

三原燃第23-0631号

2024年2月28日

原子力規制委員会 殿

茨城県那珂郡東海村大字舟石川622番地1

三菱原子燃料株式会社

代表取締役社長 大和矢 秀成

安全性向上評価届出書

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第二十二條の七の二第1項の規定に基づき、安全性の向上のための評価を実施しましたので、同法第二十二條の七の二第3項及び核燃料物質の加工の事業に関する規則第九條の三の三の規定により下記のとおり届け出ます。

記

- 一 評価の結果、評価に係る調査及び分析並びに評定の方法  
別紙のとおり
- 二 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名  
名 称 三菱原子燃料株式会社  
住 所 茨城県那珂郡東海村大字舟石川622番地1  
代表者の氏名 代表取締役社長 大和矢 秀成
- 三 安全性向上評価に係る加工施設の名称及び所在地  
名 称 三菱原子燃料株式会社  
所 在 地 茨城県那珂郡東海村大字舟石川622番地1

## 別 紙

本届出書は、定期事業者検査の終了時点である2023年8月18日時点の状態を対象とした、三菱原子燃料株式会社の安全性の向上のための評価結果を取りまとめたものである。

## 目次

1. 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲の評価時点における施設の状態
  - 1.1 施設概要
    - 1.1.1 設置等の経緯
    - 1.1.2 施設の概要
    - 1.1.3 生産実績
    - 1.1.4 施設に係る組織
  - 1.2 敷地特性
    - 1.2.1 敷地
    - 1.2.2 気象
    - 1.2.3 地盤
    - 1.2.4 水理
    - 1.2.5 地震
    - 1.2.6 洪水、津波及び高潮
    - 1.2.7 火山
    - 1.2.8 竜巻
    - 1.2.9 生物
    - 1.2.10 外部火災
    - 1.2.11 社会環境
  - 1.3 構築物、系統及び機器
    - 1.3.1 加工施設の位置、構造及び設備
      - 1.3.1.1 加工施設の位置
      - 1.3.1.2 加工施設の一般構造
      - 1.3.1.3 加工設備本体の構造及び設備
      - 1.3.1.4 核燃料物質の貯蔵施設の構造及び設備
      - 1.3.1.5 放射性廃棄物の廃棄施設の構造及び設備
      - 1.3.1.6 放射線管理施設の構造及び設備
      - 1.3.1.7 その他加工設備の附属施設の構造及び設備
    - 1.3.2 加工の方法
      - 1.3.2.1 加工の方法の概要
      - 1.3.2.2 加工工程図
      - 1.3.2.3 加工工程における核燃料物質収支図
    - 1.3.3 設計基準文書(DBD)
  - 1.4 安全上重要な施設の要否の確認

- 1.5 保安のための管理体制及び管理事項
    - 1.5.1 加工施設での保安の考え方
    - 1.5.2 品質マネジメントシステム
    - 1.5.3 保安管理体制
    - 1.5.4 教育・訓練
    - 1.5.5 加工施設の操作
    - 1.5.6 放射線管理
    - 1.5.7 施設管理
      - 1.5.7.1 施設管理計画
      - 1.5.7.2 設計及び工事管理
      - 1.5.7.3 事業者検査
      - 1.5.7.4 計器及び放射線測定器の校正
      - 1.5.7.5 計画停電時等の措置
      - 1.5.7.6 加工施設の経年変化に関する技術的な評価及び長期施設管理方針
    - 1.5.8 核燃料物質の管理
    - 1.5.9 放射性廃棄物及び放射性廃棄物でない廃棄物の管理
    - 1.5.10 非常時の措置
    - 1.5.11 設計想定事象に係る加工施設の保全に関する措置
    - 1.5.12 重大事故に至るおそれがある事故・大規模損壊に係る加工施設の保全に関する措置
    - 1.5.13 六ふっ化ウラン漏えい事故のリスクを低減させるための措置
    - 1.5.14 定期評価
    - 1.5.15 記録及び報告
  - 1.6 法令への適合性の確認のための安全性評価結果
    - 1.6.1 周辺監視区域の外における実効線量の算定の条件及び結果
    - 1.6.2 設計基準事故の評価
    - 1.6.3 重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故
  - 1.7 加工施設の安全設計
- 2. 安全性の向上のために自主的に講じた措置
    - 2.1 安全性の向上に向けた継続的取組の方針
      - 2.1.1 企業理念、保安品質方針及び施設管理方針
      - 2.1.2 安全性向上評価の目的及び目標
      - 2.1.3 安全性向上評価の流れ、作業概要、実施体制及びプロセス
      - 2.1.4 Configuration Management System(CM)の概要
    - 2.2 調査等
      - 2.2.1 保安活動の実施状況
        - 2.2.1.1 品質保証活動
        - 2.2.1.2 運転管理

- 2.2.1.3 施設管理
  - (1) 保全の結果の確認・評価
  - (2) 保全の有効性評価
  - (3) 施設管理の有効性評価
  - (4) 設計及び工事管理
  - (5) 定期事業者検査
  - (6) 計器及び放射線測定器の校正
  - (7) 計画停電時の措置
  - (8) 加工施設の経年変化に関する技術的な評価及び長期施設管理方針
- 2.2.1.4 核燃料物質の管理
  - (1) 核燃料物質の管理の状況
- 2.2.1.5 放射線管理及び環境モニタリング
  - (1) 従業員放射線被ばく線量の推移と評価
  - (2) 周辺監視区域境界の線量測定値の推移と評価
- 2.2.1.6 放射性廃棄物管理
  - (1) 施設外への放射性物質放出量(気体、液体)の推移と評価
  - (2) 固体廃棄物の保管量の推移と評価
- 2.2.1.7 事故・故障等発生時の対応及び緊急時の措置
  - (1) 事故・故障等発生時の対応
  - (2) 緊急時の措置
  - (3) 防災訓練の実施状況
- 2.2.1.8 事故・故障等の経験反映状況
  - (1) 主なトラブルと是正処置／予防処置の実施状況
  - (2) グレードⅡの不適合管理について
  - (3) 是正処置／予防処置の評価
- 2.2.1.9 安全文化の育成維持活動
- 2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見
  - (1) ウラン加工施設の安全性を確保する上で重要な設備に関して、より一層の安全性の向上を図るための安全に係る研究等
  - (2) 国内外の原子力施設の設備の操作経験から得られた教訓
  - (3) 国内外の基準
  - (4) 国際機関、国内外の学会等の情報
- 2.2.3 ウラン加工施設の現状を詳細に把握するための調査
- 2.3 安全性向上計画
  - 2.3.1 保安活動から抽出された追加措置
  - 2.3.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見から抽出された追加措置

- 2.4 追加措置の内容
  - 2.4.1 構築物、系統及び機器における追加措置
  - 2.4.2 体制における追加措置
- 2.5 外部評価の結果
- 3. 安全性の向上のために自主的に講じた措置の調査、分析及び評価
  - 3.1 安全性向上に係る活動の実施状況の評価
    - 3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価
      - 3.1.1.1 内部事象に係る評価
      - 3.1.1.2 外部事象に係る評価(自然事象)
      - 3.1.1.3 外部事象に係る評価(人為事象)
      - 3.1.1.4 航空機落下に係る確認
    - 3.1.2 決定論的安全評価
      - 3.1.2.1 決定論的安全評価の見直し要否
      - 3.1.2.2 確認結果
  - 3.2 安全性向上に係る活動の実施状況に関する中長期的な評価
    - 3.2.1 評価の実施について
    - 3.2.2 評価実施予定について
- 4. 総合的な評定
  - 4.1 評定結果
    - 4.1.1 第1章まとめ
    - 4.1.2 第2章まとめ
    - 4.1.3 第3章まとめ
  - 4.2 安全性向上計画
    - 4.2.1 安全性向上のための具体的な措置に係る実施状況
    - 4.2.2 安全性向上のための具体的な措置に係る実施計画
    - 4.2.3 まとめ

## 参考資料

- 参考資料 1.3.1.2 基本設計方針
- 参考資料 1.3.3.1-1 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.1-2 インターロック作動検査 検査確認資料
- 参考資料 1.3.3.2 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.3 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.4-1 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.4-2 インターロック作動検査 検査確認資料
- 参考資料 1.3.3.5-1 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.5-2 インターロック作動検査 検査確認資料
- 参考資料 1.3.3.6-1 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.6-2 インターロック作動検査 検査確認資料
- 参考資料 1.3.3.7-1 設工認仕様表及び設工認図面
- 参考資料 1.3.3.7-2 インターロック作動検査 検査確認資料
- 参考資料 1.5 保安規定 添付図及び別表
- 参考資料 2.2.1.3-1 設備技術課 2022年度 定期点検年間計画・実績表
- 参考資料 2.2.1.3-2 設備技術課 2023年度 定期点検年間計画・実績表
- 参考資料 2.2.1.3-3 新規制基準対応工事に係る設計・開発レビュー依頼票一覧
- 参考資料 2.2.1.3-4 施設管理実施計画
- 参考資料 2.2.1.3-5 安全管理課 2023年度 定期点検年間計画・実績表
- 参考資料 2.3.1 2015年から2022年における自主評価での追加措置

本書類の記載内容のうち、□内の記載事項は、商業機密又は核不拡散に係る情報に属する  
ものであり、公開できません。



## 1. 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲の評価時点における施設の状態

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）第22条の7の2第2項第1号及び核燃料物質の加工の事業に関する規則（加工規則）第9条の3の5第1号イ及びロの規定に基づき、調査をし、及び分析をし、並びにこれらの調査及び分析の結果を考慮して、総合的な評価をすることの対象範囲を明確にする。

### 1.1 施設概要

ウラン加工施設の概要（設置の経緯、施設の概要、生産実績、施設に係る組織等）について記載する。

#### 1.1.1 設置等の経緯

当社は昭和47年1月に加工事業許可を取得以降、加工事業変更許可やこれらの許可に基づく設計及び工事の方法の認可又は設計及び工事の計画（以下「設工認」という。）申請等の必要な措置を行い、加工施設の改造、更新及び新設等を実施してきた。

加工事業（変更）許可の経緯を第1.1.1-1表に示す。

また、新規規制基準に対応した加工事業許可に基づく設工認申請を1次（平成29年11月30日）から7次（令和4年7月12日）にわたり実施し、補正申請及び軽微変更についても実施した。この新規規制基準に基づく設工認申請の経緯を第1.1.1-2表に示す。

保安規定の経緯は、「1.5章 保安のための管理体制及び管理事項」の第1.5-1表「保安規定の改訂履歴」に経緯を示す。

第 1.1.1-1 表 加工事業(変更)許可の経緯(1/2)

許可年月日	主な内容及び許可番号
昭和 47 年 1 月 11 日	許可番号：46 原第 9438 号 加工事業許可取得 転換：1ton-UO <sub>2</sub> /日 成型：280ton-U/年
昭和 47 年 10 月 14 日	許可番号：47 原第 7768 号 転換及び成型加工の処理能力増強 転換：1.5ton-UO <sub>2</sub> /日 成型：420ton-U/年
昭和 48 年 7 月 11 日	許可番号：48 原第 6236 号 UF <sub>6</sub> シリンダ及び燃料集合体等の貯蔵能力増強
昭和 49 年 8 月 20 日	許可番号：49 原第 6958 号 汚染機材保管倉庫の新設 UF <sub>6</sub> シリンダ、ウラン粉末及び UO <sub>2</sub> ペレット等の貯蔵能力の増強
昭和 50 年 8 月 16 日	許可番号：50 原第 4270 号 第 1 廃棄物倉庫の新設
昭和 51 年 9 月 28 日	許可番号：51 安（核規）第 643 号 第 1 核燃料倉庫・分析室の新設 第 1 廃棄物処理所の新設 ウラン粉末等の処理能力の増強 燃料集合体組立加工の処理能力の増強
昭和 52 年 8 月 31 日	許可番号：52 安（核規）第 1716 号 転換、被覆及び燃料集合体組立加工の処理能力の増強 転換：2ton-UO <sub>2</sub> /日 ウラン粉末及び燃料棒等の貯蔵能力の増強
昭和 54 年 5 月 19 日	許可番号：54 安（核規）第 107 号 UF <sub>6</sub> シリンダ貯蔵所の新設 UF <sub>6</sub> シリンダ及び燃料棒等の貯蔵能力の増強
昭和 57 年 3 月 5 日	許可番号：57 安（核規）第 54 号 第 2 核燃料倉庫新設 ウラン粉末及び燃料集合体の貯蔵能力の増強 転換加工の処理能力表示の変更 転換：450ton-U/年
昭和 58 年 8 月 30 日	許可番号：58 安（核規）第 568 号 原料貯蔵所の新設 シリンダ洗浄棟の新設 第 2 廃棄物処理所の新設 第 2 廃棄物倉庫（旧 UF <sub>6</sub> シリンダ貯蔵所）の新設

第 1.1.1-1 表 加工事業(変更)許可の経緯(2/2)

許可年月日	主な内容及び許可番号
昭和 60 年 2 月 28 日	許可番号：59 安（核規）第 731 号 劣化・天然ウラン倉庫の新設 第 3 廃棄物倉庫の新設 被覆加工の処理能力の増強
昭和 62 年 7 月 20 日	許可番号：62 安（核規）第 204 号 加工棟の新設 第 3 核燃料倉庫の新設 容器管理棟の新設
昭和 63 年 6 月 27 日	許可番号：62 安（核規）第 798 号 ブランケット燃料の加工等のため設備変更
平成元年 12 月 25 日	許可番号：元安（核規）第 737 号 再生濃縮ウラン加工（加工期間を限定）の追加
平成 4 年 12 月 18 日	許可番号：4 安（核規）第 512 号 再生濃縮ウラン加工量及び加工期間の変更 第 1 核燃料倉庫・分析室をウラン精製棟・分析室に変更
平成 6 年 10 月 6 日	許可番号：6 安（核規）第 576 号 取り扱う核燃料物質の受け入れ仕様の設定
平成 9 年 6 月 25 日	許可番号：9 安（核規）第 134 号 加工棟で取り扱うウラン最高濃縮度を 3.5%から 5%に変更 ウラン精製棟・分析室を除染室・分析室に変更
平成 12 年 12 月 27 日	許可番号：12 安（核規）第 991 号 転換加工に水蒸気による加水分解法の追加 連続焼結炉の熱的制限値の変更
平成 20 年 8 月 29 日	許可番号：平成 19・06・20 原第 1 号 水蒸気による加水分解法の取り止め ウラン溶液に係る熱的制限値の削除 ウラン回収設備の一部の撤去及び新設 原料貯蔵所に粉末貯蔵設備を新設 廃液処理設備の一部の撤去及び新設 廃棄物貯蔵設備の増設 転換試験設備の撤去
平成 29 年 11 月 1 日	許可番号：原規規発第 17-11011 号 新規制基準への適合 発電機室の新設 廃棄物管理棟の新設及び第 1 廃棄物倉庫等の撤去 前室の新設及び既設前室の管理強化 連続焼結炉の予備機等の撤去 加工の方法の一部変更

第 1.1.1-2 表 新規制基準に対応した加工事業許可に基づく設工認申請(1/3)

申請 回数	項目	認可(届出)年月日	主な内容及び認許番号
1 次	設工認申請	平成 29 年 11 月 30 日	廃棄物管理棟を新設する。
	第 1 回補正申請	平成 30 年 5 月 1 日	工場棟成型工場、工場棟組立工場、加工棟成型 工場の一部設備・機器等を撤去する。
	第 2 回補正申請	平成 30 年 6 月 4 日	
	認可	平成 30 年 6 月 19 日	原規規発第 18-06196 号
	第 1 回軽微変更	平成 31 年 3 月 8 日	記載の適正化
2 次	設工認申請	平成 30 年 6 月 25 日	加工棟成型工場の耐震補強等、加工棟成型工場 の成形施設、被覆施設及び核燃料物質の貯蔵施 設に設置する一部設備・機器の耐震補強等を行 う。
	第 1 回補正申請	平成 30 年 11 月 20 日	
	第 2 回補正申請	平成 31 年 4 月 2 日	
	第 3 回補正申請	令和 1 年 5 月 8 日	
	第 4 回補正申請	令和 1 年 6 月 25 日	
	第 5 回補正申請	令和 1 年 7 月 24 日	
	認可	令和 1 年 8 月 9 日	原規規発第 19-08096 号
	第 1 回軽微変更	令和 3 年 8 月 17 日	記載の適正化
	第 2 回軽微変更	令和 3 年 10 月 19 日	
	第 3 回軽微変更	令和 4 年 5 月 24 日	
	第 4 回軽微変更	令和 4 年 7 月 12 日	
3 次	設工認申請	平成 31 年 2 月 20 日	工場棟転換工場の新規制基準対応工事に先立 ち、不要となった一部設備・機器を撤去する。 また、工事のために一時的に取り外しが必要な 設備・機器の取り外し、一時保管等を行い、床 面の掘削、土留め型枠設置工事を行う。
	第 1 回補正申請	平成 31 年 3 月 19 日	
	第 2 回補正申請	平成 31 年 3 月 28 日	
	認可	平成 31 年 4 月 11 日	原規規発第 19-04115 号
4 次	設工認申請	平成 31 年 3 月 19 日	工場棟転換工場、工場棟成型工場、工場棟組立 工場、放射線管理棟、付属建物除染室・分析室、 付属建物第 2 核燃料倉庫、付属建物容器管理 棟、付属建物放射線管理棟前室及びそれらに設 置する付属の設備・機器の耐震補強等を行う。 工場棟転換工場及び放射線管理棟に設置する 放射性廃棄物の廃棄施設の新設並びに付属建 物廃水処理所及び付属建物廃水処理所に設置 する設備・機器の撤去等を行う。
	第 1 回補正申請	令和 1 年 10 月 23 日	
	第 2 回補正申請	令和 1 年 11 月 13 日	
	第 3 回補正申請	令和 2 年 1 月 16 日	
	第 4 回補正申請	令和 2 年 2 月 21 日	
	第 5 回補正申請	令和 2 年 3 月 13 日	
	認可	令和 2 年 3 月 27 日	原規規発第 20-03279 号
	第 1 回軽微変更	令和 2 年 3 月 31 日	記載の適正化
	第 2 回軽微変更	令和 3 年 8 月 23 日	
	第 3 回軽微変更	令和 3 年 10 月 19 日	
	第 4 回軽微変更	令和 3 年 12 月 6 日	
	第 5 回軽微変更	令和 4 年 5 月 24 日	
第 6 回軽微変更	令和 4 年 7 月 12 日		

第 1. 1. 1-2 表 新規制基準に対応した加工事業許可に基づく設工認申請(2/3)

申請 回数	項目	認可(届出)年月日	主な内容及び認許番号
5 次	設工認申請	令和 2 年 1 月 21 日	付属建物発電機室とその建物内に設置する付属の設備・機器の新設、改造等を行う。
	第 1 回補正申請	令和 2 年 4 月 6 日	工場棟転換工場、工場棟成型工場、工場棟組立工場、放射線管理棟、付属建物除染室・分析室、付属建物第 2 核燃料倉庫、付属建物原料貯蔵所及び付属建物廃棄物管理棟に設置する一部設備・機器の新設、改造、撤去等を行う。
	第 2 回補正申請	令和 2 年 5 月 29 日	
	第 3 回補正申請	令和 2 年 7 月 13 日	
	第 4 回補正申請	令和 2 年 7 月 27 日	
	第 5 回補正申請	令和 2 年 7 月 30 日	
	認可	令和 2 年 8 月 5 日	原規規発第 20-08051 号
	第 1 回軽微変更	令和 3 年 8 月 17 日	記載の適正化
	第 2 回軽微変更	令和 3 年 10 月 19 日	
	第 3 回軽微変更	令和 4 年 5 月 24 日	
第 4 回軽微変更	令和 4 年 7 月 12 日		
6 次	設工認申請	令和 2 年 8 月 3 日	工場棟転換工場、工場棟成型工場、工場棟組立工場、加工棟成型工場、放射線管理棟、付属建物除染室・分析室、付属建物第 2 核燃料倉庫、付属建物容器管理棟及び屋外に設置する設備・機器の新設、改造、撤去等を行う。
	第 1 回補正申請	令和 2 年 10 月 30 日	
	第 2 回補正申請	令和 3 年 1 月 8 日	
	第 3 回補正申請	令和 3 年 2 月 4 日	
	第 4 回補正申請	令和 3 年 2 月 15 日	付属建物原料貯蔵所、付属建物第 1 廃棄物処理所、付属建物第 2 廃棄物処理所、付属建物シリンダ洗浄棟、付属建物第 3 廃棄物倉庫及び付属建物第 1 廃棄物処理所前室とそれらの建物内に設置する設備・機器の新設、改造等を行う。 付属施設独立遮蔽壁(1)～(4)、付属建物容器管理棟独立遮蔽壁(5)、付属施設防護フェンス及び付属設備水素供給設備障壁を新設する。 先行申請していた建物・構築物に係る一部の鉄扉の新設及び機能・性能の確認、先行申請していた設備・機器に係る一部の機能・性能等の確認を行う。
	認可	令和 3 年 2 月 25 日	原規規発第 21-02254 号
	第 1 回軽微変更	令和 3 年 8 月 23 日	記載の適正化
	第 2 回軽微変更	令和 3 年 10 月 19 日	
	第 3 回軽微変更	令和 3 年 12 月 6 日	
	第 4 回軽微変更	令和 4 年 5 月 24 日	
	第 5 回軽微変更	令和 4 年 7 月 12 日	

第 1. 1. 1-2 表 新規制基準に対応した加工事業許可に基づく設工認申請(3/3)

申請 回数	項目	認可(届出)年月日	主な内容及び認許番号
7 次	設工認申請	令和 3 年 2 月 22 日	<p>付属建物第 3 核燃料倉庫及び付属建物劣化・天然ウラン倉庫の改造等を行う。</p> <p>工場棟転換工場、工場棟成型工場、工場棟組立工場、加工棟成型工場、放射線管理棟、付属建物除染室・分析室、付属建物第 2 核燃料倉庫、付属建物第 3 核燃料倉庫、付属建物原料貯蔵所、付属建物劣化・天然ウラン倉庫、付属建物容器管理棟、付属建物第 1 廃棄物処理所、付属建物第 2 廃棄物処理所、付属建物シリンダ洗浄棟、付属建物廃棄物管理棟、付属建物発電機室、付属建物放射線管理棟前室、付属建物第 1 廃棄物処理所前室及び屋外に設置する設備・機器の新設、改造、撤去等を行う。</p> <p>排水貯留池、空シリンダ置場及び防火水槽の改造等を行う。先行申請していた建物・構築物及び設備・機器に係る一部の機能・性能等の確認を行う。</p>
	第 1 回補正申請	令和 3 年 4 月 16 日	
	第 2 回補正申請	令和 3 年 4 月 28 日	
	第 3 回補正申請	令和 3 年 5 月 21 日	
	認可	令和 3 年 6 月 1 日	原規規発第 21-06016 号
	第 1 回軽微変更	令和 3 年 8 月 17 日	記載の適正化
	第 2 回軽微変更	令和 3 年 10 月 19 日	
第 3 回軽微変更	令和 3 年 12 月 6 日		
第 4 回軽微変更	令和 4 年 5 月 24 日		
第 5 回軽微変更	令和 4 年 7 月 12 日		

## 1.1.2 施設の概要

### 1.1.2.1 加工施設の位置

当社の敷地面積は約 222,000m<sup>2</sup>である。この敷地は、茨城県那珂郡東海村の北西端及び茨城県那珂市の北東端に位置しており、敷地から東方の太平洋まで約 6km、北方の久慈川まで約 2.5km であり、海拔約 30m～32m の高さの台地である。また、平地で地耐力がほぼ均一な関東ローム層である。

### 1.1.2.2 加工施設の構成

当社は、加圧水型の原子力発電所で使用する燃料の加工を行っており、加工設備本体（化学処理施設、成形施設、被覆施設、組立施設）、核燃料物質の貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設、放射線管理施設及びその他附属施設（非常用設備、核燃料物質の検査設備及び計量設備等）の加工施設において加工をおこなっている。これらの加工施設は、工場棟（転換工場、成型工場、組立工場）、加工棟、放射線管理棟等に収納されている。

燃料の加工は、①化学処理施設において濃縮工場より規定のシリンダ（UF<sub>6</sub>シリンダ）に充填され送られてきた六ふっ化ウランを二酸化ウラン粉末に再転換、②成形施設において二酸化ウラン粉末を二酸化ウランペレットに成型加工、③被覆施設において二酸化ウランペレットを被覆管に挿入し、燃料棒に加工、④組立施設において、加圧水型原子力発電所で使用する燃料集合体に組み立てる方法により行っている。

加工施設において取り扱うことができる核燃料物質の種類は、濃縮度 5%以下の濃縮ウラン、天然ウラン、再生濃縮ウラン及び劣化ウランであり、加工設備本体の最大処理能力は、下表の通りである。

第 1.1.2.2-1 表 加工設備本体の最大処理能力

施設名	建物（設備）	最大処理能力 (ton-U/年)	
化学処理施設	工場棟（転換加工）	450	（合計）
	工場棟（ウラン回収）	25	475
成形施設	工場棟	420	（合計）
	加工棟	20	440
被覆施設	工場棟	563	（合計）
	加工棟	25	588
組立施設	工場棟	871	

### 1.1.3 生産実績

2013年度から2022年度までの過去10年間の生産実績を第1.1.3-1表に示す。

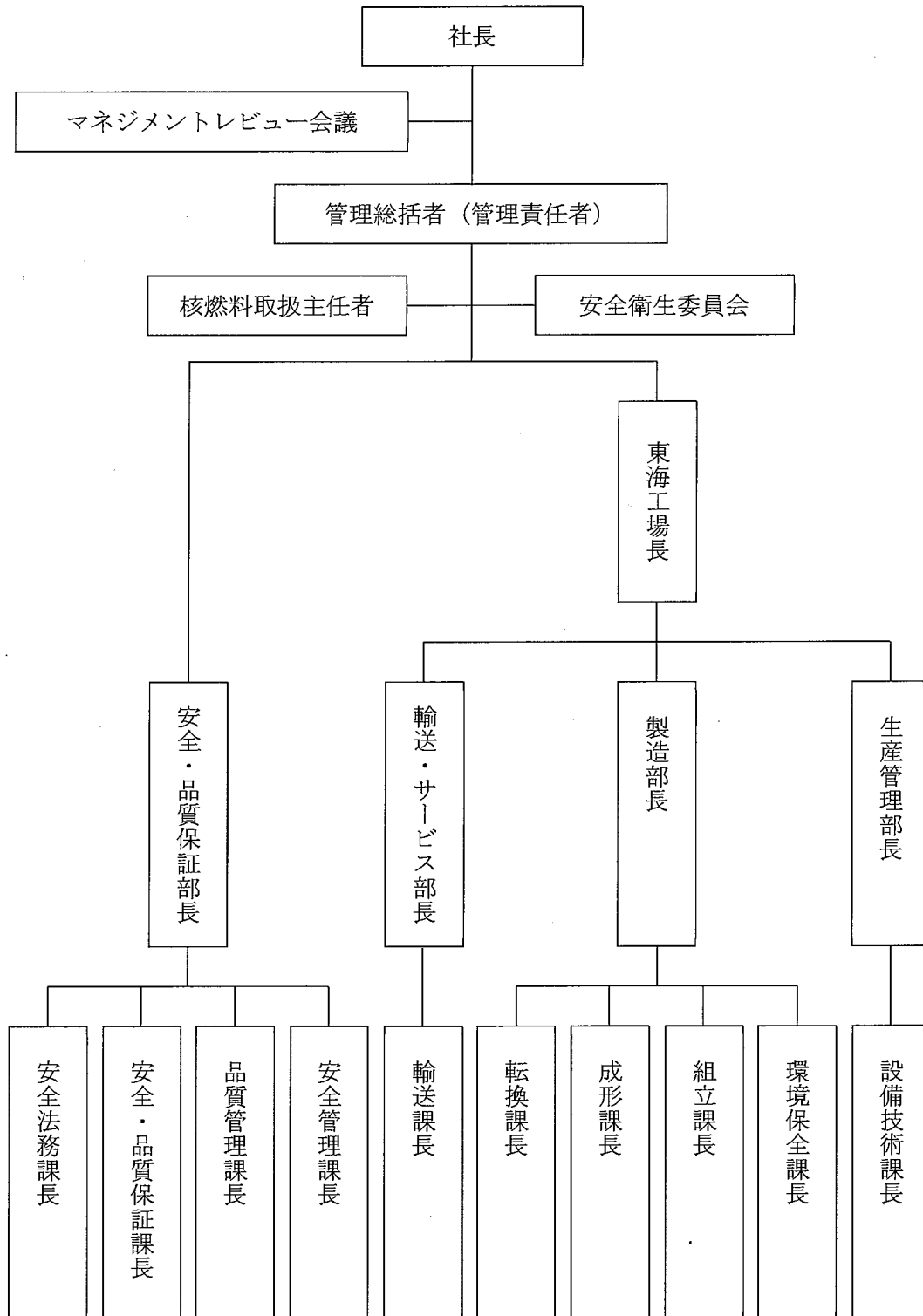
第1.1.3-1表 2013年度から2022年度までの過去10年間の生産実績

年度	生産した燃料集合体数
2013年度	136体
2014年度	0体
2015年度	0体
2016年度	0体
2017年度	231体
2018年度	189体
2019年度	0体
2020年度	0体
2021年度	0体
2022年度	84体



#### 1.1.4 施設に係る組織

設計及び工事並びに運転及び保守に係る保安に関する組織は、第 1.1.4-1 図に示す。



第 1.1.4-1 図 保安管理組織図

## 1.2 敷地特性

気象、地盤、水理、地震、津波、火山、外部火災、社会環境等、ウラン加工施設の所在地に係る特性を記載する。

### 1.2.1 敷地

#### 1.2.1.1 加工施設の位置

##### (1) 敷地の面積及び形状

当社の敷地面積は約 222,000 m<sup>2</sup>である。

この敷地は、茨城県那珂郡東海村の北西端及び茨城県那珂市の北東端に位置し、敷地南端の約 150m の進入道路を介して国道 6 号線に接している。

当社敷地の東側に MH I 原子力研究開発株式会社 (NDC)、また、敷地の西側に三菱マテリアル株式会社が隣接している。

敷地の近隣には、国道 6 号線及び JR 常磐線を隔てて東南約 5km に日本原子力発電株式会社、日本原子力研究開発機構等の原子力施設群がある。敷地から東方の太平洋まで約 6km、北方の久慈川まで約 2.5km である。

敷地は、海拔約 30m から約 32m の高さの台地である。また、敷地の北西約 0.75km に常磐自動車道がある。

##### (2) 敷地内における主要な加工施設の位置

加工施設の主要部は、転換工場、成型工場及び組立工場からなる工場棟である。

この工場棟には加工設備本体及び核燃料物質の貯蔵施設等の主要な加工施設が収納される。

この工場棟に放射線管理棟、除染室・分析室、第 2 核燃料倉庫及び容器管理棟が接続して設けられ、また工場棟の周囲に加工棟、原料貯蔵所、第 3 核燃料倉庫、劣化・天然ウラン倉庫、第 1 廃棄物処理所、第 2 廃棄物処理所、シリンダ洗浄棟、第 3 廃棄物倉庫、廃棄物管理棟、及び発電機室等が設置されている。

### 1.2.2 気象

加工施設が立地する茨城県那珂郡東海村地区は、関東地方東部の丘陵地帯に位置し、気候区分は太平洋側気候区に属している。

水戸気象台における1991年から2020年までの過去30年間の気象観測データ(第1.2.2-1表参照)によると、年平均気温は約14℃であり、夏期の月別平均の最高気温は約30℃、冬期の月別平均の最低気温は約-2℃である。また、降水量は年間約1,400mmである。11月頃から冬季にかけては大陸の高気圧の発達に伴って、乾燥した北西の季節風を受け、晴天日数が多くなるが、年間数日の積雪が観測されている。3月頃になると大陸の高気圧の勢力も衰え、日本海側に発生した低気圧の東進によって雨量が増加する。夏季は6~7月に梅雨期があり、7月下旬から8月末まで高温多湿な気候となる。また、東海村周辺の太平洋沖では、千島海流(親潮)と日本海流(黒潮)とが合流することで、春から初夏にかけてまれに霧が発生することがある。加工施設敷地内の観測機器の種類を第1.2.2-2表に、観測位置を第1.2.2-1図にそれぞれ示す。

気象庁ホームページの各種データ・資料によれば、水戸地方の台風等による最大風速は1961年10月10日の28.3m/秒であり、最大瞬間風速は1939年8月5日の44.2m/秒である。また、本施設から半径20kmの周辺地域で過去発生した竜巻は、藤田スケールでF1が最大であり、F1の最大風速は49m/秒である。

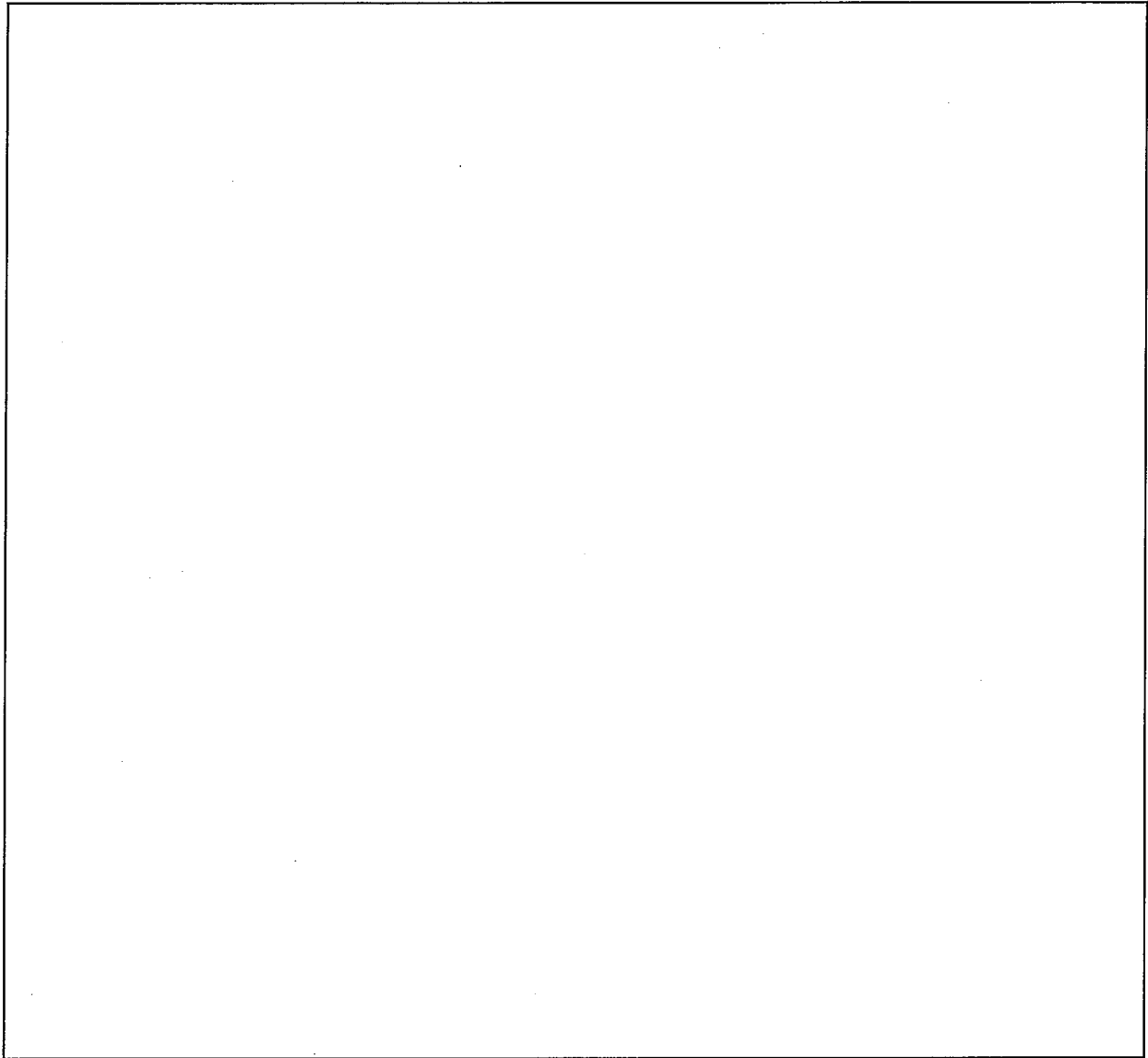
最高気温は1997年7月5日の38.4℃、最低気温は1952年2月5日の-12.7℃、1日の最大降雨量は1938年6月29日の276.6mm、1時間の最大降雨量は1947年9月15日の81.7mm、最深積雪量は1945年2月26日の32cmを各々記録している。

第 1.2.2-1 表 過去 30 年の月別平均気象観測データ (水戸気象台)

項目		1991～2020												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
気 温 (°C)	平均	3.3	4.1	7.4	12.3	17.0	20.3	24.2	25.6	22.1	16.6	10.8	5.6	14.1
	最高	9.2	9.8	13.0	17.8	22.0	24.5	28.5	30.0	26.4	21.2	16.3	11.4	19.2
	最低	-1.8	-1.2	2.1	7.0	12.5	17.0	21.0	22.2	18.6	12.5	5.9	0.5	9.7
最多風向		北北西	北北西	北北西	北	東北東	東	東	東北東	北北西	北北西	北北西	北北西	北北西
平均風速 (m/秒)		2.1	2.3	2.6	2.7	2.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.1	1.9	1.9	2.3
平均湿度 (%)		63	63	66	70	74	81	82	81	81	79	75	68	74
降水量 (mm)		54.5	53.8	102.8	116.7	144.5	135.7	141.8	116.9	186.3	185.4	79.7	49.6	1367.7
日照時間 (時間)		195.4	174.3	182.7	183.5	186.1	137.8	150.8	179.4	138.7	140.6	153.7	178.0	2000.8

第 1.2.2-2 表 観測機器の種類

項目	観測機器の種類	位置	地上高
気温	熱電対式温度計	転換工場東側	約 1.2m
降水量	転倒ます型雨量計	転換工場東側	約 0.5m
風向・風速	風車(プロペラ)ーパルス式 風向・風速計 (0.4m/秒～90m/秒)	放射線管理棟 屋上	約 15m



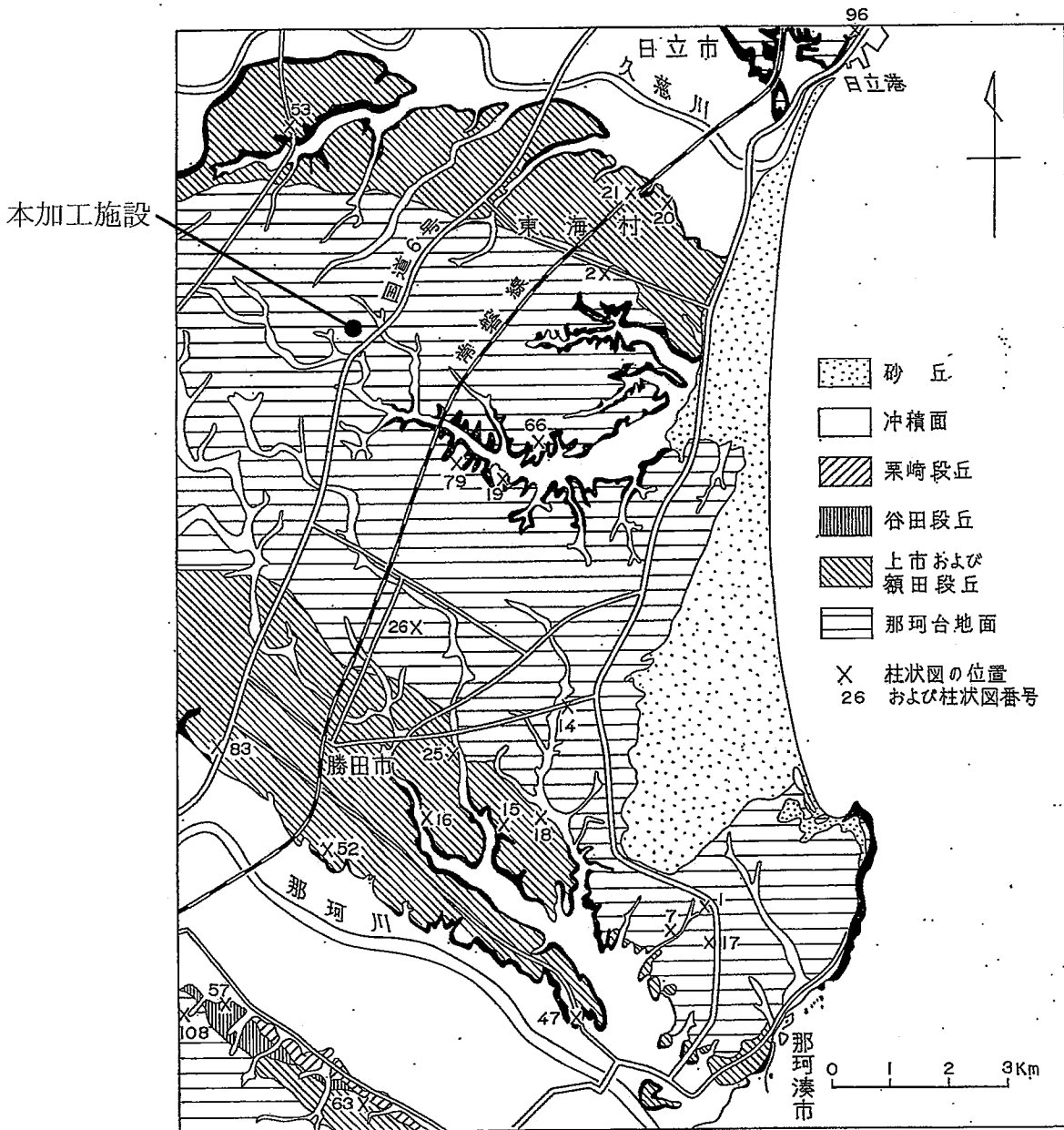
第 1.2.2-1 図 気象観測位置

### 1.2.3 地盤

加工施設は、茨城県那珂郡東海村の北西端及び茨城県那珂市の北東端に位置し、敷地から東方の太平洋まで約 6km、北方の久慈川まで約 2.5km である。加工施設の敷地是那珂台地上に位置しており、海拔約 30～32m の高さにある。那珂台地は、海拔 30m 前後の高さを持ち、北縁と東縁がそれぞれ約 15km、南西縁が約 20km の長さをもつ三角形の台地である。台地の北縁と南西縁には、久慈川と那珂川の河岸段丘が、約 2～3km の幅でつづく。台地の主部は、更新世後期の海成層（見和層上部）によって構成される隆起海岸平野である。第 1.2.3-1 図に茨城県の地形区分を示す。

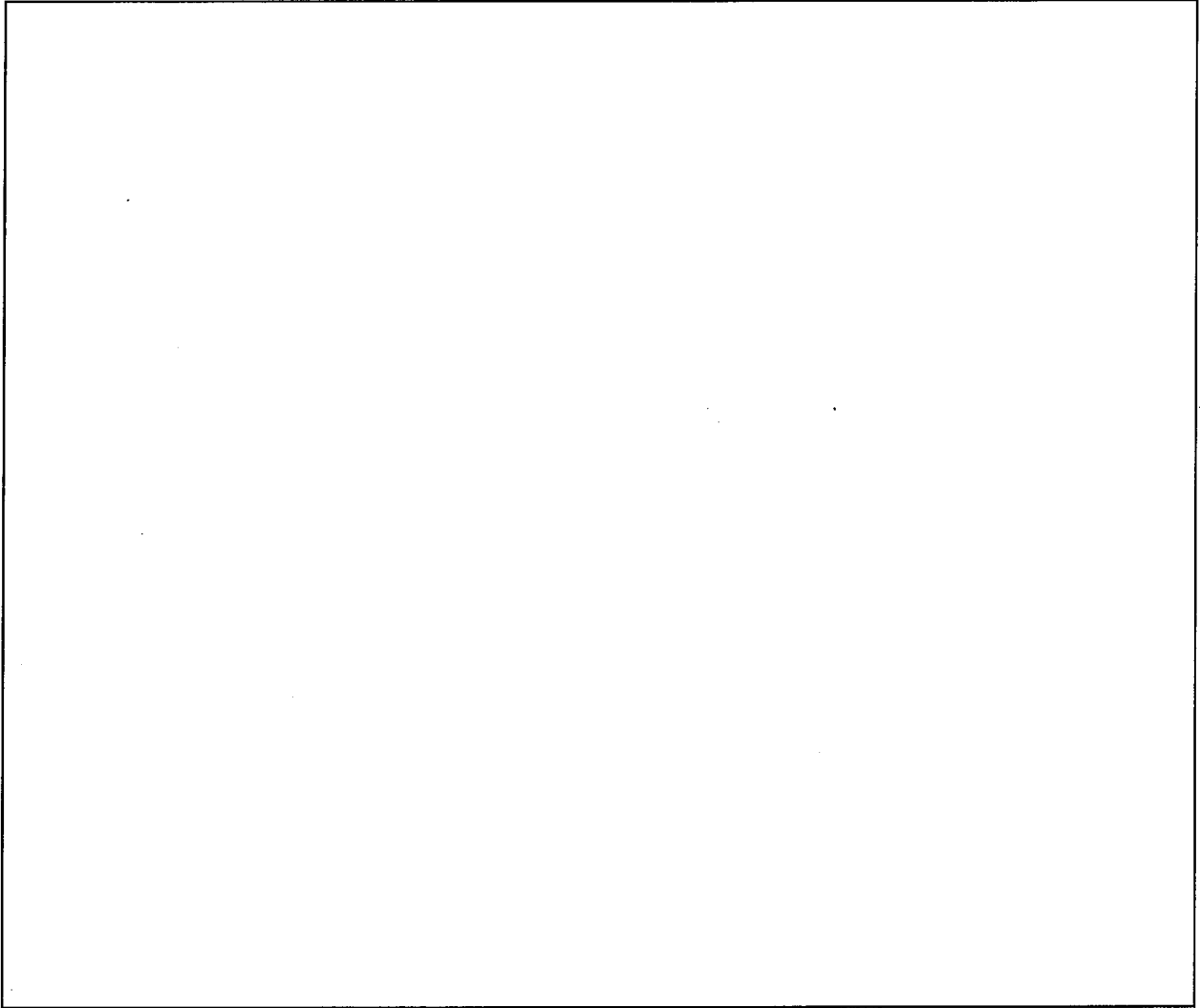
那珂台地の地層は、新第三紀鮮新世の多賀層群を基盤として、その上に第四紀更新世の見和層、茨城粘土層及び関東ローム層が堆積している。見和層は、周辺地域では、最も広く発達している地層であり、砂礫層、粘性土、礫質土等からなる。この地層は洪積層であり、200 万年から 1 万年前に堆積した年代的に古い地層で、沖積層より一段高く、まわりを崖や急斜面で囲まれた平坦な土地であり、第四紀洪積世（更新世）に低地や浅海底であった場所が隆起して形成されたため洪積台地（段丘）と呼ばれており、平坦で地層の連続性がよいこと、密実な砂や砂礫層が比較的浅い場所に分布していて、地下水の水位が低く、N 値（地盤の硬さを示す指標）の小さい粘土も過圧密（地盤中のある土層が現在の土被り圧以上の大きさの圧密荷重を過去に受けたことがある状態）であることなどから、建築基礎地盤として条件が良い地域である。

加工施設敷地内の地層は、複数のボーリング調査結果より、建物・構築物の支持層とする砂礫層が、深度約 4m から約 14m にわたって殆ど水平に分布し、その上部の地層はローム層や凝灰質粘土となっている。第 1.2.3-2 図～第 1.2.3-6 図にボーリング柱状図及び標準貫入試験結果を示す。



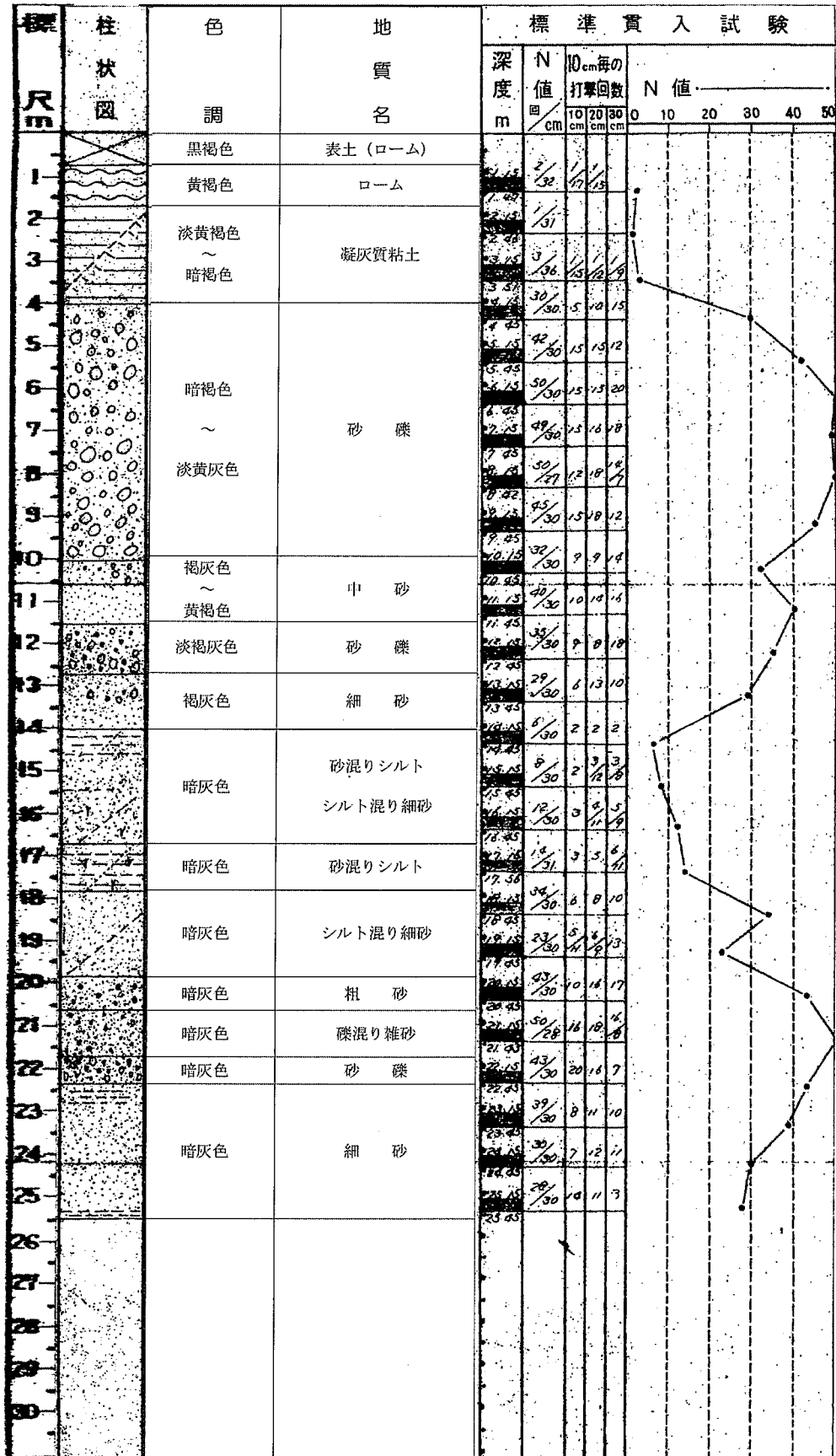
第 1. 2. 3-1 図 茨城県の地形区分図

出典：那珂湊地域の地質。地質調査所，1972。（参考文献の図に加筆）

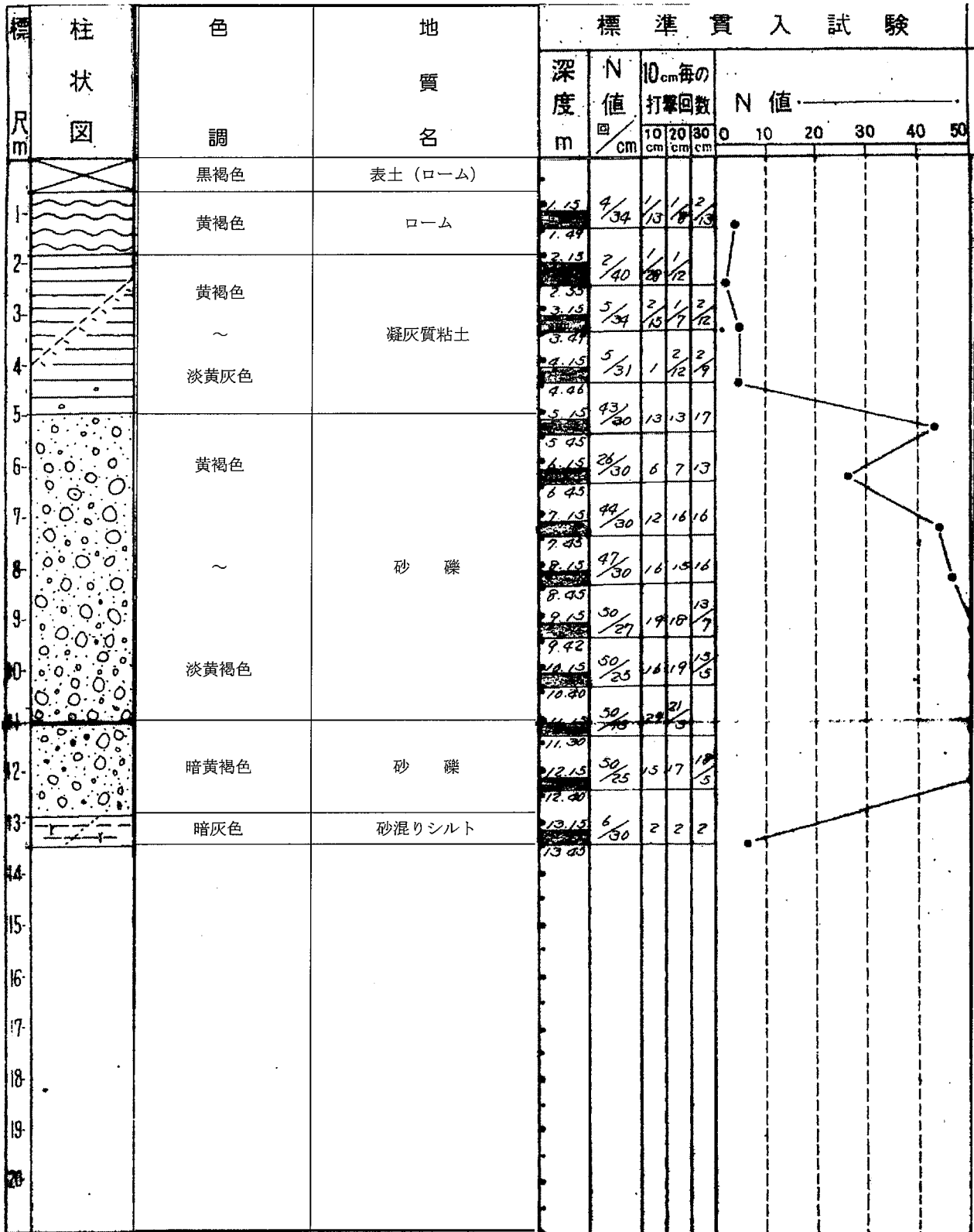


第 1.2.3-2 図 ボーリング柱状図採取位置

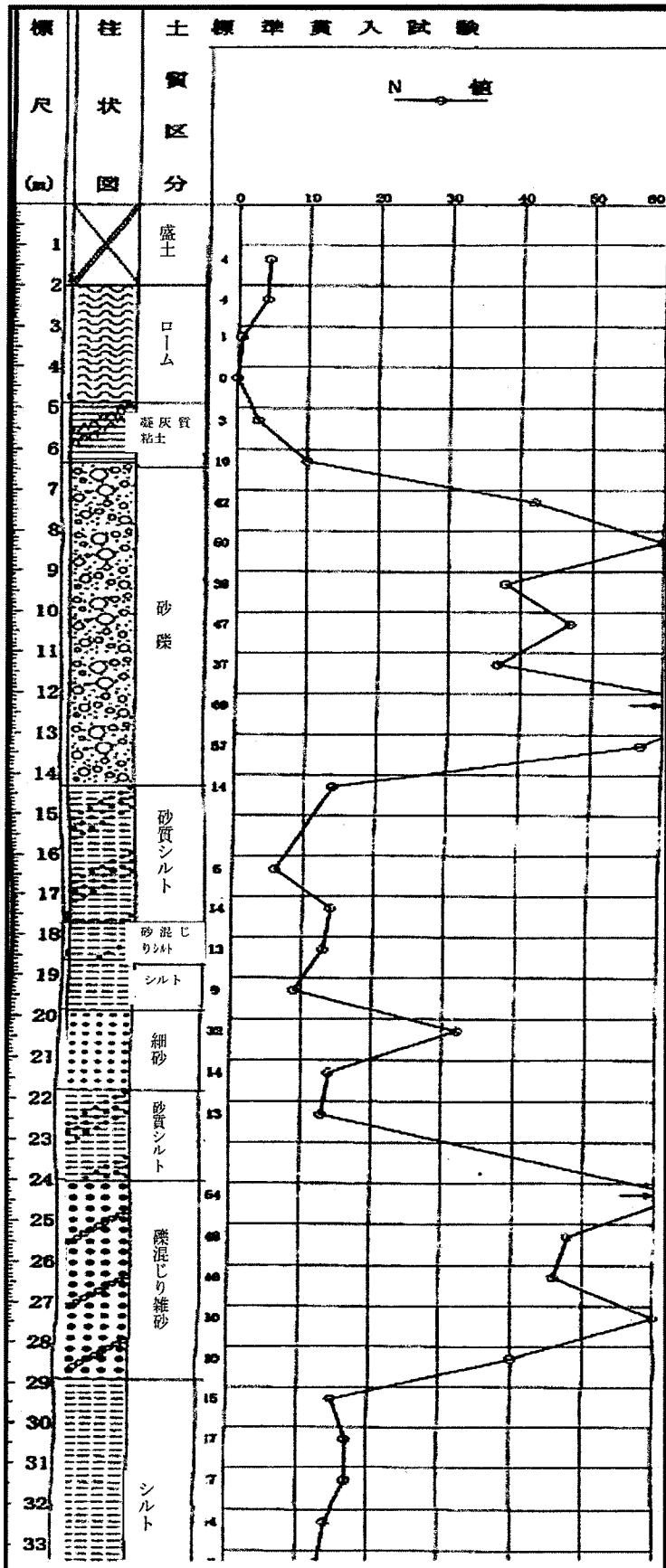




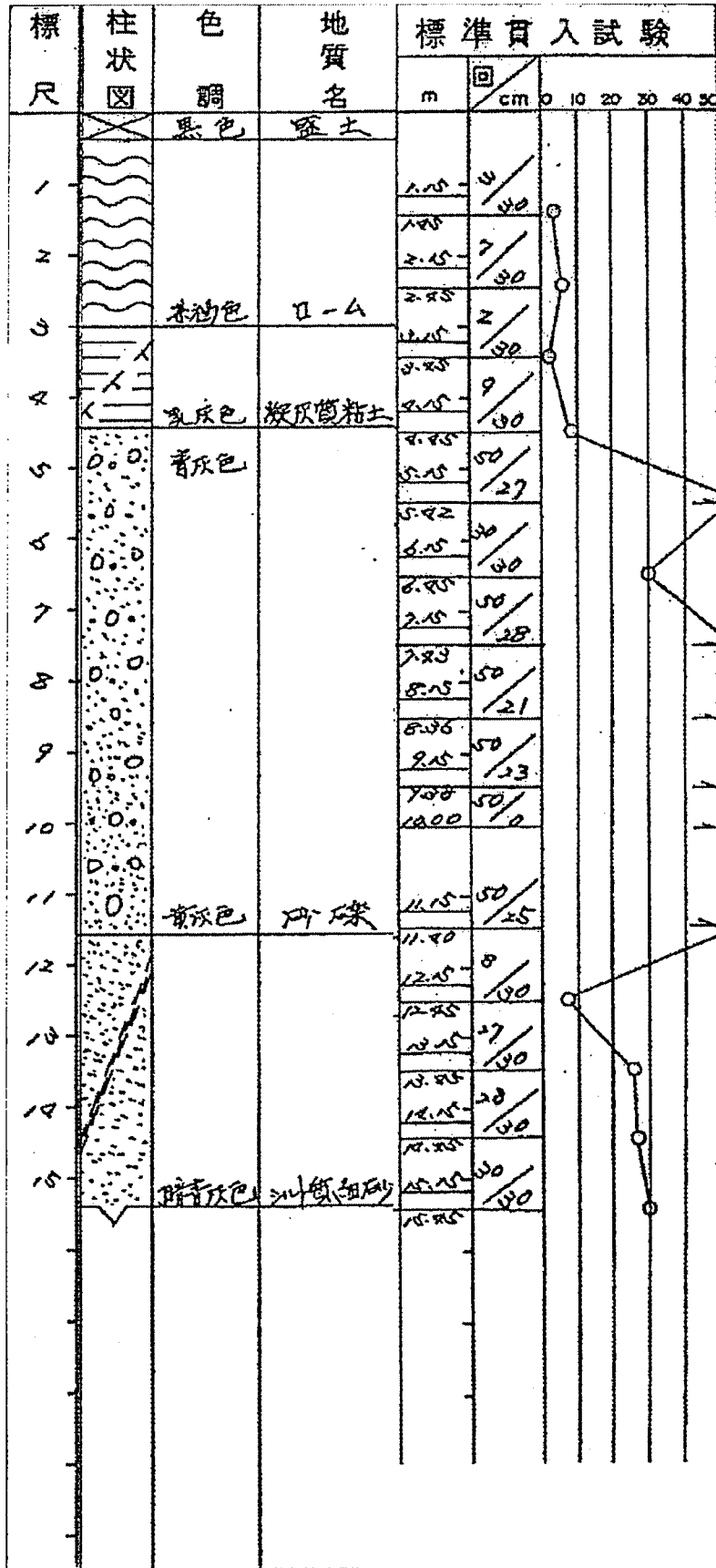
第 1. 2. 3-3 図 ボーリング柱状図及び標準貫入試験結果 (①地点)



第 1. 2. 3-4 図 ボーリング柱状図及び標準貫入試験結果(②地点)



第 1. 2. 3-5 図 ボーリング柱状図及び標準貫入試験結果(③地点)



第 1. 2. 3-6 図 ボーリング柱状図及び標準貫入試験結果(④地点)

#### 1.2.4 水理

加工施設では、地域工業用水路からの取水を行っており、一部、シルト層に支えられる段丘砂礫層中の地下水（自由水）をポンプで汲み上げて用いている。

## 1.2.5 地震

### 1.2.5.1 過去の地震

西暦 818 年に北関東で発生した弘仁地震以降、茨城県に被害を及ぼした主な地震のうち、最大は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震であり、東海村での最大震度は震度 6 弱（地表面最大加速度 340 ガル）<sup>注</sup>であった。（第 1.2.5.1-1 表）その際、加工施設には安全性に影響を与えるような被害はなかった。

（注：気象庁が示す計測震度の計算式を用いて、各震度階級の計測震度から地震動の加速度を逆算した値）

第 1. 2. 5. 1-1 表 茨城県の地震災害の記録

災害発生日 (年は和暦(西暦))	震源地	マグニ チュード	県内最 大震度	茨城の被害状況
令和3(2021)年2月13日	福島県沖	7.3	5弱	負傷者3
平成28(2016)年12月28日	茨城県北部	6.3	6弱	負傷者2 住家半壊1、住家一部破損25
平成28(2016)年11月22日	福島県沖	7.4	5弱	住家一部破損2
平成24(2012)年12月7日	三陸沖	7.3	5弱	負傷者2 非住家被害3
平成23(2011)年7月31日	福島県沖	6.5	5弱	負傷者5
平成23(2011)年4月16日	茨城県南部	5.9	5強	負傷者2
平成23(2011)年4月11日	福島県浜通り	7.0	6弱	負傷者4
平成23(2011)年3月11日	三陸沖	9.0	6強 <sup>注</sup>	直接死24、関連死37、重症33、 行方不明1、全壊家屋2,620
平成20(2008)年7月5日	茨城県沖	5.2	5弱	被害なし
平成20(2008)年5月8日	茨城県沖	7.0	5弱	負傷1
平成17(2005)年10月19日	茨城県沖	6.3	5弱	負傷1
平成17(2005)年8月16日	宮城県沖	7.2	5弱	被害なし
平成17(2005)年4月11日	千葉県北東部	6.1	5強	被害なし
平成17(2005)年2月16日	茨城県南部	5.4	5弱	負傷7
平成16(2004)年10月6日	茨城県南部	5.7	5弱	被害なし
平成15(2003)年11月15日	茨城県沖	5.8	4	負傷1
平成14(2002)年6月14日	茨城県南部	4.9	4	負傷1、建物被害8、 塀倒壊5
平成14(2002)2月12日	茨城県沖	5.7	5弱	負傷1、建物被害12
平成12(2000)年7月21日	茨城県沖	6.4	5弱	屋根瓦の落下2
昭和62(1987)年12月17日	千葉県東方沖	6.7	4	負傷者24、 家屋の一部破損1,252
昭和13(1938)年11月5日	福島県沖	7.5	5	県内で僅少被害
昭和13(1938)年9月22日	茨城県沖	6.5	5	県内で僅少被害
昭和13(1938)年5月23日	茨城県沖	7.0	5	県北部で小被害
昭和8(1933)年3月3日	三陸沖	8.1	5	
昭和6(1931)年9月21日	埼玉県中部 (西埼玉地震)	6.9	5	負傷1、半壊家屋1
昭和5(1930)年6月1日	茨城県 北部沿岸	6.5	5	水戸外で小被害
大正12(1923)年9月1日	神奈川県西部 (関東大地震)	7.9	4	死者5、負傷者40、 全壊家屋517、半壊家屋681
大正10(1921)年12月8日	茨城県南部	7.0	4	墓石多数倒壊、田畑、 道路亀裂
明治28(1895)年1月18日	茨城県南東部	7.2	-	圧死者4、負傷34、 全壊家屋37
延宝5(1677)年10月9日	関東磐城 (房総半島南東沖)	7.4	-	沿岸に津波、 水戸領内で溺死36
弘仁9(818)年7月	関東諸国(相模湾)	7.9	-	山崩れ数里、圧死者多数

※震度＝ある場所における地震の揺れの強さを表す。

※マグニチュード＝地震を生じた源（震源）の強さを表す。

「災害の記録（茨城の災害）」「消防防災年報」茨城県消防防災課

出典…「東日本大震災の状況について（2月4日9時現在）」茨城県

「茨城の気象百年」水戸地方気象台

注・・・東海村では震度6弱を観測（出典：平成24年12月地震・火山月報（防災編）（気象庁））

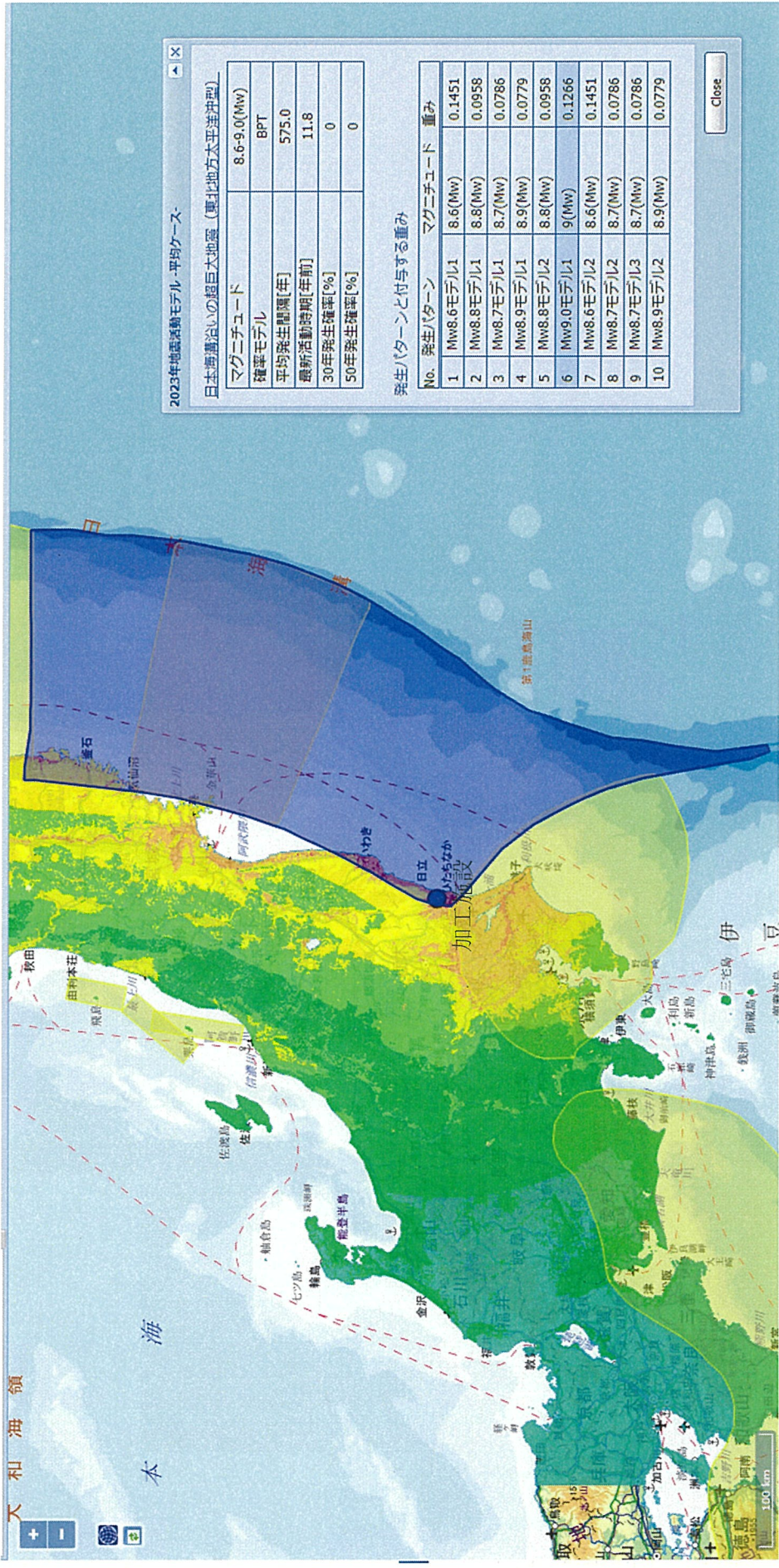
#### 1.2.5.2 地域で想定される地震力

地域の地震力は、以下に示すように過去に発生した地震及び中央防災会議、国立研究開発法人防災科学技術研究所による地震予測から想定する。

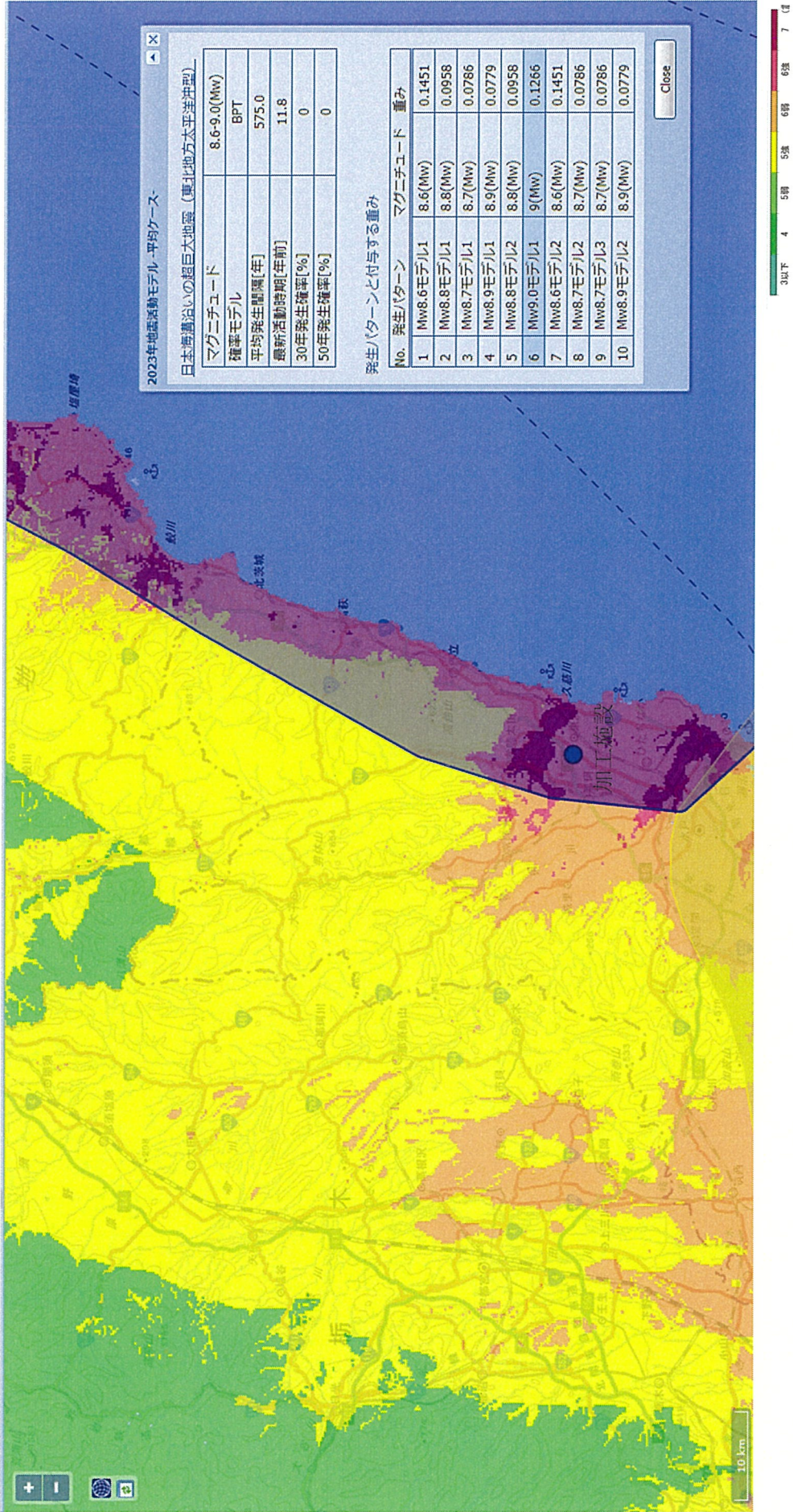
- (1) 茨城県に被害を及ぼす可能性のある地震は、海洋プレート内地震、海溝型地震として相模湾から関東地方東方沖をへて福島県沖にかけてのプレート境界付近で発生する地震及び内陸の活断層で発生する地震がある。
- (2) 西暦 818 年以降、茨城県に被害を及ぼした主な地震のうち、最大は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震であり、東海村での最大震度は震度 6 弱（地表面最大加速度 340 ガル）<sup>注</sup>である。（第 1.2.5.1-1 表）
- (3) 海溝型地震では、国立研究開発法人防災科学技術研究所の「J-SHIS 地震ハザードステーション」より、東北地方太平洋沖型地震で今後 50 年間の発生確率は 0 であるが、最大震度は震度 6 弱（地表面最大加速度 340 ガル）<sup>注</sup>が予測されている。（第 1.2.5.2-1 図、第 1.2.5.2-2 図）
- (4) 海洋プレート内地震としては、中央防災会議の「首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書 H25 年 12 月」において、加工施設が立地する地域では震度 6 強（地表面加速度 430 ガル）<sup>注</sup>が予測されている。中央防災会議の予測は、フィリピン海プレート内及び地表断層が不明瞭な地殻内の地震は発生場所の特定が困難なため、地殻内に一律 Mw6.8 とフィリピン海プレート内一律に Mw7.3 の震源を想定した震度分布図を重ねたものとして作成されている。（第 1.2.5.2-3 図、第 1.2.5.2-4 図）
- (5) 国立研究開発法人防災科学技術研究所の「J-SHIS 地震ハザードステーション」より、加工施設の敷地内及び周辺には活断層はなく、一番近い陸域の活断層（高萩付近）までは、約 30km 以上離れている。影響予測としては震度 5 強（地表面最大加速度 190 ガル）<sup>注</sup>となっている。（第 1.2.5.2-5 図、第 1.2.5.2-6 図）
- (6) 以上より、過去の実績及び地域で想定される地震力に基づく最大震度 6 強（地表面加速度 430 ガル=0.44G）<sup>注</sup>に対し、保守性を考慮した震度 6 強の最大加速度（600 ガル=0.62G）<sup>注</sup>を、地域で想定される地表面の最大加速度として耐震設計の地震力を設定する。

（注：気象庁が示す計測震度の計算式を用いて、各震度階級の計測震度から地震動の加速度を逆算した値）

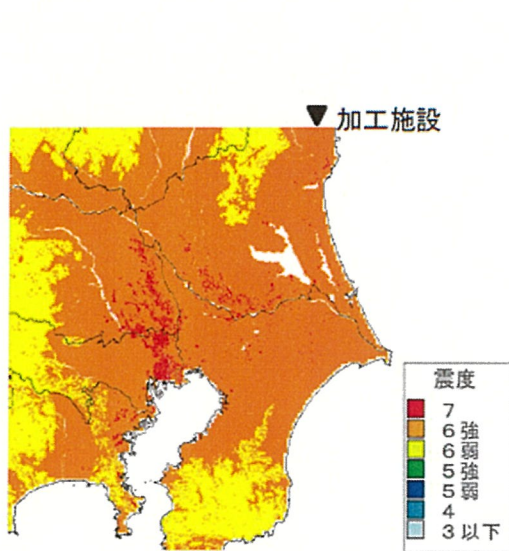




第 1.2.5.2-1 図 東北地方太平洋沖型地震の予測震度分布（加工施設を中心に広域での表示）  
出典：国立研究開発法人防災科学技術研究所「J-SHIS 地震ハザードステーション」に一部加筆

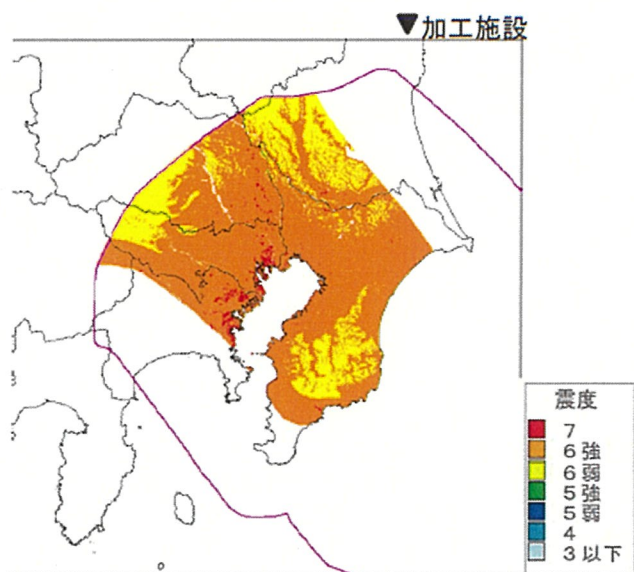


第 1.2.5.2-2 図 東北地方太平洋沖型地震の予測震度分布 (加工施設周辺地域の拡大表示)  
 出典：国立研究開発法人防災科学技術研究所「J-SHIS 地震ハザードステーション」に一部加筆



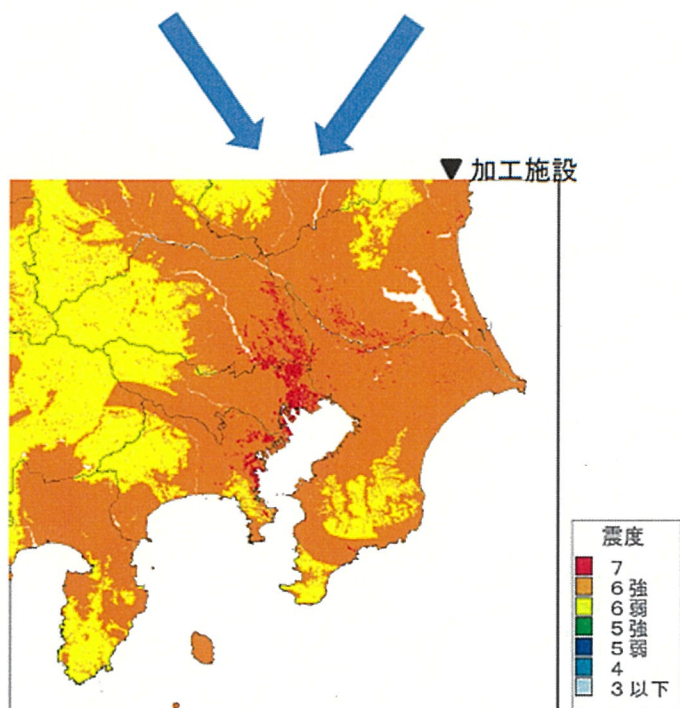
地殻内に一律にMw6.8の震源を想定した場合の震度分布図

・主に関東の平野部が対象範囲として、断層上端の深さを5 kmもしくは地震基盤+2 kmより深い方とする



フィリピン海のプレート内に一律にMw7.3の震源を想定した場合の震度分布図

・相模トラフの最大クラスの地震の震源断層域の内、フィリピン海プレート上端の深さが15kmより深く、フィリピン海プレートの厚さが20kmより厚い範囲にフィリピン海プレート内の地震を設定し直上の震度を推計した



地殻内に一律Mw6.8とフィリピン海プレート内一律にMw7.3の震源を想定した震度分布図を重ねたもの

第 1. 2. 5. 2-3 図 加工施設が立地する地域で想定される最大の地震動を重ね合わせた震度分布  
 出典：「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書 平成25年12月 首都直下地震モデル検討会（中央防災会議）」に一部加筆



計測震度 I の解析値 (出典: 中央防災会議)

6.193	6.194	6.188	6.191	6.178
6.188	6.190	6.188	6.186	6.184
6.181	6.177	6.181	6.190	6.191
6.169	6.193	6.204	6.195	6.193
6.180	6.191	6.198	6.193	6.182

加工施設を囲む周辺約1km四方の範囲を縦横250m間隔で解析された計測震度データから加工施設で想定される地表面加速度を算出

(参考)  
震度6強の計測震度  
 $6.0 \leq I < 6.5$

・評価範囲の計測震度 I の最大値: 6.204

・  $I = 2 \log a + 0.94$  (気象庁告示の計測震度計算式)  
地震の地表面加速度  $a$  (ガル) をこの式から算出

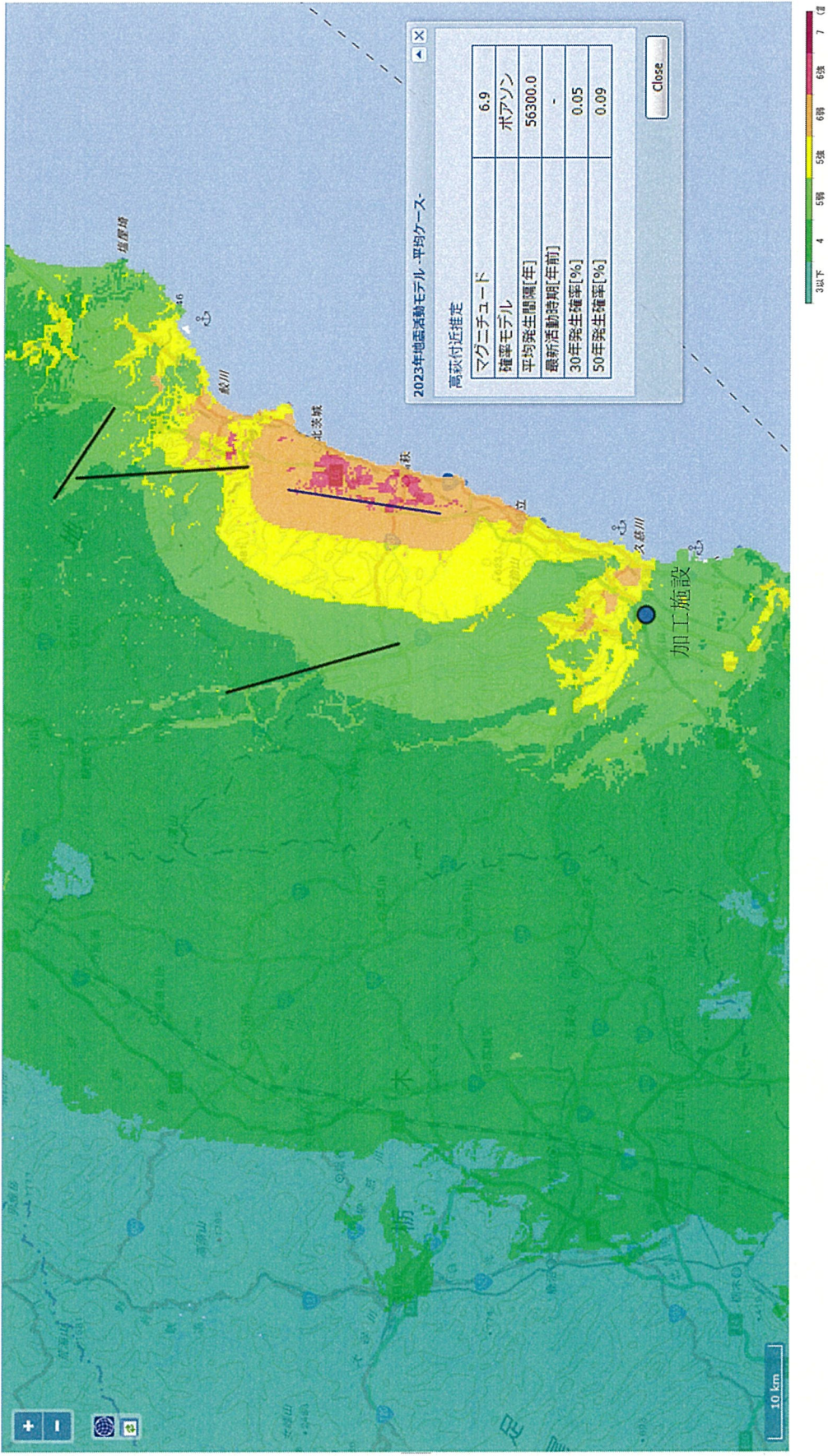
・  $a = 430$  (ガル) (評価範囲の最大加速度)

第 1.2.5.2-4 図 加工施設が立地する地域で想定される最大地震力の設定



第1.2.5.2-5 図 加工施設周辺の活断層

出典：国立研究開発法人防災科学技術研究所「J-SHIS 地震ハザードステーション」に一部加筆



第 1. 2. 5. 2-6 図 高萩付近活断層地震の予測震度分布

出典：国立研究開発法人防災科学技術研究所「J-SHIS 地震ハザードステーション」に一部加筆

### 1.2.5.3 活断層

国立研究開発法人防災科学技術研究所の J-SHIS MAP より、加工施設敷地から 100km 以内にある活断層を第 1.2.5.3-1 表及び第 1.2.5.2-5 図に示す。

第 1.2.5.3-1 表 加工施設敷地から 100km 以内にある活断層 (J-SHIS MAP による)

断層名	敷地から見た方位	敷地から断層までの おおよその距離(km)
高萩付近推定	北北東	30
棚倉破碎帯西縁断層	北	35
井戸沢断層	北北東	55
湯ノ岳断層	北北東	60
白河西方断層帯	北北西	90
二ツ箭断層	北北東	80
大阪一足沢断層帯	北北東	90
関谷断層	北西	90
内ノ籠断層	西北西	95

### 1.2.5.4 液状化予測

加工施設の建物・構築物の支持地層である砂礫層から表土の間の地層は、ローム層や粘土層であり、液状化発生の可能性が低い細粒度含有率が高い地層で構成されている。

国土交通省関東地方整備局及び公益社団法人地盤学会が行った「東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明」によれば、液状化発生地点は、河川・湖沼周辺の低地部、沿岸部の埋立地に多く分布する傾向が見られたとされている。また、同報告書の液状化発生地点のマップより、加工施設周辺での液状化発生は無く、液状化発生地点は久慈川周辺に集中している。(第 1.2.5.4-1 図)

国土技術政策総合研究所道路構造物管理研究室及び独立行政法人土木研究所の知見によれば、関東地方に広域的な液状化被害をもたらした東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震を含む既往の地震において、洪積層が液状化したという事例は確認されていないこと、洪積層は一般に N 値が高く、続成作用（堆積物から固結した堆積岩が形成される作用）により液状化に対する抵抗が高いことを踏まえ、液状化の判定は沖積層の土層が対象であり、洪積層の場合には原則として液状化の判定は不要とされている。

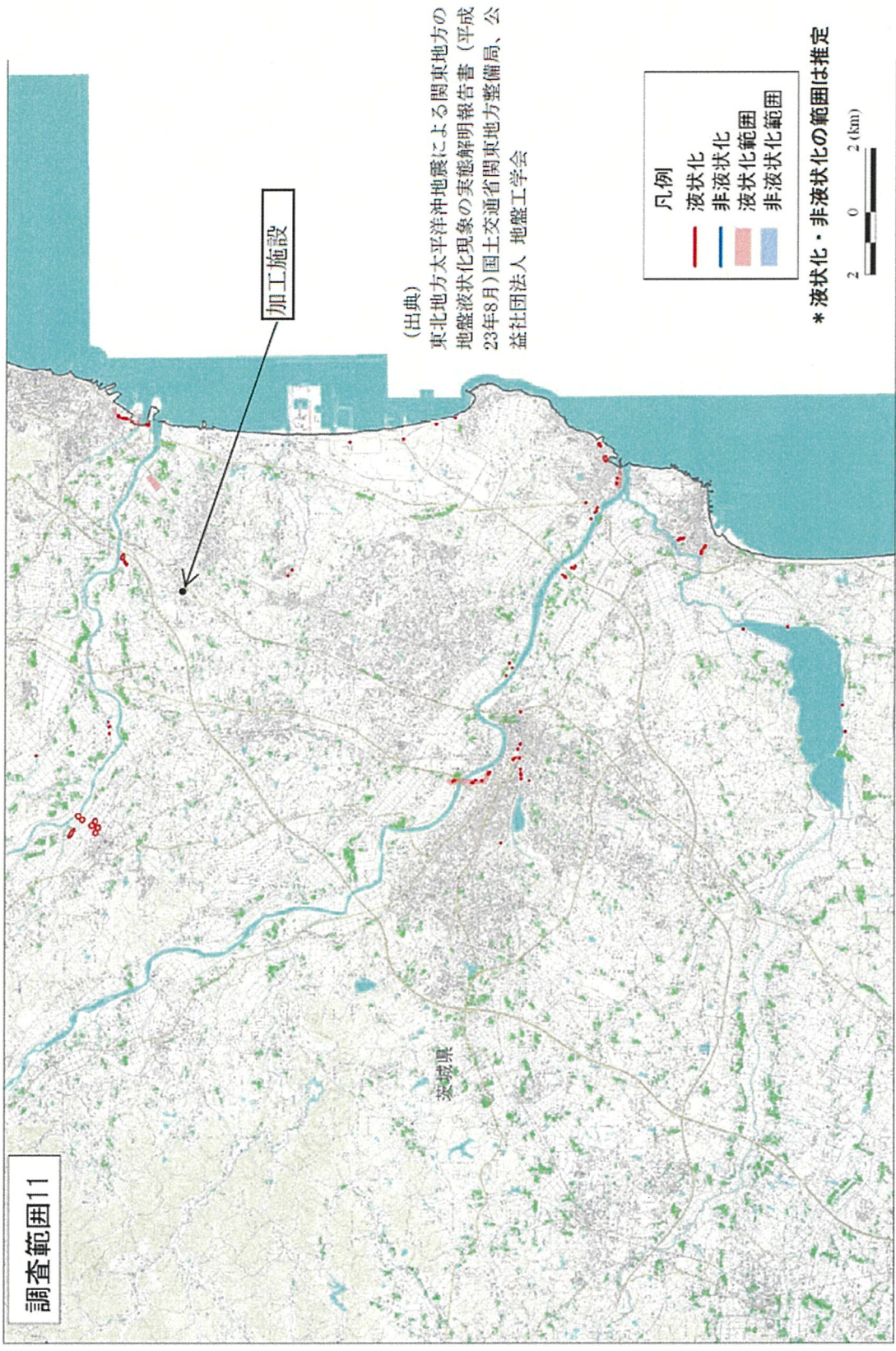


図 3.1.3(11) 液状化調査範囲位置図その 11 (大洗～水戸～日立)

第 1.2.5.4-1 図 液状化調査範囲位置図 (大洗～水戸～日立)



## 1.2.6 洪水、津波及び高潮

### 1.2.6.1 洪水

加工施設敷地の北方約 2.5km の低地を久慈川が流れている。加工施設敷地は海拔約 30～32m の高台にあり、久慈川の氾濫による洪水の影響を受けることはない。また、地元自治体（東海村及び那珂市）が策定した地域防災計画において、加工施設の敷地近傍の地域では洪水による浸水は想定されていない。

### 1.2.6.2 津波及び高潮

#### (1) 敷地及びその周辺地域における過去の記録

茨城県沿岸における過去の津波の記録を第 1.2.6.2-1 表に示す。最大の津波が記録された 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震でも、加工施設に津波による浸水はなかった。

第 1.2.6.2-1 表 茨城県沿岸における過去の津波の記録

年月日	津波の要因 となった地震名	津波の状況[出典資料]
799. 9. 18	不明	常陸国の鹿島・那加・久慈・多珂の 4 郡に海潮去来、早朝より夕刻まで約 15 回、波は平常の汀線より 1 町(約 110m)の内陸に達し、平常の汀線より 20 余町(約 2.2km)の沖まで水が引いた。地震記事見あらず、震源地不明。[日本被害地震総覧] <sup>1)</sup> [日本被害津波総覧] <sup>2)</sup>
1420. 9. 7	不明	常陸多賀郡の河原子及び相賀に津波寄すること 4 時間に 9 回、地震記事なし。[日本被害地震総覧]
1677. 11. 4	延宝房総沖地震	磐城から房総にかけて津波襲来、水戸領内で潰家 189、溺死 36、舟破損又は流失 353、津波の高さ 2~3m[日本被害地震総覧][日本被害津波総覧]
1896. 1. 9	不明	水戸付近から久慈・那珂両川の沿岸地方で家屋・土蔵の小破あり、弱い津波あり(周期 8 分、最大全振幅 20cm)[日本被害地震総覧][日本被害津波総覧]
1938. 11. 5	福島県 東方沖地震	大規模な群発地震であり、11 月 30 日まで津波を伴った地震は 7 回を数えた。茨城県では田中で最大全振幅 42cm、祝町で 88cm であった。[日本被害地震総覧][日本被害津波総覧]
1960. 5. 23	チリ地震	震源地付近の最大震度は 6。津波は太平洋沿岸各地に波及した。現地調査等による津波の高さは、茨城県会瀬港で 3m、久慈港で 3m、夏海で 3m、明石で 2m であった。[日本被害地震総覧][日本被害津波総覧]
2011. 3. 11	東北地方 太平洋沖地震	気象庁が設置している津波観測地点(大洗)で、第 1 波が 15 時 17 分に観測され、最大の高さ 4.0m が、16 時 52 分に観測された。また、気象研究所及び水戸地方気象台が現地調査を実施し、推定される津波の高さとして北茨城市平潟町で津波の高さ 6.9m、日立市久慈漁港で津波の高さ 3.9m あったとされている。[東日本大震災の記録～地震・津波災害編～(平成 25 年 3 月)] <sup>3)</sup>

## (2) 敷地周辺の津波発生予測

地震調査研究推進本部により、2011年東北地方太平洋沖地震にともなう三陸沖から房総沖の海溝寄りでの地震の見直し<sup>4)</sup>が示され、「三陸沖房総沖寄りの海溝寄りでM8.6～9.0の地震の発生確率が今後30年以内で30%」とされている。

これを受けて、この領域で発生する地震津波について茨城県沿岸津波対策検討委員会は、津波浸水シミュレーションを行い、茨城県津波浸水想定図<sup>5)</sup>を見直した。当該津波浸水想定図は、国土交通省が策定した「津波浸水想定の設定の手引き」<sup>6)</sup>(2023年4月)に基づき検討されており、本手引きでは、「現在の科学的知見を十分に踏まえ、あらゆる可能性を考慮して、最大クラスの津波を対象とする」としている。この最大クラスの津波の設定に当たっては、過去に茨城沿岸に來襲した既往津波、津波痕跡記録を踏まえてシミュレーションされている。これによると、地域で想定される津波の最大遡上高さは12.3mである。(第1.2.6.2-1図)

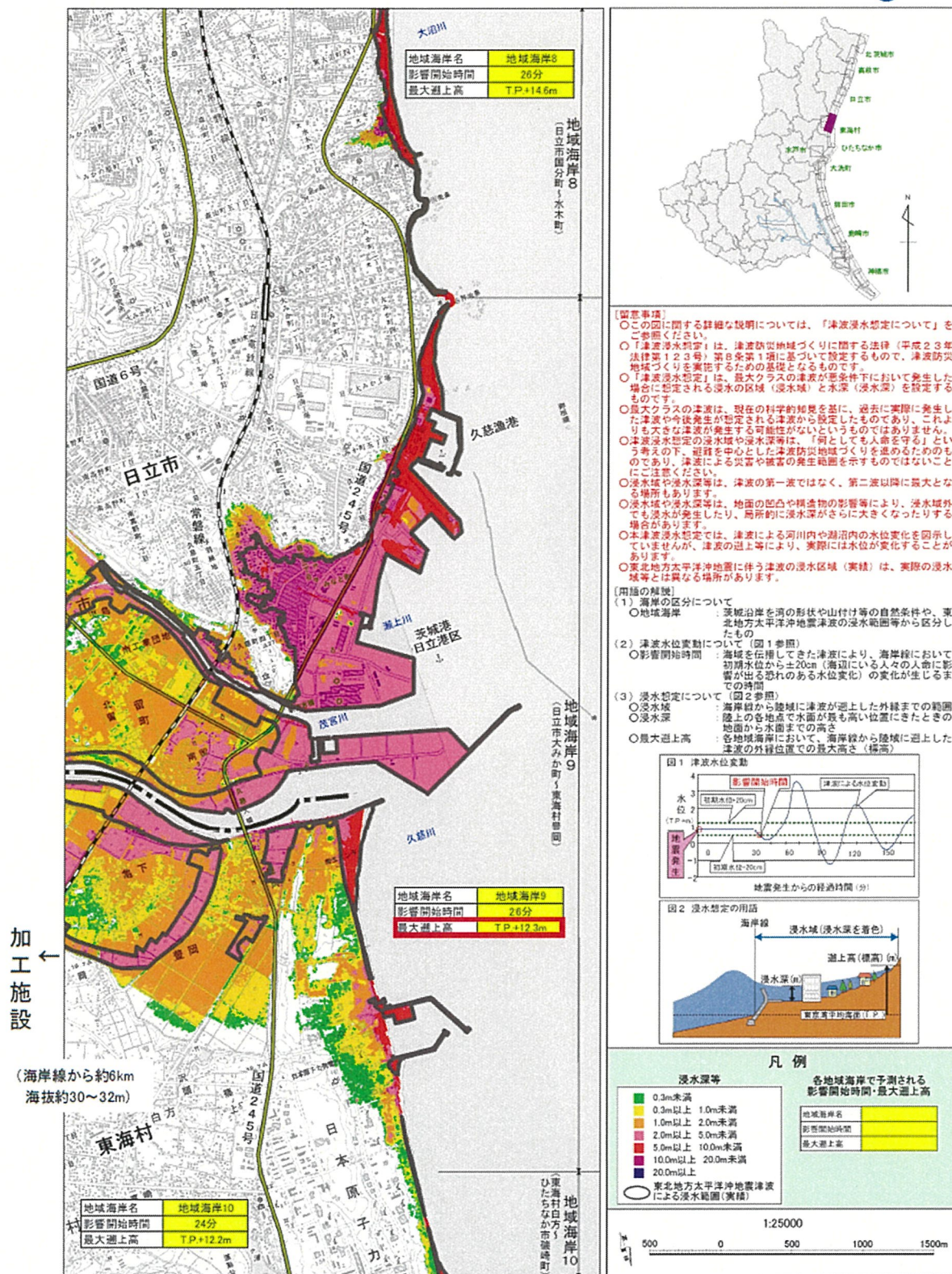
また、「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について」<sup>7)</sup>(平成24年内閣府(防災担当))によれば、南海トラフの巨大地震に関する津波の想定高さは東海村で最大3mである。

また、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」<sup>8)</sup>(平成25年首都直下地震モデル検討会)では、東海村において、延宝房総沖地震タイプの地震を想定した場合は約7m、房総半島の南東沖で想定されるタイプの地震を想定した場合は約2m、大正関東地震タイプの地震を想定した場合は約1mの津波を想定している。

なお、地元自治体(東海村)が策定した東海村地域防災計画で活用されている東海村津波ハザードマップ<sup>9)</sup>では、加工施設の敷地近傍の地域では津波による浸水は想定されていない。また、地元自治体(東海村)では高潮のハザードマップは作成されていない。

## (参考文献)

- 1) 日本被害地震総覧 599-2012(東京大学出版会)
- 2) 日本被害津波総覧(東京大学出版会)
- 3) 東日本大震災の記録～地震・津波災害編～(平成25年茨城県)
- 4) 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第2版)について(平成23年11月地震調査研究推進本部)
- 5) 茨城県津波浸水想定図 市町村別図 地域海岸9(日立市5/6・東海村1/3)(平成24年茨城県沿岸津波検討委員会)
- 6) 津波浸水想定の手引き(2023年国土交通省)
- 7) 「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について」(平成24年内閣府(防災担当))
- 8) 「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(平成25年首都直下地震モデル検討会)
- 9) 東海村自然災害ハザードマップ(令和4年東海村)



この地図は、国土地理院系の衛星画像を基に、別添資料の射影地図(25000)地図(実測)を複製したものである。(測量番号 平24(射)第292号) 平成24年8月作成  
加工施設は、海岸線より約6km離れ、海拔約30~32mの高台に設置していることから、地域で想定される津波(最大遡上高さ12.3m)による浸水のおそれはない。

第1.2.6.2-1 図 茨城県津波浸水想定図 市町村別図 地域海岸9 (日立市5/6・東海村1/3)

## 1.2.7 火山

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従い、加工施設に影響を及ぼし得る火山を、以下のとおり抽出した。

### 1.2.7.1 地理的領域内の第四紀火山の抽出

加工施設から半径 160km の範囲で第四紀に活動が認められる火山（以下、「第四紀火山」という。）に関する文献調査（文献名：第四紀火山岩体・貫入岩体データベース等）を行い、加工施設から半径 160km の範囲の第四紀火山として、32 火山を抽出した。

### 1.2.7.2 完新世に活動を行った火山の抽出

加工施設から半径 160km の範囲の第四紀火山のうち完新世に活動を行った火山として、以下の 11 火山を抽出した。

火山名：高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根山、赤城山、燧ヶ岳、安達太良山、磐梯山、沼沢、吾妻山、榛名山

### 1.2.7.3 将来の活動の可能性のある火山の抽出

加工施設から半径 160km の範囲の第四紀火山のうち完新世に活動を行っていない火山について、最後の活動終了からの期間が最大休止期間より短い 2 火山を、将来の活動可能性のある火山として抽出した。

火山名：子持山、笹森山

### 1.2.7.4 将来の活動の可能性を否定できない火山

1.2.7.2 及び 1.2.7.3 の結果、以下の 13 火山は将来の活動の可能性を否定できない火山として、加工施設に影響を及ぼしうる火山とした。選定した 13 火山の分布を第 1.2.7.4-1 図に示す。

火山名：高原山、那須岳、男体・女峰火山群、日光白根山、赤城山、燧ヶ岳、安達太良山、笹森山、磐梯山、沼沢、子持山、吾妻山、榛名山

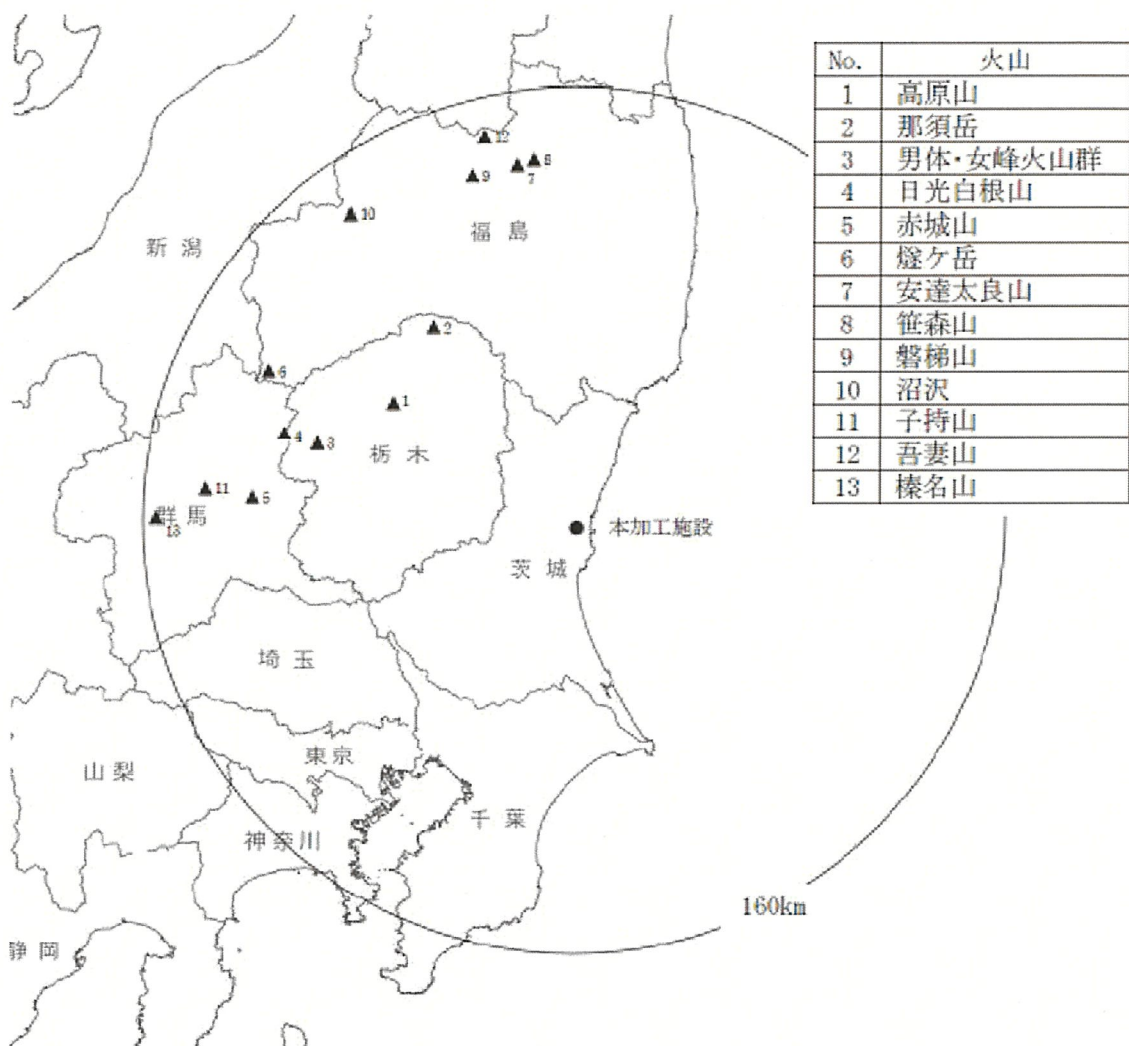
また、日本活火山総覧（第 4 版）で、全 110 活火山の有史以降の記録のある火山活動を調査した。気象庁発足以前の大規模な火山活動（VEI4 以上）として関東等の広い範囲で火山事象が確認された火山活動を抽出した結果、以下の 3 つの火山活動を抽出した。

- ① 1707 年富士山宝永噴火
- ② 1783 年天明浅間山噴火
- ③ 1914 年桜島噴火

また、気象庁発足後の火山活動の内、加工施設の敷地及びその周辺（「北関東」、「茨城県」等、加工施設の敷地及びその周辺が含まれる地域に係る記載を含む）に火山事象の影響が確認された火山活動を抽出した結果、以下の 1 つの火山活動を抽出した。

- ④ 1983 年 4 月 8 日浅間山噴火

上記に示す抽出した 4 つの火山活動について、加工施設の敷地及びその周辺で確認された火山事象の影響について調査を行った結果、敷地及びその周辺において確認された火山事象は降灰のみであり、また、確認された降灰量は極微量であった。したがって、加工施設に影響を与える火山はない。



第 1.2.7.4-1 図 将来の活動可能性が否定できない 13 火山の分布  
(国土地理院の白地図に火山位置を加筆)

## 1.2.8 竜巻

### 1.2.8.1 基準竜巻及び安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速の設定

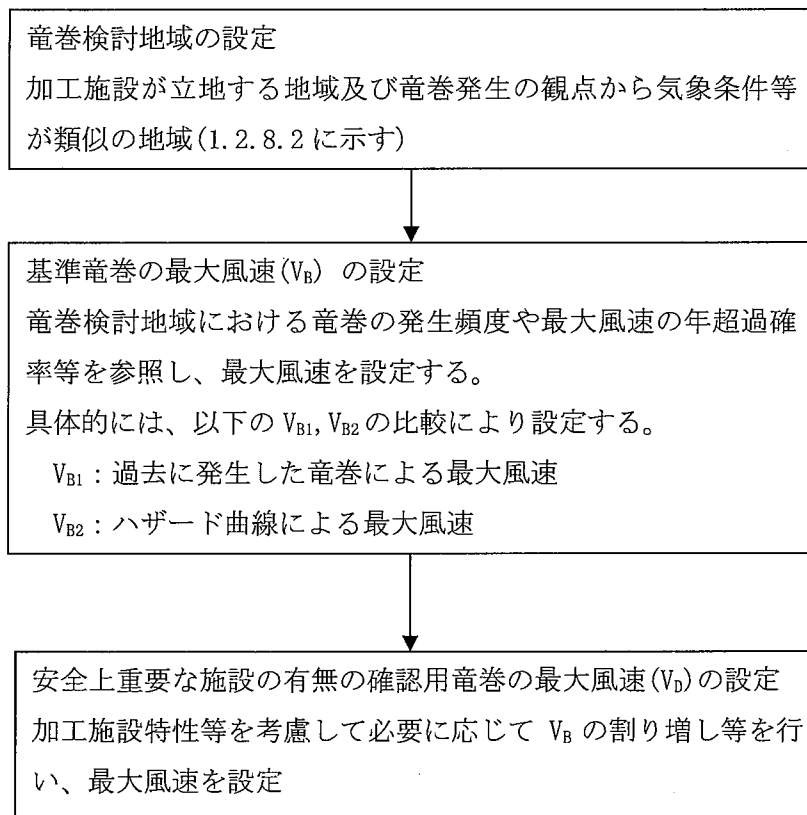
#### (1) 概要

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(竜巻ガイド)を参照し設定した基準竜巻及び安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速について記載する。

#### (2) 検討の流れ

##### (a) 検討フロー

基準竜巻及び安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の設定は、第 1.2.8.1-1 図に示す通り竜巻検討地域の設定、基準竜巻の最大風速の設定及び安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速の設定の流れで実施する。



第 1.2.8.1-1 図 基準竜巻及び安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の設定に係る基本フロー

(b) 竜巻検討地域の設定

加工施設に対する竜巻検討地域について、竜巻ガイドを参考に福島県以南の太平洋側海岸線を境に海側 5km、陸側 10km (69,000km<sup>2</sup>) を竜巻検討地域とした(1.2.8.2 参照)。

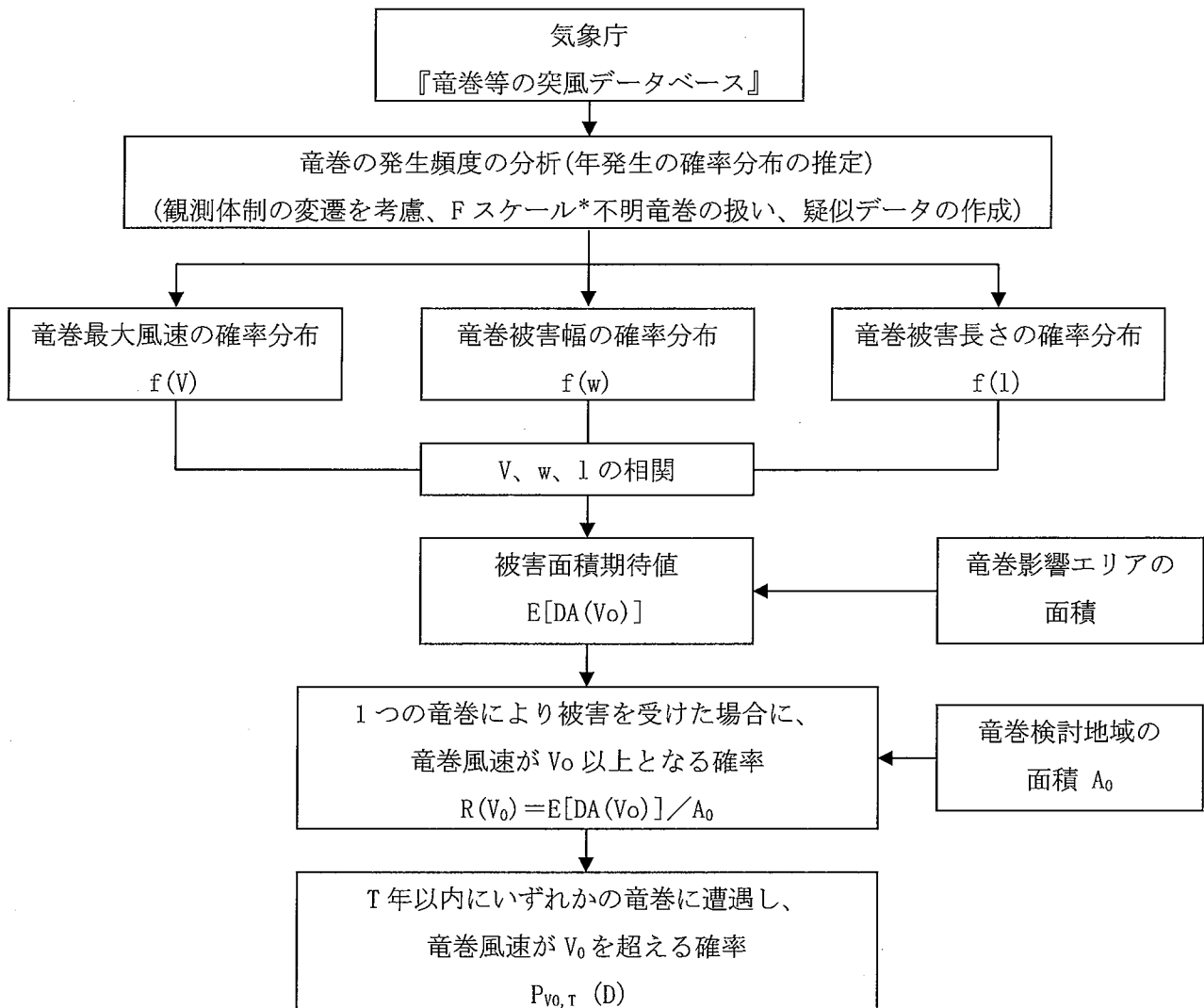
(c) 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方

竜巻最大風速のハザード曲線は、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竜巻の観測記録を抽出・評価し、既往の算定法(Wen&Chu 及び Garson et al.)に基づき算定した。具体的な算定方法は、JNES 委託研究成果報告書<sup>※1</sup>、日本保全学会発行のガイドライン<sup>※2</sup>を参考とし、第 1.2.8.1-2 図に示すフローに従いハザード曲線を算定した。なお、ハザード曲線は、竜巻検討地域の竜巻特性を適切に考慮できる海岸線から海側 5km、陸側 10km の範囲内で算定した。

※1 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

※2 日本保全学会「軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン」、平成 27 年 1 月





\* Fスケール：藤田スケール

第 1. 2. 8. 1-2 図 竜巻最大風速ハザード曲線の算定フロー

(d) 海岸線から海側 5km、陸側 10km 全域の評価

本評価では、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻も発生数にカウントする。被害幅及び被害長さは、それぞれ被害全幅及び被害全長を用いる。

(e) 竜巻の発生頻度の分析

気象庁「竜巻等の突風データベース」を基に、1961年～2013年までの53年間の統計量をFスケール別に算出する。なお、観測体制の変遷による観測データ品質のばらつき(第1.2.8.1-3 図参照)を踏まえ、以下の①～③の基本的な考え方に基づいて整理を行う。

① 被害が小さくて見過ごされやすいF0及びFスケール不明竜巻に対しては、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

② 被害が比較的軽微なF1竜巻に対しては、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を用いる。

(注)2014年から2023年までに茨城県で発生した竜巻は2018年3月1日茨城県行方市で発生したF1竜巻であり、三菱原子燃料株式会社より50km程の距離であることから、事業許可申請書での評価に影響を与えない。

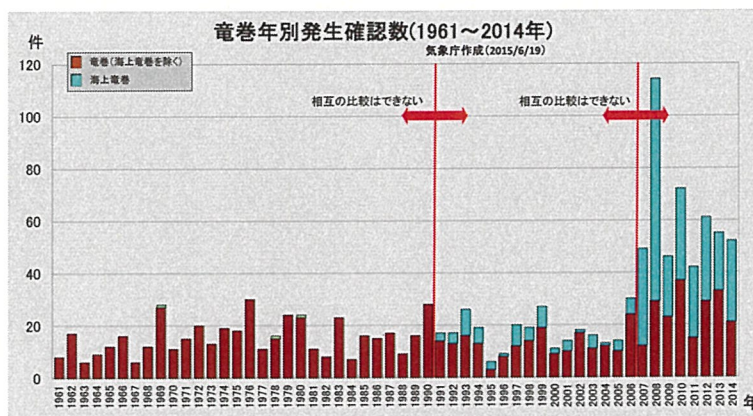
③ 被害が比較的大きく見逃されることがないと考えられるF2及びF3竜巻に対しては、観測記録が整備された1961年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を用いる。

また、Fスケール不明の竜巻については、以下の取扱いを行う。

陸上で発生した竜巻(以下「陸上竜巻」という。)及び海上で発生して陸上へ移動した竜巻については、被害があって初めてそのFスケールが推定されるため、陸上でのFスケール不明の竜巻は、被害が少ないF0竜巻に分類した。海上で発生しその後上陸しなかった竜巻(以下「海上竜巻」という。)については、スケールが不明である場合その竜巻のスケールを推定することは困難であることから、「海岸線から海上5kmの範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸10kmの範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である。」という仮定に基づいて各Fスケールに分類する。

上記の基本的な考え方に基づいて観測記録を整理・推定した結果を第1.2.8.1-1表及び第1.2.8.1-2表に示す。

なお、竜巻発生確率モデルは、竜巻ガイドに従ってポアソン過程に従うものとし、年発生数の確率分布には、ポリヤ分布を適用した。



第 1.2.8.1-3 図 竜巻の年別発生確認数(気象庁 HP より)

第 1.2.8.1-1 表 竜巻発生数の整理結果

	陸上							海上発生(陸上消滅もしくはFスケール判明)						海上発生 Fスケール不明
	F0	F1	F2	F3	不明	小計	F0	F1	F2	F3	不明	小計		
1961-2013 53年間	総数	52	92	38	7	16	205	6	24	9	0	5	44	94
	平均	0.98	1.74	0.72	0.13	0.30	—	0.11	0.45	0.17	0.00	0.09	—	1.77
	標準偏差	2.32	1.74	0.77	0.39	0.57	—	0.38	0.95	0.43	0.00	0.30	—	4.38
1991-2013 23年間	総数	52	62	13	1	12	140	6	21	4	0	4	35	93
	平均	2.26	2.70	0.57	0.04	0.52	—	0.26	0.91	0.17	0.00	0.17	—	4.04
	標準偏差	3.11	1.77	0.51	0.21	0.73	—	0.54	1.28	0.49	0.00	0.39	—	5.99
2007-2013 7年間	総数	40	18	1	0	8	67	4	4	0	0	2	10	70
	平均	5.71	2.57	0.14	0.00	1.14	—	0.57	0.57	0.00	0.00	0.29	—	10.00
	標準偏差	3.77	1.62	0.38	0.00	0.90	—	0.79	1.13	0.00	0.00	0.49	—	8.19
疑似データ 53年間相当	総数	303	143	38	7	61	552	30	48	9	0	15	102	530
	平均	5.72	2.70	0.72	0.13	1.15	—	0.57	0.91	0.17	0.00	0.28	—	10.00
	標準偏差	3.77	1.77	0.77	0.39	0.90	—	0.79	1.28	0.43	0.00	0.49	—	8.19

第 1.2.8.1-2 表 竜巻ハザードの評価に使用する竜巻発生数に関するデータ(推定結果)

		F0	F1	F2	F3	全体
疑似データ 53年間相当	総数	758	328	83	14	1183
	平均	14.30	6.19	1.57	0.26	22.32
	標準偏差	5.51	2.79	1.15	0.56	6.30

(f) 竜巻風速、被害幅、被害長さの確率分布及び相関係数

竜巻ハザードを評価するためには、一つの竜巻が発生した際の、竜巻風速、被害幅及び被害長さの確率分布が必要となることから、これらの確率密度分布を求める。なお、竜巻風速の確率密度分布は、Fスケール別の竜巻発生数から求める。

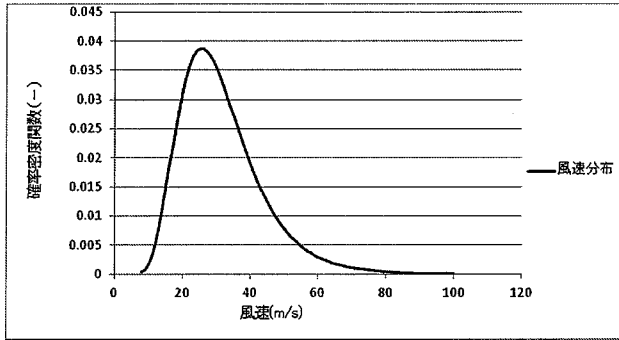
竜巻検討地域における53年間の竜巻の発生数、被害幅及び被害長さを基に、確率密度分布については竜巻ガイド及び日本保全学会発行のガイドラインが参考としている。JNES委託研究成果報告書を参照し、対数正規分布に従うものとする。

なお、疑似的な竜巻の作成に伴う被害幅または被害長さの情報がない竜巻には、被害幅または被害長さを有する竜巻の観測値を与えている。その際は、被害幅または被害長さの大きいほうから優先的に用いることで、被害幅または被害長さの平均値が大きくなるように工夫しているとともに、被害幅または被害長さ0のデ

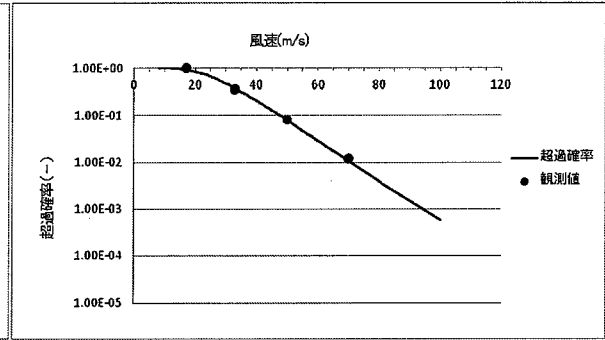
ータについては0.01の値を用いることで、保守的な評価を行っている。

このように、前述のFスケール不明の竜巻の取扱い等も含め、データについては保守的な評価となる取扱いを行っている。第1.2.8.1-4図～第1.2.8.1-9図に竜巻風速、被害幅、被害長さそれぞれの確率密度分布および超過確率分布の評価結果を示す。

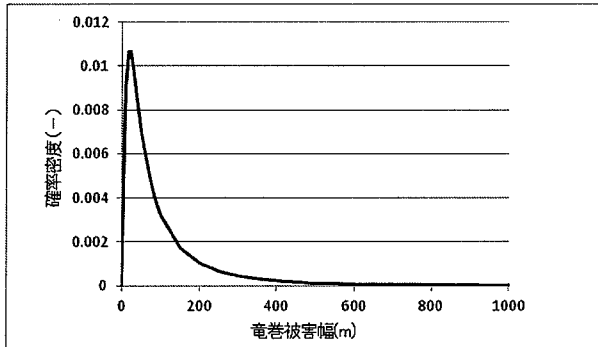
また、竜巻のハザードの計算においては、2変量あるいは3変量の確率分布関数を対象とするため、竜巻風速、被害幅及び被害長さについての相関係数を求めた。第1.2.8.1-3表に1961年以降の観測データのみを用いて、竜巻風速、被害幅及び被害長さについて相関係数を求めた結果を示す。



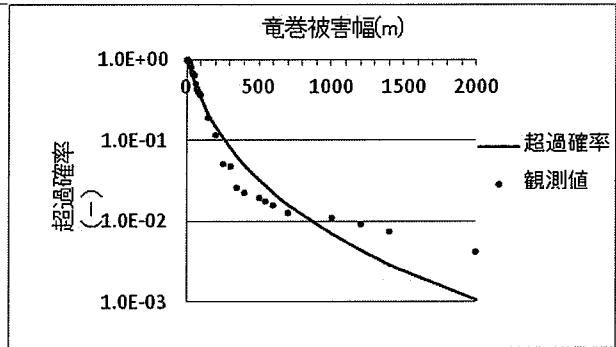
第 1. 2. 8. 1-4 図 竜巻風速の確率密度分布



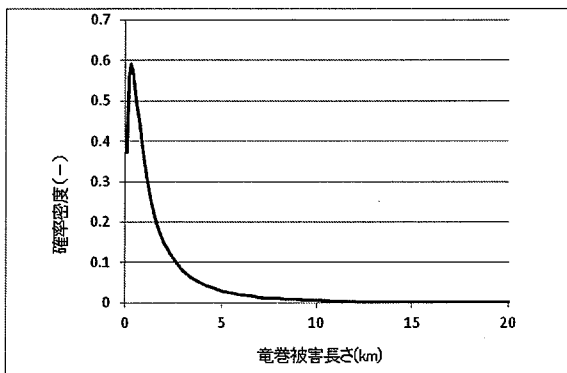
第 1. 2. 8. 1-5 図 竜巻風速の超過確率分布



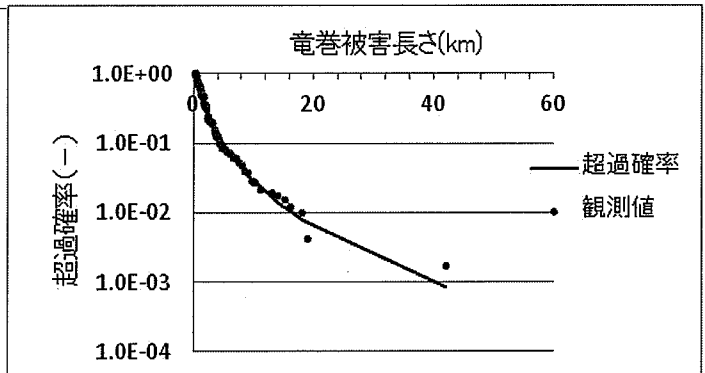
第 1. 2. 8. 1-6 図 竜巻被害幅の確率密度分布



第 1. 2. 8. 1-7 図 竜巻被害幅の超過確率分布



第 1. 2. 8. 1-8 図 竜巻被害長さの確率密度分布



第 1. 2. 8. 1-9 図 竜巻被害長さの超過確率分布

第 1.2.8. 1-3 表 竜巻風速、被害幅、被害長さの相関係数(単位無し)

	風速(m/s)	被害幅(m)	被害長さ(km)
風速(m/s)	1	0.305	0.478
被害幅(m)	—	1	0.410
被害長さ(km)	—	—	1

(g) 竜巻影響エリアの設定

加工施設の竜巻影響エリアは直径 250m とした。(1.2.8.5 参照)

(h) ハザードの算定

T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が  $V_0$  以上となる確率を求める。ここで、竜巻の年発生数の確率分布としては、ポリヤ分布を採用している。ポリヤ分布は式(1)で示される。

$$P_T(N) = \frac{(\nu T)^N}{N!} (1 + \beta \nu T)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (1)$$

ここで、

N : 竜巻の年発生数

$\nu$  : 竜巻の年平均発生数

T : 年数

$\beta$  は分布パラメータであり式(2)で示される。

$$\beta = \left( \frac{\sigma^2}{\nu} - 1 \right) \times \frac{1}{\nu} \quad (2)$$

ここで、

$\sigma$  : 竜巻の年発生数の標準偏差

D を評価対象構造物が風速  $V_0$  以上の竜巻に遭遇する事象と定義し、 $R(V_0)$  を評価対象構造物が 1 つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が  $V_0$  以上となる確率と定義すると T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が  $V_0$  以上となる確率は式(3)で示される。

$$P_{V_0, T}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0) T]^{-1/\beta} \quad (3)$$

この  $R(V_0)$  は、竜巻影響評価の対象地域の面積を  $A_0$  (つまり竜巻検討地域の面積約 69000km<sup>2</sup>)、1 つの竜巻の風速が  $V_0$  以上となる面積を  $DA(V_0)$  とすると式(4)で示される。

$$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (4)$$

ここで、 $E[DA(V_0)]$  は、 $DA(V_0)$  の期待値を意味する。

本評価では、以下のようにして  $DA(V_0)$  の期待値を算出し、式(4)により  $R(V_0)$  を推定して、式(3)により  $P_{V_0, T}(D)$  を求める。風速を  $V$ 、被害幅  $w$ 、被害長さ  $l$ 、移動方向  $\alpha$  及び構造物の寸法を  $A$ 、 $B$  とし、 $f(V, w, l)$  等の同時確率密度関数を用い

ると、DA ( $V_0$ )の期待値は式(5)で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\
 & + AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (5)
 \end{aligned}$$

ここで  $W(V_0)$  は竜巻風速が  $V_0$  以上となる幅であり、式(6)で示される。 $H(\alpha)$  及び  $G(\alpha)$  はそれぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に評価対象構造物を投影した時の長さであり、式(7)で示される。

$$W(V_0) = \left( \frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (6)$$

ここで、

$V_{\min}$ : 被害幅  $w$  内の最小竜巻風速

$V_0$ : 被害が発生する最小風速

(「屋根が飛ぶ。人家に被害が出始める」とされる風速 9 に相当する風速 (20.8 ~ 24.4 m/s) を考慮し 25 m/s とした)

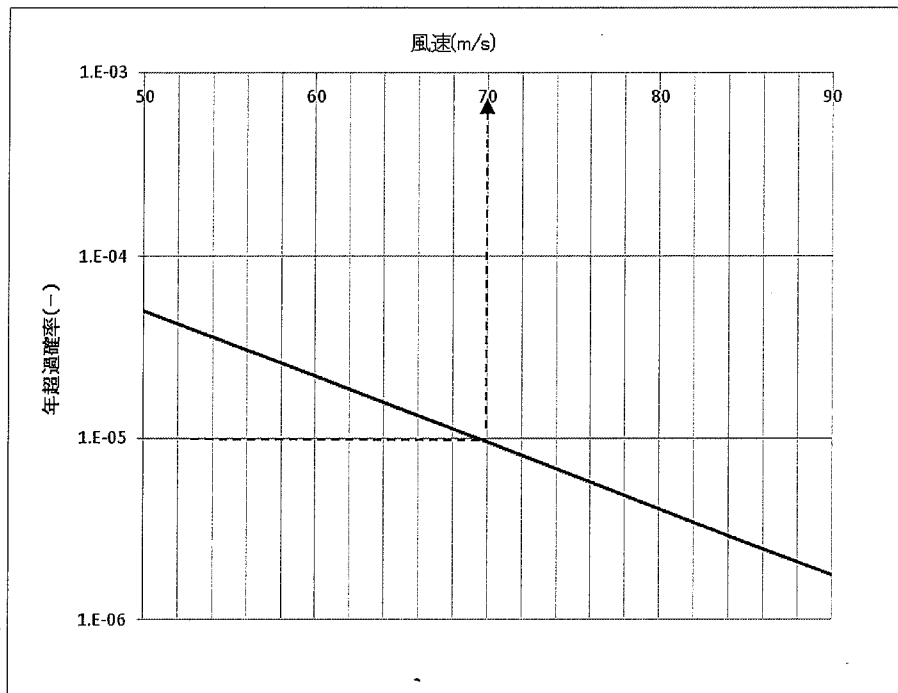
$$\begin{aligned}
 H(\alpha) &= B | \sin \alpha | + A | \cos \alpha | \\
 G(\alpha) &= A | \sin \alpha | + B | \cos \alpha | \quad (7)
 \end{aligned}$$

本評価では評価対象構造物を円形構造物(竜巻影響エリア)で設定しているため、 $H(\alpha)$ 、 $G(\alpha)$  ともに竜巻影響エリアの直径 250m で一定(竜巻の移動方向に依存しない)となる。円の直径を  $D_0$  とした場合の計算式は式(8)で示される。

$$\begin{aligned}
 E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\
 & + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\
 & + \left( D_0^2 \frac{\pi}{4} \right) \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (8)
 \end{aligned}$$

(i) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 ( $V_{B2}$ )

上記を元に海岸線から陸側 10km、海側 5km 全域 (竜巻検討地域) を対象に算定したハザード曲線より、年超過確率  $10^{-5}$  における風速を求めると第 1.2.8.1-10 図に示すとおり 70m/s となった。



第 1.2.8.1-10 図 竜巻最大風速のハザード曲線 (陸側 10km、海側 5km 範囲)

(j) 基準竜巻の最大風速 ( $V_B$ )

過去に発生した竜巻による最大風速は最大竜巻サイズが F3 であることから、F3 竜巻の風速範囲 (70~92m/s) を元に、 $V_{B1}=92\text{m/s}$  とする。竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速は  $V_{B2}=70\text{m/s}$  であるため、加工施設における基準竜巻の最大風速  $V_B$  は 92m/s とする。(第 1.2.8.1-4 表)

第 1.2.8.1-4 表 竜巻の最大風速の算定結果

項目	最大風速 [m/s]
過去に発生した竜巻により設定した最大風速 $V_{B1}$	92
竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 $V_{B2}$	70

(k) 安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速 ( $V_B$ ) の設定

加工施設が立地する地域の特性として、周辺の地形を考慮して、基準竜巻の最大風速の割り増しを検討し、安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速を設定する。



(i) 地形効果による竜巻風速への影響

地形効果が竜巻強度に及ぼす影響に関する知見として、①地形起伏による影響、②地表面粗度による影響、について既往の知見を踏まえ、加工施設周辺の地形効果による竜巻の増幅可能性について検討する。

① 地形起伏による影響

竜巻のような回転する流れでは、角運動量保存則により「回転の中心からの距離」及び「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。

加工施設は、なだらかな平野部に位置するため、発生した竜巻が、上記影響を受ける可能性は低いものと考えられる。

② 地表面粗度による影響

風は地表面の細かな凸凹が与える摩擦抵抗の影響を受けやすく、風速は、地表面において0となり上空に向かうにつれて増加する。地表面粗度は竜巻の旋回流を減衰させる効果を有し、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することで風速が減衰することも示唆されていることから、地表面粗度の増加とともに竜巻に起因する強風の風速を低下させるといえる。

加工施設は前述通りなだらかな平野に位置し、また、事業所周辺で過去に発生した竜巻は海岸線沿いに発生しており、海岸から平野への竜巻の移動は、地表面粗度が大きくなることから、旋回流を減衰させる効果があると考えられるため、竜巻風速の増幅が生じる可能性は低いものと考えられる。

(ii) 安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速  $V_b$

検討の結果、加工施設では、地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられるため、基準竜巻の最大風速に対する割り増しは行わず、安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の最大風速  $V_b$  は 92m/s とする。

### 1.2.8.2 竜巻検討地域の設定

#### (1) はじめに

加工施設に対する竜巻検討地域について、竜巻ガイドを参考に、加工施設が立地する地域と気象条件の類似性の観点を含め検討を行い、第1.2.8.2-1図に示すとおり福島県から沖縄県までの海岸線から海側5km、陸側10kmの範囲を竜巻検討地域に設定した(面積約69,000km<sup>2</sup>)。以下にその設定根拠及び妥当性確認の結果を示す。



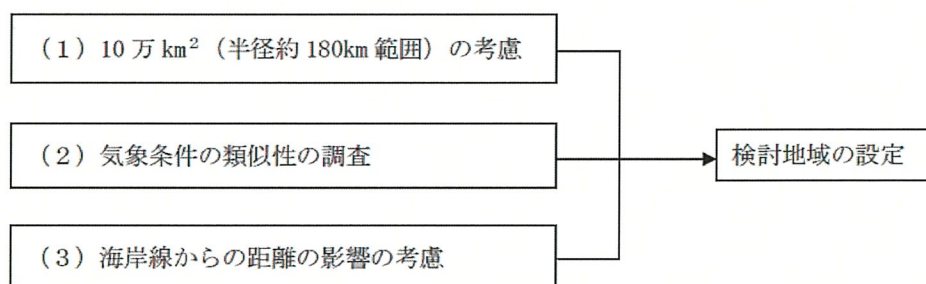
第1.2.8.2-1図 日本国内（除く北海道）での竜巻発生状況と考慮する検討地域

(2) 竜巻検討地域の設定方法

(a) 考慮する基本的事項

竜巻ガイドでは、国際原子力機関（IAEA）の基準を参考に、調査する対象の目安として原子力発電所を中心とした 10 万 km<sup>2</sup> の範囲を挙げている。一方、日本では日本海側と太平洋側で気象条件が異なることなどの理由から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している。また、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している。

以上より、第 1.2.8.2-2 図に示す 3 項目を竜巻検討地域を決定するに当たって考慮する基本的事項とした。



第 1.2.8.2-2 図 竜巻検討地域を決定するための基本的な事項

(b) 竜巻検討地域の検討

(i) 10 万 km<sup>2</sup>（半径約 180km 範囲）の考慮

海岸線では概ね福島県から神奈川県までの地域が対象となり竜巻の発生数は、加工施設より北側には少なく、南側には多い傾向がある。

(ii) 気象条件の類似性の調査

日本保全学会発行の「軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速及び飛来物速度の設定に関するガイドライン」解説 4. 1 気象条件の類似性を観点とした設定方法 に竜巻の発生位置を季節別に示した例が示されており竜巻発生した際の各総観場種別の比率構成等を検討することにより地域性の有無を検討できるとしている。ここでは、第 1.2.8.2-3 図に日本保全学会発行のガイドラインに例示される竜巻の発生位置と総観場の分析結果を示す。

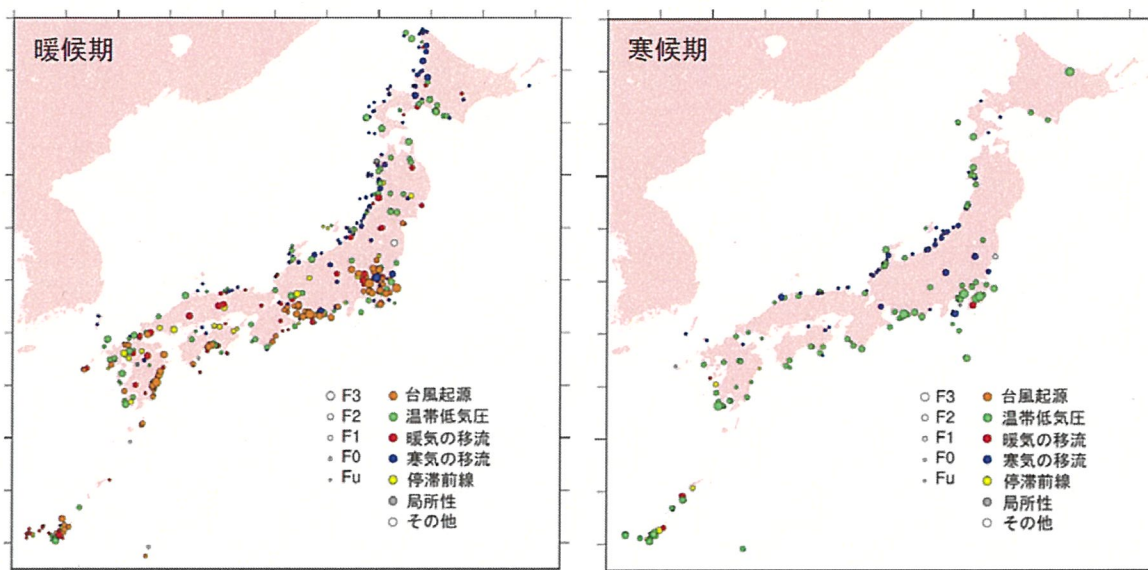


図3 1961年から2012年6月までに発生した竜巻の発生位置（左：暖候期（5月～10月）、右：寒候期（11月～4月）；各カテゴリの詳細については添付資料1を参照すること。また、F1-F2等、評価結果に幅がある場合、大きい方の階級とみなしている。）

#### 第1.2.8.2-3 図 竜巻の発生位置と総観場の分析例

（日本保全学会発行のガイドライン解説4. 1 図3を引用）

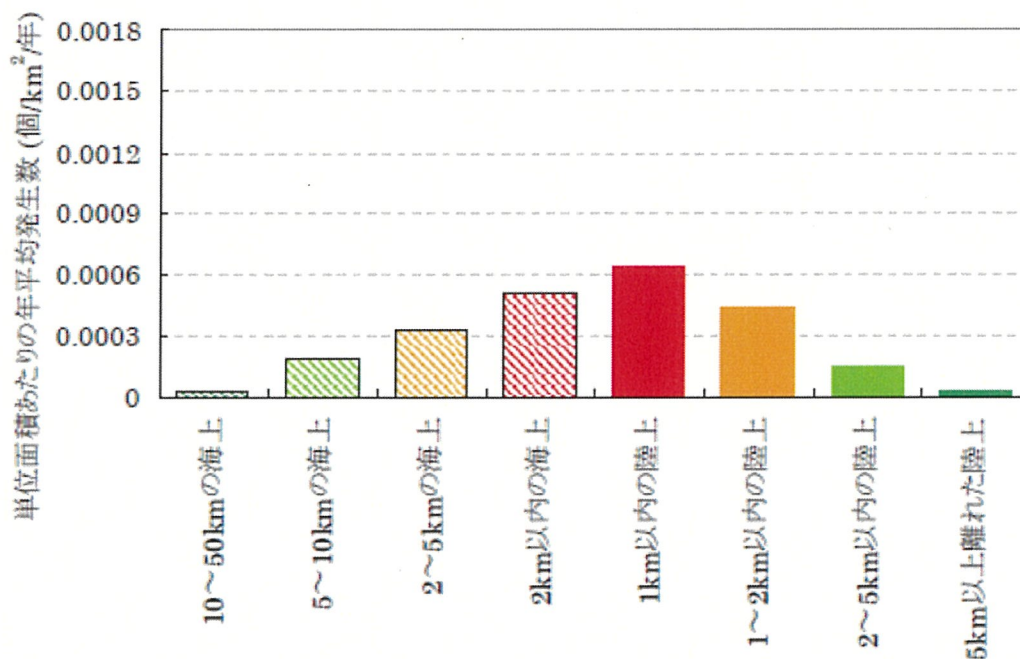
第1.2.8.2-3 図より、暖候期においては、日本列島南部の太平洋岸に於いては台風起因の竜巻が多く発生していること、また寒候期においては、温帯低気圧起因による竜巻が多く発生していることが判り、東北地方以北を除いた太平洋岸における気象条件等の類似性が見られる。加工施設は当該類似地域のほぼ最北に位置するものと考えられる。

#### (iii) 海岸線からの距離の影響の考慮

竜巻ガイドの解説図3. 3には日本の海岸線付近における竜巻の発生状況が示されており、海側5km、陸側5kmの範囲において竜巻の発生が多く見られることが示されている(第1.2.8.2-4 図)。

一方、加工施設から半径20km以内で観測期間53年間に発生した竜巻(第1.2.8.2-5 図及び第1.2.8.2-1 表に示す)は、すべてが、加工施設の東側を南北に走る海岸線に近い海上で発生した竜巻である事が判る。

これらより、影響評価の対象となる竜巻が、海岸線付近発生のものである可能性が高いことから、竜巻検討地域の設定に当たっては、竜巻ガイドの考え方を参照し、加工施設の海岸線からの距離(約6km)を考慮することが有効であると考えられる。



解説図 3.3 日本の海岸線付近における竜巻の発生状況<sup>(※3)</sup> (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。

第 1.2.8.2-4 図 日本の海岸線付近に於ける竜巻の発生状況  
 (竜巻ガイド 解説図 3.3 を引用)



第 1.2.8.2-5 図 加工施設近辺での竜巻の発生状況  
 (地理院地図を元に第 1.2.8.2-1 表に示す竜巻発生位置を記載)

第 1.2.8.2-1 表 加工施設近辺での竜巻の発生状況  
 (気象庁「竜巻等の突風データベース」2015年12月時点より作成)

	現象区別	発生日時	発生場所	藤田 スケール	総観場
1	竜巻	2013/12/04 09:00 頃	茨城県(海上)	不明※1	気圧の谷
2	竜巻	1990/12/12 00:20 頃	茨城県 海上～那珂湊市	F1	寒気の移流・局地性じょう乱・その他

※1 気象庁ホームページにて発生時刻のドップラーレーダーによる解析結果を確認し、規模が十分小さいことを確認している。

(c) 竜巻検討地域の設定

検討結果より、(i)10万km<sup>2</sup>(半径約180km範囲)の範囲を考慮した場合は、発生状況の遷移点であると考えられること、(ii)気象条件の類似性の調査を行った結果においても、類似地域の北限近辺であること、(iii)海岸線からの距離の影響の考慮を行った場合には、影響評価の対象となる竜巻が、海岸線付近発生のものである可能性が高いことから(i)の検討範囲の最北である福島県から(ii)の範囲を含めた沖縄県までの海岸線から(iii)を考慮し、海側5km、陸側10kmの範囲を竜巻検討地域に設定した。第1.2.8.2-2表に検討内容を示す。

第 1.2.8.2-2 表 検討結果

	検討項目	検討内容	検討結果
(i)	10 万 km <sup>2</sup> (半径約 180km 範囲)	加工施設近辺を境に発生状況が南北で異なる。加工施設立地は遷移点付近と考えられる。	竜巻検討地域は福島県から沖縄県までの海岸線から海側 5km、陸側 10km の範囲とする。
(ii)	気象条件の類似性の調査	日本列島南部の太平洋岸に類似性有り加工施設は北限近辺。	
(iii)	海岸線からの距離の影響の考慮	加工施設は陸側約 6km に立地しているが、影響評価の対象となる竜巻が、海岸線付近発生のものである可能性が高い	

(d) 発生頻度による検討地域設定の妥当性確認

上記では日本列島南部の太平洋岸に類似性がありこれを元に検討地域を設定しているが、領域の設定方法により、竜巻の発生確率がどの程度変化するかを確認した。検討期間(1961年から2013年の53年間)内に発生した竜巻の内、検討地域に影響を及ぼす(検討地域で発生、消滅、通過した)竜巻の数を気象庁の「竜巻等の突風データベース」より抽出し、その領域の面積で割ることで発生確率とした。第 1.2.8.2-3 表に結果を示す。

第 1.2.8.2-3 表 選定する地域と発生確率

	領域	対象竜巻数 注 1) (個)	領域の面積 (km <sup>2</sup> )	発生確率 (個/km <sup>2</sup> )	備考注 2)
1	福島から和歌山	128	31,400	0.0041	本州
2	福島から高知	171	38,100	0.0045	本州+四国
3	福島から鹿児島	237	59,400	0.0040	本州+四国+九州
4	福島から沖縄	343	69,700 注 3)	0.0049	本州+四国+九州+沖縄

注 1 53 年間で領域で発生、消滅、通過した竜巻の数

注 2 何れも各地域の太平洋側

注 3 ハザードの検討では、安全側に 69,000 としている。

第 1.2.8.2-3 表より、上記で設定した竜巻検討地域が最も発生確率が高い結果となっており、検討地域の設定は妥当であると考えられる。

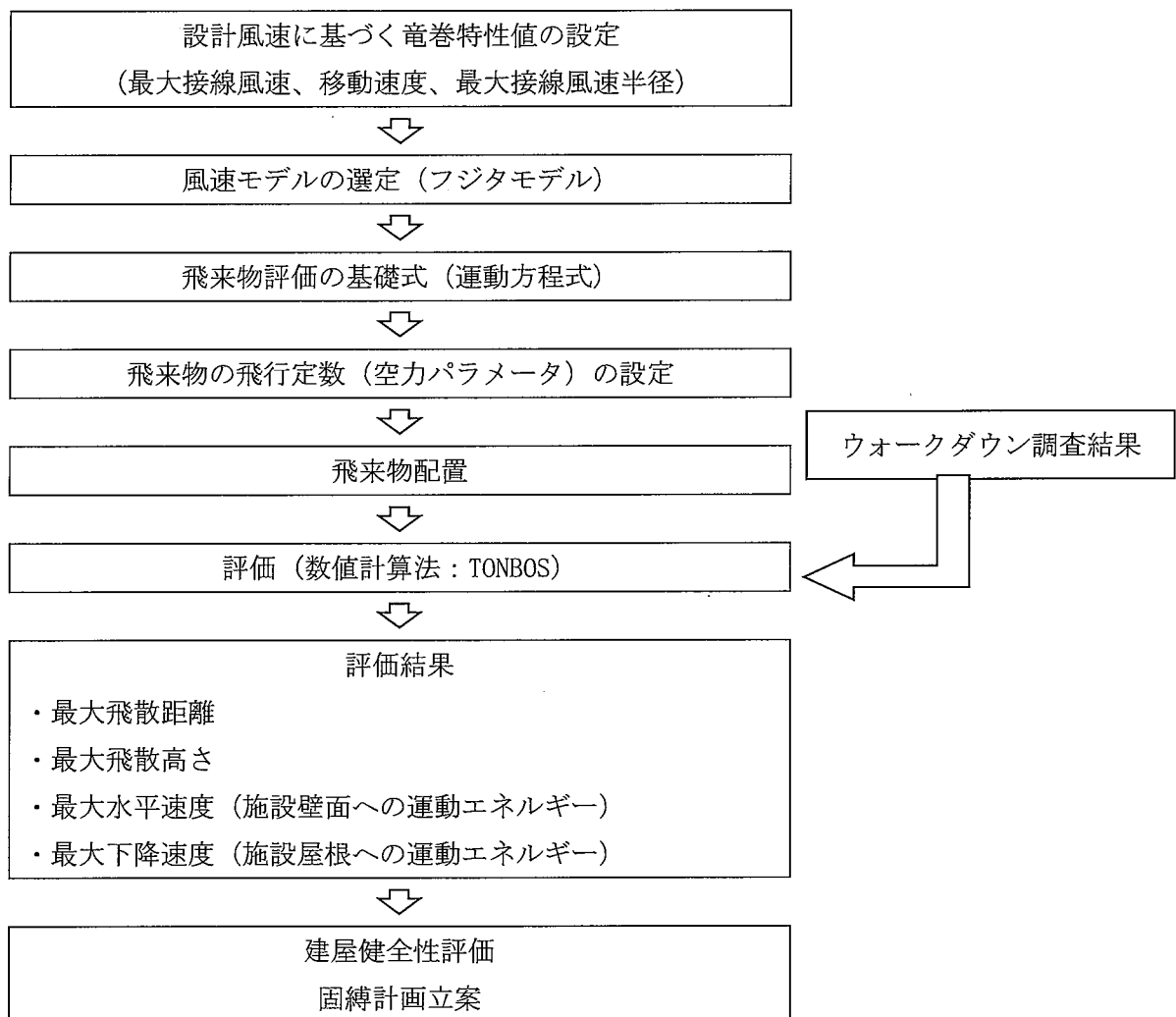
### 1.2.8.3 飛来物評価について

#### (1) 飛来物評価方針

加工施設の健全性を確認する項目については、竜巻による風圧力、気圧差による影響以外に、竜巻の風力によって施設に飛来する物体が施設壁面に衝突する際の衝撃による影響を考慮する必要がある。

この影響評価のため、飛来物が設計対象施設に到達して影響を及ぼすと想定される範囲を踏査（ウォークダウン）して飛来物を抽出し、それぞれの物体の特性からの飛散特性を評価して、施設への影響評価ないしは防護計画の立案を実施することとした。

評価は以下のフローにより実施した。



第 1.2.8.3-1 図 飛来物評価検討フロー



(2) 設計風速に基づく竜巻特性値の設定

安全上重要な施設の有無の確認用竜巻の風速を 92m/s と設定したが、飛来物評価のためには、第 1.2.8.3-2 図に示す竜巻特性値を定める必要がある。竜巻特性値については、以下の考え方にに基づき、第 1.2.8.3-1 表に示すとおり設定した。

① 最大接線風速と移動速度

竜巻の最大速度は最大接線風速と移動速度の和となる。

竜巻ガイド<sup>1)</sup>においては最大接線風速と移動速度の比は 0.85 : 0.15 とすることが推奨されている。

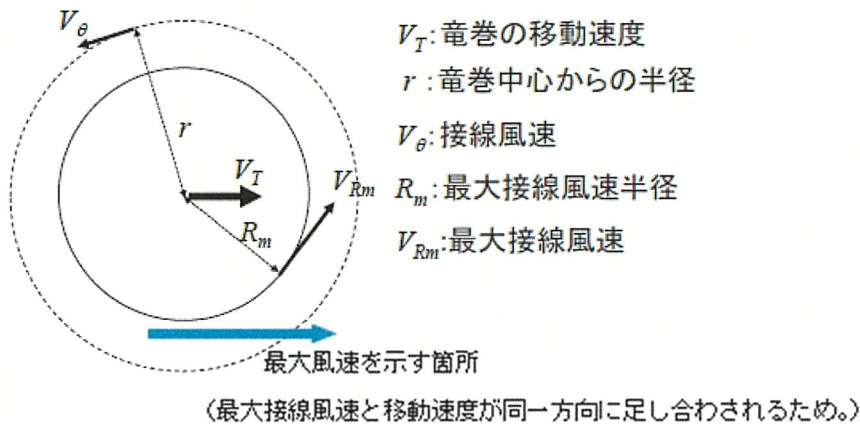
② 最大接線風速半径

最大接線風速半径（コア半径）については 30m とする。

竜巻ガイド<sup>1)</sup>においては、コア半径を 30m とすることが推奨されている。

第 1.2.8.3-1 表 竜巻特性値

最大接線風速	78m/s
移動速度	14m/s
最大接線風速半径	30m



第 1.2.8.3-2 図 竜巻特性値概念図<sup>1)</sup>

(a) 風速場の設定

風速場の設定についてはフジタモデルを採用する。

これまでの竜巻飛来物評価において用いられている風速場モデルとして、米国原子力規制委員会 (NRC) の基準類に記載されている「ランキン渦モデル<sup>2)3)</sup>」、原子力安全基盤機構の調査研究報告書に記載されている「LES (Large-Eddy Simulation)」の数値解析<sup>4)</sup>があるが、当社の竜巻影響評価においては、地面に置かれた物体への影響をよく表現できる風速場モデルを用いて、評価対象施設の影響評価・防護対策を実施するため、竜巻風速場モデルとしてフジタの竜巻工学モデル DBT-77 (DBT: Design Basis Tornado)<sup>5)</sup>を選定した。フジタの竜巻工学モデルを以下、フジタモデルとする。

(b) 各風速場モデルの比較

各風速場モデルの特徴の比較を第 1.2.8.3-2 表に示す。また、フジタモデル及びランキン渦モデルの風速場の定式化モデルについて、風速場構造の概略図とともにそれぞれ第 1.2.8.3-3 図及び第 1.2.8.3-4 図に示す (日本保全協会の飛来物評価ガイドより)<sup>6)</sup>。この定式化された風速場を流線によって表した例を第 1.2.8.3-5 図に示す。フジタモデルの風速場構造の流線は、地面付近を含め、より実際の竜巻風速場に即した形で表現されており、地上からの物体の浮上・飛散解析が可能となっていることがフジタモデルの大きなメリットとなっている。それに対し、ランキン渦モデルは上空での水平方向風速の観点からは比較的よく表現できると言えるものの、地上付近では実現象と事離しており、地上からの飛散挙動は解析できない。

LES も同様に地上付近での風速場が実現象と事離しているため、地上からの飛散挙動を解析できない。また、他のモデルと比較して、フジタモデルは特に問題となるような点も無いことから、竜巻影響評価に用いる風速場モデルとしてフジタモデルを選定することは妥当であると考えられる。

無次元座標  $r = R/R_m, z = Z/H_i$

接線風速  $V_\theta = F_r(r)F_h(z)V_m$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速

$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \frac{V_\theta \tan \alpha_0}{1 - \nu^2} \left(1 - \frac{\nu^2}{r^2}\right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

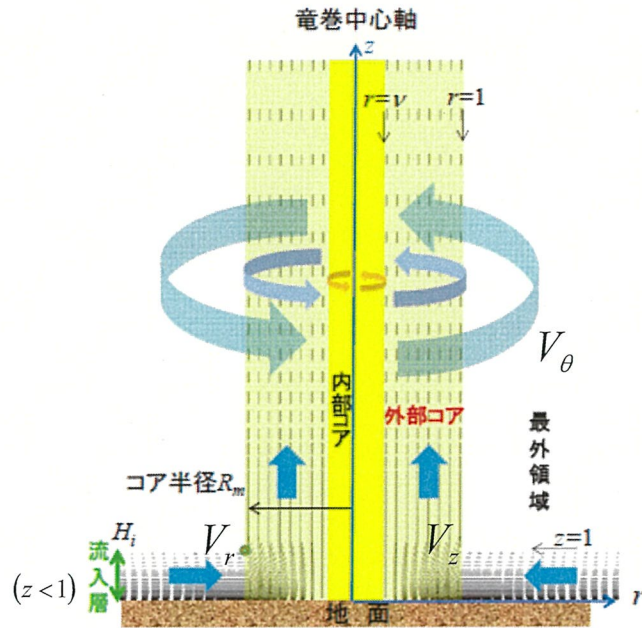
$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1 - z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta V_m}{1 - \nu^2} A \left(16z^{\frac{7}{6}} - 7z^{\frac{8}{3}}\right) & (z < 1) \\ \frac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1 - \nu^2)} \{2 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

連続の式: 
$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

フジタモデルでは  $c=0$  となり連続の式を満たす。



$V_\theta$	接線（周）方向風速
$V_r$	半径方向風速（中心方向が正）
$V_z$	上昇風速
$V_m$	最大接線風速
$R_m$	外部コア半径

第 1. 2. 8. 3-3 図 フジタモデルの概要<sup>6)</sup>

無次元座標  $r = R/R_m$

接線風速

$$V_\theta = \frac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速

$$V_r = -\frac{1}{2} V_\theta$$

上昇風速

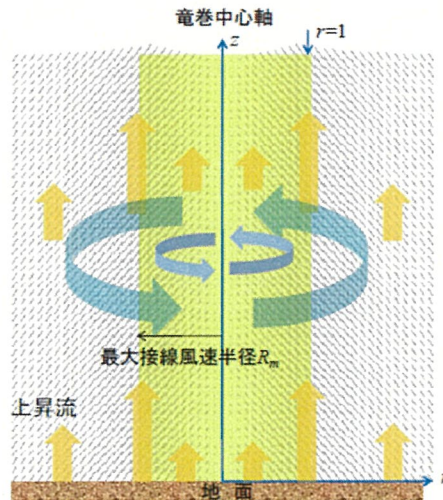
$$V_z = \frac{2}{3} V_\theta$$

水平方向風速

$$V_h = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = V_m F_r(r)$$

連続の式:

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{R_m} \frac{\partial V_z}{\partial z} = \begin{cases} -\frac{2V_m}{\sqrt{5}R_m} & (r < 1) \\ 0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

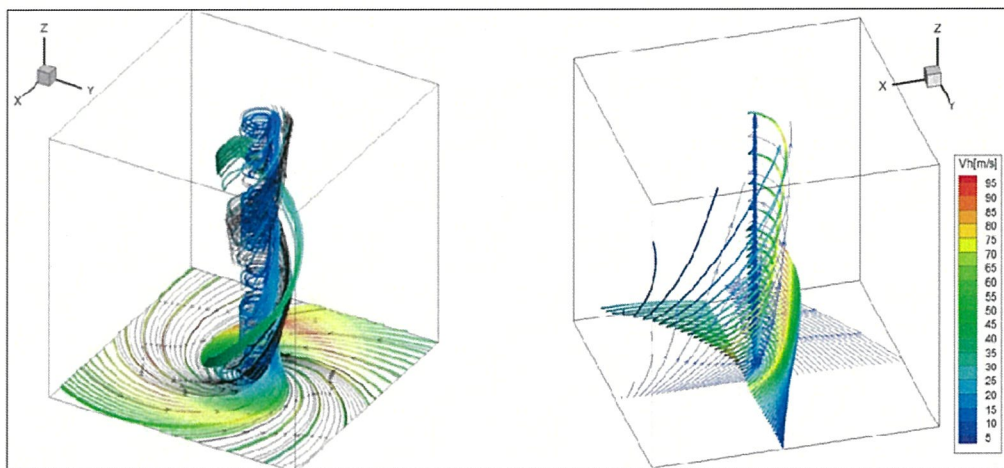


ランキン渦モデルでは、 $r < 1$  で連続の式を満たさない。 $(r < 1$  では流体が消滅する)

第 1. 2. 8. 3-4 図 飛来物速度評価用のランキン渦モデルの概要<sup>6)</sup>

第 1.2.8.3-2 表 各風速場モデルの特徴の比較

風速場モデル	使用実績	特長	問題点
フジタモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻飛来物設計速度、飛散高さに関する米国 DOE 重要施設の設計基準作成に利用されている。</li> </ul> <p>【対象施設の例】 Pantex Plant (テキサス州)、Oak Ridge(X-10、K-25、Y-12) (テネシー州)、Savannah River (サウスカロライナ州)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実観測にもとづいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現している。</li> <li>比較的簡易な代数式により風速場を表現できる。</li> <li>流体の連続式を満たす定式化</li> </ul> <p>地上に設置した状態から飛来物の挙動を解析できる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特になし。</li> </ul> <p>(ランキン渦モデルと比較すると、解析プログラムが複雑になるが、計算機能力の向上、および評価ツールの高度化により問題とならない。)</p>
ランキン渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国 NRC Regulatory Guide 1.76 で採用されている。</li> <li>NRA 評価ガイド (設計竜巻の特性値の設定) で例示されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>簡易な式により風速場を表現できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風速場に高度依存性がなく、上昇流が全領域に存在する (地面からも吹き出しがある) ため、実現象から乖離</li> <li>流体の連続式を満たしていない。</li> </ul> <p>地上からの飛散挙動を解析できない。</p>
非定常乱流渦モデル (LES)	<ul style="list-style-type: none"> <li>NRA 評価ガイドにおいて、飛来物および最大速度の設定例に使用されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風速の時間的な変動・乱れをある程度模擬できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模領域での計算結果を、実スケールサイズに規格化するため、粘性の影響が実現象と乖離 (特に地表面付近)。</li> <li>人為的な境界条件を設定しており、地面や境界近傍で実現象と乖離。</li> <li>実スケールに規格化した場合の平均風速が 100m/s となるため、飛来物評価が非常に保守的な場合がある (瞬間的な最大値は 160m/s 程度)。</li> </ul> <p>地上からの飛散挙動を解析できない</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>実スケールでの解析は、膨大な計算機資源が必要になるため、現実的ではない。</li> </ul>



第 1.2.8.3-5 図 フジタモデル(左)とランキン渦モデル(右)の風速場構造の比較<sup>6)</sup>

(c) 飛来物の運動方程式

飛来物の運動方程式として考慮すべき荷重としては、風によって作用する流体抗力、重力、揚力を考える必要がある。

$$\text{物体に作用する荷重} = \text{流体抗力} - \text{重力} + \text{揚力} \quad (1)$$

これらの荷重を質量で除し、加速度として表すと、重力加速度  $g$ 、揚力加速度  $L$  を用いて、飛行物体の運動方程式は以下のように記述される。

ここで、重力加速度、揚力加速度は垂直方向にのみ作用するので、上向きの単位ベクトル  $\mathbf{k}$  を用いている。

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2m} |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (2)$$

ただし、 $\rho$  は空気密度、 $\mathbf{V}_M$  は飛来物の速度ベクトル、 $\mathbf{V}_W$  は風速ベクトルである。

(d) 飛来物の飛行定数

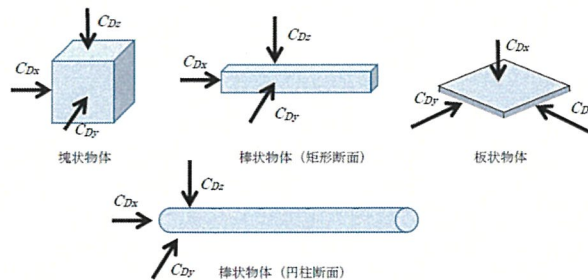
(2) 式の流体抗力を表す加速度項のうち、飛来物に関する入力データとして、飛行定数  $C_D A/m$  が必要となる。ここで、 $m$  は飛来物の質量を表し、 $C_D A$  は文献<sup>4)</sup>と同様に以下で定義される抗力係数と見附面積の積の平均値である。

(飛行定数は空力パラメータともいう)

$$C_D A = 0.33 \cdot (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z) \quad (3)$$

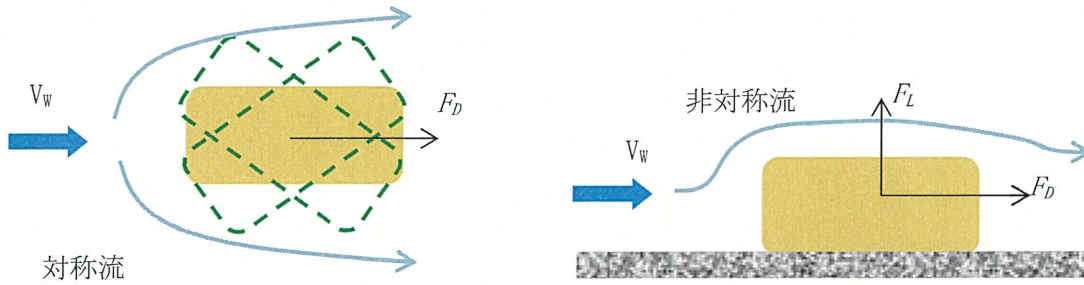
第 1.2.8.3-3 表 飛来物の方向別抗力係数<sup>6)</sup>

物体形状	$CD_x$	$CD_y$	$CD_z$
塊状物体	2.0	2.0	2.0
板状物体	2.0	1.2	1.2
棒状物体 (矩形断面)	2.0	1.2	1.2
棒状物体 (円形断面)	2.0	0.7	0.7



(e) 運動方程式のうち揚力加速度について

物体が地面に置かれている場合や地面に近い場合は、地面効果による揚力を考慮している<sup>7)8)</sup>。具体的には、物体の形状が流れ方向の軸に関して対称であっても、第 1.2.8.3-6 図(b)に示すように地面の存在により流れが非対称になり、物体上部の圧力が低くなることで物体を浮上させる駆動力が生じることから、これを揚力  $F_L$  として考慮する。



(a) 空中で飛来物へ作用する力

(b) 地面付近で飛来物へ作用する力

第 1.2.8.3-6 図

このような揚力  $F_L$  は地面での揚力係数  $C_L$ 、地上での物体の見附面積(風向方向から見た投影面積)  $a$  を用いて、以下のように表される<sup>8)</sup>。

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L a |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 \quad (4)$$

$C_L a$  は風洞実験から求められる値であるが、実験条件(風を受ける方向等)により様々な値を取り得るため、それを包含するような係数を設定することが望ましい。

$C_L a$  に比べ  $C_D A$  のほうが一般に大きな値を与えることから、本評価では、地上からの物体浮上・飛散評価における実用性と保守性確保の観点から、 $C_L a$  に代わり飛行定数に用いている抗力係数と見附面積の積の平均値  $C_D A$  を用いることとする<sup>7)8)</sup>。

(f) 揚力の高さ依存性

この地面効果による揚力は高さとともに減衰するので、既往の風洞実験の結果を考慮して、物体高さ  $d$  の物体にかかる揚力は、物体底面が地面から  $3d$  の高度であるとき消滅すると仮定した<sup>7)8)</sup>。

具体的には、地面から  $Z$  の距離(高度)にある物体に作用する揚力加速度  $L$  を以下の関数形でモデル化した。(Z:物体底面の高度)

$$L = \frac{1}{2} \rho \frac{C_D A}{m} |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f(Z/d) \quad (5)$$

ただし、 $f(Z/d)$  は以下の式とした<sup>7)8)</sup>。

$$f\left(\frac{Z}{d}\right) = \begin{cases} \frac{1-(Z/3d)}{1+(Z/d)} & (Z < 3d) \\ 0 & (Z \geq 3d) \end{cases} \quad (6)$$

ここで  $Z = z - d/2$

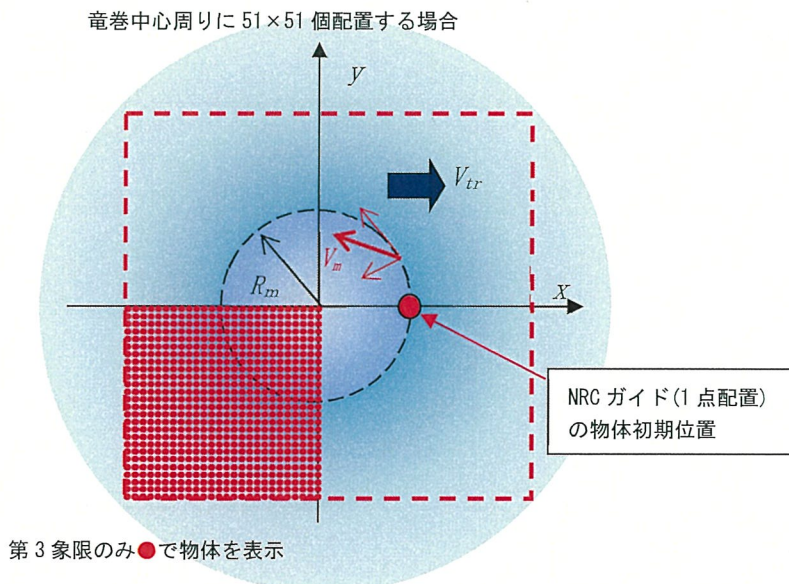
(g) 飛来物配置

竜巻によって飛散する物体の飛来速度や飛散距離は、同じ竜巻内であっても物体の受ける風速(物体がある位置の竜巻風速)によって大きく変動する。その影響度合いを確認するため、米国 NRC ガイド<sup>2)</sup>に記載されている方法(物体の1点配置)と、物体を多点多数配置した場合の飛来速度の違いを比較した。配置の違いについて、第 1.2.8.3-7 図に示す。

1点配置の場合は、特定位置(竜巻進行方向の竜巻半径の位置  $(x, y) = (R_m, 0)$ )に物体1個を設置する。また多点多数配置の場合は、竜巻半径の4倍の正方形の領域に  $51 \times 51$  個の物体を配置する。その上で飛散させた物体の内、最も速度が大きくなったものをその物体の飛来速度とする。

米国 NRC で用いられている1点配置の手法と比較し、多点多数配置の手法では、その竜巻風速場における最大風速(最大接線風速と半径方向風速のベクトル和が竜巻移動方向と重なる点)を受ける物体が出てくるため、保守的な評価となる。

したがって、物体を多点多数配置することは、竜巻から受ける風速に関する不確実性を考慮できるものと考えられるため、本検討における方法として適用することとする。



第 1.2.8.3-7 図 飛来物評価における竜巻と物体の位置関係

(h) 飛来物評価手法

飛来物評価手法としては電中研が開発した竜巻による物体の浮上・飛来解析コード「TONBOS」を用いて評価を実施した<sup>7)</sup>。

TONBOS では飛来物の位置  $X_M(t)$  と速度  $V_M(t)$  の時刻歴の計算に陽解法(一定加速度法)を用いている。

具体的には、時刻  $t=\tau$  における飛来物の位置  $X_M(\tau)$  と速度  $V_M(\tau)$  を既知として、時刻  $t=\tau+\Delta\tau$  における飛来物の速度と位置を以下の式で求めた。ただし、 $A(\tau)$  は上記運動方程式の右辺に対応する時刻  $t=\tau$  における加速度ベクトルである。

$$\mathbf{V}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{V}_M(\tau) + \mathbf{A}(\tau) \cdot \Delta\tau \quad (7)$$

$$\mathbf{X}_M(\tau + \Delta\tau) = \mathbf{X}_M(\tau) + \mathbf{V}_M(\tau) \cdot \Delta\tau + \frac{1}{2} \mathbf{A}(\tau) \cdot \Delta\tau^2 \quad (8)$$

時刻  $\tau$  のときの飛来物の位置と竜巻の位置における風速場に基づき、飛来物に作用する加速度  $A(\tau)$  を求めることができる。

(2) 式では運動方程式をベクトル表記しているが、これを3次元各軸(1と2を水平方向のx軸、y軸に3を垂直方向のz軸に対応)毎に分離して記載すると以下のとおりとなる。

$$\frac{dV_{M1}}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} \sqrt{(V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2 + (V_{W3} - V_{M3})^2} \cdot (V_{W1} - V_{M1}) \quad (9)$$

$$\frac{dV_{M2}}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} \sqrt{(V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2 + (V_{W3} - V_{M3})^2} \cdot (V_{W2} - V_{M2}) \quad (10)$$

$$\frac{dV_{M3}}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} \sqrt{(V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2 + (V_{W3} - V_{M3})^2} \cdot (V_{W3} - V_{M3}) - (g - L) \quad (11)$$



(3) 参考文献

- 1) 原子力規制委員会, “原子力発電所の竜巻影響評価ガイド,” 2013.
- 2) U. S. Nuclear Regulatory Commission, “Regulatory Guide 1. 76 Design - Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Revision 1,” March 2007.
- 3) E. Simiu , M. Cordes, “Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050,” 1976.
- 4) 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,” 2011.
- 5) T. T. Fujita, “Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago,” 1978.
- 6) 日本保全学会, “軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン 平成 27 年 1 月,” 原子力規制関連事項検討会, 2015.
- 7) 江口 譲, 杉本 聡一郎, 服部 康男, 平口 博丸, “竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発,” 電力中央研究所研究報告 N14002, 2014.
- 8) 江口 譲, 杉本 聡一郎, 服部 康男, 平口 博丸, “原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法(Fujita の竜巻モデルを用いた数値解析コードの妥当性確認),” 日本機械学会論文集, vol.81, No.823, 2015.
- 9) EPRI, “Wind field and trajectory models for tornado-propelled objects,” report NP-748, 1978.
- 10) M. R. Ahmed , S. D. Sharma, “An investigation on the aerodynamics of asymmetrical airfoil in ground effect,” Experimental Thermal and Fluid Science, 29, 2005.
- 11) MARCH 2007 TANAMACHI ET AL. Ground-Based Velocity Track Display (GBVTD) Analysis of W-Band Doppler Radar Data in a Tornado near Stockton, Kansas, on 15 May 1999 , MONTHLY WEATHER REVIEW VOLUME 135, American Meteorological Society, 2007

(補足1) フジタモデル飛来物評価で考慮している保守性について

飛来物評価に影響する項目は、物体に作用する荷重  $F$  として抗力  $D$ 、揚力  $L$ 、重力  $G$  の3つの荷重のみである。

$$F = D + L - G \quad (12)$$

重力については除くとし、抗力と揚力の2つを保守的に評価しているかどうかを整理した。

抗力については、物体の面積と抗力係数によって定まる。

揚力については物体の上下を流れる風速の差が生じたときに翼効果によって上向きに作用することとなるが、飛散した物体は安定して上下の風速差が生ずるように制御されているわけではなく、回転すると考えられるので、浮き上がった物体に対してはほとんど作用しない。しかし、地面近傍においては、地面上の風速は0であり、上にいくほど風速が生ずることから、物体の上下で風速差による揚力が作用する(地面効果)。

項目		フジタモデル評価の考慮事項	保守性
風速	風速	風速については地面で0になるものの、上空(10m程度)でほぼ最大風速に到達する分布となる	より現実的なモデルであるといえる。
抗力	抗力係数	抗力係数としては、Cd値を最大2まで考えている。	各種形状のCd値に対して保守的に設定 <sup>4)</sup> 。
	面積	見附面積を考慮している	形状として箱ないしは円筒形状を考慮しており、見附面積としては最大を考慮している。
揚力	地面効果	風速分布を考慮することによって地面に置かれた物体に作用する揚力を考慮することができる。	文献 <sup>9)10)</sup> にある円柱状の物体に対する垂直方向位置と揚力の関係から保守的に設定。なお、風速分布を持たない風速モデル(ランキン渦など)では評価できない。
	揚力係数	揚力係数を抗力係数で置き換えることで、保守性を確保している。	文献 <sup>9)</sup> に揚力係数が示されており、抗力係数の方が大きくなることを確認。
その他	竜巻との位置関係	竜巻半径の4倍四方のエリアを考え、竜巻の接近とともに51×51個のケースのうち、もっとも厳しいものを評価	地上に同一の物体がぎっしり並んでいると想定しており、51×51の配列では $3.8 \times 10^{-4}$ の確率を考慮したことになる。
	飛来物到達角度	飛来物評価では飛散する方向まで考慮していないが、現実的には飛散方向が施設側に向かなければ到達しない。	竜巻から施設までの距離が最も近い場合でも、最低でも確率は1/2以下となる。
結果	Fスケール	自動車に対するFスケールの被害規模を包絡した結果となる。	Fスケールの説明に対し保守的 <sup>6)</sup> 。
	米国事例 GrandGulf	資材置き場のパイプは散乱したが浮上しなかったという実態と一致	実態とほぼ一致 <sup>6)</sup>
	国内事例 佐呂間	トラックおよび乗用車の飛散事例に対し、風速60m/s以上では飛散しないという条件を適用し、飛来経路がほぼ一致している。また、飛散距離を包絡して評価できた。	竜巻中心からの初期位置の距離が不明であるが、それぞれ約20%程度、大き目に評価できている <sup>6)</sup> 。 解析では飛散しない風速条件を設定せず、51×51の評価ポイントで実施するため、さらに包絡的に評価することとなる。

(補足2) ランキン渦モデルとフジタモデルの相違点について

ランキン渦モデルは本来、円周方向に回転する流体を模擬するためのモデルである。流体の運動を円周方向のみに限定することで、流体の圧力を数学的に容易に定式化することができるため、渦による流体の盛り上がりなどを容易に計算できる。

上空の竜巻内部の風速分布はランキン渦モデルに近いことが報告されている（文献例<sup>11)</sup>）。

ランキン渦モデルでは上述の通り、円周方向の風速のみモデル化したものであり、本来、垂直方向の風速分布を持たないため、物体の上下に作用する揚力がモデル化できないこと、垂直方向風速をもたないため、上方向への抗力がモデル化できないことの2つの特徴があげられる。

このため、ランキン渦モデルを飛来物評価に適用するため、垂直方向、径方向の風速分布を竜巻観測結果に基づき仮定して扱っている<sup>3)</sup>。

とくにランキン渦モデルではいずれの方向の風速についても同様として扱っているため、地面上でも垂直方向風速があるモデルとなり、まるで地面から風速がわきあがるような仮定となってしまう、流体の連続の式が成り立たない。

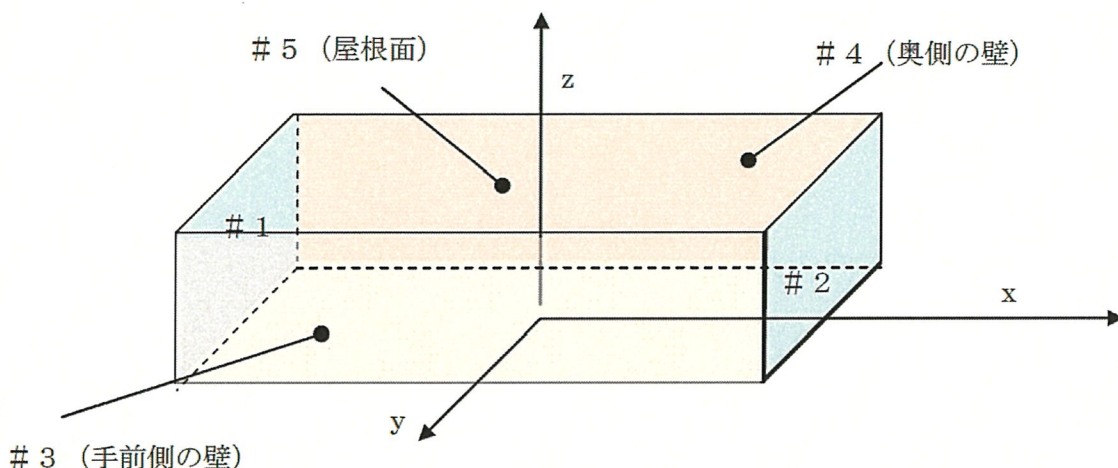
この点、フジタモデルは地面上の風速を0とし、垂直方向風速分布は境界層を考慮したものとなっており、流体の連続の式が成り立ち、物理的に妥当である。

項目	フジタモデル	ランキン渦モデル（飛来物評価用）
水平方向の風速	地表面で0。上空にいくほど大きくなり、一定値に収束する。 現実的なモデル	垂直方向の分布を仮定しないため、地表面でも上空でも同じ風速
垂直方向の風速	地表面で0。上空にいくほど大きくなり、一定値に収束する 現実的なモデル。	垂直方向の分布を仮定しないため、地表面でも上空でも同じ風速。 地表面に置いている物体に対しても下から吹き上げる風の抗力で浮き上がる評価となる。
水平方向の抗力	地表面の物体の抗力は小さい。上空に浮き上がった場合はランキン渦モデルと同等となる。	地表面でも上空でも同じ
垂直方向の抗力	地表面から吹き上げる風速はないため、地表面の物体の抗力はない。上空に浮き上がった場合はランキン渦モデルと同等となる。	地表面から吹き上げる風速によって地表面でも抗力により吹きあがる。本来地表面ではこの効果はありえないため、過度に保守的。
垂直方向の揚力	地表面の物体の上下には風速差が発生し、揚力が作用する。	地表面の風速差がないため、揚力が評価できない。 地表面からの浮き上がりの有無は別途評価する必要がある。

1.2.8.4 竜巻により建物に作用する荷重の評価について（風圧力・気圧力・衝撃力）  
 竜巻襲来時に建物に作用する風圧力・気圧力・衝撃力を評価する。

(1) 建物への荷重について

作用荷重は第 1.2.8.4-1 図のとおり建物の長手方向を x、幅方向を y、高さ方向を z とした 3 成分に分解し、評価を実施する。



第 1.2.8.4-1 図 建物と座標の関係と壁、屋根番号

以後、建物への荷重が外側から内側に作用する場合を正、内側から外側に作用する場合を負として扱うこととする。

竜巻ガイド<sup>1)2)</sup>では竜巻に作用する荷重として、2つの場合に分けることで評価することとしている。1つめの場合は竜巻の中心が建物に到来している場合であり、竜巻の気圧低下が最も大きい、風速は最も小さい。2つめの場合は竜巻半径に位置する部分が建物に到来している場合であり、風速が大きい気圧低下は竜巻中心部の半分となることを考慮した場合である。飛来物が建物に襲来する場合は風速が最も大きい場合と考え、2つめの場合に考慮している。

1つめの場合の荷重を  $W_{T1}$ 、2つめの場合の荷重を  $W_{T2}$  とすると、

$$W_{T1} = W_p \quad (1)$$

$$W_{T2} = W_w + 1/2W_p + W_M \quad (2)$$

ここで

$W_w$  : 竜巻の風圧力による荷重（風圧力）

$W_p$  : 竜巻による気圧差による荷重（気圧差）

$W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重（衝撃力）

なお、荷重は評価対象部分の面積の取り方によって変化することから便宜上圧力の単位で検討する場合がある。圧力の単位で表記する場合、 $W$  を小文字 ( $w$ ) で表す。荷重の単位で表す場合は  $W$  を大文字 ( $W$ ) で表す。

## (2) 風圧力

風邪圧力については、文献 1) 2) を参照し、建物の特性を考慮して検討した。

竜巻の場合、風向が一定とはならないため、建物の水平直行軸 (x 軸と y 軸) に対して風上、風下を考える。

風圧力は以下の式で算出する

$$q = \frac{1}{2} \rho V_D^2 \quad (3)$$

ここで

$q$  : 速度圧

$\rho$  : 空気密度 = 1.22kg/m<sup>3</sup> <sup>2)</sup>

$V_D$  : 竜巻最大風速 = 92m/s

建物に作用する各壁、屋根 (作用部位とする) の風圧力は次のように計算される。

$$w_w = G \cdot C \cdot q \quad (4)$$

ここで

w : 作用部位の風圧力

G : ガスト影響係数

C : 風力係数 (風向、建物寸法から定まる係数)

ここで、ガスト影響係数 G は風の乱れによる建物の風方向の振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における建物の最大変位と平均変位の比で定義される。ここでは風速は最大瞬間風速として扱うことから、G=1.0 とする <sup>2)</sup>。

上記 C 値について、風向と各壁・屋根について、建物を上面からみた場合、風向方向の建物寸法を D、風向に垂直な方向の寸法を B とし、以下のとおり整理した。

### (a) 壁に作用する風圧力

壁に作用する風力係数 C を添え字の W を用いて  $C_w$  とする。 $C_w$  値は風上側と風下側で異なる。竜巻の場合、風の方向が一定とはならないが、ここでは第 1.2.8.4-1 表に示す x 方向と y 方向に分離して評価を行う。

風力係数は建物の高さ方向に依存するが、ここでは保守的にすべての高さ方向で同じ値になるものとして評価する。

建物の壁の面積は x 方向 (壁 # 1、# 2)、y 方向 (壁 # 3、# 4) で同じであるとする。

第 1.2.8.4-1 表 風力係数  $C_w$  (正が圧縮、負が引張)

		風力係数
風上側 $C_{wU}$		0.8
風下側 $C_{wL}$	D/B 比 $\leq 1$	-0.5
	D/B 比 $> 1$	-0.35

(b) 屋根に作用する荷重

屋根に作用する風力係数  $C$  を添え字の  $R$  を用いて  $C_R$  とする(第 1.2.8.4-2 表)。屋根に作用する荷重は風上側からの屋根端部からの距離に応じて変化する。風上端部からの距離を  $R_b$  とする。

また、屋根に作用する風圧力の風力係数として、外側からの荷重を考慮するための外圧係数と内側からの荷重を考慮するための内圧係数の 2 つが考えられる。ここでは、屋根面の気密性が保たれている場合を考え、内圧係数としては 0、すなわち、屋根の外側を流れる風による気圧低下のみを考える。

ただし、屋根が損傷した場合は、屋根内外の気圧差は解消されるものと考え、 $C_R$  は 0 になるものとする。

第 1.2.8.4-2 表 風力係数  $C_R$  (正が圧縮、負が引張)

	風力係数 (外圧係数)	
	屋根健全時	屋根損傷の場合
$R_b \leq 0.5B$	-1.2	0.0
$0.5B < R_b \leq 1.5B$	-0.6	0.0
$R_b > 1.5B$	-0.2	0.0

(3) 気圧差

竜巻には竜巻内の気体の運動が保たれている場合、慣性力とつりあうだけの圧力が生じていることとなる。竜巻の移動については等速直線運動と考えられることから、慣性力は生ずることはないため、ランキン渦モデルを用いる場合、竜巻の最大気圧低下量は竜巻の回転方向の風速すなわち最大接線風速に依存して以下の通り算出される。

$$w_p = \rho V_m^2 \quad (5)$$

ここで

$w_p$  : 気圧力

$V_m$  : 竜巻最大接線風速

なお、建物の一部が損傷した場合、気圧差は解消されることから、 $w_p=0$  になるものとする。

(4) 衝撃力

(a) 衝撃荷重評価の考え方

飛来物による衝撃荷重は飛来物が衝突対象物に衝突し変形する際に生じる。この際、飛来物がもつ運動エネルギーは、変形による弾性エネルギーと飛来物と衝突対象物の摩擦や飛来物及び衝突対象物の塑性変形などによって散逸し、弾性エネルギーの分だけが衝撃荷重として現れる。

ここでは、保守的にこの散逸エネルギーを無視する。また、飛来物と衝突対象物のばね定数はそれらの直列ばねとして考慮する必要があるが、荷重を大き目に評価するため、飛来物のばね定数のみを考慮することとする。

(b) 衝撃荷重の評価式

衝撃荷重の評価式はエネルギー保存則により以下のとおりとなる。

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}Kx^2$$
$$W_M = Kx \text{ より}$$
$$W_M = \sqrt{2 \cdot E_k \cdot K} \quad (6)$$

ここで

$W_M$  : 衝撃荷重

$x$  : 衝撃による変形量

$E_k$  : 飛来物の運動エネルギー

$K$  : 飛来物のばね定数

$m$  : 飛来物の質量

$v$  : 飛来物の衝突時の速度

(5) 建物評価用荷重

(a) 保有水平耐力評価

建物が持つ保有水平耐力と比較して倒壊の可能性があるか検討するため、建物に作用する水平方向（x ないし y 方向）の荷重を評価する。

建物には気圧差が作用しても建物の水平方向の両側で打ち消しあうが、ここでは、保守的に建物の風下側の面にのみ気圧差が作用するものとして気圧差を考慮することとする。

$$W_{T1} = w_p \cdot A_L$$
$$W_{T2} = (C_{wU} \cdot q \cdot A_U - C_{wL} \cdot q \cdot A_L) + \frac{1}{2} \cdot w_p \cdot A_L \quad (7)$$

$A_U$  : 風上側面積

$A_L$  : 風下側面積

飛来物が到来する可能性のある部位については、上記  $W_{T2}$  に衝撃力を加える。

(b) 局部評価

(i) 壁

屋根・壁のもつ最小強度と比較して、気密性が確保されるか検討するため、建物の屋根・壁に作用する荷重を評価する。

気密性が確保されない場合、内部施設へ影響が及ぶことを考慮して評価を実施する。

壁に作用する荷重は気圧差の大きさによって、風上側と風下側のいずれが厳しい結果となるか変わる。気圧差単独の荷重  $W_{T1}=W_P$  も含めて、評価すべき荷重が次の通り算出される。なお、 $W_{T2}$  については、局部評価荷重であることを添え字の  $w$  で示す。

$$W_{T1} = W_P \quad (8)$$

$$W_{T2\_w} = \begin{cases} C_{WU} \cdot q + \frac{1}{2} W_P & \text{if } (C_{WU} + C_{WL}) \cdot q \geq -W_P \\ C_{WL} \cdot q + \frac{1}{2} W_P & \text{if } (C_{WU} + C_{WL}) \cdot q < -W_P \end{cases} \quad (9)$$

(ii) 屋根

屋根に対しては、風圧力と気圧差の作用する方向は常に上向きである。なお、 $W_{T2}$  については、局部評価荷重であることを添え字の  $r$  で示す。

$$W_{T1} = W_P \quad (10)$$

$$W_{T2\_r} = C_R \cdot q + \frac{1}{2} W_P \quad (11)$$

壁・屋根の局部評価用荷重評価結果を第 1.2.8.4-3 表に示す。

いずれの建物についても風力係数は同じになるため、圧力の次元での荷重は同じ値となる。

なお、飛来物が到来する可能性のある部位については、上記に  $W_{T2}$  衝撃力を加える。この場合、衝撃力は圧縮側であるので、符号を考慮して作用させる。



参考文献

- 1) 原子力規制委員会, “原子力発電所の竜巻影響評価ガイド”, 2013
- 2) 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) および解説”, 2013

第 1. 2. 8. 4-3 表 局部評価用荷重計算

竜巻条件入力パラメータ			
空気密度	$\rho$	(kg/m <sup>3</sup> )	1.22
竜巻最大風速	VD	(m/s)	92
竜巻接線風速	Vm	(m/s)	78
速度圧	q	(Pa)	5163
気圧力	p	(Pa)	-7422

屋根損傷状態			(-)		健全		損傷	
風方向			(-)		長手	幅	長手	幅
風力係数(壁: C <sub>W</sub> )	風上	(-)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	風下	(-)	-0.5	-0.35	-0.5	-0.35	-0.5	-0.35
風力係数(屋根: C <sub>R</sub> )	(最大値)	(-)	-1.2	-1.2	0	0	0	0
気圧差(W <sub>p</sub> )			(Pa)	-7422	-7422	0	0	0
壁荷重	WT1	(Pa)	-7422	-7422	0	0	0	0
	WT2_w	(Pa)	-6293	-5518	4130	4130	4130	4130
屋根荷重	WT1	(Pa)	-7422	-7422	0	0	0	0
	WT2_r	(Pa)	-9907	-9907	0	0	0	0

※建屋への荷重が外側から内側に作用する場合は正、内側から外側に作用する場合は負

#### 1.2.8.5 竜巻防護施設の選定と竜巻影響エリアの設定

##### (1) 竜巻防護施設の選定

竜巻防護施設は、加工施設の全ての建物及び設備・機器とする。

##### (2) 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアを防護施設の外郭をもとに設定する。加工施設の建物について第1.2.8.5-1表に選定結果と共に示す。なお、加工施設では建物は敷地内に分散しているため、第1.2.8.5-2表に示す様に建物をいくつかの組に分け、それぞれを包含する円を保守的に設置面積として設定した。これらの設置面積の合計値と等価な面積の円を竜巻影響エリアとして設定した。

第1.2.8.5-2表より、等価な円の面積は45,700m<sup>2</sup>であり、相当する直径は約241mであるため、竜巻影響エリアの直径は250mと設定した。

第 1. 2. 8. 5-1 表 対象となる建物と選定結果

No.	建物名	建物区分	選定結果
1	工場棟	転換工場	○
2		成型工場	○
3		組立工場	○
4	加工棟	成型工場	○
5	放射線管理棟	廃棄物缶詰室、 廃水処理室、シャワー室、 検査室他	○
6	付属 建物	除染室・分析室	○
7		第 2 核燃料倉庫	○
8		第 3 核燃料倉庫	○
9		第 1 廃棄物処理所	○
10		第 2 廃棄物処理所	○
11		シリンダ洗浄棟	○
12		原料貯蔵所	○
13		劣化・天然ウラン倉庫	○
14		第 3 廃棄物倉庫	○
15		容器管理棟	○
16		放射線管理棟前室	○
17		第 1 廃棄物処理所前室	○
18		廃棄物管理棟	○
19	発電機室	○	

第 1.2.8.5-2 表 竜巻影響エリア算出の建物直径内訳

組番号	建物内訳 (番号は第 1.2.8.5-1 表による)		直径 (m)	面積 (m <sup>2</sup> )* <sup>1</sup>
①	1	転換工場	188* <sup>2</sup>	27,800
	2	成型工場		
	3	組立工場		
	5	放射線管理棟		
	6	除染室・分析室		
	7	第 2 核燃料倉庫		
	16	放射線管理棟前室		
②	9	第 1 廃棄物処理所	67	3,600
	10	第 2 廃棄物処理所		
	11	シリンダ洗浄棟		
	17	第 1 廃棄物処理所前室		
③	4	加工棟	63	3,200
④	12	原料貯蔵所	62	3,100
⑤	15	容器管理棟	29	700
⑥	8	第 3 核燃料倉庫	50	2,000
⑦	14	第 3 廃棄物倉庫	37	1,100
⑧	13	劣化・天然ウラン倉庫	15	200
⑨	18	廃棄物管理棟	69	3,800
⑩	19	発電機室	14	200
合計	—		—	45,700

\*1 : 100m<sup>2</sup> 単位に切り上げ

\*2 : シリンダ置場を含む直径

1.2.8.6 更なる安全裕度の向上を図る目的で設定した竜巻(F3)に対する防護設計一覧  
各建物における竜巻防護対策を第1.2.8.6-1表に示す。

第1.2.8.6-1表 各建物における竜巻防護対策一覧

No.	建物名称	建物仕様			竜巻防護設計				備考	
		主構造	屋根構造	耐震重要度分類	評価結果			主な補強方法		
					屋根	外壁	屋根			外壁
1	転換工場	S	折板	1	1	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下・天井下)、設備・機器固定補強(転換加工室、原料倉庫、フィルタ室)	前室は損傷
2	成型工場	RC	折板	1	1	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下・天井下)、設備・機器固定補強(フィルタ室)、建物内部2F床面により、1Fに設置している設備・機器は影響を受けな	放射線管理棟を含む、前室は損傷
3	組立工場	RC	折板	1	2	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下)、設備・機器固定補強	前室は損傷
4	加工棟	RC	RC	1	1	健全	-	-	特になし	前室は損傷、連絡通路は損傷
5	第3核燃料倉庫	SRC	RC	1	1	健全	-	-	特になし	
6	第1廃棄物処理所	S	ALC	2	1	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下)、設備・機器固定補強	渡り廊下は損傷
7	第2廃棄物処理所	S	ALC	2	1	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下)、設備・機器固定補強	渡り廊下は損傷
8	シリンダ洗浄棟	SRC	RC	1	1	健全	-	-	特になし	前室は損傷
9	劣化・天然ウラン倉庫	RC	RC	1	2	健全	-	-	特になし	
10	第3廃棄物倉庫	S	ガラ	3	2	損傷	-	-	ドラム缶固縛	
11	原料貯蔵所	SRC	RC	1	2	健全	-	-	特になし	
12	除染室・分析室	S	折板	1	1	健全	-	-	飛散防止用防護ネット設置(屋根下)、設備・機器固定補強	
13	容器管理棟	RC	RC	3	2	健全	-	-	特になし	
14	第2核燃料倉庫	RC	RC	1	1	健全	-	-	特になし	
15	廃棄物管理棟(新設)	SRC	RC	3	2	健全	-	-	特になし	
16	発電機室(新設)	RC	RC	2	-	健全	-	-	特になし	

※建物仕様の略称の説明

・ 主構造の分類は次の通り→ S:鉄骨造、RC:鉄筋コンクリート造、SRC:鉄骨鉄筋コンクリート造

・ 屋根構造の分類は次の通り→ 折板:鉄骨下地+折板張り、RC:鉄筋コンクリート製、ALC:鉄骨下地+軽集気泡コンクリート、ガラ:鉄骨下地+カラー鉄板

#### 1.2.8.7 飛散防止用防護ネット（金網）に関する補足説明

##### (1) 飛散防止用防護ネットの機能について

###### (a) 内部設備の放出防止

屋根が損傷した場合、建物内部に風が吹き込み、内部設備であるダクトが損傷する可能性が考えられる。この場合、損傷したダクトが飛散し、建物内部から建物外部に放出する可能性が考えられるため、この外部への放出を防止する。

###### (b) 内部設備の落下防止

上述のとおり、屋根下にある損傷したダクトが工場内に落下することが考えられる。このため、ダクトの落下を防止する。ただし、上層階の床があり、設備・機器への落下が想定されない場合は設置しない。

##### (2) 対象建物と飛散防止用防護ネットの設置について

加工施設と想定飛来物および飛散防止用防護ネットの設置について整理したものを第 1.2.8.7-1 表に示す。

第1.2.8.7-1表 各建物と飛散防止用防護ネット（金網）の設置について

建物	転換工場	転換工場（東側） 除染室・分析室 第1、第2廃棄物処理所 放射線管理棟の一部	成型工場	組立工場
屋根損傷	損傷 要	損傷 要	損傷 要	損傷 要
ダクト放出防止	↑	↑	不要（上層階の床あり）	↑
ダクト落下防止	↑	↑	不要（上層階の床あり）	↑
建物高さ	12m	5m	12m	12m
想定飛来物	プレハブ物置（大）	プレハブ物置（大） 軽トラ	プレハブ物置（大）	プレハブ物置（大）
金網設置 模式図				
金網機能	ダクト放出防止 ダクト落下防止 飛来物防護	飛来物防護	ダクト放出防止 飛来物防護	飛来物防護

#### 1.2.8.8 屋根への飛来物の影響評価について

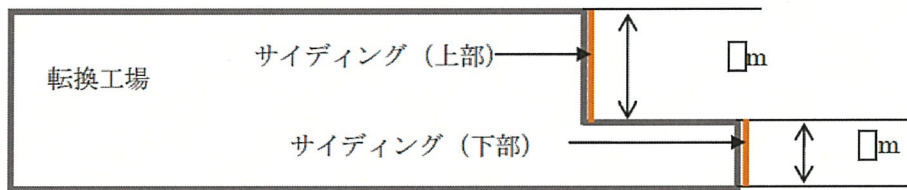
ここでは飛来物による施設への影響のうち、屋根への影響について評価した。

##### (1) 屋根への衝突 (S 造)

転換工場はS造となっている。転換工場は敷地南側に面していないことから直接的な飛来物の飛来は考えにくいですが、東側の側面については飛来の可能性が考えられる。

転換工場の東側は建物の1階が張り出した形となっており、第1.2.8.8-1図に示す通り、東側の一部が低くなっている。低い部分の高さは5mと、軽自動車あるいは軽トラック（以下「軽トラ」という。）の飛散高さに比べて低い。

そこで、軽トラの落下の衝撃エネルギーを折板屋根の変形で吸収することができるかを検討した。



第1.2.8.8-1図 転換工場 東側の構造

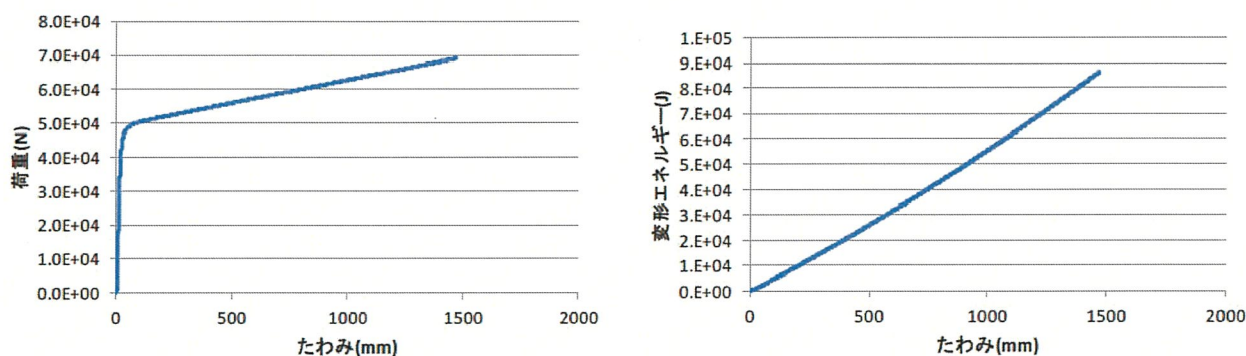
第1.2.8.8-1表に屋根折板の諸元を示す。また、たわみに対する荷重と変形エネルギーを第1.2.8.8-2図に示す。

評価した結果を第1.2.8.8-2表に示す。ここからわかるとおり、屋根によって飛来する軽トラの運動エネルギーを吸収することが可能であることがわかる。



第 1. 2. 8. 8-1 表 折板屋根諸元

項目	記号	単位	数値
耐力	$\sigma_y$	MPa	200
引張強さ	$\sigma_u$	MPa	400
破断伸び	$\varepsilon_u$	%	20%
ヤング率	E	MPa	2.00E+05
塑性変形ヤング率	$E_p$	MPa	1005
折板断面2次モーメント	$I_s$	mm <sup>4</sup>	1.05E+07
折板断面係数	$Z_s$	mm <sup>3</sup>	1.38E+05
折板保持スパン	$L_s$	m	3.35



第 1. 2. 8. 8-2 図 屋根折板のたわみと荷重および変形エネルギー

第 1. 2. 8. 8-2 表 屋根折板が吸収する変形エネルギー

	記号	単位	数値
自動車質量	m	kg	740
自動車速度	v	m/s	9.3
折板到達歪	$\varepsilon$		5.0%
折板たわみ	$\delta_s$	m	0.6
自動車運動エネルギー	$E_k$	J	3.20E+04
折板変形エネルギー	$E_{es}$	J	3.20E+04
折板変形エネルギー－自動車運動エネルギー		J	1.59E+01

なお、竜巻が襲来し、折板屋根を損傷させた後に軽トラが落下してくる場合も考えられるが、この場合は屋根に設置する飛散防止用防護ネットの設計例として吸収可能エネルギーが 73kJ あることから、自動車の運動エネルギー 32kJ を吸収することが可能である。

(2) プレハブ物置の落下について

プレハブ物置は飛散高さが高いため、建物の屋根上に落下する可能性が考えられる。

ここではプレハブ物置（大）を例とし、落下速度から落下の運動エネルギーと屋根に設置するケースを検討した。

その結果、屋根上に設置する飛散防止用防護ネットの設計例の吸収エネルギーのほうがプレハブ物置の運動エネルギーよりも大きくなることを確認した。

第 1. 2. 8. 8-3 表 飛来プレハブ物置の運動エネルギーと飛散防止用防護ネットによる吸収エネルギーの比較

項目	単位	数値
プレハブ物置質量	kg	599
最大下降速度	m/s	14. 4
運動エネルギー	kJ	62
飛散防止用防護ネットによる吸収エネルギー	kJ	73

1. 2. 8. 9 屋根が損傷した建物内部の風速評価

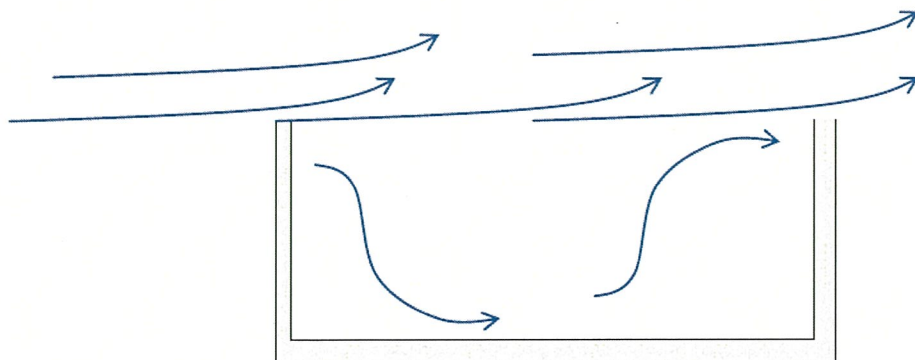
屋根が損傷したとしても、壁が損傷せずに健全性を保っている限りにおいては、室内に風が吹き込むことはほとんどないと考えられる。

ここでは、保守的に、屋根が完全にないものとして考えた場合、室内の風速がどのようなになるのかを検討した。

(1) 屋根損傷時の建物の状況について

屋根のない建物を直方体の箱状の物体として考える。風が吹きつける場合を想定すると、直方体のある断面は第 1. 2. 8. 9-1 図のような状態となるものと考えられる。

壁が四方に存在するため、壁の内側ではほとんど風は吹かないものと考えられるが、壁の高さが低くなればある程度の風が吹く可能性がある。



第 1. 2. 8. 9-1 図 屋根がない場合の風の吹き込み模式図

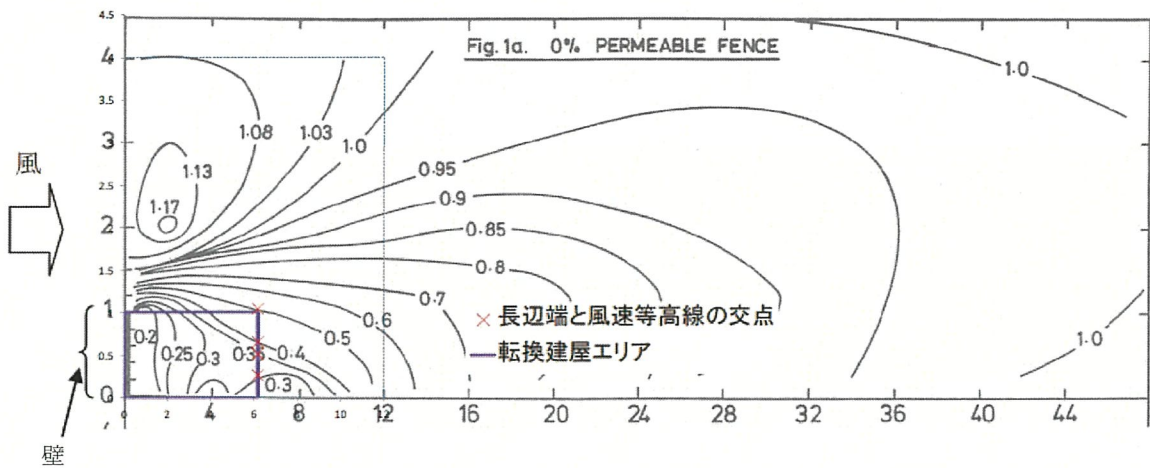
なお、建物内部が2階ないしは3階に分かれており、それぞれに床がある場合、階段などの通気口により気圧差荷重が作用せず損傷しないため、床が風を防ぐこととなり、下部への風の吹き込みはないものとする。

(2) 建物内部の風の吹き込みについて

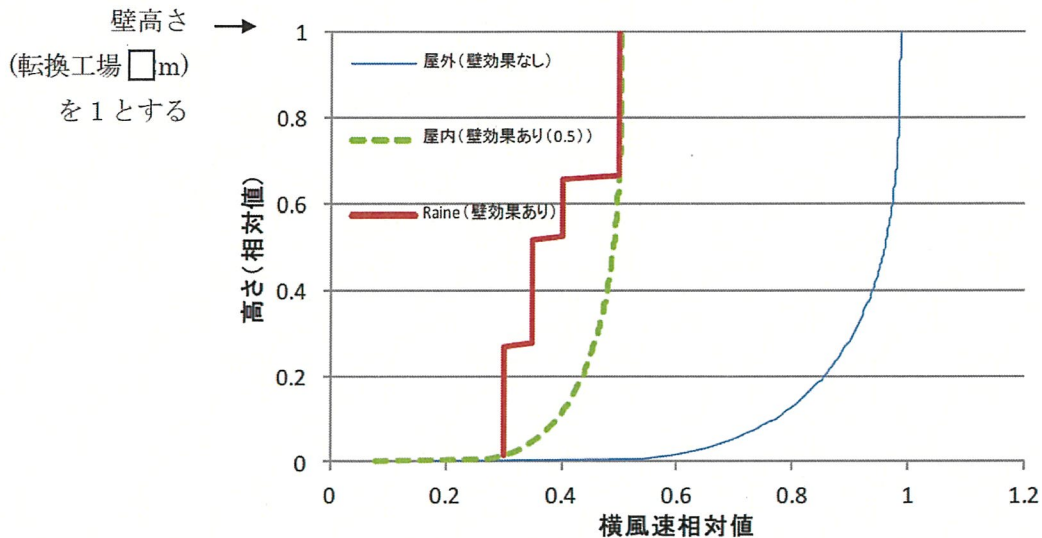
文献<sup>1)</sup>にある壁に遮られた場合の下流側の風速分布（第1.2.8.9-2図）を活用し、壁の効果を現実的に考慮することで風圧力の現実的な評価を実施した。

例として壁の高さをHとし、建物の対面側の壁までの距離が6Hであらわされる建物の条件を検討した。第1.2.8.9-2図を見てわかるとおり、壁から風下側に離れるほど風速が回復してくるので、風下側の壁で高さ方向の風速分布を評価した。その結果を第1.2.8.9-3図に示す。

屋外の風速分布<sup>2)</sup>における最大風速を1とすると、風下側の壁のある点では軸方向に風速が変化し、低いところで0.3以下、高いところでも0.5の風速しかないことがわかる。この効果を安全側に考慮し、屋外の横風速に0.5の係数を乗じたものも第1.2.8.9-3図に合わせて示す。ここからわかるとおり、屋外の横風速に0.5を乗じたものは、おおむね文献に示されている風速分布を包絡することが分かる。

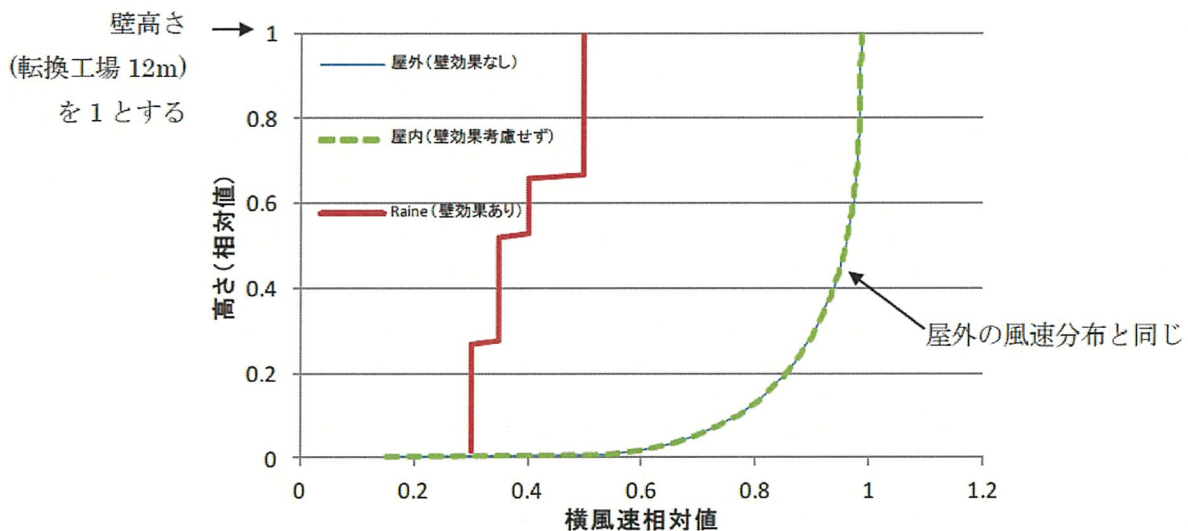


第1.2.8.9-2図 文献データと建物内における風速分布評価（風速等高線）



第 1.2.8.9-3 図 高さと横方向風速分布（屋外風速分布と文献データの比較）

このように屋外の風速分布に対し 0.5 の係数を乗ずることで文献データを包絡することができるが、今後の評価では、さらに保守的な評価となるように壁の効果がないものとした第 1.2.8.9-4 図を用いることとする。



第 1.2.8.9-4 図 高さと横方向風速分布（屋内風圧評価でも破線を用いる）

#### 参考文献

- 1) FIFTH AUSTRALIAN CONFERENCE on HYDRAULICS AND FLUID MECHANICS, At University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1974 December 9 to December 13, WIND PROTECTION BY MODEL FENCES IN A SIMULATED ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER, By J.K. RAINE\*, \*Lecturer in Mechanical Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- 2) 江口 譲, 杉本 聡一郎, 服部 康男, 平口 博丸, “竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発,” 電力中央研究所研究報告 N14002, 2014.

(補足) 文献の引用実績について

検討に用いた文献<sup>1)</sup>から引用した図は一般の風工学でよく用いられるものであり、風工学に関する他の文献に引用されている。

(例1) 「ビル風の基礎知識」、風工学研究所編著、鹿島出版会(初版:2005年12月10日発行)

- ・引用図 p.76 図7.2 文献<sup>1)</sup>と同一の図
- ・出典記載 p.96 29) ※同一著者の別文献

(例2) 「風のはなし」 伊藤学編、技報堂出版、1986年10月1日 1版1刷発行、1993年5月25日 1版3刷発行

- ・引用図 p.116 図4 Raine 文献<sup>1)</sup>と同一の図  
(ただし透過性ある壁の2ケースのみ抜粋)
- ・出典記載 具体的出典は書籍中に記載されていないが、明らかに Raine 文献<sup>1)</sup>からの引用。

(例3) 「構造物の耐風工学」 社団法人 日本鋼構造協会編(1997年11月30日 第1版第1刷発行)

- ・引用図 p.450 図11.13(a) Raine 文献<sup>1)</sup>データと同等の図(表記は異なるが、中身を見比べると、実質的には透過性ある壁の2ケースと同一と推定)
- ・出典記載 p.508 21) ※同一著者の別文献(例1と同じもの)

(例4) NOAA Technical Memorandum ERL ARL-108 METHODS FOR ESTIMATING WAKE FLOW AND EFFLUENT DISPERSION NEAR SIMPLE BLOCK-LIKE BUILDINGS R. P. Hosker, Jr. Air Resources Laboratories Silver Spring, Maryland May 1981 (大気拡散関連の評価)

- ・参考文献として、Raine 文献<sup>1)</sup>の引用あり。

#### 1.2.8.10 内部設備の風圧力荷重の評価

加工施設の一部の建物では、屋根が竜巻の風圧力・気圧差荷重に耐えられず損傷する可能性がある。

この場合、屋根が完全に消失したものと想定し、建物内に風が吹き込むことを前提として内部の風速を評価したうえ、設備に作用する風圧力を評価する。

本資料はその内部設備の風圧力評価方法を記したものである。

##### (1) 設備と竜巻の位置関係

飛来物評価の場合、飛来物の移動と竜巻の移動を考慮して風速を求め、そこから風圧力を評価することとなるが、設備は移動しないため、風速が最も大きい竜巻中心から竜巻半径離れた位置で評価する。

##### (2) 風圧力評価

風圧力評価としては、飛来物評価手法（TONBOS コード）<sup>1)</sup>と同じ考え方で評価することとする。

##### (a) 物体に作用する荷重評価式

風圧力を受ける物体の運動方程式としては

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (1)$$

ここで

$\mathbf{V}_M$  : 物体の速度ベクトル

$\mathbf{V}_W$  : 風速ベクトル

t : 時間

$\rho$  : 空気密度

$C_D$  : 抗力係数

A : 物体代表面積

m : 質量

g : 重力加速度

L : 揚力加速度

$\mathbf{k}$  : 鉛直上向き単位ベクトル

$\frac{C_D A}{m}$  : 飛行定数

ここで、設備は運動せず、固定されているため $V_M = 0$ 、であることから、設備への荷重（加速度）はベクトルの成分ごとに記述すると次のようになる。

$$\alpha_1 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W1} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W2} \quad (3)$$

$$\alpha_3 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W3} - (g - L) \quad (4)$$

（添え字の1, 2, 3はそれぞれx方向、y方向、z方向を示す。）

ここで、x方向とy方向の荷重方向を水平方向として合成すると、

$$\alpha_h = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_h$$

$$\text{変形して、} F_h = \alpha_h m = C_D A \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_h \quad (5)$$

$$\alpha_z = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_z - (g - L)$$

$$\text{変形して、} F_z = \alpha_z m = C_D A \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_z - (g - L)m \quad (6)$$

ここで

$\alpha_h$  : 設備水平方向加速度、 $F_h$  : 設備水平方向荷重

$\alpha_z$  : 設備軸方向加速度、 $F_z$  : 設備軸方向荷重

$V_t = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} = \sqrt{V_h^2 + V_z^2}$  : 風速の大きさ

$V_h = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2}$  : 水平方向風速

$V_z$  : 軸方向風速

(b) 物体に作用する揚力

揚力のモデルとしては以下の式が示されている。なお、飛来物の揚力係数は抗力係数で代用できる<sup>1)</sup>。

$$L = \frac{\rho}{2} \frac{C_D A}{m} \left\{ (V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2 \right\} \cdot f(Z/d) = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{\rho}{2} V_h^2 \cdot f(Z/d) \quad (7)$$

$$f\left(\frac{Z}{d}\right) = \begin{cases} \frac{1 - (Z/3d)}{1 + (Z/d)} & Z < 3d \\ 0 & Z \geq 3d \end{cases} \quad (8)$$

ここで

$$Z = z - \frac{d}{2}$$

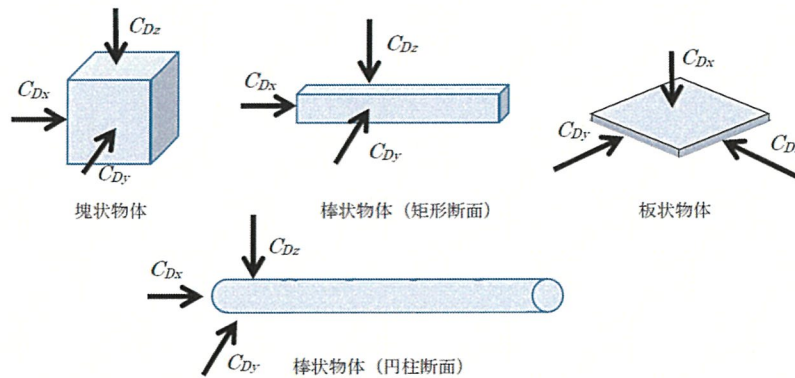
d : 物体高さ

z : z 軸方向の位置

(c) 飛来物評価の飛行定数（空力パラメータ）とそれに基づく抗力

飛来物評価上の飛行定数としては文献<sup>2)3)</sup>に示されている評価手法に準ずることとする。

物体形状	$C_{Dx}$	$C_{Dy}$	$C_{Dz}$
塊状物体	2.0	2.0	2.0
板状物体 棒状物体（矩形断面）	2.0	1.2	1.2
棒状物体（円柱断面）	2.0	0.7	0.7



第 1. 2. 8. 10-1 図 飛行定数算出パラメータ

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c \cdot (C_{Dx} \cdot A_x + C_{Dy} \cdot A_y + C_{Dz} \cdot A_z)}{m} \quad (9)$$

ここで

$$c=0.33$$

$A_x, A_y, A_z$  : それぞれ第 1. 2. 8. 10-1 図に示す  $C_{Dx}, C_{Dy}, C_{Dz}$  に対応する面の面積

(参考文献)

- 1) 電力中央研究所報告：竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発 研究報告：N14002 平成 26 年 6 月
- 2) 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 平成 23 年 2 月 東京工芸大学
- 3) 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン 平成 27 年 1 月 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会



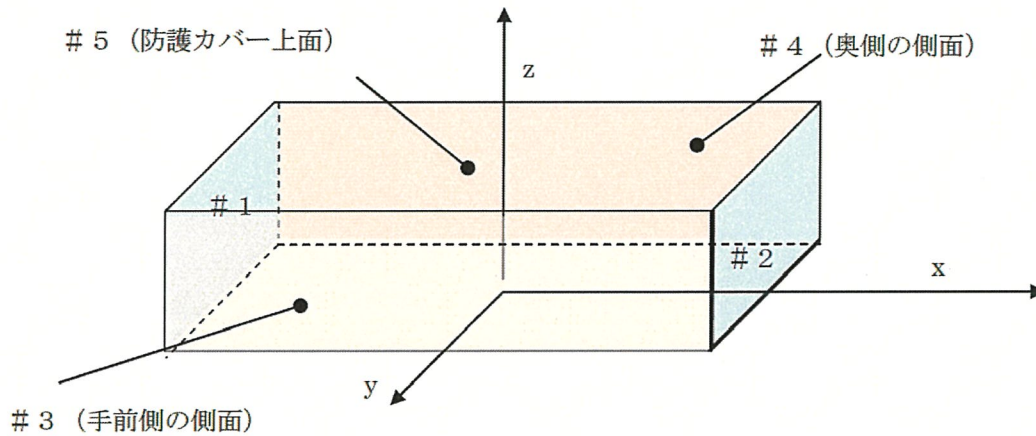
### 1.2.8.11 防護カバーに作用する竜巻荷重の評価手法

竜巻襲来時に建物の屋根が損傷した場合、建物内部にも風が吹き込むことが考えられる。このため、建物内部の防護カバーに作用する風圧力の評価手法を示す。

#### (1) 防護カバーへの荷重について

作用荷重は建物に作用する荷重と同じ考え方とする。

第 1.2.8.11-1 図のとおり防護カバーの長手方向を x、幅方向を y、高さ方向を z とした 3 成分に分解し、評価を実施する。



第 1.2.8.11-1 図 防護カバーと座標の関係と各側面番号

- ① 防護カバーへの荷重が外側から内側に作用する場合を正、内側から外側に作用する場合を負として扱うこととする。
- ② 飛来物については、防護カバーに到達することはないものとして評価から除外する。
- ③ 防護カバーには空気取り入れ口が上面に設けられており、建物内部の防護カバー外の圧力と同等とするため、気圧差については作用しない。また、上面に作用する風圧についても内圧係数が外圧係数と同じとなるため作用しない。
- ④ 防護カバーの各面に作用する荷重に基づき骨組強度を評価するため、骨組に与える分布荷重は各面の面積平均圧力とする。

#### (2) 風圧力

風圧力については文献<sup>1)2)</sup>を参照し、防護カバーの特性を考慮して検討した。

竜巻の場合、風向が一定とはならないため、防護カバーの水平直行軸 (x 軸と y 軸) に対して風上、風下を考える。

速度圧は以下の式で算出する。

$$q_x = \frac{1}{2} \rho \frac{\int \int V(x, y, z)^2 dy dz}{\int \int dy dz} \Bigg|_{x\text{-一定}} \quad (\text{x 方向の風を受ける側面の場合}) \quad (1)$$

$$q_y = \frac{1}{2} \rho \frac{\int \int V(x, y, z)^2 dx dz}{\int \int dx dz} \Bigg|_{y=\text{一定}} \quad (\text{y 方向の風を受ける側面の場合}) \quad (2)$$

ここで

$\rho$  : 空気密度 = 1.22 kg/m<sup>3</sup> <sup>2)</sup>

$V(x, y, z)$  : 防護カバーの各点に作用する竜巻風速

竜巻風速はフジタモデルの風速分布に壁の効果を考慮したものとする。

防護カバーに作用する各側面（作用部位とする）の風圧力  $w$  は上記速度圧を用いて次のように計算される。

$$w = G \cdot C \cdot q \quad (3)$$

ここで

$w$  : 作用部位の風圧力

$G$  : ガスト影響係数

$C$  : 風力係数（風向、防護カバー寸法から定まる係数）

ガスト影響係数  $G$  は風の乱れによる防護カバーの風方向の振動の荷重効果を表すパラメータであり、強風中における防護カバーの最大変位と平均変位の比で定義される。ここでは風速は最大瞬間風速として扱うことから、 $G=1.0$  とする<sup>2)</sup>。

側面に作用する風力係数  $C$  を添え字の  $w$  を用いて  $C_w$  とする。 $C_w$  値は風上側と風下側で異なる。また、建物の縦横比によっても異なる。竜巻の場合、風の方向が一定とはならないが、ここでは  $x$  方向と  $y$  方向に分離し、防護カバーを上面からみた場合、風向方向の寸法を  $D$ 、風向に垂直な方向の寸法を  $B$  とし、第 1.2.8.11-1 表に示す値を用いた。

風力係数は防護カバーの高さ方向に依存するが、ここでは保守的にすべての高さ方向で同じ値になるものとして評価する。

第 1.2.8.11-1 表 風力係数  $C_w$ （正が圧縮、負が引張）

		風力係数
風上側 $C_{wU}$		0.8
風下側 $C_{wL}$	D/B 比 ≤ 1	-0.5
	D/B 比 > 1	-0.35

#### 参考文献

- 1) 原子力規制委員会，“原子力発電所の竜巻影響評価ガイド”，2013
- 2) 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）および解説”，2013

1.2.8.12 敷地内からの飛来物評価結果及び防護対策

防護対象施設に影響を与える得る敷地内からの飛来物の評価結果及び防護対策を第1.2.8.12-1表に示す。

第1.2.8.12-1表 敷地内からの飛来物評価結果及び防護対策 (TONBOSによる竜巻飛散解析結果及び防護対策)

竜巻条件(F3)	最大風速 92 (m/s)
	最大線風速 76 (m/s)
	移動速度 14 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ (m <sup>2</sup> /kg)	最大水平 速度(m/sec)	最大鉛直 速度(m/sec)	運動エネルギー (水平)(kJ)	運動エネルギー (鉛直)(kJ)	最大飛散 距離(m)	最大飛散 高さ(m)	竜巻防護対策
1 鋼製柱	4.2	0.2	0.3	0.3	0	0.0065	11.1	0	0	0	6	0.2	影響範囲外へ置く
2 鋼製梁	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.0116	0	0	0	0	10	0.1	影響範囲外へ置く
3 鋼製パイプ	0.05	2	0.05	0	8.4	0.0057	0	0	0	0	0	0	(特になし)
4 乗用車(セダン)	4.36	1.7	1.46	0	1050	0.0102	44.6	0	28	1043	84	4.3	影響範囲外へ置く
5 乗用車(SUV)	5.38	2.29	1.88	0	2170	0.0081	43.5	0	61	2051	88	4.3	影響範囲外へ置く
6 ドラッグ(15)	11.99	2.85	2.49	0	24950	0.0019	0	0	0	0	0	0	(特になし)
7 ドラッグ(40)	8.25	1.3	2.23	0	7935	0.0026	0	0	0	0	0	0	(特になし)
フオークリフト(大)	5.87	4.7	2.42	0	17680	0.0020	0	0	0	0	0	0	(特になし)
フオークリフト(小)	3.13	2.25	1.18	0	6290	0.0016	0	0	0	0	0	0	(特になし)
タンクローリー	6.21	2.46	2.2	0	4360	0.0052	30.5	0	2022	71	46	2.5	影響範囲外へ置く
1 マンホール(小)	0.3	-	0.025	0	3	0.0175	11.2	0	0	0	0	0	(特になし)
2 マンホール(中)	0.65	-	0.025	0.80	51	0.0045	4.9	3.9	1	0	0	0	(特になし)
3 マンホール(大)	1	-	0.025	0.30	60	0.0090	4.7	2.4	0	0	1	0	(特になし)
4 グレーチング(小)	1	0.16	0.025	0	10	0.0117	6.2	0.2	0	0	2	0	(特になし)
5 グレーチング(中)	0.9	0.7	0.05	0	50	0.0089	5.1	0.2	0	0	1	0	(特になし)
6 グレーチング(大)	1	1.3	0.15	0	154	0.0065	5.9	0.3	0	0	2	0	(特になし)
7 U字溝コブ(小)	0.5	0.2	0.05	0	12	0.0074	1.7	0.0	0	0	0	0	(特になし)
8 U字溝コブ(中)	0.5	0.5	0.05	0	35	0.0058	0	0	0	0	0	0	(特になし)
9 U字溝コブ(大)	0.9	0.56	0.12	0.54	93	0.0034	2.9	3.2	0	0	0	0	(特になし)
10 U字溝コブ(大)	1	1	0.08	0	184	0.0042	0	0	0	0	1	0	(特になし)
11 金属製蓋(基礎有り)(中)	1	0.8	0.0042	1.00	30	0.0177	19.2	4.4	6	0	6	0	(特になし)
12 金属製蓋(基礎有り)(中)	0.88	0.88	0.0032	0.19	21	0.0244	8.4	1.9	1	0	1	0	(特になし)
13 金属製蓋(基礎有り)(大)	1.33	1.83	0.004	0	106	0.0209	4.0	0.1	0	0	0	0	(特になし)
14 金属製蓋(基礎無し)(小)	0.78	-	0.35	0.35	11	0.0483	54.5	4.1	16	0	154	0.9	同様
15 金属製蓋(基礎無し)(中)	1.05	0.68	0.03	0.10	22	0.0224	5.7	1.4	0	0	1	0	(特になし)
16 金属製蓋(基礎無し)(大)	1.6	1.6	0.09	0.10	74	0.0244	28.4	1.4	26	0	21	0	(特になし)
17 スロープ(小)	0.8	0.8	0.18	0.18	34	0.0160	26.1	1.9	12	0	25	0.1	同様
18 スロープ(中)	1.8	1.25	0.2	0.20	56	0.0037	44.1	2.4	54	0	147	0.3	同様
19 スロープ(大)	3	0.6	0.15	0.15	118	0.0131	20.8	1.7	26	0	16	0	(特になし)
20 AG管外線(極小)	0.27	0.65	0.5	0.19	20	0.0210	44.5	4.8	20	0	132	1.4	同様
21 AG管外線(小)	0.34	0.88	0.82	0.25	56	0.0153	43.2	5.7	52	1	117	2.2	同様
22 AG管外線(中)	0.37	0.97	1.28	0.14	122	0.0112	45.7	6.8	3	5	126	3.5	同様
23 AG管外線(大)	0.48	1.08	1.64	0.25	195	0.0099	45.2	7.2	209	3	182	4.1	同様
24 AG管外線(特大)	0.75	0.91	1.42	0.17	197	0.0102	44.0	6.9	190	5	81	3.6	同様
25 AG管外線(超特大)	0.72	1.355	1.48	0.30	288	0.0100	43.7	6.7	256	6	127	3.3	同様
26 AG管外線(超特大)	0.72	1.355	1.48	0.17	300	0.0089	41.5	6.8	258	7	67	3.2	同様
27 燃料集合体輸送容器	5.4	1.15	1.275	0	2804	0.0014	0	0	0	0	0	0	(特になし)
28 LPガスボンベ輸送容器	2.408	1.2	1.354	0	1228	0.0018	0	0	0	0	0	0	(特になし)
29 LPガスボンベ	2.07	0.762	0.762	0	665	0.0016	0	0	0	0	0	0	(特になし)
30 操作盤	0.22	0.32	1.23	0.10	40	0.0121	48.8	7.0	44	0	126	3.6	同様
31 制御盤	0.9	0.54	2.15	0.10	500	0.0047	26.9	4.5	181	5	37	1.7	同様
32 風管(ラック上)	-	4	0.245	5.00	160	0.0030	12.6	9.8	13	8	6	0.0	同様
33 プレハブ物置(小)	0.75	1.1	1.303	0.18	60	0.0356	63.8	12.4	121	5	191	20.3	同様
34 プレハブ物置(中)	1.37	2.21	2.075	0.10	223	0.0309	63.2	14.0	445	22	208	25.4	同様
35 プレハブ物置(大)	2.22	3.14	2.35	0.10	599	0.0316	65.7	14.4	1217	62	211	27.8	同様
36 消火器保管箱(小)	0.22	0.75	1.5	0.35	75	0.0143	51.2	7.4	98	2	160	5.7	同様
37 消火器保管箱(中)	0.23	0.85	1.5	0.26	100	0.0120	48.7	7.3	119	3	143	4.6	同様
38 消火器保管箱(大)	0.165	0.235	0.6	0.10	67	0.0275	53.5	5.7	10	0	148	3.0	同様
39 消火器保管箱(中)	0.21	0.55	0.75	0.00	21.1	0.0214	53.1	6.3	30	0	148	3.8	同様
40 消火器保管箱(小)	0.51	0.5	1.2	0.10	67.6	0.0143	49.4	7.1	83	2	145	4.5	同様
41 搬送カバー(大)	0.6	0.55	0.45	0.45	17	0.0329	50.8	4.4	22	0	146	1.0	同様
42 搬送カバー(中)	1.3	1	0.5	0.50	49	0.0330	51.4	4.6	65	1	143	1.1	同様
43 搬送カバー(小)	1	1.2	1.1	1.0	73	0.0327	60.6	8.2	134	0	178	7.5	同様
44 踏み台、渡り階段(基礎無し)(小)	0.8	0.6	0.2	0.20	25	0.0201	37.6	2.0	18	0	100	0.2	同様
45 踏み台、渡り階段(基礎無し)(中)	1	1	0.65	0.65	94	0.0161	42.2	3.9	84	1	119	0.6	同様
46 踏み台、渡り階段(基礎無し)(大)	3.13	0.55	0.5	0.50	125	0.0188	42.7	3.6	114	1	139	0.5	同様
47 平板コンクリート(小)	3.06	0.33	0.025	0	5	0.0131	7.6	0	0	0	3	0	(特になし)
48 敷き板(大)	3.06	1.535	0.009	0	328	0.0095	0	0	0	0	0	0	(特になし)
49 O型ゴム垫	0.21	-	0.26	2.50	30	0.0036	9.4	7.0	1	1	4	0.0	(特になし)

注 その他ドラム缶などは同様する。

1.2.8.13 敷地外からの飛来物評価結果及び防護対策

防護対象施設に影響を与える得る敷地外からの飛来物の評価結果及び防護対策を第1.2.8.13-1表に示す。

第1.2.8.13-1表 敷地外からの飛来物評価結果及び防護対策 (TONBOS による竜巻飛散解析結果及び防護対策)

竜巻条件(F3)

最大風速	92 (m/s)
最大接線風速	78 (m/s)
移動速度	14 (m/s)

品名	長さ (m)	幅 (m)	高さ (m)	設置高さ (m)	質量 (kg)	空力パラメータ (m <sup>2</sup> /kg)	最大水平速度 (m/sec)	最大鉛直速度 (m/sec)	運動エネルギー (水平) (kJ)	運動エネルギー (鉛直) (kJ)	最大飛散距離 (m)	最大飛散高さ (m)	竜巻防護対策
乗用車(アゴン)	5.2	1.9	2.3	0	1,890	0.0073	42.5	7.8	1710	58	95	4.9	フェンスによる防護
軽自動車1	3.4	1.5	1.6	0	840	0.0102	46.2	7.7	896	25	99	4.9	同上
軽自動車2	3.4	1.5	1.5	0	710	0.0116	48.6	7.6	839	21	136	5.3	同上
軽トラック	3.4	1.5	1.8	0	740	0.0122	50.5	9.3	944	32	160	8.2	同上
4トトラック	8.1	2.2	2.5	0	3,900	0.0059	38.4	7.2	2880	101	71	3.9	同上
15トトラック	12.0	2.5	3.3	0	9,420	0.0045	32.8	6.7	5074	211	59	3.4	同上
バス(路線バスタイプ)	10.3	2.5	3.1	0	9,920	0.0035	22.9	3.0	2612	45	30	1.1	同上
バス(観光バスタイプ)	12.0	2.5	3.5	0	13,080	0.0034	23.9	3.4	3740	74	33	1.3	同上

敷地外からの飛来物が考えられる車両

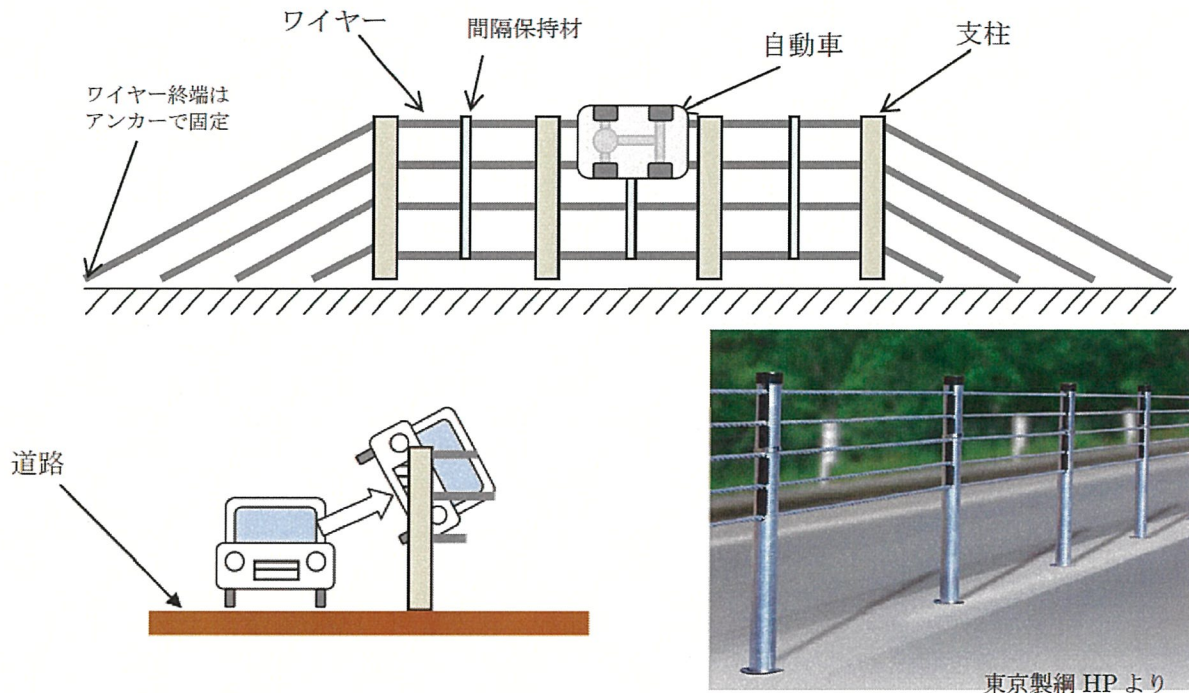
#### 1. 2. 8. 14 飛来物に対する飛散防止用防護フェンスの評価手法と基本設計例

竜巻により敷地外から車両が飛散することを考慮し、敷地外からの飛散物に対して敷地内の施設を防護するため、防護フェンスを設置することを考えている。

ここでは、フェンスが飛来車両のもつ運動エネルギーを吸収することができるかどうか評価する手法とフェンス構造・仕様の設計例を示す。

##### (1) 概念図

フェンスの概念図を第 1. 2. 8. 14-1 図に示す。



第 1. 2. 8. 14-1 図 防護フェンス概念図

防護フェンスの設計例として一般の車両のガードケーブルに用いられているワイヤーケーブルと支柱で構成されるものを考える。

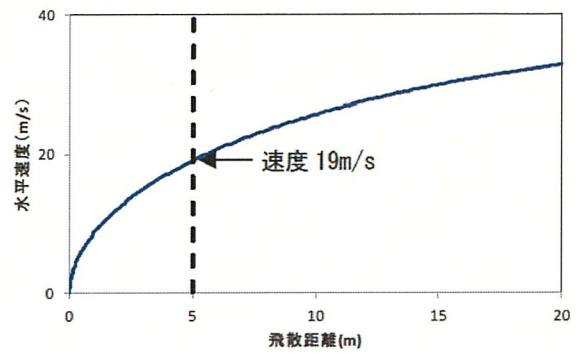
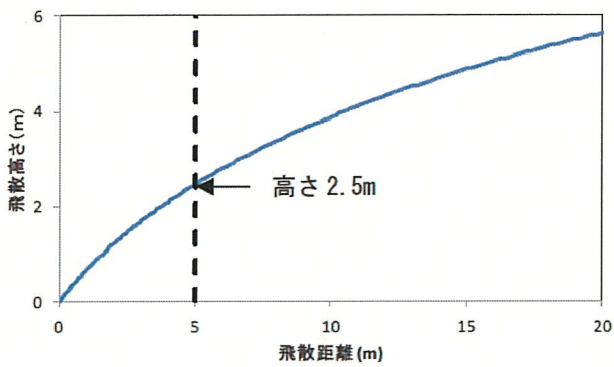
ワイヤーは全長にわたって一様の張力が作用するように、ワイヤー長手方向に自由に動くようになっている。

支柱はワイヤーの直角方向に対して抵抗力を発生するようになっている。

##### (2) 防護フェンスの高さの検討

防護フェンスは公道を走行する自動車に対して防護できるだけの高さを確保することとした。

各種車両のうち、水平速度と飛散高さが最も大きい軽トラを例として、公道からの飛散挙動を第 1. 2. 8. 14-2 図に示す。ここからわかるとおり、公道から飛散した車両はフェンス地点で高さ 2. 5m、水平速度は 19m/s となることがわかる。



第 1.2.8.14-2 図 軽トラの飛散挙動

(公道からフェンスまでの距離 5m での飛散高さ と 水平速度)

(3) 防護フェンス諸元例

防護フェンスの諸元例を第 1.2.8.14-1 表に示す。

第 1.2.8.14-1 表 防護フェンス諸元例

	項目	数値	単位
ワイヤー仕様諸元	ワイヤー規格	[Blank]	
	ワイヤー強度		kN
	ワイヤー断面積		mm <sup>2</sup>
	ワイヤー伸び		
	等価スパン間ワイヤー歪		
	ワイヤー長さ		m
	支柱間スパン長		m
	ワイヤー剛性		N/m
	ワイヤー範囲		mm
	ワイヤーピッチ		m
	ワイヤー本数		本
支柱仕様諸元	支柱規格(H鋼)	10X16	
	支柱断面二次モーメントI	mm <sup>4</sup>	
	支柱断面二次係数Z	mm <sup>3</sup>	

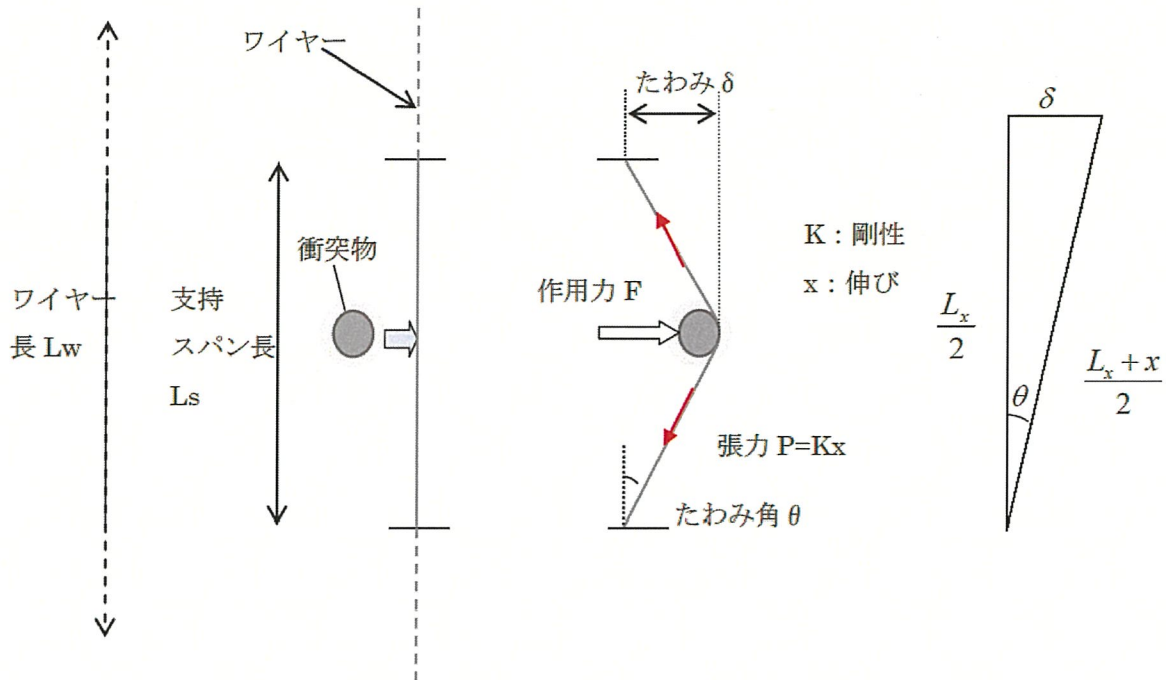
(4) 評価手法

(a) ワイヤーに作用する荷重

評価手法としては飛散防止用防護ネット（金網）と同じ評価手法を用いて評価する。

防護フェンスは金網と異なり、ワイヤー 1 本 1 本が独立しているが、支柱間の間隔保持材によって連結するものとみなし、衝突車両に直接当たらないワイヤーについてもたわみが作用し、吸収エネルギーを合計するものとして評価する。

第 1.2.8.14-3 図にワイヤーに作用する荷重を図示する。



第 1. 2. 8. 14-3 図 ワイヤーに作用する荷重

(b) ワイヤーの吸収エネルギーについて

ワイヤーの吸収エネルギーの算出については文献<sup>1)</sup>に基づき、次のように求めた。

ワイヤーの番号を  $i$  で表すこととする。

ワイヤーの長手方向の剛性を  $K$  とする。いずれのワイヤーも同じである。

式中の記号は第 1. 2. 8. 14-3 図を参照。

ワイヤーの張力を  $P_i$  とすると

$$P_i = Kx_i \quad (1)$$

ワイヤー直交方向に衝突に作用する荷重  $F_i$  は、

$$F_i = 2P_i \cdot \sin \theta_i = 2Kx_i \cdot \sin \theta_i \quad (2)$$

となる。また、作用力方向のたわみを  $\delta_i$  として、

$$\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4} = \left( \frac{L_s + x_i}{2} \right)^2 \quad (3)$$

第 1. 2. 8. 14-3 図より、

$$\sin \theta_i = \frac{\delta_i}{\frac{L_s + x_i}{2}} = \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4}}} \quad (4)$$

$$x_i = 2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4}} - L_s \quad (5)$$

となる。また、(4) (5)を(2)に代入して、

$$\begin{aligned}
 F_i &= 2K \cdot \left( 2\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4}} - L_s \right) \cdot \frac{\delta_i}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4}}} \\
 &= 2 \cdot K \delta_i \left( 2 - \frac{L_s}{\sqrt{\delta_i^2 + \frac{L_s^2}{4}}} \right) = 2 \cdot K \delta_i \left( 2 - \frac{2L_s}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_s^2}} \right)
 \end{aligned}$$

したがって、

$$F_i = 4 \cdot K \delta_i \left( 1 - \frac{L_s}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_s^2}} \right) \quad (6)$$

i 列の弾性エネルギーは次のとおり。

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta \\
 &= \int_0^{\delta_i} 4K\delta \left( 1 - \frac{L_s}{\sqrt{4\delta^2 + L_s^2}} \right) d\delta = 4K \left[ \frac{\delta^2}{2} - \frac{L_s}{4} \sqrt{4\delta^2 + L_s^2} \right]_0^{\delta_i} \quad (7)
 \end{aligned}$$

したがって、

$$E_i = 2K\delta_i^2 - KL_s \left( \sqrt{4\delta_i^2 + L_s^2} - L_s \right) \quad (8)$$

ワイヤーが吸収できる総エネルギーは、

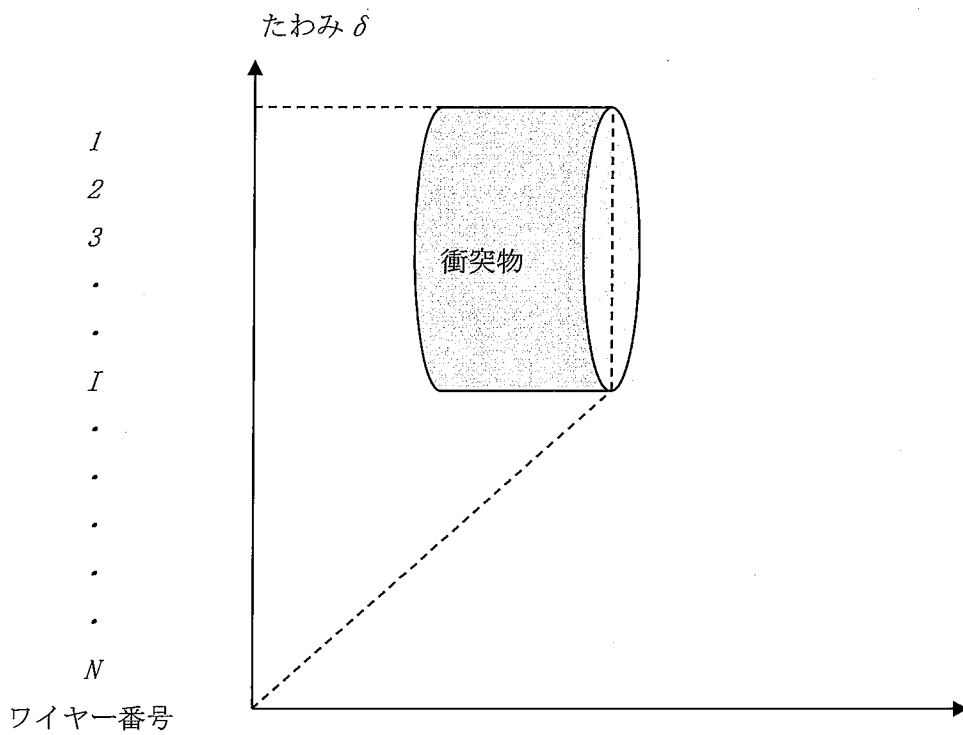
$$E = \sum_i^N E_i \quad (9)$$

ここでワイヤー本数を  $N$  とする。

車両が直接衝突するワイヤーのたわみは同じとする。また、直接衝突しないワイヤーについては、第 1.2.8.14-4 図に示す通り、間隔保持材によってたわみが直線的に分布するものとする。

ワイヤーのたわみ分布を小さめに見るため、フェンスの上端に衝突するものとする。





第 1.2.8.14-4 図 各ワイヤーのたわみの与え方

(c) 張力がワイヤー強度に達した時のたわみ角

金網の線材が破断するときの最大のたわみ角は第 1.2.8.14-3 図より伸びを  $x_i$  とし、金網の展開長  $L_s$  とすると、

$$\cos \theta_i = \frac{\frac{L_s}{2}}{\frac{L_s + x_i}{2}} = \frac{L_s}{L_s + x_i} \quad (10)$$

となる。

ワイヤーは全長にわたって張力が作用するので、ワイヤー強度に到達するまでの

歪を  $\varepsilon$  とすると、 $x_i = L_w \varepsilon$  となる。

$$\cos \theta_i = \frac{L_s}{L_s + L_w \varepsilon} = \frac{1}{1 + \frac{L_w}{L_s} \varepsilon} \quad (11)$$

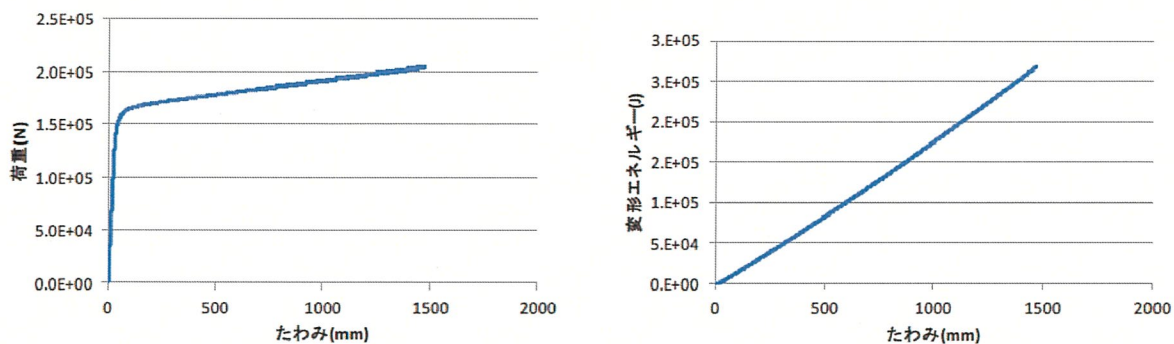
$$\theta_i = \cos^{-1} \left( \frac{1}{1 + \frac{L_w}{L_s} \varepsilon} \right) \quad (12)$$

(d) 支柱に作用する荷重と吸収エネルギー

支柱スパン間に車両が衝突した場合、ワイヤー直交方向の荷重  $F$  はスパン両端の支柱が受け持つこととなる。

ここで、スパン両端の支柱に作用する荷重とたわみ、吸収エネルギーについて評価した。支柱の諸元についても第 1.2.8.14-1 表に示している。

評価手法は 1.2.8.15 に示しているのでここでは省略し、第 1.2.8.14-5 図に支柱に作用するたわみと荷重および変形エネルギーの評価結果のみ示す。



第 1.2.8.14-5 図 防護フェンス支柱のたわみと荷重および変形エネルギー

(5) 評価結果

評価結果を第 1.2.8.14-2 表に示す。

対象車両としては、飛散距離が長く、質量の大きい「乗用車 (バン)」とし、その質量と保守的に第 1.2.8.14-2 図から軽トラの水平速度を用いて評価した運動エネルギーを吸収することができるかどうか確認した。

$$\text{「バン」の運動エネルギー} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{2170 \cdot 19^2}{2} = 392kJ$$

第 1.2.8.14-2 表からわかるとおり、防護フェンス設計例の吸収可能エネルギーは乗用車 (バン) の運動エネルギーよりも大きいことがわかる。

第 1.2.8.14-2 表 防護フェンス設計例 吸収エネルギー評価結果

	項目	数値	単位
ワイヤー 吸収エネルギー 評価	ワイヤ歪	1.2%	
	ワイヤ張力	64	kN
	ワイヤひずみ時の角度	51	deg
	最終ひずみ時の直交方向たわみ	6	m
	ワイヤ直交方向荷重(一本)	100	kN
	ワイヤー一本当たり吸収エネルギー	192	kJ
	直接衝突するワイヤー本数	2	本
	直接衝突するワイヤー吸収可能エネルギー	384	kJ
	直接衝突しないワイヤのたわみ	3	m
	直接衝突しないワイヤー吸収可能エネルギー	17	kJ
	直接衝突しないワイヤー荷重	20	kN
衝突スパン両端支柱 吸収エネルギー評価	ワイヤー最大角度	51	deg
	ワイヤー直交方向最大荷重	220	kN
	荷重作用位置	3500	mm
	支柱歪	0.1%	
	支柱たわみ	0.0	m
	支柱一本当たり吸収エネルギー	1	kJ
	支柱二本吸収エネルギー	2	kJ
	支柱二本荷重	220	kN
全吸収エネルギー 評価結果	総合吸収エネルギー	403	kJ
	最大運動エネルギー	392	kJ

なお、検討に用いた諸元は概念設計であり、今後詳細設計の過程で選定した部材などが変更となる可能性がある。

本検討では支柱の吸収エネルギーも考慮したが、その寄与は小さいため、ワイヤーのみでエネルギーを吸収させる設計にすることも可能である。

参考文献

- 1) 南波宏介, 白井孝治, 坂本裕子, ” 竜巻防護設備に用いる金網形状の異なる高強度金網に関する吸収エネルギー算定手法の適用性”, 土木学会, 構造工学論文集 Vol. 61A (2015年3月)

#### 1.2.8.15 壁への飛来物の影響評価手法とそれを用いた設計例

ここでは飛来物による施設への影響のうち、壁への影響評価手法とそれを用いた設計例について示す。

##### (1) RC 造の施設への衝突

成型工場、組立工場は RC 造であり、コンクリート壁の厚さは薄いところは約 18cm の厚みである。

飛来物による衝撃で貫通する恐れのある部分については鉄板で補強することとする。

まず、飛来の考えられる車両のうち、最大の運動エネルギーをもつ乗用車（バン）が衝突した場合に RC 壁が貫通するかどうかの評価を実施した。

評価は BRL 式(1)により鋼板の貫通に相当する運動エネルギーの減衰を求め、残留した運動エネルギーから修正 NDRC 式(2)及び Degen 式(3)によりコンクリートの貫通限界厚さを求めた。

結果を第 1.2.8.15-1 表に示すが、ここからわかるとおり、鉄板とコンクリートの壁の組み合わせによりコンクリートの貫通を防止することができる。

乗用車（バン）の飛散高さは約 4.3m であることから、鉄板の補強は高さ 5m までを対象とする。

次に、軽トラック（以下「軽トラ」という。）について評価を実施した。軽トラは飛散高さが高いため、鉄板の補強はないものとして評価した。その結果を第 1.2.8.15-2 表に示す。

なお、裏面剥離の可能性があるが、貫通しないことから運動エネルギーは壁で吸収され、剥離したコンクリート片が大きな運動エネルギーをもって内部に飛散することはない。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}} \quad (1)$$

$T$ : 鋼板厚さ (in)

$M$ : 飛来物質量 (lbf · s<sup>2</sup>/ft)

$V$ : 飛来物速度 (ft/s)

$D$ : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (in)

$K$ : 鋼板の材質に関する係数 (≒1)

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left( \frac{V}{1000D} \right)^{1.8}} \quad (2)$$

$x_c$  : 貫入深さ (in)

$$K = 180 / \sqrt{F_c}$$

$W$  : 重量 (lbs)

$F_c$  : コンクリート強度  $20.6 \text{ N/mm}^2 = 2987.8 \text{ (psi)}$

$D$  : 飛来物直径 (飛来物面積と等しくなる直径) (in)

$V$  : 衝突速度 (ft/s)

$N$  : 形状係数 (自動車の場合、0.72)

$\alpha_c$  : 飛来物低減係数 (1)

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$t_p$  : 貫通限界厚さ (in)

$\alpha_p$  : 飛来物低減係数 (自動車の場合、0.65)

第 1. 2. 8. 15-1 表 RC 造の壁による飛来物の運動エネルギー吸収  
(乗用車 (バン) を対象 : 補強鉄板あり)

		CGS単位	in、lb系換算値	
飛来物諸元	飛来自動車重量 (乗用車(バン))	W	2170 kgf	4784 lbf
	飛来自動車高さ	h	188 cm	
	飛来自動車幅	w	229 cm	
	飛来自動車面積	A	43052 cm <sup>2</sup>	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	234 cm	92 in
	飛来物衝突速度	V	44 m/s	143 ft/s
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	M=W/g	221.28 kgf・s <sup>2</sup> /m	148.69 lbf・s <sup>2</sup> /m
	重力加速度	g	9.81 m/s <sup>2</sup>	32.17 ft/s <sup>2</sup>
補強鉄板 厚さ	飛来物質量(重量÷重力加速 度)	M=W/g	221 kgf・s <sup>2</sup> /m	149 lbf・s <sup>2</sup> /m
	鋼板の材質に関する係数	K	1.00	1.00
	鉄板貫通限界厚さ	T	2.70 mm	0.11 in
	鉄板による減衰エネルギー相当 速度		25.85 m/s	84.81 ft/s
	鉄板による消費エネルギー		7.25E+05 J	
	残留エネルギー相当速度		34.99 m/s	115 ft/s
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	F <sub>c</sub>	20.6 N/mm <sup>2</sup>	2987.8 psi
	先端形状係数	N	0.72	0.72
	飛来物低減係数	$\alpha_c$	1.00	1.00
	飛来物低減係数	$\alpha_p$	0.65	0.65
	$180/\sqrt{F_c}$	K	39.66 $\sqrt{(mm/N)}$	3.29 $\sqrt{(in/lbf)}$
	貫入深さ	X <sub>c</sub>	12.63 cm	4.97 in
	コンクリート貫通限界厚さ	tp	17.9 cm	7.06 in
	実際のコンクリート厚		<input type="text"/> cm	<input type="text"/> in

第 1. 2. 8. 15-2 表 RC 造の壁による飛来物の運動エネルギー吸収  
(軽トラを対象：補強鉄板なし)

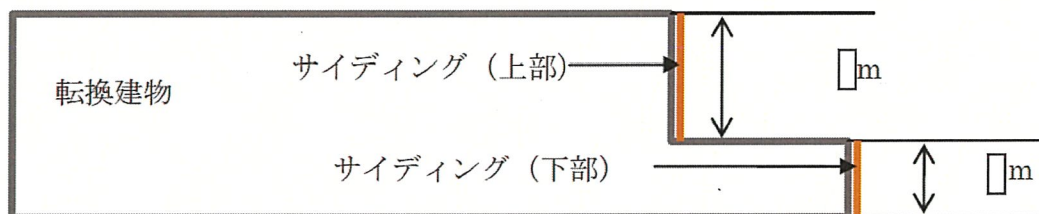
		CGS単位	in、lb系換算値	
飛来物諸元	飛来自動車重量 (軽トラ)	W	740 kgf	1631 lbf
	飛来自動車高さ	h	178 cm	
	飛来自動車幅	w	148 cm	
	飛来自動車面積	A	26255 cm <sup>2</sup>	
	等価直径	$D=\sqrt{(4A/\pi)}$	183 cm	72 in
	飛来物衝突速度	V	51 m/s	166 ft/s
	飛来物質量(重量÷重力加速度)	$M=W/g$	75.46 kgf・s <sup>2</sup> /m	50.71 lbf・s <sup>2</sup> /m
	重力加速度	g	9.81 m/s <sup>2</sup>	32.17 ft/s <sup>2</sup>
RC造 (コンクリート)	コンクリート強度	$F_c$	20.6 N/mm <sup>2</sup>	2987.8 psi
	先端形状係数	N	0.72	0.72
	飛来物低減係数	$\alpha_c$	1.00	1.00
	飛来物低減係数	$\alpha_p$	0.65	0.65
	$180/\sqrt{F_c}$	K	39.66 $\sqrt{(\text{mm}/\text{N})}$	3.29 $\sqrt{(\text{in}/\text{lbf})}$
	貫入深さ	$X_c$	11.33 cm	4.46 in
	コンクリート貫通限界厚さ	$t_p$	16.1 cm	6.32 in
	実際のコンクリート厚		<input type="text"/> cm	<input type="text"/> in

(2) S 造の施設への衝突

転換工場は S 造である。転換工場は敷地南側に面していないことから直接的な飛来物の飛来は考えにくい。東側の側面については飛来の可能性は考えられる。飛来物は壁面に角度をもって衝突すると考えられるが、ここでは保守的に正面からの衝撃として考える。

S 造にはサイディングにより補強する予定であるが、その鉄骨により、自動車の運動エネルギーを吸収できることを評価した。サイディングははりと柱によって格子状に組まれたものである。このはりと柱の諸元例を第 1. 2. 8. 15-3 表に示す。

転換建物の東側は第 1. 2. 8. 15-1 図のとおり建物の 1 階が張り出した形となっていることから、サイディングを上下部に分割して評価することとする。



第 1. 2. 8. 15-1 図 転換建物 東側の構造

サイディングでははり、柱それぞれの鉄骨が変形することでエネルギーを吸収することができる。このため、はり、柱のそれぞれのたわみに対する荷重と変形エネルギーを第 1. 2. 8. 15-2 図、第 1. 2. 8. 15-3 図に示す。柱については 2 分割されているので上部と下部に分けて図示する。

なお、サイディングのはり、柱は上部 14 本、下部 11 本の計 25 本、柱は 15 本あるが、はり、柱のたわみ分布が直線的になるものとし、はり、柱が平均してエネルギー吸収に寄与するとして、上部のはりの寄与本数は 6 本、下部の寄与本数は 5 本、柱の寄与本数は 7 本とした。

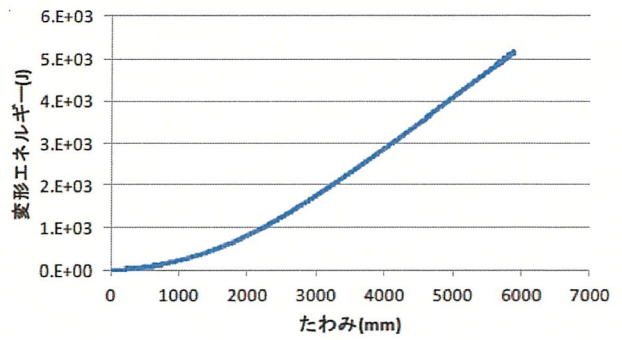
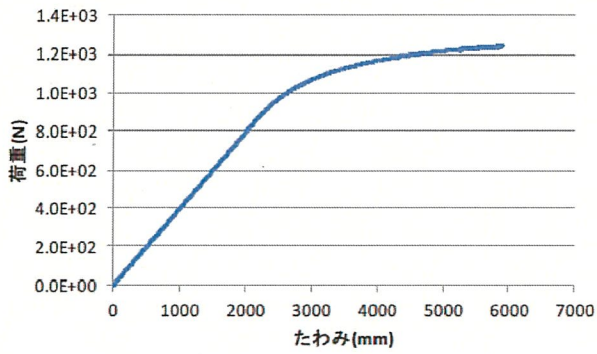
自動車の剛性を文献<sup>1)</sup>から求め、変形が 0.5m 程度あるものとしてこの変形によるエネルギー吸収も考慮している。

このように評価した結果を第 1. 2. 8. 15-4 表及び第 1. 2. 8. 15-5 表に示す。ここからわかるとおり、サイディングによって飛来する自動車の運動エネルギーを吸収することが可能であることがわかる。

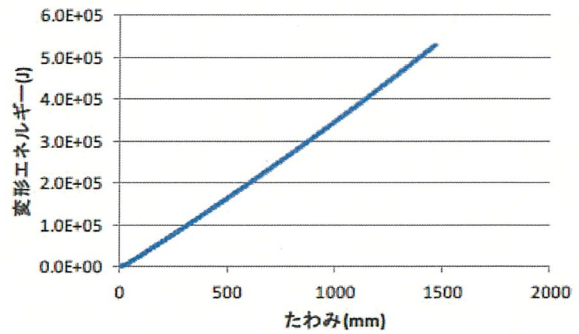
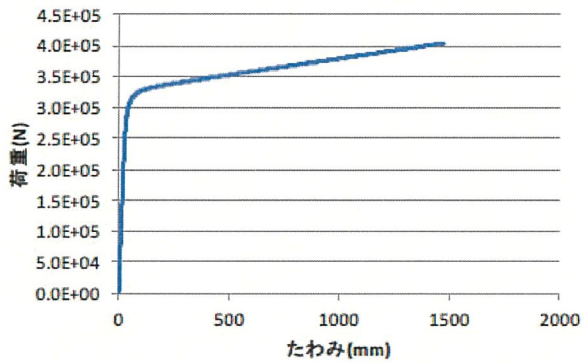


第 1.2.8.15-3 表 S 造 サイディングの諸元

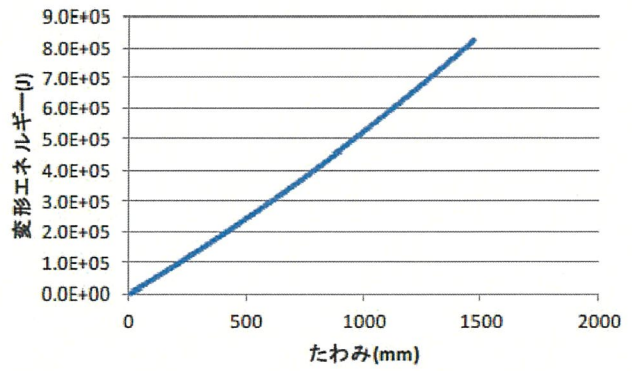
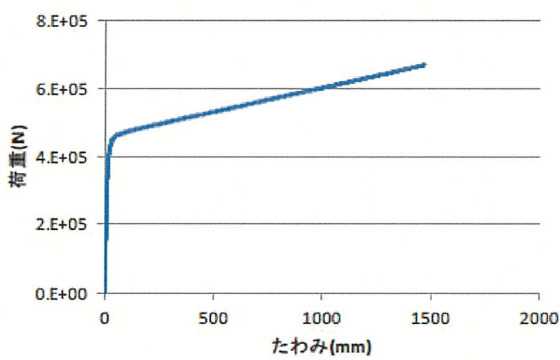
	記号	単位	数値
耐力	$\sigma_y$	MPa	
引張強さ	$\sigma_u$	MPa	
破断伸び	$\varepsilon_u$		
ヤング率	E	MPa	
塑性変形ヤング率	$E_p$	MPa	
サイディングはり	□	mm	
(角パイプ諸元)	□	mm	
	t	mm	
サイディングはりの断面二次モーメント	$I_b$	$\text{mm}^4$	
サイディングはりの断面係数	$Z_b$	$\text{mm}^3$	
サイディングはりの長さ	$L_b$	mm	
サイディング柱	H	mm	
(H鋼諸元)	B	mm	
	t1	mm	
	t2	mm	
	h2	mm	
	h1	mm	
	b2	mm	
	b1	mm	
サイディング柱の断面二次モーメント	$I_c$	$\text{mm}^4$	
サイディング柱の断面係数	$Z_c$	$\text{mm}^3$	
サイディング柱の長さ(上部)	$L_c$	mm	
サイディング柱の長さ(下部)	$L_c$	mm	



第 1. 2. 8. 15-2 図 サイディングはりのたわみと荷重および変形エネルギー



(上部)



(下部)

第 1. 2. 8. 15-3 図 サイディング柱のたわみと荷重および変形エネルギー

第 1. 2. 8. 15-4 表 サイディングが吸収する変形エネルギー (上部)

	記号	単位	数値
自動車質量	m	kg	2170
自動車速度	v	m/s	43.5
車体剛性	$Kv=588 \cdot m$	N/m	1.28E+06
自動車変形量	$\delta v$	m	0.5
はり到達歪	$\varepsilon$		0.04%
柱到達歪	$\varepsilon$		3.8%
はりたわみ	$\delta b$	m	0.8
柱たわみ	$\delta c$	m	0.8
はり変形エネルギー	Eeb	J	1.40E+02
柱変形エネルギー	Eec	J	2.71E+05
はり寄与本数	nb	本	6
柱寄与本数	nc	本	7
自動車変形エネルギー	Eev	J	1.59E+05
変形エネルギー(全本数)	$Ees=nb \times Eeb+nc \times Eec$	J	1.90E+06
自動車運動エネルギー	Ek	J	2.05E+06
全変形エネルギー	$Eet=Eev+Ees$	J	2.06E+06
全変形エネルギー—自動車運動エネルギー		J	6.36E+03
全変形エネルギーは自動車運動エネルギーより大きいので運動エネルギーを吸収することができる。			

第 1.2.8.15-5 表 サイディングが吸収する変形エネルギー（下部）

	記号	単位	数値
自動車質量	$m$	kg	2170
自動車速度	$v$	m/s	43.5
車体剛性	$Kv=588 \cdot m$	N/m	1.28E+06
自動車変形量	$\delta v$	m	0.5
はり到達歪	$\varepsilon$		0.03%
柱到達歪	$\varepsilon$		5.2%
はりたわみ	$\delta b$	m	0.6
柱たわみ	$\delta c$	m	0.6
はり変形エネルギー	$E_{eb}$	J	7.90E+01
柱変形エネルギー	$E_{ec}$	J	2.71E+05
はり寄与本数	$n_b$	本	5
柱寄与本数	$n_c$	本	7
自動車変形エネルギー	$E_{ev}$	J	1.59E+05
変形エネルギー(全本数)	$E_{es}=n_b \times E_{eb}+n_c \times E_{ec}$	J	1.89E+06
自動車運動エネルギー	$E_k$	J	2.05E+06
全変形エネルギー	$E_{et}=E_{ev}+E_{es}$	J	2.05E+06
全変形エネルギー－自動車運動エネルギー		J	8.73E+02
全変形エネルギーは自動車運動エネルギーより大きいので運動エネルギーを吸収することができる。			

参考文献

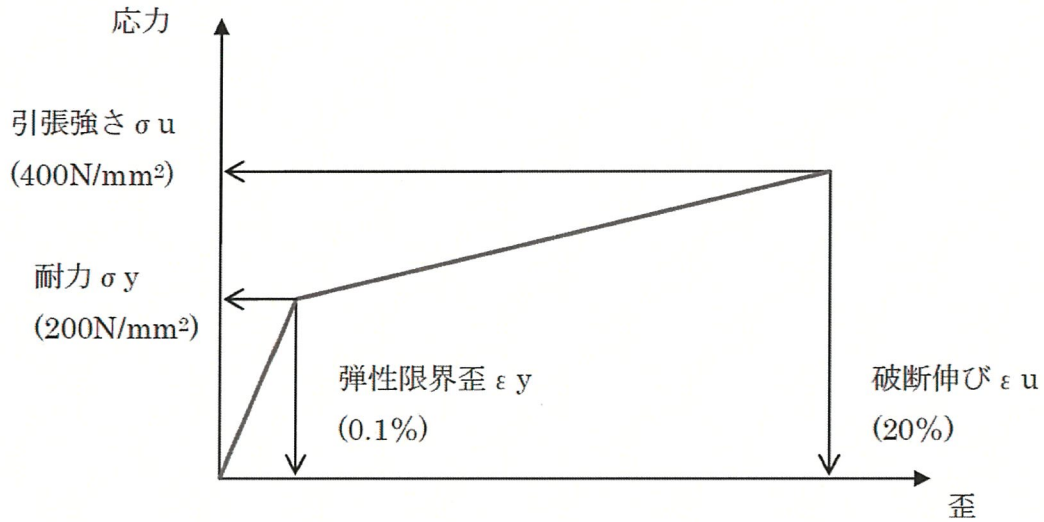
- 1) 「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治

(補足) 塑性を考慮したはり (柱) の変形エネルギー評価手法

ここでは、塑性まで考慮した場合のはりが担うことのできる変形エネルギーの評価手法を示す。

(1) 応力歪線図のモデル化例

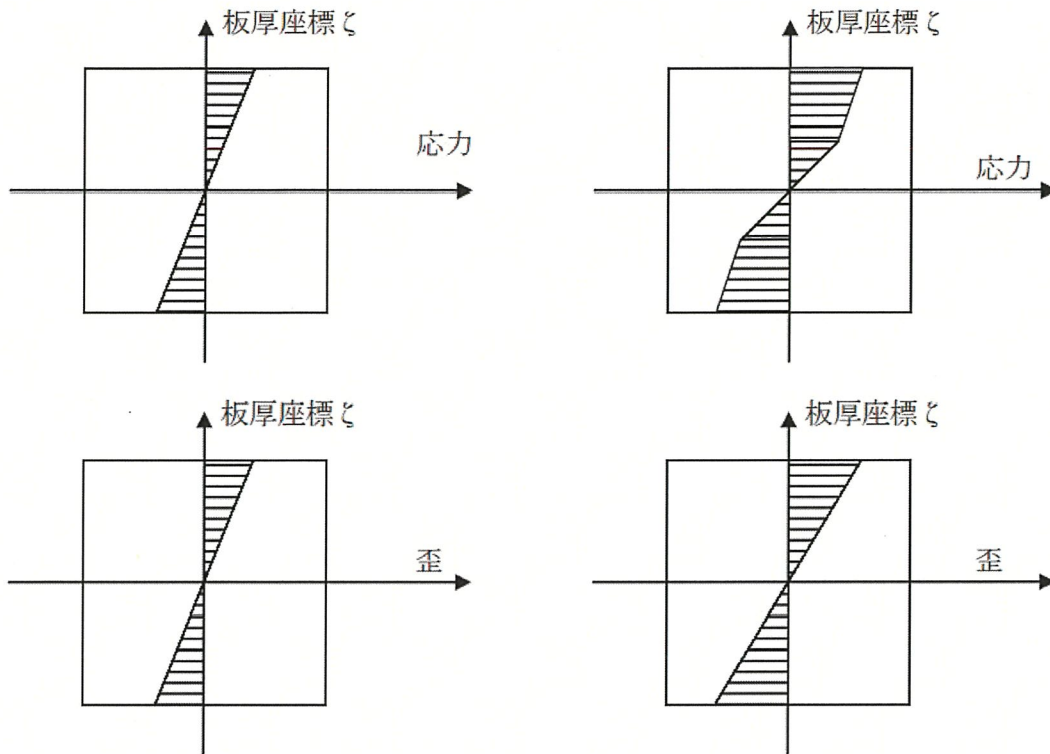
応力歪線図は概略として第 1. 2. 8. 15-4 図に示す通りモデル化する。



第 1. 2. 8. 15-4 図 応力歪線図のモデル化

(2) はり断面の応力分布とモーメント

はり断面が破断する直前の柱断面が担うことのできるモーメントは断面内のモーメントを積分することで求められる。



第 1. 2. 8. 15-5 図 柱断面の応力と歪の分布

応力歪線図の模式図から応力と歪の関係式を以下の通り示す。

$$\sigma = \begin{cases} E\sigma & \varepsilon \leq \varepsilon_y \\ \sigma_y + E_p(\varepsilon - \varepsilon_y) & \varepsilon > \varepsilon_y \end{cases} \quad (4)$$

ここで

$\sigma$  : 応力

$\sigma_y$  : 耐力 (200 N/mm<sup>2</sup> とする)

$\varepsilon$  : 歪

$\varepsilon_y$  : 弾性限界歪

$E$  : ヤング率 (200000 N/mm<sup>2</sup> とする)

$E_p$  : 弾性限界を超えた歪における応力-歪線図の傾き (以後、塑性ヤング率という)

$$E_p = \frac{\sigma_u - \sigma_y}{\varepsilon_u - \varepsilon_y} \quad (5)$$

$\Sigma u$  : 引張強さ (400 N/mm<sup>2</sup> とする)

$E_u$  : 破断伸び (20% とする)

柱の断面の板厚方向 (曲げ方向) の座標を  $\zeta$  とする。

断面内の歪の分布は線形であるとして、

$$\varepsilon = \alpha \zeta \quad (6)$$

ここで板厚を  $h$  とすると、

$$\alpha = \frac{2\varepsilon_m}{h} \quad (7)$$

$\varepsilon_m$  : 断面内最大歪

とする。

また、断面の  $\zeta$  座標上で応力が耐力に到達するときの値を

$$\zeta_y = \frac{\varepsilon_y}{\alpha} \quad (8)$$

とする。

断面内のモーメントを計算する。

計算は矩形断面を前提に評価するので、板幅を  $b$  とすると、任意の形状の断面に対し、断面二次モーメント  $I$  が与えられているとして、

$$b = \frac{12I}{h^3} \quad (9)$$

である。

断面内モーメントは

$$\begin{aligned} M &= 2b \int_0^{h/2} \sigma(\zeta) \cdot \zeta \cdot d\zeta \\ &= 2b \left[ \int_0^{\zeta_y} \alpha E \cdot \zeta^2 \cdot d\zeta + \int_{\zeta_y}^{h/2} \{ \sigma_y + E_p \alpha (\zeta - \zeta_y) \} \zeta \cdot d\zeta \right] \\ &= 2b \left\{ \left[ \frac{\alpha E \cdot \zeta^3}{3} \right]_0^{\zeta_y} + \left[ \frac{\sigma_y \zeta^2}{2} \right]_{\zeta_y}^{h/2} + \left[ \frac{\alpha E_p \zeta^3}{3} \right]_{\zeta_y}^{h/2} - \left[ \frac{\alpha E_p \zeta_y \zeta^2}{2} \right]_{\zeta_y}^{h/2} \right\} \\ &= b \left\{ \frac{2\alpha E \cdot \zeta_y^3}{3} + \frac{\sigma_y h^2}{4} - \sigma_y \zeta_y^2 + \frac{\alpha E_p h^3}{12} - \frac{2\alpha E_p \zeta_y^3}{3} - \frac{\alpha E_p \zeta_y h^2}{4} + \alpha E_p \zeta_y^3 \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

### (3) モーメントからたわみ、荷重、変形エネルギーの計算手順

はりに作用するたわみの分布は弾性るときと同様線形であるとする。

はりに作用するモーメントと荷重の関係は

$$M = \frac{FL}{\beta} \quad (\text{両端支持の場合、はりの中央に荷重が作用するとして } \beta = 4) \quad (11)$$

となる。

ここで

L : はりの長さ

F : はりの荷重 (両端支持の場合にはりの中央に作用する)

たわみは

$$\delta = \frac{FL^3}{\gamma EI} \quad (\text{両端支持の場合 はり中央の荷重に対して } \gamma = 48) \quad (12)$$

となる。

以上を用いて計算の手順を以下に示す。

- (a) はりに作用するたわみ  $\delta$  を仮定する
- (b) たわみから仮想荷重  $F_i$  を求める (以下、”仮想”とは塑性を無視して線形として評価したものを意味する)

$$F_i = \frac{\delta \gamma EI}{L^3} \quad (13)$$

- (c) 仮想荷重から仮想モーメント  $M_i$  を求める

$$M_i = \frac{F_i L}{\beta} \quad (14)$$

- (d) 仮想モーメントから仮想応力  $\sigma_i$  を求める。

$$\sigma_i = \frac{M_i}{Z} \quad (15)$$

ここで  $Z$  は断面係数

- (e) 仮想応力から断面内最大歪  $\varepsilon_m$  を求める。

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_i}{E} \quad (16)$$

- (f) 表面最大歪から断面内歪傾き  $\alpha$  を求める

$$\alpha = \frac{2\varepsilon_m}{h}$$

- (g) この  $\alpha$  を用いて(10)式に代入し、実際に作用するモーメント  $M$  を求める。

- (h) モーメント  $M$  から実際に作用する荷重  $F$  を求める。

$$F = \frac{\beta M}{L}$$

- (i) たわみ  $\delta_u$  に到達するまでの変形エネルギー  $E_e$  を計算する。

$$E_e = \int_0^{\delta_u} F \cdot \delta \cdot d\delta \quad (17)$$

この計算手法により、任意の歪に対してたわみ、荷重の関係が計算できる。また、変形エネルギーについては、たわみを少しずつ変化させ、数値積分 (台形公式) することにより求める。



#### 1.2.8.16 竜巻に対する補強

設計評価用の竜巻 (F1 竜巻) 及び更なる安全裕度向上のために設定した竜巻 (F3 竜巻) に対する各建物における補強の内容を第 1.2.8.16-1 表に示す。

第 1.2.8.16-1 表 竜巻に対する各建物における補強の内容

No.	建物名称	竜巻の強さ <sup>(注)</sup>	補強の有無	補強の内容
1	転換工場	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下・天井下) ・設備・機器固定補強 ・屋根補強
		F1	有	・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)* ・シャッタ鉄扉化(原料倉庫)* ・シャッタ補強バー設置(前室) ・鉄扉の補強*
2	成型工場 (放射線管理棟含む)	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下・天井下) ・設備・機器固定補強(フィルタ室) ・屋根補強
		F1	有	・外壁補強* ・鉄扉の補強*
3	組立工場	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下) ・設備・機器固定補強 ・屋根補強
		F1	有	・外壁補強* ・シャッタ鉄扉化(組立工場)* ・シャッタ補強バー設置(前室) ・鉄扉の補強*
4	加工棟 (連絡通路含む)	F3	無	・屋根補強(連絡通路のみ)
		F1	有	・サイディング補強(連絡通路のみ)(一部内側サイディング補強含む)* ・シャッタ補強バー設置(前室(1)) ・鉄扉の補強*
5	第3核燃料倉庫	F3	無	
		F1	有	・シャッタ鉄扉化(前室)* ・鉄扉の補強*
6	第1廃棄物処理所 (渡り廊下含む)	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下) ・設備・機器固定補強 ・屋根補強
		F1	有	・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)* ・鉄扉の補強*
7	第2廃棄物処理所 (渡り廊下含む)	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下) ・設備・機器固定補強 ・屋根補強
		F1	有	・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)* ・鉄扉の補強*
8	シリンダ洗浄棟	F3	無	
		F1	有	・屋根補強(前室のみ) ・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)(前室)* ・シャッタ鉄扉化(洗浄室)* ・シャッタ補強バー設置(前室) ・鉄扉の補強*
9	劣化・天然ウラン倉庫	F3	無	
		F1	有	・鉄扉の補強*
10	第3廃棄物倉庫	F3	有	・ドラム缶固縛 ・屋根補強
		F1	有	・サイディング補強 ・シャッタ補強バー設置 ・鉄扉の補強
11	原料貯蔵所	F3	無	
		F1	有	・シャッタ鉄扉化* ・鉄扉の補強*
12	除染室・分析室	F3	有	・飛散防止用防護ネット設置(屋根下) ・設備・機器固定補強 ・屋根補強
		F1	有	・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)* ・シャッタ鉄扉化* ・鉄扉の補強*
13	容器管理棟	F3	無	
		F1	有	・シャッタ鉄扉化* ・鉄扉の補強*
14	第2核燃料倉庫	F3	無	
		F1	有	・鉄扉の補強*

注) F3は安全上重要な施設の有無の確認用竜巻に対しての補強を、F1は設計評価用竜巻に対しての補強を意味する。

※補強方法の補足説明

- ・サイディング補強(一部内側サイディング補強含む)とは、外壁の外側又は内側に設置する鉄骨下地の上に、金属製パネルを張るタイプの補強を示す。
- ・屋根の補強は、屋根取付け鉄骨トラスの補強、屋根材の強化金(アルミ板製屋根から鋼板製屋根に変更)、屋根カバー補強を示す。
- ・F3竜巻で屋根が損傷する建物に対しては、屋外への設備・機器の飛散防止のため、飛散防止用防護ネットの設置及び設備・機器の固定を強化する。
- ・F1竜巻に対するシャッタの補強バー設置は、既存又は新規のシャッタにF1竜巻の風圧力に耐える補強バーの設置を示す。
- ・新設建屋は除く
- ・F1竜巻に対する補強の「\*」はF3竜巻まで耐える補強を示す。

#### 1.2.9 生物

生物学的影響について、配管を利用した外部供給水の設計、外気取入口へのフィルタの設置、さらに、定期的な点検、清掃、交換を実施していることから、水生及び陸生動植物の侵入等による生物学的影響が安全機能に影響を及ぼすことはない。

## 1.2.10 外部火災

### 1.2.10.1 森林火災

加工施設の周辺は、宅地等となっており、小規模な雑木林が点在するが、広大な森林は存在せず、最も近い雑木林までは約 400m 以上の離隔距離があり、森林火災による加工施設への影響はない。

### 1.2.10.2 近隣工場等の火災・爆発

危険物施設を有する隣接する工場及び加工施設周辺の車両事故の影響として、敷地から最も近い公道である国道 6 号線におけるタンクローリーを選定し、火災・爆発影響評価を行った結果、危険距離又は危険限界距離に対し離隔距離が確保されていることから、火災・爆発による影響はない。

### 1.2.10.3 敷地内の屋外危険物等貯蔵施設の火災・爆発

敷地内に設置されている A 重油を貯蔵する危険物屋外タンク貯蔵所(1)、灯油を貯蔵する危険物屋外タンク貯蔵所(2)及び(3)、液化アンモニアを取り扱う高圧ガス製造所、液化プロパンガスを貯蔵する LP ガス供給設備、水素を貯蔵する高圧ガス貯蔵所及びそれらの輸送車両を選定し、火災・爆発による影響評価のもとに、火災・爆発により核燃料物質を内包する設備が設置されている建物の外壁が損傷しない設計とする。

## 1.2.11 社会環境

### 1.2.11.1 概要

加工施設は、茨城県那珂郡東海村の北西端及び那珂市北東端に位置し、東京の北東約120km、水戸市の北東約13km、北緯36°28'、東経140°32'の地点にある。東海村は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の他、公共・民間による原子力関連産業が多数立地し、原子力センターとして発展してきた。また、那珂市は、平成17年に那珂町及び瓜連町が合併して誕生した。加工施設と隣接する事業所として、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構那珂核融合研究所（那珂市）が設置されているほか、三菱グループの事業所として、MHI原子力研究開発株式会社（東海村）、三菱マテリアル株式会社那珂エネルギー開発研究所（那珂市）がある。MHI原子力研究開発株式会社は、原子力に関する研究開発を専業とし、また、那珂エネルギー開発研究所は、原子燃料サイクル関連の研究を行っている。

### 1.2.11.2 人口

加工施設が立地する東海村は約38,000人（人口密度約1,000人/km<sup>2</sup>）、那珂市は約53,000人（人口密度約540人/km<sup>2</sup>）であり、加工施設を中心とする半径5km以内の総人口は約70,000人である。

### 1.2.11.3 産業

加工施設周辺は、東部及び北部の久慈川流域平野と西部内陸台地とからなり、広く耕地並びに住宅地が広がっているが、JR常磐線東海駅から国道6号線沿線及び那珂市内を通る国道349号線周辺等に商業地域も点在している。東海村及び那珂市の就業人口統計は第1.2.11.3-1表のとおりである。

第1.2.11.3-1表 東海村及び那珂市の就業人口統計

産業 \ 就業人口 (人)	東海村	那珂市	計
第一次産業	501	1,319	1,820
第二次産業	4,657	6,754	11,411
第三次産業	13,826	19,125	32,951
計	18,984	27,198	46,182

2020年10月現在

### 1.2.11.4 交通

#### (1) 鉄道

加工施設から直線で南東約2kmにJR常磐線が南西から北東に敷設されており、同線東海駅までは約2.3kmである。

(2) 主要道路

加工施設の約 150m 南を国道 6 号線、約 750m 北西を常磐自動車道がほぼ並行して南西から北東に敷設されている。また、国道 6 号線の加工施設から約 200m 南の地点から東に向かって東海村道駆上り動燃線（通称：動燃道路）、その約 800m 北方から東方に向かって茨城県道 62 号線（通称：原研道路）が敷設されている。

(3) 空路

加工施設から直線で南西約 35km に茨城空港（航空自衛隊百里基地との共用）があり、茨城空港－北海道新千歳空港等の定期便が運行されている。

(4) 港湾

加工施設から直線で南東約 8km、東海村南東端からひたちなか市にかけて常陸那珂港があり、また、同北東約 7km、日立市南東端に日立港がある。

1.2.11.5 学校

東海村及び那珂市の学校は第 1.2.11.5-1 表のとおりである。

第 1.2.11.5-1 表 東海村及び那珂市の学校

項目		地域	
		東海村	那珂市
学校	高等学校	1	2
	中学校	2	5
	小学校	6	9