

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 16 R <u>3</u>
提出年月日	令和 3 年 <u>6</u> 月 <u>7</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書に関する
防護ネット及び防護板の健全性について

文中の____線部は R2 から R3 への差替え箇所を示す。

目 次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 構造および評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔の飛来物防護ネットの健全性について

1. 概要

本資料は、再処理施設の設計基準対象施設に対する竜巻防護対策設備等の強度計算の方針について補足説明するものである。

ここでは、竜巻防護対策設備に使用している防護ネット及び防護板について、構造及び強度評価の考え方を示す。

また、本資料は、第1回申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下に示す添付資料の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類添付書類「V-別添1-3 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」
- ・再処理施設 添付書類添付書類「V-別添1-4 竜巻防護対策設備の強度計算書」

2. 構造および強度評価の考え方

再処理施設における飛来物から防護対象施設を防護する方法は、評価ガイドで規定される設計飛来物の運動エネルギーを吸収する防護ネット及び設計飛来物の貫通を防止する防護板の2通りがある。再処理施設では基本的に防護板による防護を採用するが、熱交換が必要な冷却塔については防護ネットも採用する。

防護ネットについては先行炉で採用している電力中央研究所（以下「電中研」という。）の成果を用いた設計とする。

防護ネットは、荷重伝達経路から強度評価部位を整理し、各部位の許容荷重から代表評価部位を整理の上、取付部位の強度評価を行う。

防護板については BRL 式及び LS-DYNA（衝撃構造解析コード）を用いて鋼板厚さ等を評価する。

再処理施設 設工認に係る補足説明資料 別紙リスト

令和3年6月7日 R1

外竜巻16【支持架構に直接設置する防護ネットの健全性について】

資料No.	別紙			備考
	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔の飛来物防護ネットの健全性について	6/7	1	
別紙-2				
別紙-3				
別紙-4				
別紙-5				
別紙-6				
別紙-7				
別紙-8				
別紙-9				
別紙-10				
別紙-11				
別紙-12				
別紙-13				
別紙-14				
別紙-15				

令和3年6月7日 R1

安全冷却水 B 冷却塔の飛来物防護ネットの
健全性について

別紙-1

目 次

1. 概要	1
2. 飛来物防護ネットの設計方針	1
3. 飛来物防護ネットの構造について	2
3.1 飛来物防護ネット全体概要	2
3.2 防護ネットの構造	9
3.3 防護板の構造	28
3.4 支持架構の構造	35
4. 強度評価の考え方	36
4.1 電中研評価式の適用性の確認	36
4.2 <u>防護ネットの健全性確認</u>	36
4.3 防護板の健全性確認	37
5. 評価結果（確認結果）	38
5.1 電中研評価式の適用性の確認結果	38
5.2 <u>防護ネットの健全性確認結果</u>	38
5.3 防護板の健全性の確認結果	51
6. 防護ネット（鋼製枠なし）の組立て方法及び支持架構への取付方法	53
7. 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	58

1. 概要

本資料は、安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット（以下、「飛来物防護ネット」）にて使用している防護ネット及び防護板について、構造及び評価の考え方について補足説明するものである。

また、防護ネットについては、先行炉（電力中央研究所報告「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」（以下、「電中研報告書」）における防護ネット構造）との構造の違いに関して説明する。

2. 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、防護板及び支持架構で構成され、安全冷却水 B 冷却塔の冷却能力への影響を考慮し、外張りネットを基本とする。外張りネットが設置できない箇所については、内張りネットを設置する。外張りネットも内張りネットも設置できない箇所については、防護板を設置する。

防護ネットについては先行炉で採用している電力中央研究所の成果を用いた設計とするが、鋼製枠を無くし架構に直接取付けるなど、先行炉と比較し取付方法に相違がある。

防護ネットは、荷重伝達経路から強度評価部位を整理し、各部位の許容荷重から代表評価部位を整理の上、取付部位の強度評価を行う。

防護板については鋼板の貫通限界厚さ及びボルト強度を評価する。防護板は、BRL 式及び LS-DYNA(衝撃構造解析コード)を用いて評価する。

3. 飛来物防護ネットの構造について

飛来物防護ネットの各構成要素の構造概要について示す。

3. 1 飛来物防護ネット全体概要

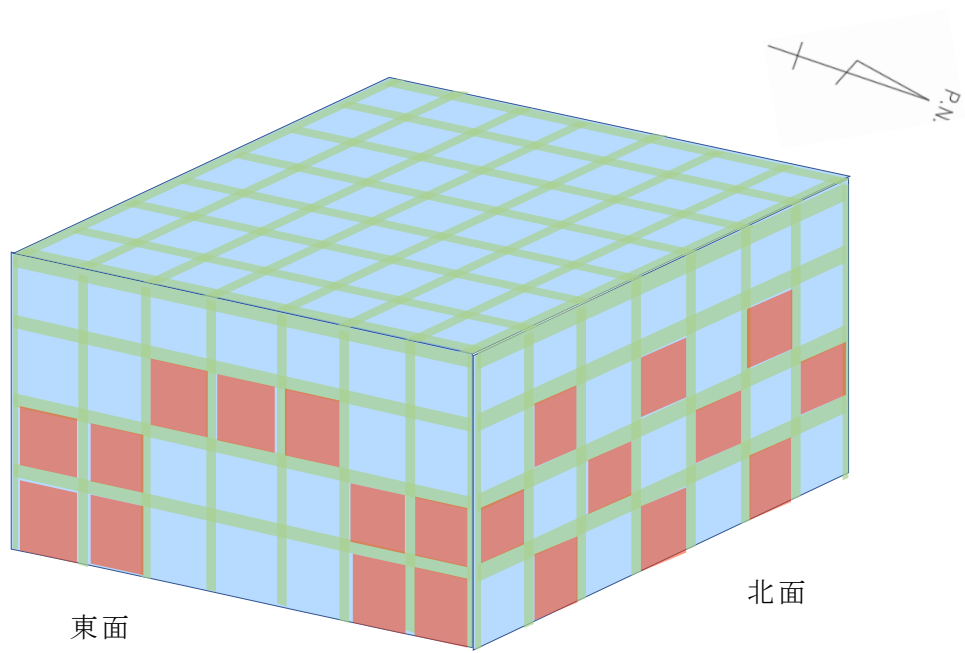
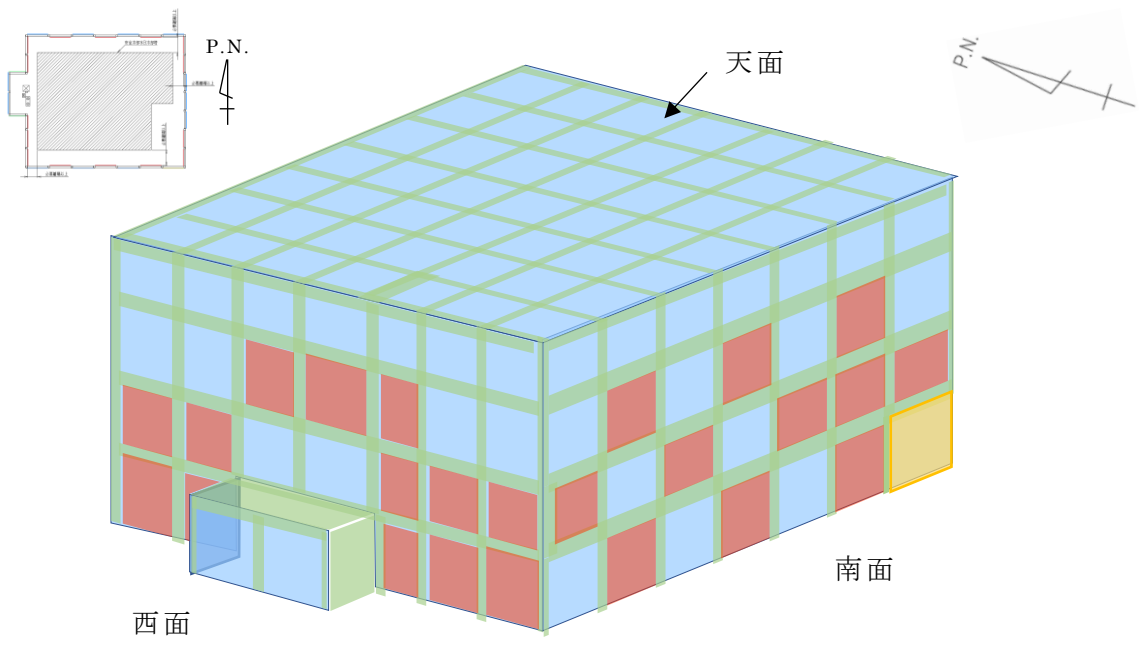
飛来物防護ネットの全景を第3-1図に示す。飛来物防護ネットは、防護ネット、防護板及びそれらを支える支持架構で構成され、竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔の基礎より上部を防護するため、その上方及び側方四面を覆う様に設置する。

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、竜巻防護対象施設に飛来物を衝突させないように、支持架構の外側に必要な離隔を確保して設置する。但し、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。

そのうえで、防護ネットと支持架構の間に生じる隙間に対して、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な離隔を確保することが出来ない箇所に対して、防護板を設置する。

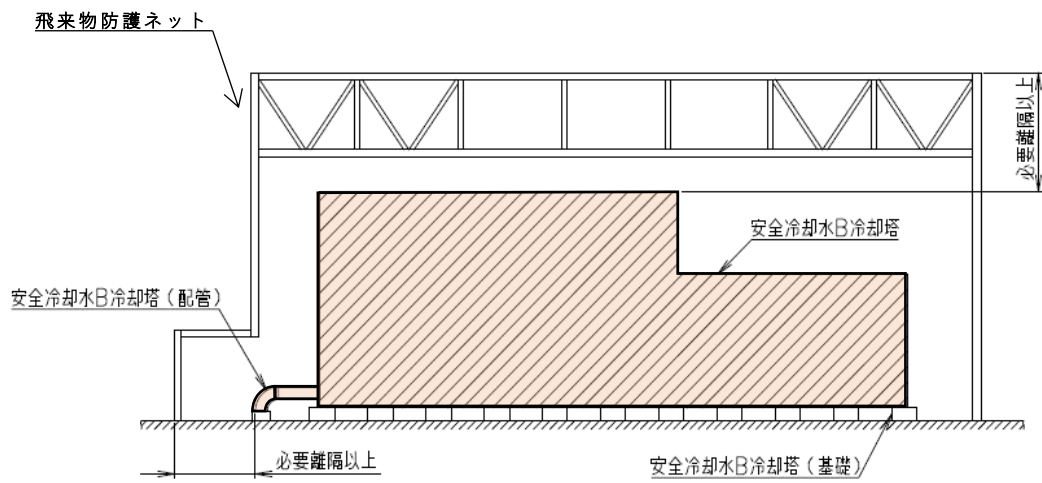
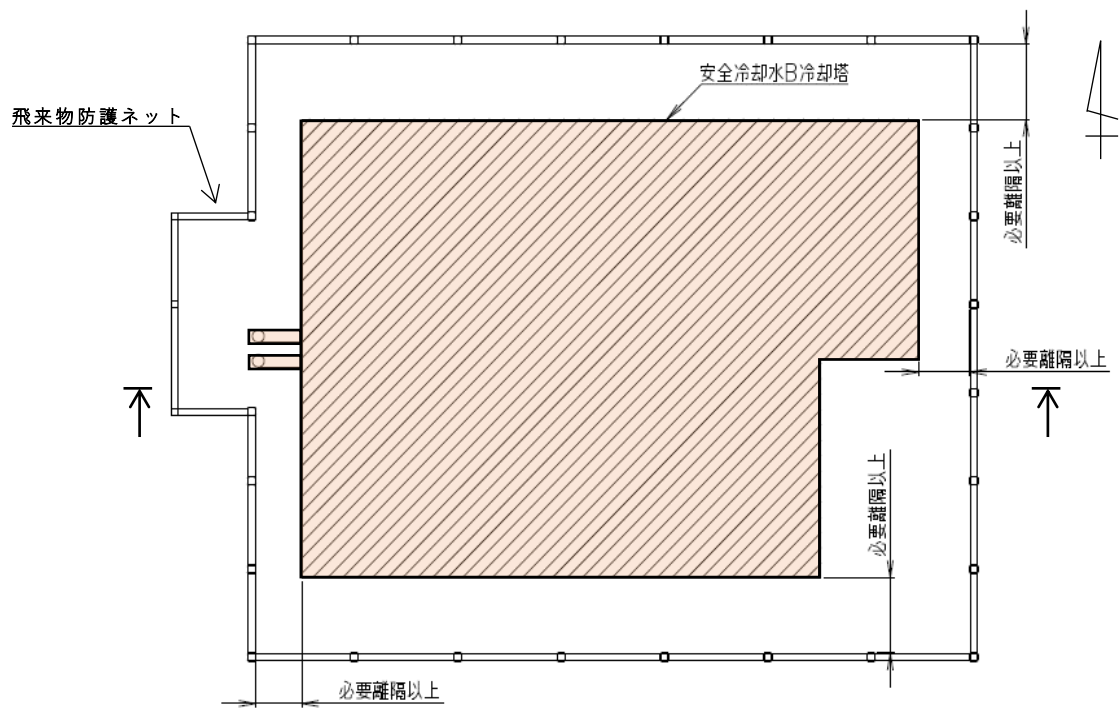
飛来物防護ネットと竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔との配置を第3-2図に示す。

また、飛来物防護ネットを構成する防護ネット、防護板の一覧と割付図をそれぞれ第3-1表及び第3-3図に示す。各要素の構造は、3.2節以降に記載する。



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

第 3-1 図 飛来物防護ネット全景



□ : 防護対象

第3-2図 安全冷却水B冷却塔と飛来物防護ネットの配置図

第3-1表 飛来物防護ネットの構成要素

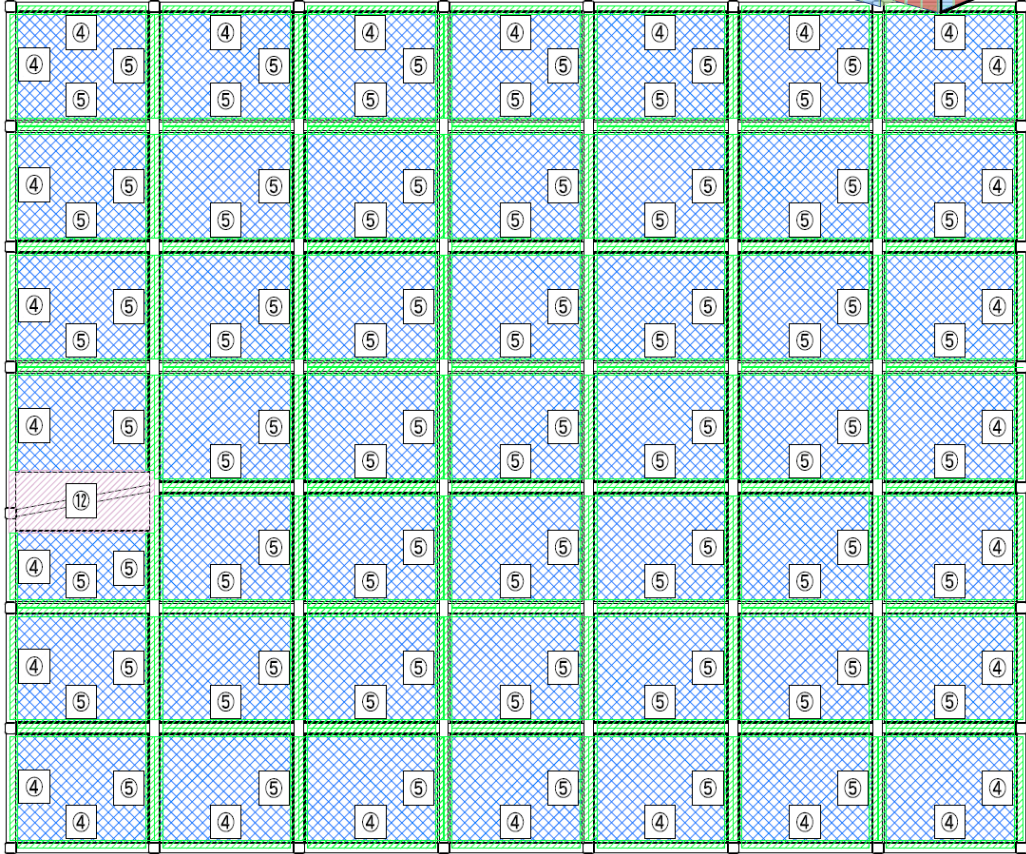
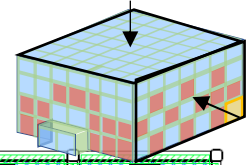
番号	名称	数量	構造/評価方法 /評価結果参照 先	防護板の 使い分け
①	外張りネット（鋼製 枠なし）	115 枚	3.2（1）/4.1, 4.2/5.1, 5.2	＝
②	内張りネット（鋼製 枠なし）	45 枚	3.2（2）/4.1, 4.2/5.1, 5.2	＝
③	外張りネット（鋼製 枠あり） （車両用扉ネット）	1 枚	3.2（3）/4.1, 4.2/5.1, 5.2	＝
④	補助防護板 （①用，片側防護， 外取付）	172 枚	3.3（2）/ 4.3/5.3	<u>外張り防護ネッ トで⑤，⑥以外に 適用。</u>
⑤	補助防護板 （①用，両側防護， 外取付）	148 枚	3.3（2）/ 4.3/5.3	<u>梁及び柱を挟ん で隣り合う防護 ネットが共に外 張り防護ネット の場合に適用。</u>
⑥	防護板 （①用，内取付）	2 枚	3.3（1）/ 4.3/5.3	<u>外張り防護ネッ トで架構との干 渉により飛来物 が通過する恐れ のある隙間に適 用。</u>
⑦	防護板 （②用，防護板補強 有り， 外取付）	12 枚	3.3（1）/ 4.3/5.3	<u>内張り防護ネッ トで架構との干 渉により飛来物 が通過する恐れ のある隙間に適 用。防護板サイ ズが大きく，風 や雪荷重による 変形対策が必 要な場合に適 用。</u>

⑧	防護板 (②用, 防護板補強 無し, 内取付)	12 枚	3.3 (1) / 4.3/5.3	<u>内張り防護ネット</u> <u>で架構との干渉</u> <u>により飛来物</u> <u>が通過する恐れ</u> <u>のある隙間に適</u> <u>用。</u>
⑨	補助防護板 (②用, 梁取付用, 内取付)	63 枚	3.3 (2) / 4.3/5.3	<u>内張り防護ネット</u> <u>に適用。梁に取り</u> <u>つける防護板</u> <u>に適用</u>
⑩	補助防護板 (②用, 柱取付用, 内取付)	78 枚	3.3 (2) / 4.3/5.3	<u>内張り防護ネット</u> <u>に適用。柱に取り</u> <u>つける防護板</u> <u>に適用</u>
⑪	補助防護板 (③用, 外取付)	2 枚	3.3 (2) / 4.3/5.3	<u>外張りネット(鋼</u> <u>製枠あり)に適用</u>
⑫	防護板 (斜め梁部天 面, 外取付)	1 枚	3.3 (1) / 4.3/5.3	＝
⑬	防護板 (張出部天 面, 外取付)	6 枚	3.3 (1) / 4.3/5.3	＝
⑭	防護板 (張出部北側 面, 外取付)	2 枚	3.3 (1) / 4.3/5.3	＝
⑮	防護板 (張出部南側面, 外 取付) (人員用開口)	3 枚	3.3 (1) / 4.3/5.3	＝

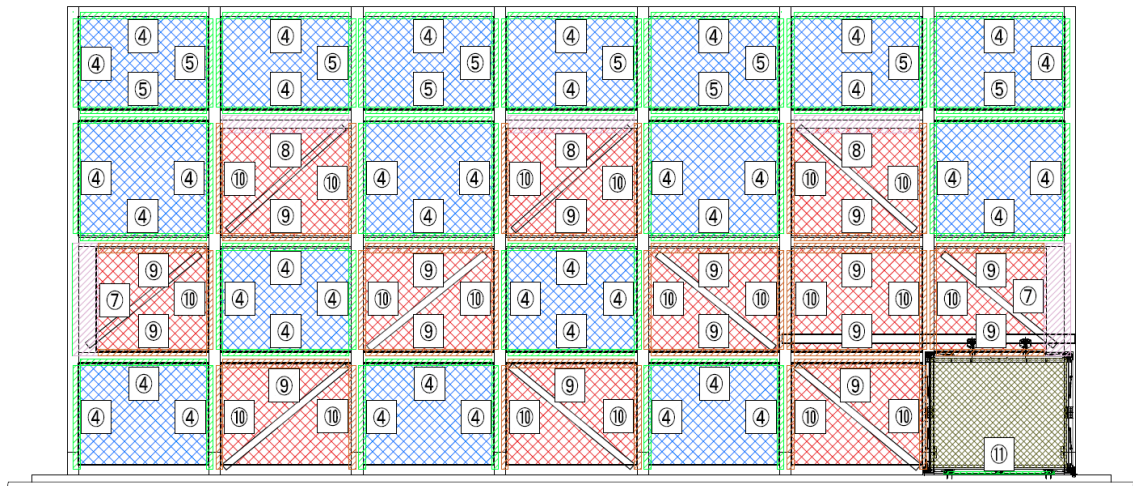
以上の防護ネット及び防護板の割付図を第3-3図に示す。

【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)



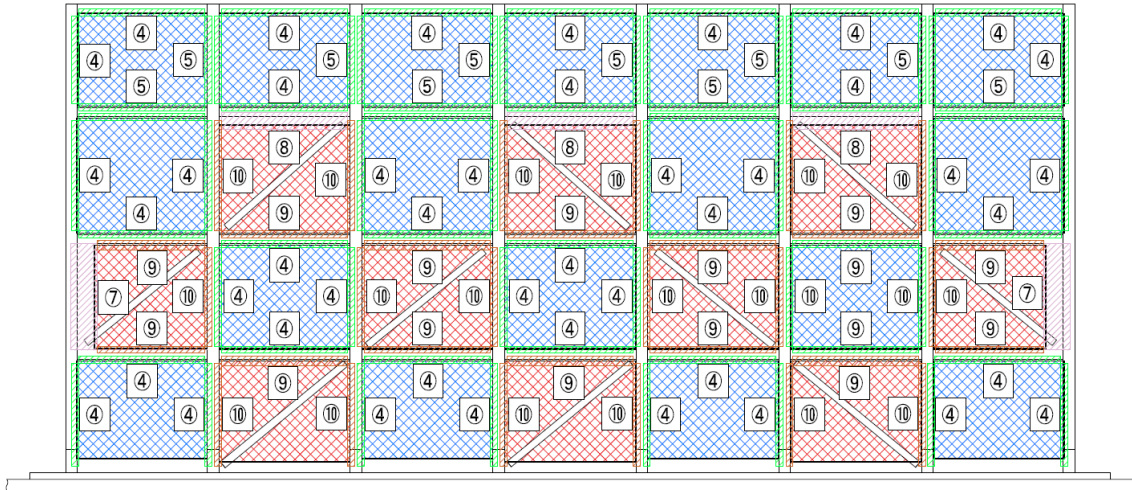
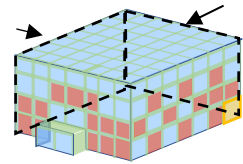
(南面)

第3-3図 防護ネット及び防護板割付図 (1/3)

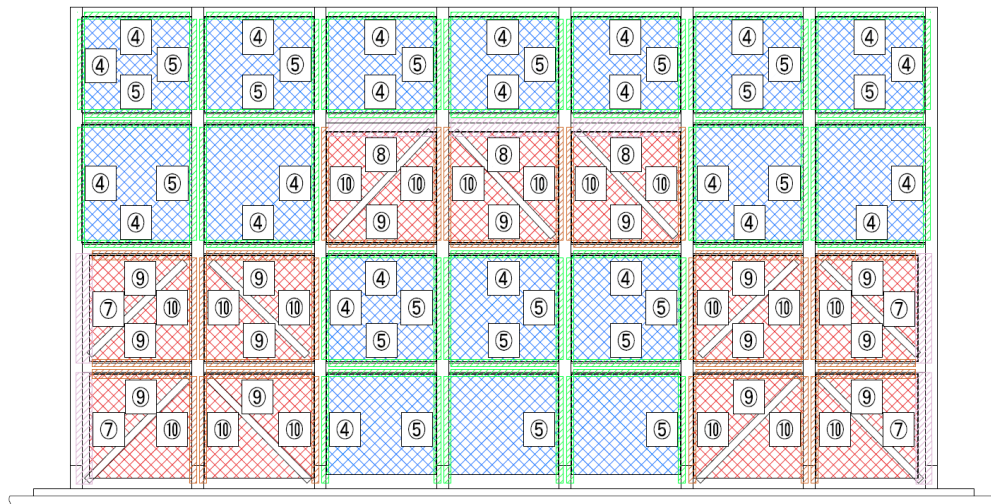
【凡例】

: 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)

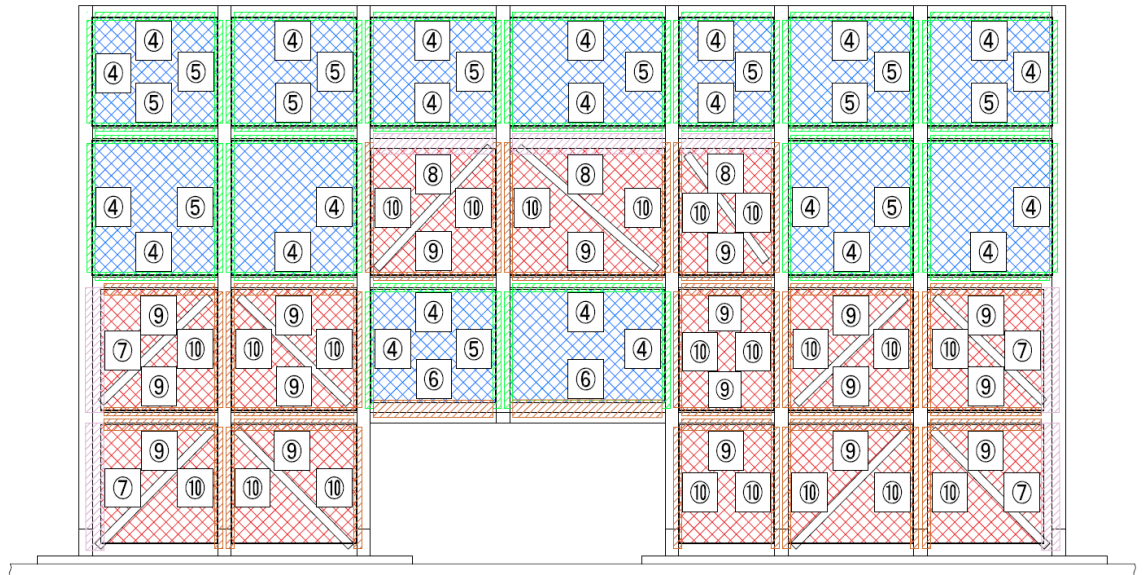
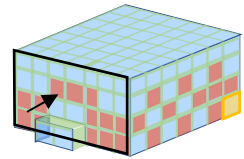


(東面)

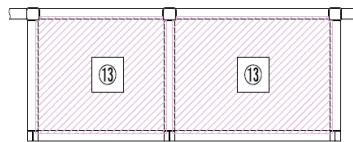
第3-3図 防護ネット及び防護板割付図 (2/3)

【凡例】

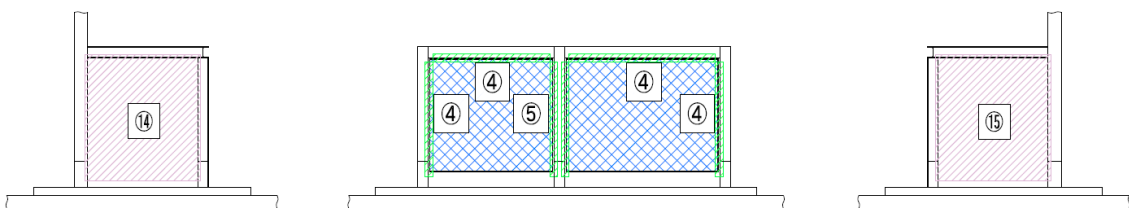
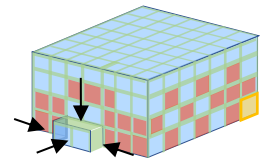
- : 外張りネット
 : 内張りネット
 : 防護板
- : 車面用扉
 : 補助防護板（外取付）
 : 補助防護板（内取付）



(西面)



(張出し部天面)



(張出し部南面, 北面及び西面)

第3-3図 防護ネット及び防護板割付図 (3/3)

3.2 防護ネットの構造

安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットは防護ネット，ネット取付金物，及びワイヤロープの取付プレートを，支持架構に直接設置する構造をほぼ全ての箇所採用している。

その理由は，防護対象となる安全冷却水B冷却塔を防護するため防護ネット設置数が約160枚と多数であることから，竜巻防護対策設備全体に占める鋼製枠重量の寄与が大きい。このため，鋼製枠を用いないことで全体重量が低減し，支持架構の耐震健全性を向上させることが可能となる。

防護ネットは，支持架構の鉛直ブレース等が取り付く箇所では，支持架構の内面に直接設置し，後述する車両用扉ネットが取り付く箇所では，支持架構の外面に鋼製枠を用いて設置する。それ以外の箇所は支持架構の外面に直接設置する。

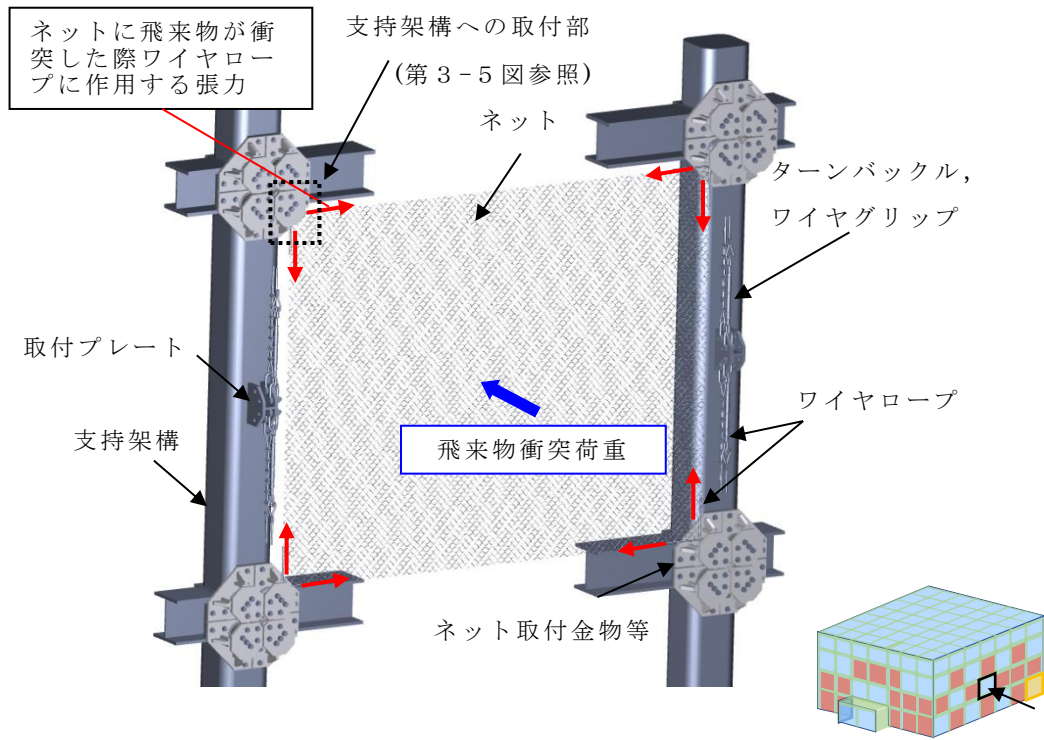
また，支持架構に直接設置する防護ネットは，ワイヤロープによるネットの保持において，ワイヤロープ端部の取付位置，取付プレートの個数，ワイヤグリップの個数が電中研報告書の防護ネットと異なる。

(1) 外張りネット（鋼製枠なし）

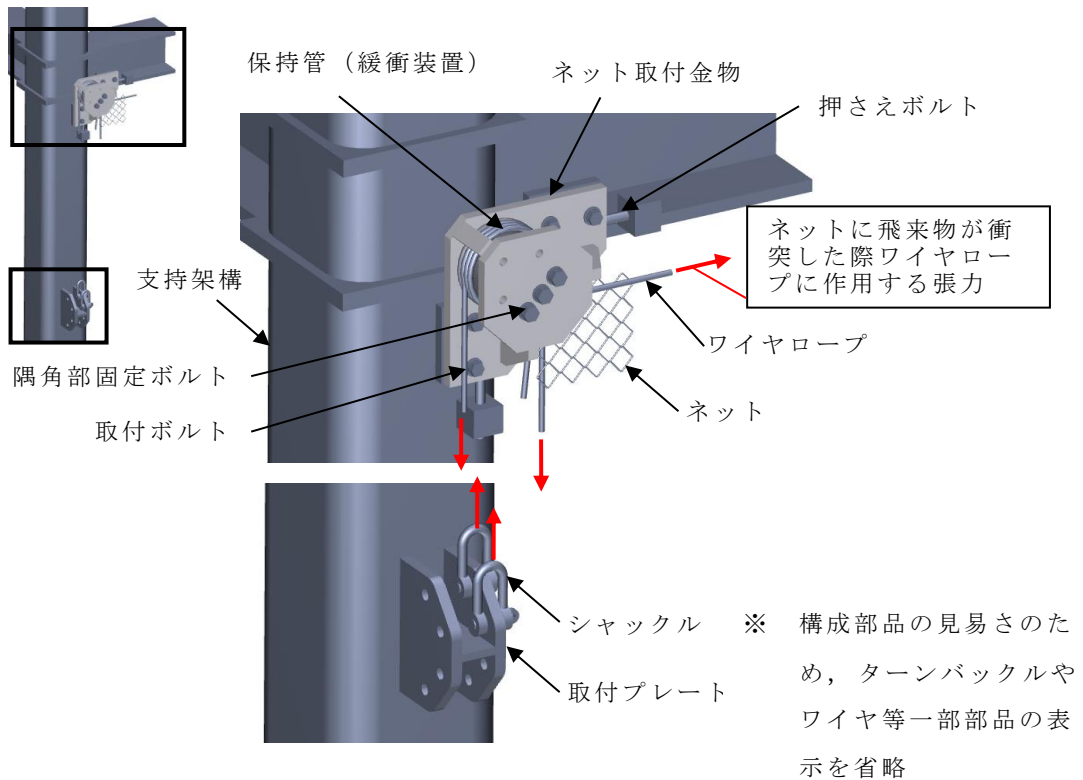
外張りネット（鋼製枠なし）は，ネット四隅固定用の金物，及びワイヤロープの取付プレートを，支持架構の外面に直接設置する。外張りネット（鋼製枠なし）の構造概要を第3-4図に，また支持架構への取付部の拡大図を第3-5図に示す。

第3-2表，第3-3表に，電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の構造比較と諸元比較それぞれを示す。

相違点は鋼製枠の有無，ワイヤグリップの数，ワイヤロープの保持方法である。

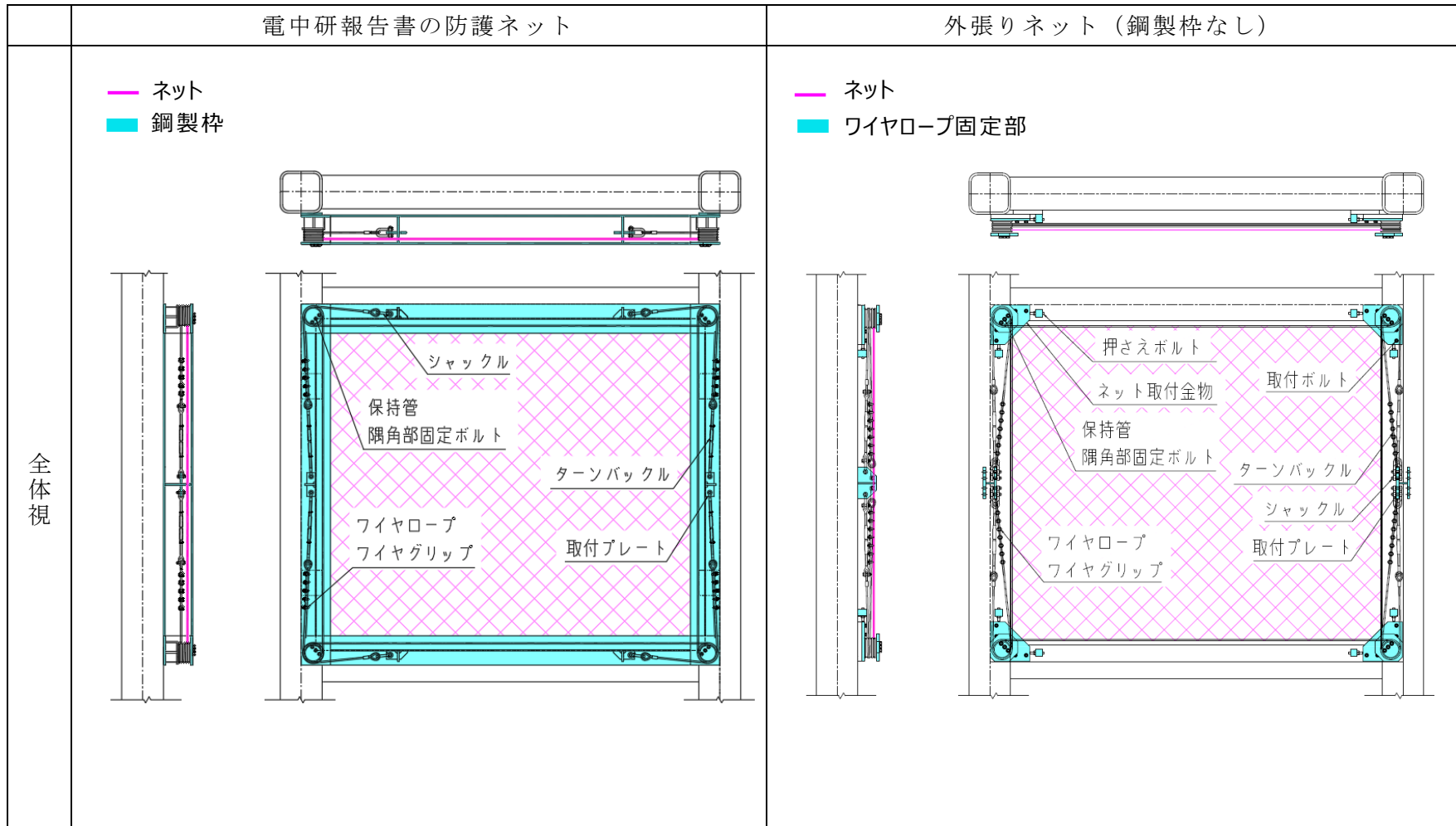


第3-4図 外張りネット（鋼製枠なし）構造概要

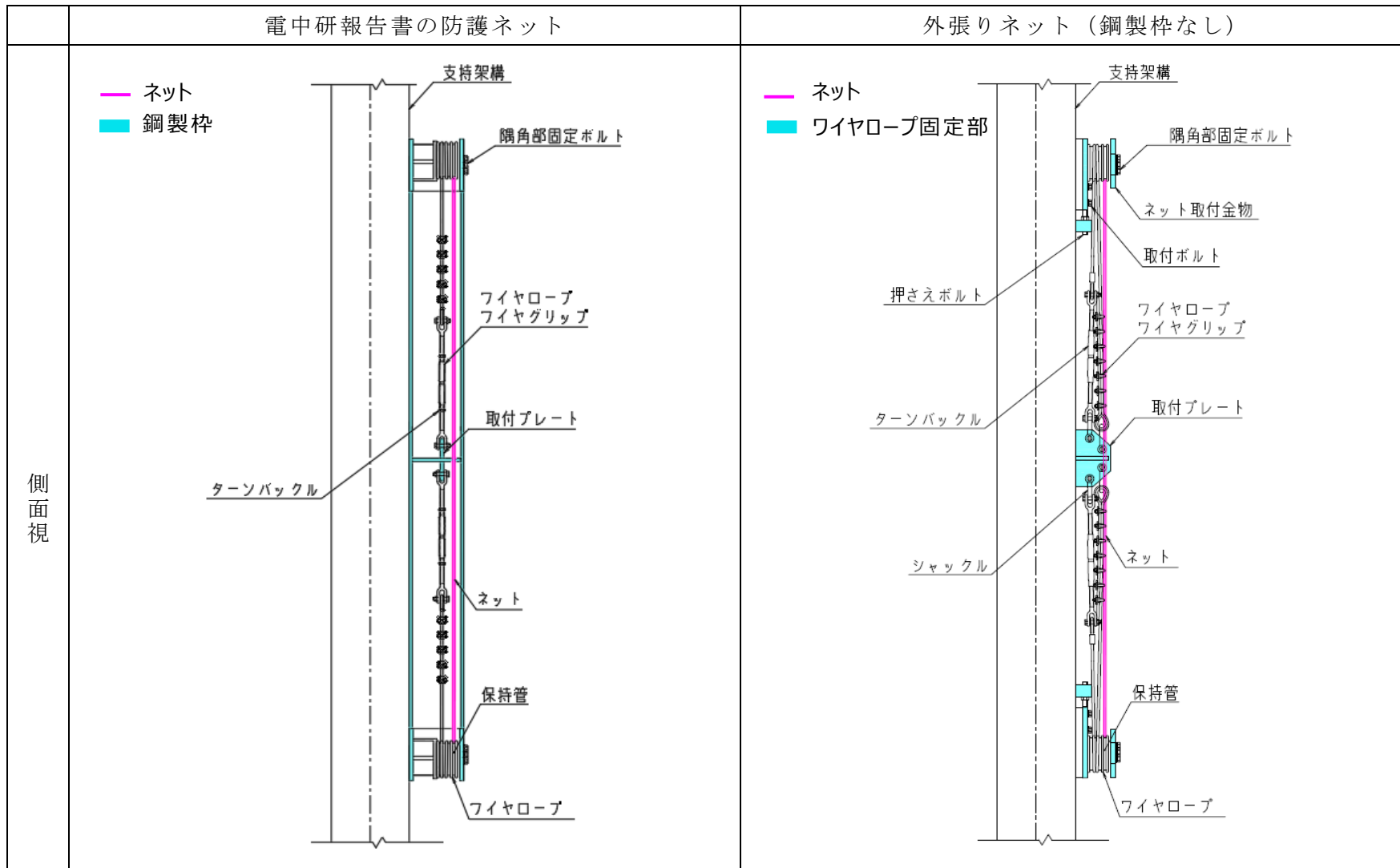


第3-5図 外張りネット（鋼製枠なし） 支持架構への取付部拡大図

第3-2表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の構造比較（1/2）



第3-2表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の構造比較（2/2）



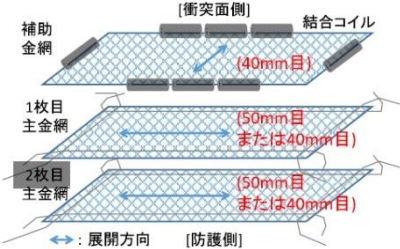
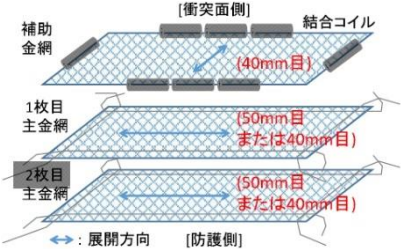
第3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較（1/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠なし）	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取付金物及び取付プレートは支持架構に設置	有	電中研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ことから影響を与えない。 5.2(1)参照	
	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	1400N/mm ²	1400N/mm ²		
		目合い寸法	(主ネット) 50mm×50mm または 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		

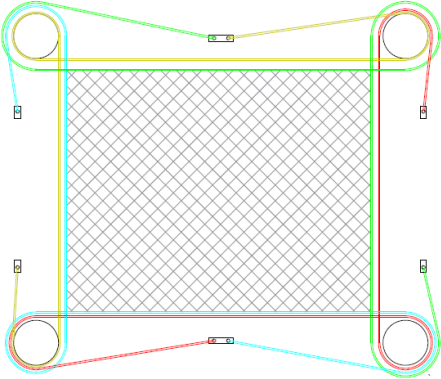
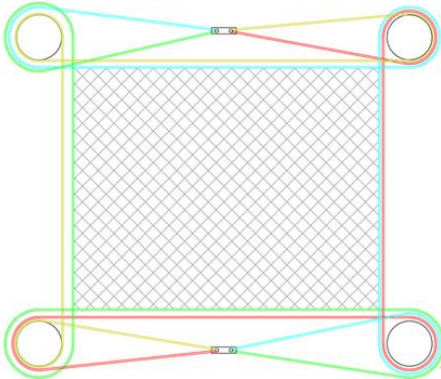
第3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較（2/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠なし）	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。 5.2(2)参照
		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3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較（3/5）

項目	電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠なし）	相違	評価概要
<p>ネットの構成及び展開方向</p> <p style="text-align: center;">構造</p>	<p>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</p> 	<p>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</p> 	<p>無</p>	<p>—</p>
<p>防護ネットの保持方法</p>	<p>展開/展開直交方向に渡り、L字形にワイヤロープを配置し、ネットを保持</p>	<p>展開/展開直交方向に渡り、L字形にワイヤロープを配置し、ネットを保持</p>	<p>無</p>	<p>—</p>

第3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較（4/5）

項目		電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠なし）	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	<p>電中研報告書では、保持管の間のワイヤロープで衝突荷重が伝達されるモデルのため評価へ影響を与えない。 5.2(3)参照</p>
	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3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較（5/5）

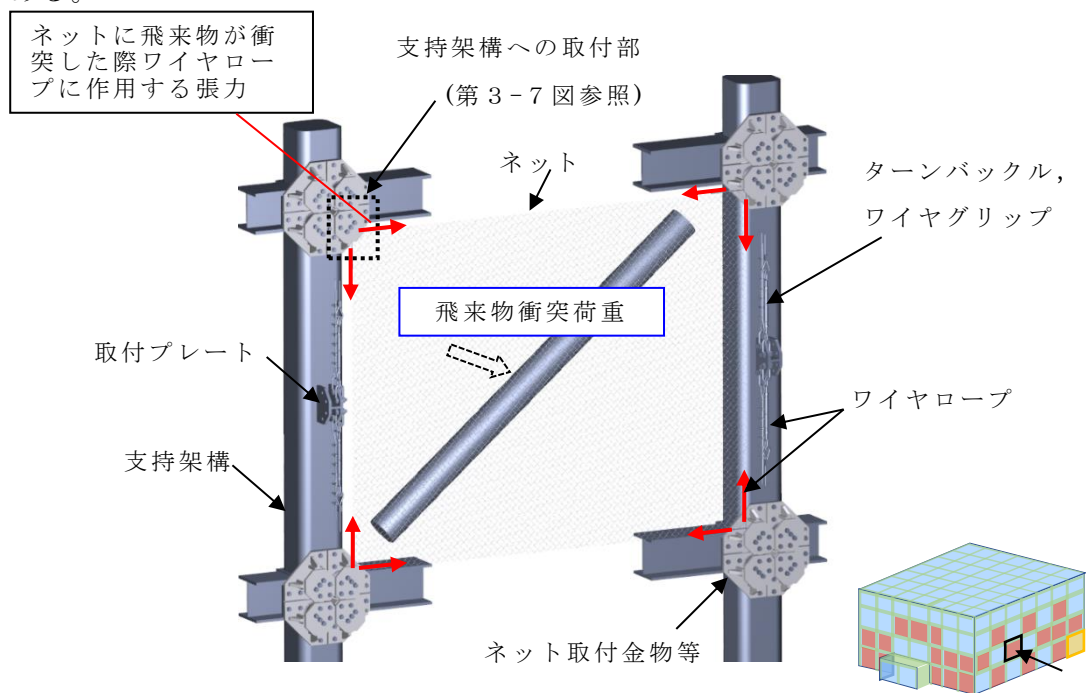
項目		電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠なし）	相違	評価概要
構造	ワイヤロープ取り回し	<p>内巻</p> 	<p>内巻</p> 	無	—
	アスペクト比	1 : 1 ~ 2 : 1	1 : 1 ~ 2 : 1	無	—

(2) 内張りネット（鋼製枠なし）

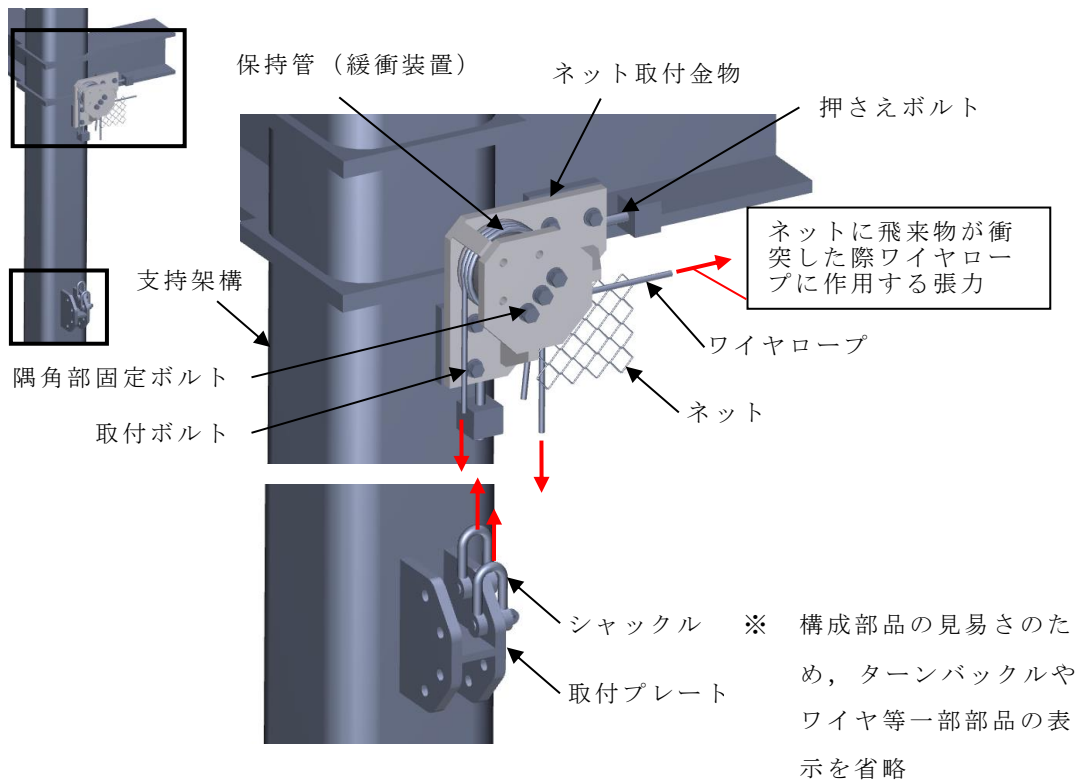
内張りネット（鋼製枠なし）は、ネット四隅固定用の金物、及びワイヤロープの取付プレートを、支持架構の内面に直接設置する。内張りネット（鋼製枠なし）の構造概要を第3-6図に、また支持架構への取付部の拡大図を第3-7図に示す。

第3-4表、第3-5表に、電中研報告書の防護ネットと内張りネット（鋼製枠なし）の構造比較と諸元比較それぞれを示す。

相違点は鋼製枠の有無、ワイヤグリップの数、ワイヤロープの保持方法である。

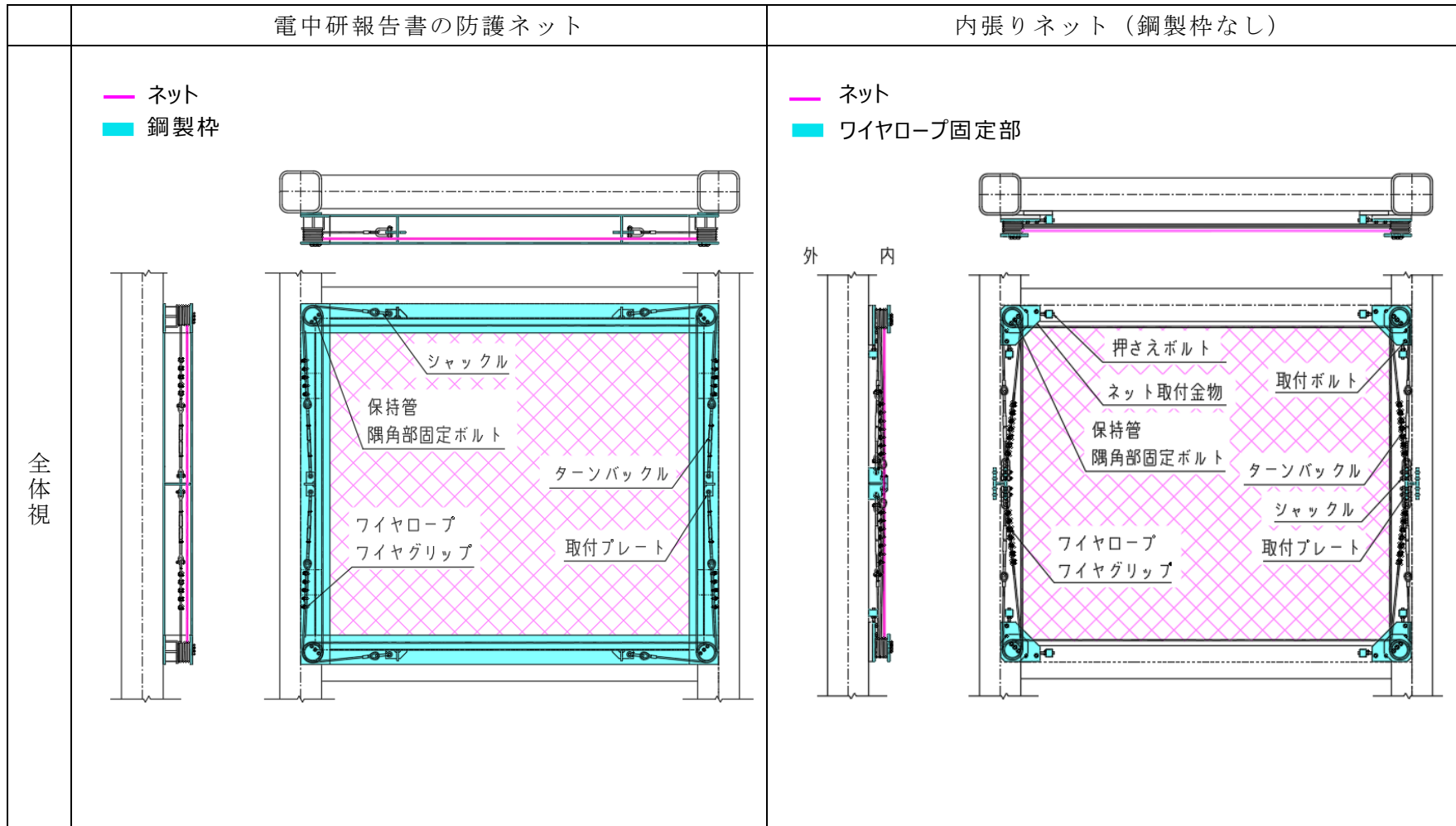


第3-6図 内張りネット（鋼製枠なし）構造概要

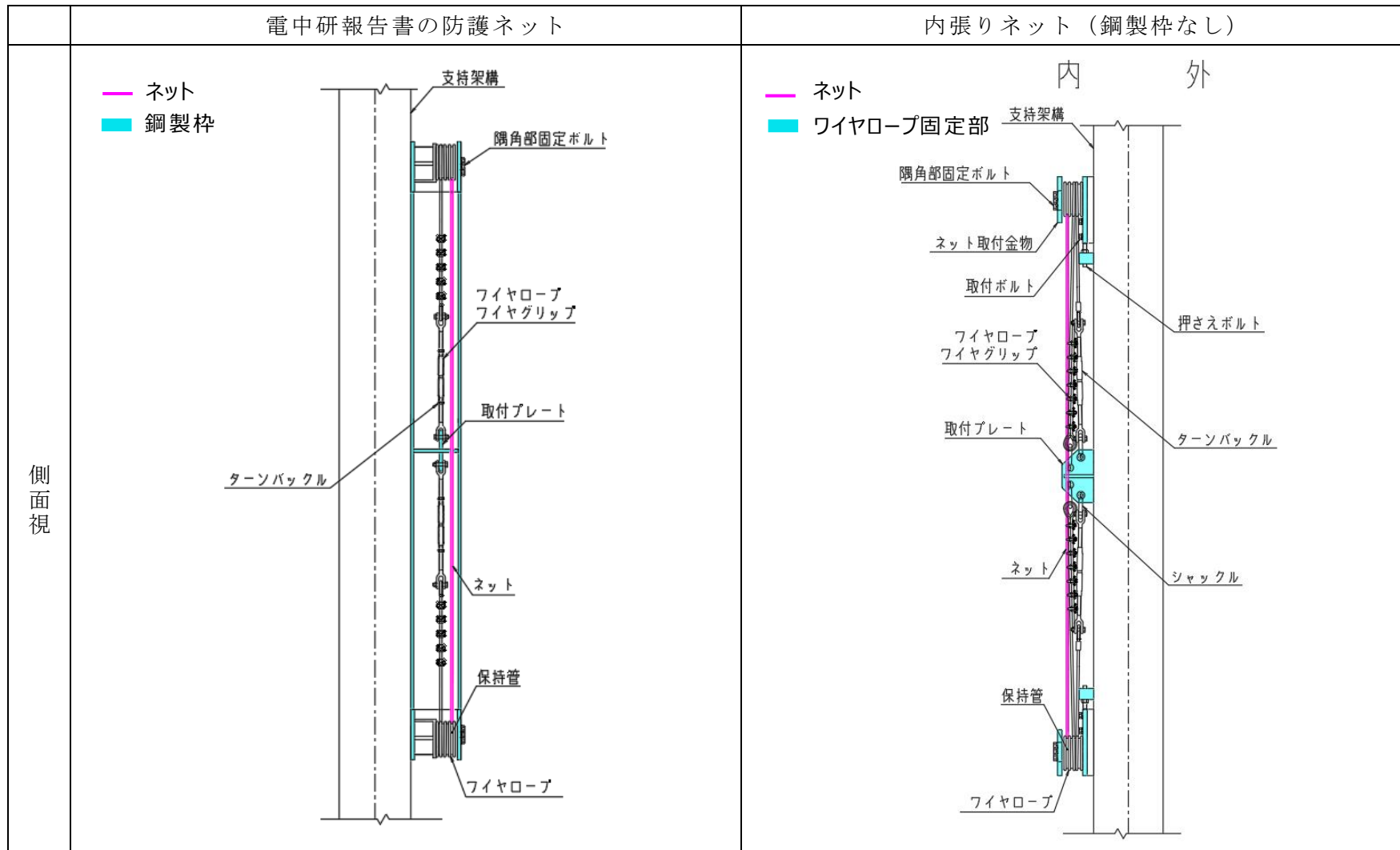


第3-7図 内張りネット（鋼製枠なし） 支持架構への取付部拡大図

第3-4表 電中研報告書の防護ネットと内張りネット（鋼製枠なし）の構造比較（1/2）



第3-4表 電中研報告書の防護ネットと内張りネット（鋼製枠なし）の構造比較（2/2）



第3-5表 電中研報告書の防護ネットと内張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較

項目	電中研報告書の防護ネット	内張りネット（鋼製枠なし）	相違	評価概要
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;"> 「第3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較」と同じ </div> <div style="flex-grow: 1; border: 1px solid black;"></div> </div>				

(3) 外張りネット（鋼製枠あり）（車両用扉ネット）

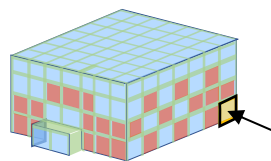
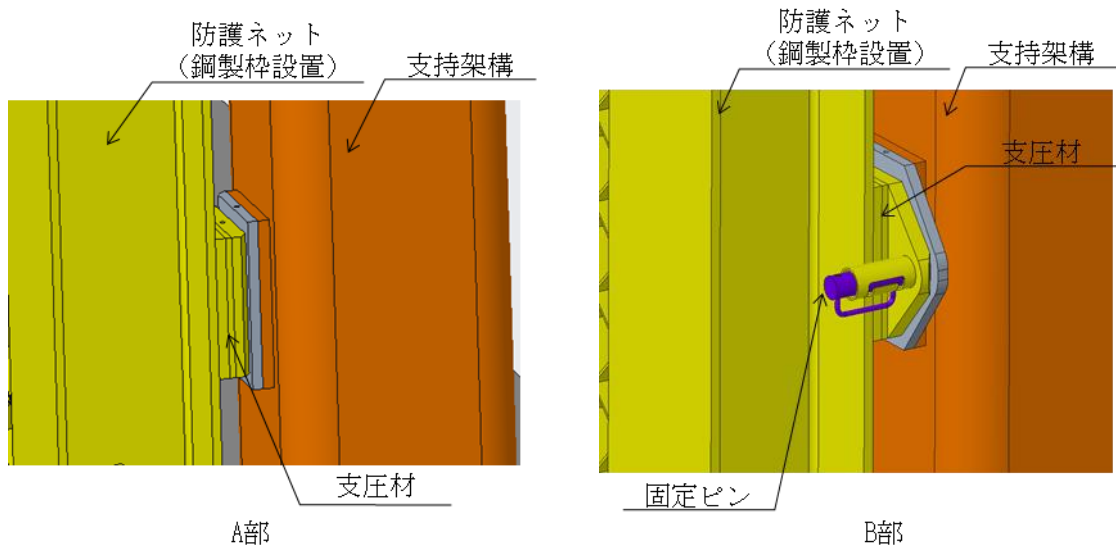
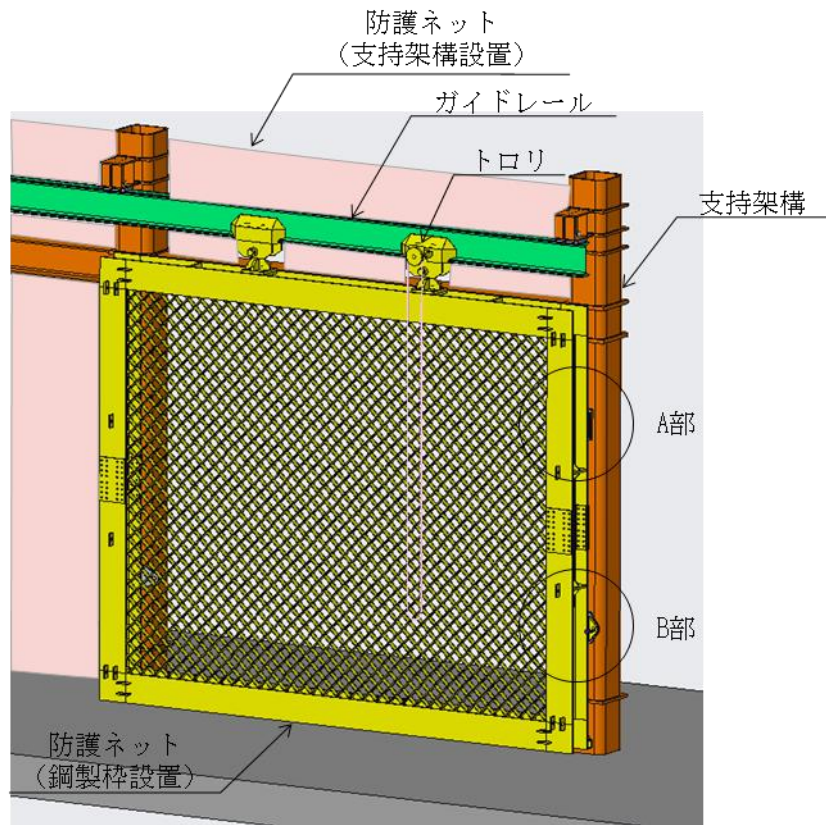
鋼製枠を用いて設置する防護ネットは、飛来物防護ネット南面に設ける車両通行用の開口部において、可動式の車両用扉として、防護ネットを取付けた鋼製枠を支持架構の外側に設置する。車両用扉ネットは、竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔のメンテナンス時に、飛来物防護ネットの内側に車両等が通行可能となる開口を確保するための手動開閉式の防護ネットであり、鋼製枠付防護ネット、支圧材、トロリ及び固定ピンで構成される。竜巻風等で扉が開かないよう車両用扉を固定ピンにより支柱に固定し、車両等が通行する際に、支持架構に設置されたガイドレール上を、トロリによって走行させることで開閉する機構を有する。鋼製枠付き防護ネットは、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。

飛来物衝突時は、防護ネットと支柱間に設置された4つの支圧材において、防護ネットの反力を支柱側へ伝達する構造となっている。

外張りネット（鋼製枠あり）の構造概要を第3-8図に示す。

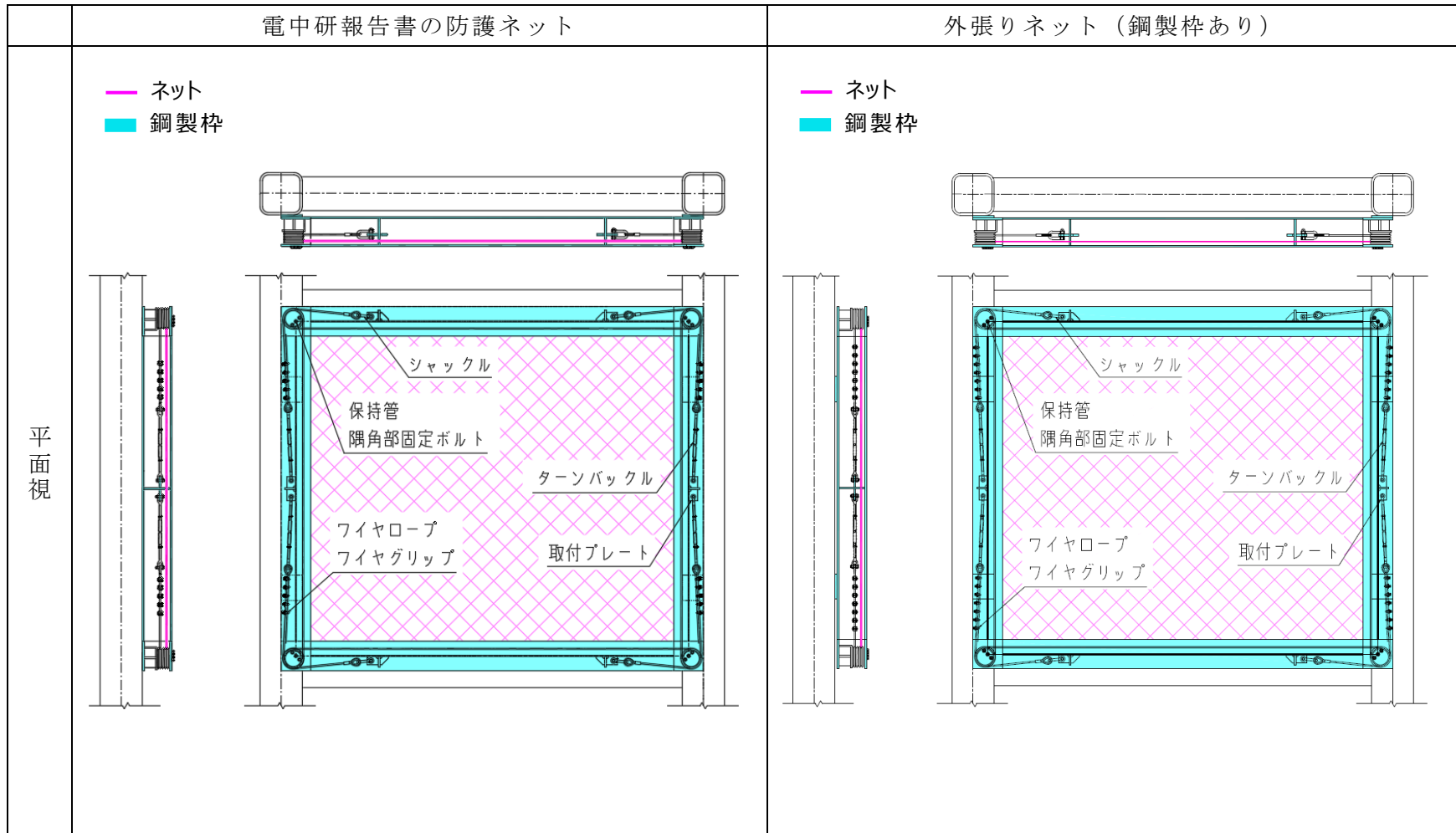
第3-6表、第3-7表に、電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠あり）の構造比較と諸元比較それぞれを示す。

相違点はワイヤグリップの数である。

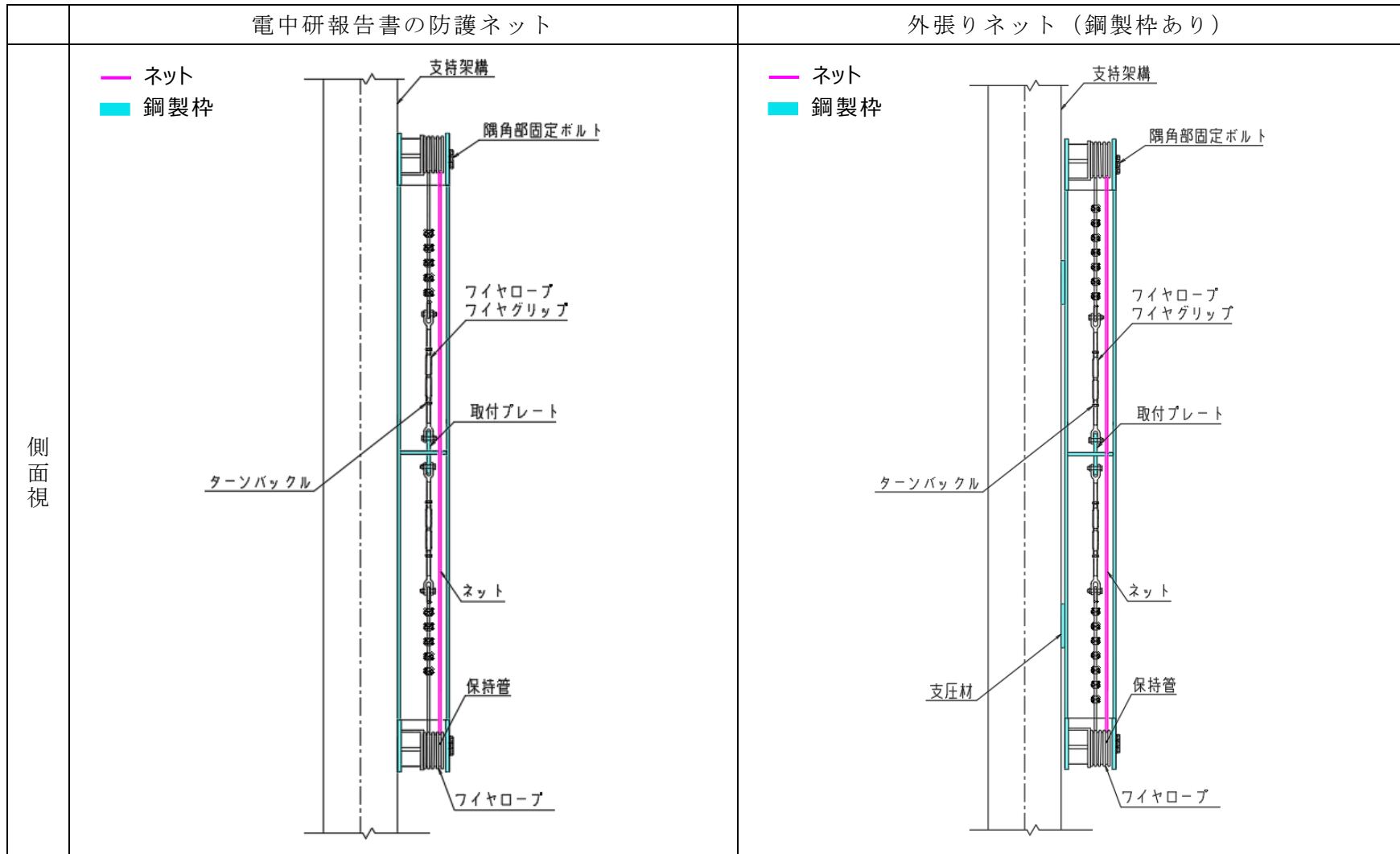


第3-8図 外張りネット（鋼製枠あり）（車両用扉ネット）構造概要

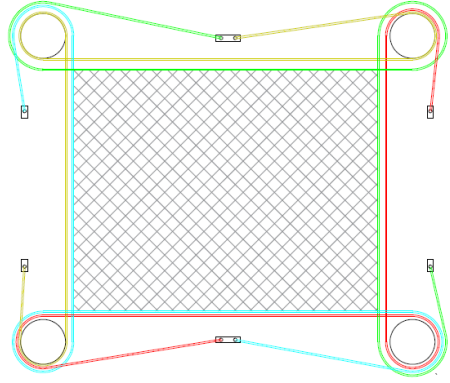
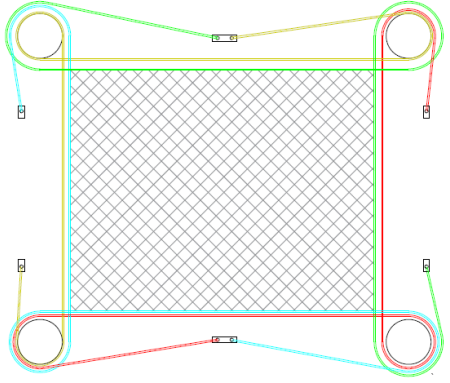
第3-6表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠あり）の構造比較（1/2）



第3-6表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠あり）の構造比較（2/2）



第3-7表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠あり）の諸元比較

項目		電中研報告書の防護ネット	外張りネット（鋼製枠あり）	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及び取付プレートを鋼製枠に設置	無	—
構造	ワイヤロープの保持方法	取付プレート数は6個 	取付プレート数は6個 	無	—
<p>上記以外は「第3-3表 電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）の諸元比較」と同じ</p>					

3. 3 防護板の構造

(1) 防護板

支持架構に鉛直ブレースが取り付く箇所は支持架構内側に防護ネットを取り付けるが、防護ネットの離隔距離を確保できない箇所、及び支持架構の梁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出来ないことから、防護板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。

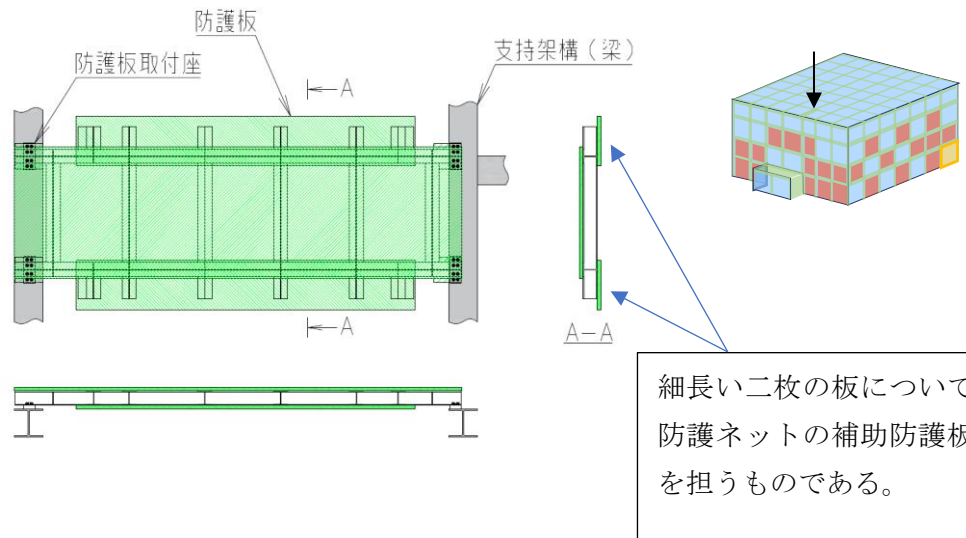
また、飛来物防護ネット内へ人がアクセスする際の入り口の防護板には、人員用開口を設ける。人員用開口は飛来物の侵入を防止するため、第3-11 図に示すように防護板を組み合わせて、迷路構造となる様設置している。

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、風荷重及び雪荷重による変形を防止するために、防護板に補強材（H型鋼及びアングル）を設け、溶接にて一体構造としている。

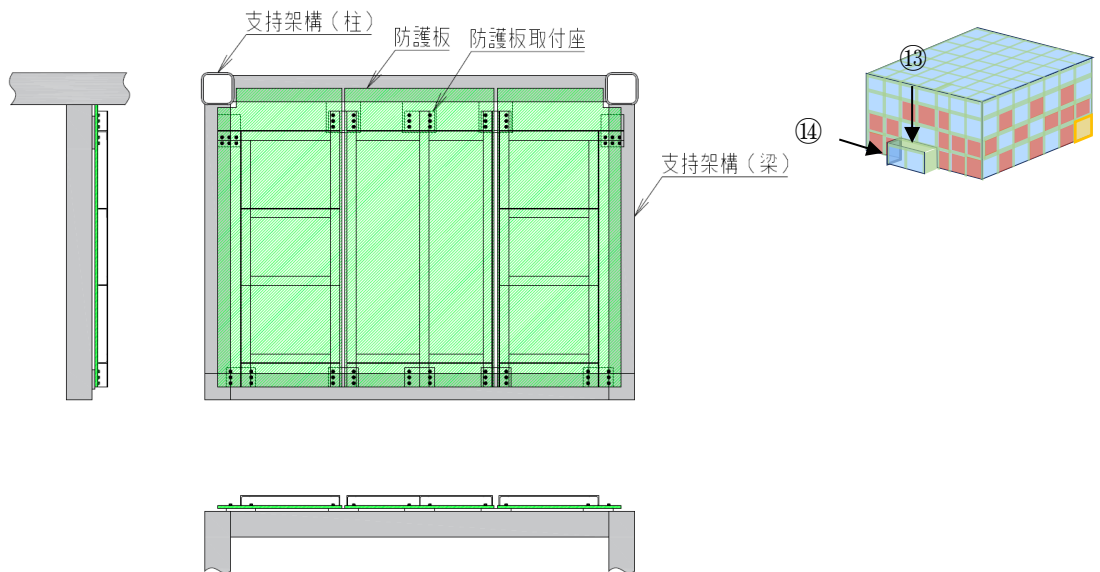
防護板のタイプ一覧を第3-8表に示す。

第3-8表 防護板のタイプ一覧

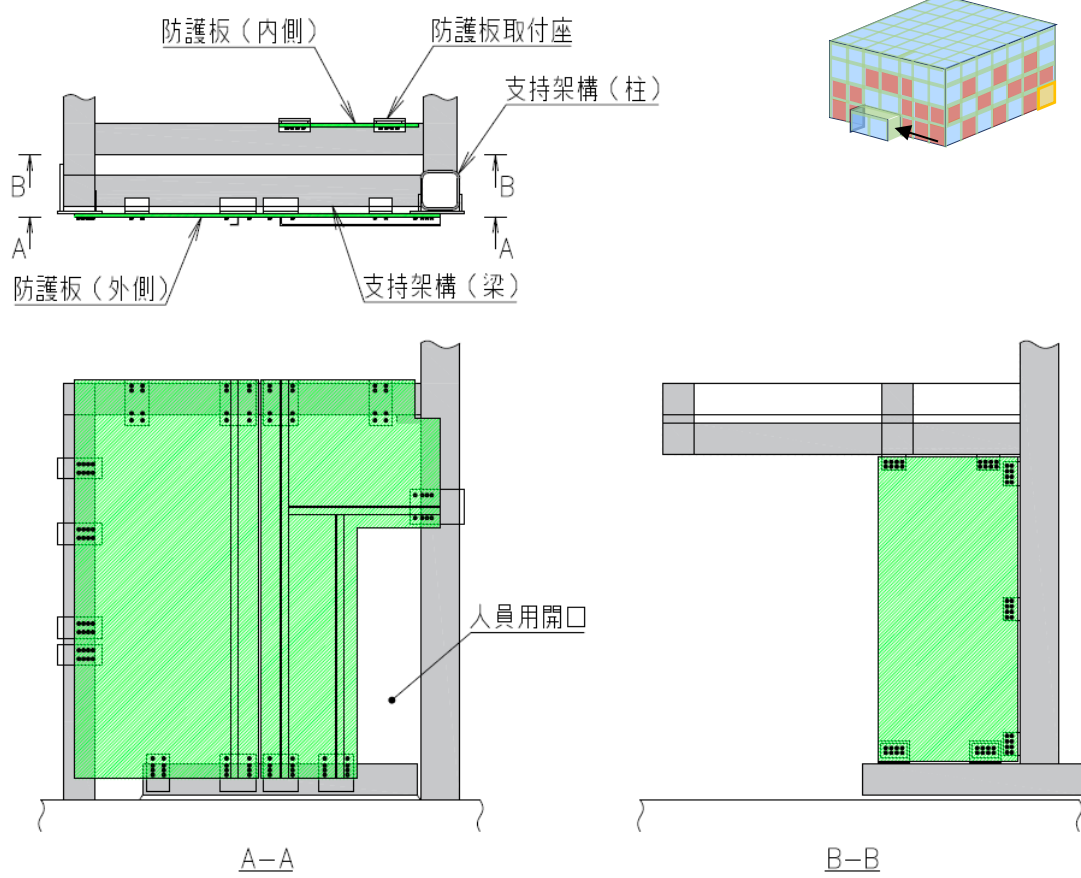
防護板タイプ	防護板構造	支持構造	図
⑫防護板 (斜め梁部天面, 外取付)	SUS板 t9 +補強H型鋼	2辺支持	第3-9図
⑬防護板 (張出部天面, 外取付)	SUS板 t9 +補強アングル	2辺支持	第3-10図
⑭防護板 (張出部北側側面, 外取付)			
⑮防護板 (張出部南側面, 人員用開口, 外取付)	SUS板 t9 +補強アングル	2辺支持	第3-11図
⑦防護板 (②用, 防護板補強有り, 外取付)	SUS板 t9 +補強アングル	1辺支持	第3-12図
⑥防護板 (①用, 内取付)	SUS板 t9	1辺支持	第3-13図
⑧防護板 (②用, 防護板補強無し, 内取付)			



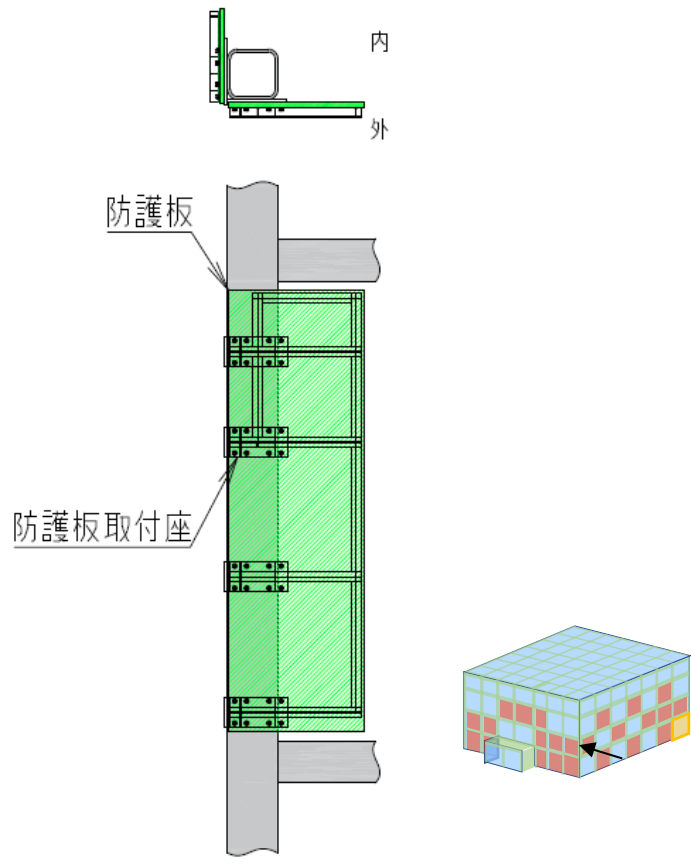
第3-9図 ⑫防護板(斜め梁部天面)



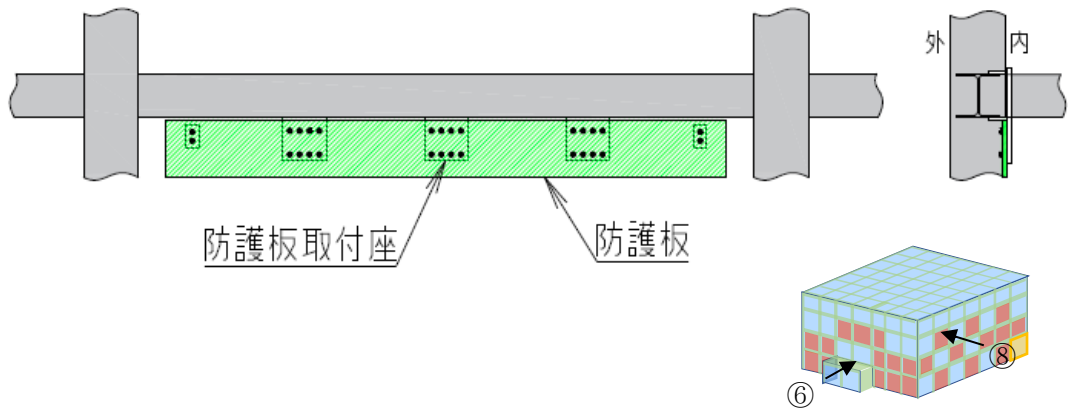
第3-10図 ⑬防護板(張出部天面)



第 3-11 図 ⑮防護板 (人員用開口)



第 3-12 図 ⑦防護板



※⑥防護板（①用，内取付）についても同一の構造であることから省略

第 3-13 図 ⑧防護板

(2) 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梁の端面に近接している。

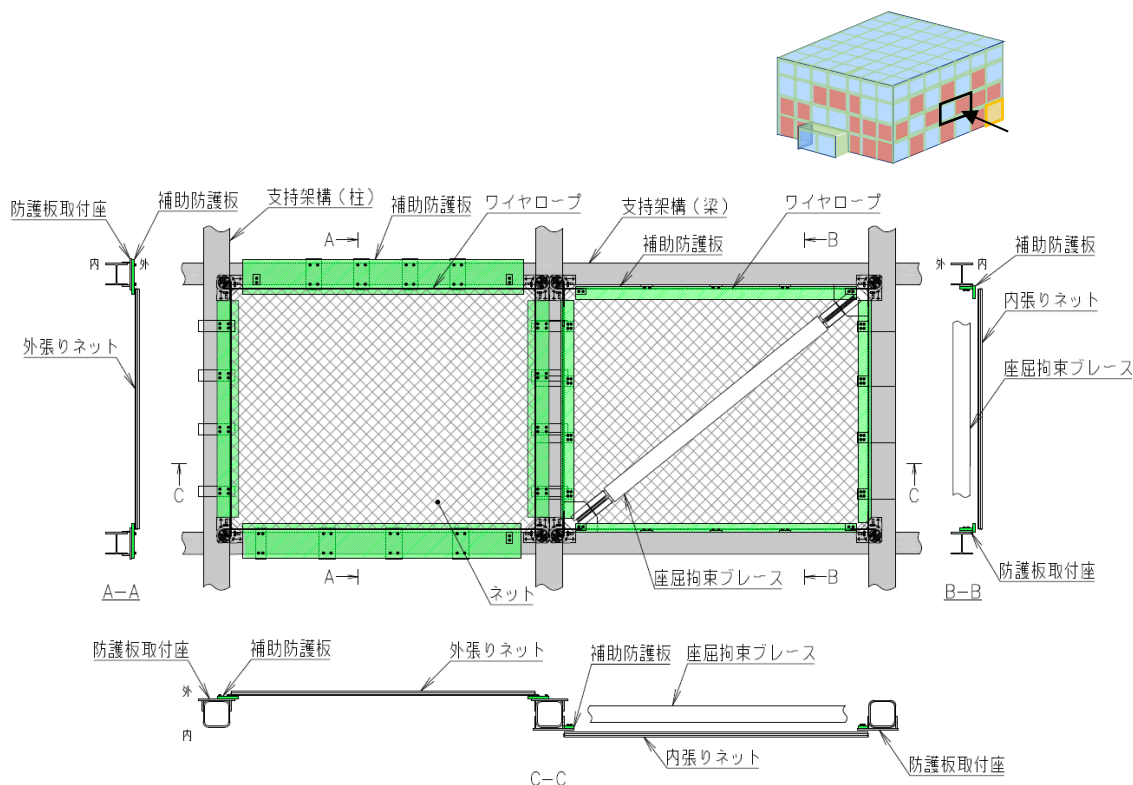
製作、据付公差によって隙間が生じる恐れがあることからの飛来物の侵入防止を目的として、防護ネット周囲に補助防護板を設置する。補助防護板は、防護ネット位置に合わせて、支持架構の外表面または内面に設置する。

補助防護板の構造概要を第3-14図に、補助防護板のタイプ一覧を第3-9表に示す。

外張りネット（鋼製枠なし）と支持架構の隙間を塞ぐ補助防護板は、1枚の外張りネット（鋼製枠なし）の隙間を塞ぐ補助防護板（第3-15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3-16図）の2タイプが存在する。また、外張りネット（鋼製枠あり）（車両用扉ネット）と架構との隙間からの侵入を防止するための補助防護板を第3-17図に示す。

一方、内張りネットと支持架構の隙間を塞ぐ補助防護板については、架構と干渉回避の制約から、梁に取りつける補助防護板と柱に取りつける補助防護板の2タイプが存在する。

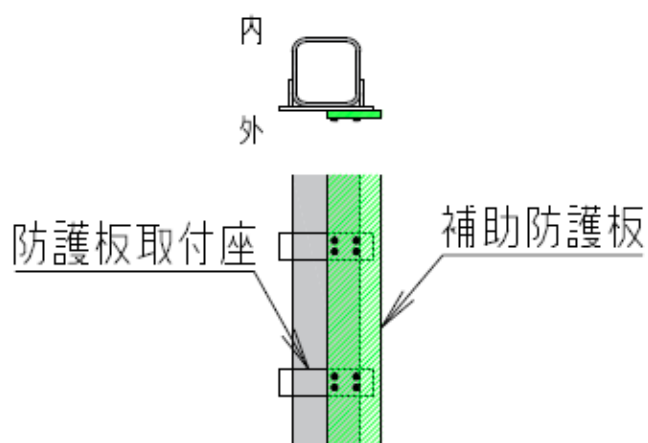
梁に取りつける補助防護板は、第3-18図に示すL型の補助防護板構造とし、柱に取りつける補助防護板は第3-19図に示す構造とする。



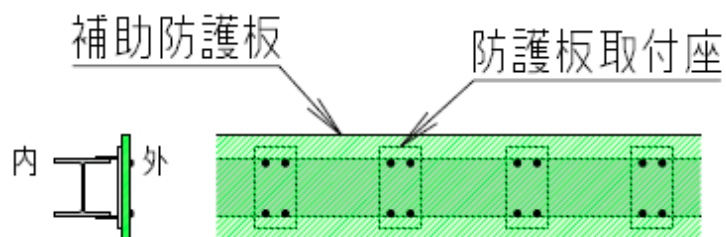
第3-14図 防護ネット補助防護板と防護ネットの位置関係

第 3 - 9 表 補助防護板のタイプ一覧

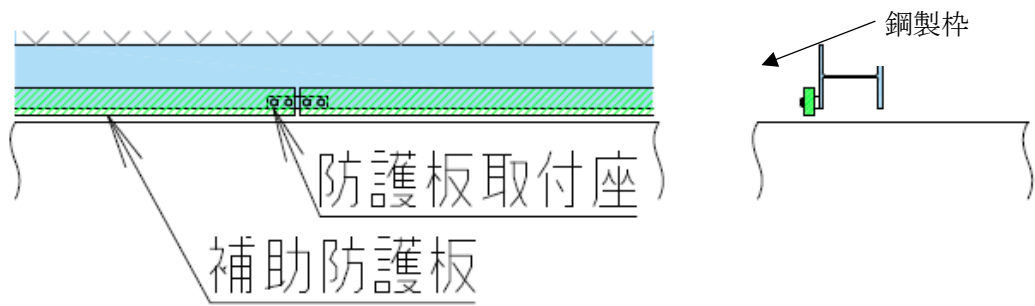
防護板タイプ	防護板構造	支持構造	図
④補助防護板 (①用, 片側防護, 外取付)	SUS 板 t9 (片側張り出し)	1 辺支持	第 3 - 15 図
⑤補助防護板 (①用, 両側防護, 外取付)	SUS 板 t9 (両側張り出し)	1 辺支持	第 3 - 16 図
⑪補助防護板 (③用, 外取付)	SUS 板 t9	1 辺支持 (車両用扉取付)	第 3 - 17 図
⑨補助防護板 (②用, 梁取付用, 内取付)	SUS 板 t9 (L 型構造)	1 辺支持	第 3 - 18 図
⑩補助防護板 (②用, 柱取付用, 内取付)	SUS 板 t9	1 辺支持	第 3 - 19 図



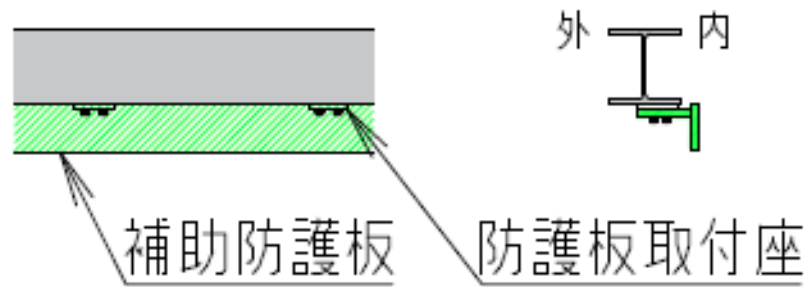
第 3 - 15 図 ④補助防護板



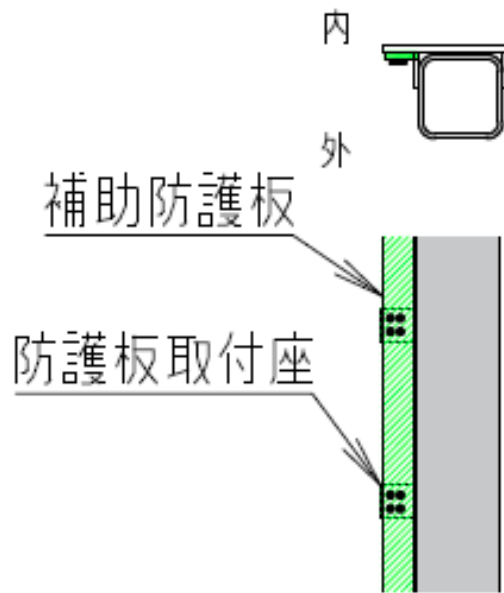
第 3 - 16 図 ⑤補助防護板



第 3-17 図 ①補助防護板



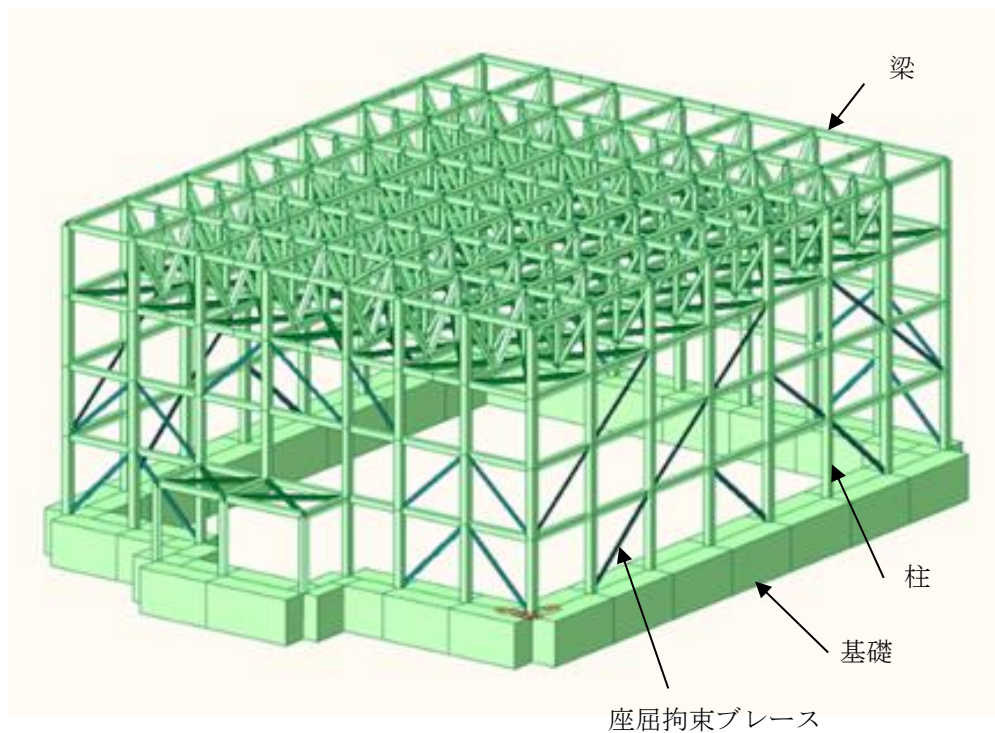
第 3-18 図 ⑨補助防護板



第 3-19 図 ⑩補助防護板

3.4 支持架構の構造

支持架構は，柱，梁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，溶接及び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3-20図に示す。



第3-20図 支持架構の構造概要

4. 強度評価の考え方

4.1 電中研評価式の適用性の確認

電中研報告書に記載されている，鋼製枠取付設計の防護ネットの吸収エネルギー評価，破断評価およびたわみ評価の各評価モデルの妥当性は，試験により確認されている。そのため，これらの評価式を用いて，ネットの飛来物捕捉可否を評価するためには，電中研が試験に用いた試験体から得られた適用条件を満足させる必要がある。

電中研の報告書より，これらの評価式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ことが分かる。

- ・電中研評価手法は電中研の試験に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。
- ・電中研評価手法はネットのアスペクト比（幅寸法／展開長寸法）が1：1～1：2の間で有効とされており，同様であること。
- ・電中研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。

今回安全冷却水B冷却塔に採用した防護ネットについては，いずれも上記を満足していることを確認する。

4.2 防護ネットの健全性確認

今回安全冷却水B冷却塔に採用した防護ネットは，電中研報告書の防護ネットと比べると以下の相違点があり，それぞれ強度評価上問題ないことを確認する。

相違点および確認方針は以下のとおり

(1) 鋼製枠の有無

- ・防護ネットの取付け部位が，構造強度上問題ない強度を有していることを確認。
- ・外張りネット（鋼製枠なし）において，飛来物がワイヤロープに直撃する可能性があるが，強度評価上問題ないことを確認。
- ・外張りネット（鋼製枠なし）において，補助防護板が飛来物衝突時のネット変形の阻害とならないことを確認。

(2) ワイヤグリップの数

ワイヤロープによる防護ネットの保持において，ワイヤグリップの数の違いが強度評価上問題ないことを確認。

(3) ワイヤロープの保持方法

- ・ワイヤロープの末端を保持する取付プレートが，支持架構への取付部（溶接）を含めて構造強度上問題ない強度を有していることを確認。
- ・内張りネット（鋼製枠なし）への飛来物衝突時において，保持管によるワイヤロープの保持に問題ないことを確認。

(4) 支持架構への取付方法

外張りネット（鋼製枠無し），内張りネット（鋼製枠なし），外張りネット（鋼製枠付あり）のそれぞれについて，飛来物の衝突荷重の伝達経路を洗い

出し、衝突荷重を負担する全ての部材が、構造強度上問題ない強度を有していることを確認。ここで、伝達経路を洗い出すために衝突荷重を便宜的にX軸、Y軸、Z軸に分解した上で荷重伝搬を検討するが、部材の強度評価においては分解前の衝突荷重を想定する。

(5) 防護ネットに作用する荷重

電中研報告書には防護ネット水平設置時の自重および飛来物衝突荷重についての記載があるが、安全冷却水B冷却塔に採用した防護ネットの評価で考慮した風荷重及び積雪荷重並びに防護ネット鉛直設置時の各荷重についての記載が無いため確認。

4.3 防護板の健全性確認

各防護板の板厚が貫通限界厚さ以上を有していることを確認する。また、各防護板の支持部が衝突荷重に対して問題ないことを確認する。

5. 評価結果（確認結果）

5.1 電中研評価式の適用性の確認結果

電中研の評価式の適用にあたり、以下の構造上の要求を満足していることを確認した。（第3-3表、第3-5表、第3-7表参照）

- ・ 電中研評価手法は電中研の試験に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。
- ・ 電中研評価手法はネットのアスペクト比（幅寸法／展開長寸法）が1：1～1：2の間で有効とされており、同様であること。
- ・ 電中研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。

5.2 防護ネットの健全性の確認結果

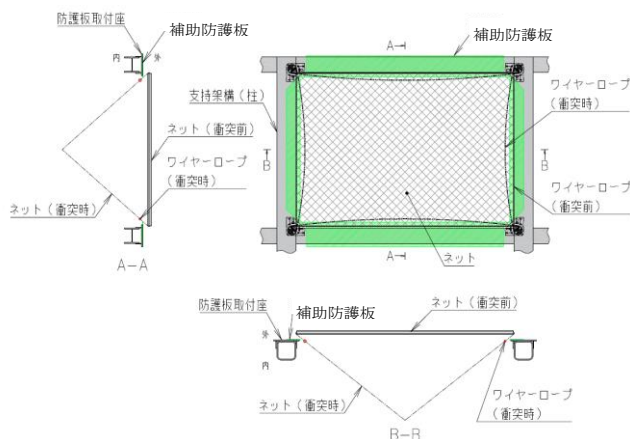
(1) 鋼製枠の有無の相違について

電中研の報告書から、鋼製枠は飛来物を捕捉するプロセスにおいて、直接関係することはないことを確認した。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、架構取付設計の防護ネットにおいては、取付プレートは支持架構が具備しており、保持管を支持する役割はネット取付金物が担っており、構造強度上問題ない強度を有していることを確認した。

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

外張りネット（鋼製枠なし）において、飛来物がワイヤロープに直撃する可能性があるが、飛来物はワイヤロープの後ろにある補助防護板に衝突すること、あるいは、ワイヤロープに当たった後回転してネットに捕捉されることから、問題ない。

外張りネット（鋼製枠なし）において、補助防護板とワイヤロープの重なりが約100mmあるが、鋼製枠付防護ネットとの比較において、鋼製枠のフランジ面とワイヤロープの重なり部分と比較し遜色ないことから、ネット展開の阻害とならない（第5-1図参照）



第5-1図 飛来物衝突時のネットと補助防護板の干渉確認

(2) ワイヤグリップの数の相違について

電中研報告書の防護ネットでは、50mm 目合ネットのワイヤグリップの数は5個であり、本計画では7個のワイヤグリップを取り付けている。ワイヤロープ末端のワイヤ保持力は、ワイヤグリップ個数が多いほど増加する。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はより確保されることから、本計画におけるネットの保持機能は確保できている。なお、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

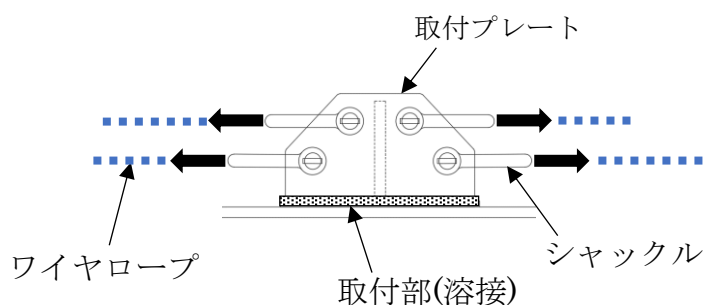
第5-1表に電中研報告書の防護ネットと今回の外張りネット（鋼製枠なし）及び内張りネット（鋼製枠なし）のワイヤロープによるネットの保持方法を比較する。第3-3表に示す通り、ワイヤロープ設置方法と取付プレート個数は電中研報告書の防護ネットと外張りネット（鋼製枠なし）及び内張りネット（鋼製枠なし）で異なる。これは、計4本のワイヤロープ端部を2箇所の取付プレートの両端に取り付けることで、飛来物衝突時の取付プレートと支持架構の溶接部に発生する応力低減効果を期待したものである。取付プレートに作用する荷重の作用イメージを第5-2図に示す。なお、取付プレート溶接部の強度評価において本低減効果は期待しない。

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。

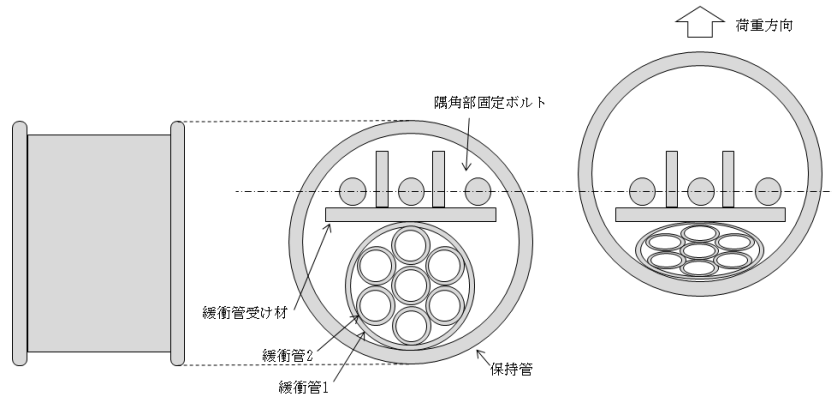
第5-3図で示す通り、緩衝構造は保持管の外管と緩衝管受け材の間に設置されており、ワイヤロープの荷重はその取付方によらず荷重が作用する構造となっている。

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モデルの適用が可能であり、評価モデルへの影響はない。

内張りネット（鋼製枠なし）への飛来物衝突時において、保持管が大きく変形することはなく、保持管の上下端に張出部があることから、保持管によるワイヤロープの保持に問題はない。



第5-2図 取付プレートへの荷重作用状況



第5-3図 保持管の構造 (左：変形前, 右：変形後)

第5-1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	支持架構に設置する防護ネット
主ネット（1枚目）		
主ネット（2枚目）		

(4) 支持架構への取付方法の相違について

a. 荷重の伝達経路の洗い出し (第5-4図, 第5-3表)

鋼製枠取付設計の防護ネットでは、飛来物の衝突荷重はワイヤロープからターンバックル、シャックル、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、架構取付設計の防護ネットでは、飛来物の衝突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。せん断力は許容値以下であり、せん断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。

以下に押さえボルトの例を示す。

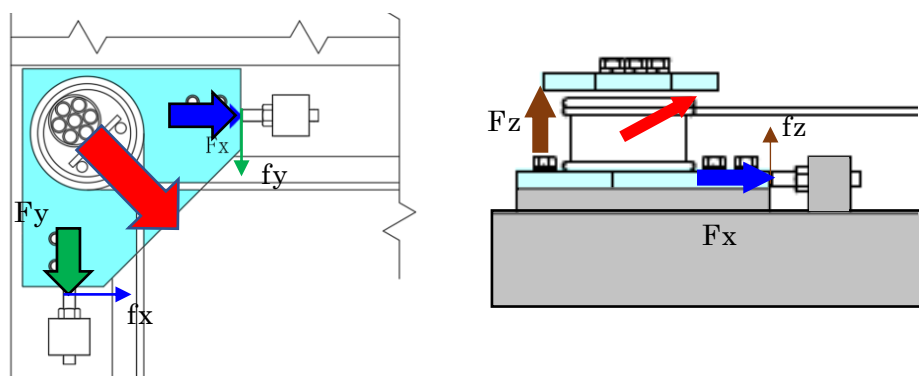
第5-4図のとおり衝突荷重が水平及び鉛直斜め方向に作用することを考慮して、押さえボルトに作用する圧縮力とせん断力を考慮した結果を第5-3表に示す。

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

第5-2表 ネット取付金物押さえボルトの荷重

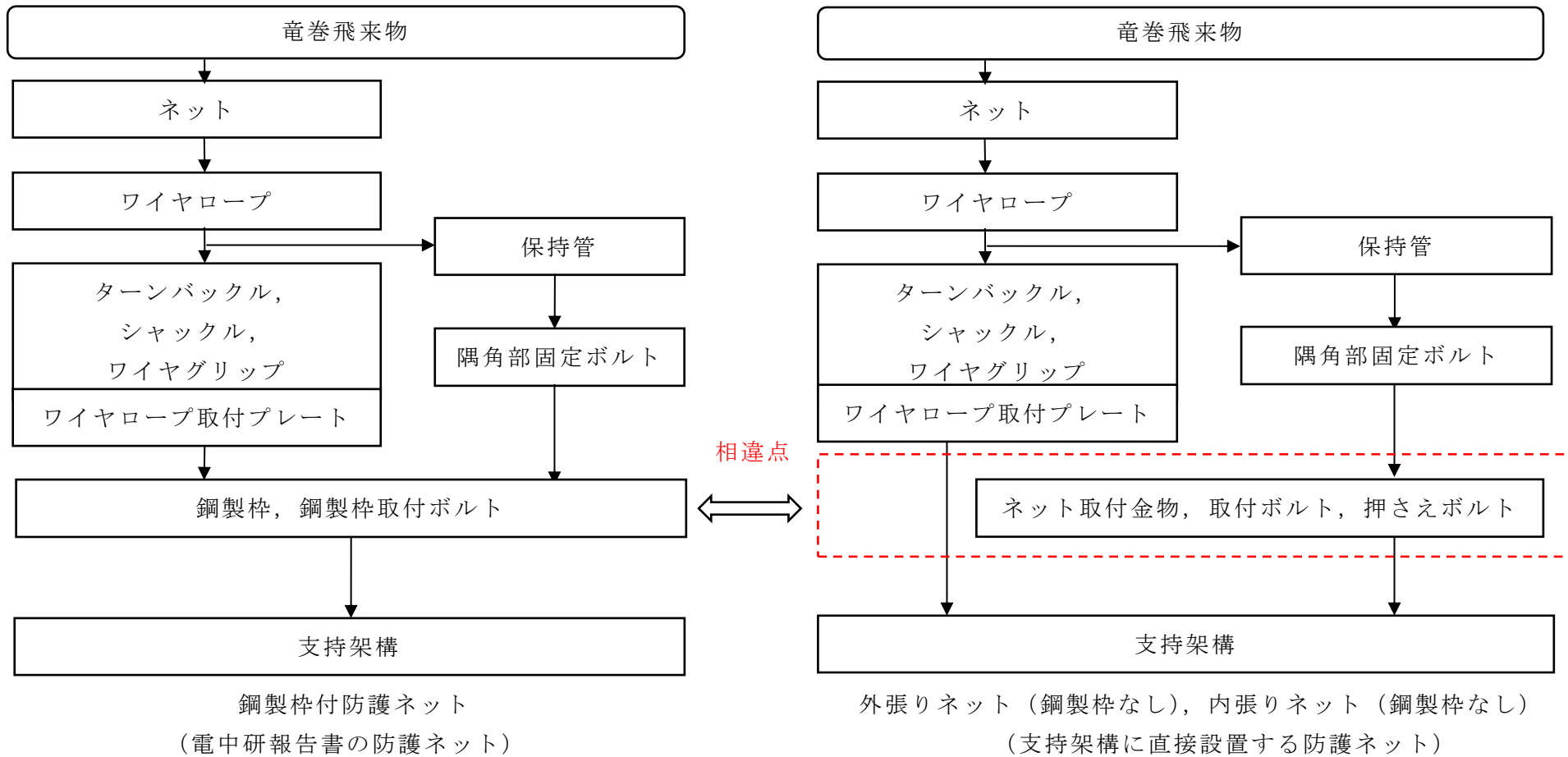
	応力	許容値
圧縮	714MPa	727MPa*
せん断 (水平)	19 MPa	420MPa
せん断 (鉛直)	17 MPa	420MPa

* : せん断力を同時に受けるボルトの許容応力



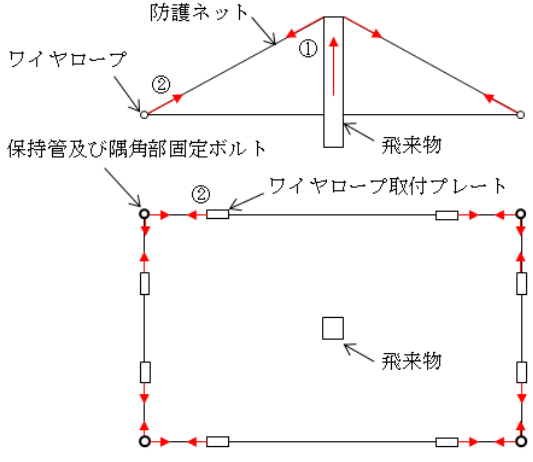
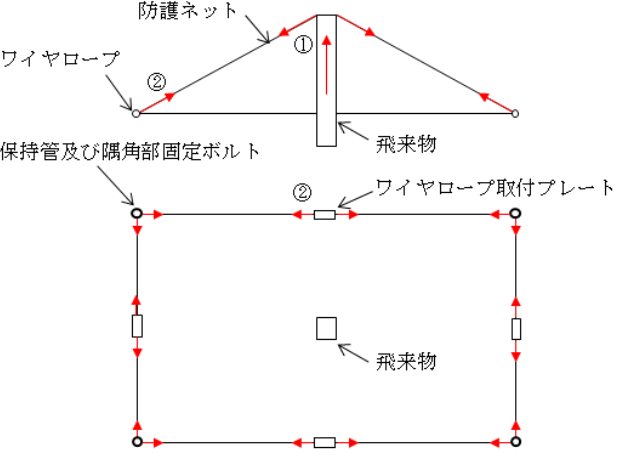
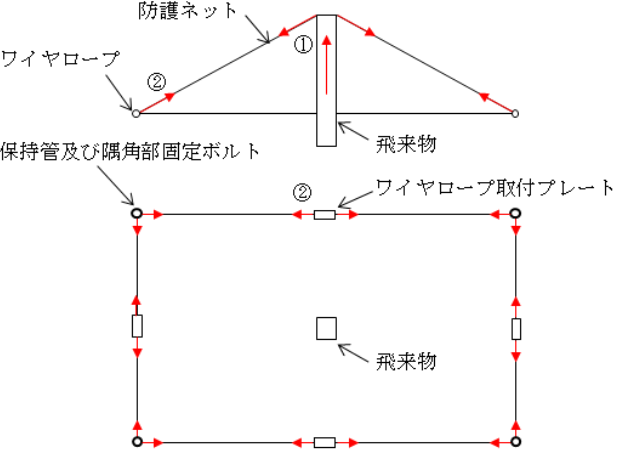
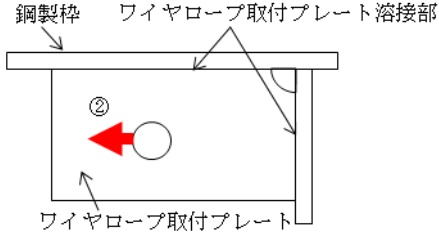
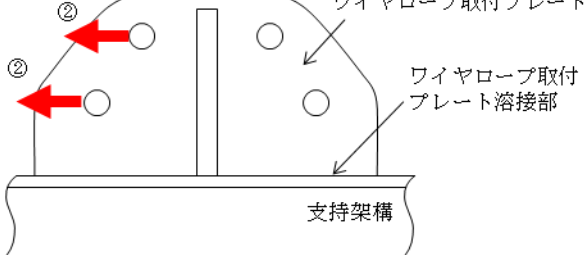
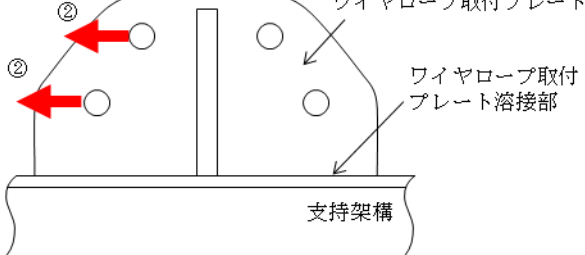
第5-4図 ネット取付金物押さえボルトの荷重

以上の通り、架構取付設計の防護ネットは鋼製枠がないため、荷重伝達経路に相違があるものの、飛来物衝突荷重を荷重伝達する部材についての強度評価を実施している。飛来物衝突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、飛来物衝突荷重に対して、ネット保持機能は維持される。

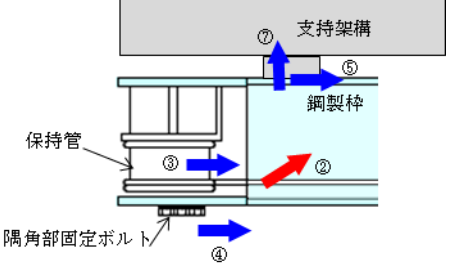
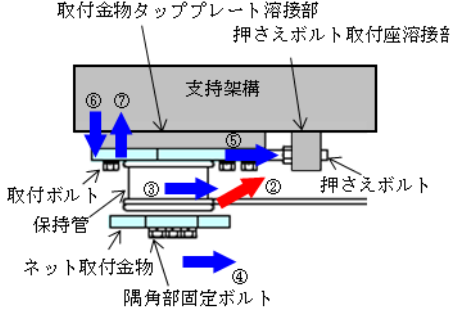
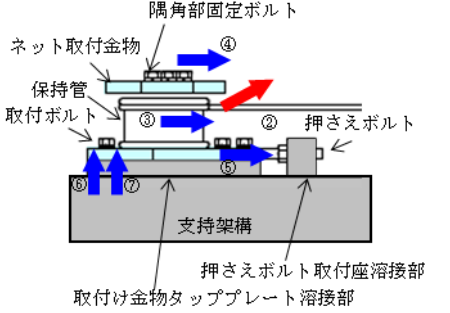


第5-4図 防護ネットの荷重伝達機構の比較

第5-3表 荷重伝達経路の比較 (1/2)

部位	電中研報告書の防護ネット	外張りネット (鋼製枠なし)	内張りネット (鋼製枠なし)
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</p> <p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る張力</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ワイヤロープ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 		
ワイヤロープ取付プレート	 <p>② ネットから受けるワイヤロープを引っ張る張力</p>		

第5-3表 荷重伝達経路の比較 (2/2)

部位	電中研報告書の防護ネット	外張りネット (鋼製枠なし)	内張りネット (鋼製枠なし)
保持管周辺	 <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力が作用する。</p> <p><u>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</u></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>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>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>

b. 評価対象部位

a. で整理した荷重伝達経路から，強度評価部位を整理し，各部位の許容荷重から代表評価部位を整理した結果を第5-4表に示す。

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

第5-4表 強度評価部位

部位	外張りネット（鋼製枠あり）		外張りネット（鋼製枠なし）		内張りネット（鋼製枠なし）	
	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	—	—	—	—	—	—
ワイヤロープ取付プレート	169kN	○	460kN	○	460kN	○
ワイヤロープ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			1735kN	—	1735kN	—
取付ボルト			256kN	○	256kN	○
取付金物タッププレート溶接部			2121kN*7	—	2121kN*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，鋼製枠のありなし，あるいは外張り/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

*3：外張り/内張りネット（鋼製枠なし）のワイヤロープ取付プレート溶接部は，ワイヤロープ取付プレートの評価に包絡される

*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，取付ボルト及び押さえボルトにて固定されているため評価対象外

*7：外張り/内張りネット（鋼製枠なし）の取付金物タッププレート溶接部は，取付ボルトの評価に包絡される

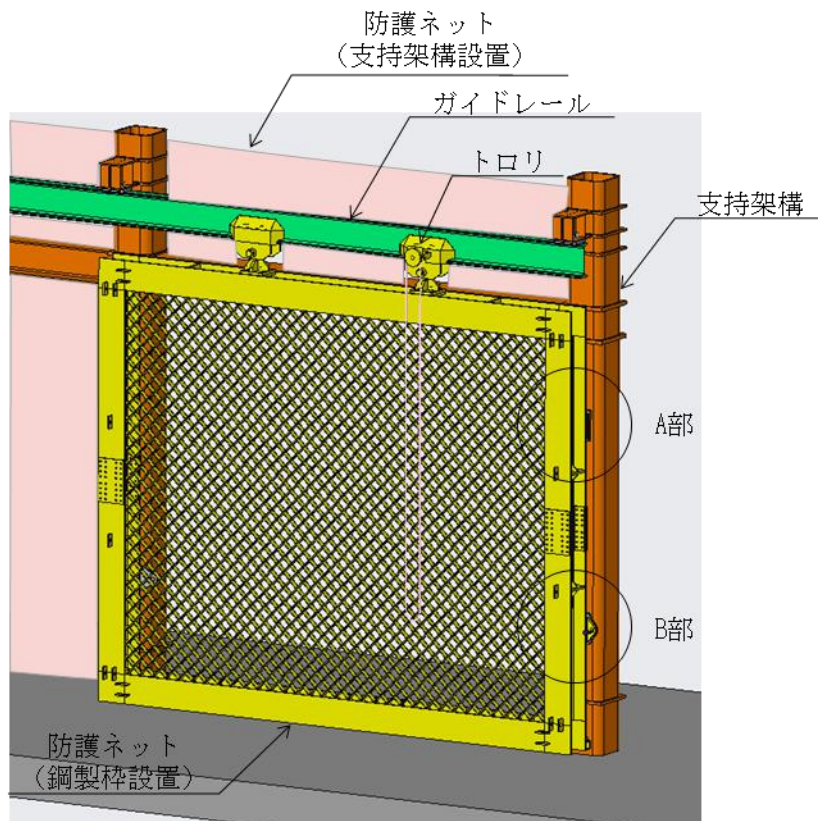
*8：外張り/内張りネット（鋼製枠なし）の押さえボルト固定座溶接部は，押さえボルトの評価に包絡される

*9：支持架構への飛来物直接衝突評価に包絡されるため評価対象外

c. 車両用扉ネットの妥当性

第5-5図に示す通り、車両用扉ネットである外張りネット（鋼製枠あり）はガイドレール、トロリにより支持架構に設置されているが、以下の理由により支持架構にボルトで直接設置した場合と同様の強度評価となる。

- ・ 車両用扉ネットの鋼製枠の大きさが支持架構の支柱スパンよりも大きいこと。
- ・ 車両通行時以外は閉運用であること（竜巻襲来時は車両通行しない運用）。
- ・ 竜巻等で開かないよう車両用扉ネットを固定ピンにより固定されること。
- ・ 飛来物衝突時は、車両用扉ネットと支持架構の間に設置される4つの支圧材において、車両用扉ネットの反力を支持架構側へ伝達する構造となっていること。



第5-5図 車両用扉ネット概略図

(5) 防護ネットに作用する荷重について

水平設置の防護ネットにおいては、電中研の試験で考慮されている自重及び飛来物衝突荷重に加えて、積雪荷重及び風圧力による荷重を考慮し評価を行い、問題ないことを確認した。

鉛直設置の防護ネットにおいては、自重は飛来物の衝突荷重及び風圧力と荷重の作用方向は異なるが、保守的に自重が飛来物の衝突荷重及び風圧力と荷重と同じ方向に作用するものとして評価を行い、問題ないことを確認した。

防護ネットの強度評価上考慮している荷重

	考慮する荷重			
	自重	積雪荷重	飛来物の衝突荷重	風圧力による荷重
水平設置の防護ネット	○	○	○	○
鉛直設置の防護ネット	○	-	○	○

5.3 防護板の健全性の確認結果

防護板に対する評価項目として、貫通評価と支持部の評価がある。

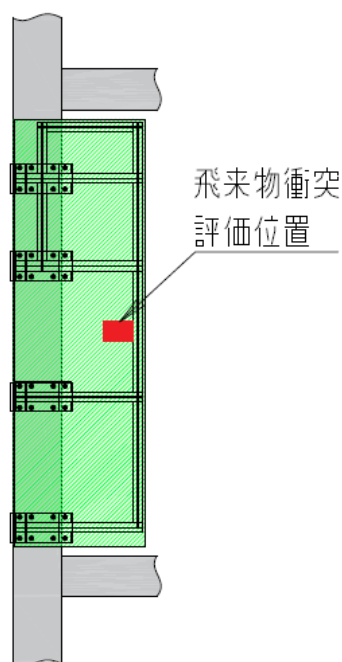
貫通評価については、BRL 式にて貫通限界厚さを算出し、それ以上の板厚があることを確認した。その結果は添付書類「V-別添 1-4 竜巻防護対策設備の強度計算書」に記載されている。

支持部の評価については、支持方式（1 辺支持及び 2 辺支持）毎に LS-DYNA にて評価を実施した。評価対象は、衝突荷重により支持部に作用するモーメントが大きいと考えられるもの、すなわち飛来物速度及び防護板サイズが大きいものを選定した。

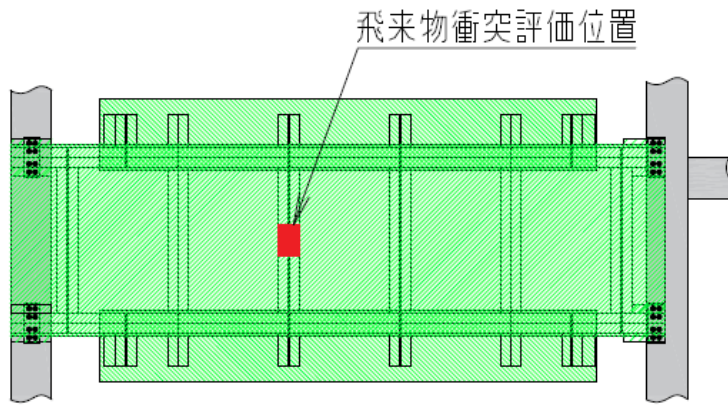
支持部の評価の結果、防護板を固定するボルトが 2 本以上破断せずに残ることが確認できたことから、防護板が脱落しない。

防護板評価対象

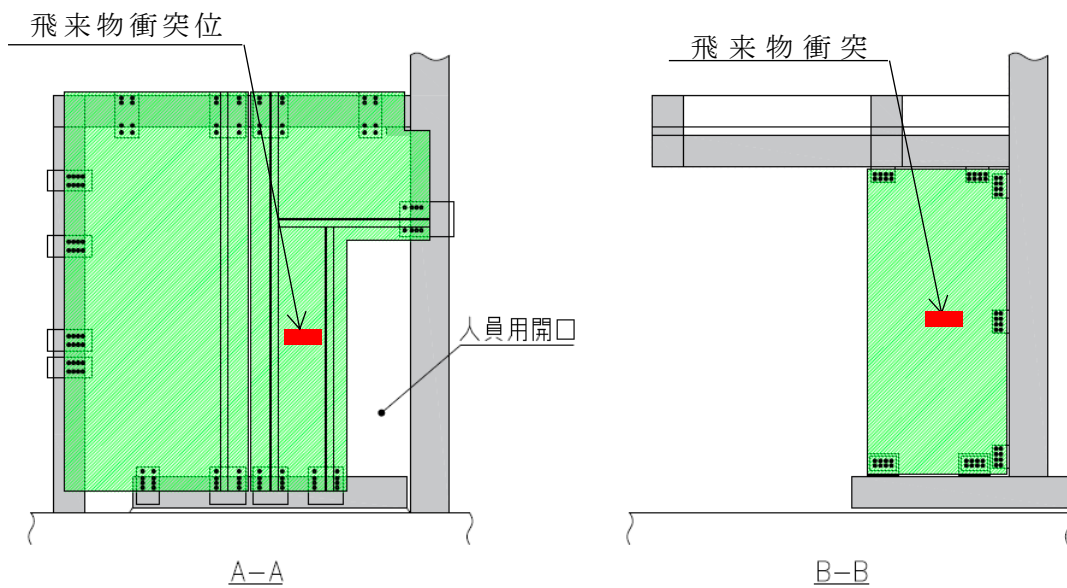
支持方法	飛来物速度	防護板サイズ	衝突位置
一辺支持	<u>51 m/s²</u> (水平衝突)	1300 mm × 4400 mm	第 5-6 図
二辺支持	<u>34 m/s²</u> (鉛直衝突)	<u>2700 mm × 6300 mm</u>	第 5-7 図
	<u>51 m/s²</u> (水平衝突)	<u>2300mm × 5100mm</u>	<u>第 5-8 図</u>



第 5-6 図 一辺支持防護板 飛来物衝突評価位置



第 5 - 7 図 二辺支持防護板 飛来物衝突評価位置



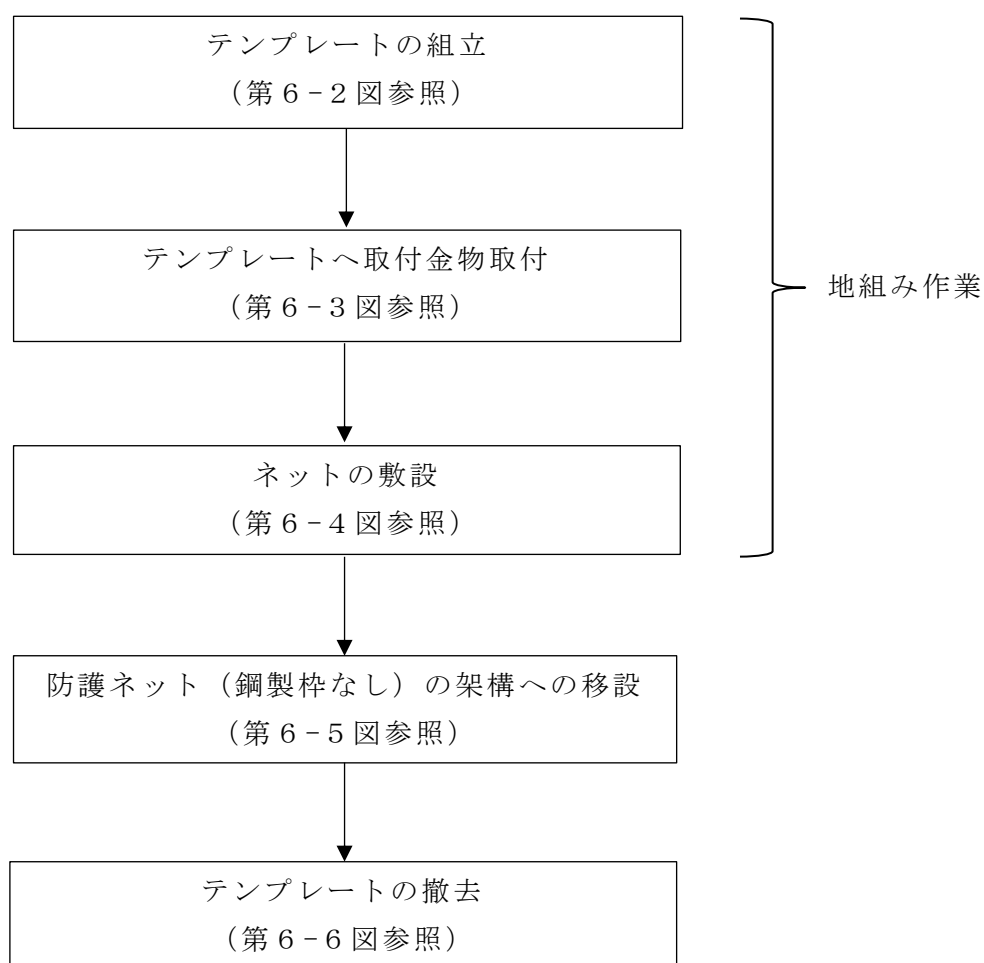
第 5 - 8 図 二辺支持防護板 飛来物衝突評価位置②

6. 防護ネット（鋼製枠なし）の組立て方法及び支持架構への取付方法

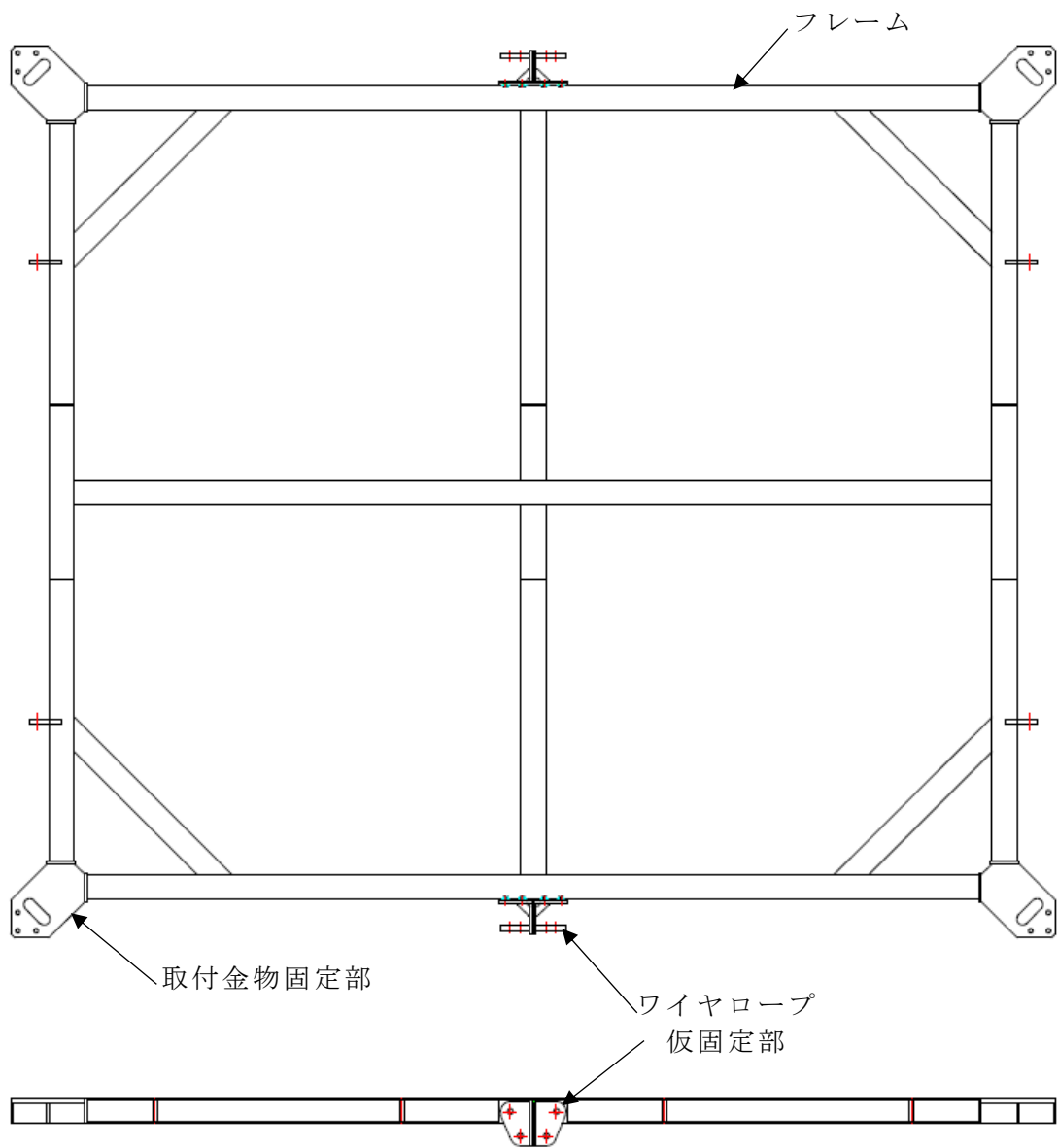
鋼製枠取付設計の防護ネットは組み立ての際、鋼製枠に直接各部材を取り付けた後、支持架構へ取り付ける。一方で架構取付設計の防護ネットでは、鋼製枠がなく、各部材を直接支持架構へ取り付けながら組み立てるのが困難であることからネット四隅固定用の金物間をテンプレートと称する仮設枠にて仮組・保持し、防護ネットの組立てを行う計画である。

外張りネット（鋼製枠なし）及び内張りネット（鋼製枠なし）の組立フローを第6-1図に、作業の概略図を第6-2図から第6-6図に示す。

防護ネット（鋼製枠なし）は、予め地上でテンプレート（治具）に取付け、架構へ移設し取り付ける。



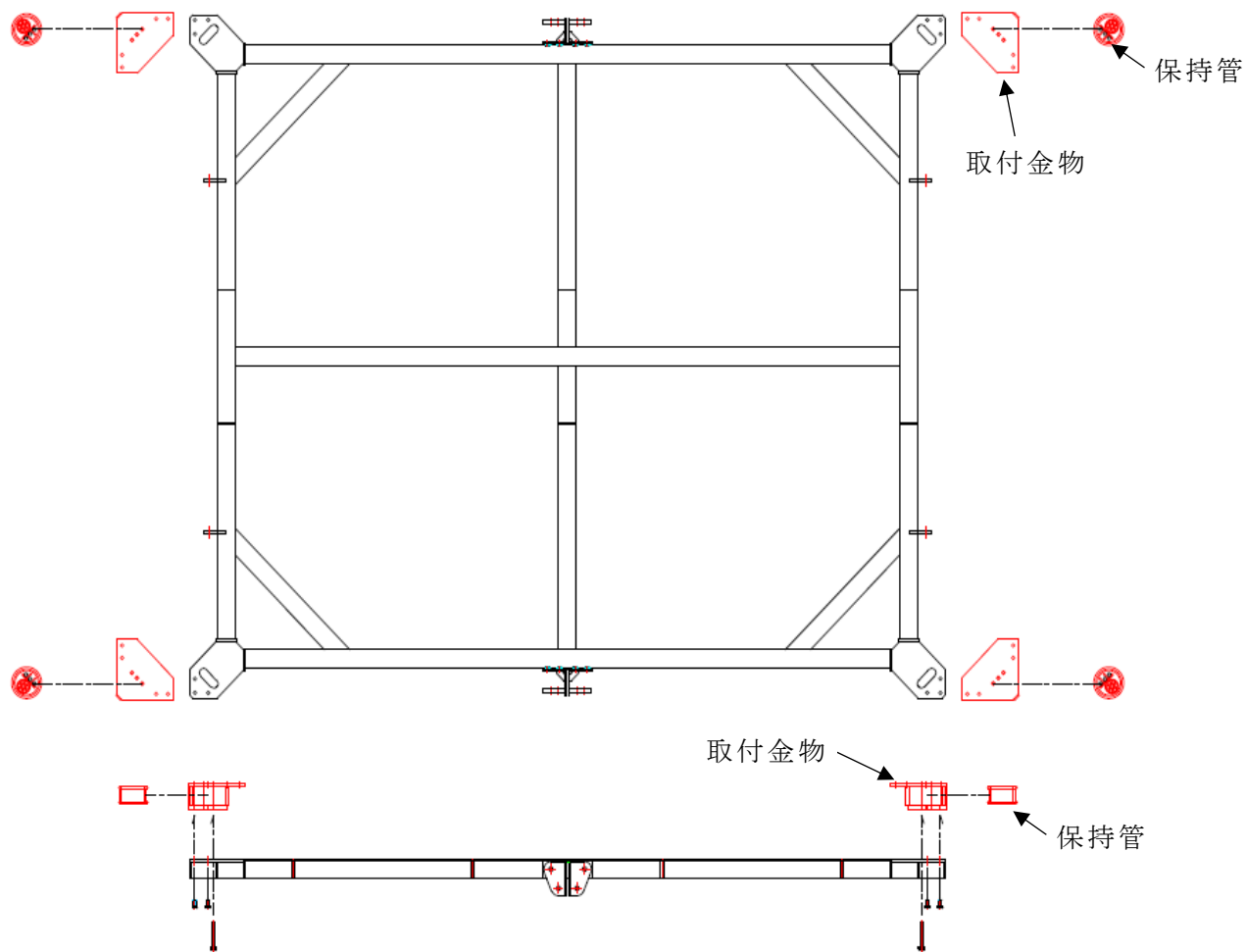
第6-1図 防護ネット（鋼製枠なし）の組立フロー



<作業概要>

- (1) 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。

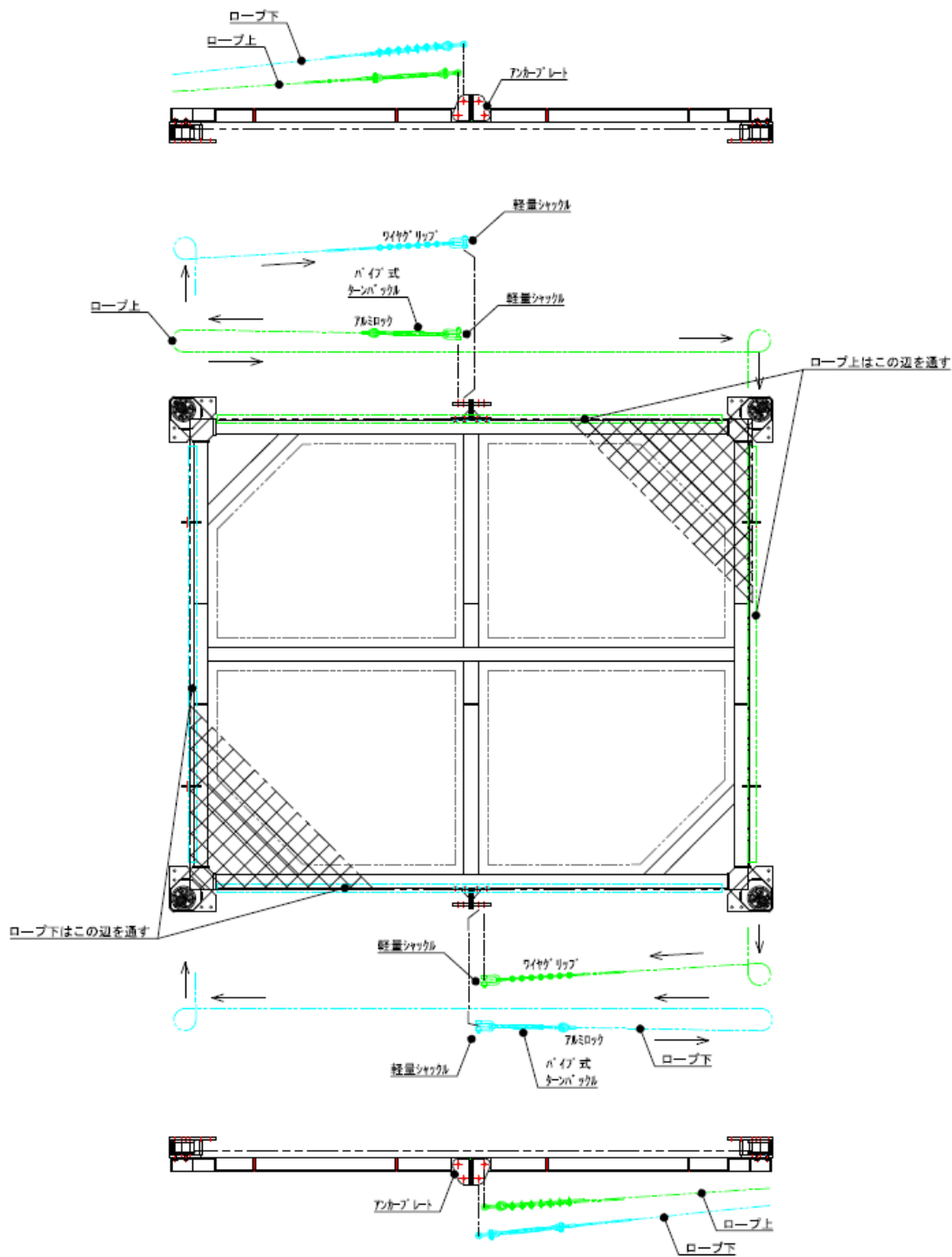
第6-2図 テンプレートの組立



< 作業概要 >

- (1) テンプレートに取付金物及び緩衝装置をボルトで固定する。

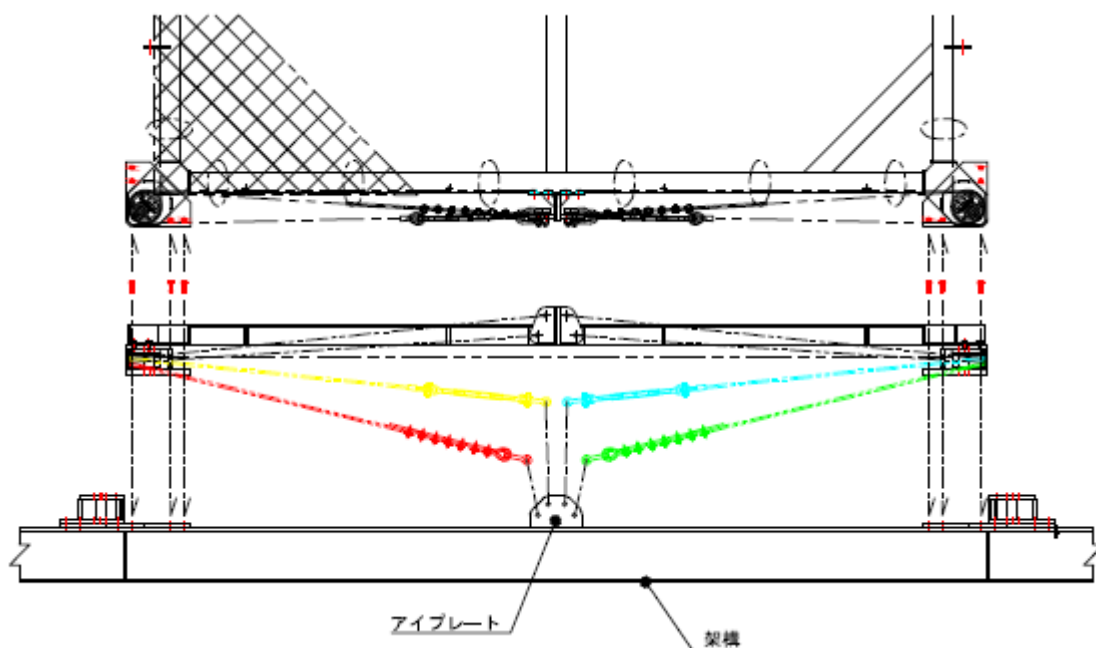
第6-3図 作業概略図 (テンプレートへ取付金物取付)



<作業概要>

- (1) テンプレートに固定した取付金物及び緩衝装置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。

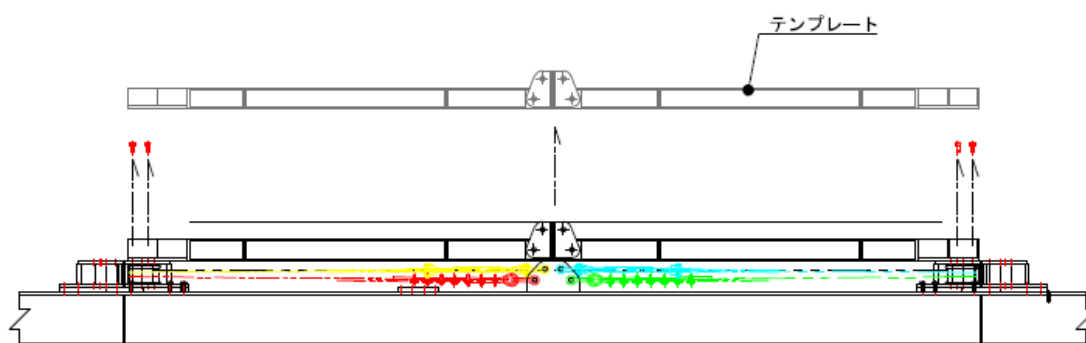
第6-4図 作業概略図（ネットの敷設）



<作業概要>

- (1) テンプレートが取りついていない側を下にして，四隅の取付金物を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外し，架構のアイプレートに固定する。

第6-5図 作業概略図（防護ネットの架構への移設）



<作業概要>

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

第6-6図 作業概略図（テンプレート撤去）

7. 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7-1表の通り整理した。

第7-1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、V-別添1-4-1の通り、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取込は阻害されない構造となっている。冷却塔の冷却空気の取込の阻害を防ぐため、空気の必要通過面積を確保できる。</p> <p>e. 項の地震については、IV-2-1-4-2の通り、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、V-別添2-2-1に示す通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>