

再処理施設の竜巻影響評価の方針に関する説明書

## 1. 竜巻設計の考え方

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所 再処理施設（以下「再処理施設」という。）の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）に対する安全対策の検討は、別添 6-1-4-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での竜巻対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日 原子力規制委員会決定，平成 30 年 11 月 28 日改定）」（以下「竜巻影響評価ガイド」<sup>(1)</sup> という。）を参考に実施する。

## 2. 竜巻に対する防護方針

### 2.1 概要

再処理施設の廃止措置段階に、極めてまれに発生する突風、強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随件事象等によって再処理施設の安全性を損なわないことを評価するため、「竜巻影響評価ガイド」を参照し、以下の竜巻影響評価を行い、安全機能が維持されることを確認する。

- (1) 設計竜巻及び設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定
- (2) 再処理施設における飛来物に係る調査
- (3) 飛来物発生防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

### 2.2 評価の基本方針

#### 2.2.1 竜巻から防護する施設の抽出

竜巻から防護する施設（以下「竜巻防護施設」という。）は、竜巻の影響を受ける場合においても再処理施設の安全性を確保するために、高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、廃止措置全体の長期間ではないものの分離精製工場等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を有する施設を竜巻防護施設とした。

#### 2.2.2 竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)及び(2)に示す施設を竜巻影響評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）とする。

評価対象施設の抽出フローを図 2-1 に示す。

(1) 竜巻防護施設

竜巻防護施設のうち、評価対象施設として、屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設を含む。）、屋内の施設で外気と繋がっている施設及び外殻となる施設（建家及び構築物）による防護機能が期待できない施設を抽出する。なお、外殻となる施設による防護機能が期待できない施設については、竜巻防護施設を内包する施設の構造健全性の確認結果を踏まえ抽出する。

a. 屋外施設

< 竜巻防護施設 >

- (a) セル換気系統のダクト（高放射性廃液貯蔵場（HAW））
- (b) 二次冷却水系統（高放射性廃液貯蔵場（HAW））
- (c) 緊急放出系統のダクト（高放射性廃液貯蔵場（HAW））
- (d) セル換気系統のダクト（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）
- (e) 第二付属排気筒
- (f) 冷却水系統（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

< 竜巻防護施設を内包する施設 >

- (g) 高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- (h) ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

b. 屋内の施設で外気と繋がっている施設

- (a) セル換気系統のダクト・フィルタ・排風機（高放射性廃液貯蔵場（HAW））
- (b) 緊急放出系統のダクト・フィルタ（高放射性廃液貯蔵場（HAW））
- (c) 槽類換気系統の配管・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）
- (d) セル換気系統のダクト・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）
- (e) 固化セル換気系統のダクト・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設として評価対象施設となる施設は、再処理施設の構築物、系統及び機器のうち、倒壊により竜巻防護施設を機能喪失させる可能性があるものとする。

- a. 主排気筒
- b. 分離精製工場（MP）
- c. リサイクル機器試験施設（RETF）
- d. ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟

e. クリプトン回収技術開発施設 (Kr)

2.2.3 評価の基本的な考え方

2.2.3.1 評価方法

設計竜巻及び設計荷重を適切に設定するとともに、評価対象施設を抽出し、考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設の構造健全性について評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されていることを確認する。

竜巻影響評価の基本フローを図 2-2 に示す。

2.2.3.2 評価対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

a. 風圧力による荷重

設計竜巻の最大風速による風圧力による荷重

b. 気圧差による荷重

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重

c. 設計飛来物の衝撃荷重

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

(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

a. 評価対象施設に常時作用する荷重，運転時荷重等

b. 竜巻以外の自然現象による荷重，設計基準事故時荷重等

なお，上記(2)b. の荷重については，竜巻以外の自然現象及び事故の発生頻度等を参照して，上記(2)a. の荷重と組み合わせることの適切性や設定する荷重の大きさ等を判断する。

具体的な荷重については，各施設における「設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定」に示す。

2.2.3.3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組合せ荷重（自重，運転時荷重等）を適切に組み合わせた設計荷重に対して，評価対象施設，あるいはその特定の区画の構造健全性等の確認を行い，必要に応じて対策を行うことで安全機能が維持されることを確認する。

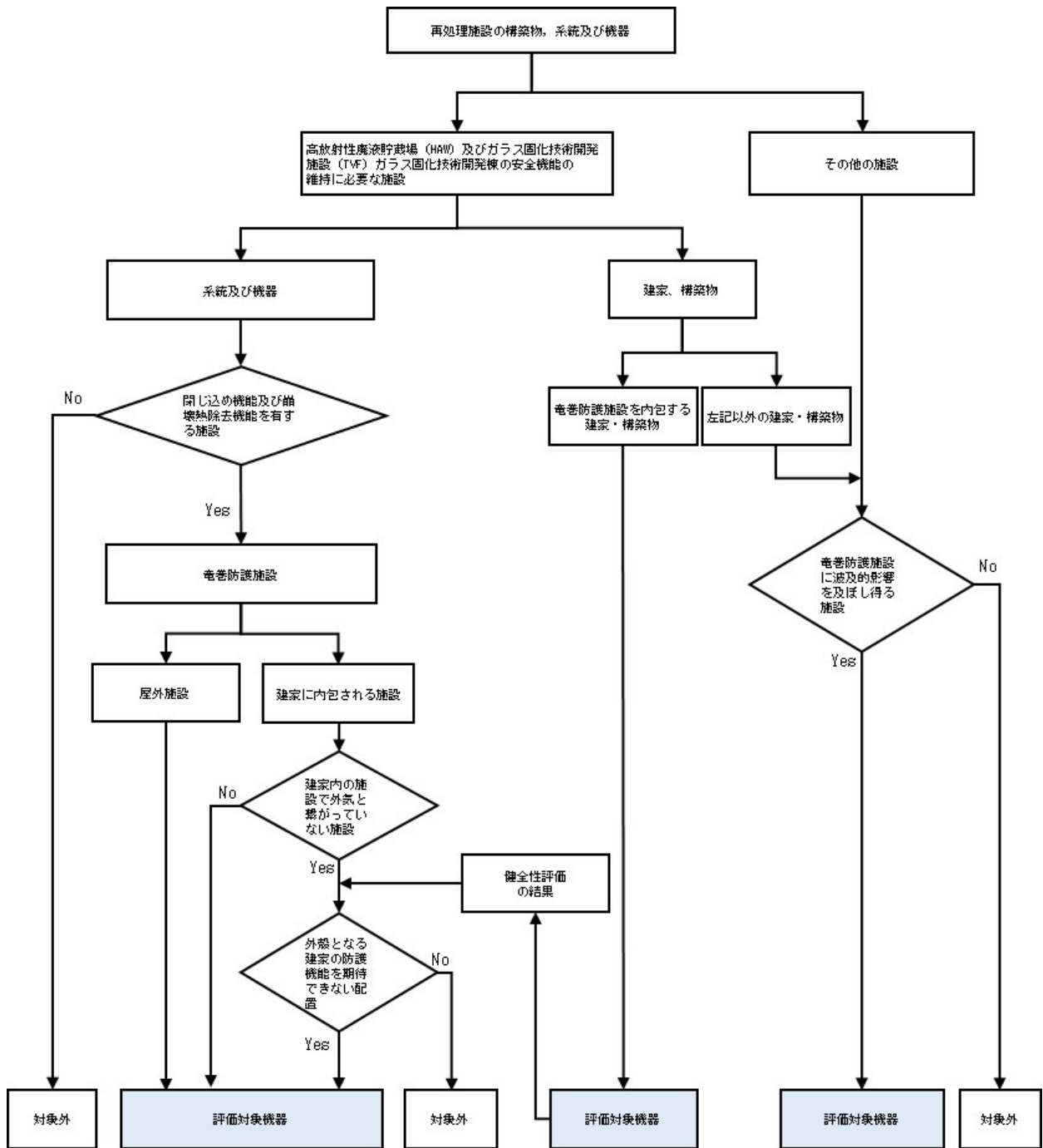


図 2-1 再処理施設の竜巻影響評価の対象施設の抽出フロー

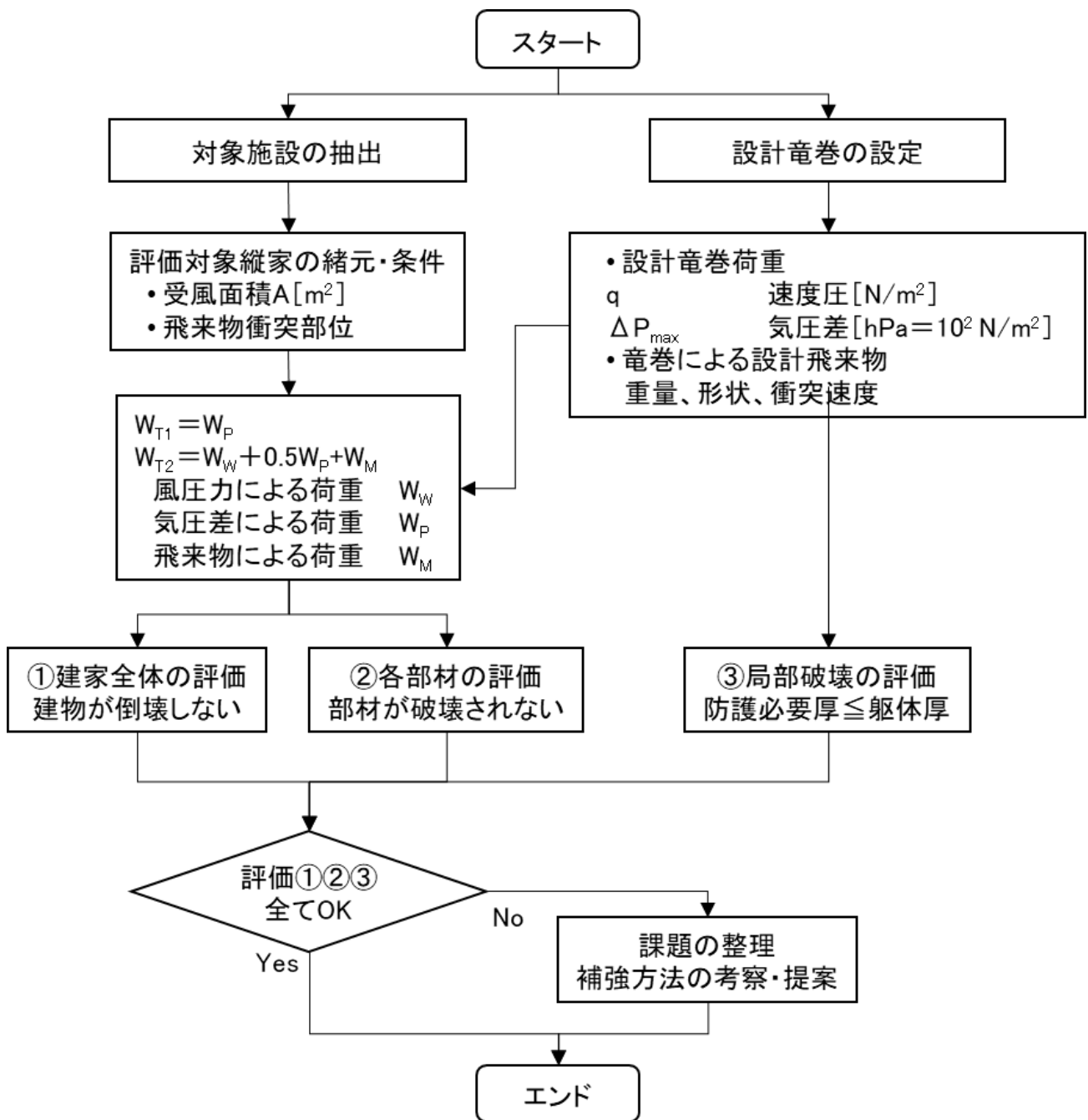


図 2-2 竜巻影響評価の基本フロー

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）  
の竜巻影響評価に関する説明書

## 1. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）の竜巻影響評価

### 1.1 概要

竜巻影響評価の概要を以下に示す。

- (1) 設計荷重（設計竜巻荷重及びその他の組合せ荷重）の設定
- (2) 再処理施設における設計飛来物の設定
- (3) 飛来物発生防止対策
- (4) 考慮すべき設計荷重に対する評価対象施設の構造健全性等の評価を行い、必要に応じ対策を行うことで安全機能が維持されることの確認

### 1.2 評価対象施設

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を維持するために必要な施設及びそれら安全機能を代替するための事故対処施設を竜巻から防護する施設とした。

評価対象施設を表 1.2-1 に示す。

### 1.3 設計荷重の設定

#### 1.3.1 設計竜巻荷重の設定

別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定に関する説明書」に示した設計竜巻の最大風速  $V_D$  等に基づき、「風圧力による荷重」、「気圧差による荷重」及び「設計飛来物による衝撃荷重」をもとに、以下のとおり設定する。

##### (1) 風圧力による荷重の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速  $V_D$  によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力による荷重 ( $W_W$ ) は、「建築基準法施行令」、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）」に準拠し、下式により算定する。

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

ここで、

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

$\rho$  : 空気密度

$V_D$  : 設計竜巻の水平方向の最大風速

$G$  : ガスト影響係数 ( $= 1.0$ )

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

$A$  : 施設の受圧面積

なお、鉛直方向の風圧力については以下のとおりとする。



- ・ 建家及び構築物の底部や屋根スラブについては、鉛直方向の風圧力の影響を受けると考えられる。庇については、評価対象施設には存在しないが、屋根スラブについては、鉛直方向の風圧力に対する健全性の評価を行う。
- ・ 設備については、鉛直方向の風圧力に対して特に脆弱と考えられる部位は評価対象施設の中に存在しないことから、鉛直方向の風圧力の考慮は行わない。

## (2) 気圧差による荷重の設定

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による荷重 ( $W_P$ ) は、最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ ) に基づき設定する。

### a. 建家、構築物

建家については、気圧差による荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重  $W_P$  を以下の式により設定する。

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

ここで、

$\Delta P_{max}$  : 最大気圧低下量

A : 施設の受圧面積

竜巻防護施設を内包する建家、構築物について影響評価を実施し、当該施設が損傷のおそれがある場合には、安全機能維持への影響について確認する。

### b. 設備（系統及び機器）

設備（系統及び機器）についても、上記と同様に  $W_P$  を設定する。換気空調系のように外気と隔離されている区画の境界部等、気圧差による圧力影響を受ける設備について、気圧差により作用する応力が許容値以内であるか確認し、許容値を上回る場合には安全機能維持への影響について確認する。

## (3) 設計飛来物による衝撃荷重の設定

別添 6-1-4-3 「設計飛来物の選定に関する説明書」に示した設計竜巻飛来物に基づき、以下のとおり設計飛来物による衝撃荷重を設定する。

設計竜巻の最大風速による設計飛来物の衝撃荷重は、運動エネルギーが大きくなる鋼製材の衝突方向及び衝突面積を考慮し、鋼製材が評価対象施設に衝突した場合の影響が大きくなる衝突方向で算出する。鋼製材の最大速度は表 1.3.1-1 のとおりであり、静的な構造評価を実施する場合の衝撃荷重は、重量分布を均一な直方体として、Riera の方法<sup>(1)</sup>を踏まえた下式にて算出した。

$$W_W = F_{MAX} = MV^2 / L_{MIN}$$

ここで、

- M : 飛来物の質量
- V : 飛来物の衝突速度
- $L_{MIN}$  : 飛来物の衝突方向長さ

#### (4) 設計竜巻荷重の設定

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 ( $W_W$ )、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重とし、以下の式による。

$$W_{T1} = W_P$$

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

ここで、

- $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$  : 設計竜巻による複合荷重
- $W_W$  : 設計竜巻の風圧力による荷重
- $W_P$  : 設計竜巻の気圧差による荷重
- $W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重

竜巻襲来時のある瞬間において、各荷重の作用方向は必ずしも一様ではないが、 $W_{T2}$ の算出においては $W_W$ 、 $W_P$ 及び $W_M$ の作用方向を揃えることとし、保守性を考慮する。また、評価対象施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。

#### 1.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等

評価対象施設に常時作用する荷重（自重）及び運転時荷重を適切に組み合わせる。

##### (2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻は積乱雲や積雲に伴って発生する現象<sup>(2)</sup>であり、積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、雹及び大雨である。これらの自然現象の組合せにより発生する荷重は、以下のとおり設計竜巻荷重に包絡される。

###### a. 雷

竜巻と雷が同時に発生する場合においても、雷による高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）への影響は雷撃であるため、雷による荷重は発生しない。

b. 雪

上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時は、竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされ、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。

c. 雹

雹は積乱雲から降る直径 5 mm 以上の氷の粒<sup>(3)</sup>であり、仮に直径 10 cm 程度の大型の雹を想定した場合でも、その重量は約 0.5 kg である。直径 10 cm 程度の雹の終端速度は 59 m/s<sup>(4)</sup>、運動エネルギーは約 0.9 kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分に小さく、雹の衝突荷重は設計竜巻荷重に包絡される。

d. 大雨

竜巻と大雨が同時に発生する場合においても、雨水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また降雨による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

(3) 事故時荷重

設計竜巻と事故が同時に発生する頻度は十分小さいことから、事故時荷重と設計竜巻との組合せは考慮しない。

1.4 評価対象施設の設計方針

評価対象施設のうち竜巻防護施設については、設計荷重に対してその構造健全性を維持すること又は取替補修が可能なこと、設計上の要求を維持することにより、安全機能を損なわないものとする。

また、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設については、竜巻及びその随伴事象に対して構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持すること又は安全上支障のない期間での修復等の対応により、竜巻防護施設の安全機能を損なうことのないものとする。

1.4.1 許容限界

建家、構築物の設計において、設計飛来物の衝突による貫通及び裏面剥離発生の有無の評価については、貫通及び裏面剥離が発生する部材厚（貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。さらに、設計荷重により、発生する変形又は応力が以下の法令、規格、基準、指針類等に準拠し算定した許容限界を下回るものとする。

- ・ 建築基準法
- ・ 日本産業規格
- ・ 日本建築学会及び土木学会等の基準・指針類
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力エネルギー協会（N E I）の基準・指針類等

系統及び機器の設計において、設計飛来物の衝突による貫通の有無の評価については、貫通が発生する部材厚（貫通限界厚さ）と部材の最小厚さを比較することにより行う。設計飛来物が貫通することを考慮する場合には、設計荷重に対して防護対策を考慮した上で、系統及び機器に発生する応力が以下の規格、基準及び指針類に準拠し算定した許容応力度等に基づく許容限界を下回るものとする。

- ・日本産業規格
- ・日本機械学会の基準・指針類
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1987（日本電気協会）等

#### 1.4.2 設計方針

##### (1) 屋外施設（竜巻防護施設を内包する施設も含む。）

設計荷重に対して、閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能が維持されるものとし、それら安全機能を損なう可能性がある場合には、安全上支障のない期間に補修する又は事故対処施設により安全機能を維持することで対応するものとする。

##### <竜巻防護施設>

###### a. セル換気系統のダクト（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

屋外のセル換気系のダクトは、風圧力による荷重に対して構造健全性を確保できるものの、設計飛来物により貫通する可能性がある。セル換気系のダクトが設計飛来物により損傷した場合には、あらかじめ配備する補修資材により、速やかに補修することで対応するものとする。

###### b. 二次冷却水系統（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

屋外の二次冷却水系統を構成する配管、二次系の送水ポンプ、冷却塔、浄水ポンプ及び浄水貯槽は、風圧力による荷重に対して構造健全性を確保できるものの、設計飛来物により貫通する可能性がある。これらが設計飛来物により損傷した場合には、事故対処施設により安全機能を維持することで対応するものとする。

###### c. 緊急放出系のダクト（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

屋外の緊急放出系のダクトは、風圧力による荷重に対して構造健全性を確保できるものの、設計飛来物により貫通する可能性がある。セル換気系のダクトが設計飛来物により損傷した場合には、あらかじめ配備する補修資材により、速やかに補修することで対応するものとする。

###### d. セル換気系統のダクト（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

屋外のセル換気系のダクトは、風圧力による荷重に対して構造健全性を確保できるものの、設計飛来物により貫通する可能性がある。セル換気系のダクトが設計飛

来物により損傷した場合には、あらかじめ配備する補修資材により、速やかに補修することで対応するものとする。

e. 第二付属排気筒

第二付属排気筒は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持されるものとする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通の発生により、安全機能を損なわないものとする。

f. 冷却水系統（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

屋外の冷却水系統を構成する配管、ポンプ及び冷却塔は、風圧力による荷重に対して構造健全性を確保できるものの、設計飛来物により貫通する可能性がある。これらが設計飛来物により損傷した場合には、事故対処施設により安全機能を維持することで対応するものとする。

<竜巻防護施設を内包する施設>

g. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）

高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持されるとともに、屋上スラブ、側壁面及び開口部（扉等）の破損による当該建家内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないものとする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建家内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないものとする。

屋上スラブ及び側壁面については、設計飛来物の衝突時にひび割れ等が生じる可能性があるが、設計竜巻と事故が同時に発生する可能性は十分小さく、高放射性廃液の崩壊熱除去機能が喪失した際には、事故対処施設により安全機能を維持すること、屋上スラブ及び側壁面については、安全上支障のない期間に補修することで対応するものとする。

h. ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

ガラス固化技術開発棟建家は、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝突荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持されるとともに、屋上スラブ及び側壁面の破損による当該建家内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないものとする。また、設計飛来物の衝突時においても、貫通及び裏面剥離の発生により、当該建家内の竜巻防護施設が安全機能を損なわないものとする。

屋上スラブ、側壁面については、設計飛来物の衝突時にひび割れ等が生じる可能性があるが、設計竜巻と事故が同時に発生する可能性は十分小さく、高放射性廃液の崩壊熱除去機能が喪失した際には、事故対処施設により安全機能を維持するこ

と、屋上スラブ及び側壁面については、安全上支障のない期間に補修することで対応するものとする。

(2) 屋内の施設で外気と繋がっている施設

設計荷重に対して、安全機能が維持される設計とし、安全機能を損なう可能性がある場合には施設の補強等の竜巻防護対策を実施することにより、安全機能を損なわない設計とする。

a. セル換気系のダクト・フィルタ・排風機（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

セル換気系のダクト・フィルタ・排風機は、建家に内包されており風圧力による荷重は作用しない。また、設計飛来物の衝突により安全機能を損なうおそれはない。さらに、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対しても構造健全性が維持されるものとする。

b. 緊急放出系のダクト・フィルタ（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

緊急放出系のダクト・フィルタは、建家に内包されており風圧力による荷重は作用しない。また、設計飛来物の衝突により安全機能を損なうおそれはない。さらに、気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対しても構造健全性が維持されるものとする。

c. 槽類換気系の配管・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

槽類換気系の配管・フィルタ・排風機は、建家に内包されており風圧力による荷重は作用しない。また、開口部の閉止措置により、設計飛来物の衝突により安全機能を損なうおそれはない。気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわないものとする。

d. セル換気系のダクト・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

セル換気系ダクト・フィルタ・排風機は、建家に内包されており風圧力による荷重は作用しない。また、開口部の閉止措置により、設計飛来物の衝突により安全機能を損なうおそれはない。気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわないものとする。

e. 固化セル換気系のダクト・フィルタ・排風機（ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟）

固化セル換気系ダクト・フィルタ・排風機は、建家に内包されており風圧力による荷重は作用しない。また、開口部の閉止措置により、設計飛来物の衝突によ

り安全機能を損なうおそれはない。気圧差による荷重及び常時作用する荷重に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわないものとする。

(3) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

設計荷重に対して、当該施設の構造健全性を確保すること、設計上の要求を維持することが可能なことにより、竜巻防護施設の安全機能を損なわないものとする。

- a. 主排気筒
- b. 分離精製工場 (MP)
- c. リサイクル機器試験施設 (RETF)
- d. ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
- e. クリプトン回収技術開発施設 (Kr)

1.5 竜巻随伴に対する評価

竜巻随件事象として、過去の竜巻被害事例及び核燃料サイクル工学研究所再処理施設の配置から想定される以下の事象を抽出し、竜巻防護施設の安全機能を損なわないことを確認した。

(1) 火災

竜巻随件事象として、竜巻による飛来物が建家開口部付近の発火性又は引火性物質を内包する機器、屋外の危険物タンク等に飛来物が衝突する場合の火災が想定される。

建家内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には鋼板設置等の竜巻防護対策を行うこと、設計飛来物が到達する開口部付近に、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の安全機能を損なう可能性を有する発火性又は引火性物質を内包する機器が配置されてなく、建家内の竜巻防護施設の安全機能を損なうことはない。

建家外については、設計竜巻による核燃料サイクル工学研究所敷地内の危険物タンクの火災があり、外部火災評価における核燃料サイクル工学研究所敷地内の危険物タンクの火災影響評価と同様であり、竜巻防護施設の安全機能を損なわない。なお、建家外の火災については、竜巻通過後、速やかに消火活動を行う運用により対応する。

以上により、竜巻による火災により竜巻防護施設の安全機能を損なわない。

(2) 溢水

竜巻随件事象として、設計飛来物が建家開口部付近の溢水源に衝突する場合、建家屋上の二次冷却水系統に衝突した場合、屋外タンクに衝突する場合の溢水が想定される。

竜巻防護施設を内包する建家内については、竜巻防護施設を設置している区画の開口部には鋼板設置等の竜巻防護対策を行うことを考慮すると、設計飛来物が到達することはない。高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を損なう可能性を有する溢水源が配置されていないことから、それら安全機能を損なうことはない。

建家屋上の二次冷却水系統については、設計飛来物の衝突により損傷し、溢水源となる可能性があるが、二次冷却水系統と同時に屋上スラブが損傷し、建家内に溢水したとしても、事故対処施設による代替により、閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を損なわないよう対策を施す。

建家外については、溢水評価における屋外タンクの評価に包絡されるため、竜巻防護施設の安全機能を損なわないことを確認している。

以上により、竜巻による溢水により竜巻防護施設の安全機能を損なわない。

### (3) 外部電源喪失

設計竜巻と同時に発生する雷等により外部電源が喪失し、設計飛来物により非常用発電機が機能喪失した場合においても、プルトニウム転換技術開発施設の駐車場に配備する移動式電源車等からの給電により、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能は損なわない。仮に、外部電源、非常用発電機及びプルトニウム転換技術開発施設駐車場に配備した移動式電源車が同時に機能喪失したとしても、核燃料サイクル工学研究所の南東地区（高放射性廃液貯蔵場から 100 m 以上離隔）に分散配置している移動式発電機の予備機を運搬配備し、給電することにより、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能は損なわない。さらに、移動式発電機の予備機が設計竜巻により同時に機能喪失したとしても、事故対処施設として配備するポンプ車、可搬式のエンジン付きポンプにより、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の崩壊熱除去機能を維持できる。

以上により、竜巻による外部電源喪失により、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を損なわない。



表 1.2-1 核燃料サイクル工学研究所再処理施設の評価対象施設

分類	評価対象施設	防護設備 (外郭となる施設)
竜巻防護施設	屋外の施設	—
	屋内の施設 で外気と繋が っている施設	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)
		ガラス固化技術開発施 設(TVF)ガラス固化技 術開発棟
竜巻防護施設を 内包する施設	高放射性廃液貯蔵場(HAW) ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟	—
竜巻防護施設に 波及的影響を及 ぼし得る施設	主排気筒 分離精製工場(MP) リサイクル機器試験施設(RETf) ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術管理棟 クリプトン回収技術開発施設(Kr)	—

表 1.3.1-1 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設における設計飛来物

飛来物の種類	鋼製材
サイズ (m)	長さ×幅×高さ 4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	51
最大鉛直速度 (m/s)	34

<参考文献>

- (1) J.D.Riera, “A Critical Reappraisal of Nuclear Power Plant safety against Accidental Aircraft Impact”, Nuclear Engineering and Design 57, (1980)
- (2) 大野久雄, 雷雨とメソ気象, 東京堂出版
- (3) 気象庁ホームページ ([http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/kousui.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kousui.html)),  
(2020年6月参照)
- (4) 小倉義光, 一般気象学, 東京大学出版会

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟  
の評価対象施設の抽出について

1. 抽出方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の竜巻防護施設から、以下の手順により、評価対象施設を抽出した。

- ① 竜巻防護施設として抽出された設備の設置場所を確認し、竜巻襲来時に風圧、気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受ける屋外施設（当該施設を内包する施設含む。）を評価対象とする。
- ② 屋内施設であるが外気と繋がっているため、竜巻襲来時に気圧差の影響を受ける施設を評価対象とする。
- ③ 外殻となる施設による防護機能が期待できない施設（区画）の内部に配置されているため、竜巻襲来時に風圧、気圧差及び設計飛来物衝突の影響を受ける施設を評価対象とする。なお、外殻による防護機能に期待できるかは、外殻となる施設（建家及び構築物）の竜巻荷重に対する構造健全性の確認結果により評価する。

2. 評価対象施設の抽出結果

竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フローを図 2-1 に示す。また、高放射性廃液貯蔵場（HAW）の抽出結果を表 2-1 に、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の抽出結果を表 2-2 に示す。

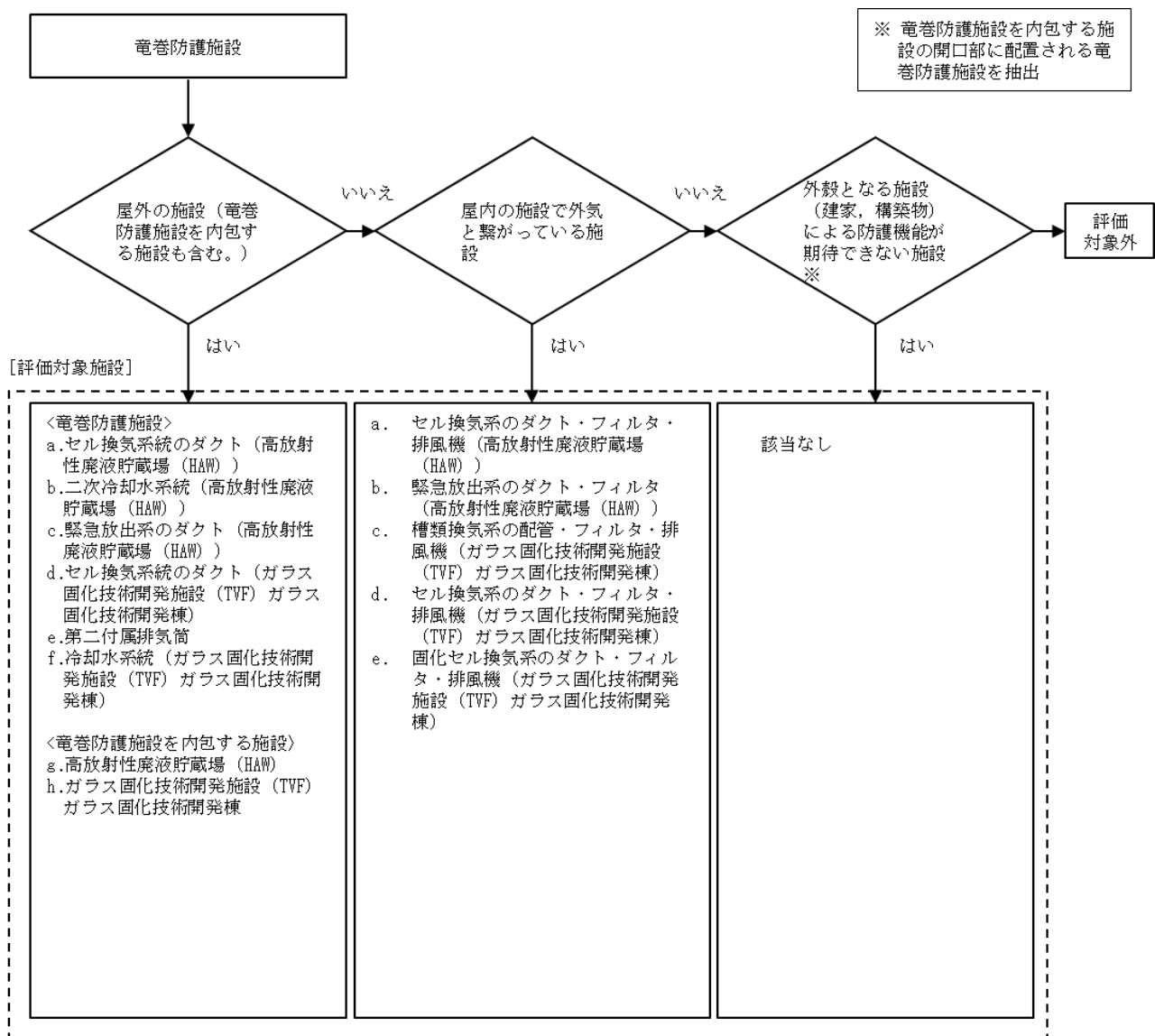


図 2-1 竜巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

第2-1 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における竜巻防護対象施設 (1/3)

系統等	閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当する)	
					○：はい	×：いいえ —：該当しない
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能	高放射性廃液を 内蔵する系統及 び機器	高放射性廃液を内蔵する系統	×	×	×	×
		高放射性廃液貯蔵槽	×	×	×	×
		中間貯蔵槽	×	×	×	×
	高放射性廃液を 内蔵する系統及 び機器	分配器	×	×	×	×
		水封槽	×	×	×	×
		ドリップトレイ	×	×	×	×
	高放射性廃液を 内蔵する系統及 び機器を設 置するセル	高放射性廃液貯蔵セル	×	×	×	×
		中間貯蔵セル	×	×	×	×
		分配器セル	×	×	×	×
	槽類換気系統及 び機器	槽類換気系統	×	×	×	×
		洗浄塔	×	×	×	×
		除湿器	×	×	×	×
		電気加熱器	×	×	×	×
		フィルタ	×	×	×	×
		よう素フィルタ	×	×	×	×
冷却器		×	×	×	×	
排風機		×	×	×	×	
設備・系統						

第2-1 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における竜巻防護対象施設 (2/3)

系統等	閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設		①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当する)		
	設備・系統	機能				○：はい	×：いいえ	—：該当しない
高放射性廃液を閉じ込める機能	セル換気系統及び機器	セル換気系統	○	○	—	○	○	
		セル換気系フィルタ	×	○	—	○	○	
		セル換気系排風機	×	○	—	○	○	
	電気・計装制御等	スチームジェット	×	×	×	×	×	×
		漏えい検知装置	×	×	×	×	×	×
		トランスミッタラック	×	×	×	×	×	×
		主制御盤	×	×	×	×	×	×
	崩壊熱除去機能	設備・系統去	高圧受電盤 (第6変電所)	×	×	×	×	×
			低圧配電盤 (第6変電所)	×	×	×	×	×
			動力分電盤	×	×	×	×	×
崩壊熱除去機能	設備・系統去	一次系冷却水系統	×	×	×	×	×	
		熱交換器	×	×	×	×	×	
		一次系の送水ポンプ	×	×	×	×	×	
		一次系の予備循環ポンプ	×	×	×	×	×	
		ガンマポット	×	×	×	×	×	
		二次系冷却水系統	○	—	—	○	○	
		二次系の送水ポンプ	○	—	—	○	○	

第2-1 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) における竜巻防護対象施設 (3/3)

系統等		閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当する)
崩壊熱 除去機 能	設備・系統去	冷却塔	○	—	—	○
		浄水ポンプ	○	—	—	○
		浄水槽	○	—	—	○
電気・計装制御等		主制御盤	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		高圧受電盤 (第6変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		低圧配電盤 (第6変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		動力分電盤	×	×	× <sup>*1</sup>	×
事故対処設備	緊急放出系	緊急放出系統	○	○	×	○
		水封槽	×	×	×	×
		緊急放出系フィルタ	×	○	×	○

※1 近傍の建家開口部 (窓等) は閉止措置を実施する。

第 2-2 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における 竜巻防護対象施設 (1/5)

系統等		閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当)
高放射性廃液を閉じ込める機能 設備・系統	高放射性廃液を閉じ込める機能	高放射性廃液を内蔵する系統	×	×	×	×
		受入槽	×	×	×	×
		回収液槽	×	×	×	×
		水封槽	×	×	×	×
		濃縮器	×	×	×	×
		濃縮液槽	×	×	×	×
		濃縮液供給槽	×	×	×	×
		気液分離器	×	×	×	×
		溶融炉	×	×	×	×
		ポンプ	×	×	×	×
		ドリフトトレイ (固化セル)	×	×	×	×
		固化セル	×	×	×	×
		A 台車	×	×	×	×
		槽類換気系統及び機器	×	○	×	×
冷却器	×	×	×	×		

○：はい ×：いいえ —：該当し



第 2-2 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における 竜巻防護対象施設 (2/5)

系統等	閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当)	
					○：はい	×：いいえ —：該当し
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能 設備・系統	槽類換気系統及 び機器	凝縮器	×	×	×	×
		デミスタ	×	×	×	×
		スクラップバ	×	×	×	×
		ベンチュリスクラップバ	×	×	×	×
		吸収塔	×	×	×	×
		洗浄塔	×	×	×	×
		加熱器	×	×	×	×
		ルテニウム吸着塔	×	×	×	×
		よう素吸着塔	×	×	×	×
		フィルタ	×	○	×	○
		排風機	×	○	×	○
		セル換気系統	○	○	—	○
		フィルタ	×	×	×*1	○
		排風機	×	○	×	○
第二付属排気筒	○	×	×	○		

第2-2 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発施設における竜巻防護対象施設 (3/5)

系統等		閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当)	
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能	設備・系統	セル冷却系統	×	×	×	×	
		冷却水系統	×	×	×	×	
		インセルクーラー	×	×	×	×	
		冷凍機	×	×	×	×	
		冷却器	×	×	×	×	
		ポンプ	×	×	×	×	
		膨張水槽	×	×	×	×	
	電気・計装制御等	スチームジェット		×	×	×	×
		セル内ドリフトレベル液面上限警報		×	×	×	×
		トランスミッタラック		×	×	×	×
電気・計装制御等	工程制御盤		×	×	×	×	
	工程監視盤(1)～(3)		×	×	×	×	
	変換器盤		×	×	×	×	
	計装設備分電盤		×	×	×	×	
	プロセス用動力分電盤		×	×	×	×	
電気・計装制御等	電磁弁分電盤		×	×	×	×	

○：はい ×：いいえ —：該当し

第2-2 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における 竜巻防護対象施設 (4/5)

系統等		閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当)	
						○：はい	×：いいえ
高放射 性廃液を閉じ込める 機能	電気・計装制御等	高圧受電盤 (第11変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×	×
		低圧動力配電盤 (第11変電所)	×	×	×	×	×
		無停電源装置	×	×	×	×	×
		低圧照明配電盤 (第11変電所)	×	×	×	×	×
		直流電源装置 (第11変電所)	×	×	×	×	×
		ガラス固化体取扱設備操作盤	×	×	×	×	×
		重量計制御盤	×	×	×	×	×
		流加ノズル加熱停止回路	×	×	×	×	×
		A台車の定位置操作装置	×	×	×	×	×
		A台車の重量上限操作装置	×	×	×	×	×
		換気用動力分電盤	×	×	×	×	×
		純水貯槽	×	×	×	×	×
		ポンプ (純水設備)	×	×	×	×	×
		崩壊熱 除去能	設備・系統	冷却水系統	○	—	—
冷却器	×			×	×	×	
ポンプ	○			—	—	○	
冷却塔	○			—	—	○	
膨張水槽	×			×	×	×	

第2-2 核燃料サイクル工学研究所 再処理施設 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟における竜巻防護対象施設 (5/5)

系統等		閉じ込め機能 及び崩壊熱除去機能を有する施設	①屋外施設	②屋内施設で外気と 繋がっている	③外設施設の防護機能 に期待できない	評価対象施設 (①～③に該当)
系統等	崩壊熱 除去能	高圧受電盤 (第 11 変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		低圧動力配電盤 (第 11 変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		無停電源装置	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		低圧照明配電盤 (第 11 変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		直流電源装置 (第 11 変電所)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		プロセス用動力分電盤	×	×	×	×
		工程制御盤	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		操作盤	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		現場制御盤	×	×	×	×
		電磁弁分電盤 (2)	×	×	×	×
		工程監視盤 (1) ～ (3)	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		計装設備分電盤	×	×	×	×
		プロセス用動力分電盤	×	×	× <sup>*1</sup>	×
		事故対処設備	固化セル換気系 排風機 フィルタ	固化セル換気系統	×	○
排風機	×			○	×	○
フィルタ	×			○	×	○

※1 近傍の建家開口部 (窓等) は閉止措置を実施する。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟  
に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出について

1. 抽出方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の竜巻防護施設の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能に波及的影響を及ぼし得る施設を抽出する。

なお、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟は、波及的影響（機械的影響及び機能的影響）を受けた際でも閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を事故対処設備による代替措置で維持する方針であり、機能的影響の観点から波及的影響を及ぼし得る施設の抽出は行わない。

再処理施設のうち、高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒に波及的影響（機械的影響）を及ぼし得る施設としては、竜巻により倒壊して、竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設の機能を喪失させる可能性がある施設を抽出する。

図 1-1 に竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図を示す。

2. 抽出結果

機械的影響の観点から、再処理施設の建家・構築物のうち、「倒壊により竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性のある施設」を確認した結果を表 2-1 に示す

確認の結果、倒壊により竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設を機能喪失させる可能性のある施設として、主排気筒、分離精製工場（MP）、リサイクル機器試験施設（RETF）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟及びクリプトン回収技術開発施設（Kr）を抽出した。

上記以外の建家・構築物については、「建家・構築物の高さ  $H <$  竜巻防護施設又は竜巻防護施設を内包する施設までの水平距離  $L$ 」であることから評価対象としない。

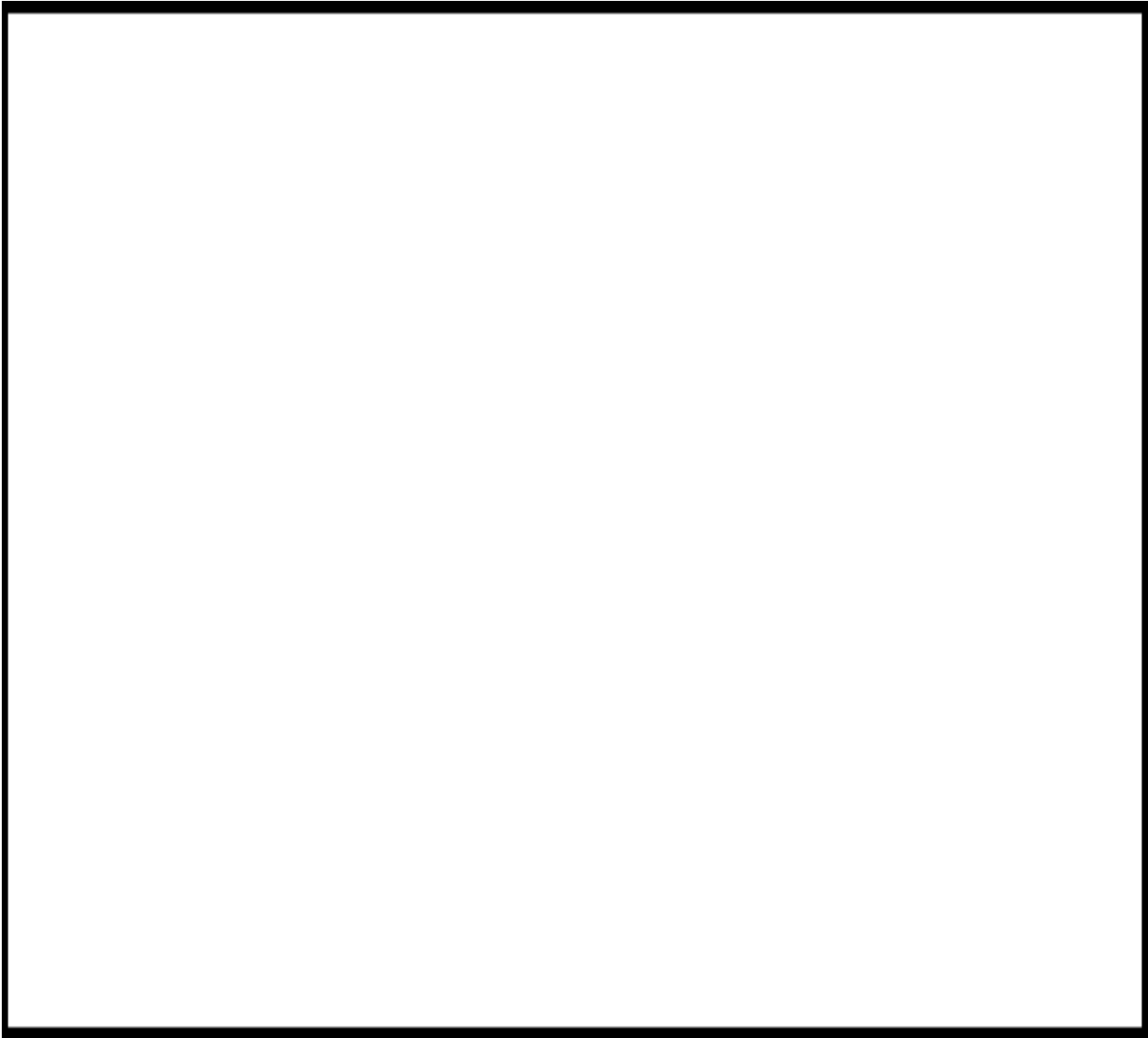


図 1-1 竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に波及的影響を及ぼし得る施設の配置図

表 2-1 竜巻防護施設及び竜巻防護施設を内包する施設に波及的影響を及ぼし得る施設の抽出

建家・構築物	建家・構築物の 高さ H	竜巻防護施設又は竜巻防護施設を 内包する施設までの水平距離 L	波及影響を及ぼす施設 (H>L)
主排気筒	約 90 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第二付属排気筒 ：約 20 m</li> <li>・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 約 10 m</li> <li>・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 20 m</li> </ul>	○
分離精製工場 (MP)		高放射性廃液貯蔵場 (HAW) に隣接	○
プルトニウム 転換技術開発施設 (PCDF)		高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 約 30 m	×
リサイクル機器試験施設 (RETF)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・第二付属排気筒 ：約 15 m</li> <li>・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 約 20 m</li> <li>・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 20 m</li> </ul>	○
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟		ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟に隣接	○
クリプトン回収技術開発施設 (Kr)	約 14 m	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 10 m	○
クリプトン回収技術開発施設 (Kr) 水素ガス貯槽	約 16 m	・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 20 m	×

○ : 該当する。 × : 該当しない。

## 評価対象施設の設計荷重について

### 1. 概要

廃止措置計画用設計竜巻に対し, 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の竜巻影響評価の対象施設 (以下「評価対象施設」という。) について, 構造健全性が維持されることの確認を行った設計荷重を整理する。

評価対象施設は, 以下に示す分類ごとに整理する。

#### <評価対象施設>

- ①屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設を含む。)
- ②屋内施設で外気と繋がっている施設
- ③外殻となる施設による防護機能が期待できない施設
- ④竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

### 2. 設計荷重

評価対象施設の竜巻影響評価に用いた評価荷重について表 2-1 に整理する。



表 2-1 評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/2)

	竜巻設計荷重				複合荷重の設定 <sup>**2</sup>			その他の評価荷重
	設置場所	$W_w, W_M, W_P$ の選定			$W_{T1}$	$W_{T2}$	$W_w + 0.5W_P + W_M$	
		$W_w^{**1}$	$W_M^{**1}$	$W_P^{**1}$				
①屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設を含む。)								
セル換気系のダクト (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋外	○	× <sup>**3</sup>	○	○	○	自重・運転荷重	
緊急放出系のダクト (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋外	○	× <sup>**3</sup>	○	○	○	自重・運転荷重	
二次冷却水系統 (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋外	○	× <sup>**3</sup>	○ <sup>**4</sup>	○ <sup>**4</sup>	○	自重・運転荷重	
セル換気系統のダクト (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟)	屋外	○	× <sup>**3</sup>	○	○	—	自重・運転荷重	
第二付属排気筒	屋外	○	○	○	○	○	無し	
冷却水系統 (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟)	屋外	○	× <sup>**3</sup>	○ <sup>**4</sup>	○ <sup>**4</sup>	○	自重・運転荷重	
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	屋外	○	○	○	○	○	無し	
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟	屋外	○	○	○	○	○	無し	
②屋内の施設で外気と繋がっている施設								
セル換気系のダクト・フィルタ・排風機 (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋内	×	×	○	○	—	自重・運転荷重	
緊急放出系のダクト・フィルタ (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋内	×	×	○	○	—	自重・運転荷重	
槽類換気系の配管・フィルタ・排風機 (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟)	屋内	×	×	○	○	—	自重・運転荷重	
セル換気系のダクト・フィルタ・排風機 (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟)	屋内	×	×	○	○	—	自重・運転荷重	
固化セル換気系のダクト・フィルタ・排風機 (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟)	屋内	×	×	○	○	—	自重・運転荷重	

表 2-1 評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/2)

	竜巻設計荷重						複合荷重の設定 <sup>※2</sup>			その他の評価荷重
	$W_w, W_M, W_P$ の選定						$W_{T1}$	$W_{T2}$		
	設置場所	$W_w^{※1}$	$W_M^{※1}$	$W_P^{※1}$	$W_w + 0.5 W_P + W_M$	$W_P$				
③外殻となる施設による防護機能が期待できない施設 該当なし										
④竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設 主排気筒	屋外	○	○	○	○	○	○	○		無し
分離精製工場 (MP)	屋外	○	○	○	○	○	○	○		無し
リサイクル機器試験施設 (RETF)	屋外	○	○	○	○	○	○	○		無し
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟	屋外	○	○	○	○	○	○	○		無し
クリプトン回収技術開発施設 (Kr)	屋外	○	○	○	○	○	○	○		無し

※1 対象とする荷重の有無を示す (○：考慮する。×：考慮しない)。

※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施する (○：実施するケース。一：該当しないケース)。

※3 建家屋上に設置された機器は、設計飛来物により損傷 (貫通) するおそれがあるため、安全上支障のない期間に修復する対応や事故対処施設により安全機能を維持する対応を実施する。

※4 配管の健全性評価において考慮する。

## 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の 竜巻影響評価について

### 1. 評価方針

竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定，平成 30 年 11 月 28 日改定）」に準じて行う。

竜巻影響評価のフローを図 1-1 に示す。

### 2. 評価方法

#### 2.1 建家・構築物の評価

廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による荷重により，評価対象とした建家・構築物が倒壊しないことを確認する。

〈竜巻防護施設〉

- ・第二付属排気筒

〈竜巻防護施設を内包する建家〉

- ・高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

〈竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設〉

- ・主排気筒
- ・分離精製工場（MP）
- ・リサイクル機器試験施設（RETF）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟
- ・クリプトン回収技術開発施設（Kr）

第二付属排気筒（鋼構造）は，「容器構造設計指針・同解説」に準拠し，設計竜巻荷重の複合荷重（ $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ）に対する応力度を求め，許容応力度と比較する。アンカーボルトは，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」に準拠し，設計竜巻荷重の複合荷重（ $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ）に対する応力度を求め，許容応力度と比較する。

建家（鉄筋コンクリート構造）は，設計竜巻による荷重の複合荷重（ $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ）により各建家の各階層に生じる層せん断力を求め，保有水平耐力と比較する。

主排気筒（鉄筋コンクリート構造）は，「煙突構造設計指針」に準拠し，設計竜巻荷重の複合荷重（ $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ）に対し必要鉄筋量を求め，実施鉄筋量と比較する。

#### 2.2 各部材の評価

##### (1) 建家・構築物

外気と隔離されている部材の境界部に気圧差による圧力影響をうける建家（屋上スラブ及び側壁面）は、設計竜巻による気圧低下によって圧力荷重が発生するものとして評価する。建家の屋上スラブ及び側壁面は、保守的に閉じた系として評価する。

具体的には、風圧力による荷重及び気圧差による荷重による複合荷重と、対象となる屋上スラブ及び側壁面のうち、各々で最も薄い場所の耐荷重を比較することにより健全性を評価する。複合荷重は、建家・構築物のNS方向、EW方向のそれぞれ正負の4方向の風向を考慮し、組合せ荷重が最大となるものを採用する。

評価対象施設を以下に示す。

○高放射性廃液貯蔵場（HAW）



○ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟



## (2) 屋外の施設

### a. 設備・機器

屋外に設置されている設備・機器の構造健全性を評価する。具体的には、風圧力による荷重により、取付けボルトに発生する応力等が許容値以下であることを確認することにより、健全性を評価する。評価対象施設を以下に示す。

○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・二次系の送水ポンプ
- ・冷却塔
- ・浄水ポンプ
- ・浄水貯槽

○ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

- ・ポンプ
- ・冷却塔

### b. 配管及びダクト

屋外に設置されている配管及びダクトの構造健全性を評価する。具体的には、風圧力による荷重、気圧差による荷重等により、配管及びダクトに発生する応力等が許容値以下であることを確認することにより、健全性を評価する。評価対象施設を以下に示す。

○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・二次冷却水系統（浄水系統を含む。）の配管
- ・セル換気系のダクト
- ・緊急放出系のダクト

○ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

- ・冷却水系統 (浄水系統を含む。) の配管
- ・純水系統の配管
- ・セル換気系のダクト

(3) 屋内で外気と繋がっている施設

屋内の外気と繋がっている施設は、保守的に閉じた系として評価する。具体的には、最大気圧低下量による荷重により各部材に発生する応力等が許容値以下であることを確認することにより、健全性を評価する。フィルタ及び排風機の評価部材としては、最大気圧低下量による荷重を最も受けるケーシング部を評価する。評価対象施設を以下に示す。

○高放射性廃液貯蔵場 (HAW)

- ・セル換気系のダクト, フィルタ (ケーシング) 及び排風機 (ケーシング)
- ・緊急放出系のダクト及びフィルタ (ケーシング)

○ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

- ・槽類換気系の配管, フィルタ (ケーシング) 及び排風機 (ケーシング)
- ・セル換気系のダクト, フィルタ (ケーシング) 及び排風機 (ケーシング)
- ・固化セル換気系のダクト, フィルタ (ケーシング) 及び排風機 (ケーシング)

2.3 設計飛来物の衝突による局部破壊 (貫通又は裏面剥離) の評価

(1) 建家・構築物

建家・構築物の外殻となる屋上スラブ及び側面壁に対して設計飛来物の衝突による貫通又は裏面剥離の有無を評価する。具体的には、NE107-13 及び米国 NRC の基準類に算定式として記載されている修正 NDRC 式を用いて貫入深さ $x_c$ を、Degen の式により貫通限界厚さ $t_p$ を求めた。また、Chang の式により裏面剥離厚さを算定する。

なお、上記の簡易評価で貫通又は裏面剥離の発生が考えられる屋上スラブや側壁面については、3次元 FEM モデルを用いた衝突解析を行い、鉄筋に発生するひずみが許容限界を超えないこと、コンクリート要素の速度ベクトルから、裏面剥離が生じていないことを衝撃解析ソフトウェア ANSYS AUTODYN を用いて確認する。

評価対象施設を以下に示す。

○高放射性廃液貯蔵場 (HAW)



○ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟



## (2) 屋外の施設

屋外の施設に対して設計飛来物の衝突による貫通又は裏面剥離の有無を評価する。具体的には、タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式を用いて貫通限界厚さを算定する。評価対象施設を以下に示す。

### a. 設備・機器

#### ○高放射性廃液貯蔵場 (HAW)

- ・二次系の送水ポンプ
- ・冷却塔
- ・浄水ポンプ
- ・浄水貯槽

#### ○ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

- ・ポンプ
- ・冷却塔

### b. 配管及びダクト

#### ○高放射性廃液貯蔵場 (HAW)

- ・二次冷却水系統 (浄水系統を含む。) の配管
- ・セル換気系のダクト
- ・緊急放出系のダクト

#### ○ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

- ・冷却水系統 (浄水系統を含む。) の配管
- ・純水系統の配管
- ・セル換気系のダクト

## 3. 評価結果

### 3.1 建家・建造物の健全性評価

#### 〈竜巻防護施設〉

第二付属排気筒の筒身は、設計竜巻による複合荷重に対して健全性を維持できる。また、設計竜巻による複合荷重で生じる曲げモーメントより、廃止措置計画用設計地震動(以下「設計地震動」という。)による第二付属排気筒に生じる曲げモーメントの方が大きく(添付資料6-1-2-5-3「第二付属排気筒及び排気ダクト接続架台の地震応答計算書」参照)、設計地震動に対する耐震補強により、設計竜巻による複合荷重に対してもアンカーボルトの健全性を維持できる(別紙6-1-4-4-4-1「第二付属排気筒の構築物全体の健全性評価」参照)。

〈竜巻防護施設を内包する施設〉

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟は、設計竜巻による複合荷重により倒壊するおそれはない（別紙 6-1-4-4-4-3「建家全体及び各部材に対する竜巻影響評価」参照）。

〈竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設〉

主排気筒、分離精製工場（MP）、リサイクル機器試験施設（RETF）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟及びクリプトン回収技術開発施設（Kr）は、設計竜巻による複合荷重により倒壊するおそれはない（別紙 6-1-4-4-4-2「主排気筒の竜巻影響評価」、別紙 6-1-4-4-4-3「建家全体及び各部材に対する竜巻影響評価」参照）。

### 3.2 各部材の強度評価

#### (1) 建家・構築物

風圧力による荷重  $W_w$  および気圧差による荷重  $W_p$  の複合荷重 ( $W_{T1}$  又は  $W_{T2}$ ) に対して、外気と隔離されている部材の境界部に気圧差による圧力影響をうける高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ及び側壁面の健全性は維持できる（別紙 6-1-4-4-4-3「建家全体及び各部材に対する竜巻影響評価」参照）。

#### (2) 屋外の施設

##### a. 機器・設備

風圧力による荷重  $W_w$  に対して、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置された機器・設備の健全性は維持できる（別紙 6-1-4-4-4-4「屋外施設の竜巻影響評価」参照）。

##### b. 配管及びダクト

風圧力による荷重  $W_w$  および気圧差による荷重  $W_p$  の複合荷重 ( $W_{T1}$  又は  $W_{T2}$ ) に対して、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置された配管及びダクトの健全性は維持できる（別紙 6-1-4-4-4-5「屋外配管及びダクトの竜巻影響評価」参照）。

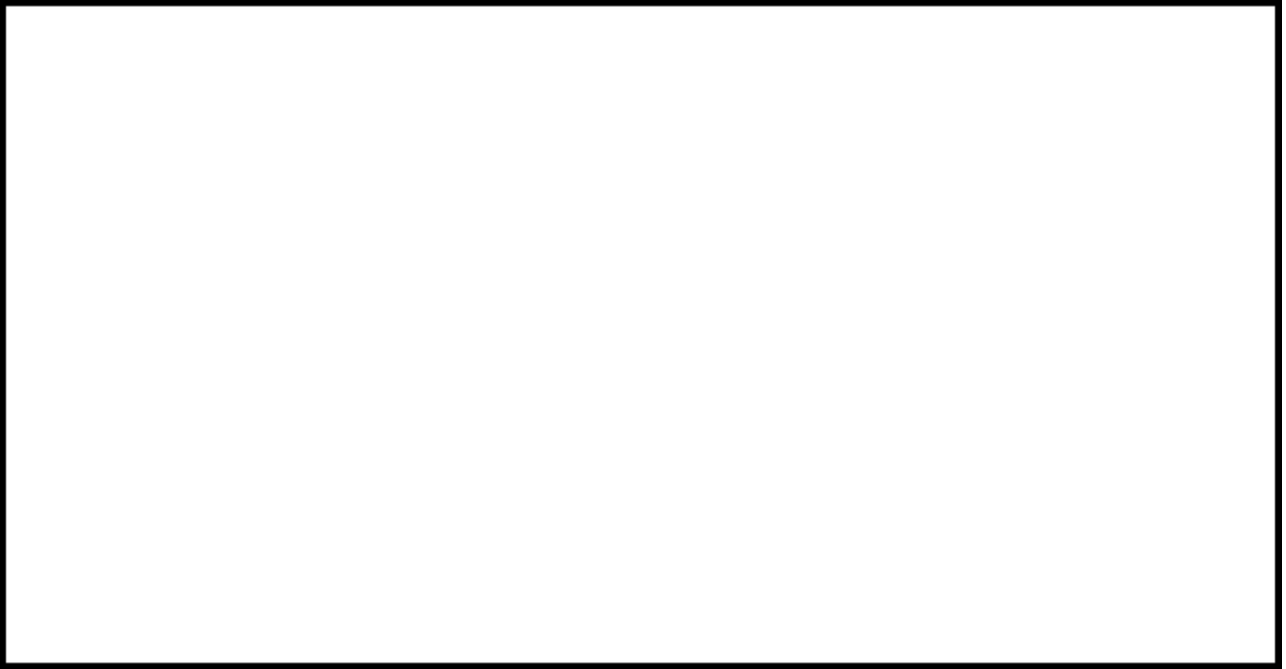
#### (3) 屋内で外気と繋がっている施設

外気と繋がっている高放射性廃液貯蔵場（HAW）のセル換気系のダクト、フィルタ（ケーシング）、排風機（ケーシング）及び緊急放出系のダクト、フィルタ（ケーシング）並びにガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の槽類換気系の配管、フィルタ（ケーシング）、排風機（ケーシング）、セル換気系のダクト、フィルタ（ケーシング）、排風機（ケーシング）及び固化セル換気系のダクト、フィルタ（ケーシング）、排風機（ケーシング）の健全性は維持できる（別紙 6-1-4-4-4-6「屋外配管及びダクトの竜巻影響評価」参

照)。

### 3.3 設計飛来物の衝突による局部破壊（貫通又は裏面剥離）の評価

#### (1) 建家・構築物（別紙 6-1-4-4-4-7 「設計飛来物に対する建家外殻の健全性評価」参照）



詳細解析には、JSMES NX6-2019「発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン」に詳細な解析手法として示されている衝突解析ソフトである ANSYS AUTODYN（以下「AUTODYN」という。）を用いた。その結果、何れの場合においても、設計飛来物の衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋に破断は生じず、コンクリートの裏面剥離も生じないことを確認した。

#### (2) 屋外の施設

##### a. 機器・設備

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置された機器・設備は、設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある（別紙 6-1-4-4-4-4 「屋外施設の竜巻影響評価」参照）。

##### b. 配管及びダクト

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上に設置された配管及びダクトは、設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある（別紙 6-1-4-4-4-5 「屋外の配管及びダクトの竜巻影響評価」参照）。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち、建家屋上に設置されている配管及びダクトについては、設計飛来物の衝突に耐えるようにすることが困難かつ



合理的でない。設計飛来物によって損傷を受けた際には，修復による対応や代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備により必要な安全機能を維持できるようにする。

以上

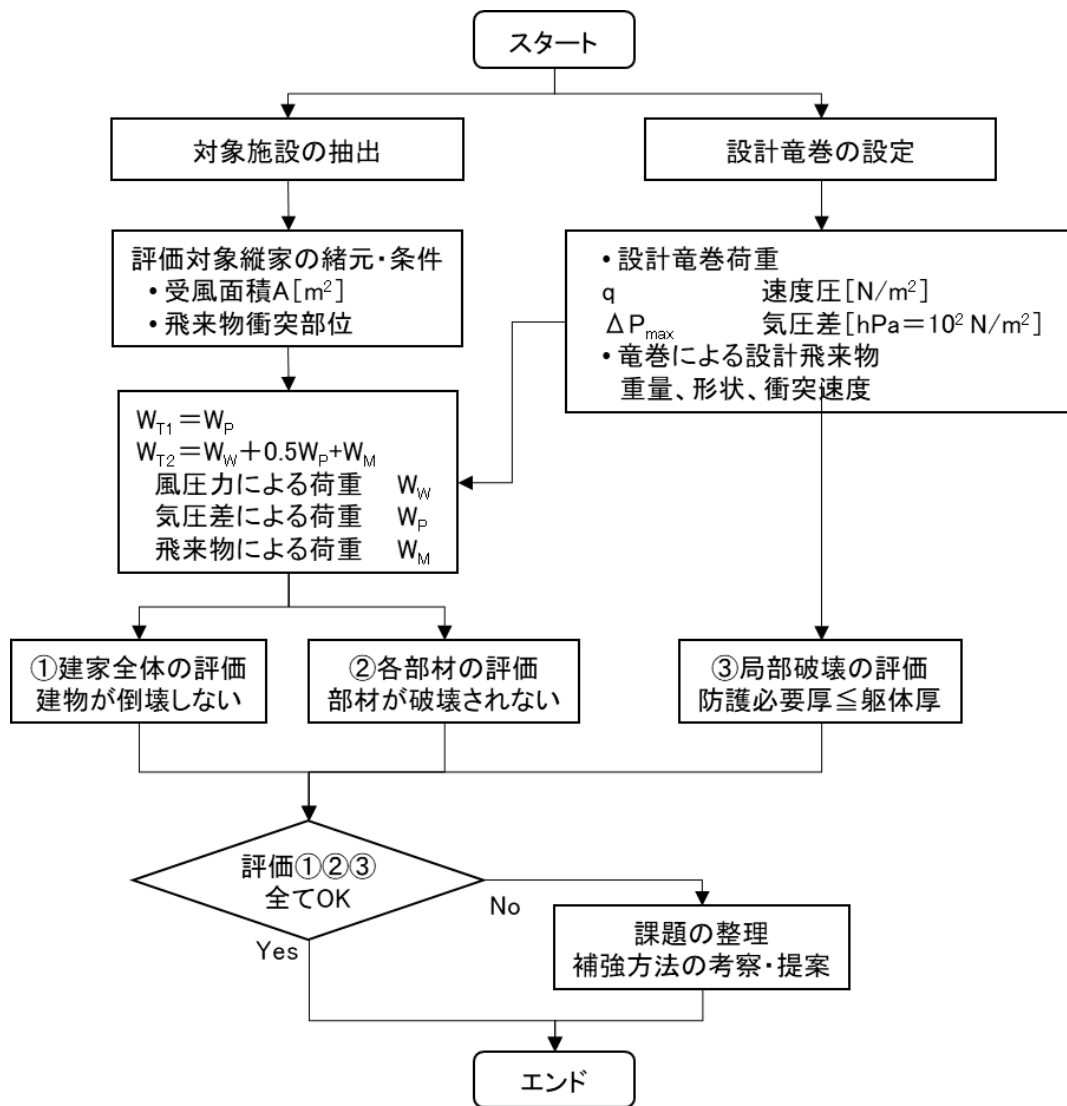


図 1-1 竜巻影響評価の基本フロー

## 第二付属排気筒の構築物全体の健全性評価

## 1. 評価方針

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻影響評価ガイド」という。）に従い、竜巻防護施設である第二付属排気筒の健全性について評価する。

## 2. 設計荷重の設定

## 2.1 設計竜巻の特性値

別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定に関する説明書」で定めた廃措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）の特性値を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線 風速半径 $R_m$ (m)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

## 2.2 風圧力

## (1) 風圧力算定式

「竜巻影響評価ガイド」より、設計竜巻による風圧力を次式にて算定した。風力係数については、「建築基準法施行令 87 条関連告示（平 12 建告第 1454 号）」を準用した。

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

ここで、

$P_D$  : 設計竜巻による風圧力 (N)

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

$\rho$  : 空気密度 1.226 ( $kg/m^3$ )

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

$G$  : ガスト影響係数。「竜巻影響評価ガイド」より  $G=1.0$  とした。

$C$  : 風力係数。「建築基準法施行令 87 条関連告示（平 12 建告第 1454 号）」より、筒身部については煙突その他の円筒形の構築物の風力係数を用いた。ただし、高さ方向分布係数  $k_z$  は、風速の分布を高さによらず一定としているので 1.0 とした。

$A$  : 受圧面積 ( $m^2$ )

## (2) 風圧力算定方法

第二付属排気筒に作用する風圧力は、図 2.2-1 に示すように高さ 5 m 毎に集中荷重として算定した。

## 2.3 気圧差圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる第二付属排気筒の内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )に基づき設定した。気圧差による圧力が排気筒に内圧として作用したと仮定すると、第二付属排気筒に発生する引張フープ応力として評価できる。内圧による第二付属排気筒の平均フープ応力度は、「容器構造設計指針・同解説」の「5.4 鋼製サイロ 解説文中 (5.4.1) 式」を準用して次式で算定した。

$$\sigma_p = \frac{P_p D}{2t}$$

ここで、

- $\sigma_p$  : 内圧 (気圧差による圧力) による平均引張フープ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $P_p$  : 単位面積あたりの圧力 (N/mm<sup>2</sup>)。 (最大気圧低下量  $\Delta P_{max}$  とする。)
- $D$  : 円筒壁の外径 (mm)
- $t$  : 円筒壁の板厚 (mm)

## 2.4 飛来物の衝撃荷重

### (1) 設計飛来物の諸元

別添 6-1-4-3 「設計飛来物の設定に関する説明書」で示した鋼製材とした。設計飛来物の諸元等を表 2.4-1 に示す。

なお、設計飛来物の排気筒への衝突高さは、飛来物の飛散高さに等しいものとして評価を行う。鋼製材の飛散高さは、改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応した公表資料が見当たらないため、改正前の「竜巻影響評価ガイド」に記載されていた飛散高さ 47 m とする。

表 2.4-1 設計飛来物の諸元 (設計竜巻の最大速度  $V_b=100$  m/s)

	鋼製材
サイズ (長さ m×幅 m×奥行き m)	4.2 × 0.3 × 0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	51 (57)
最大水平速度 (m/s)	34 (38)
飛散高さ (m)	- * (47)

( ) 内は、改訂前の「竜巻影響評価ガイド」による。

\* 改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応する飛散高さについては公表されたものがない。

## (2) 設計飛来物の衝撃荷重

飛散物が水平方向に衝突する場合の衝撃力は、運動量と力積の関係から求める。荷重と時間の関係を SIN 曲線と仮定して、積分計算により力積を求め、次式にて算定した。

$$mv = F_M \cdot \frac{\Delta T}{\pi/2}, \quad \Delta T = 1/4f = T/4 \text{ より}$$

$$F_M = 2\pi mV/T$$

ここで、

$F_M$  : 設計飛来物による衝撃力 (N)

$m$  : 設計飛来物の質量 (kg)

$v$  : 設計飛来物の速度 (m/s)

$f$  : 各排気筒の 1 次固有振動数 (1/s (=Hz))

$T$  : 第二付属排気筒の周期 (0.985 s)

## 2.5 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重は、「竜巻影響評価ガイド」により、設計竜巻による風圧力による荷重 ( $W_w$ )、気圧差による荷重 ( $W_p$ ) 及び設計飛散物による衝突荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重 ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) とし、次式にて算定した。

$$W_{T1} = W_p$$

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

## 2.6 固定荷重の設定

設計竜巻荷重に組み合わせる第二付属排気筒の自重は、図 2.2-1 に示す 5 m ピッチで筒身部重量を算定した。

なお、鋼の単位体積重量  $\gamma_s$  は、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」により 77 kN/m<sup>3</sup> とした。

## 3. 第二付属排気筒の竜巻影響評価

### 3.1 評価に用いる諸元

第二付属排気筒の筒身厚さ等の構造について図 3.1-1 に示す。

#### (1) 使用材料

筒身 : 鋼材 SMA400 [SMA41]

[ ] 内は旧規格名称を示す。

## (2) 材料の許容応力度

第二付属排気筒が「倒壊しない」ということを判断基準とすることから、鋼材の許容応力度は建築基準法施行令及び関連告示による材料強度とした。なお、筒身の許容応力度は、「容器構造設計指針・同解説」によって求めた地震時許容応力度とした。鋼材の許容応力度を表 3.1-1 に示す。

なお、鋼材については「建築基準法施行令第 90 条関連告示（平 12 建告第 2464 号第 3）」により、同表に示す基準強度  $F$  の値を 1.1 倍した数値とした。

表 3.1-1 鋼材の許容応力度

	板厚 $t$ (mm)	基準強度 $F$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
SMA400 [SMA41]	$t \leq 40$	235	建築基準法施行令第 96 条及び関連告示による材料強度。筒身については、容器構造設計指針・同解説」によって求めた地震時許容応力度とする。

[ ]内は旧規格を示す。

## 3.2 荷重の算定

### (1) 固定荷重（自重）

第二付属排気筒の固定荷重（軸力）算定結果を表 3.2-1 に示す。なお、図 3.1-1 の第二付属排気筒の図面寸法から計算値に対しては、「再処理施設に関わる設計と工事の方法」添付資料に記載している総重量 2443 kN (191.6 tf) となるよう補正している。

### (2) 設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_w$ )

設計竜巻の最大風速  $V_D=100$  m/s のときの風圧力の受圧面積算定結果を表 3.2-2 に、風圧力による荷重 ( $W_w$ ) の算定結果を表 3.2-3 に示す。

### (3) 設計竜巻による気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による応力は、筒身が負担するフープ応力（円周方向応力）として評価した。フープ応力度 ( $\sigma_p$ ) 及び応力度の検討結果を表 3.2-4 に示す。

フープ応力度は許容引張応力度  $f_t$  に対して無視できる程小さく、風圧力等による応力度と直交する応力度であるため、設計竜巻荷重による応力度の組合せを省略した。

### (4) 設計飛来物の衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物に対する衝撃荷重の算定結果を表 3.2-5 に示す。

### (5) 設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重の組合せ（複合荷重  $W_{T2}$ ）を表 3.2-6 に示す。なお、複合荷重  $W_{T1}$  についても設計竜巻による気圧差による荷重（ $W_P$ ）と同様に評価を省略した。

## 3.3 応力度評価

### (1) 筒身の評価方法

応力度検討は「容器構造設計指針・同解説」（以下「同指針」という。）の「3.7 金属製円筒壁の座屈に対する設計」に準拠して実施する。応力度検定は、「同指針」の「3.7.1 応力検定」に準拠して次式により実施した。

$$\frac{\sigma_c}{cf_{cr}} + \frac{\sigma_b}{bf_{cr}} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\tau}{sf_{cr}} \leq 1$$

ここで、

$\sigma_c$	: 平均圧縮応力度 (=N/A)
$\sigma_b$	: 圧縮側曲げ応力度 (=M/Z)
$\tau$	: せん断応力度 (=2Q/A)
$cf_{cr}$	: 許容圧縮応力度
$bf_{cr}$	: 許容曲げ応力度
$sf_{br}$	: 許容曲げ応力度
N	: 圧縮力
M	: 曲げモーメント
Q	: せん断力
A	: 断面積
Z	: 断面係数

許容応力度は「同指針」の「3.7.4 地震時応力に対する許容応力度」のうち内圧が存在しない場合とした。以下に許容応力度算定式を示す。

#### a) 許容圧縮応力度 ( $cf_{cr}$ )

$$cf_{cr} = \overline{cf_{cr}}$$

$\overline{cf_{cr}}$  は次式による。

$$\cdot \frac{r}{t} \leq 0.377 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.72} \text{ であれば,}$$

$$\overline{cf_{cr}} = F$$

$$\cdot 0.377 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \leq 2.567 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.72} \text{ であれば,}$$

$$\overline{cf_{cr}} = 0.6F + 0.4F \left( \frac{2.567 - \frac{r}{t} \left( \frac{F}{E} \right)^{0.72}}{2.190} \right)$$

•  $2.567 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t}$ であれば,

$$\overline{cf_{cr}} = 0.6E \frac{t}{r} \left\{ 1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{1}{16} \left( \frac{r}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \right\}$$

ここで,

F : 鋼材の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>) [1.1F と読み替える]

E : ヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

r : 筒身の内半径 (mm)

t : 筒身の板厚 (mm)

b) 許容曲げ応力度 ( $bf_{cr}$ )

$$bf_{cr} = \overline{bf_{cr}}$$

$\overline{bf_{cr}}$ は次式による。

•  $\frac{r}{t} \leq 0.274 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.78}$ であれば,

$$\overline{bf_{cr}} = F$$

•  $0.274 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t} \leq 2.106 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.78}$ であれば,

$$\overline{bf_{cr}} = 0.6F + 0.4F \left( \frac{2.106 - \frac{r}{t} \left( \frac{F}{E} \right)^{0.78}}{1.832} \right)$$

•  $2.567 \left( \frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t}$ であれば,

$$\overline{bf_{cr}} = 0.6E \frac{t}{r} \left\{ 1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{1}{16} \left( \frac{r}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \right\}$$

b) 許容せん断応力度 ( $sf_{cr}$ )

$$sf_{cr} = \overline{sf_{cr}}$$

$\overline{sf_{cr}}$ は次式による。



$$\bullet \frac{r}{t} \leq \frac{0.204 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.81}}{\left(\frac{1}{r}\right)^{0.4}} \text{であれば,}$$

$$\frac{F}{sf_{cr}} = \frac{F}{\sqrt{3}}$$

$$\bullet \frac{0.204 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.81}}{\left(\frac{1}{r}\right)^{0.4}} \leq \frac{r}{t} \leq \frac{1.446 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.81}}{\left(\frac{1}{r}\right)^{0.4}} \text{であれば,}$$

$$\frac{F}{sf_{cr}} = \frac{0.6F}{\sqrt{3}} + \frac{0.4F}{\sqrt{3}} \left( \frac{1.446 - \frac{r}{t} \left(\frac{1}{r}\right)^{0.4} \left(\frac{F}{E}\right)^{0.78}}{1.242} \right)$$

$$\bullet \frac{1.446 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.81}}{\left(\frac{1}{r}\right)^{0.4}} \leq \frac{r}{t} \text{であれば,}$$

$$\frac{F}{sf_{cr}} = 0.8 \frac{4.83E}{\left(\frac{1}{r} \left(\frac{r}{t}\right)^{1/2}\right)^2} \frac{t}{r} \left\{ 1 + 0.0239 \left\{ \frac{1}{r} \left(\frac{r}{t}\right)^{1/2} \right\}^3 \right\}^{1/2}$$

ここで,

l : 座屈間長さ (mm)

## (2) アンカーボルトの評価方法

設計竜巻荷重により発生する第二付属排気筒の曲げモーメントと廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）により発生する第二付属排気筒の計地震動による荷重により発生する第二付属排気筒の曲げモーメントを比較し、設計竜巻荷重により発生する曲げモーメントが小さいことを確認する。

## 3.4 評価結果

### (1) 筒身の応力度

応力度の評価結果を表 3.4-1 に示す。第二付属排気筒の筒身の応力度比は、許容値を下回っており健全性を維持できる。

### (2) アンカーボルトの応力度

第二付属排気筒は、設計地震動による荷重に対して耐え得るように耐震補強を行う。設計地震動による荷重により発生する第二付属排気筒の曲げモーメント約  $118 \times 10^3$  kNm（添付資料 6-1-2-5-3 「第二付属排気筒及び排気ダクト接続架台の地震応答計算書」参照）は、設計竜巻による荷重により発生する曲げモーメント約  $93 \times 10^3$  kNm より大きく、設計

地震動に耐え得るよう耐震補強を行うことから、設計竜巻荷重に対しても健全性を維持できる。

以上

表 3.2-1 固定荷重（自重）による軸力（圧縮力）の算定結果

高さ $H_i$ (m)	内径 $D_i$ (mm)	外径 $D$ (mm)	板厚 $t$ (mm)	各部重量 $W_i$ (kN)	軸力 $N$ (kN)
90	2800	2818	9	24	24
85	3000	3018	9	52	76
80	3200	3220	10	61	137
75	3400	3422	11	71	208
70	3600	3624	12	82	290
65	3800	3826	13	94	384
60	4000	4028	14	106	490
55	4200	4230	15	115	605
50	4400	4430	15	124	729
45	4600	4632	16	134	863
40	4800	4832	16	144	1007
35	5000	5034	17	155	1162
30	5200	5234	17	165	1327
25	5400	5436	18	176	1503
20	5600	5636	18	188	1691
15	5800	5838	19	199	1890
10	6000	6038	19	213	2103
5	6200	6240	20	225	2328
0	6400	6440	20	116	2444
				総重量：	2444

表 3.2-2 風圧力受圧面積の算定結果

高さ $H_i$ (m)	外径 $D$ (m)	負担高さ $h_i$ (m)	高さ		外径		受圧面積 $A_i$ ( $m^2$ )
			上端 (m)	下端 (m)	上端 (m)	下端 (m)	
90	2.818	2.5	90.0	87.5	2.818	2.919	7.2
85	3.018	5.0	87.5	82.5	2.919	3.120	15.1
80	3.220	5.0	82.5	77.5	3.120	3.321	16.2
75	3.422	5.0	77.5	72.5	3.321	3.522	17.2
70	3.624	5.0	72.5	67.5	3.522	3.724	18.2
65	3.826	5.0	67.5	62.5	3.724	3.925	19.2
60	4.028	5.0	62.5	57.5	3.925	4.126	20.2
55	4.230	5.0	57.5	52.5	4.126	4.327	21.2
50	4.430	5.0	52.5	47.5	4.327	4.528	22.2
45	4.632	5.0	47.5	42.5	4.528	4.730	23.2
40	4.832	5.0	42.5	37.5	4.730	4.931	24.2
35	5.034	5.0	37.5	32.5	4.931	5.132	25.2
30	5.234	5.0	32.5	27.5	5.132	5.333	26.2
25	5.436	5.0	27.5	22.5	5.333	5.535	27.2
20	5.636	5.0	22.5	17.5	5.535	5.736	28.2
15	5.838	5.0	17.5	12.5	5.736	5.937	29.2
10	6.038	5.0	12.5	7.5	5.937	6.138	30.2
5	6.240	5.0	7.5	2.5	6.138	6.339	31.2
0	6.440	2.5	2.5	0.0	6.339	6.440	16.0

表 3.2-3 風圧力による荷重 ( $W_w$ ) の算定結果

高さ $H_i$ (m)	外径 $D$ (m)	速度圧 $q$ (kN/m <sup>2</sup> )	負担高さ $h_i$ (m)	受圧面積 $A_i$ (m <sup>2</sup> )	風圧力 $P$ (kN)	せん断力 $Q$ (kN)	モーメント $M$ (kN・m)
90	2.818	6.13	2.5	7.2	40	40	0
85	3.018	6.13	5.0	15.1	84	124	200
80	3.220	6.13	5.0	16.2	90	214	820
75	3.422	6.13	5.0	17.2	95	309	1890
70	3.624	6.13	5.0	18.2	101	410	3435
65	3.826	6.13	5.0	19.2	106	516	5485
60	4.028	6.13	5.0	20.2	112	628	8065
55	4.230	6.13	5.0	21.2	117	745	11205
50	4.430	6.13	5.0	22.2	123	868	14930
45	4.632	6.13	5.0	23.2	128	996	19270
40	4.832	6.13	5.0	24.2	134	1130	24250
35	5.034	6.13	5.0	25.2	140	1270	29900
30	5.234	6.13	5.0	26.2	145	1415	36250
25	5.436	6.13	5.0	27.2	151	1566	43325
20	5.636	6.13	5.0	28.2	156	1722	51155
15	5.838	6.13	5.0	29.2	162	1884	59765
10	6.038	6.13	5.0	30.2	167	2051	69185
5	6.240	6.13	5.0	31.2	173	2224	79440
0	6.440	6.13	2.5	16.0	89	2313	90560

表 3.2-4 フープ応力度の算定及び応力度の評価結果

高さ H <sub>i</sub> (m)	設計断面		P <sub>p</sub> (ΔP <sub>max</sub> ) (N/m <sup>2</sup> )	フープ 応力度 σ <sub>p</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容引張応力 f <sub>t</sub> (=1.1F) (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>p</sub> /f <sub>t</sub> ≤ 1
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
90	2818	9	8900	1.4	258	0.006
85	3018	9	8900	1.5	258	0.006
80	3220	10	8900	1.5	258	0.006
75	3422	11	8900	1.4	258	0.006
70	3624	12	8900	1.4	258	0.006
65	3826	13	8900	1.4	258	0.006
60	4028	14	8900	1.3	258	0.006
55	4230	15	8900	1.3	258	0.006
50	4430	15	8900	1.4	258	0.006
45	4632	16	8900	1.3	258	0.006
40	4832	16	8900	1.4	258	0.006
35	5034	17	8900	1.4	258	0.006
30	5234	17	8900	1.4	258	0.006
25	5436	18	8900	1.4	258	0.006
20	5636	18	8900	1.4	258	0.006
15	5838	19	8900	1.4	258	0.006
10	6038	19	8900	1.5	258	0.006
5	6240	20	8900	1.4	258	0.006
0	6440	20	8900	1.5	258	0.006

表 3.2-5 設計飛来物に対する衝撃荷重の算定結果

高さ $H_i$ (m)	外径 $D$ (m)	板厚 $t$ (m)	衝撃荷重 $F_M$ (kN)	せん断力 $Q$ (kN)	モーメント $M$ (kN·m)
47	4.549	0.016	44	44	0
45	4.632	0.016	—	44	88
40	4.832	0.016	—	44	308
35	5.034	0.017	—	44	528
30	5.234	0.017	—	44	748
25	5.436	0.018	—	44	968
20	5.636	0.018	—	44	1188
15	5.838	0.019	—	44	1408
10	6.038	0.019	—	44	1628
5	6.240	0.020	—	44	1848
0	6.440	0.020	—	44	2068

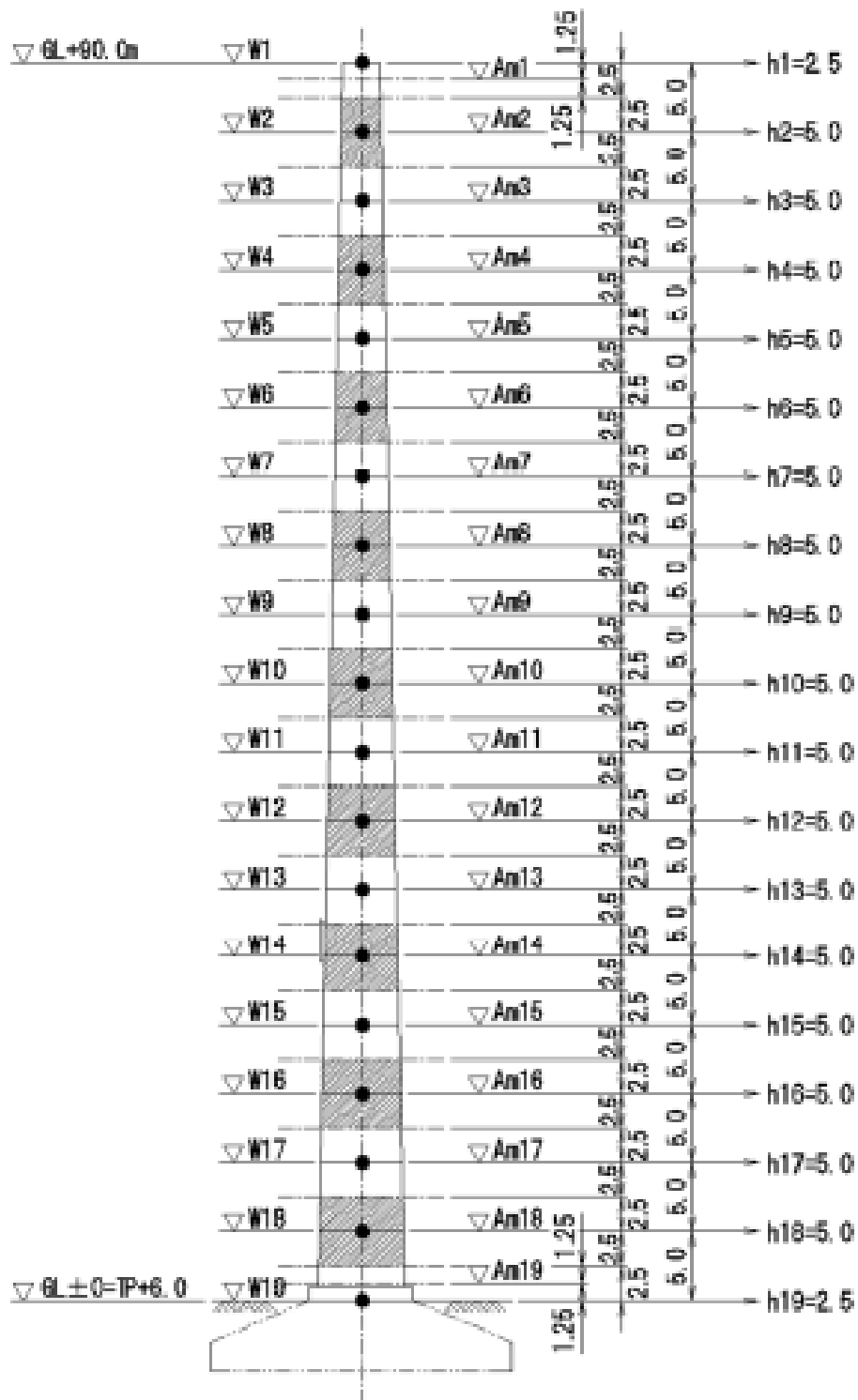
表 3.2-6 設計竜巻荷重の組合せ（複合荷重  $W_{T2}$ ）の算定結果

高さ $H_i$ (m)	せん断力 $Q$ (kN)				モーメント $M$ (kN・m)			
	風圧力 $W_w$	気圧差 $W_p$	衝撃 $W_M$	複合荷重 $W_{T2}$	風圧力 $W_w$	気圧差 $W_p$	衝撃 $W_M$	複合荷重 $W_{T2}$
90	40	—	—	40	0	—	—	0
85	124	—	—	124	200	—	—	200
80	214	—	—	214	820	—	—	820
75	309	—	—	309	1890	—	—	1890
70	410	—	—	410	3435	—	—	3435
65	516	—	—	516	5485	—	—	5485
60	628	—	—	628	8065	—	—	8065
55	745	—	—	745	11205	—	—	11205
50	868	—	—	868	14930	—	—	14930
45	996	—	44	1040	19270	—	88	19358
40	1130	—	44	1174	24250	—	308	24558
35	1270	—	44	1314	29900	—	528	30428
30	1415	—	44	1459	36250	—	748	36998
25	1566	—	44	1610	43325	—	968	44293
20	1722	—	44	1766	51155	—	1188	52343
15	1884	—	44	1928	59765	—	1408	61173
10	2051	—	44	2095	69185	—	1628	70813
5	2224	—	44	2268	79440	—	1848	81288



表 3.4-1 筒身の応力の評価結果

高さ GL (m)	設計用応力			検討断面寸法			断面諸元				許容応力度				発生応力度			許容応力度比	
	軸力 N(kN)	モーメント M (kN·m)	せん断力 Q (kN)	内径 D (mm)	板厚 t (mm)	基準強度 1.1F(N/mm <sup>2</sup> )	径厚比 r/t	断面積 A (×10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup> )	断面係数 Z (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	圧縮 <sub>c</sub> f <sub>cr</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ <sub>b</sub> f <sub>cr</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 <sub>s</sub> f <sub>cr</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	τ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma}{f_c} + \frac{\sigma}{r f_s}$ ≤1	$\tau / f_{cr}$ ≤1		
90	24	0	40	2800	9	258	156	705.9	55500	215	225	24	0.4	0.0	1.2	0.01	0.05		
85	76	200	124	3000	9	258	167	756.2	63800	211	221	23	1.1	3.2	3.3	0.02	0.15		
80	137	820	214	3200	10	258	160	907.6	80600	214	224	25	1.6	10.2	4.8	0.06	0.20		
75	208	1890	309	3400	11	258	155	1071.0	100100	216	225	28	2.0	18.9	5.8	0.10	0.21		
70	290	3435	410	3600	12	258	150	1248.0	122500	218	227	30	2.4	28.1	6.6	0.14	0.22		
65	384	5485	516	3800	13	258	147	1437.0	147900	219	228	32	2.7	37.1	7.2	0.18	0.23		
60	490	8065	628	4000	14	258	143	1639.0	176500	220	229	34	3.0	45.7	7.7	0.22	0.23		
55	605	11205	745	4200	15	258	140	1853.0	208500	221	230	36	3.3	53.8	8.1	0.25	0.23		
50	729	14930	868	4400	15	258	147	1941.0	228800	219	228	34	3.8	65.3	9.0	0.31	0.27		
45	863	19358	1040	4600	16	258	144	2175.0	266800	220	229	36	4.0	72.6	9.6	0.34	0.27		
40	1007	24558	1174	4800	16	258	150	2269.0	290500	218	227	35	4.5	84.6	10.4	0.40	0.30		
35	1162	30428	1314	5000	17	258	148	2521.0	334900	218	227	37	4.7	90.9	10.5	0.43	0.29		
30	1327	36998	1459	5200	17	258	153	2622.0	362200	216	226	36	5.1	102.2	11.2	0.48	0.32		
25	1503	44293	1610	5400	18	258	150	2893.0	413600	218	227	38	5.2	107.1	11.2	0.50	0.30		
20	1691	52343	1766	5600	18	258	156	3000.0	444700	215	225	37	5.7	117.8	11.8	0.56	0.32		
15	1890	61173	1928	5800	19	258	153	3290.0	503600	216	226	38	5.8	121.5	11.8	0.57	0.32		
10	2103	70813	2095	6000	19	258	158	3403.0	538900	214	224	37	6.2	131.5	12.4	0.62	0.34		
5	2328	81288	2268	6200	20	258	155	3712.0	605700	216	225	39	6.3	134.3	12.3	0.63	0.32		
0	2444	92628	2357	6400	20	258	160	3832.0	645400	214	224	38	6.4	143.6	12.4	0.68	0.33		



▽：平均断面積  $A_{mi}$ ，固定荷重  $W_i$  算定位置

図 2.2-1 第二付属排気筒の固定荷重算定の説明図

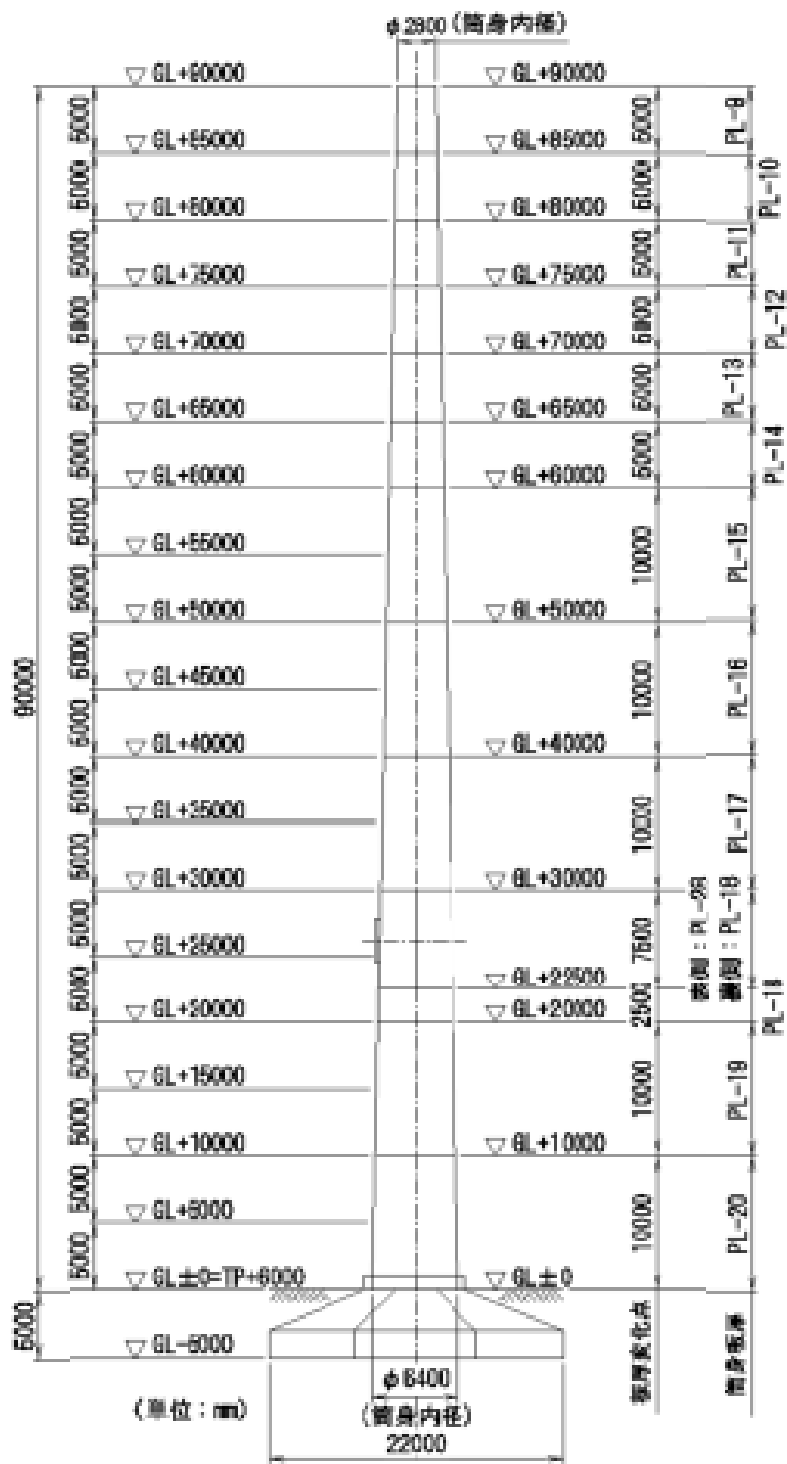


図 3.1-1 第二付属排気筒の概要図

## 主排気筒の竜巻影響評価

## 1. 評価方針

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻影響評価ガイド」という。）に従い、竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設である主排気筒が倒壊しないことについて評価する。

## 2. 設計荷重の設定

## 2.1 設計竜巻の特性値

別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定に関する説明書」で定めた廃措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）の特性値を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線 風速半径 $R_m$ (m)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

## 2.2 風圧力

## (1) 風圧力算定式

「竜巻影響評価ガイド」より、設計竜巻による風圧力を次式にて算定した。風力係数については、「建築基準法施行令 87 条関連告示（平 12 建告第 1454 号）」を準用した。

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

ここで、

$P_D$  : 設計竜巻による風圧力 (N)

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

$\rho$  : 空気密度 1.226 ( $kg/m^3$ )

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

$G$  : ガスト影響係数。「竜巻影響評価ガイド」より  $G=1.0$  とした。

$C$  : 風力係数。「建築基準法施行令 87 条関連告示（平 12 建告第 1454 号）」より、筒身部については煙突その他の円筒形の構造物の風力係数を用いた。ただし、高さ方向分布係数  $k_z$  は、風速の分布を高さによらず一定としているので 1.0 とした。

$A$  : 受圧面積 ( $m^2$ )

## (2) 風圧力算定方法

主排気筒に作用する風圧力は、図 2.2-1 に示すように高さ 10 m 毎に集中荷重として算定した。

## 2.3 気圧差圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる主排気筒内外の気圧差による圧力は、最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )に基づき設定した。気圧差による圧力が主排気筒に内圧として作用したと仮定すると、主排気筒に発生する引張フープ応力として評価できる。内圧による主排気筒の平均フープ応力度は、「容器構造設計指針・同解説」の「5.4 鋼製サイロ 解説文中(5.4.1)式」を準用して次式で算定した。

$$\sigma_p = \frac{P_p D}{2t}$$

ここで、

- $\sigma_p$  : 内圧（気圧差による圧力）による平均引張フープ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $P_p$  : 単位面積あたりの圧力 (N/mm<sup>2</sup>)。(最大気圧低下量  $\Delta P_{max}$  とする。)
- $D$  : 円筒壁の外径 (mm)
- $t$  : 円筒壁の板厚 (mm)

## 2.4 飛来物の衝撃荷重

### (1) 設計飛来物の諸元

添付資料 6-1-4-3 「設計飛来物の設定に関する説明書」で示した鋼製材とした。設計飛来物の諸元等を表 2.4-1 に示す。

なお、設計飛来物の衝突高さは、飛来物の飛散高さに等しいものとして評価を行う。鋼製材の飛散高さは、改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応する飛散高さについて公表されたものがないため、改正前の飛散高さを用いた。

表 2.4-1 設計飛来物の諸元（設計竜巻の最大速度  $V_D=100$  m/s）

	鋼製材
サイズ（長さ m×幅 m×奥行き m）	4.2 × 0.3 × 0.2
質量 (kg)	135
最大水平速度 (m/s)	51 (57)
最大水平速度 (m/s)	34 (38)
飛散高さ (m)	- * (47)

( ) 内は、改訂前の「竜巻影響評価ガイド」による。

\* 改訂後の「竜巻影響評価ガイド」に対応する飛散高さについては公表されたものがない。

## (2) 設計飛来物の衝撃荷重

飛散物が水平方向に衝突する場合の衝撃力は、運動量と力積の関係から求める。荷重と時間の関係を SIN 曲線と仮定して、積分計算により力積を求め、次式にて算定した。

$$mv = F_M \cdot \frac{\Delta T}{\pi/2}, \quad \Delta T = 1/4f = T/4 \text{ より}$$
$$F_M = 2\pi mV/T$$

ここで、

- $F_M$  : 設計飛来物による衝撃力 (N)
- $m$  : 設計飛来物の質量 (kg)
- $v$  : 設計飛来物の速度 (m/s)
- $f$  : 主排気筒の 1 次固有振動数 (1/s (=Hz))
- $T$  : 周期 1.3 (s),  $T=1/f$

## 2.5 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重は、「竜巻影響評価ガイド」により設計竜巻による風圧力による荷重 ( $W_W$ )、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び設計飛散物による衝突荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重 ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) とし、次式にて算定した。

$$W_{T1} = W_P$$

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

## 2.6 固定荷重の設定

設計竜巻荷重に組み合わせる主排気筒の固定荷重 (自重) は、図 2.6-1 に示す 10 m ピッチで筒身部重量を算定した。なお、鉄筋コンクリートの単位体積重量  $\gamma_c$  は、鉄筋コンクリート計算規準・同解説 - 許容応力度設計法- により、24 (kN/m<sup>3</sup>) とした。

## 3. 竜巻影響評価

### 3.1 主排気筒の評価に用いる諸元

主排気筒の筒壁厚さ、主筋及び帯筋の構造について図 3.1-1 に示す。

#### (1) 使用材料

コンクリート : 普通コンクリート,  $F_c = 20.5 \text{ N/mm}^2$  (210 kgf/cm<sup>2</sup>)

鉄筋 : 主筋 異形鉄筋 SD295 [SD30], 帯筋 丸鋼 SR235 [SR24]

#### (2) 許容応力度

主排気筒が「倒壊しない」ということを判断基準とすることから、鋼材 (鉄筋) 及びコンクリートの許容応力度を建築基準法施行令及び関連告示による材料強度とした。鉄

筋及びコンクリートの許容応力度を表 3.1-1 及び表 3.1-2 に示す。なお、鉄筋は「建築基準法施行令第 90 条関連告示（平 12 建告第 2464 号）」に示す基準強度の値を 1.1 倍した数値とした。

表 3.1-1 コンクリートの許容応力度

基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
20.5[210]	13.6 (13.6)	1.36 (1.02)	20.5	2.05

[ ]内は旧規格（単位：kgf/cm<sup>2</sup>）を示す。

( )内は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による短期許容応力度。

表 3.1-2 鉄筋（径 28 mm以下）の許容応力度

	基準強度 F (N/mm <sup>2</sup> )	材料強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		圧縮	引張	
			せん断補強以外	せん断補強
異形棒鋼 SD295[SD30]	295	324 (295)	324 (295)	324 (295)
丸棒 SR235[SR24]	235	258 (235)	258 (235)	258 (235)

[ ]内は旧規格を示す。

( )内は建築基準法施行令第 90 条による短期許容応力度。

### 3.2 荷重の算定

#### (1) 固定荷重

主排気筒の固定荷重（軸圧縮力の算定結果）を表 3.2-1 表に示す。

なお、「再処理施設に関する設計及び工事方法」の添付書類「4. 主要な再処理施設の耐震性（その 2）、昭和 46 年 9 月、4.5 主排気筒」における総重量は 11278 kN (1150 tf) であり、表 3.2-1 表に示す総重量 11575 kN より小さく、保守的な評価となる。

(2) 設計竜巻による風圧力による荷重 ( $W_w$ )

設計竜巻の最大風速  $VD=100$  m/s のときの風圧力の受圧面積算定結果を表 3.2-2 に、最大風速の風圧力による荷重 ( $W_w$ ) の算定結果を表 3.2-3 に示す。

(3) 設計竜巻による気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差によるフープ応力  $\sigma_P$  を帯筋が負担するせん断力を置き換え、風圧力によるせん断力と組み合わせて評価する。当該評価においては、この置き換えたせん断力を置換せん断力と称する。気圧差によるフープ応力と風圧力によるせん断力との組み合わせについて、図 3.2-1 に示す。

コンクリート円筒断面の最大せん断応力度は、「煙突構造設計指針」に基づき次式で求める。

$$\tau_{\max} = 2Q/A$$

ここで、

- $\tau_{\max}$  : 円筒断面の最大せん断応力度
- $Q$  : 作用せん断力
- $A$  : 円筒断面の断面積

上式において、 $\tau_{\max} = \sigma_P$  とすると、気圧差による置換せん断力  $Q_p$  は次式で表せる。

$$Q_p = \tau_{\max} \cdot A/2 = \sigma_P \cdot A/2$$

気圧差による置換せん断力を表 3.2-4 に示す。

(4) 設計竜巻による飛来物の衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物に対する衝撃荷重を表 3.2-5 に示す。



表 3.2-5 設計飛来物に対する衝撃荷重  
(衝突高さ 47 m, 最大水平速度 51 m/s)

高さ H <sub>i</sub> (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	衝撃力 F <sub>M</sub> (kN)	せん断力 Q (kN)	モーメント M (kN・m)
47	5.493	0.293	34	34	0
40	5.867	0.317	—	34	238
30	6.400	0.350	—	34	578
20	6.933	0.383	—	34	918
10	7.467	0.417	—	34	1258
0	8.000	0.450	—	34	1598

(5) 設計竜巻荷重の組み合わせ

設計竜巻荷重の組み合わせを表 3.2-6 に示す。

表 3.2-6 設計竜巻荷重の組み合わせ

高さ H <sub>i</sub> (m)	せん断力 Q (kN)				モーメント M (kN・m)			
	風圧力 W <sub>w</sub>	気圧差 W <sub>p</sub>	衝撃 W <sub>M</sub>	複合荷重 W <sub>T2</sub>	風圧力 W <sub>w</sub>	気圧差 W <sub>p</sub>	衝撃 W <sub>M</sub>	複合荷重 W <sub>T2</sub>
90	93	69	—	128	0	—	—	0
80	300	93	—	347	930	—	—	930
70	536	121	—	597	3930	—	—	3930
60	801	153	—	878	9290	—	—	9290
50	1096	189	—	1191	17300	—	—	17300
40	1420	228	34	1568	28260	—	238	28498
30	1774	271	34	1944	42460	—	578	43038
20	2157	318	34	2350	60200	—	918	61118
10	2570	369	34	2789	81770	—	1258	83028
0	2788	423	34	3034	107470	—	1598	109068

$W_{T1} (=W_p) < W_{T2} (=W_w + 0.5W_p + W_M)$  より,  $W_{T2}$  の評価のみを実施する。

3.3 主排気筒の配筋の評価について

(1) 評価方法

配筋の評価は、「煙突構造設計指針」の鉄筋コンクリートの断面算定に準拠して必要鉄筋断面積を求め、実施鉄筋断面積と比較することとした。

主筋の必要断面積（必要鉄筋比  $P_g$ ）は、図 3.3-1 より読み取った数値を用いた。

(2) 評価結果

主筋の曲げモーメントに対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表を表 3.3-1 に、帯筋のせん断力に対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表を表 3.3-2 に示す。また、評価結果のまとめ表を表 3.3-3 に示す。

主筋及び帯筋ともに必要断面積を満足している。

表 3.2-1 主排気筒の固定荷重（軸圧縮力の算定結果）

高さ $H_i$ (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	負担高さ $h_i$ (m)	平均径 $D_m$ (m)	平均断面積 $A_m$ (m <sup>2</sup> )	各部重量 $W_i$ (kN)	軸力 $N_i$ (kN)
90	3.200	0.150	5.0	3.050	1.584	191	191
80	3.733	0.183	10.0	3.550	2.060	495	686
70	4.267	0.217	10.0	4.050	2.768	665	1351
60	4.800	0.250	10.0	4.550	3.587	861	2212
50	5.333	0.283	10.0	5.050	4.511	1083	3295
40	5.867	0.317	10.0	5.550	5.532	1328	4623
30	6.400	0.350	10.0	6.050	6.666	1600	6223
20	6.933	0.383	10.0	6.550	7.905	1898	8121
10	7.467	0.417	10.0	7.050	9.238	2218	10339
0	8.000	0.450	5.0	7.550	10.300	1236	11575
総重量 (kN)						11575	

表 3.2-2 風圧力受圧面積の算定結果

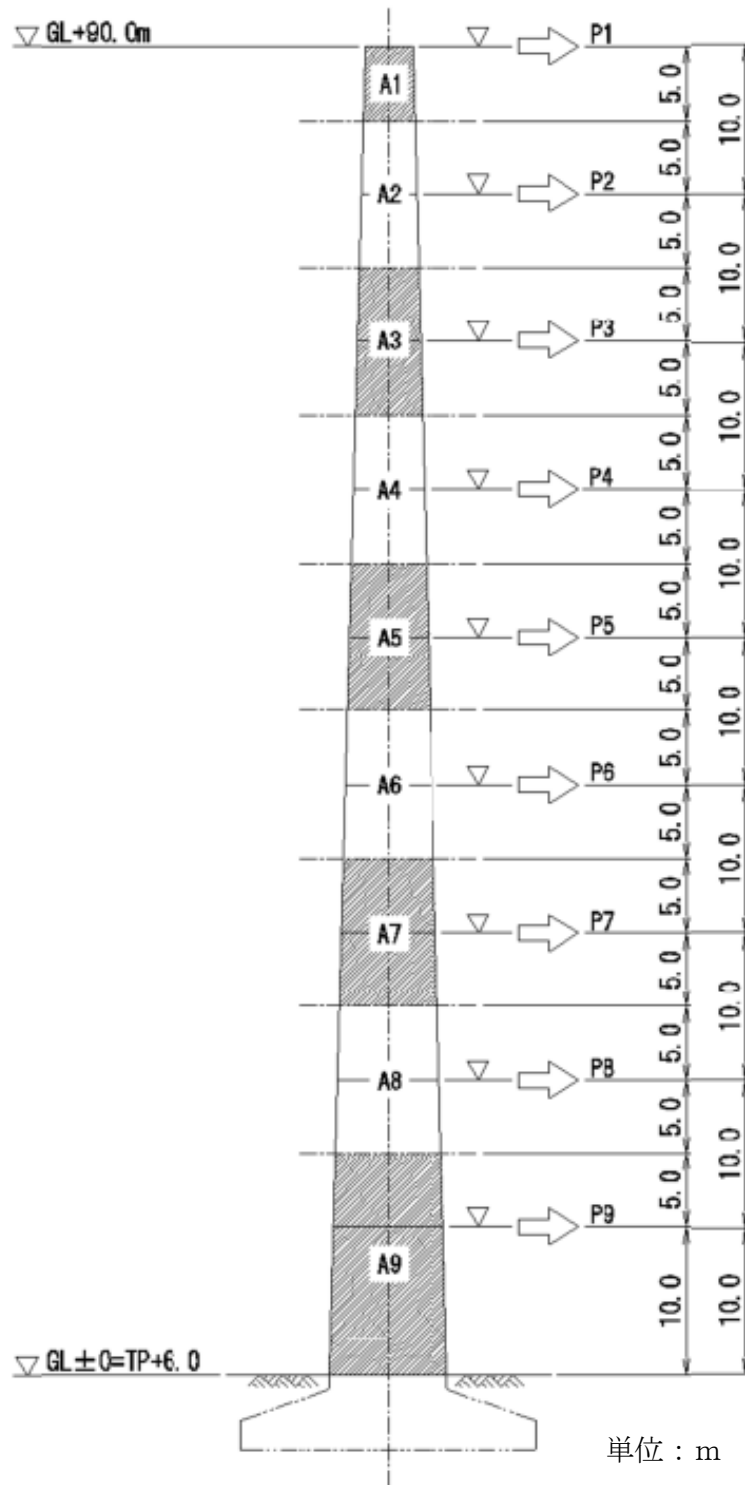
高さ $H_i$ (m)	外径 D (m)	負担高さ $\Delta h_i$ (m)	高さ		外径 D		受圧面積 $A_i$ (m <sup>2</sup> )
			上端 (m)	下端 (m)	上端 (m)	下端 (m)	
90	3.200	5.0	90.0	85.0	3.200	3.467	16.7
80	3.733	10.0	85.0	75.0	3.467	4.000	37.4
70	4.267	10.0	75.0	65.0	4.000	4.533	42.7
60	4.800	10.0	65.0	55.0	4.533	5.067	48.0
50	5.333	10.0	55.0	45.0	5.067	5.600	53.4
40	5.867	10.0	45.0	35.0	5.600	6.133	58.7
30	6.400	10.0	35.0	25.0	6.133	6.667	64.0
20	6.933	10.0	25.0	15.0	6.667	7.200	69.4
10	7.467	10.0	15.0	5.0	7.200	7.733	74.7
0	8.000	5.0	5.0	0.0	7.733	8.000	39.4

表 3.2-3 主排気筒の設計竜巻の最大風速の風圧力による荷重 (W<sub>w</sub>)

高さ H <sub>i</sub> (m)	外径 D (m)	速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	負担高さ h <sub>i</sub> (m)	受圧面積 A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	風圧力 P <sub>i</sub> (kN)	せん断力 Q <sub>i</sub> (kN)	モーメント M <sub>i</sub> (kN・m)
90	3.200	6.13	5.00	16.7	93	93	0
80	3.733	6.13	10.00	37.4	207	300	930
70	4.267	6.13	10.00	42.7	236	536	3,930
60	4.800	6.13	10.00	48.0	265	801	9,290
50	5.333	6.13	10.00	53.4	295	1096	17,300
40	5.867	6.13	10.00	58.7	324	1420	28,260
30	6.400	6.13	10.00	64.0	354	1774	42,460
20	6.933	6.13	10.00	69.4	383	2157	60,200
10	7.467	6.13	10.00	74.7	413	2570	81,770
0	8.000	6.13	5.00	39.4	218	2788	107,470

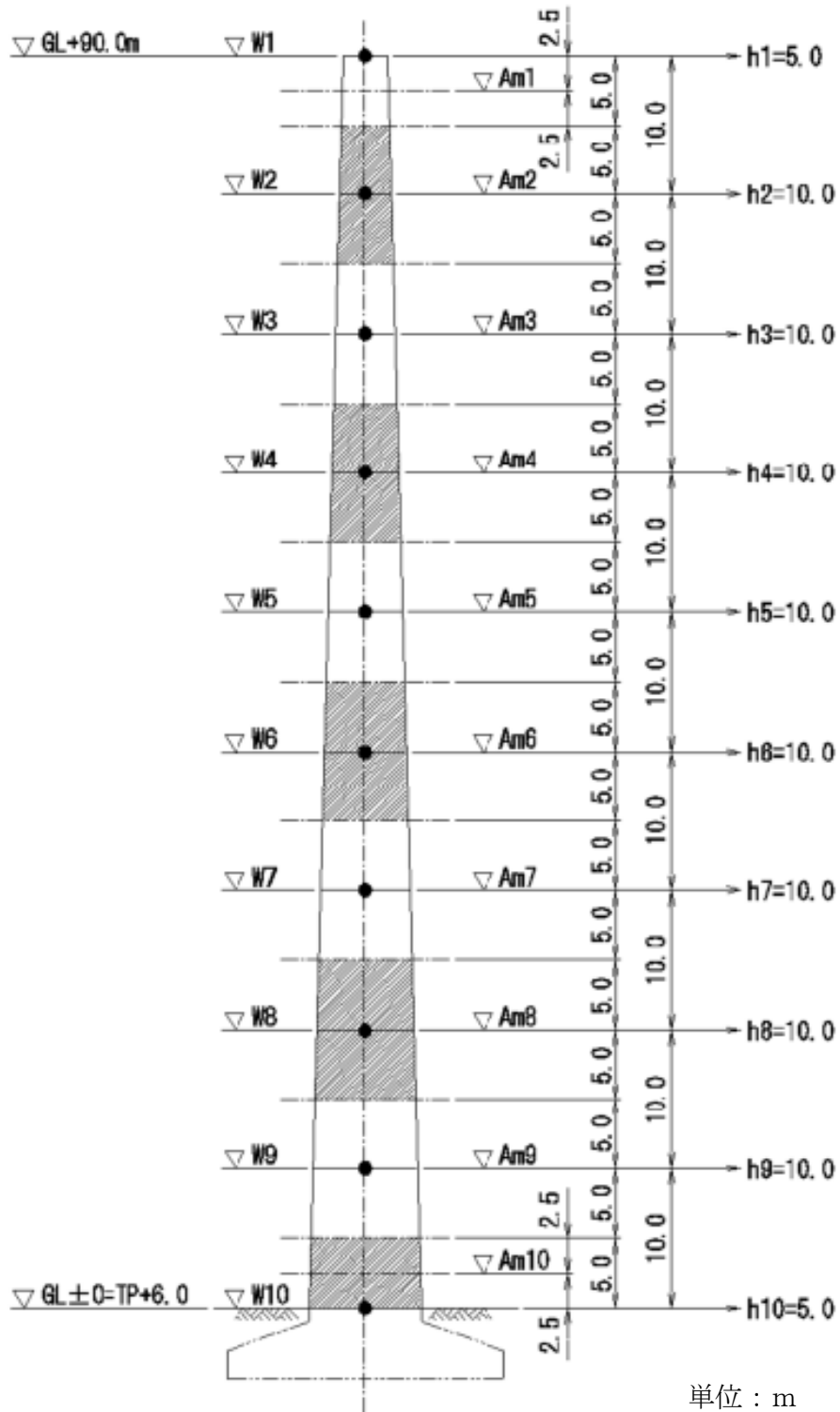
表 3.2-4 主排気筒の設計竜巻の気圧差による荷重 (W<sub>p</sub>)

高さ H <sub>i</sub> (m)	外径 D (m)	壁厚 t (m)	平均径 D <sub>m</sub> (m)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	気圧低下量 ΔP <sub>max</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	フープ応力度 σ <sub>p</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	置換せん断力 Q <sub>p</sub> (kN)
90	3.200	0.150	3.050	1.437	8.90	95.0	69
80	3.733	0.183	3.550	2.041	8.90	90.8	93
70	4.267	0.217	4.050	2.761	8.90	87.6	121
60	4.800	0.250	4.550	3.574	8.90	85.5	153
50	5.333	0.283	5.050	4.490	8.90	83.9	189
40	5.867	0.317	5.550	5.527	8.90	82.4	228
30	6.400	0.350	6.050	6.652	8.90	81.4	271
20	6.933	0.383	6.550	7.881	8.90	80.6	318
10	7.467	0.417	7.050	9.236	8.90	79.7	369
0	8.000	0.450	7.550	10.670	8.90	79.2	423



▽：風圧力による集中荷重算定位置

図 2.2-1 主排気筒の風力算定方法の説明図



▽：平均断面積  $A_{mi}$ , 固定荷重  $W_i$  算定位置

図 2.6-1 主排気筒の固定荷重算定の説明図

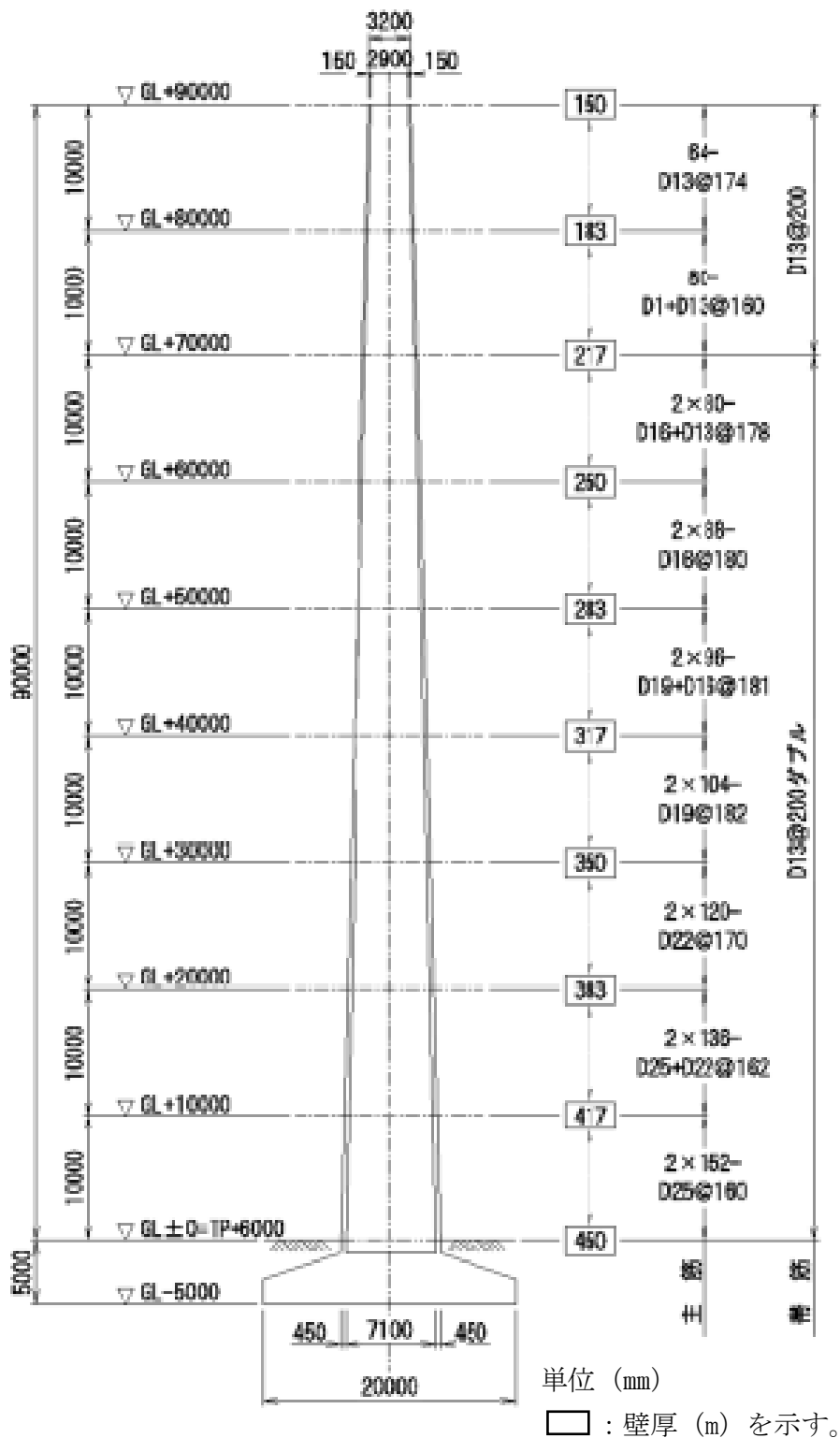


図 3.1-1 主排気筒の概要図

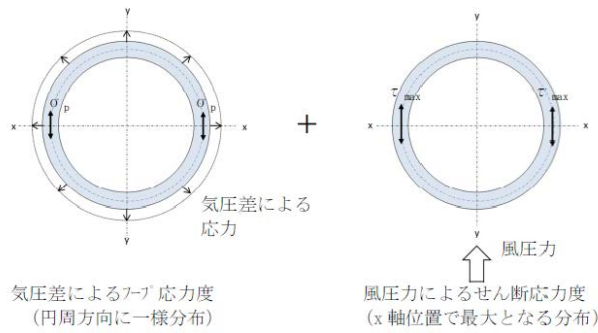


図 3.2-1 気圧差によるフープ応力と風圧力によるせん断力との組み合わせ

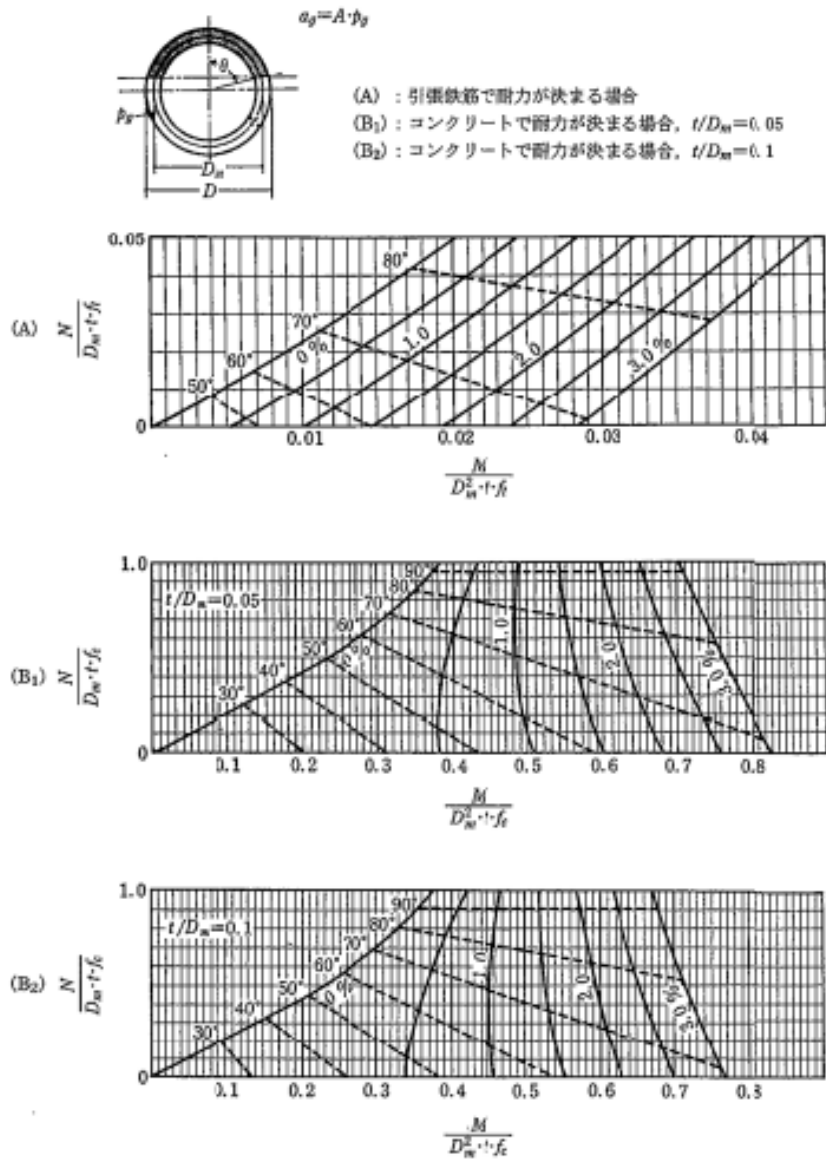


図 3.3-1 「煙突構造設計指針」付録 2 鉄筋コンクリート円筒形断面柱の計算図表



表 3.3-1 主筋の曲げモーメントに対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表

高さ $H_i$ (m)	軸力 $N$ (kN)	曲げモーメント $M$ (kN·m)	平均径 $D_m$ (m)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $m^2$ )	$N/(D_m \cdot t \cdot f_t)$ (N/ $mm^2$ )	$M/(D_m^2 \cdot t \cdot f_t)$ (N/ $mm^2$ )	必要鉄筋比 $P_g$ (%)	必要鉄筋量 $a_g$ ( $mm^2$ )	実施鉄筋量 $a_{g,act}$ ( $mm^2$ )	実施鉄筋比 $P_{g,act}$ (%)	評価 $a_g/a_{g,act}$ $\leq 1$	実施配筋 ( $f_t = 324$ N/ $mm^2$ )
90	191	0	3.050	0.150	1.437	0.001	0.0000	0.00	0	8128	0.57	0.00	64-D13 (シグ <sup>ル</sup> )
80	686	930	3.550	0.183	2.041	0.003	0.0012	0.00	0	8128	0.40	0.00	64-D13 (シグ <sup>ル</sup> )
70	1351	3930	4.050	0.217	2.761	0.005	0.0034	0.10	2761	13040	0.47	0.22	80-D16+D13
60	2212	9290	4.550	0.250	3.574	0.006	0.0055	0.25	8935	26080	0.73	0.35	2×80-D16+D13
50	3295	17300	5.050	0.283	4.490	0.007	0.0074	0.40	17960	35024	0.78	0.52	2×88-D16
40	4623	28498	5.550	0.317	5.527	0.008	0.0089	0.55	30399	46656	0.84	0.66	2×96-D19+D16
30	6223	43038	6.050	0.350	6.652	0.009	0.0102	0.65	43238	59696	0.90	0.73	2×104-D19
20	8121	61118	6.550	0.383	7.882	0.010	0.0113	0.70	55174	92880	1.18	0.60	2×120-D22
10	10339	83028	7.050	0.417	9.235	0.011	0.0122	0.75	69263	121584	1.32	0.57	2×136-D25+D22
0	11575	109068	7.550	0.450	10.674	0.011	0.0129	0.85	90729	154128	1.44	0.59	2×152-D25

表 3.3-2 帯筋のせん断力に対する必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較表

高さ $H_i$ (m)	せん断力 $Q$ (kN)	割増 係数 $m$	設計用 $Q_d$ (kN)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $m^2$ )	$\tau_{max}$ ( $N/mm^2$ )	$w_{ft}$ ( $N/mm^2$ )	鉄筋比 $P_s$ (%)	必要 断面積 $a_{s,req}$ ( $mm^2/m$ )	実施鉄筋 $a_{s,act}$ ( $mm^2/m$ )	評価 $a_{s,reg}/a_{s,act}$ $\leq 1 : OK$	実施配筋
90	128	1.00	128	0.150	1.437	0.18	258	0.070	105	665	0.16	13 $\phi$ @200
80	347	1.00	347	0.183	2.041	0.35	258	0.136	249	665	0.38	13 $\phi$ @200
70	597	1.00	597	0.217	2.761	0.44	258	0.171	372	665	0.56	13 $\phi$ @200
60	878	1.00	878	0.250	3.574	0.50	258	0.194	485	1330	0.37	13 $\phi$ @200 (ダブル)
50	1191	1.00	1191	0.283	4.490	0.54	258	0.210	595	1330	0.45	13 $\phi$ @200 (ダブル)
40	1568	1.00	1568	0.317	5.527	0.57	258	0.221	701	1330	0.53	13 $\phi$ @200 (ダブル)
30	1944	1.00	1944	0.350	6.652	0.59	258	0.229	802	1330	0.61	13 $\phi$ @200 (ダブル)
20	2350	1.00	2350	0.383	7.882	0.60	258	0.233	893	1330	0.68	13 $\phi$ @200 (ダブル)
10	2789	1.00	2789	0.417	9.235	0.61	258	0.237	989	2010	0.50	16 $\phi$ @200 (ダブル)
0	3034	1.00	3034	0.450	10.670	0.57	258	0.221	995	2010	0.50	16 $\phi$ @200 (ダブル)

表 3.3-3 主筋及び帯筋の必要鉄筋断面積と実施鉄筋断面積の比較のまとめ表

高さ $H_i$ (m)	断面寸法		主筋の検討結果			帯筋の検討結果		
	外径 D (m)	壁厚 t (m)	必要断面積 $a_g$ (mm <sup>2</sup> )	実施断面積 $a_{g,act}$ (mm <sup>2</sup> )	評価 $a_g/a_{g,act}$ $\leq 1 : OK$	必要断面積 $a_g$ (mm <sup>2</sup> )	実施断面積 $a_{g,act}$ (mm <sup>2</sup> )	評価 $a_g/a_{g,act}$ $\leq 1 : OK$
90	3.200	0.150	0	8128	0.00	105	665	0.16
80	3.733	0.183	0	8128	0.00	249	665	0.38
70	4.267	0.217	2761	13040	0.22	372	665	0.56
60	4.800	0.250	8935	26080	0.35	485	1330	0.37
50	5.333	0.283	17960	35024	0.52	595	1330	0.45
40	5.867	0.317	30399	46656	0.66	701	1330	0.53
30	6.400	0.350	43238	59696	0.73	802	1330	0.61
20	6.933	0.383	55174	92880	0.60	893	1330	0.68
10	7.467	0.417	69263	121584	0.57	989	2010	0.50
0	8.000	0.450	90729	154128	0.59	995	2010	0.50

## 建家全体及び各部材に対する竜巻影響評価

## 1. 評価方針

建家全体の評価は、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）の荷重により建家に生じる水平力に対して、建家全体が倒壊しないことを確認する。

また、竜巻防護施設を内包する施設については、屋上スラブ及び側面壁に対して、各部材の強度評価結果を実施し、部材の健全性を確認する。

評価対象とする施設は、以下のとおり。

## (1) 竜巻防護施設を内包する施設

- ・高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

## (2) 波及的影響を及ぼし得る施設

- ・分離精製工場（MP）
- ・リサイクル機器試験施設（RETF）
- ・ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術管理棟
- ・クリプトン回収技術開発施設（Kr）

## 2. 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の荷重により生じる建家の水平方向の風圧力による荷重（層せん断力） $W_w$ 、気圧差による荷重（層せん断力） $W_p$ 及び設計飛来物の衝撃荷重 $W_M$ は、以下のとおり算定する。

## (1) 風圧力による荷重

上階から当該階層までに建家の水平方向に作用する設計竜巻の風圧力による累積層せん断力 $W_w$ は以下により算定する。

$$W_w = \sum P_w$$

ここで、

$P_w$  : 各階層の層荷重（ $= \sum \Delta P_D$ ）

$\Delta P_D$  : 各階層の建家風上、風下及びパラペットに作用する風圧力（ $= C_f \times q \times A$ ）

$C_f$  : 風圧係数

$q$  : 速度圧  $6130 \text{ N/m}^2$ （ $= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$ ）

$A$  : 受圧面積  $\text{m}^2$

受圧面積は、 $10 \text{ m}^2$ 単位で切上げた値（微細な部分は、 $1 \text{ m}^2$ 単位で切上げ）とし、保守的に設定する。

$\rho$  : 空気密度  $1.226 \text{ (kg/m}^3)$

$V_D$  : 設計竜巻の水平方向の最大風速  $100 \text{ m/s}$

(2) 気圧差による荷重

上階から当該階層までに作用する設計竜巻の風圧力による累積層せん断力  $W_P$  は以下により算定する。

$$W_P = \sum P_P$$

ここで、

$P_P$  : 各階層の層荷重 ( $= \sum (\Delta P_{max} \cdot A)$ )

$\Delta P_{max}$  : 各階層の建家風上に低下圧力 8900 N/m<sup>2</sup>

$A$  : 受圧面積 m<sup>2</sup>

気圧差による荷重の算定における受圧面積については、風上・風下の受圧面積のうち大きい値を採用する。

(3) 設計飛来物の衝撃荷重

設計飛来物の衝撃荷重  $W_M$  は、Rieraの方法<sup>(1)</sup>を踏まえた下式により、鋼製材の衝突方向を考慮し、最大となる衝撃荷重を設定する。

$$W_M = MV^2/L$$

ここで、

$M$  : 設計飛来物の質量 (kg)

$V$  : 飛来物の速度 (m/s)

$L$  : 飛来物の衝突長さ (m)

表 2-1 設計飛来物による衝撃荷重  $W_M$

	鋼製材		
サイズ(m)	長さ×幅×奥行 (4.2×0.3×0.2)		
質量(kg)	135		
最大水平速度 $MV_{Hmax}$ (m/s)	51		
最大鉛直速度 $MV_{Vmax}$ (m/s)	34		
衝突長さ L(m)	4.2	0.3	0.2
水平衝撃荷重 (kN)	83.6	1171	1756
鉛直衝撃荷重 (kN)	38	520	780

(4) 複合荷重

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重 ( $W_W$ )、気圧差による荷重 ( $W_P$ )、及び設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重とし、以下の式による。

$$W_{T1} = W_P$$

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

ここで、

$W_{T1}, W_{T2}$	: 設計竜巻による複合荷重
$W_w$	: 設計竜巻の風圧力による荷重
$W_p$	: 設計竜巻の気圧差による荷重
$W_M$	: 設計飛来物による衝撃荷重

### 3. 風圧力及び気圧差による荷重評価の結果

設計竜巻の荷重による風圧力及び気圧差による各建家の荷重の評価結果を表3-1から表3-6に示す。

### 4. 建家全体の評価結果

設計竜巻による荷重の複合荷重 ( $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ) により、各建家の各階層に生じる層せん断力を求め、各階層の水平耐力と比較結果を表4-1から表4-6に示す。各階層に生じる層せん断力よりも、各階層の水平耐力の方が大きく、設計竜巻の荷重により建家が倒壊することはない。

また、屋上スラブ及び側面壁の各部材の強度評価結果を表4-7に示す。風圧力による荷重 $W_w$ および気圧差による荷重 $W_p$ の複合荷重 ( $W_{T1}$ 又は $W_{T2}$ ) に対して、外気と隔離されている部材の境界部に気圧差による圧力影響をうける高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ及び側壁面の健全性は維持できる

以上

表 3-1 (1) 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重					
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 △P <sub>0</sub> (kN)	層荷重 P <sub>f</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>f</sub> (kN)	低下圧力 △P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 △P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>p</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>p</sub> (kN)		
5	バラベット	20	6130	1.2	147	1030	1030	—	—	979	979	
	風上	60	6130	0.8	294			8900	534			
	風下	60	6130	0.4	147			—	—			
	バラベット	10	6130	1.2	74			—	—			
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178			
	風下	20	6130	0.4	49			—	—			
	排気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	—			—
	給気チャンバー	風上	20	6130	0.8			98	8900			178
風下		20	6130	0.4	49	—	—					
4	バラベット	30	6130	1.2	221	1618	2648	—	—	1691	2670	
	風上	190	6130	0.8	932			8900	1691			
	風下	190	6130	0.4	466			—	—			
3	風上	190	6130	0.8	932	1398	4046	8900	1691	1691	4361	
	風下	190	6130	0.4	466			—	—			
B1	風上	290	6130	0.8	1422	2133	6179	8900	2581	2581	6942	
	風下	290	6130	0.4	711			—	—			

表 3-1 (2) 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重					
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>b</sub> (kN)	層荷重 P <sub>l</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>l</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>l</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>l</sub> (kN)		
5	パラペット	20	6130	1.2	147	662	662	—	—	534	534	
	風上	40	6130	0.8	196			8900	356			
	風下	40	6130	0.4	98			—	—			
	パラペット	10	6130	1.2	74			—	—			
	排気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	—			—
	給気チャンバー	風上	10	6130	0.8			49	8900			89
		風下	10	6130	0.4			25	—			—
4	パラペット	40	6130	1.2	294	1765	2427	—	—	1780	2314	
	風上	200	6130	0.8	981			8900	1780			
	風下	200	6130	0.4	490			—	—			
3	風上	200	6130	0.8	981	1471	3899	8900	1780	1780	4094	
	風下	200	6130	0.4	490			—	—			
B1	風上	300	6130	0.8	1471	2207	6105	8900	2670	2670	6764	
	風下	300	6130	0.4	736			—	—			



表 3-2 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の  
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力 係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>0</sub> (kN)	層荷重 P <sub>v</sub> (kN)	層せん断 力 W <sub>v</sub> (kN)	低下 圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>p</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>p</sub> (kN)	
R	パラペット	60	6130	1.2	441	1398	1398	8900	—	1157	1157
	風上	130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下	130	6130	0.4	319			8900	—		
3	パラペット	110	6130	1.2	809	4119	5517	8900	—	4005	5162
	風上	450	6130	0.8	2207			8900	4005		
	風下	450	6130	0.4	1103			8900	—		
2	風上	390	6130	0.8	1913	2869	8386	8900	3471	3471	8633
	風下	390	6130	0.4	956			8900	—		
1	風上	390	6130	0.8	1913	2869	11255	8900	3471	3471	12104
	風下	390	6130	0.4	956			8900	—		

表 3-2 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の  
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力 係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>0</sub> (kN)	層荷重 P <sub>v</sub> (kN)	層せん断 力 W <sub>v</sub> (kN)	低下 圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>p</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>p</sub> (kN)	
R	パラペット	30	6130	1.2	221	662	662	8900	—	534	534
	風上	60	6130	0.8	294			8900	534		
	風下	60	6130	0.4	147			8900	—		
3	パラペット	80	6130	1.2	588	3090	3752	8900	—	3026	3560
	風上	340	6130	0.8	1667			8900	3026		
	風下	340	6130	0.4	834			8900	—		
2	風上	290	6130	0.8	1422	2133	5885	8900	2581	2581	6141
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		
1	風上	290	6130	0.8	1422	2133	8018	8900	2581	2581	8722
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		

表 3-3 (1) 分離精製工場(MP)の風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層		受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重				気圧差による風荷重				
			速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>D</sub> (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)
PH	バラベット	20	6130	1.2	147	4046	4046	—	—	3382	3382
	風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
	風下	50	6130	0.4	123			—	—		
6	バラベット	150	6130	1.2	1103	4046	4046	—	—	3382	3382
	風上	330	6130	0.8	1618			8900	2937		
	風下	330	6130	0.4	809			—	—		
5	バラベット	30	6130	1.2	221	3555	7601	—	—	3204	6586
	バラベット	40	6130	1.2	294			—	—		
	バラベット	30	6130	1.2	221			—	—		
	風上	360	6130	0.8	1765			8900	3204		
	風下	300	6130	0.4	736			—	—		
	風下	70	6130	0.4	172			—	—		
	補強柱	10	6130	1.2	74			—	—		
補強柱	10	6130	1.2	74	—	—					
4	風上	300	6130	0.8	1471	3188	10789	8900	2670	2848	9434
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178		
	風下	160	6130	0.4	392			—	—		
	風下	40	6130	0.4	98			—	—		
	風下	70	6130	0.4	172			—	—		
	風下	60	6130	0.4	147			—	—		
	補強柱	80	6130	1.2	589			—	—		
	補強柱	30	6130	1.2	221			—	—		
3	風上	350	6130	0.8	1716	3335	14124	8900	3115	3115	12549
	風下	180	6130	0.4	441			—	—		
	風下	120	6130	0.4	294			—	—		
	風下	60	6130	0.4	147			—	—		
	補強柱	70	6130	1.2	515			—	—		
	補強柱	30	6130	1.2	221			—	—		
2	バラベット	10	6130	1.2	74	3776	17900	—	—	3560	16109
	風上	350	6130	0.8	1716			8900	3115		
	風下	180	6130	0.4	441			—	—		
	風下	120	6130	0.4	294			—	—		
	風下	60	6130	0.4	147			—	—		
	バラベット	20	6130	1.2	147			—	—		
	風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
	風下	50	6130	0.4	123			—	—		
	補強柱	60	6130	1.2	441			—	—		
	補強柱	20	6130	1.2	147			—	—		
1	風上	350	6130	0.8	1716	3261	21161	8900	3115	3738	19847
	風下	180	6130	0.4	441			—	—		
	風下	120	6130	0.4	294			—	—		
	風下	60	6130	0.4	147			—	—		
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風下	70	6130	0.4	172			—	—		
	補強柱	10	6130	1.2	74			—	—		
	補強柱	10	6130	1.2	74			—	—		

表 3-3 (2) 分離精製工場(MP)の風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>D</sub> (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	
PH	バラベット	20	6130	1.2	147	2722	2722	—	—	2581	2581
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風下	70	6130	0.4	172			—	—		
6	バラベット	20	6130	1.2	147	2722	2722	—	—	2581	2581
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	バラベット	40	6130	1.2	294			—	—		
	風上	150	6130	0.8	736			8900	1335		
	風下	30	6130	0.4	74			—	—		
	風下	190	6130	0.4	466			—	—		
5	バラベット	10	6130	1.2	74	4095	6817	—	—	4806	7387
	バラベット	10	6130	1.2	74			—	—		
	風上	120	6130	0.8	588			8900	1068		
	風上	70	6130	0.8	343			8900	623		
	風上	290	6130	0.8	1422			8900	2581		
	傾斜屋根	60	6130	1.2	441			8900	534		
	風下	470	6130	0.4	1152			—	—		
4	風上	390	6130	0.8	1913	2869	9685	8900	3471	3471	10858
	風下	390	6130	0.4	956			—	—		
3	風上	430	6130	0.8	2109	3163	12848	8900	3827	3827	14685
	風下	430	6130	0.4	1054			—	—		
2	バラベット	10	6130	1.2	74	3384	16232	—	—	3916	18601
	バラベット	10	6130	1.2	74			—	—		
	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
	風上	430	6130	0.8	2109			8900	3827		
	風下	10	6130	0.4	25			—	—		
	風下	430	6130	0.4	1054			—	—		
1	風上	450	6130	0.8	2207	3310	19542	8900	4005	4005	22606
	風下	450	6130	0.4	1103			—	—		

表 3-4 (1) リサイクル機器試験施設 (RETF) の  
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 △P <sub>v</sub> (kN)	層荷重 P <sub>w</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>w</sub> (kN)	低下圧力 △P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 △P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>f</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>f</sub> (kN)	
6	バラベット	20	6130	1.2	147	3531	3531	8900	—	1958	1958
	風上	30	6130	0.8	147			8900	267		
	風下	30	6130	0.4	74			8900	—		
	バラベット	100	6130	1.2	736			8900	—		
	風上	190	6130	0.8	932			8900	1691		
	風下	190	6130	0.4	466			8900	—		
	バラベット	140	6130	1.2	1030			8900	—		
5	風上	300	6130	0.8	1471	2207	5738	8900	2670	2670	4628
	風下	300	6130	0.4	736			8900	—		
4	風上	400	6130	0.8	1962	3090	8827	8900	3560	3560	8188
	風下	400	6130	0.4	981			8900	—		
	バラベット	20	6130	1.2	147			8900	—		
3	風上	460	6130	0.8	2256	3752	12579	8900	4094	4450	12638
	風下	460	6130	0.4	1128			8900	—		
	風上	40	6130	0.8	196			8900	356		
	風下	40	6130	0.4	98			8900	—		
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
2	バラベット	20	6130	1.2	147	3678	16257	8900	—	4272	16910
	風上	480	6130	0.8	2354			8900	4272		
	風下	480	6130	0.4	1177			8900	—		
1	風上	520	6130	0.8	2550	3825	20082	8900	4628	4628	21538
	風下	520	6130	0.4	1275			8900	—		

表 3-4 (2) リサイクル機器試験施設 (RETF) の  
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 △P <sub>0</sub> (kN)	層荷重 P <sub>w</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>w</sub> (kN)	低下圧力 △P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 △P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>f</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>f</sub> (kN)	
6	バラベット	10	6130	1.2	74	1839	1839	8900	—	801	801
	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
	風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
	風上	80	6130	0.8	392			8900	712		
	風下	80	6130	0.4	196			8900	—		
	バラベット	110	6130	1.2	809			8900	—		
5	風上	240	6130	0.8	1177	1765	3604	8900	2136	2136	2937
	風下	240	6130	0.4	588			8900	—		
4	風上	320	6130	0.8	1569	2648	6253	8900	2848	2848	5785
	風下	320	6130	0.4	785			8900	—		
	バラベット	40	6130	1.2	294			8900	—		
3	風上	340	6130	0.8	1667	2722	8974	8900	3026	3204	8989
	風下	340	6130	0.4	834			8900	—		
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	20	6130	0.8	98			8900	178		
	風下	20	6130	0.4	49			8900	—		
2	バラベット	40	6130	1.2	294	2869	11843	8900	—	3115	12104
	風上	350	6130	0.8	1716			8900	3115		
	風下	350	6130	0.4	858			8900	—		
1	風上	380	6130	0.8	1864	2795	14638	8900	3382	3382	15486
	風下	380	6130	0.4	932			8900	—		

表 3-5 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の  
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層		受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重				気圧差による風荷重					
			速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>0</sub> (kN)	層荷重 P <sub>w</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>w</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>p</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>p</sub> (kN)	
R	ペントハウス	バラベット	20	6130	1.2	147	588	588	8900		534	534
		風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
		風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
	給気塔	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
		風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
4	バラベット		60	6130	1.2	441	1398	1986	8900	—	1157	1691
	風上		130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
3	風上		130	6130	0.8	638	956	2942	8900	1157	1157	2848
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
2	風上		130	6130	0.8	638	956	3899	8900	1157	1157	4005
	風下		130	6130	0.4	319			8900	—		
1	風上		150	6130	0.8	736	1103	5022	8900	1335	1335	5340
	風下		150	6130	0.4	368			8900	—		

表 3-5 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の  
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層			受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重				気圧差による風荷重				
				速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>D</sub> (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)
R	ペントハウス	パラペット	20	6130	1.2	147	588	588	8900	—	534	534
		風上	50	6130	0.8	245			8900	445		
		風下	50	6130	0.4	123			8900	—		
	給気塔	風上	10	6130	0.8	49			8900	89		
		風下	10	6130	0.4	25			8900	—		
4	パラペット		30	6130	1.2	221	1103	1692	8900	—	890	1424
			20	6130	1.2	147			8900	—		
	風上		100	6130	0.8	490			8900	890		
	風下		100	6130	0.4	245			8900	—		
3	風上		100	6130	0.8	490	736	2427	8900	890	890	2314
	風下		100	6130	0.4	245			8900	—		
2	風上		100	6130	0.8	490	736	3163	8900	890	890	3204
	風下		100	6130	0.4	245			8900	—		
1	風上		110	6130	0.8	539	809	3972	8900	979	979	4183
	風下		110	6130	0.4	270			8900	—		

表 3-6 (1) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の  
風圧力及び気圧差による荷重 (NS 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>b</sub> (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	
3	バラベット	40	6130	1.2	294	1545	1545	8900	—	1424	1424
	風上	130	6130	0.8	638			8900	1157		
	風下	130	6130	0.4	319			8900	—		
	バラベット	10	6130	1.2	74			8900	—		
	風上	30	6130	0.8	147			8900	267		
	風下	30	6130	0.4	74			8900	—		
2	バラベット	80	6130	1.2	588	1913	3457	8900	—	1602	3026
	風上	180	6130	0.8	883			8900	1602		
	風下	180	6130	0.4	441			8900	—		
1	バラベット	10	6130	1.2	74	2207	5664	8900	—	2581	5607
	風上	290	6130	0.8	1422			8900	2581		
	風下	290	6130	0.4	711			8900	—		

表 3-6 (2) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の  
風圧力及び気圧差による荷重 (EW 方向)

階層	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力による荷重					気圧差による風荷重				
		速度圧 q (N/m <sup>2</sup> )	風力係数 C <sub>f</sub>	風圧力 ∠P <sub>b</sub> (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	低下圧力 ∠P <sub>max</sub> (N/m <sup>2</sup> )	層外力 ∠P <sub>max</sub> ・A (kN)	層荷重 P <sub>F</sub> (kN)	層せん断力 W <sub>F</sub> (kN)	
3	バラベット	40	6130	1.2	294	2060	2060	8900	—	1869	1869
	風上	120	6130	0.8	588			8900	1068		
	風下	120	6130	0.4	294			8900	—		
	バラベット	30	6130	1.2	221			8900	—		
	風上	90	6130	0.8	441			8900	801		
	風下	90	6130	0.4	221			8900	—		
2	バラベット	40	6130	1.2	294	956	3016	8900	—	801	2670
	風上	90	6130	0.8	441			8900	801		
	風下	90	6130	0.4	221			8900	—		
1	バラベット	10	6130	1.2	74	1324	4340	8900	—	1513	4183
	風上	170	6130	0.8	834			8900	1513		
	風下	170	6130	0.4	417			8900	—		



表 4-1 (1) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
5	1030	979	1756	979	3275	7443	○
4	2648	2670	1756	2670	5739	142716	○
3	4046	4361	1756	4361	7982	203390	○
B1	6179	6942	1756	6942	11406	433846	○

表 4-1 (2) 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
5	662	534	1756	534	2685	8738	○
4	2427	2314	1756	2314	5340	94624	○
3	3899	4094	1756	4094	7702	201605	○
B1	6105	6764	1756	6764	11243	415871	○

表 4-2 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の  
 建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
R	1398	1157	1756	1157	3732	36363	○
3	5517	5162	1756	5162	9854	215364	○
2	8386	8633	1756	8633	14458	294062	○
1	11255	12104	1756	12104	19063	497913	○

表 4-2 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の  
 建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
R	662	534	1756	534	2685	41119	○
3	3752	3560	1756	3560	7288	197790	○
2	5885	6141	1756	6141	10711	385352	○
1	8018	8722	1756	8722	14135	500345	○

表 4-3 (1) 分離精製工場 (MP) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力※	評価
	$W_W$ (kN)	$W_P$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
6	4046	3382	1756	3382	7493	59280	○
5	7601	6586	1756	6586	12650	109900	○
4	10789	9434	1756	9434	17262	188500	○
3	14124	12549	1756	12549	22154	330800	○
2	17900	16109	1756	16109	27710	594100	○
1	21161	19847	1756	19847	32840	784200	○

※ 分離精製工場は保有水平耐力を設定しておらず、せん断力  $Q$ -せん断ひずみ  $\gamma$  の関係 (トリリニア・スケルトンカーブ) における第 1 折点の値 ( $Q_3$ ) を用いて評価した (出典 再処理施設に関する設計及び工事の方法 (分離精製工場のクレーンホール鉄骨屋根等の耐震性向上対策工事) 平成 20 年 3 月)。

表 4-3 (2) 分離精製工場 (MP) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力※	評価
	$W_W$ (kN)	$W_P$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
6	2722	2581	1756	2581	5768	69660	○
5	6817	7387	1756	7387	12266	933000	○
4	9685	10858	1756	10858	16870	151900	○
3	12848	14685	1756	14685	21947	338800	○
2	16232	18601	1756	18601	27289	597300	○
1	19542	22606	1756	22606	32601	697000	○

※ 分離精製工場は保有水平耐力を設定しておらず、せん断力  $Q$ -せん断ひずみ  $\gamma$  の関係 (トリリニア・スケルトンカーブ) における第 1 折点の値 ( $Q_3$ ) を用いて評価した (出典 再処理施設に関する設計及び工事の方法 (分離精製工場のクレーンホール鉄骨屋根等の耐震性向上対策工事) 平成 20 年 3 月)。

表 4-4 (1) リサイクル機器試験施設 (RETF) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
6	3531	1958	1756	1958	6266	231780	○
5	5738	4628	1756	4628	9808	464315	○
4	8827	8188	1756	8188	14677	584015	○
3	12579	12638	1756	12638	20654	610611	○
2	16257	16910	1756	16910	26468	823738	○
1	20082	21538	1756	21538	32607	920746	○

表 4-4 (2) リサイクル機器試験施設 (RETF) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
6	1839	801	1756	801	3996	156278	○
5	3604	2937	1756	2937	6829	517536	○
4	6253	5785	1756	5785	10901	608963	○
3	8974	8989	1756	8989	15225	612925	○
2	11843	12104	1756	12104	19651	1083811	○
1	14638	15486	1756	15486	24137	1198892	○

表 4-5 (1) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の  
建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
R	588	534	1756	534	2611	7649	○
4	1986	1691	1756	1691	4588	31156	○
3	2942	2848	1756	2848	6122	32735	○
2	3899	4005	1756	4005	7657	43522	○
1	5002	5340	1756	5340	9428	53132	○

表 4-5 (2) ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術管理棟の  
建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
R	588	534	1756	534	2611	9395	○
4	1692	1424	1756	1424	4160	41600	○
3	2427	2314	1756	2314	5340	47935	○
2	3163	3204	1756	3204	6521	57359	○
1	3972	4183	1756	4183	7820	129271	○

表 4-6 (1) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の建家全体の評価結果 (NS 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
3	1545	1424	1756	1424	4013	6999	○
2	3457	3026	1756	3026	6726	18750	○
1	5664	5607	1756	5607	10224	29160	○

表 4-6 (2) クリプトン回収技術開発施設 (Kr) の建家全体の評価結果 (EW 方向)

階層	風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物の衝撃による荷重	複合荷重		保有水平耐力	評価
	$W_w$ (kN)	$W_p$ (kN)	$W_M$ (kN)	$W_{T1}$ (kN)	$W_{T2}$ (kN)	$Q_u$ (kN)	
3	2060	1869	1756	1869	4750	8182	○
2	3016	2670	1756	2670	6107	17977	○
1	4340	4183	1756	4183	8188	31727	○

表 4-7 各部材の強度評価結果 (屋上スラブ及び側面壁)

建家	部材	躯体厚 (mm)	設計竜巻による荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	部材の耐荷重 <sup>*1</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	評価 <sup>*2</sup>
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	屋上スラブ		10.58	21.18	○
	側壁面		8.90	31.09	○
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟	屋上スラブ		10.58	17.26	○
	側壁面		8.90	56.00	○

\*1 設計図書より当該箇所の耐荷重を引用

\*2 ○ : 部材の部材の耐荷重  $\geq$  設計竜巻による荷重

風圧力による荷重における速度圧と風力係数の設定について

風力係数C（建築基準法施行令ではCf）は、建築物の形状、規模等により異なり、当該高さの速度圧で基準化された値（無次元）である。「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」（以下「竜巻影響評価ガイド」という。）に従い、建築基準法施行令及び建築物荷重指針・同解説（日本建築学会）に基づきの表1のように設定する。

表1 風力係数Cの設定

適用	風力係数		備考	
外圧係数 Cpe <sup>※1</sup>	風上壁面	0.8kz	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成12年建設省告示第1454号に準拠</li> <li>鉛直分布パラメータ <math>k_z=1.0</math>（一定）とする。</li> <li>外圧係数は建物外→内向きが正</li> </ul>	
	側壁面	風上端部より0.5aの領域		-0.7
		上記以外の領域		-0.4
	風下壁面	-0.4		
陸屋根	風上端部より0.5aの領域	-1.0		
	上記以外の領域	-0.5		
内圧係数 Cpi	—		<ul style="list-style-type: none"> <li>別途、竜巻影響評価ガイドに基づく気圧低下量 <math>\Delta P_{max}</math> を考慮する。</li> </ul>	

※1 陸屋根面の領域を定めるパラメータ a (m) は、図1に示す風向に対する見付幅 B (m) と、建築物の高さと軒の高さとの平均 H (m) の2倍の数値のいずれか小さな数値 (min(B, 2H))

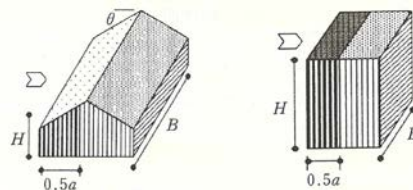


図1 閉鎖型の建築物（張り間方向に風を受ける場合）

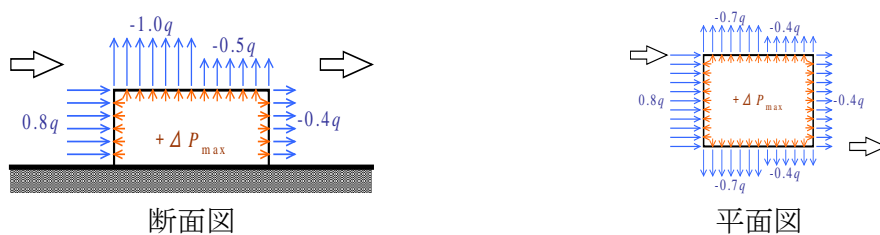


図2 竜巻影響評価に用いた速度圧 q と風圧係数 C の設定

## 屋外施設の竜巻影響評価

## 1. 評価方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の屋外に設置されるポンプ、冷却塔等の施設について、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による風圧力による荷重に対する構造健全性の評価、設計飛来物の衝突による局部破壊による評価を実施する。

また、設計飛来物の衝突による局部破壊としては、設計飛来物の貫通限界厚さと施設の構造材の厚さを比べて、貫通の有無を確認する。

## 2. 評価対象

## 2.1 評価対象施設

## ○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・二次系の送水ポンプ
- ・冷却塔
- ・浄水ポンプ
- ・浄水槽

## ○ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

- ・ポンプ
- ・冷却塔

## 2.2 評価部位

## ○風圧力による荷重に対する構造健全性

- ・評価上厳しくなる据付ボルト

## ○設計飛来物の衝突による局部破壊

- ・各施設の構成部材の厚さ

## 3. 風圧力による荷重に対する構造健全性の評価方法

## 3.1 評価方法

風圧力による荷重に対する構造健全性評価は、ポンプ、冷却塔等の風圧力による荷重と、耐震性についての計算書における水平地震力による荷重を比較し、水平地震力による荷重を超えないことを確認する。

風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える施設については、設計竜巻の風圧力による荷重、運転時荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

## 3.2 計算方法

## (1) 風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価



風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、「建築基準法施行令」, 「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第 1454 号 (平成 12 年 5 月 31 日)」に準拠し, 下式により算定する。

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

ここで,

$q$  : 設計用速度圧 6130 (N/m<sup>2</sup>)

$G$  : ガスト影響係数 1.0

$C$  : 風力係数 1.2 (風上面の風力係数 0.8+風下面の風力係数 0.4 として評価)

$A$  : 機器の受圧面積

水平地震力による水平荷重 $F$ は, 下式により算定する。

$$F = m \cdot g \cdot C_H$$

ここで,

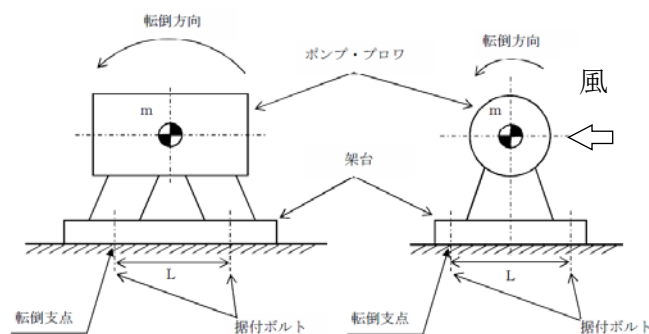
$m$  : 評価対象施設の総重量 (kg)

$g$  : 重力加速度 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)

$C_H$  : 評価対象施設を設置した階層の水平方向の静的解析用震度

(2) 風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える施設の構造強度評価

ポンプに対して, 設計竜巻の風圧力による荷重, 運転時荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。据付ボルトの強度評価には, 設計竜巻による荷重と水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え, 「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠した評価式を用いる。計算モデルを図3.2-1に示す。



(a) 軸方向転倒モデル (b) 軸直角方向転倒モデル

図3.2-1 ポンプの計算モデル

ポンプ等の発生応力の計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式に準じ、 $mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2}$ を $W_w h$ と置き換えて評価した。

構造強度評価は、算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

評価対象施設の主要寸法・仕様を表 3. 2-1 に示す。

a. 引張力 ( $F_b$ )

$$F_b = \frac{1}{L}(W_w h + mgC_p(h + l_1) + M_p - mgl_1)$$

ここで、

$W_w$  : 風圧力による荷重 (N)

$h$  : 据付面から重心までの距離 (m)

$L$  : 据付ボルトの支持間隔 (m)

$m$  : 評価対象設備の重量 (kg)

$g$  : 重力加速度 9. 80665 (m/s<sup>2</sup>)

$C_p$  : ポンプ振動による震度 (-)

$M_p$  : ポンプ回転により働くモーメント (N・m)

$l_1$  : 重心と据付ボルト間の水平方向距離

b. 据付ボルトの引張応力 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

ここで、

$n_f$  : 引張力の作用する据付ボルトの評価本数 (本)

$A_b$  : 据付ボルトの有効断面積 (m<sup>2</sup>)

c. 据付ボルトのせん断力 ( $Q_b$ )

$$Q_b = W_w + mgC_p$$

d. 据付ボルトのせん断応力 ( $\tau_b$ )

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

ここで、

$n$  : 据付ボルトの本数 (本)

#### e. 許容応力

許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格設計・建設規格JSME S NC1 2012」に準拠し、供用状態Dsにおける許容応力を用いた。供用状態Dsについては、温度は設計温度、自重については設計時の質量とし、それぞれ生じる荷重と設計竜巻の風圧力による荷重地震力を組み合わせた状態とした。

据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 3.2-2 に示す。

### 3.3 評価結果

風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価を表 3.3-1、風圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える機器の評価を表 3.3-2 に示す。

評価対象設備の風圧力による荷重が、風圧力による荷重が、廃止措置計画用設計地震動による水平地震力による荷重を超える機器についても、据付ボルトに発生する応力は、許容応力以下となることを確認した。

## 4. 設計飛来物の衝突による局部破壊

### 4.1 評価方針

動的機能を有するポンプ及び冷却塔については、設計飛来物の衝突に伴い、貫通又は変形が生じることにより、動的機能が失われ、安全機能を喪失するものとする。静的機器の浄水貯槽については、設計飛来物の衝突による局部破壊の評価を行う。

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価は、設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さと、評価対象設備を構成する部材の厚さを比較し、部材の厚さが設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さを超える場合は、貫通しないものと判断する。

### 4.2 計算方法

設計飛来物の鋼板に対する貫通力は、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式を用いて貫通限界厚さを算定する。

BRL 式

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで、

- T : 鋼板貫通限界厚さ (m)
- M : 飛来物の重量 135 (kg)
- V : 飛来物の最大水平衝突速度 51 (m/s)

- d : 飛来物の直径 0.276 (m)  
(設計飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)
- K : 鋼板の材質に関する係数 ( $\approx 1$ )

#### 4.3 評価結果

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果を表 4.3-1 に示す。浄水貯槽は、設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある。

#### 5. 設計飛来物への対策

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の安全機能 (閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能) を担う施設のうち建家屋上に設置されている設備については、風圧力による荷重に対して構造健全性を維持できるものの、設計飛来物の衝突に耐えるようにすることが困難かつ合理的でないことから、設計飛来物によって損傷を受けた際には、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備により閉じ込め及び崩壊熱除去に必要な安全機能が維持できるようにする。

以上

表 3.2-1 評価対象設備の主要寸法・仕様

	二次系の 送水ポンプ	浄水ポンプ
据付ボルトの支持間隔 $L$ (m)	0.5	0.30
ポンプ振動による震度 $C_p$ (-)	0.16	0.16
ポンプ回転により働くモーメント $M_p$ (N・m)	0	0
据付面から重心までの距離 $h$ (m)	0.38	0.30
重心と据付ボルト間の水平方向距離 $l_1$ (m)	0.25	0.15
据付ボルトの呼び径	M16	M12
据付ボルトの材質	SS400	SS400
据付ボルトの仕様温度	40	40
引張力の作用する据付ボルトの評価本数 $n_f$ (本)	2	2
据付ボルトの有効断面積 $A_b$ (m <sup>2</sup> )	$1.57 \times 10^{-4}$	$8.43 \times 10^{-5}$
据付ボルトの本数 $n$ (本)	4	4

表 3.2-2 据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

応力分類	許容応力
引張応力 (1.5ft)	$1.5 \times (F/1.5)$
せん断応力 (1.5fs)	$1.5 \times (F / (1.5\sqrt{3}))$

表 3.3-1 風圧力による荷重と水平地震力による荷重の比較評価

評価対象設備	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力 による荷重 W <sub>w</sub> (kN)	総重量 m (kg)	静的解析用 震度 C <sub>H</sub> (—)	水平地震力 による荷重 F (kN)	評価結果 (W <sub>w</sub> < F : ○, W <sub>w</sub> > F : ×)
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	二次系の送水ポンプ	1.1	575	1.36	7.7	×
	冷却塔	40.9	46700	1.36	622.9	○
	浄水ポンプ	0.5	193	1.36	2.6	×
	浄水貯槽	7.6	56	1.36	213.4	○
ガラス固化技術開発施設 (TVF)	ポンプ	2.3	1680	1.28	21.1	○
	冷却塔	18.0	17500	1.28	219.7	○

表 3.3-2 風/圧力による荷重が水平地震力による荷重を超える機器の構造強度評価

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 (発生応力/許容応力)
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW)	二次系の送水ポンプ	引張	14.2	280	0.05
		せん断	14.3	161	0.09
	浄水ポンプ	引張	19.0	280	0.07
		せん断	11.8	161	0.07

表4.3-1 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果

評価対象設備		部材厚さ (mm)	貫通限界厚さ (mm)	貫通の有無
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	浄水貯槽	8	8.9	有



## 屋外配管及びダクトの竜巻影響評価

## 1. 評価方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の屋外に設置される配管及び換気系のダクトについて、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による風圧力による荷重に対する構造健全性の評価を実施する。また、設計飛来物の衝突による局部破壊としては、設計飛来物の貫通限界厚さと施設の構造材の厚さを比べて、貫通の有無を確認する。

## 2. 評価対象

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家屋上の配管及びダクトは、鋼管又は鋼材で構成される。配管及びダクトは、建家壁及び架台等にサポートで固定されている。

評価対象の配管及びダクトの仕様を表2-1及び表2-2に示す。

## 2.1 評価対象施設

## ○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・二次冷却水系統（浄水系統を含む。）の配管
- ・セル換気系のダクト
- ・緊急放出系のダクト

## ○ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

- ・冷却水系統（浄水系統を含む。）の配管
- ・純水系統の配管
- ・セル換気系のダクト

## 2.2 評価部位

## ○風圧力による荷重に対する構造健全性

- ・配管及びダクト本体

## ○設計飛来物の衝突による局部破壊

- ・配管及びダクトの構成部材の厚さ

## 3. 風圧力による荷重に対する構造健全性の評価方法

## 3.1 評価方法

配管及びダクトは一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける場合は単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は配管外径ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。また、保温材を使用している配管は、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔

が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。なお、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の冷却水配管等のうち、一部配管については、配管端部が片持ち形状となって箇所があることから、片持ち形状での評価を行う。片持ちとした場合の配管及びダクトのモデル図を図3.1-1示す。

配管及びダクトの健全性評価は、設計竜巻の風圧力による荷重、運転時荷重及び自重により配管及びダクトに作用する応力等が許容限界に収まることを確認する。

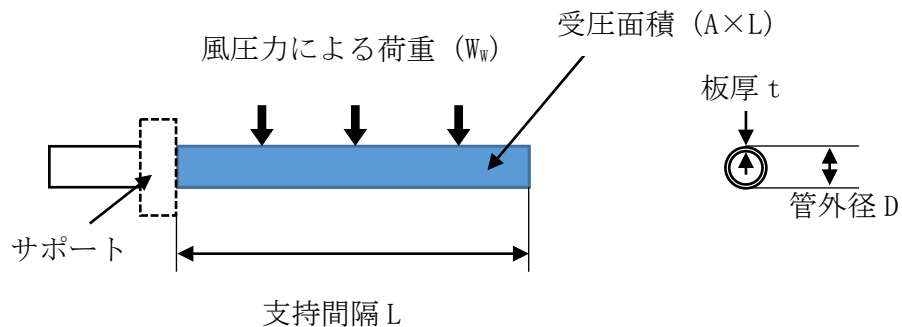


図3.1-1 配管及びダクト等の評価モデル図（片持ち）

### 3.2 計算方法

#### (1) 荷重の設定

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。なお、配管に保温材が巻かれている場合は保温材の重量についても考慮する。

##### b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) 及び気圧差による荷重 ( $W_p$ ) を考慮する。なお、それぞれの配管が仮に飛来物による衝撃荷重により損傷した場合には、速やかに補修対応を行うことから、飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

##### ○風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、「建築基準法施行令」，「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」及び「建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）」に準拠し、下式により算定する。

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

ここで、

$q$  : 設計用速度圧 6130 (N/m<sup>2</sup>)

$G$  : ガスト影響係数 1.0

C : 風力係数 1.2 (「建設物荷重指針・同解説 (2015)」の「表 A6.14 部材の風力係数 C」より風力係数 1.2 として評価)

A : 受圧面積 (m<sup>2</sup>)

○気圧差による荷重 (W<sub>p</sub>)

配管については、内外気圧差による圧力荷重W<sub>p</sub>を以下の式により設定する。

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

ここで、

$\Delta P_{max}$  : 最大気圧低下量 (8900 Pa)

A : 受圧面積 (m<sup>2</sup>)

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

強度評価に用いる荷重の組合せは、配管の評価対象部位ごとに設定する。配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。構造強度評価の荷重の組合せを表3.2-1に示す。

表3.2-1 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷却水配管</li> <li>・ 浄水配管</li> <li>・ 換気ダクト</li> </ul>	配管本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>①風圧力による荷重</li> <li>②気圧差による荷重</li> <li>③自重</li> <li>④内圧</li> </ul>
ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷却水配管</li> <li>・ 浄水配管</li> <li>・ 純水配管</li> <li>・ 換気ダクト</li> </ul>	配管本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>①風圧力による荷重</li> <li>②気圧差による荷重</li> <li>③自重</li> <li>④内圧</li> </ul>

### 3.3 発生応力の計算

(1) 風圧力により生じる応力 (σ<sub>w<sub>w</sub></sub>)

風圧力による荷重が配管及びダクトの支持スパンに等分布荷重として加わり、配管及びダクトに作用する曲げモーメントMにより、曲げ応力σ<sub>w<sub>w</sub></sub>を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{w_w} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w L^2}{2Z}$$

ここで,

$L$  : 配管及びダクトの支持間隔 (m)

$Z$  : 断面係数 (m<sup>4</sup>)

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

$D$  : 配管及びダクトの外径 (m)

$t$  : 配管及びダクトの厚さ (m)

(2) 気圧差により生じる応力 ( $\sigma_{W_p}$ )

気圧差により生じる応力 ( $\sigma_{W_p}$ ) は, 配管及びダクトの内外に作用する圧力差 $\Delta P$ により生じる一次一般膜応力が増加すると考え, その応力増加分を算定する。

$$\sigma_{W_p} = \frac{\Delta P D}{4t}$$

ここで,

$$\Delta P = P + \Delta P_{max}$$

$P$  : 運転時の内圧 (Pa)

以上より, 複合荷重により生じる応力 $\sigma_{W_{T1}}$ 及び $\sigma_{W_{T2}}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{W_{T1}} = \sigma_{W_p}$$

$$\sigma_{W_{T2}} = \sigma_{W_w} + 0.5\sigma_{W_p}$$

(3) 自重により生じる応力

$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{WL^2}{2Z}$$

ここで,

$$W = m \cdot g \text{ (N)}$$

$m$  : 配管及びダクトの自重 (kg)

$g$  : 重力加速度 9.80665 m/s<sup>2</sup>

(4) 組合せ応力

竜巻荷重及び自重により配管又はダクトに生じる組み合わせ応力 ( $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ ) は, 以下の式により算定する。

$$\sigma_1 = \sigma_{W_{T1}} + \sigma_{自重}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{W_{T2}} + \sigma_{自重}$$

### 3.4 許容限界

配管の許容限界は、JEAG4601を準拠し、「クラス2, 3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力を許容限界とする。配管及びダクトの許容限界を表3.4-1に示す。

表3.4-1 配管及びダクトの許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

### 3.5 評価結果

風圧力による荷重等により生じる応力の評価結果を表3.5-1及び表3.5-2に示す。屋外の配管及びダクトは、風圧力による荷重等に対して、構造健全性を維持できる。

## 4. 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価

### 4.1 評価方法

設計飛来物の鋼板に対する貫通力は、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）の中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されているBRL式を用いて貫通限界厚さを算定する。

設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さと、配管及びダクトの板厚さを比較し、配管及びダクトの板厚さが設計飛来物の鋼板に対する鋼板貫通限界厚さを超える場合は、貫通しないものと判断する。

BRL式

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで、

- T : 鋼板貫通限界厚さ (m)
- M : 設計飛来物の重量 135 (kg)
- V : 設計飛来物の最大水平衝突速度 51 (m/s)
- d : 設計飛来物の直径 0.276 (m)  
(設計飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)
- K : 鋼板の材質に関する係数 (≒1)

### 4.2 評価結果

設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果を表4.2-1に示す。屋外の配管及びダクトは設計飛来物の衝突により機能喪失する可能性がある。

## 5. 設計飛来物への対策

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を担う施設のうち、建家屋上に設置されている配管及びダクトについては、風圧力等による荷重には耐えられるものの、設計飛来物の衝突に耐えるようにすることが困難かつ合理的でない。

設計飛来物によって損傷を受けた際には、修復による対応や代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備により必要な安全機能を維持できるようにする。

以上

表2-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋外の配管及びダクトの仕様

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さあたりの質量 m (kg/m)	単位長さあたりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	運転時の内圧 P (MPa)
二次冷却水系統の配管	89.1	SUS304	60	2.92	3	7.24	0.1691	0.49
	114.3	SUS304	45	2.58	3	9.29	0.1943	0.49
	216.3	SUS304	60	3.60	4	22.36	0.2763	0.49
浄水系統の配管	60.5	SUS304	45	2.52	3.5	5.84	0.1605	0.539
	89.1	SUS304	45	2.92	3	7.52	0.1891	0.539
セル換気系のダクト	856	SUS304	40	4.18	3	63.5	0.8560	0.044
緊急放出系のダクト	406.4	SUS304	100	2.81	9	92.8	0.4064	0.029

\*1 設計温度

表2-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋外の配管及びダクトの仕様

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さあたりの質量 m (kg/m)	単位長さあたりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	運転時の内圧 P (MPa)
冷却水系統の配管	76.3	STPG370	55	2.48	5.2	9.62	0.1363	0.98
	89.1	STPG370	55	2.71	5.5	11.86	0.1491	0.98
	139.8	STPG370	55	3.37	6.6	22.50	0.1998	0.98
	165.2	STPG370	55	3.69	7.1	28.62	0.2252	0.98
	216.3	STPG370	55	4.26	8.2	43.26	0.2763	0.98
	267.4	STPG370	55	4.76	9.3	60.60	0.3274	0.98
	34	STPG370	55	2.00	3.4	3.03	0.1140	0.588
浄水系統の配管	48.6	STPG370	55	2.222	3.7	4.66	0.1286	0.588
	60.5	STPG370	55	2.45	3.9	6.07	0.1405	0.588
	114.3	STPG370	55	2.245	6	16.97	0.1943	0.588
	21.7	SUS304	55	0.45	2.8	1.71	0.1017	0.588
純水系統の配管	34	SUS304	55	2.00	3	2.78	0.1140	0.588
	34	STPG370	55	1.33	3.4	3.03	0.1140	0.588
	60.5	STPG370	55	2.95	3.9	6.07	0.1405	0.588
セル換気系のダクト	2708	SUS304	60	4.60	4	269.5	2.708	0.021
	2008	SUS304	60	5.50	4	199.7	2.008	0.021

\*1 設計温度



表3.5-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋外の配管及びダクトの風圧力による荷重に対する構造健全性の評価

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	組み合わせ応力		許容応力 Sy (MPa)	構造健全性の評価	
				$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)		$\sigma_1 < Sy$ : $\sigma_1 > Sy$ : X	$\sigma_2 < Sy$ : $\sigma_2 > Sy$ : X
二次冷却水系統の 配管	89.1	SUS304	60	12	95	188	○	○
	114.3	SUS304	45	12	68	200	○	○
	216.3	SUS304	60	15	73	188	○	○
浄水系統の配管	60.5	SUS304	45	10	66	200	○	○
	89.1	SUS304	45	13	87	200	○	○
セル換気系のダクト	856	SUS304	40	7	39	205	○	○
緊急放出系のダクト	406.4	SUS304	100	4	15	170	○	○

\*1 設計温度

表3.5-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋外の配管及びダクトの風圧力による荷重に対する構造健全性の評価

系統	管外径 D (mm)	材質	使用温度*1 (°C)	組み合わせ応力		許容応力 Sy (MPa)	構造健全性の評価	
				$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)		$\sigma_1 < Sy$ : ○ $\sigma_1 > Sy$ : ×	$\sigma_2 < Sy$ : ○ $\sigma_2 > Sy$ : ×
冷却水系統の配管	76.3	STPG370	55	11	57	200	○	○
	89.1	STPG370	55	12	59	200	○	○
	139.8	STPG370	55	15	59	200	○	○
	165.2	STPG370	55	16	60	200	○	○
	216.3	STPG370	55	17	58	200	○	○
	267.4	STPG370	55	19	56	200	○	○
浄水系統の配管	34	STPG370	55	7	60	200	○	○
	48.6	STPG370	55	8	61	200	○	○
	60.5	STPG370	55	9	65	200	○	○
	114.3	STPG370	55	8	30	200	○	○
	21.7	SUS304	55	6	10	192	○	○
	34	SUS304	55	8	67	192	○	○
純水系統の配管	34	STPG370	55	6	30	200	○	○
	60.5	STPG370	55	11	91	200	○	○
	2708	SUS304	60	7	15	188	○	○
セル換気系のダクト	2008	SUS304	60	7	24	188	○	○

\*1 設計温度

表4.2-1 設計飛来物の衝突による局部破壊の評価結果

評価対象		配管またはダクト の外径D (mm)	配管またはダクト の板厚さt (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	貫通 の有無
高放射性廃液 貯蔵場 (HAW)	二次冷却水系統 の配管	89.1	3	8.9	有
		114.3	3	8.9	有
		216.3	4	8.9	有
	浄水系統の配管	60.5	3.5	8.9	有
		89.1	3	8.9	有
	セル換気系のダクト	856	3	8.9	有
緊急放出系のダクト	406.4	9	8.9	無	
ガラス固化技術 開発施設 (TVF) ガラス固化技術 開発棟	冷却水系統の配管	76.3	5.2	8.9	有
		89.1	5.5	8.9	有
		139.8	6.6	8.9	有
		165.2	7.1	8.9	有
		216.3	8.2	8.9	有
		267.4	9.3	8.9	無
	浄水系統の配管	34	3.4	8.9	有
		48.6	3.7	8.9	有
		60.5	3.9	8.9	有
		114.3	6	8.9	有
	純水系統の配管	21.7	2.8	8.9	有
		34	3	8.9	有
		34	3.4	8.9	有
		60.5	3.9	8.9	有
	セル換気系のダクト	2708	4	8.9	有
		2008	4	8.9	有

## 屋内の施設で外気と繋がっている施設の竜巻影響評価

### 1. 評価方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）やガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟（以下「TVF開発棟」という。）の建家内に設置され、外気と繋がっているセル換気系統、緊急放出系統、槽類換気系統、セル換気系統及び固化セル換気系統のうち、ダクト（配管）、排風機及びフィルタのケーシングについて、廃止措置計画用設計竜巻（以下「設計竜巻」という。）による気圧差による荷重に対する構造健全性を評価する。

構造健全性としては、ダクト（配管）、排風機及びフィルタのケーシングの鋼板に面外荷重と面内荷重による応力が生じることを考慮し、設計竜巻荷重により鋼板が塑性変形せず、系統の健全性が維持されることを確認する。なお、建家内に設置されていることから、ダクト（配管）、排風機及びフィルタのケーシングに対しては、竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

また、外気の気圧低下が発生した場合において一時的に差圧が逆転した際に、閉じ込め機能の喪失に至らないことを確認する。

### 2. 評価対象及び評価部位

#### 2.1 評価対象

##### ○高放射性廃液貯蔵場（HAW）

- ・セル換気系のダクト（角ダクト、丸ダクト）
- ・セル換気系のフィルタ（ケーシング）
- ・セル換気系の排風機（ケーシング）
- ・緊急放出系のダクト（丸ダクト）
- ・緊急放出系のフィルタ（ケーシング）

##### ○TVF開発棟

- ・槽類換気系の配管
- ・槽類換気系のフィルタ（ケーシング）
- ・槽類換気系の排風機（ケーシング）
- ・セル換気系のダクト（丸ダクト）
- ・セル換気系のフィルタ（ケーシング）
- ・セル換気系の排風機（ケーシング）
- ・固化セル換気系のダクト（丸ダクト）
- ・固化セル換気系のフィルタ（ケーシング）
- ・固化セル換気系の排風機（ケーシング）

#### 2.2 評価部位

- ・ダクトの鋼板（配管）
- ・排風機（ケーシング）
- ・フィルタ（ケーシング）

### 3. 評価方法

#### 3.1 角ダクト

##### 3.1.1 考慮すべき荷重

角ダクトの鋼板に作用する荷重の概要図を図3.1.1-1に示す。角ダクトの設計竜巻による気圧差による影響評価で考慮する荷重は以下のとおり。

- ・竜巻によりダクトにかかる外圧P  
 （P=最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ （別添6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定に関する説明書」））
- ・運転時の圧力
- ・ダクト自重

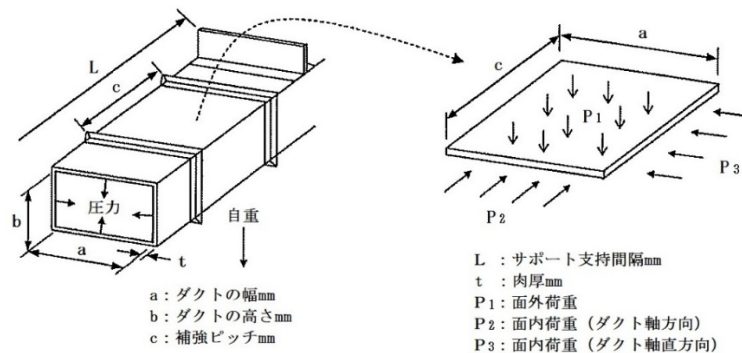


図3.1.1-1 角ダクト鋼板に作用する荷重の概要図

##### 3.1.2 発生応力の設定

###### (1) 面外荷重による発生力

面外荷重に対する評価は、ダクト鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持（周辺で水平、垂直方向の変位拘束、たわみ角は自由）の矩形板と仮定して行う。ダクト鋼板は、面外荷重により大きく撓み、膜引張応力状態で応力の釣合が保たれるため、大撓みの式が適用できる。

大撓みの式に、鋼板の自重 $D_p$ と外圧Pを適用したものを式①、②に示す。式①、②により、鋼板における最大発生応力 $\sigma_{max}$ 及び最大変位量 $\delta_{max}$ が得られる。

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{max}+4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max}+4t)}{c^2} \right\} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} (P + gD_p) = \frac{3}{4} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 c^2} + (3 - \nu^2) \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \left( \frac{\delta_{max}}{t} \right)^3 \dots \textcircled{2}$$

ここで、

- $\sigma_{max}$  : 最大発生応力 (MPa)
- $\delta_{max}$  : 最大変位量 (mm)
- $a$  : ダクト幅 (内寸) (mm)
- $c$  : 補強ピッチ (mm)
- $t$  : ダクト板厚 (mm)
- $P$  : ダクトにかかる外圧 (MPa)
- $D_p$  : 単位面積当たりのダクト鋼板の質量 (kg/mm<sup>2</sup>)
- $g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $\pi$  : 円周率
- $E$  : ヤング率 (MPa)
- $\nu$  : ポアソン比

(2) 面内荷重による発生力

薄肉の鋼板は圧縮荷重によって弾性座屈を起こすが、ダクト自体の耐力は弾性安定限界より遥かに大きく、クリッピングの発生限界によって定まるものとして評価を行う。軸方向と軸直方向の面内荷重の概要図を図 3. 1. 2-1 に、鋼板と補強部材による面内荷重の概要図を図 3. 1. 2-2 に示す。

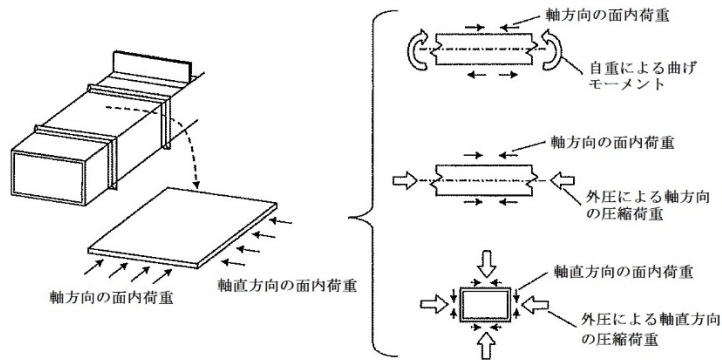


図 3. 1. 2-1 軸方向と軸直方向の面内荷重

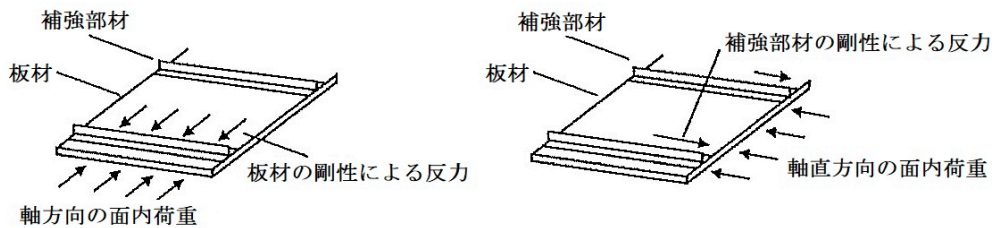


図 3. 1. 2-2 鋼板と補強部材による面内荷重

クリッピングの発生限界を評価するための概念としては、“有効巾”という考えがある。鋼板を図 3.1.2-3 に示すように、両面のウェブにより単純支持された梁と仮定すると、鋼板の中央部は面内荷重により弾性座屈を起し、荷重を負担する事が出来ない状態となる。

ただし、支持端より一定の範囲では圧縮荷重を負担できる範囲が存在する。この範囲を有効巾  $\omega$  と呼ぶ。

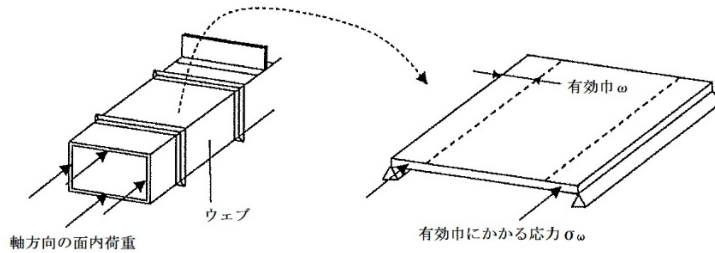


図 3.1.2-3 有効巾の算出に適用するモデル

面内荷重により有効巾にかかる応力を  $\sigma_\omega$  とすると、有効巾  $\omega$  と  $\sigma_\omega$  は式③の関係を持つ事が知られている。

$$\omega = \frac{\pi t}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \sqrt{\frac{E}{\sigma_\omega}} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$\sigma_\omega$  が降伏応力  $\sigma_y$  を超えた時にクリッピングが生じると仮定すると、 $\sigma_\omega = \sigma_y$  とした場合の  $\omega$  がクリッピングの生じない範囲での最小値の  $\omega$  となる。

当該評価では  $\sigma_\omega = \sigma_y$  とした場合の  $\omega$  を用いる。

a. 外圧による発生応力

外圧により、鋼板には  $abP$  で表される大きさの軸方向の圧縮荷重が与えられる。これを図 3.1.2-4 に示す  $8t\omega$  の面積で負担すると仮定すると、この面積における発生応力  $\sigma_{P1}$  は式④で表される。

$$\sigma_{P1} = \frac{abP}{8\omega t} \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

式③にて、 $\sigma_\omega = \sigma_y$  とした場合の  $\omega$  を式④に代入すると、式⑤が得られる。

$$\sigma_{P1} = \frac{abP}{8\pi t^2} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{E}} \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

6-1-4-4-4-6-4

ここで、

- $\sigma_{P1}$  : 外圧による発生応力 (MPa)
- $a$  : ダクト幅 (内寸) (mm)
- $b$  : ダクト高さ (内寸) (mm)
- $t$  : ダクト板厚 (mm)
- $\pi$  : 円周率
- $E$  : ヤング率 (MPa)
- $\nu$  : ポアソン比
- $\sigma_y$  : 降伏応力 (MPa)

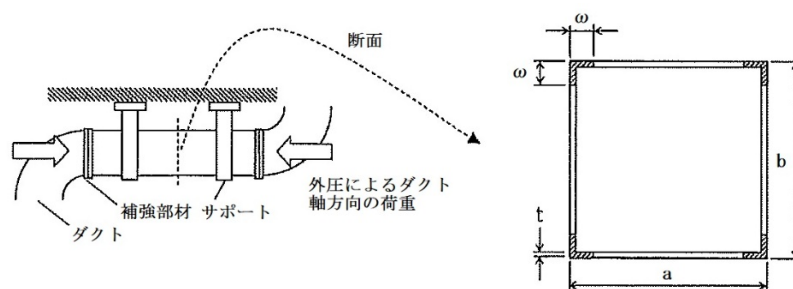


図 3.1.2-4 荷重を負担する領域

b. 自重による発生応力

自重等により、ダクトには曲げモーメントが生じる。この曲げモーメントに関し、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあると仮定すると、曲げモーメントによる引張側のフランジにおける発生応力  $\sigma_T$  と圧縮側のフランジにおける発生応力  $\sigma_{P2}$  の関係式は式⑥で表される。フランジにおける荷重を負担する領域の概要図を図3.1.2-5に示す。

$$2\omega t \sigma_{P2} = a t \sigma_T \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

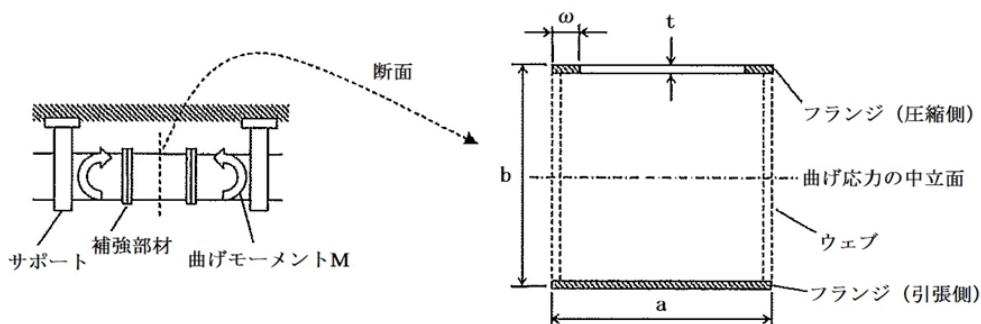


図 3.1.2-5 フランジにおける荷重を負担する領域



ダクトの断面2次モーメントを  $I$  とすると、ダクトにかかる曲げモーメント  $M$  は式⑦で表される。

$$M = \frac{2I\sigma_T}{b} \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

式⑥、⑦を  $\sigma_T$  について整理すると式⑧が得られる。

$$M = \frac{4I\omega\sigma_{P2}}{ab} \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

式⑧に、 $\sigma_\omega = \sigma_y$  とした場合の  $\omega$  を代入すると、 $\sigma_{P2}$  と  $M$  の関係を示す式⑨が得られる。

$$M = \frac{tI}{ab} \sqrt{\frac{4\pi^2 E \sigma_{P2}^2}{3(1-\nu^2)\sigma_\omega}} = \frac{tI}{ab} \sqrt{\frac{4\pi^2 E (\sigma_\omega - \sigma_{P1})^2}{3(1-\nu^2)\sigma_\omega}} \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$\sigma_\omega = \sigma_{P1} + \sigma_{P2}$$

ここで、

- $M$  : ダクトにかかる曲げモーメント (N・mm)
- $\sigma_{P1}$  : 外圧による発生応力 (MPa)
- $a$  : ダクト幅 (内寸) (mm)
- $b$  : ダクト高さ (内寸) (mm)
- $I$  : 断面2次モーメント (mm<sup>4</sup>)
- $t$  : ダクト板厚 (mm)
- $\pi$  : 円周率
- $E$  : ヤング率 (MPa)
- $\nu$  : ポアソン比

### 3.1.3 許容値

竜巻による負圧を短期荷重とみなし、構成するダクト鋼板の変形を弾性域に抑えるため、長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による応力が降伏応力を超えない事を制限とする。

#### (1) 面外荷重による許容応力

長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による最大発生応力  $\sigma_{\max}$  を降伏応力  $\sigma_y$  以下とす

る。

$$\sigma_{\max} (\text{面外荷重による最大発生応力}) \leq \sigma_y (\text{許容応力})$$

(2) 面内荷重による許容応力

a. 外圧に対する許容応力

外圧による軸方向の圧縮応力  $\sigma_{P1}$  が降伏応力  $\sigma_y$  以下となるようにする。

$$\sigma_{P1} (\text{外圧による発生応力}) \leq \sigma_y (\text{許容応力})$$

b. 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対する許容応力

外圧（竜巻による差圧）、自重による軸方向の圧縮応力の和  $\sigma_w$  が降伏応力  $\sigma_y$  を超えない事とし、下式を満足するものとする。

$$M_P \leq \frac{tI}{ab} \sqrt{\frac{4\pi^2 E (\sigma_y - \sigma_{P1})^2}{3(1 - \nu^2) \sigma_y}}$$

ここで、

$$M_P = \frac{g\mu L^2}{8}$$

$$I = \frac{(a + 2t)(b + 2t)^3 - ab^3}{12}$$

$L$  : ダクトサポートの支持間隔 (mm)

$\mu$  : ダクトの単位長さ当たりの質量 (kg/mm)

### 3.2 丸ダクト（配管）

#### 3.2.1 考慮すべき荷重

丸ダクトに作用する荷重の概要図を図3.2.1-1に示す。丸ダクト（配管）の設計竜巻による気圧差による影響評価で考慮する荷重は、以下のとおり。

- ・ 竜巻により丸ダクト（配管）にかかる外圧  $P$  (=最大気圧低下量  $\Delta P_{\max}$ )
- ・ 運転時の圧力
- ・ 丸ダクト（配管）自重

丸ダクト（配管）は、耐圧壁を構成する管状の鋼板と成形・接続用の補強部材から成る。ダクトの耐力はクリッピングの発生限界にて規定される。

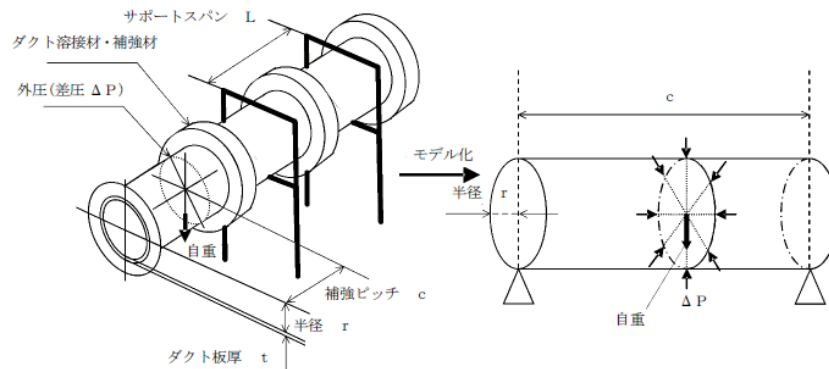


図3.2.1-1 丸ダクトの評価モデルの概要図

### 3.2.2 発生応力の設定

#### (1) 外圧によるクリッピング発生条件

外圧によりクリッピングが生じる際の周方向応力（座屈応力） $\sigma_{crip}$ は、式⑩にて求められる。

$$\sigma_{crip} = \frac{k_p \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2 \quad \dots \dots \dots \text{⑩}$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12Z_c^2}{\pi^4(1 + \beta^2)^2(0.5 + \beta^2)}$$

$$\beta = \frac{cn}{\pi r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{rt} \sqrt{1 - \nu^2}$$

ここで、

$\sigma_{crip}$  : 周方向応力（座屈応力）(MPa)

$k_p$  : 座屈係数

$\beta$  : 円筒かくの座屈応力の式における係数

$n$  (波数) は、「1, 2, 3……」と上げていき、 $\sigma_{crip}$ が最小値となる値とする。

$Z_c$  : 形状係数

$r$  : 丸ダクト（配管）のダクト半径 (mm)

$c$  : 補強ピッチ (mm)

$t$  : ダクト板厚 (mm)

$\pi$  : 円周率

$E$  : ヤング率 (MPa)  
 $\nu$  : ポアソン比

(2) 自重によるクリッピング発生条件

自重等による曲げによりクリッピングが生じる際の曲げモーメント  $M_{crip}$  は、式⑩にて求められる。

$$M_{crip} = \frac{4\sqrt{2}}{27} \pi \frac{E}{1-\nu^2} r t^2 \quad \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

3.2.3 許容値

(1) 外圧に対する許容値

外圧による周方向応力は、座屈応力  $\sigma_{crip}$  を超えない事とする。

$$\sigma_{crip1} \text{ (外圧による周方向応力)} \leq \sigma_{crip} \text{ (座屈応力)}$$

ここで、

$$\sigma_{crip1} = \frac{Pr}{t} \quad \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

(2) 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) に対する許容値

自重による曲げモーメント  $M_P$  と外圧  $P$  の組み合わせが、下式を満足するものとする。

$$\left( \frac{M_P}{M_{crip}} \right)^2 + \frac{\sigma_{crip1}}{\sigma_{crip}} \leq \frac{1}{1.1} (= 0.9)$$

ここで、

$$M_P = \frac{g\mu L^2}{8}$$

$L$  : ダクト (配管) サポートの支持間隔 (mm)

$\mu$  : ダクト (配管) の単位長さ当たりの質量 (kg/mm)

3.3 排風機 (ケーシング)

3.3.1 考慮すべき荷重

排風機 (ケーシング) に設計竜巻による気圧差による影響評価で考慮する荷重は、以下のとおり。

- ・排風機 (ケーシング) にかかる外圧  $P$  (=最大気圧低下量  $\Delta P_{max}$ )

- ・運転時の圧力
- ・排風機（ケーシング）の自重

排風機（ケーシング）を丸ダクトとして考え、耐力はクリッピングの発生限界にて規定されるものとして評価する。

### 3.3.2 発生応力の設定

#### (1) 外圧によるクリッピング発生条件

外圧によりクリッピングが生じる際の周方向応力（座屈応力） $\sigma_{crip}$ は、式⑩にて求められる。

$$\sigma_{crip} = \frac{k_p \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2 \quad \dots \dots \dots \text{⑩}$$

$$k_p = \frac{(1+\beta^2)^2}{0.5+\beta^2} + \frac{12Z_c^2}{\pi^4(1+\beta^2)^2(0.5+\beta^2)}$$

$$\beta = \frac{cn}{\pi r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{rt} \sqrt{1-\nu^2}$$

ここで、

$\sigma_{crip}$  : 周方向応力（座屈応力）(MPa)

$k_p$  : 座屈係数

$\beta$  : 円筒かくの座屈応力の式における係数

n（波数）は、「1, 2, 3……」と上げていき、 $\sigma_{crip}$ が最小値となる値とする。

$Z_c$  : 形状係数

$r$  : ケーシングの半径 (mm)

$c$  : ケーシング長さ (mm)

$t$  : ケーシング厚さ (mm)

$\pi$  : 円周率

$E$  : ヤング率 (MPa)

$\nu$  : ポアソン比

#### (2) 自重によるクリッピング発生条件

自重等による曲げによりクリッピングが生じる際の曲げモーメント  $M_{crip}$  は、式⑪にて求められる。

$$M_{crip} = \frac{4\sqrt{2}}{27} \pi \frac{E}{1-\nu^2} r t^2 \quad \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

### 3.3.3 許容値

#### (1) 外圧に対する許容値

外圧による周方向応力は，座屈応力  $\sigma_{crip}$  を超えないこととする。

$$\sigma_{crip1} \text{ (外圧による周方向応力)} \leq \sigma_{crip} \text{ (座屈応力)}$$

ここで，

$$\sigma_{crip1} = \frac{Pr}{t} \quad \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

#### (2) 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）に対する許容値

自重による曲げモーメント  $M_p$  と外圧  $P$  の組み合わせが，下式を満足するものとする。

$$\left( \frac{M_p}{M_{crip}} \right)^2 + \frac{\sigma_{crip1}}{\sigma_{crip}} \leq \frac{1}{1.1} (= 0.9)$$

ここで，

$$M_p = \frac{g\mu L^2}{8}$$

$L$  : ケーシング長さ (mm)

$\mu$  : ケーシングの単位長さ当たりの質量 (kg/mm)

## 3.4 フィルタ（ケーシング）

### 3.4.1 考慮すべき荷重

フィルタ（ケーシング）鋼板の設計竜巻による気圧差による影響評価で考慮する荷重は，以下のとおり。

- ・ ケーシング等の鋼板にかかる外圧  $P$  (=最大気圧低下量  $\Delta P_{max}$ )
- ・ 運転時の圧力
- ・ ケーシング等の鋼板の自重

### 3.4.2 発生応力の設定

最大面積を持つケーシングを4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の矩形板と仮定する。ケーシングの鋼板は，面外荷重により大きく撓み，膜引張応力状態で応力の釣合が保たれるため，大撓みの式が適用できる。

大撓みの式に、ケーシングの自重 $D_p$ と外圧 $P$ を適用したものを式⑬、⑭に示す。式⑬、⑭により、鋼板における最大発生応力 $\sigma_{max}$ 及び最大変位量 $\delta_{max}$ が得られる。

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{b^2} \right\} \quad \cdot \cdot \text{⑬}$$

$$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E t^4} (P + g D_p) = \frac{3}{4} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 b^2} + (3-\nu^2) \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{b^4} \right) \right\} \left( \frac{\delta_{max}}{t} \right)^3 \quad \cdot \cdot \text{⑭}$$

ここで、

- $\sigma_{max}$  : 最大発生応力 (MPa)
- $\delta_{max}$  : 最大変位量 (mm)
- $a, b$  : 矩形形状寸法 (mm) (ただし、矩形寸法の短辺を  $a$ 、長辺を  $b$  とする。)
- $t$  : ケーシングの板厚 (mm)
- $P$  : ケーシングにかかる外圧 (Pa)
- $D_p$  : 単位面積当たりのフィルタ (ケーシング) 等の鋼材の質量 (kg/mm<sup>2</sup>)
- $g$  : 重力加速度 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- $\pi$  : 円周 3.14159
- $E$  : ヤング率 (MPa)
- $\nu$  : ポアソン比 0.3

### 3.4.3 許容値

竜巻による負圧を短期荷重とみなし、フィルタ (ケーシング) の鋼板の変形を弾性域に抑えるため、長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による最大発生応力 $\sigma_{max}$ を降伏応力 $\sigma_y$ 以下とする。

$$\sigma_{max} (\text{面外荷重による最大発生応力}) \leq \sigma_y (\text{許容応力})$$

## 4. 外気の気圧低下時において一時的に差圧が逆転した場合の閉じ込め機能への影響

設計竜巻により、外気の気圧低下が発生した場合は、施設の負圧が一時的に担保できない可能性がある。一時的な差圧の逆転は、再処理施設安全審査指針に記載されている「原則として、常時負圧が保たれていること」との要求事項に対し、換気設備の過渡的な運転状態において以下のとおり安全上問題がないことを整理している。

- 外部電源喪失においては、換気系統の排風機の排気機能が一時的に低下するものの、非常用発電機系統に接続することにより、閉じ込め機能を維持することができる。
- 排風機の故障により、換気系統の排風機の排気機能が一時的に低下するものの、予備機が自動的に立ち上がることにより、閉じ込め機能を維持することができる。
- 仮に、換気系統の排風機が停止し、予備機が自動的に切り替らず、排気機能が停止しても

運転員による対応が可能であり、閉じ込め機能を維持することができる。

また、一時的に差圧の逆転が生じる可能性のある建家の換気系統の排風機の停止時には、入域者に対し、半面マスクの着用、実施中の作業の中断及び当該建家からの退避を指示することが定められている。

## 5. 評価結果

### 5.1 構造健全性評価

角ダクトの評価結果を表4.1-1に、丸ダクトの評価結果を表4.2-1、排風機（ケーシング）の評価結果を表4.3-1に、フィルタ（ケーシング）の評価結果を表4.4-1に示す。これら結果のとおり、設計竜巻により生じる気圧差による荷重に対して構造健全性は確保できる。

### 5.2 外気の気圧低下時において一時的に差圧が逆転した場合の閉じ込め機能への影響

設計竜巻により、換気設備の過渡的な運転状態における一時的な差圧の逆転が生じたとしても、放射性物質が機器及び換気系統内に閉じ込められている状態であること、竜巻による気圧低下が非常に短時間であること、予め対応要領が定められていることで排風機の起動または切り替え対応等が可能であることから、閉じ込め機能は維持できると考える。



表4.1-1 角ダクトの評価結果

施設	ダクトサイズ [幅×高さ×板厚] (mm)	材質	評価温度 (°C)	縦弾性係数*1 E (MPa)	面外荷重 (MPa)		外圧による面内荷重 (MPa)		長期(自重)+短期(竜巻)に よる面内荷重		評価
					発生応力 $\sigma_{max}$	許容応力*1 $\sigma_y$	発生応力 $\sigma_{PI}$	許容応力*1 $\sigma_y$	発生モーメント Mp (kN・mm)	許容値*2 (kN・mm)	
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW) セル換気系	400×400×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	111	215	1.7	215	2.4×10 <sup>3</sup>	3.6×10 <sup>4</sup>	○
	650×250×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	117	215	1.8	215	1.6×10 <sup>3</sup>	1.9×10 <sup>4</sup>	○
	800×450×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	121	215	3.9	215	4.1×10 <sup>2</sup>	3.5×10 <sup>4</sup>	○
	800×800×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	121	215	6.8	215	3.8×10 <sup>2</sup>	7.0×10 <sup>4</sup>	○
	1000×1000×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	129	215	10.6	215	9.3×10 <sup>2</sup>	8.6×10 <sup>4</sup>	○
	1100×600×2.3	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	133	215	7.0	215	7.9×10 <sup>2</sup>	4.6×10 <sup>4</sup>	○

\*1 : SS400 の設計降伏点 Sy として評価

\*2 : 
$$\frac{tI}{ab} \sqrt{\frac{4\pi^2 E(\sigma_y - \sigma_{P1})^2}{3(1-\nu^2)\sigma_y}}$$

表4.2-1 丸ダクトの評価結果

施設	対象ダクト	外径 (mm) 又は呼び径 (A) ×板厚 (mm) ×補強ピッチ (m)	材質	評価温度 (°C)	縦弾性係数*1 E (MPa)	気圧差による周方向応力 (MPa)		長期(自重)+短期(竜巻)による制限値		評価
						発生応力 $\sigma_{crip1}$	許容応力 $\sigma_{crip}$	組み合わせ荷重比*2	制限値	
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW)	セル 換気系	φ850×3.0×約3.4	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	1.9	14.7	0.13	0.9	○
		φ850×3.0×約1.8	SPCC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	1.9	27.0	0.07	0.9	○
	緊急 放出系	400×9.0×約7.3	SUS304L	100	1.89×10 <sup>5</sup>	0.3	44.9	0.01	0.9	○
		400×9.0×約1.5	SUS304L	100	1.89×10 <sup>5</sup>	0.3	225.1	0.01	0.9	○
ガラス固化 技術開発施設 (TVF) ガラス固化 技術開発棟	セル 換気系	φ1400×4.0×約4.0	SUS304	60	1.92×10 <sup>5</sup>	6.5	13.4	0.38	0.9	○
		φ1400×3.2×約4.3	SEHC	60	2.00×10 <sup>5</sup>	6.5	9.5	0.68	0.9	○
		φ1400×3.2×約3.0	SEHC	60	2.00×10 <sup>5</sup>	6.5	13.2	0.49	0.9	○
	セル 換気系	φ1400×3.2×約3.0	SEHC	60	2.00×10 <sup>5</sup>	6.5	13.2	0.49	0.9	○
		φ2000×3.2×約2.6	SEHC	60	2.00×10 <sup>5</sup>	9.3	12.9	0.71	0.9	○
		φ1300×3.2×約2.0	SEHC	60	2.00×10 <sup>5</sup>	6.0	21.0	0.29	0.9	○

\*1 : SPCC 及び SEHC は、SS400 として評価。

\*2 : 組み合わせ荷重比 :  $\left(\frac{M_P}{M_{crip}}\right)^2 + \frac{\sigma_{crip1}}{\sigma_{crip}}$

表4.3-1 排風機（ケーシング）の部材の強度評価結果

施設	対象	外板の最大面積 [幅×高さ×板厚] (mm)	材質	評価温度 (°C)	縦弾性係数*1 E (MPa)	気圧差による周方向応力 (MPa)		長期(自重)+短期(巻巻) による制限値		評価
						発生応力 $\sigma_{crip1}$	許容応力 $\sigma_{crip}$	組み合わせ荷重比*2	制限値	
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW)	セル換気系 排風機 (ケーシング)	1376×1350×3.2	SPHC	20	$2.02 \times 10^5$	2.9	84.8	0.04	0.9	○
	槽類換気系 排風機 (ケーシング)	800×614×3.2	SUS304	160	$1.85 \times 10^5$	3.6	82.5	0.05	0.9	○
ガラス固化 技術開発施設 (TVF)	セル換気系 排風機 (ケーシング)	2367×720×4.5	SUS304	40	$2.01 \times 10^5$	4.0	76.3	0.01	0.9	○
	固化セル換気系 排風機 (ケーシング)	1140×100×4	SUS304	60	$1.92 \times 10^5$	1.7	834.2	0.06	0.9	○

\*1：SPCC 及び SEHC は、SS400 として評価。

\*2：組み合わせ荷重比：
$$\left(\frac{M_P}{M_{crip}}\right)^2 + \frac{\sigma_{crip1}}{\sigma_{crip}}$$

表4.4-1 フィルタ（ケーシング）の部材の強度評価結果

施設	対象	外板の最大面積 [幅×高さ×厚さ] (mm)	材質	評価 温度 (°C)	縦弾性係数*1 E (MPa)	竜巻による気圧差 による最大発生応力 $\sigma_{max}$ (MPa)	許容応力 $\sigma_y$ (MPa)	評価
高放射性 廃液貯蔵場 (HAW)	セル換気系 フィルタ (ケーシング)	850×2000×3	SUS304	100	1.89×10 <sup>5</sup>	109	170	○
	緊急放出系 フィルタ (ケーシング)	3740×2085×2.85	SUS304L	110	1.88×10 <sup>5</sup>	133	142	○
ガラス固化技術 開発施設 (TVF) ガラス固化技術 開発棟	槽類換気系 フィルタ (ケーシング)	910×2200×6	SUS304	100*2	1.83×10 <sup>5</sup>	155	170	○
	セル換気系 フィルタ (ケーシング)	2550×2270×3	SUS304	40	2.01×10 <sup>5</sup>	131	205	○
	セル換気系 フィルタ (ケーシング)	2490×2275×3.2	SEHC	40	2.01×10 <sup>5</sup>	116	215	○
	セル換気系 フィルタ (ケーシング)	830×2270×3	SUS304	40	2.01×10 <sup>5</sup>	114	205	○
	セル換気系 フィルタ (ケーシング)	2490×2270×3	SUS304	40	2.01×10 <sup>5</sup>	111	205	○
	固化セル換気系 フィルタ (ケーシング)	850×2640×5	SUS304	60	1.92×10 <sup>5</sup>	101	188	○

\*1： SEHC は、SS400 として評価。

\*2： 後段の排風機の吸込側の温度（60°C～100°C（参考値））から設定。

## 設計飛来物に対する建家外壁の健全性評価

## 1. 評価方針

竜巻影響評価のうち、竜巻防護施設を内包する高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の竜巻防護施設を内包する建家の側壁面及び屋上スラブに対して、設計飛来物として選定した鋼製材（4.2 m×0.3 m×0.2 m，135 kg）が衝突した際の健全性評価を行う（図1，2参照）。

なお、建家の開口部（窓，扉）については、竜巻防護対策として鉄板等による閉止措置を実施する。

## 2. 評価方法

コンクリートに対する貫通力は、設計飛来物の衝突に対する評価として、NE107-13 及び米国 NRC の基準類に算定式として記載されている修正 NDRC 式(①式)を用いて貫入深さ $x_c$ を、Degen の式(②式)により貫通限界厚さ $t_p$ を求めた。

$\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2$  の場合

$$\frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

$\frac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2$  の場合

$$\frac{x_c}{d} = \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1$$

①

$\frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52$  の場合

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

$1.52 \leq \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42$  の場合

$$t_p = \alpha_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left( \frac{x_c}{\alpha_c d} \right) \right\}$$

②

ここで、

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 210 kgf/cm<sup>2</sup>

ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 225 kgf/cm<sup>2</sup>

$d$  : 飛来物の直径 (cm) (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

- $M$  : 飛来物の重量 (kg)  
 $V$  : 飛来物の衝突速度 (m/s)  
 $N$  : 飛来物の先端形状係数 1.14  
「構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法」(土木学会)を参考に設定。保守的な評価となる、非常に鋭い場合の数値を一律使用した。
- $\alpha_c$  : 飛来物の低減係数 : 1.0  
 $\alpha_p$  : 飛来物の低減係数 : 1.0  
保守的な評価となる、剛の場合の数値を一律使用した。

簡易評価の結果、裏面剥離や貫通する可能性のある側壁面及び屋上スラブに対して、「コンクリート構造物の衝撃破壊挙動解析に係るコード整備」(平成 15 年度 独立行政法人 原子力安全基盤機構)において検討例があり、更に JSMES NX6-2019「発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン」に詳細な解析手法に用いることができるものとして示されている衝突解析ソフト (AUTODYN) を用いて詳細評価を行った。

その結果、全ての評価ケースにおいて、衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋に破損は生じず、コンクリートの裏面剥離も生じない結果を得られている(別紙参考 6-1-4-4-4-7-1「設計飛来物の衝突による局部破壊(貫通または裏面剥離)の詳細評価」参照)。

以上のことから、設計飛来物の衝突により、建家内の竜巻防護施設の健全性を維持できるものと考えている。 以上

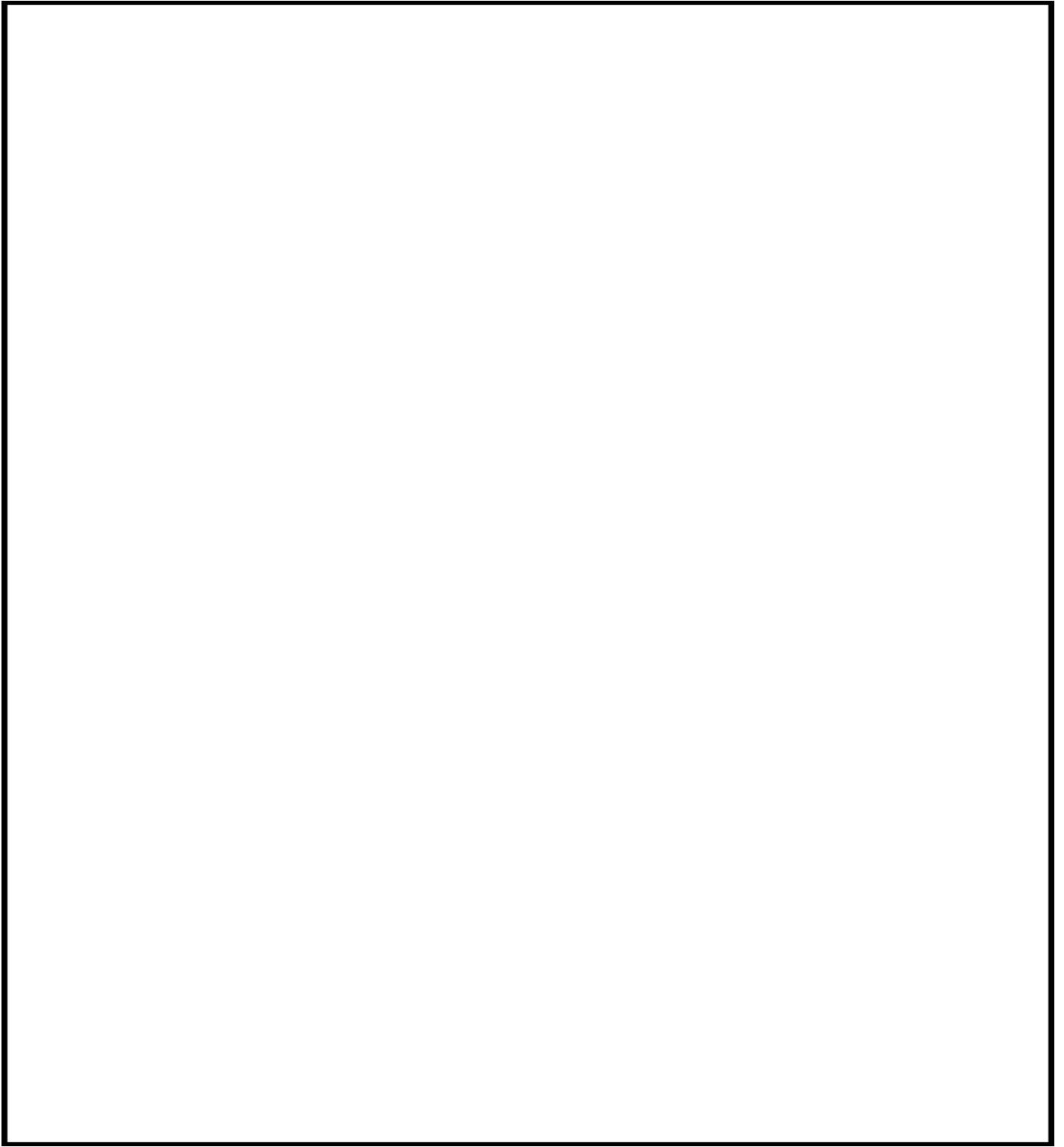


図 1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の平面図 (1/5)

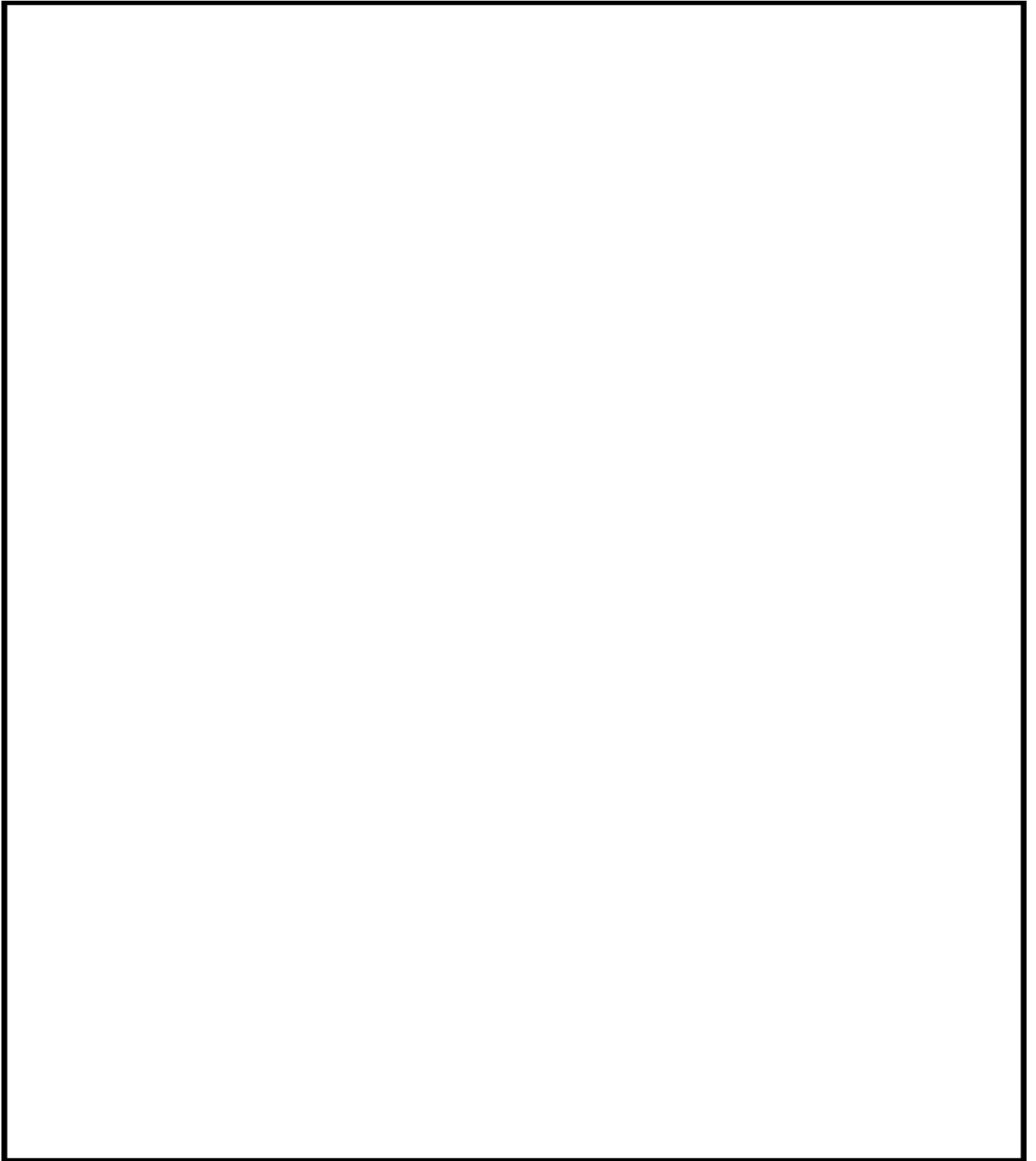


図 1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の平面図 (2/5)



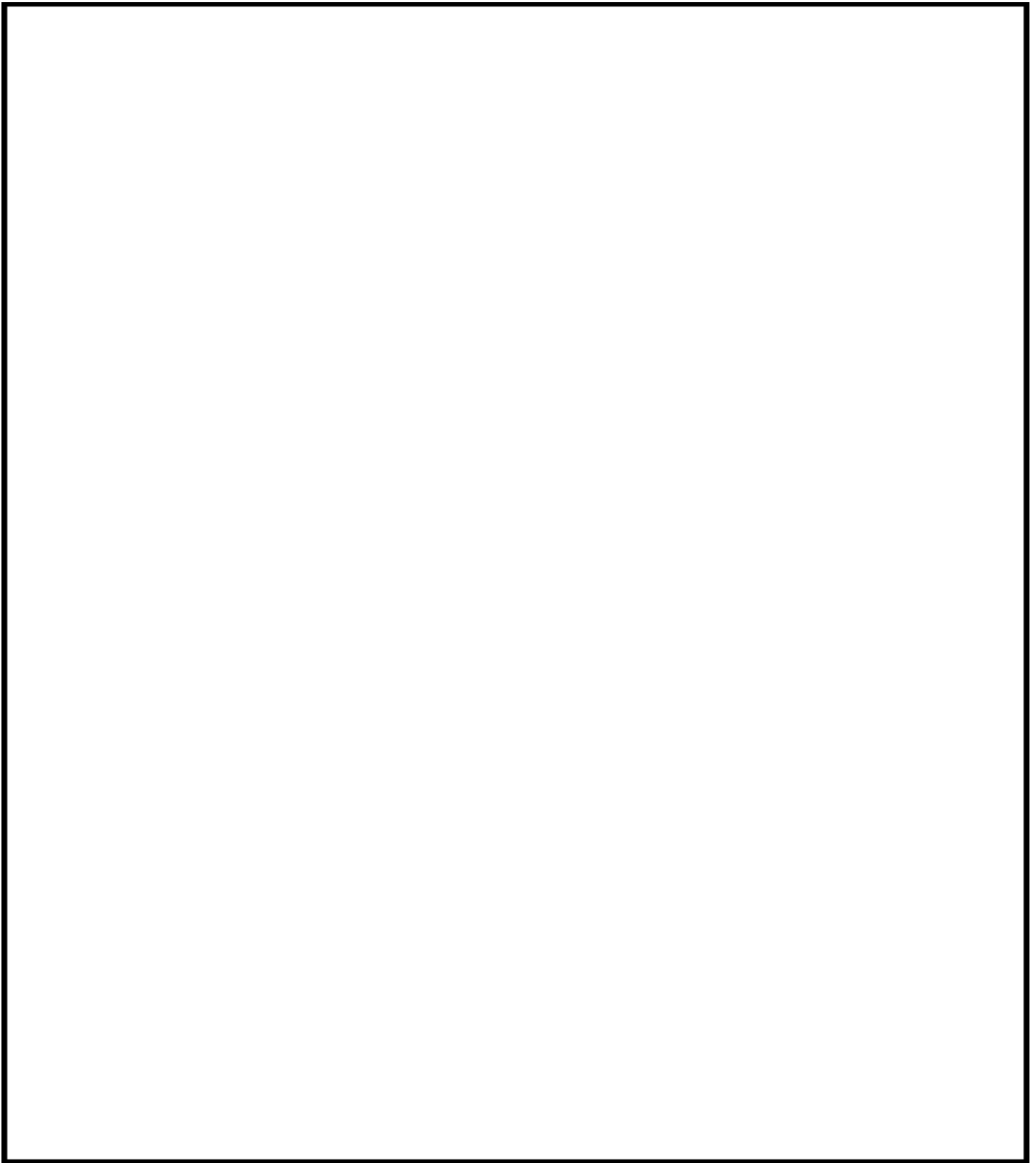


図 1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の平面図（3/5）

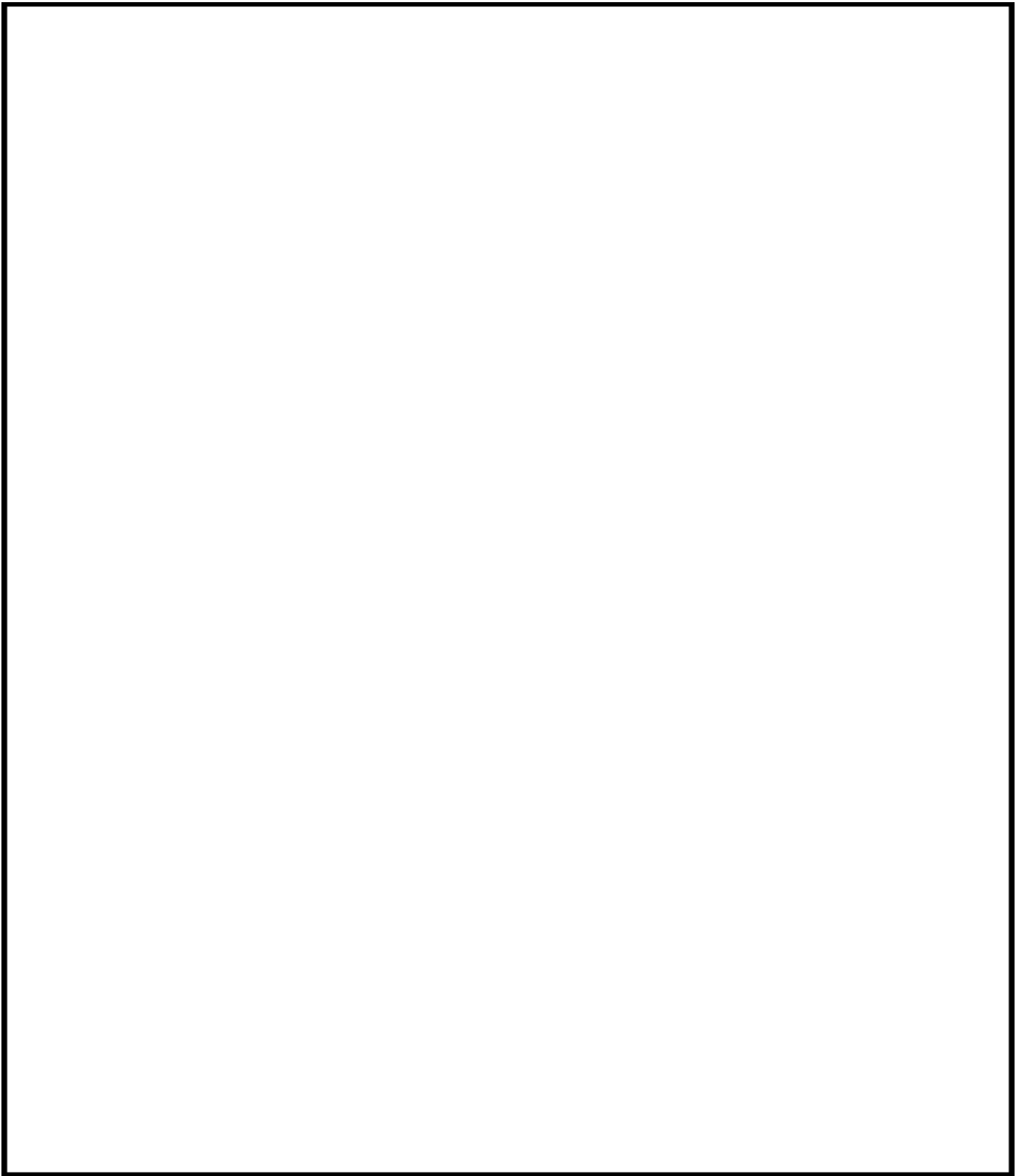


図 1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の平面図（4/5）

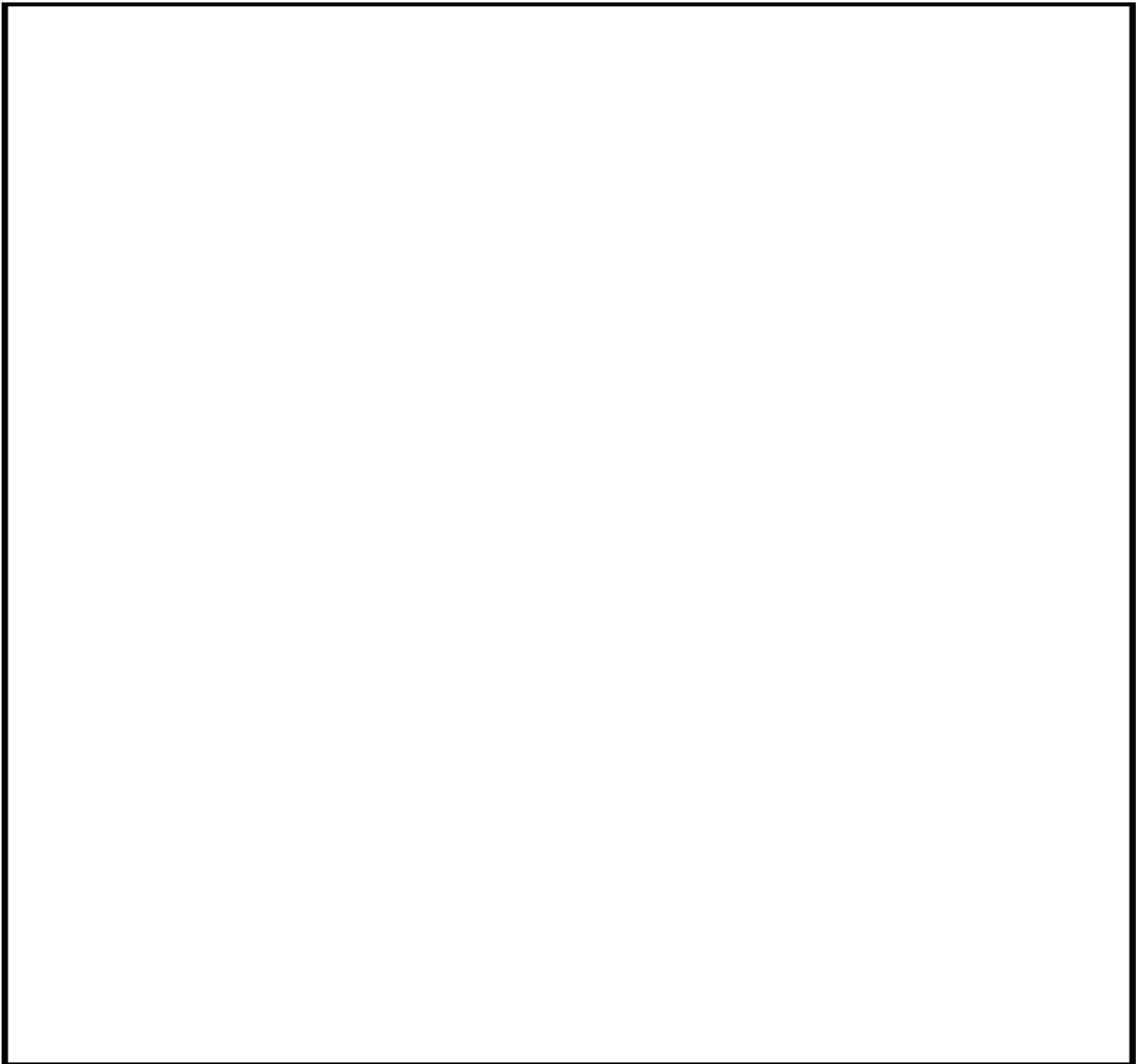


図1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の平面図（5/5）

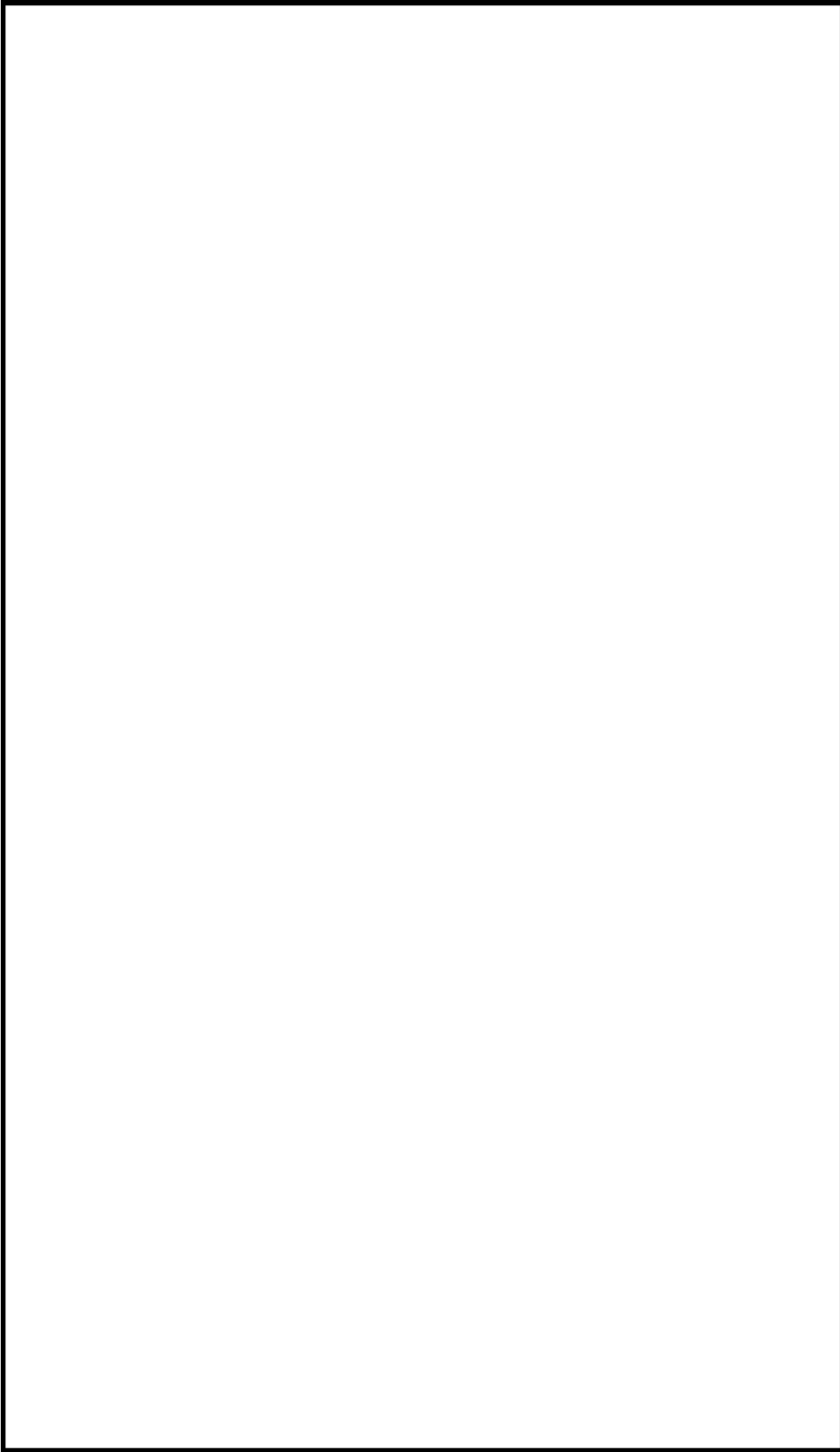


図2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の平面図 (1/4)

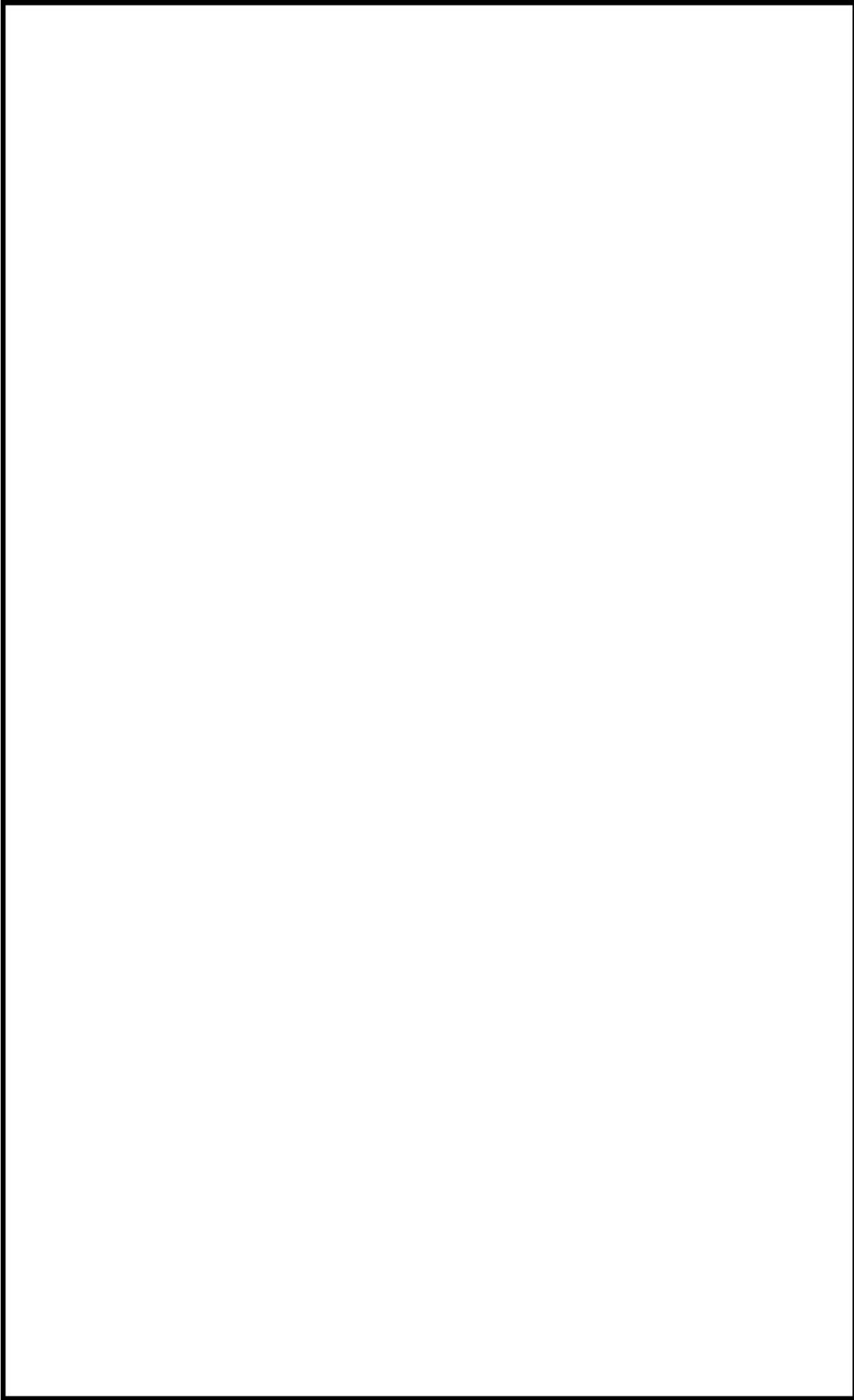


図2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の平面図 (2/4)

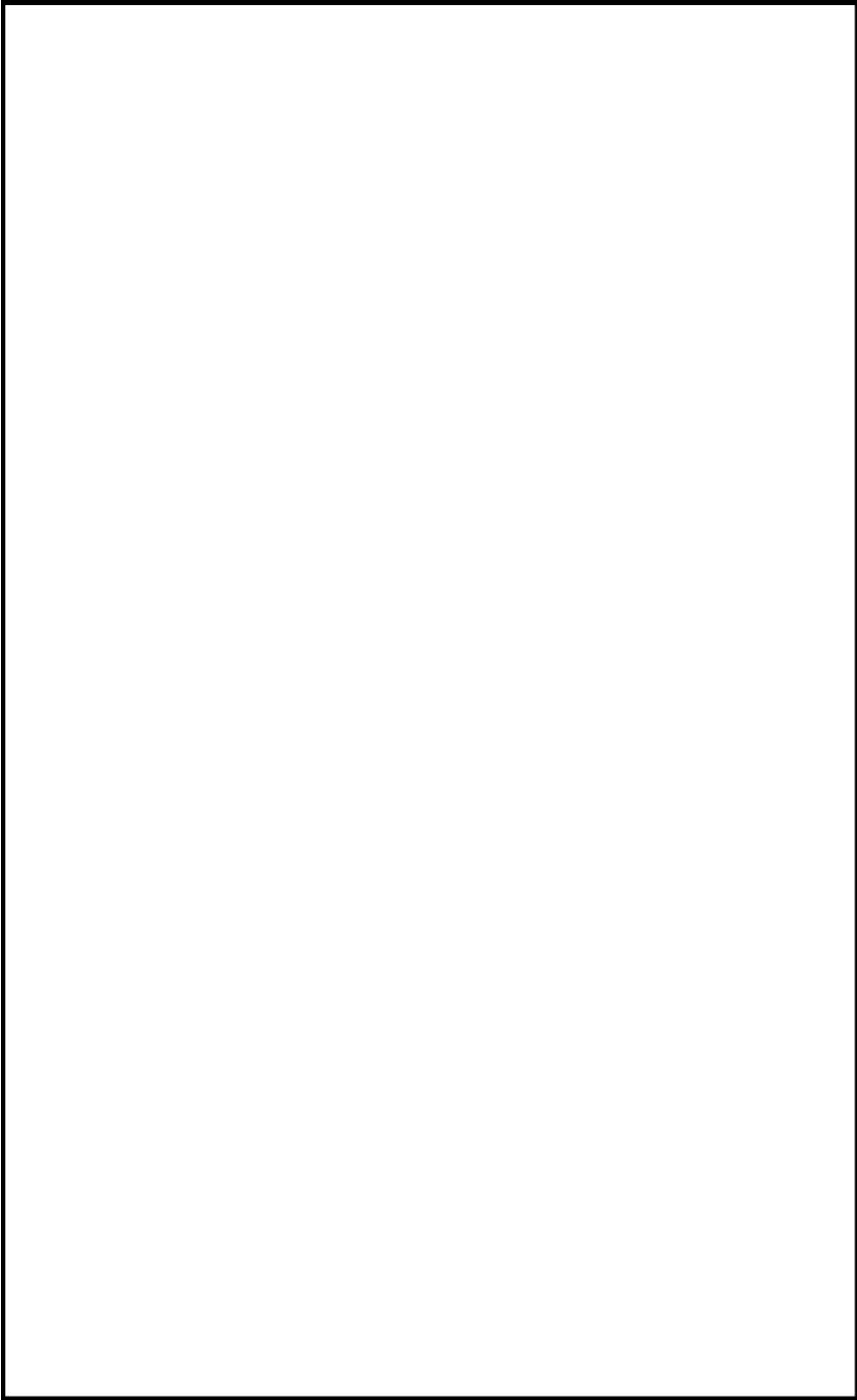


図 2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の平面図 (3/4)



図2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の平面図 (4/4)

表 1 設計飛来物によるコンクリートの局部破壊評価結果 (HAW 施設)

部位		簡易評価		詳細評価 (AUTODYN)
		貫通	裏面剥離	
側壁 面	必要防護厚 (mm)	269	478	衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋は破損せず、裏面剥離は生じない。
	躯体厚 (mm)	しない	生じる可能性あり	
屋上 スラ ブ	必要防護厚 (mm)	191	364	衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋は破損せず、裏面剥離は生じない。
	躯体厚 (mm)	しない	生じる可能性あり	

表 2 設計飛来物によるコンクリートの局部破壊評価結果 (TVF 開発棟)

部位		簡易評価		詳細評価 (AUTODYN)
		貫通	裏面剥離	
側壁 面	必要防護厚 (mm)	265	465	衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋は破損せず、裏面剥離は生じない。
	躯体厚 (mm)	しない	生じる可能性あり	
屋上 スラ ブ	必要防護厚 (mm)	188	354	衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋は破損せず、貫通及び裏面剥離も生じない。
	躯体厚 (mm)	生じる可能性あり	生じる可能性あり	



## 設計飛来物の衝突による建家外殻の局部破壊(貫通又は裏面剥離)の詳細評価

## 1. 評価方針

再処理施設の竜巻影響評価として、竜巻防護施設を内包する施設である高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の外殻(屋上スラブ及び側壁面)に設計飛来物が衝突した際に裏面剥離又は貫通が生じることのないことを確認する。

## 2. 解析コードおよび解析モデル

JSMES NX6-2019「発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン」に詳細な解析手法として示されている衝突解析ソフトである ANSYS AUTODYN(以下「AUTODYN」という。)を用いて詳細評価を行う。

AUTODYN により、側壁面及び屋上スラブと設計飛来物との衝突によって生じる現象を解析し、貫通、裏面剥離などの損傷状態を評価する。解析モデルは3次元体系とする。

## 2.1 設計飛来物の解析モデル

設計飛来物は外形 4200 mm×300 mm×200 mm の角形鋼管である(表 2.1-1)。設計飛来物はシェル要素でモデル化し、要素サイズは約 20 mm とした。設計飛来物は 300 mm×200 mm の面で、軸方向で側壁面及び屋上スラブに衝突するものとする。

飛来物の質量は 135 kg であり、材質は鋼製材 SS400 である。

設計飛来物の衝突速度は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成 25 年 6 月 19 日制定, 令和元年 9 月 6 日改定)に記載されている鋼製材の最大速度を使用し、側壁面には最大水平速度 51 m/s を、屋上スラブには最大鉛直速度 34 m/s を使用する。

図 2.1-1 に要素分割図を示す。

## 2.2 側壁面及び屋上スラブの解析モデル

高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に対して、竜巻防護施設の外殻として期待する側壁面及び屋上スラブのうち、躯体厚さが薄く、柱又は梁による支持間隔が長い側壁面及び屋上スラブを対して詳細解析を行う。

設計飛来物である鋼製材は、側壁面または屋上スラブの中央に垂直に衝突するものとした。側壁面及び屋上スラブの周囲 4 面は境界条件によって固定した。側壁面及び屋上スラブは、鉄筋コンクリートで構成されている。鉄筋コンクリートについては、コンクリートを 6 面体ソリッド要素、鉄筋をビーム要素でモデル化した。なお、押えコンクリートのあるものについては、押えコンクリートについても 6 面体ソリッド要素でモデル化した。

詳細評価に用いた各施設の側壁面及び屋上スラブの諸元を表 2.2-1 に、詳細評価に用いたコンクリートの物性値を表 2.2-2 に、詳細評価に用いた鉄筋の物性値を表 2.2-3 に示す。また、高放射性廃液貯蔵場(HAW)の側壁面及び屋上スラブの解析モデルを図 2.2-1 及び図 2.2-2 に、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の側壁面及び屋上スラブの解析モデルを図 2.2-3 及び図 2.2-4 に示す。

### 3.解析結果

#### ○高放射性廃液貯蔵場(HAW)の側壁面

衝突後の損傷状態図を図 3-1 に、鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図を図 3-2 に、相当塑性ひずみ及び設計飛来物の衝突方向速度の時刻歴を図 3-3 に、要素の衝突方向変位と時刻歴を図 3-4 に示す。

#### ○高放射性廃液貯蔵場(HAW)の屋上スラブ

衝突後の損傷状態図を図 3-5 に、鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図を図 3-6 に、相当塑性ひずみ及び設計飛来物の衝突方向速度の時刻歴を図 3-7 に、要素の衝突方向変位と時刻歴を図 3-8 に示す。

#### ○ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の側壁面

衝突後の損傷状態図を図 3-9 に、鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図を図 3-10 に、相当塑性ひずみ及び設計飛来物の衝突方向速度の時刻歴を図 3-11 に、要素の衝突方向変位と時刻歴を図 3-12 に示す。

#### ○ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ

衝突後の損傷状態図を図 3-13 に、鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図を図 3-14 に、相当塑性ひずみ及び設計飛来物の衝突方向速度の時刻歴を図 3-15 に、要素の衝突方向変位と時刻歴を図 3-16 に示す。

### 4.評価まとめ

以下に示す結果より、全ての評価ケースにおいて、衝突面から裏面にかけて亀裂が生じるものの、鉄筋に破損は生じず、コンクリートの裏面剥離も生じないものと判断できる。

- 設計飛来物は、衝突面より反跳していること、鉄筋の塑性ひずみエネルギー時刻歴ともにほぼ変動がないことから、現象は収束し、有意な変形挙動はこれ以上生じないものと考えられる。
- 裏面の中央部では、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の屋上スラブにおいて、最大約 21 mm 程度の変位が生じたものの、変位はそれ以上増加せずに、弾性振動を繰り返していることから、裏面剥離は生じないものと判断できる。
- コンクリートには、衝突面から裏面にかけて十字状に亀裂が生じたものの貫通には至らず、コンクリートの速度ベクトル図から、すべての計算要素の変位は弾性振動しており、計算完了時まで、常に飛散方向の速度を持つ計算要素は存在しないことが確認された。
- 鉄筋に生じた最大相当塑性ひずみは、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の屋上スラブに生じているものの、衝突面側で 0.56%、裏面側で 1.63%程度であり、破断ひずみ 14.8%に比べて十分小さく、破断には至らない。

以上

表 2.1-1 設計飛来物の諸元

項目	値
質量	135 kg
形状	角形鋼管 長さ×幅×高さ : 4200×300×200 mm
板厚	4.17 mm (形状(体積), 質量, 密度から算出)
材質	SS400
衝突方向	300 mm×200 mm の面で衝突

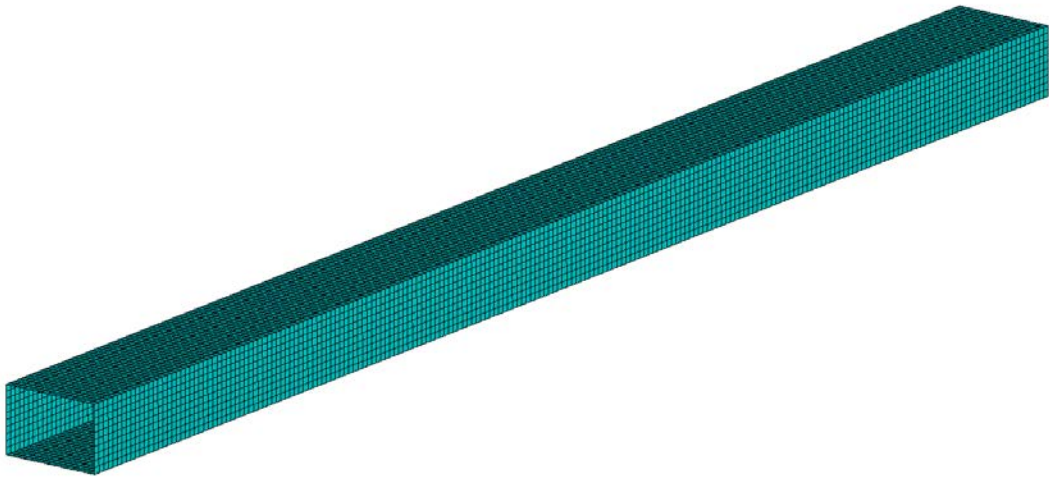


図 2.1-1 設計飛来物のモデルの要素分割図 (要素サイズ約 20 mm)

表 2.2-1 詳細評価に用いた各施設の屋上スラブ及び側壁面の諸元

	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)		ガラス固化技術開発施設 (TVF)	
	屋上スラブ	側壁面	屋上スラブ	側壁面
形状 (幅 m×長さ m×厚さ m)	3.4×8.5×0.365	5.27×36.65×0.325	3.5×6.5×0.225	7.5×9.5×0.4
押え	65 mm	25 mm	75 mm	/
コンクリート	1800 kg/m <sup>3</sup> *1	2400 kg/m <sup>3</sup> *1	2400 kg/m <sup>3</sup> *3	
設計基準強度	180 kg/cm <sup>2</sup> *2	210 kg/cm <sup>2</sup> *3	150 kg/cm <sup>2</sup> *4	
鉄筋				
コンクリート	2400 kg/m <sup>3</sup> *1	2400 kg/m <sup>3</sup> *1	2400 kg/m <sup>3</sup> *3	2400 kg/m <sup>3</sup> *3
設計基準強度	210 kg/cm <sup>2</sup> *3	210 kg/cm <sup>2</sup> *3	225 kg/cm <sup>2</sup> *3	225 kg/cm <sup>2</sup> *3
材料 (相当する現規格)	SD30 (SD295A)	SD30 (SD295A)	SD30 (SD295A)	SD35 (SD345)
鉄筋配筋	D16@200 (短辺・長辺方向)	D16@200 (短辺・長辺方向)	短辺方向	D19@200 (短辺・長辺方向)
			D10・D13 交互@200 (上端) D10@200 (下端) 長辺方向 D10@200	
かぶり厚さ	20 mm	30 mm	30 mm	50 mm

\*1 建家構造計算書より引用

\*2 建設工事検査報告書より引用

\*3 再処理施設に関する設計及び工事の方法より引用

\*4 工事請負契約書より引用

表 2.2-2 詳細解析に用いたコンクリートの物性値

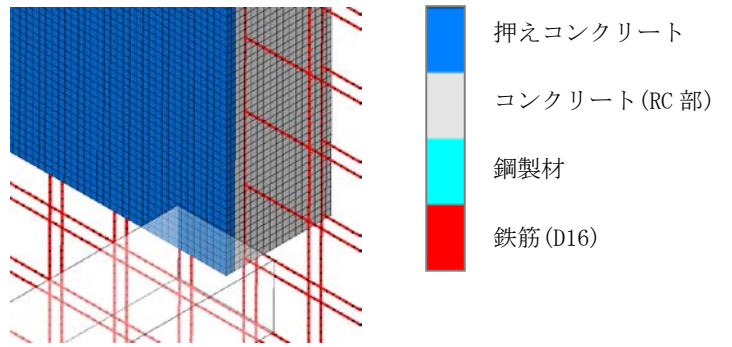
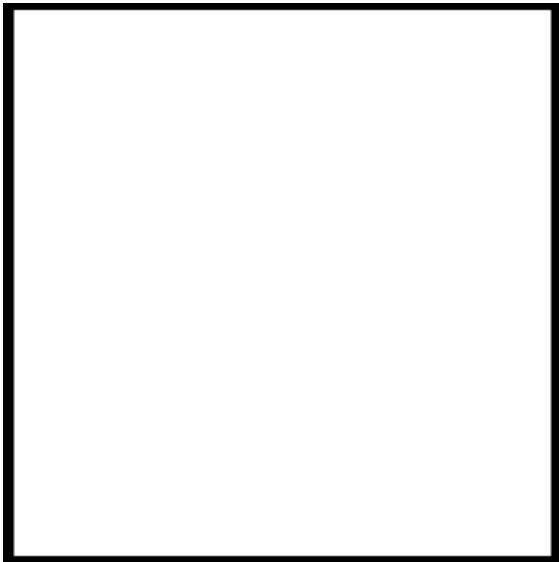
項目		高放射性廃液貯蔵場 (HAW)		ガラス固化技術開発施設 (TVF)	
		鉄筋コンクリート	押えコンクリート	鉄筋コンクリート	押えコンクリート
密度	側面壁	2330 kg/m <sup>3</sup> *	2400 kg/m <sup>3</sup>	2320 kg/m <sup>3</sup> *	—
	屋上スラブ		1800 kg/m <sup>3</sup>	2340 kg/m <sup>3</sup> *	2400 kg/m <sup>3</sup>
ヤング率		21.5 GPa		22.1 GPa	19.3 GPa
ポアソン比		0.2		0.2	0.2
せん断弾性係数		8.96 GPa		9.21 GPa	8.04 GPa
圧縮強度		20.6 MPa		22.1 MPa	14.7 MPa
引張強度		1.73 MPa		1.81 MPa	1.38 MPa

\* 鉄筋コンクリート全体の密度，コンクリート及び鉄筋の重量比から算出。

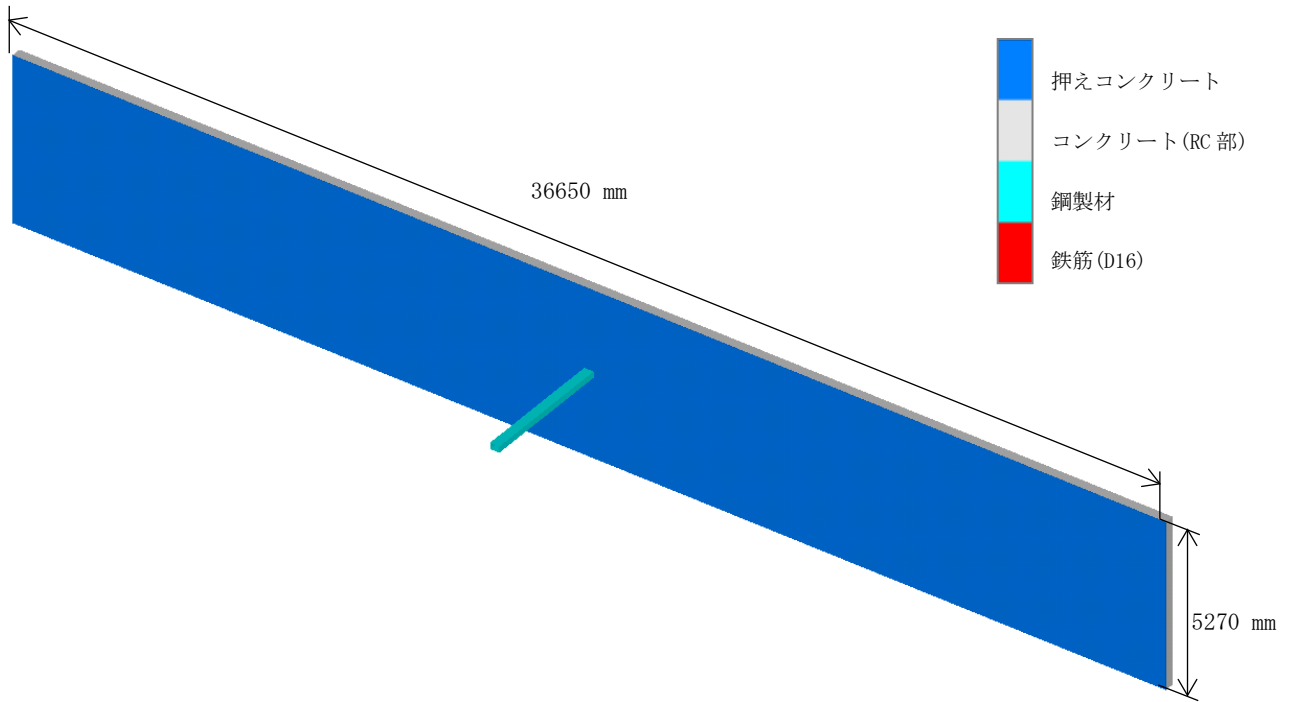
表 2.2-3 詳細解析に用いた鉄筋の物性値

項目	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	ガラス固化技術開発施設 (TVF)
	SD295A	SD345
密度	7850 kg/m <sup>3</sup>	7850 kg/m <sup>3</sup>
ヤング率	205 GPa	205 GPa
ポアソン比	0.3	0.3
体積弾性率	171 GPa	171 GPa
せん断弾性係数	78.8 GPa	78.8 GPa
降伏応力	295 MPa	345 MPa
耐力	510 MPa	578 MPa
破断ひずみ (伸び) *1	14.8%	16.6%


\*1 JIS 規格値の公称ひずみを対数ひずみ (破断ひずみの値として評価) に変換し，応力とひずみの関係の評価する。公称ひずみ  $e$  から対数ひずみ  $\varepsilon$  は， $\varepsilon = \ln(e+1)$  で求めることができる。



解析モデル (衝突部の要素分割図)



解析モデルの全体

図 2.2-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の側壁面  の解析モデル概要

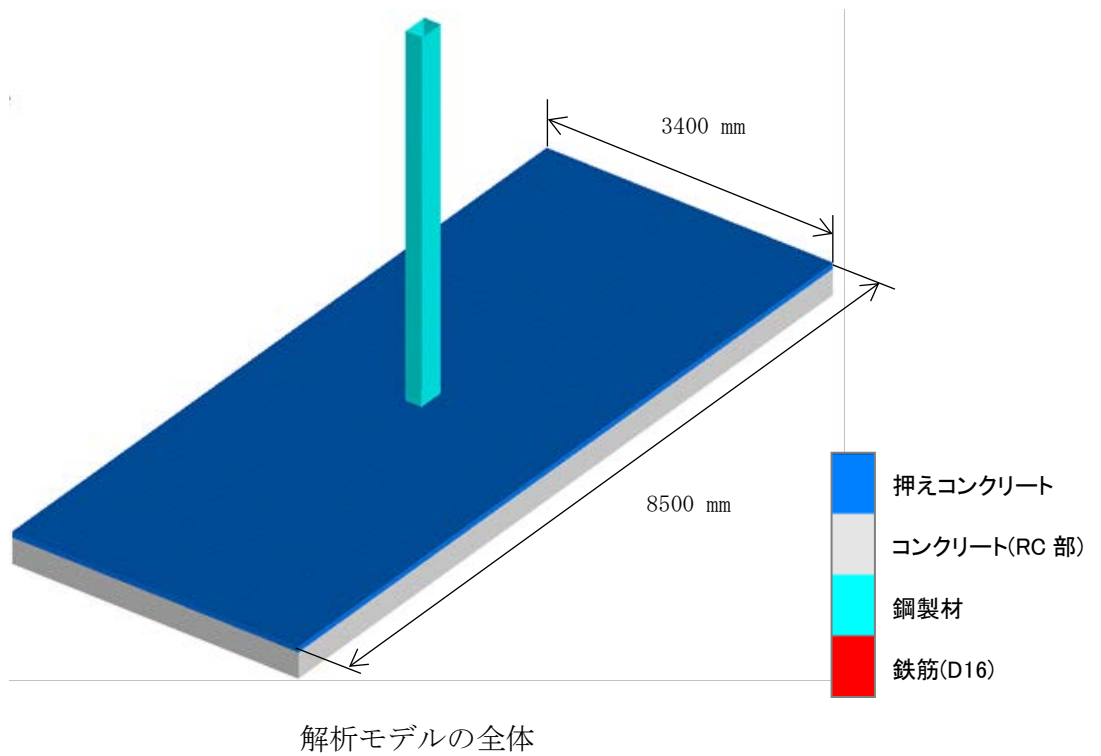
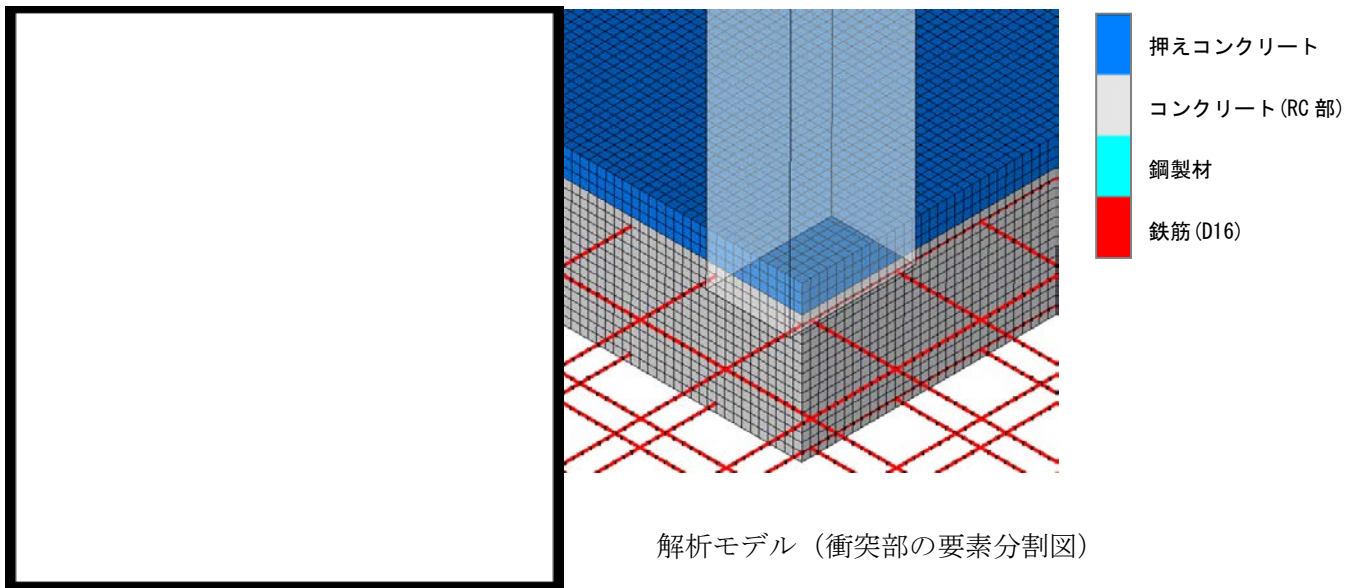
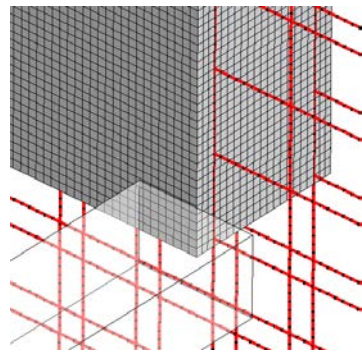
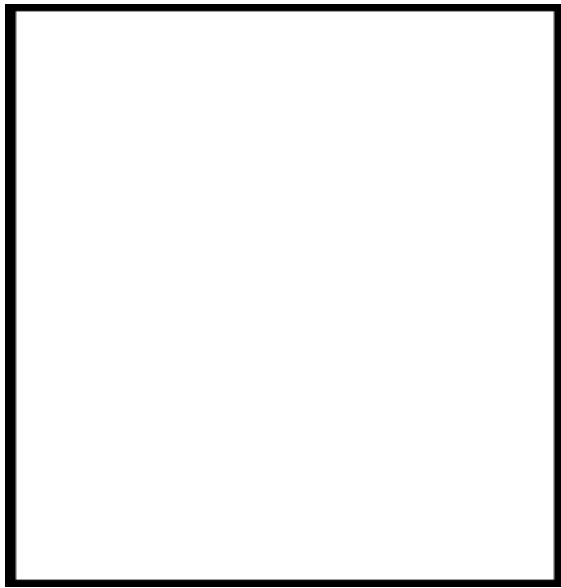
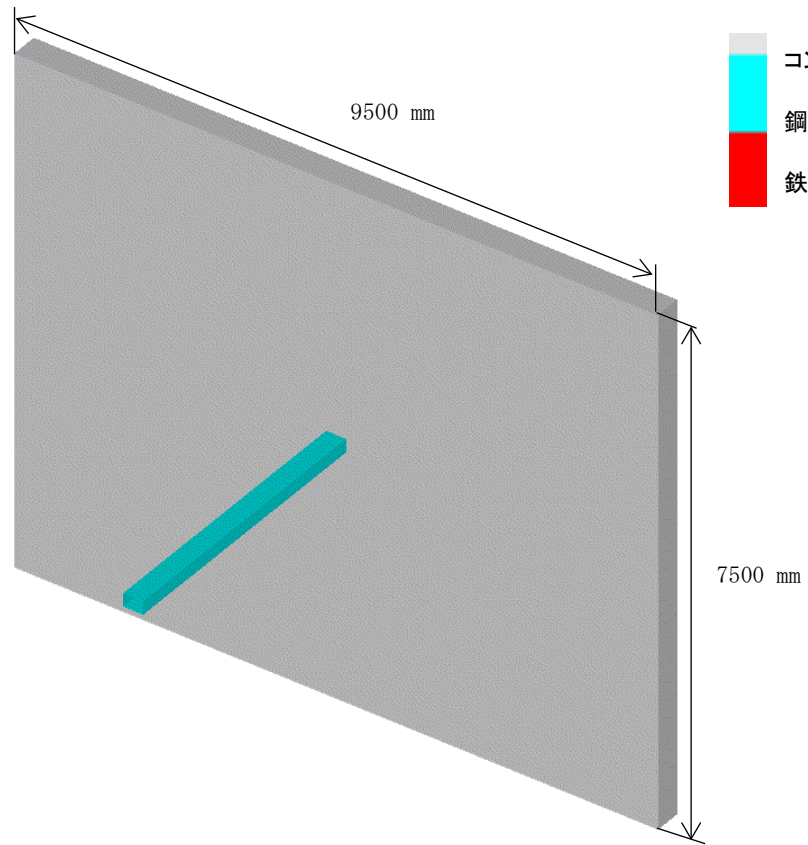


図 2.2-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブ  の解析モデル概要




- コンクリート (RC 部)
- 鋼製材
- 鉄筋 (D19)

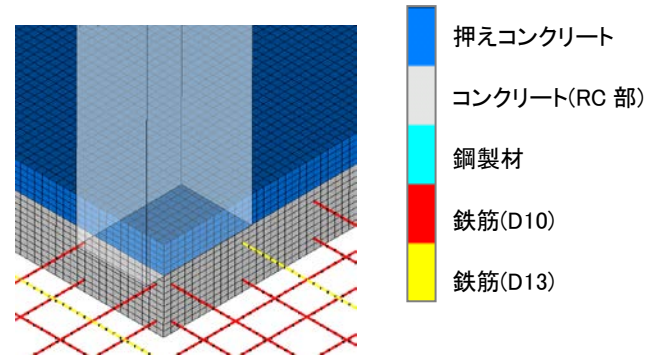
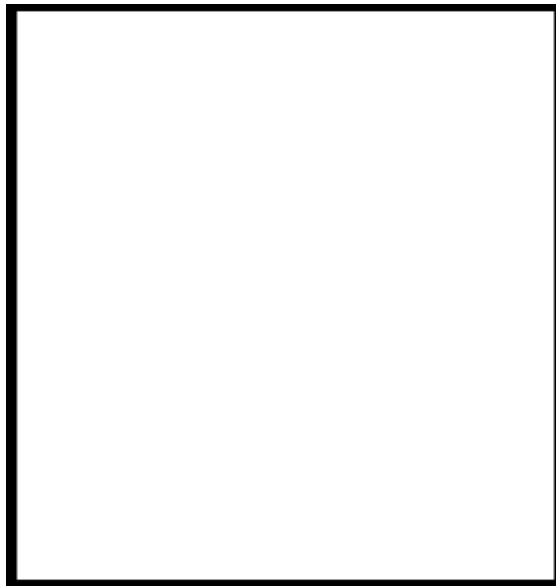
解析モデル (衝突部の要素分割図)



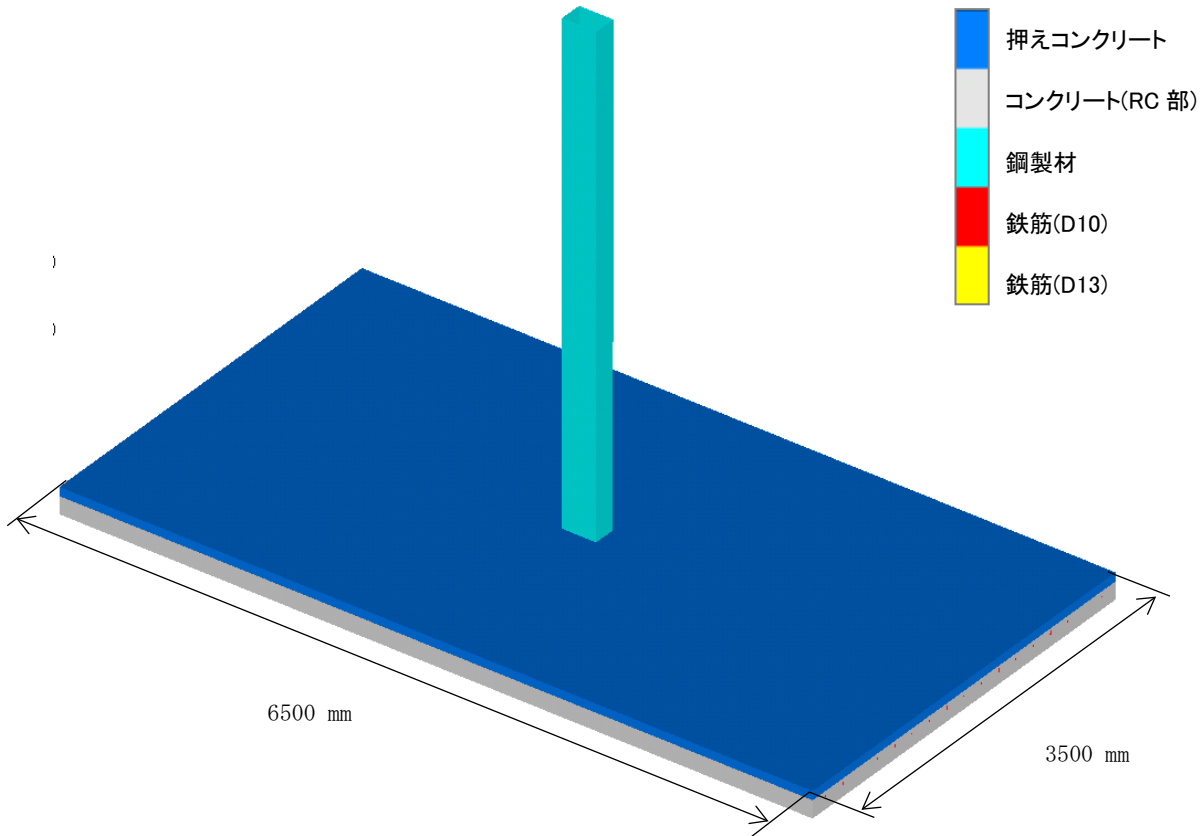
解析モデルの全体

図 2.2-3 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟  
の側壁面  の解析モデル概要






解析モデル（衝突部の要素分割図）



解析モデルの全体

図 2.2-4 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ  の解析モデル概要

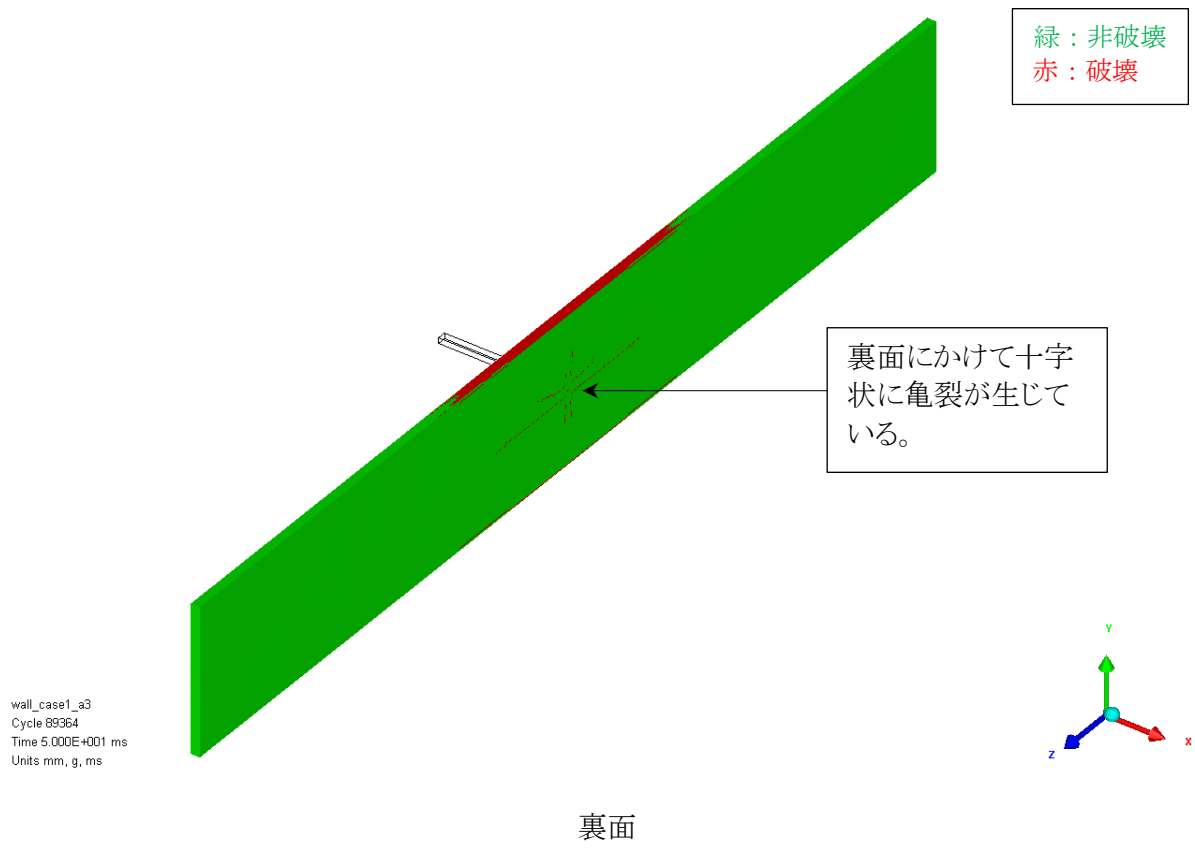
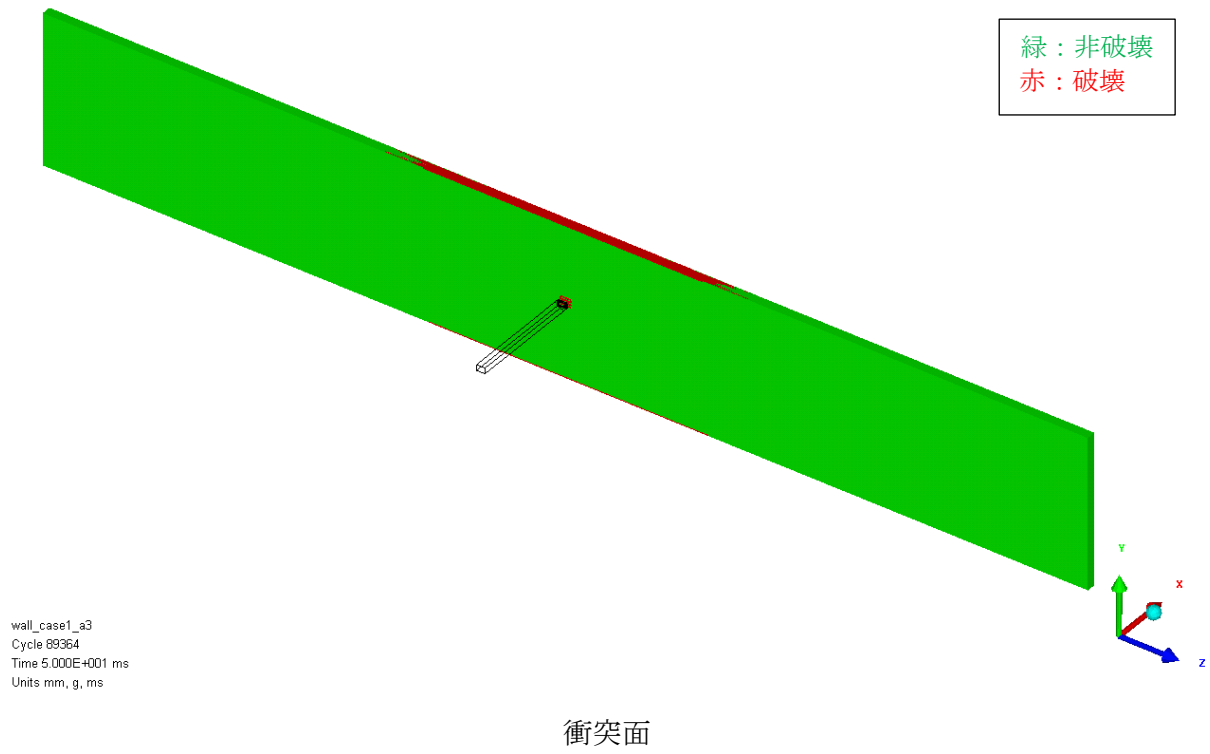


図 3-1 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の側壁面  の損傷状態図 (1/2)  
(衝突後 50 ms 全体)

緑：非破壊  
赤：破壊

設計飛来物の衝突方向

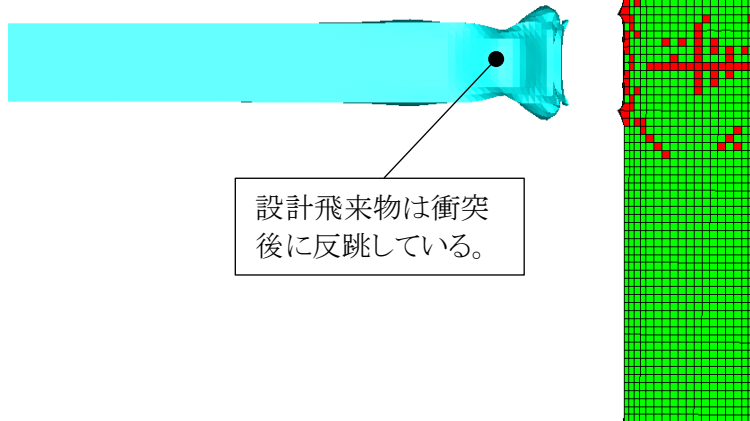


wall\_case1\_a3  
Cycle 89364  
Time 5.000E+001 ms  
Units mm, g, ms

短辺方向中央断面図（全体）

緑：非破壊  
赤：破壊

設計飛来物の衝突方向



設計飛来物は衝突後に反跳している。

wall\_case1\_a3  
Cycle 89364  
Time 5.000E+001 ms  
Units mm, g, ms

短辺方向中央断面図（衝突位置拡大）

図 3-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の側壁面   の損傷状態図（2/2）  
（衝突後 50 ms 短辺方向中央断面図）

6-1-4-4-4-7-1-11

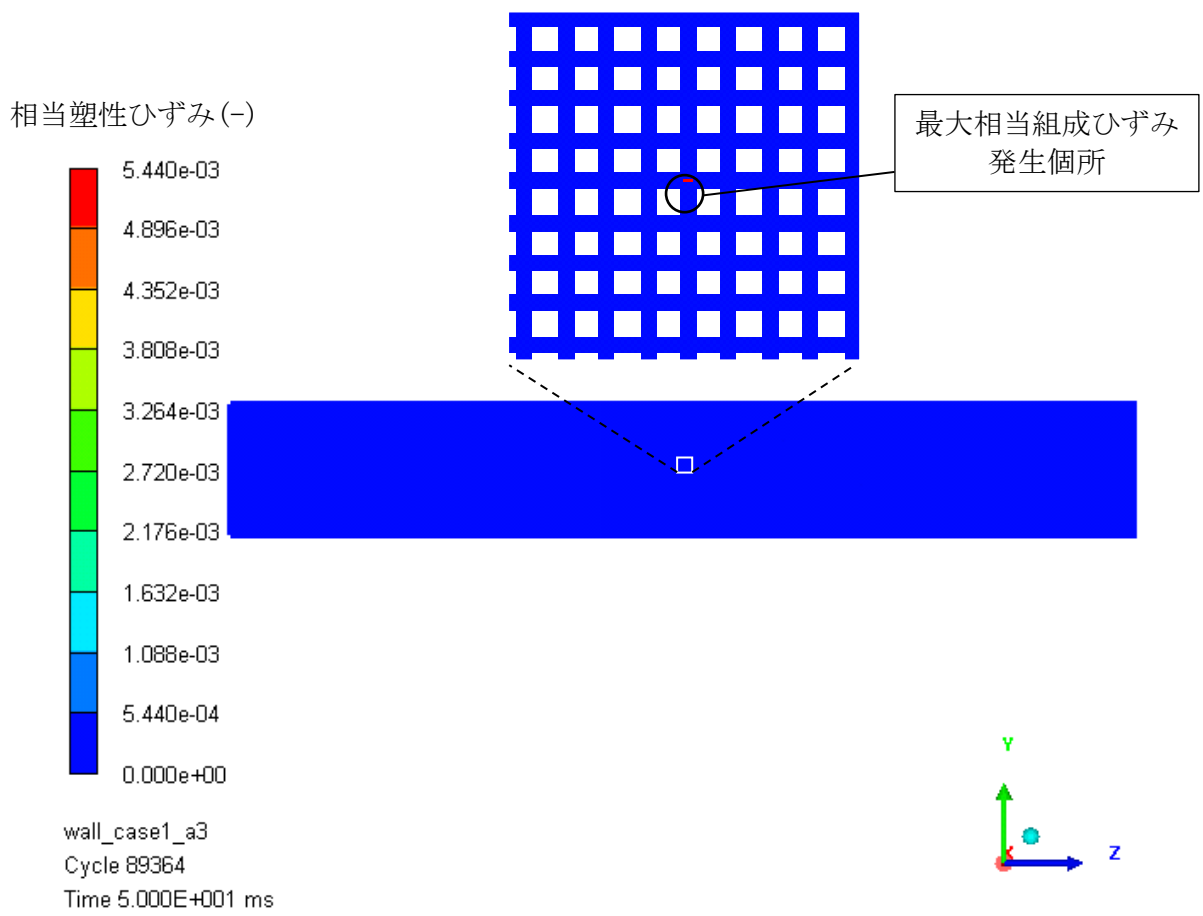
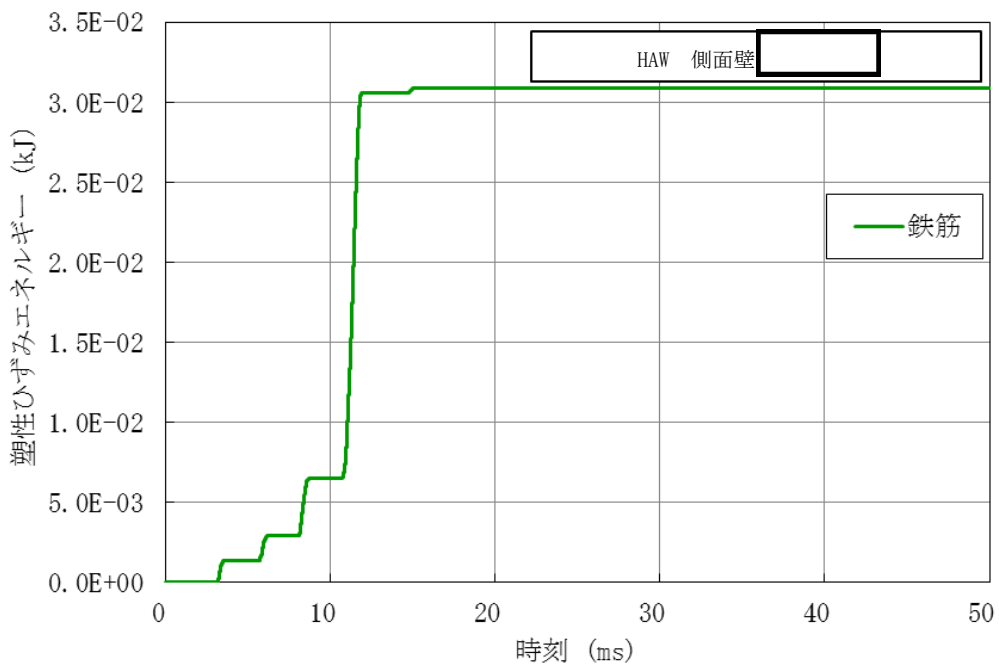
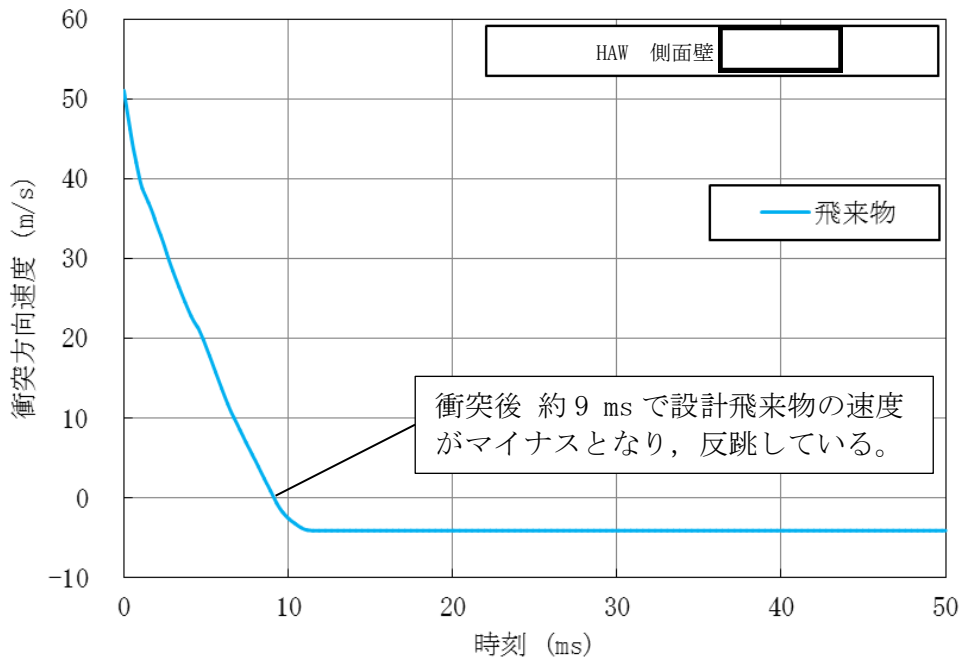


図 3-2 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の側壁面  の鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図 (衝突後 50 ms)

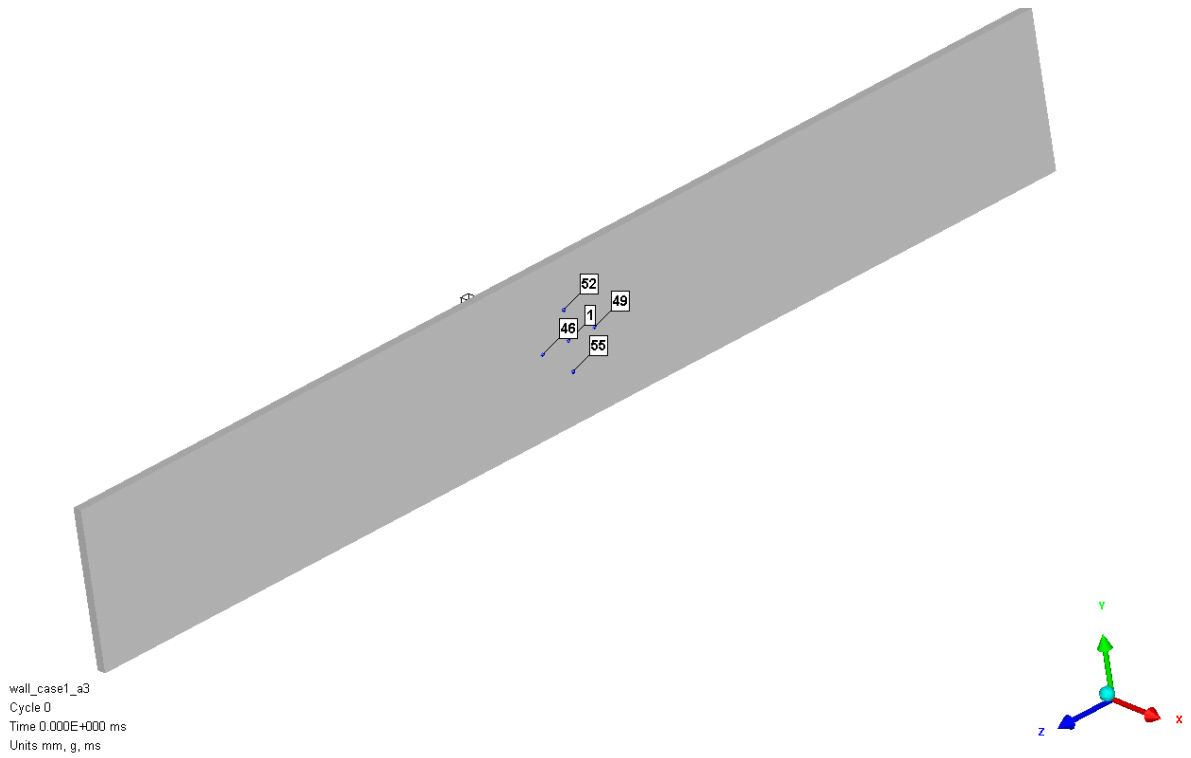


a) 鉄筋の塑性ひずみエネルギー時刻歴

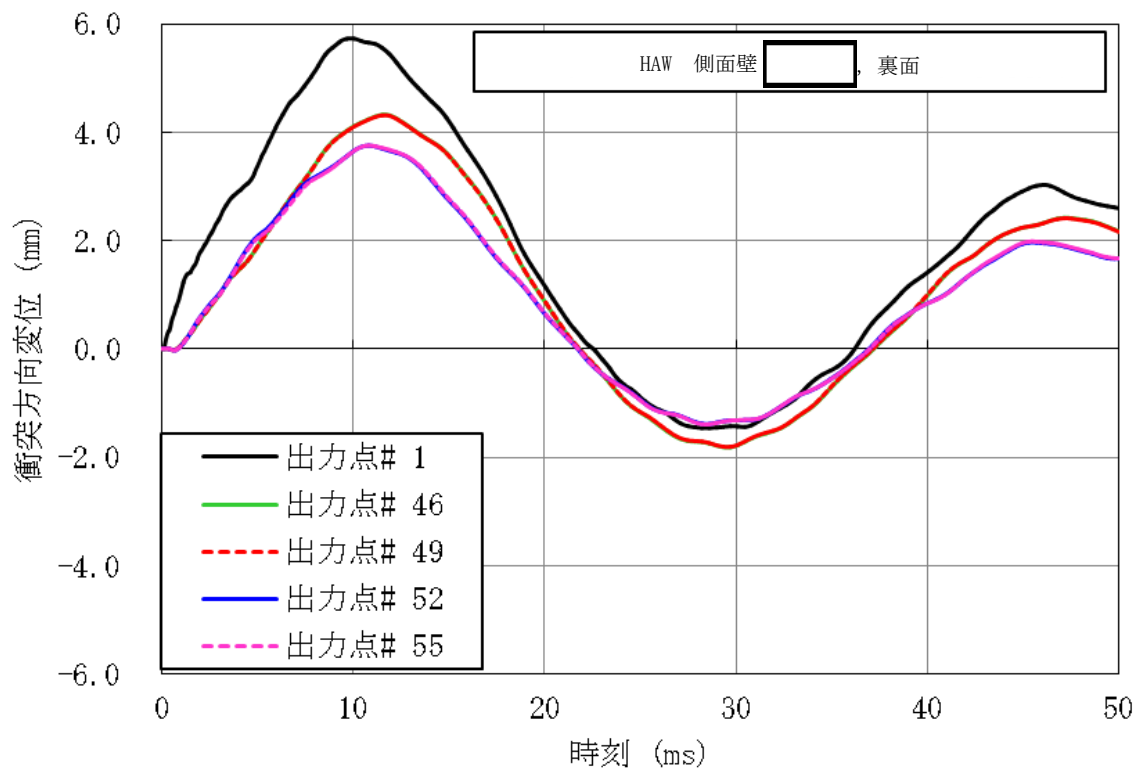


b) 設計飛来物の衝突方向速度時刻歴


図 3-3 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の側面壁  の時刻歴  
(鉄筋の塑性ひずみエネルギー及び設計飛来物の衝突方向速度)



a)変位時刻歴データを抽出する要素の位置(衝突位置の裏面の中心1点と周囲4点)



b) 変位時刻歴データを抽出した要素の変位時刻歴

図 3-4 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の側面壁  の衝突方向変位と時刻の関係

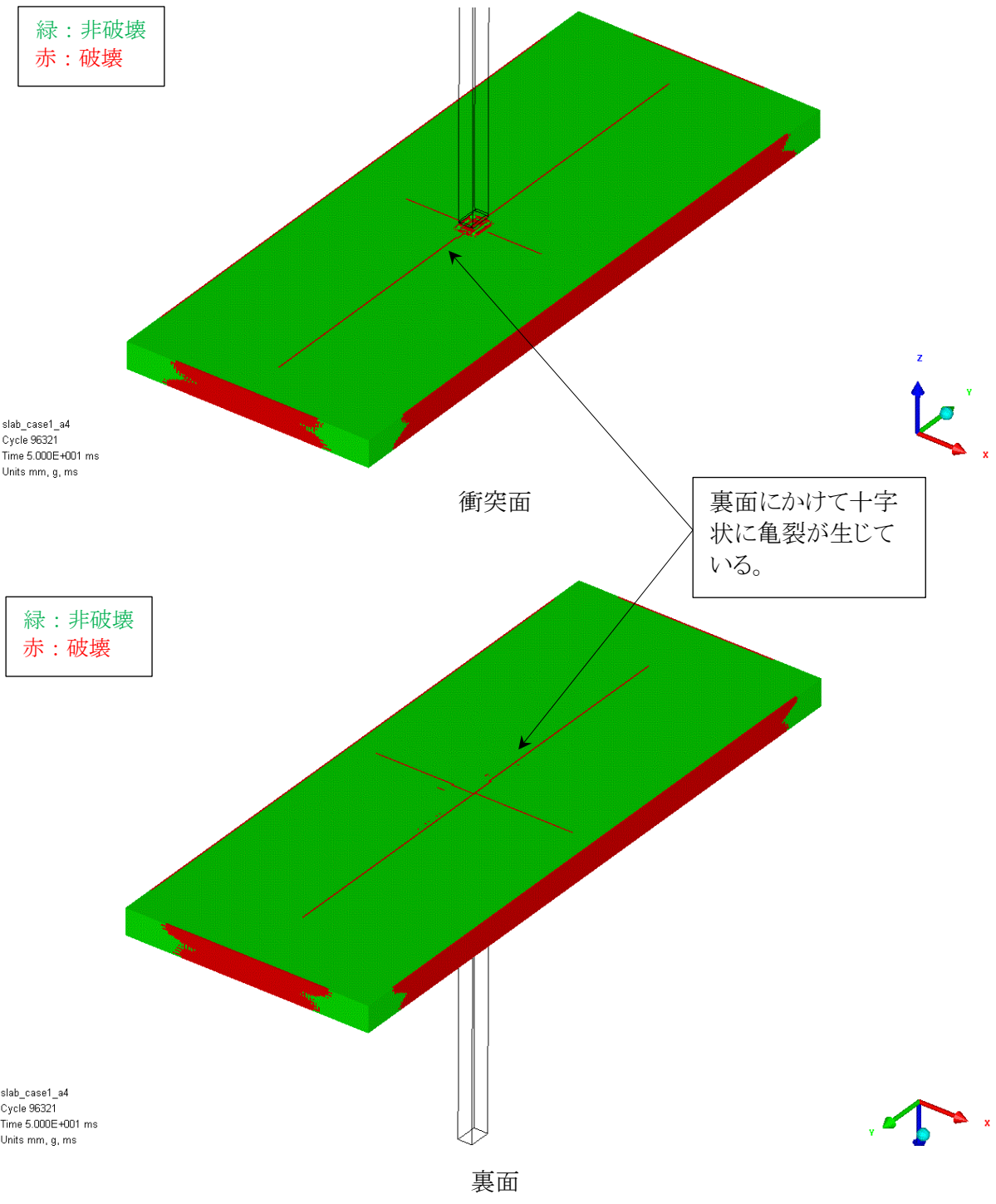
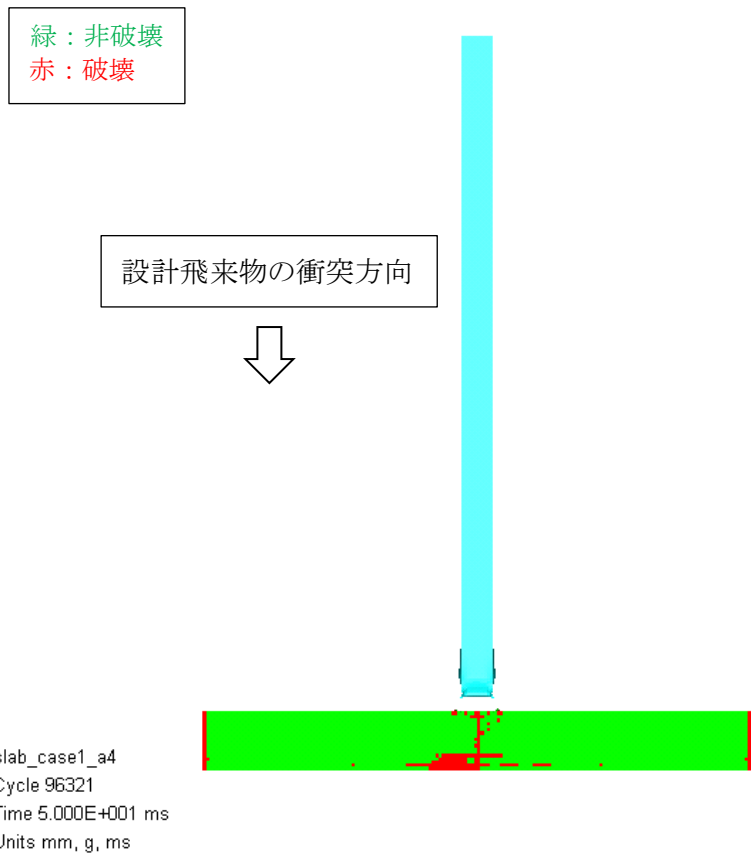
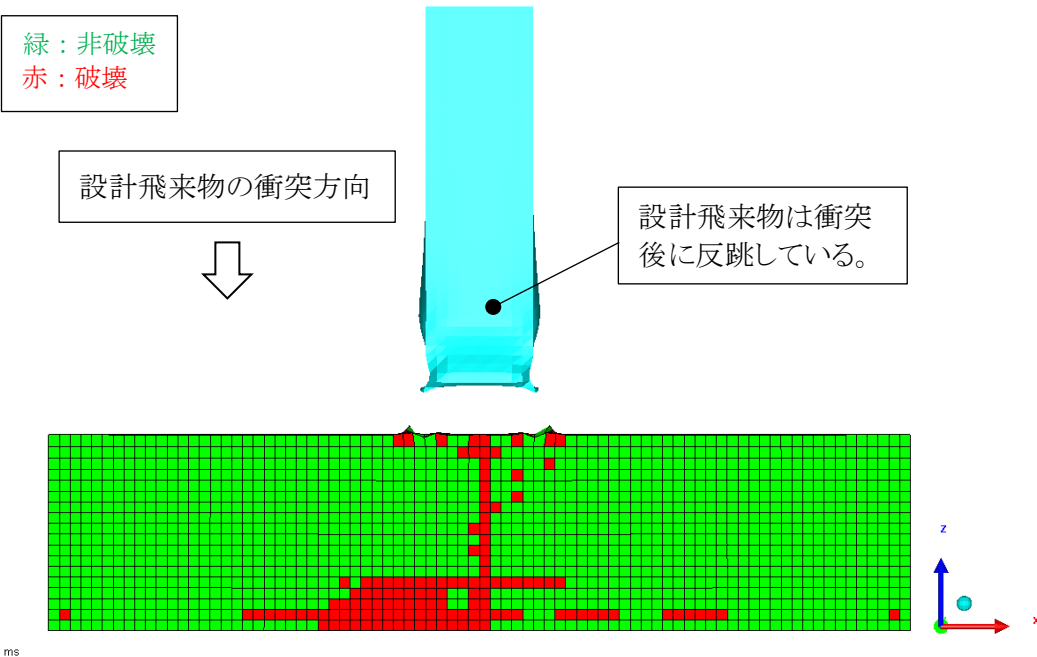


図 3-5 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブ  の損傷状態図 (1/2)  
(衝突後 50 ms 全体)



短辺方向中央断面図（全体）



短辺方向中央断面図（衝突位置拡大）

図 3-5 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の屋上スラブ          の損傷状態図（2/2）  
（衝突後 50 ms 短辺方向中央断面図）



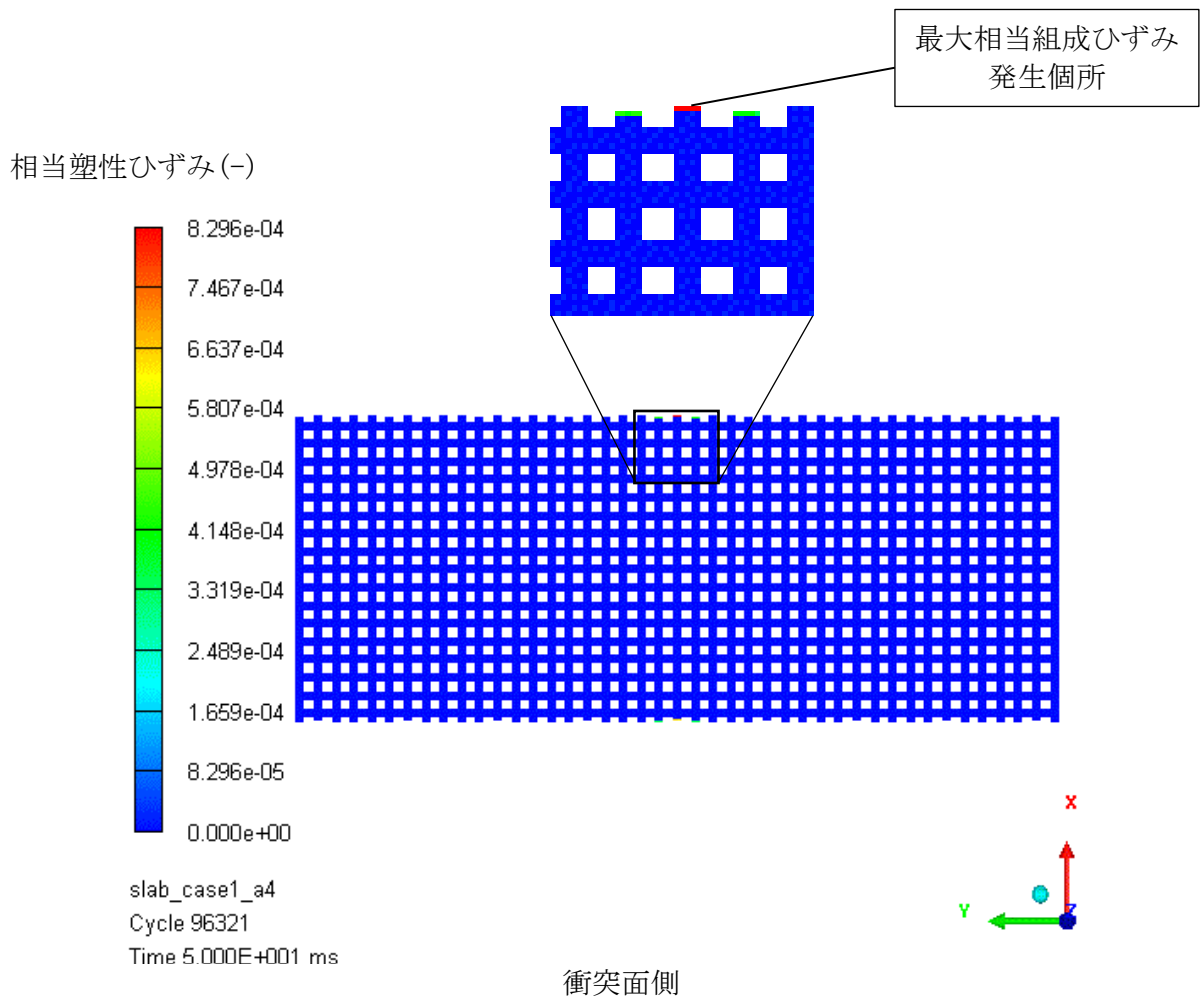
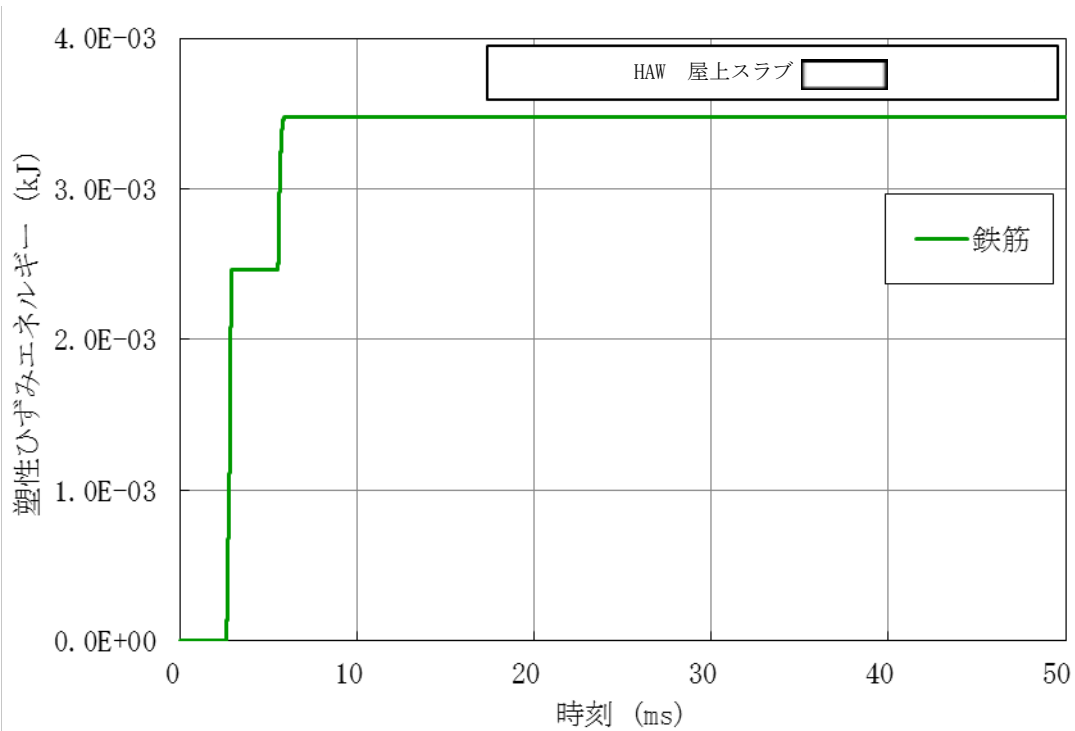
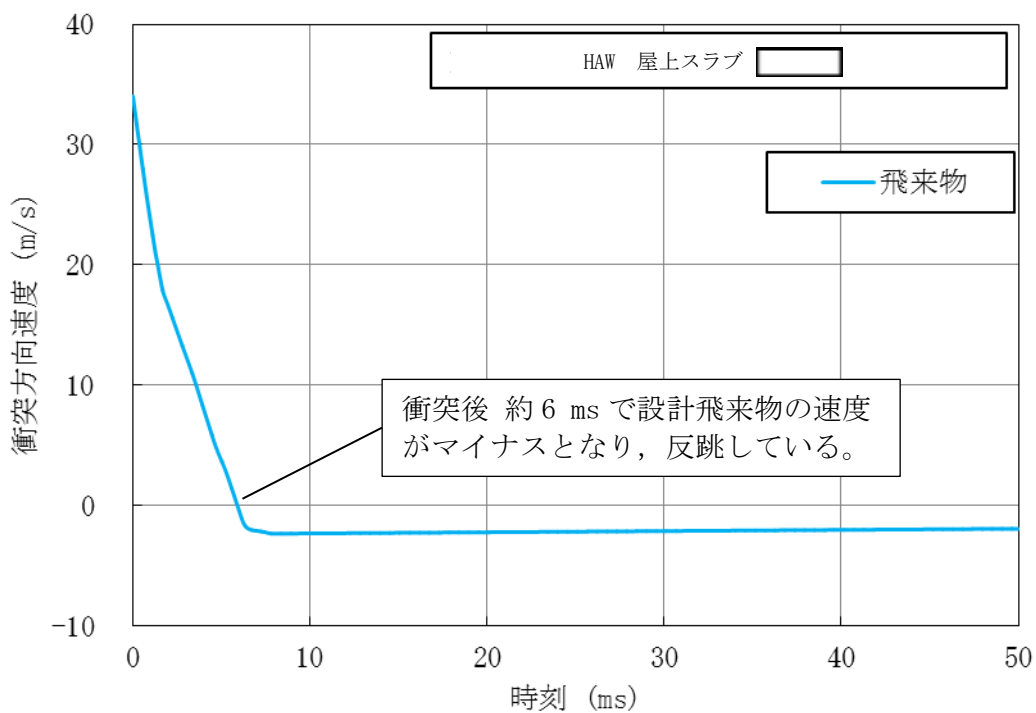


図 3-6 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブ  の鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図 (衝突後 50 ms)

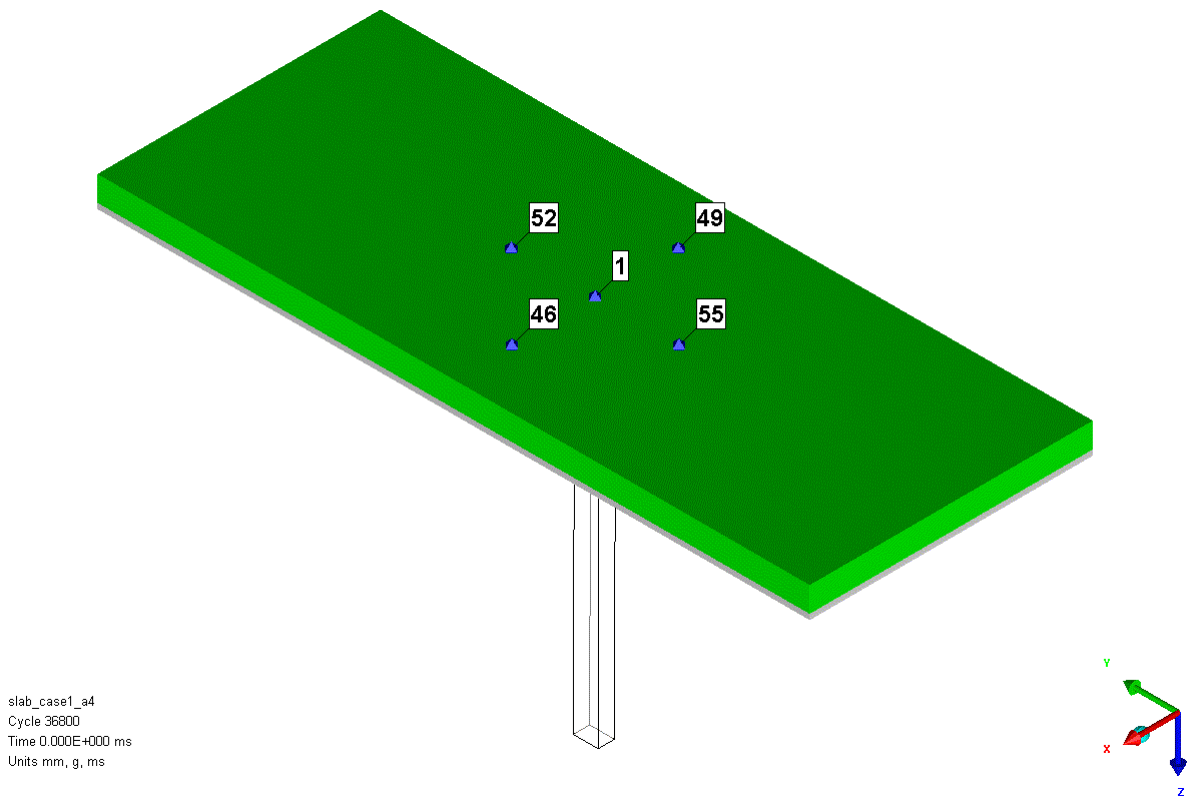


a) 鉄筋の塑性ひずみエネルギー時刻歴

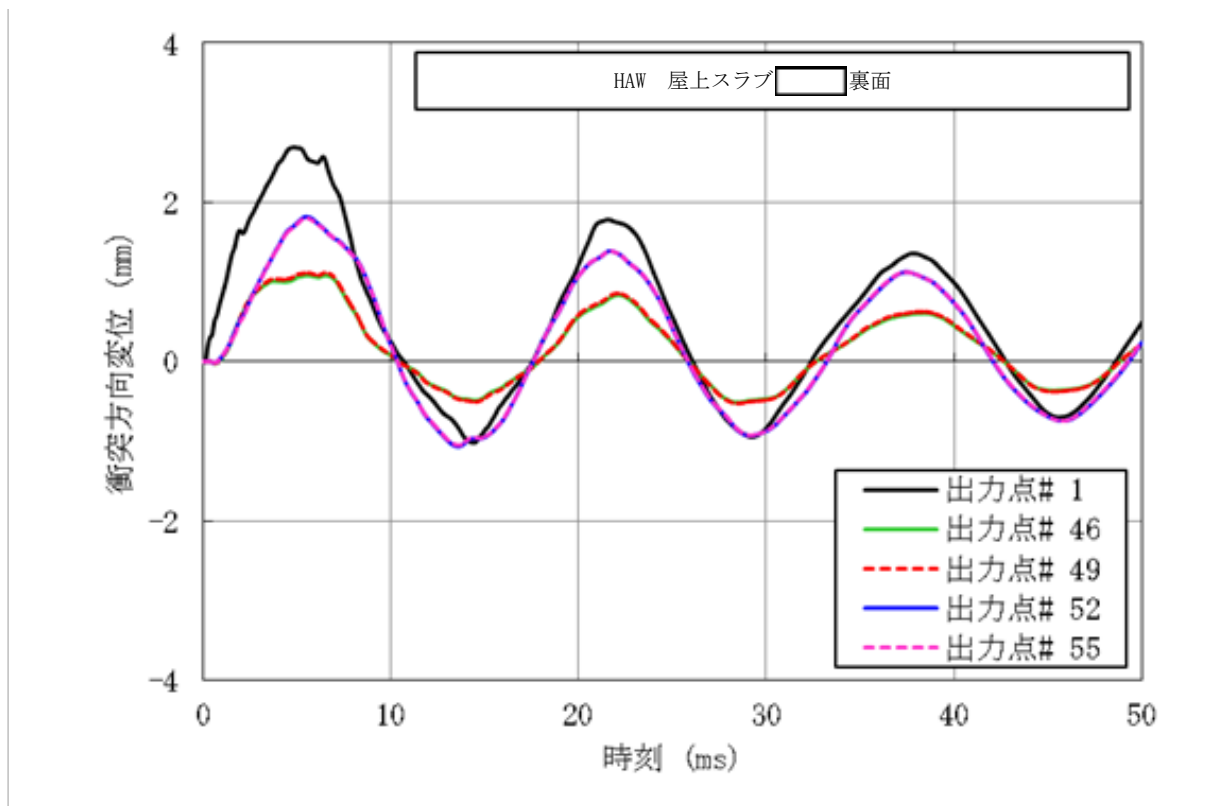


b) 設計飛来物の衝突方向速度時刻歴

図 3-7 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブ   の時刻歴 (鉄筋の塑性ひずみエネルギー及び設計飛来物の衝突方向速度)



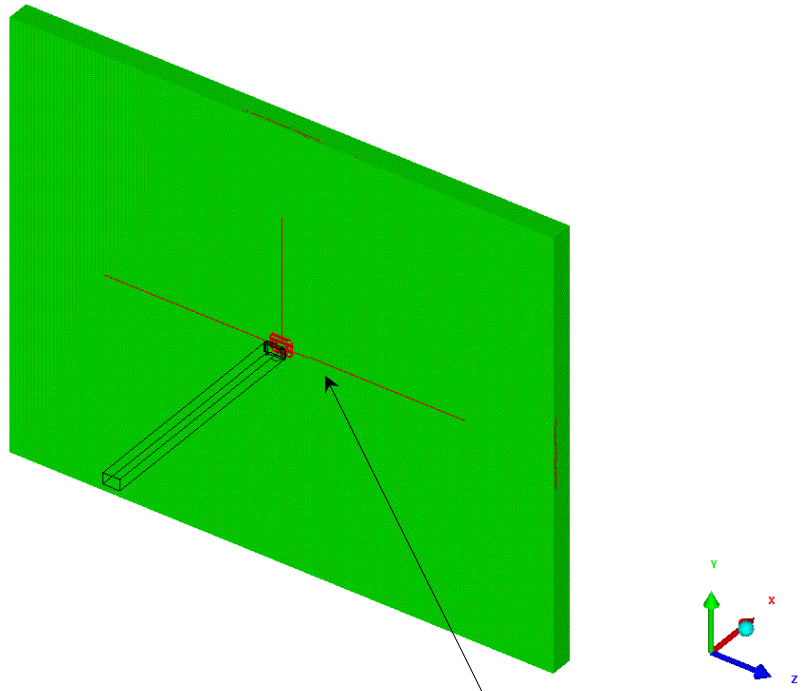
a)変位時刻歴データを抽出する要素の位置(衝突位置の裏面の中心1点と周囲4点)



b) 変位時刻歴データを抽出した要素の変位時刻歴

図 3-8 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の屋上スラブ 裏面 の衝突方向変位と時刻の関係

緑：非破壊  
赤：破壊

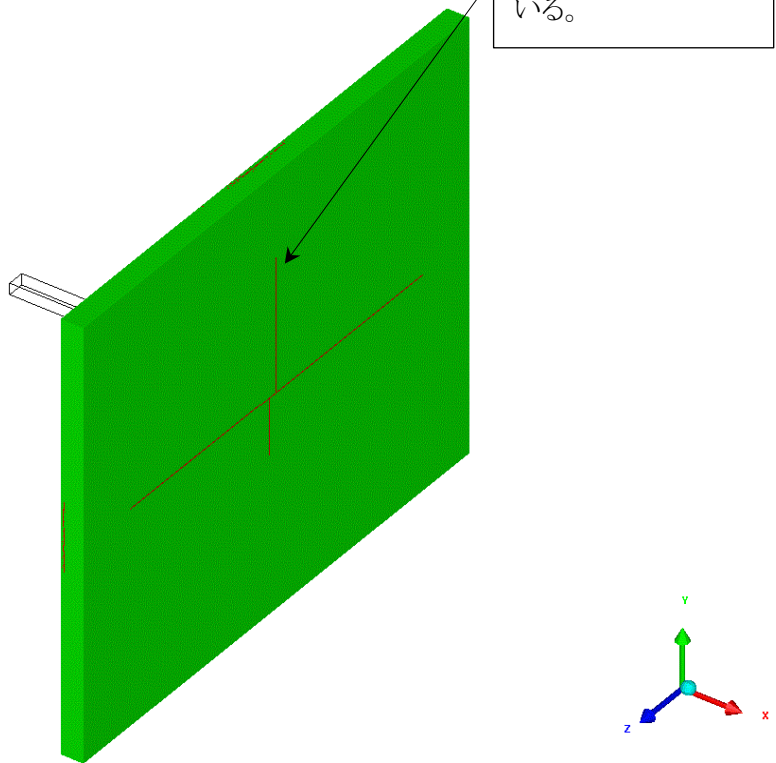


wall\_case2\_a3  
Cycle 69327  
Time 5.000E+001 ms  
Units mm, g, ms

衝突面

裏面にかけて十字状に亀裂が生じている。

緑：非破壊  
赤：破壊

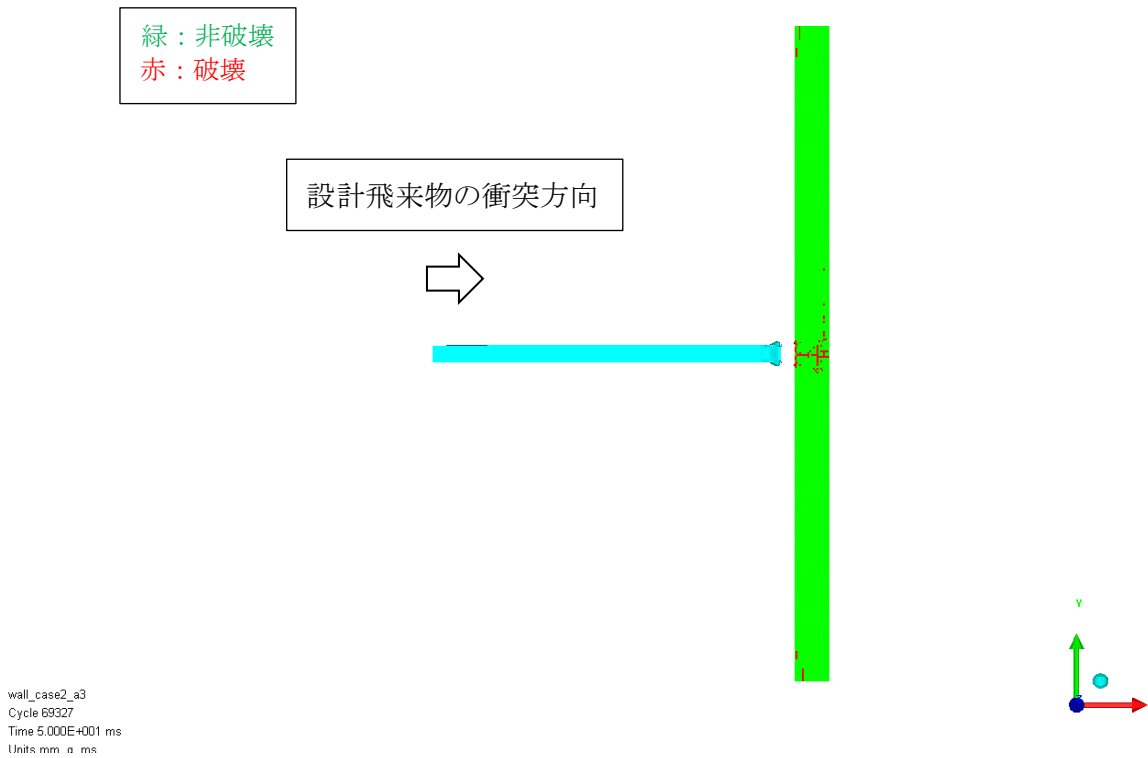


wall\_case2\_a3  
Cycle 69327  
Time 5.000E+001 ms  
Units mm, g, ms

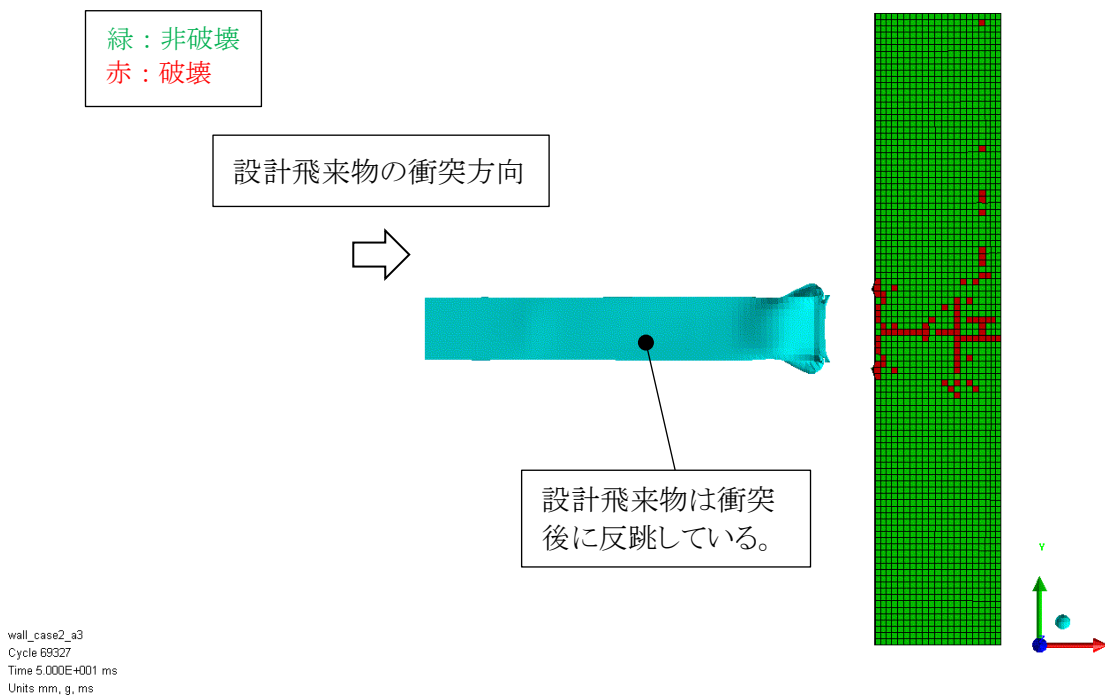
裏面

図 3-9 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の側壁面の損傷状態図 (1/2)  
(衝突後 50 ms 全体)

6-1-4-4-4-7-1-20



短辺方向中央断面図（全体）



短辺方向中央断面図（衝突位置拡大）

図 3-9 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の側壁面の損傷状態図（2/2）  
（衝突後 50 ms 全体）

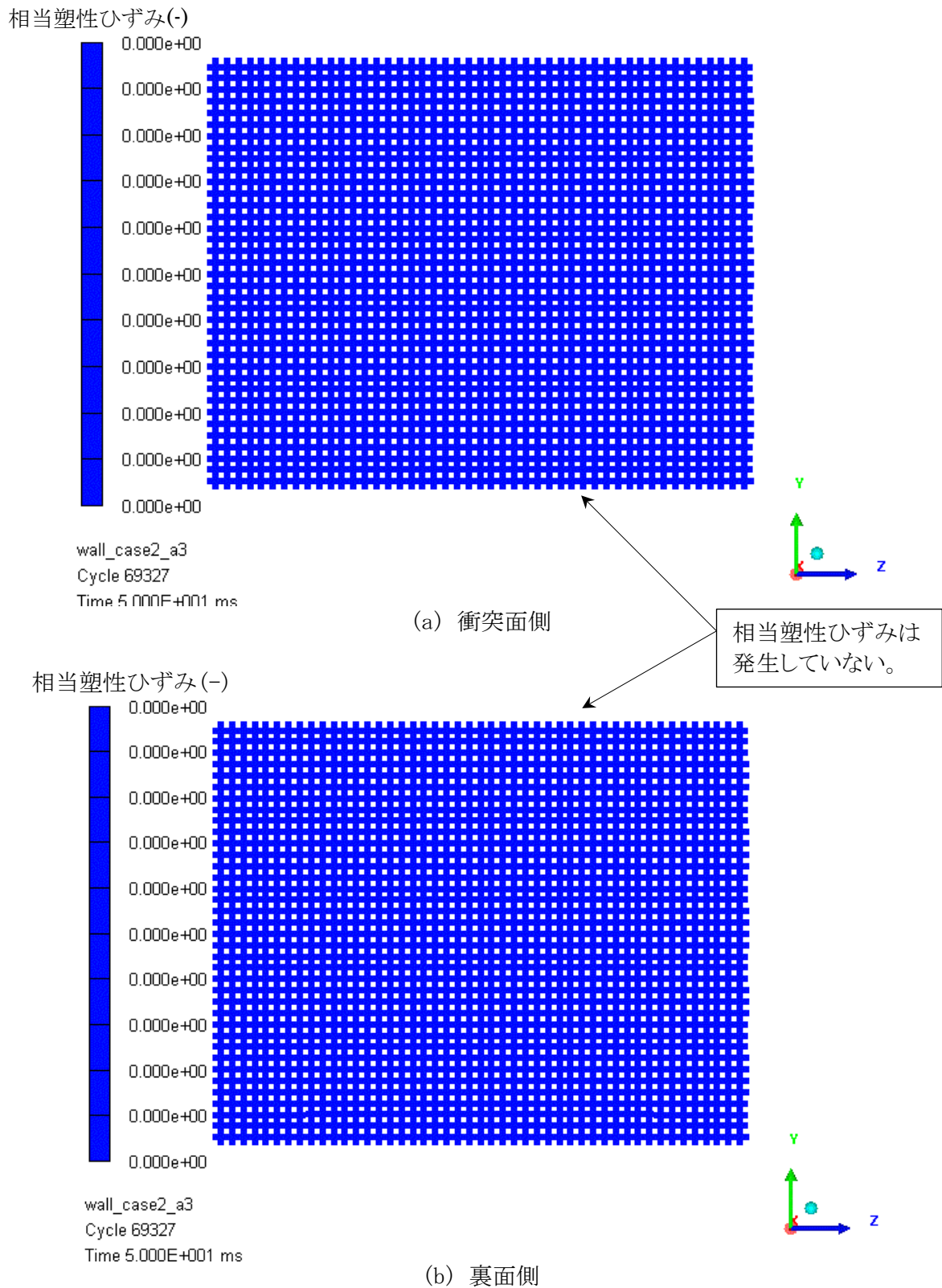
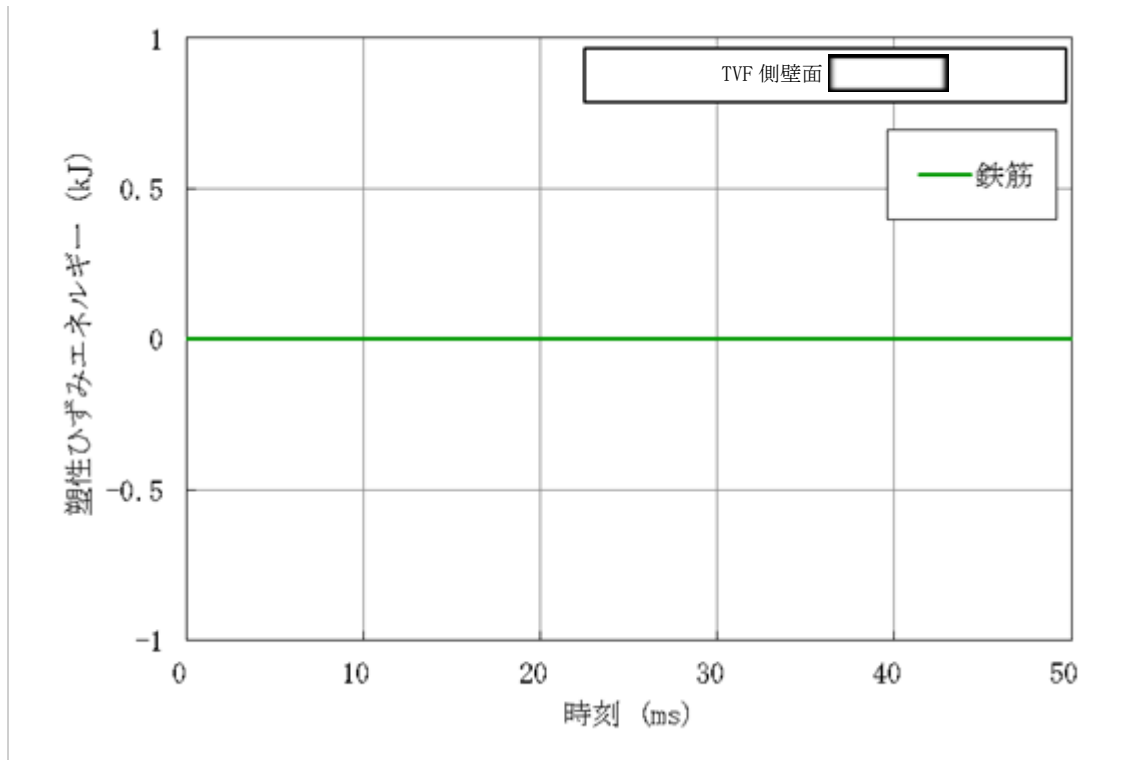
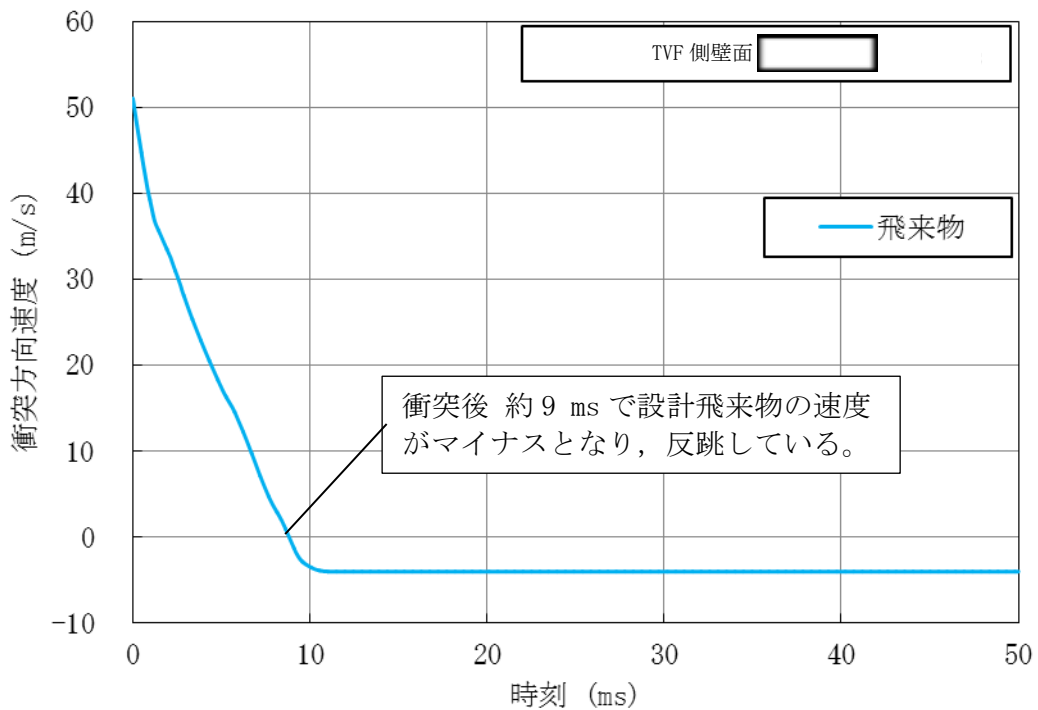


図 3-10 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の側壁面  の鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図 (衝突後 50 ms)

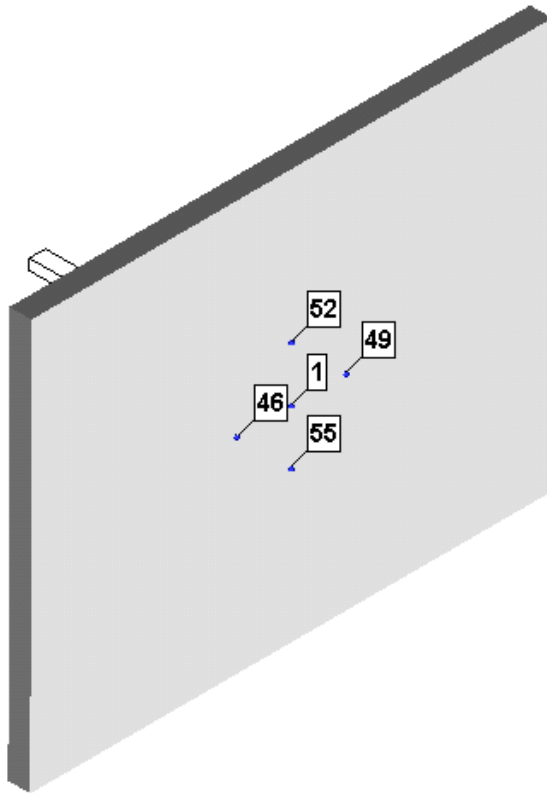


a) 鉄筋の塑性ひずみエネルギー時刻歴

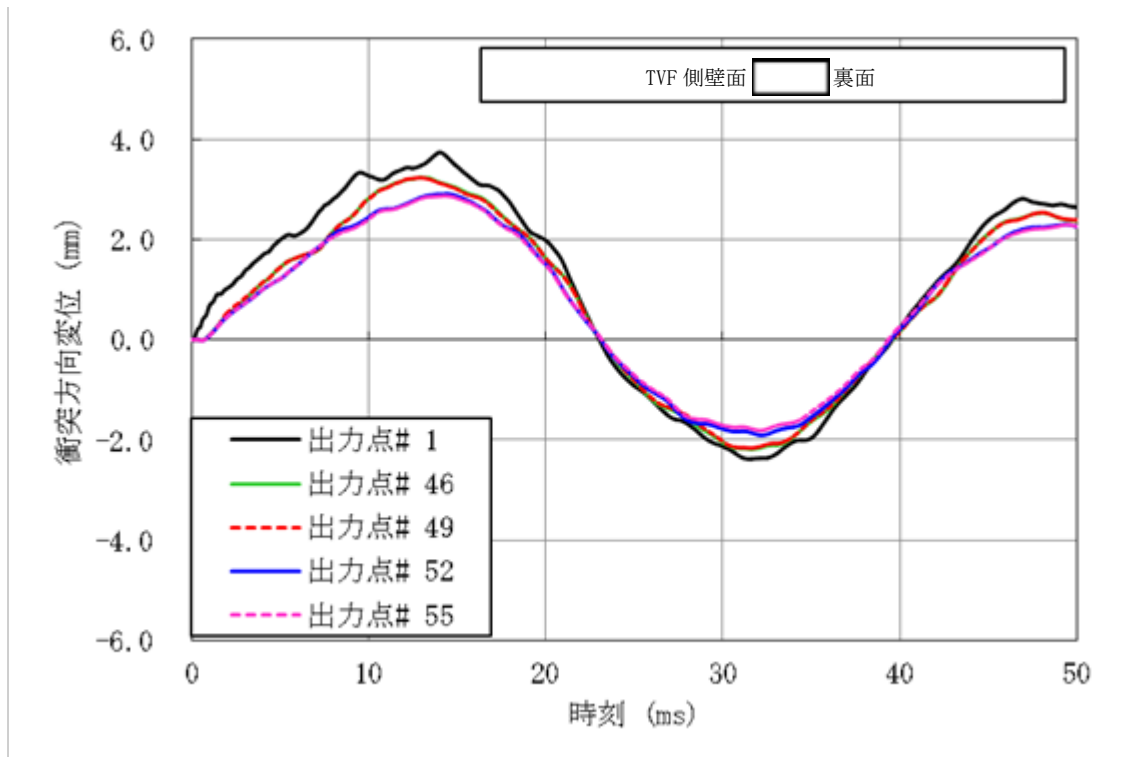


b) 設計飛来物の衝突方向速度時刻歴

図 3-11 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の側壁面  の時刻歴 (鉄筋の塑性ひずみエネルギー及び設計飛来物の衝突方向速度)



a)変位時刻歴データを抽出する要素の位置(衝突位置の裏面の中心1点と周囲4点)



b) 変位時刻歴データを抽出した要素の変位時刻歴

図 3-12 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の側壁面  の突方向変位と時刻の関係



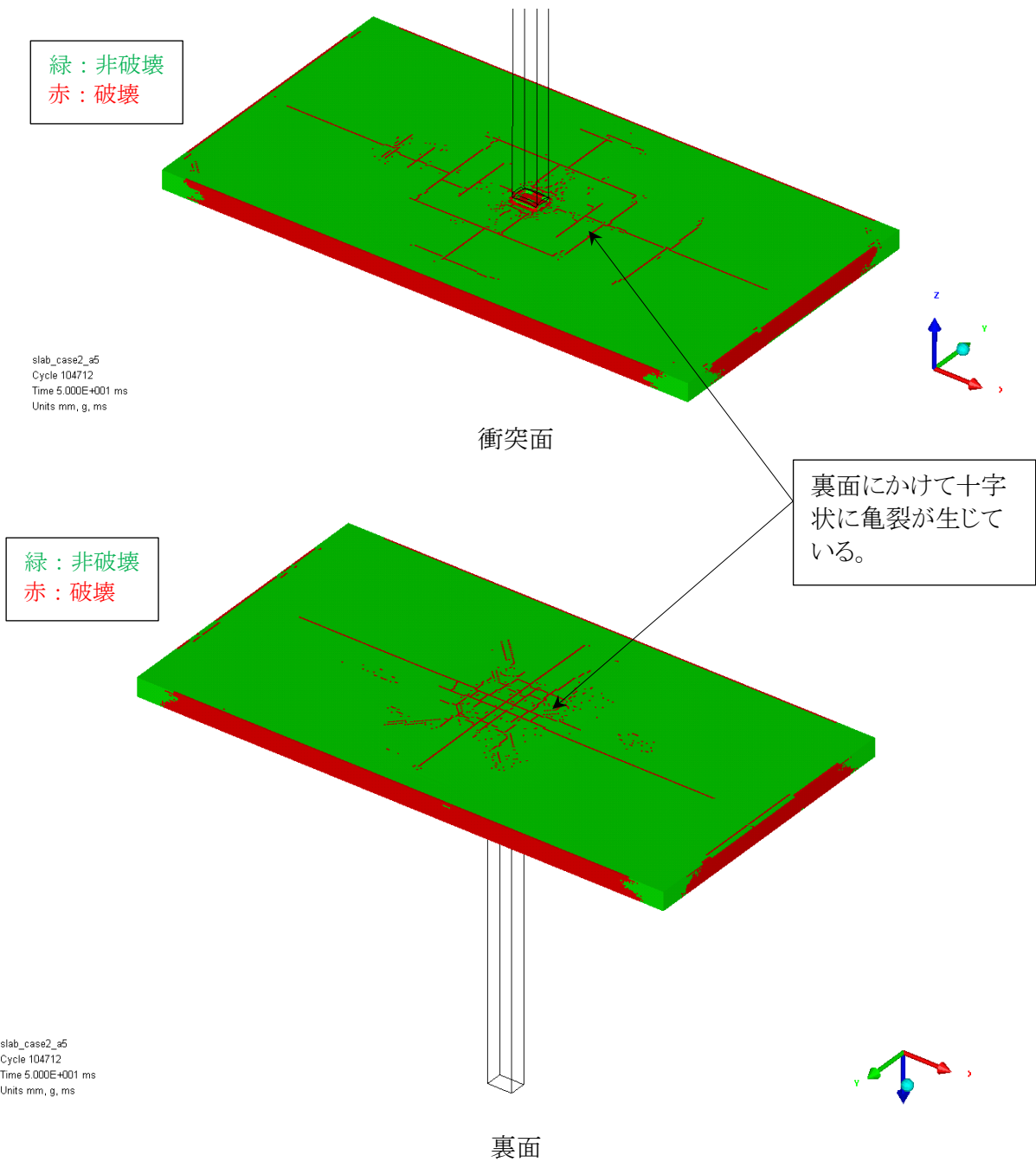
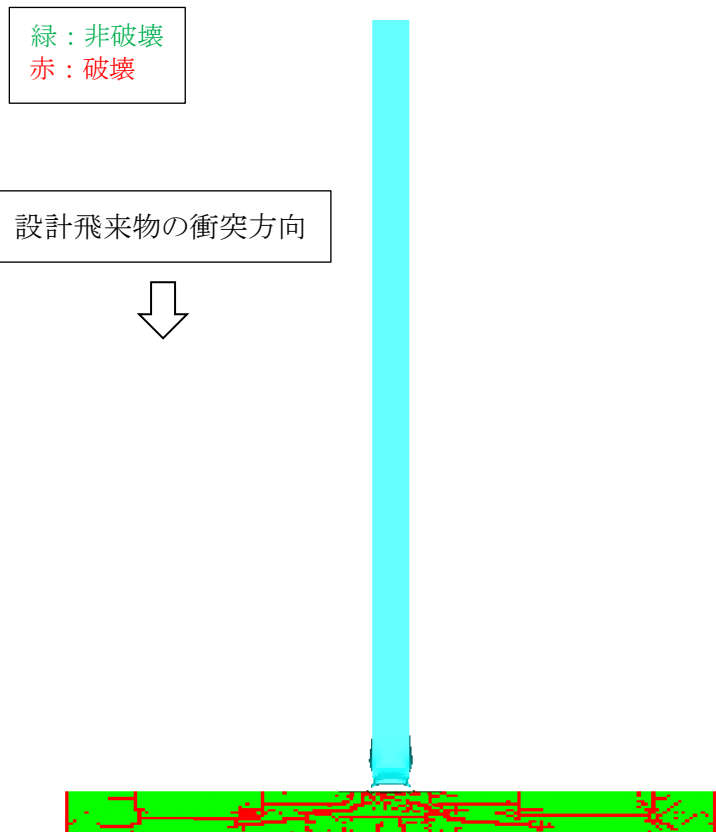
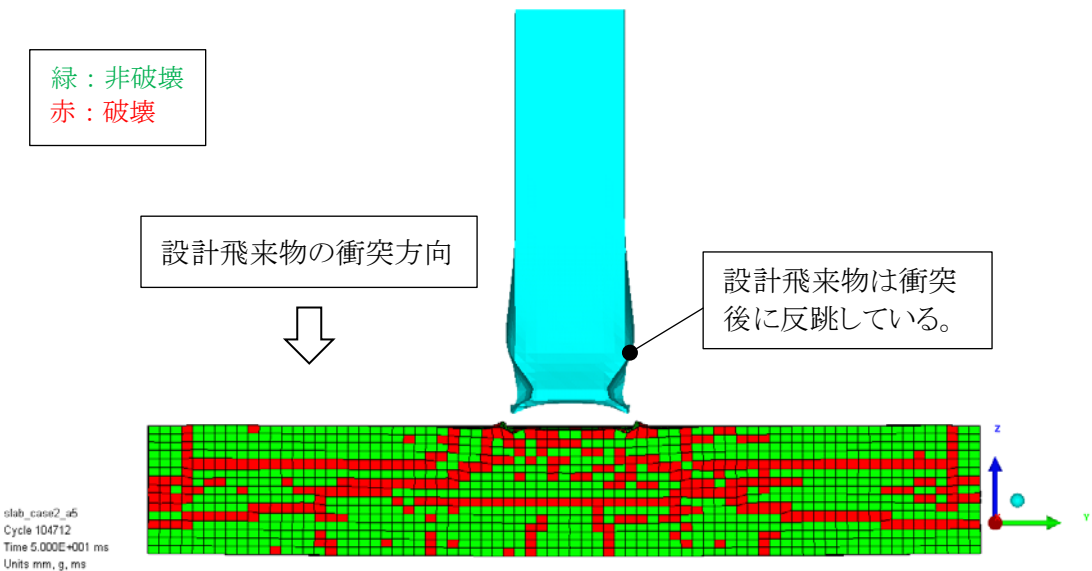


図 3-13 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブの損傷状態図 (1/2)  
(衝突後 50 ms 全体)



短辺方向中央断面図（全体）



短辺方向中央断面図（衝突位置拡大）

図 3-13 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の屋上スラブの損傷状態図（2/2）  
（衝突後 50 ms 全体）

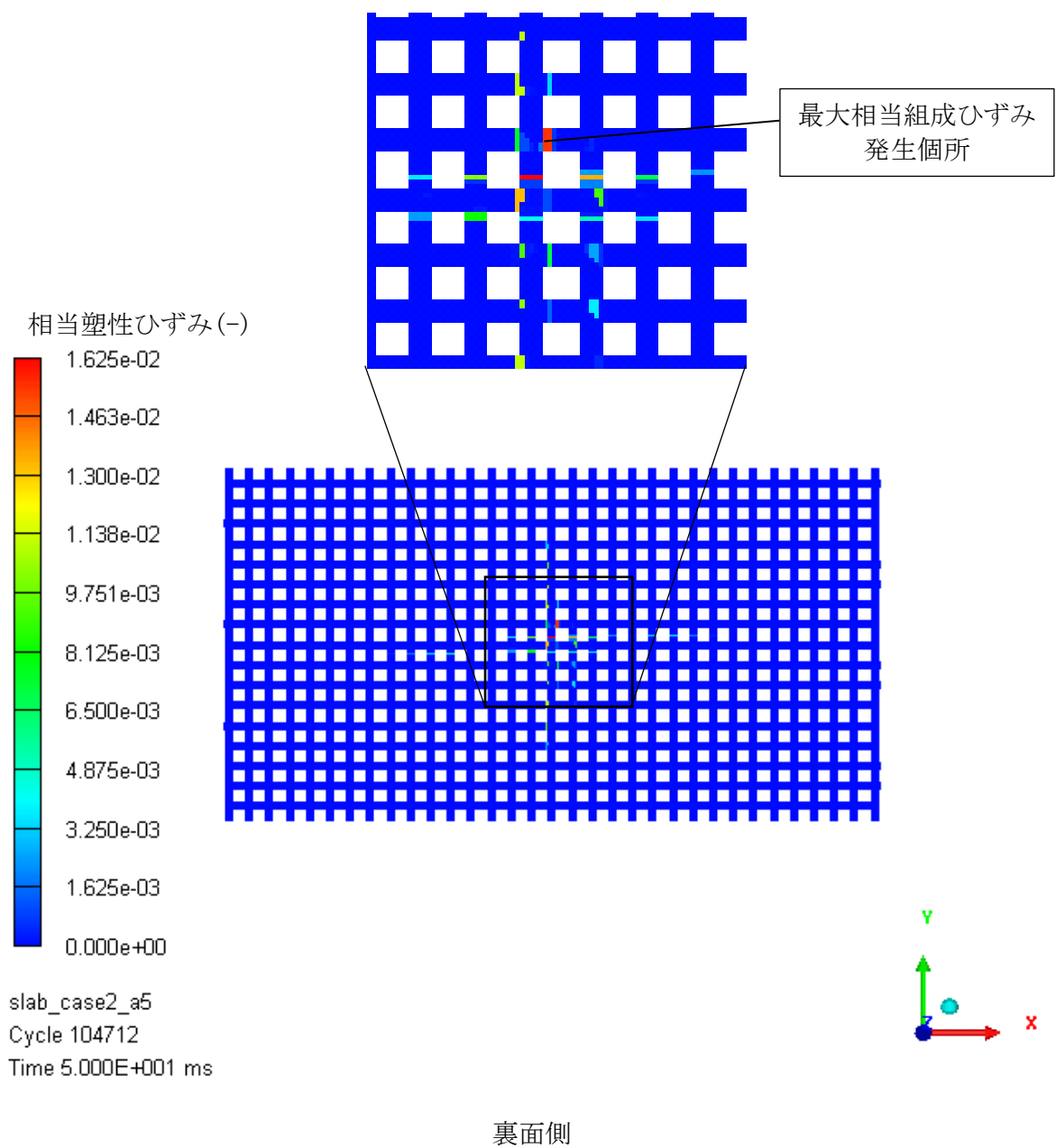
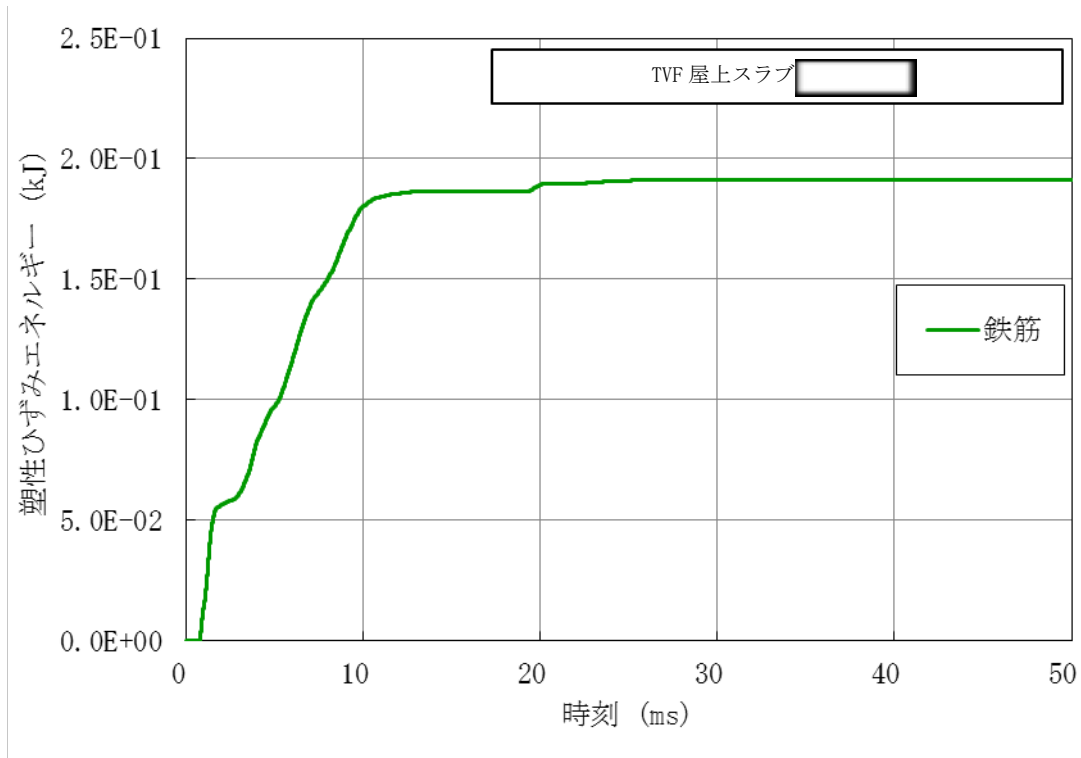
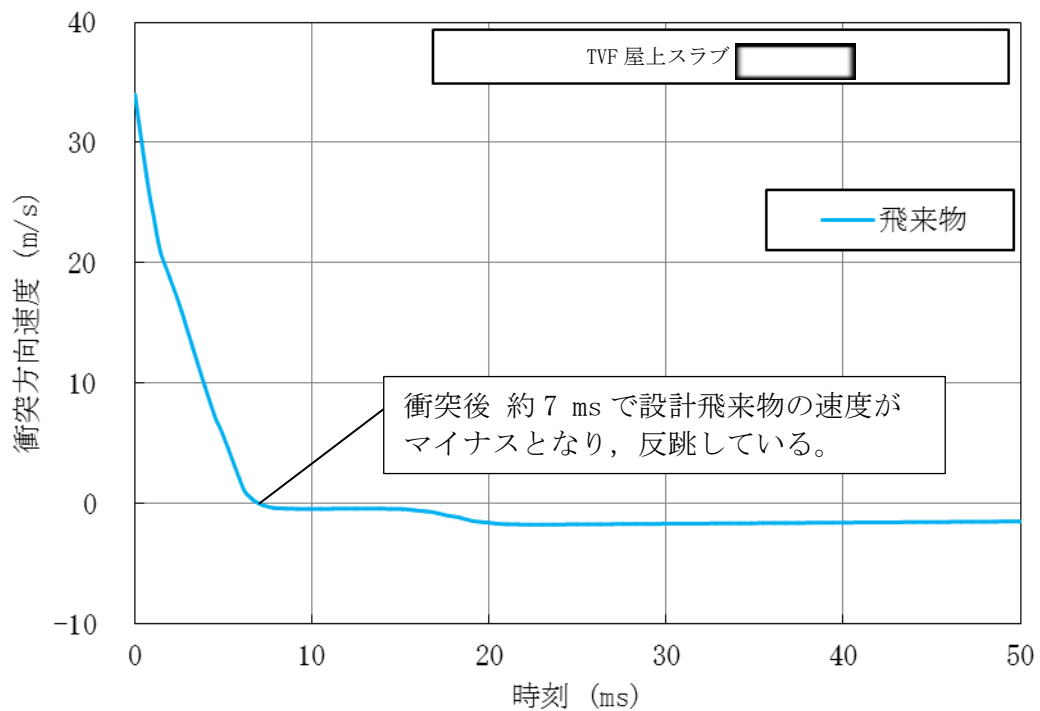



図 3-14 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ  の鉄筋の最大相当塑性ひずみコンター図 (衝突後 50 ms)

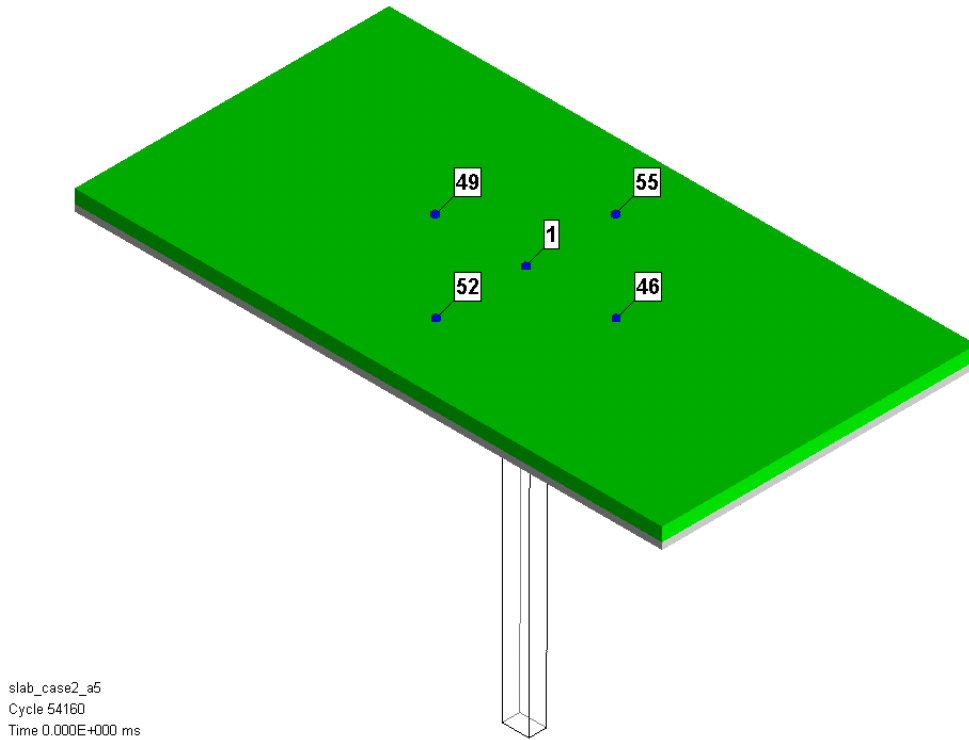


a) 鉄筋の塑性ひずみエネルギー時刻歴

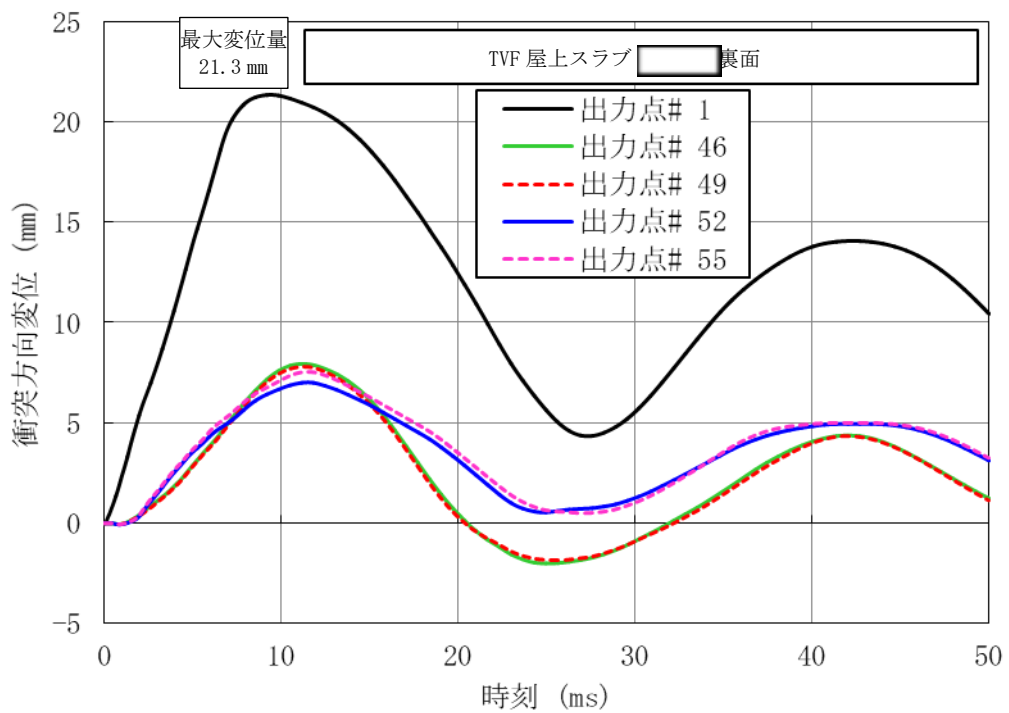


b) 設計飛来物の衝突方向速度時刻歴

図 3-15 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブ  の時刻歴 (鉄筋の塑性ひずみエネルギー及び設計飛来物の衝突方向速度)



a)変位時刻歴データを抽出する要素の位置(衝突位置の裏面の中心1点と周囲4点)



b) 変位時刻歴データを抽出した要素の変位時刻歴

図 3-16 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の屋上スラブの突方向変位と時刻の関係

## 計算プログラム（解析コード）ANSYS AUTODYNの概要

## 1. 概要

核燃料サイクル工学研究所 再処理施設の設計飛来物に対する建家の健全性評価に用いた解析コードであるANSYS AUTODYN（以下「AUTODYN」という。）について、検証等を行った結果を以下に示す。

## 2. コードの概要及び検証等

コード名	ANSYS AUTODYN
開発機関	米国Century Dynamics社（2005年 ANSYS社と合併）
開発時期	1985年
使用バージョン	Version 14
使用目的	衝撃問題の非線形時刻歴応答解析
コードの概要	<p>AUTODYNは、爆発・衝撃問題といった非線形時刻歴応答解析の専用ツールとして、1985年に米国Century Dynamics 社（2005年 ANSYS社と合併）によって開発されている。</p> <p>AUTODYNは、陰解法ソルバを採用した有限要素法解析ツールとは異なり、収束計算を必要としない陽解法※ソルバを採用しているため、爆発・衝撃のような非線形性の強い問題の解析に適している。</p> <p>※ 時刻歴応答解析には「陰解法」と「陽解法」の2種類の手法があり、陰解法は解を求めるために収束計算を必要とすることから、非線形性の強い問題の場合は解が発散して計算が継続できなくなる場合がある。一方、陽解法は収束計算の必要がないことから、比較的短時間で安定して解が得られる。</p> <p>AUTODYNには、気体/液体/固体等の解析対象に応じた要素の使い分けや、異なる要素タイプ間での連成解析が可能であり、変形レベルの大きい流体部分と比較的変形レベルの小さい構造物部分の要素を使い分けてモデル化し、それらを連成させて計算することで、衝撃荷重を伴う流体-構造連成問題を解くことができる。AUTODYNの基礎方程式は以下の3つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・質量保存則</li> <li>・運動量保存則</li> <li>・エネルギー保存則</li> </ul> <p>これら3保存則に加え、物質の特性を決定づける状態方程式と構成則を連立して解いている。さらに、破壊則を定義することで物体の破壊挙動を評価できる。</p>

<p>検証及び 妥当性確認</p>	<p>AUTODYN Version 14は、竜巻飛来物と建家外壁の衝突解析に使用している。</p> <p><b>【検証】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋コンクリート版への衝突問題について、AUTODYN Version 13 による解析結果が実験結果を良く再現している確認している<sup>1)</sup>。</li> <li>・本解析業務と同様な手法によるAUTODYN Version 13を用いた鉄筋コンクリート版への衝突解析の結果と実験値を比較した結果、飛来物（剛体）の実験での貫入深さに対して、解析による貫入深さが良く合っていることを確認している<sup>2)</sup>。</li> <li>・OECD/NEA(経済協力開発機構/原子力機関)による航空機等の衝突に対する原子力施設の安全性評価技術の改良整備を目的とした国際プロジェクト（IRIS）に参加した原子力安全基盤機構による鉄筋コンクリート版に対する衝突試験を再現する解析において「3次元FEM モデルを用いた当機構コード（AUTODYN Version 6.1 とCAPROUS 構成則の組み合わせ）によるミサイル衝突解析方法は、コンクリート材料構成則パラメータを適切に設定すれば、ある程度精度が高い計算を実施できると思われる。」と評価されていることを確認している<sup>3)</sup>。</li> <li>・AUTODYNのVersion 6.1, Version 13及びVersion 14 との間で計算結果に大きな差異が生じないこと確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認】</b></p> <p>AOUTDYNを竜巻により発生する飛来物の衝突解析の評価に使用することは次のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JSME S NX6-2019 発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドラインにおいて、詳細評価に用いる解析コードとして記載されている。</li> <li>・本解析コードは、爆発・衝撃問題といった非線形時刻歴応答解析の専用ツールとして開発されたコードであり、使用目的が合致している。</li> <li>・コンクリート材料構成則パラメータを適切することで、ある程度精度が高い計算を実施できる。</li> </ul>
-----------------------	---

### 3. 検証方法

#### 3.1 衝突試験と解析結果の比較<sup>1)</sup>

##### 1) 衝撃試験

ほぼ剛体とみなすことができる飛翔体の衝突実験<sup>2) ~3)</sup>を公開論文から選択し、それらを対象として2次元解析を実施している。衝突実験は、飛翔体の先端が先の尖った弾あるいは平坦な形状で実施している。

実験条件を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 衝突実験の条件<sup>2) ~3)</sup>

試験	飛翔体			コンクリート
	先端形状	速度 (m/s)	質量 (kg)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
Forrestal-1	尖頭型	277~800	0.9	32~40
Forrestal-2	尖頭型	405~651	1.6	51
EMI	平坦型	155~213	2.2	33~40
Koshika	平坦型	400	0.098	24.3

## 2) 解析

解析体系は2次元軸対称として解析を行っている。飛翔体とコンクリート板の要素分割を図 3.1-1 に示す。飛翔体とコンクリート板の計算要素にはラグランジュ表示の四角形ソリッド要素を用いた。

なお、ラグランジュ・ソリッド要素は過度に変形すると解析の続行を阻害するため、相当ひずみが 200%を超える要素は、解析体系から自動的に削除している。

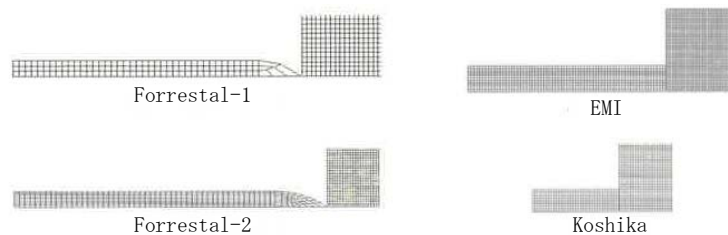


図 3.1-1 2次元解析の計算メッシュ<sup>1)</sup>

## 3) 解析結果と評価

表 3.1-2 に、剛飛翔体の実験ケースに対する貫入深さの比較を示す。Forrestal-1 の衝突速度が 277 m/s のケースと EMI の衝突速度が 213 m/s のケースでは 10%を越える誤差があるが、それ以外では解析による貫入深さは実験値と良く合っている。飛翔体の先端形状や衝突速度、コンクリート強度が異なっても、精度良く模擬できることが確認できる。

図 3.1-2 には代表的な解析ケースのコンクリート板の損傷状況を示した。赤色の領域はスポール破壊した計算要素を表している。

表 3.1-2 実験による貫入深さと解析結果の比較<sup>1)</sup>



ケース	衝突試験	飛翔体				コンクリート板		貫入深さ (mm)		誤差 (%)	
		質量 (kg)	直径 (mm)	速度 (m/s)	先端形状	板厚 (mm)	圧縮強度 (MPa)	実験結果	解析結果		
1	Forrestal-1	0.9	26.9	277	尖頭型	760	35.2	173	194	+12	
2				410				310	322	+4	
3				499				480	456	-5	
4				591				1830	513	553	+8
5				631					607	633	+4
6				642					620	657	+6
7				800					958	940	-2
8	Forrestal-2	1.6	30.5	405	尖頭型	1000	51	370	375	+1	
9				446				420	417	-1	
10				545				560	557	-1	
11				651				780	731	-6	
12	EMI	2.16	45	155	平坦型	231	33	68	67	-2	
13				203				106	109	+3	
14				213				130	146	+12	
15	Koshika	0.098	20	400	平坦型	130	24.3	62	65	+5	

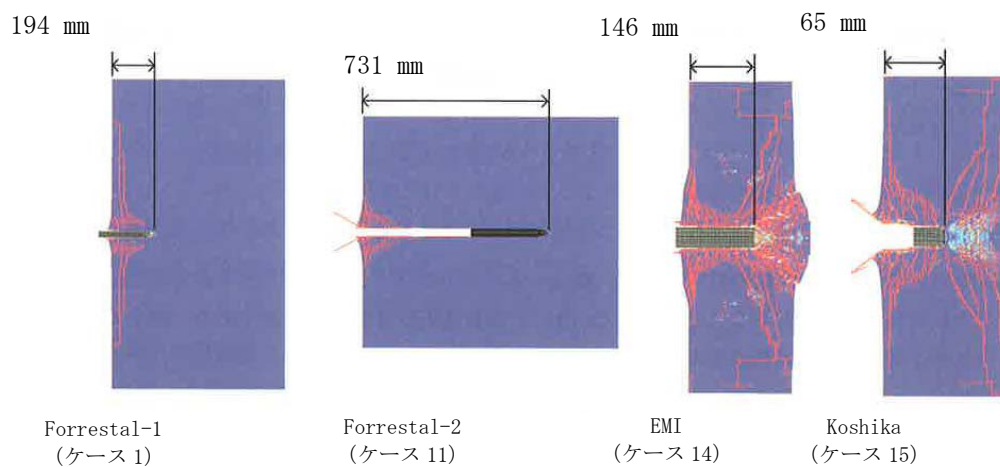


図 3.1-2 2次元解析によるコンクリート板の損傷図<sup>1)</sup>

## 引用文献

- 1) 高速衝撃を受けるコンクリート構造物の局所破壊に対する設計ガイドライン（案），平成26年3月，防衛施設学会，150-165.
- 2) Forrestal, M. J. et al., An empirical equation depth of ogive-nose projectiles into concrete targets, International Journal of Impact Engineering, 1994, 15, 395-405.
- 3) Forrestal, M. J. et al., Penetration of grout and concrete targets with ogive-nose steel projectiles, International Journal of Impact Engineering, 1995, 18, 465-476.
- 4) Langheim, H., Impactuntersuchungen an armierten betonplatten, Ernst Mach Institute Report, E14, Part3, 1977.
- 5) Muto, K. et al., Experimental studies on local damage of reinforced concrete structures by the impact of deformable missiles part1:outline of test programs and small-scale test, Trans.of 10th SMIRT, 1989, 257-264.

## 設計飛来物に対する竜巻防護対策（開口部の閉止措置）の概要

## 1. 防護方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家内に設置する閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う施設は、廃止措置計画用設計竜巻の荷重に対して、建家外殻の防護機能により当該健全性を維持する。

建家内に設置する閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う施設のうち、一部の施設は、窓等の開口部に近接しており、設計飛来物の衝突等により機能喪失することがないように、開口部の閉止措置を実施する。

## 2. 対策箇所

## 2.1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）

設計飛来物の衝突等を考慮する必要がある地上階における屋内の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う施設の配置図を図 2.1-1～図 2.1-2 に示す。

なお、浸水防止対策を実施している箇所で、浸水防止扉等の鋼材厚さが設計飛来物の貫通限界厚さを超えるものについては、浸水防止対策により設計飛来物に対しても防護機能に期待できるものとして、新たな対策を実施しないものとする。

## 2.2 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

設計飛来物の衝突等を考慮する必要がある地上階における屋内の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う施設の配置図を図 2.2-1～図 2.2-2 に示す。

なお、浸水防止対策を実施している箇所で、浸水防止扉等の鋼材厚さが設計飛来物の貫通限界厚さを超えるものについては、浸水防止対策により設計飛来物に対しても防護機能に期待できるものとして、新たな対策を実施しないものとする。

## 3. 設計飛来物への防護対策の考え方

「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」中で、鋼板に対する貫通厚さの算出式に使用されている BRL 式を用いて貫通限界厚さ T を算定し、鋼板に対する設計飛来物の貫通厚さ T を超える鋼板厚さで開口部の閉止措置を設計することとする。

BRL 式

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

$$T = \left\{ \frac{0.5MV^2}{1.4396 \times 10^9 K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}} \right\}^{\frac{2}{3}}$$

$$\cong 8.91 \text{ (mm)}$$

ここで、

$T$  : 鋼板貫通限界厚さ (m)

$M$  : 設計飛来物の重量 135 (kg)

$V$  : 設計飛来物の最大水平衝突速度 51 (m/s)

$d$  : 設計飛来物の直径 0.276 (m)

(設計飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

$K$  : 鋼板の材質に関する係数 ( $\approx 1$ )

#### 4. 竜巻防護対策の概要

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の閉止措置等の対策を表 4-1 に、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の閉止措置等の対策を表 4-2 に示す。また、開口部に対する竜巻防護対策の概要を図 4-1～図 4-3 に示す。

以上

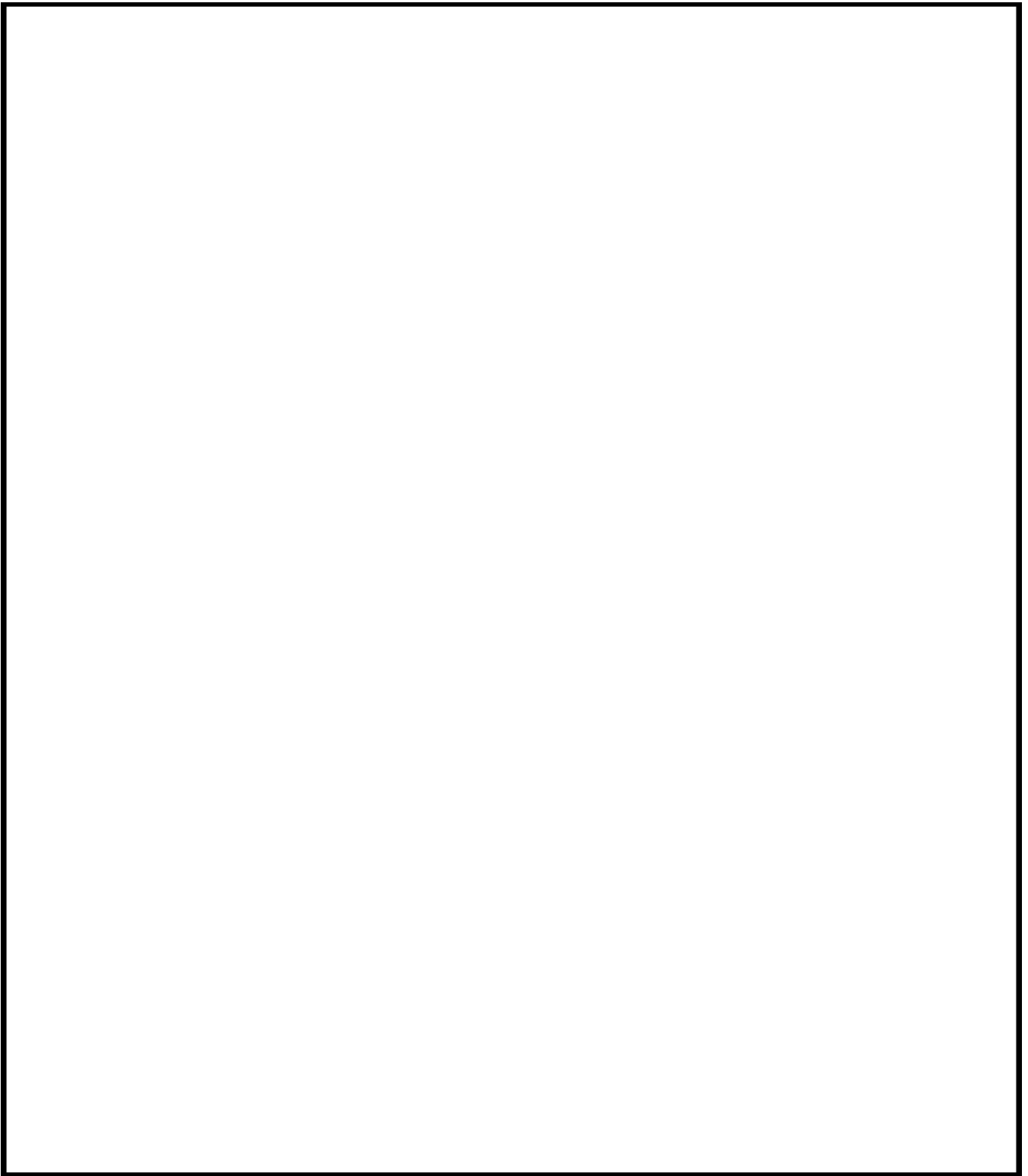


図 2.1-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）3階の閉止措置の対策箇所  
（平面図）

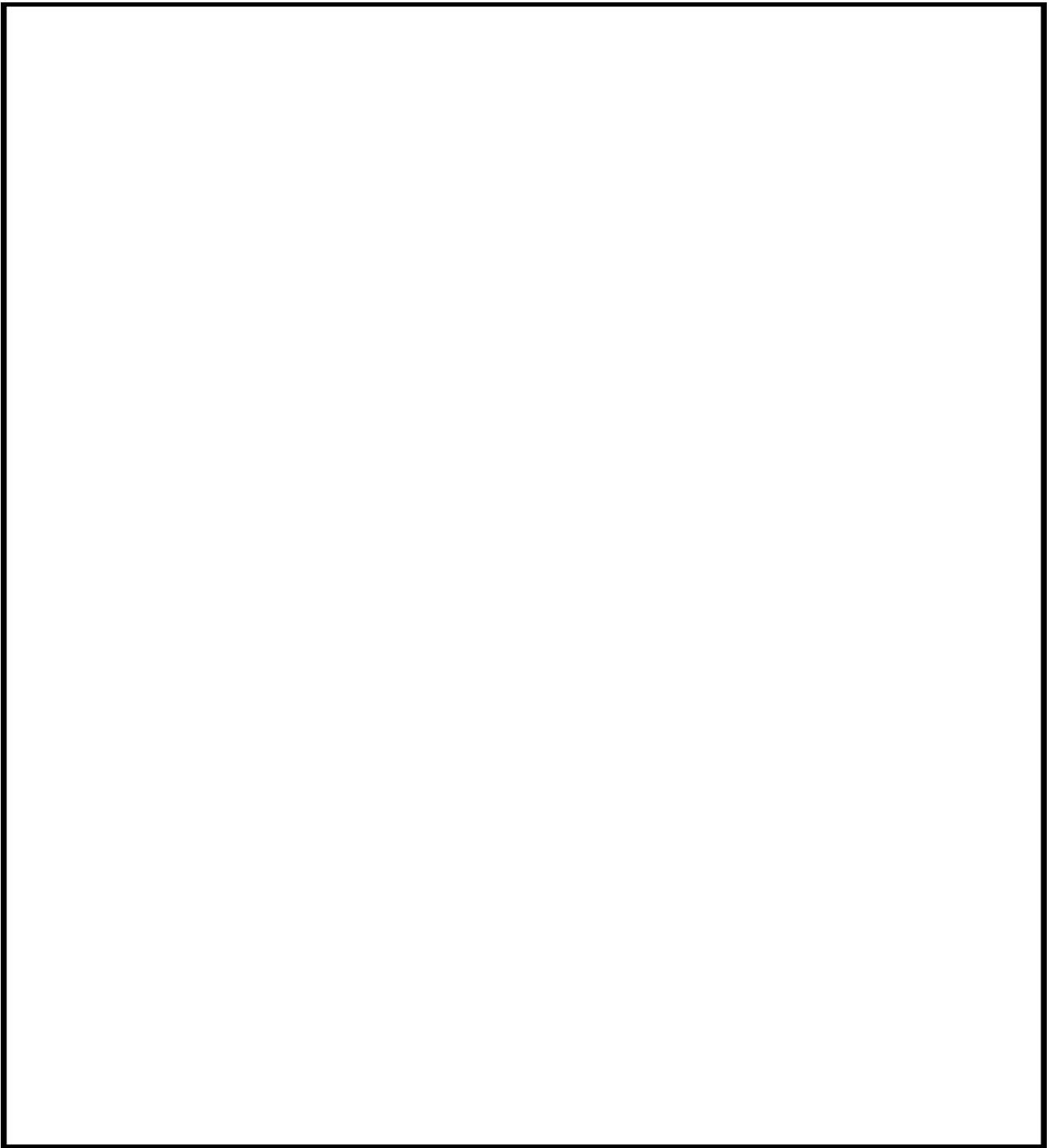


図 2.1-2 高放射性廃液貯蔵場（HAW）4 階の閉止措置の対策箇所  
（平面図）



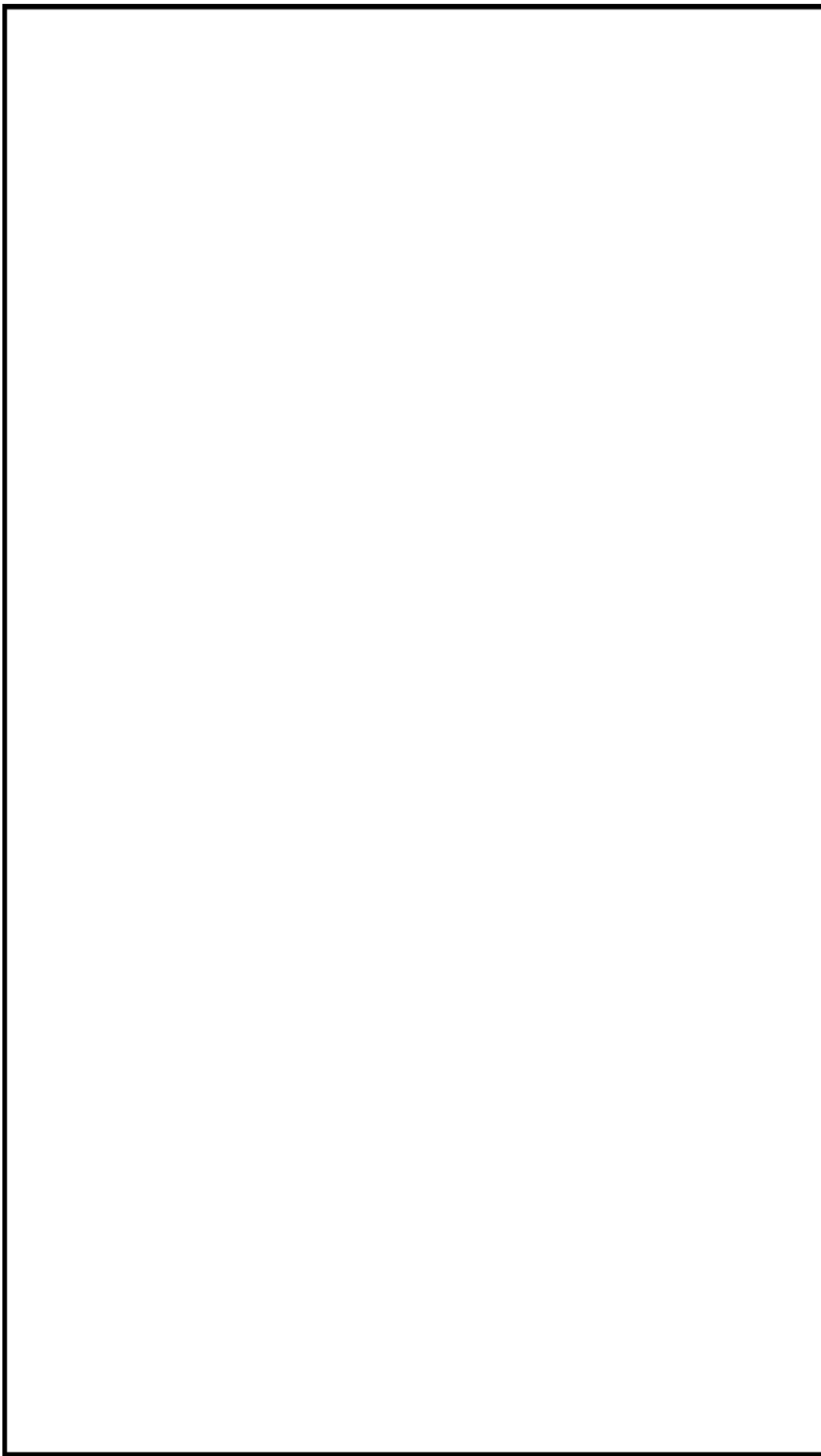


図 2.2-2 ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の平面図 (3 階)



表 2-1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の閉止措置等の対策箇所

開口部の位置	種類	基数	防護対策イメージ
3 階 (廊下－屋外)	窓	5	図 4-1
	扉（閉止板（盾式角落とし）有）	1	図 4-2
4 階 (廊下－屋外)	窓	5	図 4-1
	扉	1	図 4-2
	ガラリ	1	図 4-3

表 2-2 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の閉止措置等の対策箇所

開口部の位置	種類（現状）	基数	防護対策の概要
2 階 (電気室－屋外)	窓（アクリル板 有）	4	図 4-1
	扉（閉止板（盾式角落とし）有）	1	図 4-2
	ガラリ	3	図 4-3
2 階 (制御室－屋外)	窓（鋼板（6 mm）有）	7	図 4-1
	扉（閉止板（盾式角落とし）有）	1	図 4-2
2 階 (休憩室－屋外)	窓（鋼板（6 mm）有）	2	図 4-1
2 階 (空調機械室－屋外)	扉（閉止板（盾式角落とし）有）*1	1	図 4-2
2 階 (排気フィルタ室－屋外)	扉（閉止板（盾式角落とし）有）	1	図 4-2
3 階 (ユーティリティ室－屋外)	窓	4	図 4-1
	扉	1	図 4-2
	ガラリ	2	図 4-3
3 階 (給気室－屋外)	窓	7	図 4-1
	扉	1	図 4-2
	ガラリ	2	図 4-3
3 階 (排気機械室－屋外)	扉	2	図 4-2
3 階 (電気室－屋外)	ガラリ	1	図 4-3

\*1 設計飛来物が当該扉を貫通した場合、内側にある壁による防護に期待できなく、フィルタが損傷するおそれがあることから閉止措置を行う。

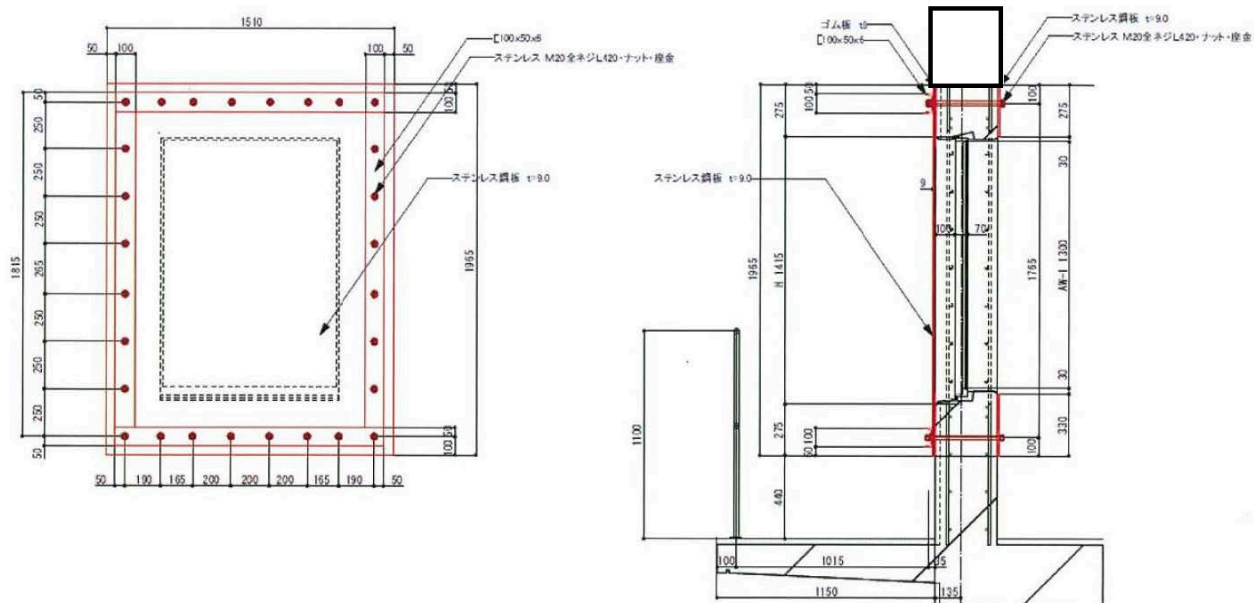


図 4-1 窓に対する閉止措置のイメージ図

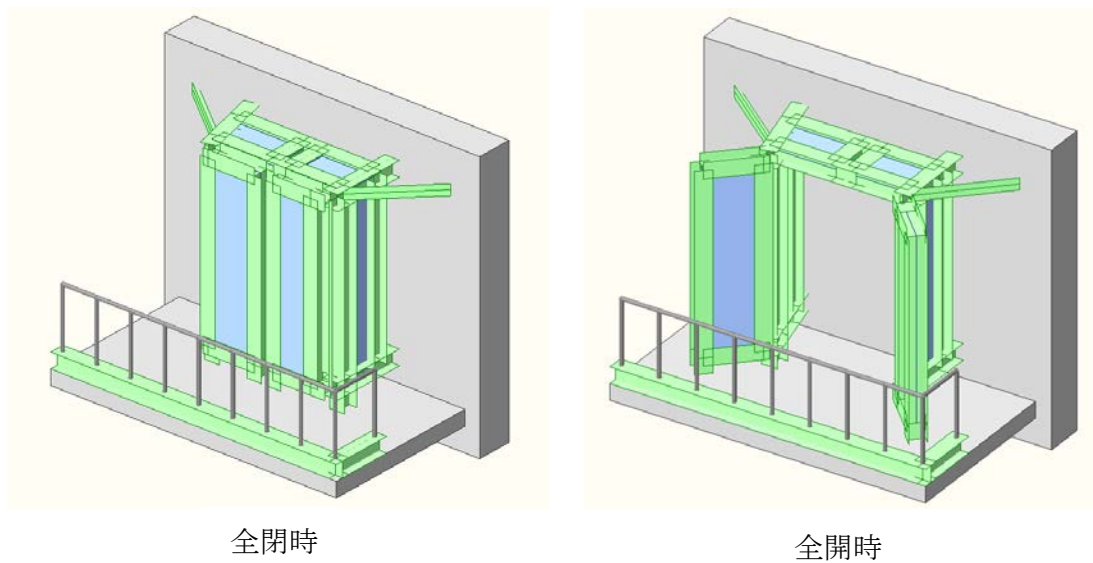


図 4-2 扉に対する閉止措置のイメージ図

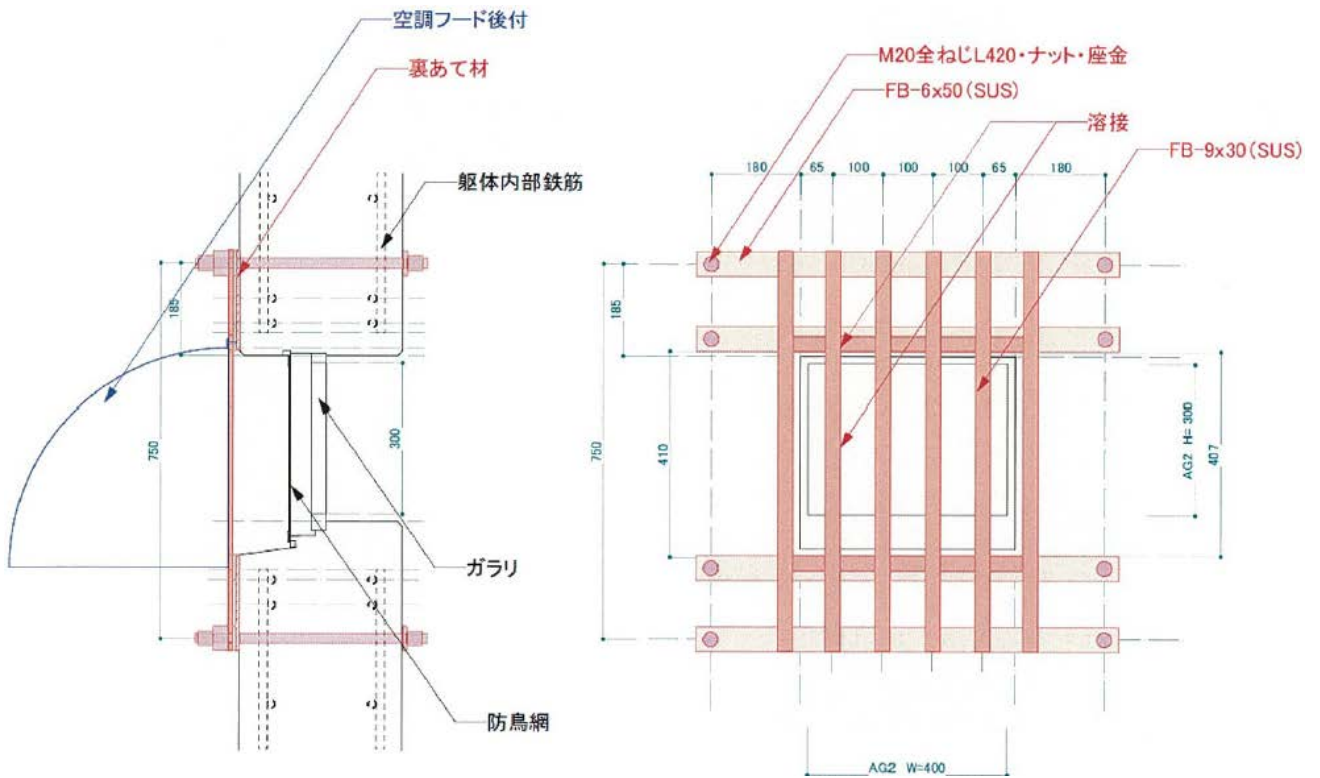


図 4-3 ガラリに対する閉止措置のイメージ図 (1/2)

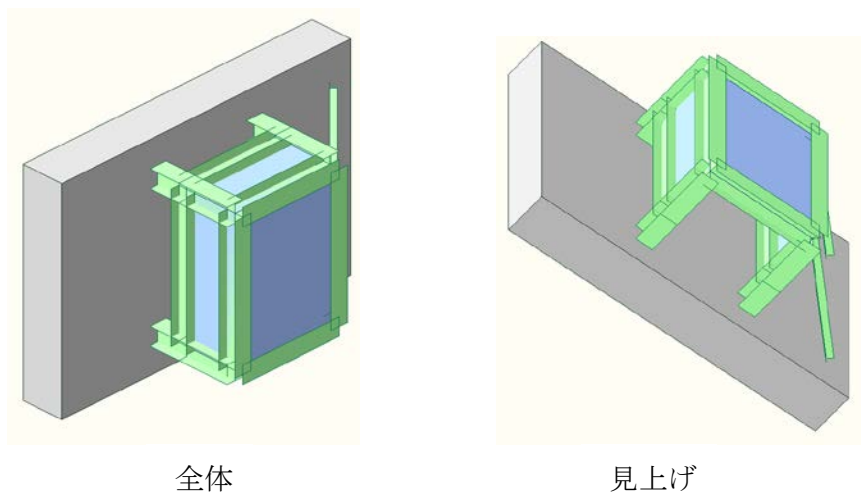


図 4-3 ガラリに対する閉止措置のイメージ図 (2/2)