

竜巻への配慮に関する説明書等の概要について

[対象添付書類]

V-1-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書

- V-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針
- V-1-1-2-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定
- V-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針
- V-1-1-2-3-4 竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針

V-3-別添1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

- V-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - ◇ V-3-別添1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-3 残留熱除去系海水系ストレータの強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-4 主排気筒の強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-5 換気空調設備の強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレータの強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-8 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-9 配管及び弁の強度計算書
 - ◇ V-3-別添1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-1-10-2 消音器の強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
- V-3-別添1-2 防護対策施設の強度計算の方針
 - ◇ V-3-別添1-2-1 防護対策施設の強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
 - ✓ V-3-別添1-2-1-3 架構の強度計算書
- V-3-別添1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
 - ◇ 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

1. 竜巻防護に関する基本方針

外部事象防護対象施設が，設計竜巻によりその安全機能が損なわれないよう，設計時にそれぞれの施設の設置状況等を考慮して，竜巻より防護すべき施設に対する設計竜巻からの影響を評価し，外部事象防護対象施設が安全機能を損なうおそれがある場合は，影響に応じた防護対策を講じる設計とする。重大事故等対処設備は重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれないように，添付書類「V-1-1-6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」の位置的分散，悪影響防止，環境条件等を考慮した設計とする。（後略）

【V-1-1-2-3-1 2.1 基本方針 抜粋】

1.1 竜巻より防護すべき施設

添付書類「V-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「2.3 外部からの衝撃より防護すべき施設」に従い，竜巻より防護すべき施設は，外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.1 竜巻より防護すべき施設 抜粋】

1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定

(1) 設計竜巻

設計竜巻の最大風速は 100 m/s と設定する。（後略）

(2) 設計飛来物

設置（変更）許可に示すとおり，固縛等の運用，管理を考慮して，飛来した場合に運動エネルギー又は貫通力が最も大きくなる鋼製材（長さ 4.2 m×幅 0.3 m×高さ 0.2 m，質量 135 kg，飛来時の水平速度 51 m/s，飛来時の鉛直速度 34 m/s）を設計飛来物として設定する。また，評価対象物の設置状況及びその他環境状況に応じて，砂利についても，評価において設計飛来物に代わる飛来物として設定する。

（中略）

なお，隣接事業所からの飛来物は，東海第二発電所及び東海発電所構内の現地調査によって確認した飛来物源を参考に，隣接事業所内に配置されることが想定でき，外部事象防護対象施設等に到達する可能性を有し，運動エネルギー又は貫通力が最大の物品として車両を設定する。（後略）

【V-1-1-2-3-1 2.1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定 抜粋】

1.3 竜巻の影響を考慮する施設の竜巻防護設計方針

「竜巻より防護すべき施設」にて設定した施設について、「設計竜巻及び設計飛来物の設定」にて設定した設計竜巻による荷重（設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物等による衝撃荷重を組み合わせた荷重）及びその他考慮すべき荷重に対する竜巻防護設計を実施する。竜巻より防護すべき施設に対し、それぞれの設置状況等を踏まえ、設計竜巻荷重に対する影響評価を実施し、影響評価の結果を踏まえて、竜巻の影響について評価を行う施設（以下「竜巻の影響を考慮する施設」という。）を以下のとおり選定する。竜巻の影響を考慮する具体的な施設については、添付書類「V-1-1-2-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に示す。（後略）

(1) 外部事象防護対象施設

a. 屋外の外部事象防護対象施設

屋外の外部事象防護対象施設は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、施設に要求される機能を維持する設計とする。なお、このとき外部事象防護対象施設が安全機能を損なうおそれがある場合は、防護措置として防護対策施設を設置する等の防護対策を講じる設計とする。

b. 屋内の外部事象防護対象施設

(a) 屋内の外部事象防護対象施設

屋内の外部事象防護対象施設は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、建屋等の竜巻より防護すべき施設を内包する施設により防護する設計とする。

(b) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設は、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、施設に要求される機能を維持する設計とする。

(c) 建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設

建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設は、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、施設に要求される機能を維持する設計とする。設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重により安全機能を損なうおそれがある場合には、防護措置として防護対策施設を設置する等の防護対策を講じる設計とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)a. 外部事象防護対象施設 抜粋】

(2) 重大事故等対処設備

a. 屋外の重大事故等対処設備

屋外の重大事故等対処設備は、添付書類「V-1-1-6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に基づき、竜巻時及び竜巻通

過後において、設計竜巻の風圧力による荷重に対し、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないよう、位置的分散等を考慮した設置又は保管とともに、浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備並びに使用済燃料プールの冷却設備及び注水設備（以下「設計基準事故対処設備等」という。）や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突する可能性がある設備に対し、飛散させないよう固縛の措置をとることにより、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備が同時に損傷しない設計とする。（後略）

b. 屋内の重大事故等対処設備

屋内の重大事故等対処設備は、添付書類「V-1-1-6 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」に基づき、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻の風圧力による荷重に対し、環境条件を考慮しても、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわず、また設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に悪影響を及ぼさないよう、竜巻より防護すべき施設を内包する施設により防護する設計とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)b. 重大事故等対処設備 抜粋】

(3) 防護対策施設

防護対策施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、内包する外部事象防護対象施設が安全機能を損なわないよう、設計飛来物等が外部事象防護対象施設に衝突することを防止可能な設計とする。

また、防護対策施設は、その他考えられる自然現象（地震等）に対して、外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼさない設計とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)c. 防護対策施設 抜粋】

(4) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

竜巻より防護すべき施設を内包する施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、内包する竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、設計飛来物等が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止可能な設計とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)d. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設 抜粋】

(5) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設等は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、機械的及び機能的な波及的影響により外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

機械的な波及的影響としては、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設や重大事故等対処設備、資機材等の倒壊、損傷、飛散等により外部事象防護対象施設等に与える影響を考慮し、機能的影響としては、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、外部事象防護対象施設に波

及的影響を及ぼす可能性がある施設の損傷等による外部事象防護対象施設の機能喪失を考慮する。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)e. 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設 抜粋】

(6) 竜巻随伴を考慮する施設

外部事象防護対象施設は、竜巻による随伴事象として過去の竜巻被害の状況及び発電所における施設の配置から想定される、危険物貯蔵施設の火災、屋外タンク等からの溢水及び設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷の影響による外部電源喪失によって、その安全機能を損なわない設計とする。

竜巻随伴による火災に対しては、火災による損傷の防止における想定に包絡される又は火災を起こさない設計とする。

なお、竜巻随伴による溢水に対しては、溢水による損傷の防止における溢水量の想定に包絡される又は溢水を起こさない設計とする。

さらに、竜巻随伴による外部電源喪失に対しては、外部電源喪失を生じない又は代替設備による電源供給が可能な設計とする。

【V-1-1-2-3-1 2.1.3(1)f. 竜巻随伴事象を考慮する施設 抜粋】

表 2-1 東海第二発電所 竜巻の影響を考慮する施設の竜巻防護設計一覧 (1/3)

	配置場所	配置状況等	具体的設備の一例 (V-1-1-2-3-2)* ¹	防護措置 有無	詳細設計方針 強度評価方針	強度評価結果	備考
外部事象 防護対象施設	屋外	—	残留熱除去系海水系ポンプ 主排気筒	○	・ V-1-1-2-3-3 ・ V-3-別添 1-1	・ V-3-別添 1-1-2~4 ・ V-3-別添 1-1-6~9	
	屋内	(下記以外)	(軽油貯蔵タンク* ²)	—	・ V-1-1-2-3-3	—	竜巻より防護すべき施設を 内包する施設により防護。
		外気と繋がっている	換気空調設備 (ダクト・隔離弁)	○	・ V-1-1-2-3-3 ・ V-3-別添 1-1	・ V-3-別添 1-1-5	
		建屋等による防護 が期待できない	使用済燃料乾式貯蔵容器	—	・ V-1-1-2-3-3	—	防護対策施設, 運用等によ り防護機能を確保。
重大事故等 対処設備	屋外	—	可搬型代替注水中型ポンプ	—	・ V-1-1-2-3-4 ・ V-3-別添 1-3	・ V-3-別添 1-3-1	強度評価は, 悪影響防止目 的の固縛装置に対
	屋内	—	(可搬型スプレイノズル* ²)	—	・ V-1-1-2-3-3	—	竜巻より防護すべき施設を 内包する施設により防護。
防護対策施設	屋外	—	防護ネット	—	・ V-1-1-2-3-3 ・ V-3-別添 1-2	・ V-3-別添 1-2-1-1	
			防護鋼板	—	・ V-1-1-2-3-3 ・ V-3-別添 1-2	・ V-3-別添 1-2-1-2	
			架構	—	・ V-1-1-2-3-3 ・ V-3-別添 1-2	・ V-3-別添 1-2-1-3	

注記：*1 その他の具体的な設備は当該添付書類参照。

*2 内包される設備の一例を記載。

表 2-1 東海第二発電所 竜巻の影響を考慮する施設の竜巻防護設計一覧 (2/3)

	配置場所	配置状況等	具体的設備の一例 (V-1-1-2-3-2) *1	防護措置 有無	詳細設計方針 強度評価方針	強度評価結果	備考
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	屋外	—	原子炉建屋*2 タービン建屋	○	・V-1-1-2-3-3 ・V-3-別添 1-1	・V-3-別添 1-1-1	竜巻の影響に対する防護機能を期待する扉を含む。
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす 可能な有る施設	屋外	機械的影響を及ぼす可能性 がある	サービス建屋 海水ポンプ室防護壁	—	・V-1-1-2-3-3 ・V-3-別添 1-1	・V-3-別添 1-1-10-1	
		機能的影響を及ぼす可能性 がある	非常用ディーゼル発電機消音器	—	・V-1-1-2-3-3 ・V-3-別添 1-1	・V-3-別添 1-1-10-2	
		非常用ディーゼル発電機排気管	—	・V-1-1-2-3-3 ・V-3-別添 1-1	・V-3-別添 1-1-10-3		

注記：*1 その他の具体的な設備は当該添付書類参照。

*2 原子炉建屋は屋外の外部事象防護対象施設でもあるが、当該分類で整理。

表 2-1 東海第二発電所 竜巻の影響を考慮する施設の竜巻防護設計一覧 (3/3)

	竜巻随伴による事象	竜巻によって随件事象の 起因となる具体的な設備	詳細設計方針	評価結果
竜巻随件事象を 考慮する施設	竜巻随伴による火災	屋外の危険物貯蔵施設 残留熱除去系海水系ポンプ	・V-1-1-2-3-3	外部火災による損傷防止における評価に包絡される。 防護措置により設計飛来物を衝突しない設計とする。
	竜巻随伴による溢水	屋外タンク	・V-1-1-2-3-3	溢水による損傷防止における溢水量の想定に包絡される。
	竜巻随伴による外部電源喪失	送電線	・V-1-1-2-3-3	外部電源を喪失させない設計又は外部電源喪失時も代替設備による電源供給等ができる設計とする。

1.4 屋外の重大事故等対処設備の竜巻防護設計方針

(1) 設計の基本方針

屋外に保管する重大事故等対処設備（以下「屋外重大事故等対処設備」という。）については、竜巻による風荷重に対して、位置的分散を考慮した保管により、機能を損なわない設計とする。同じ機能を有する他の重大事故等対処設備（設計基準事故対処設備を兼ねている重大事故対処設備を含む。）と 100 m 以上の離隔距離を確保した保管場所を定めて保管することにより、竜巻により同じ機能を有する設備が同時に機能喪失することの防止を図る設計とする。ただし、同じ機能を有する重大事故等対処設備がない設備については、竜巻によって 1 台が損傷したとしても必要数を満足し、機能が損なわれないよう、予備も含めて分散させるとともに、原子炉格納容器、使用済燃料プール及びこれらの設備が必要となる事象の発生を防止する設計基準事故対処設備等、重大事故等対処設備を内包する原子炉建屋及び海水ポンプエリアから 100 m 以上の離隔距離を確保した保管場所を定めて保管する設計とする。

なお、竜巻が襲来して、個々の設備が損傷した場合は、発電用原子炉の停止を含めた対応を速やかにとることとし、この運用について、保安規定に定める。

悪影響防止のための固縛については、位置的分散とあいまって、固縛装置により浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させることのない設計とするとともに、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくする設計とする。固縛装置の設計は、風荷重による浮き上がり又は横滑りの荷重並びに保管場所を踏まえて固縛の要否を決定し、固縛が必要な場合は、発生する風荷重に耐える設計とする。

（後略）

(2) 位置的分散による機能維持設計

位置的分散による機能維持設計においては、「2. 設計の基本方針」に記載した基本方針に基づき、位置的分散を考慮した保管により、機能を損なわない設計とする。

（中略）

「3.1 位置的分散による機能維持の設計方針」に基づき決定した屋外重大事故等対処設備の保管場所の全体図を、図 3-1 に示す。（後略）

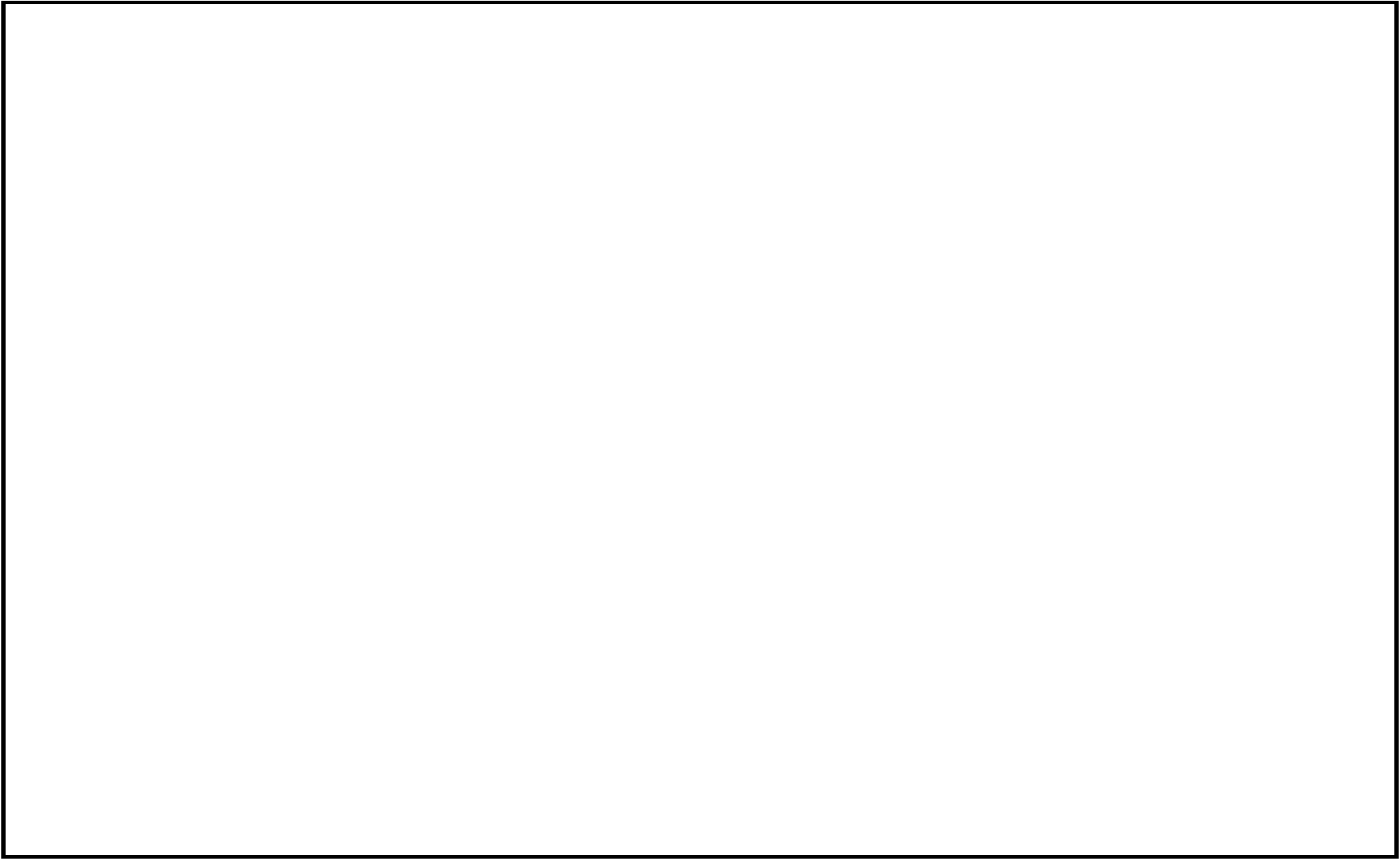


図 3-1 屋外重大事故等対処設備の保管場所（全体図）

(3) 悪影響防止のための固縛設計

a. 固縛の設計方針

悪影響防止のために実施する固縛については、「3. 位置的分散による機能維持設計」に示す位置的分散とあいまって、固縛装置により浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させることのない設計とするため、全ての屋外重大事故等対処設備を検討の対象とする。

固縛装置の設計においては、屋外重大事故等対処設備に対して固縛の要否を決定する。固縛が必要とされた場合は、固縛装置は、風荷重及び当該荷重に伴い発生する荷重に耐える設計とし、その荷重の算定方法について、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示す。

固縛が必要とされた屋外重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）のうち、可搬型の設備については、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくする設計とする。また、固縛対象設備のうち、車両型の設備は、耐震設計に影響を与えることのないように、固縛装置の連結材に適切な余長を持たせた設計とする。以上を含めた固縛装置に関する設計方針について、「4.3 固縛装置の設計方針」に示す。

固縛装置を構成する連結材、固定材等の許容限界については、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示す。

b. 固縛装置の設計方針

固縛装置は、竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であっても、その移動を制限し、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させることのない設計とする。

(中略)

車両型の固縛対象設備については、適切な余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響を与えることがない設計とする。

固縛対象設備のうち、可搬型の設備については、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。

V-1-1-2-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定

目 次

1.	概要	1
2.	選定の基本方針	1
2.1	竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針	1
2.2	竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針	1
3.	竜巻の影響を考慮する施設の選定	1
3.1	外部事象防護対象施設	2
3.2	重大事故等対処設備	3
3.3	防護対策施設	3
3.4	竜巻より防護すべき施設を内包する施設	4
3.5	外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	4
3.6	竜巻随伴事象を考慮する施設	5
4.	竜巻防護のための固縛対象物の選定	8
4.1	発電所敷地の屋外に保管する資機材等	8
4.1.1	発電所における飛来物の調査	8
4.1.2	固縛対象物の選定	8
4.2	屋外の重大事故等対処設備	10

1. 概要

本資料は、添付書類「V-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設及び竜巻防護のための固縛対象物の選定について説明するものである。

2. 選定の基本方針

竜巻の影響を考慮する施設の選定及び竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針について説明する。

2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針

竜巻の影響を考慮する施設は、その設置場所、構造等を考慮して選定する。

屋外に設置している外部事象防護対象施設、重大事故等対処設備及び防護措置として設置する防護対策施設は、竜巻による荷重が作用するおそれがあるため、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

屋内に設置している外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備は、建屋にて防護されることから、屋内の外部事象防護対象施設及び重大事故等対処設備の代わりに竜巻より防護すべき施設を内包する施設を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。ただし、外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設及び建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設については、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設として、発電所構内の施設のうち、機械的影響を及ぼす可能性がある施設、機能的影響を及ぼす可能性がある施設を抽出し、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

また、竜巻随件事象として想定される火災、溢水、外部電源喪失も考慮し、竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

2.2 竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針

外部事象防護対象施設に対して竜巻による飛来物の影響を防止する観点から、竜巻による飛来物として想定すべき資機材等を調査し、設計竜巻により飛来物となり外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性があるものを固縛、固定、外部事象防護対象施設等からの離隔及び頑健な建屋内に収納又は撤去する。

屋外の重大事故等対処設備は、設計竜巻の風圧力による荷重に対して、位置的分散等を考慮した設置又は保管により、重大事故等に対処するために必要な機能を損なわない設計に加え、悪影響防止の観点から、浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させることのない設計とすることから、屋外の重大事故等対処設備は、設計竜巻の風圧力に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させる可能性のあるものについて固縛する。

3. 竜巻の影響を考慮する施設の選定

選定の基本方針を踏まえ、以下のとおり竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

3.1 外部事象防護対象施設

竜巻から防護すべき施設のうち外部事象防護対象施設を以下のとおり選定する。

(1) 屋外の外部事象防護対象施設

外部事象防護対象施設のうち、屋外に設置している施設を、竜巻の影響を考慮する施設として以下の施設を選定する。

- ・ 残留熱除去系海水系ポンプ
- ・ 残留熱除去系海水系ストレーナ
- ・ 主排気筒
- ・ 中央制御室換気系冷凍機
- ・ 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン」という。）
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ」という。）
- ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ストレーナ」という。）
- ・ 非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）吸気口」という。）
- ・ 配管及び弁（残留熱除去系海水系ポンプ，中央制御室換気系冷凍機及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ廻り）
- ・ 非常用ガス処理系排気筒
- ・ 原子炉建屋
- ・ 排気筒モニタ
- ・ 放水路ゲート

(2) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

屋内に設置している外部事象防護対象施設のうち、外気と繋がる外部事象防護対象施設については、竜巻の気圧差による荷重が作用するおそれがあるため、竜巻の影響を考慮する施設として、以下の施設を選定する。

- ・ 中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト
- ・ 原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）

(3) 建屋等による飛来物の防護が期待できない屋内の外部事象防護対象施設

屋内に設置している外部事象防護対象施設のうち、建屋等による飛来物防護が期待できない外部事象防護対象施設については、設計竜巻による荷重が作用するおそれがあるため、竜巻の影響を考慮する施設として以下のとおり選定する。なお、建屋等による防護が期待できない外部事象防護対象施設は、損傷する可能性がある屋内の外部事象防護対象施設及

び損傷する可能性のある開口部付近の外部事象防護対象施設を竜巻の影響を考慮する施設とする。

a. 損傷する可能性がある屋内の外部事象防護対象施設

原子炉建屋原子炉棟は、竜巻による気圧低下により、原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放され、外壁開口部が発生し、設計竜巻荷重が建屋内の防護対象施設に作用する可能性があるため、以下の施設を選定する。

- ・使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁（以下「原子炉建屋原子炉棟6階 設置設備」という。）
- ・燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン
- ・非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備

b. 損傷する可能性がある開口部付近の外部事象防護対象施設

原子炉建屋付属棟の建屋開口部及び扉、使用済燃料乾式貯蔵建屋の建屋開口部等が飛来物の衝突により損傷し、飛来物が建屋内の外部事象防護対象施設に衝突する可能性があるため、以下の施設を選定する。

- ・中央制御室換気系隔離弁，ファン（空気調和器含む。）及びフィルタユニット（以下「原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備」という。）
- ・非常用電源盤（電気室）
- ・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）
- ・使用済燃料乾式貯蔵容器
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

外部事象防護対象施設のうち竜巻の影響を考慮する施設の選定フローを図3-1に示す。

3.2 重大事故等対処設備

屋外に設置又は保管している重大事故等対処設備は、竜巻の影響を受けることから、全ての重大事故等対処設備を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

屋外に設置する具体的な重大事故等対処設備については、添付書類「V-1-1-2-別添1 屋外に設置されている重大事故等対処設備の抽出」に示す。また、設計竜巻の風圧力による荷重に対し、固縛対象の選定の考え方については、「4.2 屋外の重大事故等対処設備」に示す。

3.3 防護対策施設

外部事象防護対象施設の損傷防止のために防護措置として設置する施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

- ・非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）室ルーフベントファン防護対策施設（防護ネット，防護鋼板及び架構）
- ・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設（防護ネット，防護鋼板及び架構）
- ・海水ポンプエリア防護対策施設（防護ネット，防護鋼板及び架構）
- ・中央制御室換気系開口部防護対策施設（防護鋼板及び架構）
- ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設（防護ネット，防護鋼板及び架構）
- ・原子炉建屋付属棟軽量外壁部防護対策施設（防護鋼板）

- ・原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設（防護鋼板）
- ・使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設（防護ネット及び架構（車両防護柵を含む。））

3.4 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

屋内に設置している竜巻より防護すべき施設は、建屋にて防護されることから、竜巻より防護すべき施設の代わりに竜巻より防護すべき施設を内包する施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

- ・タービン建屋（気体廃棄物処理系隔離弁等を内包する建屋）
- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋（使用済燃料乾式貯蔵容器を内包する建屋）
- ・軽油貯蔵タンクタンク室（軽油貯蔵タンクを内包する構造物）
- ・排気筒モニタ建屋（排気筒モニタを内包する建屋）

3.5 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設等の機能に、機械的影響、機能的影響の観点から、波及的影響を及ぼす可能性がある施設を抽出する。

(1) 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設等に機械的影響を及ぼす可能性がある施設として、外部事象防護対象施設を内包する施設に隣接し、外部事象防護対象施設を内包する施設との接触により、外部事象防護対象施設に損傷を及ぼす可能性がある外部事象防護対象施設を内包しない施設及び倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼす可能性がある施設を竜巻の影響を考慮する施設として抽出する。

倒壊により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼす可能性がある施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても外部事象防護対象施設に影響を与えないため、当該施設の高さと外部事象防護対象施設までの最短距離を比較することにより選定する。

また、竜巻の風圧力により飛来物となる可能性がある屋外の重大事故等対処設備及び資機材等のその他の施設についても機械的影響を及ぼす可能性がある施設として選定する。

a. 外部事象防護対象施設を内包する施設に隣接し外部事象防護対象施設を内包する施設との接触により外部事象防護対象施設に損傷を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設に隣接し、外部事象防護対象施設を内包する施設と接触する可能性がある以下の施設を選定する。

- ・サービス建屋（原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する施設）

b. 倒壊により外部事象防護対象施設等に損傷を及ぼす可能性がある施設

倒壊により外部事象防護対象施設等に損傷を及ぼす可能性のある以下の施設を選定する。

- ・海水ポンプエリア防護壁（海水ポンプ室近傍の施設）
- ・鋼製防護壁（海水ポンプ室近傍の施設）

c. その他の施設

その他、竜巻の風圧力により機械的影響を及ぼす可能性があるものとして、以下の施設を選定する。

- ・発電所敷地の屋外に保管する資機材，重大事故等対処設備等

屋外の重大事故等対処設備は，飛来した場合に外部事象防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し，損傷させる可能性のある設備について，固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。また，運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物より大きな資機材等（屋外の重大事故等対処設備を除く。）についても，固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。

具体的な固縛対象物については，「4. 竜巻防護のための固縛対象物の選定」に示す。

(2) 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設のうち，機能的影響を及ぼす可能性がある施設として，外部事象防護対象施設の屋外の付属設備を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

a. 外部事象防護対象施設の屋外の付属設備

外気と繋がっており，竜巻の風圧力及び気圧差による影響を受ける可能性があり，外部事象防護対象施設の付属配管である以下の施設を選定する。

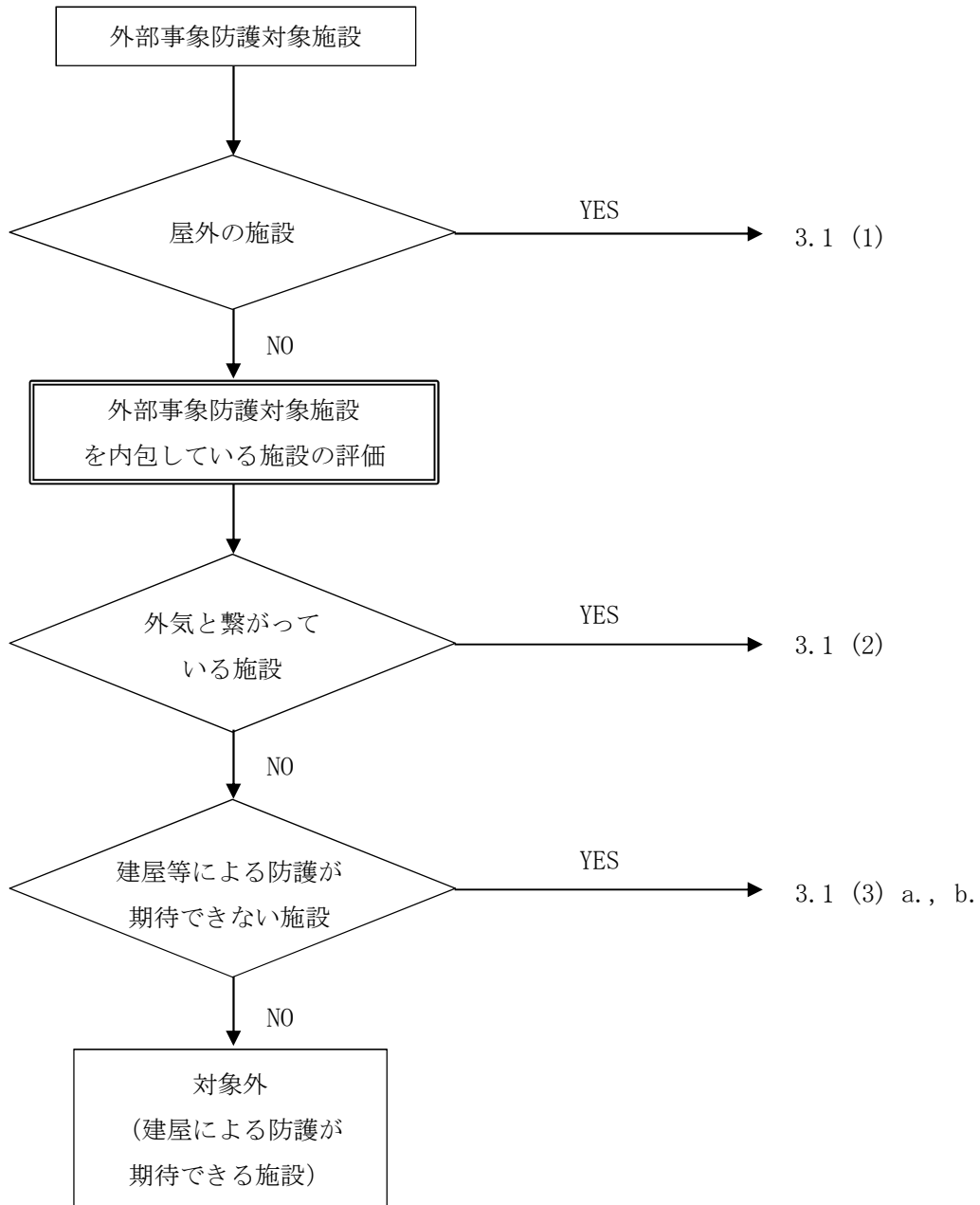
- ・非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）排気消音器」という。）（ディーゼル発電機等の付属設備）
- ・非常用ディーゼル発電機排気配管，非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管，非常用ディーゼル発電機機関ベント管及び非常用ディーゼル発電機潤滑油サンクタンクベント管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンクタンクベント管（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）付属排気配管及びベント配管」という。）（ディーゼル発電機等の付属設備）
- ・残留熱除去系海水系配管（放出側）（残留熱除去系海水系ポンプの付属設備）
- ・非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）（以下「非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水配管（放出側）」という。）（非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプの付属設備）

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の選定フローを，図 3-2 に示す。

3.6 竜巻随件事象を考慮する施設

火災を考慮する施設として油を内包する屋外の危険物貯蔵施設や残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプを選定し，溢水を考慮する施設として屋外タンク等を選定し，外部電源喪失事象を考慮する施設として送電線を選定する。

- ・屋外の危険物貯蔵施設（火災）
- ・残留熱除去系海水系ポンプ及び非常用ディーゼル発電機（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機を含む。）用海水ポンプ（火災）
- ・屋外タンク等（溢水）
- ・送電線（外部電源喪失）



NT2 補① V-1-1-2-3-2 R6

図 3-1 外部事象防護対象施設のうち竜巻の影響を考慮する施設の選定フロー

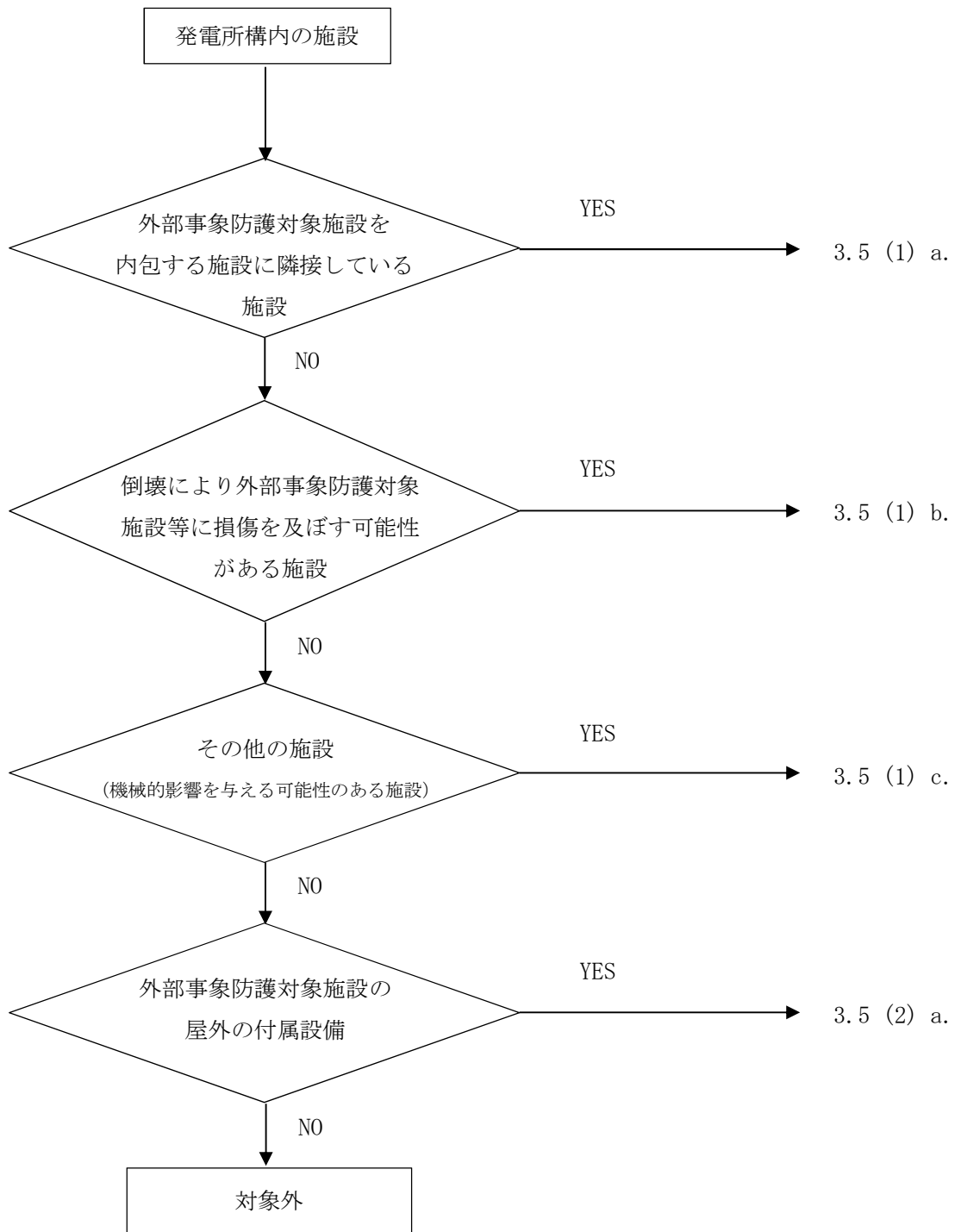


図 3-2 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の選定フロー

4. 竜巻防護のための固縛対象物の選定

発電所敷地の屋外に保管する資機材等及び屋外の重大事故等対処設備のうち、固縛を実施するものの選定について説明する。

4.1 発電所敷地の屋外に保管する資機材等

4.1.1 発電所における飛来物の調査

東海第二発電所及び東海発電所構内において、竜巻防護の観点から想定すべき飛来物を選定するために現地調査を行い、その結果を基に想定すべき飛来物となりうる資機材等を抽出した。

調査範囲は発電所構内の建屋、構造物の外回り、建屋屋上、構内道路、駐車場及び資機材が保管可能な空き地を調査した。図 4-1 に発電所における現地調査範囲を示す。

また、調査結果について表 4-1 に示す。

4.1.2 固縛対象物の選定

飛来物調査により抽出した、飛来物となり得る資機材等について、資機材等の寸法、質量及び形状より空力パラメータ ($C_D A/m$) を次式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

A : 代表面積 (m^2)

c : 係数 (0.33)

C_D : 抗力係数

m : 質量 (kg)

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

代表面積 $A(m^2)$ は、想定すべき飛来物の形状に応じて直方体又は円柱に置換した各面の面積を表し、資機材等の形状に応じて適切に選定する。また、抗力係数 C_D は、想定すべき飛来物の形状に応じた係数として、表 4-2 に示す $C_{D1} \sim C_{D3}$ を用いる。

算出した空力パラメータを用いて、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析する解析コードの「TONBOS」により、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さを算出する。

また、飛来物の運動エネルギー ($=1/2 \cdot m \cdot V^2$) は飛来物の質量と解析コード「TONBOS」により算出した速度から求める。

さらに、飛来物の貫通力として、飛来物の衝突による貫通が発生する時の部材厚（貫通限界厚さ）を算出する。貫通限界厚さは、コンクリートに対して米国 NRC の基準類に算出式として記載されている修正 NDRC 式 (4.1) 及び Degen 式 (4.2)、鋼板に対して「タービンミサイル評価（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」の中で貫通厚さの算

出式に使用されている BRL 式から求める。

<修正 NDRC 式及び Degen 式>

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} &= 2 \left\{ \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5} \\ \frac{x_c}{\alpha_c d} \geq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} &= \left(\frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1 \end{aligned} \right\} (4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 1.52 \quad \text{の場合} \quad t_p &= \alpha_p d \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c d} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c d} \right)^2 \right\} \\ 1.52 \leq \frac{x_c}{\alpha_c d} \leq 13.42 \quad \text{の場合} \quad t_p &= \alpha_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left(\frac{x_c}{\alpha_c d} \right) \right\} \end{aligned} \right\} (4.2)$$

t_p : 貫通限界厚さ (cm)

x_c : 貫入深さ (cm)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (固縛対象物の選定では 250 kgf/cm²とする。)

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 : 飛来物の質量 (kg)

V : 飛来物の最大水平速度 (m/s)

N : 飛来物の先端形状係数 (=1.14)

(保守的な評価となる、非常に鋭い場合の数値を使用)

α_c : 飛来物の低減係数 (=1.0)

α_p : 飛来物の低減係数 (=1.0)

<BRL 式>

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

T : 貫通限界厚さ (m)

d : 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m)

(最も投影面積が小さくなる衝突断面の等価直径)

K : 鋼板の材質に関する係数 (=1.0)

m : 飛来物の質量 (kg)

v : 飛来物の飛来速度 (m/s)

固縛対象物の選定は、設計飛来物に包含されているか否かについての観点により、以下の項目を満たすものを抽出する。

[固縛対象物（設計飛来物に包含されない物）の選定]

- ・運動エネルギーが設計飛来物に設定している鋼製材の 176 kJ より大きいもの。
- ・コンクリートに対する貫通力（貫通限界厚さ）が設計飛来物に設定している鋼製材の 25.9 cm より大きいもの。
- ・鋼板に対する貫通力（貫通限界厚さ）が設計飛来物に設定している鋼製材の 32 mm より大きいもの。

設計飛来物に包含されない資機材等は、外部事象防護対象施設等及び防護対策施設までの距離又は障害物の有無を考慮し、離隔（退避含む）の対策を講じることができない資機材等は外部事象防護対象施設等及び防護対策施設に波及的影響を及ぼす可能性があることから固定又は固縛する。

なお、評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証、妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-9 計算機プログラム（解析コード）の概要・TONBOS」に示す。固縛対象物の選定フローを図 4-2 に示す。

4.2 屋外の重大事故等対処設備

屋外の重大事故等対処設備のうち、固縛を必要とする重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）は、設計竜巻の風荷重により設計基準事故対処設備等（外部事象防護対象設備）や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させる可能性があるかの観点で選定する。

資機材等に対する固縛の要否と同様に、解析コードの「TONBOS」により、屋外重大事故等対処設備が飛散した時の速度、飛散距離及び飛散高さを算出する。算出された飛散距離と、外部事象防護対象設備や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備との配置及び障害物の有無を考慮し、悪影響を及ぼす可能性がある重大事故等対処設備は、固縛対象設備として選定する。なお、固縛対象設備として選定されなかった屋外の重大事故等対処設備は、「4.1 発電所敷地の屋外に保管する資機材等」と同様に、設計飛来物による影響に包含されるかの観点で固縛の要否を選定する。

なお、具体的な固縛対象設備については、添付書類「V-1-1-2-3-4 竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」に記載する。

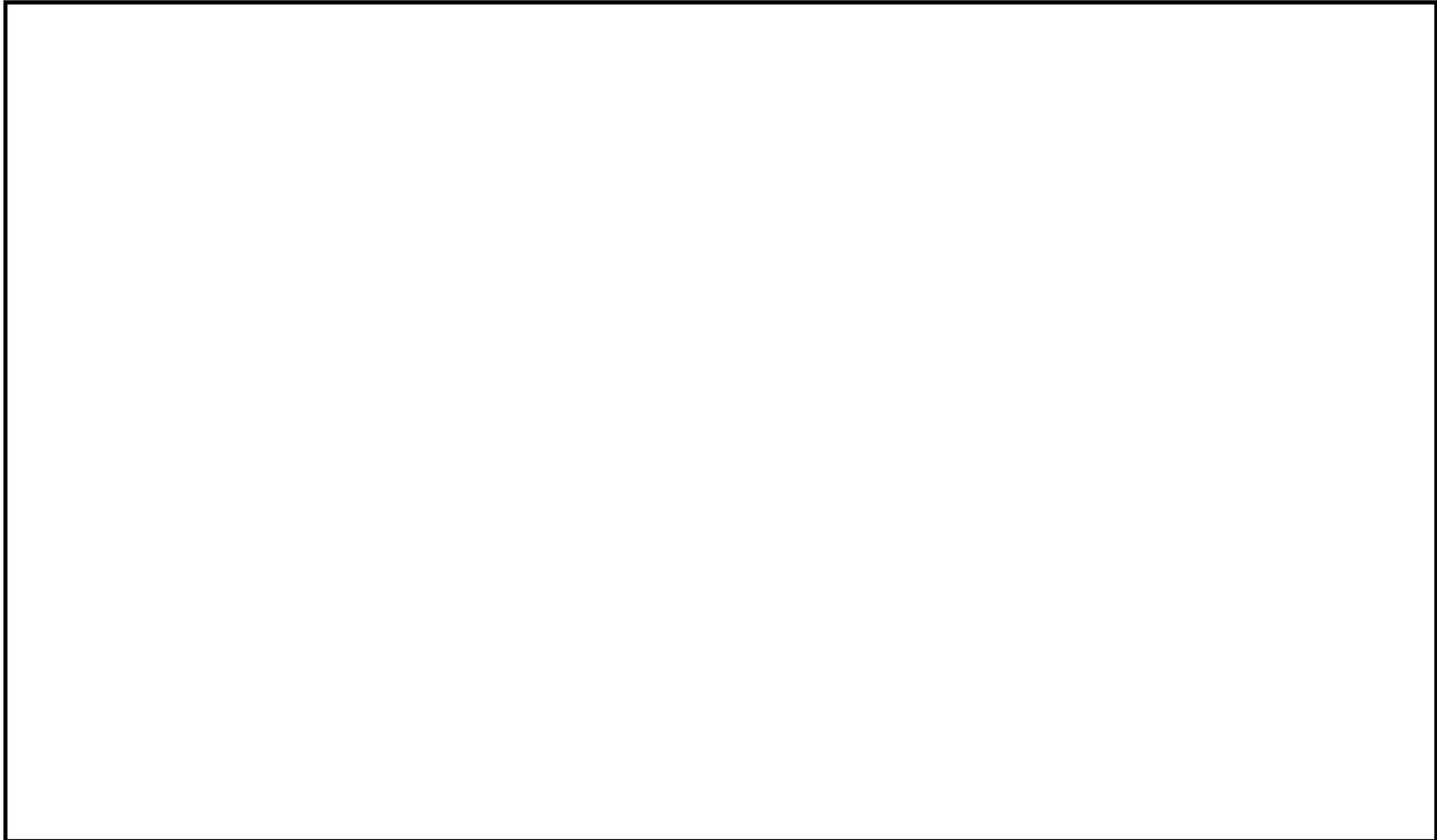


図 4-1 発電所における現地調査範囲図

表 4-1 発電所における竜巻防護の観点から想定すべき主な飛来物の一覧表

棒状	板状	塊状	
<ul style="list-style-type: none"> ・バリケード ・ベンチ（常設） ・樹木（倒木，伐採木），材木 ・鉄骨 ・鋼管 ・ボンベ ・樹脂製パイプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂製蓋 ・コンクリート製蓋 ・マンホール蓋 ・グレーチング ・カーブミラー ・看板，標識 ・鋼製敷板 ・鋼製スロープ ・鋼製蓋 ・ベンチ（仮設） ・足場板，足場枠 ・パレット（鋼製） ・パレット（木製，樹脂製） ・時計 ・仮囲い板，仮設フェンス 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶 ・消防車 ・トラック ・社用バス ・乗用車 ・コンテナ ・物置 ・洗濯機 ・仮設電源 ・建設機械 ・運搬台車 ・鋼製ボックス ・下駄箱 ・カラーコーン ・消火器 ・消火設備格納箱 	<ul style="list-style-type: none"> ・フォークリフト ・バイク，自転車 ・土のう ・自動販売機 ・ケーブルドラム ・仮設トイレ ・オブジェ ・鋼製ブロック ・コンクリート製ブロック ・木片，木製品 ・プレハブ小屋 ・プラスチック容器 ・什器類 ・ホース，ケーブル類 ・空調室外機 ・鋼製ステップ

注：各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり，ジャンル内の物品全てが同一の形状となるわけではない。

表 4-2 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	C_{D1}	C_{D2}	C_{D3}
棒状物体	2.0	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)
板状物体	1.2	1.2	2.0
塊状物体	2.0	2.0	2.0

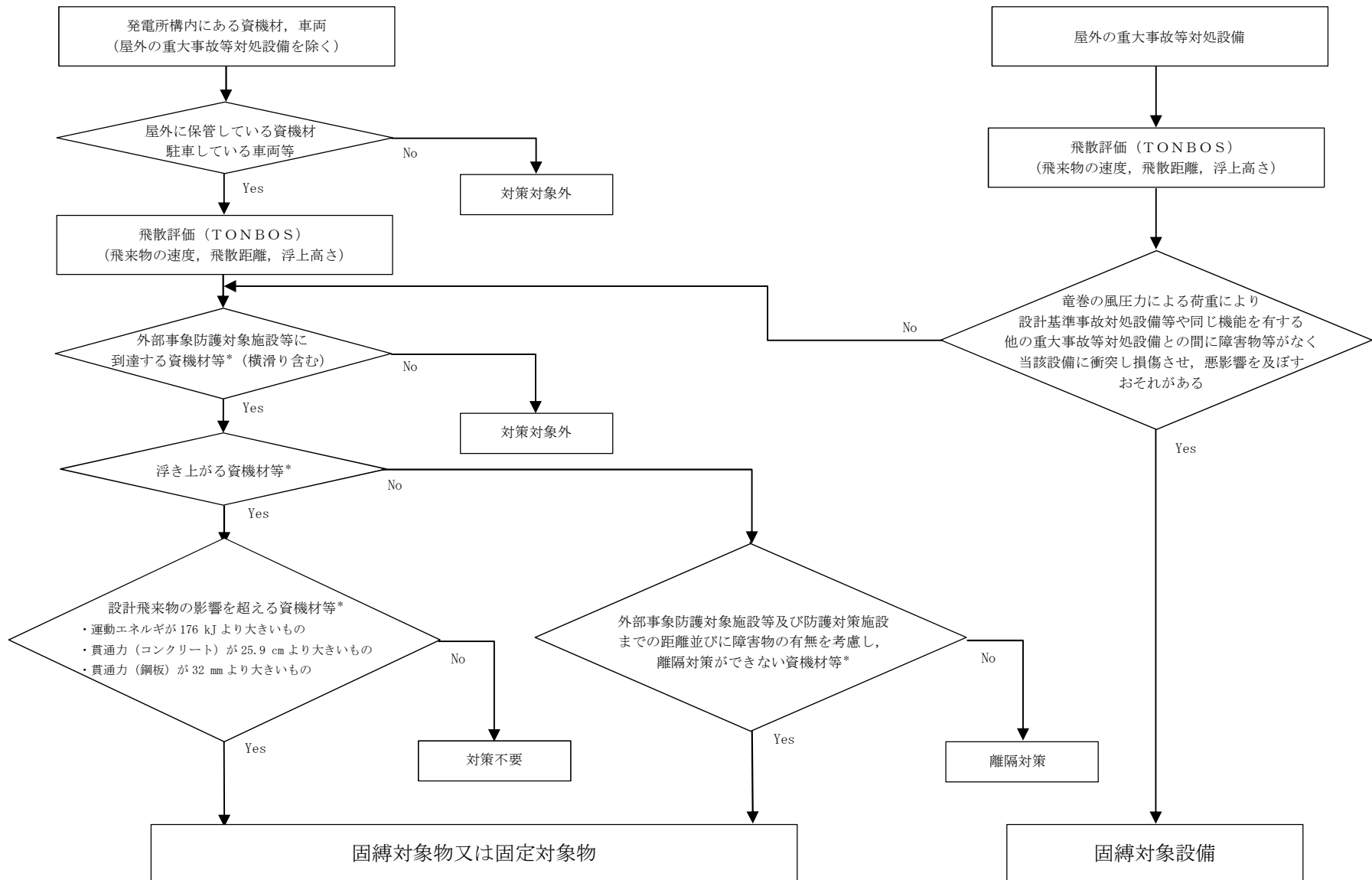
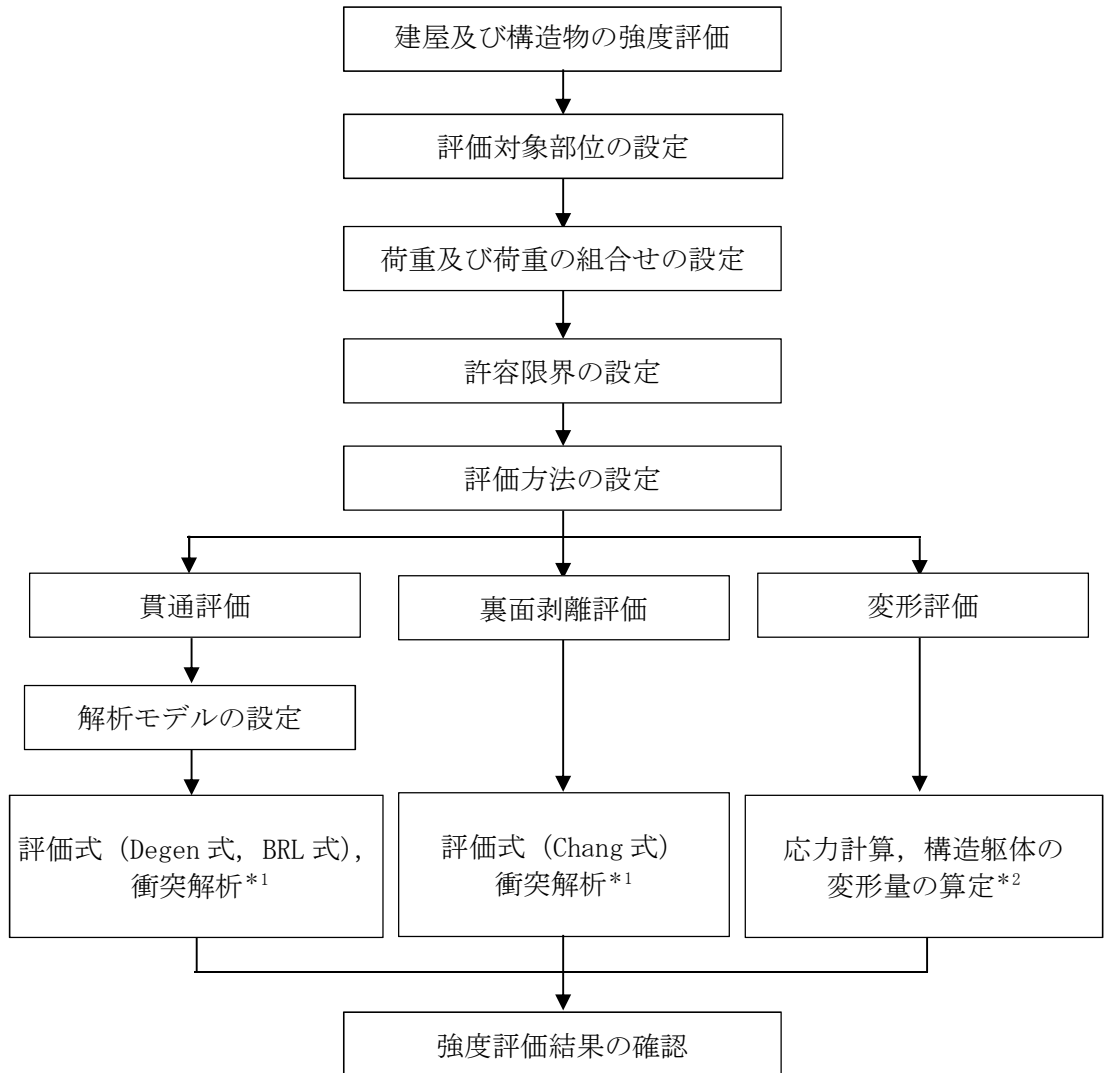


図 4-2 固縛対象物等及び固縛対象設備の選定フロー

注記：* 資機材等は資機材、車両を示す。

V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の
強度計算書

建屋及び構造物の設計荷重作用時の強度評価フローを図2-21に示す。



注記 *1 : 3次元FEMモデルを用いた動的評価を実施する。

*2 : 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図2-21 強度評価フロー

表3-6 飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)	衝突対象
鋼製材	4.2×0.2× 0.3	135	51	34	設計飛来物として、全ての 建屋及び構造物を対象
車両	3.6×2.5× 8.6	5000	52	—*	隣接事業所からの飛来物の 代表的なものとして、以下 の施設を対象 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所建屋

注記 *：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から、車両が屋根に到達することは考え難く、仮に屋根に到達した場合でも、飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり、有意な衝突速度にならないと考えられるため。

(4) 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重 F_d として、自重及び上載荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえ、設計竜巻荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

(b) 飛来物

飛来物は、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデルと同じ鋼製材を用いる。

b. 材料定数及び材料の非線形特性

コンクリート及び鉄筋の材料物性については、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。

(4) 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に対する衝突解析

飛来物（鋼製材及び車両）に対して、Chang式による裏面剥離限界厚さを満足しない使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁（車両の衝突を想定する東側及び南側）に対しては、裏面に鋼製ライナを施工する対策を講ずる。これらの壁については、最薄部の版厚と配筋ピッチは同じであることから、最薄部かつ鉄筋径が小さい南面上部壁を代表箇所を選定し、風圧力による荷重 W_w 、飛来物（車両を代表とする）による衝撃荷重 W_M 及び常時作用する荷重 F_d を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により裏面のライナに発生するひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。なお、気圧差による荷重 W_p については、使用済燃料乾式貯蔵建屋は開かれた建屋であるため考慮しない。

鋼製ライナの貼付範囲を図3-9に示す。鋼製ライナは、アンカーボルトにより外壁の裏面に固定する。

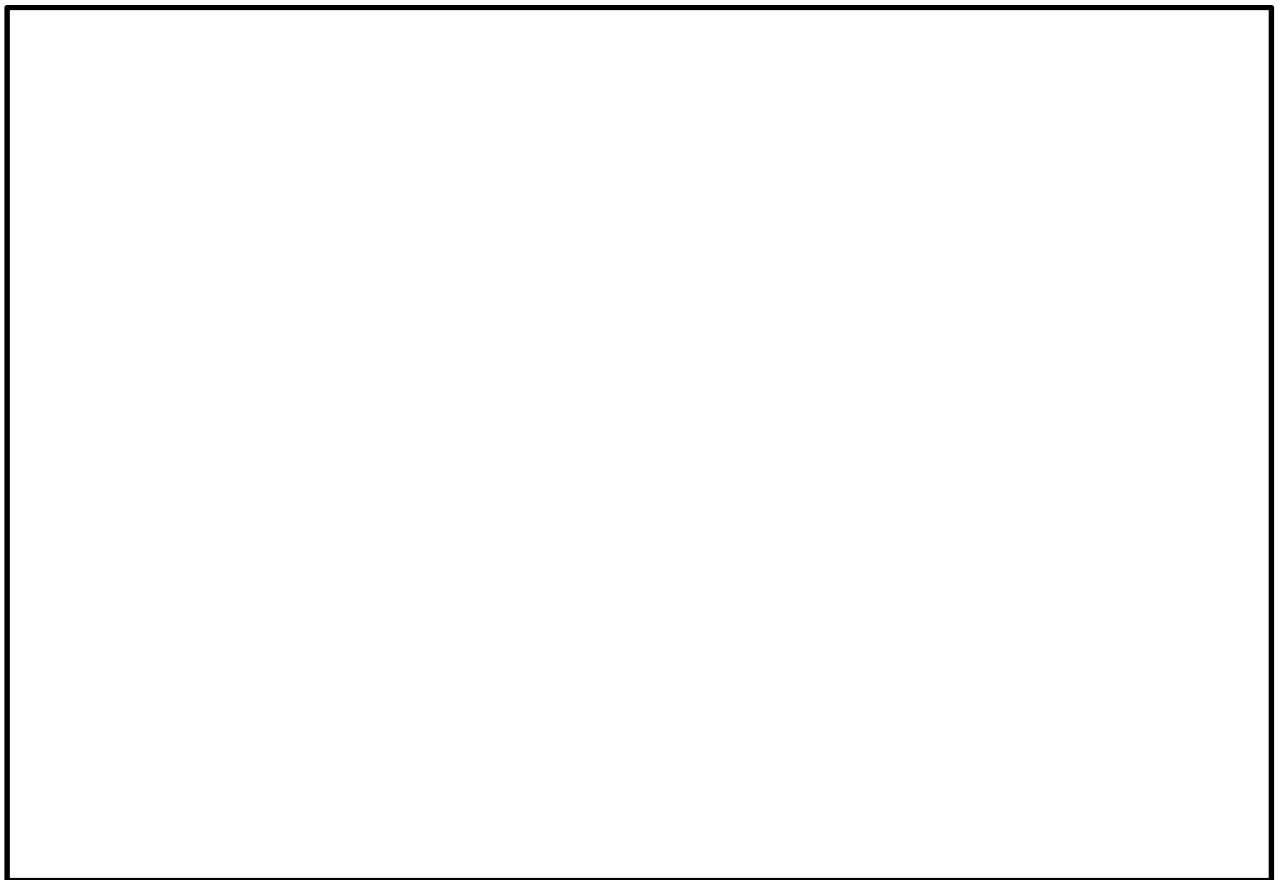
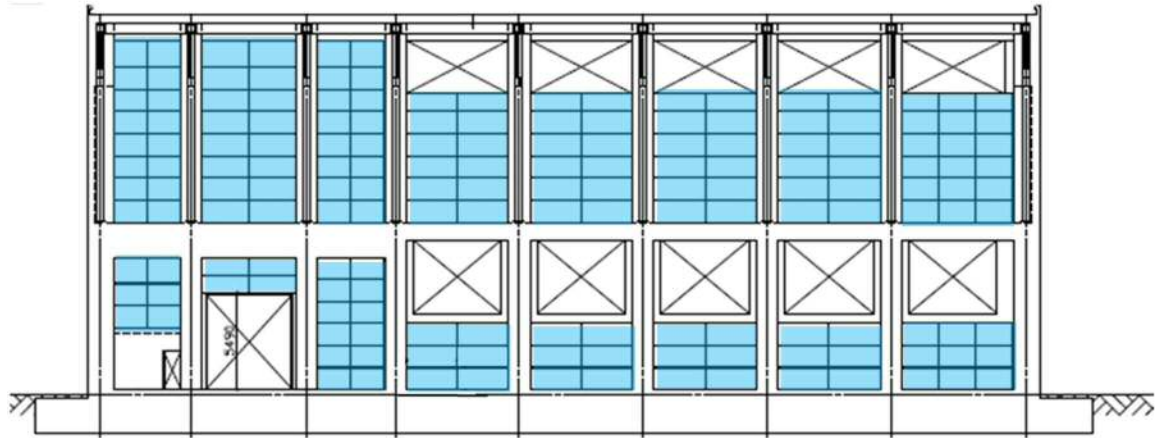
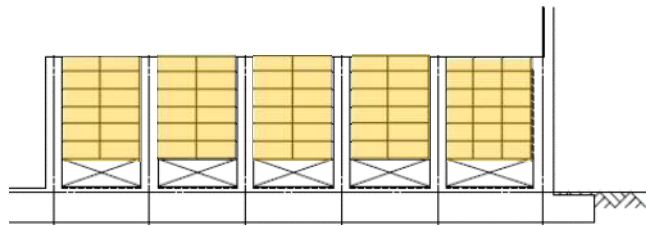


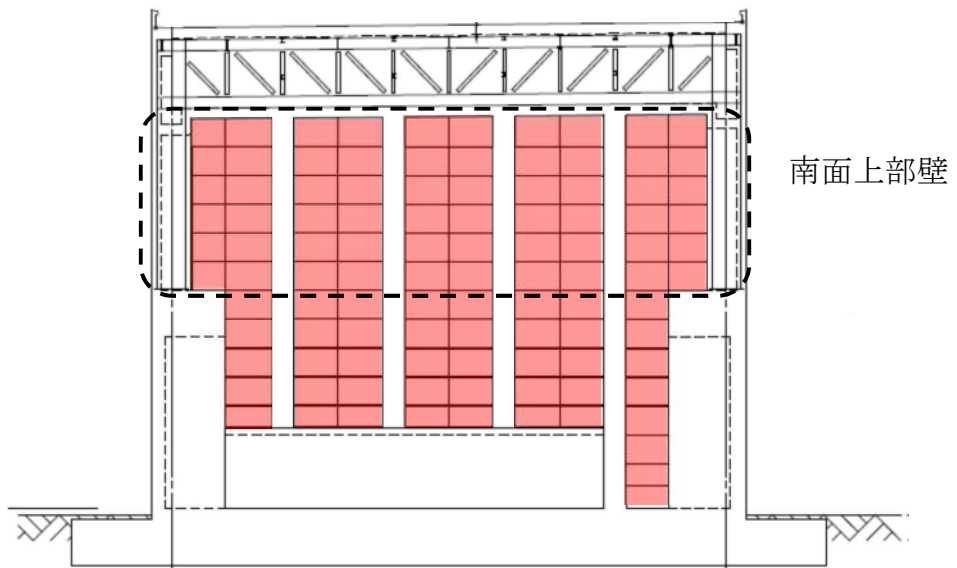
図3-9 鋼製ライナ貼付範囲 (1/2)



<東側 外壁面 (A-A視) >



<東側 内壁面 (B-B視) >



<南側壁面 (C-C視) >

図3-9 鋼製ライナ貼付範囲 (2/2)

a. 解析モデル

(a) 建屋外壁

評価対象箇所（南面上部壁）の構造及び解析モデル図を図3-10に示す。モデル化は、柱間1スパンを対象とする。

コンクリートはソリッド要素、鉄筋はビーム要素及びライナはシェル要素でモデル化する。

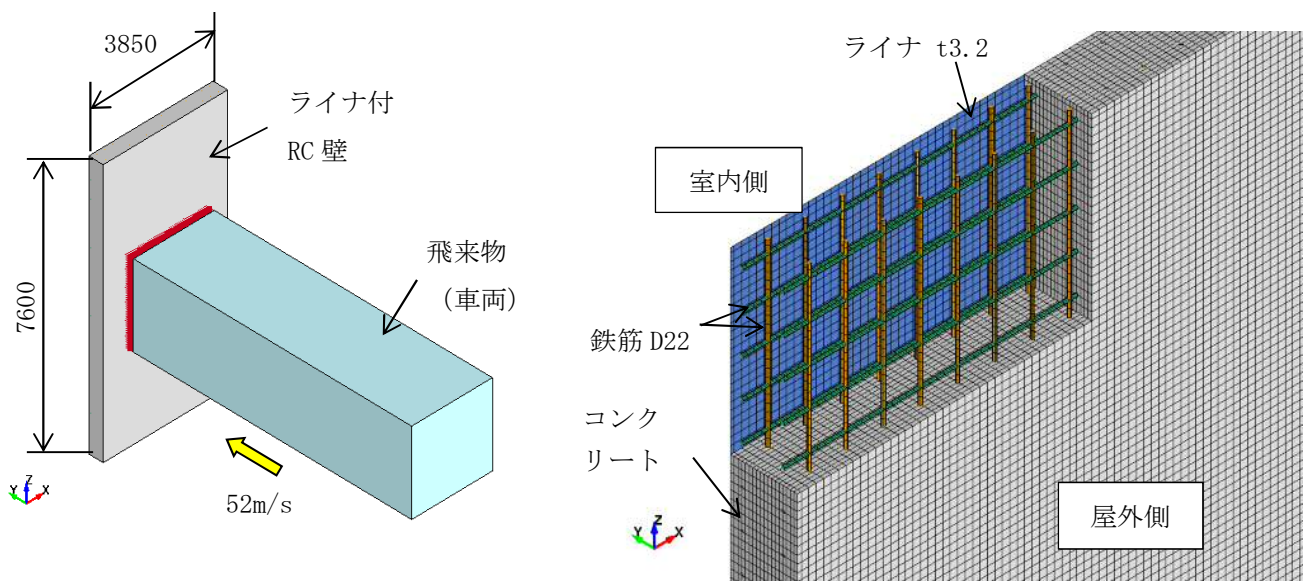
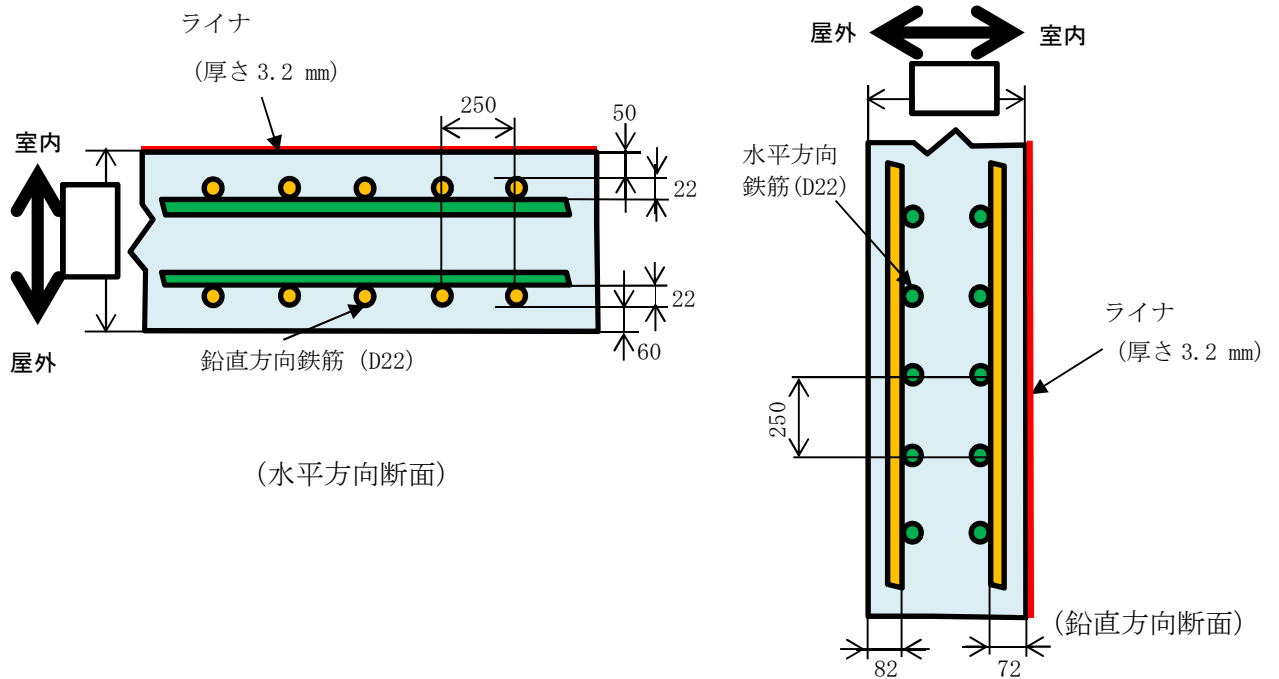


図 3-10 飛来物（車両）に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図

(b) 飛来物

飛来物として想定する車両のモデル図を図3-11に示す。車両は、車両剛性を衝突面の接点数で除した剛性を持つばねを、衝突面の接点ごとに配分した剛体としてモデル化した。また、建屋の柱間のスパンに対し車両（トラック相当）の長さが上回り、横向き時には柱で衝突荷重を支えることになるため、壁面のみで負荷を受けるよう、車両は正面衝突するモデルとした。また、衝突面の寸法については、衝突想定箇所となるキャビンの寸法を踏まえ設定した。

飛来物（車両）モデルの諸元を表3-19に示す。

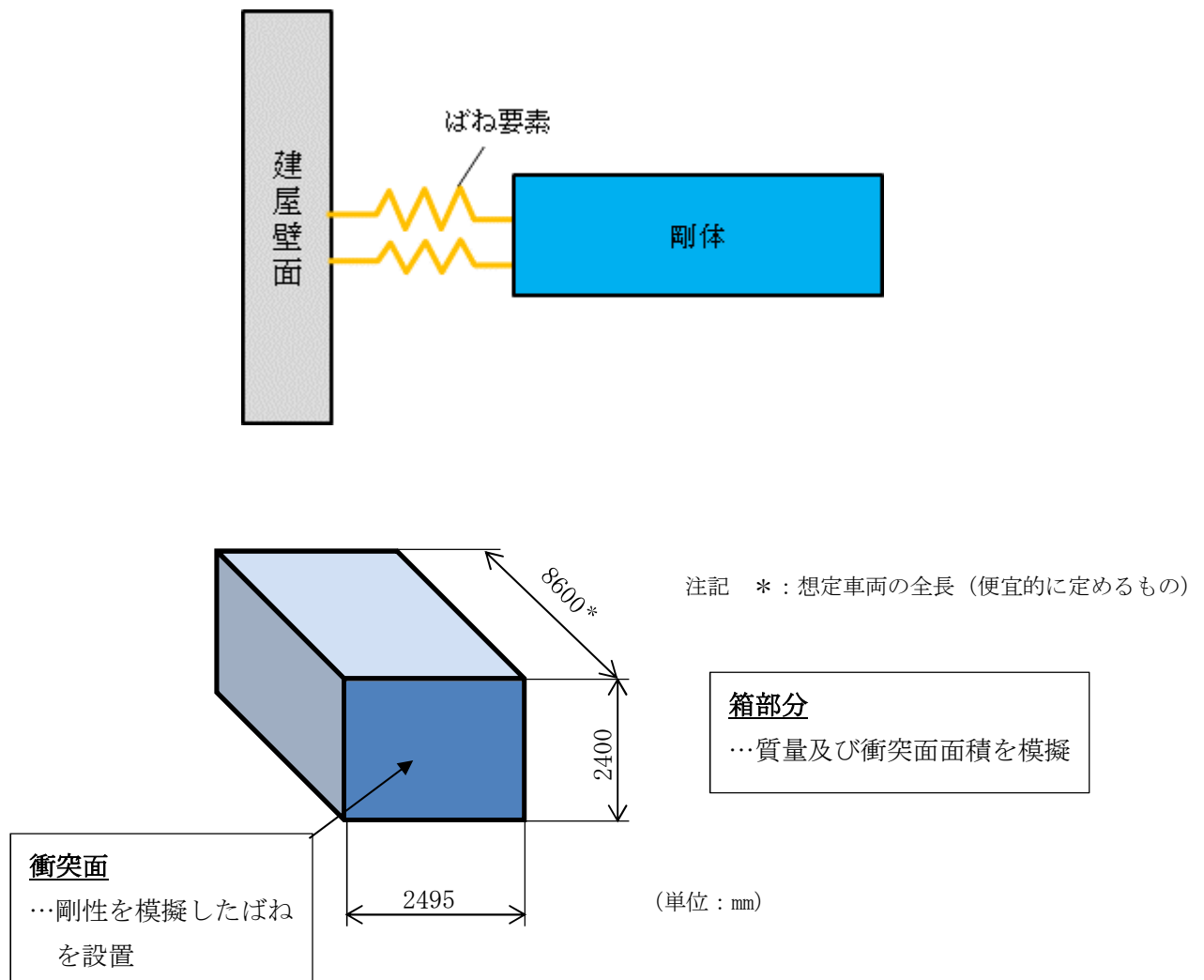


図3-11 飛来物（車両）の解析モデル図

表3-19 飛来物（車両）モデルの諸元

寸法*1 (m)	衝突面寸法*2 (m)	質量 (kg)
3.6×2.5×8.6	幅 2.495 高さ 2.400	5000

注記 *1：簡易式評価

*2：車両諸元のモデルとなったトラック（8tクラス）のキャビン前面寸法を基に設定

b. 材料定数

コンクリート、鉄筋、ライナの材料定数及び車両モデルの剛性を、それぞれ表3-20～表3-23に示す。

表3-20 コンクリートの材料定数

設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比 (-)	単位体積重量 (kN/m ³)
23.5	2.25×10 ⁴	0.2	24

表3-21 鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)
SD390	390	2.05×10 ⁵	77

表3-22 ライナの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)
SS400	245	2.05×10 ⁵	77

表3-23 車両モデルの剛性

(単位：N/m)

剛性
2.94×10 ⁶ *

注記 *：自動車の衝突安全（名古屋大学出版会）を参照し、以下のとおり算出。
588 (N/m/kg) × 5000 (kg) = 2.94×10⁶ (N/m)

c. 材料の非線形特性

材料の非線形特性の考え方は、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。
コンクリート、鉄筋及びライナの強度をそれぞれ表3-24及び表3-25に示す。

表3-24 コンクリートの圧縮及び引張強度

(単位：N/mm²)

設計基準強度	材料モデル	
	圧縮強度	引張強度
23.5	29.4	3.08

表3-25 鉄筋及びライナの降伏及び破断強度

種別	材質	規格値 (公称応力)		材料モデル (真応力, 真ひずみ)		
		降伏応力 (N/mm ²)	破断応力 (N/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	破断相当応力 (N/mm ²)	破断相当塑性ひずみ (-)
鉄筋	SD390	390	560	429.9	556.9	0.074
ライナ	SS400	245	400	316.6	425.0	0.095

コンクリート、鉄筋及びライナの応力-ひずみ関係を、それぞれ図3-12～図3-14に示す。

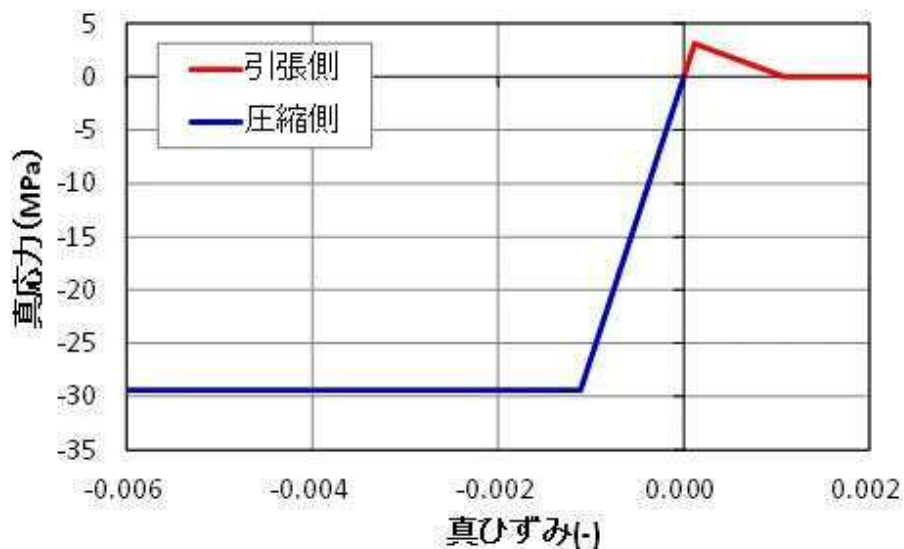


図3-12 真応力-真ひずみ関係 (コンクリート)

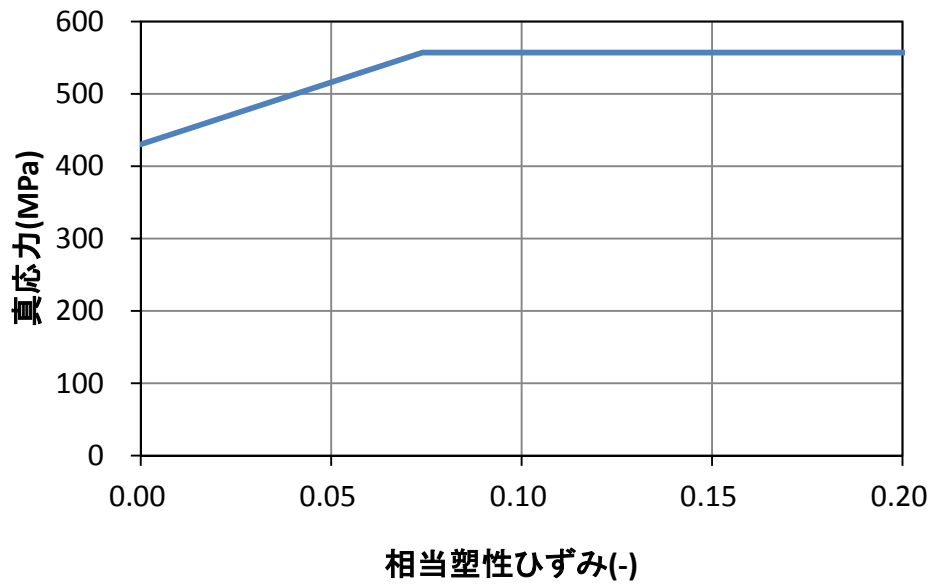


図3-13 真応力-相当塑性ひずみ関係 (鉄筋)

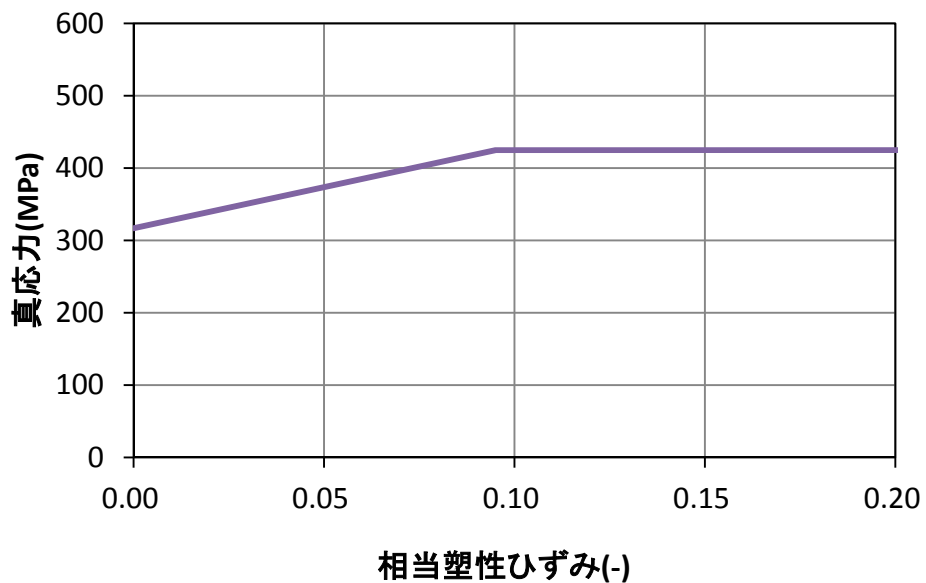


図3-14 真応力-相当塑性ひずみ関係 (ライナ)

3.5.3 変形評価

- (1) 原子炉建屋 (RC造部), タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋

原子炉建屋 (RC造部), タービン建屋, 使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の変位は, 設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力-せん断ひずみ ($Q-\gamma$) 関係より算定する。

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の $Q-\gamma$ 関係は, 添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応

表5-1 貫通評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目	評価対象部位	飛来物	ひずみ		
			評価結果	許容限界	
貫通評価	原子炉建屋 原子炉棟	屋根スラブ (鉄筋)	鋼製材	2.1×10^{-3}	8.2×10^{-2}

5.2 裏面剥離評価

裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表5-2に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった部位については、解析による評価にてデッキプレート若しくはライナが破断しないことを確認した。

表 5-2 裏面剥離評価結果(1/2) (式による評価)

評価項目	評価対象部位	飛来物	最小厚さ*1 (mm)	裏面剥離 限界厚さ (mm)
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	355
		外壁 R C造部	鋼製材	466
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版*3	鋼製材	355
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁	鋼製材	466
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ	鋼製材	346
			車両	—
		外壁	鋼製材	454
			車両	649
	軽油貯蔵タンク タンク室	頂版	鋼製材	280
	海水ポンプエリア 防護壁	R C壁	鋼製材	451
	緊急時対策所 建屋	屋根スラブ	鋼製材	314
			車両	—
		外壁	鋼製材	412
			車両	589

注記 *1：評価部位の中で最小のもの
 *2：表 5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認
 *3：竜巻より防護すべき施設の上部のスラブを対象とする。
 *4：内包する防護すべき施設への影響がないことを、表 5-2(2/2)の原子炉建屋外壁を代表とした評価により確認

表5-2 裏面剥離評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目	評価対象部位	飛来物	ひずみ(-)		
			評価結果	許容限界	
裏面剥離評価	原子炉建屋	原子炉棟屋根スラブ (デッキプレート)	鋼製材	0.013*	0.082
		原子炉棟6階外壁* (裏面側鉄筋)	鋼製材	9.45×10^{-4} *	2.0×10^{-3}
	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	ライナ	車両	0.058	0.095

注記 * : 外殻となるRC壁の代表箇所(最小版厚部位)

5.3 変形評価

(1) 建屋(RC造部)

建屋のRC造部に生じるせん断ひずみと許容限界の比較を表5-3に示す。建屋に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表5-3 変形評価結果(建屋(RC造部))

評価項目	評価結果	許容限界	
建屋の せん断ひずみ	原子炉建屋	4.2×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	タービン建屋	4.7×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	5.0×10^{-5}	2.0×10^{-3}
	緊急時対策所建屋	8.8×10^{-6}	2.0×10^{-3}

(2) 原子炉建屋(鉄骨造部)

a. 鉄骨架構

部材の欠損を想定した場合に原子炉建屋(鉄骨造部)の部材に発生する応力度と許容限界の比較を表5-4に示す。鉄骨架構に生じる応力度が、許容限界を超えないことを確認した。検定比が最大となる箇所について、図5-1に示す。

V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

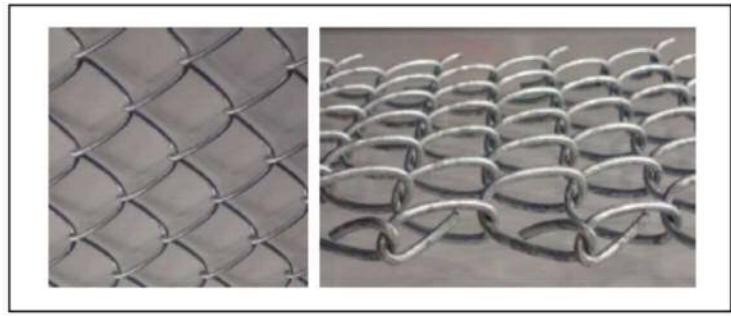
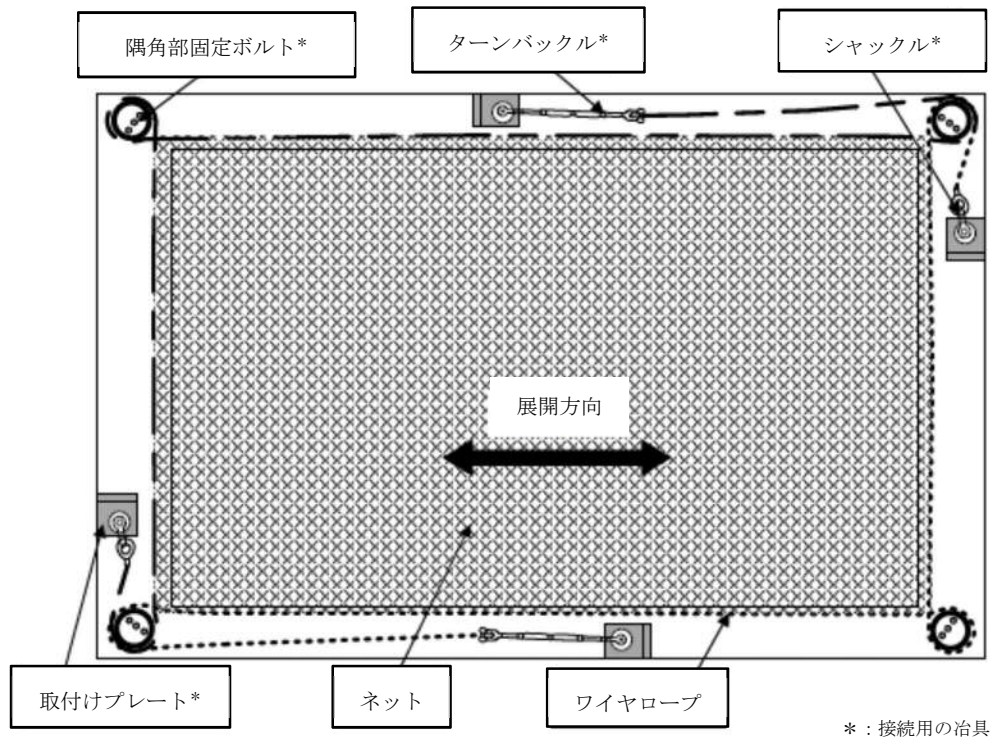


図 2-9 防護ネットの概要図

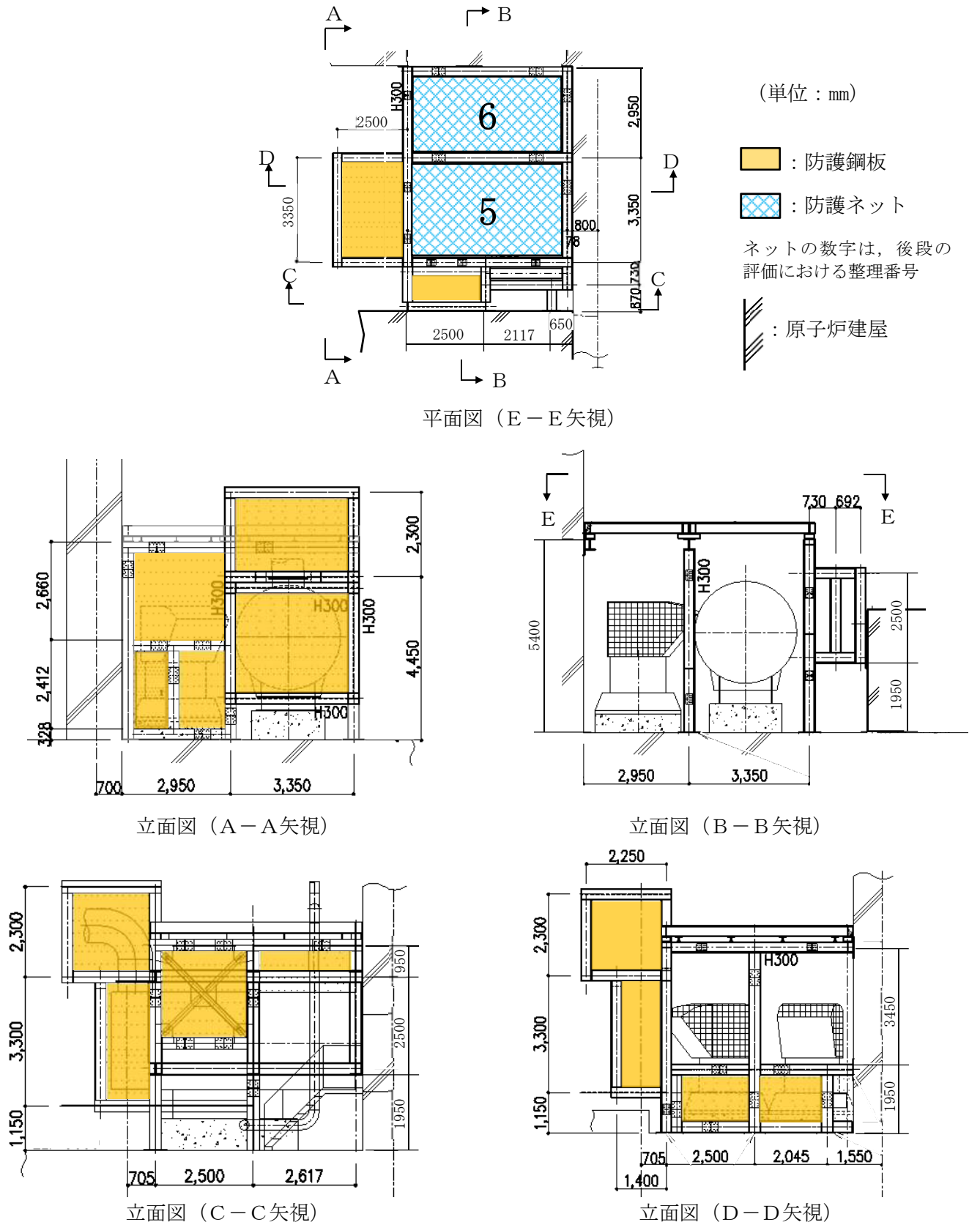
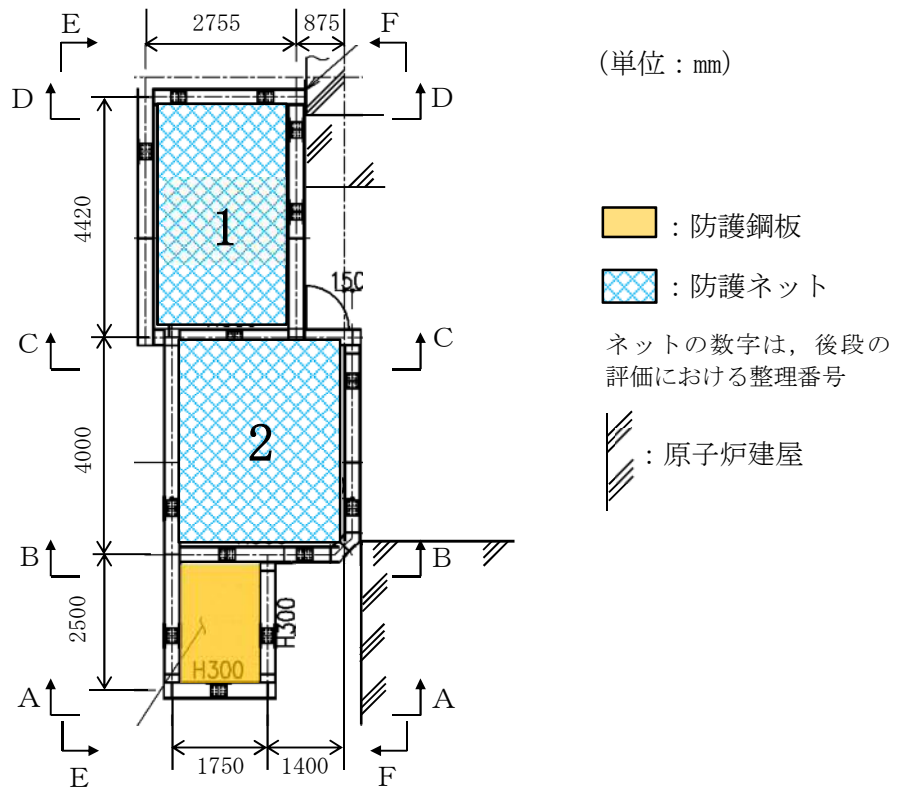
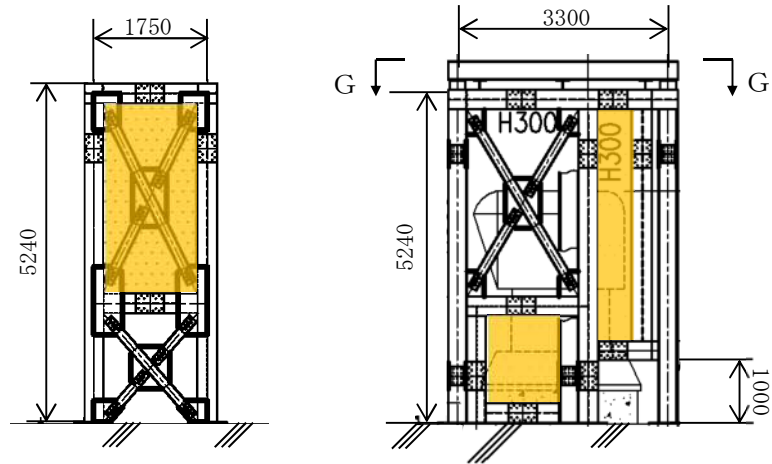


図 2-2 防護ネットの割付展開図
(2C 非常用ディーゼル発電機室ルーフバントファン防護対策施設)



上面図 (G-G 矢視)



正面図 (A-A 矢視)

正面図 (B-B 矢視)

図 2-3 防護ネットの割付展開図(1/2)
(2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設)

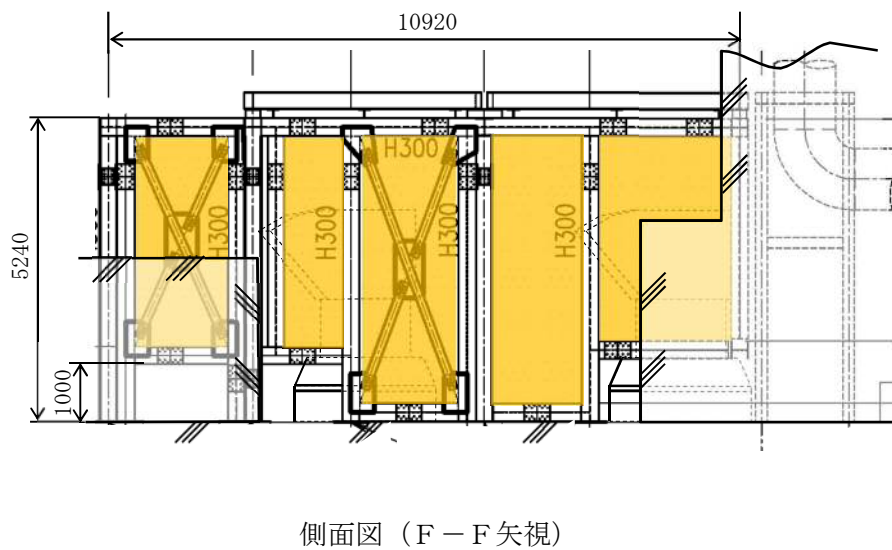
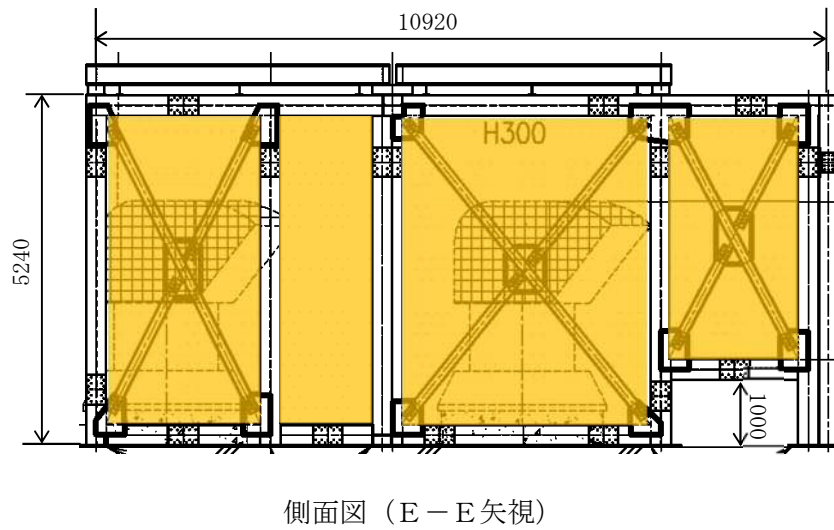
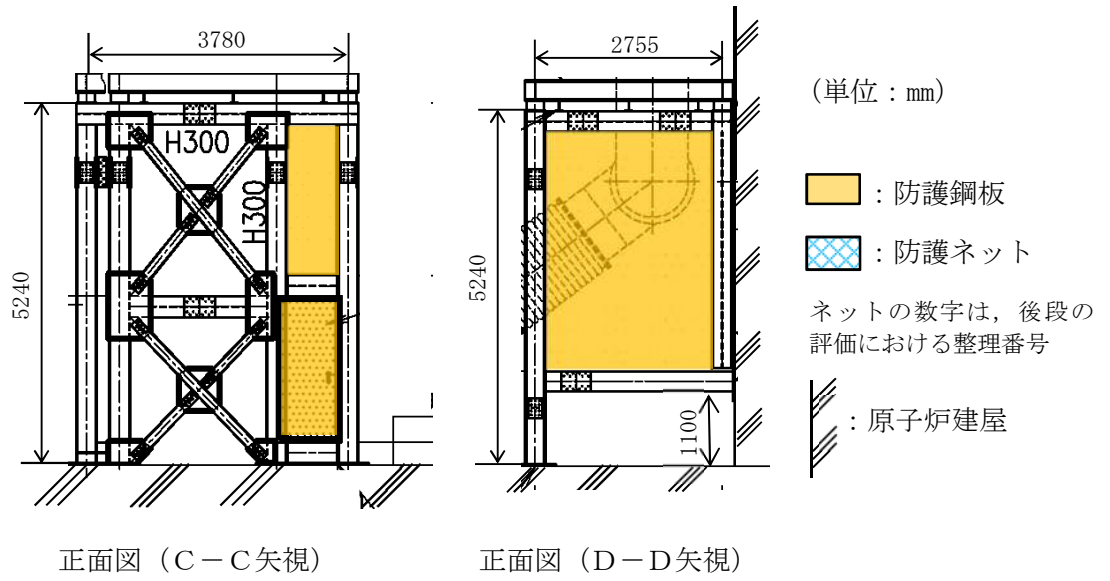


図 2-3 防護ネットの割付展開図(2/2)
(2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設)

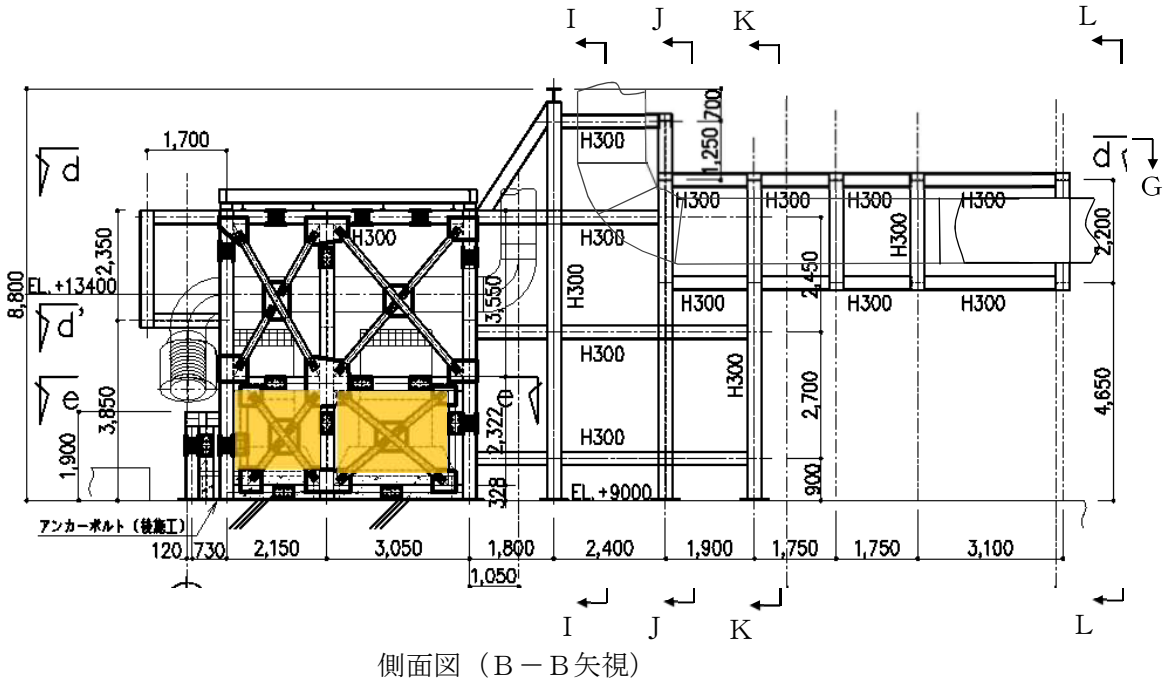
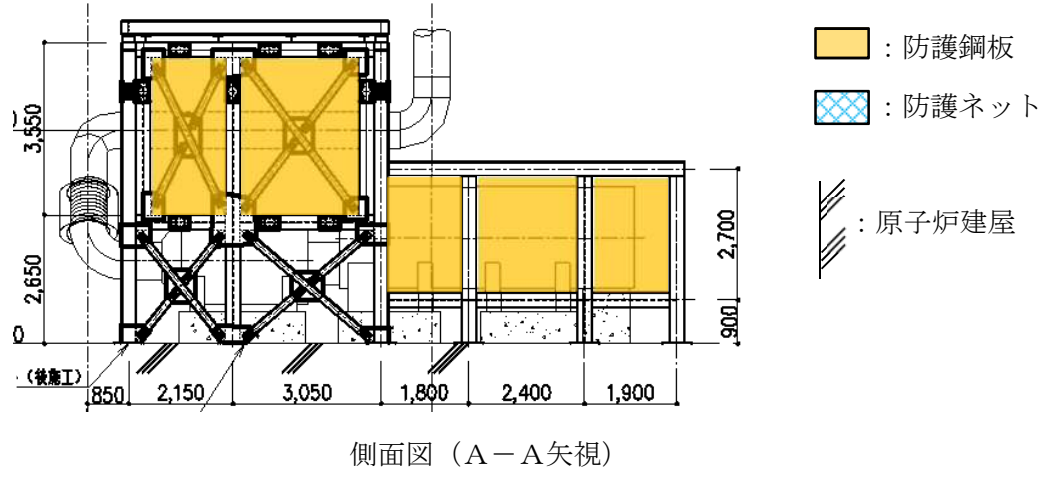
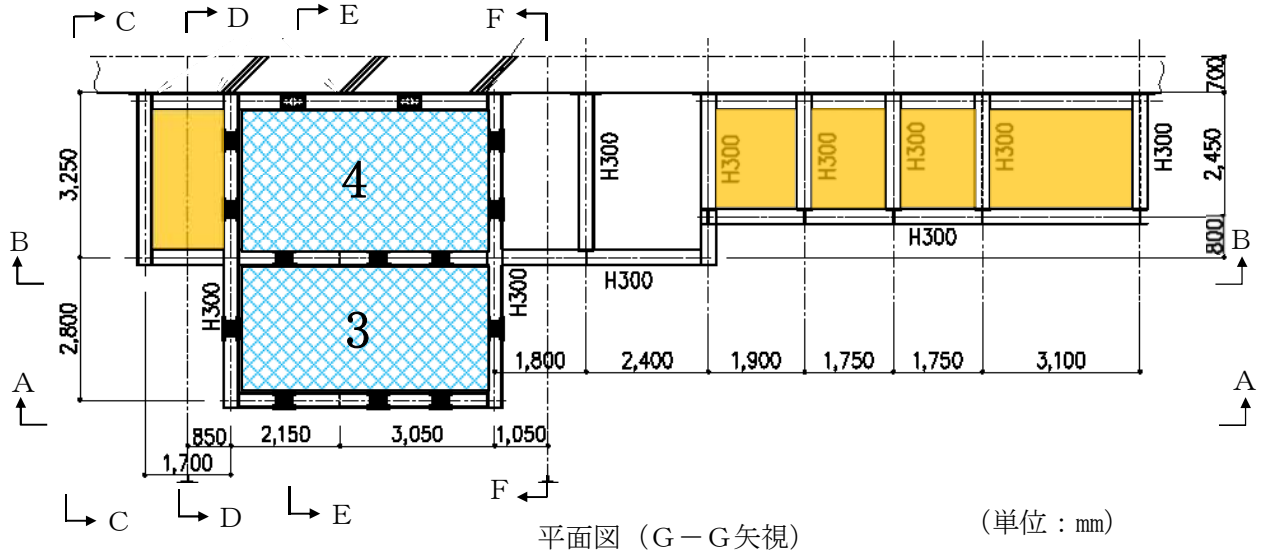


図 2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図 (1/3)

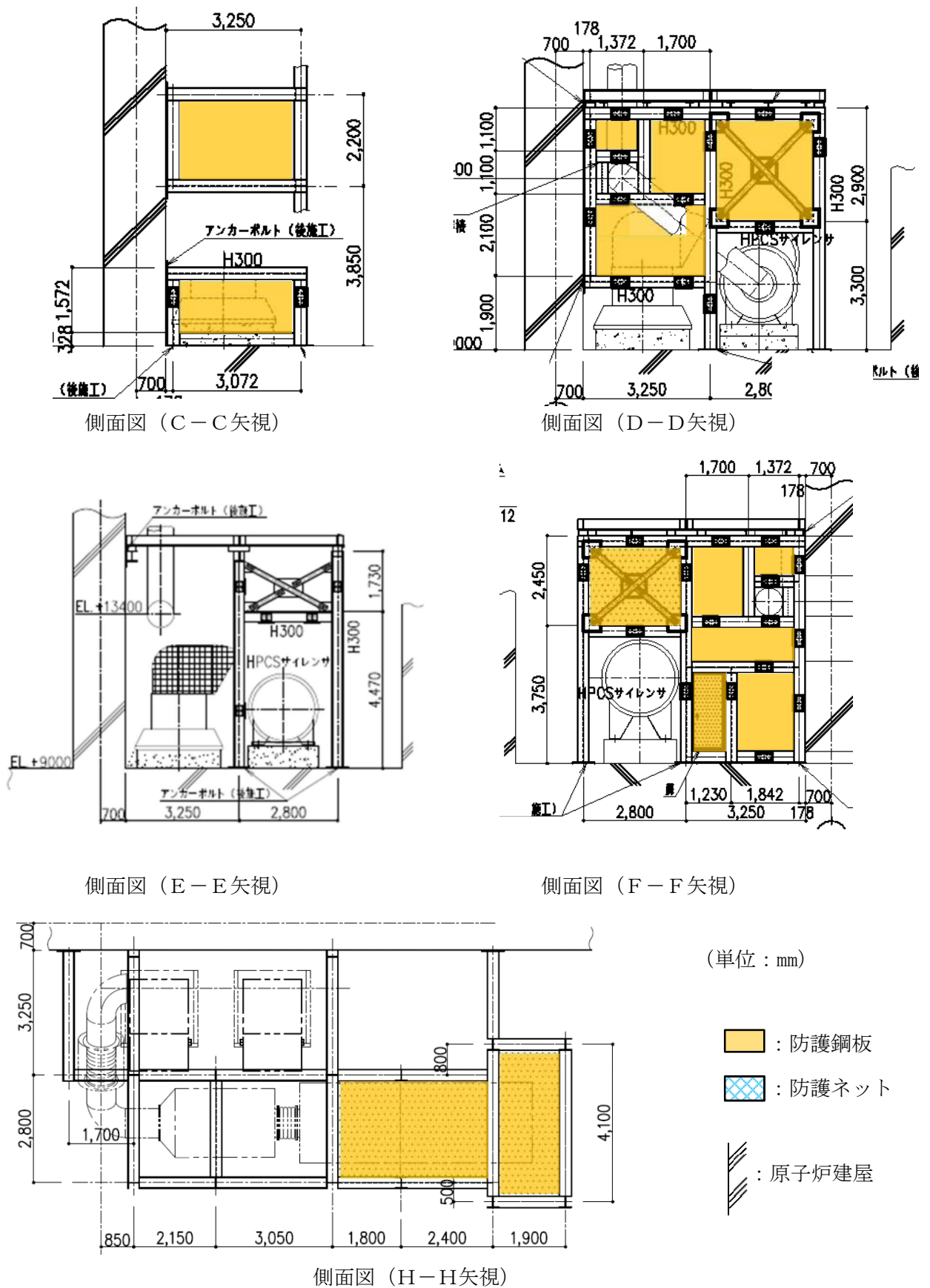


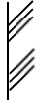


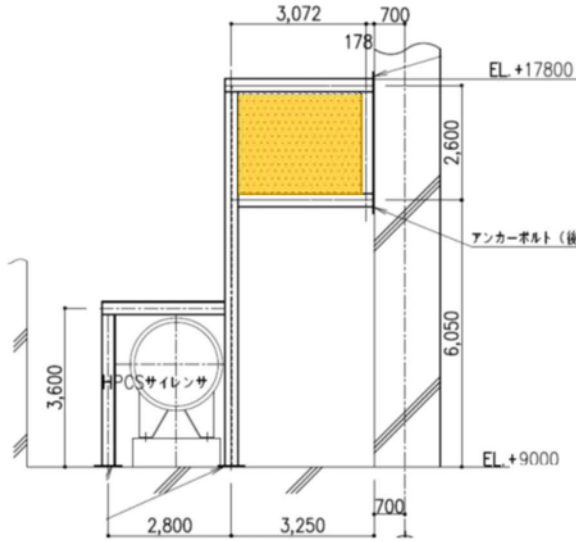
図 2-4 高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機室ルーフバントファン防護対策施設防護鋼板の構造図 (2/3)

(単位：mm)

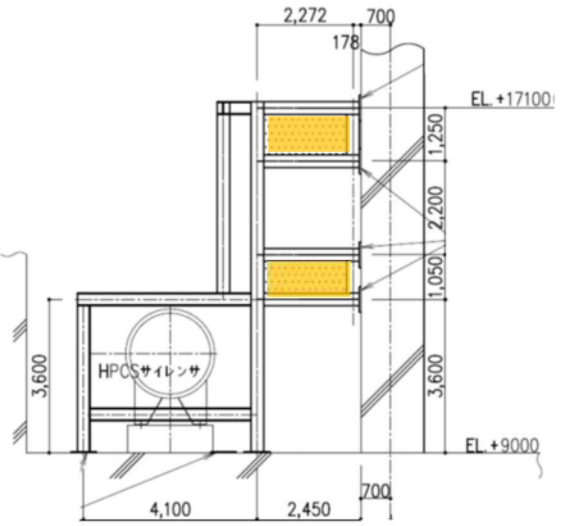
 : 防護鋼板

 : 防護ネット

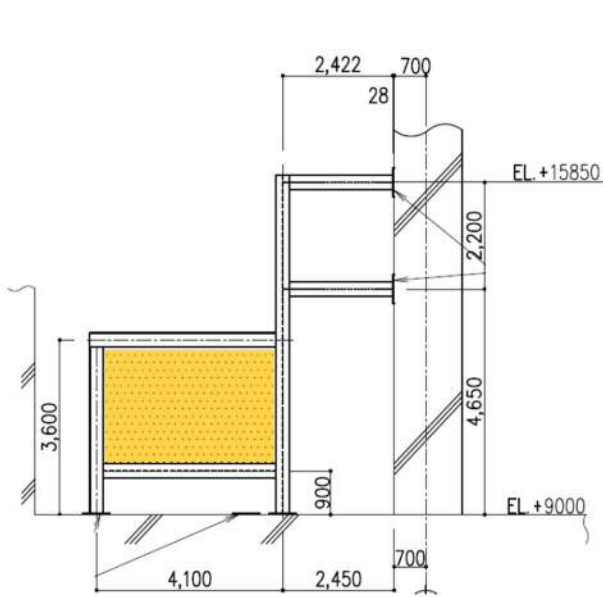
 : 原子炉建屋



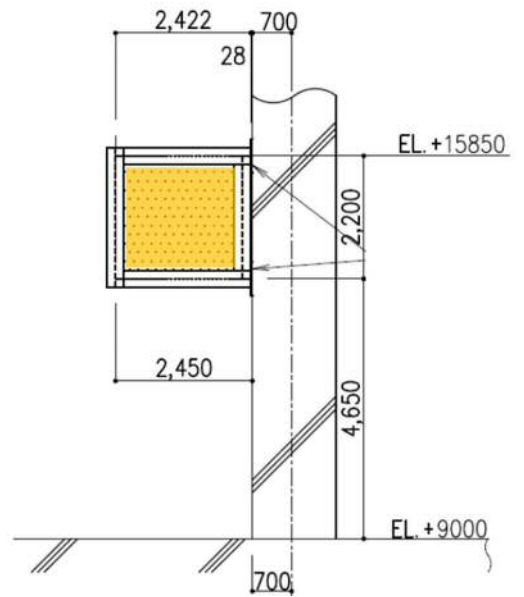
側面図 (I-I 矢視)



側面図 (J-J 矢視)

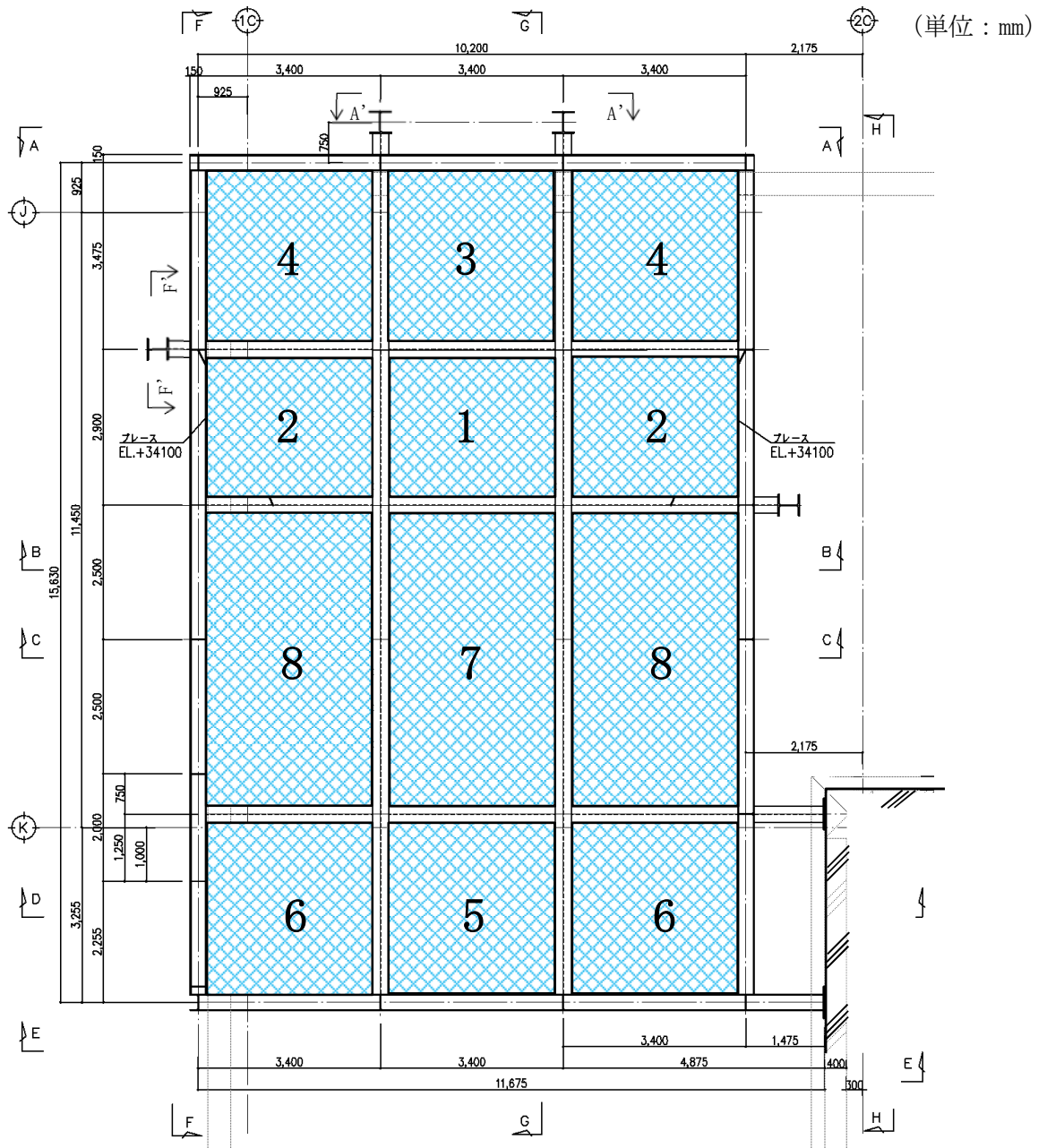


側面図 (K-K 矢視)





側面図 (L-L 矢視)

図 2-4 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設防護鋼板の構造図 (3/3)



平面図

 : 防護鋼板

 : 防護ネット

ネットの数字は、後段の評価における整理番号


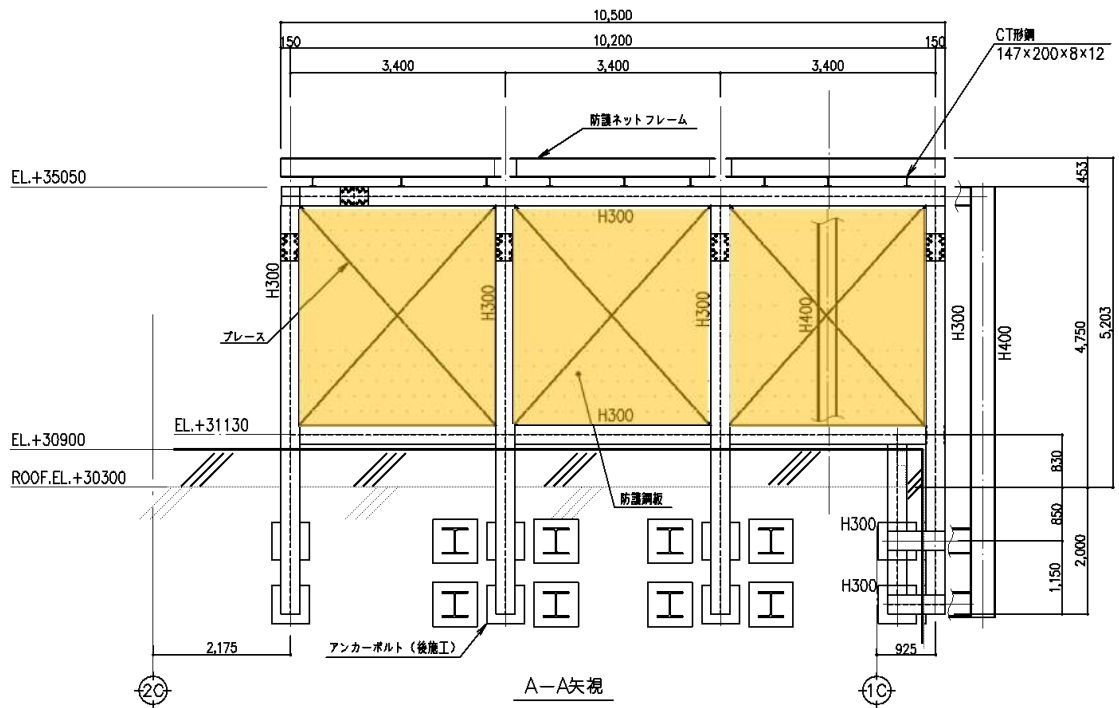


 : 原子炉建屋

図 2-5 防護ネットの割付展開図(1/3)


(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設)



 : 防護鋼板

 : 防護ネット

ネットの数字は、後段の
評価における整理番号

 : 原子炉建屋

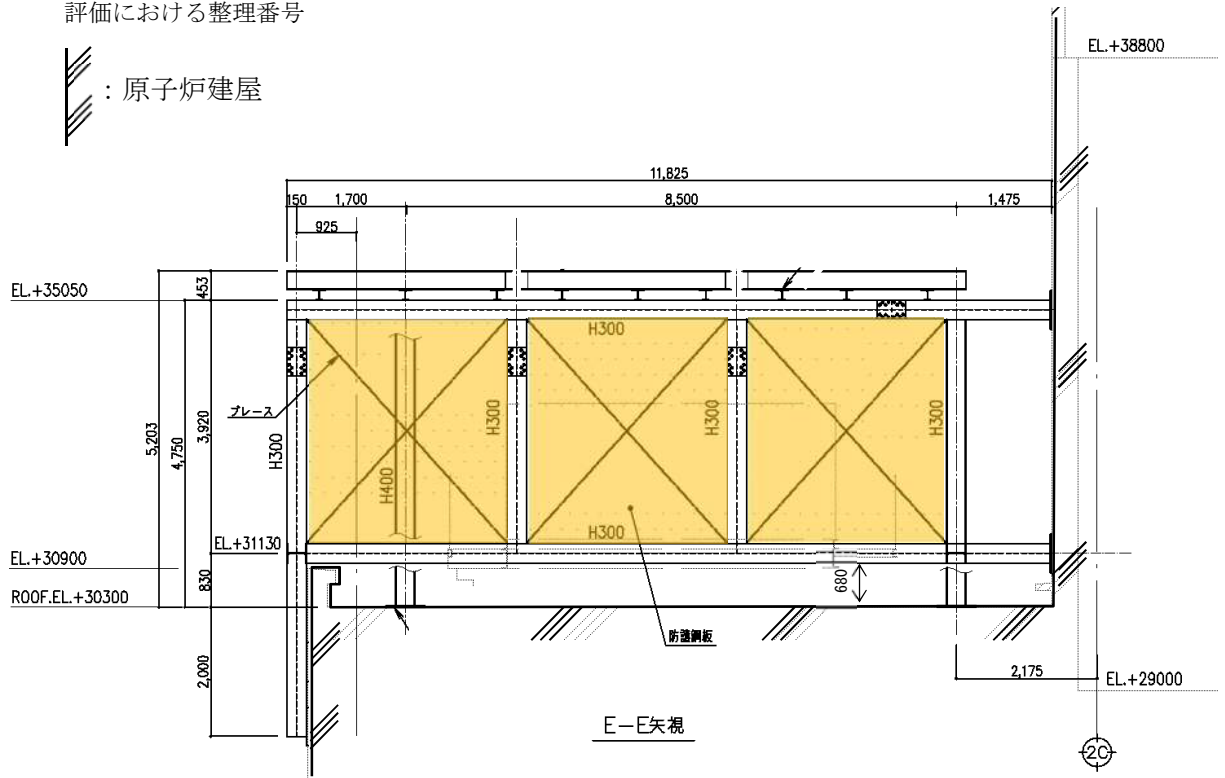
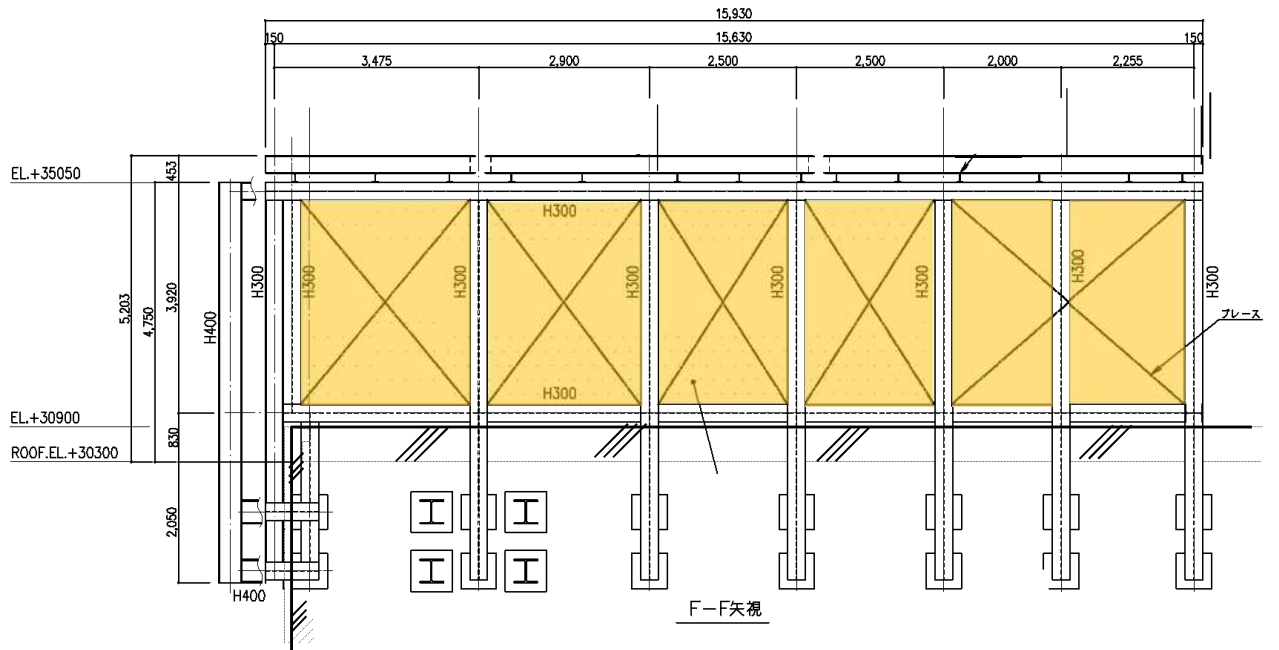




図 2-5 防護ネットの割付展開図(2/3)

(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設)


(単位：mm)



 : 防護鋼板

 : 防護ネット

ネットの数字は、後段の
評価における整理番号

 : 原子炉建屋

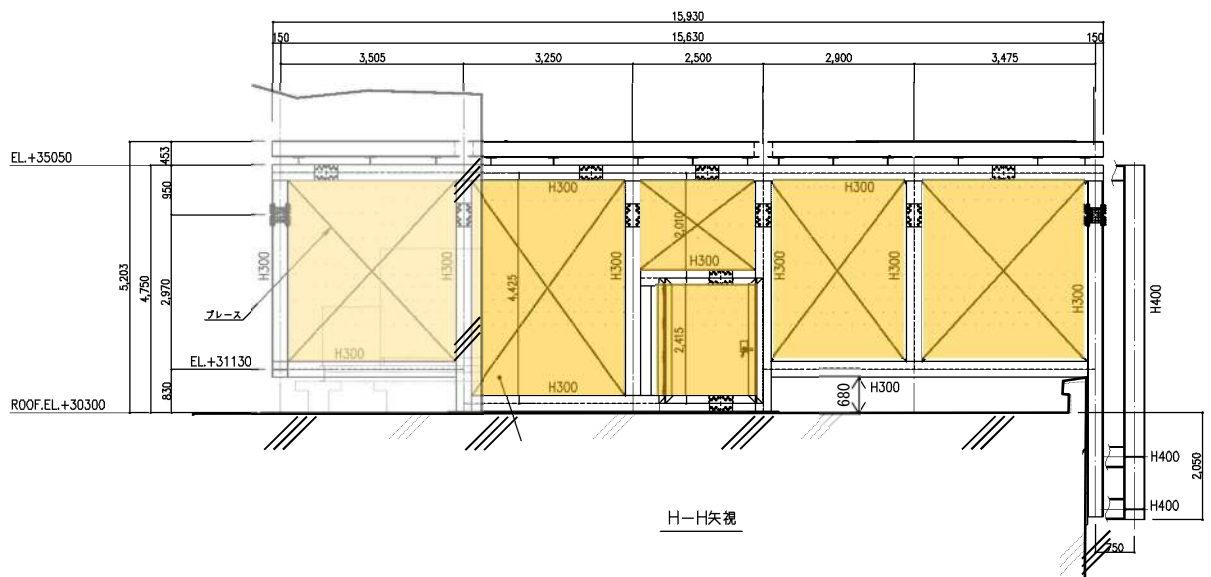


図 2-5 防護ネットの割付展開図(3/3)

(中央制御室換気系冷凍機防護対策施設)

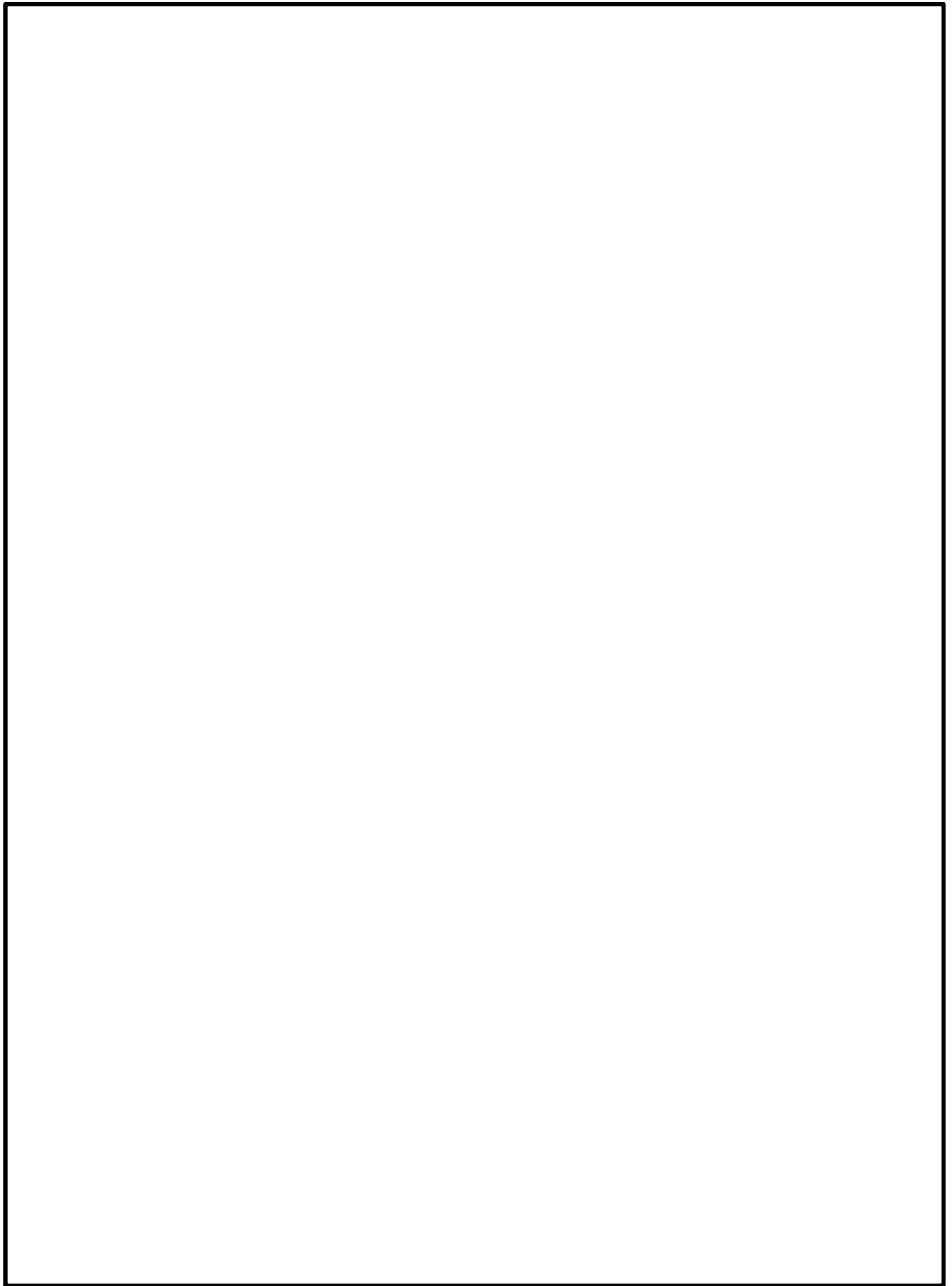
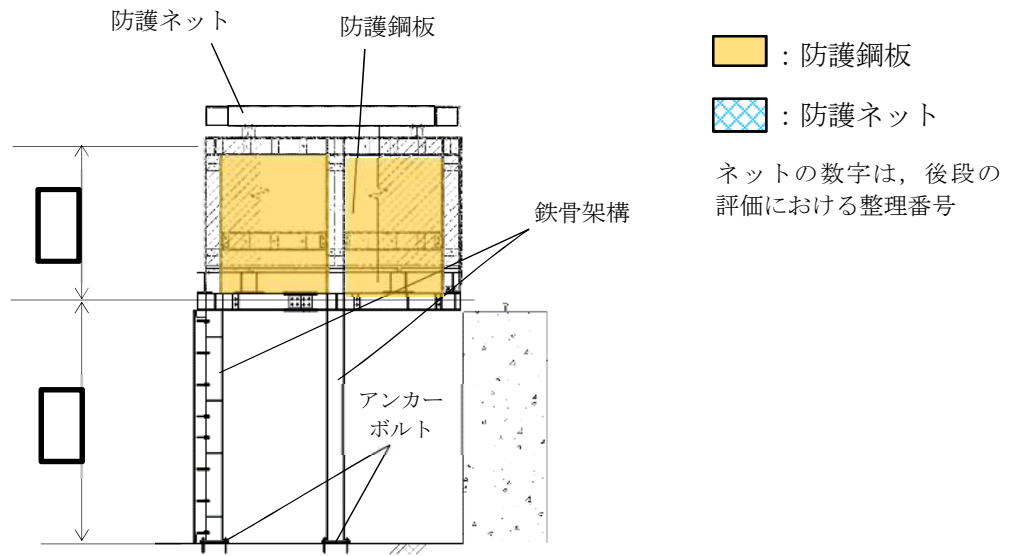


図 2-6 防護ネットの割付展開図
(海水ポンプエリア防護対策施設配置図) (1/2)



(C-C 視) No.9のネットも同様

図 2-6 防護ネットの割付展開図
(海水ポンプエリア防護対策施設配置図) (2/2)

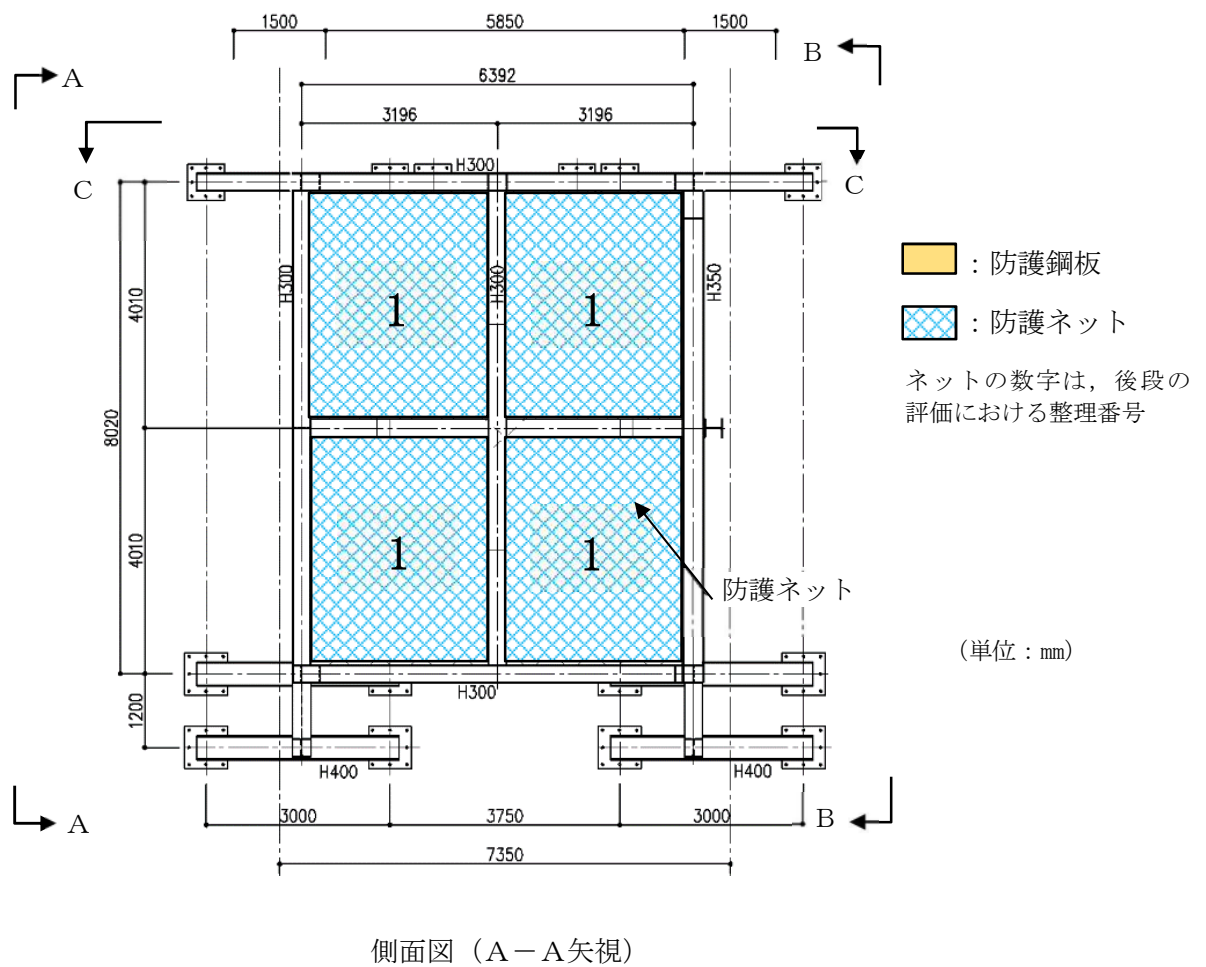
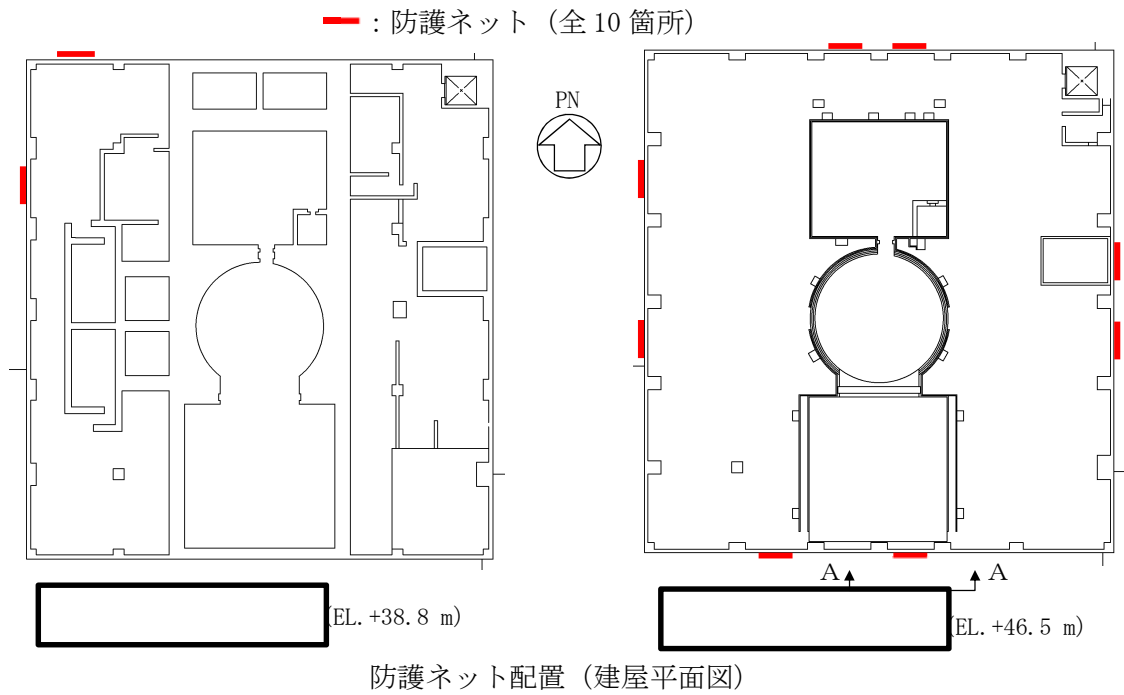


図 2-7 防護ネットの割付展開図
(原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設) (1/2)

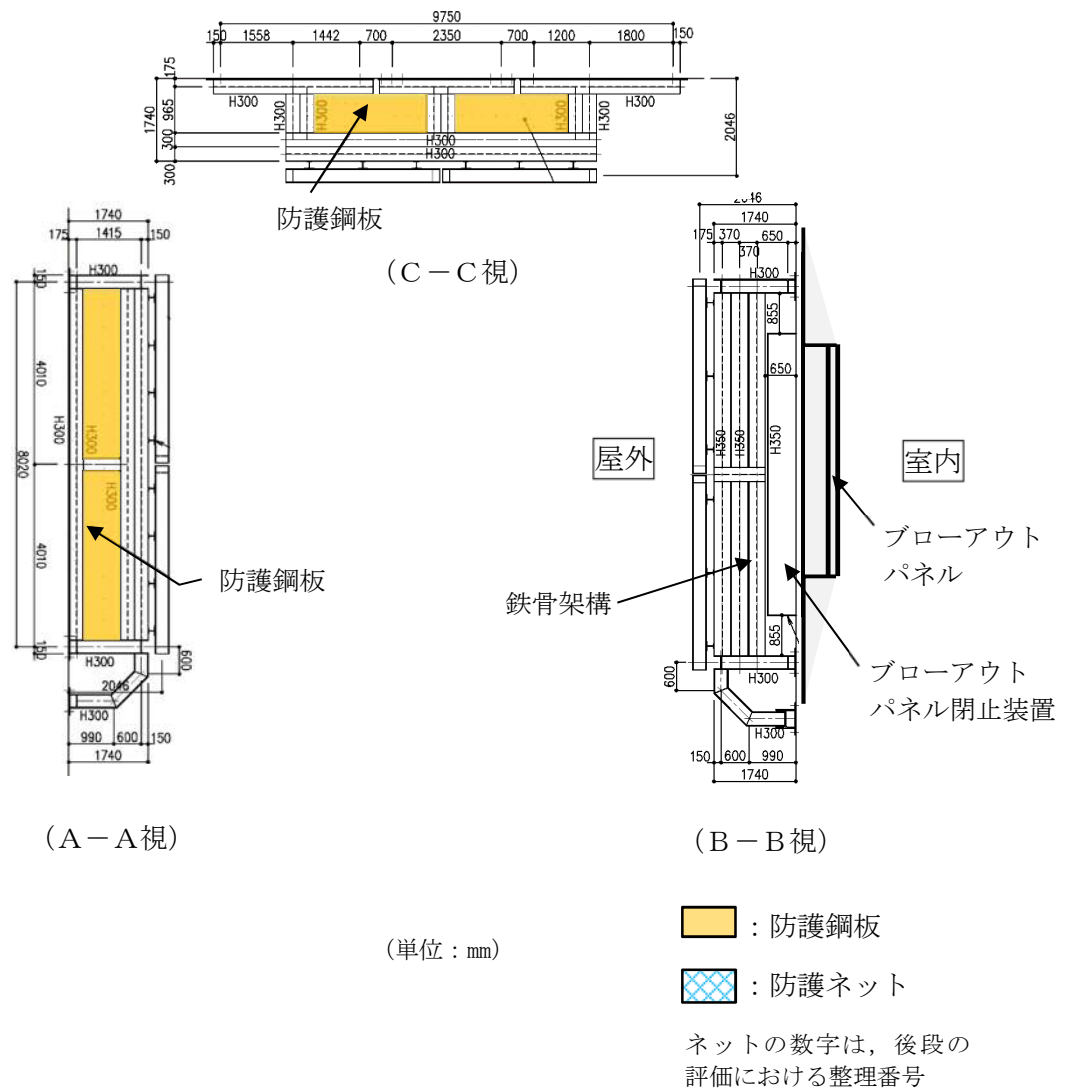


図 2-7 防護ネットの割付展開図
(原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設) (2/2)

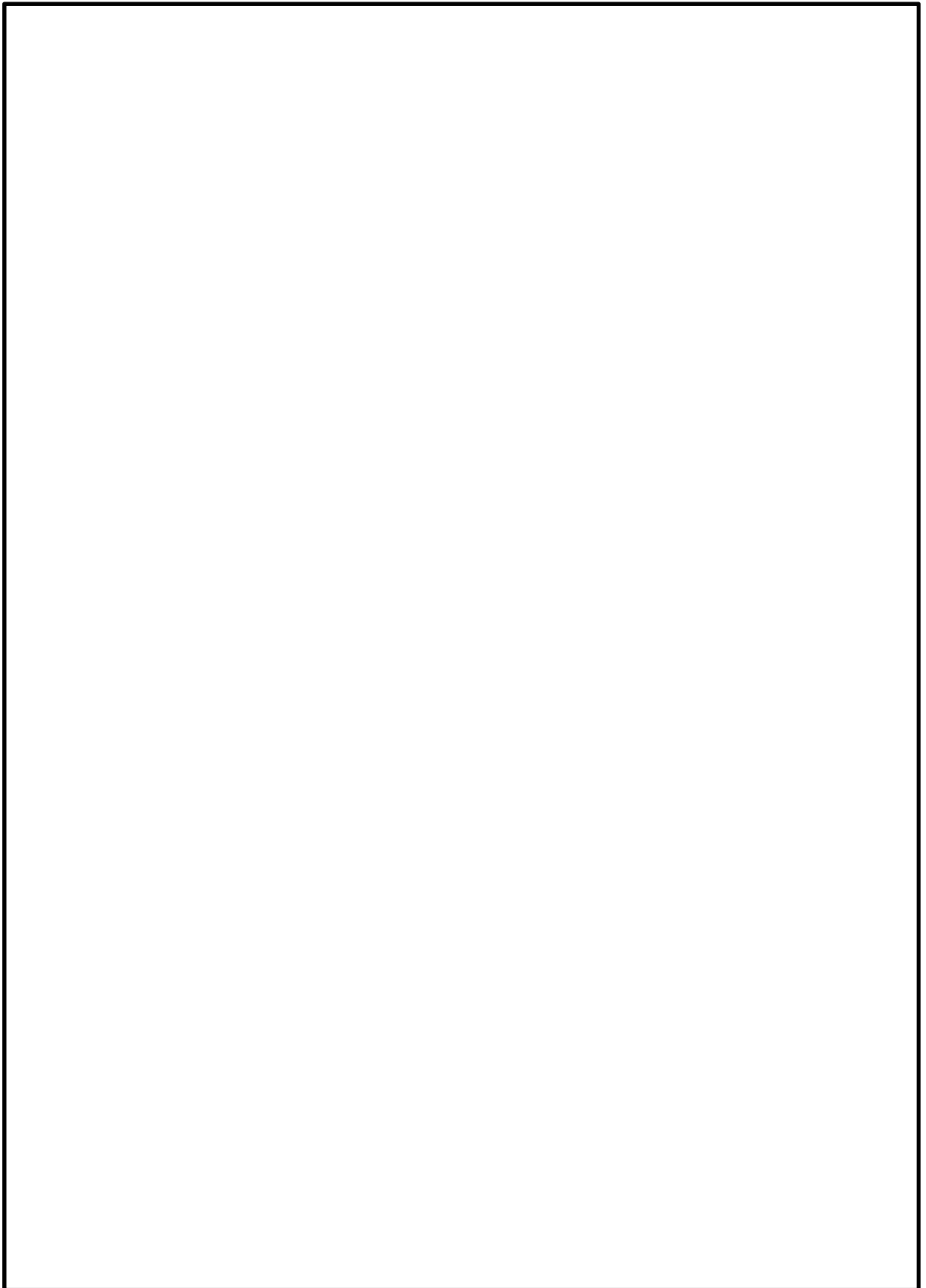


図 2-8 防護ネットの割付展開図
(使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設)

V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

1. 概要

本資料は、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示すとおり、固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）の固縛装置又は屋外の重大事故等対処設備を保管する収納ラック等（以下「収納ラック」という。）が、竜巻襲来時における設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備又は収納ラックに作用した場合であっても、固縛状態又は固定状態を維持するために必要な構造強度を有するように、固縛構成要素等に作用する荷重が許容限界以下であることを確認するものである。

2. 基本方針

(1) 固縛装置

固縛対象設備に設置する固縛装置は、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3. 設計方針」に示すとおり、固縛対象設備の構造によって連結材の余長の有無に違いはあるが、固縛装置の構成要素の組合せは、表 2-1 に示す 1 つである。

当該固縛装置に対して、強度評価を行い、固縛状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお、固縛対象設備の設置される固縛装置の強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い固縛装置は、「可搬型代替注水中型ポンプ」に設置する固縛装置であり、本資料においては、当該固縛装置の評価結果を示す。

表 2-1 固縛装置の構成

固縛対象設備	連結材	固定材	基礎部 (アンカーボルト)	対象の固縛対象設備数
車両型	高強度繊維ロープ (余長あり)	フレノ・リンクボルト	接着系 アンカーボルト	7
車両型以外	高強度繊維ロープ (余長なし)			10

(2) 収納ラック

収納ラックは、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3. 設計方針」に示すとおり、竜巻による風荷重により飛散することのないよう、基礎部（アンカーボルト）にて抵抗する構造であり、当該構造は対象となる収納ラックは同一である。

収納ラックの基礎部に対して、強度評価を行い、固定状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお、収納ラックの強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い収納ラックは、可搬型整流器の収納ラックであり、本資料においては当該収納ラックの評価結果を示す。

2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、添付書類「V-1-1-2-3-4 竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「2. 設計の基本方針」のとおり、位置的分散等を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）及び可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）に保管しており、これらの固縛装置及び収納ラックも同じ場所に設置する。

固縛装置及び収納ラックの設置位置図を図 2-1 に示す。

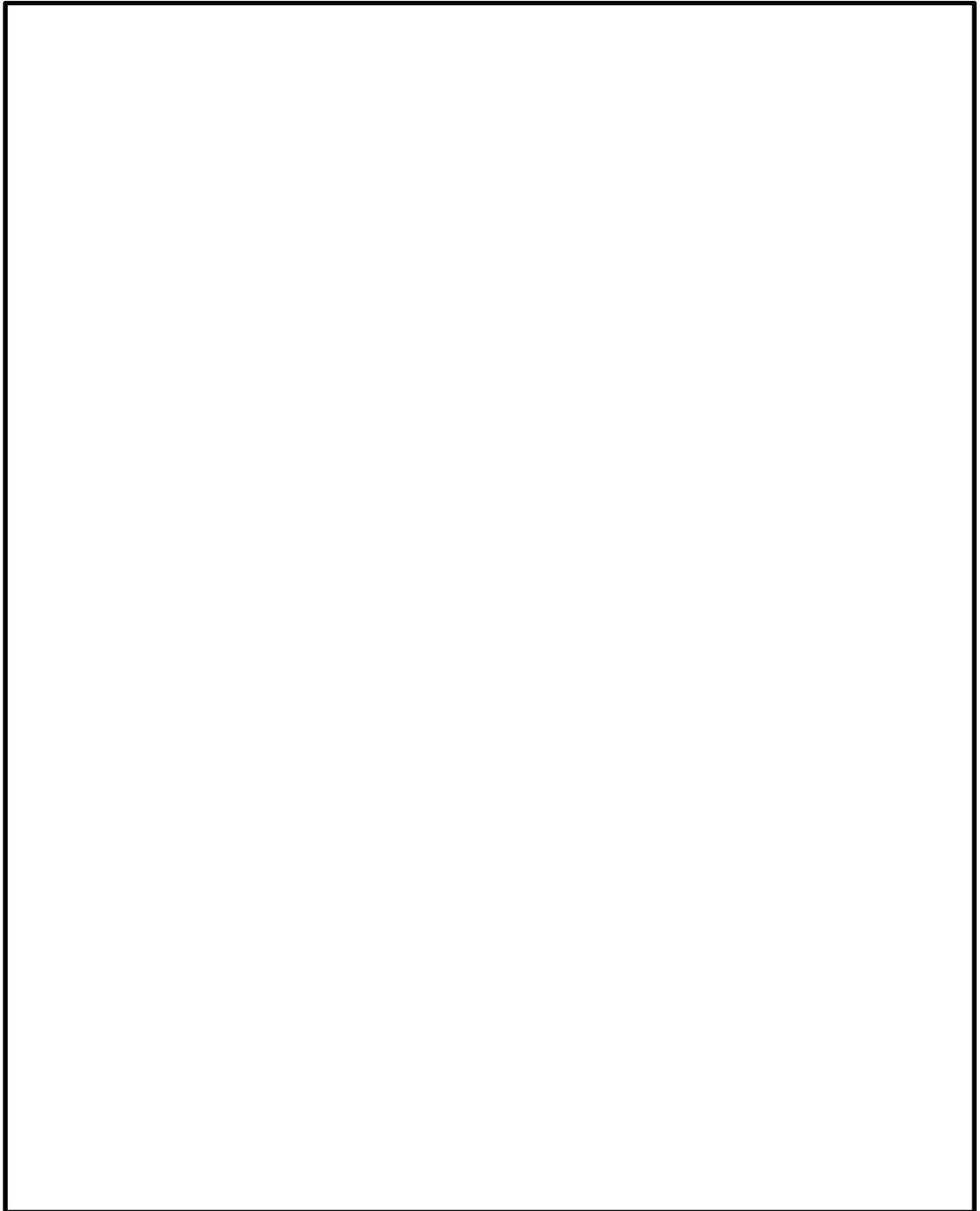


図 2-1 固縛装置の設置位置図

2.2 全体の構造概要

固縛対象設備の固縛装置及び収納ラックの構造は、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.2 固縛装置の構造」を踏まえて設定する。

固縛対象設備の固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。また、収納ラックは、ラック本体及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。

(1) 固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、連結材（高強度繊維ロープ）を固定材であるフレノ・リンクボルト及びアンカープレートと接続し、固定材と基礎部を接着系アンカーボルトで固定する構造である。可搬型代替注水中型ポンプに設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。

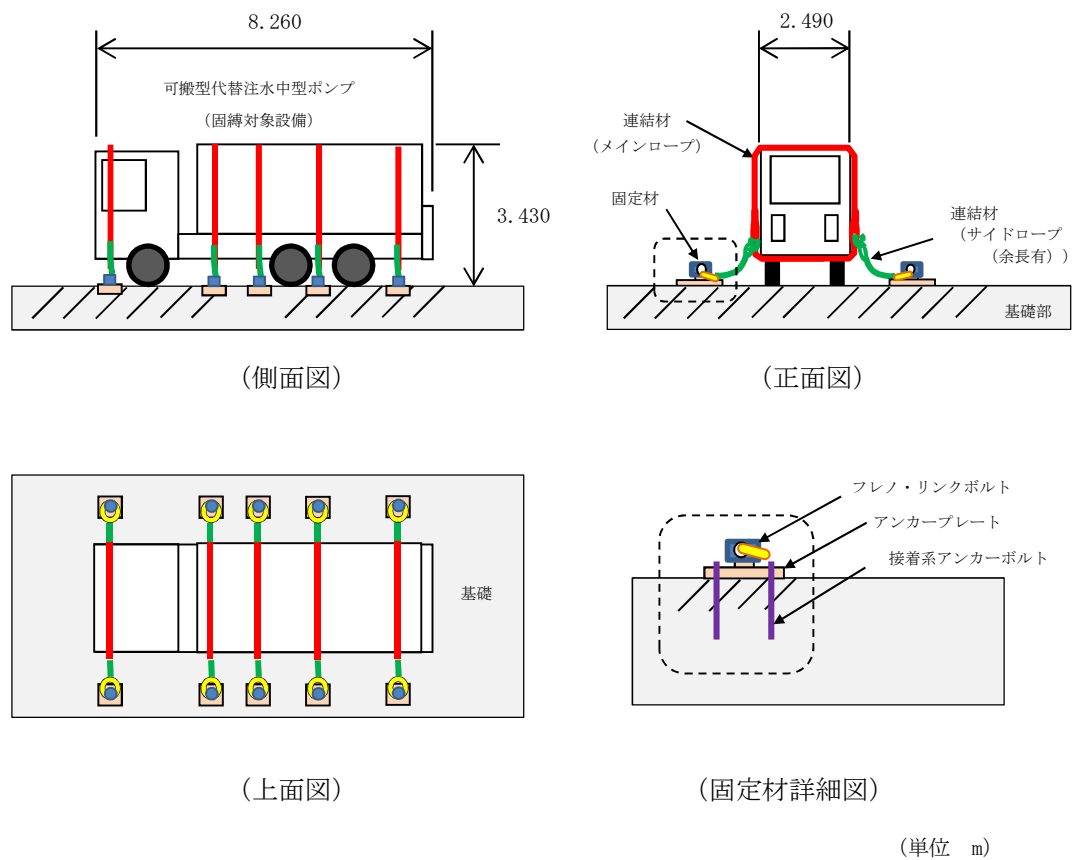


図 2-2 可搬型代替注水中型ポンプの固縛装置の概要図

(2) 収納ラックの構造概要

収納ラックは、収納ラック本体と基礎部を接着系アンカーボルトで固定する構造である。可搬型整流器の収納ラックの概要を図 2-3 に示す。

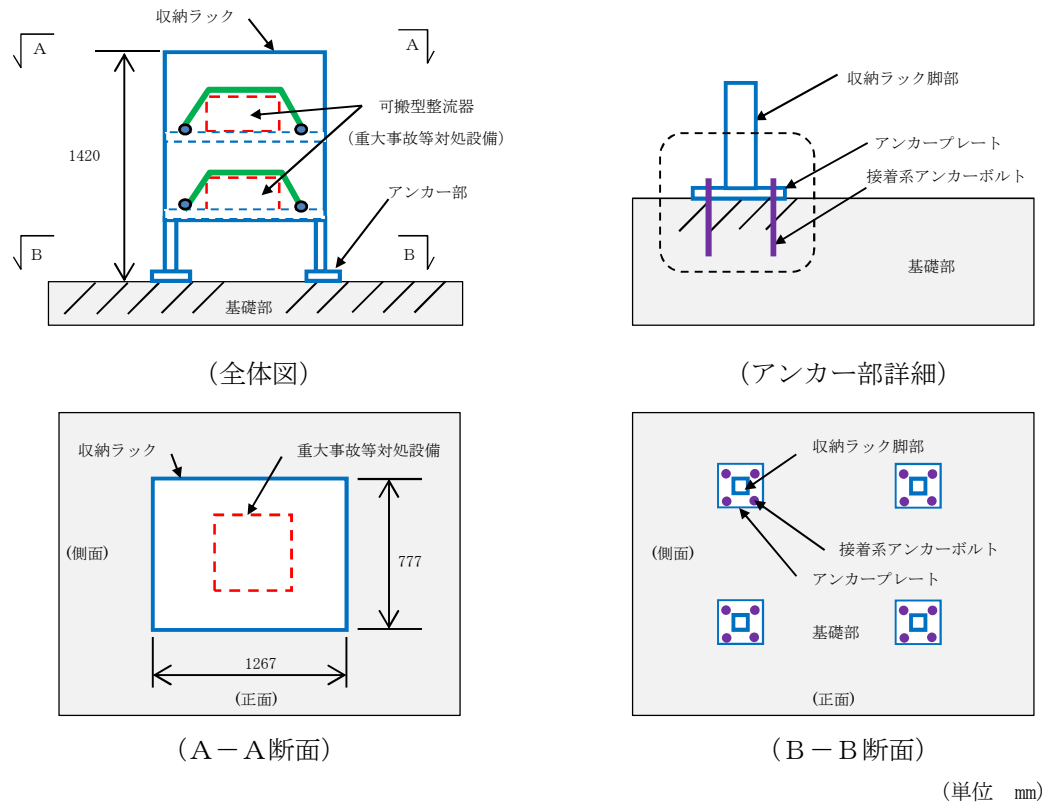


図 2-3 可搬型整流器の収納ラックの概要図

2.3 構成要素の構造概要

(1) 固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

連結材の概要を図 2-4 に、固定材のうちフレノ・リンクボルトの概要図を図 2-5 に、固定材のうちアンカープレート及び基礎部（アンカーボルト）の概要図を図 2-6 に示す。

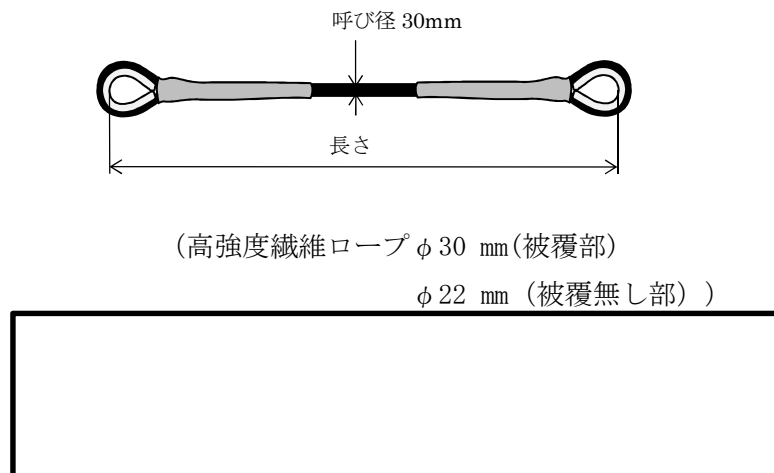
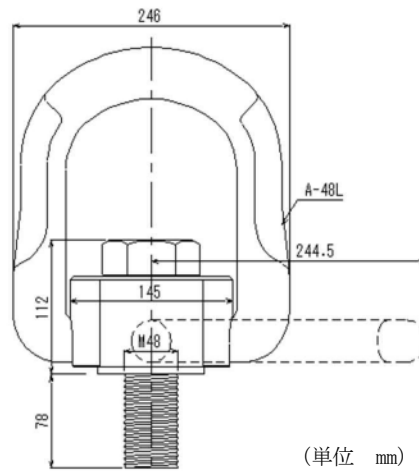


図 2-4 連結材の概要図



(フレノ・リンクボルト(A-48L))

図 2-5 フレノ・リンクボルトの概要図

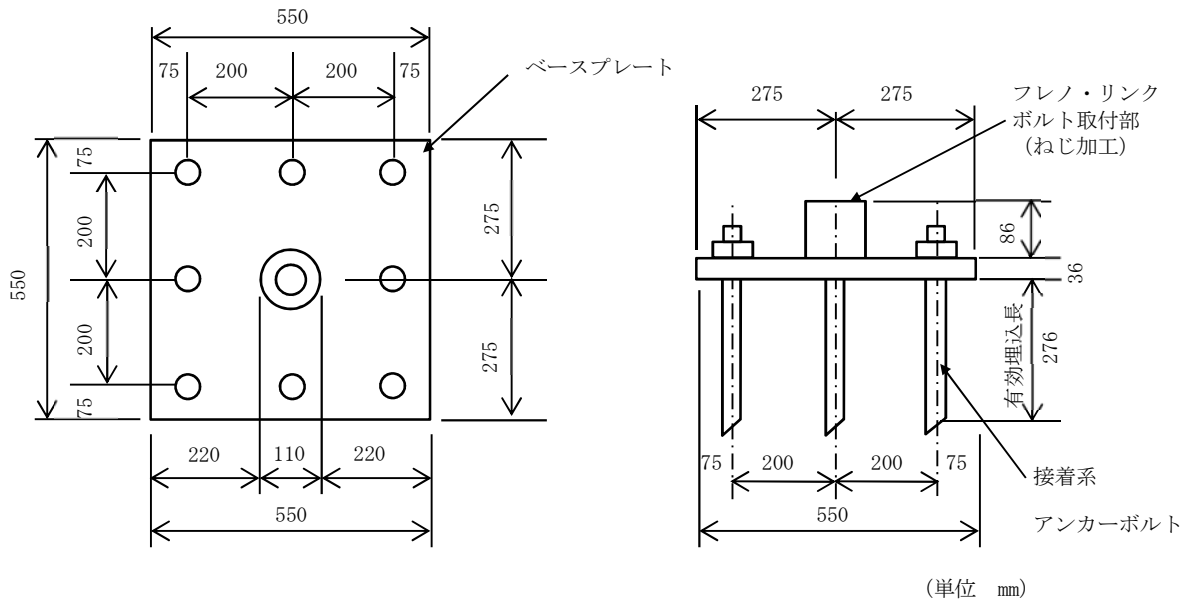


図 2-6 固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の概要図

(2) 収納ラック

収納ラックの構成要素は、ラック本体及び基礎部（アンカーボルト）であり、収納ラックに作用する荷重がラック本体から脚部へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

基礎部のうちアンカーボルトの概要図を図 2-7 に示す。

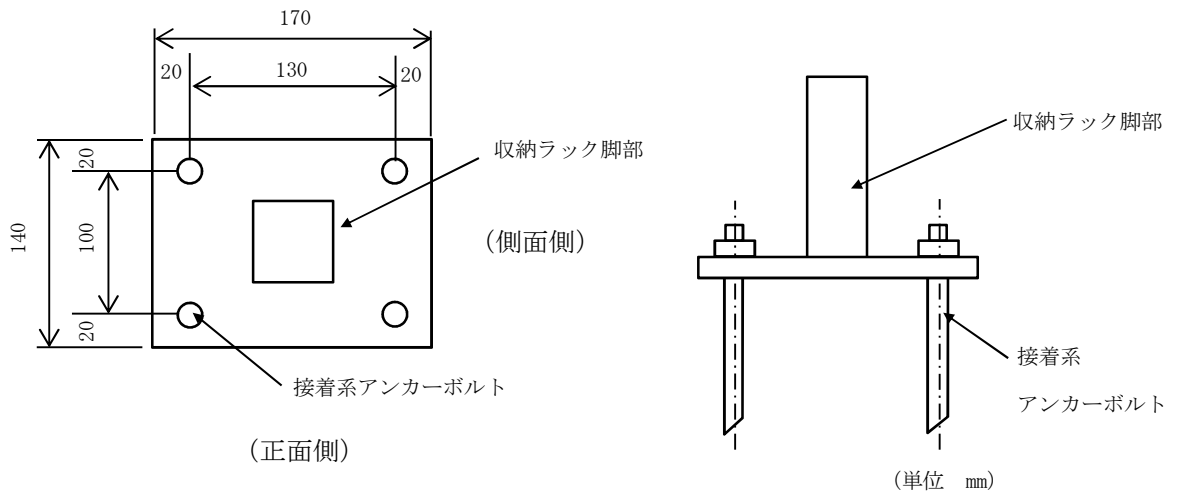


図 2-7 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

2.4 評価方針

固縛装置の強度評価は、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

収納ラックの強度評価は、設計荷重が収納ラックに作用することにより、評価対象部位に作用する荷重及び応力等が、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

固縛装置及び収納ラックの強度評価において、その構造を踏まえ、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

(1) 強度評価方針

固縛装置及び収納ラックの強度評価フローを図 2-8 に示す。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に、固縛装置を構成している連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.4 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

収納ラックの強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重が収納ラックに作用した場合に、収納ラックの基礎部に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.4 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

3.1.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

b. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材、固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1(1) 荷重の種類」に示すように、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(a) 竜巻の風圧力による荷重

添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づき、荷重を選定する。

イ. 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重 P_v は、設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重 > 0）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力 $F_{L, m}$ を用い、空力パラメータ $C_D A/m$ を用いた式に展開し、浮き上がり荷重 P_v は次に示す式により算出する。

$$P_v = F_{L, m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g$$

$$= m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$$

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の $C_D A/m$ として算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

ロ. 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重 P_H は、当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおり W_w とする。

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

ハ. 動的荷重

連結材（サイドロープ）に余長を有する固縛装置が作動（余長が展張）する時に固縛対象設備の急停止に伴い固縛装置に発生する動的荷重 P_i は、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1 (2)d. 動的荷重」に基づき、以下によって算出する。

(イ) 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速 $V_{SAS, F}$ は、浮き上がり荷重 P_V が 0 となる時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_D A}{m}}}$$

横滑り開始風速 $V_{SAS, S}$ は、風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, S} = \sqrt{\frac{2 \mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left(\frac{G C A}{m} + \mu_s \frac{C_D A}{m} \right)}}$$

(ロ) 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度 $v_{SA, OT}$ を算出する。以下算出は横滑りを例に記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を、設計竜巻の風速分布曲線より、保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

$$V'_{SA} = a t + b \quad \dots (3.1)$$

V'_{SA} : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a : 風速の近似式の定数

b : 風速の近似式の定数 (= 滑り出し風速)

停止している固縛対象設備が動き出し、設計余長分を移動した時の加速度 a_{SA} を、荷重と加速度の関係から算出する。

$$a_{SA} = \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m}$$

$$= \frac{1}{2} \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}^2 - \mu_d \cdot g \dots (3.2)$$

F_{fd} : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

ここで、K を以下に示すように置いて、(3.2) 式の V_{SA} に (3.1) 式を代入し、t に対する式として整理すると、(3.3) 式となる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right)$$

$$a_{SA} = K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \dots (3.3)$$

固縛対象設備の速度 v_{SA} は、加速度 a_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮することで (3.4) 式となる。(初期条件 t=0 のとき、 $v_{SA}=0$)

$$v_{SA} = \int a_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{3} K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2$$

$$+ (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t \dots (3.4)$$

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} は、速度 v_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮すると以下の式となる。(初期条件 t=0 のとき、 $x_{SA}=0$)

$$x_{SA} = \int v_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{12} K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3} K \cdot a \cdot b \cdot t^3$$

$$+ \frac{1}{2} (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t^2 \dots (3.5)$$

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} が設計余長 X となる時として、(3.5) 式を t について解くと、滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間 t_i が算出できる。

(3.4) 式に t_i を代入することで、固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として、終端速度 $v_{SA, OT}$ が算出される。

(ハ) 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重 F_i' を静荷重として、動的荷重 F_i による連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量は $m v_{SA}$ である。固縛装置が作用し始めて Δt の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重 F_i と運動量の関係は、(3.6) 式のとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \quad \dots (3.6)$$

連結材の等価剛性を k として、連結材に張力が作用し、固縛対象設備の速度が 0 になったとすると、振幅を B として、連結材の変位 x_{RP} は、(3.7) 式で表される。また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重 F_i は (3.8) 式となる。

$$x_{RP} = B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.7)$$

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.8)$$

次に、(3.8) 式を (3.6) 式に代入して積分し、初期条件を考慮して、振幅について解くと (3.9) 式となる。(初期条件: $t=0$ のとき $v_{SA} = v_{SA, OT}$, $t = \Delta t$ のとき $v_{SA} = 0$)

$$B = v_{SA, OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.9)$$

また、動的荷重 F_i は、(3.8) 式の正弦関数が 1 のときに最大値 ($= k \cdot B$) となり、連結材の変位も最大となるその時間 t_i' は、以下の式となる。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.10)$$

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重 F_i' が作用する。固縛対象設備に作用する風速は、(3.1) 式に t_i を代入して算出する。なお、このとき、揚力が自重を上回る場合には、摩擦力は考慮しない。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_w - F_m$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は、動的荷重 F_i に加えて静荷重 F_i' を加算した荷重とし、動的荷重 P_i とする。

(2) 荷重の組合せ

添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す、常時作用荷重 (F_d)、風荷重による浮き上がり荷重 (P_v)、横滑り荷重 (P_H) 及び動的荷重 (P_i) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(3) 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり、「3.1.3(1) 荷重の設定」、「3.1.3(2) 荷重の組合せ」に基づき評価した結果、最も裕度の低い固縛装置を有する可搬型代替注水中型ポンプに対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型代替注水中型ポンプに考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型代替注水中型ポンプ	フレノ・リンクボルト + アンカープレート + 接着系アンカーボルト	$F_d + \text{動的荷重 } P_i$ (側面方向の横滑り)

3.1.4 許容限界

固縛装置の許容限界は、添付書類「V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり、「3.1.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。評価においては、許容限界以下であることを確認する。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材（メインロープ及びサイドロープ）については、設計竜巻による荷重に対し、連結材の破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の規格引張強度を許容限界とする。

(2) 固定材

a. フレノ・リンクボルト

固定材のうち、フレノ・リンクボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、フレノ・リンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって、使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

b. アンカープレート

固定材のうち、アンカープレートについては、設計竜巻による荷重に対し、鋼材の破断が生じない設計とする。

このため、「鋼構造塑性設計指針」に基づく、部材の終局耐力を許容限界とする。

(3) 基礎部（アンカーボルト）

a. 接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち、接着系アンカーボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、接着系アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく、短期許容荷重を許容限界とする。

3.1.5 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×連結材1組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材1組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

a. 浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要図を図3-4に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、浮き上がり時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

$$P_1 = \max \left(\frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}, \frac{P}{2} \right) = \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}} \quad (n_1 \cdot \sin \theta_{V1} \leq 2 \text{ より})$$

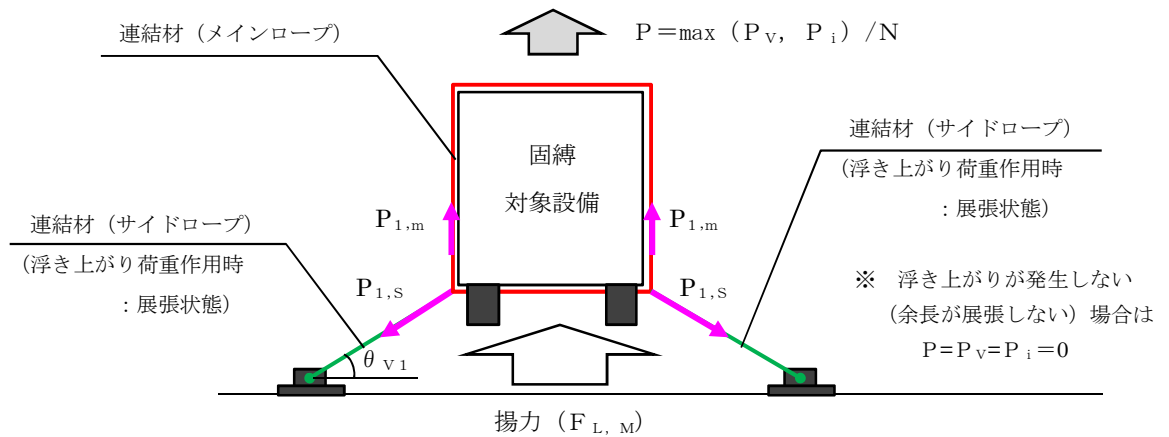


図 3-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え、連結材に作用する荷重は算定するが、横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向に対して、荷重を算定する。

(a) 側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には、固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要図を図 3-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

$$P_1 = \max \left(P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{2} \right) = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}} \quad (\cos \theta_{V2} \leq 1 < 2 \text{ より})$$

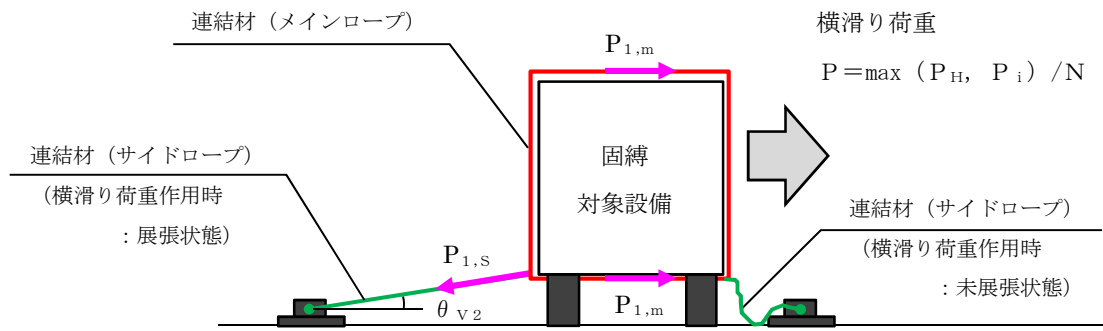


図 3-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要図を図 3-6 に示す。連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

$$P_1 = \max \left(\frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{v2}}, \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\tan \theta_H} \right)$$

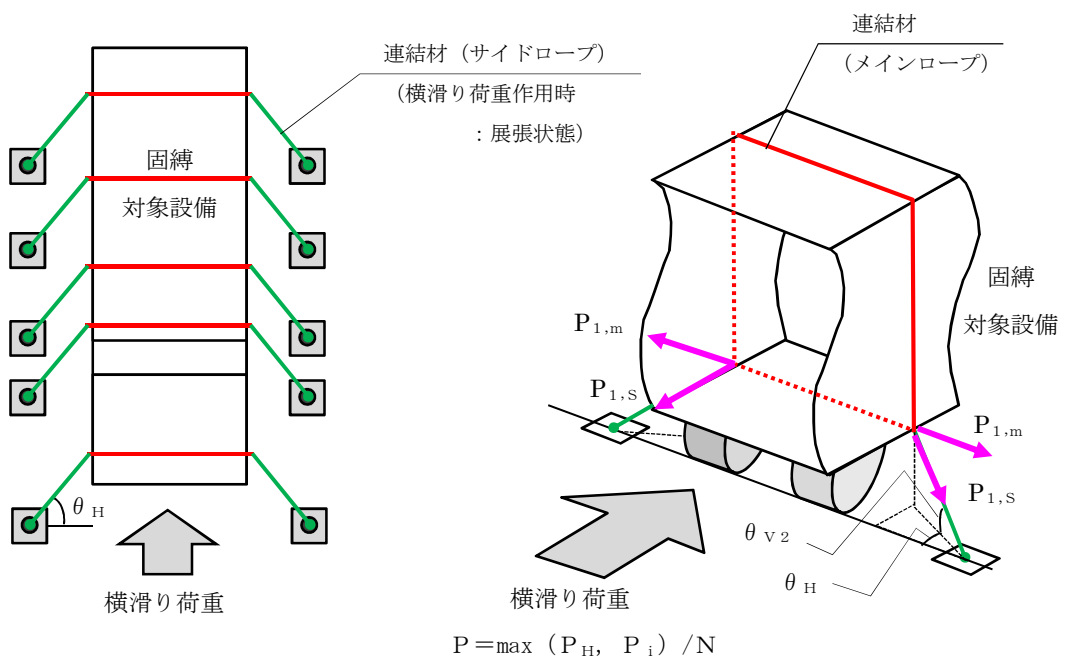


図 3-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図