

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 05 <u>R 4</u>
提出年月日	令和 <u>4</u> 年 <u>1</u> 月 <u>26</u> 日

## 設工認に係る補足説明資料

### 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する 構造強度評価における評価対象部位の選定について

1. 文章中の下線部は、R 3 から R 4 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R 4）は、令和3年8月18日に提示した「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する構造強度評価における評価対象部位の選定について R 3」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である考慮する荷重の整理、ケーブルトレイへの影響説明及び評価対象部位選定結果の明確化を踏まえた記載の見直し並びに記載内容の適正化を図ったものである。

## 目 次

1. 概要	1
2. 評価対象部位の選定方法について	1
3. 荷重の組合せについて	1
4. 評価対象部位の選定結果	4
5. 参考文献	4

別紙-1 安全冷却水B冷却塔の構造強度評価対象部位選定結果

## 1. 概要

本資料は、再処理施設に対する第1回設工認申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下の添付書類に示す竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-5-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書」

本資料では、竜巻防護対象施設に設計竜巻を作用させた構造強度評価における評価対象部位の選定方法を示す。

なお、本資料で示す評価対象部位の選定方法については、今回申請対象以外の再処理施設に係る竜巻防護対象施設に対しても適用するものである。

## 2. 評価対象部位の選定方法について

竜巻防護対象施設の評価対象部位は、設備の構造を考慮し、設計竜巻荷重（風圧力による荷重、気圧差による荷重、飛来物による衝撃荷重）が作用する部位を選定する。

選定した部位に対し、考慮すべき荷重を組み合わせ、強度評価を行う。  
荷重の組合せについては3項のとおりとする。

## 3. 荷重の組合せについて

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は、添付書類「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定しており、それらを「(1) 荷重の種類」に示す。また、評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は、添付書類「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて定めており、それらを「(2) 荷重の組合せ」に示す。

### (1) 荷重の種類

#### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重は、添付書類「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している常時作用する荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重及び積載荷重とする。

#### b. 設計竜巻荷重

竜巻による荷重は、添付書類「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に従い、設計竜巻の以下の特性値を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を第3-1表に示す。

- ・竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \times V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>))

- ・竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

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

- ・竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \times V_D$$

$V_D$  (m/s) : 設計竜巻の最大風速

第3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	8,900

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数(G)は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定)を参照して、 $G=1.0$ とする。空気密度( $\rho$ )は「建築物荷重指針・同解説(2015改定)」より $\rho=1.22$  kg/m<sup>3</sup>とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧(q)は施設の形状によらず  $q=6,100$  N/m<sup>2</sup>と設定する。

(b) 気圧差による荷重

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻防護対象施設を収納する建屋の壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設(通気がない施設)については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設（通気がある施設等）については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )は空気密度及び最大接線風速から、 $\Delta P_{max} = 8.900N/m^2$ とする。

### (c) 飛来物による衝撃荷重

飛来物による衝撃荷重は、添付書類「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に従い、設計飛来物である鋼製材及び鋼製パイプのうち、運動エネルギー及び貫通力が大きい鋼製材にて飛来物の衝撃荷重を、算出する。飛来物防護ネットを設置する竜巻防護対象施設は、鋼製パイプを通過させないために網目 40mm の補助防護ネットを設置していることから、鋼製パイプの衝撃荷重は考慮しない。

また、防護ネットの網目 40mm を通過し得る飛来物として砂利のような極小飛来物が考えられる。しかし、砂利のような極小飛来物の衝突時間は極めて短く、また質量差もあることから、竜巻防護対象施設に有意な変形を生じさせることはないため、衝突による貫通影響評価を実施する。極小飛来物の衝突評価として、網目 40mm と同サイズの砂利を想定する。

鋼製材が衝突した場合において、影響が大きくなる向きで評価対象施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においても、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

但し、衝撃荷重は瞬間的に作用するものであり、建物に対する鋼製材の衝突のように、飛来物に対し質量が十分に大きい施設の変形評価においては、全体的な変形を直接もたらす荷重としての影響は軽微であると考えられる。一方で、鉄骨構造物の個々の構造部材（柱、はり）に損傷をもたらすことは考えられるため、飛来物に対し質量が十分に大きな鉄骨構造物の変形評価においては、評価モデルに一部の構造部材の損傷を仮定し、 $W_w$  及び  $W_p$  と組み合わせる形で考慮する。

飛来物の寸法、質量及び飛来速度を第 3-2 表に示す。設計飛来物の飛来速度については、事業(変更)許可を受けたとおり設定する。その他の飛来物として、防護ネットを通過する砂利については、解析コード「TONBOS」を用いて算出した速度を飛来速度として設定する。

なお、評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証及び妥当性

確認等の概要については、「V-4 計算機プログラム（解析コード）  
の概要・TONBOS」に示す。

第3-2表 飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材	砂利
寸法 (m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	<u>0.04×0.04×0.04</u>
質量 (kg)	135	<u>0.18</u>
最大水平速度 (m/s)	51	<u>62</u>
最大鉛直速度 (m/s)	34	<u>42</u>

c. 運転時荷重

運転時荷重は、運転時の状態で作用する荷重として、配管等にかかる内圧等を運転時荷重とする。

d. 積雪荷重

積雪荷重は、添付書類「VI-1-1-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「2.2.1(3)b. 竜巻荷重と積雪荷重の組合せ」に示すとおり、六ヶ所村統計書における観測記録上の極値190cmに、「建築基準法施行令」第八十二条に定める建築基準法の多雪区域における積雪荷重と地震荷重の組合せを適用して、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

評価対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_w$ )、気圧差による荷重 ( $W_p$ ) 及び設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重とし、下式より算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

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る。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。

4. 評価対象部位の選定結果

評価対象部位の選定結果を別紙にて示す。

5. 参考文献

- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発  
第 13061911 号 原子力規制委員会決定
- ・建築物荷重指針・同解説（2015 改定）日本建築学会
- ・六ヶ所村統計書
- ・建築基準法施行令
- ・青森県建築基準法施行細則（昭和 36 年 2 月 9 日青森県規則第 20 号）

# 別紙

■については、商業機密の観点から公開できません。

## 外竜巻05 【竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する構造強度評価における評価対象部位の選定について】

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔の構造強度評価対象部位選定結果	1/26	1	
別紙-2				
別紙-3				
別紙-4				
別紙-5				
別紙-6				
別紙-7				
別紙-8				
別紙-9				
別紙-10				
別紙-11				
別紙-12				
別紙-13				
別紙-14				
別紙-15				

令和 4 年 1 月 26 日 R1

## 別紙- 1

# 安全冷却水B冷却塔の構造強度評価対象部位 選定結果

## 目次

1.	概要	1
2.	評価対象設備について	1
2.1	<u>安全冷却水B冷却塔</u>	<u>1</u>
3.	評価対象機器の選定について	4
3.1	荷重の組合せ	<u>4</u>
4.	評価対象部位の選定結果	5
4.1	支持架構	5
4.2	<u>支持架構搭載機器</u>	5
4.3	配管	<u>13</u>
5.	評価対象部位の選定結果一覧	<u>14</u>
6.	参考文献	<u>14</u>

参考-1 安全冷却水B冷却塔のその他附属部位の竜巻評価について

## 1. 概要

本資料は、安全冷却水 B 冷却塔について、設計竜巻を作用させた構造強度評価における評価対象部位の選定方法を示す。

## 2. 評価対象設備について

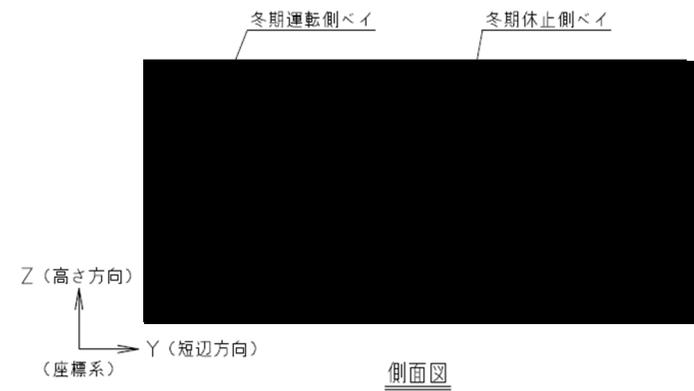
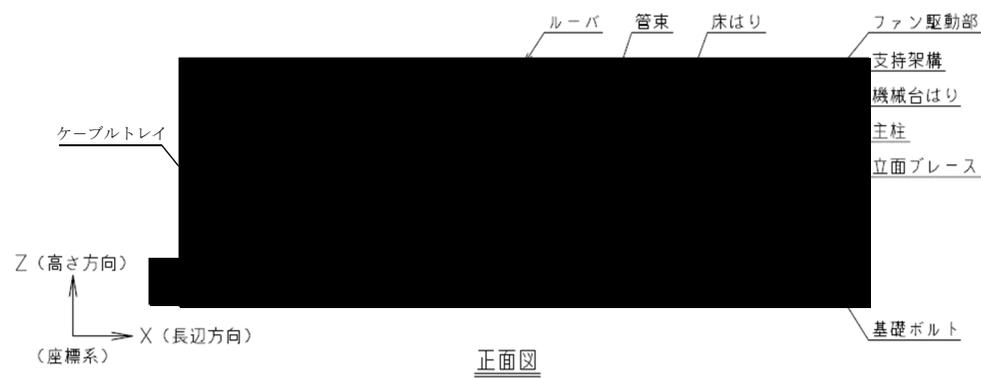
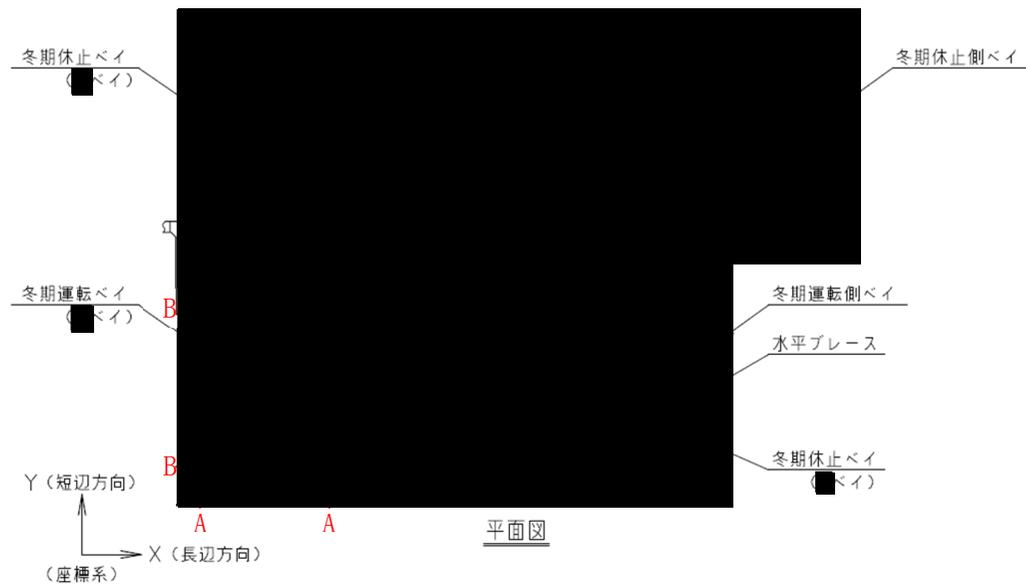
### 2.1 安全冷却水 B 冷却塔

#### (1) 安全冷却水 B 冷却塔の機能について

安全冷却水 B 冷却塔は、再処理施設内の各施設を冷却した後の冷却水を、空気と熱交換することで冷却するための設備である。そのため、安全冷却水 B 冷却塔は崩壊熱により溶液が沸騰するおそれのある機器の崩壊熱を除去するための冷却能力を有しており、その冷却機能の維持に必要な機器として、支持架構、ファン駆動部、管束及び配管により構成される。

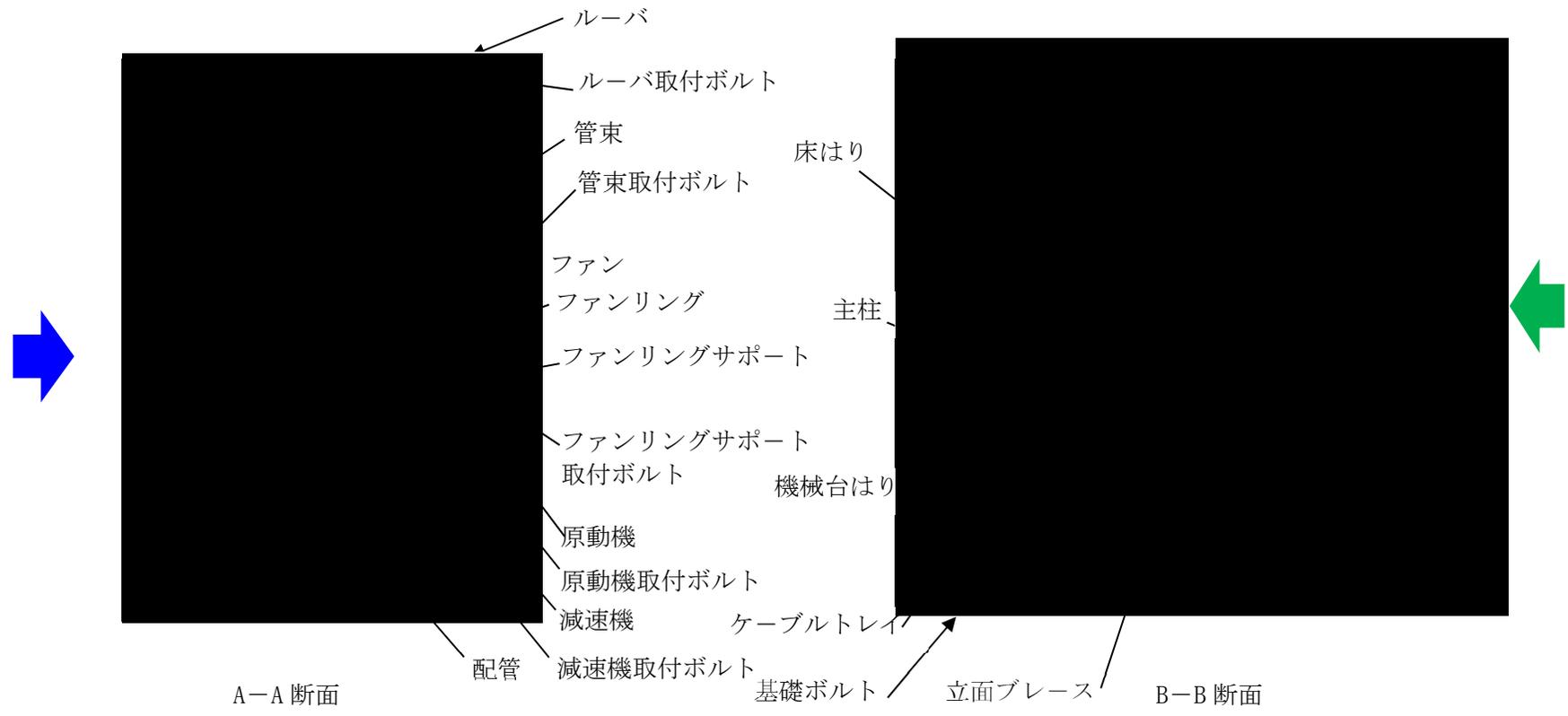
#### (2) 安全冷却水 B 冷却塔の構造について

安全冷却水 B 冷却塔の概要図を第 2-1 図に示す。また、第 2-1 図に示した A-A、B-B 断面について第 2-2 図に示す。



第2-1図 安全冷却水 B 冷却塔 概要図

-  竜巻風の作用方向 (NS 方向)
-  竜巻風の作用方向 (EW 方向)



第 2-2 図 安全冷却水 B 冷却塔 断面概要図

3. 評価対象機器の選定について

安全冷却水 B 冷却塔の評価対象機器は

が作用する機器から、冷却能力への影響を踏まえて選定する。選定結果を第 3-1 表に示す。

選定した機器に対しては組合せ荷重を入力し強度評価を行う。

なお、冷却機能へ寄与が無い冷却塔のその他付属機器についても、機器ごとに影響がないことを確認している。(参考-1 参照)

第 3-1 表 評価対象機器の選定結果

機器	選定結果	選定理由
ルーバ	×	評価対象外とする。
管束	○	評価対象とする。
ファン駆動部	○	評価対象とする。
支持架構	○	評価対象とする。
遮熱板	○	評価対象とする。
配管	○	評価対象とする。

< 凡例 > ○ : 評価対象, × : 評価対象外

3.1 荷重の組合せ

安全冷却水 B 冷却塔に関しては、

の組合せとする。なお、運転時荷重としてにより発生する荷重とする。

評価対象施設の評価項目ごとの組合せについて第3-2表に示す。

第3-2表 評価対象施設の評価項目ごとの荷重の組合せ

評価対象施設 の分類	施設 名称	評価 項目	荷重の種類				
			風圧力に よる荷重	気圧差に よる荷重	飛来物に よる衝撃 荷重	積雪荷重	常時作用 する荷重
屋外の 竜巻防 護対象 施設	安全冷 却水B 冷却塔	構 造 強 度					
	配管	構 造 強 度					

○：考慮する荷重を示す。

注1： [REDACTED]

注2： [REDACTED]

注3： [REDACTED]

注4： [REDACTED]

注5： [REDACTED]

#### 4. 評価対象部位の選定結果

##### 4.1 支持架構

支持架構は、 [REDACTED]

[REDACTED] により構成されている。支持架構は [REDACTED]

[REDACTED] を評価対

象とする。

##### 4.2 支持架構搭載機器

支持架構搭載機器の評価対象部位は [REDACTED]

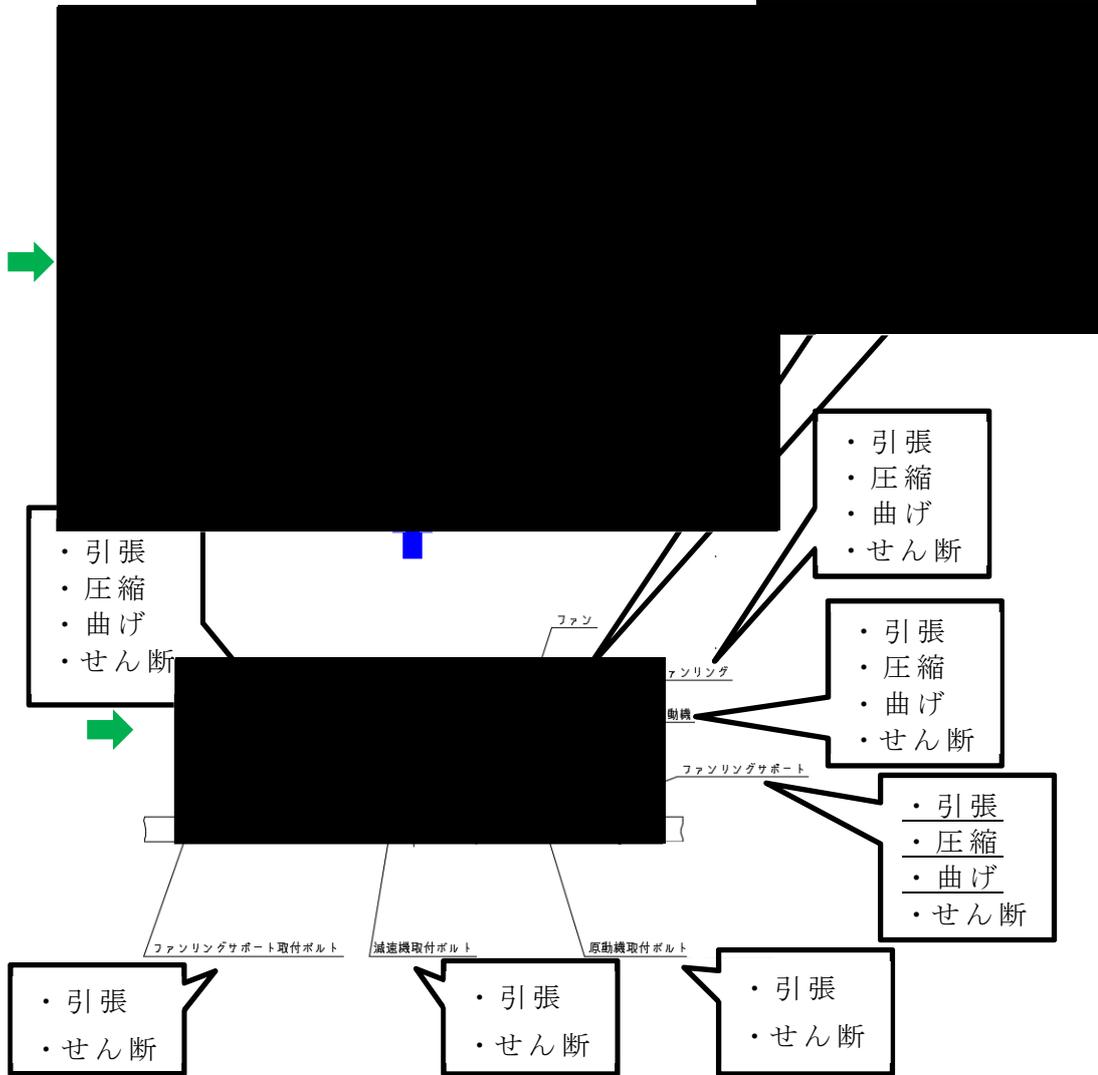
[REDACTED] を選定する。

###### (1) ファン駆動部

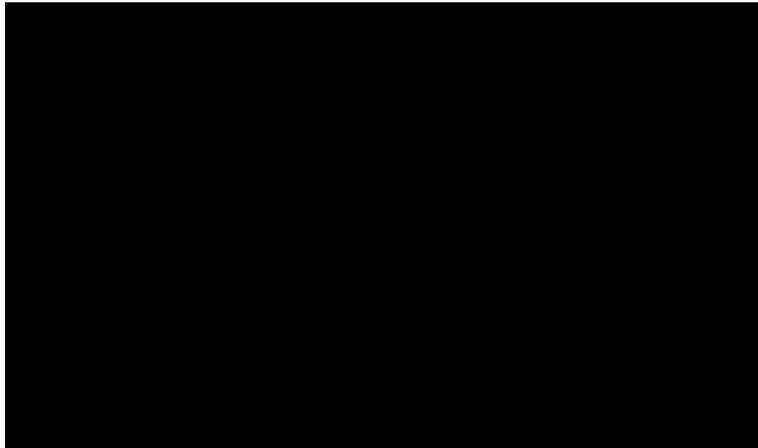
ファン駆動部構造図を第4-1図に示す。ファン駆動部下部の状況を第

4-2図に示す。

- ➡ 竜巻風の作用方向（NS 方向）   
 ⇨ 荷重伝達経路（NS 方向）
- ➡ 竜巻風の作用方向（EW 方向）   
 ⇨ 荷重伝達経路（EW 方向）



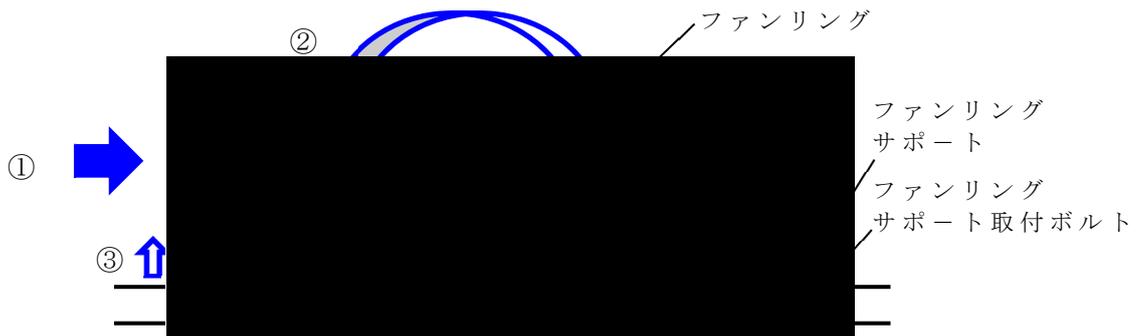
第4-1図 ファン駆動部構造図



第4-2図 ファン駆動部下部の状況

a. ファンリング, ファンリングサポート

ファンリング及びファンリングサポートの評価対象部位の選定について、第4-3図に示す。



第4-3図 ファンリング, ファンリングサポート評価モデル

- ① [Redacted]
  - ② [Redacted]
  - ③ [Redacted]
  - ④ [Redacted]
- [Redacted] ファンリングサポート取付ボルトを評価対象とする。



c. ケーブル

ケーブルトレイには、

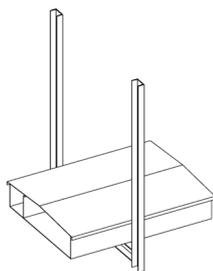
が作用する。ケーブルは

詳細な設計内容は当社の設計管理の中で扱う。以下に、ケーブルトレイの設計方針を示す。ケーブルトレイの鳥瞰図を第 4-5 図に示す。

ケーブルトレイ本体及び支持構造物については、サポートの標準支持間隔において、設計竜巻を作用させて強度評価を実施する。

なお、サポートの標準支持間隔は耐震設計における標準支持間隔法から決定される。

また、砂利による衝撃荷重に対してケーブルトレイは、補足説明資料「外竜巻 20 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する砂利等の極小飛来物による竜巻防護対象施設への影響について」に示す、貫通限界厚さ 1.0mm 以上の板厚を有していることから、砂利の衝突による影響は受けない。



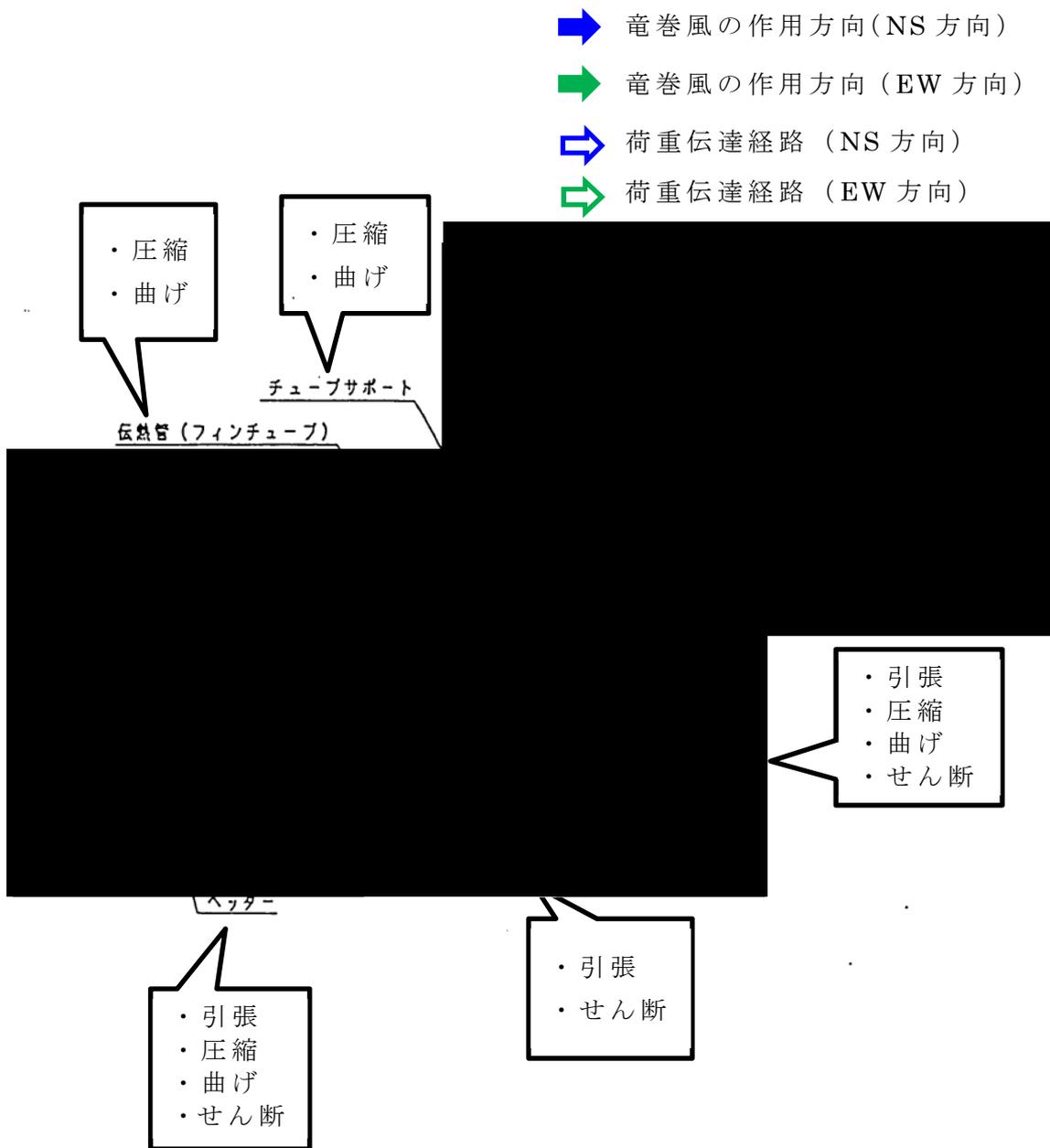
第 4-5 図 ケーブルトレイ鳥瞰図

以上より、ファン駆動部の評価対象部位の選定理由を第 4-4 表に示す。



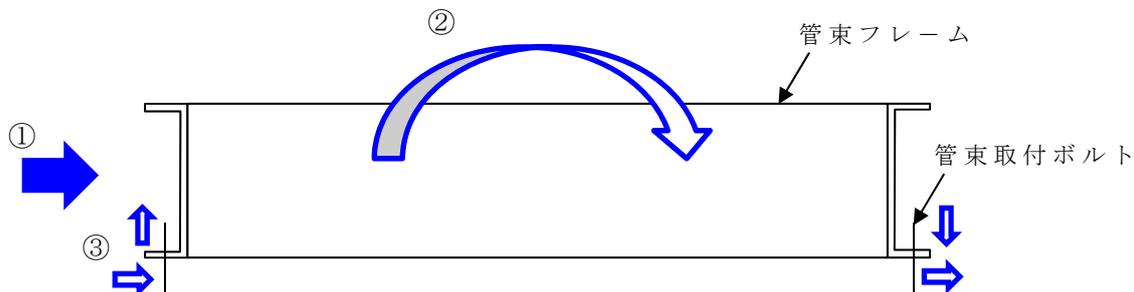
(2) 管束

管束構造図を第4-6図に示す。



第4-6図 管束構造図

管束の評価対象部位の選定について、第4-7図に示す。



第4-7図 管束評価モデル

- ① [Redacted]
  - ② [Redacted]
  - ③ [Redacted]
  - ④ [Redacted]
- [Redacted] 管束取付ボルトを  
評価対象とする。

第4-5表 管束の許容荷重

	応力の種類	許容荷重
管束取付ボルト	引張	■
	せん断	■ kN
管束フレーム	せん断	■ kN

以上より、管束の評価対象部位の選定理由を第4-6表に示す。

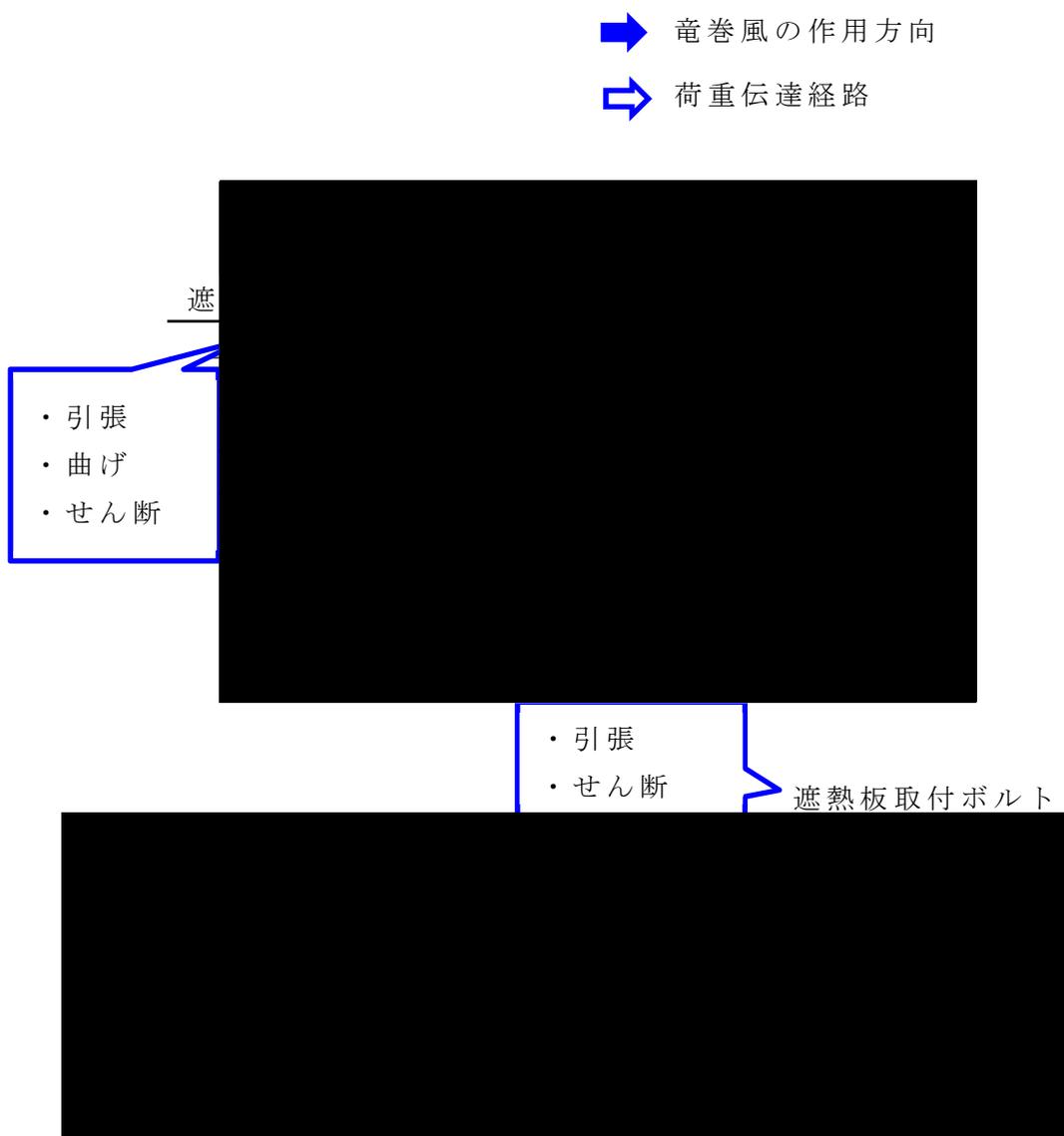
表4-6表 管束の評価対象部位の選定結果

部位	選定結果	選定理由
管束フレーム	×	[Redacted]
チューブサポート	×	[Redacted]
伝熱管	×	[Redacted]
ヘッダー	×	[Redacted] 管束取付ボルトを
管束取付ボルト	○	評価対象とする。

<凡例> ○：評価対象， ×：評価対象外

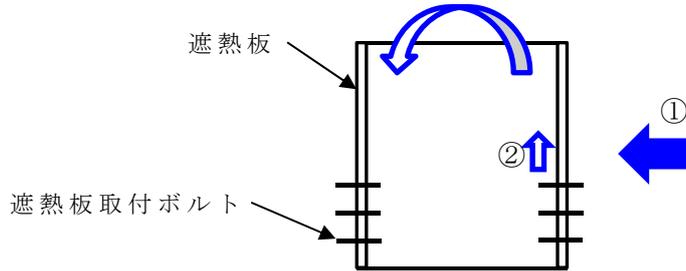
(3) 遮熱板

遮熱板構造図を第4-8図に示す。



第4-8図 遮熱板構造図

遮熱板の評価対象部位の選定について、第4-9図に示す。



第4-9図 遮熱板評価モデル

- ① [Redacted]
- ② [Redacted]
- ③ [Redacted]
- ④ [Redacted] 遮熱板取付ボルトを評価対象とする。

第4-7表 遮熱板の許容荷重

	応力の種類	許容荷重
遮熱板	曲げ	[Redacted] kN
遮熱板取付ボルト	引張	[Redacted] kN
	せん断	[Redacted] kN

以上より、遮熱板の評価対象部位の選定理由を第4-8表に示す。

表4-8表 遮熱板の評価対象部位の選定結果

部位	選定結果	選定理由
遮熱板	×	[Redacted]
遮熱板取付ボルト	○	[Redacted] 遮熱板取付ボルトを評価対象とする。

<凡例> ○：評価対象， ×：評価対象外

(4) 配管

配管に設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重が生じるため、評価対象とする。

なお、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べて大きく、配管の評価に包絡される。支持構造物については、地震に対して耐荷重設計を行っており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合で

も、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対する支持構造物の設計は耐震設計に包絡される。

5. 評価対象部位の選定結果一覧

安全冷却水 B 冷却塔における評価対象部位の選定結果一覧を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 安全冷却水 B 冷却塔評価対象部位の選定結果

機器		部位	応力の種類
支持架構		主柱	引張 圧縮
		床はり，機械台はり	せん断 曲げ
		水平ブレース，立面ブレース	組合せ（引張+曲げ） 組合せ（圧縮+曲げ）
		基礎ボルト	引張 せん断
支持架構 搭載 機器	ファン駆動部	ファンリングサポート取付ボルト	引張 せん断
		減速機取付ボルト	引張 せん断
		原動機取付ボルト	引張 せん断
		ケーブルトレイ	一次応力 （曲げ応力を含む）
	管束	管束取付ボルト	引張 せん断
	遮熱板	遮熱板取付ボルト	引張 せん断
	配管	配管本体	一次応力 （曲げ応力を含む）

6. 参考文献

- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド 平成 25 年 6 月 19 日 原規技発 第 13061911 号 原子力規制委員会決定
- ・建築物荷重指針・同解説（2015 改定）日本建築学会
- ・建築基準法施行令
- ・青森県建築基準法施行細則（昭和 36 年 2 月 9 日青森県規則第 20 号）

参考－1

安全冷却水B冷却塔のその他付属機器の竜巻評価について

## 目 次

1. 安全冷却水B冷却塔のその他付属機器の竜巻評価について……………1

1. 安全冷却水B冷却塔のその他付属機器の竜巻評価について

安全冷却水B冷却塔の冷却機能へ寄与が無いその他付属機器について、冷却能力に影響を及ぼし得る機器に該当するか確認した。

第1-1表に竜巻影響評価の結果を示す。

なお、これらは重量や寸法の大きいものを選定しており、その他のPHSアンテナのような軽量の機器は冷却能力に影響を及ぼすおそれがないことから、記載していない。

第1-1表 安全冷却水B冷却塔のその他付属機器の竜巻評価結果

No.	機器	対応
1	側部ルーバ	■■■■■■■■■■ 構造健全性に問題ないことを確認している。
2	ファンガード	■■■■■■■■■■ ■■■■ 風の影響は受けにくい。
3	上部プレナム (デッキプレート)	■■■■■■■■■■ 構造健全性に問題ないことを確認している。
4	歩廊	■■■■■■■■■■ ■■■■ 構造健全性に問題ないことを確認している。
5	盤 (照明、スペース ヒータ)	■■■■■■■■■■ 構造健全性に問題ないことを確認している。
6	照明	■■■■■■■■■■ 冷却能力に悪影響を与えないことを確認している。