

女川原子力発電所2号炉 竜巻防護ネットの構造設計について

設計基準対象施設について

(第6条 外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻))

平成31年2月12日

東北電力株式会社

目次

1. 規制要求事項と対応方針
2. 竜巻防護ネットに対する要求事項
3. 竜巻防護ネットの構造概要
4. 竜巻防護に対する設計手法
5. 竜巻以外の自然現象に対する設計手法
6. 竜巻随伴事象に対する設計方針
7. 竜巻防護ネットの維持管理

1. 規制要求事項と対応方針(1/2)

(1) 規制要求事項

外部からの衝撃による損傷の防止について、設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条における追加要求事項を表1に示す

本書では、これらの要求事項に対する対応のうち、屋外に設置されており、外殻となる施設(建屋、構築物)による防護が期待できない設備に対する対応方針を示す

表1 設置許可基準規則第6条及び技術基準規則第7条要求事項

設置許可基準規則 第6条(外部からの衝撃による損傷の防止)	技術基準規則 第7条(外部からの衝撃による損傷の防止)	備考
安全施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	設計基準対象施設が想定される自然現象(地震及び津波を除く。)によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】
2 重要安全施設は、当該重要安全施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該重要安全施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。		【追加要求事項】
3 安全施設は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。	2 周辺監視区域に隣接する地域に事業所、鉄道、道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合には、事業所における火災又は爆発事故、危険物を搭載した車両、船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。 3 航空機の墜落により発電用原子炉施設の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。	【追加要求事項】

1. 規制要求事項と対応方針(2/2)

(2) 竜巻影響評価の対象施設

竜巻影響評価の対象施設のうち、外殻となる施設(建屋, 構築物)による防護が期待できない設備として、「原子炉補機冷却海水ポンプ(電動機, 配管等含む)」及び「高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ(電動機, 配管等含む)」(以下, 非常用海水ポンプ等という。)が抽出された

これらの非常用海水ポンプ等は, 竜巻による設計飛来物の衝突により安全機能を損なうおそれがある

(3) 対応方針

海水ポンプ室補機ポンプエリアに竜巻防護ネットを設置することにより, 設計飛来物による非常用海水ポンプ等の損傷を防止し, 安全機能が損なわれない設計とする

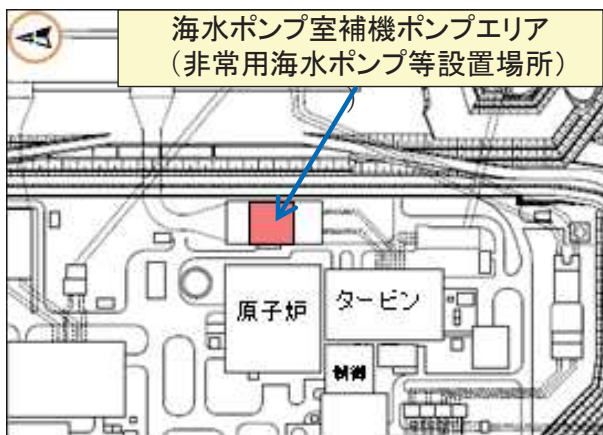


図1 非常用海水ポンプ等設置場所

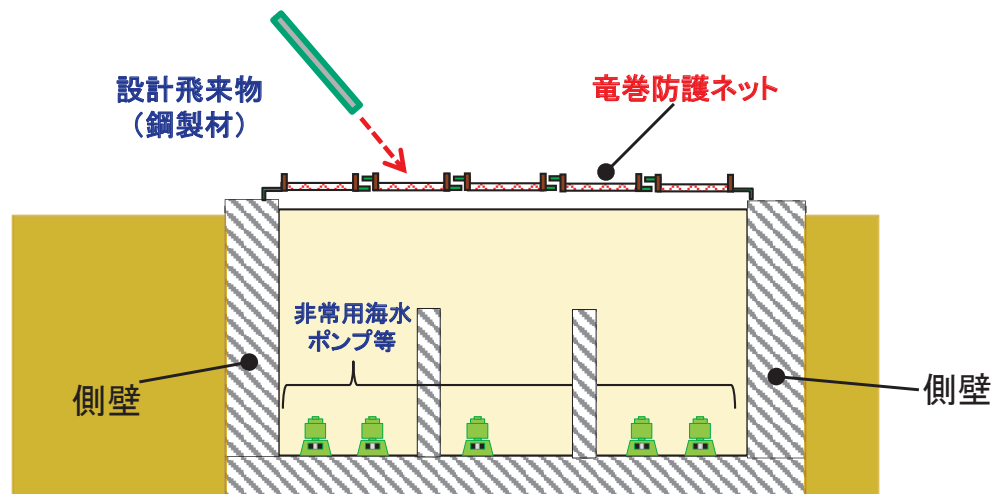


図2 海水ポンプ室補機ポンプエリア(断面)模式図

2. 竜巻防護ネットに対する要求事項

竜巻防護ネットは竜巻から非常用海水ポンプを防護する観点で、以下の要求事項を満足する必要がある

竜巻防護に対する要求事項

- 竜巻の風荷重や設計飛来物が衝突した際の衝撃力等に耐え、設計飛来物が非常用海水ポンプ等に到達しないこと
- 設計飛来物が衝突した際に構造体が崩壊及び落下せず、非常用海水ポンプ等を損傷させないこと

竜巻以外の自然現象(地震, 津波含む)に対する要求事項

- 竜巻以外の自然現象によって構造体が崩壊および落下せず、非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさないこと

竜巻随件事象に対する要求事項

- 竜巻随件事象として想定される事象である、火災、溢水及び外部電源喪失に対し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさないこと
- 竜巻防護ネット自体が、火災、溢水及び外部電源喪失の原因とならないこと

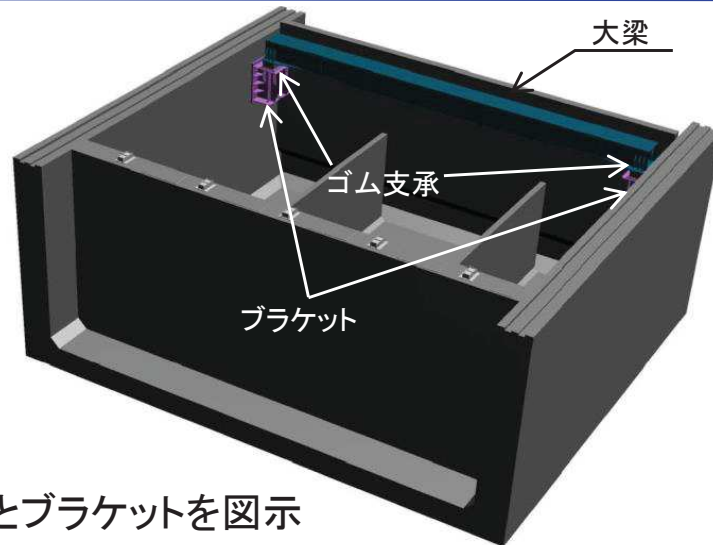
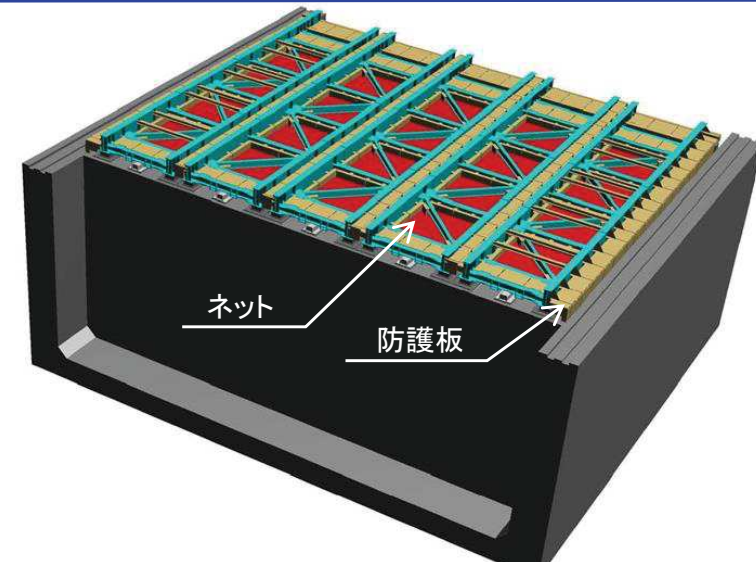
3. 竜巻防護ネットの構造概要(1/2)

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は
防護上の観点から公開できません。

海水ポンプ室補機ポンプエリア

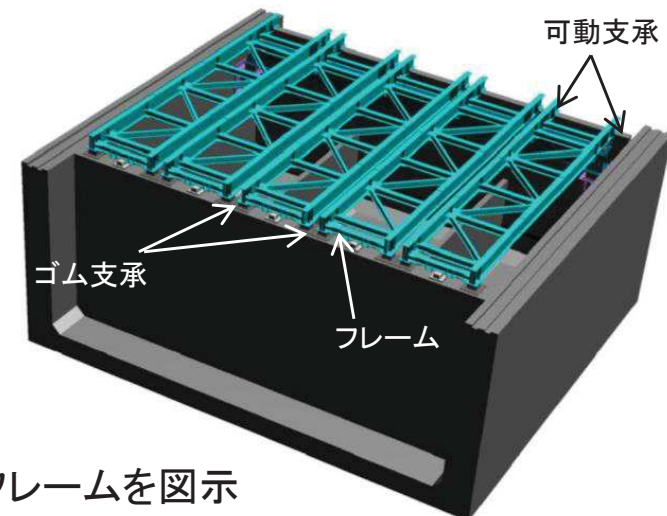


竜巻防護ネット取付状態



大梁とブラケットを図示

フレームの南側は、東西方向に設置する大梁で支持(南側の隔壁の壁厚が比較的薄いことを考慮)。大梁は側壁(東側及び西側)に設置したブラケットで支持



フレームを図示

非常用海水ポンプのメンテナンス及び門型クレーンの吊上の能力を考慮して
フレームは5分割の構造

図3 竜巻防護ネットの概要図(北西側から見た場合)

3. 竜巻防護ネットの構造概要(2/2)

竜巻防護ネットの特徴

- ・各部材接続部の支持構造として、ゴム支承，可動支承を採用
- ・竜巻防護ネットのフレーム寸法は，海水ポンプ室補機ポンプエリアの内寸より大きい設計とし，ストッパーを設置することでフレームの落下を防ぐ構造

➤ ゴム支承の目的

地震により生ずる応力及び反力を低減・分散させることを目的としており，水平方向の固有周期を長周期側に移動させ応答を下げるとともに，壁面へ伝達させる荷重を分散させる効果を期待

➤ 可動支承の目的

温度変化によるフレームの伸縮を吸収し，変形による荷重発生を防ぐため，水平変位に追従する機能を設けた

➤ ストッパーの目的

フレームの支持構造(ゴム支承，可動支承)が損傷した場合でも，竜巻防護ネットが落下せず，非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えない設計

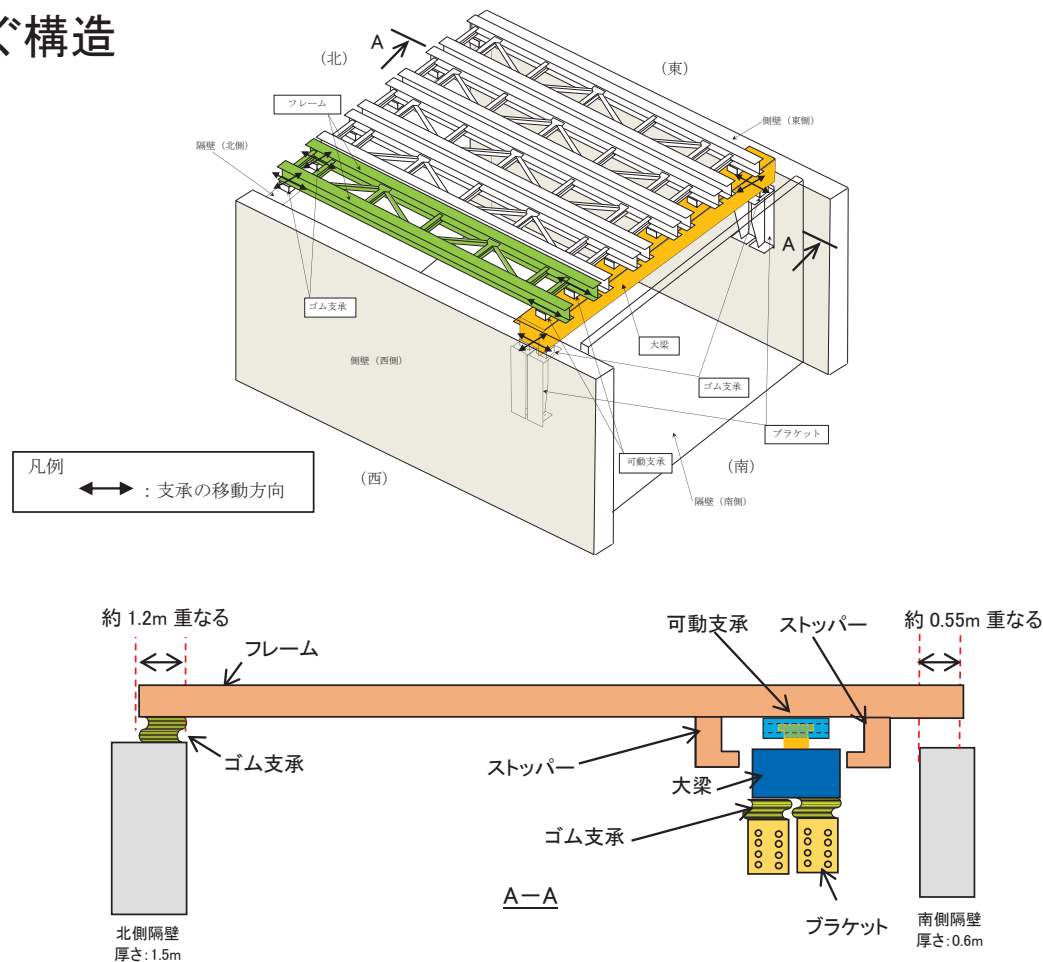


図4 竜巻防護ネットの概要図

注) 竜巻防護ネットは設計中であり，構造の詳細は工認にて示す

4. 竜巻防護に対する設計手法

- 竜巻に対して評価が必要となる竜巻防護ネット評価部位の設計手法を表2に示す
- 衝突解析では、保守的にゴム支承による荷重の低減・分散効果を期待しない評価を実施する。よって、支承による評価上の影響はない
- 設計手法はいずれも、電力中央研究所の設計手法、衝突解析及びBRL式による設計手法を用いており、**既工認又は他プラントで適用の実績がある設計手法を適用している**

表2 竜巻防護ネットの設計手法

評価部位	設計			先行プラントの実績
	評価項目	設計手法	許容限界	
ネット (金網部)	・吸収エネルギー評価 ・破断評価 ・たわみ量評価	電中研報告※1にて検証を行っている評価	電中研報告※1にて検証を行っている許容限界に基づく	あり
フレーム (スッパ-含む) 大梁	・貫通評価 ・支持機能評価	衝突解析(LS-DYNA)による評価	・破断ひずみ※2の範囲内であること	あり
ブラケット	・支持機能評価	衝突解析(LS-DYNA)の結果を用いた応力評価	・解析により算出した荷重が各部材の許容応力内であること	あり
防護板	・貫通評価	タービンミサイル評価で用いられているBRL式※3による評価	BRL式※3による許容限界厚さに基づく	あり

※1: 竜巻設計飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案(電力中央研究所報告 N13014, 平成26年3月),
電力中央研究所報告書O01「高強度金網を用いた竜巻設計飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」

※2: 「NEI07-13:Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」

※3: 「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」

5. 竜巻以外の自然現象に対する設計手法

- 竜巻防護ネットは、竜巻以外の自然現象によって非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさない設計とする。自然現象による影響は表3に示すとおり、荷重のみである
- 設計手法のうち、ゴム支承、可動支承をモデル化した3次元はりモデルによる地震応答解析は、他プラントを含む既工認及び新規審査での適用実績がないことから、耐震設計上の論点と整理
⇒第4条地震による損傷の防止「竜巻防護ネットの耐震構造設計について」にて説明

表3 竜巻防護ネットに対する竜巻以外の自然現象(地震, 津波含む)の影響

自然現象	確認結果	考慮する影響因子	先行プラント実績
風(台風)	・風(台風)の荷重を考慮する	○(荷重)	あり
凍結	・設備構造上, 凍結の影響を受けない	—	—
降水	・構内排水施設により排水することで設備が浸水することはない	—	—
積雪	・積雪荷重を考慮する	○(荷重)	あり
落雷	・電気設備を持たないことから電氣的影響を受けない	—	—
火山の影響	・降下火砕物の荷重を考慮する ・腐食に対しては金属材料を用い, 亜鉛メッキや外装塗装を実施していることから短期的な影響は小さい ・設備構造上, 降下火砕物による閉塞・摩耗の影響を受けない	○(荷重)	あり
生物学的事象	・設備構造上, 生物学的事象の影響を受けない	—	—
森林火災	・防火帯により, 森林から約300mの離隔を確保している ・設備構造上, ばい煙による影響を受けない	—	—
地震	・地震の荷重を考慮する(第4条 地震による損傷の防止)	○(荷重)	ゴム支承の適用実績なし
津波	・基準津波は津波防護施設及び浸水防止設備により敷地内に到達することはないため, 荷重・浸水の影響を受けない(第5条津波による損傷の防止)	—	—

6. 竜巻随伴事象に対する設計方針

竜巻随伴事象として想定される事象である、火災、溢水及び外部電源喪失に対し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさない設計とする。また、竜巻防護ネット自体が、火災、溢水及び外部電源喪失の原因とならない設計とする。

火災(発電所敷地内の屋外にある危険物貯蔵施設等の火災)

- 火災源と竜巻防護ネットの位置関係を踏まえて火災の影響を評価(「6条外部火災」にて評価)し、竜巻防護ネットが非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさない設計とする
- 竜巻防護ネットは発火性、引火性のある物質を使用しないため、火災の原因とはならない

溢水(屋外タンク等の破損に伴う溢水)

- 竜巻防護ネットは構造上、溢水により機能を損なわない設計としているため、溢水により非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼすことはない
- 竜巻防護ネットは液体を内包する構造でないため、溢水の原因とはならない

外部電源喪失(竜巻、雷、ダウンバースト等の影響による外部電源喪失)

- 竜巻防護ネットは電源を用いない設計としているため、外部電源喪失により非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼすことはない
- 竜巻防護ネットは飛来物化せず、送電網に関する施設等を損傷させることはないため、外部電源喪失の原因とならない

7. 竜巻防護ネットの維持管理

竜巻防護ネットは、非常用海水ポンプ等を竜巻による飛来物から防護する機能及び、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないための設備であることから、管理基準を定め、適切に設備の維持管理を行う

- 竜巻防護ネットは、設置環境や部材の劣化・故障モード等を踏まえ、保全計画を策定し、点検を実施し、維持管理を実施する
- 非常用海水ポンプ等の点検時には竜巻防護ネットのフレームの取外し・取付けを実施することから、接続部(可動支承等)の健全性を確認して据え付ける
- 予備品の確保等により、部材が損傷した場合であっても、速やかに補修が行えるようにする