

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外竜巻 16 R <u>1</u>
提出年月日	令和 3 年 <u>4</u> 月 <u>12</u> 日

設工認に係る補足説明資料

竜巻防護設計の基本方針に関する

架構に直接設置するネットの健全性について

## 目 次

1. 概要	1
2. 防護ネットの構造について	<u>1</u>
2. 1 飛来物防護ネット全体概要	<u>1</u>
2. 2 防護ネット	<u>4</u>
2. 3 防護板	<u>8</u>
2. 4 支持架構	<u>11</u>
3. 支持架構に直接設置する防護ネットの構造妥当性について	<u>15</u>
3. 1 本形式採用の背景	<u>15</u>
3. 2 支持架構に直接設置する防護ネットの構造妥当性について	<u>18</u>
4. 防護ネット（支持架構設置）の組立て方法及び支持架構への取付方法	<u>30</u>
5. 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	<u>35</u>

## 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、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構造について、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）との構造の違いを示すとともに、防護ネットの健全性について示す。

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。

- ・ V-別添1-3 竜巻防護対策設備の強度計算の方針
- ・ V-別添1-4 竜巻防護対策設備の強度計算書

## 2. 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。

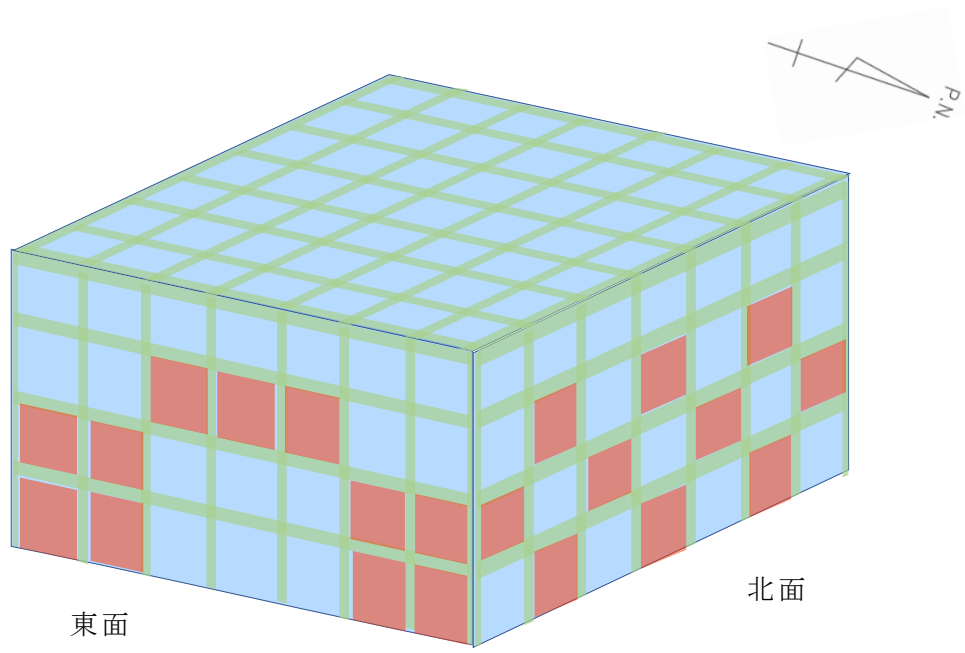
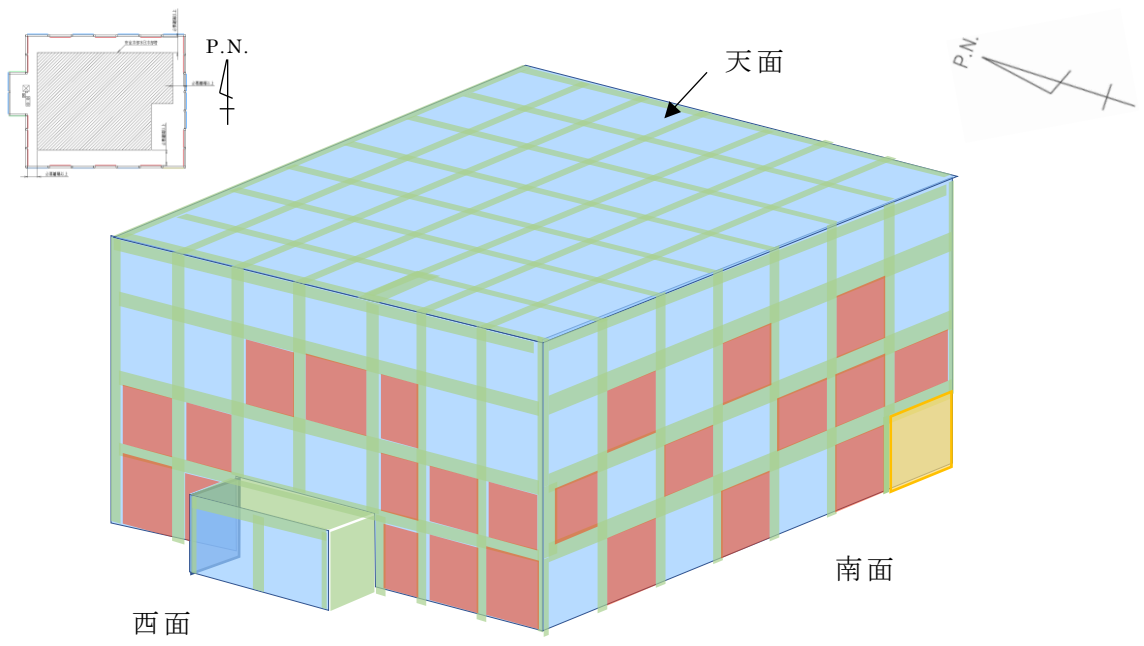
### 2.1 飛来物防護ネット全体概要

飛来物防護ネットの全景を第2-1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し、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。

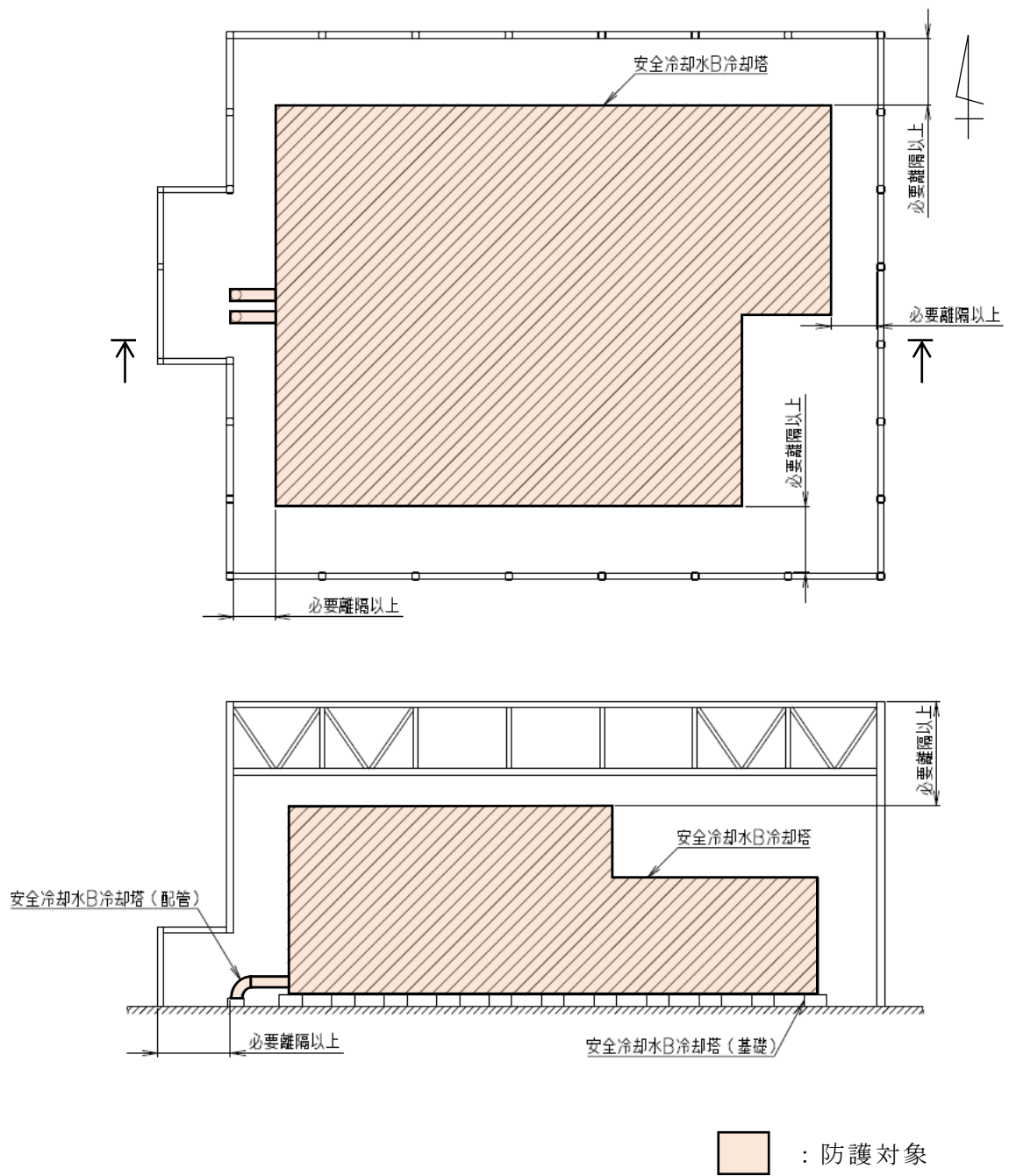
そのうえで、必要な離隔を確保することが出来ない箇所については防護板を設置する。

竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔との配置図を第2-2図に示す。また、飛来物防護ネットの構成要素を第2-1表に示す。各要素の構造は、2.2節以降に記載する。



- 【凡例】
- : 外張りネット
  - : 内張りネット
  - : 車面用扉
  - : 防護板

第 2-1 図 飛来物防護ネット全景



第 2 - 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2-1表 防護ネットの構成要素

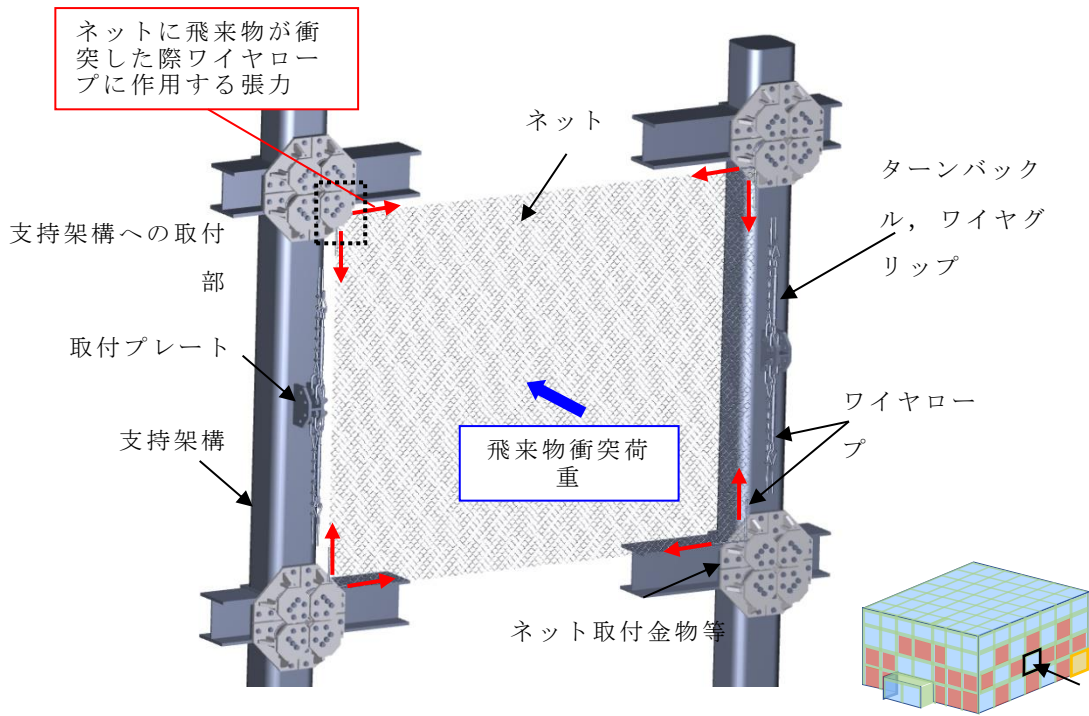
構成	形式	構造概要
防護ネット	支持架構に直接設置 (以下、「架構取付設計」という) (2.2節)	ボルトを用いて支持架構に設置し、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する。
	鋼製枠を用いて設置 (以下、「鋼製枠取付設計」という) (2.3節)	支持架構の外面に設置し、飛来物衝突による荷重は、支持架構に設置した支圧材を介して荷重を基礎に伝達する。
	防護板 (2.4節)	支持架構に設置し、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する。
	支持架構 (2.5節)	防護ネット及び防護板から作用する荷重を基礎に伝達する。

## 2.2 防護ネット

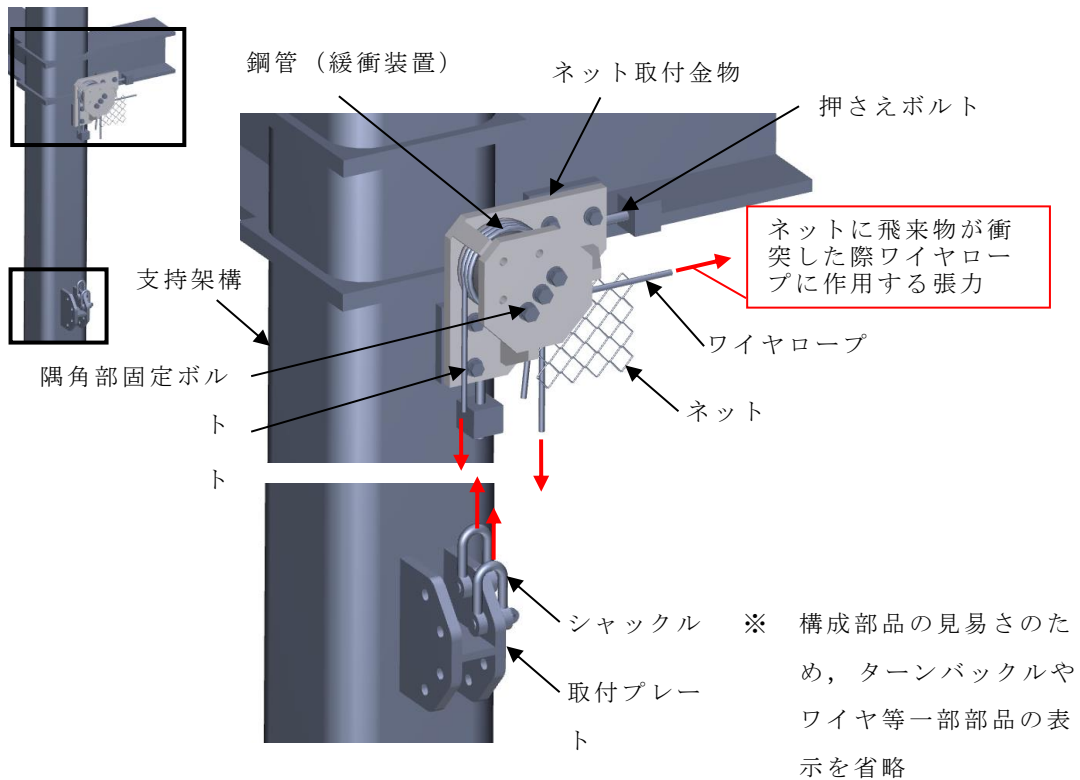
防護ネットは、支持架構の部材が防護ネットの変形を阻害しない様、支持架構の柱と梁に囲まれる4辺に納まる大きさとする。防護ネットは、支持架構のブレース、または後述する車両用扉ネットのレールが取り付く箇所では、支持架構の内面に設置し、それ以外の箇所は支持架構外面に設置する。

### (1) 支持架構に直接設置する防護ネット

防護ネットは、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、支持架構に直接設置する。支持架構側面の外張りの防護ネットを例に、支持架構設置形式の防護ネット構造概要を第2-3図に、また支持架構への取付部の拡大図を第2-4図に示す。



第2-3図 防護ネット（支持架構設置）構造概要



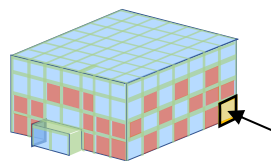
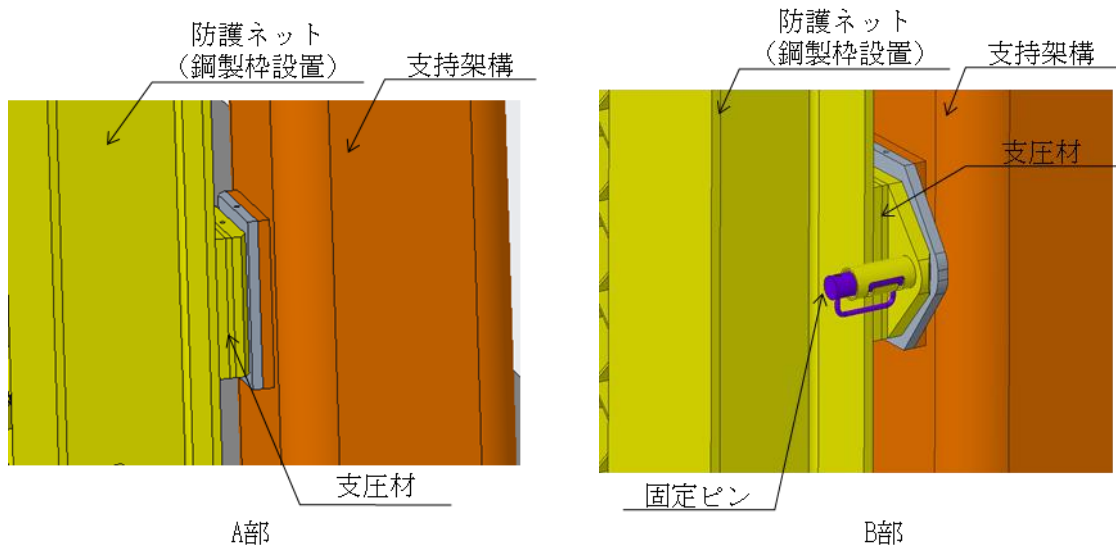
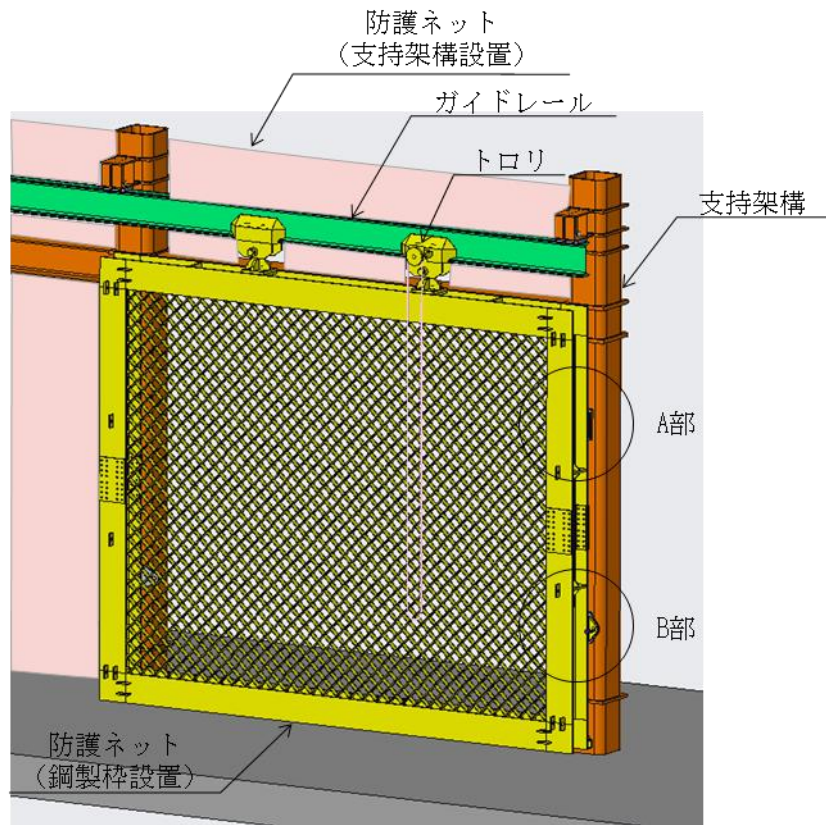
第2-4図 防護ネット（支持架構設置） 支持架構への取付部拡大図

(2) 鋼製枠を用いて設置する防護ネット（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。車両用扉の構造概要を第2-5図に示す。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。





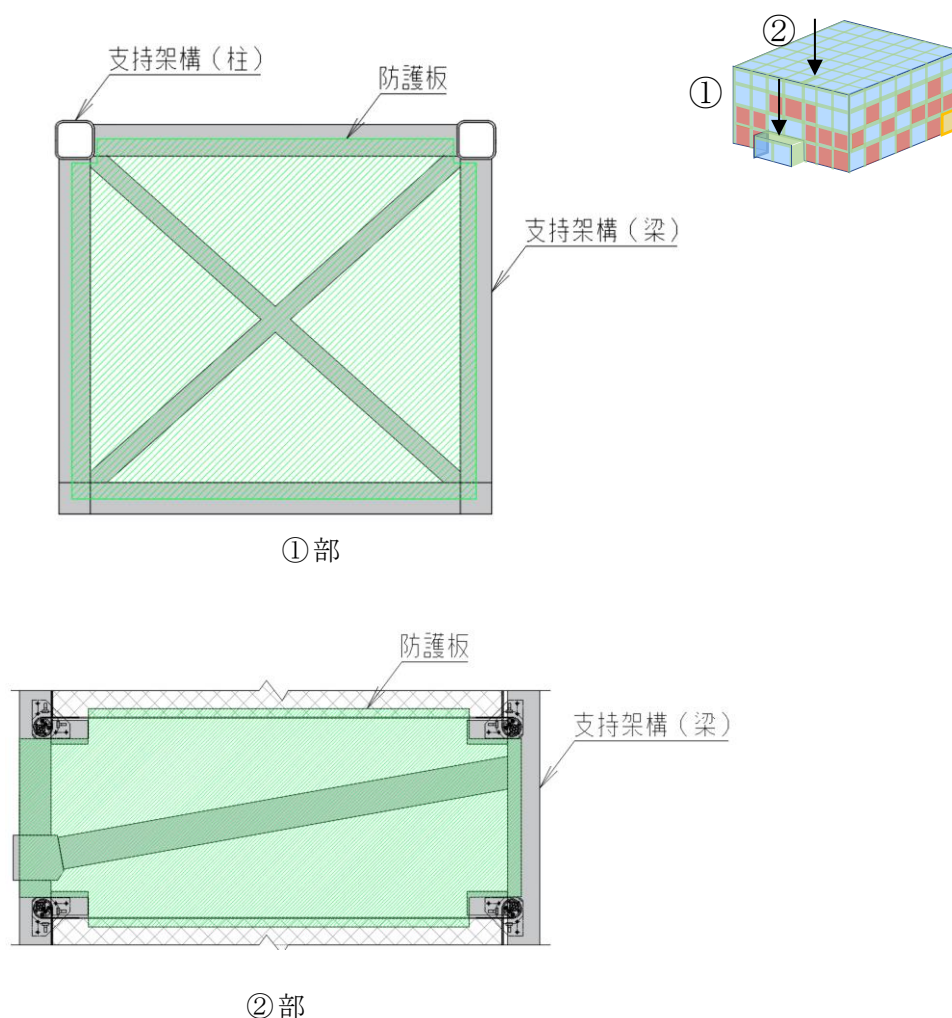
第 2 - 5 図 車両用扉防護ネット (鋼製枠形式)

## 2.3 防護板

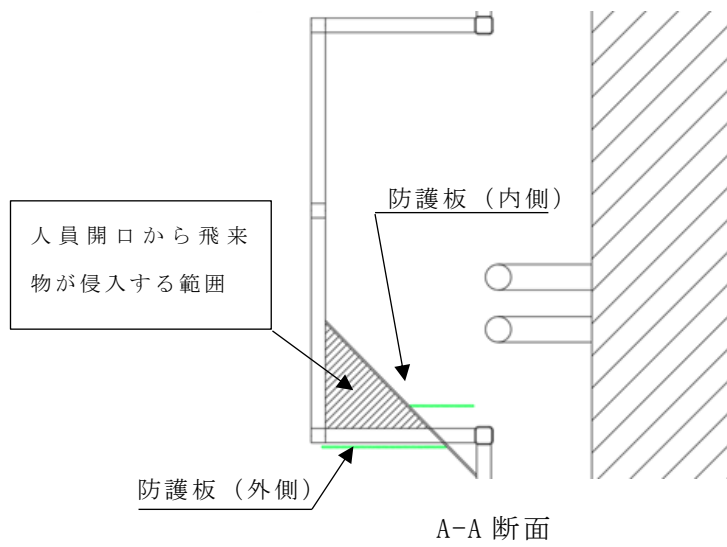
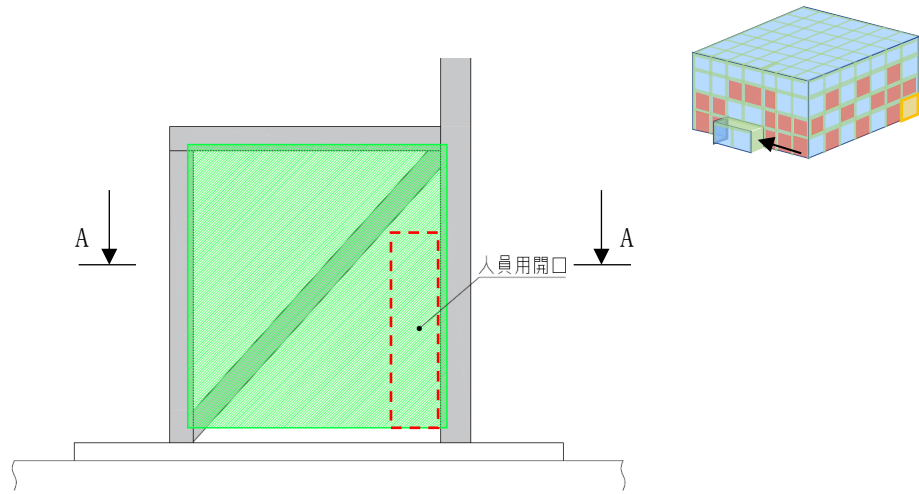
### (1) 防護板 (防護ネット代替)

支持架構にブレースが取り付け箇所は支持架構内側に防護ネットを取り付けるが、内張りの防護ネットを設置できない箇所、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、支持架構のトラス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箇所の防護板には、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2-6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。



第2-6図 防護板 (防護ネット代替) (1/2)

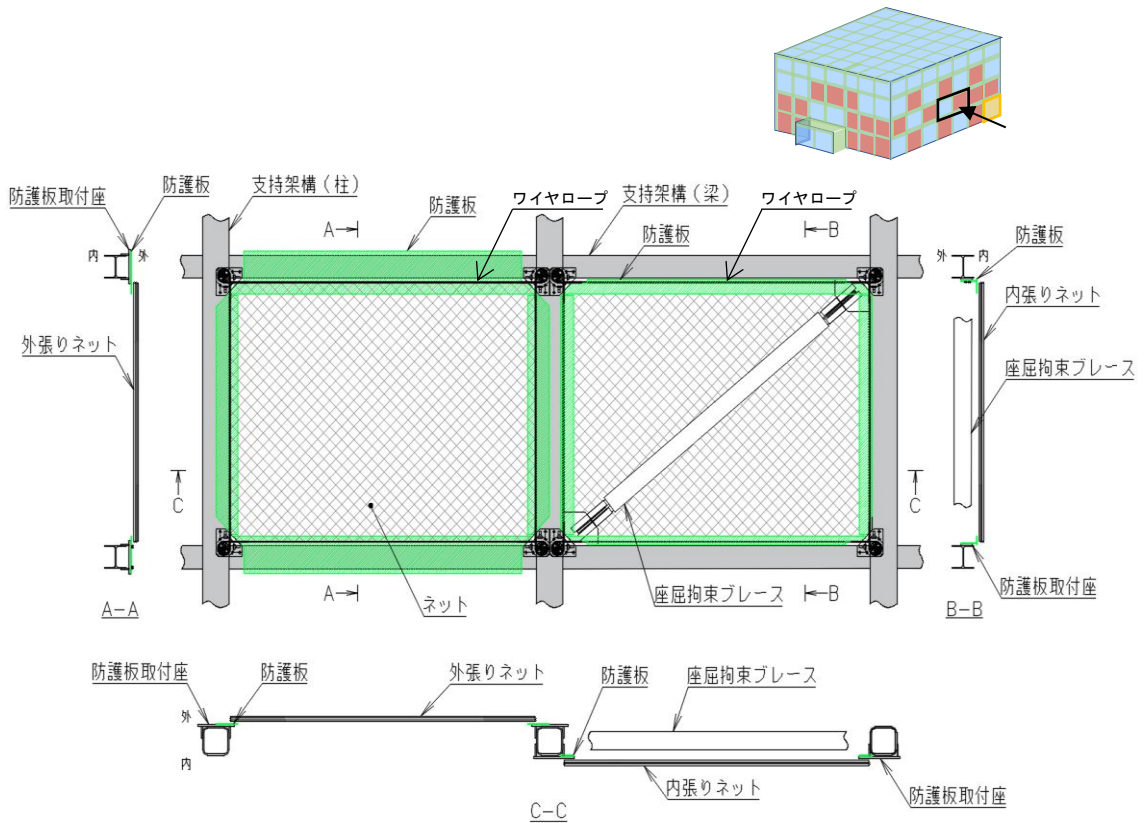


第 2 - 6 図 防護板 (防護ネット代替) ( 2 / 2 )

(2) 防護板 (防護ネット補助)

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。

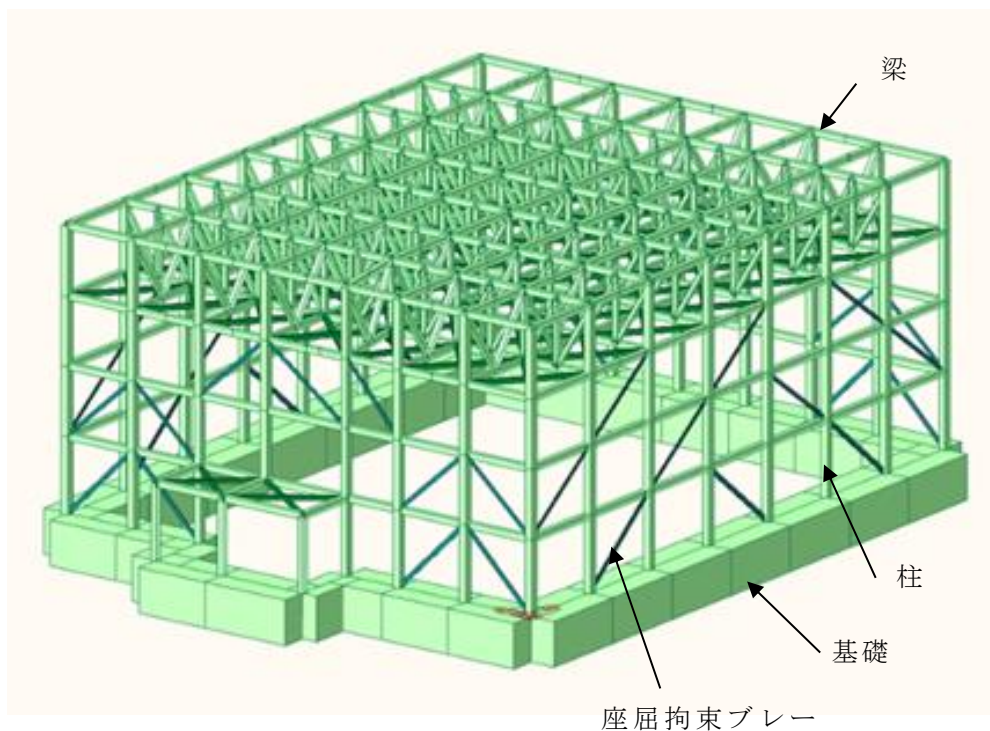
製作、据付公差によって隙間が生じる恐れがあることからの飛来物の侵入防止を目的として、防護ネット周囲に補助的に防護板を設置する。防護板は、防護ネット位置に合わせて、支持架構の外表面または内面に設置する。防護板は、(1)で示した防護ネット代替形式の防護板と同様に、飛来物の衝突に対し、貫通しない厚さを確保する設計とする。構造概要を第2-7図に示す。



第2-7図 防護板 (防護ネット補助)

## 2. 4 支持架構

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2-8図に示す。

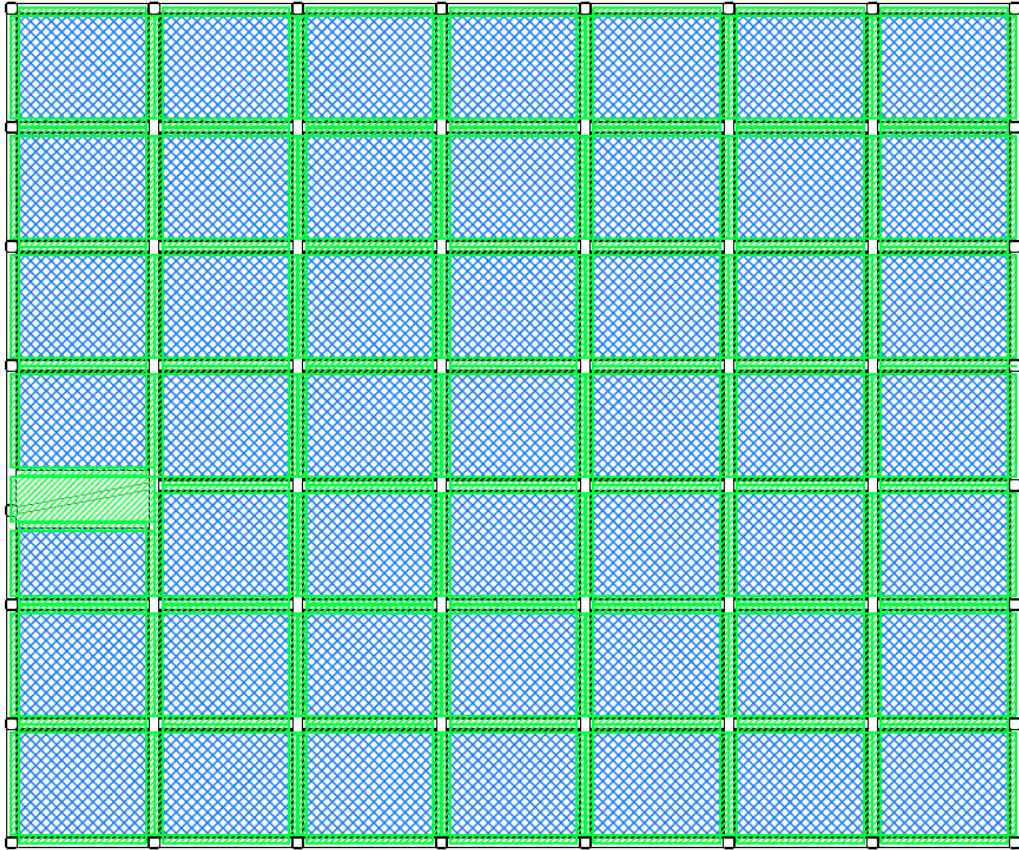
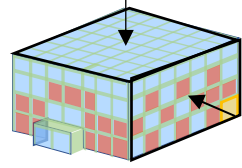


第2-8図 支持架構の構造概要

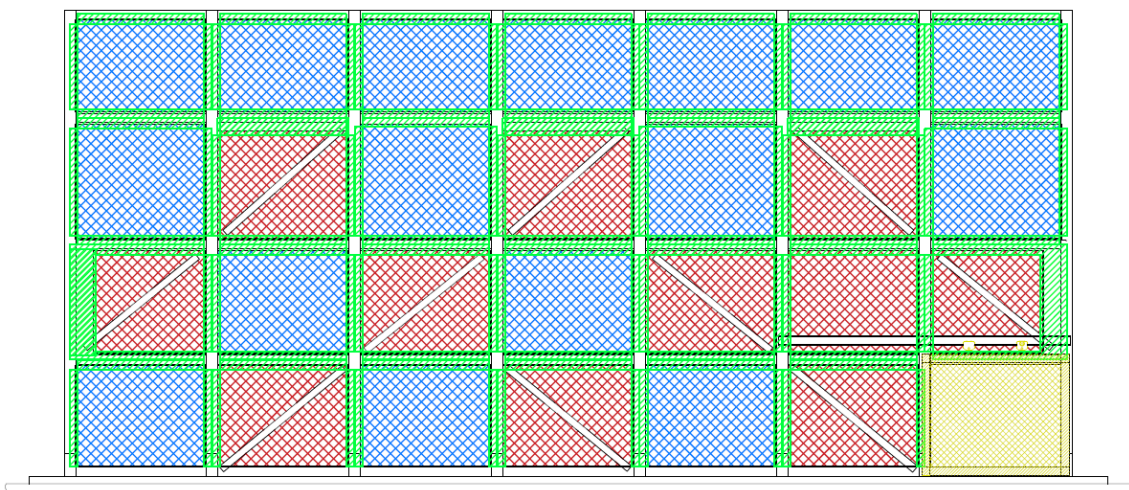
以上の防護ネット及び防護板の割付図を第2-9図に示す。

【凡例】

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

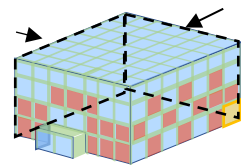


(天面)



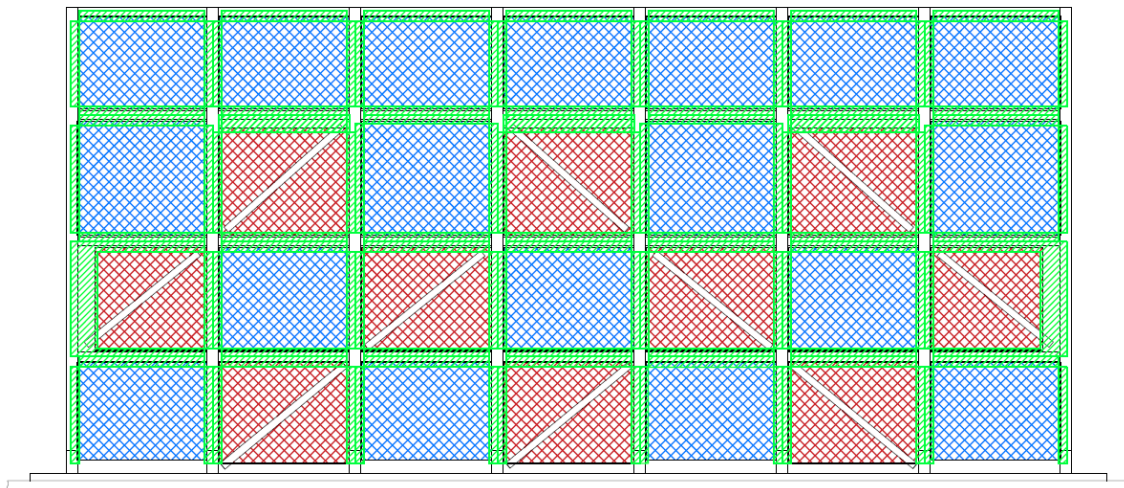
(南面)

第2-9図 防護ネット及び防護板割付図 (1/3)

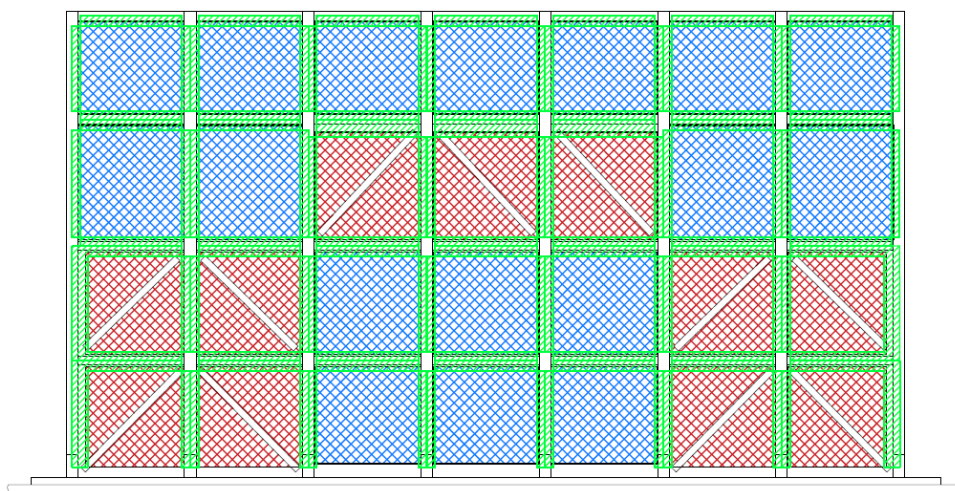


【凡例】

: 外張りネット
  : 内張りネット
  : 車両用扉
  : 防護板



(北面)

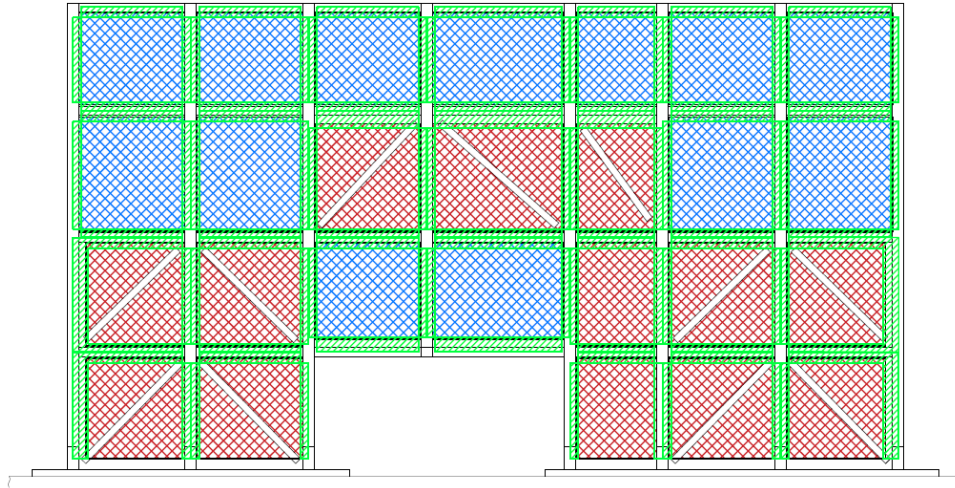
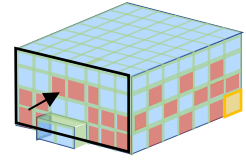


(東面)

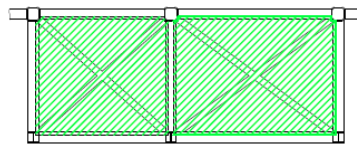
第 2-9 図 防護ネット及び防護板割付図 (2/3)

【凡例】

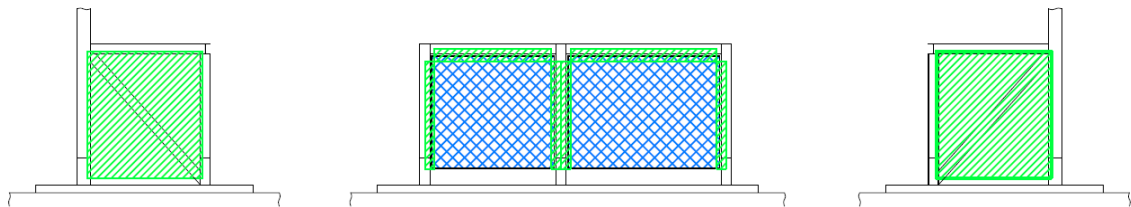
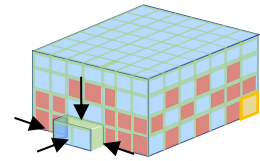
外張りネット : 内張りネット : 車面用扉 : 防護板



(西面)



(張出し部天面)



(張出し部南面, 北面及び西面)

第2-9図 防護ネット及び防護板割付図 (3/3)



### 3. 支持架構に直接設置する防護ネット

#### 3. 1 本形式採用の背景

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，支持架構に直接設置する構造をほぼ全ての箇所で採用している。その理由は，防護対象となる安全冷却水B冷却塔が長さ約 35m，幅約 25m，高さ約 12m の大きさであり，これを防護するため防護ネット設置数が 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ためである。

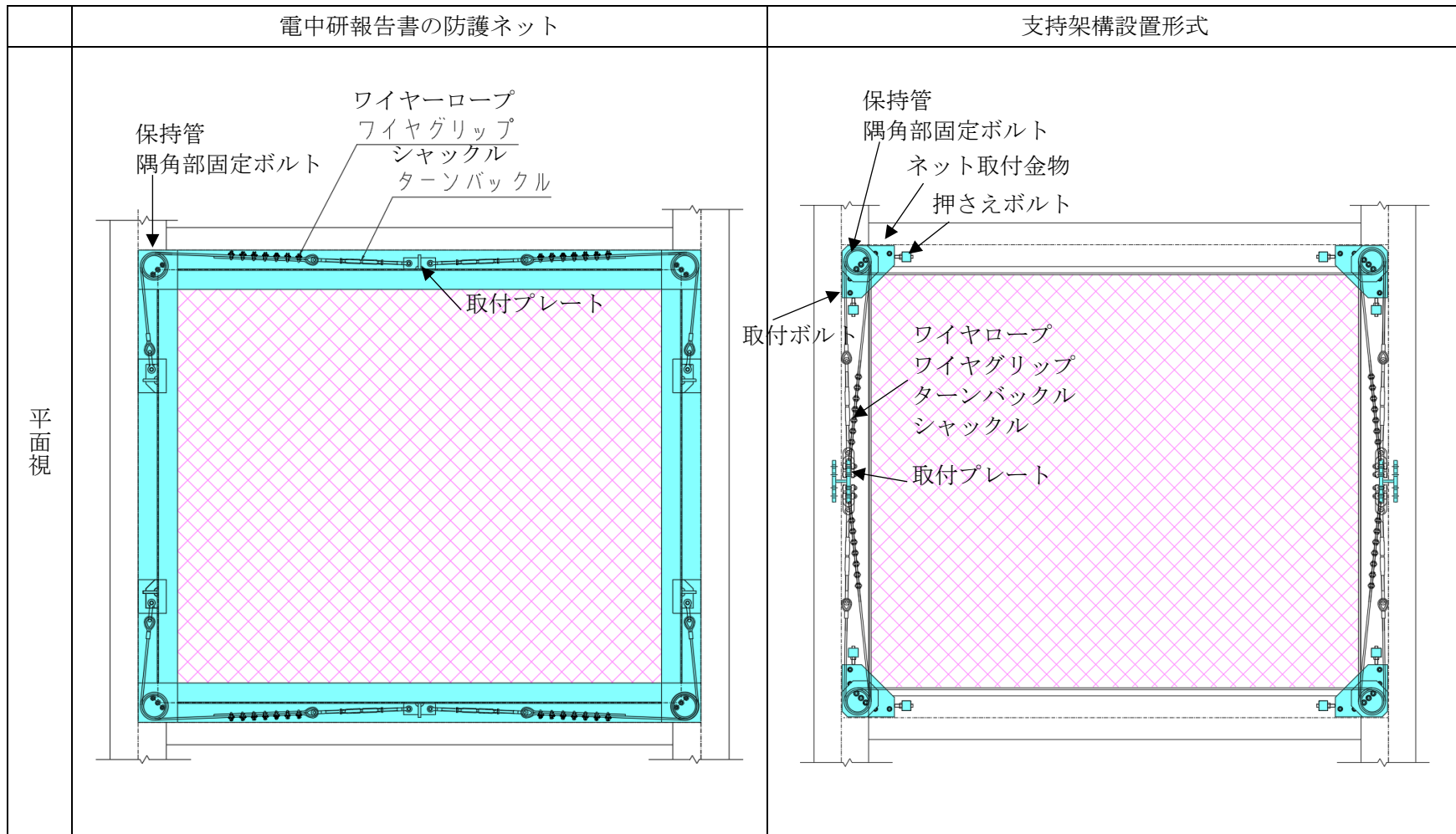
一方，電中研報告書の竜巻防護対策設備では，ネット四隅固定用の金物，及びワイヤロープの取付プレートを，鋼製枠に取付ける形式の構造が採用されている。その理由としては，以下の点が挙げられる。

- ① 防護ネット組立ての際の施工性向上のため，鋼製枠を使用している。
- ② ネットに飛来物が衝突した際に生じるワイヤロープ張力に対し，鋼製枠に圧縮荷重が生じることで抵抗し，ワイヤと鋼製枠の内力により釣り合う機構とすることができる。

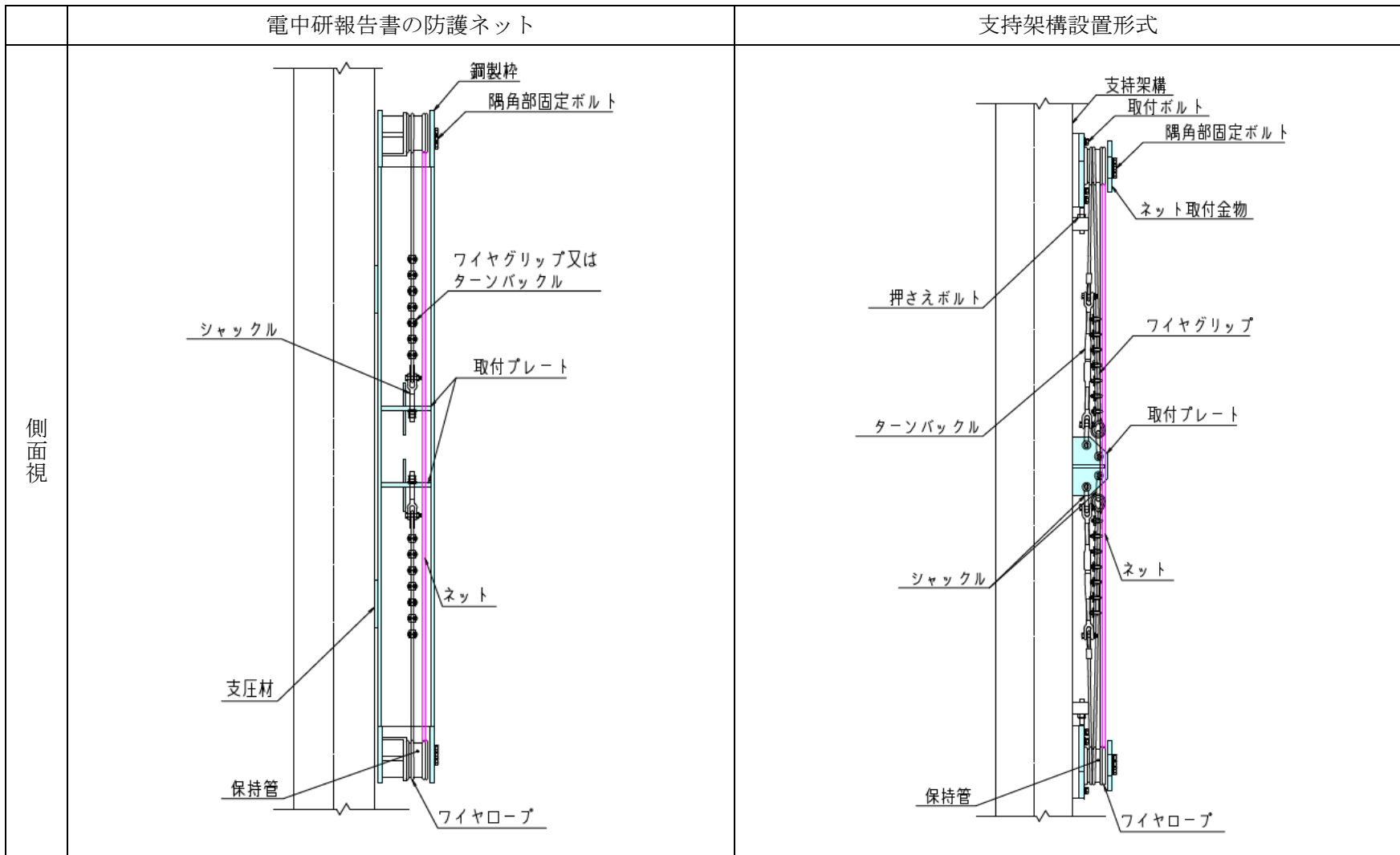
なお，鋼製枠取付設計の防護ネットは組み立ての際、鋼製枠に直接各部材を取り付けた後、支持架構へ取り付ける。一方で架構取付設計の防護ネットでは，各部材を直接支持架構へ取り付けながら組み立てるのが困難であることからネット四隅固定用の金物間をテンプレートと称する仮設枠にて仮組・保持し，防護ネットの組立てを行う計画である。防護ネット組み立て手順の詳細は，4章にて後述する。

電中研報告書の鋼製枠を用いた防護ネットと，支持架構に直接設置する防護ネットの構造を第3-1図に示す。

第3-1表 電中研報告書の防護ネットと支持架構設置の防護ネット構造図(1/2)



第3-1表 電中研報告書の防護ネットと支持架構設置の防護ネット構造図(2/2)



### 3. 2 支持架構に直接設置する防護ネットの構造妥当性について

3. 1 項に記載の通り、安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットに適用している防護ネットは、鋼製枠を用いない構造としている。

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金網から伝達される荷重を隅角部に集中させるため、金網の長辺と短辺を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、再処理施設に採用した鋼製枠のない防護ネットは第3-2表に示すとおり、いずれも上記を満足しており、評価式を適用することは可能であることを確認している。

また、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ている。鋼製枠は、ワイヤロープを支持する間接支持構造物のような役割を担っており、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。そのため、架構取付設計の防護ネットにおいては、当該部を取付けプレートが担っており、構造強度上問題ない強度を有していることを確認している。

以上より、鋼製枠がない防護ネットについても、電中研報告書の評価式を適用することは可能と判断した。

#### (1) 防護ネットの諸元

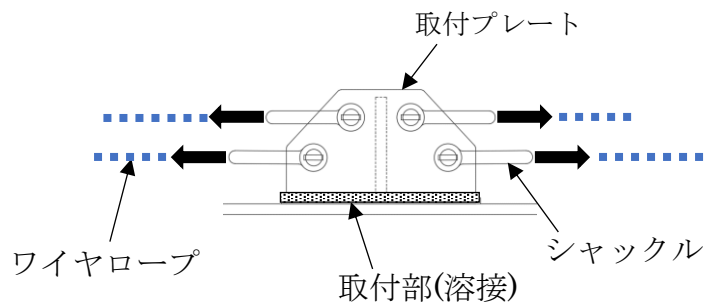
第3-2表に、電中研報告書の防護ネットと今回の飛来物防護ネットの諸元比較を示す。第3-2表に記載の通り、飛来物を捕捉可能な高強度金網をネットに用いている。

#### (2) ネットの保持方法

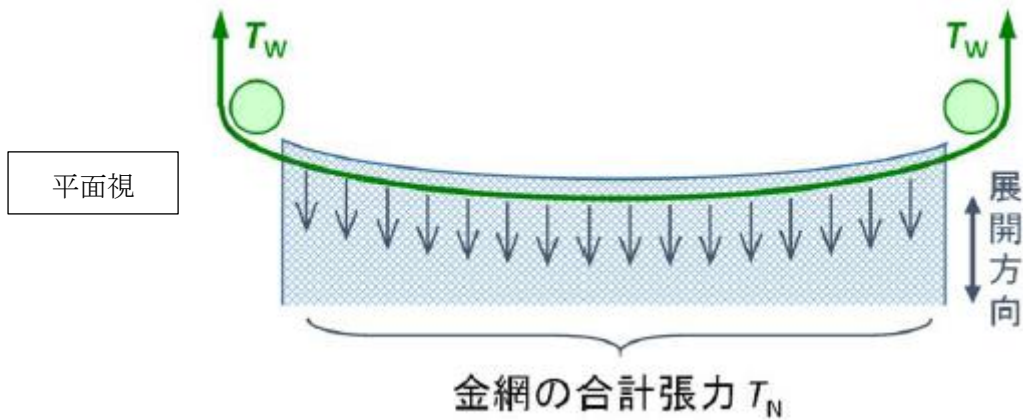
第3-3表に電中研報告書の防護ネットと今回の防護ネットのワイヤロープによるネットの保持方法を比較する。第3-3表に示す通り、ワイヤロープ設置方法と取付プレート個数は電中研報告書の防護ネットと今回の飛来物防護ネットで異なる。これは、計4本のワイヤロープ端部を2箇所を取付プレートに取り付けることで、飛来物衝突時の荷重を相殺させ、取付プレートの支持架構との取付部に発生する応力低減を狙ったものである。取付プレートに作用する荷重の作用

イメージを第3-1図に示す。

なお、第3-3表に示す通り、取付プレート数の違いにより、ワイヤロープ片端の鋼管への巻き付け角度が異なるが、ワイヤロープは防護ネットの変形に追従するため、ワイヤロープの鋼管への巻き方で、ワイヤロープの荷重及びワイヤロープから保持管への作用荷重に違いはない。また、電中研報告書に示される衝突荷重の想定荷重伝達状況（第3-2図）では、鋼管の間のワイヤロープで衝突荷重が伝達されるモデルであり、保持管へのワイヤロープの巻き付け方に関わらず、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。



第3-1図 取付プレートへの荷重作用状況



第3-2図 衝突荷重の想定伝達状況（電中研報告書より抜粋）

(3) 飛来物衝突による荷重に対するネット保持機能の維持

鋼製枠取付設計の防護ネットと架構取付設計の防護ネットの荷重伝達の比較を第3-3図, 第3-4表に示す。

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。

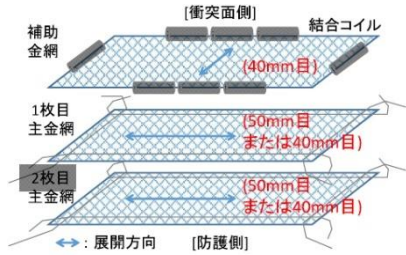
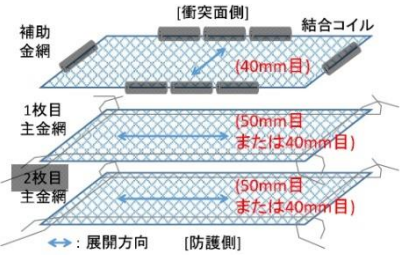
一方, 架構取付設計の防護ネットでは, 飛来物の衝突荷重はワイヤロープからターンバックル, シャックル及びワイヤグリップを介して取付プレート, 支持架構に伝達される。保持管に作用する荷重は, 隅角部固定ボルトを介して, ネット取付金物へ伝達し, 取付ボルト及び押さえボルトから支持架構に伝達される。

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。

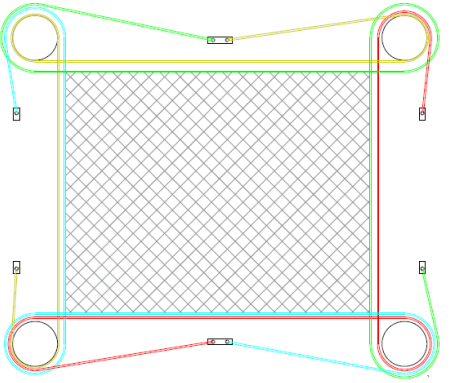
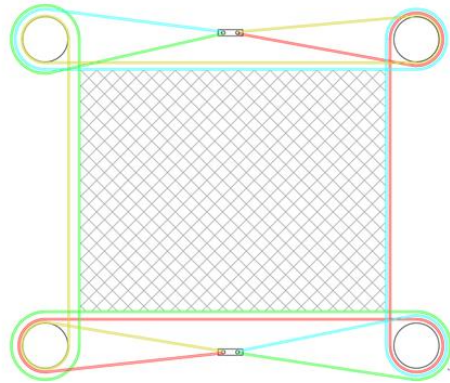
電中研報告書の防護ネットでは, 50mm 目合ネットのワイヤグリップの数は5個であり, 本計画では7個のワイヤグリップを取り付けている。ワイヤロープ末端のワイヤ保持力は, ワイヤグリップ個数が多いほど増加する。このため, ワイヤグリップを7個使用することにより, ワイヤロープの許容引張力の計算に用いるワイヤグリップ効率により確保されることから, 本計画におけるネットの保持機能は確保できている。



第3-2表 鋼製枠を用いた防護ネットと支持架構に直接設置する防護ネットの諸元比較

項目		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	相違	相違点の説明	
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	3.2(3)参照	
	ネット	型式	高強度金網	高強度金網	無	-
		素線径	φ4mm	φ4mm		
		素線強度	1400N/mm <sup>2</sup>	1400N/mm <sup>2</sup>		
		目合い寸法 (主金網)	50mm×50mm または 40mm×40mm	50mm×50mm		
		目合い寸法 (補助金網)	40mm×40mm	40mm×40mm		
	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	φ16mm	φ16mm		
	ワイヤグリップ	型番	F16	F16	有	3.2(3)参照
		数	5/1ヶ所	7/1ヶ所		

項目		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	相違	相違点の説明
部材	保持管	保持管	保持管	無	二
構造	ネットの構成及び展開方向	<p>主金網：2枚 補助金網：1枚 主金網2枚の展開方向を一致させ、補助金網は主金網に対し展開方向を直交させる</p> 	<p>主金網：2枚 補助金網：1枚 主金網2枚の展開方向を一致させ、補助金網は主金網に対し展開方向を直交させる</p> 	無	二

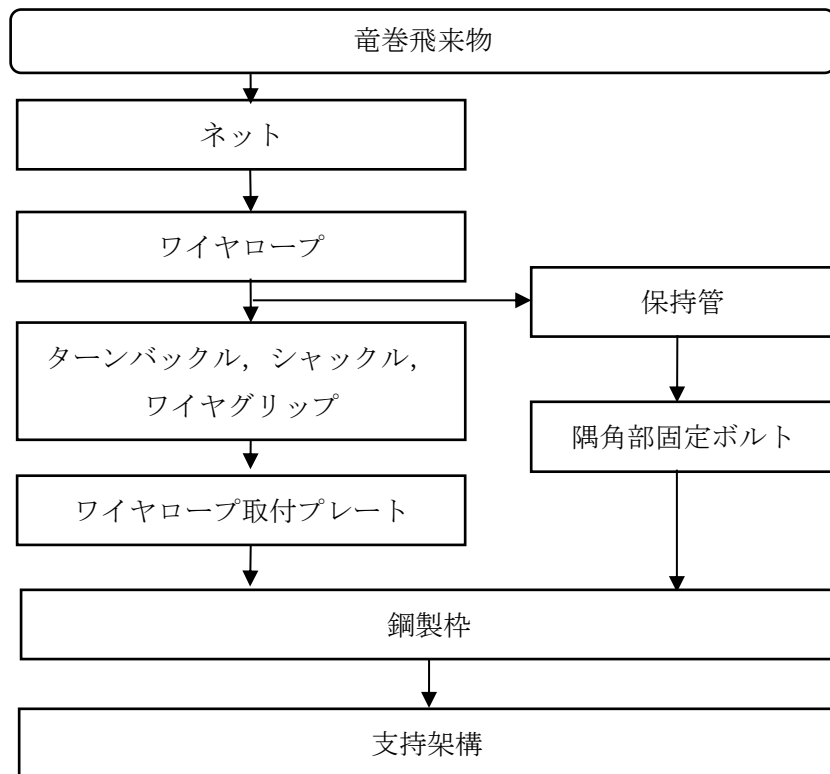


項目		電中研報告書の防護ネット	支持架構に設置する防護ネット	相違	相違点の説明
構造	防護ネットの 保持方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・展開/展開直交方向に渡り, L字形にワイヤロープを配置し、ネットを保持</li> <li>・取付プレート数は6個(第3-3表)</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・展開/展開直交方向に渡り, L字形にワイヤロープを配置し、ネットを保持</li> <li>・取付プレート数は2個(第3-3表)</li> </ul> 	有	3. 2 (2) 参照
	ワイヤロープ の初期張力	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	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	無	—

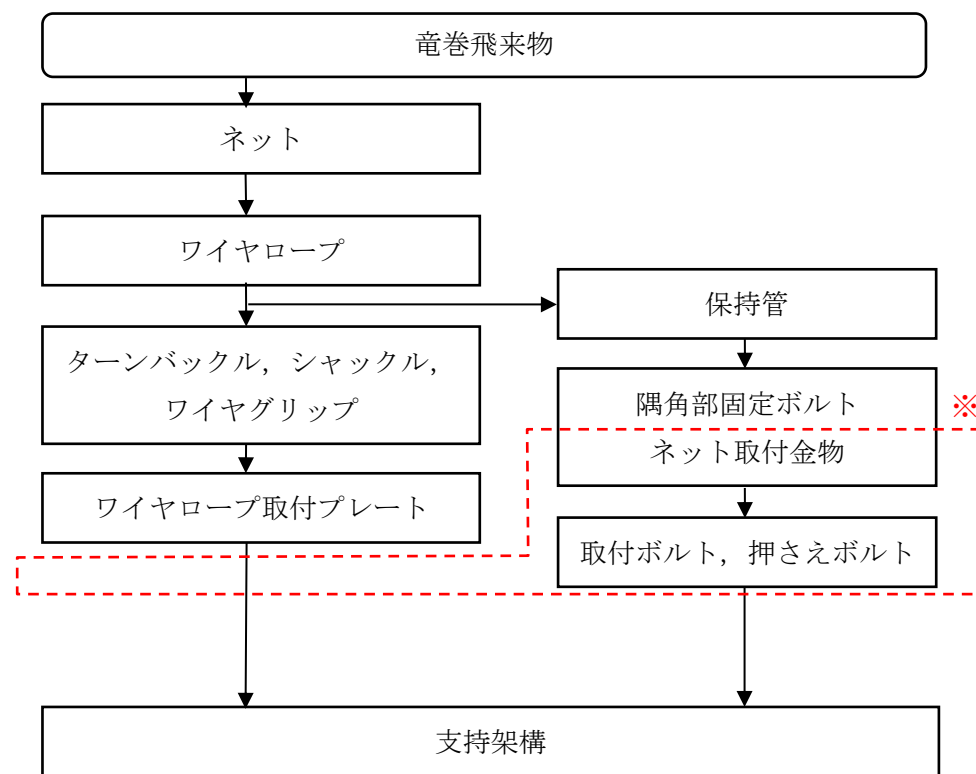
項目		電中研報告書の防護ネット	支持架構に設置する防護ネット	相違	相違点の説明
構造	ワイヤロープ 取り回し	内巻 	内巻 	無	—
	アスペクト比	1 : 1 ~ 2 : 1	1 : 1 ~ 2 : 1	無	—

第3-3表 ワイヤロープによるネット保持方法の比較

	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
主金網（1枚目）		
主金網（2枚目）		



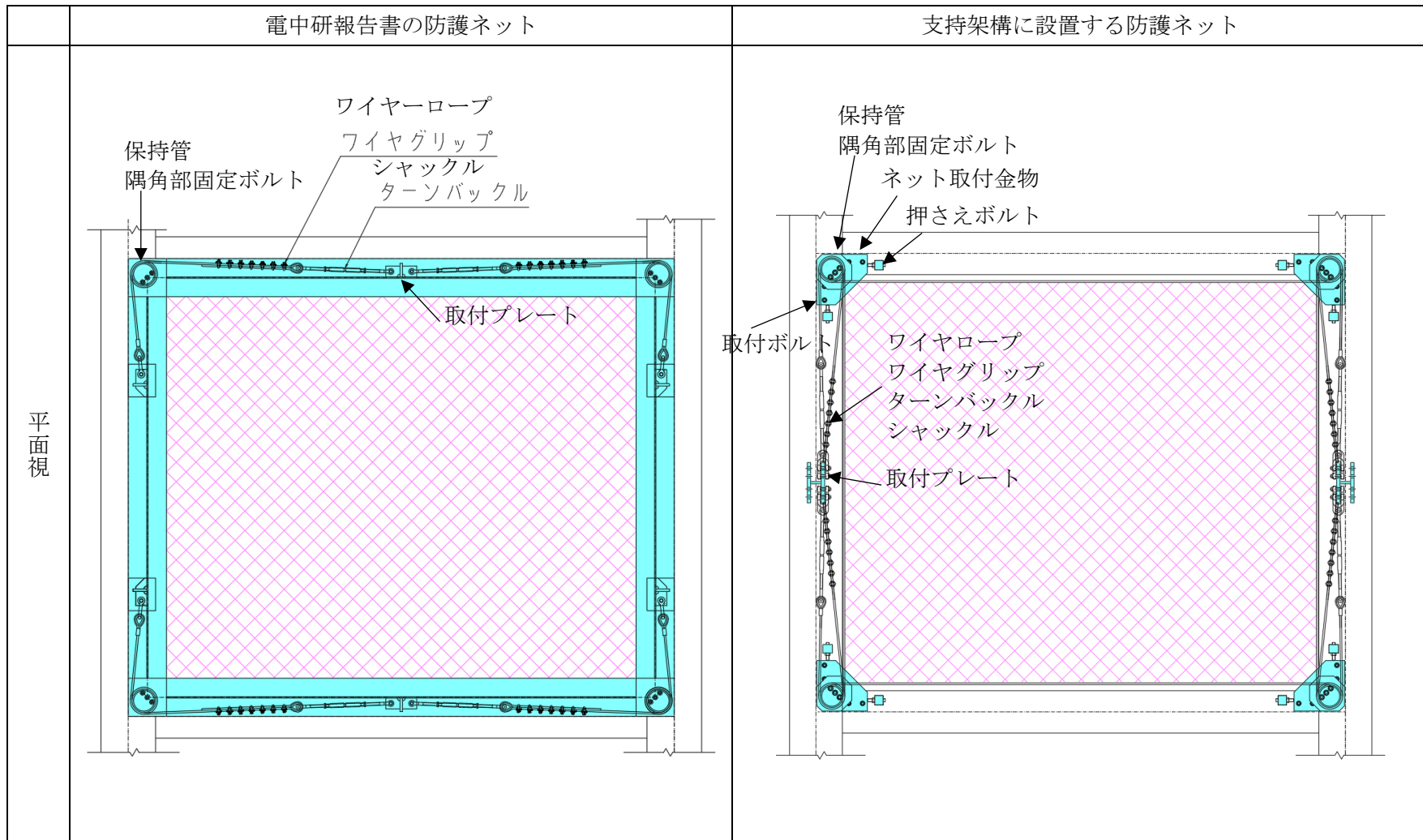
電中研報告書の防護ネット



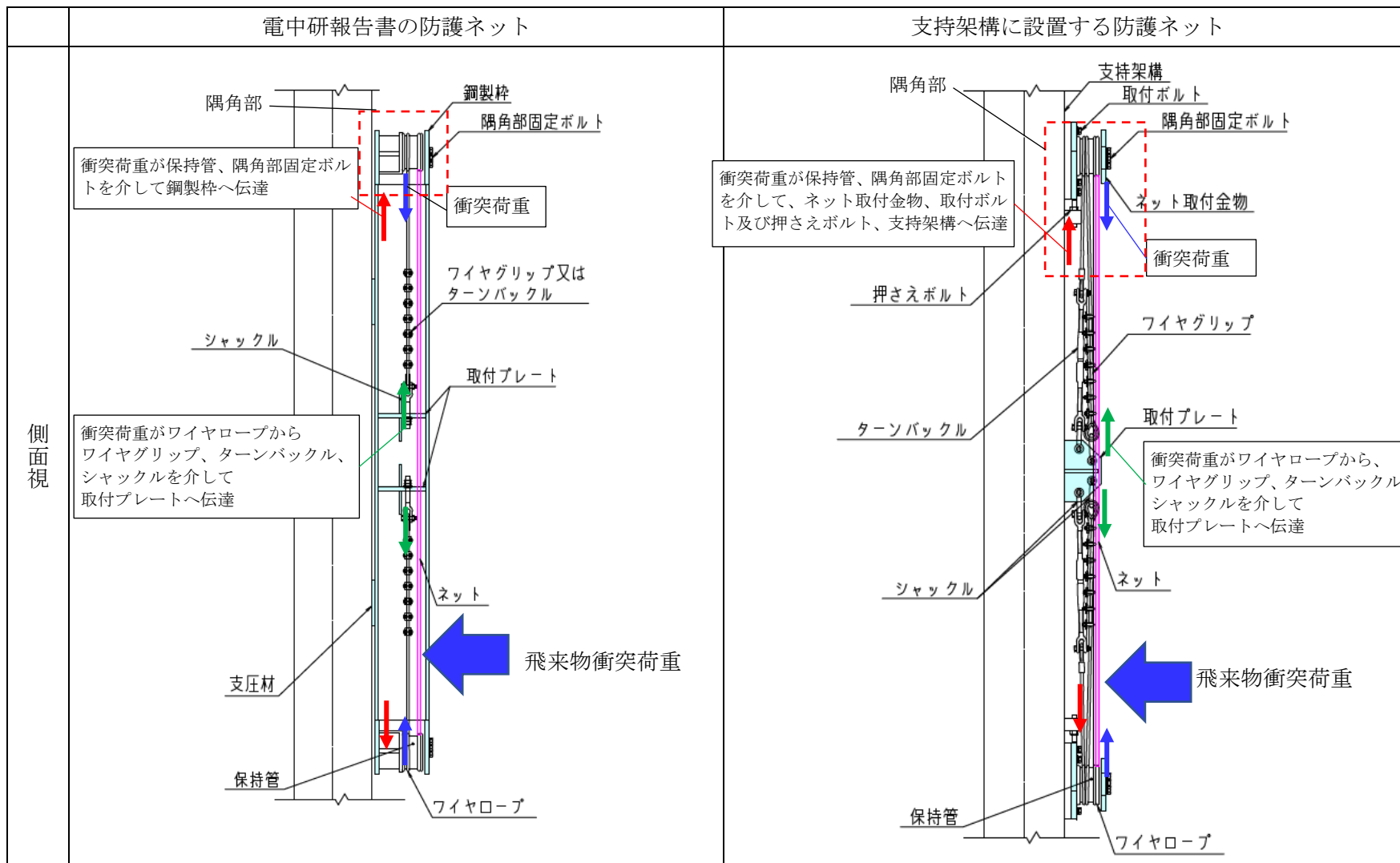
支持架構に直接設置する防護ネット

第3-3図 防護ネットの荷重伝達機構の比較

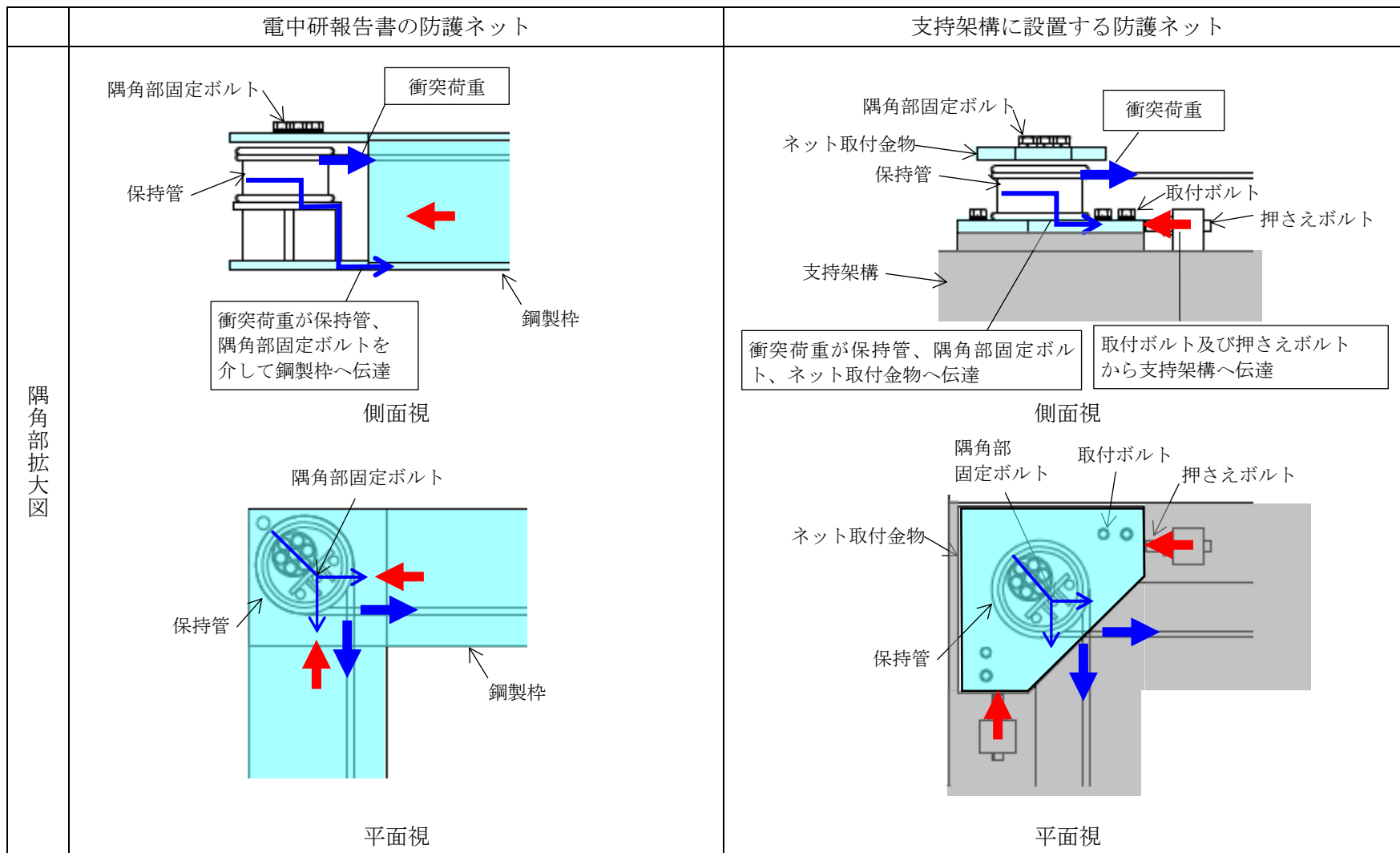
第3-4表 電中研報告書の防護ネットと支持架構に直接設置する防護ネットの荷重伝達機構比較 (1/3)



第3-4表 電中研報告書の防護ネットと支持架構に直接設置する防護ネットの荷重伝達機構比較 (2/3)



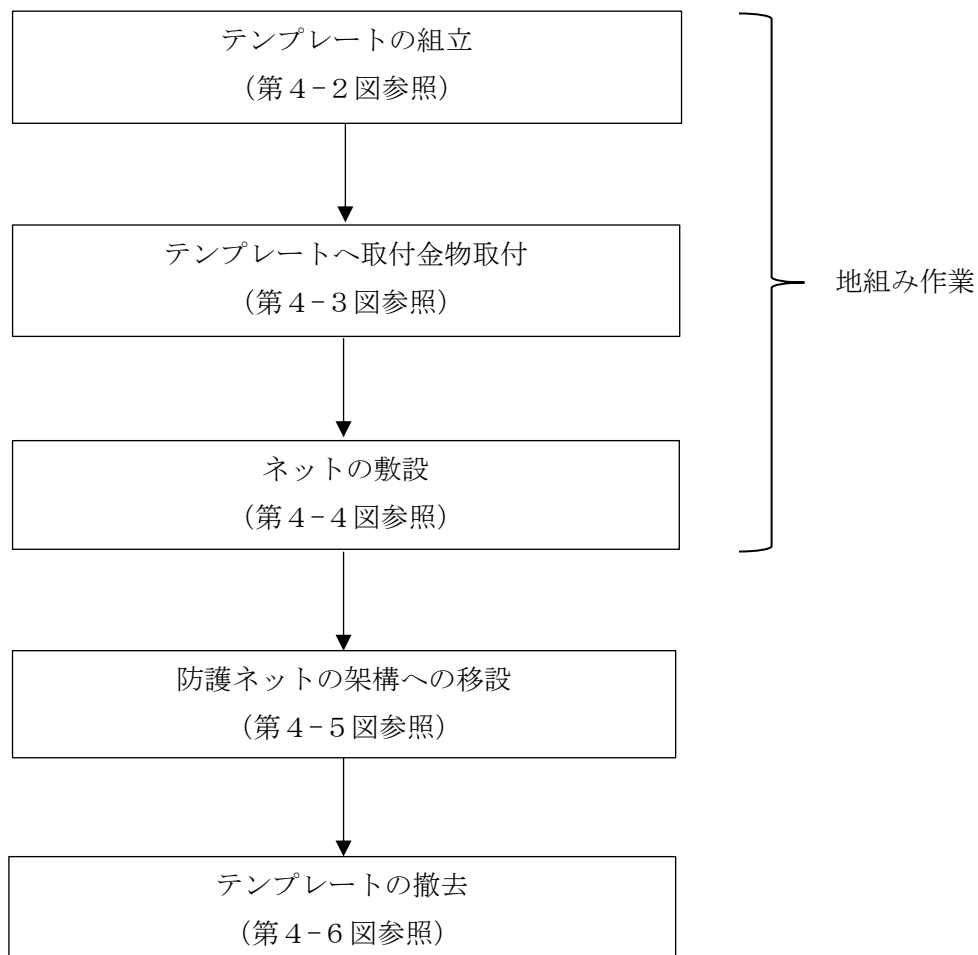
第3-4表 電中研報告書の防護ネットと支持架構に直接設置する防護ネットの荷重伝達機構比較 (3/3)



4. 防護ネット（支持架構設置）の組立て方法及び支持架構への取付方法

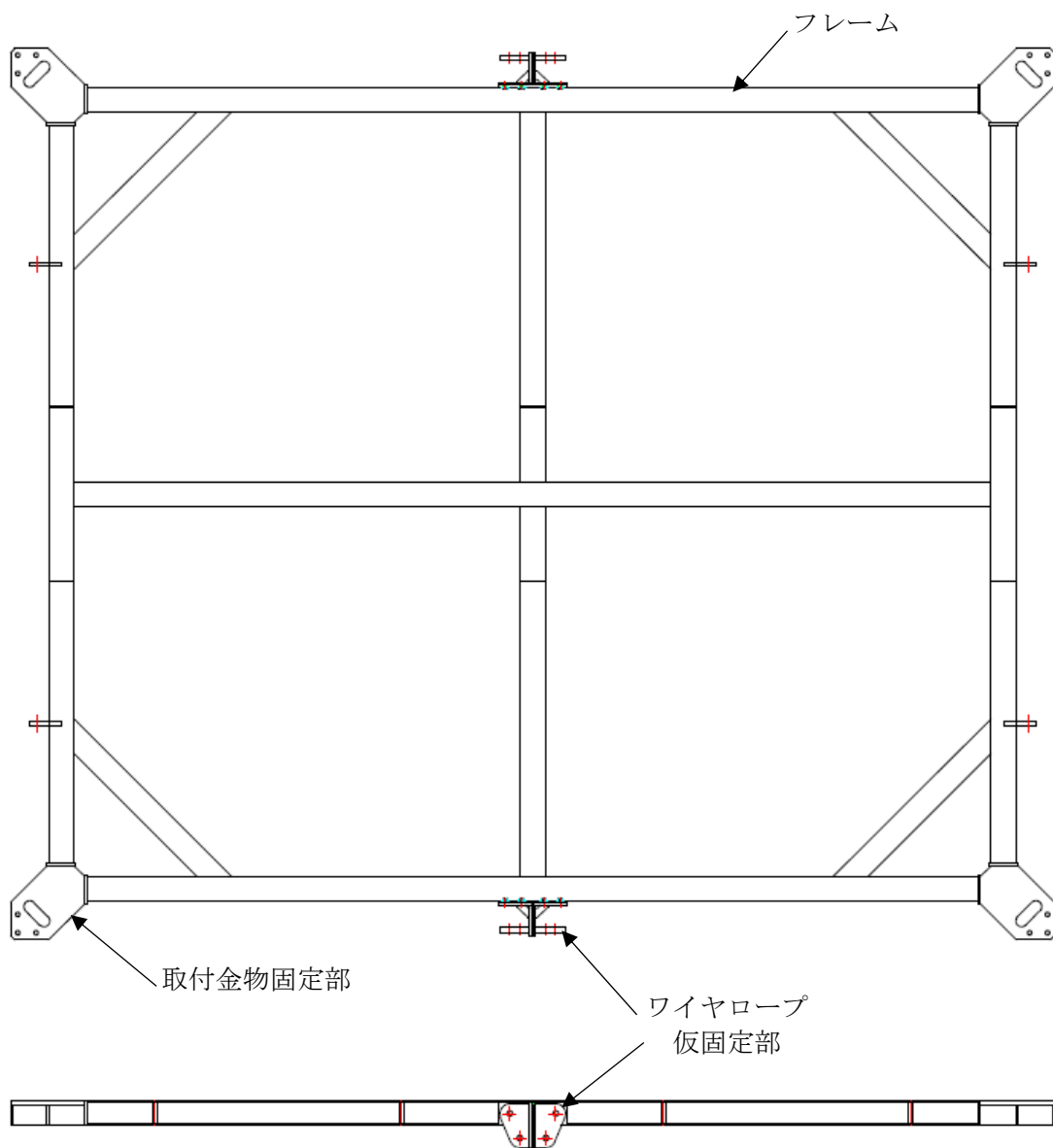
支持架構設置の防護ネットの組立フローを図4-1に、作業の概略図を第4-2図から第4-6図に示す。

防護ネットは、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4-1図 支持架構に直接設置する防護ネットの組立フロー

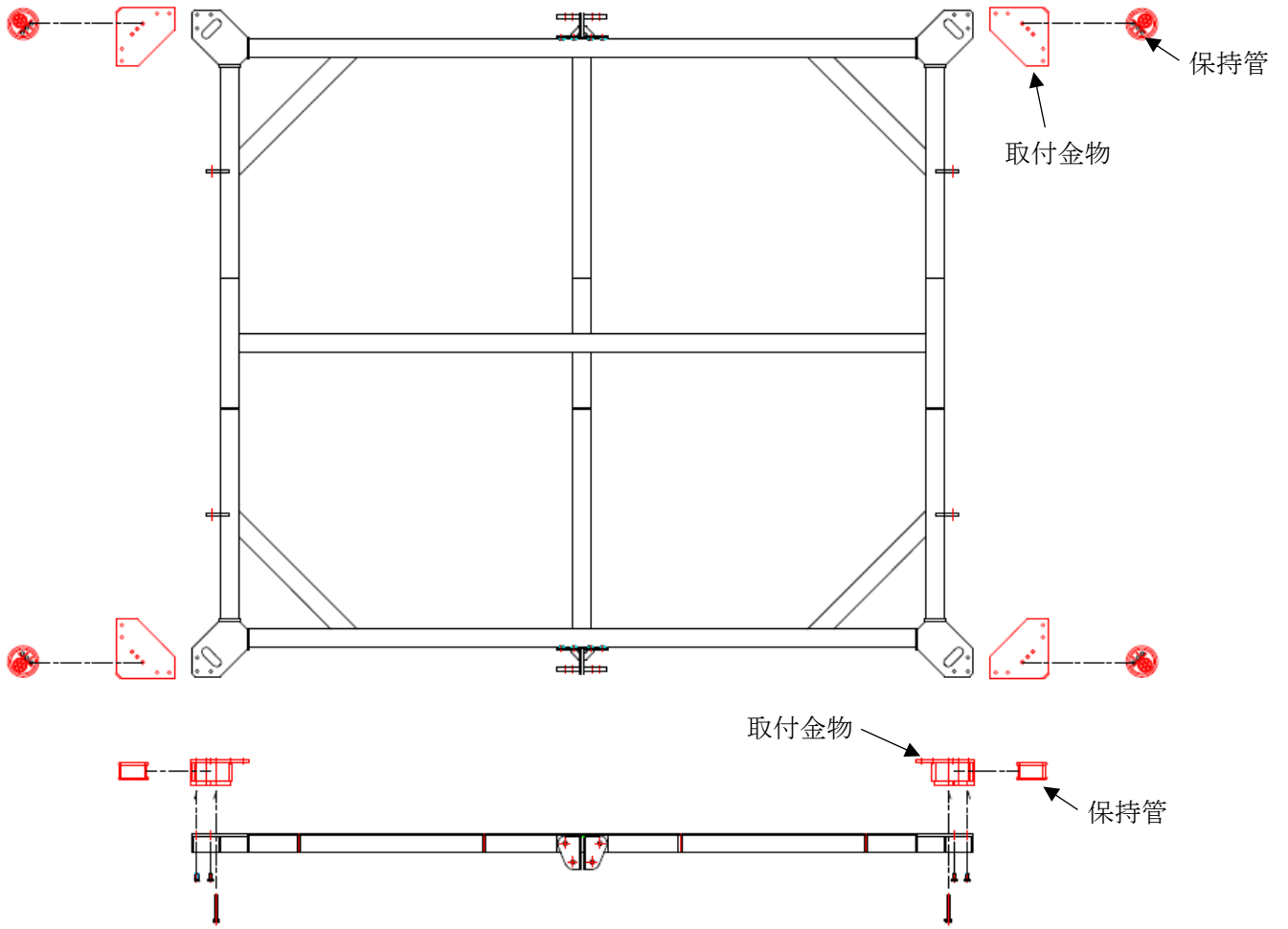




<作業概要>

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。

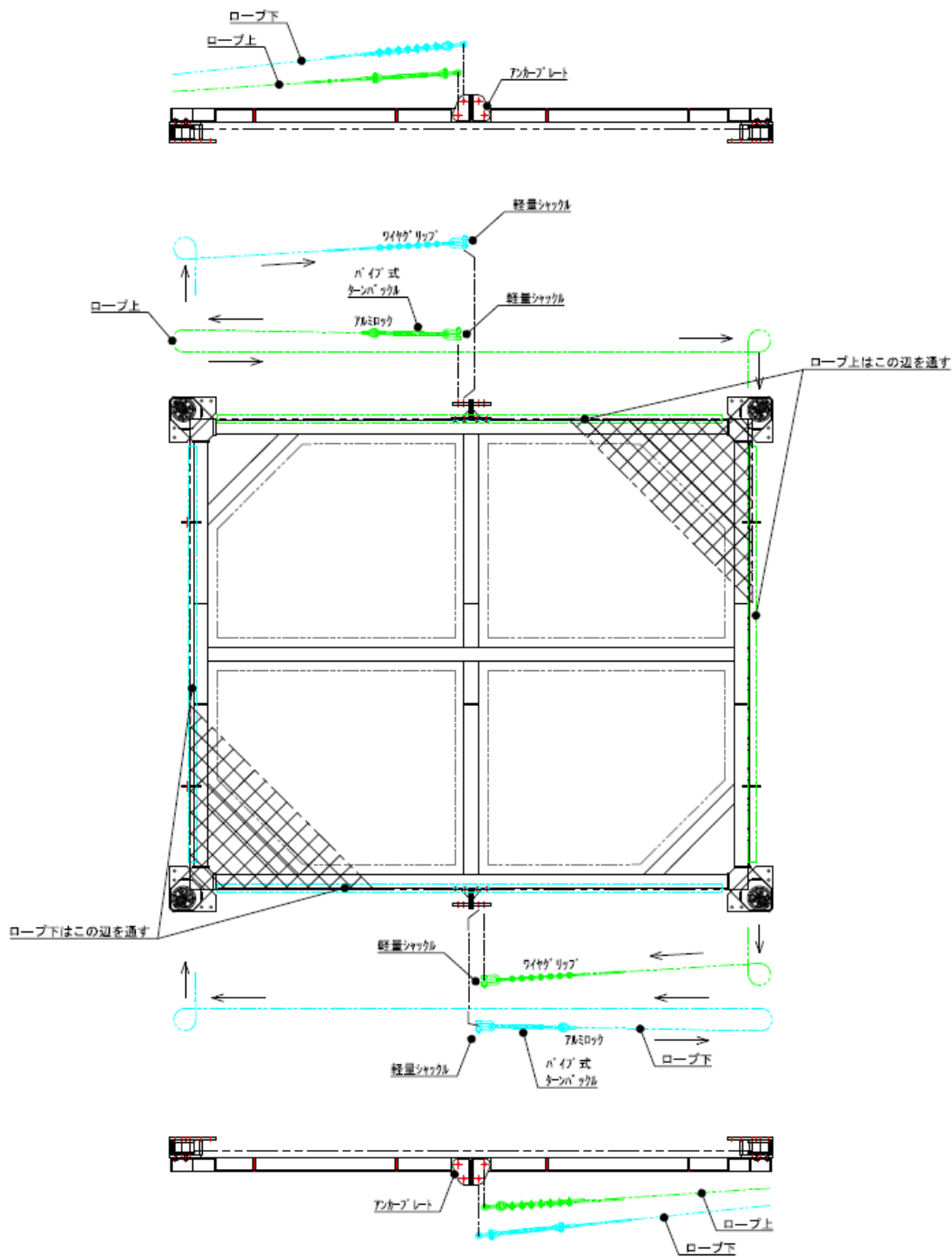
第4-2図 テンプレートの組立



<作業概要>

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。

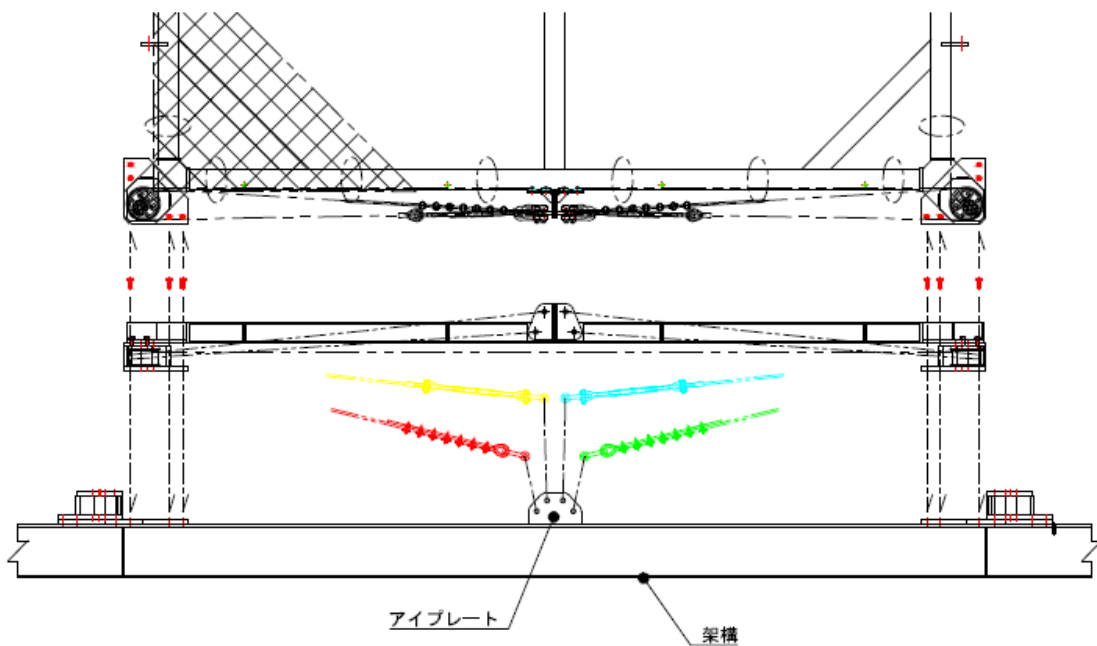
第4-3図 作業概略図 (テンプレートへ取付金物取付)



<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。

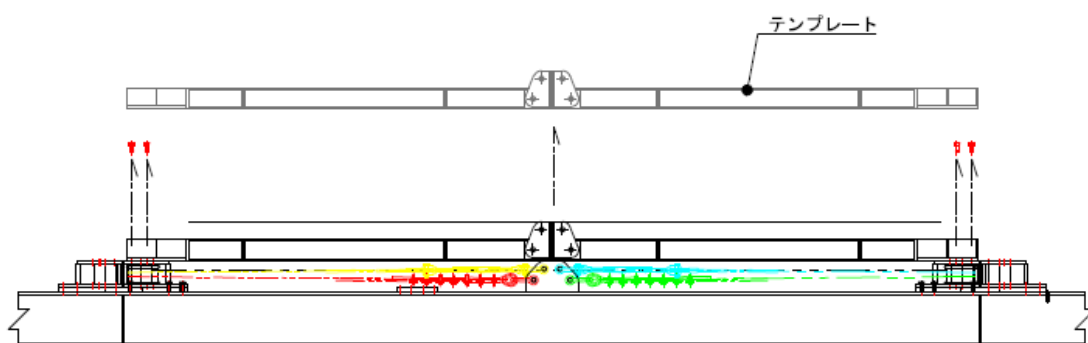
第4-4図 作業概略図 (ネットの敷設)



<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4-5図 作業概略図 (防護ネットの架構への移設)



<作業概要>

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4-6図 作業概略図 (テンプレート撤去)

5. 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5-1表の通り整理した。

第5-1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。<u>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。</u></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>