

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改 29
提出年月日	平成 30 年 7 月 6 日

V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

- V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-4 排気筒の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書
 - V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書
 - V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
- V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
 - V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書
- V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
 - V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

: 今回ご説明分

V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	11
2.3	評価方針	13
2.4	適用規格	16
3.	強度評価方法	17
3.1	記号の定義	17
3.2	評価対象部位	21
3.3	荷重及び荷重の組合せ	24
3.4	許容限界	28
3.5	評価方法	34
4.	評価条件	48
4.1	荷重条件	48
4.2	防護ネット仕様	48
5.	強度評価結果	53
5.1	ネットに作用する外力エネルギー評価	53
5.2	破断評価	55
5.3	たわみ評価	67

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設、海水ポンプエリア竜巻防護対策施設、原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設及び使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の防護ネットが、外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物（以下「飛来物」という。）が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、飛来物のエネルギーが防護ネットの限界吸収エネルギーの値を下回っていること、及び防護ネットを構成する部材が許容限界に至らないことを確認するものである。

2. 基本方針

V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、防護ネットの「2.1 位置」、
「2.2 構造概要」、
「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

防護ネットは、原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上、原子炉棟外壁及び付属棟屋上）、海水ポンプ室周り及び使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に設置する。

防護ネットの設置位置図を図 2-1 に、各設置位置におけるネットの割付展開図を図 2-2 から図 2-8 に示す。



図 2-1 防護ネットの設置位置図

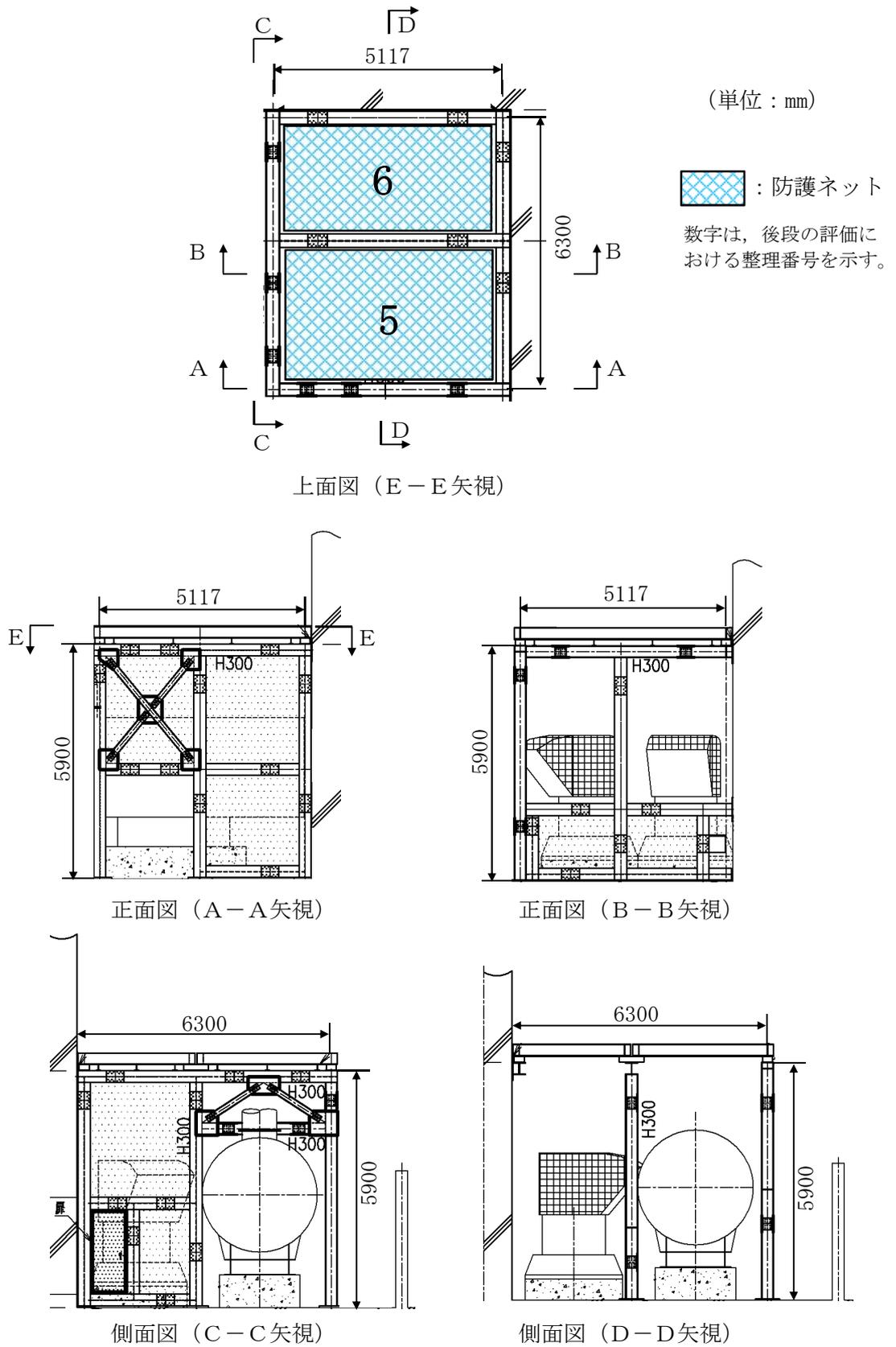


図 2-2 防護ネットの割付展開図

(2 C 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設)

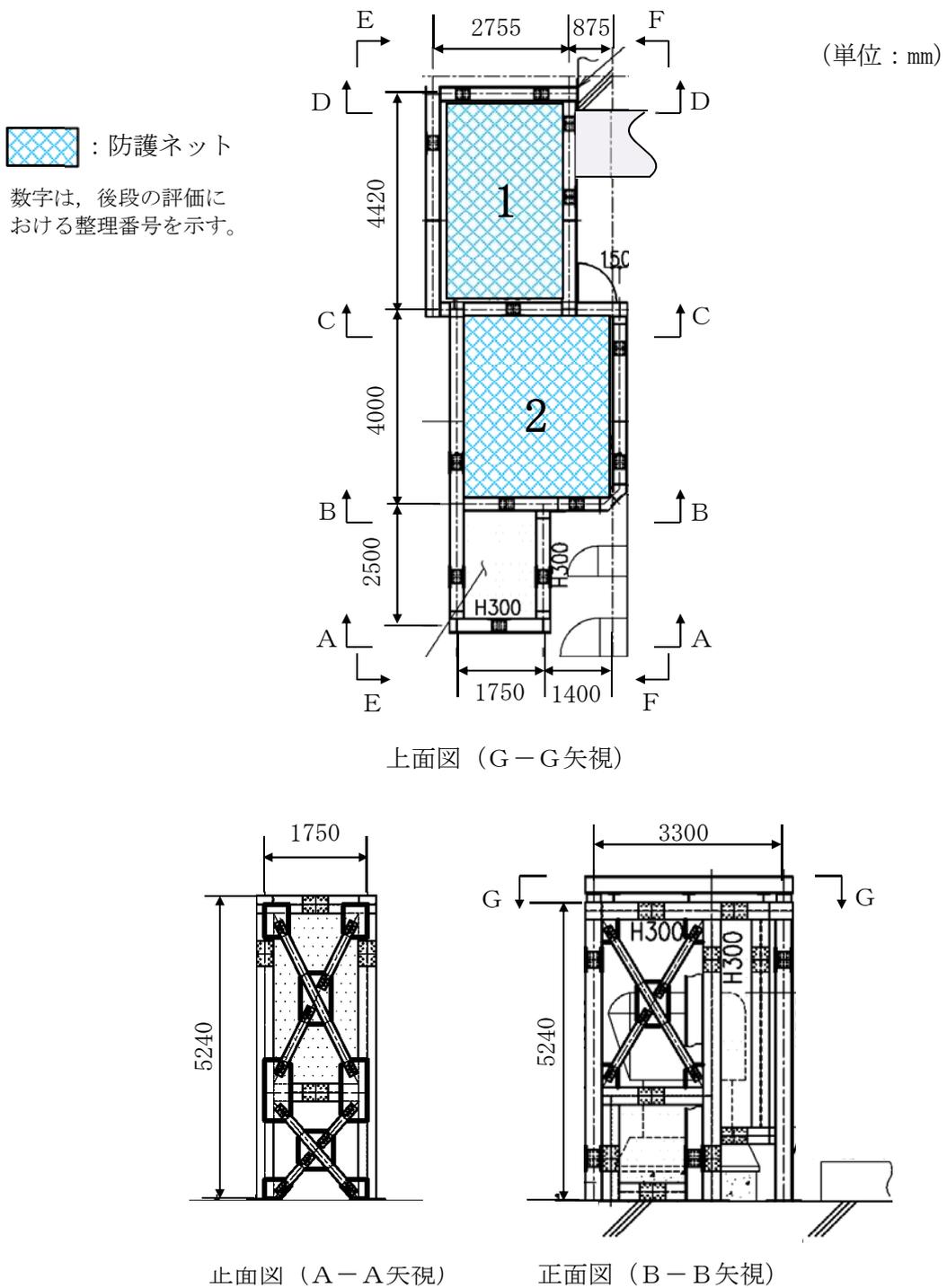


図 2-3 防護ネットの割付展開図 (1/2)
 (2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設)

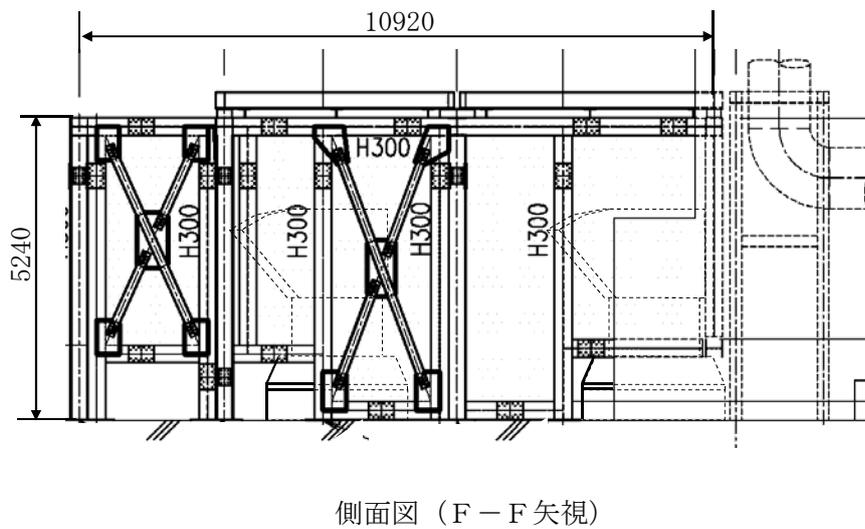
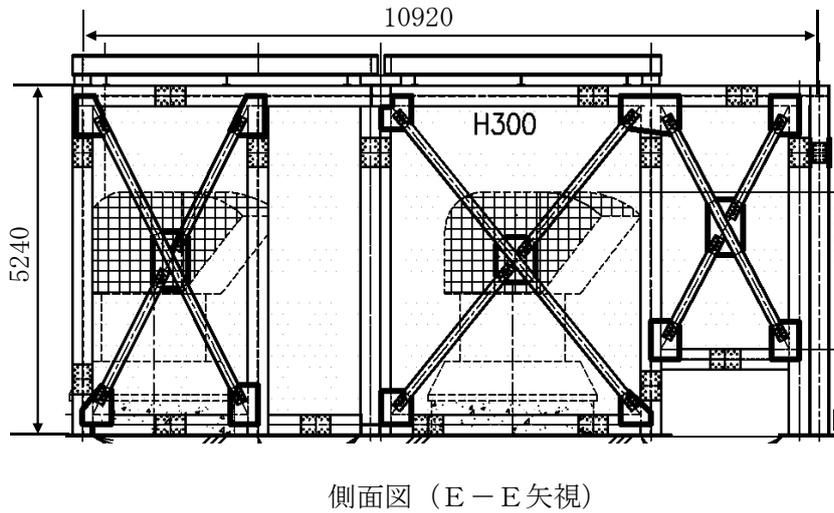
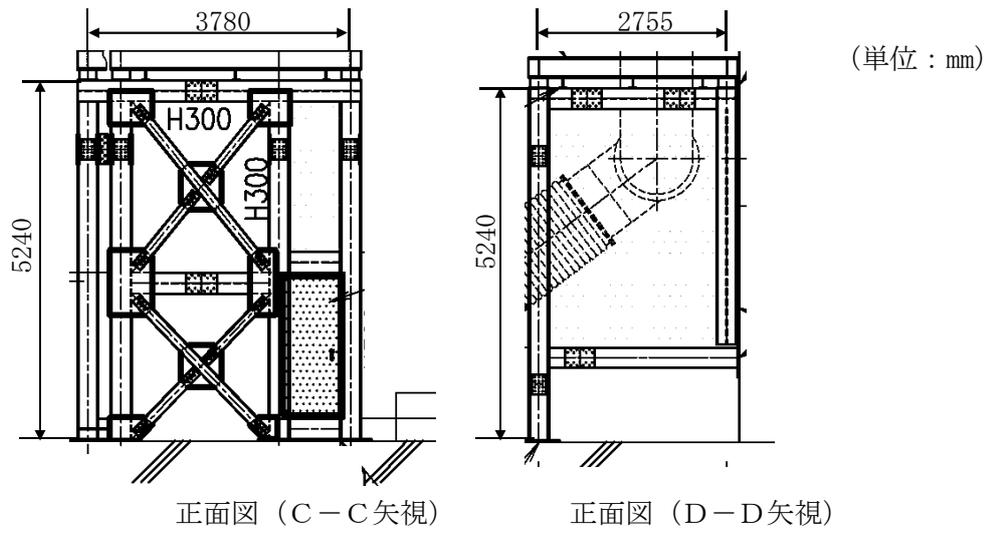
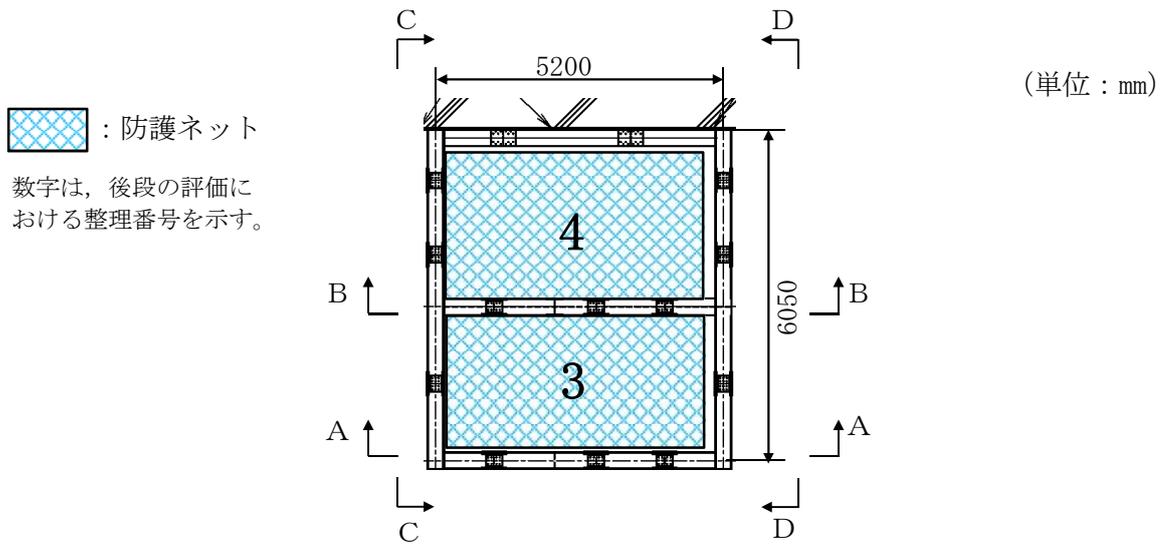
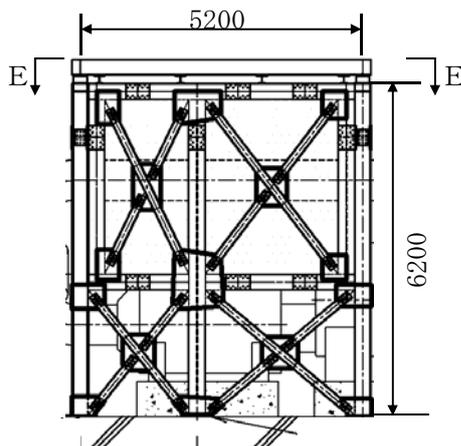


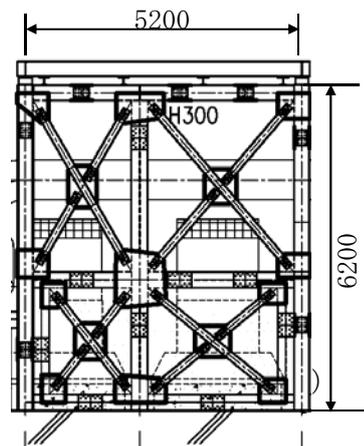
図 2-3 防護ネットの割付展開図(2/2)
(2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設)



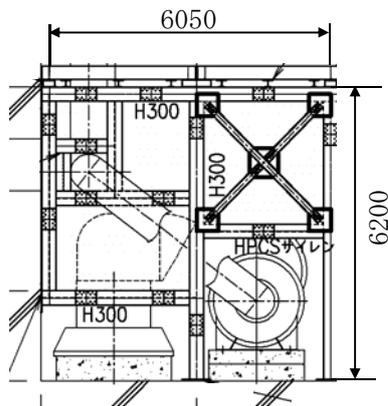
上面図 (E-E 矢視)



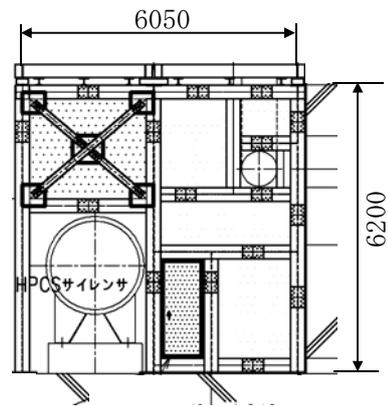
正面図 (A-A 矢視)



正面図 (B-B 矢視)



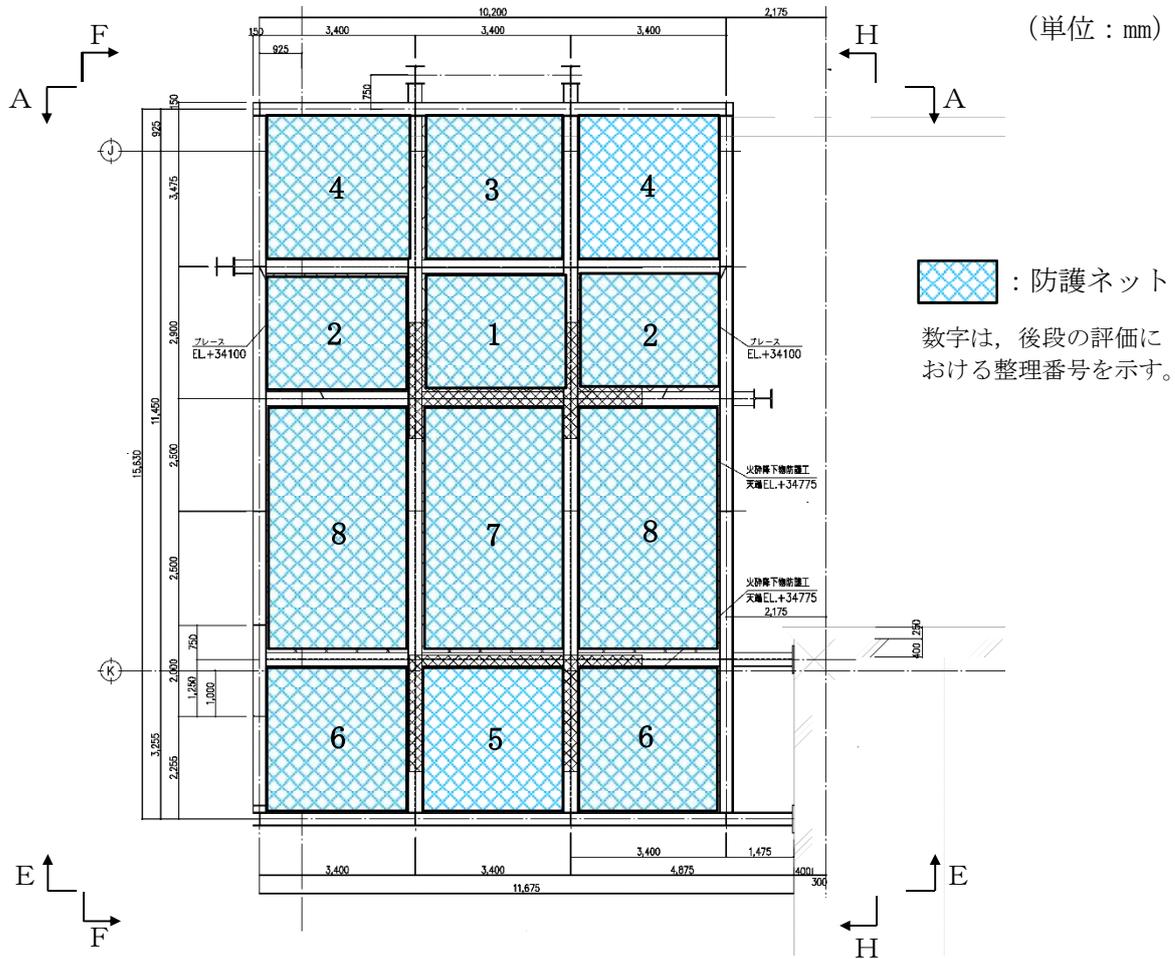
側面図 (C-C 矢視)



側面図 (D-D 矢視)

図 2-4 防護ネットの割付展開図

(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設)



EL.+36050 伏図

上面図

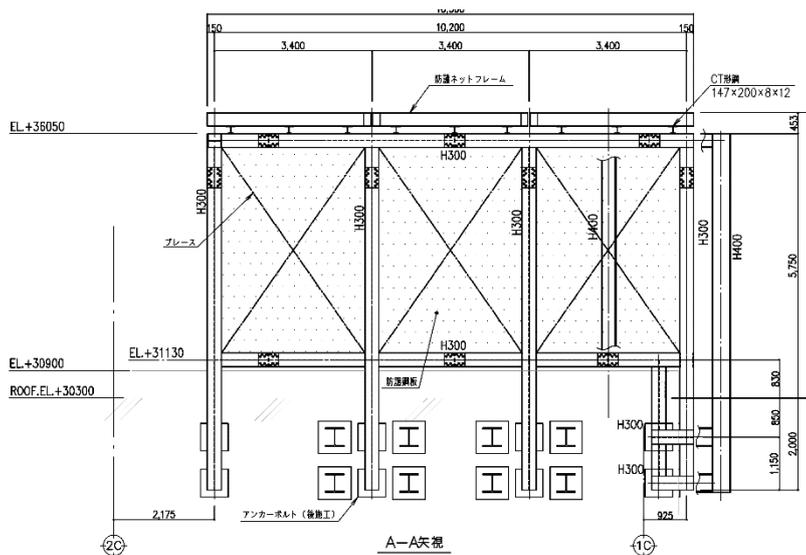


図 2-5 防護ネットの割付展開図(1/2)
 (中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設)

(単位：mm)

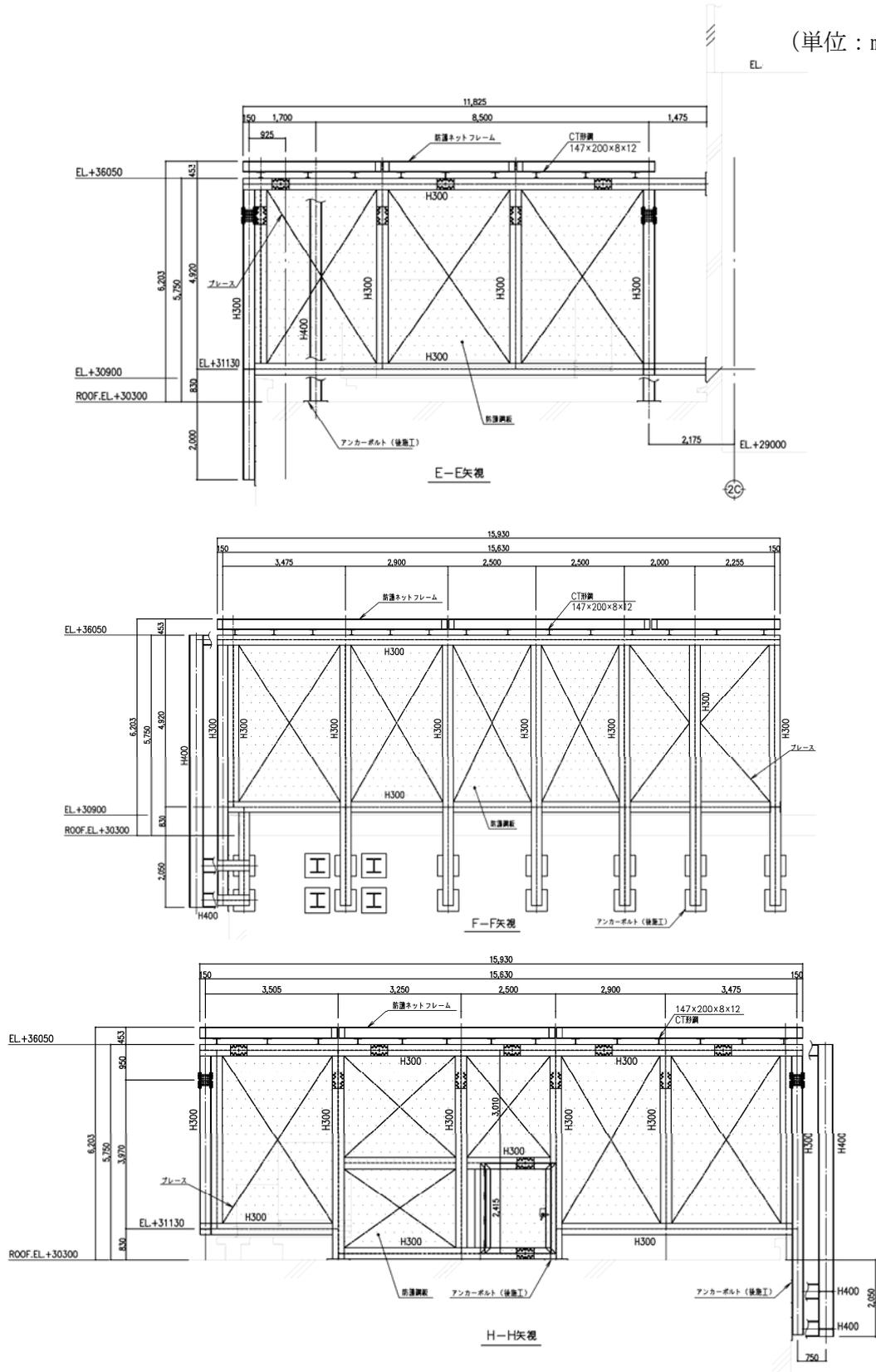
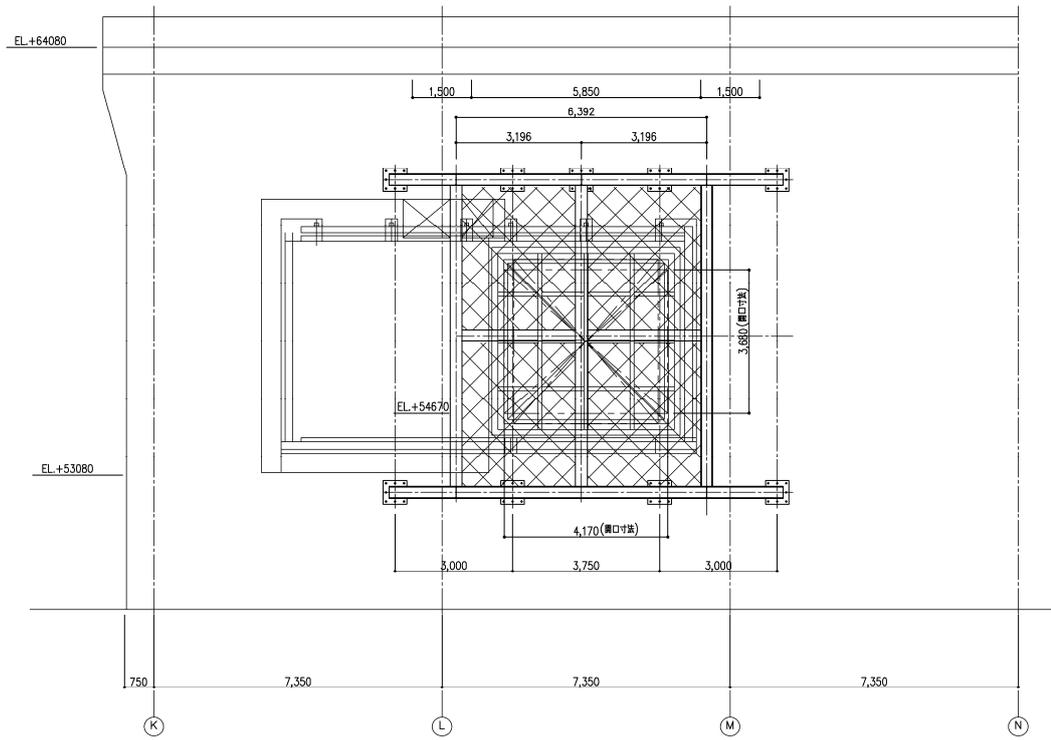


図 2-5 防護ネットの割付展開図 (2/2)
(中央制御室換気系冷凍機巻防護対策施設)



図 2-6 防護ネットの割付展開図
(海水ポンプエリア竜巻防護対策施設配置図)



：防護ネット

数字は、後段の評価における整理番号を示す。

防護ネットフレーム割付図

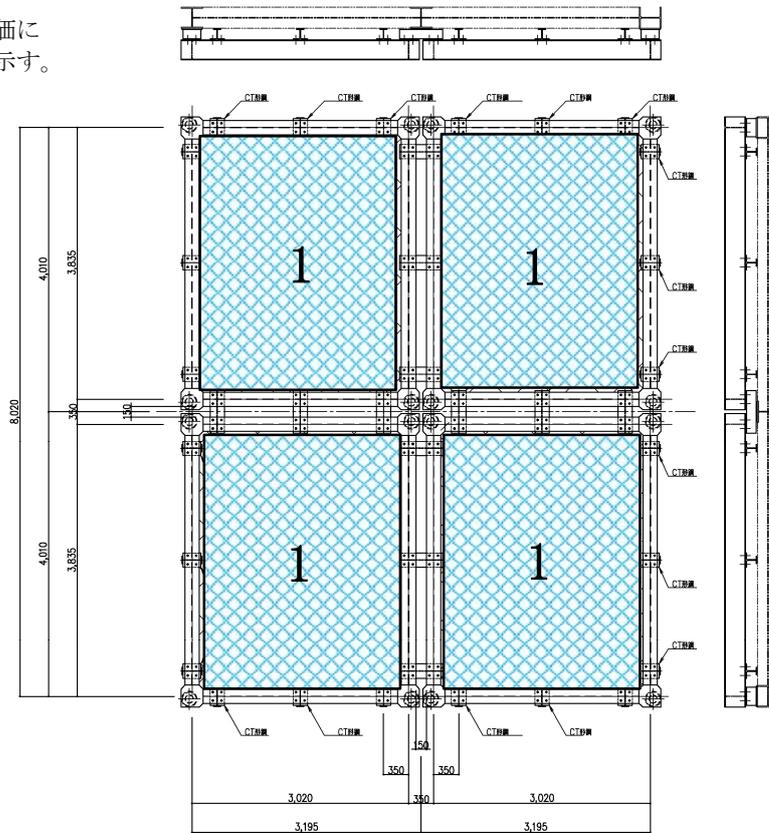


図 2-7 防護ネットの割付展開図

(原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設)

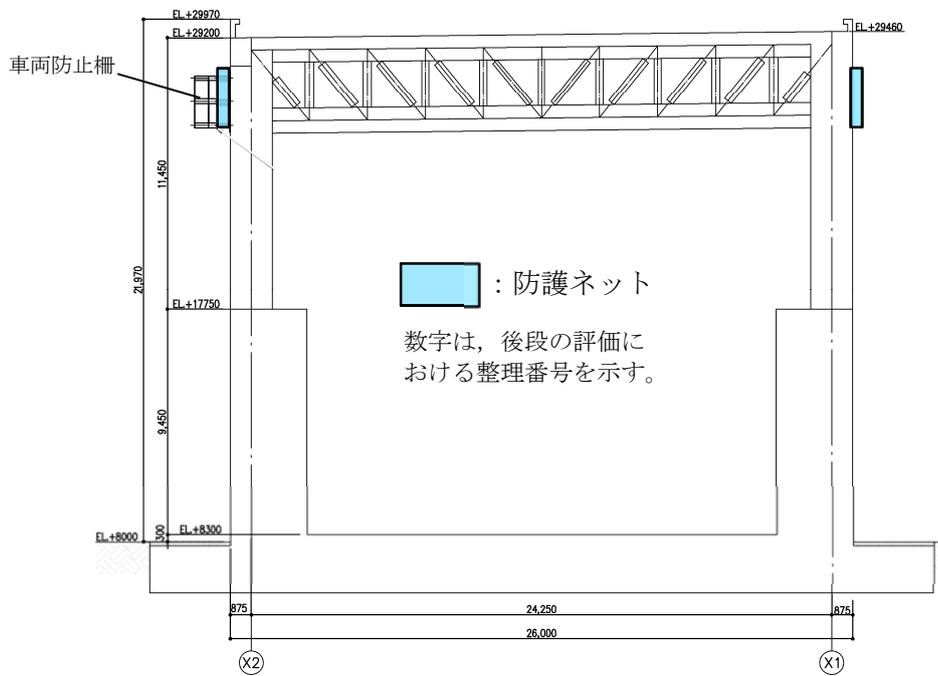
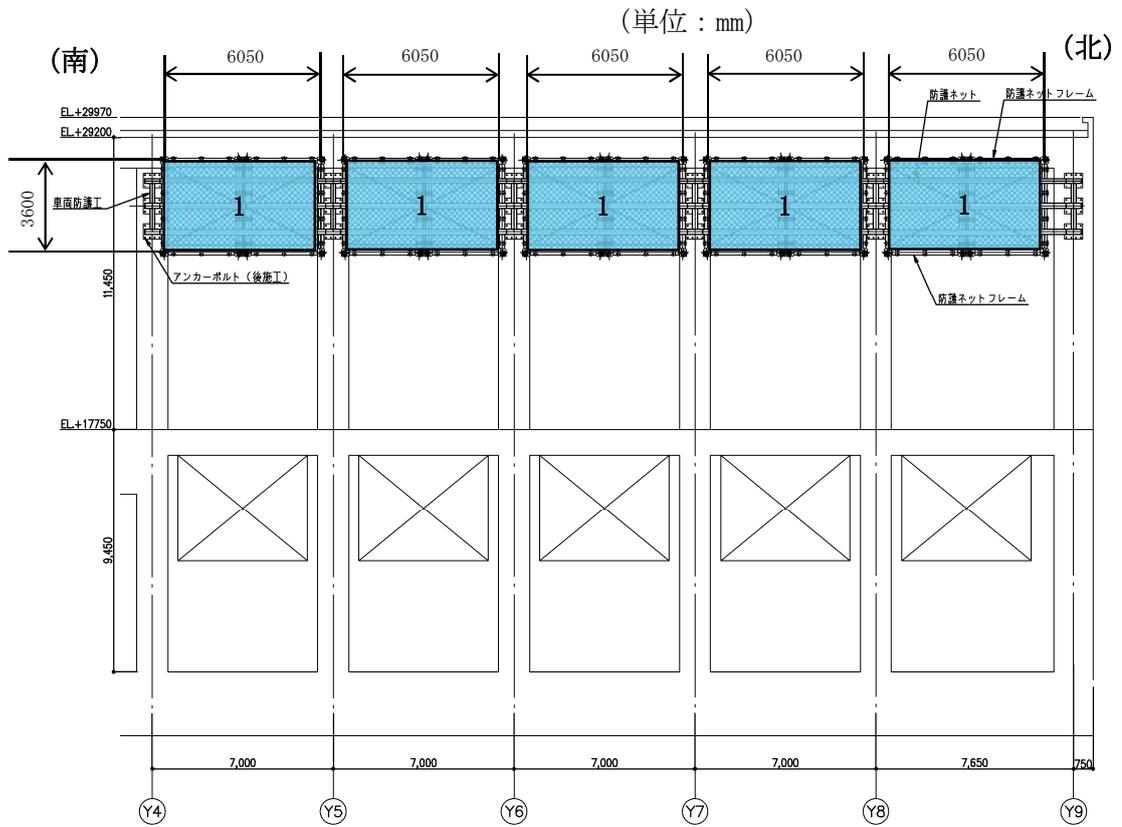


図 2-8 防護ネットの割付展開図
(使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設)

2.2 構造概要

防護ネットの構造は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.1 防護ネットの構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

防護ネットは、ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）及び鋼製枠から構成され、原子炉建屋及び海水ポンプ室周り及び使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁に設置する。防護ネットは、外部事象防護対象施設又は開口部周辺に設置した架構に接続ボルト等を用いて取付けられ、架構は基礎若しくは建屋の床及び壁により支持される。

防護ネットのうちネットは、四隅にワイヤロープを縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープは接続治具（支持部）を介して、鋼製枠に設置した接続治具（固定部）にて支持する構造とする。

防護ネットは、ネットに作用する自重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重をワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）を介して、鋼製枠に伝達する。

防護ネットのうちネットは、飛来物が衝突した際に局部的に生じる衝撃荷重に耐え、変形することにより飛来物の持つ運動エネルギーを吸収し、外部事象防護対象施設への衝突を防止するものである。ネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持っており、ネットに対してL字に張った2本のワイヤロープで支持される。

ワイヤロープは、展開方向に並行するワイヤロープと、展開方向に直交するワイヤロープが接合されていることから、ワイヤロープの張力が均一に発生する構造となっており、ワイヤロープは接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルで支持される。ワイヤロープは、ネットの自重による平常時のたわみが大きくなるように、初期張力をかけ、トルク管理を行う。また、ネットは2枚以上重ねて敷設するため、それぞれのネットの機能が発揮されるよう、ワイヤロープや接続治具等はネットごとに同じ構成にて設置する。

防護ネットの概要図を図 2-9 に示す。

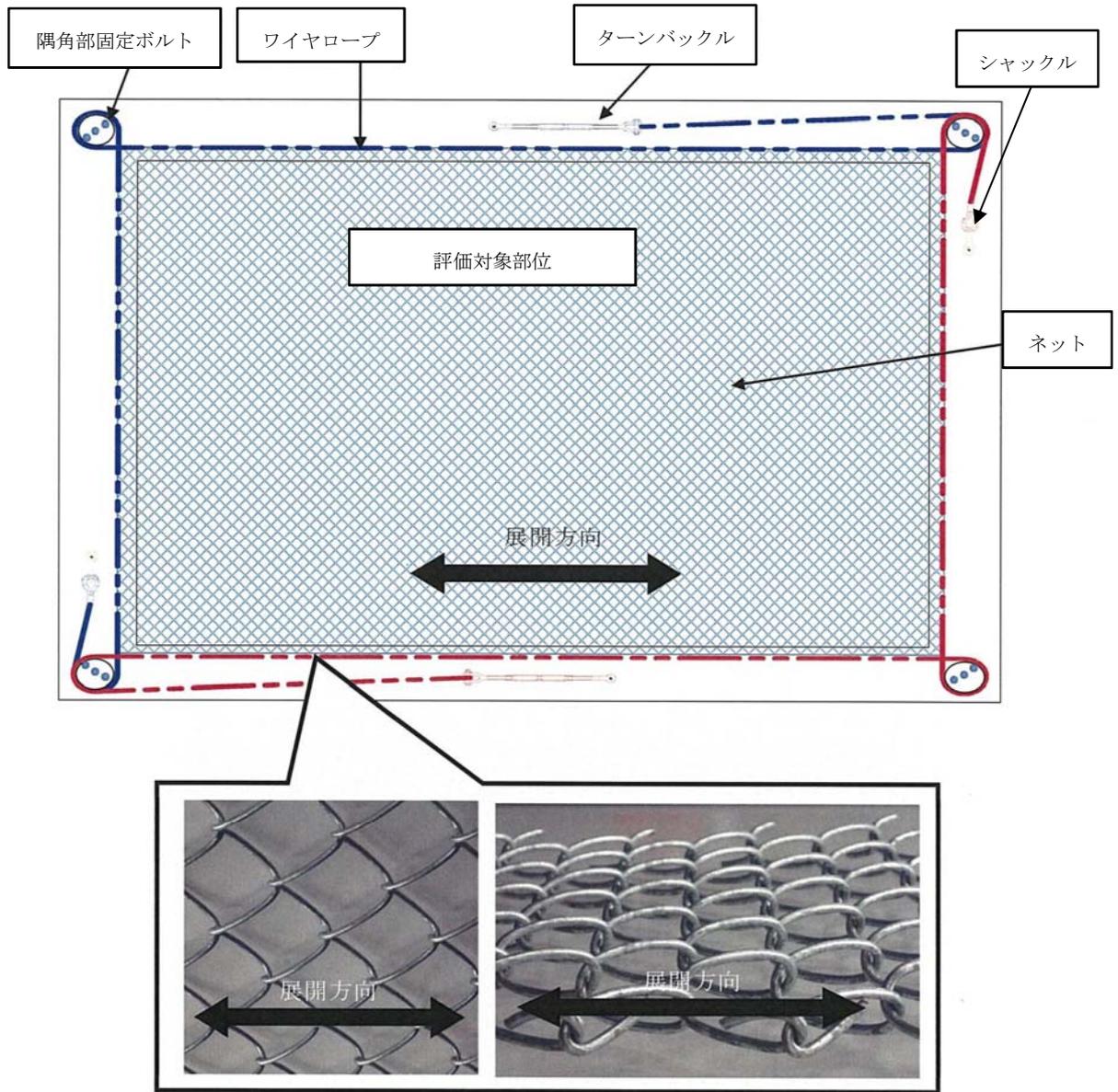


図 2-9 防護ネットの概要図

2.3 評価方針

防護ネットの強度計算は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

防護ネットの評価フローを図 2-10 に示す。

防護ネットの強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計荷重に対して、防護ネットは内側に設置した**外部事象**防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を捕捉し**外部事象**防護対象施設へ衝突させないために、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有すること、及びたわみが生じても、飛来物が**外部事象**防護対象施設と衝突しないよう**外部事象**防護対象施設との離隔が確保できることを確認する。

防護ネットのうち、ネットは破断が生じないことの確認として、ネットが飛来物のエネルギーを吸収することができること、及び飛来物の衝突箇所においてネット目合いの破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。また、防護ネットが飛来物を捕捉可能であることを確認するために、設計荷重に対して、ネットを支持するワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。

防護ネットのうち、たわみについては、ネットに作用する設計荷重に対して、ネット及びワイヤロープにたわみが生じた場合でも、飛来物が**外部事象**防護対象施設に接触しないことを評価する。

評価においては、防護ネットの形状、及び評価条件として、展開方向寸去と展開直角方向寸法の比（以下「アスペクト比」という。）、飛来物の衝突位置の影響及びネットの等価剛性の取扱いの影響を考慮した評価を実施する。

ネット寸法のアスペクト比については、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。）の評価式の適用性が確認されている 1:1～2:1 の範囲で使用し、その範囲を外れる部分はエネルギー吸収等において有効な面積とならないため、ネットの吸収エネルギー評価、ネットの破断評価及びたわみ評価において、評価ごとに保守的な設定となるように、アスペクト比を考慮した評価を実施する。アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法の設定方法については、「3.5 評価方法」に示す。また、アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法は、「4. 評価条件」に示す。

飛来物の衝突位置の影響については、評価において飛来物がネット中心に衝突する場合について評価を実施することから、中央位置からずれた位置（以下「オフセット位置」という。）に衝突する場合の影響を考慮し、ネット、ワイヤロープ及び接続治具の破断評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については「3.5 評価方法」に示す。

ネットの等価剛性については、電中研にて複数回実施している衝撃引張試験の結果から算出する。等価剛性の算出の方法を考慮し、ネットの吸収エネルギー評価及び防護ネットのたわみ評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については、「3.4 許容限界」に示す。

ネット評価の考慮事項の選定について、表 2-1 に示す。

防護ネットを支持し、ネットに作用する荷重が伝達される架構の強度評価は、V-3-別添 1-2-1-3「架構の強度計算書」に示す。

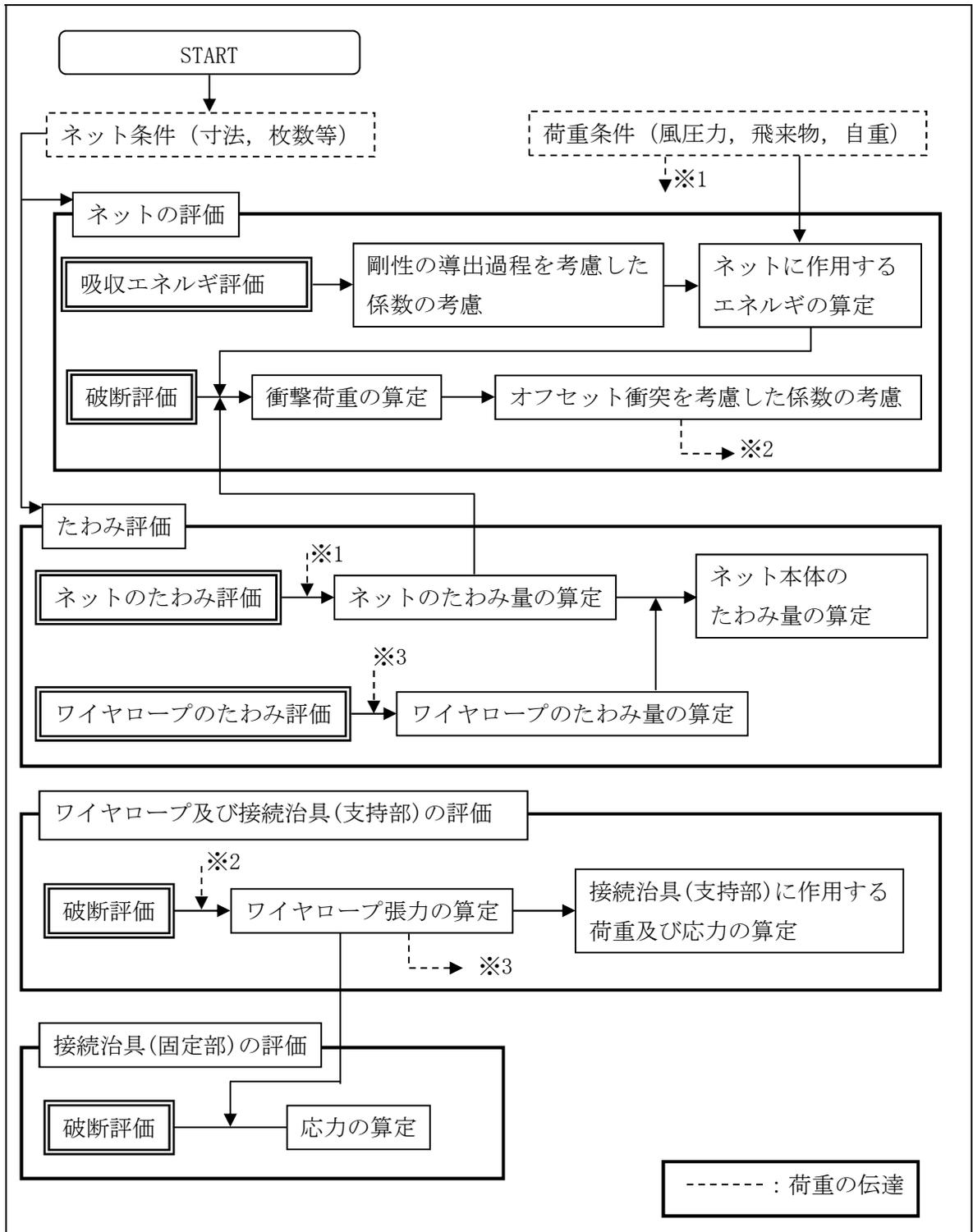


図 2-10 防護ネットの評価フロー

表 2-1 ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギー評価	破断評価	たわみ評価
算出方法	飛来物の有する運動エネルギー、自重及び風圧力により生じるエネルギーを算出し、ネットに生じるエネルギーの総量を算出。	自重、飛来物によるネットへの衝撃荷重及び風圧力による荷重を算出し、ネットの引張荷重及びワイヤロープの張力、接続治具に発生する応力を算出。	自重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算出。
アスペクト比	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。
衝突位置	オフセット衝突時のネットの吸収エネルギーは中央衝突と同等であることから、オフセットによる影響はなく考慮不要。	オフセット衝突時の衝撃荷重が中央衝突より増加することを算出荷重に考慮する。	ネットの最大たわみ位置である中央位置のたわみ及びオフセット位置のたわみを考慮して、たわみ量を設定。
ネット剛性	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を限界吸収エネルギーに考慮する。	荷重による各部位の評価であり、ネットの等価剛性を用いた評価は行っていないため考慮不要。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を飛来物の衝突によりネット本体に生じるたわみ量に考慮する。

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・日本工業規格(J I S)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」
((社) 日本機械学会 (以下「J S M E」という。))
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」 (社) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」 (社) 日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」 (社) 日本電気協会
- ・「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」 (社) 日本建築学会(2005)
- ・「建築物荷重指針・同解説」 (社) 日本建築学会(2004 改定)
- ・「小規模吊橋指針・同解説」 (社) 日本道路協会

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 防護ネット

a. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 吸収エネルギー評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ネット 1 目合いの対角寸法
a_s	mm	ネット 1 目合いの破断変位
b	mm	設計飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	設計飛来物の端面の短辺方向寸法
E_f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー
E_t	kJ	ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全エネルギー
E_w	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用するエネルギー
F_i	kN	設計飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_w	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
K	kN/m	ネット 1 目合いの等価剛性
K_x	kN/m	ネット設置枚数 n を考慮したネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
K_x'	kN/m	ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
m	kg	設計飛来物の質量
N_x	—	ネット展開方向目合い数
N_y	—	ネット展開直角方向目合い数
P_i	kN	設計飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
v	m/s	設計飛来物の移動速度
W_w	kN	風圧力によりネットに作用する荷重
X_i	m	i 列目のネットの伸び

表 3-1 吸収エネルギー評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ_a	m	自重及び風圧力における荷重によるたわみ量
δ_i	m	i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
θ_i	deg	i 番目の列におけるネットたわみ角
θ_{max}	deg	ネットの最大たわみ角
ϕ	—	ネットの充実率
ρ	kg/m ³	空気密度

b. 破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2 破断評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a_w	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
A_b	mm ²	ボルト呼び径断面積
C_c	—	ワイヤグリップの効率
E_t	kJ	ネット設置枚数nを考慮したネットに作用する全外力エネルギー
F_1	kN	設計飛来物衝突時のネットの許容荷重 (ネット1目合いの破断荷重)
F_2	kN	設計飛来物衝突時にネット目合い1箇所が受ける衝撃荷重の最大値
F_3	kN	ワイヤロープ破断荷重 (JIS規格値)
F_a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
F_p	kN	ワイヤロープにより接続用の治具 (支持部) に作用する荷重
F_{p1}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_{p2}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_x	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するX方向の合成荷重
F_y	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するY方向の合成荷重

表 3-2 破断評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L	mm	面取り長さ
L_{Pw}	mm	取付けプレート溶接部の有効長さ
L_{P1}	mm	アイプレート長さ (縦方向)
L_{P2}	mm	アイプレート長さ (横方向)
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
n	枚	ネット設置枚数
n_1	個	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの目合いの個数
n_2	本	隅角部固定ボルト本数
S_w	mm	アイプレート溶接部の溶接脚長
T'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりn枚のネットに発生する張力の合計の最大値
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T_x	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_x'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_y	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
T_y'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
σ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	アイプレート溶接部に発生するせん断応力

c. たわみ評価

たわみ評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3 たわみ評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
E_i	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
E_t	kJ	ネット設置枚数nを考慮したネットに作用する全外力エネルギー
F_a	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_P	kN	設計飛来物がネットに衝突する際2方向のワイヤーから支持部へ作用する合成荷重
K_x	kN/m	ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L_b	m	変形前のワイヤロープ長さ
L_{min}	m	防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y'	m	ワイヤロープへの飛来物の影響範囲
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
L_z	m	ワイヤロープの全長
n	枚	ネット設置枚数
N_y	個	ネット展開直角方向目合い数
S	m	変形後のワイヤロープ長さ
S_x	m	ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S_y	m	ネット展開直角方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
δ	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ_i	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
δ'	m	設計飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量
δ_t	m	ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
δ_{wy}	m	ネット展開直角方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量

表 3-3 たわみ評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
ε	—	ワイヤロープのひずみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットのたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットのたわみ角

3.2 評価対象部位

(1) 防護ネット

a. ネット

ネットの評価対象部位は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、ネットに直接作用する。このため、設計荷重に対する評価対象部位は、ネットとする。評価対象部位について図 3-1 に示す。

b. ワイヤロープ

ワイヤロープの評価対象部位は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、ネットに作用し、ワイヤロープに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

c. 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）の評価対象部位は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、ネットに作用し、ワイヤロープを介して接続治具（支持部）に作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、接続治具（支持部）であるターンバックル及びシヤックルとする。

d. 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）の評価対象部位は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 防護ネットの許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、ネットに作用し、ワイヤロープ、接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト、アイプレートに作用する。

アイプレートは、プレート本体、プレートと鋼製枠の溶接部、プレートとリブの溶接部

及びリブと鋼製枠の溶接部と評価部位があるが、評価上溶接線が最も短いリブと鋼製枠の溶接部を評価対象部位とする。

隅角部固定ボルトの評価対象部位を図 3-2 に、アイプレート（溶接部）の評価対象部位を図 3-3 に示す。

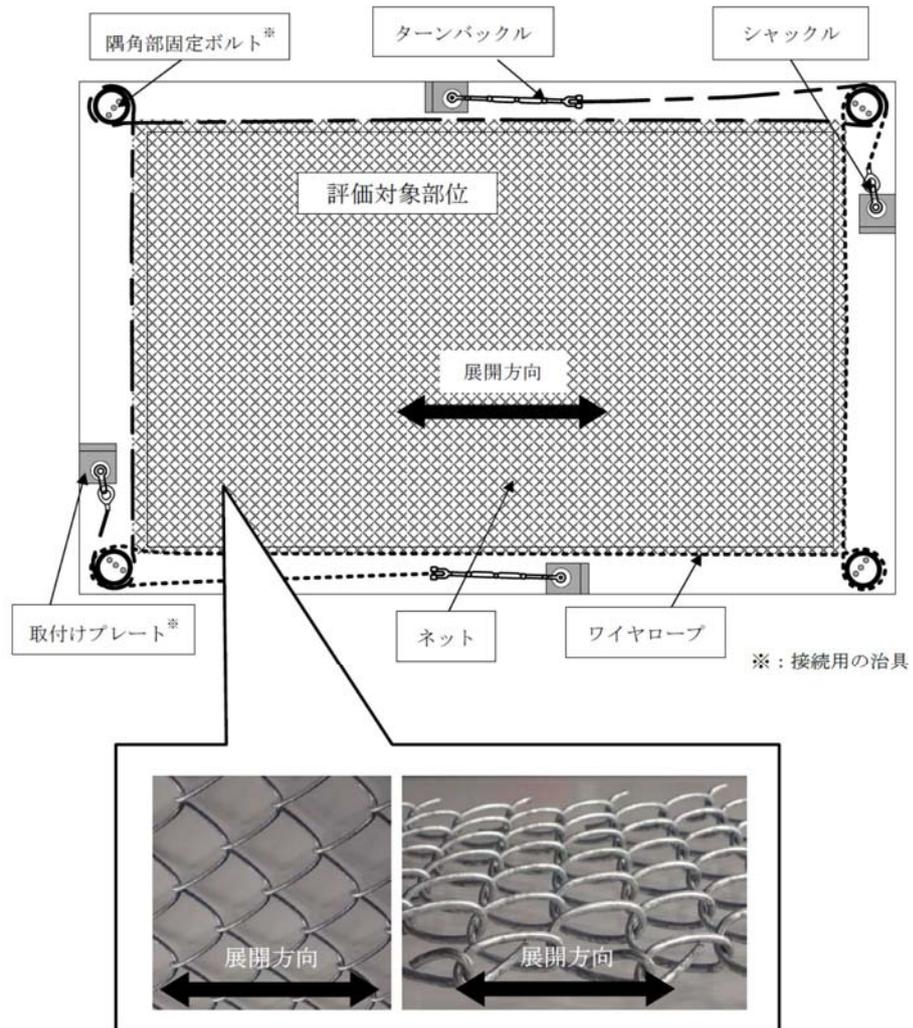


図 3-1 ネットの評価対象部位

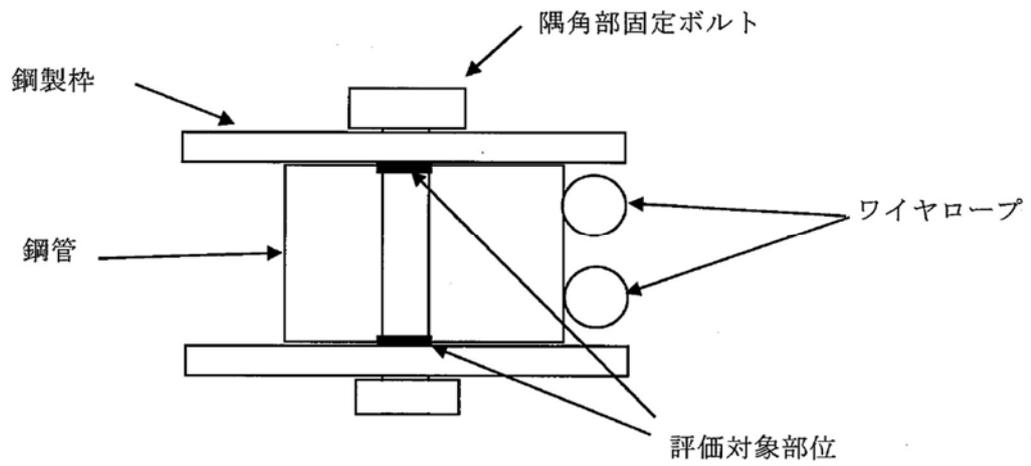


図 3-2 隅角部固定ボルトの評価対象部位

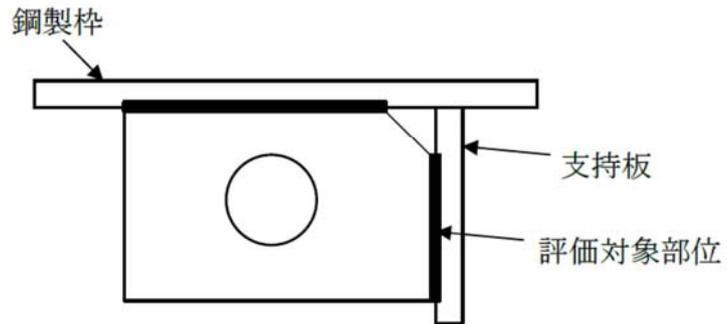


図 3-3 ワイヤロープの取付けプレート(溶接部)の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の種類を踏まえ設定する。

(1) 荷重の設定

a. 常時作用する荷重

自重を考慮する。なお、これらの荷重はネットの設置方向を考慮する。自重は鉛直下向きに発生するため、水平方向に設置した防護ネットに対し、考慮することとする。鉛直方向設置ネットについては、自重と飛来物の衝突荷重は作用する方向が異なることから考慮しない。

また、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の自重については、ネットから作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の評価時は、上載荷重としてネットの自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を考慮する。なお、防護ネットは閉じた空間にないため、気圧差による荷重は考慮しない。飛来物による衝撃荷重としては、衝撃荷重が大きくなる向きで飛来物がネットに衝突することを想定する。

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を、表 3-4 に示す。

表 3-4 設計竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	15	85	8900

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w は、次式により算定する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_a \cdot \phi}{1000}$$

設計用速度圧 q は、次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \rho V_D^2$$

(b) 飛来物による衝撃荷重

破断評価においては、飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算出する。

ネットの飛来物による衝撃荷重 F_a'' は時間とともに比例的に増加すると仮定すると、衝撃荷重 F_a'' は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \quad \dots \textcircled{1}$$

したがって、速度 v は式①の衝撃荷重 F_a'' から、以下のとおり算出される

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2m} + V_1 \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

さらに、設計飛来物の移動距離 d は、式②の速度 V から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6m} + V_1 t \quad \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間 t_1 におけるネットの変位は δ 、設計飛来物の速度は0であるから、式②及び③より、

$$\begin{aligned} Q \cdot t_1^2 &= 2m \cdot V_1 \\ \delta &= -\frac{Q \cdot t_1^3}{6m} + V_1 t_1 \quad \dots \textcircled{4} \end{aligned}$$

上記2式を連立し、

$$\delta = -\frac{2}{3} V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3}{2V_1} \delta \quad \dots \textcircled{5}$$

以上より、時間 t_1 における衝撃荷重 F_a は式①及び④より、

$$F_a = \frac{2m V_1}{t_1}$$

さらに、式⑤と連立し、

$$F_a = \frac{4m V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \dots \textcircled{6}$$

また、時間 t_1 における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m V_1^2 \quad \dots \textcircled{7}$$

従って、式⑥及び⑦より、

$$F_a = \frac{8 E_f}{3 \cdot \delta} \quad \dots \textcircled{8}$$

(2) 荷重の組合せ

a. ネット

(a) ネット

ネット目合い寸法 40 mm のネットを 2 枚設置するため、鋼製パイプはすり抜けることはないが、鋼製パイプよりも小さい飛来物のすり抜け低減対策として、念のためにネット 2 枚の上部にさらにネット目合い寸法 40 mm のネット 1 枚を補助金網として設置していることから、これを上載荷重とし、ネットに作用する荷重として、上載荷重、ネットの自重、飛来物がネットに衝突する場合の衝撃荷重及び風圧力による荷重を組み合わせた荷重を設定する。

(b) ワイヤロープ及び接続治具（支持部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にワイヤロープ等に作用する荷重は、ネットからワイヤロープに伝達し、その荷重を接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）に伝達することから、ネットに作用する荷重を評価対象部位であるワイヤロープ及び接続治具（支持部）に作用する荷重として設定する。

ワイヤロープ及び接続治具（支持部）に作用する自重及び風圧力による荷重については、ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

(c) 接続治具（固定部）

設計飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への荷重は、ネットからワイヤロープ、接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）に作用することから、ワイヤロープからの荷重を評価対象部位である隅角部固定ボルト、アイプレートに作用する荷重として設定する。

接続治具（固定部）に作用する自重及び風圧力による荷重については、ネットに作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価における、ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に作用する荷重及びその組合せを表 3-5 から表 3-7 に示す。

表 3-5 吸収エネルギー評価における荷重及びその組合せ

ネット		考慮する荷重		
		常時作用する荷重	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上，原子炉棟外壁及び付属棟屋上） 海水ポンプ室周り 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁 	水平	○ (自重+上載荷重)	○	—
	側面	—	○	○

<凡例> ○：考慮する，—：考慮しない

表 3-6 破断評価における荷重及びその組合せ(2/2)

設置エリア		評価対象部位	考慮する荷重		
			常時作用する荷重	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上，原子炉棟外壁及び付属棟屋上） 海水ポンプ室周り 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁 	水平	ネット	○ (自重+上載荷重)	○	—
		ワイヤロープ	○ (自重+上載荷重)	○	—
	側面	ネット	—	○	○
		ワイヤロープ	—	○	○

<凡例> ○：考慮する，—：考慮しない

3.4 許容限界

ネットの許容限界は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

(1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用する外力エネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット 1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギー E_{max} となる。 E_{max} に係数を考慮した値を吸収エネルギー評価の許容限界とする。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

最大吸収エネルギーは、ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性、展開方向寸及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を図 3-4 に示す。

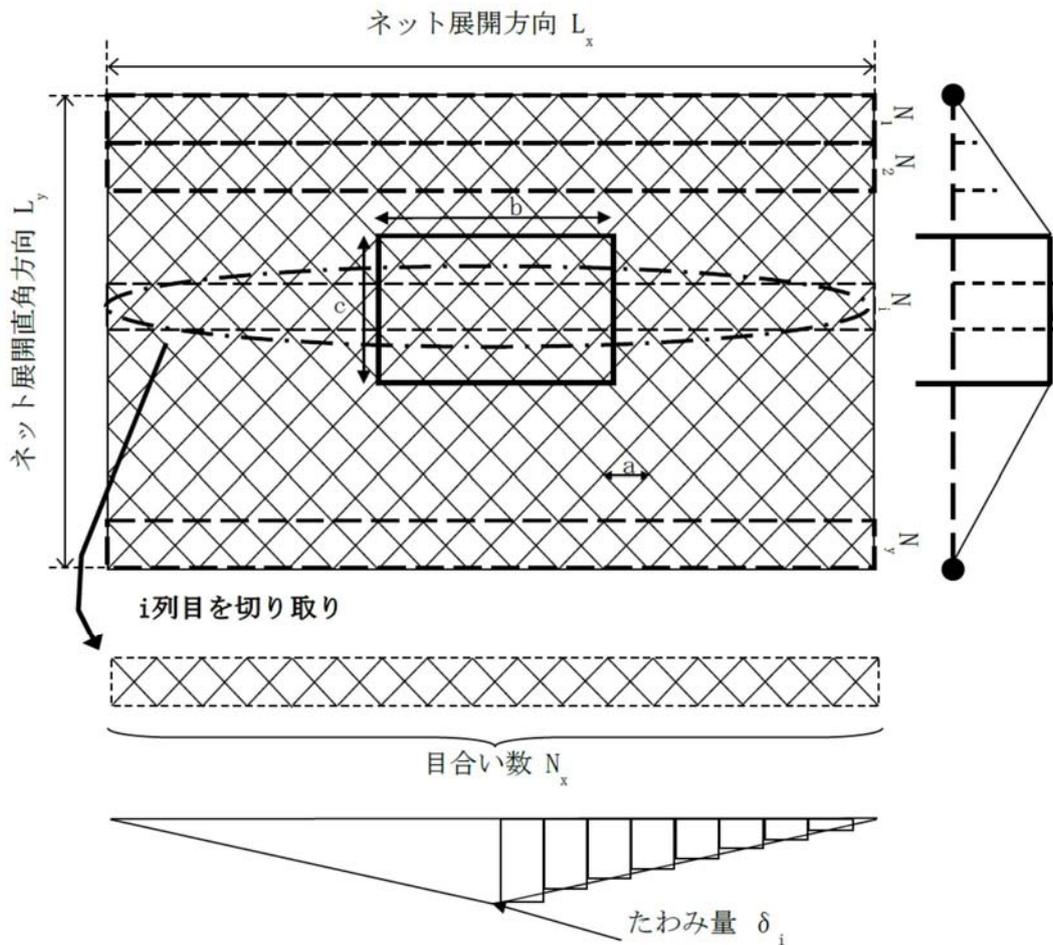


図 3-4 限界吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

図 3-4 に示すとおりネットの展開方向に 1 目合いごとに \square で囲った形に帯状に分割し、 N_1 から N_y までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法 ($b \times c$) 及びネット目合いの対角寸法 a を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法 c を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギーが小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = c / a$$

評価モデルとしては、展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギーが小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを図 3-5 に示す。

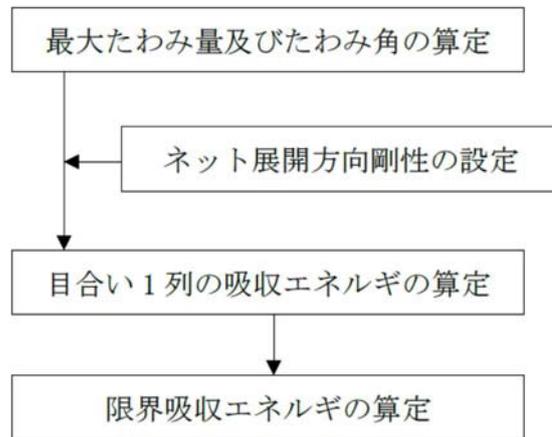
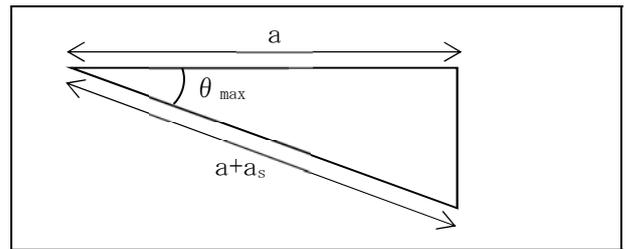


図 3-5 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

電中研報告書のネット 1 目合いの引張試験から 1 目合いの破断変位を設定する。ネット 1 目合いの破断変位から算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量 δ_{max} は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left(\frac{a}{a + a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数 N_x は、ネット展開方向寸法 L_x 及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。展開直角方向の目合い数 N_y は、ネット展開直角方向寸法 L_y 及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。ネットを構成する 1 目合いはそれぞれ K の等価剛性を持っているため、1 列当たりバネ定数 K を持つバネを N_x 個直列に接続したものと考えることができる。そのため、1 列当たりの剛性 K'_x は

$$N_x = \frac{1000 L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000 L_y}{a}$$

ネット展開方向剛性

$$K'_x = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 N_x 、 N_y の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように N_x は保守的に切り上げ、 N_y は保守的に切り捨てた値を用いる。なお、電中研報告書によると補助金網は主金網 0.5 枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網は 0.5 枚として考慮し、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性 K_x は、次式により算出される。

$$K_x = K'_x (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量 δ_i は、最大たわみ量 δ_{max} からネット端部のたわみ量 0 までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を図 3-6 に示す

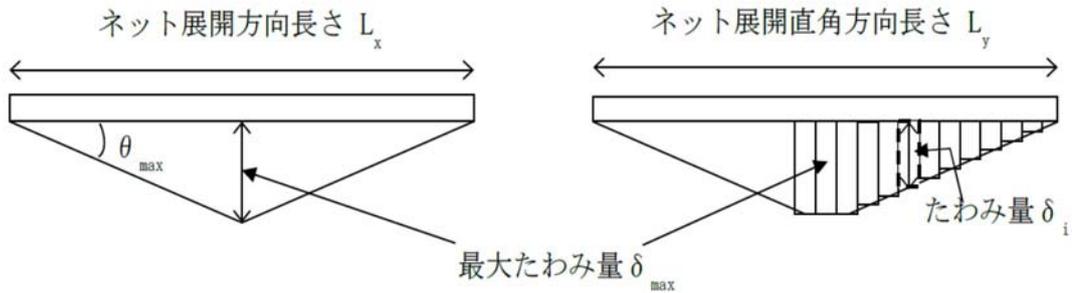


図 3-6 最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を、ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図 3-7 に示す。

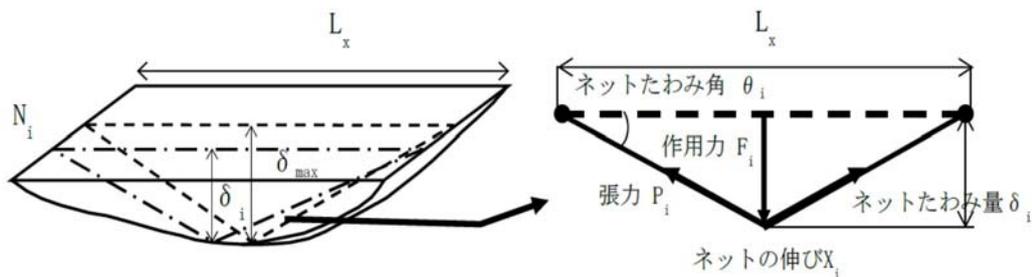


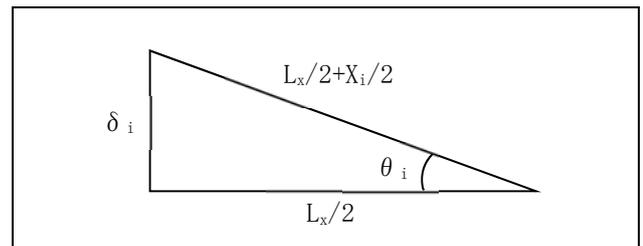
図 3-7 ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力 P_i は、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は $X_i/2$ 、剛性は $2K_x$ となることから、

$$P_i = 2K_x \left(\frac{X_i}{2} \right) = K_x X_i$$

となる。また、作用力 F_i は変位量とたわみ量の関係から、

$$\begin{aligned} F_i &= 2P_i \sin \theta_i \\ &= 2K_x X_i \sin \theta_i \\ &= 2K_x L_x (\tan \theta_i - \sin \theta_i) \\ &= 4K_x \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \textcircled{9} \end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 F_i を積分することにより i 番目の列における吸収エネルギー E_i を次式に示す。

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\
 &= \int_0^{\delta_i} 4K_x \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\
 &= 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \dots \textcircled{10}
 \end{aligned}$$

以上から、ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー E_{max} は、各列の吸収エネルギー E_i を第 1 列から第 N_y 列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
 E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
 &= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \dots \textcircled{11}
 \end{aligned}$$

(2) 破断評価

a. ネット

破断評価においては、計算により算出するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。防護ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、ネット目合いの破断試験結果を安全側に整理したものを許容限界とする。具体的には、ネット目合いに作用する引張荷重を算出するため、電中研報告書を参照してネット目合いの引張試験に基づいた 1 交点当たりの破断荷重、飛来物衝突時の周辺の交点数及び防護ネットの設置枚数から、防護ネットの許容引張荷重を算出する。

表 3-7 にネットの破断評価の許容限界を示す。

表 3-7 ネットの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ネット	F_1

b. ワイヤロープ

ワイヤロープは、ネットと一体となって飛来物を捕捉するため、ネットと同様に塑性変形を許容することから、破断荷重を許容限界とする。具体的な破断荷重は、ネットメーカーが実施した引張試験にて確認した破断荷重よりも保守的な値である J I S に規定されている破断荷重を許容限界とする。ワイヤロープについては、その端部にワイヤグリップを設置しており、その効率 C_c に基づき、許容限界を表 3-8 のように設定する。

表 3-8 ワイヤロープの破断評価の許容限界

評価対象部位	規格値	許容限界	備考
ワイヤロープ	F_3	$C_c \cdot F_3$	ワイヤグリップの効率を考慮

c. 接続治具（支持部）

ターンバックル及びシャックルは、破断しなければネットを設置位置に保持することができ、飛来物を捕捉可能である。したがって、ワイヤロープの張力に対し、設計荷重が十分な裕度を有していることを確認する。ターンバックルについては、破断荷重よりも保守的な値である、規格値を 1.5 倍した値を許容限界として表 3-9 のように設定する。シャックルについては、試験結果を踏まえたメーカー保証値として、規格値を 2 倍した値を許容限界として設定する。

表 3-9 ターンバックル及びシャックルに適用する許容限界

評価対象部位	規格値	許容限界
ターンバックル	86.8 kN	130.2 kN
シャックル	78.4 kN	156.8 kN

d. 接続治具（固定部）

隅角部固定ボルトの破断評価においては、計算により算出する応力が隅角部固定ボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、隅角部固定ボルトの許容限界は、J E A G 4601 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態 IV_s から算出した許容応力を許容限界とする。

隅角部固定ボルトに適用する許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 隅角部固定ボルトに適用する許容限界

評価対象部位	材質	温度 (°C)	考慮すべき 損傷モード	許容応力 (MPa)
隅角部固定ボルト	SCM435	40 (注1)	せん断	1.5 f_s^* (注2)
アイプレート溶接部	SM490A (注3)			

(注1) 各評価対象部位の最高使用温度を示す。

(注2) f_s^* : 許容せん断応力

J S M E S S B - 3 1 2 0 又は S S B - 3 1 3 0 に規定される値

(注3) 母材であるアイプレートの材質

(3) たわみ評価

防護ネットは、自重、設計飛来物による衝撃荷重及び設計竜巻の風圧力による荷重に対し、計算により算出する防護ネットの最大たわみ量がネットと外部事象防護対象施設の離隔距離未満であることを確認するため、ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離を許容限界 L_{min} として設定する。

表 3-11 に防護ネットのたわみ評価の許容限界を示す。

表 3-11 防護ネットのたわみ評価の許容限界

評価対象項目	許容限界
防護ネットの最大たわみ量	ネットと外部事象防護対象施設の最少隔離距離 (L_{min})

3.5 評価方法

防護ネットの吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。評価に際しては、アスペクト比及び飛来物の衝突位置の影響に対して以下を考慮した評価を実施する。

・アスペクト比の取扱い

ネットは展開方向、展開直角方向の2方向で剛性が異なり、それぞれの方向に対して伸び量の制限があるため、展開方向：展開直角方向のアスペクト比が1:1～2:1の範囲で使用し、その範囲を外れる部分はエネルギー吸収等において有効な面積とならないとして評価する。アスペクト比が1:1より小さな場合（展開方向寸法が展開直角方向寸法より短い場合）は、アスペクト比を1:1として評価する。エネルギー吸収できる量が小さく、破断荷重が大きく算出されるように設定する。アスペクト比が2:1より大きな場合（展開方向寸法が展開直角方向寸法の2倍より長い場合）は、ネット評価寸法のアスペクト比を2:1とするが、吸収エネルギー評価及びたわみ評価においては、エネルギー吸収できる量が小さく、たわみ量が大きくなるように、展開方向の1列の等価剛性は本来のネット形状の展開方向寸法に対応する値を用いて評価する。一方、破断評価においては、破断荷重が大きくなるように、展開方向寸法を短く見込んで等価剛性を設定し評価する。

アスペクト比が 1:1 より小さな場合の評価方法を表 3-12、アスペクト比が 2:1 より大きな場合の評価方法を表 3-13 に示す。

表 3-12 アスペクト比が 1:1 より小さな場合の評価方法

評価項目	吸収エネルギー	破断	たわみ
評価区画イメージ			

表 3-13 アスペクト比が 2:1 より大きな場合の評価方法

評価項目	吸収エネルギー	破断	たわみ
評価区画イメージ	<p>限界吸収エネルギー量が小さくなるようにアスペクト比を設定</p>	<p>作用する荷重が大きくなるようにアスペクト比を設定</p>	<p>たわみ量が大きくなるようにアスペクト比を設定</p>

・飛来物の衝突位置の影響

評価においては、飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した評価を実施しており、中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギー評価においては、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。従って、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては、中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では、その移動距離が短くなることから、式⑧から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ、作用する荷重が大きくなるように、中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗じる。ただし、ネット端部近傍に衝突する場合には、飛来物は傾き、飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ、衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては、ネットの全長が飛来物の衝突位置によらず、ネット最大たわみ

時展開方向の長さで一定となるため、たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに、ネットに対して飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

(1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電中研評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算出のモデル化を行い、自重、上載荷重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重による外力エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギーを下回ることを確認する。

評価においては、複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式⑩より、 E_{max} は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

自重、上載荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重 F_w は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用する外力エネルギーが保守的に大きくなるよう、 F_w が全てネット展開方向 L_x の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて展開方向の1列当たりの自重、上載荷重及び風圧力による荷重によりネットが受ける外力エネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重、上載荷重及び風圧力による荷重により受ける外力エネルギーを算出する。

評価条件である K_x 及び L_x 並びに自重、上載荷重及び風圧力による荷重から算出する F_w を式⑨に代入して数値計算を実施することにより、自重、上載荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量 δ_a が算出される。

$$F_w = N_y \times 4K_x \delta_a \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

但し、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算出した δ_a を式⑩において、展開方向の1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w が算出される。

$$E_w = N_y \times \left\{ 2K_x \delta_a^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m V^2$$

飛来物の飛来速度は、鉛直の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる鉛直最大飛来速度を下回る。また、飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は、飛来物が衝突後に回転し、ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし、その飛来速度は鉛直最大飛来速度を用いる。

以上から、ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全外力エネルギー E_t が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \cdots \textcircled{12}$$

(2) 破断評価

破断評価においては、電中研の評価式を参照して、ネットに作用する飛来物による衝撃荷重が防護ネットを構成する部材の局部的な耐力未満であることを確認する。

評価に際しては、「2.3 評価の方針」のとおり、設計飛来物の衝突位置の影響として、オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下にオフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

・オフセット衝突を考慮する係数

設計飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると、中央衝突と比較して δ が0.82倍となることから、中央衝突に比べ衝撃荷重が1.22倍となる。

ネット端部近傍に衝突する場合には、飛来物は傾き、飛来物の側面がネットや架構に接触すると考えられ、衝撃荷重は小さくなる。

また、アスペクト比についての扱いは吸収エネルギー評価同様に表 3-12, 表 3-13 のとおりとする。

a. ネット

ネットに飛来物が衝突した後、ネットのたわみが増加し、飛来物の運動エネルギーを吸収する。ネットに発生する飛来物による衝撃荷重はネット変位の増加に伴い大きくなり、最大変位発生時に最大値を示すため、破断評価では最大変位発生時の衝撃荷重を用いる。

最大変位発生時において、飛来物の衝突によりネットの目合いはネット展開方向に引張荷重を受けることから、破断評価としてネット目合いの引張荷重評価を実施する。

ネットの破断評価の評価フローを図 3-8 に示す。

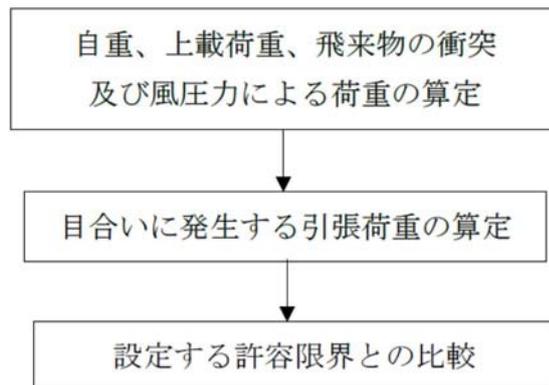


図 3-8 ネットの破断評価フロー

(a) 評価モデル

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃について評価を実施する。ネット構造及び飛来物の大きさを考慮し、ネットの目合い数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の目合い数はネット 1 枚あたり n_1 点となる。評価モデルを図 3-9 に示す。

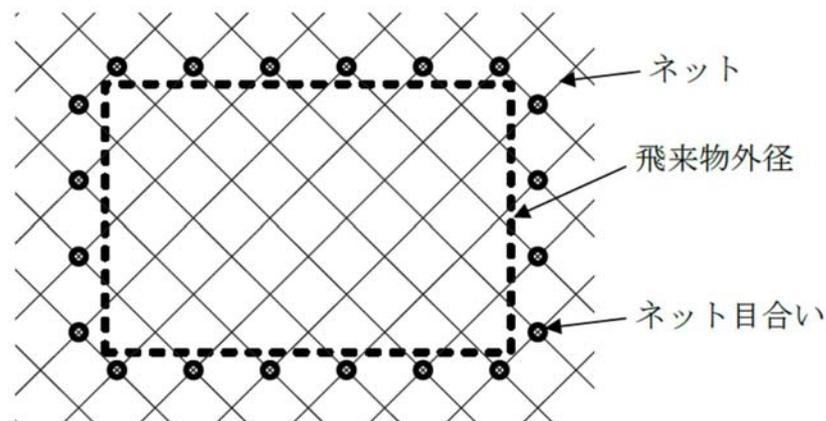


図 3-9 破断評価モデル

(b) 評価方法

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重が、ネットの破断荷重以下であり、ネット目合いに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで、ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 F_a は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式⑧のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重、上乗荷重及び風圧力による荷重を考慮するため、 E_f を E_t と置き換えて、式⑧より、

$$F_a = \frac{8E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.22 を考慮し、衝撃

荷重の最大値 F_a' は

$$F_a' = F_a \times 1.22$$

と算出される。

b. ワイヤロープ

設計飛来物による衝撃荷重については、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」において算出した飛来物が衝突する場合のネットごとに作用する衝撃荷重の最大値 F_a を考慮する。

防護ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが接続用の治具により拘束されない構造としており、電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を図3-10に示す。

自重、上載荷重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値 F_a が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合のネットに発生する張力の合計の最大値 T' は、図3-10のネット及びワイヤロープに発生する力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \sin \theta}$$

但し、 θ は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\delta}{L_x}$$

補助金網を除くネット設置枚数を考慮すると、1枚のネットのワイヤロープ1本に発生する張力の最大値 T_1' は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4n \sin \theta}$$

と算出される。

さらに、ワイヤロープが支持する防護ネットの枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置されており、2枚のネットを支持しているため、下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため、補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると、補助金網を設置している上段のワイヤロープには、補助金網を設置していないワイヤロープに比べ、1.5倍の張力が発生していることが確認されている。このことから、上段のワイヤロープは、下段のワイヤロープに比べ、補助金網の影響により1.5倍の張力が発生しているものとし、その影響を考慮する。

補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力の最大値 T_1' は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \left(\frac{1.5}{1.5+1} \right) = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \left(\frac{1.5}{1.5+1} \right)$$

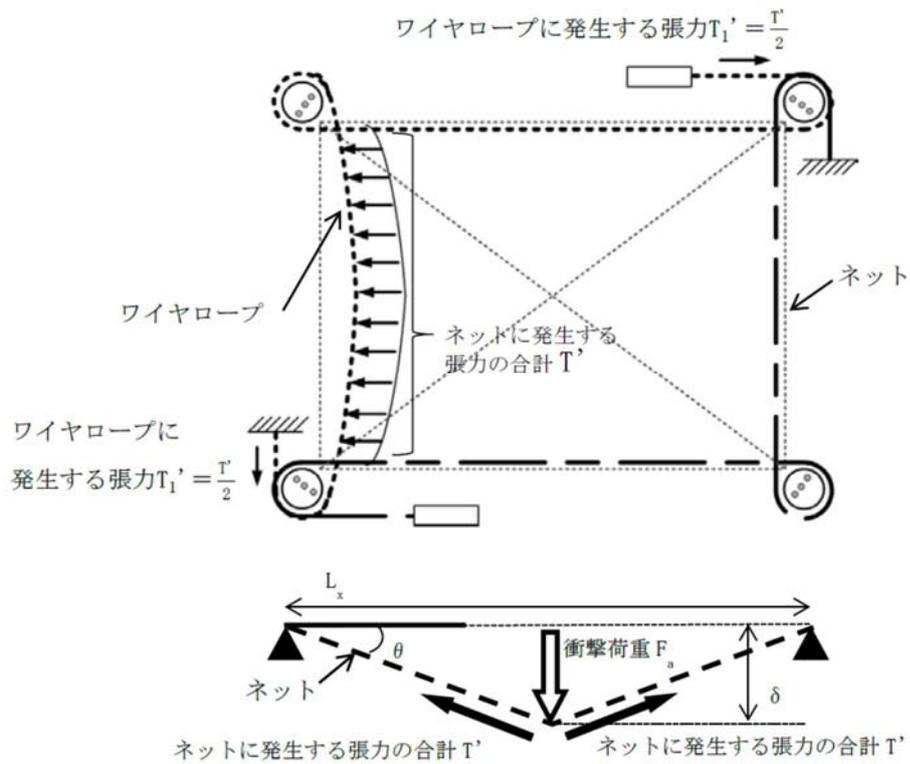


図 3-10 ネット及びワイヤロープに発生する力のつり合い(ネット平面図及び断面図)

c. 接続治具（支持部）

(a) ターンバックル

ターンバックルの評価については、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの設計荷重以下であることを確認する。

(b) シャックル

シャックルの評価については、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの設計荷重以下であることを確認する。

d. 接続治具（固定部）

(a) 隅角部固定ボルト

鋼製枠の 4 隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を、鋼管を介して受けることとなる。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して θ_{w1} 、 θ_{w2} のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

鉛直方向成分は、水平方向成分のように隅角部固定ボルトに対する有意な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 3-11 に示す。

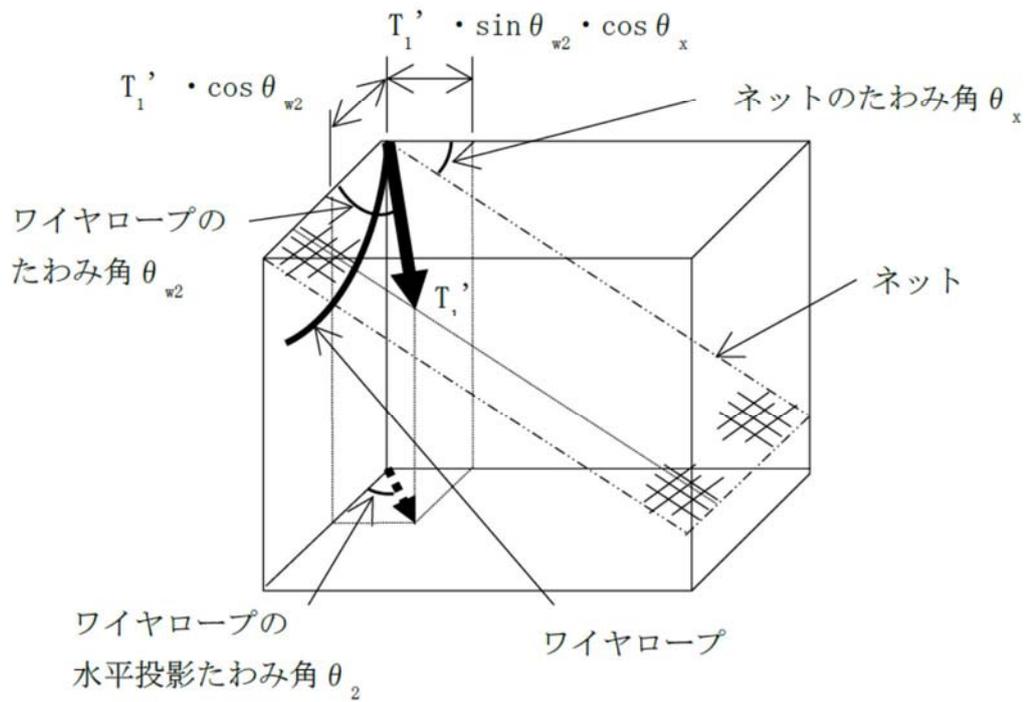
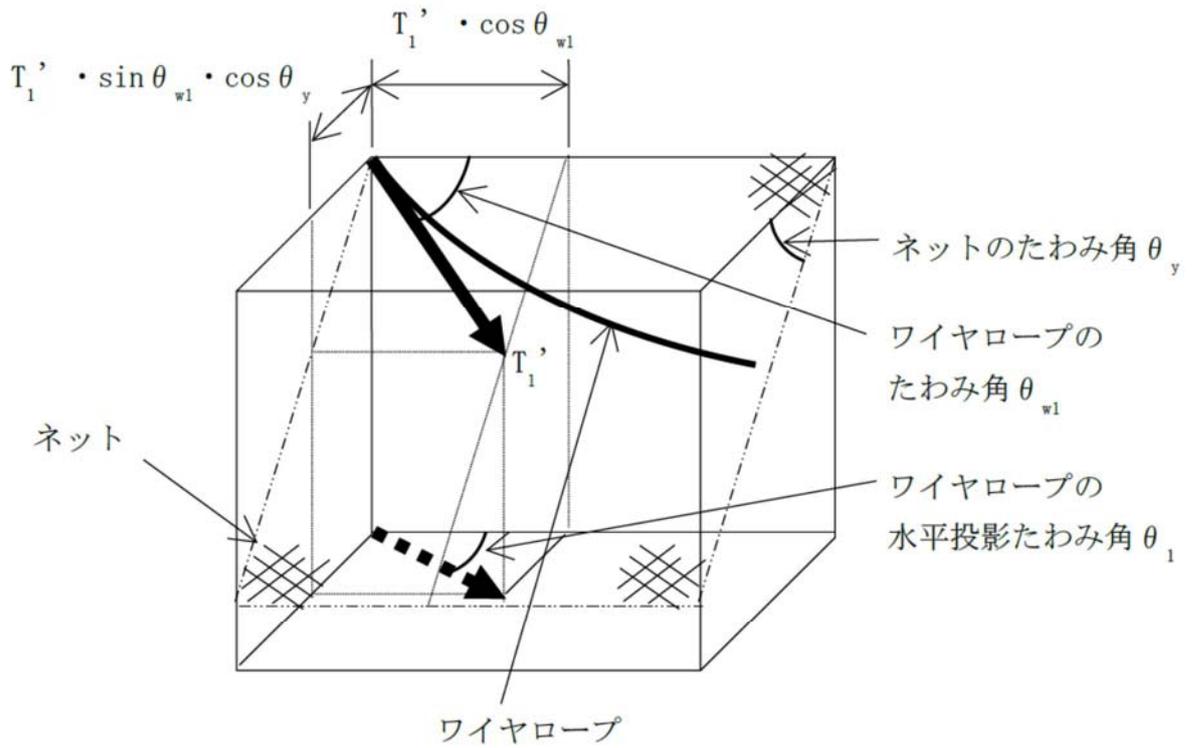


図 3-11 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-12 に示す。

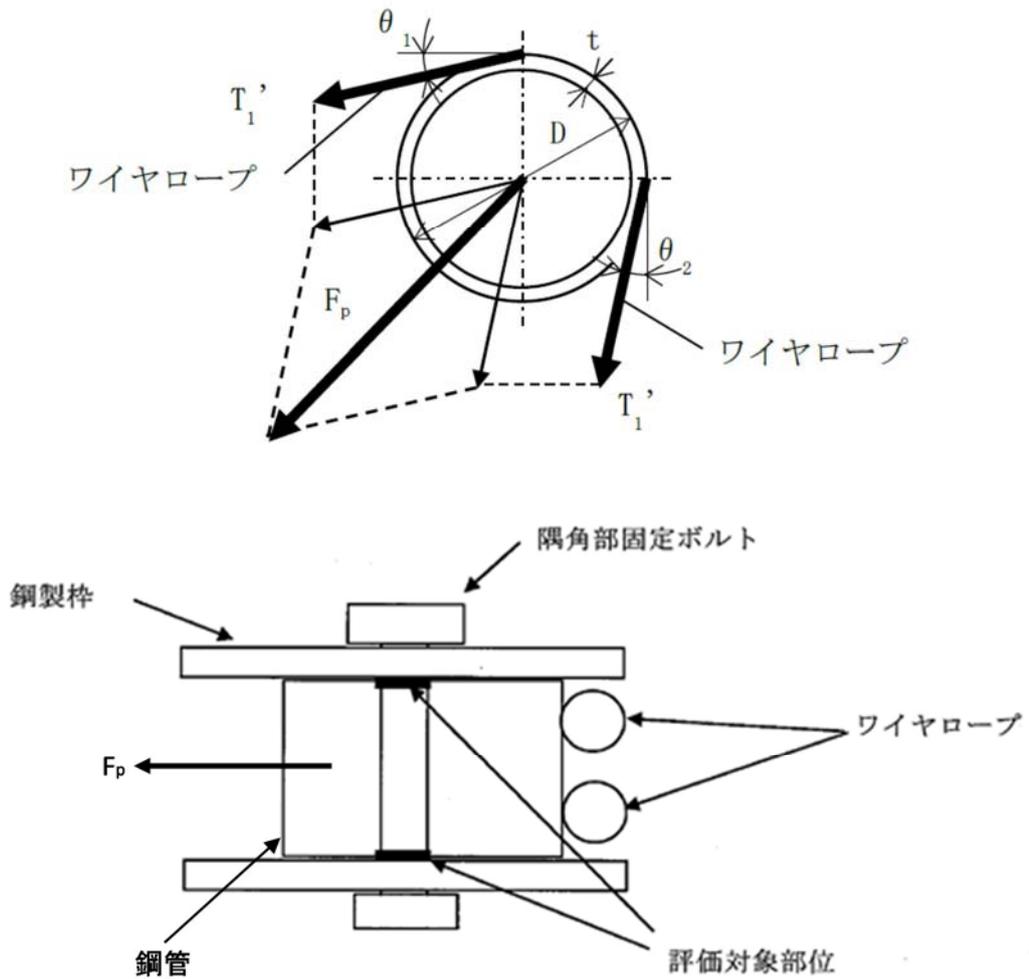


図 3-12 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力の釣合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 T_x 及び T_y は、以下のとおりとなる

$$T_x = T_1' \cos \theta_{w1}$$

$$T_y = T_1' \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし、 θ_y 、 θ_{w1} は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left(\frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}}$$

また、ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 T_x' 及び T_y' は以下の関係となる。

$$T_x' = T_1' \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$T_y' = T_1' \cos \theta_{w2}$$

ただし、 θ_x 、 θ_{w2} は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left(\frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅各部へ作用するX方向及びY方向への合成荷重は

$$F_x = T_x + T_x'$$

$$F_y = T_y + T_y'$$

より求まる。

1本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

2本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p2} = F_{p1}/1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_p は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力 τ_s は、

$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot 3 \cdot A_b}$$

e. アイプレート

飛来物が防護ネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重 T_1' は、ワイヤロープの引張荷重として作用し、隅肉溶接部にはせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。アイプレートの溶接部を図 3-13 に示す。

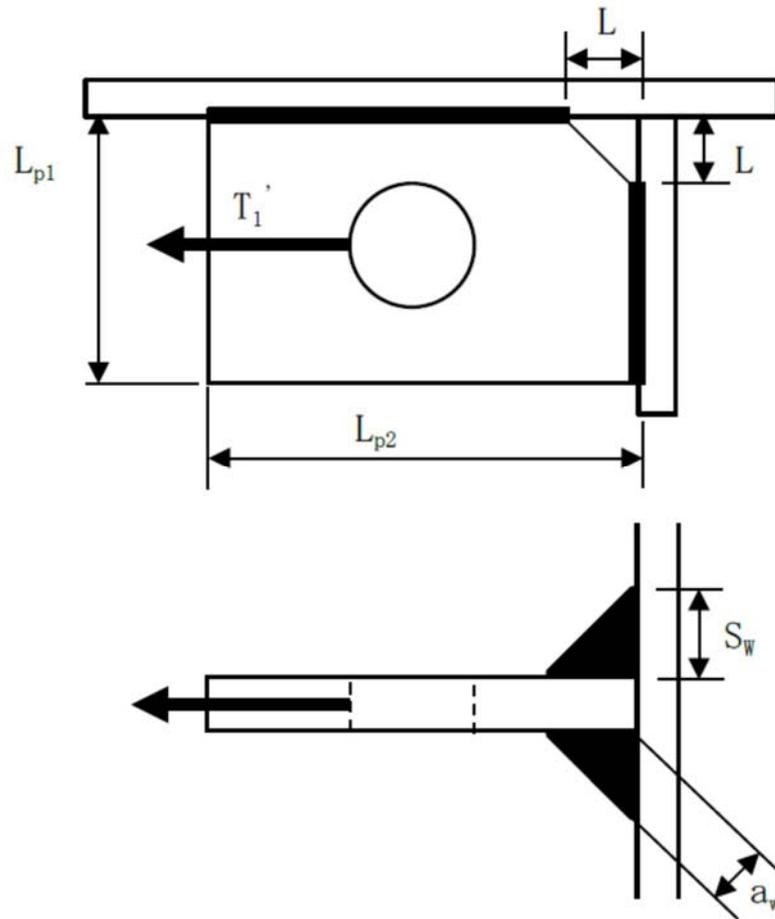


図 3-13 アイプレート溶接部

溶接部の有効脚長 L_{pw} は、

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2S_w + L_{ps} - L - 2S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 τ_w は、

$$\tau_w = \frac{T_1'}{2 a_w L_{pw}}$$

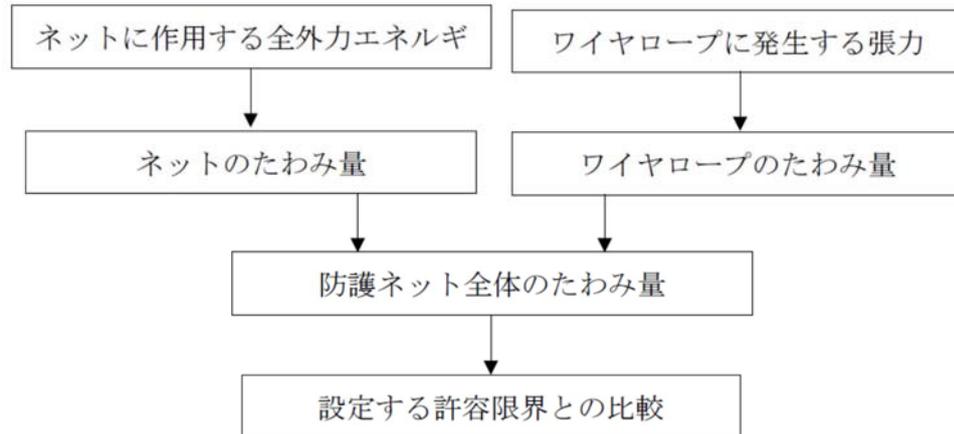
ここで溶接部ののど厚 a_w は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

(3) たわみ評価

たわみ評価においては、吸収エネルギー算出モデルを用い、飛来物の運動エネルギー、風圧力による荷重、自重及び上載荷重によるエネルギーを吸収するために必要となるネットのたわみ量を導出する。また、ワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量についても算出し、離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価の評価フローを図 3-14 に示す。



第 3-14 図 たわみ評価の評価フロー

a. ネット

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は式⑩のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2K_x \delta_i^2 - K_x L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \dots \text{⑩}$$

ここで、 K_x 及び L_x は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 δ を算出することができる。

b. ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

式⑩に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 ε が算出される。したがって、ワイヤロープの変形による伸び量 δ' は、以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

また、設計飛来物の衝突によりワイヤロープが図 3-15 のとおり放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ S は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2} + \frac{L_b}{8 \delta_w} \ln \left(\frac{4 \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

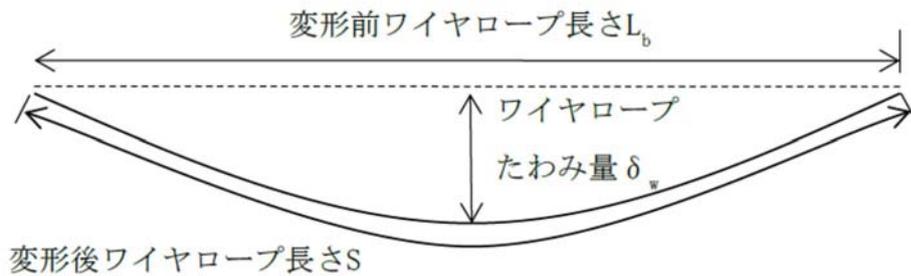


図 3-15 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量 δ_t の算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を図 3-16 に示す。

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_x 、ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_x 及び S_y はそれぞれ δ_{wx} 、 δ_{wy} の関数であり、ワイヤロープ伸び量 δ' は、

$$\delta' = \left\{ S_x(\delta_{wx}) - L_x \right\} + \left\{ S_y(\delta_{wy}) - L_y \right\}$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量 δ_t は、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cos \theta_x} \right)^2 - \left(\frac{L_x}{2} \right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cos \theta_y} \right)^2 - \left(\frac{L_y}{2} \right)^2}$$

と表される。

ここで、 θ_x 及び θ_y は、「3.5.3 (1) ネット」で算出したネットに作用する全外力エネルギー E_t に応じたたわみ量 δ より、以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right) \quad \theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

したがって、ワイヤロープたわみ量 δ_{wx} 及び δ_{wy} を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めた防護ネット全体のたわみ量 δ_t が算出される。

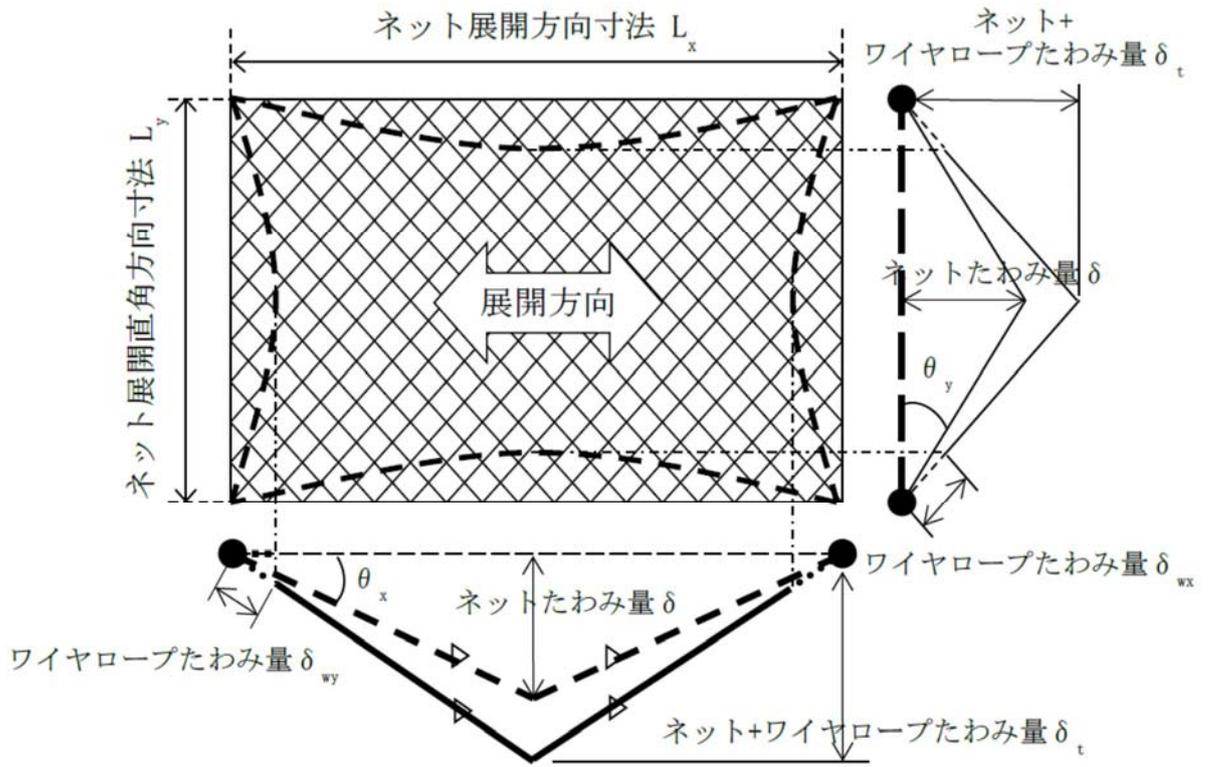


図 3-16 ネット及びワイヤロープ変形図

4. 評価条件

4.1 荷重条件

飛来物による衝撃荷重の算定条件を表 4-1 に、風圧力による荷重の算定条件を表 4-2 に示す。

表 4-1 飛来物による衝撃荷重の算定条件

飛来物	b × c (mm)	m (kg)	V ₁ (m/s)	
			水平方向	鉛直方向
鋼製材	300 × 200	135	51	34

表 4-2 風圧力による荷重の算定条件

C (-)	G (-)	ρ (kg/m ³)	V _D (m/s)
1.2	1.0	1.22	100

4.2 防護ネット仕様

(1) ネット仕様

ネット仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 ネット仕様

項目	記号	仕様	備考
ネット材料	-	硬鋼線材 (JIS G 3548)	—
ネット目合い寸法	-	40 mm	電中研レポート より
ネット1目合いの対角寸法	a	56.6 mm	
ネット1目合いの破断変位	a _s	13.9 mm	
ネット素線の直径	d'	4 mm	
ネット1目合いの破断荷重	F ₁	17.2 kN	
ネット1目合いの等価剛性	K	1239 kN/m	
衝突箇所周辺の ネット1枚当たりの目合い数	n ₁	20 個	
ネットの素線の引張強度	σ'	1400 MPa	
破断時たわみ角	θ _{max}	36.4 deg	
ネットの単位面積当たりの質量	m _N	5.7 kg/m ²	
ネットの充実率	φ	0.44(3枚 ^{※2})	計算値 ^{※1}

※1 φ = 1 - ((ネット目合い寸法)² / (ネット目合い寸法 + ネット素線径)²)ⁿ

※2 補助金網を含む

(2) 防護ネット構成

a. 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-4 に示す。

表 4-4 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L _x	×	L _y	
1	4.100	×	2.585	2 枚 (1 枚)
2	3.680	×	3.130	2 枚 (1 枚)
3	5.030	×	2.455	2 枚 (1 枚)
4	5.030	×	2.727	2 枚 (1 枚)
5	4.947	×	3.005	2 枚 (1 枚)
6	4.947	×	2.427	2 枚 (1 枚)

b. 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-5 に示す。

表 4-5 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L _x	×	L _y	
1	2.880	×	2.380	2 枚 (1 枚)
2	3.055	×	2.380	2 枚 (1 枚)
3	3.130	×	2.880	2 枚 (1 枚)
4	3.130	×	3.055	2 枚 (1 枚)
5	3.160	×	2.880	2 枚 (1 枚)
6	3.160	×	3.055	2 枚 (1 枚)
7	5.230	×	2.880	2 枚 (1 枚)
8	5.230	×	3.055	2 枚 (1 枚)

() 内は補助金網

c. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-6 に示す。

表 4-6 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L _x	×	L _y	
1	3.87	×	3.02	2 枚 (1 枚)
2	3.87	×	3.07	2 枚 (1 枚)
3	3.49	×	3.02	2 枚 (1 枚)
4	3.49	×	3.07	2 枚 (1 枚)
5	3.57	×	3.02	2 枚 (1 枚)
6	3.57	×	3.07	2 枚 (1 枚)
7	4.78	×	3.46	2 枚 (1 枚)
8	4.78	×	3.57	2 枚 (1 枚)
9	3.32	×	3.13	2 枚 (1 枚)
10	3.52	×	3.13	2 枚 (1 枚)

() 内は補助金網

d. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-7 に示す。

表 4-7 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L _x	×	L _y	
1	3.665	×	2.850	2 枚 (1 枚)

() 内は補助金網

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の防護ネットの構成を表 4-8 に示す。

表 4-8 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)			ネット枚数
	L _x	×	L _y	
1	3.430	×	2.673	2枚 (1枚)

() 内は補助金網

(3) ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックル
評価における条件を以下に示す。

a. ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を表 4-9 に示す。

表 4-9 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 (kN)	ワイヤグリップ効率
ワイヤロープ	7×7	φ16	165	0.8

(注1) J I S G 3549の破断強度

(注2) J I S B 2809及び(社) 日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

b. ターンバックル

ターンバックルの仕様を表 4-10 に示す。

表 4-10 ターンバックルの仕様

評価対象項目	規格値	許容限界
ターンバックル	86.8 kN	130 kN

c. シャックル

シャックルの仕様を表 4-11 に示す。

表 4-11 シャックルの仕様

評価対象項目	規格値	許容限界
シャックル	78.4 kN	156※ kN

※：試験結果に基づくメーカー保証値

d. 接続用の治具

評価における条件を以下に示す。

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を表 4-12 に示す。

表 4-12 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象項目	ボルト径	材質	ボルト本数
隅角部固定ボルト	M27	SCM435	3 本

(b) アイプレート

アイプレートの評価条件を表 4-13 に示す。

表 4-13 アイプレートの評価条件

評価対象項目	アイプレート 母材	プレート長さ		面取り長さ L (mm)	溶接脚長 S _w (mm)
		L _{p1} (mm)	L _{p2} (mm)		
取付けプレート	SM490A	90	100	30	7

5. 強度評価結果

5.1 ネットに作用する外力エネルギー評価

竜巻発生時のネットに作用する外力エネルギー評価結果を表 5-1 から表 5-5 に示す。

すべての防護ネットにおいて、作用する全エネルギー(E_t)は、防護ネットの限界吸収エネルギー(E_{max})を下回っている。

(1) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

表 5-1 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設の
外力エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	E_{max} (kJ)
1	80	242
2	80	249
3	80	277
4	80	306
5	190	325
6	187	263

(2) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-2 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の外力エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	E_{max} (kJ)
1	80	156
2	80	166
3	80	199
4	80	212
5	80	199
6	80	213
7	80	332
8	80	355

(3) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-3 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の外力エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	E_{max} (kJ)
1	80	254
2	80	263
3	80	227
4	80	235
5	80	234
6	80	242
7	80	357
8	80	367
9	80	223
10	80	239

(4) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-4 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の外力エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	E_{max} (kJ)
1	183	231

(5) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-5 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の外力エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	E_{max} (kJ)
1	182	200

5.2 破断評価

(1) ネット

竜巻による飛来物衝突時のネット目合いの破断評価結果を表 5-6 から表 5-10 に示す。

すべての防護ネットにおいて、飛来物による衝撃荷重(F_2)は、防護ネットの許容荷重(F_1)を下回っている。

a. 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

表 5-6 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設の破断評価結果

No.	F_2 (kN)	F_1 (kN)
1	231	1032
2	258	1032
3	196	1032
4	201	1032
5	410	1032
6	367	1032

b. 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-7 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の破断評価結果

No.	F_2 (kN)	F_1 (kN)
1	293	1032
2	280	1032
3	287	1032
4	293	1032
5	283	1032
6	290	1032
7	196	1032
8	201	1032

c. 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-8 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の破断評価結果

No.	F ₂ (kN)	F ₁ (kN)
1	248	1032
2	251	1032
3	266	1032
4	269	1032
5	263	1032
6	263	1032
7	219	1032
8	221	1032
9	277	1032
10	266	1032

d. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-9 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の破断評価結果

No.	F ₂ (kN)	F ₁ (kN)
1	469	1032

e. 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-10 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の破断評価結果

No.	F ₂ (kN)	F ₁ (kN)
1	478	1032

(2) ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックル

a. ワイヤロープ

竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-11 から表 5-15 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')は、ワイヤロープの許容荷重(P)を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

表 5-11 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設
のワイヤロープ強度評価結果

No.	T_1' (kN)	P (kN)
1	72	132
2	81	132
3	63	132
4	66	132
5	119	132
6	99	132

(b) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-12 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

No.	T_1' (kN)	P (kN)
1	84	132
2	81	132
3	86	132
4	89	132
5	85	132
6	88	132
7	65	132
8	68	132

(c) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-13 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1'}$ (kN)	P (kN)
1	78	132
2	80	132
3	82	132
4	84	132
5	82	132
6	82	132
7	74	132
8	75	132
9	85	132
10	83	132

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-14 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1'}$ (kN)	P (kN)
1	124	132

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-15 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設のワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1'}$ (kN)	P (kN)
1	123	132

b. ターンバックル

竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-16 から表 5-20 に示す。
発生荷重は、ターンバックルの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設

表 5-16 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設の
ターンバックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	72 (注1)	130
2	81 (注1)	130
3	63 (注1)	130
4	66 (注1)	130
5	119 (注1)	130
6	99 (注1)	130

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-11 表参照) の値を示す。

(b) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-17 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設のターンバックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	84 (注1)	130
2	81 (注1)	130
3	86 (注1)	130
4	89 (注1)	130
5	85 (注1)	130
6	88 (注1)	130
7	65 (注1)	130
8	68 (注1)	130

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-12 表参照) の値を示す。

(c) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-18 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のターンバックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	78 ^(注1)	130
2	80 ^(注1)	130
3	82 ^(注1)	130
4	84 ^(注1)	130
5	82 ^(注1)	130
6	82 ^(注1)	130
7	74 ^(注1)	130
8	75 ^(注1)	130
9	85 ^(注1)	130
10	83 ^(注1)	130

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-13 表参照) の値を示す。

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-19 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設のターンバックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	124 ^(注1)	130

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-14 表参照) の値を示す。

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-20 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設のターンバックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	123 ^(注1)	130

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-15 表参照) の値を示す。

c. シャックル

竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-21 から表 5-25 に示す。
発生荷重は、シャックルの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

表 5-21 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設の
シャックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	72 (注1)	156
2	81 (注1)	156
3	63 (注1)	156
4	66 (注1)	156
5	119 (注1)	156
6	99 (注1)	156

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-11 表参照) の値を示す。

(b) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-22 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設のシャックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	84 (注1)	156
2	81 (注1)	156
3	86 (注1)	156
4	89 (注1)	156
5	85 (注1)	156
6	88 (注1)	156
7	65 (注1)	156
8	68 (注1)	156

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-12 表参照) の値を示す。

(c) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-23 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のシャックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	78 ^(注1)	156
2	80 ^(注1)	156
3	82 ^(注1)	156
4	84 ^(注1)	156
5	82 ^(注1)	156
6	82 ^(注1)	156
7	74 ^(注1)	156
8	75 ^(注1)	156
9	85 ^(注1)	156
10	83 ^(注1)	156

(注1) ワイヤロープ張力が最大である T_1' (表 5-13 参照) の値を示す。

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-24 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設のシャックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	124 ^(注1)	156

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (第 5-14 表参照) の値を示す。

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-25 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設のシャックル強度評価結果

No.	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)
1	123 ^(注1)	156

(注1) ワイヤロープ張力である T_1' (表 5-15 参照) の値を示す。

(3) 接続用の治具

a. 隅角部固定ボルト

接続用の治具のうち、隅角部固定ボルトの竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-26 から表 5-30 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')による発生応力は、隅角部固定ボルトの許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設

表 5-26 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設の接続用の治具(隅角固定ボルト)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	69	363
2	78	363
3	60	363
4	63	363
5	116	363
6	95	363

(b) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-27 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の接続用の治具(隅角固定ボルト)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	81	363
2	78	363
3	84	363
4	87	363
5	82	363
6	86	363
7	62	363
8	65	363

(c) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-28 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の接続用の治具(隅角固定ボルト)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	76	363
2	77	363
3	79	363
4	81	363
5	79	363
6	79	363
7	72	363
8	73	363
9	82	363
10	80	363

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-29 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の接続用の治具
(隅角固定ボルト)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	122	363

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-30 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の接続用の治具
(隅角固定ボルト)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	120	363

b. アイプレート溶接部

接続用の治具のうち、アイプレート溶接部の竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-31 から表 5-35 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重(T_1')による発生応力は、アイプレート溶接部の許容限界を下回っている。

(a) 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設

表 5-31 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン竜巻防護対策施設の接続用の治具(アイプレート溶接部)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	73	135
2	82	135
3	64	135
4	67	135
5	120	135
6	100	135

(b) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-32 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設の接続用の治具(アイプレート溶接部)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	85	135
2	82	135
3	87	135
4	90	135
5	86	135
6	89	135
7	66	135
8	69	135

(c) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-33 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設の接続用の治具(アイプレート溶接部)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	79	135
2	81	135
3	83	135
4	85	135
5	83	135
6	83	135
7	75	135
8	76	135
9	86	135
10	84	135

(d) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-34 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の接続用の治具(アイプレート溶接部)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	125	135

(e) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-35 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設の接続用の治具(アイプレート溶接部)の強度評価結果

No.	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
1	124	135

5.3 たわみ評価

竜巻による飛来物衝突時の強度評価結果を表5-36から表5-40に示す。

すべての防護ネットにおいて、防護ネットへの飛来物衝突による防護ネット全体のたわみ量 (δ_t)は、防護ネットと**外部事象**防護対象施設の最小離隔距離(L_{min})を下回っている。

(1) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設

表 5-36 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設のたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最少離隔距離 L_{min} (m)
1	1.36	1.89
2	1.28	
3	1.56	1.70
4	1.55	
5	1.49	1.90
6	1.55	

(2) 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設

表 5-37 中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設のたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最少離隔距離 L_{min} (m)
1	1.09	1.58
2	1.13	
3	1.15	—※1
4	1.15	
5	1.16	1.58
6	1.16	
7	0.24※2	
8	0.24※2	

※1：当該ネットの直下には**外部事象**防護対象施設は無い。

※2：本数値は**外部事象**防護対象施設が存在する領域におけるたわみ量を示す。

外部事象防護対象施設が存在する領域と最大たわみ点の関係は図 5-1 のとおりであり、**外部事象**防護対象施設が存在する領域のたわみは、最大たわみ(No.7：1.60m, No.8：1.58m)に比べ小さいため、ネットが**外部事象**防護対象施設に接触することはない。

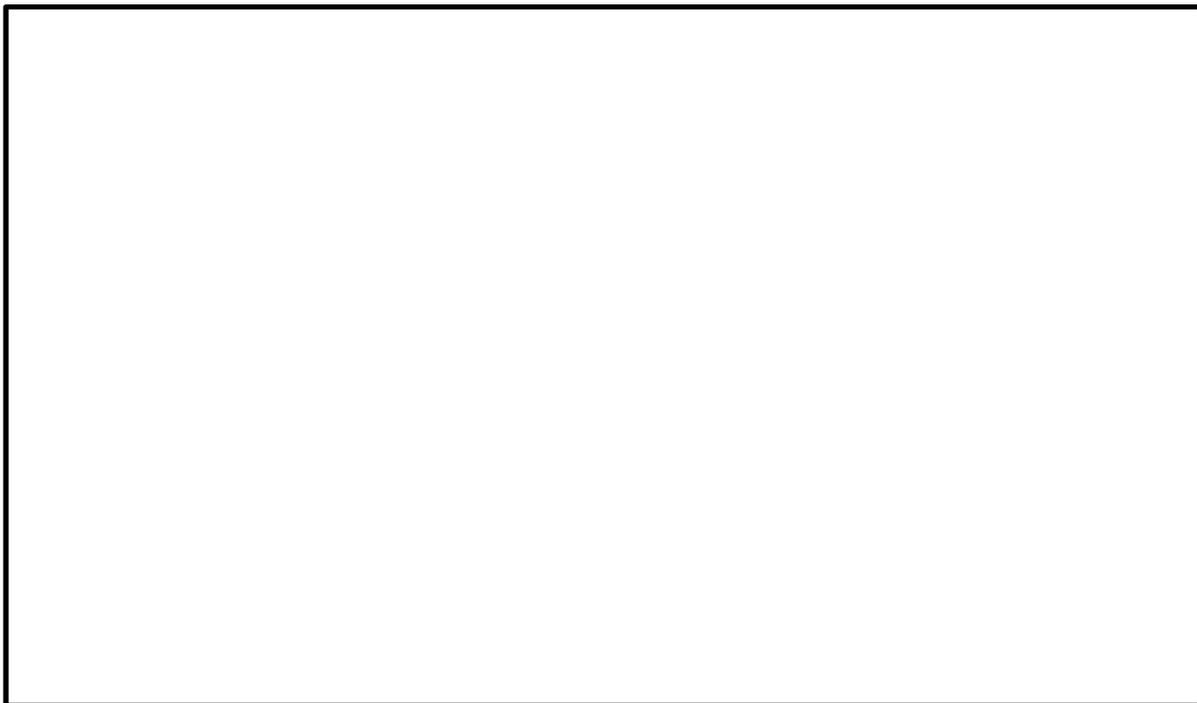


図 5-1 ネット (No. 7, 8) と外部事象防護対象施設の位置関係

(3) 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設

表 5-38 海水ポンプエリア竜巻防護対策施設のたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最少離隔距離 L_{min} (m)
1	1.31	2.29
2	1.31	
3	1.23	
4	1.24	
5	1.25	
6	1.25	
7	1.50	
8	1.50	
9	1.20	
10	1.25	

(4) 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

表 5-39 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設のたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最少離隔距離 L_{min} (m)
1	1.55	2.04

(5) 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設

表 5-40 使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設のたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最少離隔距離 L_{min} (m)
1	1.50	1.88