

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添3-013-03改01
提出年月日	2023年5月31日

VI-3-別添 1-3 竜巻防護ネットの強度計算書

2023年5月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	7
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 記号の定義	13
3.2 評価対象部位	18
3.3 荷重及び荷重の組合せ	21
3.4 許容限界	26
3.5 評価方法	34
4. 評価条件	51
4.1 荷重条件	51
4.2 竜巻防護ネット仕様	52
5. 強度評価結果	57
5.1 吸収エネルギー評価	57
5.2 破断評価	60
5.3 たわみ評価	67

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である竜巻防護ネットが、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「設計飛来物」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、たわみを生じても設計飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、竜巻防護ネットを構成する主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」を踏まえ、竜巻防護ネットの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

竜巻防護ネットは、海水ポンプエリア、原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁に設置する。

竜巻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竜巻防護ネットの割付図を図 2-2～図 2-4 に示す。

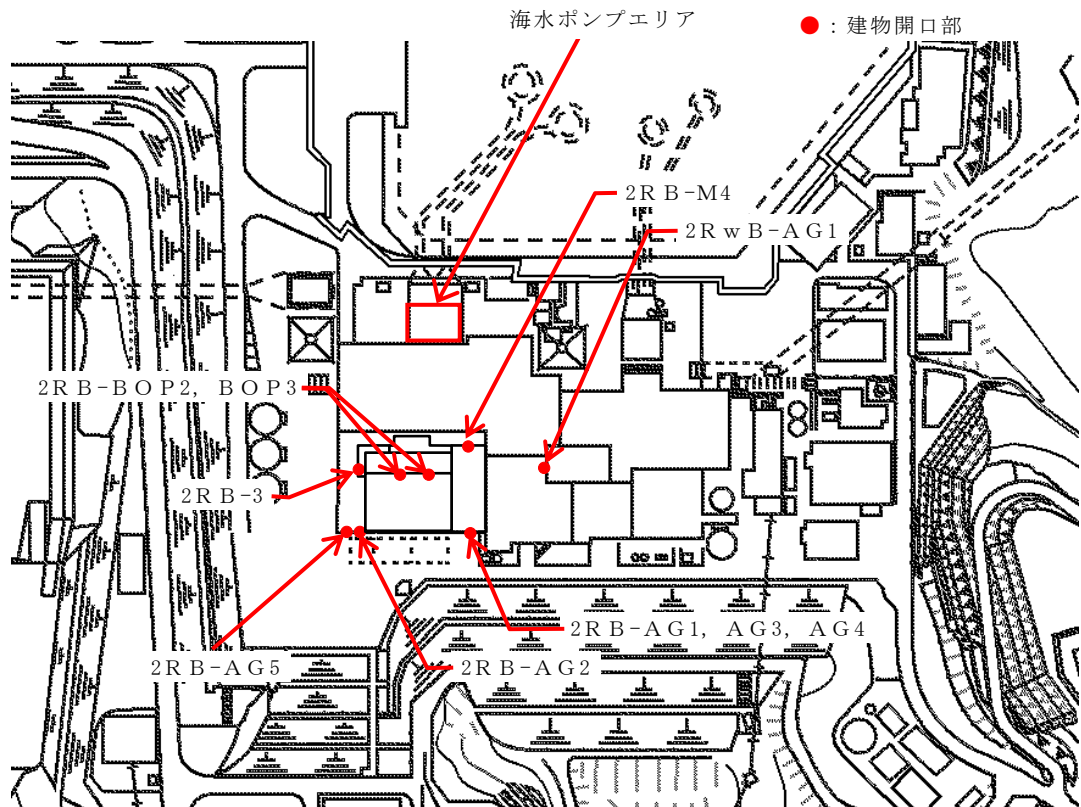
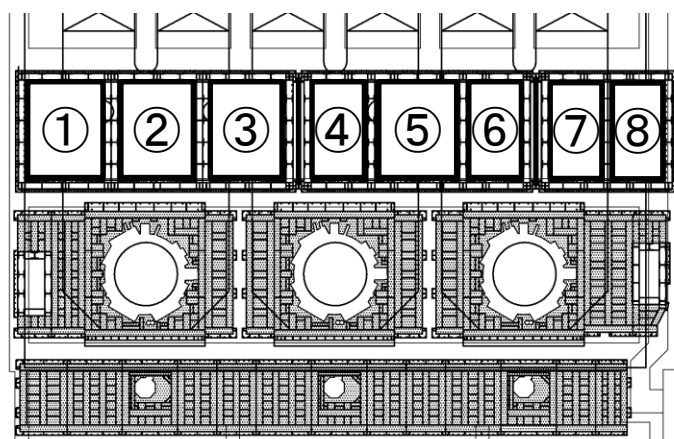
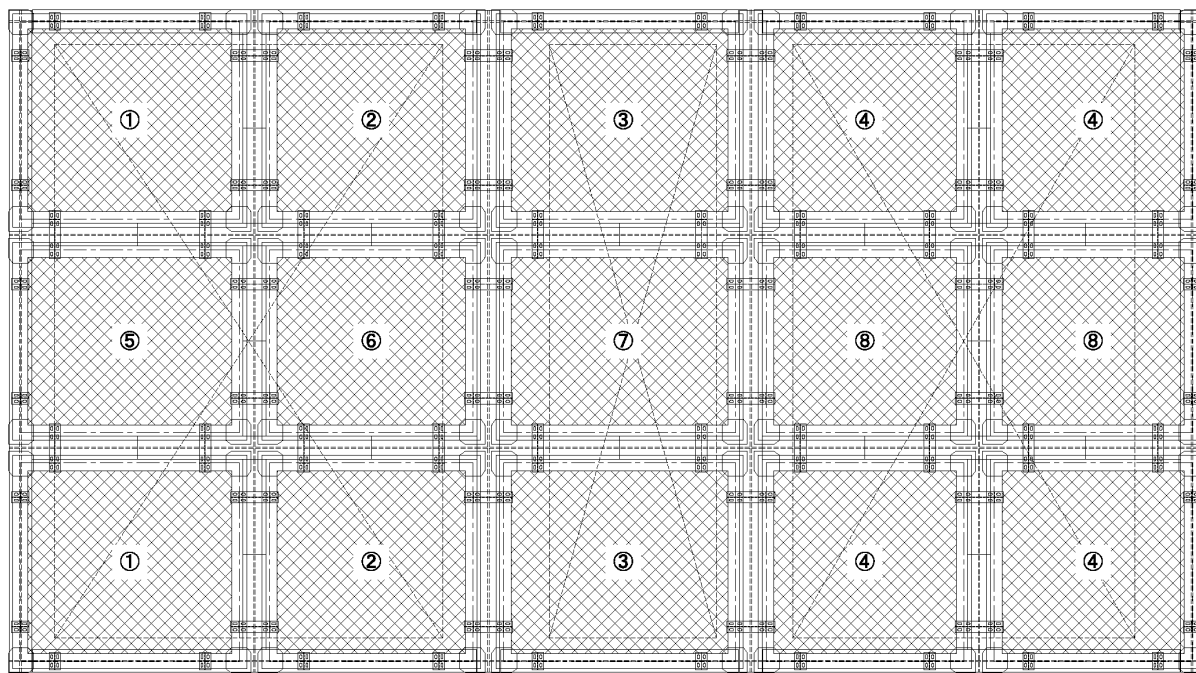


図 2-1 竜巻防護ネットの設置位置図

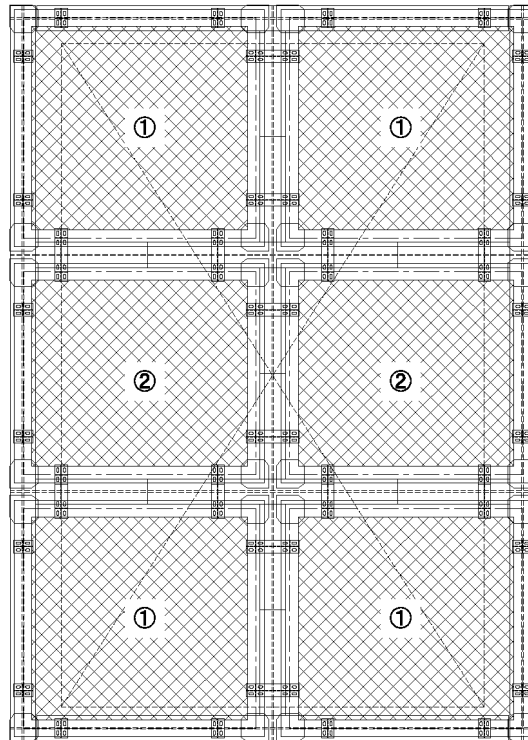


注：ネットの数字は，後段の評価における整理番号
 図 2-2 竜巻防護ネットの割付図（海水ポンプエリア）



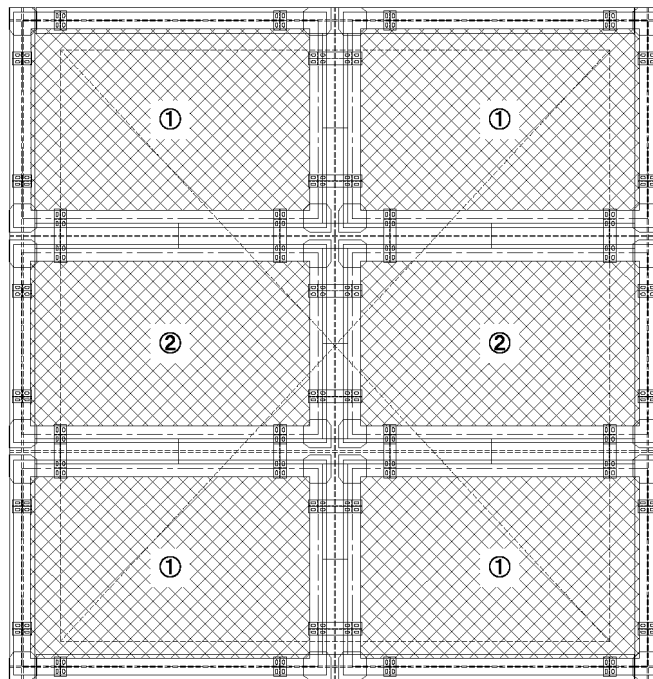
2RB-AG1・AG3・AG4

注：ネットの数字は，後段の評価における整理番号
 図 2-3(1) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



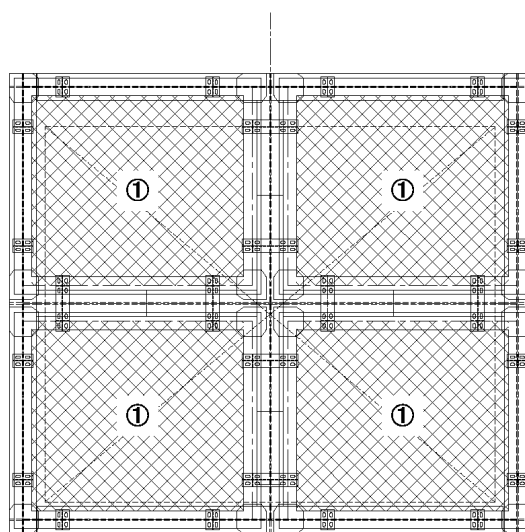
2RB-AG2

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号
図 2-3(2) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



2RB-AG5

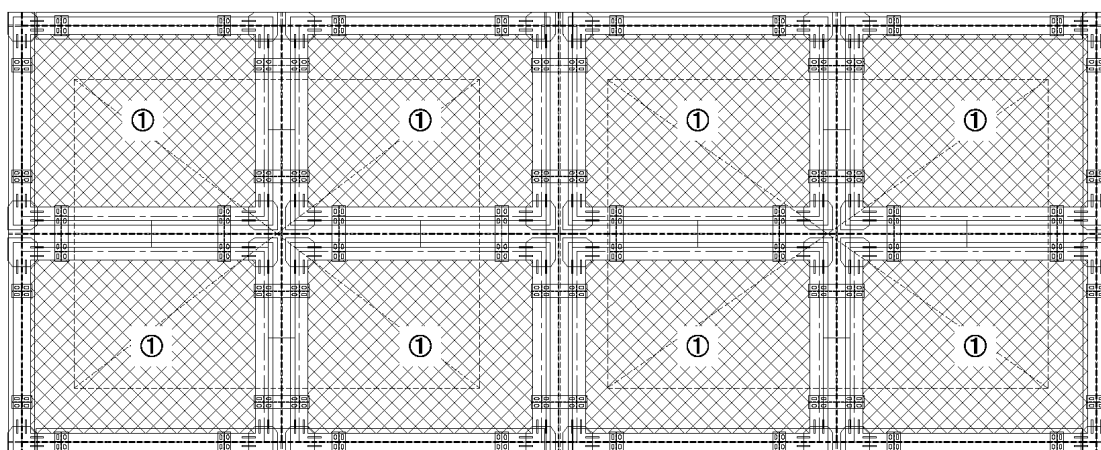
注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号
図 2-3(3) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



2RB-3

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号

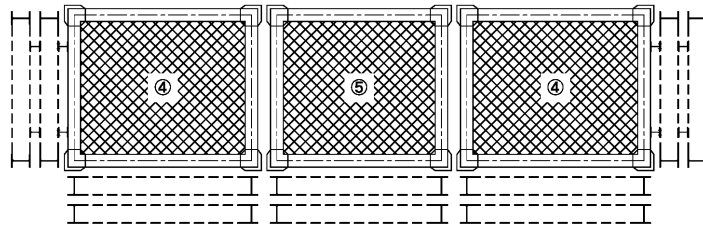
図 2-3(4) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



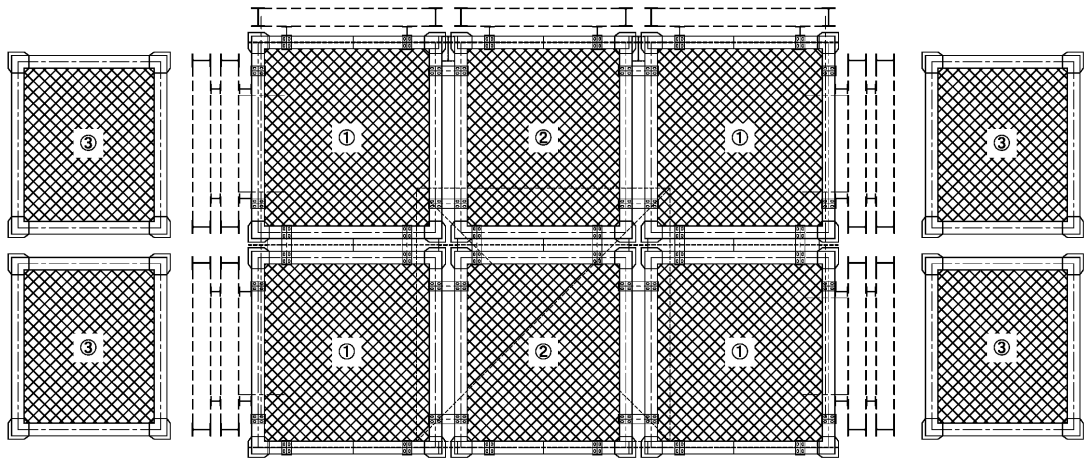
2RB-M4

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号

図 2-3(5) 竜巻防護ネットの割付図（原子炉建物外壁）



平面図



(側面)

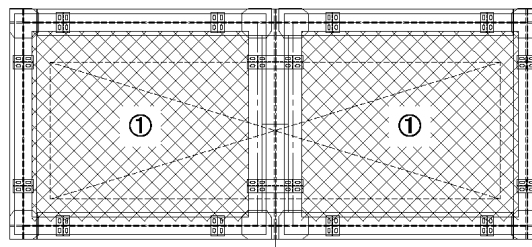
(正面)

(側面)

立面図

2RB-BOP2・BOP3

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号
 図 2-3(6) 竜巻防護ネットの割付図 (原子炉建物外壁)



2RwB-AG1

注：ネットの数字は、後段の評価における整理番号
 図 2-4 竜巻防護ネットの割付図 (廃棄物処理建物外壁)

2.2 構造概要

竜巻防護ネットの構造は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3.1 竜巻防護ネットの構造設計」に示す構造計画を踏まえ設定する。

竜巻防護ネットは、ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）及び鋼製枠から構成され、海水ポンプエリア、原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁に設置する。竜巻防護ネットは、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を用いて取り付けられ、架構は基礎若しくは建物の外壁により支持される。

ネットは、4 辺を縫うように通し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。

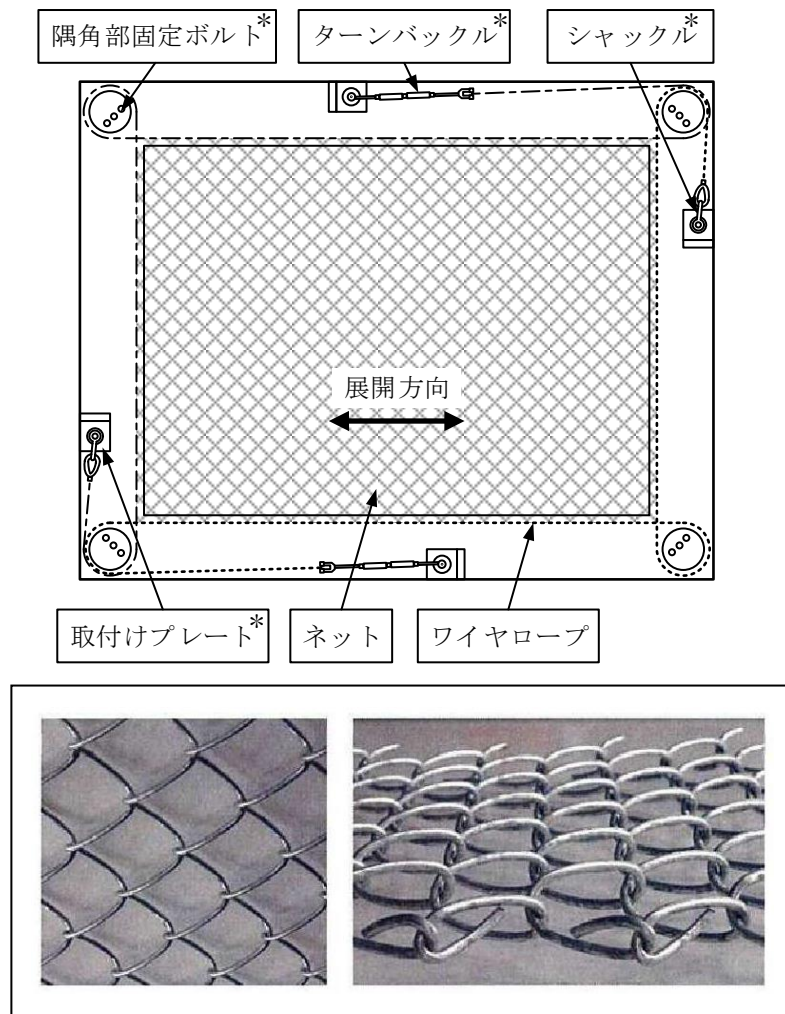
竜巻防護ネットは、ネットに作用する自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重をワイヤロープ並びに接続治具（支持部及び固定部）を介して、鋼製枠に伝達する。

鋼製枠は、ネットに作用する自重、設計飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重を、接続部を介して架構に伝達する。

ネットは、設計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設計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並びに接続治具（固定部）である取付けプレート及び隅角部固定ボルトで支持される。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。

竜巻防護ネットの概要図を図 2-5 に示す。



注記*：接続用の治具

図 2-5 竜巻防護ネットの概要図

2.3 評価方針

竜巻防護ネットの強度計算は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」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、竜巻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。

竜巻防護ネットの評価フローを図 2-6 に示す。

竜巻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、竜巻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設計飛来物を捕捉し、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、設計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。

ネットの破断が生じないことを確認するために、ネットが設計飛来物の持つ運動エネルギーを吸収することができること及び設計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、竜巻防護ネットが設計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（支持部及び固定部）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。

評価においては、竜巻防護ネットの形状及び評価条件として、展開方向寸法と展開直角方向寸法の比（以下「アスペクト比」という。）、設計飛来物の衝突位置の影響及びネットの等価剛性の算定方法の影響を考慮する。

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。

設計飛来物の衝突位置の影響については、評価において設計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（支持部及び固定部）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、電力中央研究所にて複数回実施している衝撃引張試験の結果から算定する。等価剛性の算定の方法を考慮し、ネットの吸収エネルギー評価及び竜巻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。

竜巻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、VI-3-別添 1-5「架構の強度計算書」に示す。

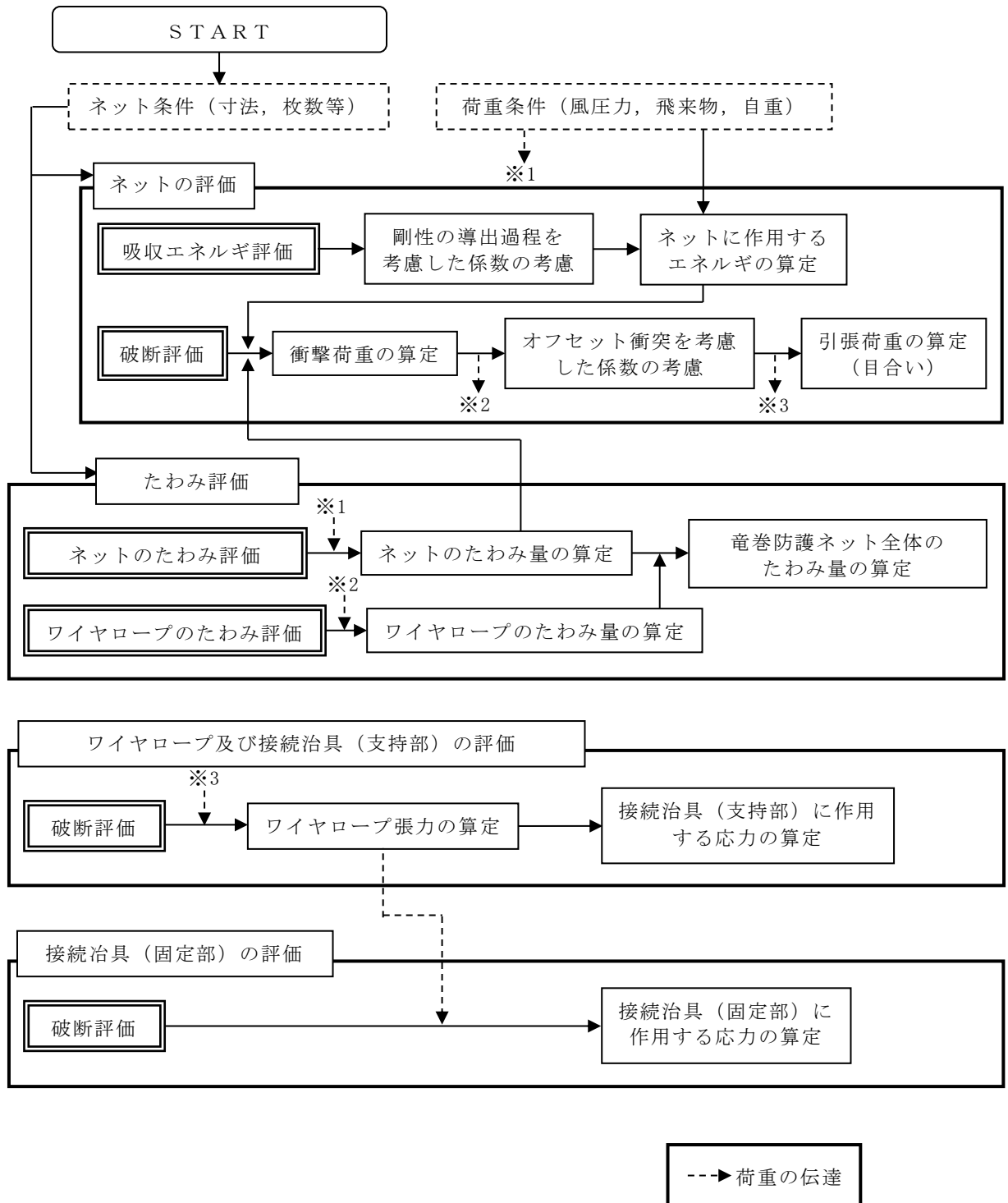


図 2-6 竜巻防護ネットの評価フロー

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
算定方法	設計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定し、ネットに生じるエネルギーの総量を算定。	自重、設計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定し、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定。	自重、設計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定。
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定荷重に考慮。	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。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 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，平成 20 年 8 月）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 荷重の算定

荷重の算定に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A_a	m^2	ネットの面積
C	—	竜巻防護ネットの風力係数
d	m	設計飛来物衝突後の設計飛来物の移動距離
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
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衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
m	kg	設計飛来物の質量
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	N/mm^2	設計用速度圧
t	s	時間
t_1	s	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
V	m/s	ネットへの衝突後の設計飛来物の飛来速度
V_1	m/s	ネットへの設計飛来物の衝突速度
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W_w	kN	風圧力による荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
ρ	kg/m^3	空気密度
ϕ	—	ネットの充実率

(2) 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 3-2 に示す。

表 3-2 吸収エネルギー評価に用いる記号

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_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_{max}'	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数 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外力エネルギー
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 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
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
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	—	主金網の枚数
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
X_i	m	i 列目のネットの伸び
δ_a	m	自重及び風圧力による荷重によるネットのたわみ量
δ_i	m	設計飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{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のたわみ角
θ_{max}	deg	ネットの最大たわみ角

(3) 破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3(1) 破断評価に用いる記号

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	隅角部固定ボルトの有効断面積
C_c	—	ワイヤグリップ効率
F_1	kN	ネット 1 交点当たりの破断荷重
F_2	kN	ワイヤロープの規格値 (破断荷重)
F_3	kN	ターンバックルの規格値 (保証荷重)
F_4	kN	シャックルの規格値
$F_{a'}$	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	設計飛来物がネットに衝突する際に 1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{P'}$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に 2 本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
L	mm	取付けプレートの面取り長さ
L_{Pw}	mm	取付けプレート溶接部の有効長さ
L_{P1}	mm	取付けプレート長さ (縦方向)
L_{P2}	mm	取付けプレート長さ (横方向)
n_1	—	設計飛来物の衝突位置周辺のネット 1 枚当たりの交点の個数
n_2	—	隅角部固定ボルト本数
S_w	mm	取付け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_1''	kN	設計飛来物のネットへの衝突により補助金網を支持しているワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値

表 3-3(2) 破断評価に用いる記号

記号	単位	定義
T_x	kN	ネット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	ネット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	ネット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	ネット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_{wx}	m	ネット展開方向に平行な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なワイヤロープの変形後のたわみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_1	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
θ_2	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
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	ネット展開方向に平行なネットたわみ角
θ_y	deg	ネット展開直角方向に平行なネットたわみ角
τ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	取付けプレート溶接部に発生するせん断応力

(4) たわみ評価

たわみ評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表 3-4 たわみ評価に用いる記号

記号	単位	定義
L_b	m	変形前のワイヤロープ長さ
L_{min}	m	竜巻防護ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
L_s	m	直線区画のワイヤロープの変形後の長さの合計
L_y'	m	ワイヤロープへの設計飛来物の影響範囲
L_z	m	ワイヤロープの全長
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したワイヤロープの変形後の長さ
S_y	m	ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
S_t	m	ネット展開方向に直交する辺の変形後のワイヤロープ長さ
δ	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
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_L	m	直線区間のワイヤロープのたわみ量
δ_t	m	ネットとワイヤロープの合計たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
ε	—	ワイヤロープのひずみ量

3.2 評価対象部位

竜巻防護ネットの評価対象部位は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5.1 竜巻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。竜巻防護ネットの評価対象部位を図 3-1 に示す。

(1) ネット

設計荷重はネットに直接作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ネットとする。

(2) ワイヤロープ

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。

(3) 接続治具（支持部）

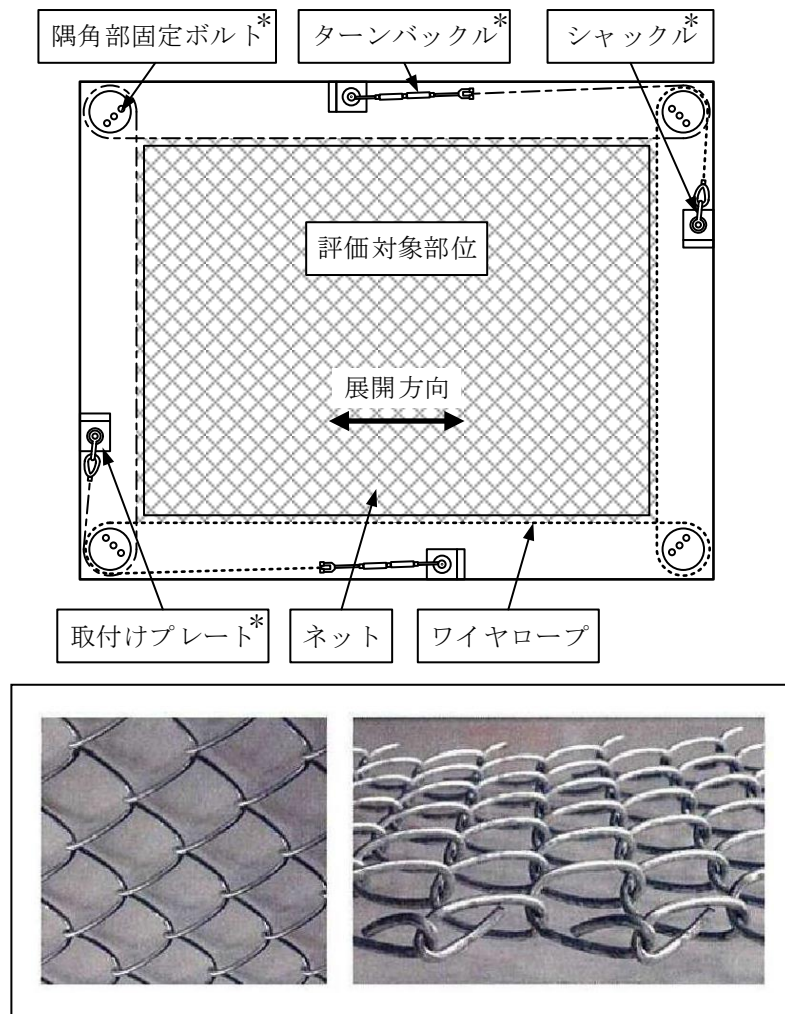
設計荷重はネットに作用し、ワイヤロープを介して接続治具（支持部）に作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルとする。

(4) 接続治具（固定部）

設計荷重はネットに作用し、ワイヤロープ及び接続治具（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及び取付けプレートに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、隅角部固定ボルト及び取付けプレートとする。

取付けプレートの評価部位は、プレート本体、プレートと鋼製枠及び支持板の溶接部並びに支持板と鋼製枠の溶接部があるが、評価上溶接部が最も短いプレートと鋼製枠及び支持板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、取付けプレートの評価対象部位を図 3-3 に示す。



注記*：接続用の治具

図 3-1 竜巻防護ネットの評価対象部位

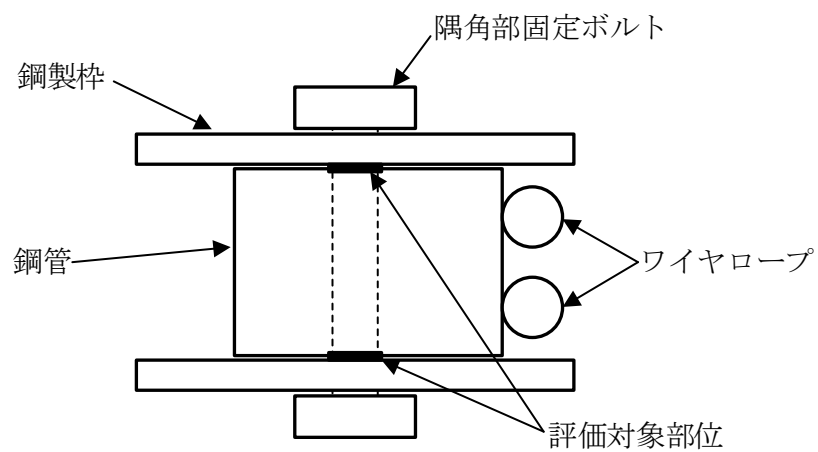


図 3-2 隅角部固定ボルトの評価対象部位

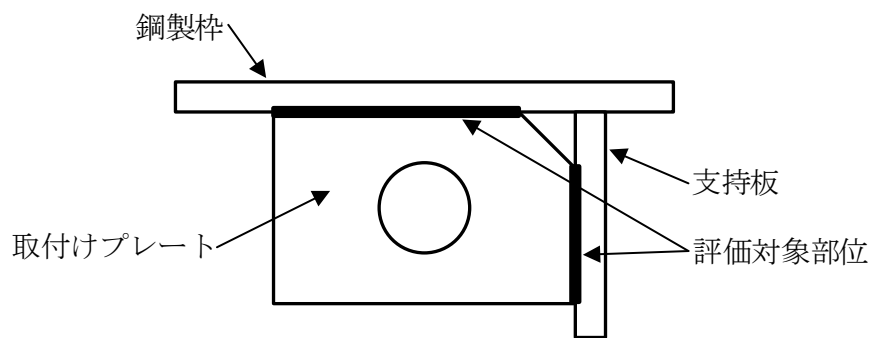


図 3-3 取付けプレートの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」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。また、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）については、ネットを支持する機能を有していることから、ネットの重量を荷重として考慮する。なお、これらの自重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。

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重を考慮する。なお、竜巻防護ネットは開かれた構造のため、気圧差による荷重は考慮しない。設計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設計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、以下の方法により算定する。設計竜巻による荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 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)
92	14	78	7500

(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。

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

(b) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

破断評価においては、設計飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算定する。

ネットと設計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'' は以下のとおり算定される。

$$F_a'' = Q \cdot t \cdots \cdots \cdots (3. 1)$$

したがって、速度 V は式 (3. 1) の衝撃荷重 F_a'' から、以下のとおり算定される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \cdots \cdots \cdots (3. 2) \end{aligned}$$

さらに、設計飛来物の移動距離 d は、式 (3. 2) の速度 V から以下のとおり算定される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V \, dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \cdots \cdots \cdots (3. 3) \end{aligned}$$

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 $V=0$ であるから式 (3. 2) 及び (3. 3) より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \cdots \cdots \cdots (3. 4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記 2 式を連立し、

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

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \cdots \cdots \cdots (3. 5)$$

以上より、時間 t_1 における設計飛来物による衝撃荷重 F_a は式 (3. 1) 及び (3. 4) より、

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

さらに、式 (3. 5) と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \cdots \cdots \cdots (3. 6)$$

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外力エネルギー 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。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \dots\dots\dots (3. 7)$$

したがって、式(3. 6)及び(3. 7)より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (3. 8)$$

(2) 荷重の組合せ

a. ネット

ネットに作用する荷重として、ネットの自重、設計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）であるターンバックル及びシャックルを介して接続治具（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。

なお、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に作用する荷重は、ネットからワイヤロープ及び接続治具（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及び取付けプレート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及び取付けプレートに作用する荷重として設定する。

なお、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 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-6 吸収エネルギー評価における荷重及びその組合せ

設置エリア		考慮する荷重		
		常時作用する荷重 (自重)	設計飛来物による 衝撃荷重	風圧力による 荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	○	○	○
	鉛直	○	○	○

<凡例> ○：考慮する，－：考慮しない

表 3-7 破断評価における荷重及びその組合せ

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	設計飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ ・ターンバックル ・シャックル ・隅角部固定ボルト ・取付けプレート	○ (ネットの自重)	○	○
	鉛直	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ ・ターンバックル ・シャックル ・隅角部固定ボルト ・取付けプレート	○ (ネットの自重)	○	○

<凡例> ○：考慮する，－：考慮しない

表 3-8 たわみ評価における荷重及びその組合せ

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	設計飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・海水ポンプエリア ・原子炉建物外壁 ・廃棄物処理建物外壁	水平	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ	○ (ネットの自重)	○	○
	鉛直	・ネット	○ (自重)	○	○
		・ワイヤロープ	○ (ネットの自重)	○	○

<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，VI-3-別添 1-2「竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」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」にて設定している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，計算により算定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最大吸収エネルギー E_{max} となる。

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定する。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設計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，設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから設計飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への設計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。

限界吸収エネルギーは，ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性，展開方向寸法及びたわみ量から，以下のとおり算定される。吸収エネルギー評価におけるネットの限界吸収エネルギー算定モデル図を図 3-4 に示す。

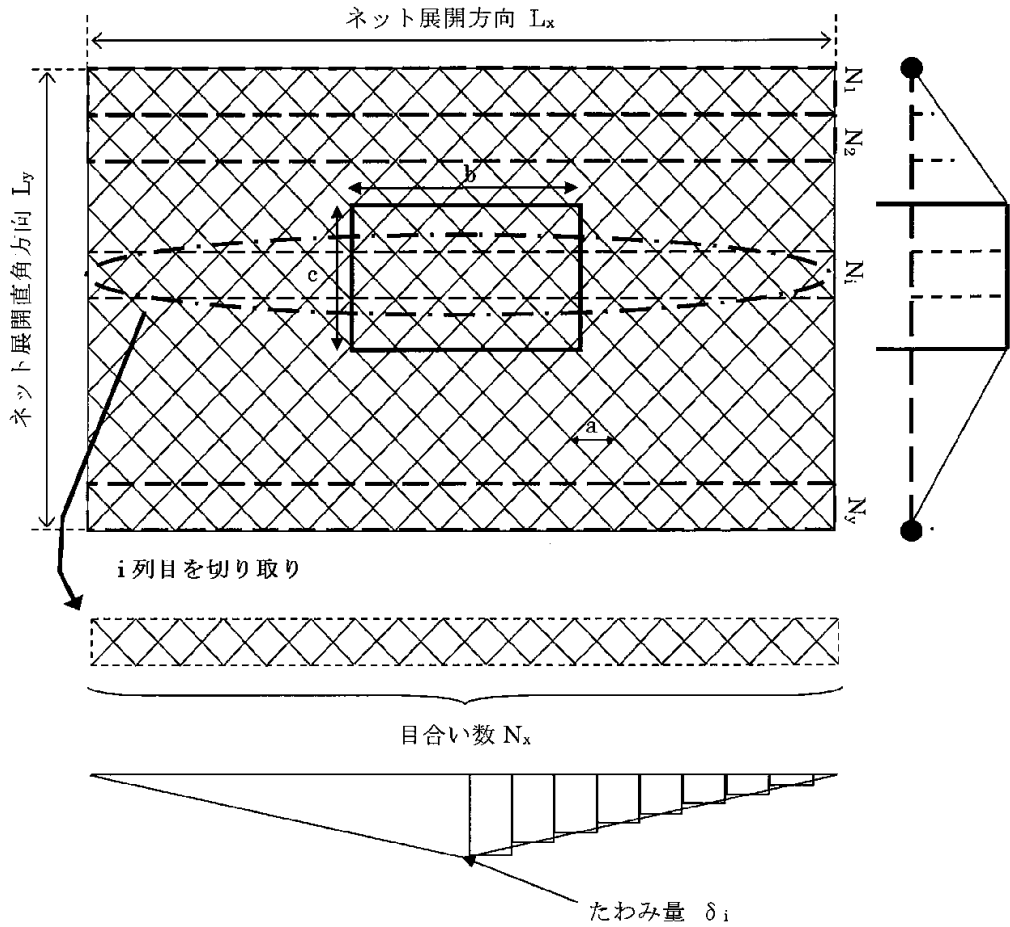


図 3-4 吸収エネルギー評価におけるネットの限界吸収エネルギー算定モデル図

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 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定し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算定する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、設計飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算定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。設計飛来物の端部寸法 ($b \times c$) 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定する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算定に用いる設計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。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

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定されるよう、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評価フローを図 3-5 に示す。

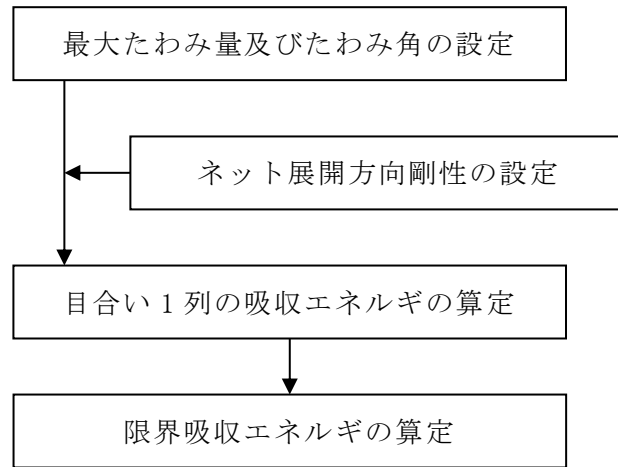
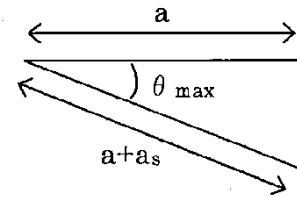


図 3-5 吸収エネルギー評価の許容限界の評価フロー

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定する最大たわみ角から，設計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。

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

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



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，また，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 から次式により算定される。

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}$$

$$N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

ただし， N_x ， N_y の算定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。

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 目合い当たりばね定数 K を持つばねを 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' は次式により算定される。

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

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、補助金網を主金網 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、次式により算定される。

$$K_x = K_x' \cdot (n + 0.5)$$

設計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。

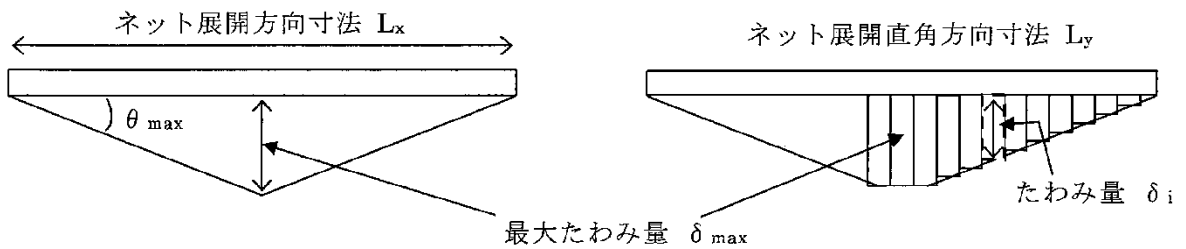


図 3-6 最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに設計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定する。ネットに作用する力のつり合いを図 3-7 に示す。

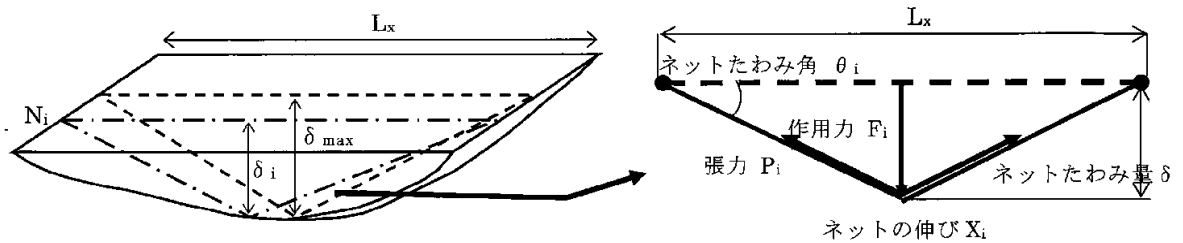


図 3-7 ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力 P_i は、設計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 $2 \cdot K_x$ となることから、

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \frac{X_i}{2}$$

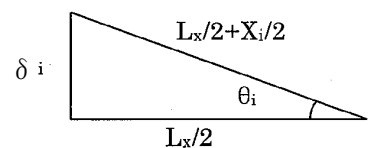
$$= K_x \cdot X_i$$

となる。また、作用力 F_i は変位置とたわみ量の関係から、

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta_i - \sin \theta_i)$$



$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \dots \dots (3.9)$$

ネットに設計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得られる、 i 番目の列における吸収エネルギー E_i を次式に示す。

$$\begin{aligned}
 E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\
 &= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\
 &= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \cdots \cdots (3. 10)
 \end{aligned}$$

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。

$$\begin{aligned}
 E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
 &= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \cdots (3. 11)
 \end{aligned}$$

また、等価剛性の導出過程を踏まえた係数及びネット設置枚数を考慮した限界吸収エネルギーを E_{max}' とする。係数としては、電中研報告書のネット引張試験結果より 1/1.03 と定める。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max} \cdots \cdots (3. 12)$$

(2) 破断評価

a. ネット

破断評価においては、計算により算定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。ネットは、設計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、設計飛来物を捕捉することから、電中研報告書を参照してネット 1 目合いの引張試験に基づいた 1 交点当たりの破断荷重 F_1 、設計飛来物衝突時の周辺のネット 1 枚当たりの交点数 n_1 及びネットの設置枚数 n から、ネット設置枚数を考慮した許容引張荷重を算定する。

ネットの破断評価の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 ネットの破断評価の許容限界

評価対象部位	引張荷重評価
ネット	$F_1 \cdot n_1 \cdot n$

b. ワイヤロープ

ワイヤロープは、ネットと一体となって設計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 F_2 に、端部のワイヤグリップの効率 C_c を乗じて設定する。

ワイヤロープの破断評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 ワイヤロープの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界	備考
ワイヤロープ	$C_c \cdot F_2$	ワイヤグリップの効率を考慮

c. 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）である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、設計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、J I S に規定されている保証荷重 F_3 を 1.5 倍した値を許容限界として設定する。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 F_4 を 2 倍した値を許容限界として設定する。

接続治具（支持部）の破断評価の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 接続治具（支持部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ターンバックル	$1.5 \cdot F_3$
シャックル	$2.0 \cdot F_4$

d. 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付けプレートの破断評価においては、計算により算定する応力により破断が生じないように、十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、隅角部固定ボルト及び取付けプレートの許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づいた短期での破断応力度とする。

接続治具（固定部）の破断評価の許容限界を表 3-12 及び表 3-13 に示す。

表 3-12 隅角部固定ボルトの破断評価の許容限界

評価対象部位	強度区分	考慮すべき 損傷モード	短期に生じる力に 対する許容応力度 (MPa)
隅角部固定ボルト	8.8* ¹	せん断	$1.5 \cdot f_s$ * ²

注記*1：材料証明書による。

*2： f_s は下式により算定。

$$\left(f_s = \frac{560}{1.5\sqrt{3}} \right)$$

表 3-13 取付けプレート溶接部の破断評価の許容限界

評価対象部位	材質	考慮すべき 損傷モード	短期に生じる力に 対する許容応力度 (MPa)
取付けプレート溶接部	SS400* ¹	せん断	$1.5 \cdot f_s$ * ²

注記*1：母材であるプレートの材質。

*2： f_s は下式により算定。F値は引張強さとする。

$$\left(f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$$

(3) たわみ評価

竜巻防護ネットのたわみ評価においては，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，計算により算定する竜巻防護ネットの最大たわみ量が，竜巻防護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，竜巻防護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。

竜巻防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 3-14 に示す。

表 3-14 竜巻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
竜巻防護ネットの最大たわみ量	竜巻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})

3.5 評価方法

竜巻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、等価剛性に対する係数、アスペクト比及び設計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。

- ・等価剛性に対する係数の考慮

電中研報告書におけるネット引張試験結果のばらつきを考慮し、吸収エネルギー評価においては、等価剛性の算定方法の影響から定められる係数を考慮する。

- ・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の範囲を有効な面積として評価する。

- ・設計飛来物の衝突位置の影響

評価においては、設計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設計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、設計飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから設計飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への設計飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突と同等となる。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。

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(3.8)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、設計飛来物は傾き、設計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、ネットの全長が設計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、ネットに対して設計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、算定結果は設計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、電中研報告書の評価式を参照して、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定のモデル化を行い、自重、風圧力による荷重及び設計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(3. 11)及び(3. 12)より、 E_{max} 及び E_{max}' は以下のとおりである。

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

$$E_{max}' = \frac{1}{1.03} \cdot E_{max}$$

自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定し、列数倍することでネット全体が自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定する。

評価条件である K_x 及び L_x 並びに自重及び風圧力による荷重から算定する F_w を式(3. 9)に代入して数値計算を実施することにより、自重及び風圧力による荷重によるたわみ量 δ_a が算定される。

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

ただし、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算定した δ_a を式(3. 11)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外力エネルギーを列数倍した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外力エネルギー E_w が算定される。

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

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、以下により求められる。

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

設計飛来物の飛来速度は、ネットの設置方向に応じて、水平設置の場合は鉛直方向の飛来速度、鉛直設置の場合は水平方向の飛来速度にて算定する。なお、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速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、設計飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は、設計飛来物が衝突後に回転し、ネットと設計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、設計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衝突するものとし、その飛来速度はネットの設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は水平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 が以下のとおり算定される。

$$E_t = E_f + E_w \dots\dots\dots (3. 13)$$

(2) 破断評価

破断評価においては、電中研報告書の評価式を参照して、ネットに作用する自重、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重が竜巻防護ネットを構成する部材の局所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0.826倍となることから、中央衝突に比べ衝撃荷重が1.211倍となる。

ネット端部近傍に衝突する場合には、設計飛来物は傾き、設計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。

a. ネット

ネットに設計飛来物が衝突した後、ネットのたわみが増加し、設計飛来物の運動エネルギーを吸収する。ネットに作用する設計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、設計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。

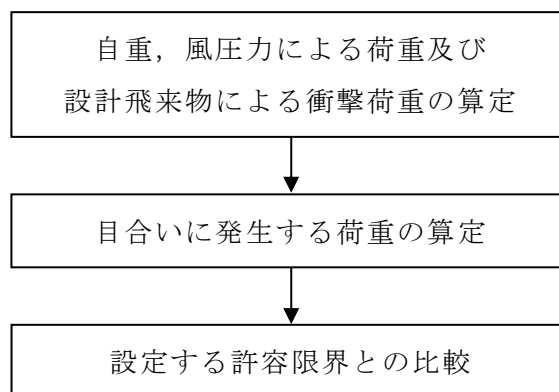


図 3-8 ネットの破断評価の評価フロー

(a) 評価モデル

ネットに設計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。ネット構造及び設計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。破断評価モデルを図3-9に示す。

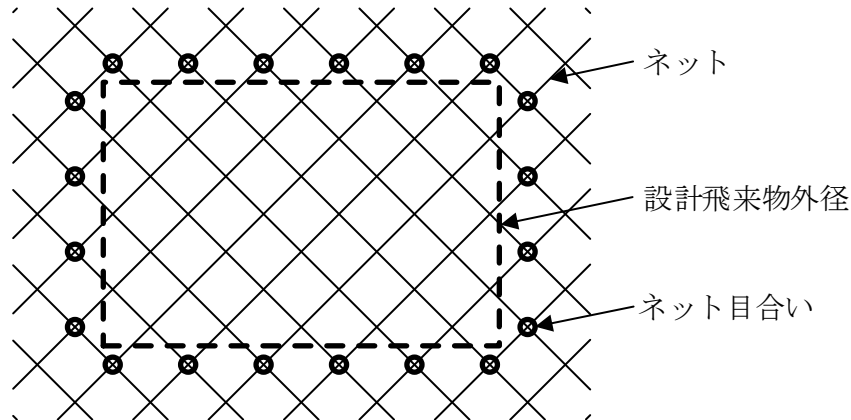


図3-9 破断評価モデル

(b) 評価方法

ネットに設計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、ネットに設計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」にて算定した式(3.8)のたわみ量と設計飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算定する。

設計飛来物の衝突による荷重に加え、自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(3.8)より、

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

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 1.211 を考慮し、衝撃荷重の最大値 F_a' は

$$F_a' = 1.211 \cdot F_a$$

にて算定される。

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」において算定した設計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。

竜巻防護ネットは、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。ネット及びワイヤロープに発生する荷重のつり合いの概念図を図 3-10 に示す。

自重、設計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、設計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定される。

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

ここで、 θ は以下の式で求められる。

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

補助金網を除くネット設置枚数 n 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、

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

と算定される。

さらに、ワイヤロープが支持する補助金網の影響を考慮する。電中研報告書によると、主金網 n 枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、補助金網を設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の 1.5 倍となることを考慮すると、主金網 n 枚及び補助金網 1 枚を重ねて設置する場合、1 枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 T_1'' は、

$$T_1'' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1.5}{n+0.5} = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \frac{1.5}{n+0.5} \dots\dots\dots (3.14)$$

と算定される。

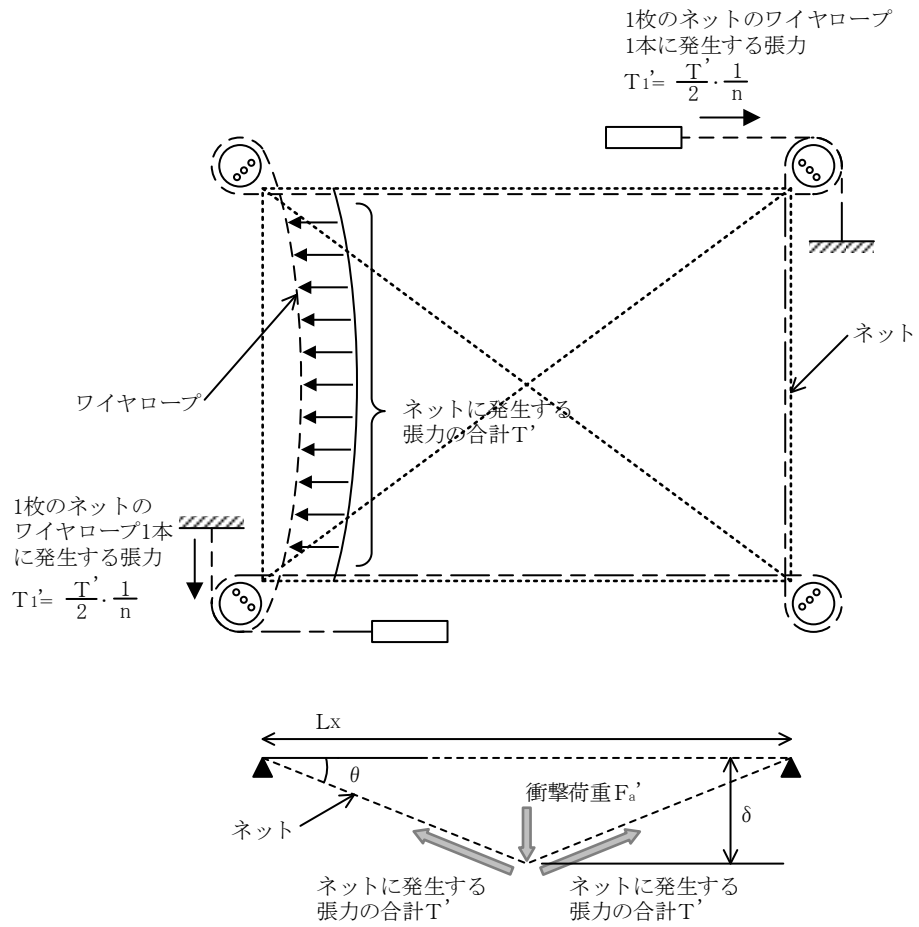


図 3-10 ネット及びワイヤロープに発生する荷重のつり合い (ネット平面図及び断面図)

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

鋼製枠の四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。

面外成分は、面内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、隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-12 に示す。

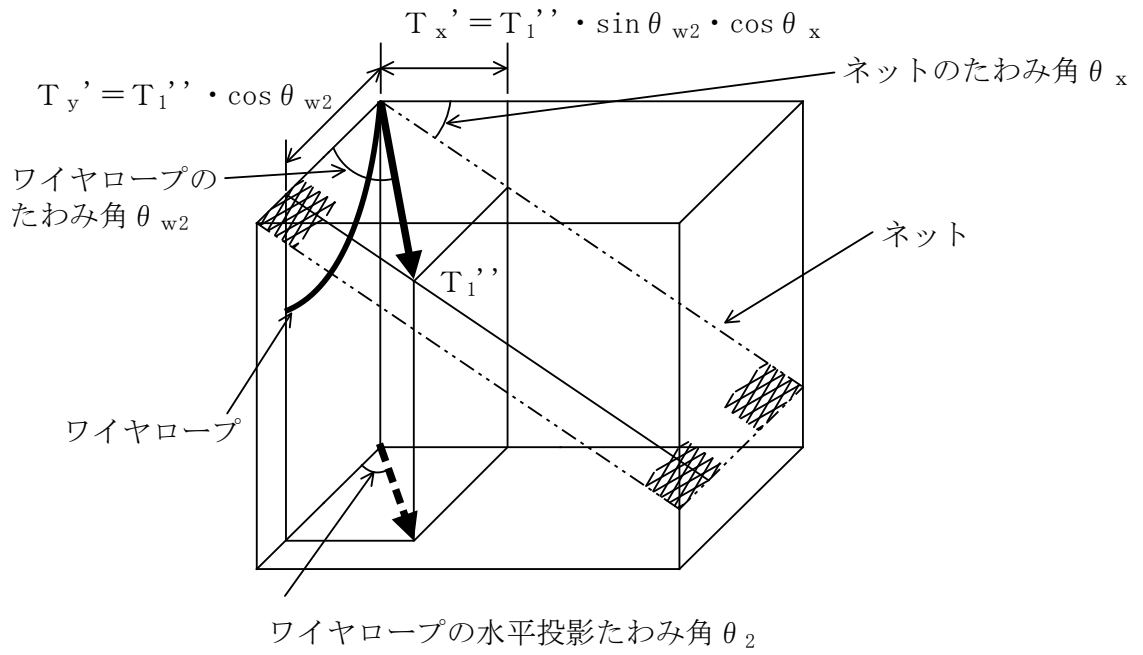
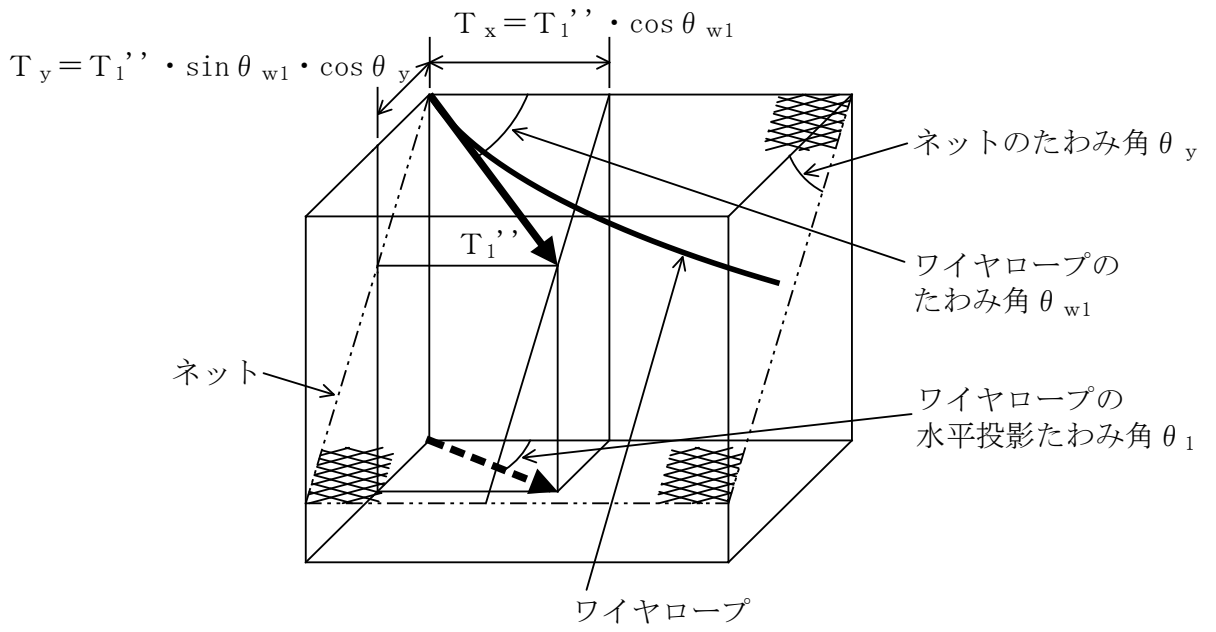


図 3-11 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

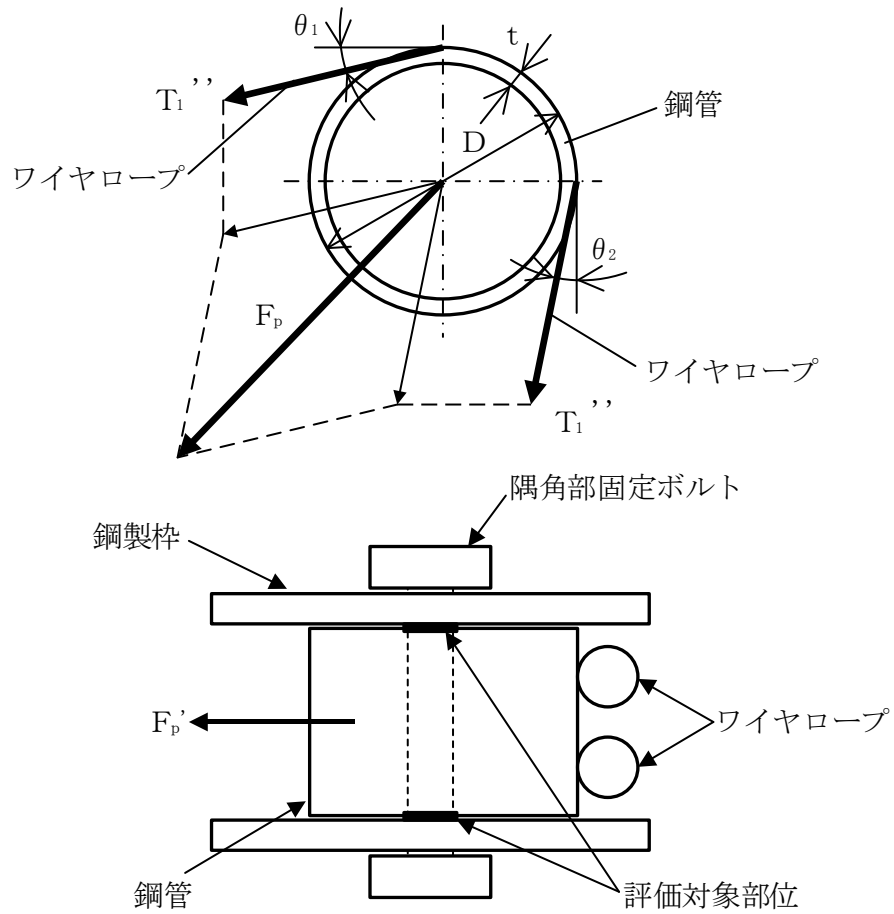


図 3-12 隅角部固定ボルトの荷重状態

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

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。

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

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

ただし， θ_y 及び θ_{w1} は以下の式で求められる。

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

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

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。

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

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

ただし、 θ_x 及び θ_{w2} は以下の式で求められる。

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

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

隅角部へ作用する 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、

$$F_p = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

隅角部には、2 本のワイヤロープが支持されていることから、隅角部へ作用する合成荷重 F_p' は、

$$F_p' = 2 \cdot F_p$$

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、

$$\tau_s = \frac{F_p'}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

(b) 取付けプレート

設計飛来物が竜巻防護ネットに衝突する場合に生じるネット取付け部への衝撃荷重 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。取付けプレートの溶接部を図 3-13 に示す。

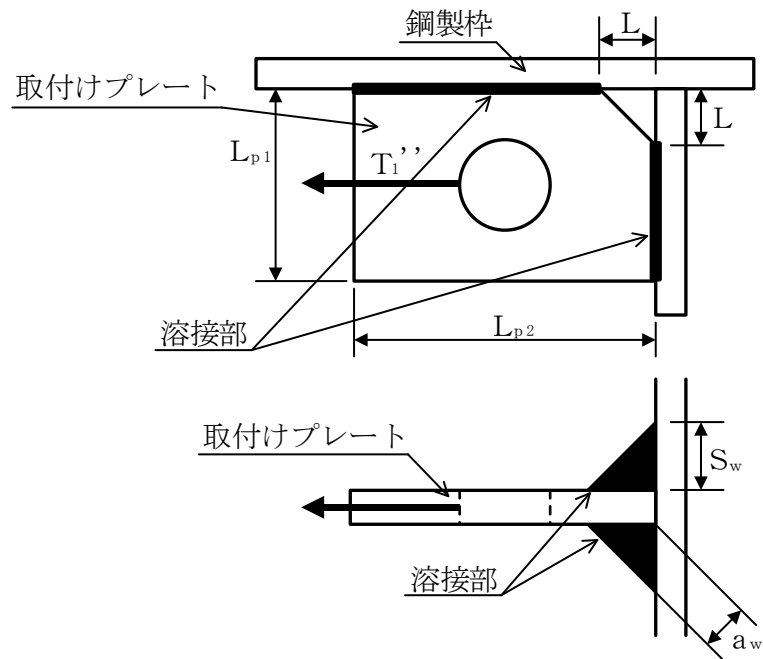


図 3-13 取付けプレートの溶接部

溶接部の有効長さ L_{pw} は、

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S_w + L_{p2} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 τ_w は、

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

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，吸収エネルギー算定モデルを用い，設計飛来物の運動エネルギー，風圧力による荷重及び自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算定する。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定し，竜巻防護ネット全体のたわみ量が外部事象防護対象施設との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。

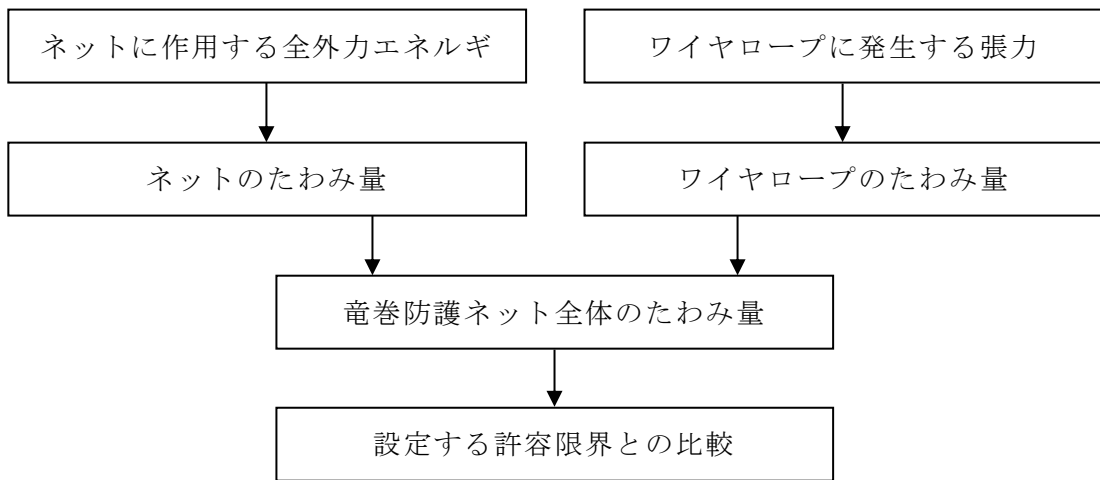


図 3-14 たわみ評価の評価フロー

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(3. 10)のとおり，以下の式にて算定される。

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

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 を算定することができる。

b. ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量の算定

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，算定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算定する。

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定におい

て有意ではないため計算上考慮しない。

式(3.14)に示す計算方法を用いて算定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 が算定される。よって、ワイヤロープの変形による伸び量 δ' は以下のとおり算定される。

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

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。

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

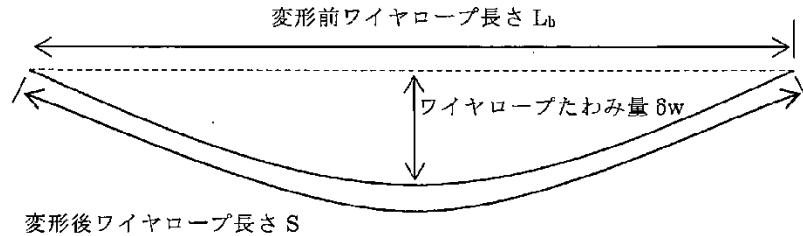


図3-15 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 δ_t の算定を行う。ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図3-16に、ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）を図3-17に示す。

設計飛来物の衝突によるネット及びワイヤロープの変形は、ネットのアスペクト比により設計飛来物衝突の影響範囲が異なることからその変形形状が異なり、「展開方向寸法>展開直角方向寸法」の場合は、設計飛来物の衝突によるネット変形がネット全体に及ぶため図3-16のとおり4辺のワイヤロープが変形する形状となり、「展開方向寸法<展開直角方向寸法」の場合は、ネット変形がネット展開方向寸法の範囲に制限されるため図3-17のとおりネット展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

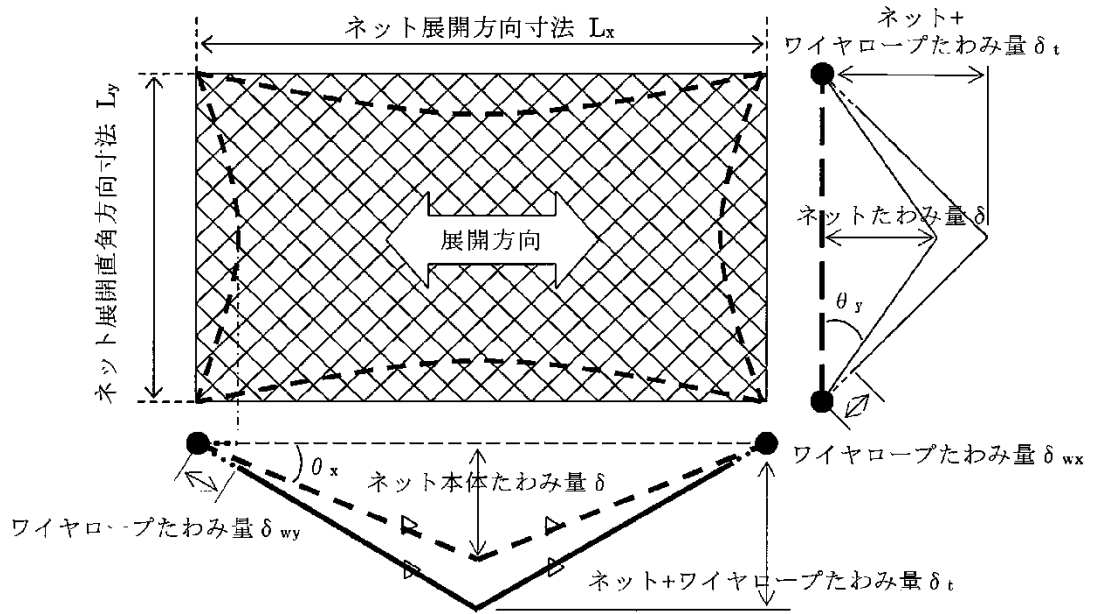


図 3-16 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

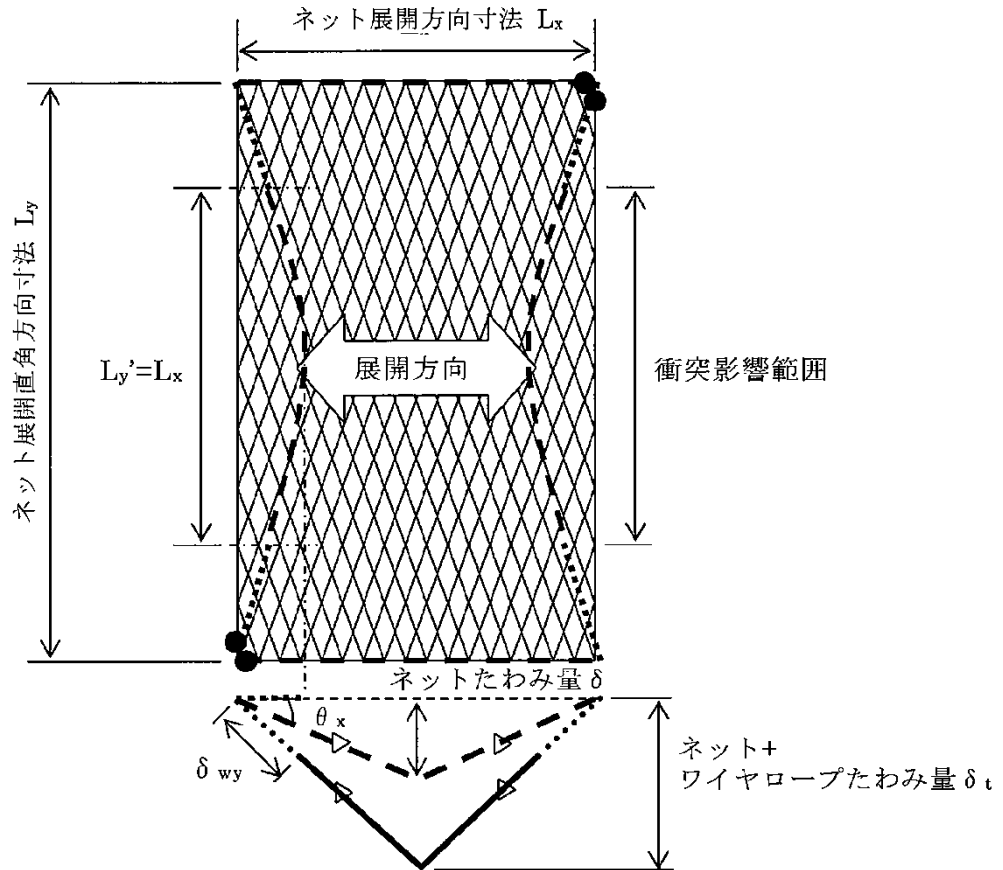


図 3-17 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって、ネットのアスペクト比に応じ、ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量の算定を行う。

展開方向寸法>展開直角方向寸法の場合、図 3-16 のとおり、ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さを S_x 、ネット展開方向と直交す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、ワイヤロープの伸び量 δ' は、

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

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、ワイヤロープのたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 δ_t は、

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

と表され、ワイヤロープたわみ量 δ_{wx} 及び δ_{wy} を算定することができる。同時にワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 δ_t が算定される。

ここで、 θ_x 及び θ_y は、「3.5(3)a. ネット」で算定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。

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

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

展開直角方向寸法>展開方向寸法の場合、図 3-17 より、ワイヤロープ伸び量 δ' が、 L_y （展開方向に直交する辺）の範囲に集約されて変形する。

ワイヤロープ全体変形図を図 3-18 に示す。変形形状は図 3-18 のとおり、設計飛来物の影響範囲（ L_y' ）にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり、その両端部の接線がそのままネット端部まで延長される形となる。

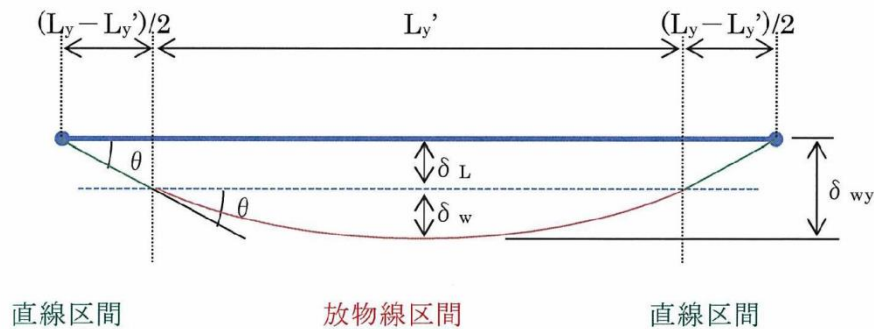


図 3-18 ワイヤロープ全体変形図

放物線区間の変形形状は図 3-18 のとおりであり、ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_y は δ_w の関数であり、

$$S_y = S_y(\delta_w)$$

と表される。

また、直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計 L_s は、

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta}$$

と表される。

L_y (展開方向に直交する辺) の変形後のワイヤロープ長さ S_t は、

$$S_t = L_y + \delta'$$

と算定されることから、

$$\begin{aligned} L_y + \delta' &= S_y + L_s \\ &= S_y(\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta} \end{aligned}$$

となり、 L_y 、 L_y' 、 δ' 、 θ は定数であることから、放物線区間のワイヤロープたわみ量 δ_w を算定することができる。

また、直線区間のワイヤロープのたわみ量 δ_L は、

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2} \tan \theta$$

と算定されることから、放物線区間、直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が、

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算定される。

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

より、ワイヤロープたわみ量を含めた竜巻防護ネット全体のたわみ量 δ_t が算定される。

4. 評価条件

4.1 荷重条件

設計飛来物による衝撃荷重の評価条件を表 4-1 に、風圧力による荷重の評価条件を表 4-2 に示す。

表 4-1 設計飛来物による衝撃荷重の評価条件

設計飛来物	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評価条件

C (-)	G (-)	ρ (kg/m ³)	V _D (m/s)
1.2	1.0	1.226	92

4.2 竜巻防護ネット仕様

(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 (J I S G 3 5 0 6)	—
ネット目合い寸法	—	40mm	電中研報告書
ネット 1 目合いの対角寸法	a	56.6mm	
ネット 1 目合いの破断変位	a _s	13.9mm	
ネット素線の直径	d'	4mm	
ネット 1 目合いの破断荷重	F ₁	17.2kN	
ネット 1 目合いの等価剛性	K	1239kN/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'	1400MPa	
破断時たわみ角	θ _{max}	36.6deg	
ネットの単位面積当たりの質量	m _N	5.7kg/m ²	メーカーの 標準的な値
ネットの充実率	φ	0.61 (5 枚* ¹) 0.44 (3 枚* ¹)	計算値* ²

注記*1：補助金網を含む。

$$*2: \phi = 1 - \left\{ \frac{(\text{ネット目合い寸法})^2}{(\text{ネット目合い寸法} + \text{ネット素線直径})^2} \right\}^n$$

(2) 竜巻防護ネット構成

海水ポンプエリア，原子炉建物外壁及び廃棄物処理建物外壁の竜巻防護ネットの構成を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 海水ポンプエリアの竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L_x	L_y^{*2}		
1	3.570	4.770	水平	2 枚 (1 枚) *1
2	3.520	4.770	水平	
3	3.420	4.770	水平	
4	2.395	4.770	水平	
5	3.870	4.770	水平	
6	2.395	4.770	水平	
7	2.295	4.770	水平	
8	2.295	4.770	水平	

注記*1：() 内は補助金網

*2：展開方向：展開直行方向のアスペクト比が 1：1 より小さいため， $L_y = L_x$ として評価する。

表 4-5(1) 原子炉建物外壁 (2RB-AG1, AG3, AG4) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L_x	L_y		
1	2.705	2.430	鉛直	4 枚 (1 枚) *
2	2.505	2.430	鉛直	
3	2.880	2.430	鉛直	
4	2.430	2.430	鉛直	
5	2.705	2.230	鉛直	
6	2.505	2.230	鉛直	
7	2.880	2.230	鉛直	
8	2.430	2.230	鉛直	

注記*：() 内は補助金網

表 4-5(2) 原子炉建物外壁 (2R B-A G2) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L _x	L _y		
1	2.580	2.430	鉛直	4枚
2	2.580	2.230	鉛直	(1枚)*

注記* : () 内は補助金網

表 4-5(3) 原子炉建物外壁 (2R B-A G5) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L _x	L _y		
1	3.330	2.180	鉛直	4枚
2	3.330	1.980	鉛直	(1枚)*

注記* : () 内は補助金網

表 4-5(4) 原子炉建物外壁 (2R B-3) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L _x	L _y		
1	2.430	2.080	鉛直	4枚 (1枚)*

注記* : () 内は補助金網

表 4-5(5) 原子炉建物外壁 (2R B-M4) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L _x	L _y		
1	2.580	1.990	鉛直	4枚 (1枚)*

注記* : () 内は補助金網

表 4-5(6) 原子炉建物外壁 (2RB-BOP2, BOP3) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L_x	L_y		
1	2.830	2.630	鉛直	4枚 (1枚)*
2	2.830	2.430	鉛直	
3	2.460	2.080	鉛直	
4	2.630	2.130	水平	2枚
5	2.430	2.130	水平	(1枚)*

注記* : () 内は補助金網

表 4-6 廃棄物処理建物外壁 (2RwB-AG1) の竜巻防護ネットの構成

No.	ネットサイズ (m)		設置方向	ネット枚数
	L_x	L_y		
1	2.480	2.130	鉛直	4枚 (1枚)*

注記* : () 内は補助金網

(3) ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を表 4-7 に示す。

表 4-7 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 F_2 (kN)	ワイヤグリップ効率 C_c
ワイヤロープ	7×7	$\phi 16$	165* ¹	0.8* ²

注記*1 : J I S G 3 5 4 9 の破断荷重

*2 : J I S B 2 8 0 9 及び (社) 日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

(4) 接続治具（支持部）

a. ターンバックル

ターンバックルの仕様を表 4-8 に示す。

表 4-8 ターンバックルの仕様

評価対象部位	規格値 F_3 (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	86.8*	130

注記*：J I S A 5 5 4 0 の保証荷重

b. シャックル

シャックルの仕様を表 4-9 に示す。

表 4-9 シャックルの仕様

評価対象部位	規格値 F_4 (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	78.4	156*

注記*：試験結果に基づくメーカー保証値

(5) 接続治具（固定部）

a. 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を表 4-10 に示す。

表 4-10 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	強度区分	ボルト本数 n_2
隅角部固定ボルト	M27	8.8	3

b. 取付けプレート

取付けプレートの評価条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 取付けプレートの評価条件

評価対象部位	取付けプレート 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	SS400	90	130	20	7

5. 強度評価結果

5.1 吸収エネルギー評価

竜巻による設計飛来物衝突時の吸収エネルギー評価結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、作用する全外力エネルギー E_t は、ネットの限界吸収エネルギー E_{max} を下回っている。

(1) 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-1 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	83.0	244.3
2	82.9	253.2
3	82.6	239.6
4	80.3	120.3
5	83.9	304.6
6	80.3	120.3
7	80.1	110.9
8	80.1	110.9

(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-2(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.1	247.3
2	176.9	226.4
3	177.3	264.0
4	176.8	222.9
5	177.0	207.7
6	176.8	190.2
7	177.2	221.7
8	176.7	187.2

表 5-2(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.0	235.2
2	176.8	197.5

表 5-2(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.8	279.9
2	177.6	253.9

表 5-2(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.6	194.4

表 5-2(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.7	177.1

表 5-2(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	177.4	282.6
2	177.3	260.5
3	176.6	194.6
4	79.1	106.0
5	78.9	98.6

(3) 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-3 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G1) の
吸収エネルギー評価結果

No.	E_t (kJ)	許容限界 (kJ)
1	176.7	181.0

5.2 破断評価

(1) ネット

竜巻による設計飛来物衝突時の破断評価結果を表 5-4～表 5-6 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、設計飛来物による衝撃荷重 $F_{a'}$ は、ネットの許容荷重を下回っている。

a. 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-4 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの
破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	276	688
2	282	
3	286	
4	330	
5	273	
6	330	
7	336	
8	336	

b. 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-5(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	630	1376
2	663	
3	603	
4	680	
5	600	
6	632	
7	575	
8	649	

表 5-5(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の
破断評価結果

No.	F _a ' (kN)	許容限界 (kN)
1	651	1376
2	620	

表 5-5(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の
破断評価結果

No.	F _a ' (kN)	許容限界 (kN)
1	531	1376
2	516	

表 5-5(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の
破断評価結果

No.	F _a ' (kN)	許容限界 (kN)
1	655	1376

表 5-5(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の
破断評価結果

No.	F _a ' (kN)	許容限界 (kN)
1	602	1376

表 5-5(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の
破断評価結果

No.	F _a ' (kN)	許容限界 (kN)
1	625	1376
2	611	
3	648	
4	286	688
5	303	

c. 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-6 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G1) の

破断評価結果

No.	$F_{a'}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	630	1376

(2) ワイヤロープ

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-7～表 5-9 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を下回っている。

a. 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-7 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	87	132
2	90	
3	90	
4	91	
5	90	
6	91	
7	91	
8	91	

b. 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-8(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	94	132
2	98	
3	92	
4	100	
5	87	
6	91	
7	85	
8	93	

表 5-8(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	97	132
2	89	

表 5-8(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	82	132
2	78	

表 5-8(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の

ワイヤロープ強度評価結果

No.	$T_{1''}$ (kN)	許容限界 (kN)
1	94	132

表 5-8(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の
ワイヤロープ強度評価結果

No.	T_1'' (kN)	許容限界 (kN)
1	85	132

表 5-8(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の
ワイヤロープ強度評価結果

No.	T_1'' (kN)	許容限界 (kN)
1	96	132
2	93	
3	93	
4	77	
5	80	

c. 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-9 廃棄物処理建物外壁竜巻防護ネット (2RwB-AG1) の
ワイヤロープ強度評価結果

No.	T_1'' (kN)	許容限界 (kN)
1	89	132

(3) 接続治具 (支持部)

a. ターンバックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-10 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。

表 5-10 ターンバックルの強度評価結果

評価対象部位	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	100	130

注記* : ワイヤロープの張力が最大である, 原子炉建物外壁竜巻防護ネット
(2RB-AG1, AG3, AG4) の T_1'' の値を示す。

b. シャックル

竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-11 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。

表 5-11 シャックルの強度評価結果

評価対象部位	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	100	156

注記*：ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット
(2RB-AG1, AG3, AG4) の T_1'' の値を示す。

(4) 接続治具 (固定部)

a. 隅角部固定ボルト

接続治具 (固定部) のうち，隅角部固定ボルトの竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-12 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。

表 5-12 隅角部固定ボルトの強度評価結果

評価対象部位	発生応力* (MPa)	許容限界 (MPa)
隅角部固定ボルト	117	323

注記*：ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット
(2RB-AG1, AG3, AG4) の値を示す。

b. 取付けプレート

取付けプレート溶接部の竜巻による設計飛来物衝突時の強度評価結果を表 5-13 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，取付けプレート溶接部の許容限界を下回っている。

表 5-13 取付けプレート溶接部の強度評価結果

評価対象部位	発生応力* (MPa)	許容限界 (MPa)
取付けプレート溶接部	101	135

注記* : ワイヤロープの張力が最大である，原子炉建物外壁竜巻防護ネット
(2RB-AG1, AG3, AG4) の値を示す。

5.3 たわみ評価

竜巻による設計飛来物衝突時のたわみ評価結果を表 5-14～表 5-16 に示す。

全ての竜巻防護ネットにおいて、設計飛来物の衝突による竜巻防護ネット全体のたわみ量 δ_t は、竜巻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) 海水ポンプエリア竜巻防護ネット

表 5-14 海水ポンプエリア竜巻防護ネットの
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.78	2.85
2	1.78	
3	1.79	
4	2.00	
5	1.71	
6	2.00	
7	2.02	
8	2.02	

(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット

表 5-15(1) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG1, AG3, AG4) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.11	1.51
2	1.06	
3	1.15	
4	1.03	
5	1.13	
6	1.08	
7	1.17	
8	1.05	

表 5-15(2) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG2) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.07	1.51
2	1.09	

表 5-15(3) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-AG5) の

たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.26	1.51
2	1.27	

表 5-15(4) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-3) の
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.04	1.51

表 5-15(5) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-M4) の
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.10	1.26

表 5-15(6) 原子炉建物外壁竜巻防護ネット (2RB-BOP2, BOP3) の
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.13	3.11
2	1.14	
3	1.05	3.16
4	1.05	2.69
5	1.00	

(3) 廃物処理建物外壁竜巻防護ネット

表 5-16 廃物処理建物外壁竜巻防護ネット (2R w B-A G 1) の
たわみ評価結果

No.	最大たわみ量 δ_t (m)	最小離隔距離 L_{min} (m)
1	1.07	1.51