリング設備	なし													
(2)換気設備	格納容器排気ファン		✓							否	③	可	d	×
	試料採取室排気ファン			✓						否	③	可	d	×
	補助建屋排気ファン			✓						否	③	可	d	×
	格納容器排気フィルタユニット		✓							否	③	可	d	×
	試料採取室排気フィルタユニット			✓						否	③	可	d	×
	補助建屋排気フィルタユニット			✓						否	③	可	d	×
3.排気筒														
(1)排気筒	なし													
4.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する管等	なし													

設備名称	Bクラス設備	Step2								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		設置場所								除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外								
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
O/S(C/V)	O/S以外													
原子力設備														
1蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する熱交換器	なし													
(2)蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	なし													
(3)蒸気タービンに附属する管等	なし													
附帯設備														
1.非常用予備発電装置														
(1)その他の電源装置														
a.無停電電源装置	なし													
b.蓄電池	なし													

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
③当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受ける可能性があるため除外不可。
<Step4>
d 当該設備を含めた換気空調系にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却には使用されていないため、気圧差により当該設備を含めた換気空調系が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えないことから除外する。

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出結果

1. 抽出方法

次のStepにて竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出した。

Step1-1: 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋および竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋を抽出

Step1-2: 工事計画認可申請書の耐震重要度分類における耐震B,Cクラス設備および竜巻防護施設に接続されている屋外設備を抽出

Step2 : 上記Step1-2で抽出した設備の設置場所を確認

Step3 : 上記Step1-2で抽出した設備のうち、設置建屋による防護機能によって設計竜巻による影響を受けないことが確認された設備を除外

Step4 : 上記Step3で除外されなかった設備のうち、設計竜巻による破損により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして竜巻防護施設の安全機能を喪失させる可能性のない設備を除外

2. 抽出結果

(1) 建屋・構築物等 (Step1-1)

a. 竜巻防護施設(耐震Sクラス設備)を内包している竜巻防護施設以外の建屋

①CWP/B

b. 竜巻防護施設(建屋)に隣接している建屋

②T/B

③EL/B

④AC/B

(2) 設備(系統・機器)

第1回工認

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B						屋外
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1原子炉冷却系統設備														
(1)冷却材貯蔵槽	なし													
2燃料設備														
(1)燃料取扱設備	なし													
(2)使用済燃料貯蔵設備	なし													
3放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	なし													
4原子炉格納施設														
(1)原子炉格納施設の基礎	なし													
(2)外部遮へい建屋	なし													
5蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する給水設備	なし													

第2回工認

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B						屋外
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1原子炉冷却系統設備														
(1)原子炉補機冷却海水設備	配管		✓						可 否	① ②	- 可	- a	x x	
2放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	なし													
3廃棄設備														
(1)廃棄物貯蔵設備														
a.固体廃棄物貯蔵設備	なし													
(2)廃棄物処理設備														
a.気体廃棄物処理設備	なし													
	ほう酸回収装置コンデンサ		✓						可	①	-	-	x	
	ほう酸回収装置蒸留水冷却器		✓						可	①	-	-	x	
	ほう酸回収装置蒸留水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸発装置コンデンサ		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸発装置蒸留水冷却器		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸発装置ベントコンデンサ		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸発装置蒸留水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置蒸発器		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置精留塔		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置加熱器		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置コンデンサ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置蒸留水冷却器		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置ベントコンデンサ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置濃縮液ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸発装置蒸留水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸留水タンク		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水タンク		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水濃縮廃液タンク		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸留水タンク		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸留水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水蒸留水ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水濃縮廃液ポンプ		✓						可	①	-	-	x	
	廃液蒸留水脱塩塔		✓						可	①	-	-	x	
	洗浄排水フィルタ		✓						可	①	-	-	x	
	配管		✓	✓					可	①	-	-	x	
c.固体廃棄物処理設備	なし													
d.堰その他の設備			✓	✓	✓				可	①	-	-	x	
e.漏えいの検出装置及び自動警報装置	漏えいの検出装置及び自動警報装置		✓	✓	✓				可	①	-	-	x	

第4回工認

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所							Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外			除外可否	考え方	除外可否	考え方		
		R/B		A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B						屋外
		O/S(C/V)	O/S以外											
原子力設備														
1原子炉本体														
(1)原子炉容器	なし													
2原子炉冷却系統設備														
(1)主蒸気・主給水設備	なし													
(2)余熱除去設備	なし													
(3)非常用炉心冷却設備	なし													
(4)化学体積制御設備	なし													
(5)原子炉補機冷却水設備	配管 弁		✓ ✓						可 可	① ①	- -	- -	x x	
3燃料設備														
(1)燃料取扱設備	なし													
(2)使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	なし													
4放射線管理設備														
(1)生体遮へい装置	なし													
5廃棄設備														
(1)廃棄物処理設備														
a.1次冷却設備	なし													
b.液体廃棄物処理設備	なし													
c.固体廃棄物処理設備	なし													
6原子炉格納施設														
(1)原子炉格納容器	なし													
(2)二次格納施設	なし													
(3)圧力低減設備 その他の安全設備														
a.格納容器スプレイ設備	なし													
b.真空逃がし装置	なし													
c.圧力逃がし装置	なし													

【凡例】

R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋

【考え方】

<Step3>
①当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けず除外する。

②当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。

<Step4>

a 当該設備は原子炉補機冷却海水系統の放水配管であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備														
1.原子炉本体														
(1)炉心	なし													
(2)原子炉容器	なし													
2.原子炉冷却系統設備														
(1)一次冷却材の循環設備	なし													
(2)主蒸気・主給水設備	なし													
(3)余熱除去設備	なし													
(4)非常用炉心冷却設備	なし													
(5)化学体積制御設備	なし													
(6)原子炉補機冷却水設備	配管	✓								可	①	-		x
(7)原子炉補機冷却海水設備	配管		✓			✓				可	①	-		x
(8)原子炉格納容器内の一次冷却材の漏えいを監視する装置	凝縮液量測定装置 格納容器サンブ水上昇率測定装置	✓								可	①	-		x
3.計測制御系統設備														
(1)制御材	なし													
(2)制御棒駆動装置	なし													
(3)ほう酸注入機能を有する設備	1次系補給水ポンプ 1次系純水タンク 配管		✓							可	①	-		x
	1次系制御監視盤			✓						可	①	-		x
	格納容器内温度検出器	✓								可	①	-		x
	主蒸気ライン流量検出器	✓								可	①	-		x
	タービン非常遮断油圧検出器						✓			否	③	可	b	x
	主蒸気止め弁全閉位置検出器						✓			否	③	可	b	x
(5)制御用空気設備	なし													
4.廃棄設備														
(1)気体、液体又は固体廃棄物処理設備														
a.液体廃棄物処理設備	なし													
非常用予備発電装置														
(1)非常用ディーゼル発電設備	ディーゼル発電機空気圧縮機				✓					可	①	-		x

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備														
1.蒸気タービン								✓		否	③	可	c	x
	蒸気タービン							✓		否	③	可	c	x
	復水器							✓		否	③	可	c	x
	復水器真空ポンプ							✓		否	③	可	c	x
	復水ポンプ							✓		否	③	可	c	x
	循環水ポンプ					✓				否	③	可	c	x
	グランド蒸気復水器							✓		否	③	可	c	x
	湿分分離加熱器							✓		否	③	可	c	x
	第1段湿分分離加熱器ドレンタンク							✓		否	③	可	c	x
	第2段湿分分離加熱器ドレンタンク							✓		否	③	可	c	x
	湿分分離器ドレンタンク							✓		否	③	可	c	x
	配管							✓		否	③	可	c	x
	弁							✓		否	③	可	c	x

設備名称	Cクラス設備	Step2 設置場所								Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設
		耐震Sクラス設備を内包している建屋				左記以外				除外可否	考え方	除外可否	考え方	
		R/B O/S(C/V)	O/S以外	A/B	DG/B	CWP/B	T/B	EL/B	屋外					
原子力設備														
1.燃料設備														
(1)燃料取扱設備	新燃料エレベータ		✓							否	④	可	d	x
(2)新燃料貯蔵設備	新燃料貯蔵庫 新燃料ラック		✓							否	④	可	d	x
(3)使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ピット水位計		✓							否	④	可	e	x
(4)燃料取替用水設備	なし													
2.放射線管理設備														
(1)放射線管理用計測装置	1次系制御監視盤(放射線監視設備信号処理部)			✓						可	①	-		x
	高感度型主蒸気管モニタ		✓							可	⑤	可	f	x
	主蒸気管モニタ		✓							可	⑤	可	f	x
	格納容器じんあいモニタ		✓							可	①	-		x
	格納容器ガスモニタ		✓							可	①	-		x
	蒸気発生器ブローダウン水モニタ		✓							可	①	-		x
	復水器排気ガスモニタ							✓		否	③	可	f	x
	1次冷却材モニタ		✓							可	①	-		x
	排気筒ガスモニタ		✓							可	①	-		x
	廃棄物処理設備排水モニタ			✓						可	①	-		x
	排気筒高レンジガスモニタ(低レンジ)		✓							可	①	-		x
	排気筒高レンジガスモニタ(高レンジ)		✓							可	①	-		x
	中央制御室エリアモニタ			✓						可	①	-		x
	使用済燃料ピットエリアモニタ			✓						否	④	可	f	x
	エアロックエリアモニタ	✓								可	①	-		x
	放射化学室エリアモニタ			✓						可	①	-		x
	充てんポンプ室エリアモニタ			✓						可	①	-		x
	原子炉系試料採取室エリアモニタ			✓						可	①	-		x
	炉内核計装区域エリアモニタ	✓								可	①	-		x
	廃棄物処理室エリアモニタ			✓						可	①	-		x

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
① 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られたことから、当該設備は設計竜巻による影響は受けず除外する。
③ 当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
④ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、上屋(燃料取扱棟)は鉄骨造であり、設計飛来物の進入が想定されることから、当該設備は設計竜巻(設計飛来物)による影響を受けるため除外不可。
⑤ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持されるが、当該設備を設置している区画のブローアウトパネルは気圧差により開放され、かつ設計飛来物は貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
<Step4>
b 設計飛来物により当該設備が破損した場合でも原子炉トリップ機能に影響を与えないため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
d 当該設備はキャスクピットおよび新燃料貯蔵庫(何れもピット形状)内に設置されているが、当該区画内に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
e 当該設備(検出器)は竜巻防護施設である使用済燃料ピット上部に設置されているが、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも代替の水位確認手段があるため、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
f 当該設備は監視系であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。

設備名称	Step1-2		Step2						Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
	Cクラス設備		設置場所						除外可否	考え方	除外可否	考え方		
	耐震Sクラス設備を内包している建屋		左記以外			屋外								
	R/B	O/S(C/V)	A/B	DG/B	CWP/B		T/B	EL/B						
(2)換気設備	格納容器給気ファン									否	⑥	可	h	x
	試料採取室給気ファン									否	⑥	可	h	x
	補助建屋給気ファン									否	⑥	可	h	x
	格納容器再循環ファン	✓								否	⑥	可	h	x
	格納容器空気浄化ファン	✓								否	⑥	可	h	x
	格納容器空気浄化フィルタユニット	✓								否	⑥	可	h	x
	(電動補助給水ポンプ室換気系)*		✓							否	⑥	否	i	○
	(制御用空気圧縮機室換気系)*		✓							否	⑥	否	i	○
(ディーゼル発電機室換気系)*		✓		✓					否	⑥	否	i	○	
(安全補機閉閉器室換気系)*		✓	✓						否	⑥	否	i	○	
3.排気筒														
(1)排気筒	なし													
4.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する管等	なし													

設備名称	Step1-2		Step2						Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設	
	Cクラス設備		設置場所						除外可否	考え方	除外可否	考え方		
	耐震Sクラス設備を内包している建屋		左記以外			屋外								
	R/B	O/S(C/V)	A/B	DG/B	CWP/B		T/B	EL/B						
原子力設備														
1.蒸気タービン														
(1)蒸気タービンに附属する熱交換器	低圧第1給水加熱器							✓		否	③	可	c	x
	低圧第2給水加熱器							✓		否	③	可	c	x
	低圧第3給水加熱器							✓		否	③	可	c	x
	低圧第4給水加熱器							✓		否	③	可	c	x
	高圧第6給水加熱器							✓		否	③	可	c	x
	脱気器							✓		否	③	可	c	x
	脱気器タンク							✓		否	③	可	c	x
	スチームコンバータ							✓		否	③	可	c	x
(2)蒸気タービンに附属する給水ポンプ及び貯水設備並びに給水処理設備	弁							✓		否	③	可	c	x
	タービン動主給水ポンプ							✓		否	③	可	c	x
	電動主給水ポンプ							✓		否	③	可	c	x
	給水ブースタポンプ							✓		否	③	可	c	x
	復水ブースタポンプ							✓		否	③	可	c	x
	2次系純水タンク							✓		否	③	可	c	x
	復水脱塩装置脱塩塔							✓		否	③	可	c	x
	復水ろ過器							✓		否	③	可	c	x
純水装置							✓		否	③	可	c	x	
(3)蒸気タービンに附属する管等	低圧給水加熱器ドレンタンク							✓		否	③	可	c	x
	配管							✓		否	③	可	c	x
	弁							✓		否	③	可	c	x
附帯設備														
1.非常用予備発電装置														
(1)その他の電源装置														
a.無停電電源装置	なし													
b.蓄電池	なし													

※:当該設備にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却に使用されており、設計竜巻による気圧差の影響により当該設備が破損した場合は、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼす可能性があることから合わせて検討した。

設備名称	Step1-2		Step2						Step3		Step4		竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設		
	Cクラス設備		設置場所						除外可否	考え方	除外可否	考え方			
	耐震Sクラス設備を内包している建屋		左記以外			屋外									
	R/B	O/S(C/V)	A/B	DG/B	CWP/B		T/B	EL/B							
-	主蒸気安全弁排気管									✓	否	⑦	可	j	x
	主蒸気逃がし弁消音器									✓	否	⑦	可	k	x
	排気消音器									✓	否	⑦	可	l	x
	燃料油貯油槽ベント配管									✓	否	⑦	可	m	x
	タービン動補助給水ポンプ排気管									✓	否	⑦	可	n	x

【凡例】
R/B: 原子炉建屋、O/S: 外部しゃへい建屋、C/V: 原子炉格納容器、A/B: 原子炉補助建屋、DG/B: ディーゼル発電機建屋、CWP/B: 循環水ポンプ建屋、T/B: タービン建屋、EL/B: 電気建屋
【考え方】
<Step3>
③ 当該設備が設置されている建屋は鉄骨造であり、設計竜巻により外装材等は損傷することも考えられ、かつ設計飛来物は天井および外壁を貫通することが想定されることから、当該設備は設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
⑥ 当該設備が設置されている建屋は鉄筋コンクリート造であり、設計竜巻による複合荷重に対して構造健全性は維持され、かつ設計飛来物は貫通しないとの結果が得られているが、当該設備を含めた換気空調系は外気と繋がっているため、設計竜巻(気圧差)による影響を受ける可能性があるため除外不可。
⑦ 当該設備は屋外に設置されており、設計竜巻による影響を受けるため除外不可。
<Step4>
c 当該設備の周囲に竜巻防護施設は設置されていないため、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
h 当該設備を含めた換気空調系にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却には使用されていないため、気圧差により当該設備を含めた換気空調系が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
i 当該設備にて供給される空気は竜巻防護施設の冷却に使用されているため、気圧差により当該換気空調系が破損した場合は竜巻防護施設の機能を喪失させる可能性があることから除外不可。
j 当該設備はR/B屋上に貫通した配管であるが、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。
k 当該設備はR/B屋上に設置されており架台で支持されているため、設計飛来物が架台に衝突した場合は転倒する可能性があるが、架台が転倒した場合、当該設備に接続されている配管は破断して閉塞することはないと考えられる。また、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。
l 当該設備は耐震性を有するDG/B屋上にボルトで固定する設計となっており、設計竜巻(風荷重)によって転倒することはないと考えられる。また、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。
m 当該設備はベント配管であり、設計飛来物により当該設備が破損した場合でも竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないことから除外する。
n 当該設備はT/B屋上に貫通した配管であるが、設計飛来物は当該設備を貫通して閉塞する要因とはならないと考えられることから、竜巻防護施設の機能に影響を与えることはないと考え除外する。

1 2. 想定飛来物の抽出及び設計飛来物の設定について

1. はじめに

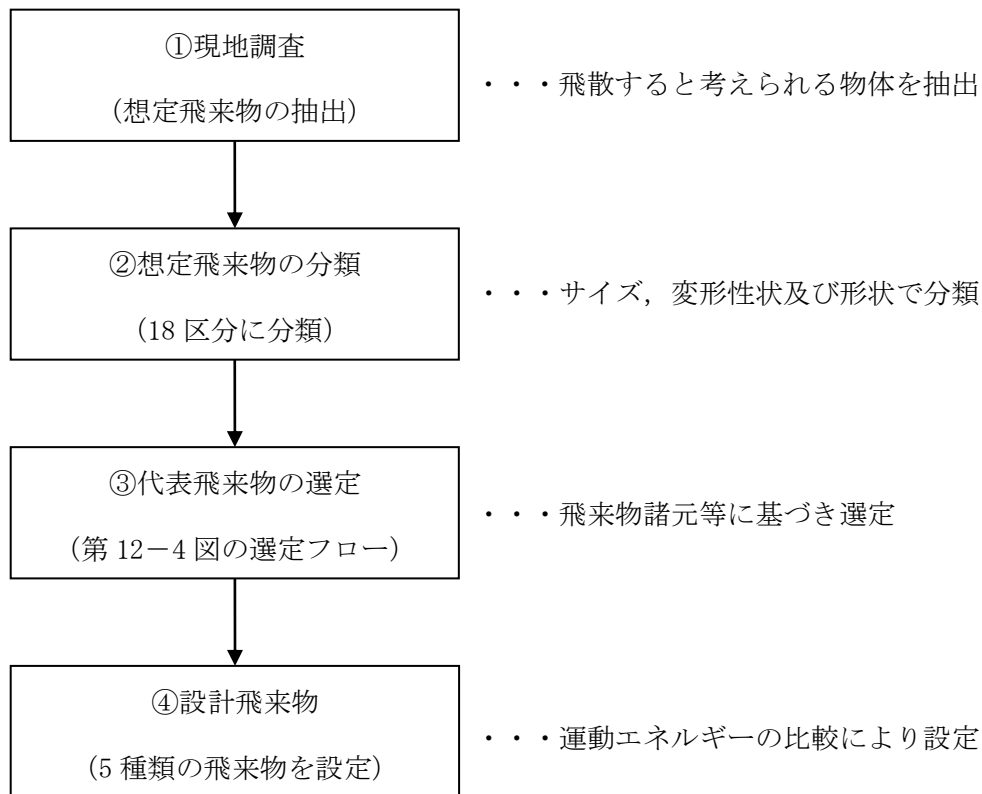
設計飛来物の設定にあたっては、泊発電所敷地内において現地調査を実施し、竜巻によって飛散し竜巻防護施設に影響を与えると想定される物体（想定飛来物）を抽出するとともに、これらの中から竜巻影響評価に用いる代表となる飛来物を選定している。ここでは、現地調査に基づく想定飛来物の抽出結果と選定方法及び設計飛来物の設定結果について示す。

2. 設計飛来物の設定フロー

泊発電所における設計飛来物は、以下の4段階の手順を踏まえて設定している。

- ① 現地調査（想定飛来物の抽出）
- ② 想定飛来物の分類
- ③ 分類した想定飛来物ごとに代表となる飛来物を選定
- ④ 選定した代表飛来物から設計飛来物を設定

設計飛来物の設定全般に係る概略フローを第12-1図に示す。なお、各手順の詳細については、以降の各項目において記載する。



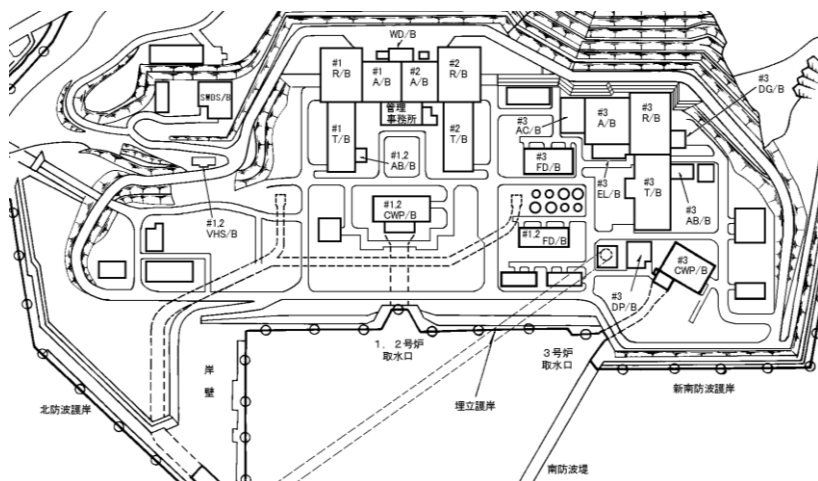
第12-1図 設計飛来物の設定に係る概略フロー

3. 設計飛来物の設定

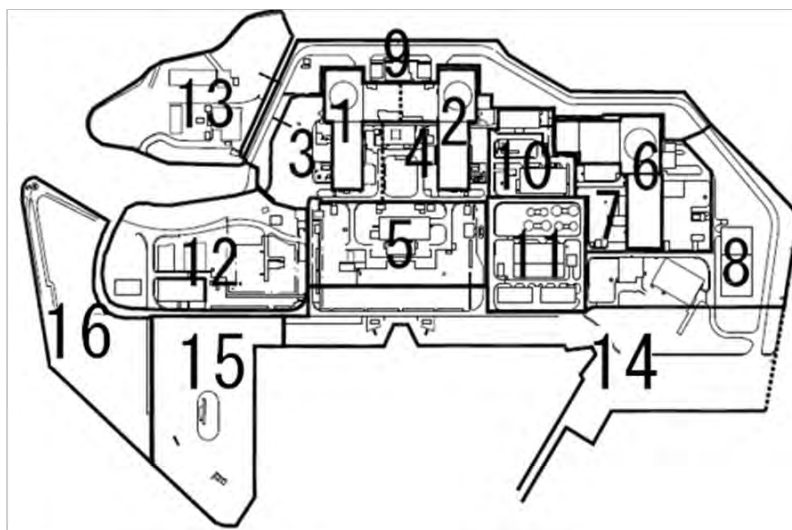
(1) 現地調査（想定飛来物の抽出）

平成 25 年 6 月に実施した現地調査では、泊発電所敷地内全域を第 12-2 図に示すとおり 16 のエリアに区画し、それぞれのエリアで想定飛来物を調査した。また、現地調査の後に新たに配置した SA 設備については、その後に追加調査を実施し、想定飛来物に加えている。

想定飛来物としては、地盤・建物に固定されていないもの及び固定されているが竜巻によって飛散が考えられるものを対象として抽出している。エリア毎の調査結果を第 12-3 図に示す。



(構内配置)



(現地調査区画)

<凡例>

エリア	建物名称
1	1号機本館屋上
2	2号機本館屋上
3	1号機本館(外周)
4	2号機本館(外周)
5	1/2号機循環ポンプ室(外周)
6	3号機本館屋上
7	3号機本館(外周)
8	3号機循環水ポンプ建屋
9	1/2号機・3号機本館北側外周
10	総合管理事務所 等
11	給排水処理建屋 等
12	原子炉訓練棟 等
13	固体廃棄物貯蔵庫 等
14	3号機取水口 等
15	岸壁部
16	西側沿岸部

第 12-2 図 構内配置と現地調査区画

エリア1：1号機本館屋上



仮設足場



鋼製ステップ



照明



電気盤



仮設資機材

エリア2：2号機本館屋上



フェンス



フード



鋼製ステップ



仮設足場



電気盤

エリア3：1号機本館（外周）



看板



タンク



鋼製ステップ



グレーチング



鋼板

第12-3図(1) 想定飛来物の抽出結果 その1

エリア4：2号機本館（外周）



マンホール蓋



ベンチ



看板



コンクリート板



自動車

エリア5：1/2号機循環ポンプ室（外周）



鋼製ステップ



グレーチング



フード

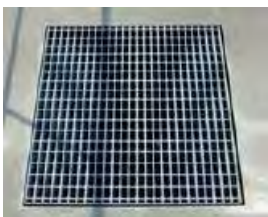


アーケード屋根



プレハブ小屋

エリア6：3号機本館屋上



グレーチング



フード



電気盤



照明



鋼製ステップ

第12-3図(2) 想定飛来物の抽出結果 その2

エリア7：3号機本館（外周）



バリケード



コンクリート板



クレーン車

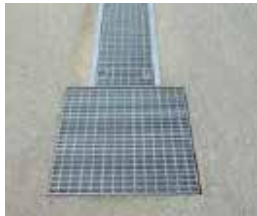


スピーカー



鋼製パイプ

エリア8：3号機循環水ポンプ建屋



グレーチング



空調室外機



鋼製ステップ



フード



プレハブ小屋

エリア9：1/2号機・3号機本館北側外周



コンテナ



仮設足場



鋼製材



ガードレール



電源車

第12-3図(3) 想定飛来物の抽出結果 その3

エリア10：総合管理事務所 等



スピーカー



バリケード



空調室外機



自転車



重機

エリア11：給排水処理建屋 等



仮設資機材



発電機



看板



コンテナ



プレハブ小屋

エリア12：原子炉訓練棟 等



マンホール蓋



フェンス



空調室外機



コーン



プレハブ小屋

第12-3図(4) 想定飛来物の抽出結果 その4

エリア13：固体廃棄物貯蔵庫 等



照明



コンクリート板



マンホール蓋



鋼製パイプ



トラック

エリア14：3号機取水口 等



仮設資機材



コーン



鋼板



プレハブ小屋



発電機

エリア15：岸壁部



トラック



発電機



マンホール蓋



自動車



プレハブ小屋

第12-3図(5) 想定飛来物の抽出結果 その5

エリア16：西側沿岸部



自動車



電気盤



鋼製ステップ



鋼板



グレーチング

エリア9：1/2号機・3号機本館北側外周（SA設備）



代替屋外給水タンク



送水ポンプ車（大型）



代替非常用発電機（3号用）



タンクローリー（18kl）



放水砲

第12-3図（6） 想定飛来物の抽出結果 その6

(2) 想定飛来物の分類

現地調査の結果抽出された想定飛来物を、サイズ及び変形状による基準に基づいて6つに区分するとともに、形状による基準に基づいて3種類に分類する。

分類結果を第12-1表に示す。

【サイズによる分類】

飛散時の形状や重量の観点から、飛来物のサイズを分類する。

小：飛散する形態にて、概ね人力で持ち上げられる程度のもの。

中：飛散する形態にて、人力で持ち上がらないもの又は飛散・衝突時に分離・分散すると考えられるもの。

大：飛散する形態にて、構造体として分散しない塊状のもの。

【変形状による分類】

衝突時の変形状の観点から、飛来物が衝突した際の影響を分類する。

柔：非金属のもの、金属であっても薄板、足場や架台のような衝突時に変形が予想されるもの。

剛：金属のもの等であって、飛来物自身の変形が予想されず、運動エネルギーを伝達するもの。

【形状による分類】

飛散し易さは飛来物の形状に依存するため、この観点から、飛来物の形状を分類する。

塊状：複数の部材で構成される飛来物で、平面（板状）や線（棒状）ではなく、立体形状のもの。

なお、超重量物では飛散しないものもある。

板状：厚さが薄く、平面（板状）のもの。

棒状：細長く、線（棒状）で小さな断面を持つもの。

第12-1表 想定飛来物の分類結果

サイズ		小		中		大	
剛	柔	柔	剛	柔	剛	柔	柔（一部剛）
区分		①	②	③	④	⑤	⑥
形状	棒状	コーン	鋼製パイプ バリケード	—	鋼製材	—	—
	板状	自転車	フェンス グレーチング マンホール蓋	看板 アーケード屋根 ベンチ ガードレール	コンクリート板 鋼板 仮設足場	—	—
	塊状	照明 スピーカー	—	空調室外機 電気盤 プレハブ小屋	仮設資機材 フード 鋼製ステップ	コンテナ タンク 自動車 代替屋外給水 タンク	トラック クレーン車 発電機 重機 電源車 送水ポンプ 車（大型） 代替非常用 発電機（3号 用） 放水砲 タンクロー リー（18k1）

(3) 代表飛来物の選定

分類した想定飛来物について、第12-1表の①～⑥の区分のそれぞれに対して代表となる飛来物を選定する。選定においては、飛来物の空力パラメータ及び飛散時の運動エネルギーに基づくとともに、飛散時に風圧力により複数の部材に分解（分散飛来）することや飛散防止対策等の有無についても考慮する。想定飛来物の物性諸元を第12-2表に示すが、諸元の設定にあたっては、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下、「ガイド」という。）及びカタログ等を参考にしている。

なお、空力パラメータは、物体の抗力係数を元に算出する飛来物毎の物性値であり、飛来物に設計竜巻を作用させた時に、高さ方向に飛散するかどうかの判断基準となる指標である。空力パラメータに基づく想定飛来物の飛散高さの算定方法の概要については、別紙-1に示す。

代表飛来物の選定フローを第12-4図に、代表となる飛来物の選定結果を第12-3表に示す。

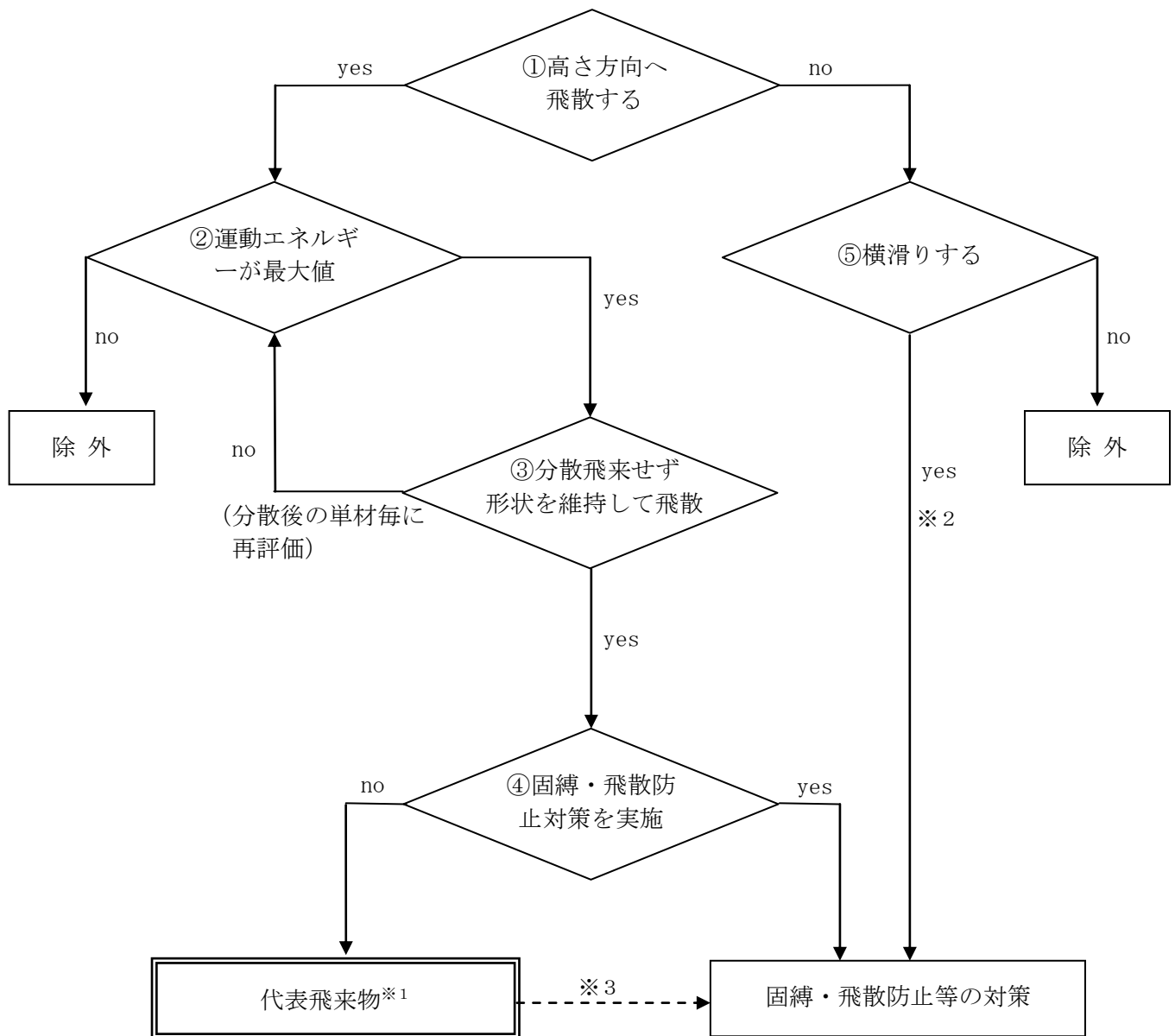
第12-2表 想定飛来物の物性諸元

分類	形状	名称	長さ	幅	厚さ	質量	空力パラメータ $C_D A / m$	高さ方向の飛散の有無 ^{※2}	最大速度 V_{max}	飛来物の運動エネルギー $m V H_{max}^2 / 2 \times 10^3$	分散飛来の有無
			m	m	m	kg	m^2/kg		m/s	kJ	
①	棒状	コーン	0.70	0.34	0.34	3.2	0.0734	○	94	14	×
	板状	自転車	1.90	1.10	0.60	25	0.0837	○	98	119	○
	塊状	照明	0.50	0.50	0.47	6	0.0788	○	96	28	×
スピーカー		0.60	0.60	0.60	3.6	0.1980	○	124	28	×	
②	棒状	鋼製パイプ	2.00	0.05	0.05	8.4	0.0057	○	48	10	×
		バリケード	1.20	0.40	0.05	20	0.0168	○	61	37	○
	板状	フェンス	1.80	1.80	0.002	32	0.0666	○	92	135	○
		グレーチング	1.00	0.60	0.02	24	0.0172	○	61	44	×
③	板状	マンホール蓋	0.60	0.60	0.01	46	0.0053	○	47	51	×
		看板	4.00	1.00	0.003	100	0.0265	○	71	252	○
		アーケード屋根	3.60	2.50	0.003	220	0.0270	○	71	561	×
		ベンチ	1.95	0.55	0.40	122	0.0090	○	53	171	○
	塊状	ガードレール	4.32	0.35	0.003	45	0.0223	○	65	95	×
		空調室外機	1.33	0.95	0.33	117	0.0114	○	56	183	○
		電気盤	1.50	0.90	0.60	100	0.0184	○	62	192	○
④	棒状	プレハブ小屋	5.40	2.61	2.40	1220	0.0180	○	62	2345	○
		鋼製材	4.20	0.30	0.20	135	0.0089	○	53	190	×
	板状	コンクリート板	1.50	1.00	0.15	540	0.0021	×	39	411	×
		鋼板	1.80	0.90	0.03	328	0.0033	○	43	303	×
		仮設足場	1.80	0.24	0.03	8.3	0.0361	○	77	25	×
	塊状	仮設資機材	4.45	1.60	1.55	254	0.0428	○	81	836	○
フード		0.76	0.72	0.67	15	0.0700	○	93	63	○	
⑤	塊状	鋼製ステップ	0.92	0.43	0.18	95	0.0044	○	45	96	○
		コンテナ ^{※1}	6.00	2.40	2.60	2300	0.0105	○	55	3479	×
		タンク ^{※1}	5.00	4.80	4.80	3500	0.0134	○	58	5887	○
		自動車	4.60	1.80	1.70	1600	0.0079	○	52	2163	×
⑥	塊状	代替屋外給水タンク	9.20	3.50	3.50	96000	0.0005	×	0	0	×
		トラック	5.00	1.90	1.30	4750	0.0026	×	40	3800	×
		クレーン車	12.00	6.30	4.99	102500	0.0011	×	23	27111	×
		発電機	6.10	2.50	1.95	15000	0.0014	×	28	5880	×
		重機	8.82	2.80	3.15	23000	0.0018	×	36	14904	×
		電源車	10.00	2.49	3.38	24620	0.0018	×	36	15954	×
		可搬型大型送水ポンプ車	8.79	2.50	2.88	12450	0.0029	○	41	10638	×
		代替非常用発電機(3号用)	15.00	2.50	3.80	35000	0.0020	×	42	30607	×
		放水砲	4.70	2.00	1.00	3000	0.0035	○	46	3237	×
タンクローリー(18kl)	11.00	2.50	2.95	25000	0.0018	×	34	14873	×		

※1：質量は、内容物が無い空の状態として評価している。

※2：空力パラメータが0.0026より大きいものについては、高さ方向に飛散する評価としている。

なお、この数値は、飛来物が浮いている状態を仮定して設計竜巻を作用させた時に、上向きの加速度が発生する閾値である。



- ※1：フローに従い選定された泊発電所において代表性のある飛来物の他、ガイドにおける飛来物のうち、高さ方向へ飛散するものについても代表飛来物として選定する。
- ※2：高さ方向へは飛散しないが、横滑りする可能性がある大型の飛来物（SA設備等）は、固縛・飛散防止対策を実施していく。
- ※3：固定されていない代表飛来物（例えば、「鋼製パイプ」及び「コンテナ」等）についても、可能な限り固縛・飛散防止対策を実施していく。

第12-4図 代表飛来物の選定フロー

第 12-3 表 代表飛来物の選定結果

飛来物の種類	①	②		③
	照明	マンホール蓋	鋼製パイプ	アーケード屋根
サイズ (m)	厚さ×直径 0.47×0.5	厚さ×直径 0.01×0.6	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×厚さ 3.6×2.5×0.003
質量 (kg)	6	46	8.4	220
最大速度 (m/s)	96	47	48	71
運動エネルギー (kJ)	28	51	10	561

飛来物の種類	④	⑤
	鋼製材	コンテナ
サイズ (m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6
質量 (kg)	135	2300
最大速度 (m/s)	53	55
運動エネルギー (kJ)	190	3479

(4) 設計飛来物の設定

評価に用いる設計飛来物を、第 12-3 表に示す代表飛来物の中から、以下に基づき設定した。

- ・分類①の「照明」は、運動エネルギーが非常に小さく、竜巻防護施設への影響は極めて小さい事が明らかなため設計飛来物とはしない。
- ・分類②の「マンホール蓋」は、同じく剛飛来物である分類④の「鋼製材」と比較して明らかに運動エネルギーが小さいことから「鋼製材」で代表することとし、設計飛来物とはしない。
- ・分類③の「アーケード屋根」は、同じく柔飛来物である分類⑤の「コンテナ」と比較して明らかに運動エネルギーが小さいことから「コンテナ」で代表することとし、設計飛来物とはしない。

以上の結果より、泊発電所の設計飛来物はガイドの設計飛来物と同様になることから、最大速度については、ガイドに記載の数値を採用した。評価に用いる設計飛来物の設定結果を第 12-4 表に示す。

第 12-4 表 設計飛来物の設定結果

飛来物の種類	棒状物		塊状物
	鋼製パイプ	鋼製材	コンテナ
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6
質量 (kg)	8.4	135	2300
最大水平速度 (m/s)	49	57	60
最大鉛直速度 (m/s)	33	38	40

4. まとめ

以上の通り、設計飛来物を設定したが、厳密には質量及び寸法の異なる想定飛来物も敷地内には存在する。しかしながら、設定した設計飛来物は、抽出した種々の想定飛来物の中で飛散した場合の影響度合いが最も大きいものであるとともに、分類毎における代表性もあるため、これらの設計飛来物によって泊発電所において考えられる想定飛来物の影響を包絡できると考える。

したがって、竜巻防護施設に対する影響評価等の検討にあたっての設計飛来物としては妥当であると考えらる。

なお、今後発電所内に搬入される物品を含め、設計飛来物の代表性が失われないよう、適切に固縛や飛散防止対策を実施していく。

想定飛来物の飛散速度及び飛散高さの評価について

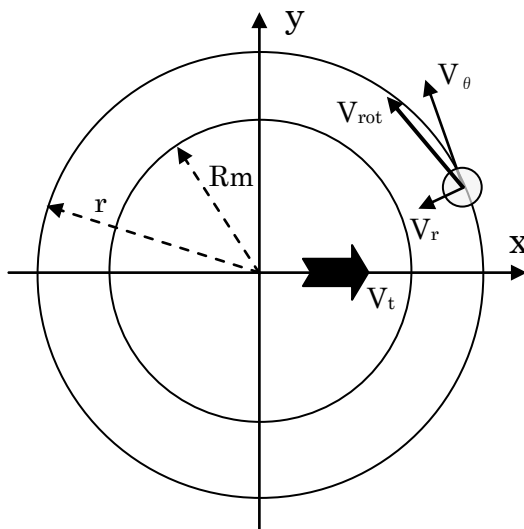
想定飛来物の飛散速度及び飛来高さは、竜巻による風速場の中の飛来物の飛散軌跡を計算することで評価している。評価概要を以下に示す。

1. 評価条件

竜巻の風速場は、ガイドを参考にして鉛直方向には風速・気圧といった構造が変化しないランキン渦としてモデル化する。

竜巻評価に用いる竜巻の風速分布は、下図に示すように原点から時刻 t 毎に x 軸方向に V_t の速度で移動するとし、その時の飛来物の初期位置を竜巻中心（原点）から任意の距離（ r ）に設定して算定する。^{※1※2}

この時の接線方向風速 V_θ 、半径方向風速 V_r 及び上昇風速 V_z は、①～③式で定義される。



$$V_\theta = \frac{2}{\sqrt{5}} V_{rot} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{5}} V_{rot} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

$$V_z = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{rot} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

$$\left\{ V_{rot} = \frac{r}{R_m} V_{R_m} \quad (0 \leq r \leq R_m) \text{ の場合} \quad \quad V_{rot} = \frac{R_m}{r} V_{R_m} \quad (R_m \leq r) \text{ の場合} \right\}$$

ここで、 V_{R_m} は $r=R_m$ の時の V_{rot} であり、 V_{rot} の最大値である。その時、最大風速 V_D は、

$$V_D = V_{R_m} + V_t \quad \dots \dots \textcircled{4}$$

V_θ : 竜巻の接線方向風速

V_r : 竜巻の半径方向風速

V_z : 竜巻の鉛直方向風速

V_t : 竜巻の移動速度

V_{rot} : 竜巻の旋回風速

V_{R_m} : 竜巻の最大旋回風速

V_D : 竜巻の最大風速

r : 竜巻中心からの飛来物位置

R_m : 竜巻旋回風速最大値位置の半径

2. 評価方法

1. に示す風速場における飛来物の運動は、相対速度の2乗に比例した抗力と重力が外力として作用するものと仮定すると、以下の⑤式で表すことができる。

飛散速度及び飛散高さの評価においては、時刻 t の時間刻みにて⑤式を離散化することで算出する。この際、抗力係数 C_D は、飛来物の3方向の面積で重み付けした平均値を用いている。^{※3}

想定飛来物の高さ方向への飛散の有無は、⑤式に基づき、空力パラメータ ($C_D A/m$) と飛来物に作用する浮き上がり力及び自重との関係から評価できる。(⑥式)

$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} (V(x(t)) - \dot{x}(t)) |V(x(t)) - \dot{x}(t)| - gJ \quad \dots \dots \textcircled{5}$$

$$\frac{C_D A}{m} > \frac{2g}{\rho V_z \sqrt{V_D^2 + V_z^2}} \quad \dots \dots \textcircled{6}$$

m : 飛来物の質量

$x(t)$: 時刻 t での飛来物の位置

$x''(t)$: 時刻 t での飛来物の加速度

C_D : 抗力係数

g : 重力加速度

V_D : 竜巻の最大風速

A : 代表面積

$x'(t)$: 時刻 t での飛来物の速度

$V(x(t))$: 時刻 t での飛来物位置での風速

ρ : 空気密度 (=1.22)

J : 鉛直方向成分のみ1のベクトル

V_z : 竜巻の鉛直方向風速

3. 評価結果

泊発電所の設計竜巻 (最大風速 100m/s) に対して、⑥式を用いて評価した結果、空力パラメータが 0.0028 以下の場合には高さ方向へは飛散しない評価となる。

よって、泊発電所の想定飛来物の高さ方向への飛散の有無は、0.0028 に保守性を考慮して 0.0026 を基準としている。

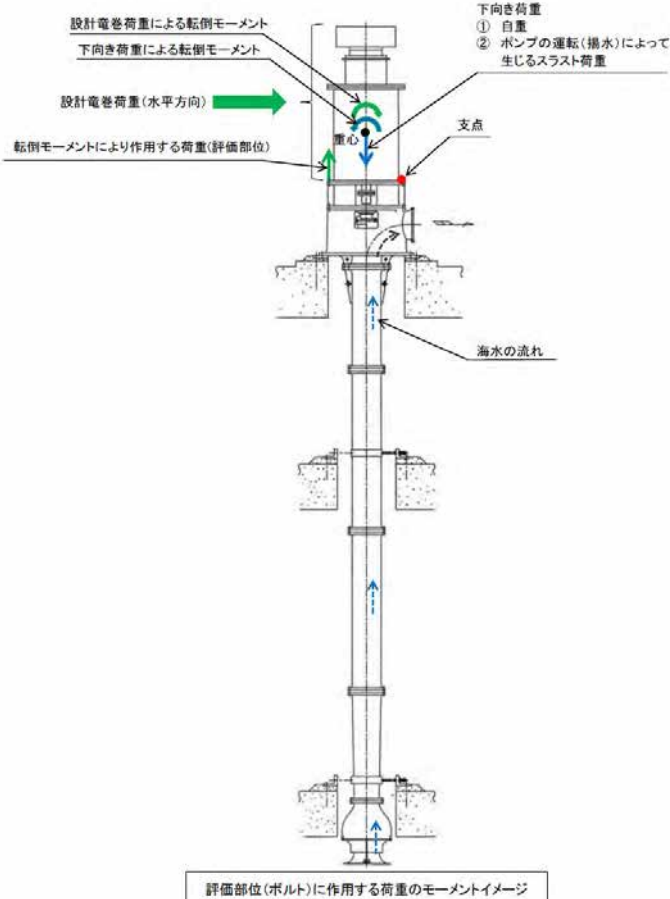
※1 : Simiu, E. and Cordes, M., NBSIR 76-1050. Tornado-Borne Missile Speeds, 1976.

※2 : 電中研 江口護ほか, 移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価, 日本流体力学会年会 2013

※3 : 東京工芸大学, 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究 成果報告書, 平成 23 年 2 月

1.3. 運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由について

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として、評価対象施設に常時作用する荷重（自重）および運転時荷重を適切に組み合わせしており、以下に運転時荷重の組み合わせを考慮していない理由を示す。

評価対象施設	考慮していない理由
原子炉補機冷却海水ポンプ	<p>評価部位（ボルト）には、ポンプ（縦型）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（上向き）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）との組み合わせは考慮していない。</p> 
排気筒	<p>当該設備に繋がる換気空調設備（評価対象施設）については、設計竜巻による気圧差の影響を回避するため、竜巻襲来時はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って当該設備に繋がるファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。</p>

評価対象施設		考慮していない理由
換気空調設備	ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> 当該設備のうち、ディーゼル発電機室換気系以外の換気空調系については、設計竜巻による気圧差の影響を極力回避するため、竜巻襲来時はこれに必要なダンパ・弁を閉止して外気と隔離する手順とする。これに伴って必要なファンを停止する手順とするため、運転時荷重（ファン静圧）は作用しないことから考慮していない。 ディーゼル発電機室換気系については、ディーゼル発電機設備の冷却の観点からファンは停止しないが、ファンの運転によってダクト等に生じる圧力は、竜巻による気圧低下を打ち消す方向に作用するため、保守的に運転時荷重（ファン静圧）との組み合わせは考慮していない。
	バタフライ弁	
	ダクト	
	ファン	
	空調ユニット	

1 4. 雹を飛来物として想定した場合の影響評価について

雹を飛来物として考えた場合の建物・構築物及び設備に与える影響については、雹の一般的な大きさ（5mm～数 cm）から設計飛来物の評価で代表できると考えるが、ここでは、雹を飛来物として想定した場合の影響評価について示す。

1. 雹の諸元（落下速度）

物体が大気中を運動する場合は空気抵抗を受けるため、時間が経過すれば空気抵抗と重力が釣り合って等速運動となり、このときの速度を終端速度という。空気中を落下する雨、雹等の粒子についても同様であることから、この終端速度で評価する。粒径ごとの雹の落下速度（出展：「一般気象学」東京大学出版）を第 14-1 表に示す。

第 14-1 表 雹の落下速度

雹の粒径	落下速度（終端速度）
1 (cm)	9 (m/s)
2 (cm)	16 (m/s)
5 (cm)	33 (m/s)

2. 雹による影響評価

影響評価にあたっては、粒径 5cm 程度の大型の雹を想定する。なお、雹が剛飛来物とは考えられないが、剛飛来物と仮定して評価する。

コンクリート及び鋼板に対する貫通厚さについて、設計飛来物と同様に評価した結果を、設計飛来物（鋼製材）の評価結果と合わせて第 14-2 表に示す。

第 14-2 表 評価結果

	貫通厚さ	
	雹（粒径 5cm）	設計飛来物（鋼製材）
コンクリート（ $F_c = 24\text{N/mm}^2$ ）	1 (cm)	21 (cm)
鋼板	0.2 (mm)	22 (mm)

3. まとめ

以上の結果より、雹を飛来物と想定しても、設計飛来物に十分包絡されることを確認した。

なお、コンクリートスラブの実際の最小厚さが 26cm であること、また、飛来物が直接的に影響を及ぼすと想定される設備である原子炉補機冷却海水ポンプ（モータ部ケーシング）の板厚は 3.2mm であることから、雹による施設への影響はない。

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

「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2条第2項第4号において、「設計基準事故」とは『発生頻度が運転時の異常な過渡変化より低い異常な状態であって、当該状態が発生した場合には発電用原子炉施設から多量の放射性物質が放出するおそれがあるものとして安全設計上想定すべきものをいう。』と定義されている。

「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」において、PWRにおける「事故」の具体的な事象は以下のとおりとされており、この中で『燃料集合体の落下』以外の事故については、竜巻防護施設（設備）が設計竜巻による影響を受けない建屋内に設置され設計基準事故の原因となる配管破損等は起こり難いことから、設計竜巻荷重と設計基準事故時荷重は重畳しないと考える。

一方、『燃料集合体の落下』については、使用済燃料ピットが設置されている建屋の上屋（燃料取扱棟）は鉄骨造であり飛来物の進入が想定されることから、クレーンにて燃料集合体を取扱い中に飛来物が燃料集合体保持機構に衝突した場合は発生する可能性があるが、竜巻が襲来する恐れが生じた場合に燃料集合体の取扱い作業は一時中断して燃料集合体を所定の位置に戻す旨マニュアルに反映することとしていること、飛来物が燃料集合体保持機構にあたる可能性は非常に小さいことから、竜巻が原因で発生する確率は小さいと考える。

また、万一発生したとしても、当該事故時において設計基準事故時荷重（配管破断時の反力による荷重など）は発生しない。

以上から、設計竜巻荷重と設計基準事故時荷重が重畳する可能性は低いと考えられ、設計基準事故時荷重との組み合わせは考慮していない。

- ・ 原子炉冷却材の喪失又は炉心冷却状態の著しい変化
 - (1) 原子炉冷却材喪失
 - (2) 原子炉冷却材流量の喪失
 - (3) 原子炉冷却材ポンプの軸固着
 - (4) 主給水管破断
 - (5) 主蒸気管破断

- ・ 反応度の異常な投入又は原子炉出力の急激な変化
 - (1) 制御棒飛び出し

- ・ 環境への放射性物質の異常な放出
 - (1) 放射性気体廃棄物処理施設の破損
 - (2) 蒸気発生器伝熱管破損
 - (3) 燃料集合体の落下
 - (4) 原子炉冷却材喪失
 - (5) 制御棒飛び出し

- ・ 原子炉格納容器内圧力、雰囲気等の異常な変化
 - (1) 原子炉冷却材喪失
 - (2) 可燃性ガスの発生

＜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（抜粋）＞

第六条

2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

＜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の解釈（抜粋）＞

第6条

6 第2項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。

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

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>2. 設計の基本方針</p> <p>2.1 設計対象施設</p> <p>以下の（１）及び（２）に示す施設を設計対象施設とする。</p> <p>（１）竜巻防護施設</p> <p>「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等とする。</p> <p>（２）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画^(注2.1)。</p> <p>解説 2.1 設計対象施設</p> <p>設計竜巻荷重は、基準地震動 Ss による地震荷重と同様に施設に作用するものと捉え、設計対象施設は、耐震設計上の重要度分類を引用して、耐震 S クラス施設及び耐震 S クラス施設に波及的影響を及ぼし得る施設とした。ただし、竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、設計対象から除外できる。</p> <p>竜巻防護施設の例としては、原子炉格納容器や安全機能を有する系統・機器（配管を含む）等が考えられる。外殻となる施設等による防護機能が期待できる設計対象施設の例としては、原子炉格納容器に内包された安全機能を有する設備等が考えられる。</p> <p>2.2 設計の基本的な考え方</p> <p>2.2.1 設計の基本フロー</p> <p>図 2.1 に設計の基本フローを示す。設置許可段階では、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重が適切に設定されていること、並びに設計荷重に対して、機能・配置・構造計画等を経て抽出された設計対象施設の安全機能が維持される方針であることを確認する。ただし、設計荷重については、設置許可段階において、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。</p>	<p>2. 評価の基本方針</p> <p>2.1 評価対象施設</p> <p>評価ガイドに基づき、以下の（１）及び（２）に示す施設を評価対象施設とする。</p> <p>（１）竜巻防護施設</p> <p>「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）及び建屋・構築物等。</p> <p>（２）竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設</p> <p>当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、又はその施設の特定の区画。</p> <p>解説 2.1 評価対象施設</p> <p>評価ガイドどおり。</p> <p>竜巻防護施設の外殻となる施設等（竜巻防護施設を内包する建屋・構築物等）による防護機能によって、設計竜巻による影響を受けないことが確認された施設については、評価対象から除外する。</p> <p>2.2 評価の基本的な考え方</p> <p>2.2.1 評価の基本フロー</p> <p>評価ガイドに基づき、基準竜巻、設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに評価対象施設を抽出し、設計荷重に対する評価対象施設の構造健全性について検討することにより、安全機能が維持されていることを確認する。</p>

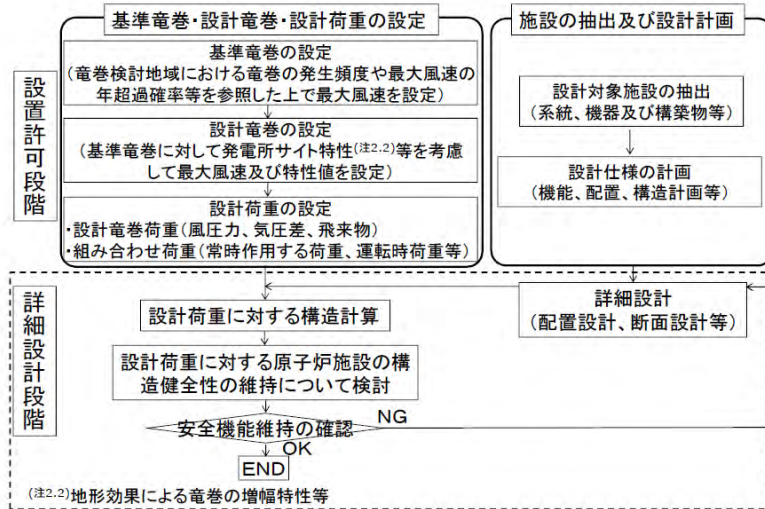


図 2.1 設計の基本フロー

解説 2.2.1 設計の基本フロー

詳細設計段階においては、配置・断面設計等を経て詳細な仕様が設定された施設を対象に、設計荷重の詳細を設定し、設計荷重に対する構造計算等を実施し、その結果得られた施設の変形や応力等が構造健全性評価基準を満足すること等を確認して、安全機能が維持されることが確認されることを想定している。

2.2.2 設計対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

①風圧力

設計竜巻の最大風速による風圧力

②気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力

③飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって設計対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重

2.2.2 評価対象施設に作用する荷重

評価ガイドに基づき、以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

①風圧力

設計竜巻の最大風速による風圧力

②気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力

③飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって評価対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>(2) 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を以下に示す。</p> <p>①設計対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ②竜巻以外の自然現象^(注2,3)による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記(2)の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記(2)の①の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認 設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重(常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等)を適切に組み合わせた設計荷重に対して、設計対象施設、あるいはその特定の区画^(注2,4)の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であることを確認する。</p>	<p>(2) 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を以下に示す。</p> <p>①評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等 ②竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等</p> <p>なお、上記(2)の②の荷重については、竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して、上記(2)の①の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。</p> <p>2.2.3 施設の安全性の確認 評価ガイドに基づき、設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重(常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等)を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいはその特定の区画の構造健全性等が維持されて安全機能が維持されることを確認する。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

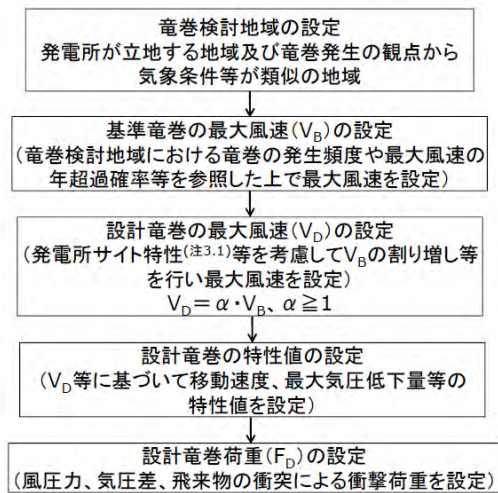
3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

設置許可段階の安全審査において、基準竜巻及び設計竜巻が適切に設定されていることを確認する。

解説 3.1 基準竜巻・設計竜巻の最大風速の設定

設計竜巻荷重を設定するまでの基本的な流れは解説図 3.1 に示すとおりである。



解説図 3.1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

(注 3.1) 地形効果による竜巻の増幅特性等

3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

評価ガイドどおり。

評価ガイドに基づき、評価ガイド解説図 3.1 に示された基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フローに従い、基準竜巻及び設計竜巻を評価した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

3.2 竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域は、原子力発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域から設定する。

解説 3.2 竜巻検討地域の設定

(1) 基本的な条件

竜巻検討地域の設定にあたっては、IAEAの基準^(*)が参考になる。IAEAの基準では、ある特定の風速を超過する竜巻の年発生頻度の検討にあたって竜巻の記録を調査する範囲として、およそ10万km²を目安にあげている。このIAEAの基準を参考として、竜巻検討地域の目安を、原子力発電所を中心とする10万km²の範囲とする。しかしながら、日本では、例えば日本海側と太平洋側とで気象条件が異なる等、比較的狭い範囲で気象条件が大きく異なる場合があることから、必ずしも10万km²に拘らずに、竜巻発生の観点から原子力発電所が立地する地域と気象条件等が類似する地域を調査した結果に基づいて竜巻検討地域を設定することを基本とする。

(2) 原子力発電所が海岸線付近に立地する場合の竜巻検討地域の設定

解説図 3.2 に日本における竜巻の発生分布^(*)を示す。解説図 3.2 より日本における竜巻の発生位置は、海岸線付近に集中している傾向が伺える。解説図 3.3 に日本の海岸線付近における竜巻の発生状況を示す。解説図 3.3 をみると、海岸線から1km以内の陸上では単位面積あたりの1年間の平均発生数は 6.0×10^{-4} (個/km²/年)を少し超える程度であり、海岸線から離れるに従って竜巻の発生数が減少する傾向が伺える。例えば、解説図 3.3 の陸上側のグラフの分布をみると、海岸線から5km以上離れた地域では、竜巻の発生数が急激に減少する傾向がみられる。以上の傾向を踏まえて、原子力発電所が海岸線付近に立地する場合は、海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲を目安に竜巻検討地域を設定することとする。なお、原子力発電所がこの範囲(海岸線から陸側及び海側それぞれ5kmの範囲)を逸脱する地域に立地する場合は、海岸線付近で竜巻の発生が増大する特徴を踏まえつつ竜巻検討地域の範囲を別途検討する必要がある。

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

3.2 竜巻検討地域の設定

評価ガイドどおり。

竜巻検討地域は、評価ガイド 3.2 のとおり、泊発電所が立地する地域及び竜巻発生の観点から泊発電所が立地する地域と気象条件が類似する地域から設定した。

具体的には、泊発電所が位置する北海道日本海側と、その他国内15地域間の総観場の出現数に関する相関係数を求め、その結果から発生する総観場の種類及び発生頻度の関連性の強い地域を選定し竜巻検討地域とした。具体的には、北海道から本州にかけての日本海側及び北海道の襟裳岬以西を選定した。

また、泊発電所が海岸線付近に立地することから、評価ガイド解説 3.2 (2) に従い、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とした。(面積約38,895km²)

図 3.1 に竜巻検討地域を示す。

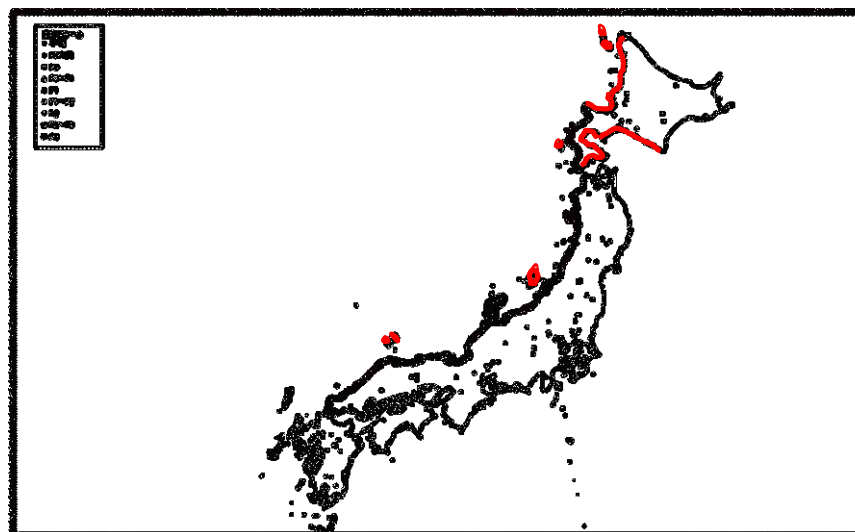
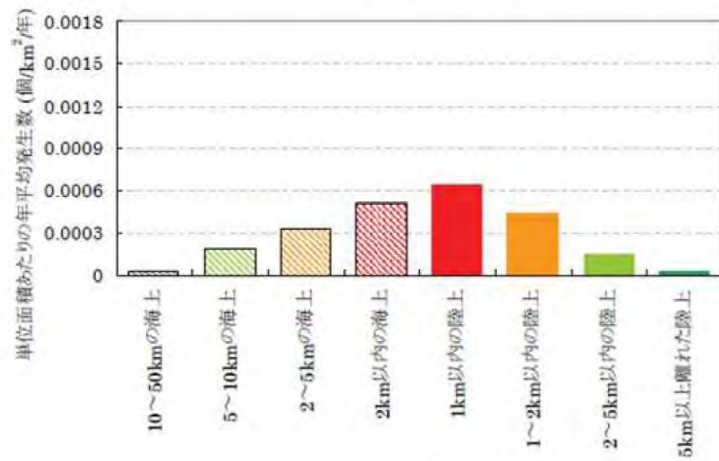


図 3.1 泊発電所における竜巻検討地域



解説図 3.2 日本における竜巻の発生分布 (1961~2011年、気象庁作成) (※2)



解説図 3.3 日本の海岸線付近における竜巻の発生状況 (※3) (注 3.2)
(1961~2009年12月、規模:F0以上)

(注 3.2) 被害の痕跡が残りにくい海上竜巻は、単位面積あたりの年平均発生数が、実際の発生数より特に少ない可能性が考えられる。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>3.3 基準竜巻の設定</p> <p>以下の基本的な方針に基づいて基準竜巻の最大風速(V_B)を設定する。ここで、V_Bは最大瞬間風速とする。</p> <p>(1)基準竜巻の最大風速(V_B)は、竜巻検討地域において、過去に発生した竜巻の規模や発生頻度、最大風速の年超過確率等を考慮して適切に設定する。</p> <p>(2)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。</p> <p>①過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})</p> <p>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。</p> <p>②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})</p> <p>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(P_{B2})に対応する竜巻最大風速を V_{B2} とする。ここで、P_{B2} は 10^{-5} (暫定値) を上回らないものとする。</p> <p>また、竜巻検討地域において基準竜巻の最大風速(V_B)が発生する可能性を定量的に確認するために、V_B の年超過確率を算定することとする。なお、V_B が V_{B1} から決定された場合 ($V_B = V_{B1}$ の場合) は、V_{B2} の算定に用いた竜巻最大風速のハザード曲線を用いて、V_B の年超過確率を算定する。ちなみに、米国 NRC の基準類^(*)では、設計に用いる竜巻 (設計基準竜巻: Design-basis tornado) の最大風速は、年超過確率 10^{-7} の風速として設定されている。</p> <hr/> <p>解説 3.3 基準竜巻の最大風速 (V_B) の設定</p> <p>解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速(V_{B1})の設定</p> <p>本文に記載のとおり、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。</p> <p>また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻による被害状況等に基づく既往のデータベース、研究成果等について十分に調査・検討した上で設定する必要がある。</p> <p>日本における過去最大級の竜巻としては、例えば、1990年12月に千葉県茂原市で発生した竜巻、2012年5月に茨城県常総市からつくば市で発生した竜巻等があげられる。竜巻検討地域の観測記録等に基づいて V_{B1} を設定する場合において、これら過去最大級の竜巻を考慮しない場合には、その明確な根拠を提示する必要がある。</p> <p>竜巻による被害状況から推定された最大風速を参照して設定された藤田スケールを用いて基準竜巻の最大風速を設定する場合は、藤田スケールの各区分 (F0～F5) の最大風速を用いる。解説表 3.1 に藤田スケールと風速の関係を示す。なお、風速計等によって観測</p>	<p>3.3 基準竜巻の設定 (1)</p> <p>評価ガイドどおり。</p> <p>評価ガイド 3.3 に示された基本的な方針に基づき、気象庁の「竜巻等の突風データベース」をもとに、過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} 及び竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} を評価した上で、両者のうち大きい方を、基準竜巻の最大風速 V_B として設定した。</p> <p>3.3 基準竜巻の設定 (2)</p> <p>①過去に発生した竜巻による最大風速 (解説 3.3.1 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) の設定) 評価ガイドどおり。</p> <p>評価ガイド解説 3.3.1 に沿い、日本国内で 1961 年～2012 年 6 月の間に発生したと気象庁が公表した竜巻のうち、過去最大の竜巻は F3 スケールであった。F3 スケールにおける風速は 70～92m/s であることから、その最大風速をもとに、過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1}) を 92m/s とした。</p> <p>②竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V_{B2}) の算定) 評価ガイドどおり。</p> <p>竜巻最大風速のハザード曲線は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従い、既往の算定方法に基づき、具体的には、独立行政法人原子力安全機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」を参照して算定した。</p> <p>なお、竜巻検討地域における竜巻の観測記録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(P_{B2})10^{-5} に対応する竜巻最大風速を V_{B2} として評価した。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所 3号機竜巻影響評価結果

された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

解説表 3.1 藤田スケールと風速の関係^(※5)

スケール	風速
F0	17~32m/s (約 15 秒間の平均)
F1	33~49m/s (約 10 秒間の平均)
F2	50~69m/s (約 7 秒間の平均)
F3	70~92m/s (約 5 秒間の平均)
F4	93~116m/s (約 4 秒間の平均)
F5	117~142m/s (約 3 秒間の平均)

解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V_{B2}) の算定

既往の算定方法 (Wen&Chu^(※6)及び Garson et. al^(※7, ※8)) に基づいて V_{B2} を算定する方法について、その基本的な考え方を以下に例示する。竜巻最大風速のハザード曲線の算定は、解説図 3.4 に示す算定フローに沿って実施する。なお、本ガイドに示す V_{B2} の具体的な算定方法については、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^(※9)が参考になる。

また、竜巻最大風速のハザード曲線の算定方法については、技術的見地等からその妥当性を示すことを条件として、いずれの方法を用いてもよいが、竜巻影響エリアの設定の基本的な考え方は、以下の「(1) 竜巻影響エリアの設定」に従うことを原則とする。

(1) 竜巻影響エリアの設定

V_{B2} の算定にあたっては、まず始めに V_{B2} の発生エリアである竜巻影響エリアを設定する。竜巻影響エリアは、原子力発電所の号機ごとに設定する。号機ごとのすべての設計対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅、被害長さ、移動方向等から設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。

竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向は、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録に基づいて対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。また、竜巻による被害域幅、被害域長さ及び移動方向の設定に使用する竜巻の観測記録や仮定条件等は、後述する竜巻の最大風速の確率密度分布の設定に用いる観測記録や仮定条件等との整合性を持たせることを原則とし、V_{B2} の算定に使用するデータ等には一貫性を持たせるように配慮する。

(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

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。具体的には、竜巻検討地域を海岸線か

解説 3.3.2 竜巻最大風速のハザード曲線を用いた最大風速 (V_{B2}) の算定

(1) 竜巻影響エリアの設定

評価ガイドどおり。

竜巻影響エリアは、評価対象設備である竜巻防護施設及び竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の面積(約 19,900m²)及び設置位置を考慮して設定する。具体的には、3号機設備全体を包絡する円形のエリア(半径 425m、面積約 142,000m²)として設定した。

また、竜巻による被害域幅、被害域長さは、竜巻検討地域で過去に設定した竜巻の記録に基づいて対数正規分布を仮定して設定した。なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。

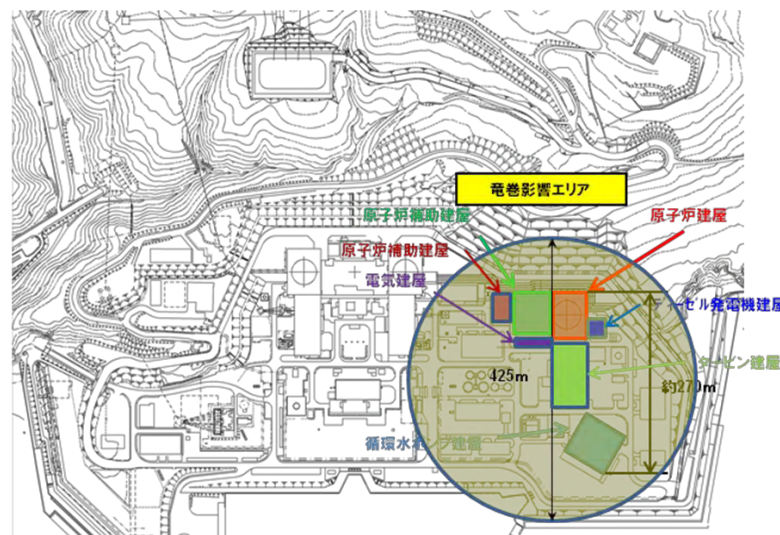


図 3.2 竜巻影響エリア

(2) 竜巻の年発生数の確率分布の設定

評価ガイドどおり。

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(ポリア分布)により設定した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

ら陸側及び海側それぞれ5kmの範囲に設定した場合は、少なくとも1km範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し、そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設計で用いることとする。

(3) 竜巻最大風速の確率密度分布の設定

竜巻最大風速の確率密度分布は、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対数正規分布等を仮定して設定することを基本とする。竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたっては、竜巻の年発生数の確率分布の設定と同様に、竜巻検討地域を1km範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲で確率分布を算定し、そのうちの V_{B2} が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等、配慮する。

竜巻最大風速の確率密度分布の設定にあたって使用する観測された竜巻の最大風速を藤田スケールに基づいて評価する場合は、藤田スケールの各区分(F0~F5)の最小風速から最大風速のうち、 V_{B2} が最も大きくなる風速を用いる。ただし、風速計等によって観測された風速記録がある場合には、その風速記録を用いてもよい。

年超過確率

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

上記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び竜巻最大風速の確率密度分布を竜巻最大風速のハザード曲線を算定する。

なお、竜巻最大風速のハザード曲線の算定において、竜巻最大風速の確率密度分布の上限値を設定する場合は、竜巻最大風速の評価を行うハザード曲線が不自

積に

(5) 年超過確率(P_{B2})に対応する竜巻最大風速(V_{B2})の算定

上記で算定した竜巻最大風速のハザード曲線において年超過確率が P_{B2} ($\leq 10^{-5}$ (暫定値))の竜巻最大風速を V_{B2} とする。

(3) 竜巻最大風速の確率分布の設定

評価ガイドどおり。

竜巻最大風速の確率分布は、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対数正規分布を仮定して設定した。

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

評価ガイドどおり。

(1) ~ (3) の設定より、図 3.3 のとおり竜巻最大風速のハザード曲線を算定した。

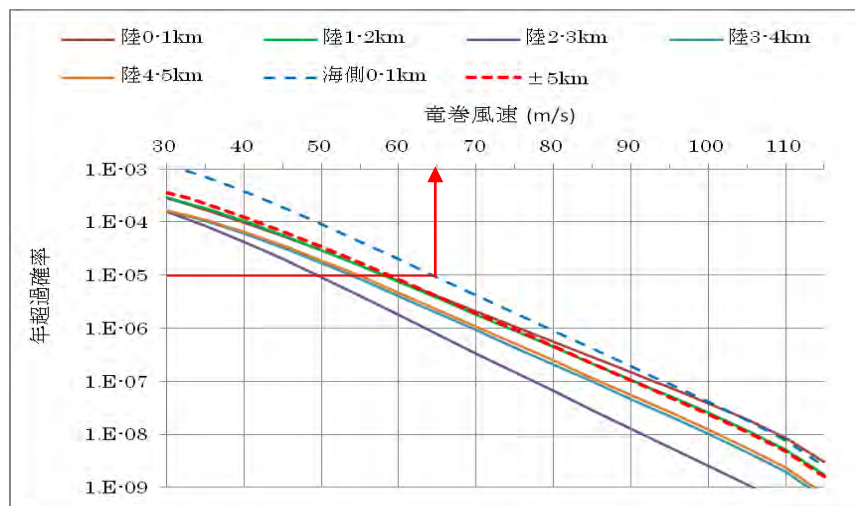


図 3.3 竜巻最大風速のハザード曲線

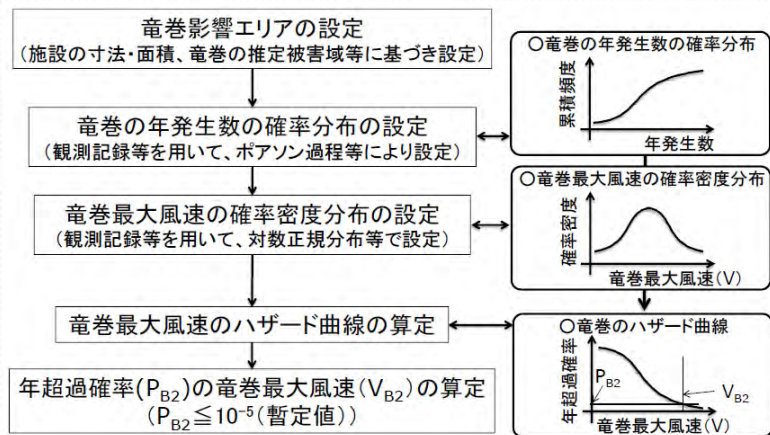
(5) 年超過確率に対応する竜巻最大風速 V_{B2} の算定

評価ガイドどおり。

竜巻最大風速 V_{B2} は、(4) で算定した竜巻最大風速のハザード曲線より、評価ガイド 3.3 を参考に年超過確率 10^{-5} に相当する 65m/s とした。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所 3号機竜巻影響評価結果



解説図 3.4 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V_{B2})の算定フロー

以上より、竜巻の最大風速 (V_{B1})、(V_{B2}) は下記のとおりである。
 ・過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} : 92m/s
 ・竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} : 65m/s

評価ガイド 3.3 に従い、基準竜巻の最大風速 V_B は、 V_{B1} と V_{B2} のうち大きな風速とすることから、泊発電所 3号機に対する基準竜巻の最大風速は 92m/s とした。

3.4 設計竜巻の設定

以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値を設定する。ここで、 V_D は最大瞬間風速とする。

- (1) 設計竜巻の最大風速(V_D)は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して、科学的見地等から基準竜巻の最大風速(V_B)の適切な割り増し等を行って設定されていること。なお、 V_D は、 V_B を下回らないものとする。
- (2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速(V_D)、並びに竜巻検討地域において過去に発生した竜巻の特性等を考慮して適切に設定する。

3.4 設計竜巻の設定

評価ガイドに基づき、以下の基本的な方針に基づいて設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値を設定した。ここで、 V_D は最大瞬間風速とした。

- (1) 設計竜巻の最大風速(V_D)は、原子力発電所が立地する地域の特性（地形効果による竜巻の増幅特性等）等を考慮して設定した。なお、 V_D は、 V_B を下回らないものとした。
- (2) 設計竜巻の特性値は、設計竜巻の最大風速(V_D)等を考慮して適切に設定した。

解説 3.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) 及び特性値の設定

解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速(V_D)の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性

丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられる^(※9)ことから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速(V_D)を設定する。

なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されている^(※10、※11)が、 V_D の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しない。

解説 3.4 設計竜巻の最大風速 (V_D) 及び特性値の設定

解説 3.4.1 設計竜巻の最大風速 (V_D) の設定で考慮する地形効果による竜巻の増幅特性

評価ガイドに基づき、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、泊発電所が立地する地域において、評価対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速 (V_D) を設定した。

なお、竜巻が丘陵や段差等の上空を通過した際には、竜巻が減衰する可能性が指摘されているが、 V_D の設定においては、そのような減衰の効果は考慮しなかった。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド

泊発電所3号機竜巻影響評価結果

解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定

解説 3.4.2.1 概要

竜巻検討地域で観測された竜巻に関する情報、並びに設計竜巻の最大風速 (V_D) 等に基づいて、下記(1)~(5)に示す設計竜巻の各特性値を設定する。

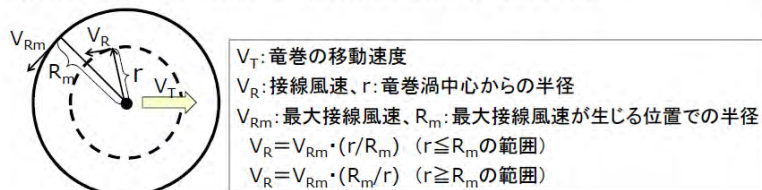
- (1) 移動速度 (V_T)
- (2) 最大接線風速 (V_{Rm})
- (3) 最大接線風速半径 (R_m)
- (4) 最大気圧低下量 (ΔP_{max})
- (5) 最大気圧低下率 (dp/dt)_{max}

(1)~(5)の各特性値については原則として、十分な信頼性を有した観測記録等に基づいて設定したものを、その根拠の明示を条件として用いる。ただし、設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等がない場合には、解説 3.4.2.2 及び 3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定することができる。

解説 3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方

竜巻に関する観測データが不足している等の理由により、観測データ等に基づいた十分に信頼できる数学モデルの構築が困難な場合は、米国 NRC の基準類^(*)を参考として、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定する。解説図 3.5 にランキン渦モデルの概要を示す。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。

なお、ランキン渦モデルに比べてより複雑な竜巻渦を仮定した数学モデル等を使用して竜巻特性値を設定する場合は、その技術的な妥当性を示す必要がある。



解説図 3.5 ランキン渦モデルの概要

解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定

(1) 設計竜巻の移動速度(V_T)の設定

設計竜巻の移動速度(V_T)は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad \dots \quad (3.1)$$

解説 3.4.2 設計竜巻の特性値の設定

解説 3.4.2.1 概要

評価ガイドに基づき、設計竜巻の最大風速 (V_D) 等に基づいて、下記(1)~(5) に示す設計竜巻の各特性値を設定した。

- (1) 移動速度 (V_T)
- (2) 最大接線風速 (V_{Rm})
- (3) 最大接線風速半径 (R_m)
- (4) 最大気圧低下量 (ΔP_{max})
- (5) 最大気圧低下率 (dp/dt)_{max}

(1)~(5) の各特性値については設定に足る十分な信頼性を有した観測記録等がないことから、解説 3.4.2.2 及び 3.4.2.3 に示す方法で各特性値を設定した。

解説 3.4.2.2 設計竜巻の特性値の設定に係る基本的な考え方

評価ガイドに基づき、ランキン渦モデルを仮定して竜巻特性値を設定した。ランキン渦では、高さ方向によって風速及び気圧が変化しない平面的な流れ場を仮定している。

解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定

評価ガイドに基づき設定した。

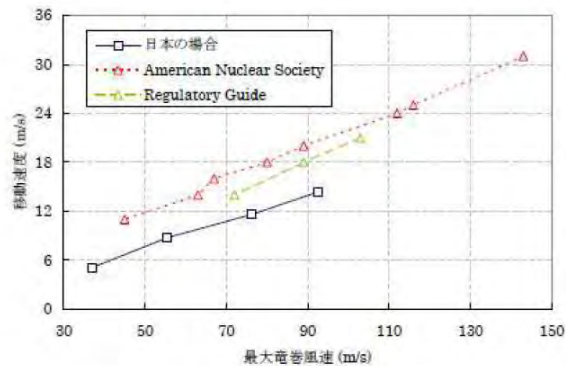
(1) 設計竜巻の移動速度(V_T)の設定

設計竜巻の移動速度(V_T)は、以下の算定式を用いて算定した。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

ここで、 V_D (m/s)は設計竜巻の最大風速を表す。(3.1)式は、解説図 3.6 に示される日本の竜巻の観測記録に基づいた竜巻移動速度と最大風速との関係^(*)を参考として設定したものである。解説図 3.6 をみると、青線で示す日本の竜巻による移動速度は、米国 NRC の基準類等^(*)による移動速度と比べて、同じ最大竜巻風速に対して小さい。解説図 3.6 に示される日本の竜巻に対する移動速度は、藤田スケールに基づいた区分 (F3、F2 及び F2~F3、F1 及び F1~F2、F0 及び F0~F1) ごとの平均値であるが、日本で発生する竜巻を個別にみれば、スーパーセルに伴って発生する竜巻等、米国の竜巻に比べて移動速度が速いものも存在すると考えられる。

本ガイドでは、設計竜巻の最大速度(V_D)が一定の場合、移動速度が遅い方が、最大気圧低下量(ΔP_{max})が大きくなる(3.2)式、(3.4)式)ことを考慮して、スーパーセルに伴って発生する竜巻等の移動速度が速い竜巻の特性は採用せずに、観測記録の平均値に基づいた解説図 3.6 の日本の竜巻における移動速度と最大竜巻風速の関係に基づく(3.1)式を採用することにした。



解説図 3.6 竜巻の移動速度と最大風速の関係^(*)

(2) 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})の設定

設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})は、米国 NRC の基準類^(*)を参考として、以下の算定式を用いて V_{Rm} を算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad \dots (3.2)$$

ここで、 V_D (m/s)及び V_T (m/s)は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

(2) 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})の設定

設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})は、以下の算定式を用いて算定した。

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

ここで、 V_D (m/s) 及び V_T (m/s) は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所 3号機竜巻影響評価結果
<p>(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)の設定 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)は、日本における竜巻の観測記録をもとに提案された竜巻モデル^(※3)に準拠して以下の値を用いる。</p> $R_m = 30 \text{ (m)} \quad \dots \quad (3.3)$ <p>(4) 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})の設定 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})は、米国 NRC の基準類^(※4)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量(ΔP_{max})を設定する。</p> $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2 \quad \dots \quad (3.4)$ <p>ここで、ρ 及び V_{Rm} は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。</p> <p>(5) 設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)の設定 設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)は、米国 NRC の基準類^(※4)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量 (ΔP_{max})及び最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)を設定する。</p> $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max} \quad \dots \quad (3.5)$ <p>ここで、V_T 及び R_m は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。</p>	<p>(3) 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)の設定 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径(R_m)は、以下の値を用いた。</p> $R_m = 30 \text{ (m)}$ <p>(4) 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})の設定 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})は、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定した。</p> $\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$ <p>ここで、ρ 及び V_{Rm} は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。</p> <p>(5) 設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)の設定 設計竜巻の最大気圧低下率($(dp/dt)_{max}$)は、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて設定した。</p> $(dp/dt)_{max} = (V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}$ <p>ここで、V_T 及び R_m は、それぞれ設計竜巻の移動速度及び最大接線風速が生じる位置での半径を表す。</p> <p>評価ガイド 3.4 に従い、泊発電所の設計竜巻の最大風速 (V_D) は、92m/s とした。 なお、竜巻影響評価にあたっては、設計竜巻の最大風速 (V_D) を、$V_D=100\text{m/s}$ とした。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>4. 施設的设计</p> <p>4.1 概要</p> <p>設置許可段階の安全審査において以下を確認する。</p> <p>①設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）が適切に設定されていること。 ただし、設置許可段階においては、その基本的な種類や値等が適切に設定されていることを確認する。（設計対象施設の各部位に作用させる設計荷重の詳細は、詳細設計段階において確認する）</p> <p>②設計荷重に対して、設計対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持される方針であること。</p> <p>4.2 設計対象施設</p> <p>「2.1 設計対象施設」に示したとおりとする。</p> <p>4.3 設計荷重の設定</p> <p>4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(1) 設計竜巻荷重」で示した「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定する。</p> <p>解説 4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.1 設計竜巻の最大風速による風圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.1.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)等に基づいて、設計竜巻によって設計対象施設に作用する風圧力を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.1.2 基本的な考え方</p> <p>(1) 風圧力の算定に用いる風力係数</p> <p>竜巻によって生じた被害状況と対応する最大風速は、一般的には、竜巻等の非定常な流れ場の気流性状を考慮した風力係数を用いるのではなく、いわゆる通常の強風等を対象とした風力係数を用いて、逆算により推定されることから、本ガイドにおける風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いることを基本とする。</p>	<p>4. 施設的设计</p> <p>4.1 概要</p> <p>評価ガイドに基づき以下を確認した。</p> <p>①設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組み合わせ荷重）が適切に設定されていること。</p> <p>②設計荷重に対して、評価対象施設の構造健全性等が維持されて安全機能が維持されること。</p> <p>4.2 評価対象施設</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.1 評価対象施設」に示した評価対象施設を抽出した。</p> <p>4.3 設計荷重の設定</p> <p>4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.2.2 評価対象施設に作用する荷重」の「(1) 設計竜巻荷重」で示した「風圧力」、「気圧差による圧力」及び「飛来物の衝撃荷重」について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重を設定した。</p> <p>解説 4.3.1 設計竜巻荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.1 設計竜巻の最大風速による風圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.1.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)等に基づいて、設計竜巻によって評価対象施設に作用する風圧力を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.1.2 基本的な考え方</p> <p>(1) 風圧力の算定に用いる風力係数</p> <p>本評価における風圧力の算定には、通常の強風等を対象とした風力係数を用いた。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力</p> <p>竜巻による最大風速は、一般的には、竜巻によって生じた被害状況と対応する水平方向の風速として算定される。しかしながら、実際の竜巻によって生じた被害は、少なからず鉛直方向の風速の影響も受けていると考えられる。</p> <p>よって、本ガイドでは、設計竜巻の水平方向の最大風速(V_D)には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなす。</p> <p>ただし、鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる設計対象施設が存在する場合は、V_Dを入力値とした竜巻の数値解析結果等から推定される鉛直方向の最大風速等に基づいて算定した鉛直方向の風圧力を考慮した設計を行う。</p> <p>解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)による風圧力(P_D)の算定について以下に示す。</p> <p>設計竜巻の水平方向の最大風速によって設計対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力(P_D)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準用して、下式により算定する。</p> <p>なお、(4.2)式の V_D は最大瞬間風速であり、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」の最大風速と定義が異なることに留意する。</p> $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad \dots (4.1)$ <p>ここで、q は設計用速度圧、G はガスト影響係数、C は風力係数、A は施設の受圧面積を表し、q は下式による。</p> $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad \dots (4.2)$ <p>ここで、ρ は空気密度、V_D は設計竜巻の最大風速である。</p> <p>(4.1)式に示すように、風圧力(P_D)は、(4.2)式で求められる設計用速度圧(q)に、ガスト影響係数(G)、風力係数(C)及び施設の受圧面積(A)を乗じて算定する。</p> <p>ガスト影響係数 G は、風の乱れによる建築物の風方向振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における建築物の最大変位と平均変位の比で定義される。本ガイドの最大竜巻風速(V_D)は、最大瞬間風速として扱うことから $G=1.0$ を基本とする。</p> <p>風力係数(C)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説(2004)」等を参考として、施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて適切に設定する。</p>	<p>(2) 設計竜巻による鉛直方向の風圧力</p> <p>本評価では、設計竜巻の水平方向の最大風速(V_D)には、鉛直方向の風速の影響も基本的には含まれているとみなした。</p> <p>解説 4.3.1.1.3 設計竜巻による風圧力の設定</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)による風圧力(P_D)の算定について以下に示す。</p> <p>設計竜巻の水平方向の最大風速によって評価対象施設（屋根を含む）に作用する風圧力(P_D)は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会建築物荷重指針・同解説(2004)」等を準用して、下式により算定した。</p> $P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A \quad \dots (4.1)$ <p>ここで、q は設計用速度圧、G はガスト影響係数 (1.0)、C は風力係数、A は施設の受圧面積を表し、q は下式による。</p> $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2 \quad \dots (4.2)$ <p>ここで、ρ は空気密度、V_D は設計竜巻の最大風速である。</p>

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>解説 4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる設計対象施設内外の気圧差による圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.2.1 概要 前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(ΔP_{max})及び最大気圧低下率(dP/dt)_{max}に基づいて設計対象施設に作用する気圧差による圧力を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方 設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量及び最大気圧低下率によって設計対象施設に作用する圧力を算定する際の基本的な考え方を以下に示す。なお、以下の考え方は、米国 NRC 基準類^(*)12)を参考としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・完全に開かれた構築物等の施設が竜巻に曝されたとき、施設の内圧と外圧は竜巻通過中に急速に等しくなる。したがって、施設の内外の気圧の変化はゼロに近づくとみなせる。 ・閉じた施設（通気がない施設）では、施設内部の圧力は竜巻通過以前と以後で等しいとみなせる。他方、施設の外側の圧力は竜巻の通過中に変化し、施設内外に圧力差を生じさせる。この圧力差により、閉じた施設の隔壁（構築物等の屋根・壁及びタンクの頂部・胴部等）に外向きに作用する圧力が生じるとみなせる。 ・部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については、竜巻通過中の気圧変化により施設に作用する圧力は複雑な過程により決定される。また、部分的に閉じた設計対象施設への圧力値・分布の精緻な設定が困難な場合は、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるように作用する圧力を設定することとする。 <p>解説 4.3.1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定 気圧差による圧力を作用させる対象は、原子力発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定する。</p> <p>(1) 建屋・構築物等 建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の施設については、気圧差による圧力の影響について検討を行い、当該施設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こととする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋・構築物等の開口部に設置された窓、扉、シャッター等 ・外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁等（天井等） <p>(2) 設備 設備の主要な部材に気圧差による圧力を作用させることは当然であるが、気圧差による</p>	<p>解説 4.3.1.2 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力の設定</p> <p>解説 4.3.1.2.1 概要 前記において設定した設計竜巻による最大気圧低下量(ΔP_{max})及び最大気圧低下率(dP/dt)_{max}に基づいて評価対象施設に作用する気圧差による圧力を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.2.2 基本的な考え方 設計竜巻によって引き起こされる最大気圧低下量によって評価対象施設に作用する圧力を算定する際には、閉じた施設を想定した。</p> <p>解説 4.3.1.2.3 気圧差による圧力を作用させる施設の設定 気圧差による圧力を作用させる対象は、泊発電所の図面等を参照して十分に検討した上で設定した。</p> <p>(1) 建屋・構築物等 建屋・構築物等の主要な部材（壁、屋根等）、開口部及び外気と隔離されているとみなせる区画の隔壁について、圧力の影響について検討を行い、当該施設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った。</p> <p>(2) 設備 気圧差による圧力の影響を受けることが想定される以下の設備について、気圧差による圧力の影響を評価し、安全機能維持に影響を与えないことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等） ・圧力差の影響を受け得る計器類

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>圧力の影響を受けることが容易に想定される以下の設備については、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こととする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・外気と隔離されているとみなせる区画の境界部（空調系ダクト類等） ・圧力差の影響を受け得る計器類や空調装置等 <p>解説 4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が設計対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.3.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値等に基づいて、設計飛来物を選定あるいは設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定する。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で設計対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による設計対象施設への衝撃荷重を設定する。</p> <p>解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方</p> <p>竜巻等の突風による被害は、風圧力によって引き起こされるだけでなく、飛来物による被害もかなりの部分を占める。また、竜巻による飛来物は上昇気流の影響もあって比較的遠方まで運ばれる可能性がある。これらの事項に留意して、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を選定あるいは設定する。</p> <p>一般的には、遠方からの飛来物は相対的に重量が軽いものが多く、仮に衝突した場合でも衝撃荷重は相対的に小さいと考えられることから、設計対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、原子力発電所の敷地内を原則とする。ただし、原子力発電所の敷地外からの飛来物による衝撃荷重が、原子力発電所の敷地内からの飛来物による衝撃荷重を上回ると想定され得る場合は、原子力発電所の敷地外からの飛来物も考慮する。</p> <p>また、設計飛来物として、最低限以下の①～③を選定あるいは設定することとする。なお、以下の①～③の設定にあたっては、米国 NRC の基準類^(*)を参考とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①大きな運動エネルギーをもつ飛来物（自動車等） ②施設の貫入抵抗を確認するための固い飛来物（鉄骨部材等） ③開口部等を通過することができる程度に小さくて固い飛来物（砂利等） <p>解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定</p> <p>(1) 基本的な考え方</p> <p>設計飛来物に設定する速度は、設計竜巻によって飛来した際の最大速度とする。設計飛来物の最大水平速度(MV_{Hmax})は、非定常な乱流場を数值的に解析できる計算手法等による計算結果等に基づいて設定することを基本とする。ただし、安全側の設計になるように、設計竜巻の最大風速(V_D)を設計飛来物の最大水平速度として設定してもよい。</p>	<p>解説 4.3.1.3 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定</p> <p>解説 4.3.1.3.1 概要</p> <p>設計竜巻の最大風速(V_D)及び特性値等に基づいて、設計飛来物を設定し、それら設計飛来物の飛来速度を設定した。そして、設計飛来物が設定した飛来速度で評価対象施設に衝突することを想定して、飛来物の衝突による評価対象施設への衝撃荷重を設定した。</p> <p>解説 4.3.1.3.2 基本的な考え方</p> <p>評価対象施設に到達する可能性がある飛来物について検討を行った上で、設計飛来物を設定した。評価対象施設に到達する可能性がある飛来物を検討する範囲は、泊発電所の敷地内とした。</p> <p>解説 4.3.1.3.3 設計飛来物の速度の設定</p> <p>(1) 基本的な考え方</p> <p>(2) 設計飛来物の設定例</p> <p>設計飛来物は、泊発電所における調査結果に基づき設定した。設計飛来物の最大速度は、解説表 4. 1 の最大速度とした。</p>

設計飛来物の最大鉛直速度(MV_{Vmax})は、最大水平速度と同様に計算等により求めても良いし、米国 NRC の基準類^(*)を参考に設定した下式により算定してもよい。

$$MV_{Vmax} = (2/3) \cdot MV_{Hmax} \quad \dots \quad (4.3)$$

ここで、 MV_{Hmax} は、設計飛来物の最大水平速度を表す。

(2) 設計飛来物の設定例

設計飛来物の選定あるいは設定、並びに設計飛来物の最大速度を設定する際の参考として、解説表 4.1 に飛来物及びその最大速度の設定例を示す。解説表 4.1 の棒状物、板状物及び塊状物の最大水平速度(MV_{Hmax})は、設計竜巻の最大風速(V_D)=100(m/s)とした条件下で解析的に算定した結果^(*)である。また、解説表 4.1 の最大鉛直速度(MV_{Vmax})は、米国 NRC の基準類^(*)を参考として設定した(4.3)式を用いて算定した結果である。

なお、解説表 4.1 に示した飛来物よりも小さな開口部を飛来物が通過することの影響等を確認する場合は、さらに小さな飛来物を設定する必要がある。

解説表 4.1 飛来物及び最大速度の設定例 ($V_D=100(m/s)$ の場合)

飛来物の種類	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
サイズ (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度 MV_{Hmax} (m/s)	49	57	30	60	34
最大鉛直速度 MV_{Vmax} (m/s)	33	38	20	40	23

解説 4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が設計対象施設に衝突する方向は、安全側の設計になるように設定する。

設計飛来物が到達する範囲について解析結果等から想定される場合は、その技術的根拠を示した上で設計飛来物が到達しない範囲を設定することができる。

各設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物の形状及び剛性等の機械的特性を適切に設定した衝撃解析等の計算結果に基づいて設定するか、あるいは、安全側の設計となるように配慮して設計飛来物を剛体と仮定して設定してもよい。

解説 4.3.1.3.4 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲及び衝撃荷重の設定

設計飛来物が評価対象施設に衝突する方向は、安全側の評価になるように設定した。

設計飛来物の評価においては、設計飛来物を剛体と仮定した。

原子力発電所の竜巻影響評価ガイド	泊発電所3号機竜巻影響評価結果
<p>解説 4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ</p> <p>設計対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重(W_w)、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)を組み合わせ合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は、米国 NRC の基準類 (※12)を参考として設定した下式により算定する。</p> $W_{T1} = W_p \quad \dots \quad (4.4)$ $W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \quad \dots \quad (4.5)$ <p>ここで、(4.4)式及び(4.5)式の各変数は下記のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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：設計竜巻による気圧差による荷重 W_M：設計飛来物による衝撃荷重 <p>なお、設計対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。</p> <p>4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定</p> <p>「2.2.2 設計対象施設に作用する荷重」の「(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。</p>	<p>解説 4.3.1.4 設計竜巻荷重の組み合わせ</p> <p>評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重(W_w)、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)を組み合わせ合わせた複合荷重とし、複合荷重 W_{T1} 及び W_{T2} は、下式により算定した。</p> $W_{T1} = W_p \quad \dots \quad (4.4)$ $W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M \quad \dots \quad (4.5)$ <p>ここで、(4.4) 式及び(4.5) 式の各変数は下記のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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：設計竜巻による気圧差による荷重 W_M：設計飛来物による衝撃荷重 <p>なお、評価対象施設には W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させた。</p> <p>4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定</p> <p>評価ガイドに基づき、「2.2.2 評価対象施設に作用する荷重」の「(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重」に示した各荷重について、それぞれ技術的見地等から妥当な荷重として設定し、設計竜巻荷重と組み合わせる。</p>