

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 16 R <u>13</u>
提出年月日	令和 4 年 <u>12</u> 月 <u>1</u> 日

設工認に係る補足説明資料

竜巻防護対策設備の強度計算に関する

構造及び評価について

1. 文章中の下線部は，R12 から R13 への変更箇所を示す。
2. 本資料（R13）は，2022 年 11 月 30 日のヒアリングでの指摘を踏まえ，以下内容の修正を行ったものである。なお，ヒアリング指摘事項のうちモデルの拘束条件等の補足については次回反映する。

・防護板の許容限界に関する保守性の考慮を具体化：別紙 1 26，38 頁

目 次

1. 概要	1
2. 飛来物防護設計の基本的な考え方	1
3. 竜巻防護対策設備の基本設計方針	1
3.1 飛来物防護ネットの設計方針	2
3.2 飛来物防護板の設計方針	2
4. 竜巻防護対策設備の構成部材の設計方針	3
4.1 防護ネットの設計方針	3
4.2 防護板の設計方針	3
4.3 支持架構の設計方針	4
5. 部材の構造	5
5.1 防護ネットの構造	5
5.2 防護板の構造	9
5.3 支持架構の構造	9
6. 竜巻防護対策設備の評価対象部位	9
6.1 防護ネットの評価対象部位	9
6.2 防護板の評価対象部位	12
6.3 支持架構の評価対象部位	13

添付 1 防護ネット（支持架構に直接設置）の電中研評価手法の適用

添付 2 防護ネット（支持架構に直接設置）の設置方法

1. 概要

本資料は、再処理施設の第1回設工認申請のうち、以下の添付書類に示す竜巻防護対策設備の強度計算の方針について補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」
- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書」

本資料では、飛来物から竜巻防護対象施設を防護するための竜巻防護対策設備について、設計方針及び強度評価の考え方を示す。

なお、本資料で示す竜巻防護対策設備の設計方針及び強度評価の考え方については、今回申請対象外の再処理施設に係る竜巻防護対策設備に対しても適用するものである。

また、本資料は、第1回設工認申請の対象設備を対象とした記載であることから、第2回設工認申請以降の申請対象を踏まえて、記載を拡充していく。

2. 飛来物防護設計の基本的な考え方

飛来物防護設計の基本的な考え方を以下に示す。

- (1) 飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することにより、安全機能を損なうことを防止するための竜巻防護対策設備は、以下の施設を防護することを基本とする。
 - a. 屋外の竜巻防護対象施設
 - b. 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
- (2) 竜巻防護対策設備は、竜巻防護対象施設の安全機能を損なうことを防止するため、以下の設計とする。
 - a. 飛来物が竜巻防護対象施設に衝突し、安全機能を損なうことを防止するため、設計飛来物の通過及び貫通を防止できる設計とする。
 - b. 竜巻時及び竜巻通過後に作用する荷重に対し、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設を取り囲むように設置し、波及的影響を与えない設計とする。
 - c. 竜巻以外の自然現象及び人為事象により、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。地震、火山の影響及び外部火災に対する影響評価は、各事象の基本方針にて説明する。なお、竜巻と地震、火山の影響及び外部火災の重畳は考慮しない。

3. 竜巻防護対策設備の基本設計方針

「2. 飛来物防護設計の基本的な考え方」を踏まえ、竜巻が襲来した場合の竜巻防護対策設備の設計方針を示す。

- (1) 竜巻防護対策設備は、防護ネットを主体構造とし、一部鋼材を用いた防護板（以下、「防護板（鋼材）」という。）を採用する飛来物防護ネットと、防護板（鋼材）若しくは鉄筋コンクリートを用いた防護板（以下、「防護板（鉄筋コンクリート）」という。）から構成される飛来物防護板の2種類の竜巻防護対策設備により構成する設計とする。
- (2) 竜巻防護対策設備は、設計飛来物の運動エネルギーを吸収し捕捉する防護ネットや設計飛来物を受け止める防護板を用いて設計飛来物を竜巻防護対象施設に衝突させない設計とする。
- (3) 竜巻防護対策設備は、竜巻時及び竜巻通過後に作用する荷重に対し竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない強度を有する設計とする。
- (4) 竜巻防護対策設備は、竜巻以外の自然現象及び人為事象に対し竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない強度を有する設計とする。

飛来物防護ネットと飛来物防護板の設計方針を以下に示す。

また、竜巻防護対策設備を構成する部材の設計方針は「4. 竜巻防護対策設備の構成部材の設計方針」にて示す。

3.1 飛来物防護ネットの設計方針

飛来物防護ネットは、防護ネット及び防護板（鋼材）とこれらを支持する支持架構により構成される。飛来物防護ネットは、冷却塔の冷却機能に影響を及ぼさないよう、空気の流れを阻害しない防護ネットによる防護が必要であることから、飛来物防護ネットを冷却塔の竜巻防護対策として採用する。飛来物防護ネットの設計方針を以下に示す。

- (1) 防護ネットを主体構造とし、冷却塔の冷却機能へ影響を及ぼさない設計とする。
- (2) 設計飛来物が防護ネットに衝突した際、ネットのたわみを考慮しても、竜巻防護対象施設に設計飛来物が当たらない離隔距離（以下、「必要離隔距離」という。）を確保する設計とする。
- (3) 必要離隔距離を確保できない部分には、防護板（鋼材）を設置する設計とする。
- (4) ネットの変形を阻害するブレース材等が存在する場合は、防護ネットを支持架構の内側に設置する設計、又は防護板（鋼材）を設置する設計とする。
- (5) 竜巻時及び竜巻通過後に作用する荷重に対し、竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさない強度を有する設計とする。
- (6) 竜巻以外の自然現象及び人為事象に対し、竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさない強度を有する設計とする。

3.2 飛来物防護板の設計方針

後次回にて示す。

4. 竜巻防護対策設備の構成部材の設計方針

竜巻防護対策設備を構成する部材の設計方針を以下に示す。

4.1 防護ネットの設計方針

防護ネットは、鋼製枠を用いた防護ネット(以下、「防護ネット(鋼製枠)」という。)と、支持架構に直接設置した防護ネット(以下、「防護ネット(支持架構に直接設置)」という。)の2種類が存在する。防護ネットは、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法(総合報告:O01)」(以下、「電中研報告書」という。)に記載されている防護ネットと同一の仕様である防護ネット(鋼製枠)を基本構造とするが、支持架構の耐震性成立が困難な場合には、鋼製枠の重量を低減し、耐震性向上が図れる防護ネット(支持架構に直接設置)を採用する。

防護ネットの設計方針を以下に示す。なお、防護ネットの構成部材については、後述の「5.1 防護ネットの構造」にて説明する。

- (1)設計飛来物である鋼製材の有する運動エネルギーを吸収可能な設計とする。
- (2)設計飛来物である鋼製パイプの通過を防止する設計とする。
- (3)防護ネットを構成する部材のうちネットは、設計飛来物衝突時に作用する荷重に対し、破断しない強度を有する設計とする。
- (4)防護ネットを構成する部材のうちネットを支持するための部材は、飛来物がネットに衝突した際、ネットから伝播する荷重に対し、破断しない強度を有する設計とする。
- (5)防護ネット(支持架構に直接設置)は、防護ネットと支持架構の隙間を設計上考慮する飛来物の大きさ以下とするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。
- (6)防護ネットは、飛来物衝突時にワイヤ張力の急激な増加を抑制するため、四隅に緩衝装置を有する保持管を設置する設計とする。
- (7)支持架構と防護ネットの接続部は、防護ネットから伝播する荷重に対し、防護ネットを脱落させない強度を有する設計とする。

4.2 防護板の設計方針

防護板は、防護板(鋼材)と防護板(鉄筋コンクリート)の2種類が存在する。防護板は、保守性や施工性の観点から、防護板(鉄筋コンクリート)を基本構造とするが、耐震性成立が困難な場合には、防護板の重量を低減し、耐震性向上が図れる防護板(鋼材)を採用する。

(1)防護板(鋼材)の設計方針

竜巻防護対策である防護板(鋼材)の設計方針を示す。

- a. 飛来物が衝突した際、防護板(鋼材)を貫通させない厚さを有する設計とする。
- b. 飛来物が衝突した際、防護板(鋼材)の支持部は防護板(鋼材)

を脱落させない強度を有する設計とする。

- (2)防護板(鉄筋コンクリート)の設計方針
後次回にて示す。

4.3 支持架構の設計方針

防護ネット及び防護板を支持する支持架構の設計方針を示す。

- (1)支持架構は、竜巻防護対象施設を取り囲むように設置する。
- (2)飛来物が衝突したとしても、支持架構を構成する部材は破断しない強度を有する設計とする。
- (3)支持架構は、竜巻時及び竜巻通過後に作用する荷重に対し、脱落、倒壊及び転倒により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない強度を有する設計とする。
- (4)支持架構は、竜巻以外の自然現象及び人為事象に対し、倒壊及び転倒により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない強度を有する設計とする。地震、火山の影響及び外部火災に対する影響評価は、各事象の基本方針にて説明する。

5. 部材の構造

「4. 竜巻防護対策設備の構成部材の設計方針」を受けた，各部材の構造概要を以下に示す。

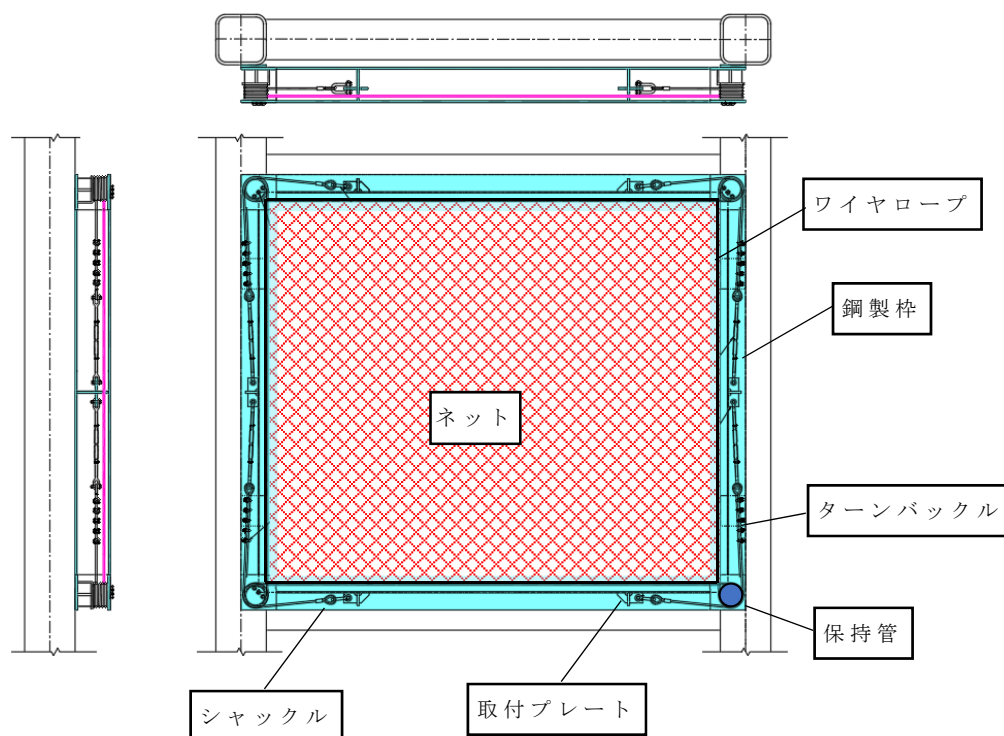
5.1 防護ネットの構造

防護ネットの構造を以下に示す。再処理施設では，電中研報告書で記載されている防護ネットと同一仕様の防護ネット（鋼製枠）と電中研報告書では記載されていない防護ネット（支持架構に直接設置）の2種類を採用している。

電中研報告書で記載されている防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置）では構造が異なることから，防護ネット（支持架構に直接設置）においても電中研報告書に記載されている評価手法が適用可能であることを添付1に，防護ネット（支持架構に直接設置）の設置方法を添付2にて説明する。

(1)防護ネット（鋼製枠）の構造

防護ネット（鋼製枠）の構造概要図を第5-1図に示す。防護ネット（鋼製枠）は、ネットをワイヤロープで支持し、ワイヤロープは四隅に設置した保持管、シャックル及びターンバックルにより支持される。さらに、シャックル及びターンバックルは鋼製枠内に設置した取付プレートに支持される。

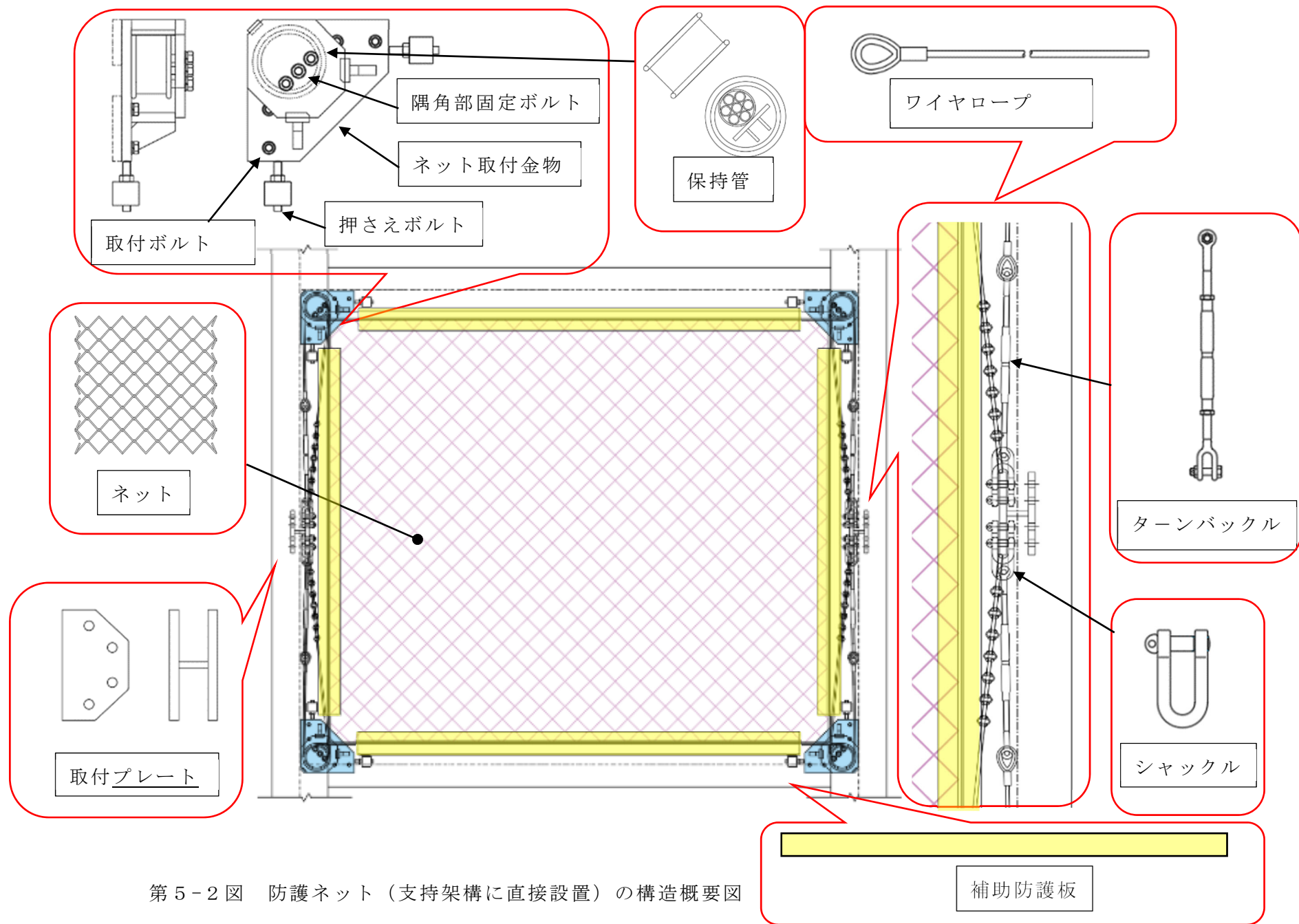


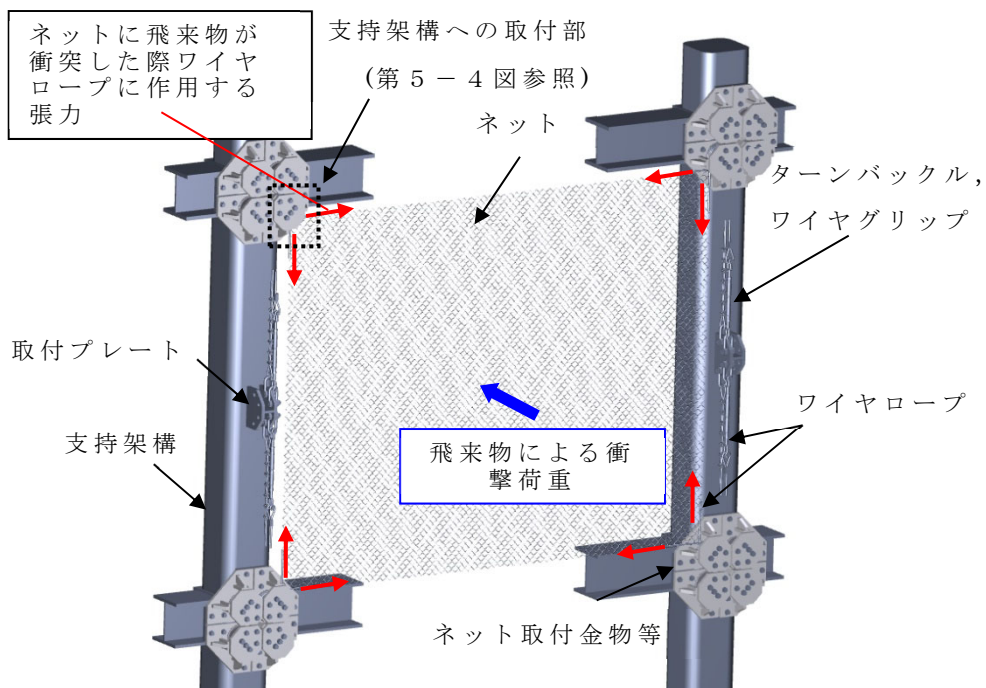
第5-1図 防護ネット（鋼製枠）の構造概要図

(2)防護ネット（支持架構に直接設置）の構造

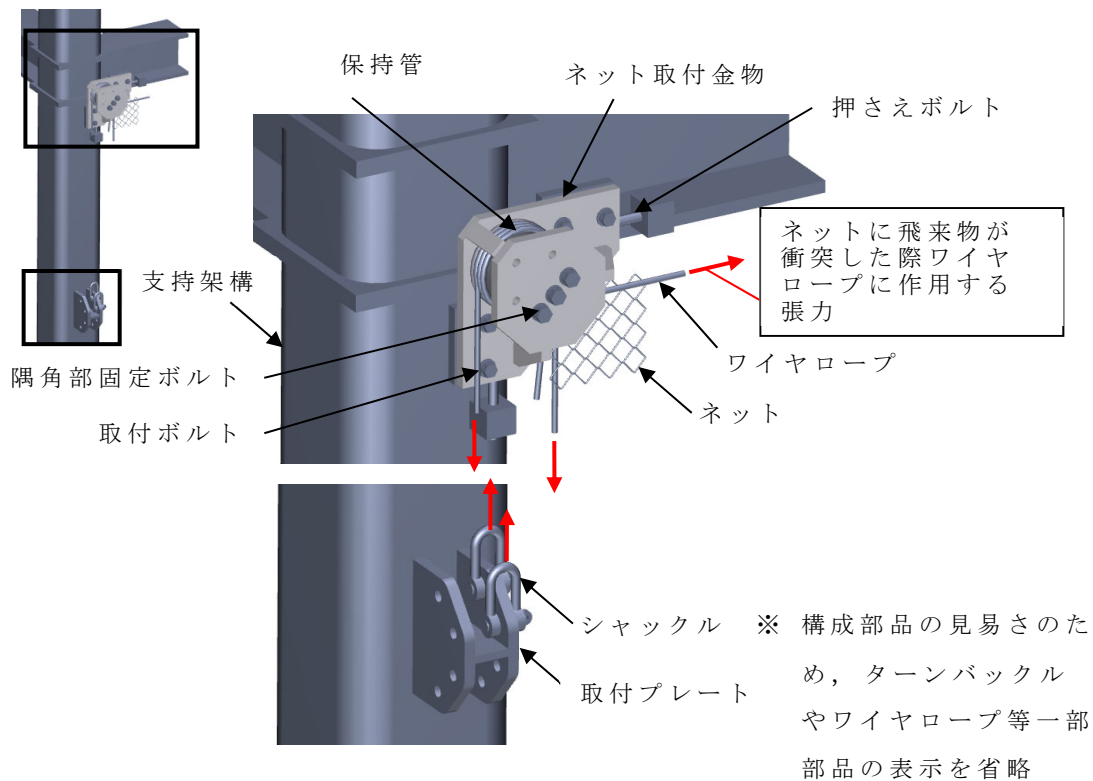
防護ネット（支持架構に直接設置）の構造概要図を第5-2図に、鳥瞰図を第5-3図に、支持架構への取付部を第5-4図に示す。防護ネット（支持架構に直接設置）は、ネットをワイヤロープで支持し、ワイヤロープは四隅に設置した保持管、シャックル及びターンバックルにより支持される。シャックル及びターンバックルは、支持架構に設置した取付プレートにより支持される。

防護ネット（支持架構に直接設置）は、鋼製枠を設けないことから、ネットと支持架構の間に隙間が生じる。そのため、この隙間を設計上考慮する飛来物の大きさ以下とするため、補助防護板を設置する。





第5-3図 防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の鳥瞰図



第5-4図 支持架構への取付部の詳細図

5.2 防護板の構造

(1) 防護板（鋼材）の構造

防護板（鋼材）は，支持架構に設置した防護板取付座により支持される。

(2) 防護板（鉄筋コンクリート）の構造

後次回で申請予定

5.3 支持架構の構造

支持架構は，H鋼や角型鋼管等の鋼材を用いたラーメン構造，ブレース構造及びトラス構造を適切に組み合わせた構造とする。

6. 竜巻防護対策設備の評価対象部位

竜巻防護対策設備は飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止し，波及的影響を与えない設計とする必要があることから，竜巻時及び竜巻通過後に加わる荷重に対し，竜巻防護対策設備の構造健全性を確認するために構造強度評価を実施する。そのため，構造強度評価においては，荷重の伝達経路を踏まえ，構造強度評価の評価対象部位を選定する。選定結果を以下に示す。荷重の伝達経路を踏まえた評価対象部位の選定プロセスを添付1の4項に示す。

6.1 防護ネットの評価対象部位

防護ネットは飛来物が衝突した際，飛来物を捕捉できる強度を有している必要があり，各構造に応じた評価対象部位を以下に示す。

評価対象部位は，設計荷重（竜巻）が作用する部位及び直接作用する部位を介して荷重が作用する部位とし評価対象部位を設定する。

(1) 防護ネット（鋼製枠）

防護ネット（鋼製枠）の評価対象となる部位の選定結果を第6-1表に示す。

第6-1表 防護ネット（鋼製柵）の評価対象部位の選定結果（1/2）

部位		評価対象	選定理由
ネット		○	飛来物が衝突する部位であることから、評価対象とする。
ワイヤロープ		○	ネットを支持する部位であり、ネットから荷重を受けることから、評価対象とする。
接続治具（支持部）	保持管	×	保持管は固定部がなく、ワイヤロープから受ける荷重によりスライドし、隅角部固定ボルトに荷重を伝えることから、評価対象外とする。
	シャックル	○	ワイヤロープを支持する部位であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
	ターンバックル	○	ワイヤロープを支持する部位であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
接続治具（固定部）	隅角部固定ボルト	○	保持管がスライドした際、保持管を受け止める役割を担っており、保持管から荷重を受けることから評価対象とする。
	取付プレート	○	ワイヤロープを支持する部位であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
接続部	鋼製柵取付ボルト	○	<u>防護ネット（鋼製柵）から受ける荷重を支持架構へ伝達する部位であるが、取付ボルトが破損すると防護ネットが脱落するおそれがあることから評価対象とする。</u>
	支圧材	×	<u>防護ネット（鋼製柵）から受ける荷重を支持架構へ伝達する構造であるものの、損傷しても防護ネットが脱落することはないことから、評価対象外とする。</u>
車両用扉部材	トロリ	×	トロリ及びガイドレールは、防護ネット（鋼製柵）を開閉するための部材であり、破損しても、防護ネットは支持架構の支柱スパンよりも大きいため、内部に転倒することはないことから、竜巻防護対象施設へ影響は与えないことから、評価対象外とする。
	ガイドレール	×	

<凡例> ○：評価対象， ×：評価対象外

第6-1表 防護ネット（鋼製枠）の評価対象部位の選定結果（2/2）

部位		評価対象	選定理由
車両用扉部材	固定ピン	×	固定ピンは、防護ネット（鋼製枠）が開かないよう固定するための部材であり、ネットに作用した荷重は防護ネット（鋼製枠）を介して支持架構に伝達し、固定ピンには作用しない。また、風圧力による荷重が側面に作用したとしても、防護ネット（鋼製枠）の自重により、動くことはないことから、評価対象外とする。
鋼製枠		×	取付プレートを介して、ワイヤロープからの張力を伝達するが、取付プレートと比べて十分な強度及び剛性を有しており、取付プレートの評価に包絡されることから、評価対象外とする。

<凡例> ○：評価対象， ×：評価対象外

(2)防護ネット（支持架構に直接設置）

防護ネット（支持架構に直接設置）の評価対象となる部位の選定結果を第6-2表に示す。

第6-2表 防護ネット（支持架構に直接設置）の評価対象部位の選定結果（1/2）

部位		評価対象	選定理由
ネット		○	飛来物が衝突する部材であることから、評価対象とする。
ワイヤロープ		○	ネットを支持する部材であり、ネットから受ける荷重を固定部に伝える機能を有していることから、評価対象とする。
（支持部） 接続治具	保持管	×	保持管は固定部がなく、ワイヤロープから受ける荷重によりスライドし、隅角部固定ボルトに荷重を伝えることから、評価対象外とする。
	シャックル	○	ワイヤロープを支持する部材であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
	ターンバックル	○	ワイヤロープを支持する部材であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
（固定部） 接続治具	隅角部固定ボルト	○	保持管がスライドした際、保持管を受け止める役割を担っており、保持管から荷重を受けることから評価対象とする。
	取付プレート	○	ワイヤロープを支持する部材であり、ワイヤロープからの張力が作用することから、評価対象とする。
	ネット取付金物	×	保持管を収納する部材であり、隅角部固定ボルトから伝わる荷重を押しえボルト及び取付ボルトに伝達する。ネット取付金物は、押しえボルト及び取付ボルトと比べて十分な強度を有しており、押しえボルト及び取付ボルトの評価に包絡されることから、評価対象外とする。

<凡例> ○：評価対象， ×：評価対象外

第6-2表 防護ネット（支持架構に直接設置）の評価対象部位
の選定結果（2/2）

部位		評価対象	選定理由
接続部	押さえボルト	○	ネット取付金物を固定する部材であり，ネット取付金物からの荷重を受けることから，評価対象とする。
	取付ボルト	○	ネット取付金物を固定する部材であり，ネット取付金物から荷重を受けることから，評価対象とする。
補助防護板		○	ワイヤロープと支持架構の隙間から侵入してくる飛来物を受け止める部材であり，飛来物を受け止めるための厚さ要求があることから，鋼板を評価対象とする。 なお，波及的影響評価においては，ネットの前に設置されている補助防護板は，脱落したとしても，ネットに捕捉される。また，ネットの後ろに設置されている補助防護板は，モーメントアームの長さが約 200mm であるのに対して，評価対象である防護板（鋼材）のモーメントアームの長さは 830mm であり，補助防護板に比べて防護板（鋼材）の方が約 4 倍モーメントアームが大きいことから，防護板（鋼材）の評価結果に包絡される。

< 凡例 > ○ : 評価対象

6.2 防護板の評価対象部材

(1) 防護板（鋼材）

防護板は飛来物が衝突した際、防護板（鋼材）を貫通させない厚さを有していること及び防護板（鋼材）の支持部は防護板（鋼材）を脱落させない強度を有している必要がある。

防護板（鋼材）の評価対象となる部位の選定結果を第6-3表に示す。

第6-3表 防護板（鋼材）の評価対象部位の選定結果

部位	評価対象	選定理由
鋼板	○	飛来物が衝突する部材であることから、評価対象とする。
取付ボルト	○	鋼板を支持する部材であり、鋼板の荷重を受けることから評価対象とする。

< 凡例 > ○：評価対象

(2) 防護板（鉄筋コンクリート）

後次回で申請予定

6.3 支持架構の評価対象部位

支持架構は、飛来物の衝突に対し構成する部材が破断しない強度を有していること及び竜巻時及び竜巻通過後に作用する荷重に対し、脱落、倒壊及び転倒しない構造強度を有していることを確認する必要がある。

支持架構の評価対象となる部位の選定結果を第6-4表に示す。

第6-4表 支持架構の評価対象部位の選定結果

部位	評価対象	選定理由
柱	○	柱の破断が生じると、支持架構が倒壊するおそれがあることから、評価対象とする。
はり	○	はりの破断が生じると、支持架構が倒壊するおそれがあることから、評価対象とする。
はり端部 (柱はり 接続部)	○	支持架構の接続部に破断が生じると、部材が脱落するおそれがあることから、評価対象とする。
ブレース	○	ブレースの破断が生じると、支持架構が倒壊するおそれがあることから、評価対象とする。
柱脚部	○	柱脚部の引抜きが生じると、支持架構が転倒するおそれがあることから、評価対象とする。

<凡例> ○：評価対象

添付 1

防護ネット（支持架構に直接設置）の 電中研評価手法の適用

目 次

1. 概要	1
2. 電中研評価手法の適用について	1
2.1 評価手法の適用条件	1
3. 構造の差異による影響検討について	13
4. 防護ネットの強度評価部位について	16

1. 概要

本資料は、竜巻防護対策に用いる防護ネットについて、電中研報告書に記載されている防護ネットと異なる構造の防護ネット（支持架構に直接設置）を採用していることから、電中研報告書で用いている評価手法の適用性検討及び防護ネットの構造の差異による影響検討並びに荷重の伝達経路を踏まえた評価対象部位の選定プロセスについて補足説明するものである。

2. 電中研評価手法の適用について

再処理施設においては、防護ネットは防護ネット（鋼製枠）と防護ネット（支持架構に直接設置）の2種類を採用しており、防護ネット（鋼製枠）は、電中研報告書で用いている評価手法を用いてネットのサイズやネット支持部を設計している。

電中研報告書で用いている評価手法は、電中研報告書で用いている防護ネットに対し適用の検証がなされているが、再処理施設においては、電中研報告書で用いている防護ネットと異なる構造の防護ネット（支持架構に直接設置）を採用している。

そのため、電中研報告書で用いている評価手法が防護ネット（支持架構に直接設置）にも適用できることを確認するため、評価手法の適用性について検討する。

2.1 評価手法の適用条件

電中研報告書より、評価手法を適用するためには、以下の構造上の要求を満足する必要がある。

- ・電中研報告書の評価手法は電中研試験で用いたネット材料に対して有効とされており、試験で用いたネットと同一仕様であること。
- ・電中研報告書の評価手法はネットのアスペクト比（展開長／幅寸法）が1～2の間で有効とされており、同様であること。
- ・電中研報告書の評価手法と同様にネットから伝達される荷重を隅角部に集中させるため、ネットの長辺と短辺を1本のワイヤロープで支持するようにL字型に配置したワイヤロープで支持しており、同仕様であること。

防護ネット（支持架構に直接設置）がこれらの適用条件を満足していることを、電中研報告書の防護ネットと構造を比較することにより確認する。

なお、比較においては、電中研報告書の防護ネットと支持架構の外側に設置した防護ネット（支持架構に直接設置）（以下、「防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）」という。）若しくは支持架構の内側に設置した防護ネット（支持架構に直接設置）（以下、「防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）」という。）の比較を実施する。

(1) 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の構造比較

電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の構造比較を第2-1表に，諸元の比較を第2-2表に示す。

構造比較結果，防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）は，ワイヤロープの保持方法において，端部の処理方法に差異が確認されたが，L字型に配置した支持は確保できており，評価手法を適用するための条件を満足していることを確認できた。

構造比較結果において確認された構造上の差異については，「3. 構造の差異による影響検討について」にて，その影響について検討する。

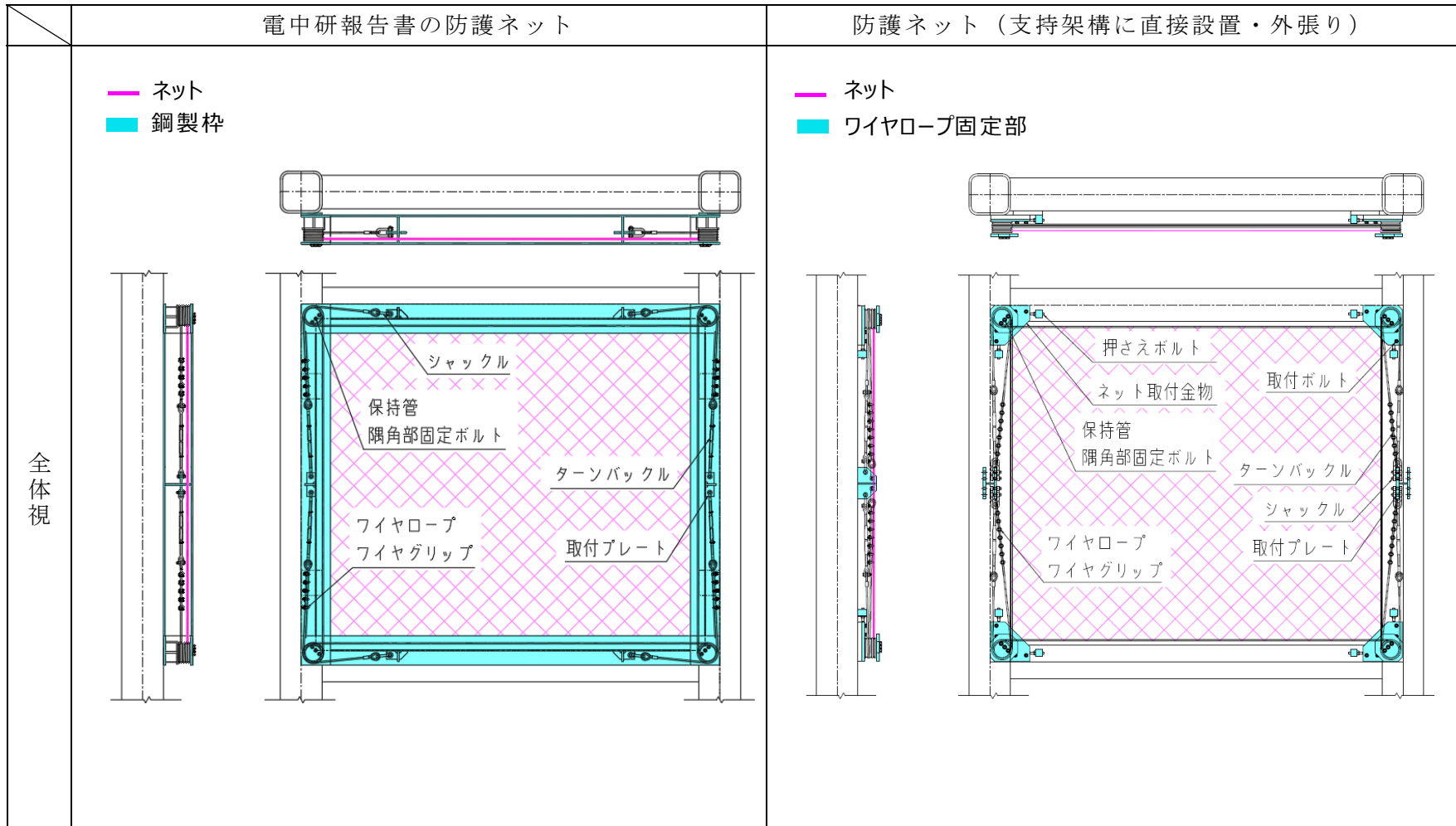
(2) 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の構造比較

電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の構造比較を第2-3表に，諸元の比較を第2-4表に示す。

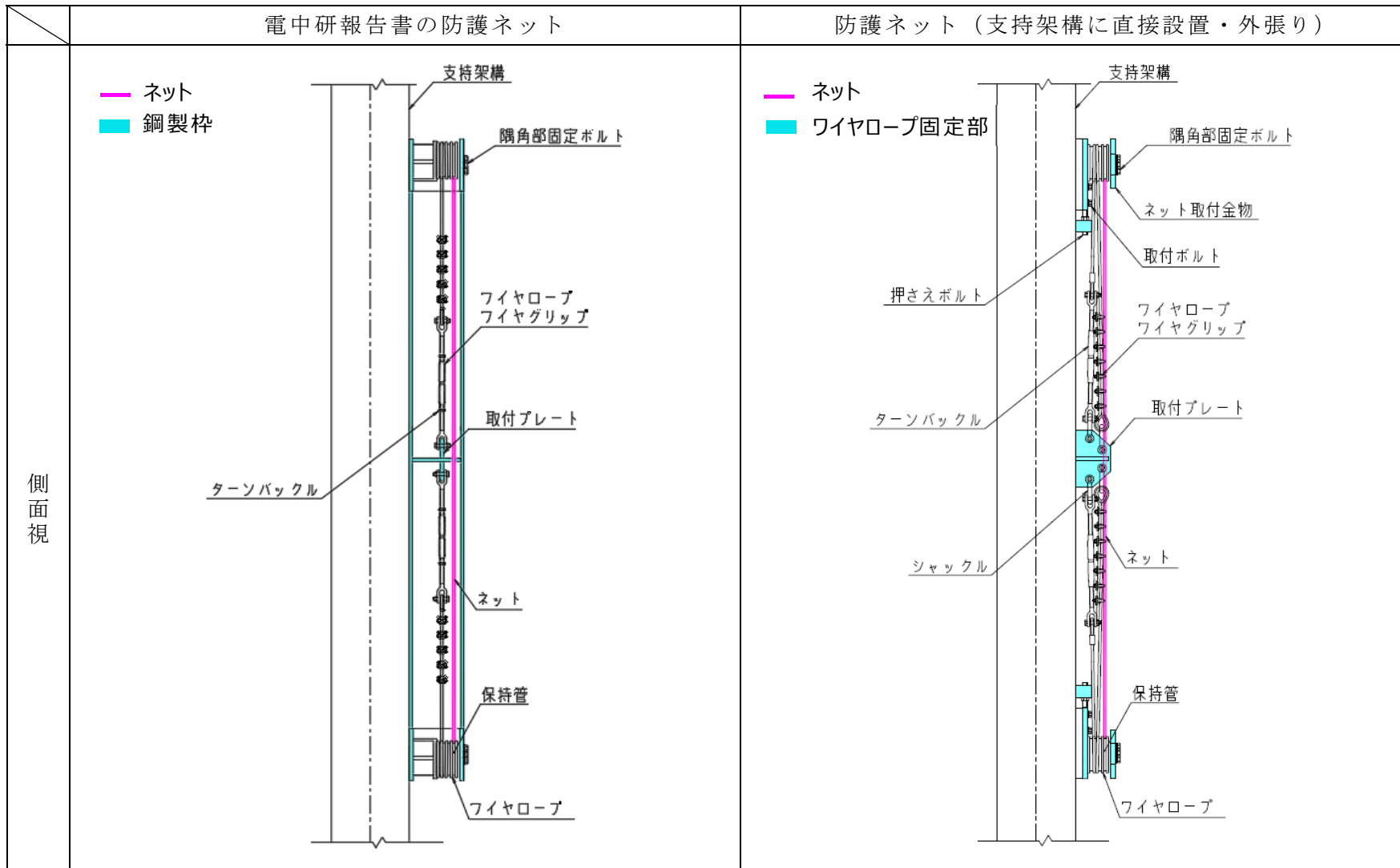
構造比較結果，防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）は，防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）と同様にワイヤロープの保持方法において，端部の処理方法に差異が確認されたが，L字型に配置した支持は確保できており，評価手法を適用するための条件を満足していることを確認できた。

構造比較結果において確認された構造上の差異については，「3. 構造の差異による影響検討について」にて，その影響について検討する。

第2-1表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の構造比較（1/2）



第2-1表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の構造比較（2/2）



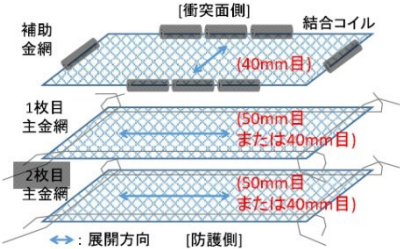
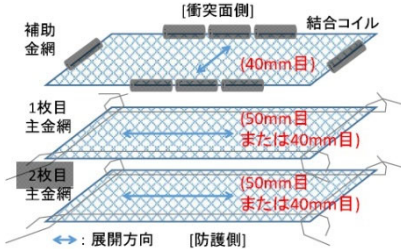
第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較（1/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	防護ネット (支持架構に直接設置・外張り)	相違	評価概要	
部材	鋼製枠	防護ネット四隅の保持管及び取付プレート を鋼製枠に設置	防護ネット四隅の保持管を含むネット取 付金物及び取付プレートは支持架構に設 置	有	電中研報告書の 防護ネット評価 手法の適用条件 に鋼製枠の有無 は該当しないた め評価へ影響を 与えない。	
	ネット	型式	高強度金網	高強度金網	無	-
		素線 径	φ 4mm	φ 4mm		
		素線 強度	1,400N/mm ²	1,400N/mm ²		
		目合 い寸 法	(主ネット) 50mm×50mm 又は 40mm×40mm	(主ネット) 50mm×50mm		
		目合 い寸 法	(補助ネット) 40mm×40mm	(補助ネット) 40mm×40mm		

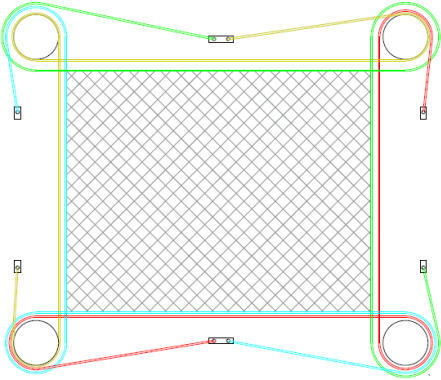
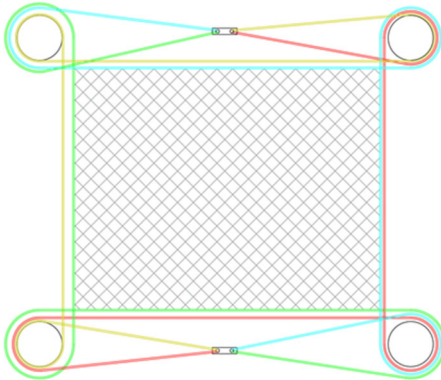
第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較（2/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	防護ネット （支持架構に直接設置・外張り）	相違	評価概要	
部材	ワイヤロープ	型番	7×7 ZA/0 （規格破断荷重 165kN）	7×7 ZA/0 （規格破断荷重 165kN）	無	—
		径	φ 16mm	φ 16mm		
	ワイヤグリップ	型番	F16	F16	有	ワイヤグリップ数増加によりワイヤ効率を向上させている。
		数	5/1ヶ所	7/1ヶ所		
	保持管		緩衝装置：有（円柱形）	緩衝装置：有（円柱形）	無	—



第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較（3/5）

項目	電中研報告書の防護ネット	防護ネット (支持架構に直接設置・外張り)	相違	評価概要	
構造	ネットの構成及び展開方向	主ネット：2枚 補助ネット：1枚 主ネット2枚の展開方向を一致させ、補助ネットは主ネットに対し展開方向を直交させる 	主ネット：2枚 補助ネット：1枚 主ネット2枚の展開方向を一致させ、補助ネットは主ネットに対し展開方向を直交させる 	無	—
	防護ネットの保持方法	展開/展開直角角向に渡り、L字型にワイヤロープを配置し、ネットを保持	展開/展開直角方向に渡り、L字型にワイヤロープを配置し、ネットを保持	無	—

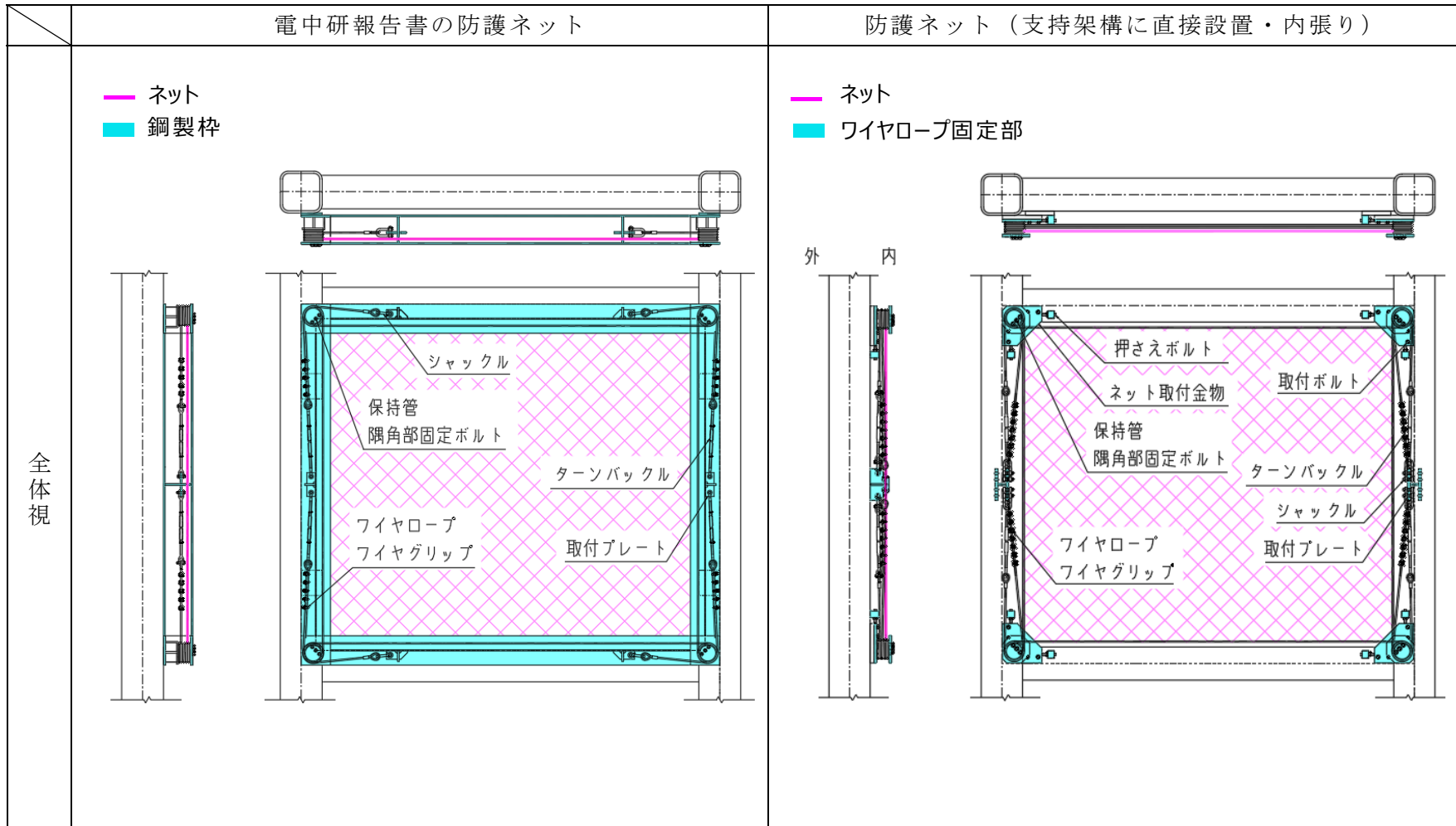
第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較（4/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	防護ネット (支持架構に直接設置・外張り)	相違	評価概要
構造	ワイヤロープの保持方法	<p>取付プレート数は6個</p> 	<p>取付プレート数は2個</p> 	有	電中研報告書では、保持管の間のワイヤロープで飛来物による衝撃荷重が伝達されるモデルのため評価へ影響を与えない。
	ワイヤロープの初期張力	<p>ロープ端部のターンバックル締付け時のトルク管理値 20N・m ※50mm目合いネット</p>	<p>ロープ端部のターンバックル締付け時のトルク管理値 20N・m ※50mm目合いネット</p>	無	—

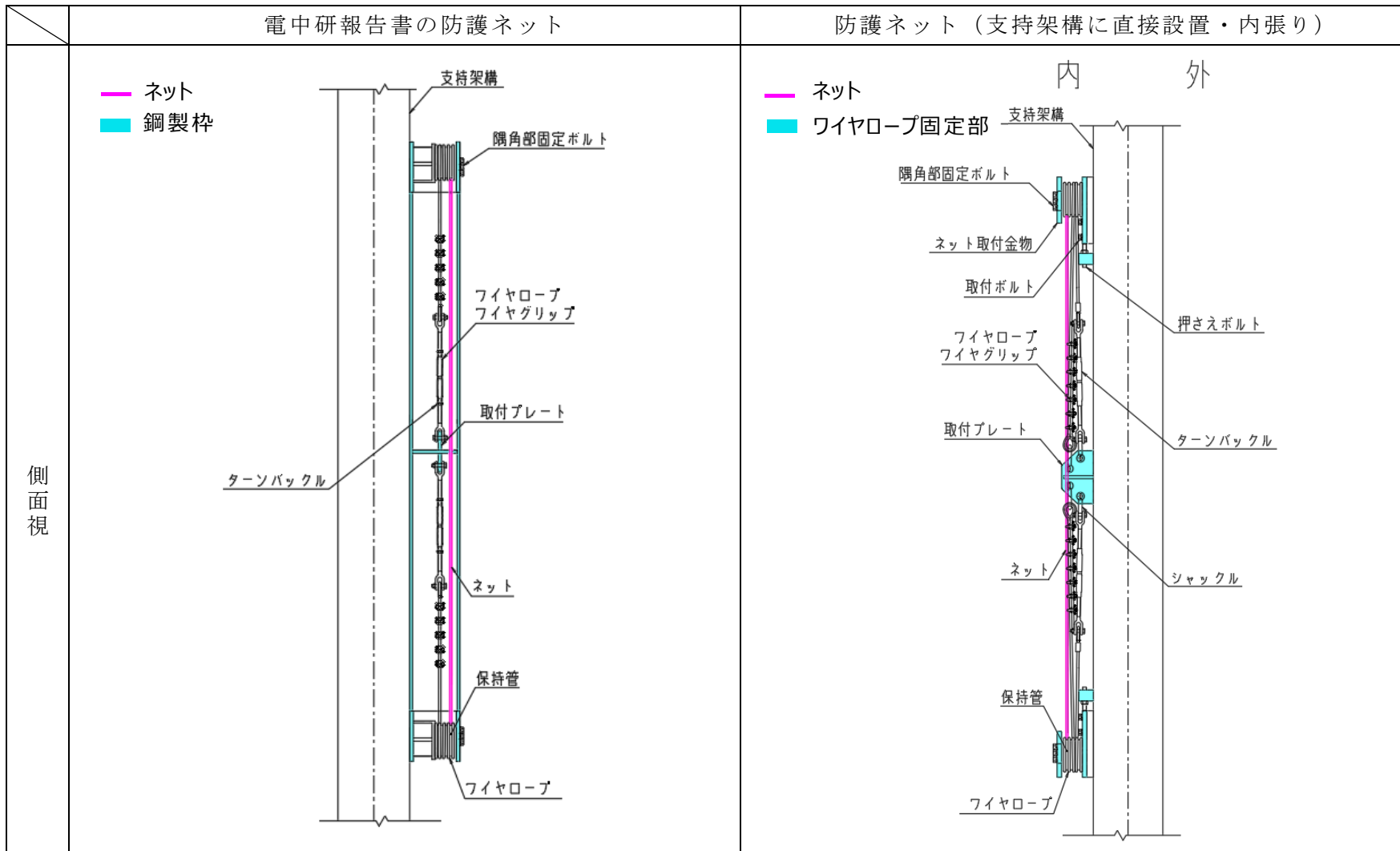
第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較（5/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	防護ネット （支持架構に直接設置・外張り）	相違	評価概要
構造	ワイヤロープ取り回し	内巻 	内巻 	無	—
	アスペクト比	$1 \leq \text{アスペクト比 (展開長/幅寸法)} \leq 2$	$1 \leq \text{アスペクト比 (展開長/幅寸法)} \leq 2$	無	—

第2-3表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の構造比較（1/2）



第2-3表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の構造比較（2/2）



第2-4表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の諸元比較

項目	電中研報告書の防護ネット	防護ネット (支持架構に直接設置・内張り)	相違	評価概要
<p>「第2-2表 電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）の諸元比較」と同じ</p>				

3. 構造の差異による影響検討について

(1) 鋼製枠の有無による影響について

電中研報告書から、鋼製枠の有無は飛来物を捕捉するプロセスにおいて、直接関係する部位ではないことを確認した。しかし、鋼製枠はワイヤロープを支持する取付プレートを具備し、防護ネットを四隅で固定している保持管を支持する役割を担っており、ワイヤロープから受ける張力に対し、構造強度上問題ない強度を有していることが求められている。

一方、防護ネット（支持架構に直接設置）においては、ネット取付金物を支持架構に直接設置しており、保持管を支持する役割はネット取付金物が担っている。また、ネット取付金物は構造強度上問題ない強度を有していることを確認しており、鋼製枠の有無による差異は、評価に影響しないことを確認した。

(2) ワイヤグリップの数の相違について

電中研報告書から、ワイヤグリップは飛来物を捕捉するプロセスにおいて、直接関係する部位ではないことを確認した。ワイヤグリップはワイヤロープ末端のワイヤ保持力に影響を与え、ワイヤグリップ個数が多いほどワイヤ保持力は増加する。このため、ワイヤグリップを7個使用することにより、ワイヤロープの許容引張力の計算に用いるワイヤグリップ効率により確保されることから、ワイヤ保持力は確保できている。なお、構造強度評価におけるワイヤロープの許容引張力の計算においてもワイヤグリップを7個として反映している。

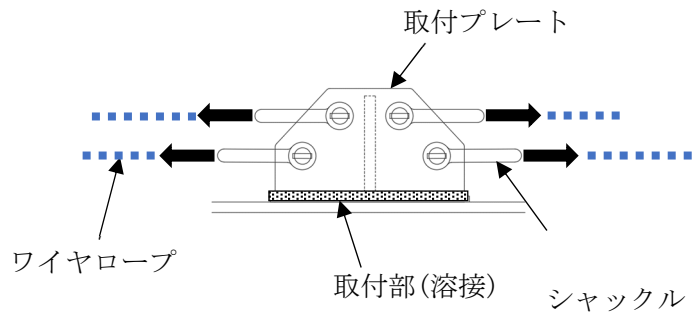
(3) ワイヤロープの保持方法の相違について

第3-1表に電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置）のワイヤロープによるネットの保持方法を比較する。第3-1表に示すとおり、ワイヤロープ保持方法とそれに伴いワイヤロープの固定する場所が電中研報告書の防護ネットと防護ネット（支持架構に直接設置）で異なる。これは、防護ネット（支持架構に直接設置）の設計において、計4本のワイヤロープ端部を2箇所を取付プレートの両端に取り付けることで、設計飛来物衝突時の取付プレートと支持架構の溶接部に発生する応力低減効果を期待したものである。取付プレートに作用する荷重の作用イメージを第3-1図に示す。なお、取付プレート溶接部の構造強度評価において本低減効果は期待しない。

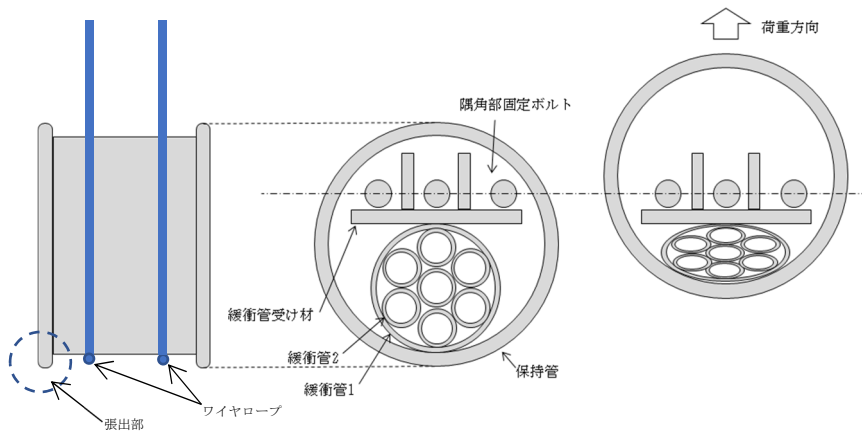
保持管は、防護ネットに設計飛来物が衝突した際、緩衝構造（緩衝管1, 2）により動的効果の抑制を得るために設置をしている。

第3-2図で示すとおり、緩衝構造は保持管の外管と緩衝管受け材の間に設置されており、ワイヤロープの荷重はその取付方によらず荷重が作用する構造となっている。

そのため、ワイヤロープの保持方法においては、ワイヤロープの保持管への巻き方に相違はあるが、緩衝構造には荷重が作用し変形することからワイヤロープの保持管への巻き方の相違は問題とはならず、電中研報告書の評価手法が適用可能である。



第3-1図 取付プレートへの荷重作用状況



第3-2図 保持管の構造 (左：変形前, 右：変形後)

第3-1表 ワイヤロープ保持方法の比較

	電中研報告書の防護ネット	防護ネット（支持架構に直接設置）
主ネット（1枚目）		
主ネット（2枚目）		

4. 防護ネットの強度評価部位について

防護ネットの種類に応じて荷重の伝達経路が異なることから、構造強度評価の評価対象部位の選定プロセスを説明する。

(1) 荷重の伝達経路の洗い出し（第4-2図, 第4-2表）

防護ネット（鋼製枠）では、飛来物による衝撃荷重はワイヤロープからターンバックル、シャックル及びワイヤグリップを介して取付プレート、鋼製枠に伝達される。保持管に作用する荷重は、隅角部固定ボルトを介して、鋼製枠、支持架構に伝達される。

一方、防護ネット（支持架構に直接設置）では、飛来物による衝撃荷重はワイヤロープからターンバックル、シャックル及びワイヤグリップを介して取付プレート、支持架構に伝達される。保持管に作用する荷重は、隅角部固定ボルトを介して、ネット取付金物へ伝達し、取付ボルト及び押さえボルトから支持架構に伝達される。

ネット取付金物の荷重を受け持つ部位については、斜めに荷重が作用することから、圧縮応力又は引張応力とせん断応力を評価した。せん断応力は許容値以下であり、せん断応力を考慮しても圧縮応力の許容値は変わらないことを確認した。

以下に飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）のネット取付金物押さえボルトの例を示す。

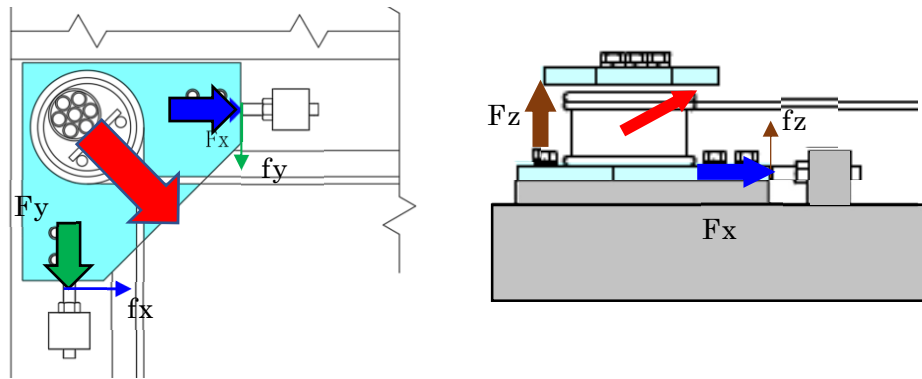
第4-1図のとおり飛来物による衝撃荷重が水平及び鉛直斜め方向に作用することを考慮して、ネット取付金物押さえボルトに作用する圧縮力とせん断応力を考慮した結果を第4-1表に示す。

せん断応力は許容値以下である。また、せん断応力が圧縮許容応力と比べて小さいため、せん断応力を考慮しても、圧縮応力に対する許容値は変わらない。

第4-1表 ネット取付金物押さえボルトの荷重

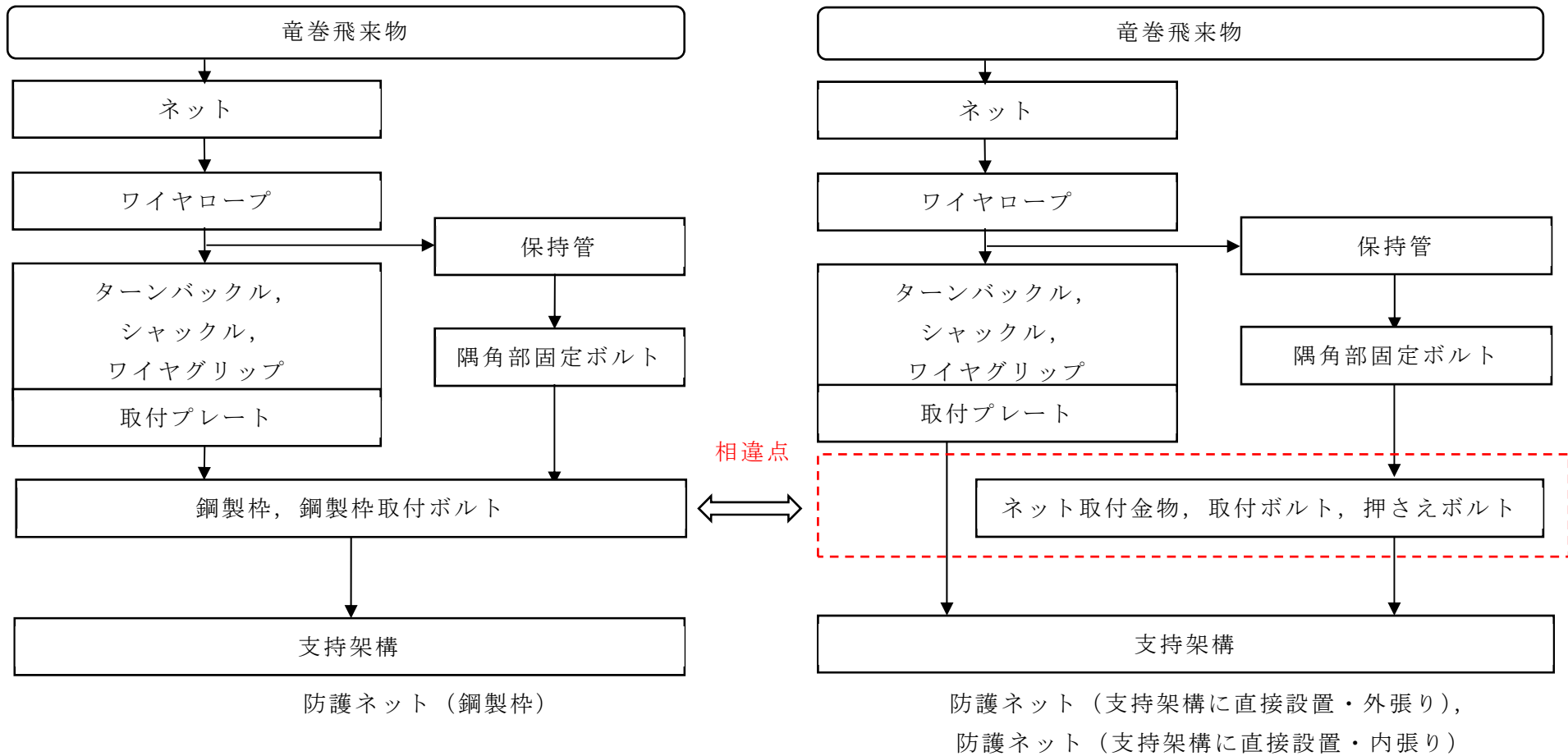
	応力	許容値
圧縮	711MPa	727MPa*
せん断（水平）	19MPa	420MPa
せん断（鉛直）	13MPa	420MPa

注記 *：せん断応力を同時に受けるボルトの許容応力



第4-1図 ネット取付金物押さえボルトの荷重

以上のおり, 防護ネット(支持架構に直接設置)は鋼製枠がないため, 荷重伝達経路に相違があるものの, 飛来物による衝撃荷重を荷重伝達する部位についての構造強度評価を実施している。飛来物による衝撃荷重により発生する応力が, 「鋼構造設計規準」の短期許容応力度に基づく許容限界を下回ることを確認しているため, 飛来物による衝撃荷重に対して, ネット保持機能は維持される。

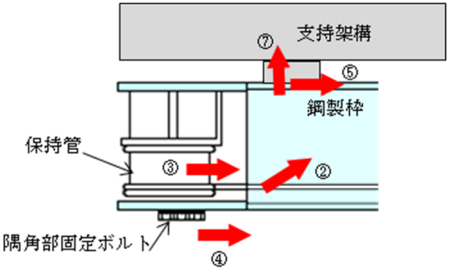
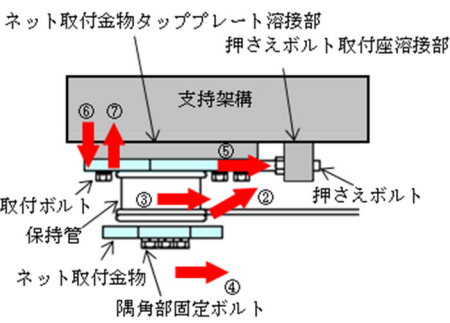
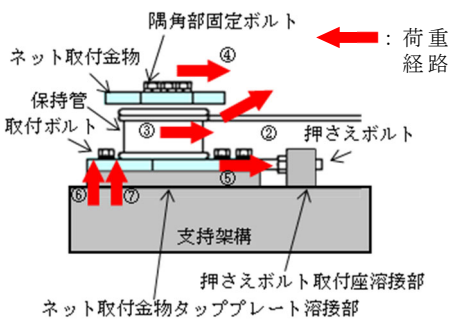


第4-2図 防護ネットの荷重伝達機構の比較

第4-2表 荷重伝達経路の比較 (1/2)

部位	防護ネット (鋼製枠)	防護ネット (支持架構に直接設置・外張り)	防護ネット (支持架構に直接設置・内張り)
ワイヤロープ 防護ネット	<p>① 飛来物がネットを押したときに発生する防護ネットの張力 ② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤロープ端はシャックル，ターンバックル，ワイヤグリップにて取付プレートに固定 ・ネット隅角部にて保持管を隅角部固定ボルトで固定 	<p>① 飛来物がネットを押したときに発生する防護ネットの張力 ② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤロープ端はシャックル，ターンバックル，ワイヤグリップにて取付プレートに固定 ・ネット隅角部にて保持管を隅角部固定ボルトで固定 	<p>① 飛来物がネットを押したときに発生する防護ネットの張力 ② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤロープ端はシャックル，ターンバックル，ワイヤグリップにて取付プレートに固定 ・ネット隅角部にて保持管を隅角部固定ボルトで固定
取付プレート	<p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p>	<p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p>	<p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p>

第4-2表 荷重伝達経路の比較 (2/2)

部位	防護ネット (鋼製枠)	防護ネット (支持架構に直接設置・外張り)	防護ネット (支持架構に直接設置・内張り)
保持管周辺	 <p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <p>③ ワイヤロープの張力により保持管が押される</p> <p>④ 保持管に力が加わることにより、隅角部固定ボルトにせん断応力が作用する</p> <p>⑤ 隅角部固定ボルトから鋼製枠に荷重が伝達され、鋼製枠取付ボルトにせん断荷重が作用する</p> <p>⑦ ワイヤロープ張力の防護ネット直交方向成分が支持架構に伝達する</p>	 <p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <p>③ ワイヤロープ張力により、保持管が押される</p> <p>④ 保持管に力が加わることにより、隅角部固定ボルトにせん断応力が作用する</p> <p>⑤ 隅角部固定ボルトからネット取付金物に荷重が伝達され、押さえボルトに圧縮荷重が作用する</p> <p>⑥ モーメントにより取付ボルトに引張荷重が作用する</p> <p>⑦ ワイヤロープ張力の防護ネット直交方向成分が支持架構に伝達する</p>	 <p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る力</p> <p>③ ワイヤロープ張力により、保持管が押される</p> <p>④ 保持管に力が加わることにより、隅角部固定ボルトにせん断応力が作用する</p> <p>⑤ 隅角部固定ボルトからネット取付金物に荷重が伝達され、押さえボルトに圧縮荷重が作用する</p> <p>⑥ モーメントにより取付ボルトに引張荷重が作用する</p> <p>⑦ ワイヤロープ張力の防護ネット直交方向成分により取付ボルトに引張荷重が作用する</p>

(2) 評価対象部位の選定

評価対象部位の選定においては、以下に示す方法により選定する。

- ・4. (1)項で整理した荷重伝達経路から、荷重が作用する部位を抽出する。
- ・荷重が作用する部位のうち、同じ荷重が作用し許容荷重が小さい部位を評価対象部位とする。

構造強度評価の評価対象部位の選定結果を第4-3表に示す。

なお、構造強度評価の結果は添付書類「VI-1-1-1-2-4-2-2
竜巻防護対策設備の強度計算書」に記載されている。

第4-3表 構造強度評価の評価対象部位の選定結果

部位	防護ネット（鋼製枠）		防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）		防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）	
	許容荷重	評価対象	許容荷重	評価対象	許容荷重	評価対象
防護ネット	*1	○	*1	○	*1	○
ワイヤロープ	132kN	○	132kN	○	132kN	○
シャックル	156.8kN	○	156.8kN	○	156.8kN	○
ターンバックル	130.2kN	○	130.2kN	○	130.2kN	○
ワイヤグリップ*2	—	—	—	—	—	—
取付プレート	169kN	○	460kN	○	460kN	○
取付プレート溶接部	123kN	○	952kN*3	—	952kN*3	—
保持管*4	—	—	—	—	—	—
隅角部固定ボルト	153kN	○	153kN	○	153kN	○
鋼製枠	*5	—				
鋼製枠取付ボルト	*5	○				
ネット取付金物*6			1,735kN	—	1,735kN	—
取付ボルト			256kN	○	256kN	○
取付金物タッププレート溶接部			2,121kN*7	—	2,121kN*7	—
押さえボルト			333kN	○	333kN	○
押さえボルト取付座溶接部			930kN*8	—	930kN*8	—
支持架構	*9	—	*9	—	*9	—

*1：防護ネットは、吸収エネルギー評価、破断評価、たわみ評価を実施しており、防護ネットのサイズによって許容限界が異なるが、防護ネット（鋼製枠）、あるいは防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）/防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）で評価方法は同じ

*2：ワイヤグリップは、ワイヤロープの評価においてワイヤグリップ効率を考慮しているため評価対象外

*3：防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）/防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の取付プレート溶接部は、同じ荷重を受ける部位のうち許容荷重が小さい取付プレートの評価に包絡されるため評価対象外

*4：保持管は固定されておらず、荷重がすべて隅角部固定ボルトに作用するため評価対象外

*5：鋼製枠及び鋼製枠取付ボルトの許容限界は各防護ネットによる

*6：ネット取付金物は、荷重がすべて取付ボルト及び押さえボルトに作用するため評価対象外

*7：防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）/防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の取付金物タッププレート溶接部は、同じ荷重を受ける部位のうち許容荷重が小さい取付ボルトの評価に包絡されるため評価対象外

*8：防護ネット（支持架構に直接設置・外張り）/防護ネット（支持架構に直接設置・内張り）の押さえボルト固定座溶接部は、同じ荷重を受ける部位のうち許容荷重が小さい押さえボルトの評価に包絡されるため評価対象外

*9：支持架構への飛来物衝突評価に包絡されるため評価対象外

添付 2

防護ネット（支持架構に直接設置）の設置方法

目 次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2. 防護ネット（支持架構に直接設置）の設置手順・・・・・・・・ 1

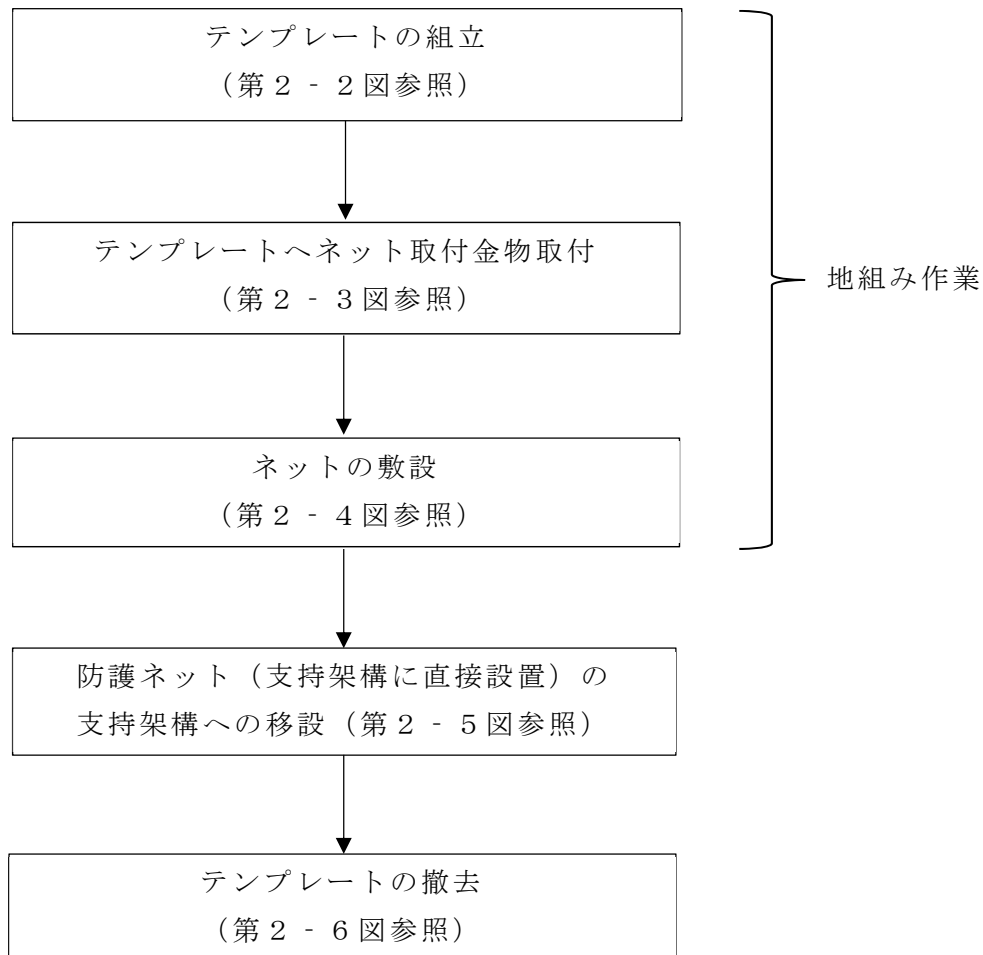
1. 概要

本資料は、鋼製枠を使用していない防護ネット（支持架構に直接設置）の設置方法について説明する。

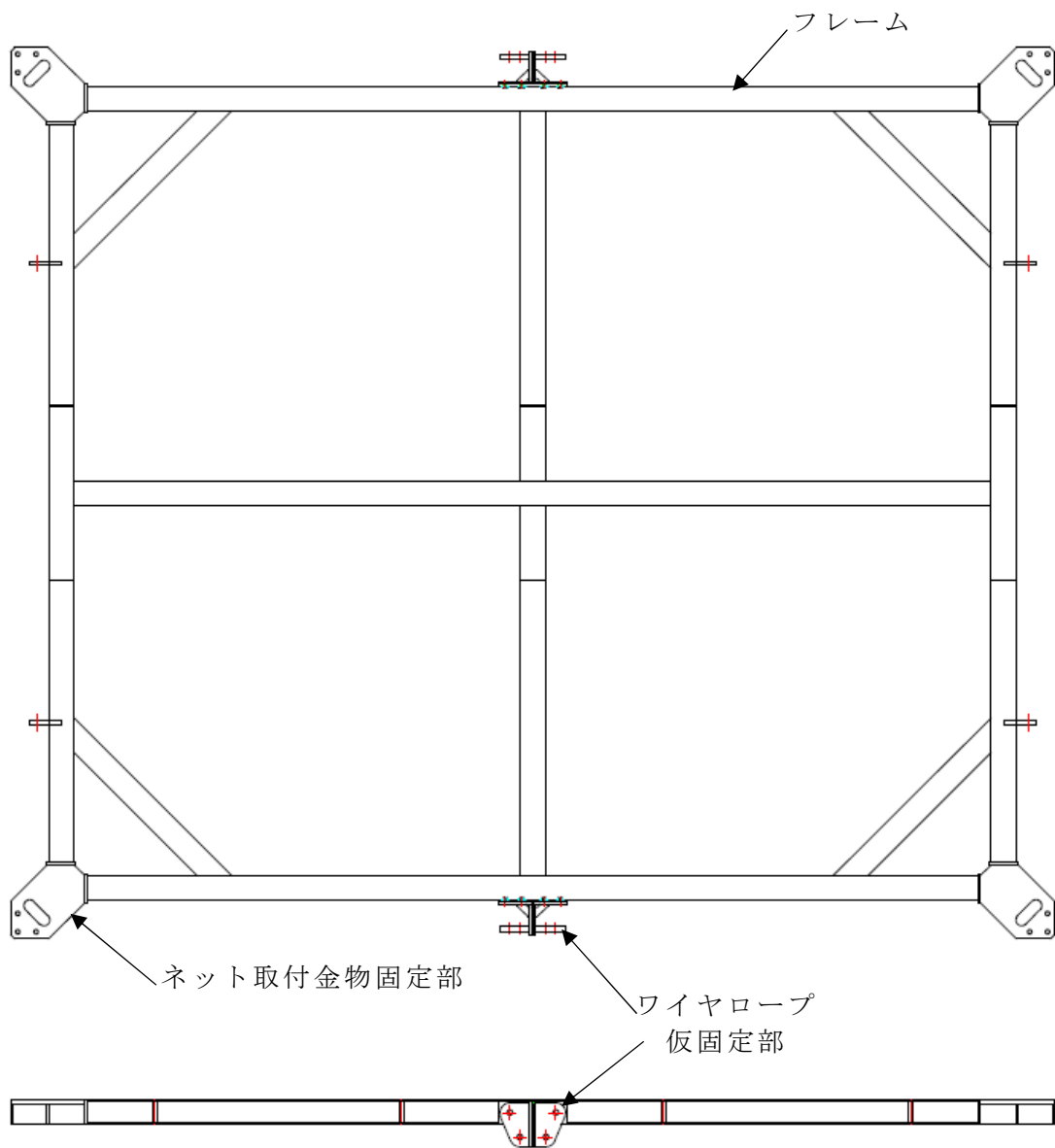
2. 防護ネット（支持架構に直接設置）の設置手順

防護ネット（鋼製枠）は組み立ての際、鋼製枠に直接各部材を取り付けた後、支持架構へ取り付ける。一方で防護ネット（支持架構に直接設置）では、鋼製枠がなく、各部材を直接支持架構へ取り付けながら組み立てるのが困難であることからネット四隅固定用のネット取付金物間をテンプレートと称する仮設枠にて仮組・保持し、防護ネットの組み立てを行う。

防護ネット（支持架構に直接設置）の組立フローを第2-1図に、作業の概略図を第2-2図から第2-6図に示す。



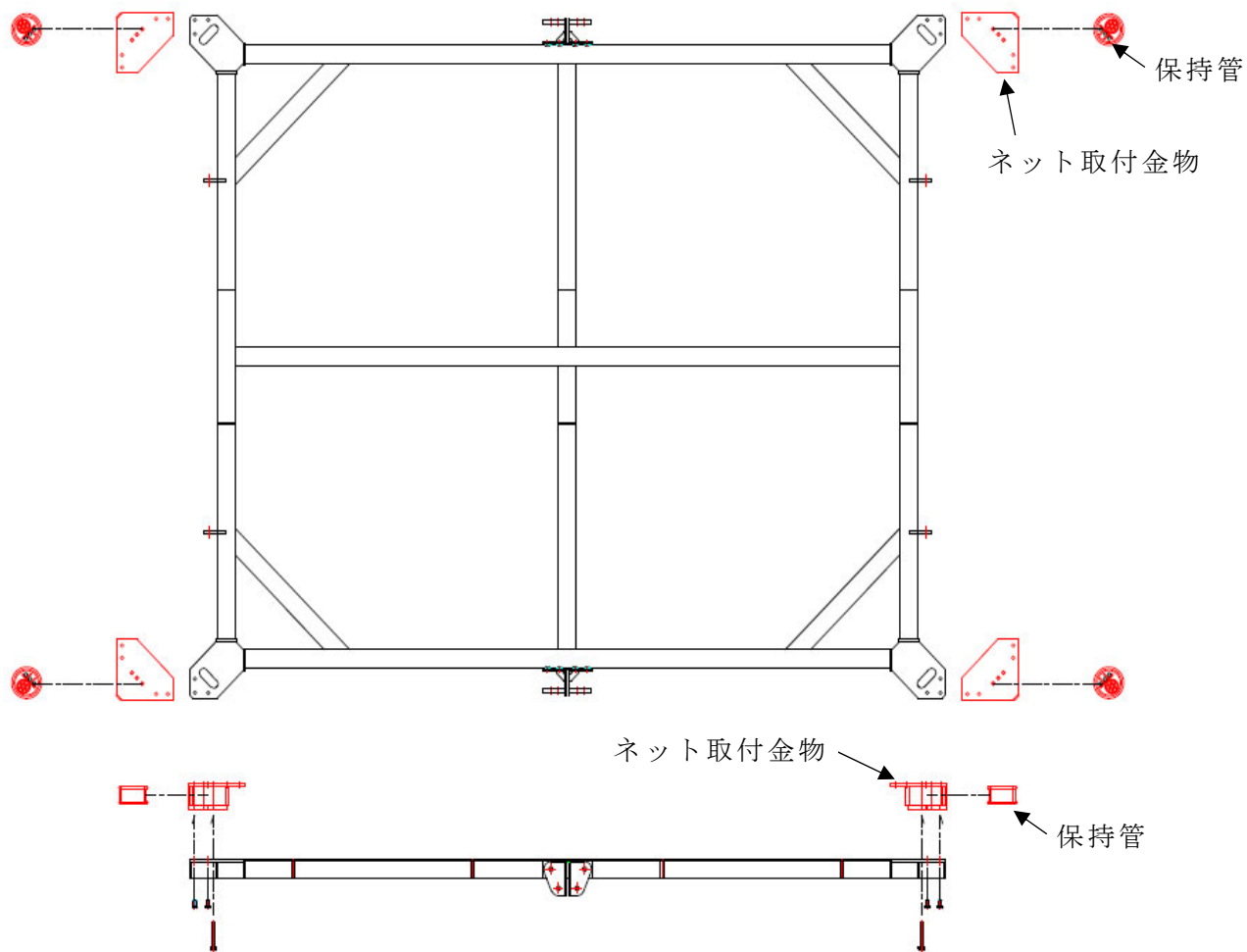
第2-1図 防護ネット（支持架構に直接設置）の組立フロー



第2-2図 テンプレートの組立

<作業概要>

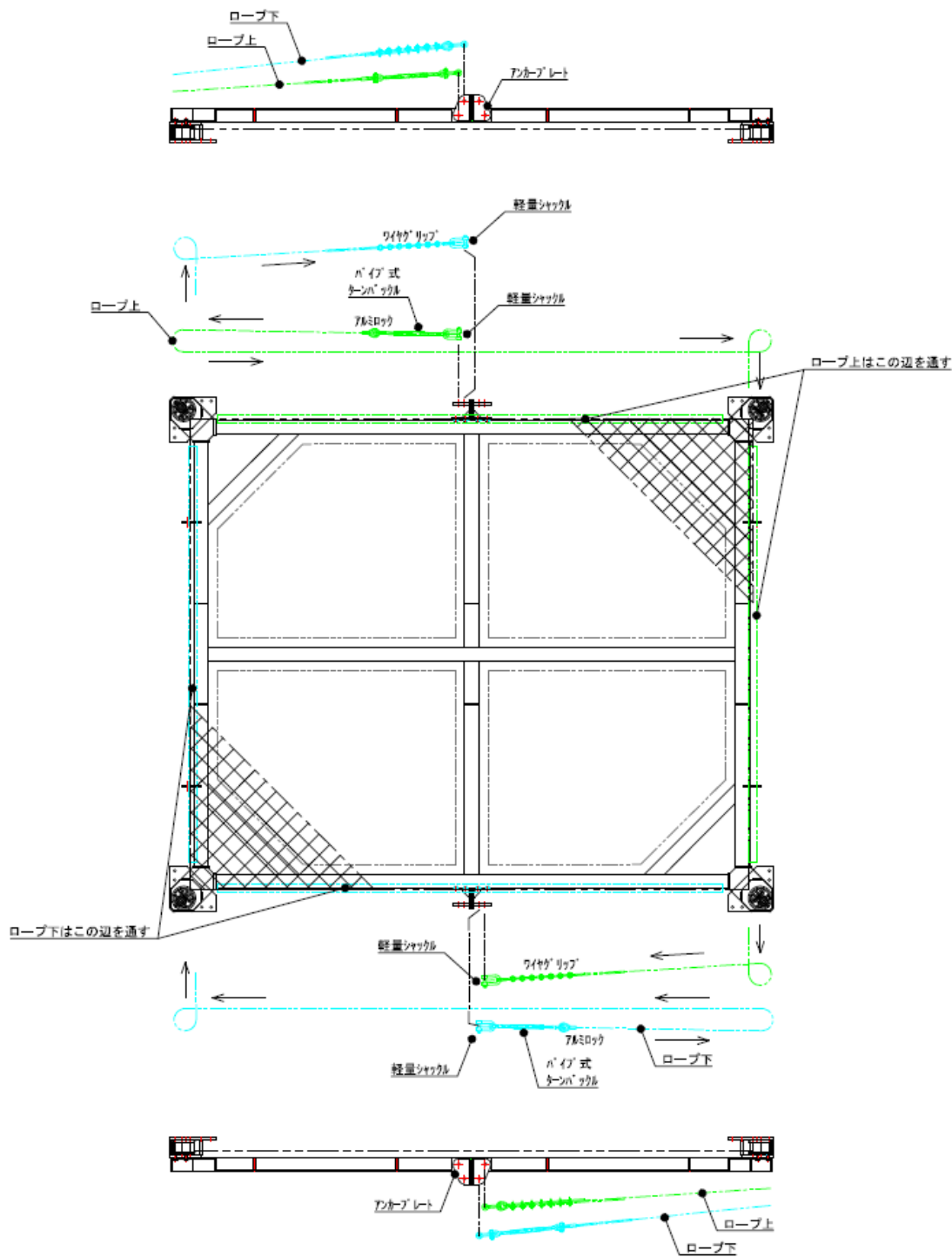
- (1) ネット取付金物固定部，フレーム，ワイヤロープ仮固定部を有するテンプレートを組み立てる。



第2-3図 テンプレートへネット取付金物取付

<作業概要>

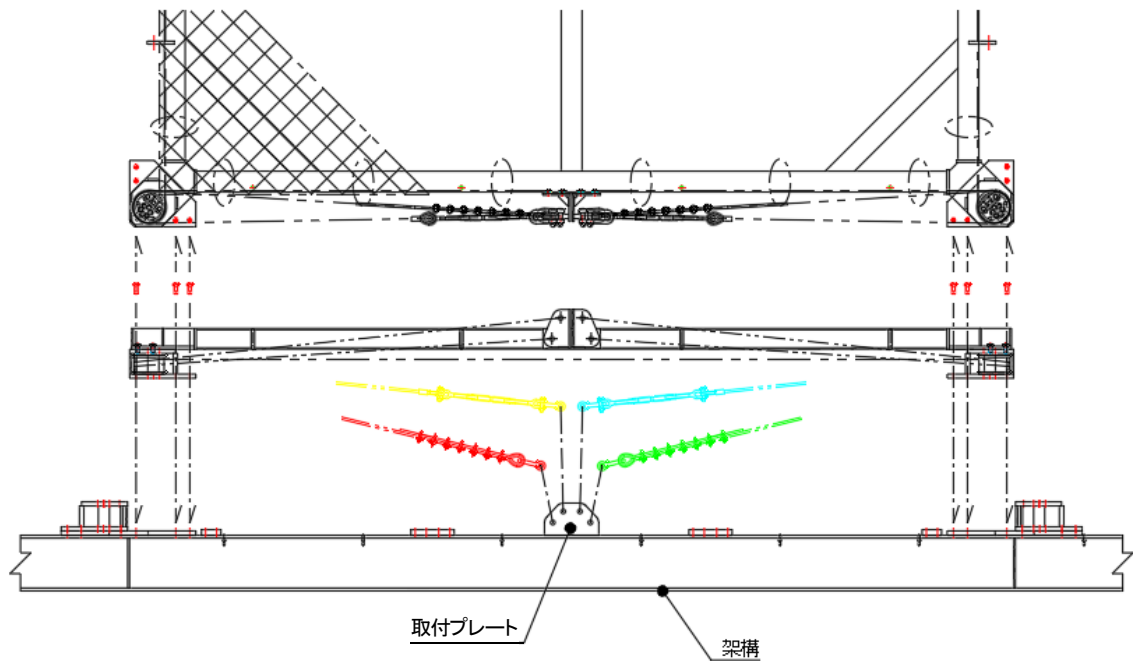
- (1) テンプレートにネット取付金物及び保持管をボルトで固定する。



第2-4図 ネットの敷設

<作業概要>

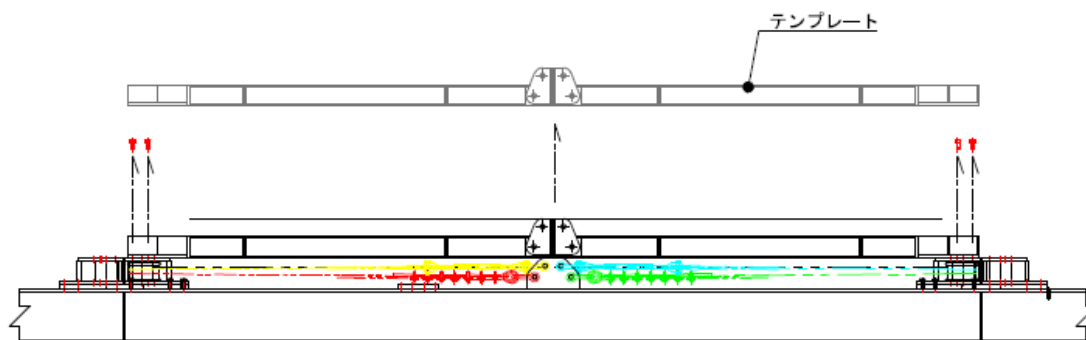
- (1) テンプレートに固定したネット取付金物及び保持管を用いてネットを敷設する。
- (2) ネットを展張しているワイヤロープの端部は，テンプレートのワイヤロープ仮固定部に固定する。



第2-5図 支持架構への移設

<作業概要>

- (1) テンプレートが取り付けしていない側を下にして，四隅のネット取付金物を支持架構へボルトで固定する。
- (2) テンプレートのワイヤロープ仮固定部に固定していたワイヤロープを取り外し，支持架構の取付プレートに固定する。



第 2-6 図 テンプレート撤去

<作業概要>

- (1) テンプレートとネット取付金物を固定していたボルトを取り外し，テンプレートを撤去する。

以上の取付け方法により，防護ネット（支持架構に直接設置）の組立及び設置を行う。

別紙

外竜巻16【竜巻防護対策設備の強度計算書に関する構造及び評価について】

資料No.	別紙		備考	
	名称	提出日	Rev	
別紙-1	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造及び評価について	12/1	11	
別紙-2	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A)の構造及び評価について			後次回で示す範囲
別紙-3	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A)の構造及び評価について			後次回で示す範囲
別紙-4	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔B)の構造及び評価について			後次回で示す範囲
別紙-5	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A)の構造及び評価について			後次回で示す範囲
別紙-6	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔B)の構造及び評価について			後次回で示す範囲

令和 4 年 12 月 1 日 R11

別紙-1

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の構造及び評価について

目 次

1. 概要	1
2. 飛来物防護ネット(A4B)の構造について	1
2.1 飛来物防護ネット(A4B)の全体概要	1
2.2 防護ネットの構造	9
2.3 防護板の構造	16
2.4 支持架構の構造	42
3. 再処理事業変更許可申請書の設計方針との整合性について	46

1. 概要

本資料は、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)(以下、「飛来物防護ネット(A4B)」という。)の構造及び評価の考え方を補足説明するものである。

2. 飛来物防護ネット(A4B)の構造について

2.1 飛来物防護ネット(A4B)の全体概要

飛来物防護ネット(A4B)の全景を第2-1図に示す。

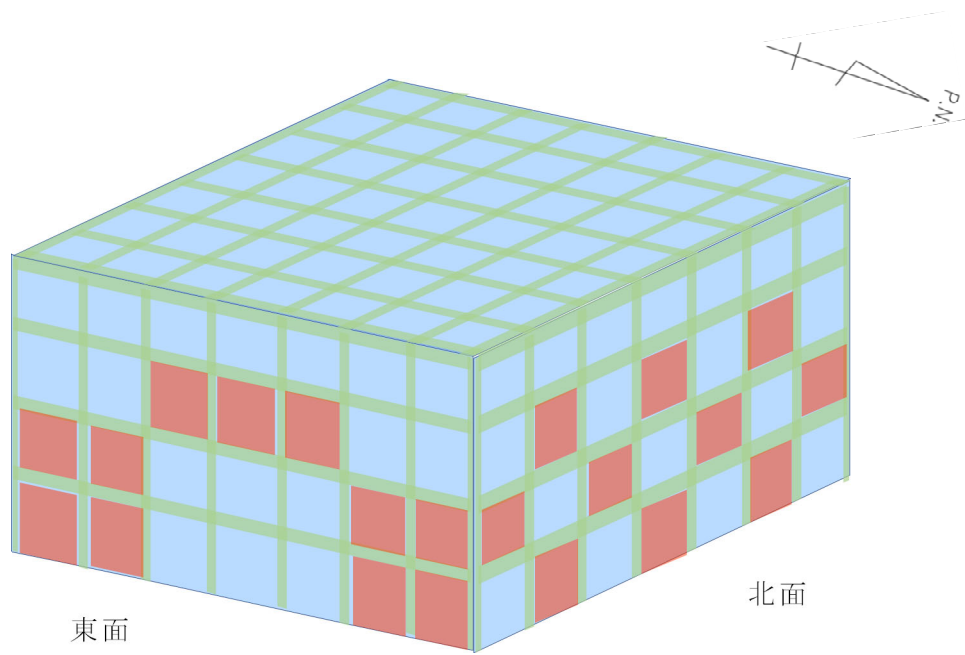
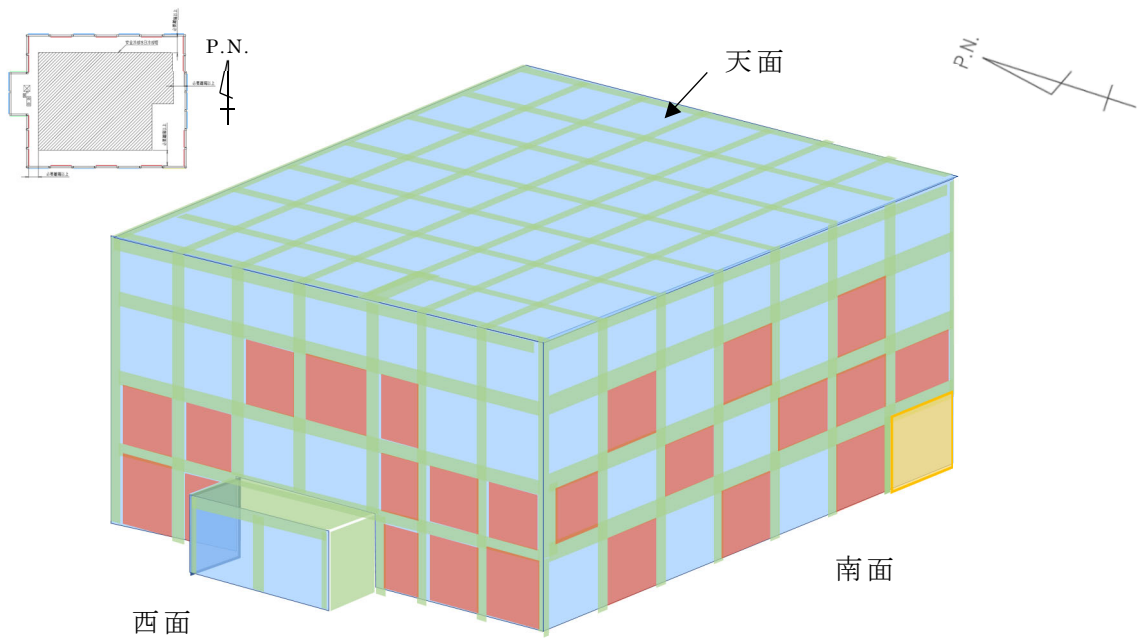
飛来物防護ネット(A4B)は、防護ネット、防護板(鋼材)及びそれらを支える支持架構で構成され、竜巻防護対象施設である安全冷却水 B 冷却塔の基礎より上部を防護するため、その上方及び側方四面を覆うように設置する。

防護ネットは、設計飛来物衝突時の防護ネットの変形によるたわみを考慮しても、竜巻防護対象施設である安全冷却水 B 冷却塔に飛来物を衝突させないように、安全冷却水 B 冷却塔の外側に必要離隔距離を確保して設置する。ただし、設計飛来物衝突時の防護ネットの変形によるたわみが支持架構等と干渉する場合は、支持架構の内側に防護ネットを設置する。

その上で、防護ネットと支持架構の間に生じる隙間に対して、補助防護板を設置する。

また、防護ネットの変形によるたわみを考慮した際に必要離隔距離を確保できない箇所やネットの変形を阻害するブレース材等が存在する箇所に対して、防護板(鋼材)を設置する。

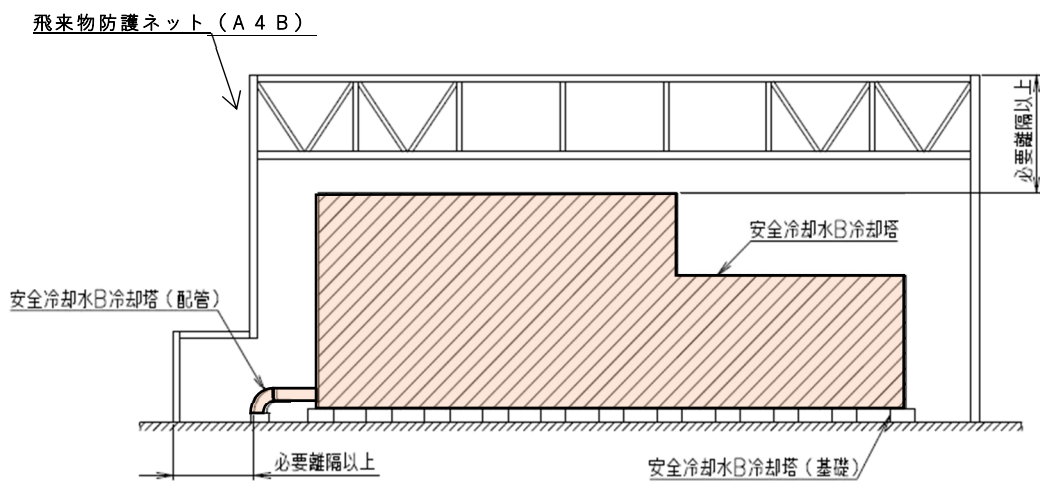
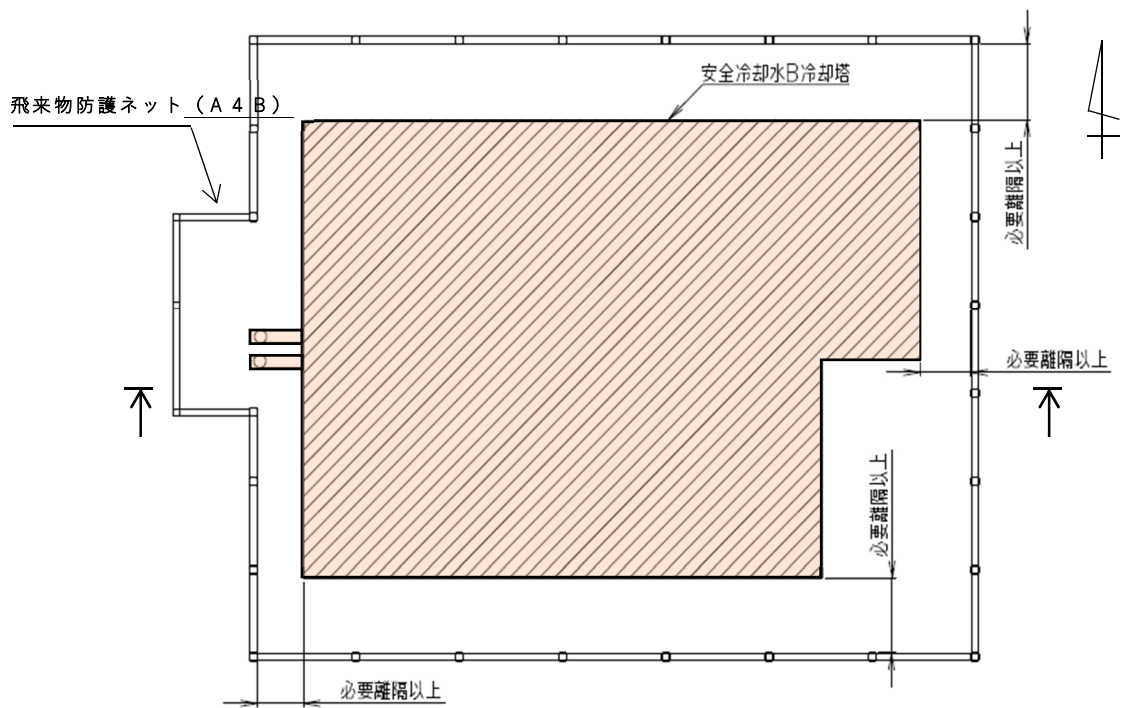
飛来物防護ネット(A4B)と竜巻防護対象施設である安全冷却水 B 冷却塔との配置を第2-2図に、飛来物防護ネットを構成する防護ネット、防護板(鋼材)、補助防護板の一覧と割付図をそれぞれ第2-1表及び第2-3図に示す。各要素の構造は、2.2項以降に記載する。




【凡例】

- : 外張りネット
- : 内張りネット
- : 車両用扉
- : 防護板

第 2-1 図 飛来物防護ネット (A4B) 全景



 : 竜巻防護対象施設

第 2 - 2 図 安全冷却水 B 冷却塔と飛来物防護ネット (A4B) の配置図







第2-1表 飛来物防護ネット(A4B)の構成要素(1/2)

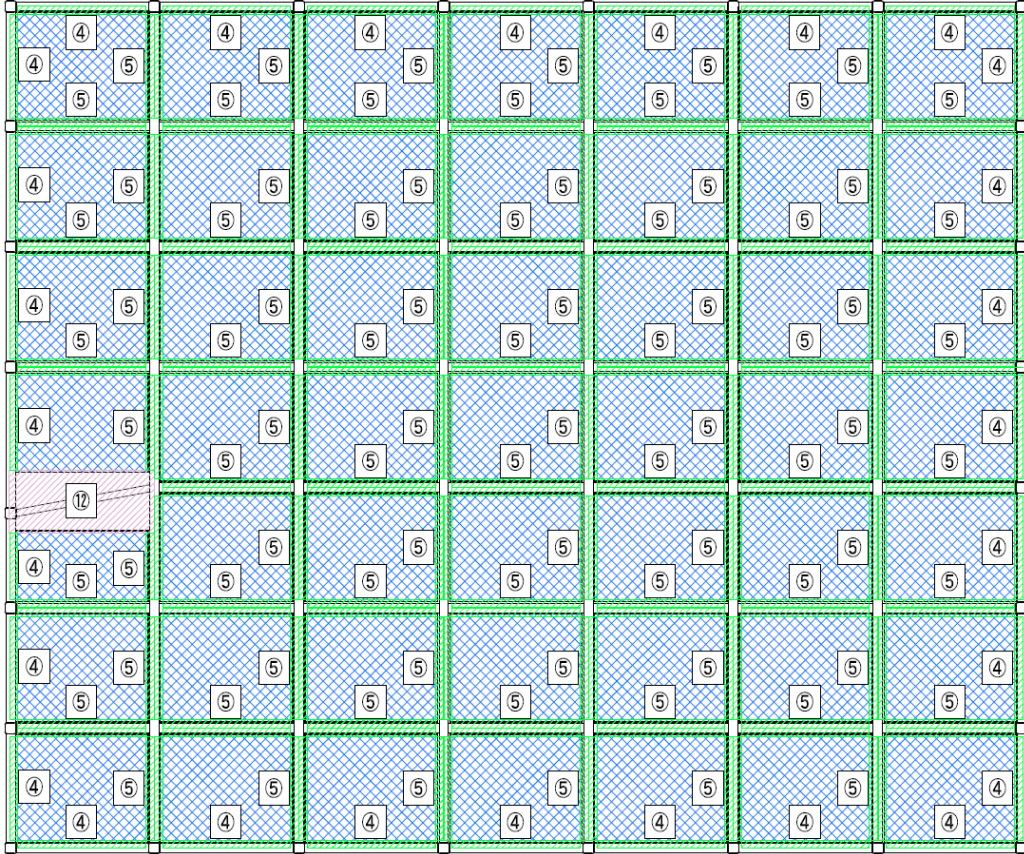
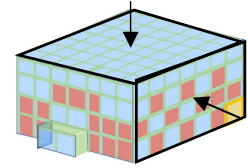
番号	名称	数量	防護板の 使い分け
①	防護ネット (支持架構に直接設置・ 外張り)	115 枚	—
②	防護ネット (支持架構に直接設置・ 内張り)	45 枚	—
③	防護ネット (車両用扉ネット)	1 枚	—
④	補助防護板 (①用, 片側防護, 外取付)	172 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 外張り)で⑤, ⑥以外に適用。
⑤	補助防護板 (①用, 両側防護, 外取付)	136 枚	はり及び柱を挟んで隣り合う防護 ネットが共に防護ネット(支持架 構に直接設置・外張り)の場合に適 用。
⑥	防護板 (①用, 内取付)	2 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 外張り)で支持架構との干渉によ り飛来物が通過するおそれのある 隙間に適用。
⑦	防護板 (②用, 防護板補強有り, 外取付)	12 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 内張り)で支持架構との干渉によ り飛来物が通過するおそれのある 隙間に適用。防護板サイズが大き く, 設計竜巻の風圧力による荷重 や積雪荷重による変形対策が必要 な場合に適用。
⑧	防護板 (②用, 防護板補強無し, 内取付)	12 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 内張り)で支持架構との干渉によ り飛来物が通過するおそれのある 隙間に適用。
⑨	補助防護板 (②用, はり取付用, 内取付)	63 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 内張り)に適用。

第2-1表 飛来物防護ネット(A4B)の構成要素(2/2)

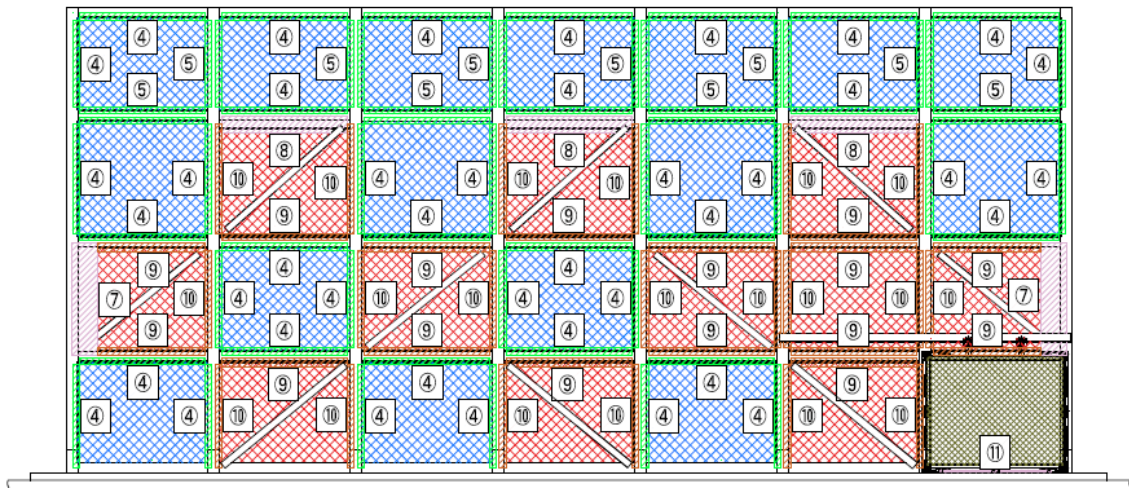
番号	名称	数量	防護板の 使い分け
⑩	補助防護板 (②用, 柱取付用, 内取付)	78 枚	防護ネット(支持架構に直接設置・ 内張り)に適用。
⑪	防護板 (③用, 外取付)	2 枚	防護ネット(車両用扉ネット)に適 用
⑫	防護板 (斜めはり部天面, 外取付)	1 枚	—
⑬	防護板 (張出部天面, 外取付)	6 枚	—
⑭	防護板 (張出部北側面, 外取付)	2 枚	—
⑮	防護板 (張出部南側面, 人員用開 口, 外取付)	3 枚	—

【凡例】

-  : 外張りネット
-  : 内張りネット
-  : 防護板
-  : 車面用扉
-  : 補助防護板（外取付）
-  : 補助防護板（内取付）



(天面)

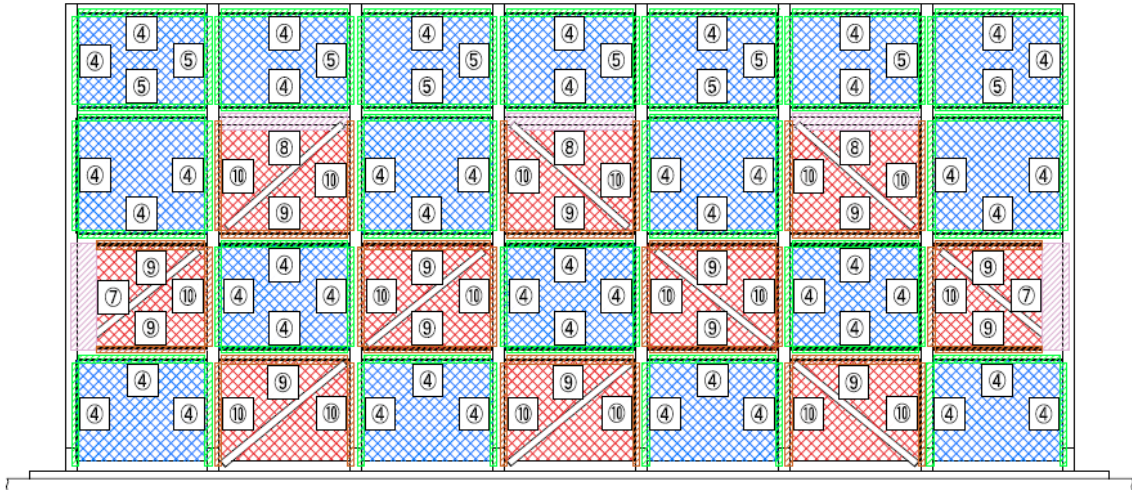
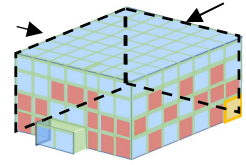


(南面)

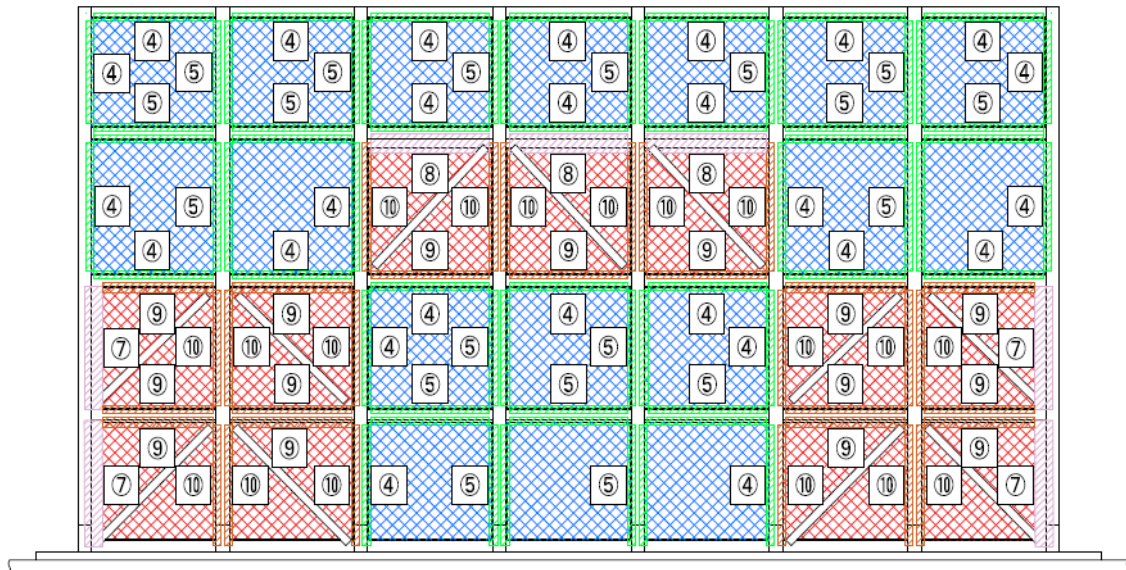
第 2 - 3 図 防護ネット及び防護板割付図 (1/3)

【凡例】

- : 外張りネット
- : 内張りネット
- : 防護板
- : 車面用扉
- : 補助防護板（外取付）
- : 補助防護板（内取付）









(北面)

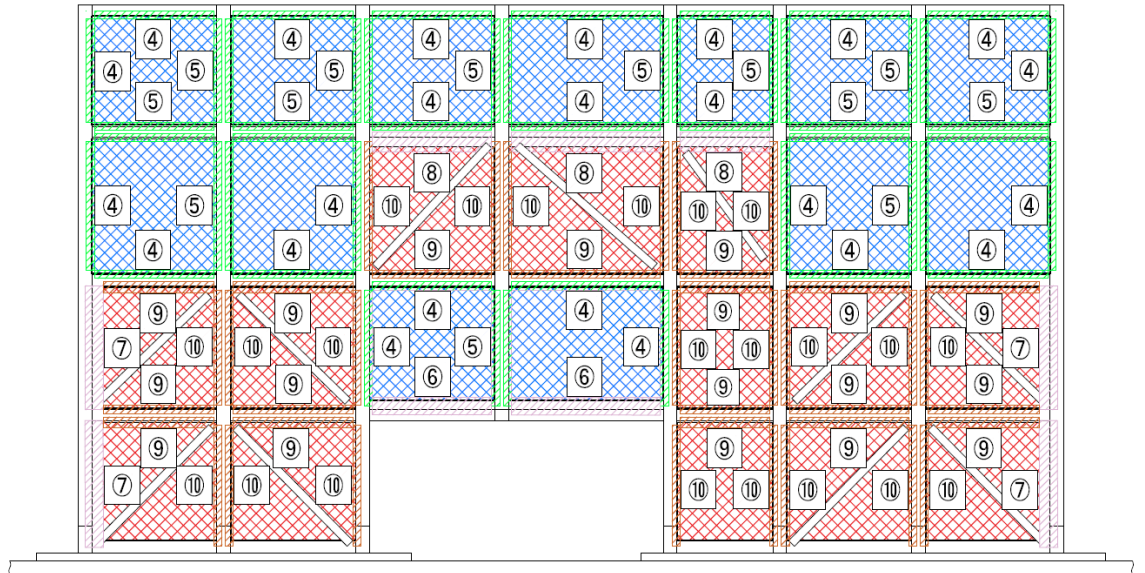
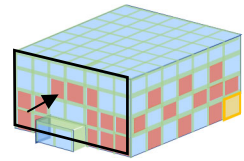


(東面)

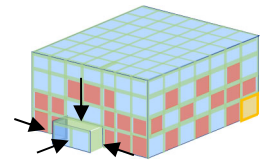
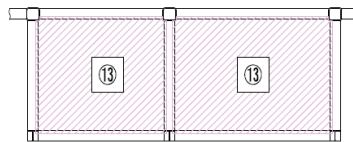
第 2 - 3 図 防護ネット及び防護板割付図 (2/3)

【凡例】

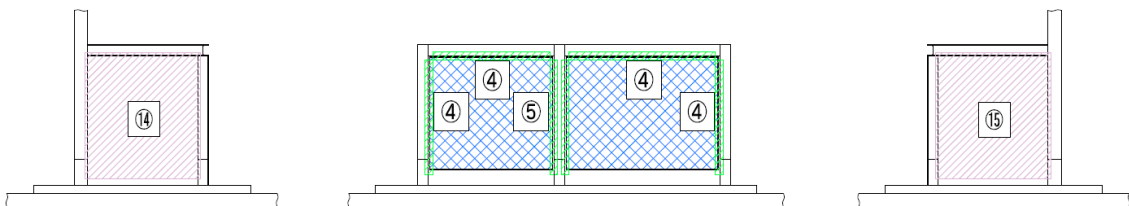
-  : 外張りネット
-  : 内張りネット
-  : 防護板
-  : 車面用扉
-  : 補助防護板（外取付）
-  : 補助防護板（内取付）



(西面)



(張出部天面)



(張出部南面，北面及び西面)

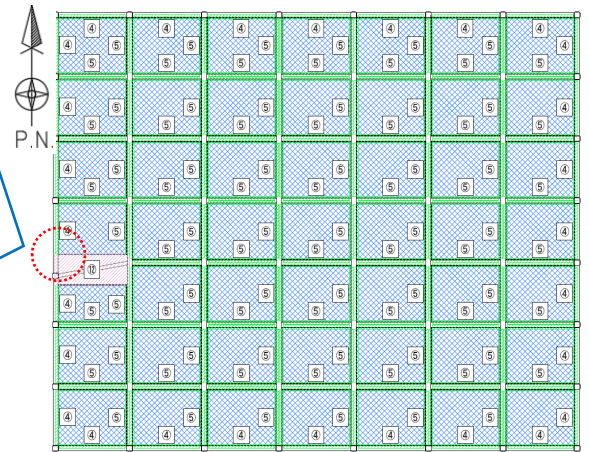
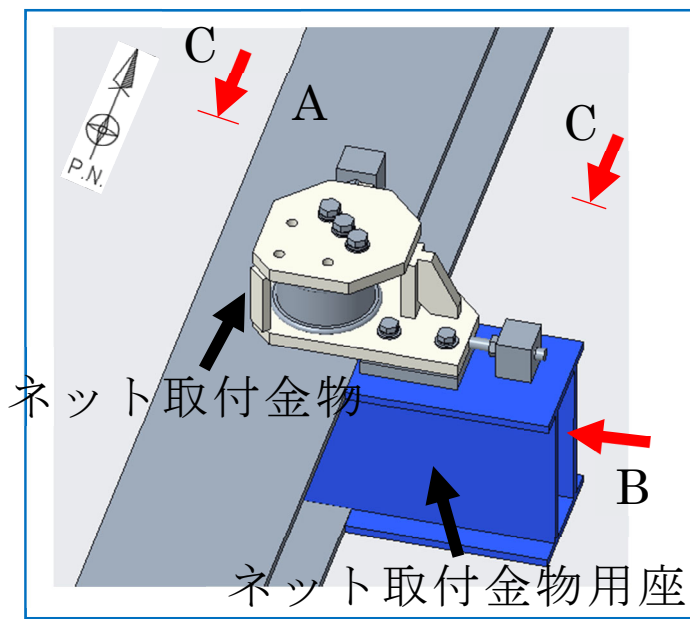
第 2 - 3 図 防護ネット及び防護板割付図 (3/3)

2.2 防護ネットの構造

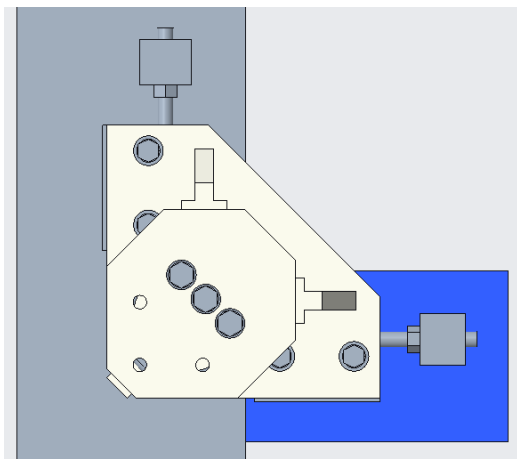
飛来物防護ネット(A4B)で用いる防護ネットは，防護ネット(支持架構に直接設置)，防護ネット(車両用扉ネット)，補助防護板により構成される。各部位のうち，飛来物防護ネット(A4B)における特有の構造を以下に示す。

(1) 防護ネット(支持架構に直接設置)

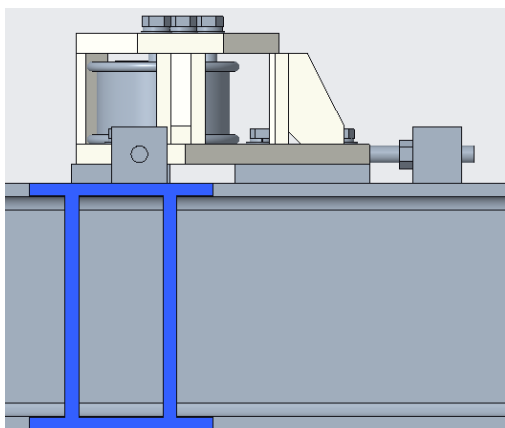
防護ネット(支持架構に直接設置)は，支持架構の柱やはりに設置することが基本であるが，柱やはりに囲われている箇所への防護ネットの取り付けとして，ネット取付金物用座を柱やはりに取り付けた上で，ネット取付金物を設置する。第2-4図に防護板隣接の防護ネット取付部の概要を示す。



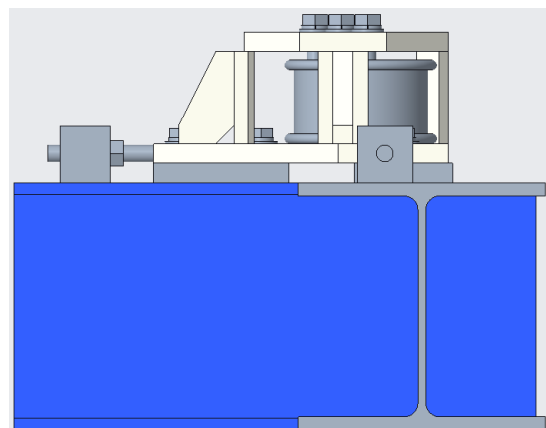
第 2 - 3 図 防護ネット及び防護板
割付図より天面



A 視



B 視



C 視

第 2 - 4 図 防護板隣接 防護ネット取付部概要

(2)防護ネット(車両用扉ネット)

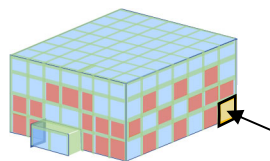
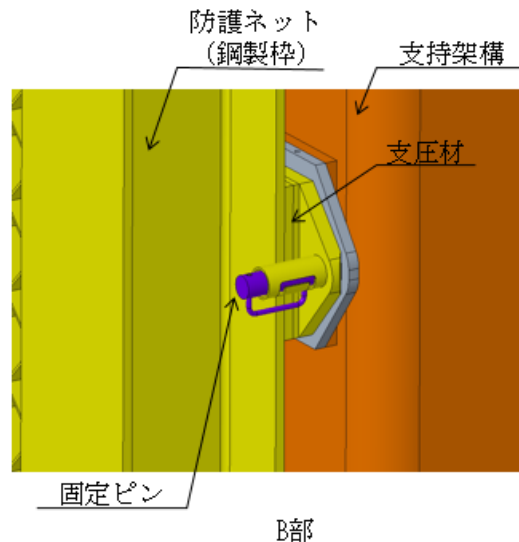
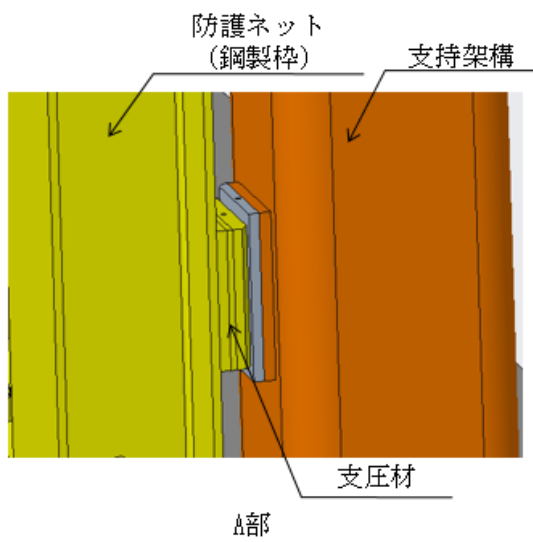
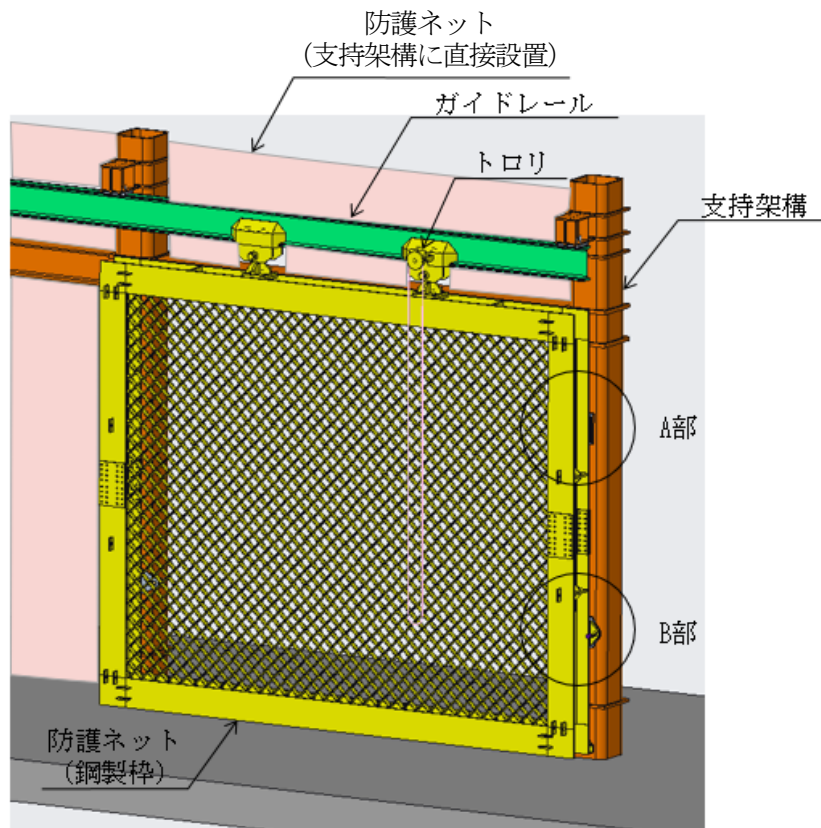
防護ネット(車両用扉ネット)は、可動式の車両用扉を飛来物防護ネット(A4B)南面の支持架構に設置する。防護ネット(車両用扉ネット)は、安全冷却水B冷却塔のメンテナンス時に、飛来物防護ネット(A4B)の内側に車両等が通行可能となる開口を確保するための手動開閉式の防護ネットである。

防護ネット(車両用扉ネット)は、防護ネット(鋼製枠)、支圧材、トロリ、ガイドレール、固定ピン及び固定ピン受けで構成される。設計竜巻による風圧力による荷重で扉が開かないよう防護ネット(車両用扉ネット)を固定ピンにより支持架構に固定し、車両等が通行する際に、支持架構に設置されたガイドレール上を、トロリによって走行させることで開閉する機構を有する。

防護ネット(鋼製枠)は、電中研報告書にて採用された防護ネットと同等の構造であり、ネット四隅固定用の金物及びワイヤロープ取付プレートを鋼製枠に設置する。

飛来物衝突に対しては、支持架構に設置された4つの支圧材において、反力を支持架構へ伝達する構造となっている。第2-5図に防護ネット(車両用扉ネット)の構造概要を示す。

なお、防護ネット(車両用扉ネット)の固定部である固定ピン及び固定ピン受けは設計竜巻による風圧力による荷重を受けた場合でも健全性を維持することができる。また、防護ネット(車両用扉ネット)は支持架構の柱スパンよりも大きいことからトロリやガイドレールが破損した場合においても安全冷却水B冷却塔へ影響は与えない。



第 2 - 5 図 防護ネット (車両用扉ネット) 構造概要

(3) 補助防護板

防護ネットのワイヤロープと支持架構の位置関係は、隣接する防護ネットとの配置制約上、防護ネットのワイヤロープが支持架構の柱やはりの端面に近接している。

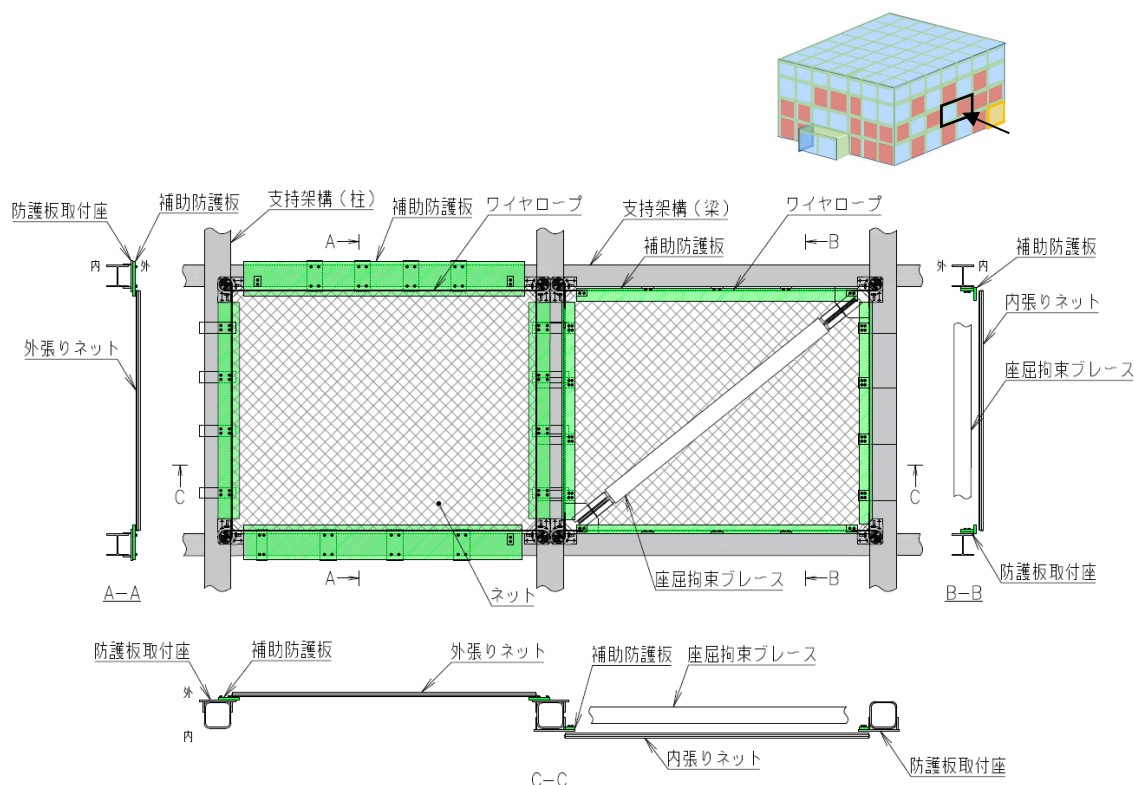
製作、据付公差によって隙間が生じるおそれがあることから飛来物の侵入防止を目的として、防護ネット周囲に補助防護板を設置する。補助防護板は、防護ネットの位置に合わせて、支持架構の外側又は内側に設置する。

補助防護板と防護ネットの位置関係を第2-6図に、補助防護板のタイプ一覧を第2-2表に示す。

防護ネット(支持架構に直接設置・外張り)と支持架構の隙間を塞ぐ補助防護板は、1枚の防護ネットの隙間を塞ぐ補助防護板(第2-7図)と、2枚の防護ネットの隙間を1枚の補助防護板で塞ぐ補助防護板(第2-8図)の2タイプが存在する。

一方、防護ネット(支持架構に直接設置・内張り)と支持架構の隙間を塞ぐ補助防護板については、支持架構と干渉回避の制約から、はりに取り付ける補助防護板と柱に取り付ける補助防護板の2タイプが存在する。

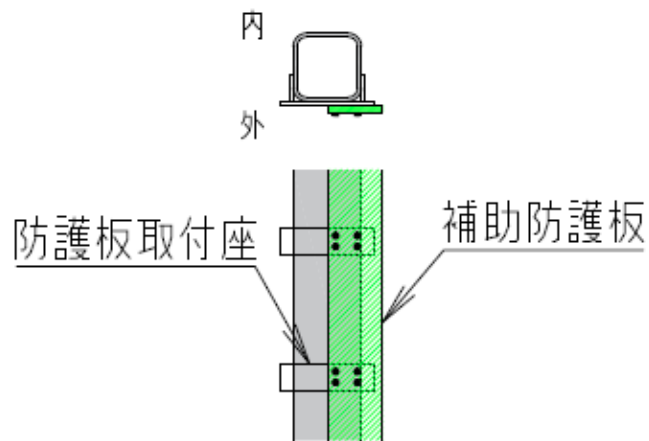
はりに取り付ける補助防護板は、第2-9図に示すL形構造とし、柱に取り付ける補助防護板は第2-10図に示す構造とする。



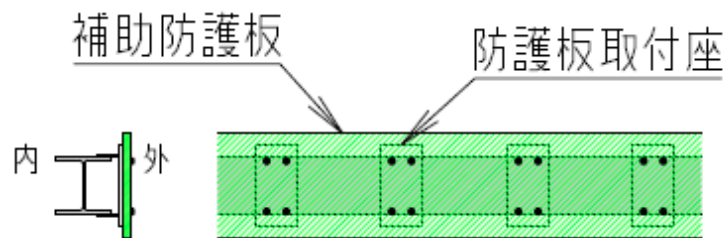
第2-6図 補助防護板と防護ネットの位置関係

第 2-2 表 補助防護板のタイプ一覧

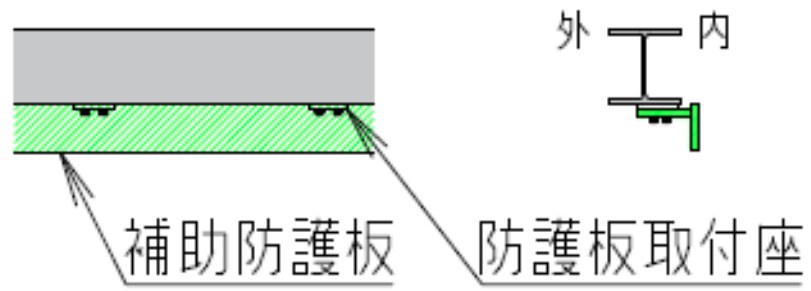
防護板タイプ	防護板構造	図
④補助防護板 (①用, 片側防護, 外取付)	SUS板 t9 (片側張り出し)	第 2-7 図
⑤補助防護板 (①用, 両側防護, 外取付)	SUS板 t9 (両側張り出し)	第 2-8 図
⑨補助防護板 (②用, はり取付用, 内取付)	SUS板 t9 (L形構造)	第 2-9 図
⑩補助防護板 (②用, 柱取付用, 内取付)	SUS板 t9	第 2-10 図



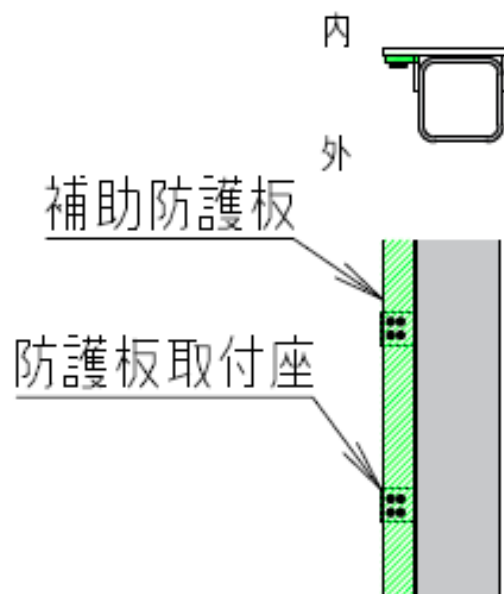
第 2-7 図 ④補助防護板(①用, 片側防護, 外取付)



第 2-8 図 ⑤補助防護板(①用, 両側防護, 外取付)



第 2-9 図 ⑨補助防護板(②用, はり取付用, 内取付)



第 2-10 図 ⑩補助防護板(②用, 柱取付用, 内取付)

2.3 防護板の構造

(1) 防護板(鋼材)の構造

支持架構に鉛直ブレースが取り付く箇所は支持架構の内側に防護ネットを取り付けるが、防護ネットの必要離隔距離を確保できない箇所、支持架構のはりが整形に配置されておらず、その上部の防護ネット同士に間隔が生じる箇所、防護ネットが支持架構の部材等と干渉する箇所では、防護ネットを隙間なく取り付けることができないことから、防護板(鋼材)を設置して安全冷却水 B 冷却塔への飛来物の衝突を防止する。

防護板(鋼材)は、飛来物の衝突に対し、貫通しない厚さを確保する設計とする。防護ネット(車両用扉ネット)の隙間からの侵入を防止するための防護板を第 2-11 図に示す。

また、飛来物防護ネット内へ人がアクセスする際の入り口の防護板には、人員用開口を設ける。人員用開口は飛来物の侵入を防止するため、第 2-14 図に示すように防護板を組み合わせて、迷路構造となるよう設置している。

防護板のサイズが大きいもの(⑦防護板、⑫~⑮防護板)については、設計竜巻の風圧力による荷重及び積雪荷重による変形を防止するために、防護板に補強材(H 形鋼及びアングル)を設け、溶接にて一体構造としている。

防護板のタイプ一覧を第 2-3 表に示す。

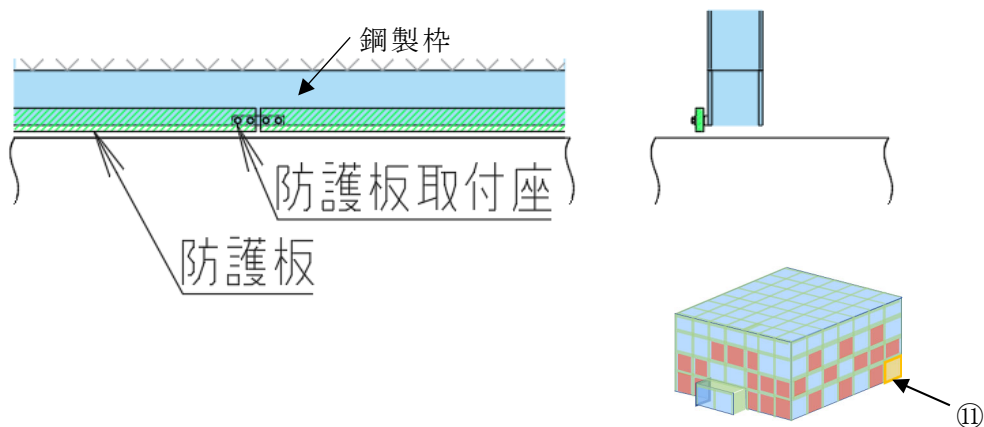
防護ネットが支持架構の部材等と干渉する箇所に設置する防護板(⑥~⑧防護板)の設置状況については、以下のとおり。

支持架構内面の角部に設置される 2 枚の防護ネット(支持架構に直接設置・内張り)のネット取付金物同士が干渉し角の柱に対して隙間なく防護ネットを取付けることができないため、生じた隙間に⑦防護板を設置する(第 2-17 図参照)。

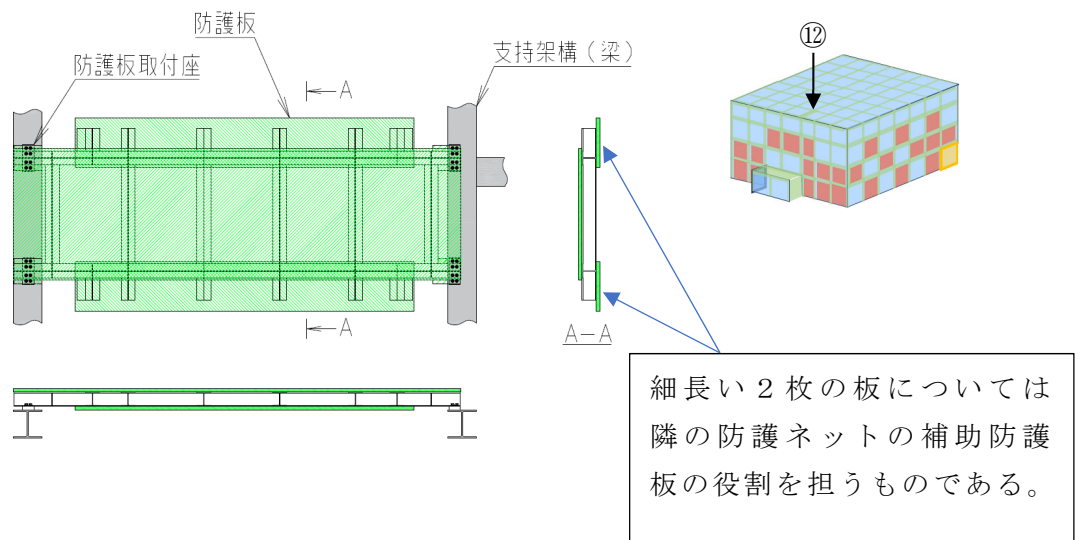
また、支持架構各面の上から 2 段目の防護ネット(支持架構に直接設置・内張り)及び支持架構西面の上から 3 段目の防護ネット(支持架構に直接設置・外張り)は、はり上に支持架構のトラス部材や張出部材が存在し、ネット取付金物を設置することができないため、はりに対して隙間なく防護ネットを取付けることができないことから、生じた隙間に⑥防護板又は⑧防護板を設置する(第 2-18 図参照)。

第 2 - 3 表 防護板のタイプ一覧

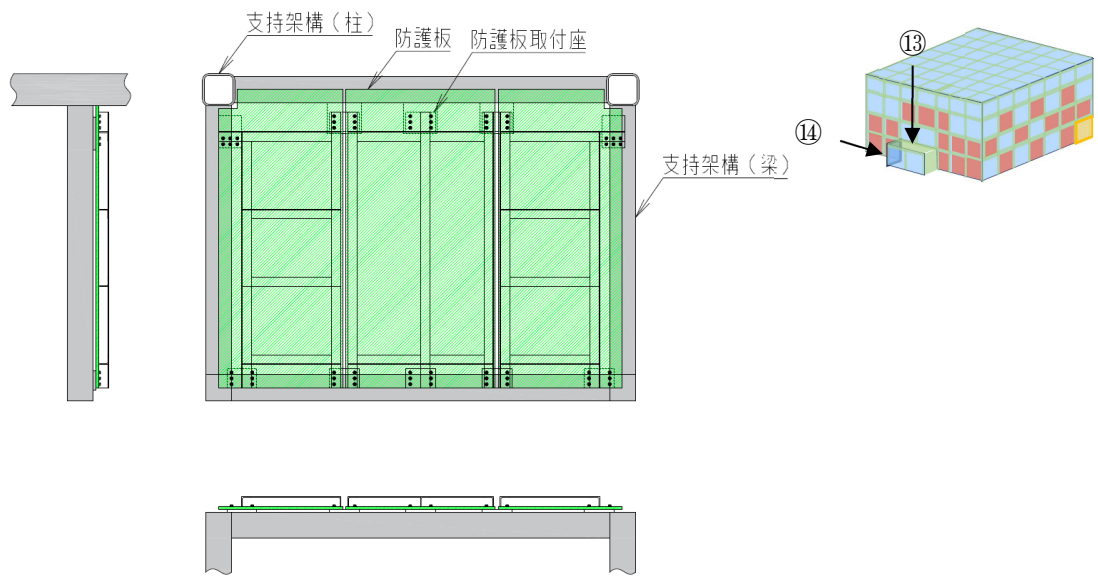
防護板タイプ	防護板構造	支持方法	図
⑪防護板 (③用, 外取付)	SUS 板 t12	1 辺で支持	第 2 - 11 図
⑫防護板 (斜めはり部天面, 外取付)	SUS 板 t9 + 補強 H 形鋼	相対する 2 辺以上で支持	第 2 - 12 図
⑬防護板 (張出部天面, 外取付)	SUS 板 t9 + 補強アングル	相対する 2 辺以上で支持	第 2 - 13 図
⑭防護板 (張出部北側面, 外取付)			
⑮防護板 (張出部南側面, 人員用開口, 外取付)	SUS 板 t9 + 補強アングル	相対する 2 辺以上で支持	第 2 - 14 図
⑦防護板 (②用, 防護板補強有り, 外取付)	SUS 板 t9 + 補強アングル	1 辺で支持	第 2 - 15 図
⑥防護板 (①用, 内取付)	SUS 板 t9	1 辺で支持	第 2 - 16 図
⑧防護板 (②用, 防護板補強無し, 内取付)			



第 2 - 11 図 ⑪防護板 (③用, 外取付)

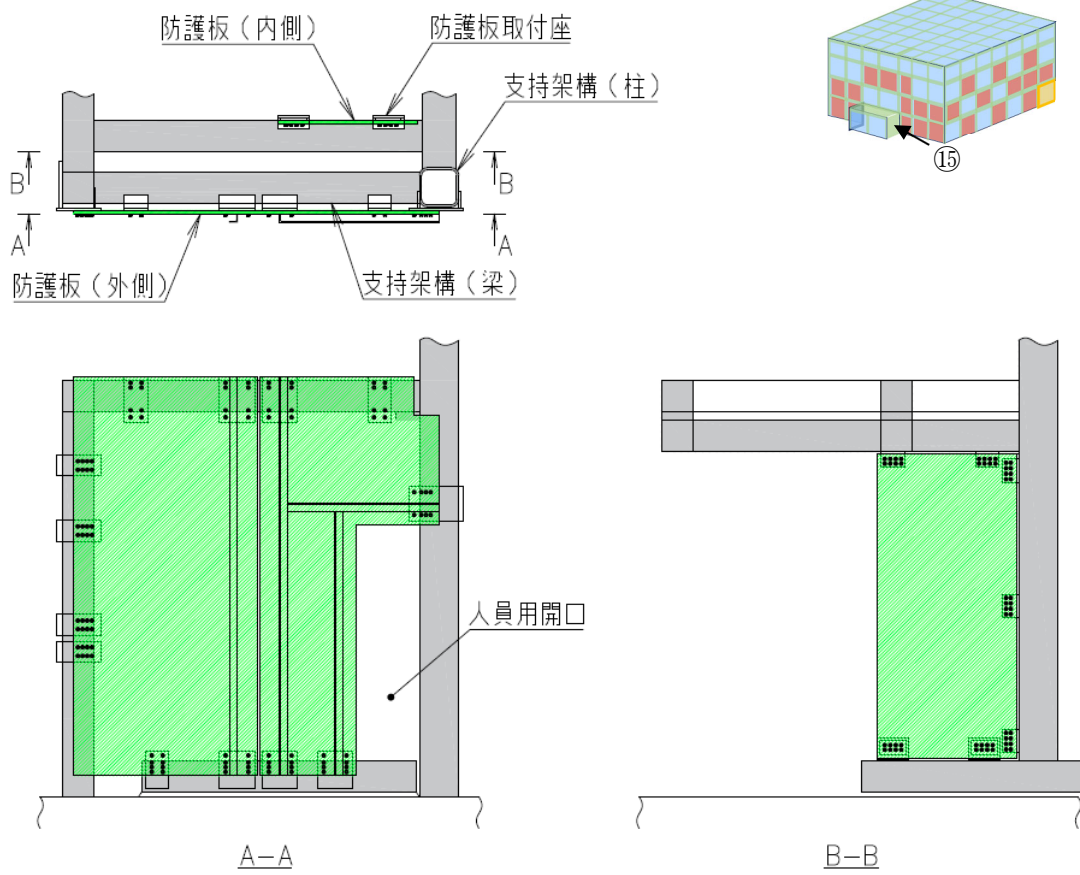


第 2 -12 図 ⑫防護板(斜めはり部天面, 外取付)

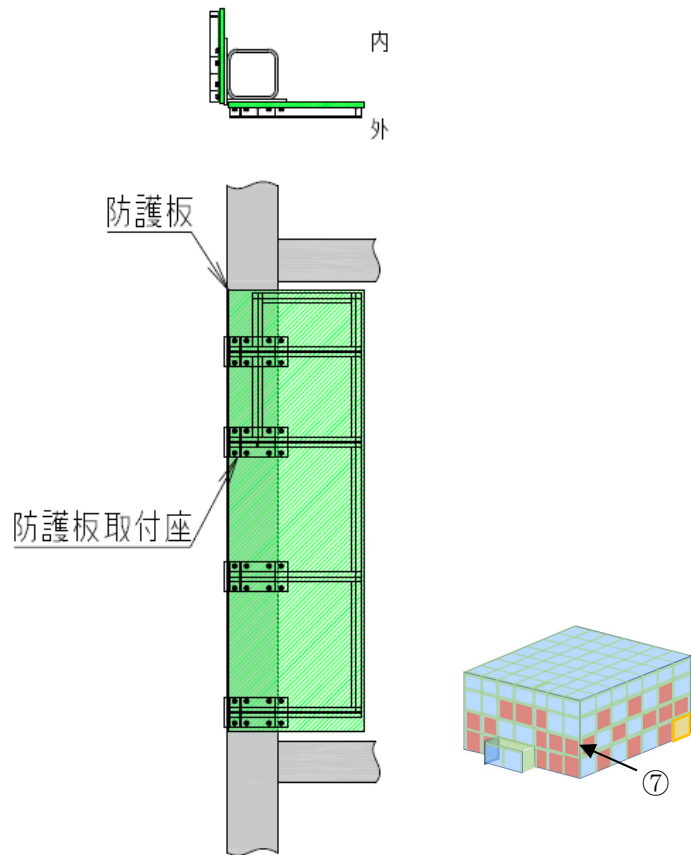


※⑭防護板(張出部北側面, 外取付)についても同一の構造である。

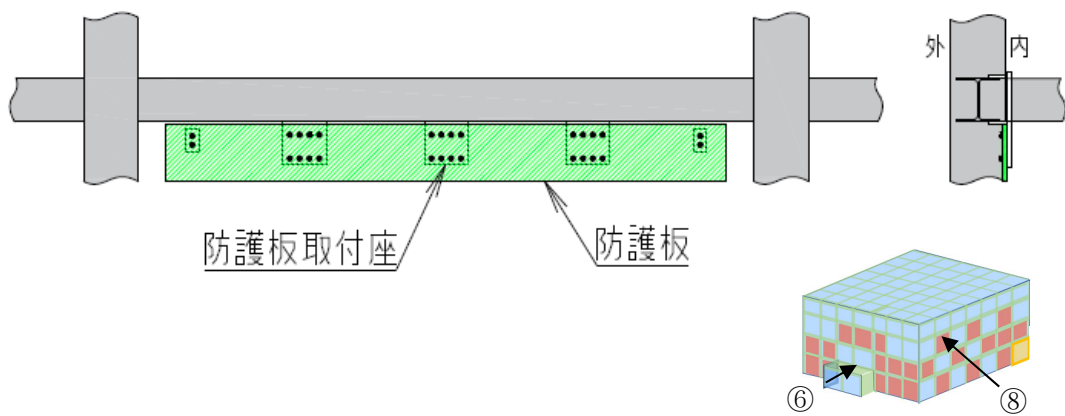
第 2 -13 図 ⑬防護板(張出部天面, 外取付)



第 2-14 図 ⑮ 防護板 (張出部南側面, 人員用開口, 外取付)

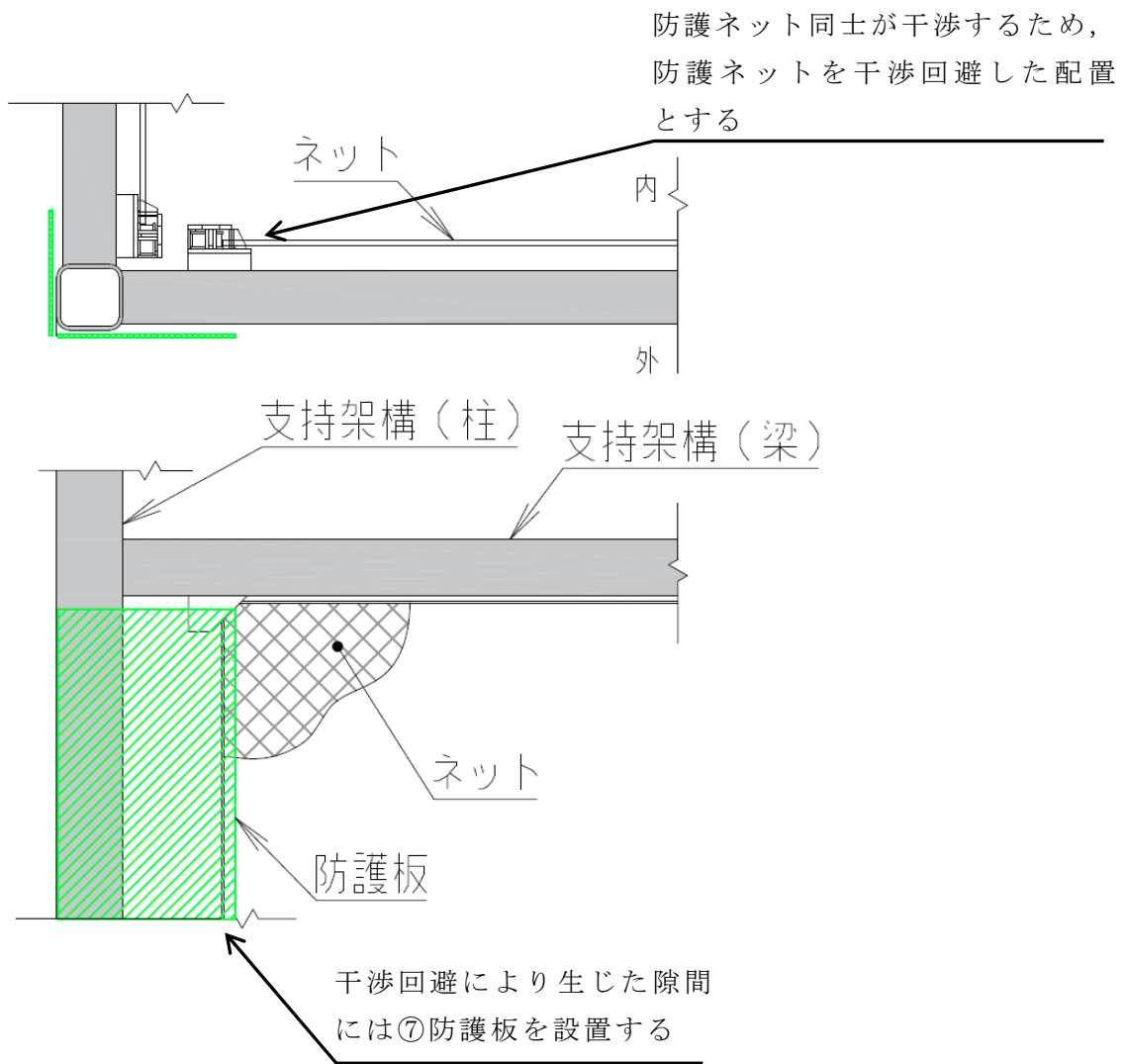


第 2-15 図 ⑦防護板(②用, 防護板補強有り, 外取付)



※⑥防護板(①用, 内取付)についても同一の構造である。

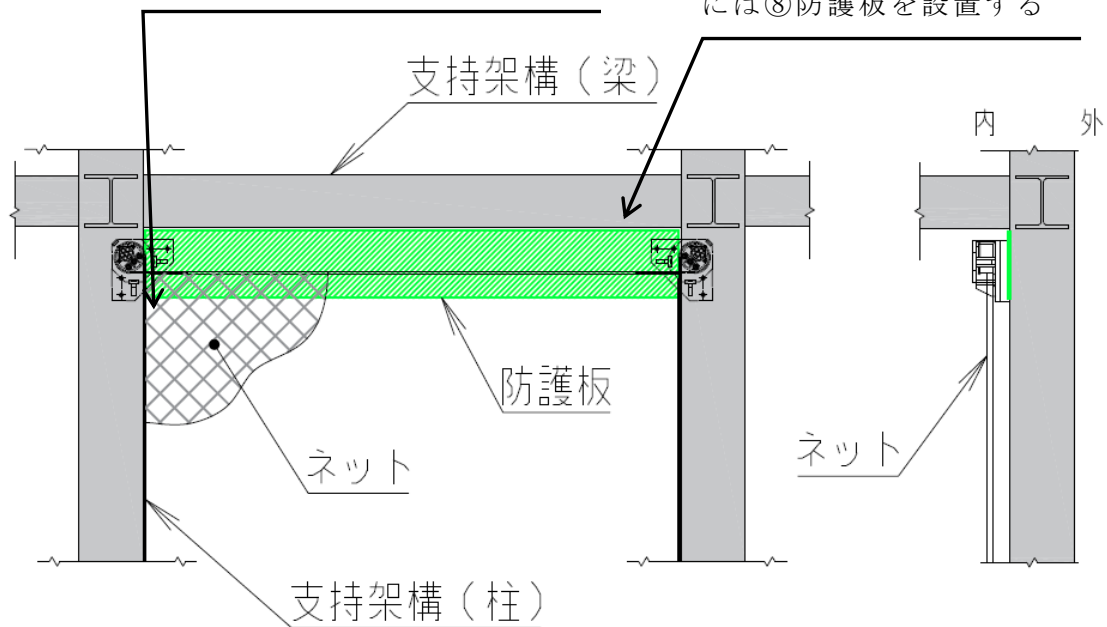
第 2-16 図 ⑧防護板(②用, 防護板補強無し, 内取付)



第 2-17 図 ⑦防護板の設置状況

梁と防護ネットが干渉するため、
防護ネットを干渉回避した配置と
する

干渉回避により生じた隙間
には⑧防護板を設置する



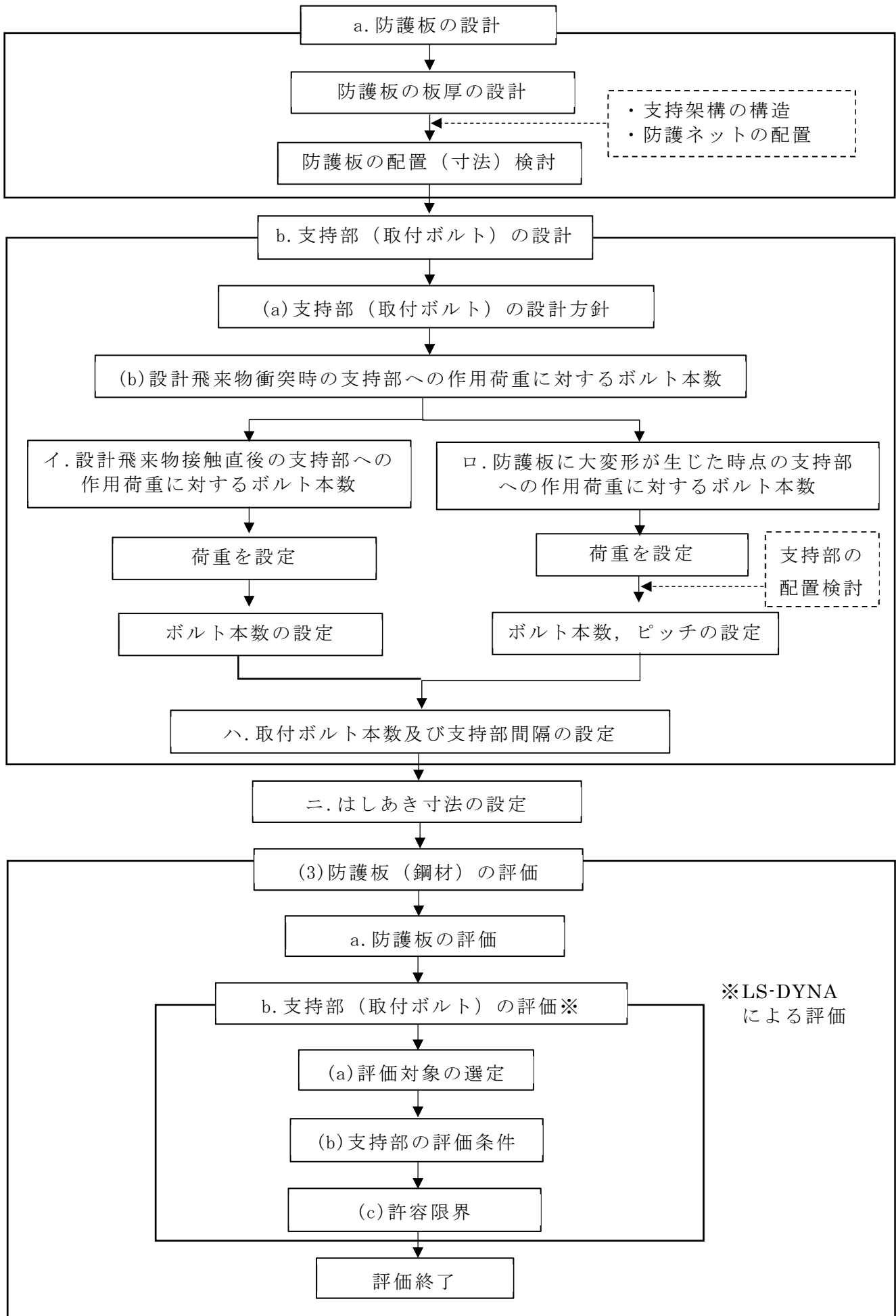
※⑥防護板(①用, 内取付)についても同一の構造である。

第2-18図 ⑥防護板及び⑧防護板の設置状況

(2) 防護板(鋼材)の設計

防護板(鋼材)は、飛来物の衝突に対して、貫通させない設計とするとともに脱落を防止する設計としている。

防護板(鋼材)の設計フローを第2-19図に示す。



第2-19 図 防護板（鋼材）の設計フロー

a. 防護板の設計

防護板は、設計飛来物の貫通を防止できる板厚を有する設計とする。防護板を取付ボルトで支持架構に接続し、設計飛来物の荷重に対して防護板が脱落しないように、取付ボルト孔周辺の防護板の破断が取付ボルトの破断よりも先行しないような設計とする。

b. 支持部（取付ボルト）の設計

(a) 支持部（取付ボルト）の設計方針

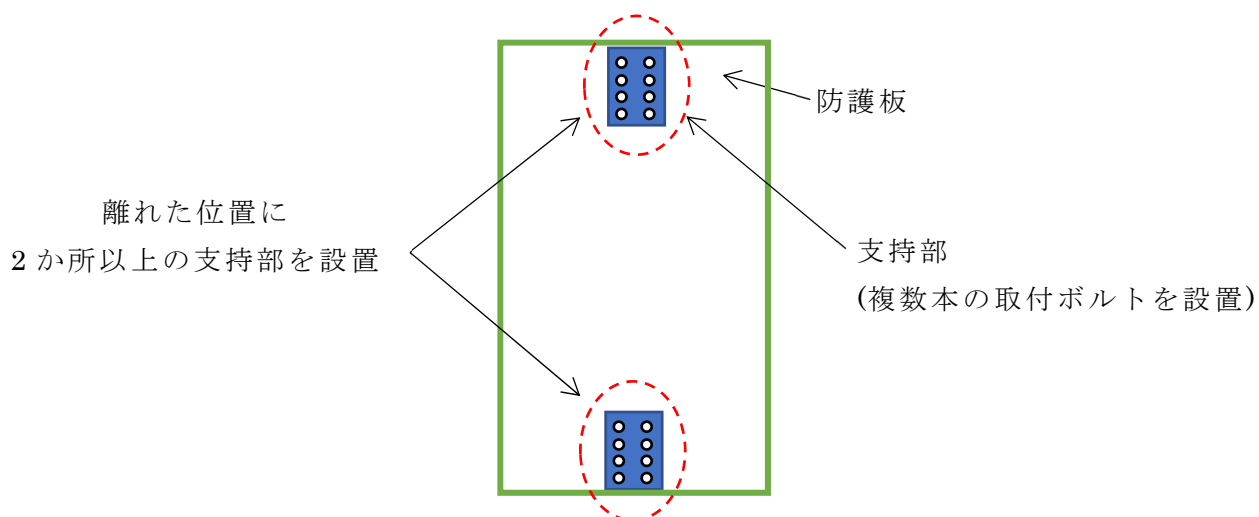
防護板(鋼材)は取付ボルトにより支持架構に接続させ、飛来物の衝突により取付ボルトへ作用する荷重の種類、支持部の配置および支持部の耐力を踏まえ、取付ボルトの全数破断による防護板（鋼材）の脱落を防止することにより、冷却塔への波及的影響を防止する。支持部（取付ボルト）の設計方針を以下に示す。

- ・ 支持部は、第2-20 図に示すように防護板 1 枚あたり 2 か所以上を互いに離れた位置に設ける設計とすることにより、支持部近傍に竜巻飛来物が衝突した場合においても、取付ボルトの全数破断を防止し、防護板の脱落を防止する。
- ・ 竜巻飛来物の衝突により、防護板の内側への回転を防止しその場に留まるよう、第2-22 図に示す通り防護板を支持部に対し外側から取り付ける。

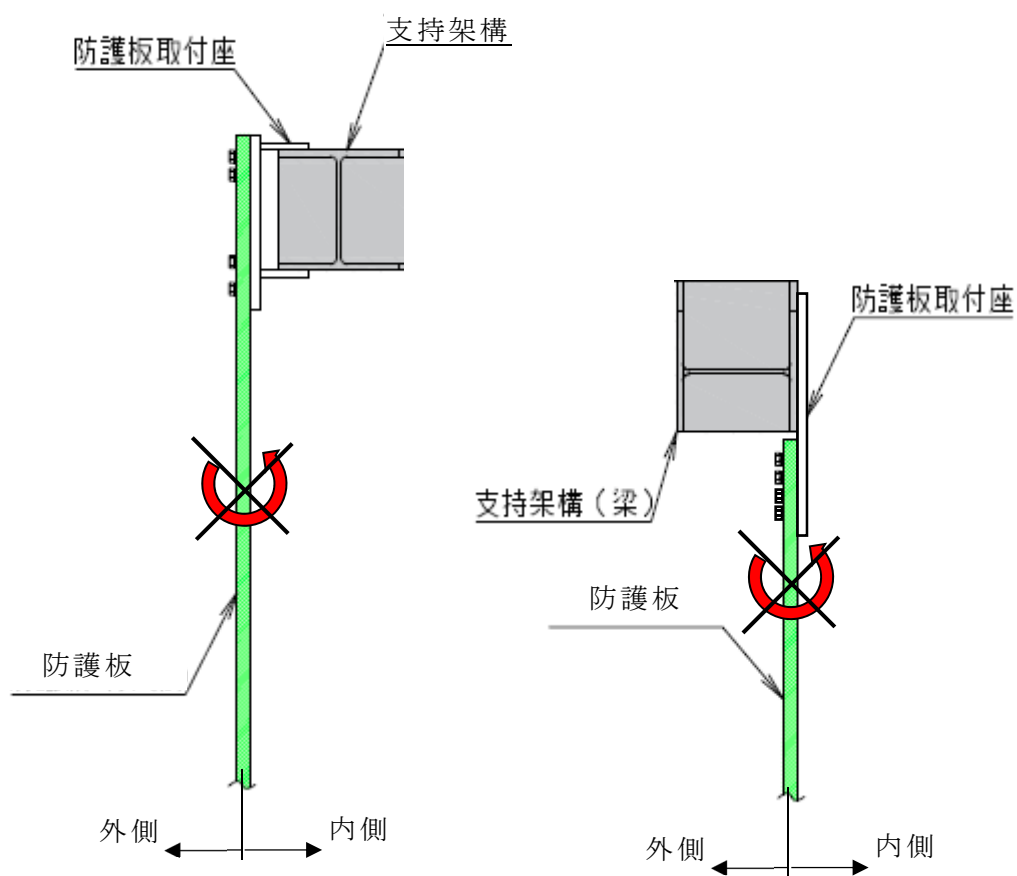
このとき、支持部（取付ボルト）に関する諸元は以下の考え方により設定する。

- ・ 「2.3 (1) 防護板(鋼材)の構造」に示す通り、防護板による防護範囲を決定したのち、製作及び施工を考慮し、防護板の割付を設定する。
- ・ 支持辺は可能な限り確保する方針とし、防護板割付と支持架構の位置から、防護板の支持辺を決定する。
- ・ A4B 飛来物防護ネットでは、支持架構には防護ネットの取付部等が設置され、防護板支持部の設置スペースが制限される。このため、複数本の取付ボルトを配置した支持部を設ける。このとき、支持部 1 か所あたりの取付ボルト本数は、ボルト穴間のせん断破壊を防止できるボルト間隔及び取り付ける支持架構部材寸法を考慮し、支持架構の梁継手の取付ボルト配置を参考として、取付ボルト(M24)8 本配置を基本とする。
- ・ 衝突事象を考慮した作用荷重に対し、取付ボルト本数及び間隔を設定する。設置スペースの制限の観点から十分な取付ボルト本数が確保できない場合は取付ボルトサイズを大きくする。
- ・ 取付ボルトは、防護板（鋼材）に自重、積雪荷重、風圧力による荷重が作

用したとしても，取付ボルト1本で支えることが可能であり，防護板（鋼材）の脱落を防止できるが，更に防護板（鋼材）が設置位置から動かないよう，防護板（鋼材）の回転を拘束できる構造とする。



第2-20図 支持部の配置

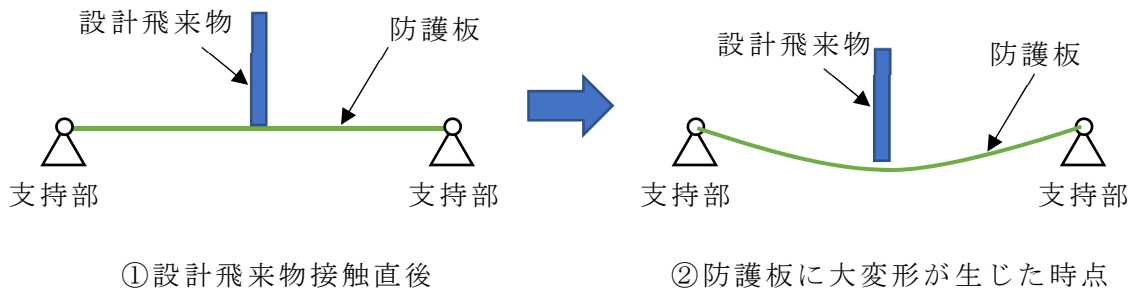


防護板を支持架構（または、防護板取付座）の外側に取り付けることで、防護板の回転を防止する。

第 2 -21 図 防護板と支持架構の位置関係

(b) 設計飛来物衝突時の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数

防護板支持部への作用荷重は、防護板への設計飛来物衝突の進展に応じた衝突荷重として算定する。具体的には、①設計飛来物接触直後、②防護板に大変形が生じた時点 を考慮する。第 2-22 図に、防護板への設計飛来物の衝突の進展イメージを示す。



第 2-22 図 防護板への設計飛来物衝突の進展

イ. 設計飛来物接触直後の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数

第 2-23 図に示す通り、設計飛来物の衝突荷重により防護板にせん断荷重が作用し、支持部取付ボルトには、その反力として引張荷重が作用する。

設計飛来物接触直後の支持部への作用荷重は、設計飛来物と被衝突体の接触時間を設定し、設計飛来物の衝突前の運動量と衝突荷重による力積が等しいとして算定した静的な荷重として求める。荷重の計算式を以下に示す。

※設計飛来物による荷重の算出式

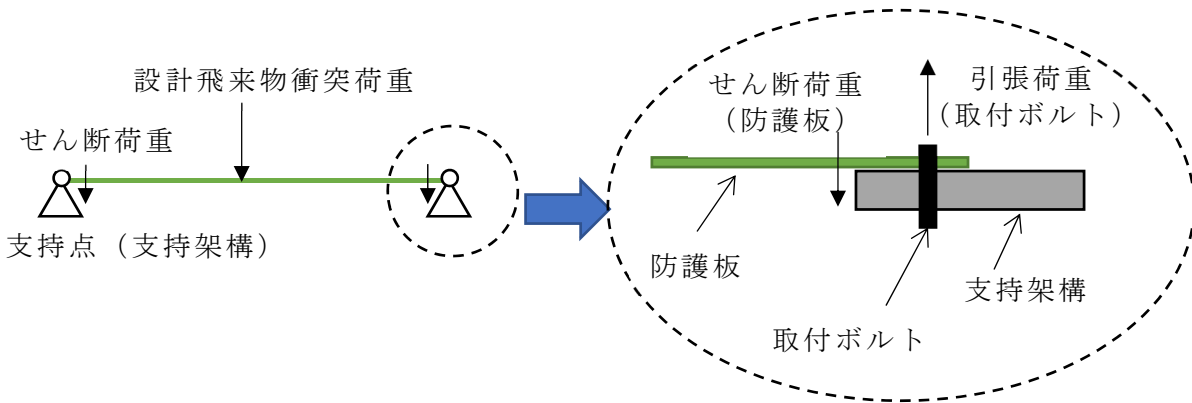
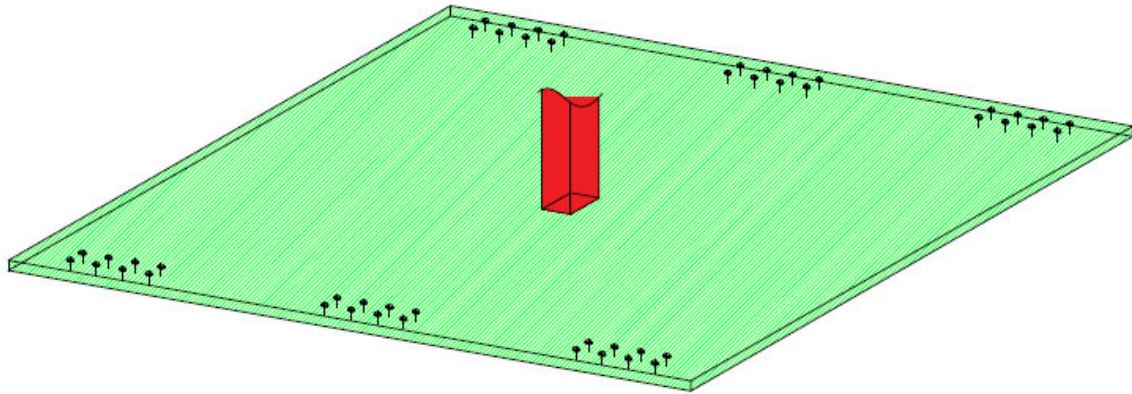
$$W_M = F_M = m \cdot V/t = m \cdot V^2/L_t$$

M (設計飛来物質量) : 135kg

V (設計飛来物の衝突速度) : 51m/s (水平方向)

L_t (設計飛来物の最も短い辺の長さ) : 0.2m

上記の算出式により、支持部への作用荷重は 1756 kN と算定される。この荷重に対し必要となる支持部設置箇所 (取付ボルト本数) は、M24 の取付ボルトで 6 本となる。



第 2 -23 図 設計飛来物接触直後の荷重

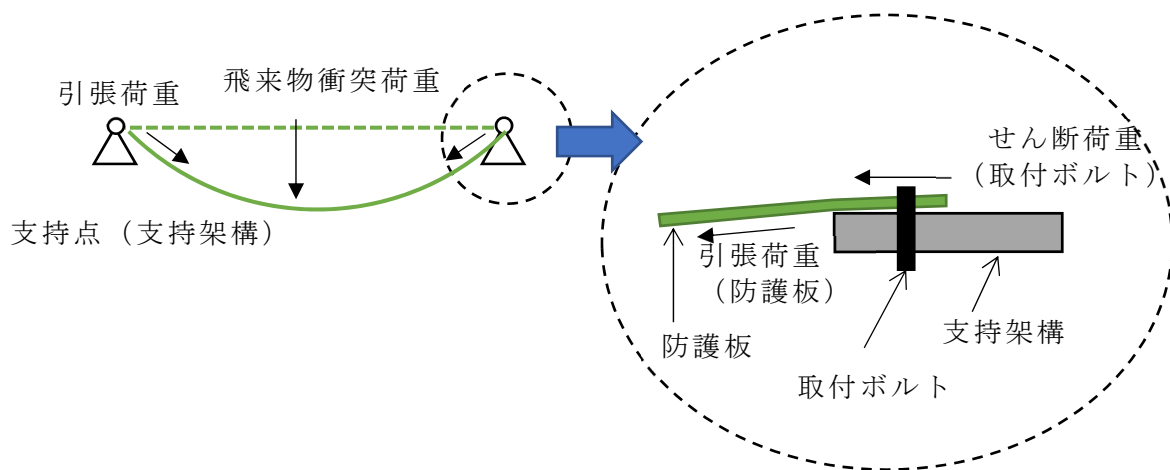
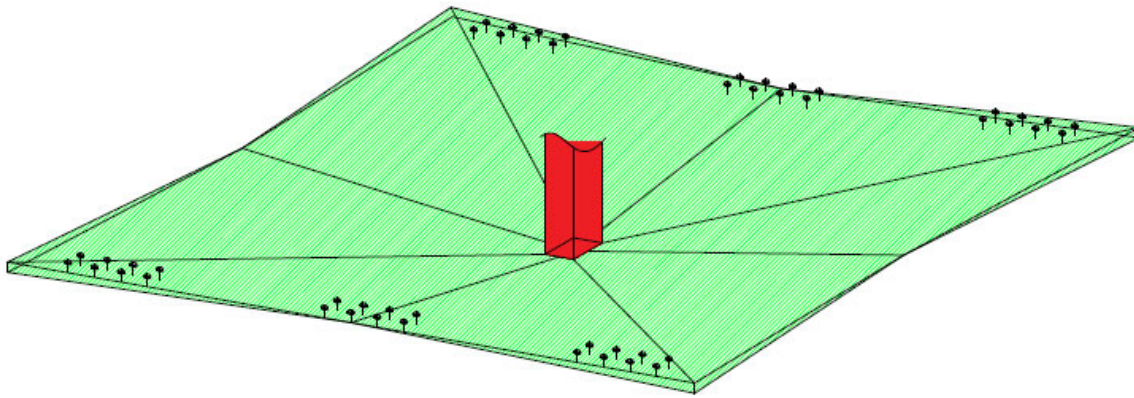
ロ. 防護板に大変形が生じた時点の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数

設計飛来物により防護板の大変形が生じた時点では、第2-24図に示すように、変形の進展により防護板に発生する荷重は引張荷重が顕著となる。このため、防護板の支持部は防護板の引張荷重を負担し、支持部の取付ボルトには、せん断荷重が作用するので、防護板に発生する引張荷重に耐えるよう支持部の設計を行う。

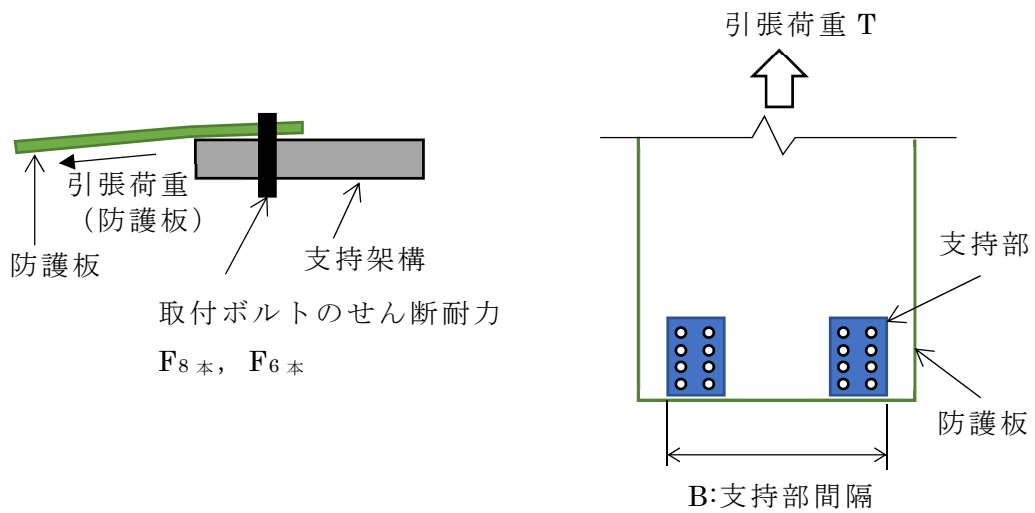
防護板の変形が進展し引張荷重が増加することにより、防護板断面は降伏に至る。防護板断面が降伏すると引張荷重の増加は緩やかとなる。そこで、支持部に作用する荷重は、防護板に降伏が生じる時の引張荷重により算定する。

ここで、支持部1か所あたりの取付ボルト本数は、ボルト穴間のせん断破壊を防止できるボルト間隔及び取り付ける支持架構部材寸法を考慮し、支持架構の梁継手の取付ボルト配置を参考として、M24ボルトを8本配置することを基本とする。なお、支持架構部材に対し2方向から防護ネットまたは防護板が取り付け、内側にはブレス材が取り付く場合など、支持部における取付ボルト配置が制約される場合は、6本配置を採用する。

第2-25図に示すように、支持部間隔（2か所の支持部の外寸幅）分の防護板が降伏する引張荷重に対して、取付ボルトのせん断耐力が上回るよう、支持部の間隔を定める。具体的には、取付ボルト本数8本の支持部間隔は1.7m、取付ボルト本数6本の支持部間隔は1.3mを原則とする。本設定は、支持辺数に関わらず共通となる。



第 2-24 図 防護板に大変形が生じた時点の支持部への作用荷重



防護板に作用する引張荷重 $T = S_y \times t \times B$

取付ボルトの耐荷重 $F = qu \times n$

$F_{8本} = qu \times 16$ (本), $F_{6本} = qu \times 12$ (本)

$B_{8本} = F_{8本} / (S_y \times t) = 1.7m$

$B_{6本} = F_{6本} / (S_y \times t) = 1.3m$

記号	定義	単位
S_y	防護板の設計降伏点	MPa
t	防護板の厚さ	mm
B	支持部間隔 (2か所の支持部の外寸幅)	mm
n	2か所の支持部のボルト本数	本
qu	取付ボルト1本あたりのせん断耐力	N

第2-25図 防護板支持部間隔の設定

ハ. 取付ボルト本数および支持部間隔の設定

支持部に作用する荷重から求められた取付ボルト本数および支持部間隔を第2-4表にまとめる。取付ボルトの本数および支持部間隔は第2-4表に示す通り、防護板に大変形が生じた時点の作用荷重にて決定される。

第2-4表 支持部に作用する荷重から求められた取付ボルト本数および支持部間隔

支持部に作用する荷重	取付ボルト径	支持部1か所の取付ボルト本数	支持部間隔	取付ボルト総数(本)
設計飛来物接触直後の作用荷重	M24	—	—	6
防護板に大変形が作用した時点の作用荷重	M24	8本	1.7m	16本以上※
		6本	1.3m	12本以上※

※支持部は、防護板1枚あたり2か所以上を互いに離れた位置に設ける。

なお、取付ボルト配置が制約される場合は、M30もしくはM33の取付ボルト径を使用することで、同等以上の強度を確保する。防護板に大変形が作用した時点の作用荷重を負担する取付ボルト本数が配置の制約上、⑥及び⑧防護板では最小で10本、⑦防護板では8本となるため、それぞれ取付ボルト径をM30、M33にサイズアップさせることで、M24の16本配置と同等の強度を確保している。防護板の種類毎の取付ボルト耐荷重を第2-5表に示す。

第2-5表 防護板の種類毎の取付ボルト耐荷重

防護板の種類	取付ボルト径	取付ボルト本数	取付ボルト耐荷重 F
基本ケース	M24	16本	2,800 kN (175 kN×16本)
⑥及び⑧防護板	M30	10本	2,790 kN (279 kN×10本)
⑦防護板	M33	8本	2,760 kN (345 kN×8本)

二. はしあき寸法の設定

はしあき部の破断強度が，取付ボルトのせん断強度を上回るようにはしあき寸法を設定する。具体的には，取付ボルトのせん断耐力以上となる限界はしあき寸法 e を算出し，はしあき寸法 L が，限界はしあき寸法 e を上回ることを確認する。

はしあき部の許容せん断荷重 $Q >$ 取付ボルトのせん断耐力 q

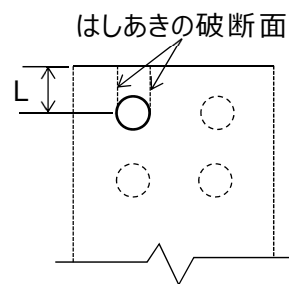
$$\Rightarrow 2 \times e \times t \times Su / \sqrt{3} > q$$

$$\Rightarrow e > q / (2 \times t \times Su / \sqrt{3})$$

限界はしあき寸法 e とはしあき寸法の最小値 L の比較結果を第 2-6 表に示す。第 2-6 表より，はしあき寸法 L が，限界はしあき寸法 e を上回る。

第 2-6 表 はしあき寸法の確認結果

取付ボルト径	限界はしあき寸法 e mm	はしあき寸法の最小値 L mm
M24	33	50
M30	52	73.5
M33	64	70



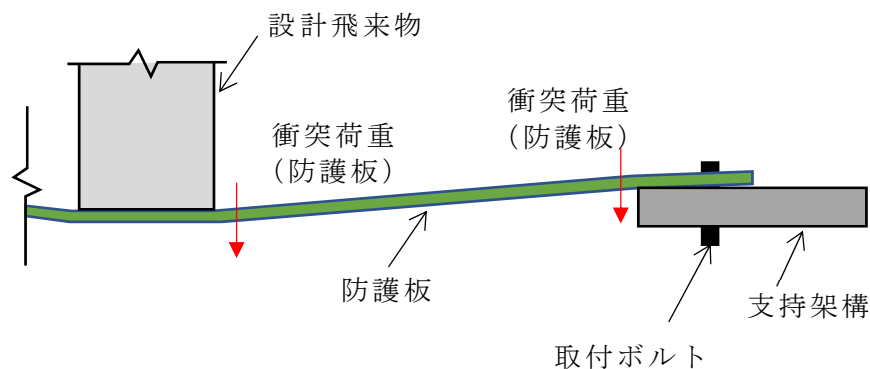
第 2-26 図 はしあきの破断面

(3) 防護板（鋼材）の評価

「(2) 防護板（鋼材）の設計」を踏まえて、防護板（鋼材）は、防護板の貫通評価と支持部である取付ボルトの破断評価を行う。

a. 防護板の評価

貫通評価については、BRL 式にて必要厚さを算出し許容限界板厚を設定し、最小板厚の防護板（鋼板）の設計板厚と比較し、許容限界板厚を上回っていることを確認する。なお、設計飛来物が衝突した際、防護板の衝突部近傍では衝突荷重（せん断および曲げ）が作用するが、防護板の厚さは BRL 式により算出される貫通限界厚さ以上としており、破断は生じない。ここで支持部近くの防護板にも衝突荷重が作用するが、支持部を複数設けているため、支持部近くの防護板に作用する衝突荷重（せん断および曲げ）は分散し、飛来物衝突部近傍に作用する断荷重より小さくなる。このため、支持部近くの防護板においても防護板の破断は生じない。



第 2-27 図 防護板に作用する荷重

b. 支持部（取付ボルト）の評価

静荷重を用いて取付ボルトの強度設計をしているが、飛来物による衝突現象により支持部に作用する荷重は動的な荷重であることから、支持部のボルトに作用する動的荷重を評価可能な解析コード（LS-DYNA）を用いて、取付ボルト全数が破断しないことを確認している。

(a) 評価対象の選定

「ハ. 取付ボルト本数および支持部間隔の設定」に記載の通り，支持部（取付ボルト）の本数および支持間隔は，防護板に大変形が生じた時点の作用荷重から求められる取付ボルト本数の方が設計飛来物接触直後の作用荷重に比べて支配的である。このため，防護板に大変形が生じた状態が取付ボルト全体に対して厳しい状態であることから，この状態を想定して評価対象を選定する。

このとき，防護板に大変形が生じた時点の作用荷重は，防護板のたわみが大きいほど顕著となることから，支持方法（1 辺で支持又は相対する 2 辺以上で支持）及び飛来物の速度ごとに防護板のたわみやすさを考慮して，評価対象の防護板（鋼材）を選定する。具体的には，防護板の支持スパン（ l ）の 3 乗と断面二次モーメント（ I ）の関係から求まるたわみ易さ（ l^3/I ）が大きくなるものを選定している。なお，支持部全体の取付ボルト強度が同等となる様な設計としていることから，取付ボルトのサイズ及び本数が変わっても，防護板の評価対象の選定に影響を与えない（第 2-5 表参照）。

また，設計飛来物の衝突位置は，衝突部のたわみ量が大きく，全体に配置された取付ボルトへの負担が等しくなるよう防護板中央部とする。

防護板の評価対象を第 2-7 表に示す。

第 2-7 表 防護板評価対象

防護板 支持方法	設計飛来物 速度	防護板 の種類	たわみ易さ l^3/I	代表となる 防護板
1 辺で支持	51 m/s (水平衝突)	⑦防護板	20	○ 第 2-28 図
		⑪防護板	1	—
		⑥防護板	1	—
		⑧防護板	1	—
相対する 2 辺以上で支 持	34 m/s (鉛直衝突)	⑫防護板	2000	○ 第 2-29 図
		⑬防護板	700	—
	51 m/s (水平衝突)	⑮防護板	500,000	○ 第 2-30 図
		⑭防護板	6,000	—

(b) 支持部の評価条件

設計飛来物の衝突による防護板（鋼材）の変形に伴い、取付ボルトに作用する荷重は大きくなり、塑性変形若しくは破断が生じうる。そのため、支持部の評価においては、取付ボルトごとの剛性及び負担する荷重割合が時々刻々と変化すること踏まえ、取付ボルトをモデル化した FEM 解析 (LS-DYNA) にて取付ボルトの健全性を確認する。

解析においては、取付ボルトが防護板（鋼材）の変形により荷重を受けること及び取付ボルトの塑性変形及び破断を評価する必要があるため、防護板（鋼材）及び取付ボルトは弾塑性を考慮したモデルとし、破断と判定した取付ボルトは、破断以降は荷重を負担しないモデルとする。

取付ボルトの破断評価方法は、水平 2 方向のせん断応力及び鉛直方向の軸力について、破断荷重との比率を算出し、各成分の二乗和が 1.0 以上となれば破断したものと判定する。

本評価においては、以下の設定とすることで、評価の保守性を確保する。

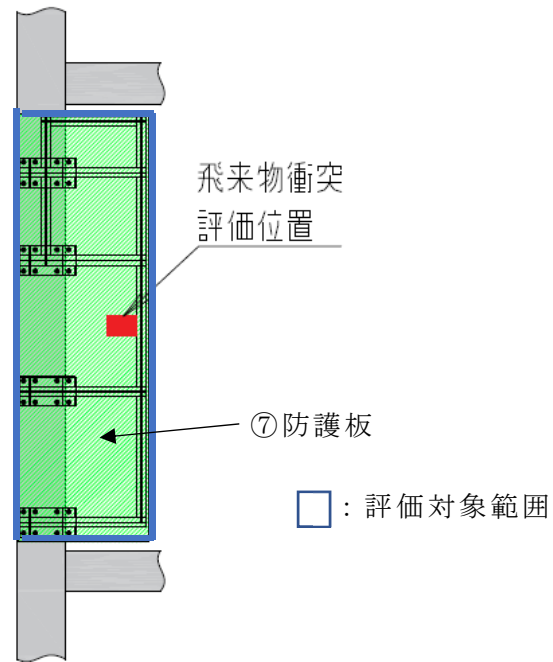
- ・取付ボルトの破断荷重には、破断荷重の実力値に十分な裕度を考慮した JIS や鋼構造設計規準の規格値を用いることで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。
- ・衝突させる設計飛来物は破断ひずみを超えても要素を消去せず、破断ひずみ以上に変形できるモデルとし、防護板（鋼材）の変形を大きくすることで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。
- ・一般的に鋼材は、降伏（塑性変形）するとひずみ硬化が発生し、耐力が

増加する。このとき、ひずみ速度が大きいと耐力の増加も大きくなるが、取付ボルトの破断判定においてはひずみ硬化における速度寄与を考慮しないことで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。

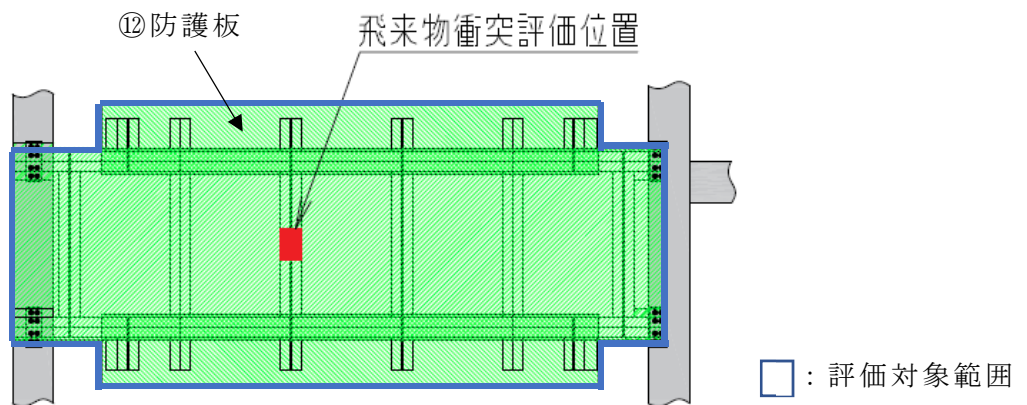
(c) 許容限界

防護板は設計飛来物の有するエネルギーを防護板及び取付ボルトの変形により吸収することで設計飛来物の貫通を防止する設計としているため、防護板（鋼材）の脱落により安全冷却水 B 冷却塔への波及影響を与えないことを確認する。取付ボルトは、防護板（鋼材）に自重、積雪荷重、風圧力による荷重が作用したとしても、取付ボルト 1 本で支えることで防護板（鋼材）の脱落を防止し、冷却塔への波及的影響を防止できるが、防護板（鋼材）が設置位置から動かないよう、面内方向の回転を拘束するため、支持部の評価の許容限界としては、防護板（鋼材）を固定する取付ボルトが 2 本以上破断せずに残ることとする。

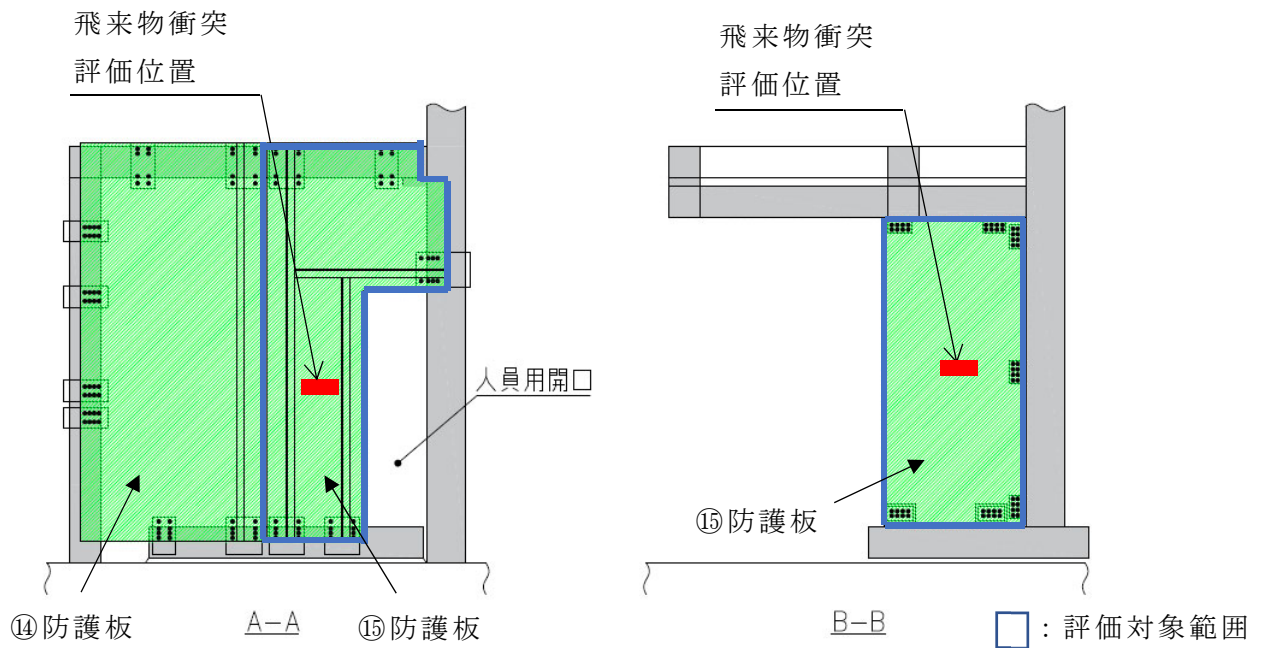
なお、残存した取付ボルトの一部は塑性変形しているおそれがあるが、第 2-31 図に示す応力-ひずみ線図に示すとおり、取付ボルトに作用する荷重が除荷されると、残留ひずみは残るものの、残存した取付ボルトは構造強度上の強度部材として期待ができる。



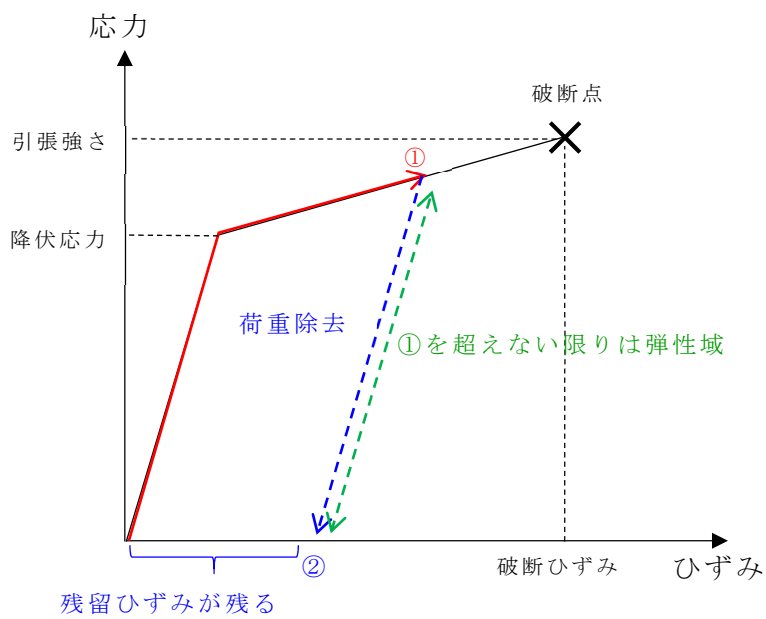
第 2 -28 図 1 辺で支持する防護板 設計飛来物衝突評価(水平)位置



第 2 -29 図 相対する 2 辺以上で支持する防護板
設計飛来物衝突評価(鉛直)位置



第 2-30 図 相対する 2 辺以上で支持する防護板
設計飛来物衝突評価(水平)位置



第 2-31 図 取付ボルトの応力-ひずみ線図

d. 防護板支持部評価モデルの妥当性

防護板支持部評価のモデルは、設計飛来物衝突による防護板の変形や取付ボルトに作用する荷重を適切に評価できるモデルとする必要がある。

防護板の変形は電中研の試験結果との比較により、解析にて算出した飛来物衝突時の防護板のひずみ量が妥当であることを確認している。

また、取付ボルトについては、実際に使用されるボルトサイズを適切にモデル化するとともに、その材料モデル（降伏荷重、破断荷重）を JIS や鋼構造設計基準の規格値を用いて適切にモデル化している。その際、ボルトの材料モデルに規格値を採用することは、実物よりも破断荷重を小さく設定することになるため、破断が発生し易い条件となっており、破断に対して保守的な設定であると言える。

一方、ボルトが早く降伏することにより、同じ荷重が作用した時のボルトのひずみ量や吸収エネルギーが実物より大きいため、非保守側の評価となるものの、ボルトのひずみや吸収エネルギーは防護板のひずみや吸収エネルギーと比べて小さいことから、影響は小さい。

以上のことから、防護板支持部評価のモデルは、防護板及び取付ボルトともに適切にモデル化されており、防護板の脱落の有無を判断するために妥当なモデルである。

2.4 支持架構の構造

支持架構は、柱、はり及びブレースによって構成されるラーメン・トラス構造であり、溶接又はボルトにより接合される鉄骨構造物である。柱脚は、鉄筋コンクリート製の杭基礎により支持された、鉄筋コンクリート製の基礎に埋設して緊結する。支持架構の構造概要を第2-32図に示す。

支持架構の特徴として、地震時の支持架構における転倒モーメントの低減を図るために座屈拘束ブレースを採用している。

座屈拘束ブレースは、ブレース材として働く中心鋼材を鋼管とコンクリート(モルタル)で拘束し、圧縮でも座屈させずに、引張と同様に、安定的に塑性化するようにしたブレースである。設計竜巻の風圧力による荷重や小地震に対して弾性範囲内で機能し、基準地震動 S_s 相当の大地震時に座屈拘束ブレースが安定的に塑性化することにより、地震によるエネルギーを消散させ支持架構に大きな減衰を付加することで、転倒モーメントを低減させることが可能となる。

座屈拘束ブレースは、日本建築センターに一般評定の申し込みを行い妥当なものと評定されている。

座屈拘束ブレースの構造概要及び配置並びに評定書を第2-33～35図に示す。

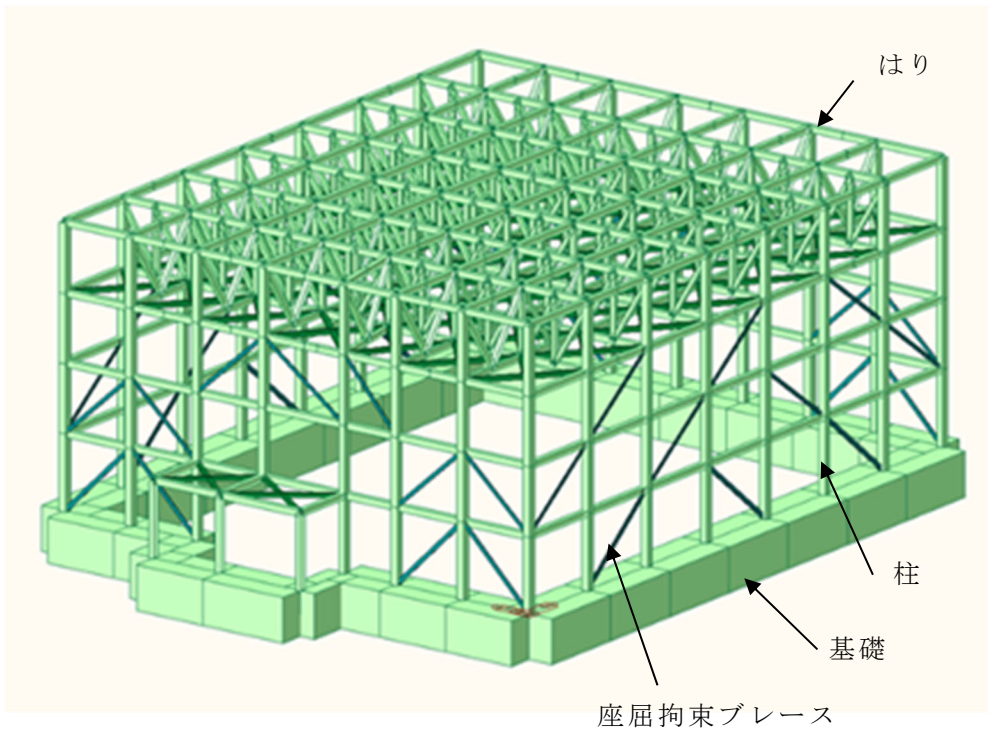
座屈拘束ブレースが設置されている箇所の防護ネットは、2.2項に示したとおり座屈拘束ブレースの内側に防護ネット(支持架構に直接設置・内張り)を設置することから、座屈拘束ブレースによる影響を受けることなく飛来物を捕捉できる。

座屈拘束ブレースに飛来物が衝突した場合の影響については下記のとおりである。

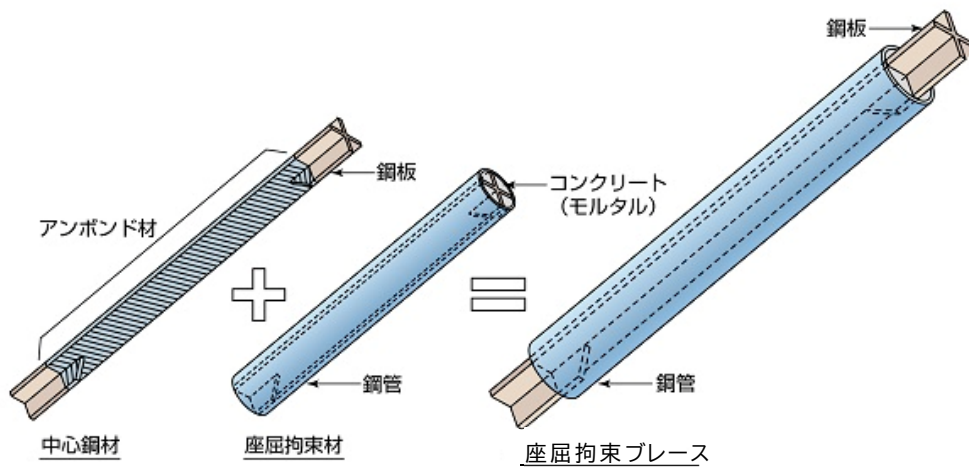
- 座屈拘束ブレースは鋼管(厚さ約 6mm～約 7mm)とその内側にモルタルと中心鋼材(厚さ約 32mm)で構成されていることから、飛来物は座屈拘束ブレースの中心鋼材を貫通しない。
- 飛来物衝突により鋼管が破損し、内部のモルタルが飛散した場合でも 40mm を超える大きさの破片は防護ネットを通過することはない。
- 40mm 以下の破片は補足説明資料「外竜巻 20 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書に関する砂利等の極小飛来物による竜巻防護対象施設への影響について」に示す砂利等の極小飛来物に包絡できることから安全冷却水 B 冷却塔に対し貫通等は生じない。
- 設計荷重(竜巻)に対する座屈拘束ブレースの荷重負担状況から、飛来物衝突によって座屈拘束ブレースが破損した場合でも支持架構は倒壊しない。

以上のことから、安全冷却水 B 冷却塔へ影響を与えない。

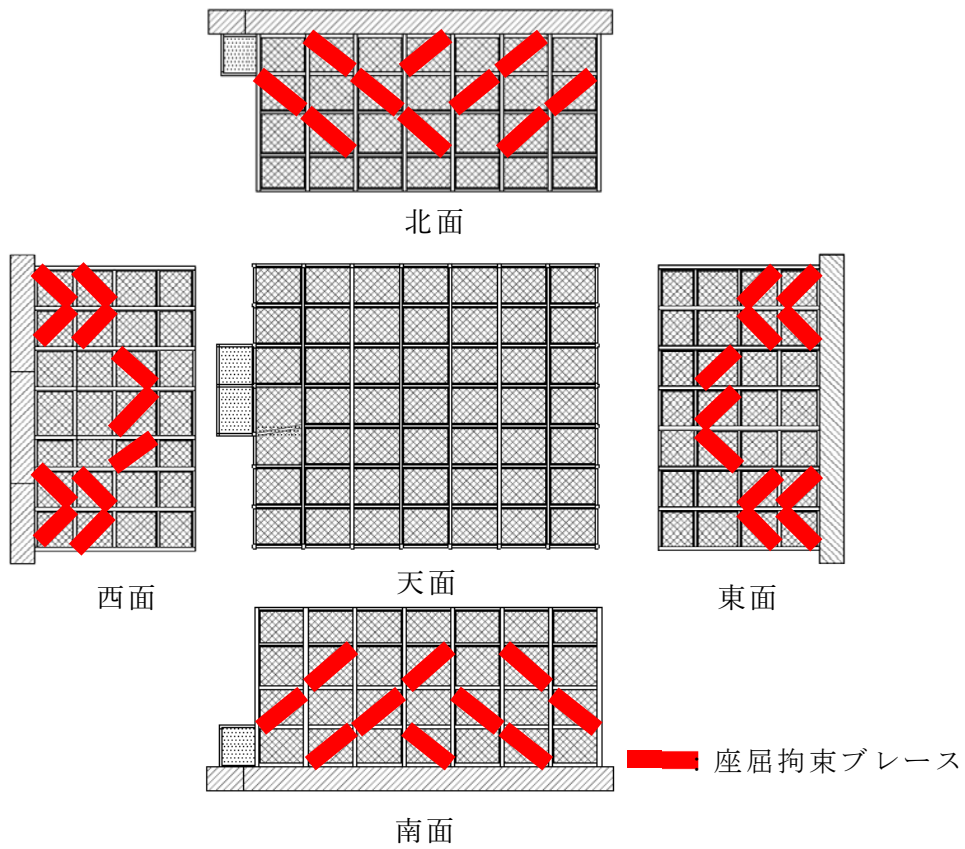
また、支持架構への飛来物衝突評価において、支持架構全体で負担する荷重が小さく座屈拘束ブレースに生じる応力が弾性域で収まることから、座屈拘束ブレースは通常のブレースと同様に弾性体としてモデル化して評価を行っている。



第 2 -32 図 支持架構の構造概要



第 2 -33 図 座屈拘束ブレースの構造概要



第 2 -34 図 座屈拘束ブレースの配置概要



BCJ 評定-ST0126-05

評 定 書 (工法等)

申込者 新日鉄住金エンジニアリング株式会社
建築・鋼構造事業部長 村上 信行 様

件 名 制振用アンボンドブレース

平成 30 年 10 月 19 日付けで評定の申し込みのあった本件については、下記のとおり評定申込事項に係る技術的基準に適合しているものと評定します。

なお、本評定書の有効期間は、本評定日より平成 32 年 10 月 14 日までとします。

平成 30 年 11 月 16 日



記

1. 評定申込事項

本評定は、平成 12 年建設省告示第 1461 号の制振部材、平成 17 年国土交通省告示第 631 号のエネルギー吸収部材に係る評定の申し込みがなされたものである。

2. 評定の区分

変更

3. 評定をした工法等

別紙 1 のとおり

4. 評定の内容

(1) 方法

本評定は、鋼構造評定委員会（委員長：田淵基嗣）において、申込者から提出された資料に基づき審査を行ったものである。

(2) 審査内容

別紙 2 のとおり

5. 備考

本評定は、設計・施工・品質管理等が適切に行われることを前提に、提出された資料に基づいて行ったものであり、個々の工事等の実施過程及び実施結果の適切性は評定の範囲に含まれていない。

第 2-35 図 座屈拘束ブレース 評定書

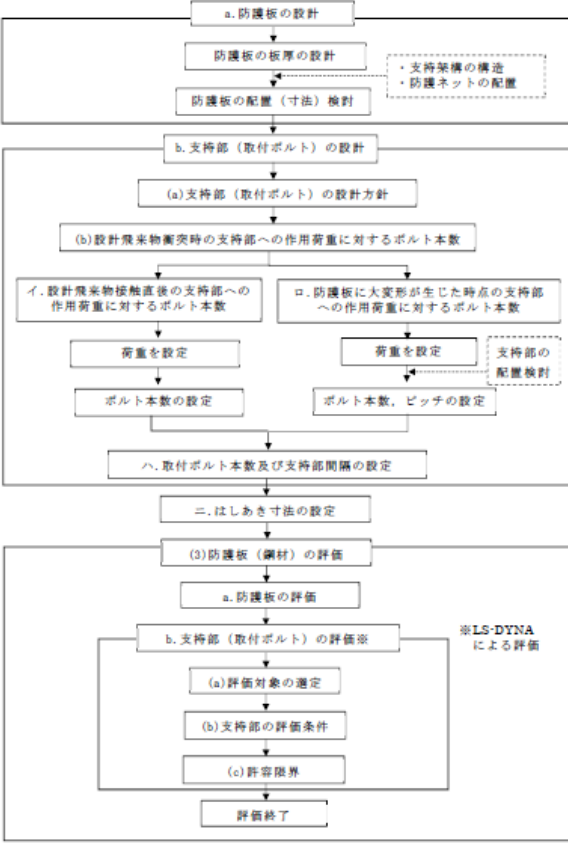
3. 再処理事業変更許可申請書の設計方針との整合性について

再処理事業変更許可申請書における設計方針との整合性について第3-1表のとおり整理した。

第3-1表 再処理事業変更許可申請書の設計方針との整合性について

再処理事業変更許可申請書 記載事項	対応
<p>9.11 竜巻防護対策設備</p> <p>9.11.2 設計方針</p> <p>竜巻防護対策設備の設計に際しては、竜巻防護対象施設が安全機能を損なわないよう、次のような方針で設計する。</p> <p>(2) 飛来物防護ネット</p> <p>a. 設計飛来物の運動エネルギーを吸収することができる設計とする。</p> <p>b. 設計飛来物の通過を防止できる設計とする。</p> <p>c. 設計荷重(竜巻)に対して、支持架構の構造健全性を維持できる設計とする。</p> <p>d. 冷却塔の冷却性能に影響を与えない設計とする。</p> <p>e. 地震、火山の影響及び外部火災により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。</p>	<p>a. b. c. 項については、添付書類「VI-1-1-1-2-4-2-2-1 飛来物防護ネットの強度計算書」のとおり、防護ネットにより飛来物の運動エネルギーを吸収し、通過を防止することができること、また、設計荷重(竜巻)に対して、支持架構の構造健全性を維持できることを確認している。</p> <p>d. 項については、防護板ではなく防護ネットを採用することにより冷却塔の冷却空気の通過を阻害しない構造となっている。防護ネットによる圧力損失が冷却塔のファンの静圧内に収まっていることを確認している。</p> <p>e. 項の地震については、添付書類「IV-2-2-2-1-2-2 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の耐震計算書」のとおり、竜巻防護対象施設である冷却塔に波及的影響を及ぼさないことを確認している。</p> <p>火山の影響については、添付書類「VI-1-1-1-4-4-2-1 飛来物防護ネットの強度計算書」に示すとおり、火山の影響により支持架構の構造健全性を維持できることを確認している。</p> <p>外部火災については、熱影響がある支持架構の柱等に耐火塗装を施すことにより、支持架構の構造健全性を維持できる。</p>

参考

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
<p>(2) 防護板(鋼材)の設計</p> <p>防護板(鋼材)は、飛来物の衝突に対して、貫通させない設計とするとともに脱落を防止する設計としている。</p> <p>⇒①</p> <p>防護板(鋼材)の設計フローを第2-19図に示す。</p> <p>⇒②</p>  <p>第2-19図 防護板(鋼材)の設計フロー</p>	<p>3. 要求機能及び性能目標</p> <p>(6) 竜巻防護対策設備</p> <p>b. 要求機能</p> <p>(b) 飛来物防護ネット</p> <p>イ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)</p> <p>冷却塔周りに設置する飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔 B)は、防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構で構成し、冷却塔の冷却機能に影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>また、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能なものとし、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。</p> <p>(中略)</p> <p>飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)のうち防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板本体を貫通せず、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p> <p>(中略)</p> <p>4. 機能設計</p> <p>(6) 竜巻防護対策設備</p> <p>a. 飛来物防護板</p> <p>飛来物防護板の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。</p>	<p>備考</p>

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
<p>a. 防護板の設計</p> <p>防護板は、設計飛来物の貫通を防止できる板厚を有する設計とする。</p> <p>⇒③</p> <p>防護板を取付ボルトで支持架構に接続し、設計飛来物の荷重に対して防護板が脱落しないように、取付ボルト孔周辺の防護板の破断が取付ボルトの破断よりも先行しないような設計とする。</p> <p>⇒④</p> <p>b. 支持部（取付ボルト）の設計</p> <p>(a)支持部（取付ボルト）の設計方針</p> <p>防護板（鋼材）は取付ボルトにより支持架構に接続させ、飛来物の衝突により取付ボルトへ作用する荷重の種類、支持部の配置および支持部の耐力を踏まえ、取付ボルトの全数破断による防護板（鋼材）の脱落を防止することにより、冷却塔への波及的影響を防止する。支持部（取付ボルト）の設計方針を以下に示す。</p> <p>⇒⑤</p> <p>・支持部は、第2-20図に示すように防護板1枚あたり2か所以上を互いに離れた位置に設ける設計とすることにより、支持部近傍に竜巻飛来物が衝突した場合においても、取付ボルトの全数破断を防止し、防護板の脱落を防止する。</p> <p>⇒⑥</p>	<p>b. 飛来物防護ネット</p> <p>飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)は防護ネット、防護板（鋼材）及び支持架構で構成し、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(5)c. 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。</p> <p>飛来物防護ネットは、冷却塔の空気による熱交換を可能とするため、空気の流出入を阻害しない防護ネットを主体構造とすることで、冷却能力に影響を与えない設計とする。</p> <p>(中略)</p> <p>飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)のうち防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、防護ネットが設置できない箇所に設置し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通できない設計とする。また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護板(鋼材)の脱落を生じない設計とする。</p> <p>5. 構造設計及び構造概要</p> <p>5.1 構造設計</p> <p>(6) 竜巻防護対策設備</p> <p>竜巻防護対策設備は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1. (6)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、竜巻防護対策設備を構成する要素間での荷重の受け渡し、要素ごとの設計及び設計結果の全体設計へ反映を行う。</p> <p>竜巻防護対策設備の設計フローを第5.1-1図に示す。</p>	

再処理施設

備考

外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3

・竜巻飛来物の衝突により、防護板の内側への回転を防止し
その場に留まるよう、第2-22図に示す通り防護板を支持部
に対し外側から取り付ける。

⇒⑦

このとき、支持部（取付ボルト）に関する諸元は以下の考
え方により設定する。

・「2.3 (1) 防護板(鋼材)の構造」に示す通り、防護板による
防護範囲を決定したのち、製作及び施工を考慮し、防護板の
割付を設定する。

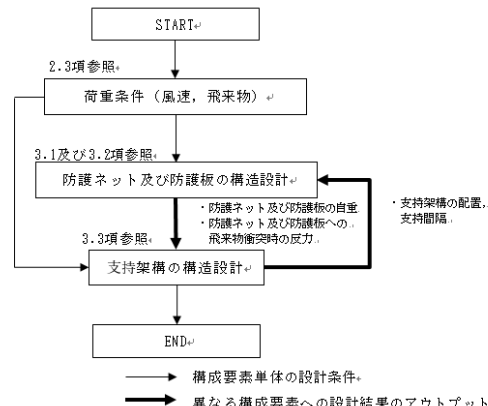
⇒⑧

・支持辺は可能な限り確保する方針とし、防護板割付と支持
架構の位置から、防護板の支持辺を決定する。

⇒⑨

・ A4B 飛来物防護ネットでは、支持架構には防護ネットの取
付部等が設置され、防護板支持部の設置スペースが制限さ
れる。このため、複数本の取付ボルトを配置した支持部を設
ける。このとき、支持部1か所あたりの取付ボルト本数は、
ボルト穴間のせん断破壊を防止できるボルト間隔及び取り
付ける支持架構部材寸法を考慮し、支持架構の梁継手の取
付ボルト配置を参考として、取付ボルト(M24)8本配置を基
本とする。

⇒⑩



第5.1-1図 竜巻防護対策設備の設計フロー

竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針を以下に示す。

(中略)

b. 防護板(鋼材)の構造設計

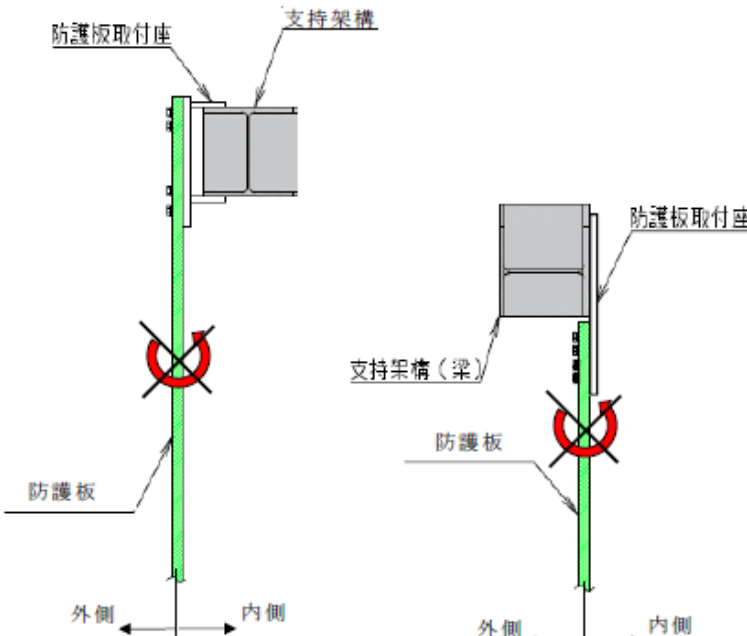
防護板(鋼材)は、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物の防護板(鋼材)への衝突に対し、防護板(鋼材)が貫通することなく支持架構に荷重を伝達させる。また、防護板(鋼材)は取付ボルトにより支持架構に接続し、飛来物の衝突によって脱落することのない設計とする。

防護板の設計フローを第5.1-3図に示す。

①防護板(鋼材)の設計

②設計フロー

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
<p>・衝突事象を考慮した作用荷重に対し、取付ボルト本数及び間隔を設定する。設置スペースの制限の観点から十分な取付ボルト本数が確保できない場合は取付ボルトサイズを大きくする。</p> <p>⇒⑪</p> <p>・取付ボルトは、防護板（鋼材）に自重、積雪荷重、風圧力による荷重が作用したとしても、取付ボルト1本で支えることが可能であり、防護板（鋼材）の脱落を防止できるが、更に防護板（鋼材）が設置位置から動かないよう、防護板（鋼材）の回転を拘束できる構造とする。</p> <p>⇒⑫及び評価の許容限界へ</p>	<p style="text-align: center;">第 5.1-3 図 防護板の設計フロー</p> <p>防護板（鋼材）は、鋼板で構成し、飛来物の衝突に対し防護板（鋼材）が貫通することがないように部材厚を有する設計とする。</p> <p>防護板（鋼材）は取付ボルトにより支持架構に接続させ、取付ボルト孔周辺の防護板の破断が取付ボルトの破断よりも先行しない強度を有し、かつ取付ボルトの破断により脱落することのない設計とする。取付ボルトは飛来物の衝突により取付ボルトへ作用する荷重の種類、支持部の配置及び支持部の耐力を考慮して取付ボルト本数を設定し、飛来物が衝突した際に、その近傍の取付ボルトが破断することが想定されるため、取付ボルトは互いに離れた位置に複数箇所設置し、取付ボルト全数が破断しないようにすることで、防護板（鋼材）の脱落を防止する。</p> <p>また、取付ボルトの一部が破断した場合においても、防護板（鋼材）に回転を生じさせず、その場に留まる設計とする。</p>	<p>④、⑮はしあき</p> <p>⑤支持部の設計方針</p> <p>⑥支持部の配置設計方針</p> <p>⑦回転防止の設計方針</p>
<p style="text-align: center;">第 2-20 図 支持部の配置</p>		

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
 <p>防護板を支持架構（または、防護板取付座）の外側に取り付けることで、防護板の回転を防止する。</p> <p>第2-22 図 防護板と支持架構の位置関係</p> <p>(b) 設計飛来物衝突時の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数 防護板支持部への作用荷重は、防護板への設計飛来物衝突の進展に応じた衝突荷重として算定する。具体的には、①設</p>	<p>5.2 構造概要 (6) 竜巻防護対策設備 a. 飛来物防護板 b. 飛来物防護ネット</p> <p>(中略)</p> <p>防護板(鋼材)は、離隔距離が確保できない箇所やネットの変形を阻害するブレース材等が存在する箇所に設置する。防護板は設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない厚さとする。また、設計荷重(竜巻)に対し、防護板の破断による脱落を防止するために、防護板の端空き強度を確保する。</p> <p>防護板を支持架構に固定する取付ボルトは、設計荷重(竜巻)に対し、防護板の脱落を防止するため、以下の構造とする。</p> <p>防護板の変形により作用する荷重を踏まえて取付ボルトのサイズ、本数及びボルトの設置間隔を設定する。更に、飛来物衝突位置近傍の取付ボルトは破断することが想定されるため、取付ボルトを複数配置することを基本構造とする。</p> <p>支持架構に対するボルト配置上の制約がある場合は、複数の取付ボルトを集約した支持部を2カ所以上設ける構造とする。この際、支持部は防護板の変形により作用する荷重を踏まえ、取付ボルトのサイズ、本数を設定し、耐力に応じた支持部の設置間隔を設定する。</p> <p>また、防護板が内側へ回転することを防止できるよう、支持架構に対して外面に設置する構造とする。なお、設計荷重(竜巻)により取付ボルトに破断が生じたとしても、防護板の面内方向の移動も拘束できる構造とする。</p>	<p>③防護板の板厚</p> <p>④、⑬はしあき</p> <p>⑤支持部の設計方針</p> <p>⑥、⑨支持部の配置設計方針</p> <p>⑩、⑪、⑬、⑭、⑮ ボルトサイズ、本数、支持部間隔</p> <p>⑦、⑫回転防止の設計方針</p>

再処理施設

備考

外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3

計飛来物接触直後、②防護板に大変形が生じた時点 を考慮する。第2-23図に、防護板への設計飛来物の衝突の進展イメージを示す。



第2-23図 防護板への設計飛来物衝突の進展

イ. 設計飛来物接触直後の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数

第2-24図に示す通り、設計飛来物の衝突荷重により防護板にせん断荷重が作用し、支持部取付ボルトには、その反力として引張荷重が作用する。

設計飛来物接触直後の支持部への作用荷重は、設計飛来物と被衝突体の接触時間を設定し、設計飛来物の衝突前の運動量と衝突荷重による力積が等しいとして算定した静的な荷重として求める。荷重の計算式を以下に示す。

※設計飛来物による荷重の算出式

$$W_M = F_M = m \cdot V/t = m \cdot V^2/L_t$$

M (設計飛来物質量) : 135kg

V (設計飛来物の衝突速度) : 51m/s (水平方向)

再処理施設

備考

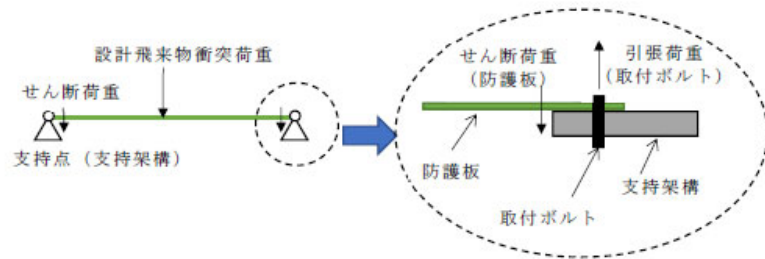
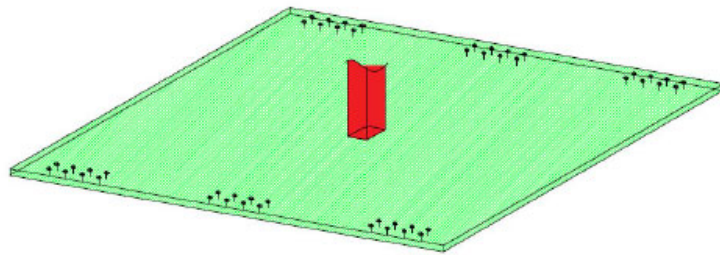
外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3

Lt (設計飛来物の最も短い辺の長さ) : 0.2m

上記の算出式により, 支持部への作用荷重は1756 kNと算定される。この荷重に対し必要となる支持部設置個所 (取付ボルト本数) は, M24 の取付ボルトで6本となる。

第2-24図 設計飛来物接触直後の荷重



⇒⑬

ロ. 防護板に大変形が生じた時点の支持部への作用荷重に対する取付ボルト本数

設計飛来物により防護板の大変形が生じた時点では, 第2-25図に示すように, 変形の進展により防護板に発生する荷重

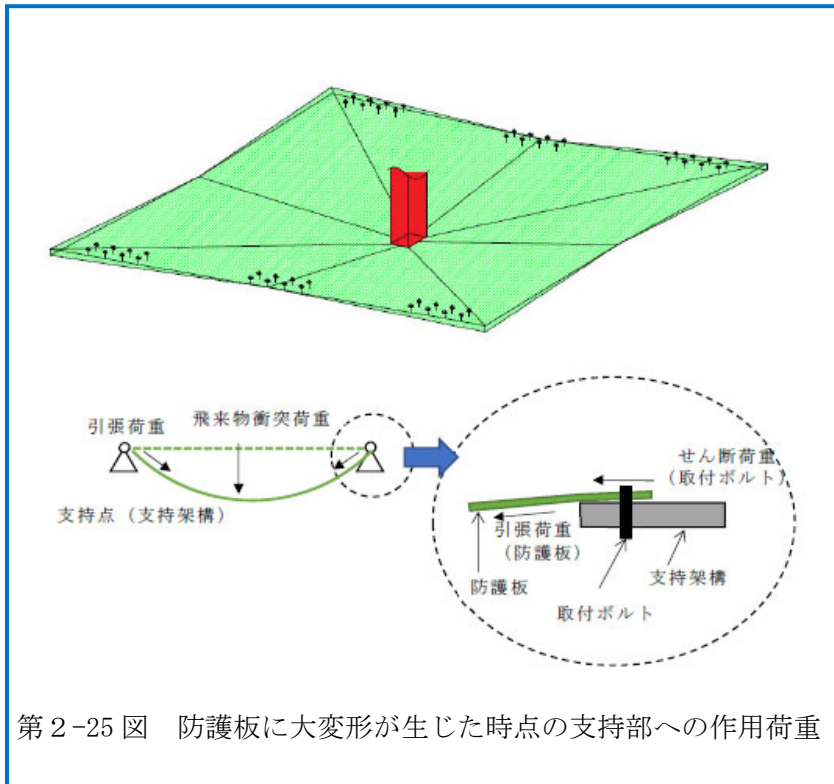
再処理施設		備 考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
<p>は引張荷重が顕著となる。このため、防護板の支持部は防護板の引張荷重を負担し、支持部の取付ボルトには、せん断荷重が作用するので、防護板に発生する引張荷重に耐えるよう支持部の設計を行う。</p> <p>防護板の変形が進展し引張荷重が増加することにより、防護板断面は降伏に至る。防護板断面が降伏すると引張荷重の増加は緩やかとなる。そこで、支持部に作用する荷重は、防護板に降伏が生じる時の引張荷重により算定する。</p> <p>ここで、支持部1か所あたりの取付ボルト本数は、ボルト穴間のせん断破壊を防止できるボルト間隔及び取り付ける支持架構部材寸法を考慮し、支持架構の梁継手の取付ボルト配置を参考として、M24ボルトを8本配置することを基本とする。なお、支持架構部材に対し2方向から防護ネットまたは防護板が取り付け、内側にはブレス材が取り付く場合など、支持部における取付ボルト配置が制約される場合は、6本配置を採用する。</p> <p>第2-26図に示すように、防護板が降伏する引張荷重に対して、取付ボルトのせん断耐力が上回るよう、支持部の間隔を定める。具体的には、取付ボルト本数8本の支持部同士の間隔は1.7m、取付ボルト本数6本の支持部同士の間隔は1.3mを原則とする。本設定は、支持辺数に関わらず共通となる。</p> <p>また、配置上の制約に対する配慮として、干渉物等で8本配置の支持部が配置できない支持部については、支持部の間隔を狭めるか、取付ボルト径を大きくすることで支持部の強度を確保する。</p>		

再処理施設

備考

外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3

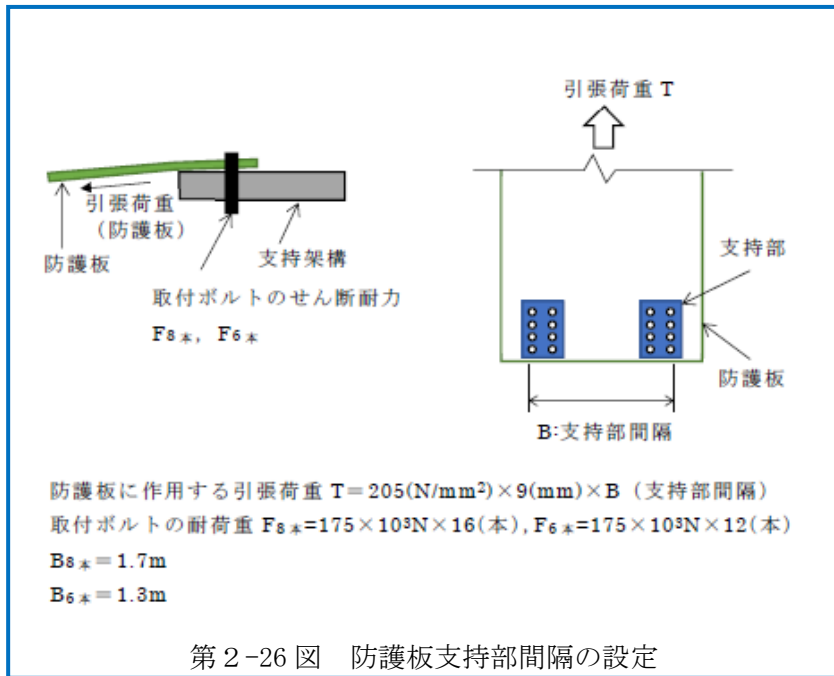


再処理施設

備考

外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3



第2-26図 防護板支持部間隔の設定

⇒⑭

ハ. 取付ボルト本数および支持部間隔の設定

支持部に作用する荷重から求められた取付ボルト本数および支持部間隔を第2-4表にまとめる。取付ボルトの本数および支持部間隔は第2-4表に示す通り、防護板に大変形が生じた時点の作用荷重にて決定される。

なお、取付ボルト配置が制約される場合は、M30もしくはM33の取付ボルト径を使用することで、同等以上の強度を確保する。具体的には、配置の制約上、⑦防護板では、設計飛来物衝突直後の荷重を負担する取付ボルト本数が最小で10本、⑥防

再処理施設

備考

外竜巻16

添付書類VI-1-1-1-2-3

護板では8本となるため、それぞれ取付ボルト径をM30、M33にサイズアップさせることで、M24の16本配置と同等の強度を確保している。防護板の種類毎の取付ボルト耐荷重を第2-5表に示す。

第2-4表 支持部に作用する荷重から求められた取付ボルト本数および支持部間隔

※支持部は、防護板1枚あたり2か所以上を互いに離れた

支持部に作用する荷重	取付ボルト径	支持部1か所の取付ボルト本数	支持部間隔	取付ボルト総数(本)
設計飛来物接触直後の作用荷重	M24	—	—	6
防護板に大変形が作用した時点の作用荷重	M24	8本	1.7m	16本以上※
		6本	1.3m	12本以上※

※支持部は、防護板1枚あたり2か所以上を互いに離れた位置に設ける。

位置に設ける。

第2-5表 防護板の種類毎の取付ボルト耐荷重

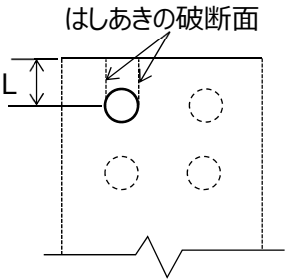
防護板の種類	取付ボルト径	取付ボルト本数	取付ボルト耐荷重 F
基本ケース	M24	16本	2,800 kN (175 kN×16本)
⑦防護板	M30	10本	2,790 kN (279 kN×10本)
⑥防護板	M33	8本	2,760 kN (345 kN×8本)

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）の強度計算書より

第2.3-2表 取付ボルトの評価に用いる条件

評価ケース	防護板(鋼材)の支持方法	飛来物速度 (m/s ²)	防護板(鋼材)のサイズ(mm)	全数(本)	取付ボルト径	取付ボルト引張強さSu (MPa)	取付ボルト有効断面積A _b (mm ²)
①	1辺で支持	51 (水平衝突)	1,300×4,400	32	M33	830	694
②	相対する	34 (鉛直衝突)	2,700×6,300	32	M24	830	353
③	2辺以上で支持	51 (水平衝突)	2,300×5,100	40(手前側) 56(奥側)	M24	830	353

再処理施設		備考												
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3													
<p>⇒⑮</p> <p>二. はしあき寸法の設定</p> <p>はしあき部の破断強度が、取付ボルトのせん断強度を上回るようにはしあき寸法を設定する。具体的には、取付ボルトのせん断耐力以上となる限界はしあき寸法 e を算出し、はしあき寸法 L が、限界はしあき寸法 e を上回ることを確認する。</p> <p>はしあき部の許容せん断荷重 $Q >$ 取付ボルトのせん断耐力 q</p> $\Rightarrow 2 \times e \times t \times \sqrt{3} S_u > q$ $\Rightarrow e > q / (2 \times t \times \sqrt{3} S_u)$ <p>限界はしあき寸法 e とはしあき寸法の最小値 L の比較結果を第2-6表に示す。第2-6表より、はしあき寸法 L が、限界はしあき寸法 e を上回る。</p> <p>第2-6表 はしあき寸法の確認結果</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>取付ボルト径</th> <th>限界はしあき寸法 e mm</th> <th>はしあき寸法の最小値 L mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M24</td> <td>33</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>M30</td> <td>52</td> <td>73.5</td> </tr> <tr> <td>M33</td> <td>64</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table>		取付ボルト径	限界はしあき寸法 e mm	はしあき寸法の最小値 L mm	M24	33	50	M30	52	73.5	M33	64	70	
取付ボルト径	限界はしあき寸法 e mm	はしあき寸法の最小値 L mm												
M24	33	50												
M30	52	73.5												
M33	64	70												

再処理施設		備 考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-3	
 <p data-bbox="324 662 705 694">第2-27図 はしあきの破断面</p>		
⇒⑩		

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
<p>(3)防護板(鋼材)の評価 「(2)防護板(鋼材)の設計」を踏まえて、防護板(鋼材)は、防護板の貫通評価と支持部である取付ボルトの破断評価を行う。</p>	<p>3.1.2 防護板(鋼材)の評価対象部位</p> <p>a. 鋼板 設計飛来物は、鋼板に直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、鋼板とする。</p> <p>b. 取付ボルト 取付ボルトは、鋼板を支持架構に接続する部位であり、鋼板に作用する荷重は取付ボルトに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、取付ボルトとする。</p>	
<p>a. 防護板の評価 貫通評価については、BRL式にて必要厚さを算出し許容限界板厚を設定し、最小板厚の防護板(鋼板)の設計板厚と比較し、許容限界板厚を上回っていることを確認する。なお、設計飛来物が衝突した際、防護板の衝突部近傍では衝突荷重(せん断および曲げ)が作用するが、防護板の厚さはBRL式により算出される貫通限界厚さ以上としており、破断は生じない。ここで支持部近くの防護板にも衝突荷重が作用するが、支持部を複数設けているため、支持部近くの防護板に作用する衝突荷重(せん断および曲げ)は分散し、飛来物衝突部近傍に作用する断荷重より小さくなる。このため、支持部近くの防護板においても防護板の破断は生じない。</p>	<p>3.2.2 防護板(鋼材)の評価方針 「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「5.1(6)b. 防護板(鋼材)の構造設計」の設計方針に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物を貫通させないために、防護板(鋼材)が飛来物の貫通を生じない板厚を有していること及び脱落せず波及的影響を与えないことを確認する。</p> <p>(1) 衝突評価 設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない設計とするために、防護板(鋼材)が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。</p>	

再処理施設		備 考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
<p style="text-align: center;">第2-28図 防護板に作用する荷重</p>		
<p>b. 支持部（取付ボルト）の評価</p> <p>静荷重を用いて取付ボルトの強度設計をしているが、飛来物による衝突現象により支持部に作用する荷重は動的な荷重であることから、支持部のボルトに作用する動的荷重を評価可能な解析コード（LS-DYNA）を用いて、取付ボルト全数が破断しないことを確認している。</p>	<p>(2) 波及的影響評価</p> <p>設計飛来物による衝撃荷重に対し、防護板（鋼板）が脱落しないことを、FEM解析を用いて確認する。</p>	
<p>(a) 評価対象の選定</p> <p>「ハ. 取付ボルト本数および支持部間隔の設定」に記載の通り、支持部（取付ボルト）の本数および支持間隔は、防護板に大変形が生じた時点の作用荷重から求められる取付ボルト本数の方が設計飛来物接触直後の作用荷重に比べて支配的である。このため、防護板に大変形が生じた状態が取付ボルト全体に対して厳しい状態であることから、この状態を想定して評価対象を選定する。</p> <p>このとき、防護板に大変形が生じた時点の作用荷重は、防護板のたわみが大きいほど顕著となることから、支持方法（1辺で支持又は相対する2辺以上で支持）及び飛来物の速度ごとに防護板のたわみやすさを考</p>	<p>3.1.2 防護板（鋼材）の評価対象部位</p> <p>取付ボルトは、鋼板を支持架構に接続する部位であり、鋼板に作用する荷重は取付ボルトに作用するため、設計荷重（竜巻）に対する評価対象部位は、取付ボルトとする。</p> <p>防護板に大変形が生じた状態の荷重が、設計飛来物接触直後の作用荷重に比べて支配的であることから、この状態を想定して評価対象を選定する。このとき、防護板に大変形が生じた時点の作用荷重は、防護板のたわみが大きいほど顕著となることから、支持方法（1辺で支持</p>	

再処理施設		備考																																		
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2																																			
<p>慮して、評価対象の防護板（鋼材）を選定する。具体的には、防護板の支持スパン（l）の3乗と断面二次モーメント（I）の関係から求まるたわみ易さ（l^3/I）が大きくなるものを選定している。なお、取付ボルトのサイズが変わっても、支持部全体の取付ボルト強度が同等となる様な設計としていることから、取付ボルトのサイズおよび本数は防護板の評価対象の選定に影響を与えない（第2-5表参照）。</p> <p>また、設計飛来物の衝突位置は、衝突部のたわみ量が大きく、全体に配置された取付ボルトへの負担が等しくなるよう防護板中央部とする。</p> <p>防護板の評価対象を第2-7表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第2-7表 防護板評価対象</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>防護板支持方法</th> <th>設計飛来物速度</th> <th>防護板の種類</th> <th>たわみ易さ l^3/I</th> <th>代表となる防護板</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1辺で支持</td> <td rowspan="4">51 m/s (水平衝突)</td> <td>⑦防護板</td> <td>20</td> <td>○ 第2-29図</td> </tr> <tr> <td>⑪防護板</td> <td>1</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>⑥防護板</td> <td>1</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>⑧防護板</td> <td>1</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">相対する2辺以上で支持</td> <td rowspan="2">34 m/s (鉛直衝突)</td> <td>⑫防護板</td> <td>2000</td> <td>○ 第2-30図</td> </tr> <tr> <td>⑬防護板</td> <td>700</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">51 m/s (水平衝突)</td> <td>⑮防護板</td> <td>500,000</td> <td>○ 第2-31図</td> </tr> <tr> <td>⑭防護板</td> <td>6,000</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	防護板支持方法	設計飛来物速度	防護板の種類	たわみ易さ l^3/I	代表となる防護板	1辺で支持	51 m/s (水平衝突)	⑦防護板	20	○ 第2-29図	⑪防護板	1	—	⑥防護板	1	—	⑧防護板	1	—	相対する2辺以上で支持	34 m/s (鉛直衝突)	⑫防護板	2000	○ 第2-30図	⑬防護板	700	—	51 m/s (水平衝突)	⑮防護板	500,000	○ 第2-31図	⑭防護板	6,000	—	<p>又は相対する2辺以上で支持)及び飛来物の速度ごとに防護板のたわみやすさを考慮して、評価対象の防護板（鋼材）を選定する。なお、取付ボルトのサイズが変わっても、支持部の取付ボルト強度が同等となる様な設計としていることから、取付ボルトのサイズおよび本数は防護板の評価対象の選定に影響を与えない。</p>	
防護板支持方法	設計飛来物速度	防護板の種類	たわみ易さ l^3/I	代表となる防護板																																
1辺で支持	51 m/s (水平衝突)	⑦防護板	20	○ 第2-29図																																
		⑪防護板	1	—																																
		⑥防護板	1	—																																
		⑧防護板	1	—																																
相対する2辺以上で支持	34 m/s (鉛直衝突)	⑫防護板	2000	○ 第2-30図																																
		⑬防護板	700	—																																
	51 m/s (水平衝突)	⑮防護板	500,000	○ 第2-31図																																
		⑭防護板	6,000	—																																

再処理施設	備考
<p>外竜巻16</p>	<p>添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2</p>
<p>(b) 支持部の評価条件</p> <p>設計飛来物の衝突による防護板（鋼材）の変形に伴い、取付ボルトに作用する荷重は大きくなり、塑性変形若しくは破断が生じうる。そのため、支持部の評価においては、取付ボルトごとの剛性及び負担する荷重割合が時々刻々と変化すること踏まえ、取付ボルトをモデル化した FEM 解析 (LS-DYNA) にて取付ボルトの健全性を確認する。</p> <p>解析においては、取付ボルトが防護板（鋼材）の変形により荷重を受けること及び取付ボルトの塑性変形及び破断を評価する必要があるため、防護板（鋼材）及び取付ボルトは弾塑性を考慮したモデルとし、破断と判定した取付ボルトは、破断以降は荷重を負担しないモデルとする。</p> <p>取付ボルトの破断評価方法は、水平2方向のせん断応力及び鉛直方向の軸力について、破断荷重との比率を算出し、各成分の二乗和が 1.0 以上となれば破断したものと判定する。</p> <p>本評価においては、以下の設定とすることで、評価の保守性を確保する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 取付ボルトの破断荷重には、破断荷重の実力値に十分な裕度を考慮した JIS や鋼構造設計規準の規格値を用いることで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。 衝突させる設計飛来物は破断ひずみを超えても要素を消去せず、破断ひずみ以上に変形できるモデルとし、防護板（鋼材）の変形を大きくすることで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。 一般的に鋼材は、降伏（塑性変形）するとひずみ硬化が発生し、耐力が増加する。このとき、ひずみ速度が大きいと耐力の増加も大きくなるが、取付ボルトの破断判定においてはひずみ硬化における速度寄与を考慮しないことで、取付ボルトが破断しやすい条件とする。 	<p>6.2.1 解析モデルの選定</p> <p>解析モデルの選定として、ビーム要素やシェル要素に置換した有限要素モデルを用いる。</p> <p>ビーム要素モデルについては、防護板（鋼材）の取付ボルト及び支持架構の柱や梁等の部材をビーム要素としてモデル化する。シェル要素モデルについては、防護板（鋼材）及び支持架構の衝突対象部材をシェル要素としてモデル化する。</p> <p>なお、これらのモデル化に当たっては、部材に生じるひずみや荷重を適切に算出できるよう、節点及び要素数を適切に設定する。</p> <p>6.2.2 解析モデルの設定条件</p> <p>(1) 寸法</p> <p>防護板（鋼材）及び支持架構の各部材形状を模擬した部材長さ及び断面特性を設定する。</p> <p>飛来物の解析モデル図を第 6.2.2-1 図に示す。</p> <div data-bbox="1115 1114 1854 1390" data-label="Image"> </div> <p>第 6.2.2-1 図 飛来物の解析モデル図</p>

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
	<p>(2) 拘束条件 防護板(鋼材)の拘束条件はボルトの取付方法等を考慮して設定することとし、シェル要素でモデル化した防護板を、ボルトの剛性を考慮したビーム要素で並進3方向を拘束する。支持架構の拘束条件は支持位置及び剛性を考慮した適切な拘束条件を設定することとし、基礎梁下端をピン支持として設定する。</p> <p>(3) 断面特性 断面特性については、防護板(鋼材)及び支持架構の実構造を踏まえ設定する。</p> <p>(4) 材料特性 材料特性は、防護板(鋼材)及び支持架構の各材料の物性値を踏まえて設定する。 なお、飛来物の衝突に対する解析は、変形速度が大きいためひずみ速度効果を考慮することとし、日本溶接協会の動的物性の推定式(WES式)を適用する。 材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とする。 バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図を第6.2.2-1図に示す。</p>	

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
	<div data-bbox="1227 284 1751 758" data-label="Figure"> 第 6.2.2-2 図 バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図 <p data-bbox="1160 991 1883 1118">(5) 質量 防護板(鋼材)及び支持架構の各要素の寸法及び密度により適切に設定する。</p> <p data-bbox="1160 1182 1883 1310">(6) 取付ボルトの破断判定 取付ボルトの破断判定に用いる記号を第 6.2.2-1 表に示す。</p> </div>	
(c) 許容限界	5.2 防護板(鋼材)の許容限界	

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
<p>防護板は設計飛来物の有するエネルギーを防護板及び取付ボルトの変形により吸収することで設計飛来物の貫通を防止する設計としているため、防護板（鋼材）の脱落により安全冷却水 B 冷却塔への波及影響を与えないことを確認する。取付ボルトは、防護板（鋼材）に自重、積雪荷重、風圧力による荷重が作用したとしても、防護板（鋼材）の脱落を防止し、冷却塔への波及的影響を防止できるが、防護板（鋼材）が設置位置から動かないよう、面内方向の回転を拘束するため、支持部の評価の許容限界としては、防護板（鋼材）を固定する取付ボルトが2本以上破断せずに残ることとする。</p> <p>なお、残存した取付ボルトの一部は塑性変形しているおそれがあるが、第2-32図に示す応力-ひずみ線図に示すとおり、取付ボルトに作用する荷重が除荷されると、残留ひずみは残るものの、残存した取付ボルトは構造強度上の強度部材として期待ができることから、取付ボルトが2本残れば防護板（鋼材）が脱落するおそれはない。</p>	<p>5.2.1 衝突評価</p> <p>飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するために、飛来物が防護板（鋼材）を貫通しないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、計算にて求められる防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さを許容限界として設定する。</p> <p>また、防護板（鋼材）の接続部について、設計飛来物が衝突したとしても、脱落しないことを解析により確認する評価方針としており、防護板（鋼材）の脱落を防止し、冷却塔への波及的影響を防止できるが、防護板（鋼材）が設置位置から動かないよう、面内方向の回転を拘束するため、支持部の評価の許容限界としては、防護板（鋼材）を固定する取付ボルトが2本以上破断せずに残ることとする。</p>	
<p>d. 防護板支持部評価モデルの妥当性</p> <p>防護板支持部評価のモデルは、設計飛来物衝突による防護板の変形や取付ボルトに作用する荷重を適切に評価できるモデルとする必要がある。防護板の変形は電中研の試験結果との比較により、解析にて算出した飛来物衝突時の防護板のひずみ量が妥当であることを確認している。</p> <p>また、取付ボルトについては、実際に使用されるボルトサイズを適切にモデル化するとともに、その材料モデル（降伏荷重、破断荷重）をJISや鋼構造設計基準の規格値を用いて適切にモデル化している。その際、ボル</p>	<p>6.2.2 解析モデルの設定条件</p> <p>(1) 寸法</p> <p>防護板（鋼材）及び支持架構の各部材形状を模擬した部材長さ及び断面特性を設定する。</p> <p>(2) 拘束条件</p> <p>防護板（鋼材）の拘束条件は、ボルトの取付方法等を考慮して設定することとし、シェル要素でモデル化し</p>	

再処理施設		備考
外竜巻16	添付書類VI-1-1-1-2-4-1-2	
<p>トの材料モデルに規格値を採用することは、実物よりも破断荷重を小さく設定することになるため、破断が発生し易い条件となっており、破断に対して保守的な設定であると言える。</p> <p>一方、ボルトが早く降伏することにより、同じ荷重が作用した時のボルトのひずみ量や吸収エネルギーが実物より大きいため、非保守側の評価となるものの、ボルトのひずみや吸収エネルギーは防護板のひずみや吸収エネルギーと比べて小さいことから、影響は小さい。</p> <p>以上のことから、防護板支持部評価のモデルは、防護板及び取付ボルトともに適切にモデル化されており、防護板の脱落の有無を判断するために妥当なモデルである。</p>	<p>た防護板を、ボルトの剛性を考慮したビーム要素で並進3方向を拘束する。支持架構の拘束条件は、支持位置及び剛性を考慮した適切な拘束条件を設定することとし、基礎梁下端をピン支持として設定する。</p> <p>(3) 断面特性 断面特性については、防護板(鋼材)及び支持架構の実構造を踏まえ設定する。</p> <p>(4) 材料特性 材料特性は、防護板(鋼材)及び支持架構の各材料の物性値を踏まえて設定する。 なお、飛来物の衝突に対する解析は、変形速度が大きいためひずみ速度効果を考慮することとし、日本溶接協会の動的物性の推定式(WES式)を適用する。 材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とする。 バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図を第6.2.2-1図に示す。</p>	