

第1回申請における竜巻に関する基本ロジック

- 竜巻に対する基本方針としては、安全上重要な施設を竜巻防護対象施設とし、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないように設計上の配慮を行う施設を設計対処施設とする。設計対処施設は主に以下の①～④に分類され、第1回申請の対象である安全冷却水B冷却塔は、「①屋外の竜巻防護対象施設」に該当し強度評価対象となる。
 - ① 屋外の竜巻防護対象施設
 - ② 竜巻防護対象施設を収納する建屋
 - ③ 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
 - ④ 竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設

- 強度評価の条件として、設計竜巻の最大風速を100m/sとしランキン渦モデルを適用した竜巻の特性値（気圧低下量89hPa、移動速度15m/s、etc.）を設定するとともに、設計飛来物として鋼製材（135kg、0.2×0.3×4.2m、51m/s）等を設定する。なお、極小飛来物（砂利）については、竜巻防護対象施設に衝突しても損傷を与えることはないことを確認する。設計荷重としては、竜巻による風圧力、気圧差及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせるとともに、その他の自然現象としての積雪荷重、施設に常時作用する荷重を組み合わせ設定する。

- 設計対処施設は、設計荷重に対して構造健全性を維持するとともに、設計飛来物の衝突に対しては竜巻防護対策設備を設置する等の対策を実施し、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないようにしている。第1回申請では安全冷却水B冷却塔に設置する飛来物防護ネットを申請対象としており、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から構成される。（飛来物防護ネット設計の基本ロジック参照）

- 安全冷却水B冷却塔及び飛来物防護ネットについては、それぞれが有する安全機能、防護機能を考慮したうえで評価対象部位を設定し、各々の評価対象部位に生じる応力、荷重等を考慮して評価項目（引張、圧縮、せん断、構造強度、限界吸収エネルギー、たわみ、鋼板厚さ etc.）及び許容限界（判定基準）を設定して強度評価を実施する。

- 飛来物防護ネットの強度評価のうち防護板についてはBRL式による貫通評

価を実施するが、本評価では最新知見（貫通評価及び剛飛来物に対する試験）を踏まえ、設計飛来物衝突部の外周と周長の等しい円の直径を等価直径として入力する。その結果得られる貫通限界厚さは、設計飛来物（柔飛来物）の特性を考えると十分保守的な値であると考えられるが、防護板への適用に当たってはさらに保守性を確保するため、実験的に貫通しないことが確認されている値を貫通限界厚さとする。（BRL 式の等価直径の考え方に対する新知見の適用に関する基本ロジック（外竜巻 09）参照）

- 飛来物防護ネットのうち防護ネットについては、耐震性を確保するため、先行発電炉で採用している鋼製枠付防護ネットではなく、防護ネットを架構に直接設置する手法を採用しているが、強度評価上問題となるような差異はないことを確認している。（架構に直接設置するネット健全性に関する基本ロジック（外竜巻 16）参照）

以上

飛来物防護ネット設計の基本ロジック

- 飛来物防護ネットは、竜巻に伴い発生する飛来物が、竜巻防護対象施設である安全上重要な施設に衝突することを防止することを目的に設置する施設であり、事業変更許可にて設定した設計飛来物（鋼製材、135 kg）が防護対象施設に衝突することを防止することを設計上の目標とする。
- 設計飛来物より運動エネルギー又は貫通力が大きい資機材は固縛運用することにより飛散防止を図り、設計飛来物より小さい飛来物は、サイズの異なるネットを設置することに加え、ネットの素線が重ならない施工とすることで、すり抜けることを防止できる構造とする。なお、砂利等の極小飛来物は、ネットをすり抜けるが、竜巻防護対象施設に衝突したとしても有意な損傷を与えないことを確認している。
- 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は、二つの手法がある。一つ目は、防護ネットにより飛来物を捕捉する手法である。二つ目は、防護板により飛来物を遮断する手法である。
- 第1回申請対象施設である安全冷却水B冷却塔（以下、「冷却塔」という）周りの飛来物防護ネットは、防護ネットにより飛来物を捕捉することを基本とするが、後述のとおり、ネットには必要面積等の設計要求があることから、防護ネットと防護板の組み合わせにより、飛来物から冷却塔を防護する設計とする。各手法の設計方針を以下に示す
- 防護ネットは、鋼製のネットが延びることで飛来物の持つ運動エネルギーを吸収し、補足することを目的とする。そのため、防護ネットは飛来物の持つ運動エネルギーを吸収可能な面積を有していること、および防護ネットが飛来物の衝突によりたわんだとしても、竜巻防護対象施設と衝突しない離隔距離を有していることが設計条件となる。以上から、防護ネットを設置するためには、一定以上の面積と離隔距離が必要となる。
- 上記の吸収エネルギー、たわみ距離の評価式は電中研報告書にて報告されており、実証試験によりその評価式の妥当性が報告書内で確認され、評価式が適用可能な構造上の条件が読み取れる。

【公開版】

- 冷却塔周りの飛来物防護ネットについても、電中研報告書の評価式を用いて設計を実施している。しかしながら、耐震性向上のため、重量を合理的に低減する必要があり、電中研報告書で用いられた防護ネットから鋼製枠を合理化した構造を採用している。そのため、電中研報告書の防護ネットとは、鋼製枠の有無、それに伴うワイヤーロープの支持方法等の構造に差異が生じているが、電中研の評価式は適用可能である。（架構に直接設置するネットの健全性について（外竜巻 16）参照）
- 防護板とは、飛来物が衝突したとしても、飛来物を貫通させず、竜巻防護対象施設に飛来物が衝突することを防止することを目的とする。そのため、防護板は飛来物を貫通させない板厚を有していることが設計条件となる。以上から、防護板の設計に当たっては飛来物を貫通させない貫通限界厚さの設定が必要となる。
- 飛来物に対する貫通防止厚さを算出する評価式として、BRL 式が使われている。そのため、防護板の必要板厚についても、BRL 式の算出結果を基に設定している。（BRL 式の等価直径の考え方に対する新知見の適用に関する基本ロジック（外竜巻 09）参照）
- 防護板の最小板厚の設定にあたっては、耐震性向上の観点から、板厚も合理的に薄くするため、電中研の最新知見を適用させ、板厚を算出している。これにより、等価直径の考え方が設計飛来物の衝突部の外周と周長の等しい円の直径としている。

以上

B R L式の等価直径の考え方に対する新知見の適用に関する
基本ロジック（外竜巻09）

- 安全冷却水B冷却塔に対する飛来物からの防護については、飛来物防護ネットで被うことにより飛来物の衝突を防止する構造とし、安全機能を損なわない設計とする。飛来物防護ネットは、防護ネット及び防護板から構成される。
- このうち防護板は、設計飛来物である鋼製材の貫通を防止するための貫通限界厚さを上回っていることを確認する方針としており、貫通限界厚さの算出にあたっては、先行電力と同様にB R L式を用いる。
- B R L式に入力する飛来物衝突部の直径は、想定する設計飛来物の形状を等価直径 (D) に換算したものをを用いるが、等価直径 (D) の換算方法が明確に定義されていない。このため、先行電力では設計飛来物の衝突部の接触面積と同等の面積を有する円の直径を等価直径 (D) としている。一方、再処理施設においては、最新の研究成果（電中研報告：019003（2019年11月））に基づき、設計飛来物の周長と同じ円周を持つ円の直径を等価直径 (D) とする手法を採用している。
- 最新の研究成果では、以下のことが確認されている。
 - ・ 直径が同一で衝突部面積の異なる飛来物を用いた衝突試験の結果から、衝突部面積の相違が鋼板の貫通／非貫通に与える影響は小さい
 - ・ 質量及び衝突速度を変化させた衝突試験の結果から、B R L式は質量及び速度によらず、試験結果に対して保守的な評価となっている
 - ・ B R L式による評価と多角形飛来物を衝突させた試験を比較した結果から、B R L式は、多角形飛来物の周長を等価とした円断面の直径を等価直径 (D) とすることで鋼板の耐貫通性能を保守的に評価できる
- 最新の研究成果は、剛飛来物を前提として確認された知見であり、柔飛来物である設計飛来物よりも保守的な結果が導かれていると考えられるが、設計飛来物は最新の研究成果にて確認された飛来物と質量及び寸法が異なるため、その適用性について考察を行った。別の報告（電中研報告：N15004（2015年10月））では、柔飛来物の場合はエネルギーの一部が変形によって吸収され、鋼板の対貫通性において剛飛来物の方が厳しい結果となることが示されている。以上より、最新の研究成果は、設計飛来物に対しても適用できると考

えられる。

- ただし、最新の研究成果の適用に当たっては、実験的に非貫通が確認されている比率（BRL式による貫通限界厚さ／実験的に非貫通が確認された実測厚さ）をもってBRL式の算出結果を除することによって得られる値を設計上担保する貫通限界厚さとし、保守性を確保する。

以上

架構に直接設置するネットの健全性に関する基本ロジック（外竜巻16）

- 竜巻に伴い発生する飛来物が、安全冷却水 B 冷却塔（以下、「冷却塔」という）に衝突することを防止するため、飛来物防護ネットを冷却塔の周りに設置している。
- 飛来物防護ネットに用いる防護ネットは電力中央研究所（以下、「電中研」という。）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 001（2016年3月）」の評価手法（以下、「電中研評価手法」という。）を用いて設計を実施する。
- 電中研報告書及び先行発電炉では防護ネットを鋼製枠に固定し、鋼製枠を支持架構に取り付ける設計（以下、「鋼製枠取付設計」という。）としているのに対し、飛来物防護ネットは、支持架構の耐震性を向上させるため積載重量の合理化を図っており、鋼製枠を用いず、架構に直接設置する設計（以下、「架構取付設計」という。）としている。したがって、架構取付設計に対しても電中研評価手法が適用できることを検討した。
- 電中研報告書では、当該評価手法の適用条件は以下の3点であるとされており、飛来物防護ネットはこれらの条件を満足する。
 - ・ ネットの材料：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、飛来物防護ネットはこれと同仕様である。
 - ・ ネットの形状：電中研評価手法はネットの寸法比（幅：展開長）が1：1～1：2の間で有効とされており、飛来物防護ネットはこれを満足する。
 - ・ ネットの支持方法：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、飛来物防護ネットはこれと同仕様である。
- 鋼製枠の有無に伴う評価への影響について検討した。飛来物が防護ネットに衝突した際、鋼製枠取付設計では、荷重は以下のように伝播する。
 - ① ネットが飛来物に引っ張られる。
 - ② ネットを支持するワイヤロープがネットに引っ張られる。
 - ③ ワイヤロープを支持する保持管、シャックル等がワイヤロープに引っ張られる。

【公開版】

④保持管の隅角部固定ボルト、シャックルを支持する取付けプレート（鋼製枠に設置）を介し鋼製枠、架構に荷重が伝播する。

一方、架構取付設計では、荷重は以下のように伝播する。

①ネットが飛来物に引っ張られる。

②ネットを支持するワイヤロープがネットに引っ張られる。

③ワイヤロープを支持する保持管、シャックル等がワイヤロープに引っ張られる。

④保持管の隅角部固定ボルトおよびネット取付金物、シャックルを支持する取付けプレート（架構に設置）を介し架構に荷重が伝播する。

架構取付設計では鋼製枠がないため、荷重伝達経路の④の部分に差異がある。

鋼製枠取付設計ではワイヤロープを支持するための取付けプレートを鋼製枠に取り付けており、架構取付設計である飛来物防護ネットは取付けプレートを架構に直接設置している。

架構取付設計である飛来物防護ネットの荷重伝達する部材は、部材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いるため、防護ネットを保持することが出来る。

以 上

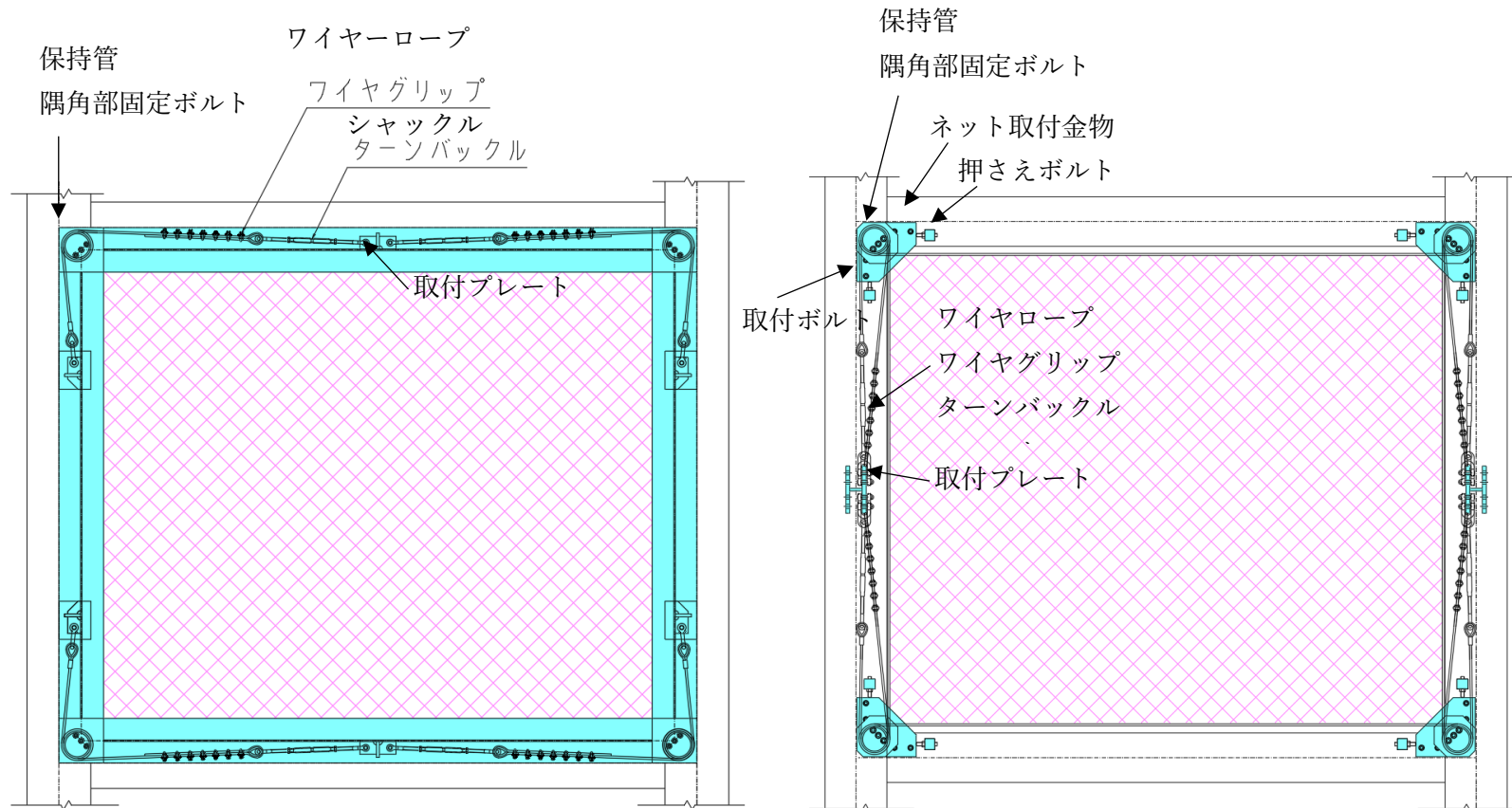
【公開版】

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)

電中研報告書の防護ネット

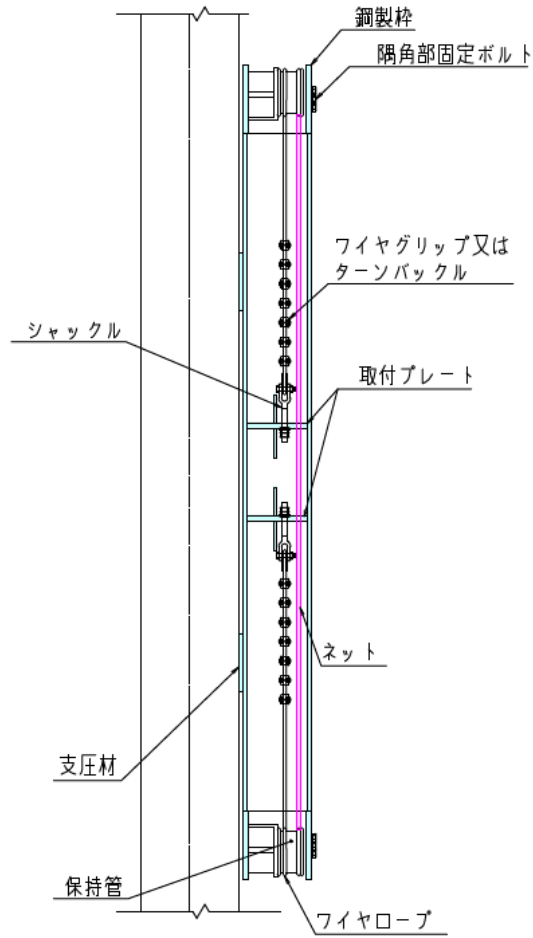
支持架構設置形式

平面視



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)

電中研報告書の防護ネット



支持架構設置形式

