

別添 6-1-4-4

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 ($= (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$)

ρ : 空気密度

V_D : 設計竜巻の水平方向の最大風速（別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定」参照）

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 (ΔP_{max}) に基づき設定する。

a. 建家及び構築物

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、

ΔP_{max} : 最大気圧低下量 (別添 6-1-1-4 「基準竜巻及び設計竜巻の設定」参照)

A : 施設の受圧面積

竜巻防護施設を内包する建家及び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⁽¹⁾を踏まえた下式にて算出する。

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

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) を組合せた複合荷重とし、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} の算出では 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 設計竜巻荷重と組合せる荷重の設定

設計竜巻荷重と組合せる荷重は、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合せる。

(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⁽²⁾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）ガラス固化技術開発棟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⁽³⁾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 程度の雹が、設計竜巻の最大風速である 100 m/s で衝突することを想定したとしても、運動エネルギーは 2.5 kJ であり、設計飛来物の運動エネルギーと比べて十分に小さく、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安全上支障のない期間での修復等の対応により、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、竜巻及びその随件事象に対して構造健全性を確保することにより、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

建家及び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 JEAG4601（日本電気協会） 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 JEAG4601（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できるようにする。

<竜巻防護施設>

a. セル換気系のダクト（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、安全上支障のない期間に補修することで対応できるようにする。

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（浄水系統を含む。）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受槽は、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できるようにする。

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、安全上支障のない期間に補修することで対応できるようにする。

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

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、安全上支障のない期間に補修することで対応できるようにする。

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（浄水系統を含む。）及び純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できるようにする。

< 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できるようにする。

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できるようにする。

(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、フィルタ及び排風機（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

セル換気系のダクト、フィルタ及び排風機は、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及びフィルタ（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

緊急放出系のダクト及びフィルタは、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、フィルタ及び排風機（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、フィルタ及び排風機は、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、フィルタ及び排風機（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、フィルタ及び排風機は、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、フィルタ及び排風機（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、フィルタ及び排風機は、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、設計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いないことから、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るが、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うことはない。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うことはない。

(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く、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、周辺に溢水源となる大型の屋外タンクはなく、竜巻防護施設の安全機能を損なうおそれはない。

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管理棟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れない。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管理棟駐車場に配備した移動式発電機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（HAW）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れない。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及び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うことはない。

表 1.2-1 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	< 竜巻防護施設 > ○セル換気系のダクト (高放射性廃液貯蔵場 (HAW)) ○二次冷却水系統 (高放射性廃液貯蔵場 (HAW)) ○緊急放出系のダクト (高放射性廃液貯蔵場 (HAW)) ○セル換気系のダクト (ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟) ○第二付属排気筒 ○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, フィルタ及び排風機 ○緊急放出系のダクト及びフィルタ	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)
		○槽類換気系の配管, フィルタ及び排風機 ○セル換気系のダクト, フィルタ及び排風機 ○固化セル換気系のダクト, フィルタ及び排風機	ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟
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 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),
(2020年7月 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
の評価対象施設の抽出について

1. 評価対象施設の抽出方針

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を含む。）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。

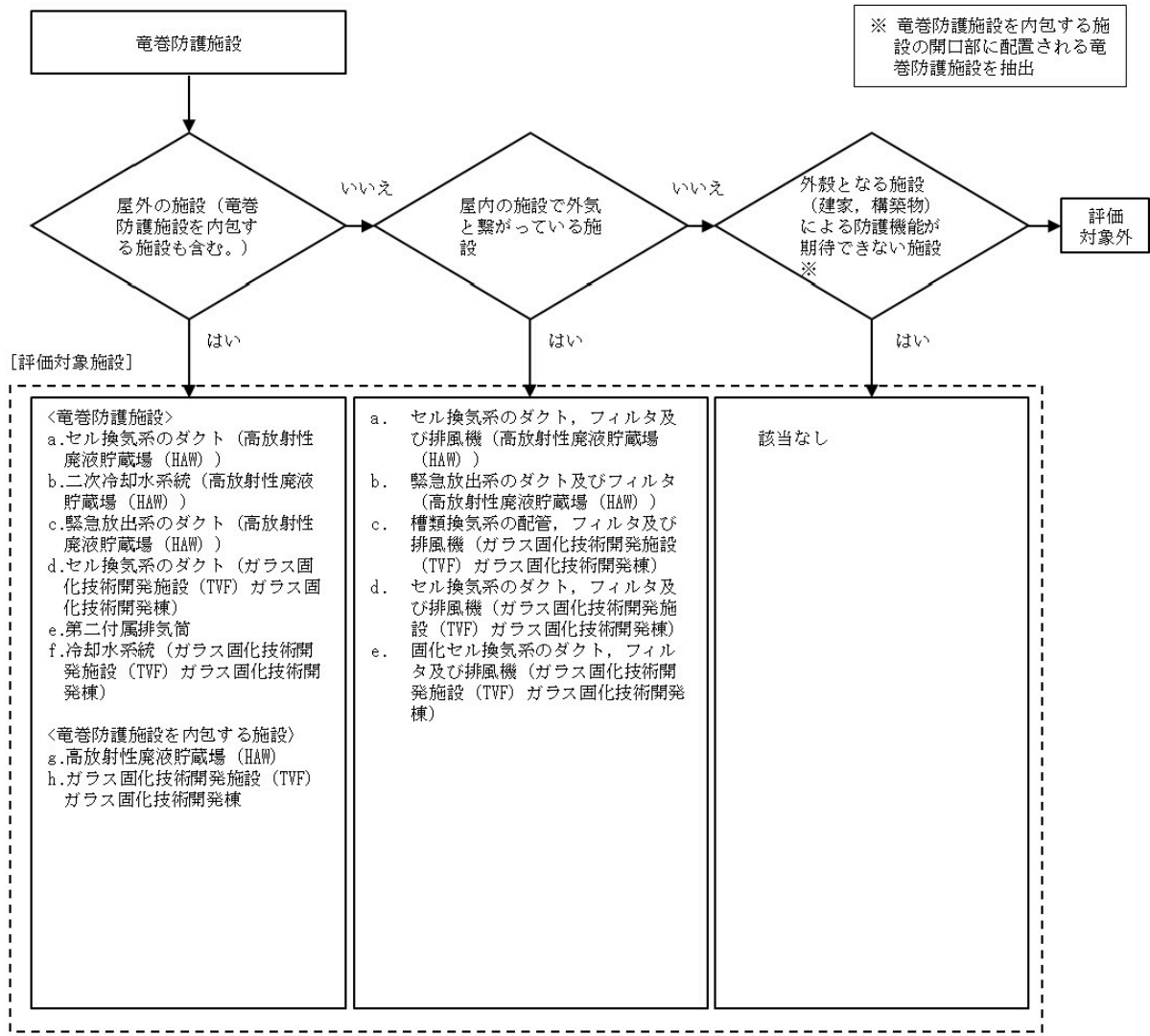


図 2-1 電巻防護施設のうち評価対象施設の抽出フロー

表 2-1 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	○：はい ×：いいえ —：該当しない		
					評価対象施設 (①～③に該当する)		
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	×	×	×	×	×	
		×	×	×	×	×	
	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 統及び機器を 設置するセル	×	×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×	×
	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	×	×	×	×	×
設備・系統	冷却器	×	×	×	×	×	
	排風機	×	×	×	×	×	

表 2-1 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	○：はい X：いいえ —：該当しない	
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能	設備・系統 セル換気系統 及び機器	セル換気系統	○	○	—	○	
		セル換気システム	×	○	—	○	
		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	×	×	×	×*1	×
		高圧受電盤 (第6変電所)	×	×	×	×*1	×
		低圧配電盤 (第6変電所)	×	×	×	×*1	×
		動力分電盤	×	×	×	×*1	×
崩壊 熱 除去 機能	設備・系統 一次系冷却水 系統及び機器	一次系冷却水系統	×	×	×	×	
		熱交換器	×	×	×	×	
		一次系の送水ポンプ	×	×	×	×*1	×
		一次系の予備循環ポンプ	×	×	×	×	×
		ガンマポット	×	×	×	×*1	×
	設備・系統 二次系冷却水 系統及び機器	二次系冷却水系統	○	○	—	—	○
		二次系の送水ポンプ	○	○	—	—	○

表 2-1 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外施設の防護機 能に期待できない	○：はい X：いいえ —：該当しない	
崩壊 熱 除去 機能	設備・系統去 二次系冷却水 系統及び機器	冷却塔	○	—	—	○	
		浄水ポンプ	○	—	—	○	
		浄水受槽	○	—	—	○	
	電気・計装制 御等	主制御盤	×	×	×	×*1	×
		高圧受電盤 (第 6 変電所)	×	×	×	×*1	×
		低圧配電盤 (第 6 変電所)	×	×	×	×*1	×
		動力分電盤	×	×	×	×*1	×
	事故対応設 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。

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 設備・系統	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)	×	×	×	×	×
	高放射性廃液を内蔵する系統及び機器を設置するセル	×	×	×	×	×
	溶融ガラスを閉じ込める機能	×	×	×	×	×
	槽類換気系統及び機器	×	×	○	×*1	○
冷却器	×	×	×	×	×	

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
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能 設備・系統	凝縮器 デミスタ スクラツバ ベンチュリスクラツバ 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 排風機 第二付属排気筒	×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
		○	○	○	○	○
		×	×	×	×	×
		×	×	×	×	×
○	○	○	×	×		

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)	
					○：はい	×：いいえ
設備・系統	セル冷却系統	×	×	×	×	×
	冷却水系統	×	×	×	×	×
	インセルクーラ	×	×	×	×	×
	冷凍機	×	×	×	×	×
	冷却器	×	×	×	×	×
	ポンプ	×	×	×	×	×
	膨張水槽	×	×	×	×	×
	スチームジェット	×	×	×	×	×
	セル内ドリップトレイ液面上限警報	×	×	×	×	×
	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	×	×	×	×	×
	電磁弁分電盤	×	×	×	×	×
	電磁弁分電盤	×	×	×	×	×
高放射 性廃液 を閉じ 込める 機能						

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	×	×	× ^{*1}	×	×	
	高圧受電盤 (第 11 変電所)	×	×	×	×	×	
	低圧動力配電盤 (第 11 変電所)	×	×	×	×	×	
	無停電電源装置	×	×	×	×	×	
	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)	×	×	×	×	×	
崩壊熱除去機能	設備・系統	○	—	—	○	○	
		冷却水系統	×	×	×	×	×
		冷却器	○	—	—	○	○
		冷却水 (重要系) 系統及び機器	○	—	—	○	○
		ポンプ	×	×	×	×	×
冷却塔	○	—	—	○	○		
膨張水槽	×	×	×	×	×		

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)		
					○：はい	×：いいえ	
系統等 崩壊 熱 除去 機能 電気・計装制御等	高圧受電盤 (第 11 変電所)	×	×	× ^{*1}	×	×	
	低圧動力配電盤 (第 11 変電所)	×	×	× ^{*1}	×	×	
	無停電電源装置	×	×	× ^{*1}	×	×	
	低圧照明配電盤 (第 11 変電所)	×	×	× ^{*1}	×	×	
	直流電源装置 (第 11 変電所)	×	×	× ^{*1}	×	×	
	プロセス用動力分電盤	×	×	×	×	×	
	工程制御盤	×	×	× ^{*1}	×	×	
	操作盤	×	×	× ^{*1}	×	×	
	現場制御盤	×	×	×	×	×	
	電磁弁分電盤 (2)	×	×	×	×	×	
	工程監視盤 (1) ～ (3)	×	×	× ^{*1}	×	×	
	計装設備分電盤	×	×	×	×	×	
	プロセス用動力分電盤	×	×	× ^{*1}	×	×	
	事故対処設 備	固化セル換気系	×	○	× ^{*1}	○	○
		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、閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能に機能的影響を受けた場合、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建家及び構築物を抽出する。

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、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周辺の建家及び構築物については、建家及び構築物の高さ、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を確認し、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選定した。

表 2-1 に選定した結果を示す。



(地理院地図 GSI Maps)

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

建家及び構築物	建家及び構築物の高さ 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"> ・第二付属排気筒 : 約 35 m ・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 約 10 m ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 25 m 	○
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"> ・第二付属排気筒 : 約 20 m ・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) : 約 20 m ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟 : 約 15 m 	○
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 ^{**2}		その他の評価荷重
	設置場所	W_w ^{**1}	W_m ^{**1}	W_p ^{**1}	W_u ^{**1}	W_{T1}	W_{T2}	
						$W_w + 0.5W_p + W_m$		
①屋外施設 (竜巻防護施設を内包する施設を含む。)								
セル換気系統のダクト (高放射性廃液貯蔵場 (HAW))	屋外	○	× ^{**3}	○	○	○	○	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	○	× ^{**3}	○	○	○	○	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	○	× ^{**3}	○ ^{**4}	○	○	○	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	○	× ^{**3}	○	○	○	—	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	○	× ^{**3}	○ ^{**4}	○	○	○	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、フィルタ及び排風機 (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及びフィルタ (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、フィルタ及び排風機 (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、フィルタ及び排風機 (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、フィルタ及び排風機 (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 ^{※2}		その他の評価荷重
	設置場所	W_w	W_m	W_p	W_p	W_{T1}	W_{T2}	
		W_w ^{※1}	W_m ^{※1}	W_p ^{※1}		$W_w + 0.5 W_p + W_m$		
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。—: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，令和元年 9 月 6 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 建家及び構築物の評価

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及び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）

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) 建家及び構築物

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、建家及び構築物の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）

- ・屋上スラブ []（最も鉄筋コンクリート厚さの薄いスラブ）
- ・側壁面 []（鉄筋コンクリート厚さ）

○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 []（鉄筋コンクリート厚さ）
- ・側壁面 []（鉄筋コンクリート厚さ）

(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
- ・浄水受槽

○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）

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

建家及び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，NEI07-13 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 t_s 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)

- ・屋上スラブ (鉄筋コンクリート+押えコンクリート)
- ・側壁面 (鉄筋コンクリート+押えコンクリート)

○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 (鉄筋コンクリート+押えコンクリート)
- ・側壁面 (鉄筋コンクリート)

(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. 構築物

- 第二付属排気筒

b. 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
- ・浄水受槽

○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

c. 配管及びダクト

○高放射性廃液貯蔵場 (HAW)

- ・セル換気系のダクト
- ・二次冷却水系統(浄水系統を含む。)の配管

- ・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 建家及び構造物の健全性評価

〈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、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) 建家及び構築物

風圧力による荷重 W_w 及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 及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), 緊急放出系のダクト, 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), 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) の健全性は維持できる (別紙 6-1-4-4-4-6 「屋内の施設で外気と繋がっている施設の竜巻影響評価」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 (別紙 6-1-4-4-4-7 「設計飛来物に対する建家外壁の健全性評価」参照)

[Redacted content]

詳細解析には、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」に詳細な解析手法として示されている衝撃解析ソフトである ANSYS AUTODYN を用いた。その結果、いず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. 構築物

第二付属排気筒は、設計飛来物が衝突したとしても貫通は生じない（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）。

b. 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）。

c. 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。

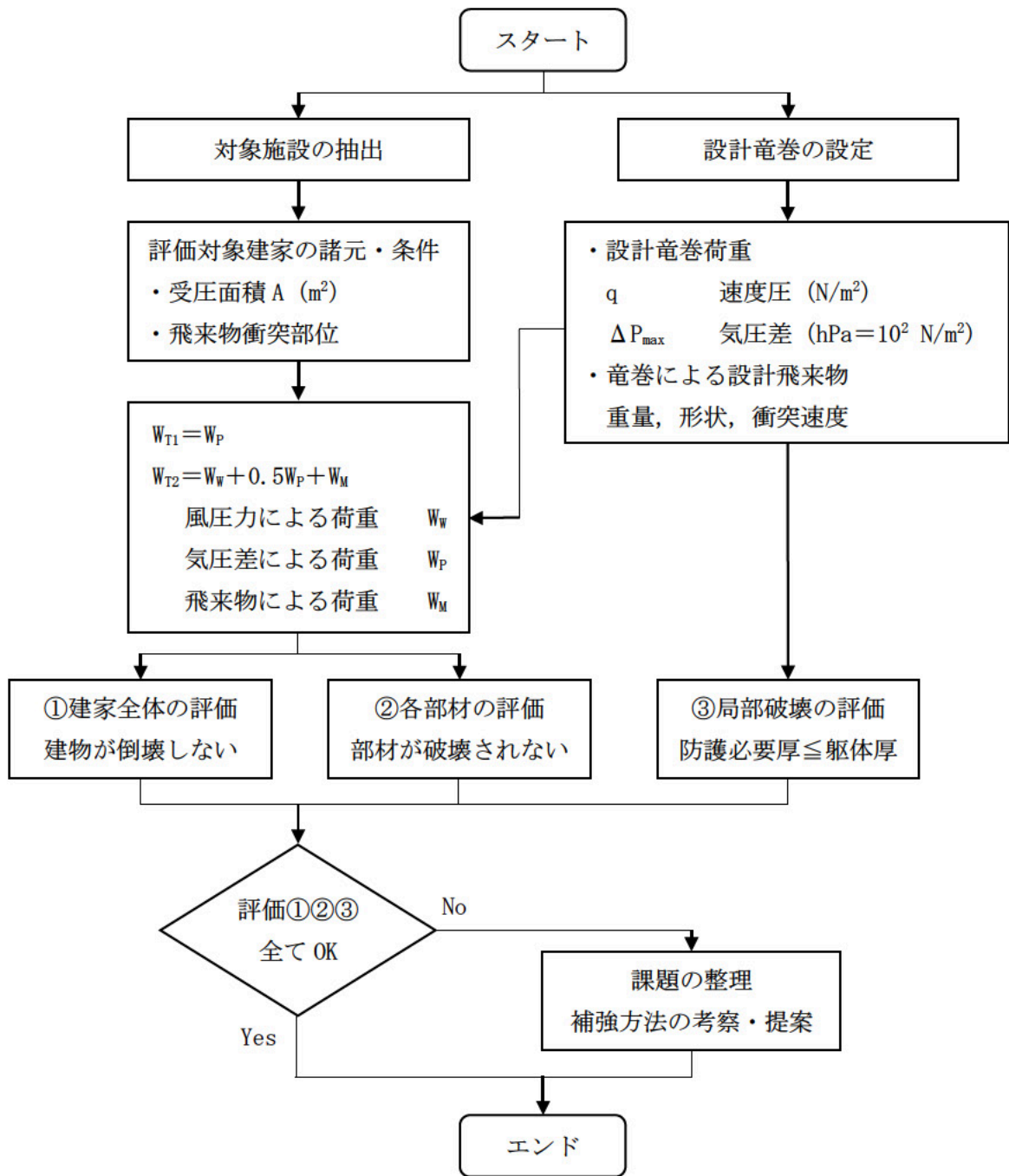


図 1-1 竜巻影響評価の基本フロー

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」で定めた廃止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_{Rn} (m/s)	最大接線 風速半径 R_n (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{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) $q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$

ρ : 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 (0.9) 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 (m²)

(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 ごと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 (ΔP_{\max}) に基づき設定した。気圧差による圧力が第二付属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の (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、

σ_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/mm²)

P_p : 単位面積当たりの圧力 (N/mm²)。 (最大気圧低下量 ΔP_{\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

設計飛来物は、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、設計飛来物の第二付属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「竜巻影響評価ガイド」に記載されていた飛散高さ 47 m 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)

設定	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 : 第二付属排気筒の 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 設計竜巻荷重の組合せ

設計竜巻荷重は, 「竜巻影響評価ガイド」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) を組合せた複合荷重 (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

設計竜巻荷重に組合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 γ_s は、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」により、77 kN/m³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 ²)	許容応力度 (N/mm ²)
SMA400 [SMA41]	t ≤ 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筒身の総重量 1878 kN (191.6 tf) となるよ

う補正し、更に耐震補強により補強する鉄筋コンクリートの増加重量を付加している。

(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。受圧面積として、耐震補強により補強する鉄筋コンクリート厚さを考慮している。

(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 (σ_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、

σ_c	: 平均圧縮応力度 (N/mm^2) ($=N/A$)
σ_b	: 圧縮側曲げ応力度 (N/mm^2) ($=M/Z$)
τ	: せん断応力度 (N/mm^2) ($=Q/(A/2)$)

cf_{cr}	: 許容圧縮応力度 (N/mm ²)
bf_{cr}	: 許容曲げ応力度 (N/mm ²)
sf_{cr}	: 許容せん断応力度 (N/mm ²)
N	: 軸力 (圧縮力) (kN)
M	: 曲げモーメント (kN・m)
Q	: せん断力 (kN)
A	: 断面積 (mm ²)
Z	: 断面係数 (mm ³)

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。

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

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

・ $0.377 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \leq 2.567 \left(\frac{E}{F}\right)^{0.72}$ 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/mm²) [1.1F と読み替える]

E : ヤング係数 (N/mm²)

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。

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

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

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

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

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

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

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。

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

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

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

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

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

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

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 設計飛来物の衝突による局部破壊

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。貫通限界厚さが第二付属排気筒の筒身の厚さより小さいことを確認する。

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 : 設計飛来物の質量 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. 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

設計竜巻による荷重により発生する曲げモーメント約 93×10^3 kN・m は、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 119×10^3 kN・m (添付資料 6-1-2-5-4 「第二付属排気筒の地震応答計算書」参照) より小さく、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。

(3) 設計飛来物の衝突による局部破壊

第二付属排気筒の筒身の鋼板厚さは 9 mm (上部) ~ 20 mm (下部) である。設計飛来物である鋼製材の飛散高さにおける筒身の鋼板厚さは 14 mm 程度であり、設計飛来物である鋼製材の貫通限界厚さが 8.9 mm であることから、貫通はせず健全性は維持できる。

以上

表 3.2-1 第二付属排気筒の固定荷重（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)	各部の 筒身重量 W_i (kN)	補強鉄筋 コンクリートの重量 (kN) *1	軸力 N (kN)
90	2800	2818	9	18.3	—	18.3
85	3000	3018	9	40.0	—	58.3
80	3200	3220	10	46.9	—	105.2
75	3400	3422	11	54.9	—	160.1
70	3600	3624	12	62.9	—	223.0
65	3800	3826	13	72.1	—	295.1
60	4000	4028	14	81.2	—	376.3
55	4200	4230	15	88.1	—	464.4
50	4400	4430	15	95.0	—	559.4
45	4600	4632	16	103.0	—	662.4
40	4800	4832	16	111.0	—	773.4
35	5000	5034	17	119.0	—	892.4
30	5200	5234	17	127.0	—	1019.4
25	5400	5436	18	135.0	—	1154.4
20	5600	5636	18	144.2	—	1298.6
15	5800	5838	19	153.3	—	1451.9
10	6000	6038	19	163.6	—	1615.5
5	6200	6240	20	172.8	244.91	2033.2
0	6400	6440	20	89.2	1859.14	3981.6
			筒身重量	1877.5		

*1 添付資料 6-1-2-5-4 「第二付属排気筒の地震応答計算書」の質点 18 及び質点 20 の鉄筋コンクリート重量を高さ 5 m 及び 0 m の部位に付加。

表 3.2-2 風圧力受圧面積の算定結果

高さ H ₁ (m)	外径 D (m)	負担高さ h ₁ (m)	高さ		外径		受圧面積 A ₁ (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	8.738 ^{*1}	8.939 ^{*1}	44.2
0	6.440	2.5	2.5	0.0	8.939 ^{*1}	9.040 ^{*1}	22.5

*1 筒身の外径に補強鉄筋コンクリート厚さ約 1.3 m を考慮した値。

表 3.2-3 風圧力による荷重 (W_w) の算定結果

高さ H_1 (m)	外径 D (m)	速度圧 q (kN/m ²)	負担高さ h_1 (m)	受圧面積 A_1 (m ²)	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	44.2	244	2295	79440
0	6.440	6.13	2.5	22.5	125	2420	90915

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 _i (m)	検討断面*1		P _P (ΔP _{max}) (N/m ²)	フープ 応力度 σ _P (N/mm ²)	許容引張応力 f _t (=1.1F) (N/mm ²)	σ _P /f _t
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
90	2817	8	8900	1.6	258	0.007
85	3017	8	8900	1.7	258	0.007
80	3219	9	8900	1.6	258	0.007
75	3421	10	8900	1.6	258	0.007
70	3623	11	8900	1.5	258	0.006
65	3825	12	8900	1.5	258	0.006
60	4027	13	8900	1.4	258	0.006
55	4229	14	8900	1.4	258	0.006
50	4429	14	8900	1.5	258	0.006
45	4631	15	8900	1.4	258	0.006
40	4831	15	8900	1.5	258	0.006
35	5033	16	8900	1.5	258	0.006
30	5233	16	8900	1.5	258	0.006
25	5435	17	8900	1.5	258	0.006
20	5635	17	8900	1.5	258	0.006
15	5837	18	8900	1.5	258	0.006
10	6037	18	8900	1.5	258	0.006
5	6239	19	8900	1.5	258	0.006
0	6439	19	8900	1.6	258	0.007

*1 腐食しろ 1 mm (外面 0.5 mm, 内面 0.5 mm) を考慮した値。

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^{*1} (mm)	板厚 t^{*1} (mm)	衝撃荷重 F_M (kN)	せん断力 Q (kN)	モーメント M (kN・m)
47	4429	14	44	44	0
45	4631	15	—	44	88
40	4831	15	—	44	308
35	5033	16	—	44	528
30	5233	16	—	44	748
25	5435	17	—	44	968
20	5635	17	—	44	1188
15	5837	18	—	44	1408
10	6037	18	—	44	1628
5	6239	19	—	44	1848
0	6439	19	—	44	2068

*1 腐食しろ 1 mm (外面 0.5 mm, 内面 0.5 mm) を考慮した値。

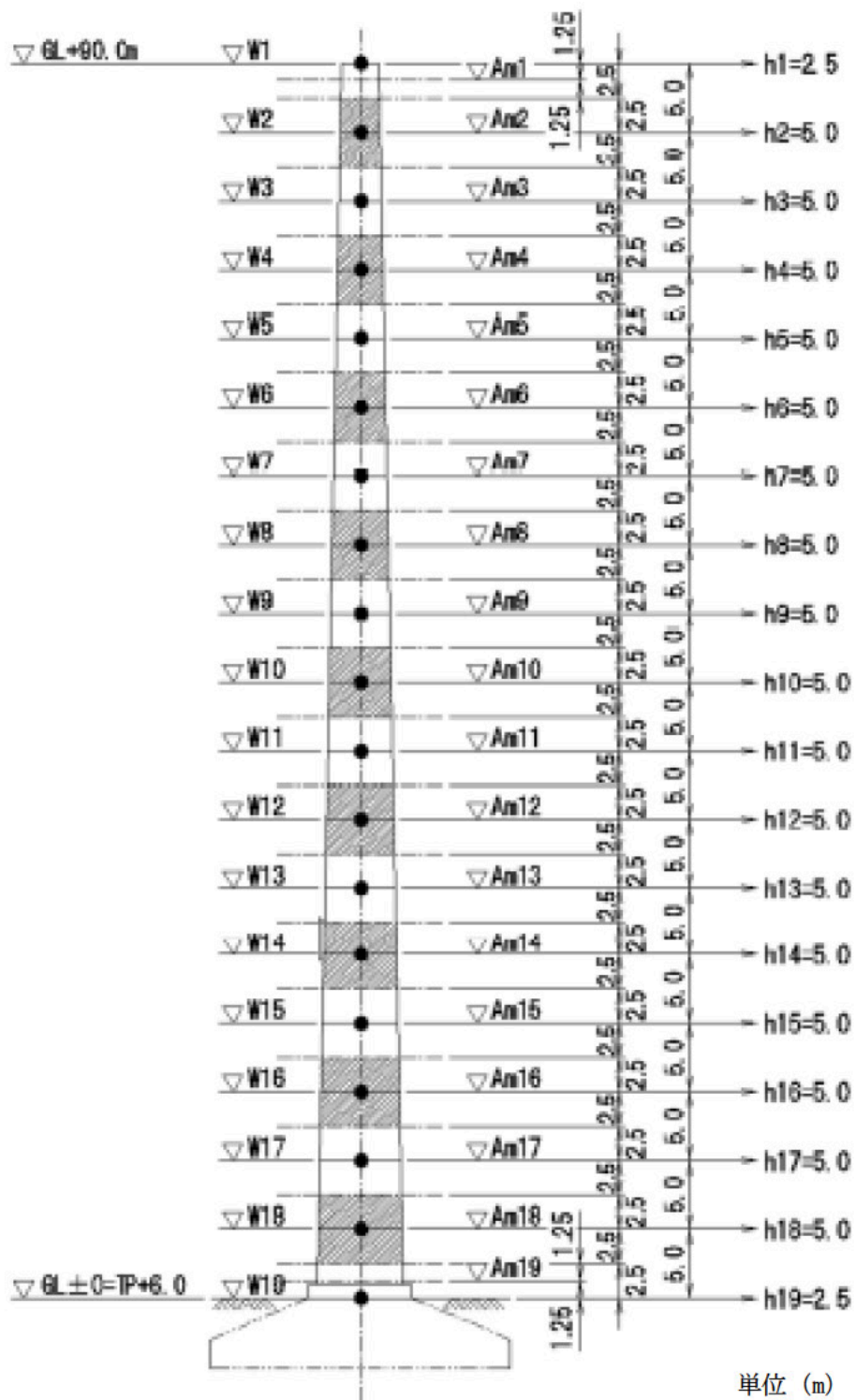
表 3.2-6 設計竜巻荷重の組合せ（複合荷重 W_{T2} ）の算定結果

高さ H_1 (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	2295	—	44	2339	79440	—	1848	81288
0	2420	—	44	2464	90915	—	2068	92983

表 3.4-1 筒身の応力の評価結果

高さ	設計用応力		換算断面寸法*		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 ²)	径厚比 r/t	断面積 A (×10 ⁴ mm ²)	断面係数 Z (×10 ⁵ mm ³)	圧縮 f_{cr} (N/mm ²)	曲げ δf_{cr} (N/mm ²)	せん断 f_{cr} (N/mm ²)	圧縮 σ_s (N/mm ²)	曲げ σ_b (N/mm ²)	せん断 τ (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_{cr} + \delta f_{cr}}$	τ / f_{cr}
90	18.3	0	40	2801	8	258	176	705.9	49400	208	219	23	0.3	0.0	1.2	0.01	0.06
85	58.3	200	124	3001	8	258	188	756.2	56700	203	215	22	0.8	3.6	3.3	0.03	0.15
80	105.2	820	214	3201	9	258	178	907.6	72600	207	218	25	1.2	11.3	4.8	0.06	0.20
75	160.1	1890	309	3401	10	258	171	1071.5	91100	209	220	27	1.5	20.8	5.8	0.11	0.22
70	223.0	3435	410	3601	11	258	164	1248.2	112300	212	222	29	1.8	30.6	6.6	0.15	0.23
65	295.1	5485	516	3801	12	258	159	1437.4	136500	214	224	31	2.1	40.2	7.2	0.19	0.24
60	376.3	8065	628	4001	13	258	154	1639.3	163900	216	225	33	2.3	49.3	7.7	0.23	0.24
55	464.4	11205	745	4201	14	258	151	1853.8	194700	217	226	35	2.6	57.6	8.1	0.27	0.24
50	559.4	14930	868	4401	14	258	158	1941.8	213600	214	224	34	2.9	69.9	9.0	0.33	0.27
45	662.4	19558	1040	4601	15	258	154	2175.2	250200	216	225	36	3.1	77.4	9.6	0.36	0.27
40	773.4	24558	1174	4801	15	258	161	2269.4	272400	213	223	35	3.5	90.2	10.4	0.43	0.30
35	892.4	30428	1314	5001	16	258	157	2521.8	315200	215	225	36	3.6	96.6	10.5	0.45	0.30
30	1019.4	36998	1459	5201	16	258	163	2622.3	340900	213	223	35	3.9	108.6	11.2	0.51	0.32
25	1154.4	44293	1610	5401	17	258	159	2893.5	390700	214	224	37	4.0	113.4	11.2	0.53	0.31
20	1298.6	52343	1766	5601	17	258	165	3000.4	420100	212	222	36	4.4	124.6	11.8	0.59	0.33
15	1451.9	61173	1928	5801	18	258	162	3290.5	477200	213	223	38	4.5	128.2	11.8	0.60	0.32
10	1615.5	70813	2095	6001	18	258	167	3403.6	510600	211	221	37	4.8	138.7	12.4	0.66	0.34
5	2033.2	81288	2339	6201	19	258	164	3712.7	575500	212	222	38	5.5	141.3	12.6	0.67	0.34
0	3981.6	92983	2464	6401	19	258	169	3832.1	613200	210	221	38	10.4	151.7	12.9	0.74	0.34

*1 腐食しろ 1 mm (外面 0.5 mm, 内面 0.5 mm) を考慮した値。



▽ : 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

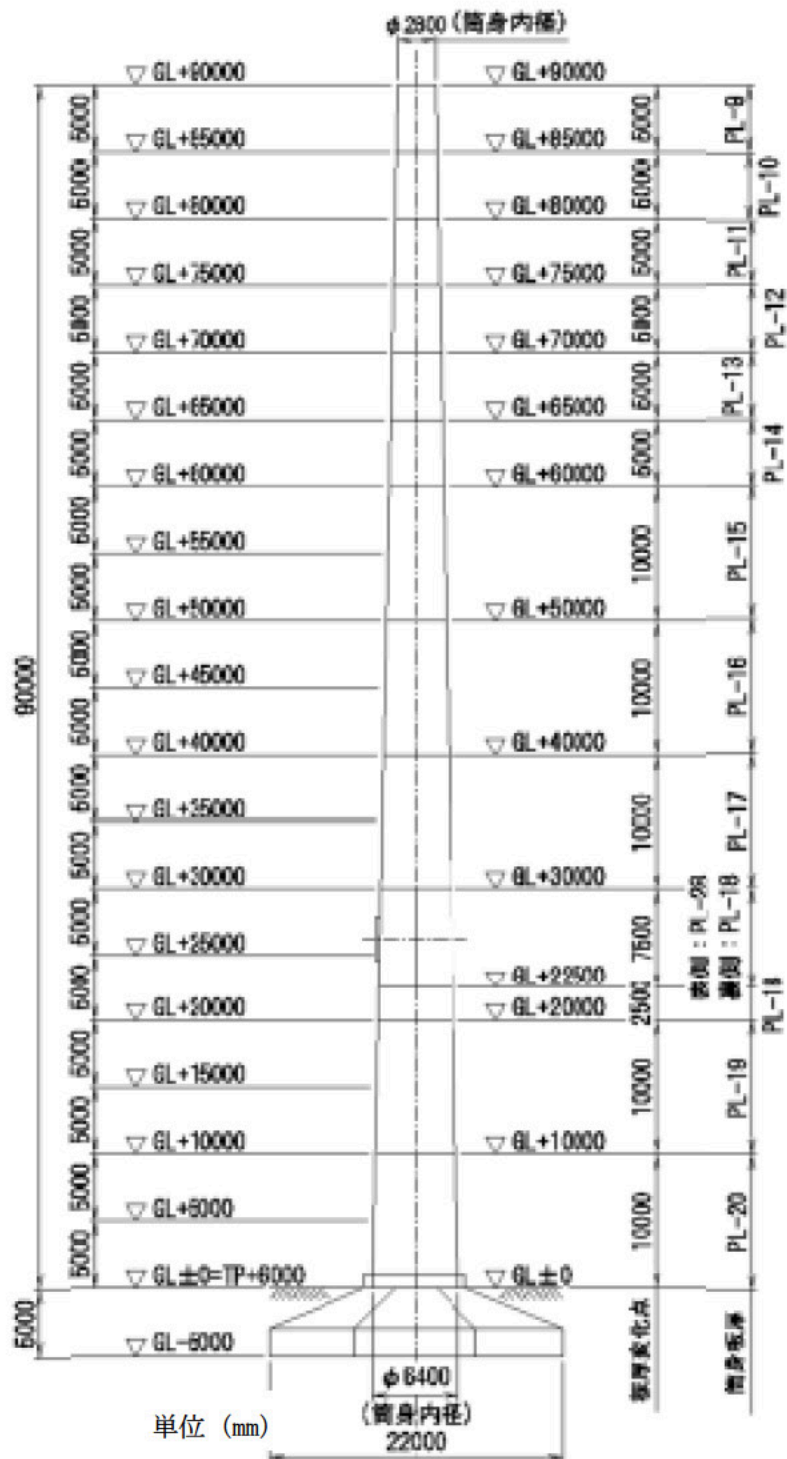


図 3.1-1 第二付属排気筒の概要図