

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 37
提出年月日	平成 30 年 8 月 10 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 主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 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の  
強度計算書

## 目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	22
2.4 適用規格.....	24
3. 強度評価方法.....	25
3.1 記号の定義.....	25
3.2 評価対象部位.....	28
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	29
3.4 許容限界.....	32
3.5 評価方法.....	34
4. 評価条件.....	61
4.1 貫通評価.....	75
4.2 裏面剥離評価.....	77
4.3 変形評価.....	79
5. 強度評価結果.....	92
5.1 貫通評価.....	92
5.2 裏面剥離評価.....	93
5.3 変形評価.....	94

## 1. 概要

本資料は、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」に示すとおり、竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建屋、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所（以下「建屋」という。）及び軽油貯蔵タンクタンク室（以下「構造物」という。）が、設置（変更）許可申請において示す設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え、風圧力及び気圧差に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、内包する竜巻より防護すべき施設に飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

また、可搬型重大事故等対処設備の運搬時に使用するアクセスルートの近傍に設置されている廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備についても、竜巻時において、アクセスルートの通行性に影響を与えないことを確認する。

## 2. 基本方針

建屋及び構造物について、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、建屋及び構造物の「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

建屋及び構造物の配置図を図2-1に示す。

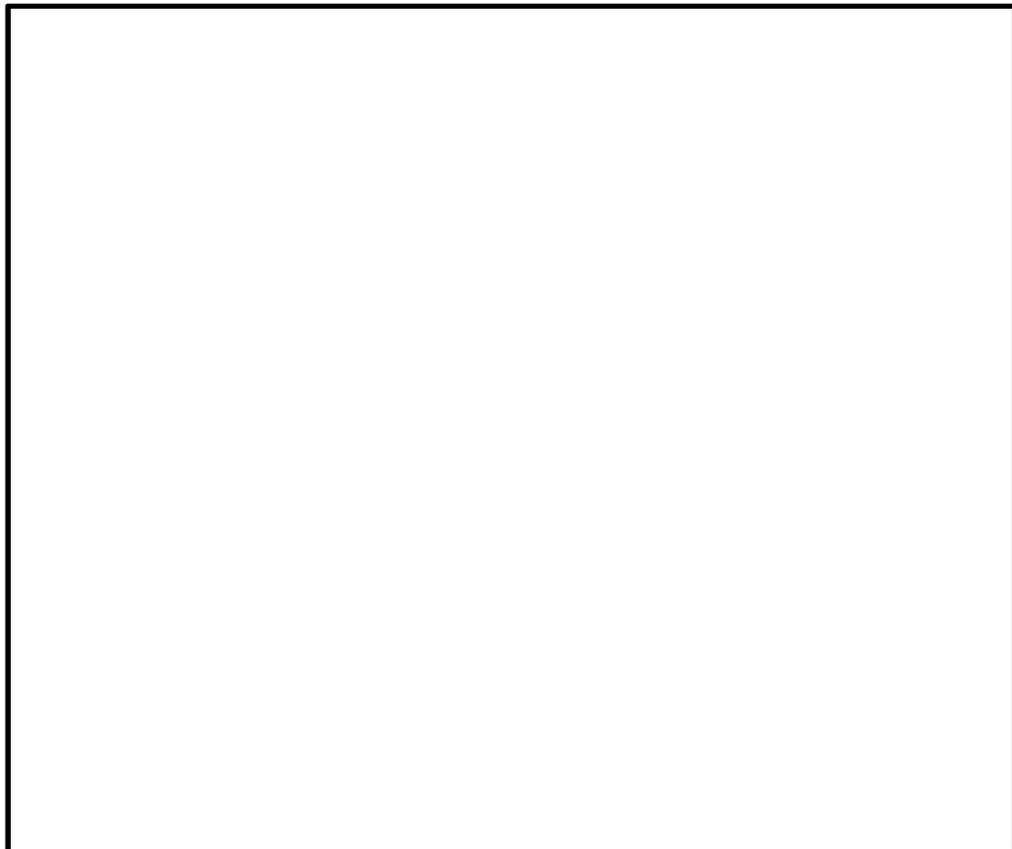


図 2-1 建屋及び構造物の配置図

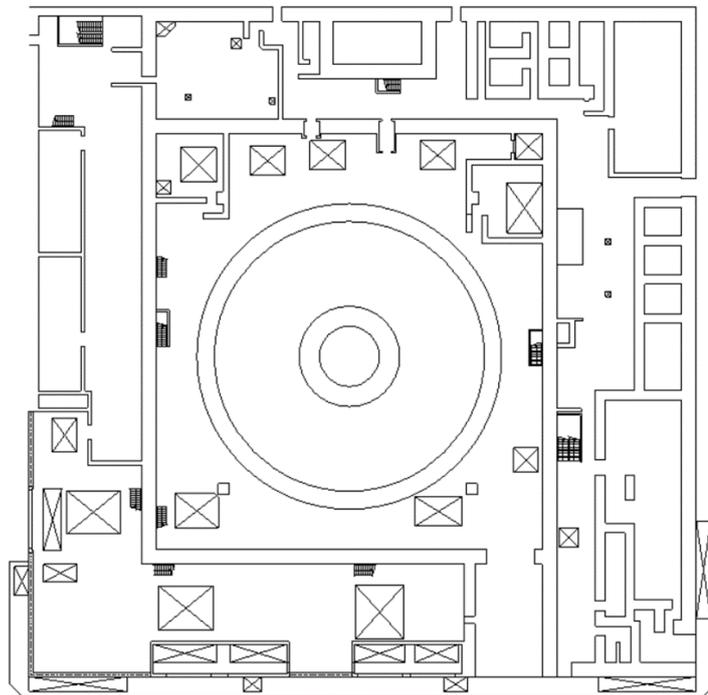
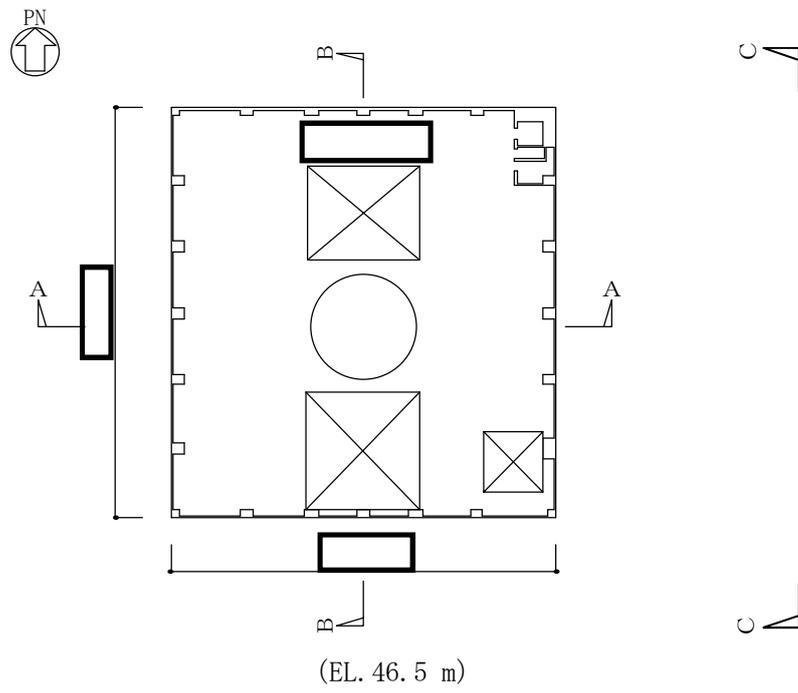
## 2.2 構造概要

建屋及び構造物は、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」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、一部鉄骨造を有する構造である。また、原子炉建屋には、外殻を構成する部材として扉が設置されている。

軽油貯蔵タンクタンク室は、地中に埋設された構造物であり、地上部に露出する頂版を含めた外殻の躯体は鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。

建屋及び構造物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-20 に示す。



(EL. 8.2 m)

図2-2  の概略平面図

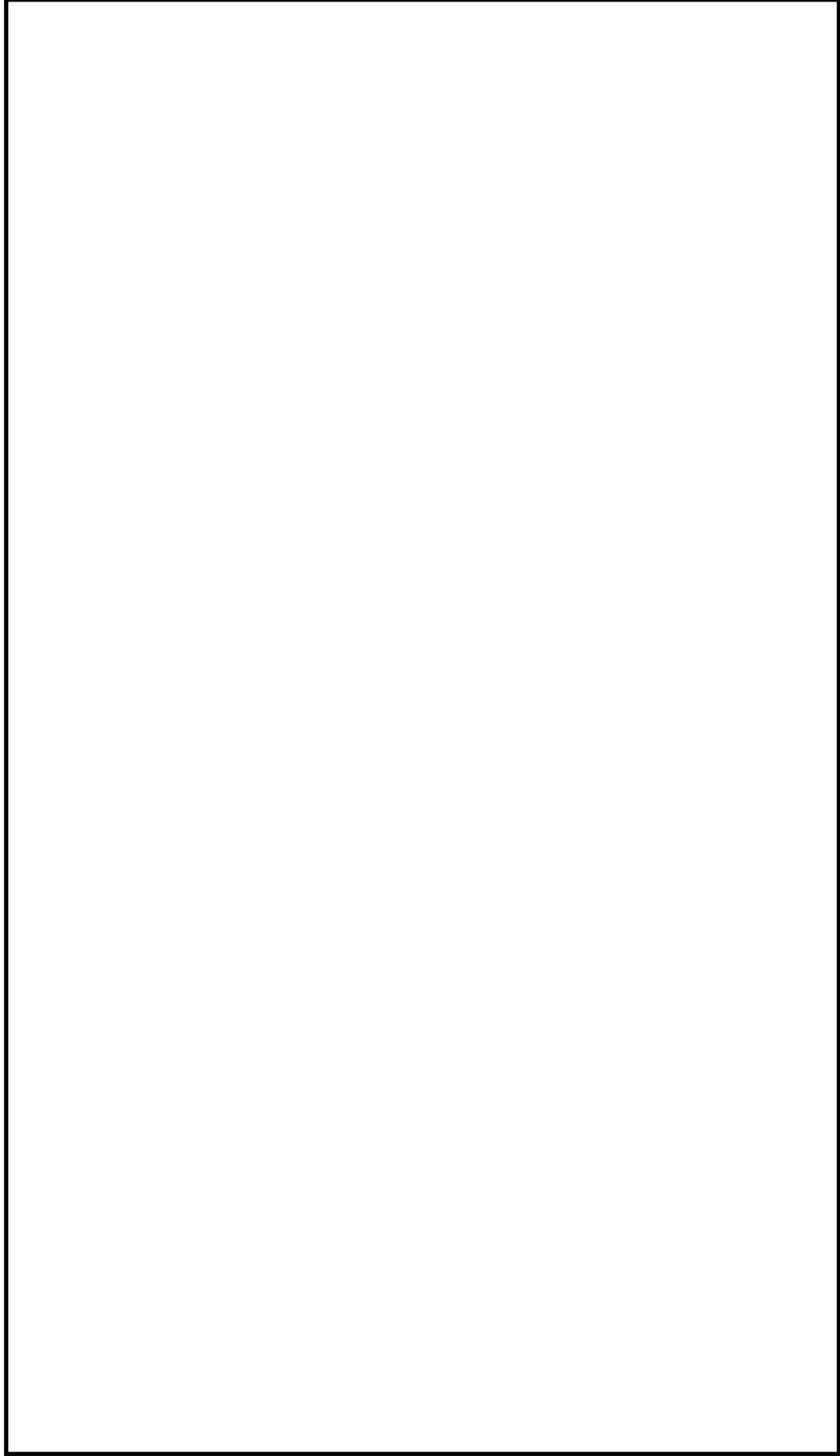
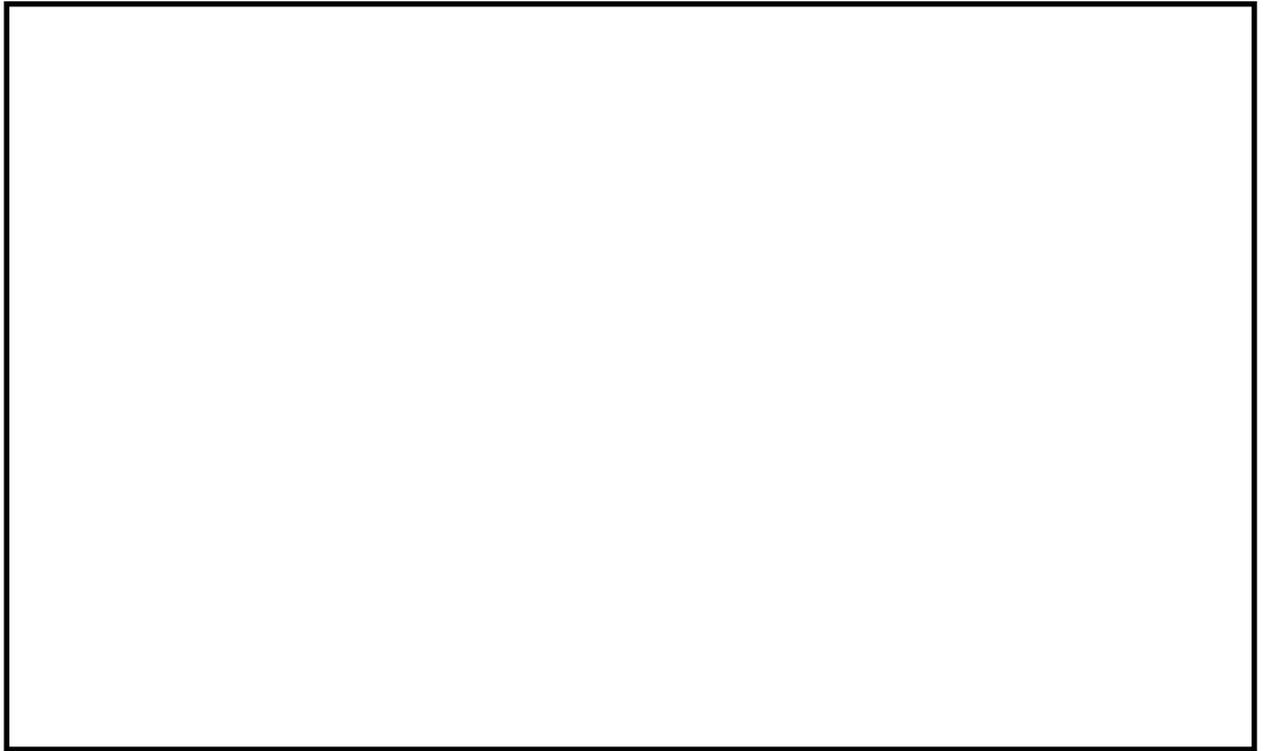


図 2-3 原子炉建屋の概略断面図(1/2)



(立面図：東側)

図 2-3 原子炉建屋の概略断面図(2/2：鉄骨構造部)

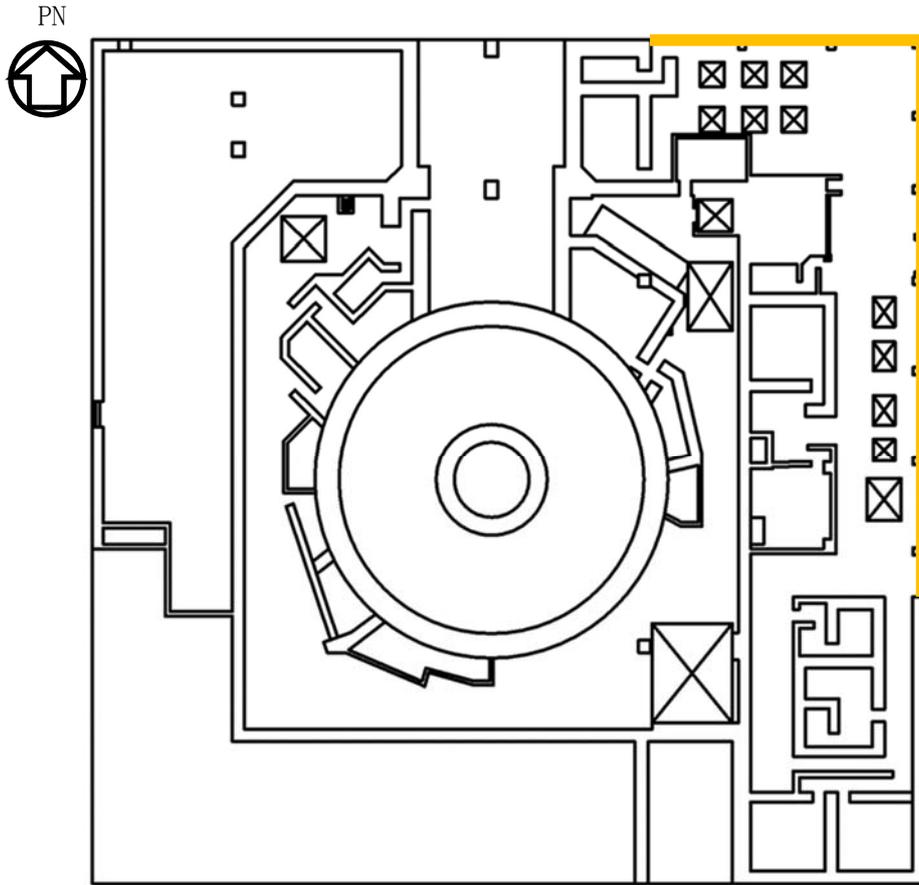


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (1/3 : EL. 14.0m)

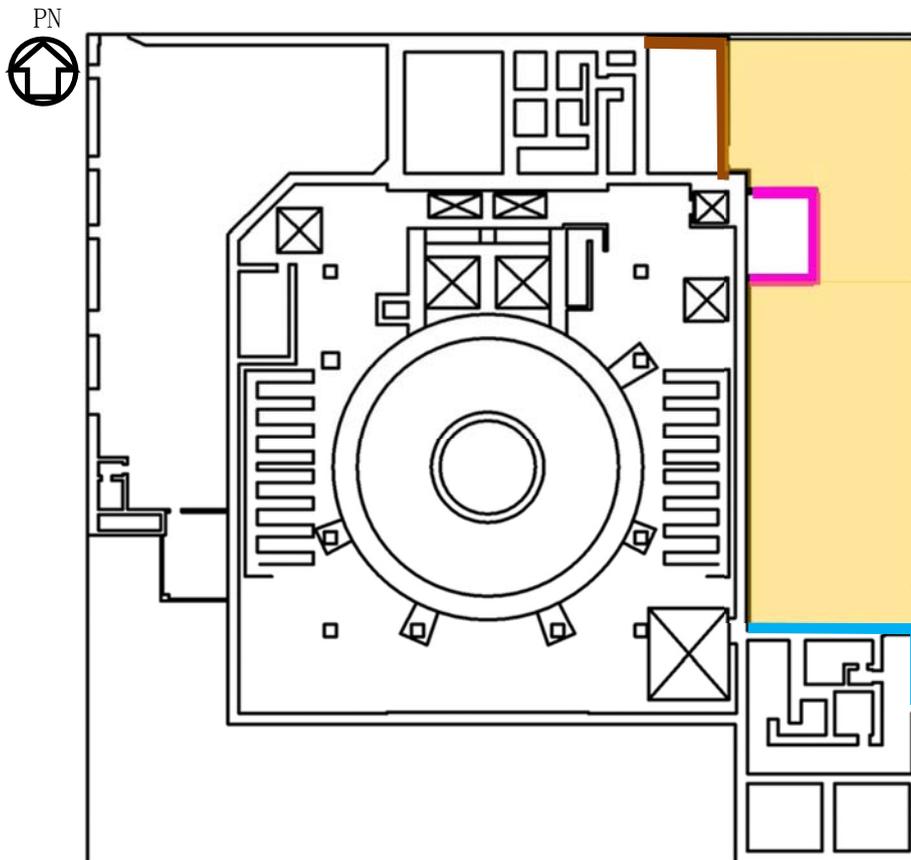


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (2/3 : EL. 23.0m)

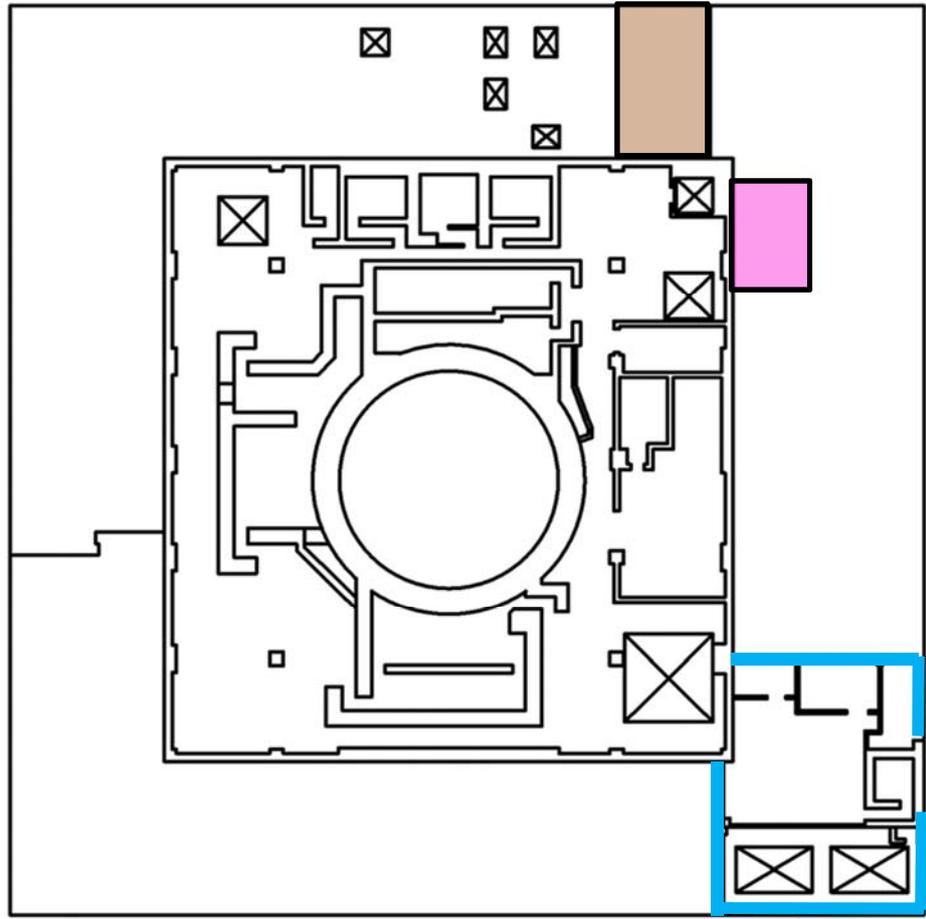


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (3/3 : EL. 30.0m)

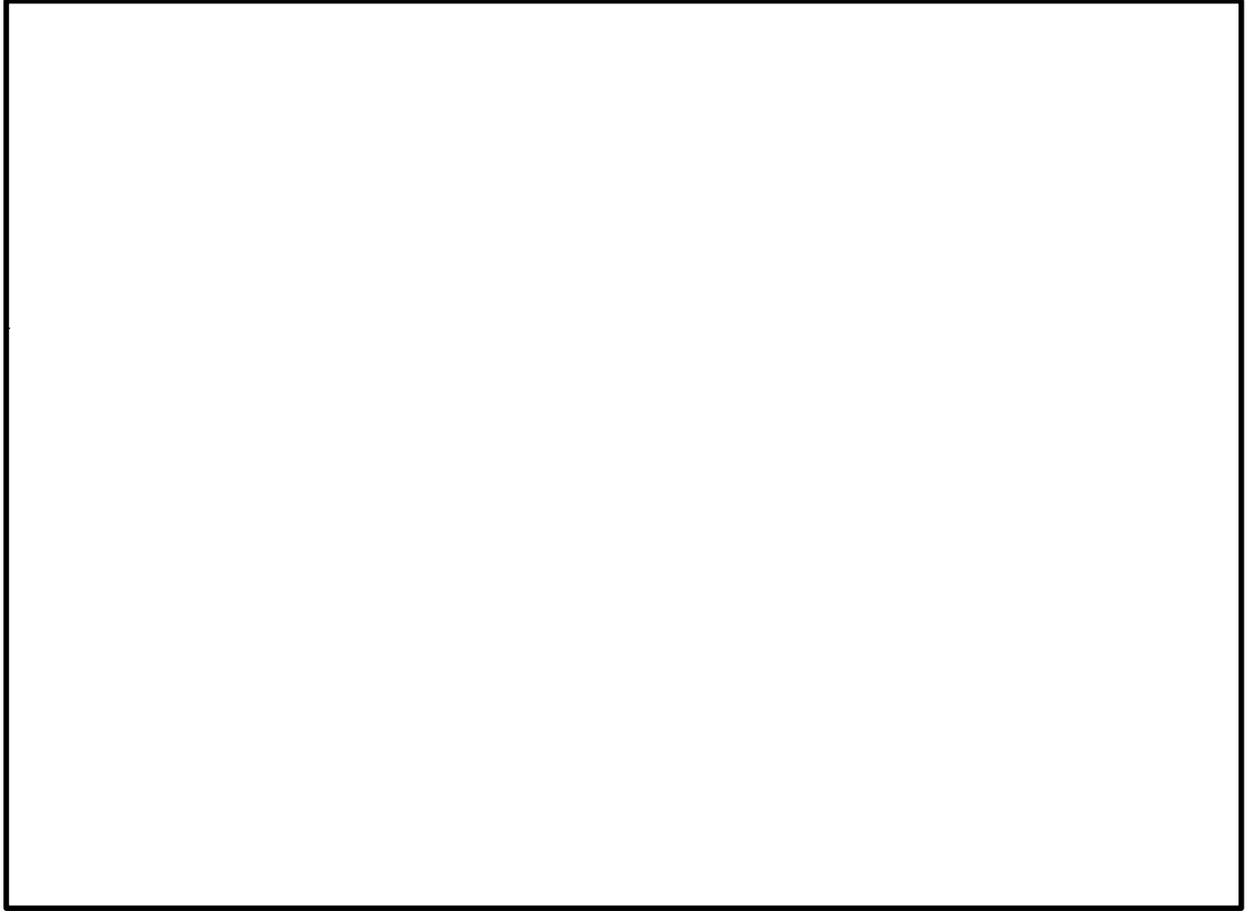


図2-5 外殻となる扉の位置図（立面図：東側）

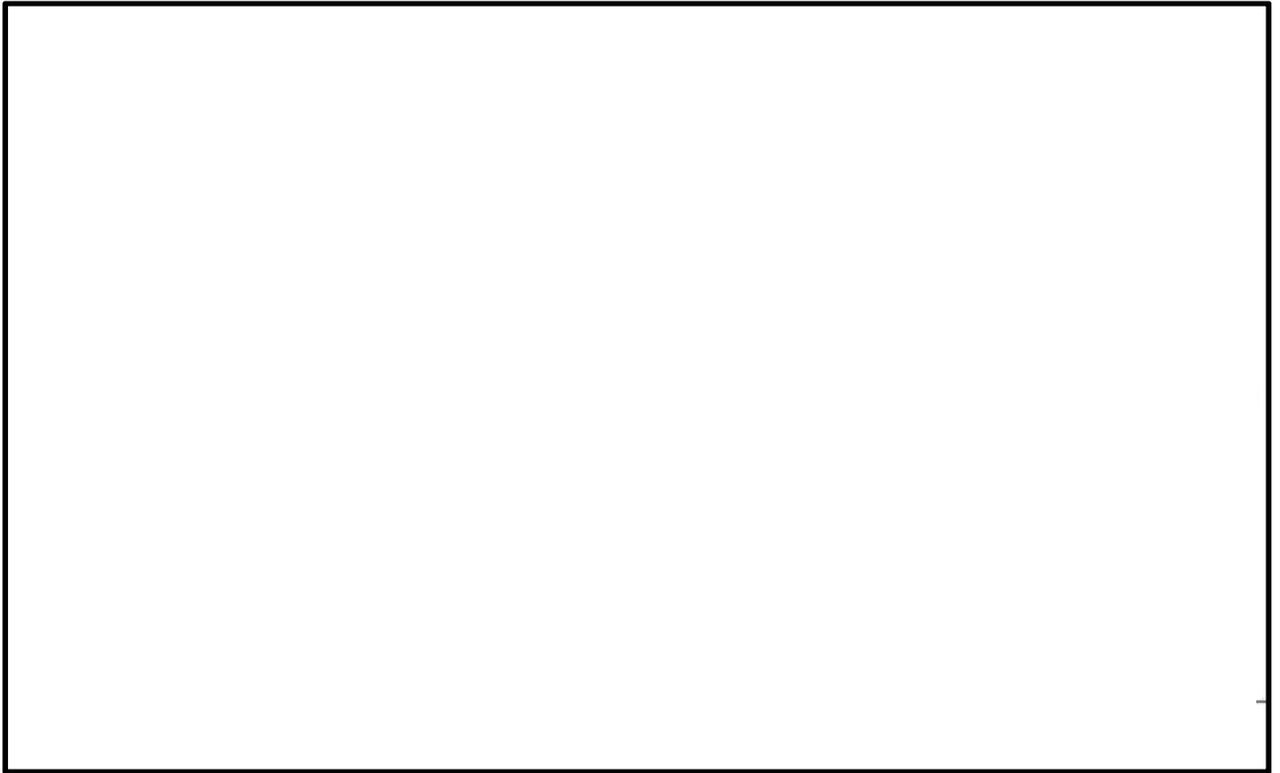


図2-6 外殻となる扉の位置図（立面図：西側）

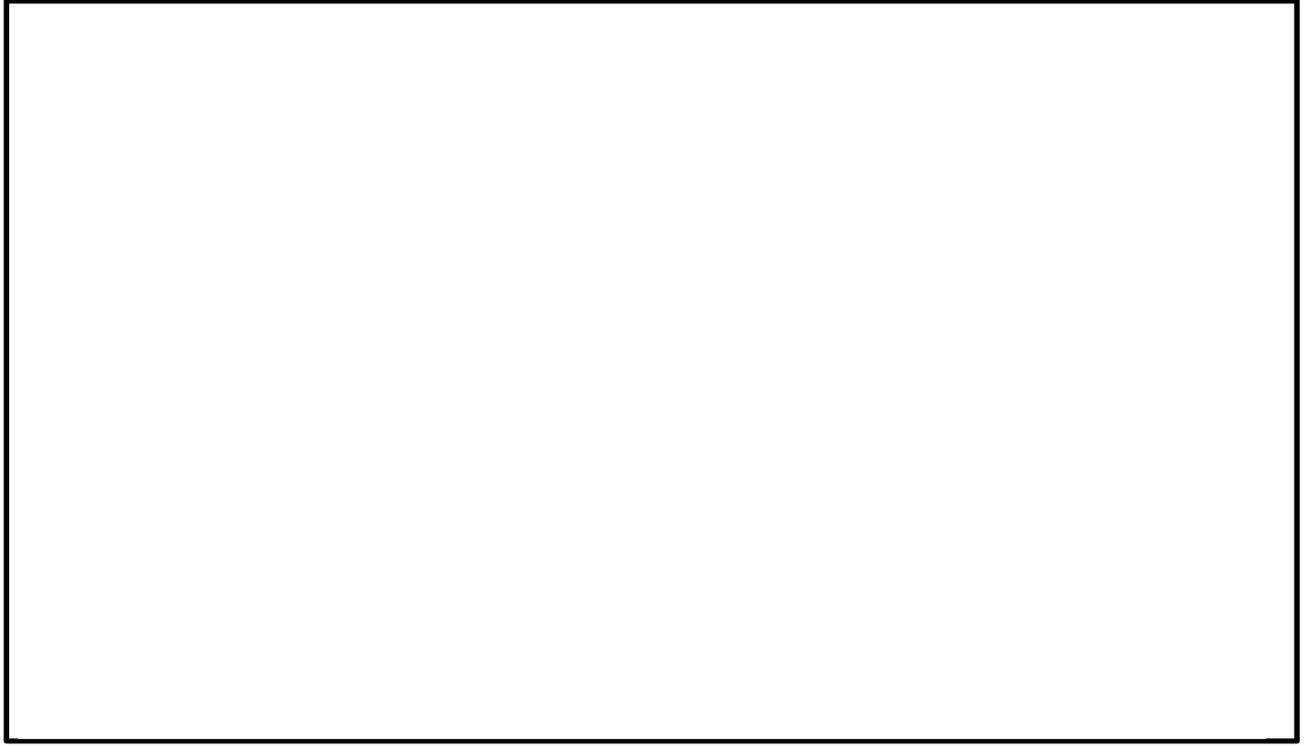


図2-7 外殻となる扉の位置図（立面図：南側）

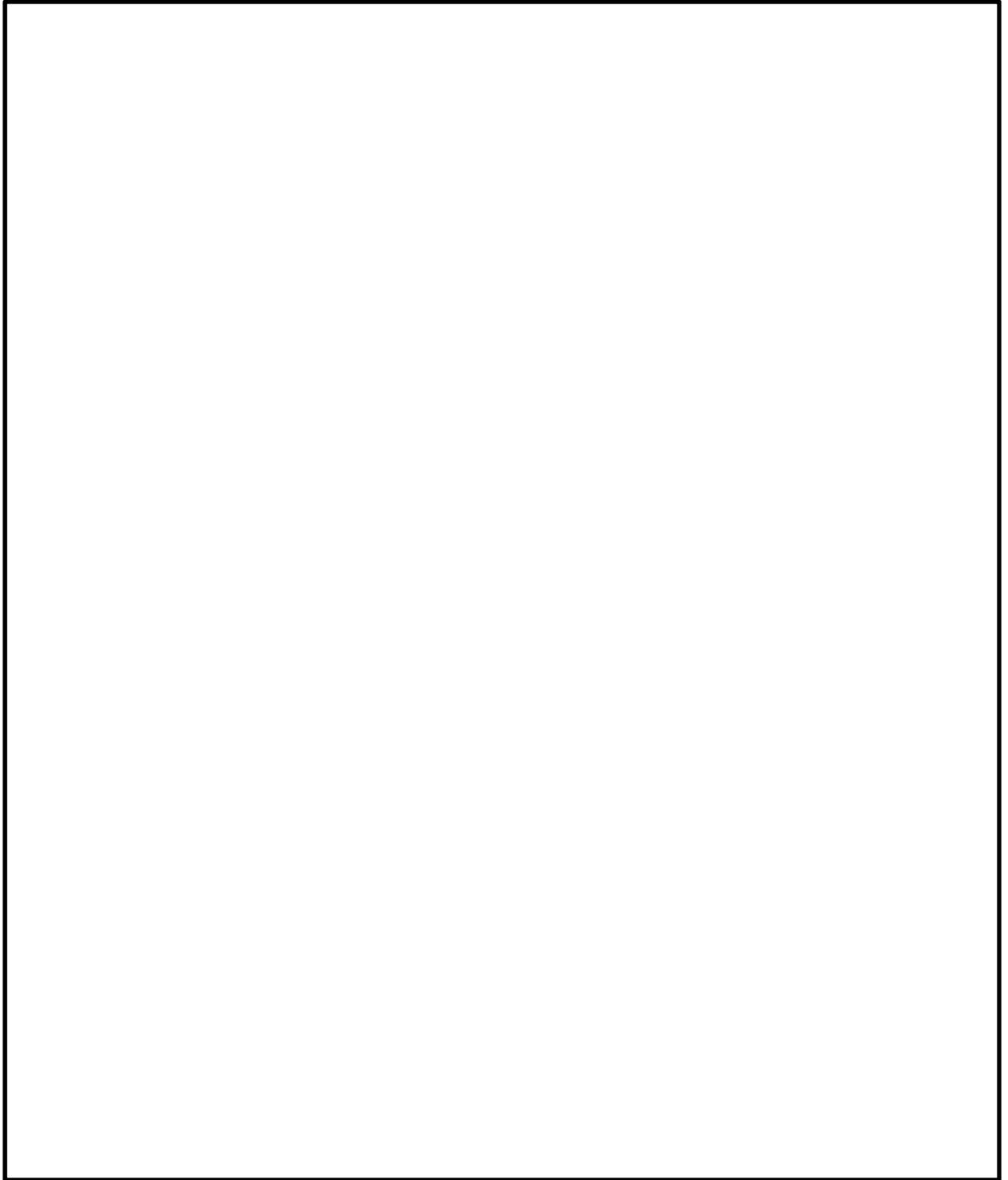


図2-8 原子炉建屋の外殻となる扉の位置図 (EL. 8.2m)

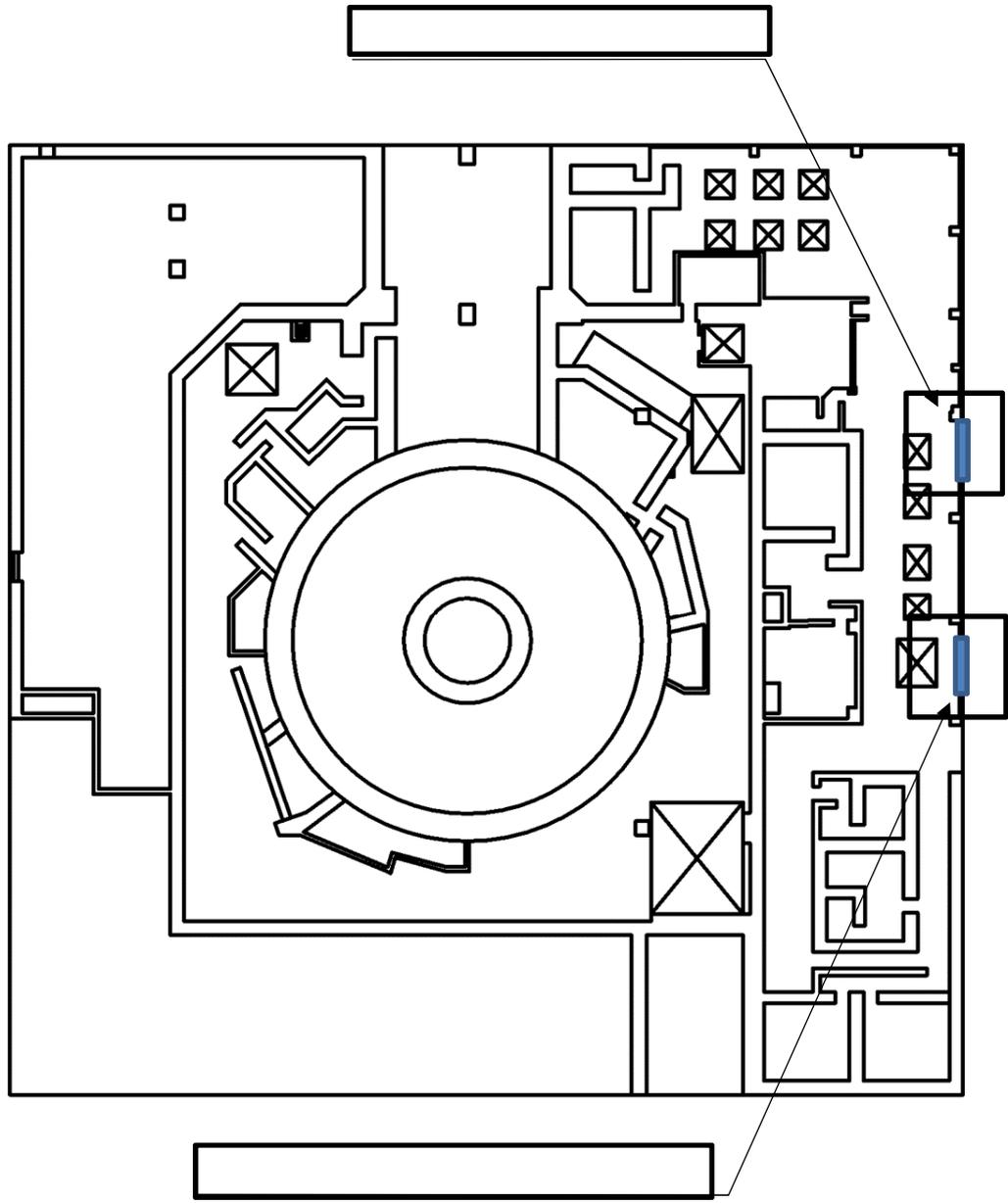


図2-9 [redacted] の位置図 (EL. 14.0m)

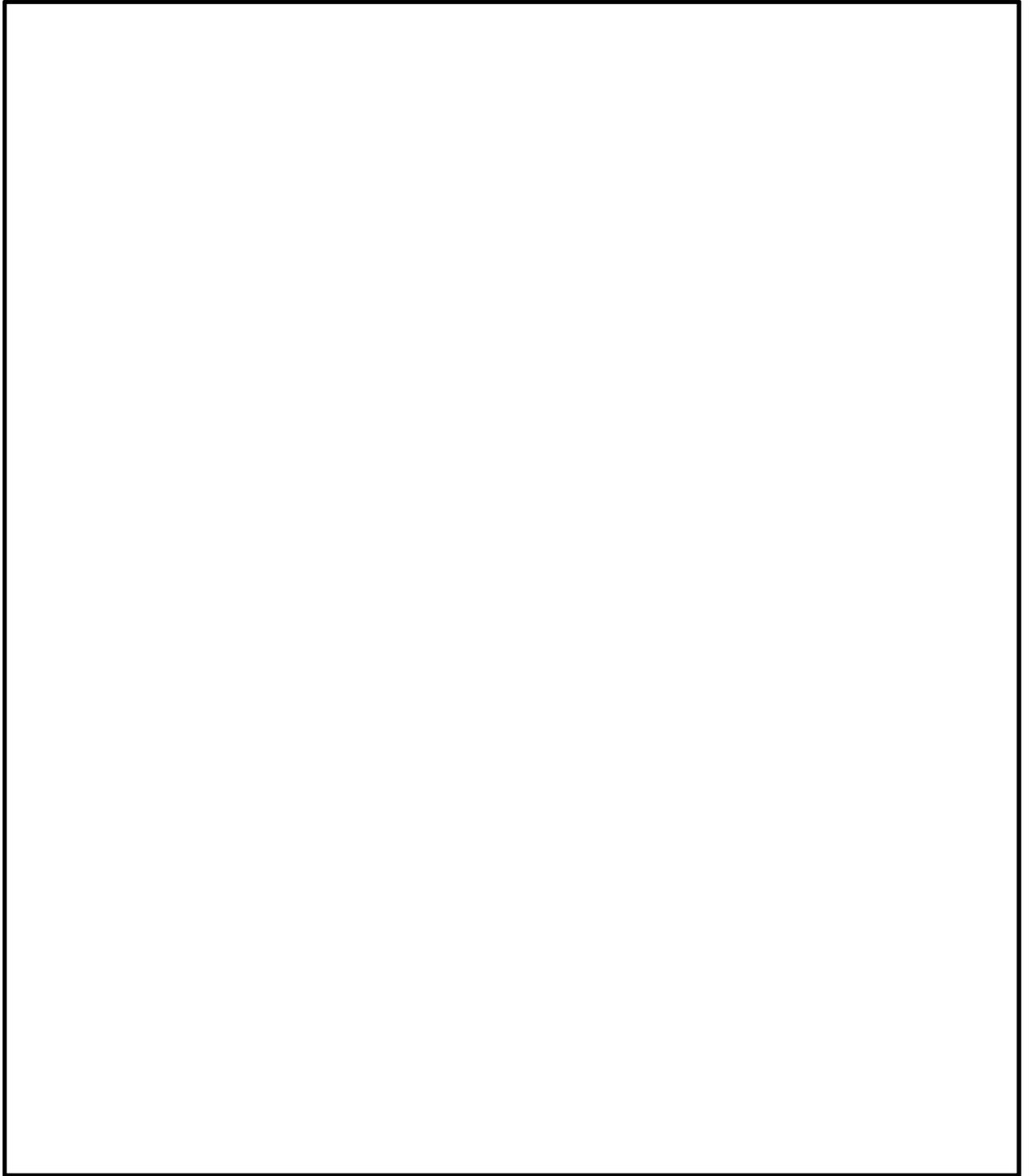


図2-10 原子炉建屋外殻となる扉の位置図 (EL. 20.3m, EL. 23.0m)

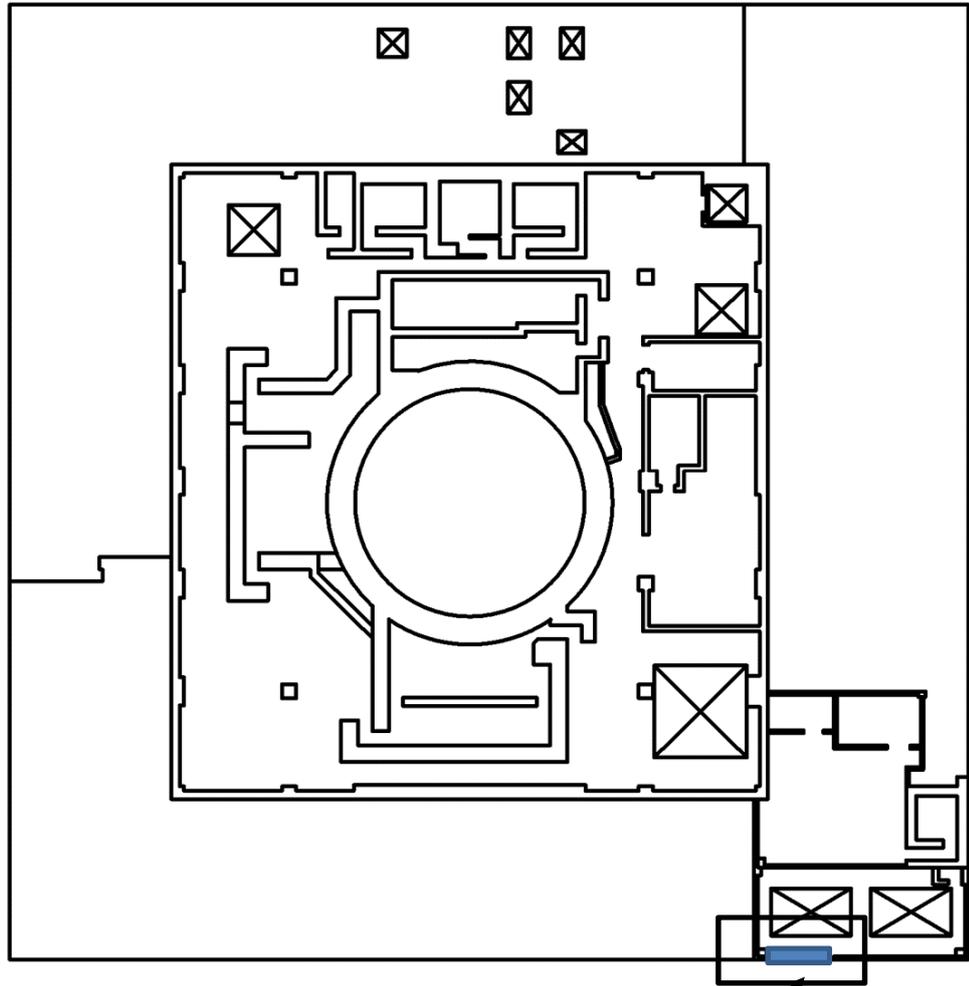


図2-11 [redacted] の位置図 (EL. 29.0m)

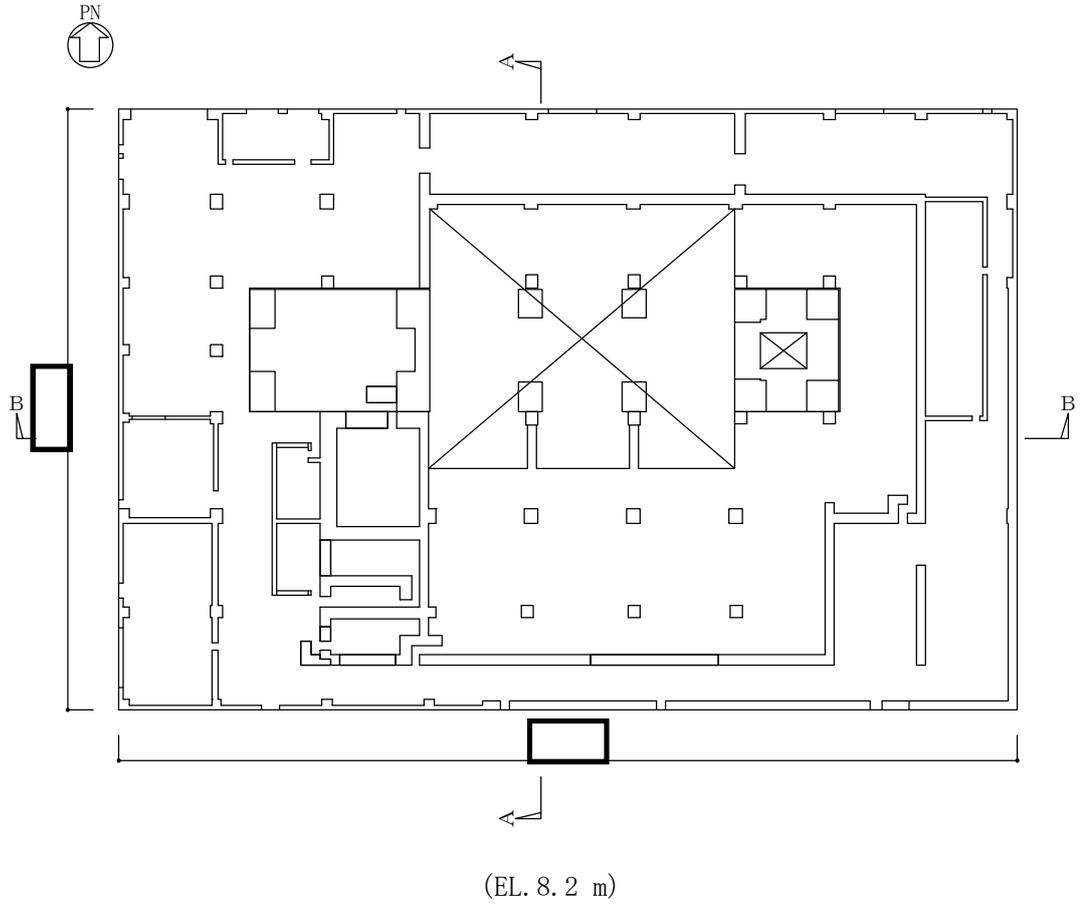


図 2-12  概略平面図

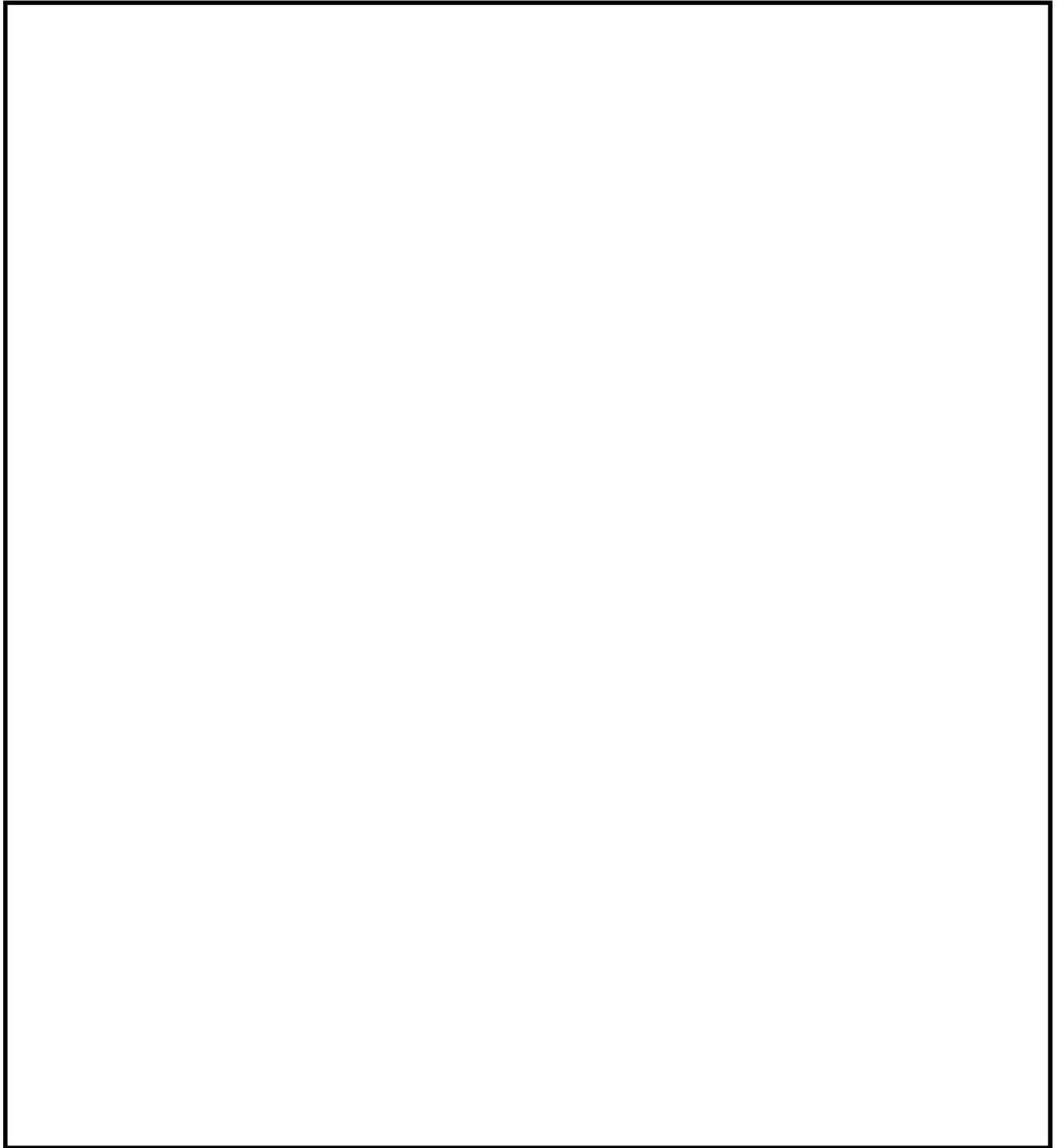


図 2-13 タービン建屋の概略断面図

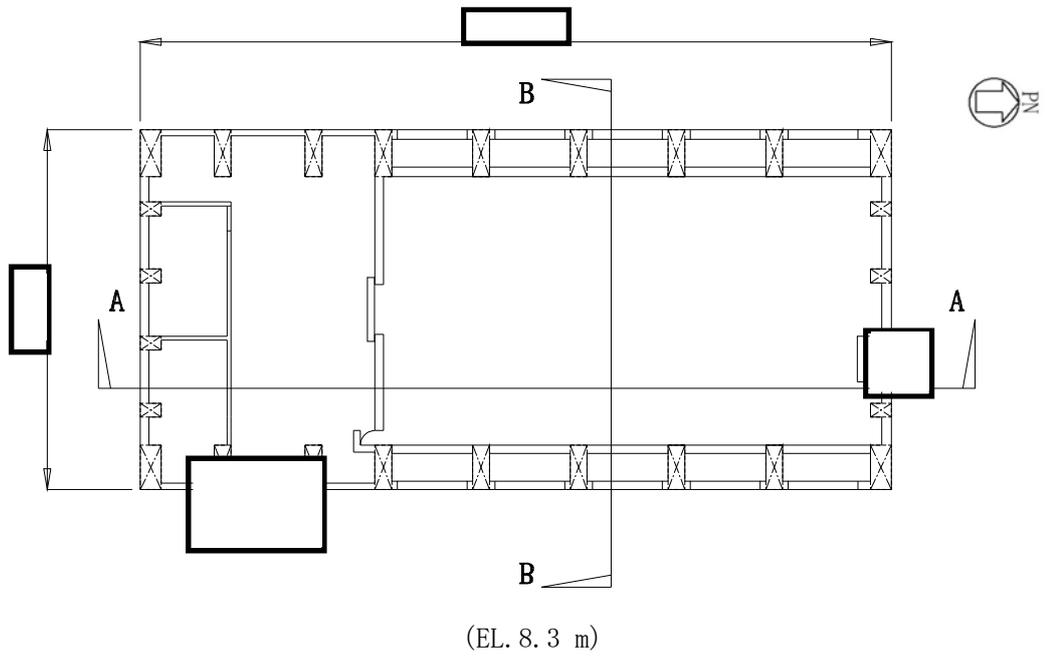


図 2-14  の概略平面図



図 2-15 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図

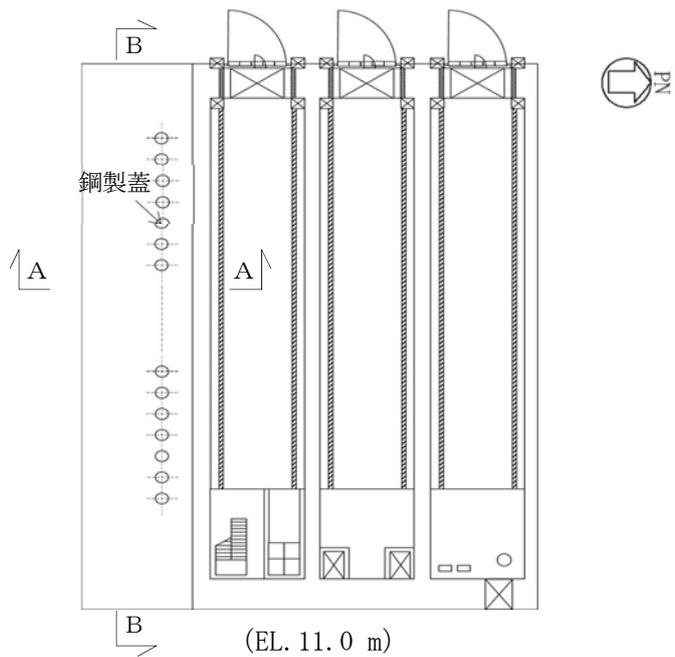


図2-16 軽油貯蔵タンクタンク室の概略平面図

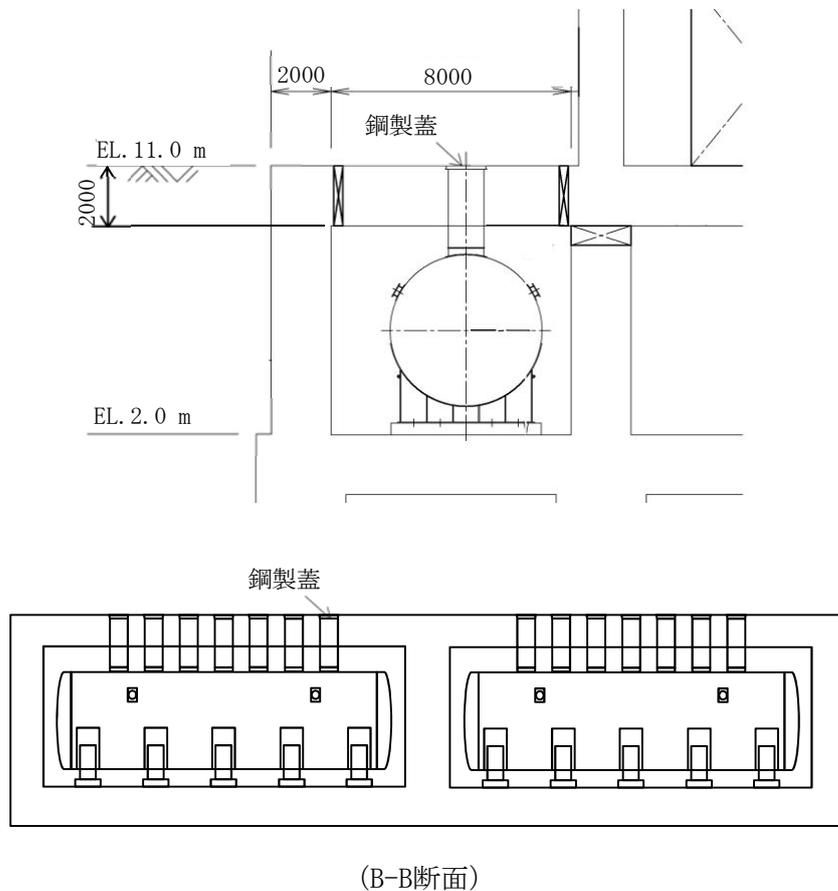
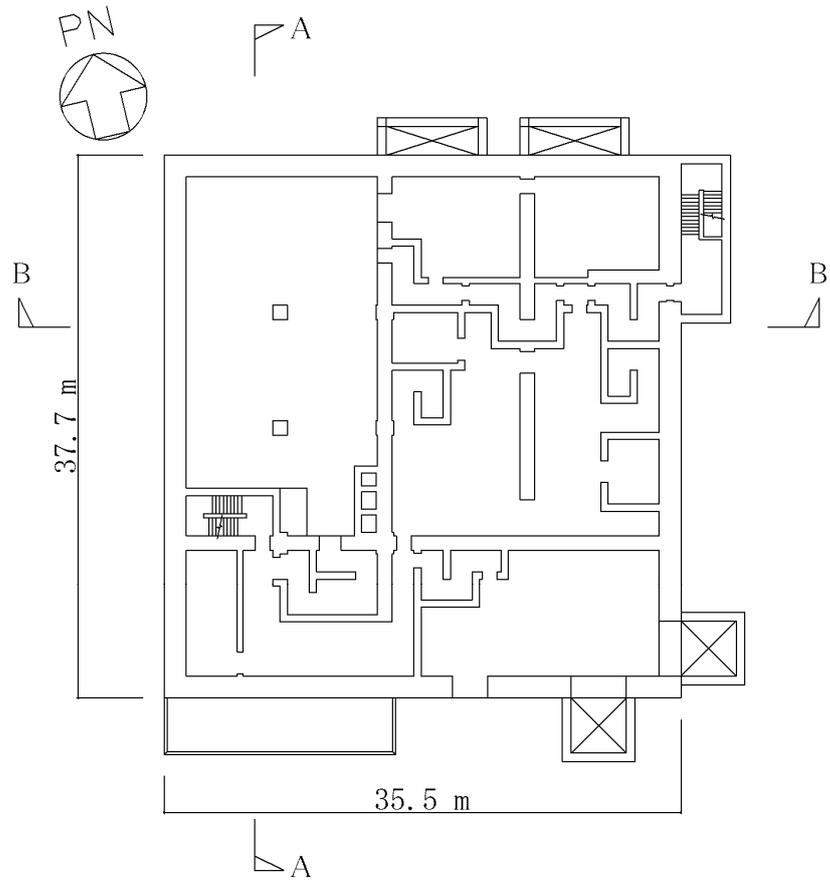
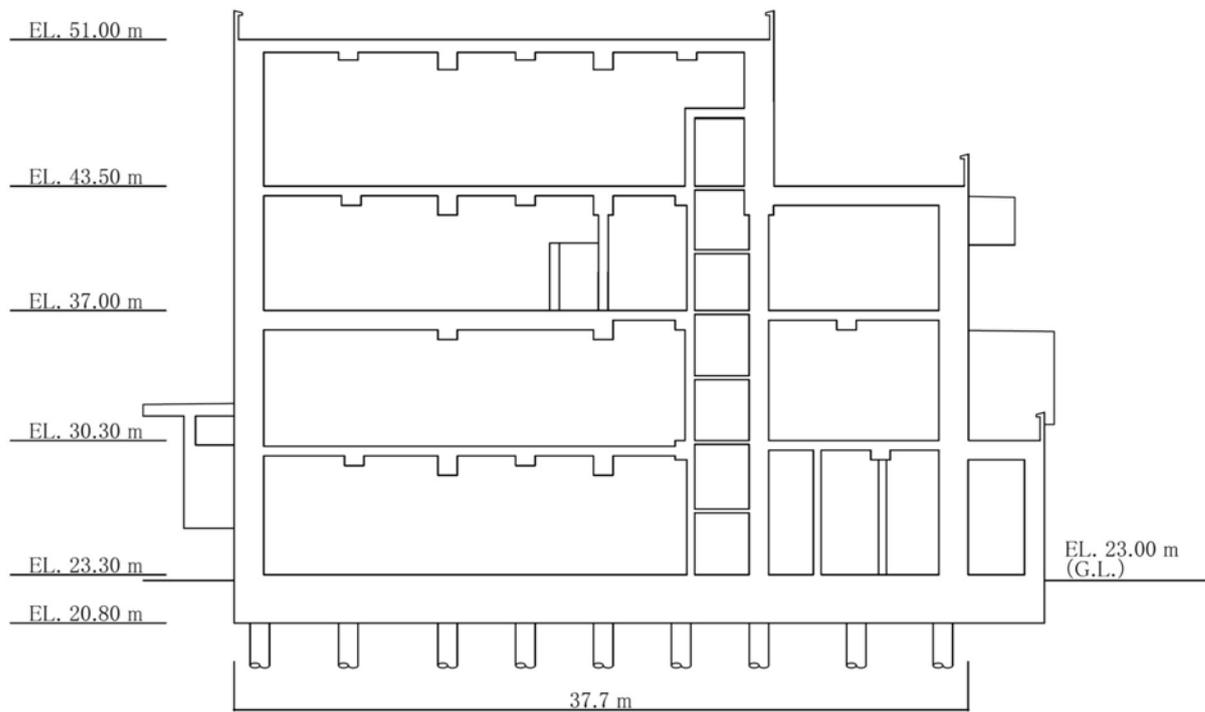


図2-17 軽油貯蔵タンクタンク室の概略断面図

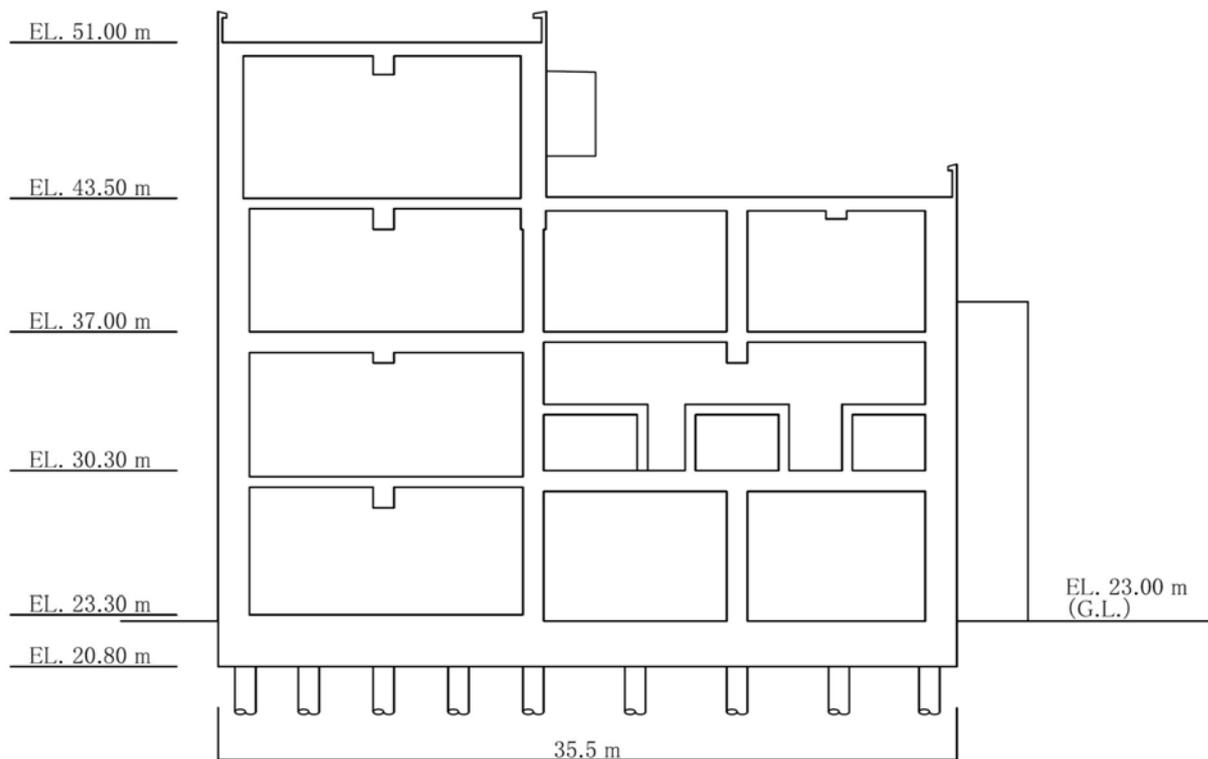


(2階平面図 : EL. 30.3 m)

図2-18 緊急時対策所の概略平面図



(NS方向, A-A断面)



(EW方向, B-B断面)

図2-19 緊急時対策所の概略断面図



図2-20 廃棄物処理建屋の概略平面図

## 2.3 評価方針

建屋及び構造物の強度評価は、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」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「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。

建屋及び構造物の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻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、飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材に対する「衝突評価」を行う。また飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突・接触する波及的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響並びに建屋及び構造物の外殻を構成する部材の転倒・脱落の影響に対する「構造強度評価」を行う。

### 2.3.1 貫通評価

飛来物が建屋及び構造物の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、飛来物による衝撃荷重に対し、防護すべき施設の外殻を構成する部材が設計飛来物の貫通を生じないことを計算若しくは解析により確認する。

具体的には、防護すべき施設の外殻となる区画の屋根、外壁及び内壁並びに開口部建具並びに構造物の地上露出部が、設計飛来物の貫通を生じない厚さを有していることを、計算により確認する。貫通を生じない厚さを有していることの確認が出来ない場合においては、これらに終局状態に至るようなひずみを生じないことを、解析により確認する。

### 2.3.2 構造強度評価

飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、防護すべき施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、これらについて、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じないことを計算により確認する。

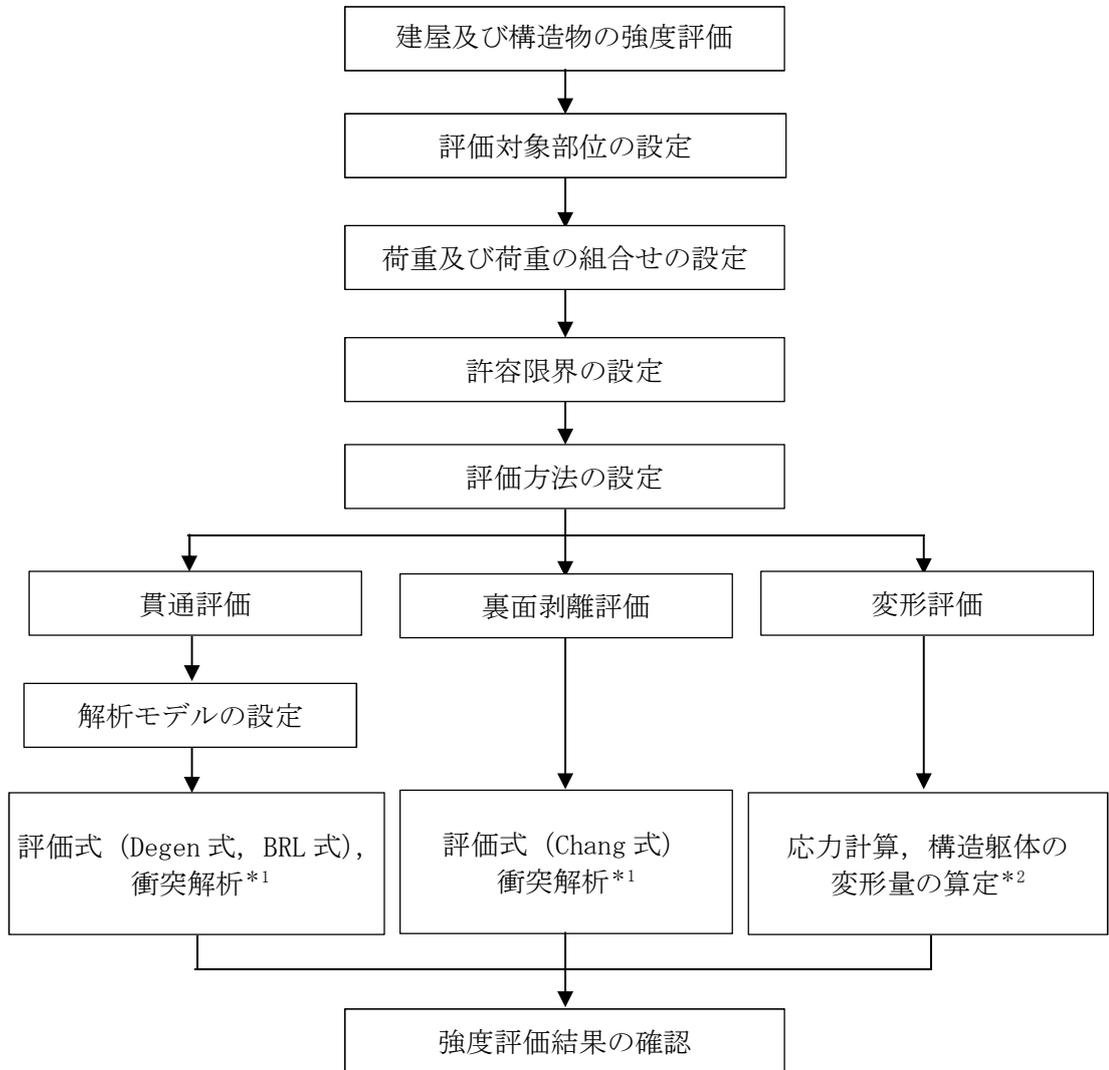
（以下「裏面剥離評価」という。）

具体的には、RC造の建屋及び構造物について、飛来物による衝撃荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、外殻となる屋根スラブ、外壁及び内壁並びに構造物の鉄筋コンクリートが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

外殻を構成する部材で、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることの確認ができない場合は、裏面剥離の影響を受ける外部事象防護対象施設が当該部位の近傍にないことを確認するか、裏面剥離が生じない構造であることを解析により確認する。

また、外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計荷重に対し、外殻となる屋根スラブ、屋根スラブのスタッドボルト、外壁及び内壁に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないこと、鉄骨架構に終局状態に至るような変形が生

しないことを計算及び解析により確認する。(以下「変形評価」という。)  
 建屋及び構造物の設計荷重作用時の強度評価フローを図2-19に示す。



注記 \*1 : 3次元FEMモデルを用いた動的評価を実施する。  
 \*2 : 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図2-21 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・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）
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P(NEI07-13)) (以下「NEI07-13」という。)
- ・建築基準法及び同施行令
- ・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）（以下「RC規準」という。)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（（社）日本電気協会）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（（社）日本電気協会）
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007」（社）日本機械学会
- ・日本工業規格（JIS）
- ・「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010改定）（以下「各種合成構造指針」という。)

## 3. 強度評価方法

## 3.1 記号の定義

建屋及び構造物の評価に用いる記号を表3-1～表3-5に示す。

表 3-1 貫通評価に用いる記号 (Degen 式)

記号	単位	定義	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	飛来物直径密度 $D = W / d^3$	
d	cm	飛来物の (等価) 直径	
e	cm	貫通限界厚さ (コンクリート)	
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	飛来物の衝突速度 (鉛直)
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
$\alpha_e$	—	低減係数	

表 3-2 貫通評価に用いる記号 (BRL 式)

記号	単位	定義
d	cm	飛来物の (等価) 直径
k	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ (鋼製部材)
V	m/s	飛来物の衝突速度 (鉛直)

表 3-3 裏面剥離評価に用いる記号 (Chang 式)

記号	単位	定義	
d	cm	飛来物の (等価) 直径	
f <sub>c</sub> '	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	飛来物の衝突速度 (鉛直)
V <sub>0</sub>	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	飛来物重量	
$\alpha_s$	—	低減係数	

表 3-4 変形評価に用いる記号 (扉)

記号	単位	定義
$A_k$	$\text{mm}^2$	カンヌキ断面積
$A_p$	$\text{mm}^2$	カンヌキ受けピン断面積
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルト断面積
$A_d$	$\text{m}^2$	扉の受圧面積
$L_k$	$\text{mm}$	カンヌキ支持間距離
$L_p$	$\text{mm}$	カンヌキ受けピン支持間距離
$M_1$	$\text{kN/mm}$	カンヌキバーに生じる曲げモーメント
$M_k$	$\text{kN/mm}$	カンヌキに生じる曲げモーメント
$M_p$	$\text{kN/mm}$	カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント
$n$	本	ボルト本数
$n_h$	箇所	ヒンジ部箇所数
$n_k$	箇所	カンヌキ部箇所数
$Q_k$	$\text{kN}$	カンヌキに生じるせん断力
$Q_p$	$\text{kN}$	カンヌキ受けピンに生じるせん断力
$R$	$\text{kN}$	気圧差による荷重により荷重負担部に発生する反力
$T$	$\text{kN}$	引張力
$W_p$	$\text{kN}$	気圧差による荷重
$Z_1$	$\text{mm}^3$	カンヌキバーの断面係数
$Z_k$	$\text{mm}^3$	カンヌキの断面係数
$Z_p$	$\text{mm}^3$	カンヌキ受けピンの断面係数
$\Delta P$	$\text{N/m}^2$	単位面積当たりの最大気圧低下量
$\sigma_b$	$\text{N/mm}^2$	曲げ応力度
$\sigma_t$	$\text{N/mm}^2$	引張応力度
$\sigma_x$	$\text{N/mm}^2$	組合せ応力度
$\tau$	$\text{N/mm}^2$	せん断応力度

表3-5 変形評価に用いる記号（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）

記号	単位	記号の説明
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
$\Delta P$	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
A <sub>c</sub>	mm <sup>2</sup>	コーン状破壊面の有効投影面積
A <sub>0</sub>	mm <sup>2</sup>	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積
s c a	mm <sup>2</sup>	頭付きアンカーボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小さな方の値
b	mm	部材幅
d'	mm	部材の有効せい
L	mm	屋根スラブの支持スパン
p	mm	頭付きアンカーボルトの間隔
D	mm	頭付きアンカーボルト頭部の直径
d	mm	頭付きアンカーボルト軸部の直径
F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度
f <sub>n</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度
f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの許容せん断応力度
f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の許容引張応力度
a <sub>t</sub>	mm <sup>2</sup>	引張鉄筋断面積
j	mm	応力中心間距離（ $j = (7/8) \cdot d'$ ）
l <sub>c e</sub>	mm	頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ（ $l_{c e} = l_e$ ）
l <sub>e</sub>	mm	頭付きアンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ
c $\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
s $\sigma_{p a}$	N/mm <sup>2</sup>	頭付きアンカーボルトの引張強度
s $\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度
$\phi_1$	—	低減係数
$\phi_2$	—	低減係数
$\omega_d$	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T1}$	kN/m	評価に用いる竜巻の荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	評価に用いる竜巻の荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重

### 3.2 評価対象部位

建屋及び構造物の評価対象部位は、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて設定する。

#### 3.2.1 貫通評価

##### (1) 建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において、建屋については、屋根スラブ及び外壁並びに防護すべき施設の外殻となる建屋内の部位のうちタービン建屋のオペレーティングフロア床版及び気体廃棄物処理系隔離弁設置エリアの壁面並びに開口部建具のうち原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸含む）及び内側扉）、原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉、原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉、原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉、原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸含む）を評価対象部位として設定する。

また、重大事故対処施設の環境条件維持に関与する扉（原子炉建屋付属棟1階東側水密扉、原子炉建屋付属棟1階南側水密扉、原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉、原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉）についても、評価対象部位として選定する。

##### (2) 構造物

外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において、軽油貯蔵タンクタンク室については、鋼製蓋及び鉄筋コンクリート造の頂版を評価対象部位として選定する。

#### 3.2.2 裏面剥離評価

##### (1) RC造建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において、建屋については、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁並びに建屋内の部位のうちタービン建屋のオペレーティングフロア床版及び気体廃棄物処理系隔離弁設置エリアの壁面を評価対象部位として設定する。

##### (2) 構造物

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において、軽油貯蔵タンクタンク室については、鉄筋コンクリート造の頂版を評価対象部位として選定する。

### 3.2.3 変形評価

#### (1) 建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が外部事象防護対象施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、建屋については、設計荷重が外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、耐震壁を介して直接岩盤に支持する基礎版へ伝達されるため、設計荷重が直接作用する、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁のうち、屋根スラブについては、代表として部材厚が最も薄い原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブを、並びに外壁については原子炉建屋（RC造部及び鉄骨造部）、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋を評価対象部位として設定する。

また、アクセスルートの通行性に影響を与える変形に至らないことの確認において、廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）を評価対象部位として設定する。

#### (2) 構造物

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が竜巻により防護すべき施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、軽油貯蔵タンク室については、地中に埋設され竜巻の風荷重を受け難い構造であることから、評価は不要とする。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組み合わせは、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」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### 3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### (1) 風圧力による荷重 ( $W_W$ )

風圧力による荷重 $W_W$ は、下式により算定する。

風力係数 $C$ は、「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

##### (2) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重 $W_P$ については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

##### (3) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は、表3-6に示す飛来物の衝突に伴う荷重とするが、この荷重は瞬間的に作用するものであり、またこれら飛来物に対し質量が十分に大きな建物及び構造物が評価の対象であるため、これらの施設の全体的な挙動に対する評価（変形評価）においては考慮せず、評価対象施設に対する瞬間的かつ局所的な影響の評価（貫通、裏面剥離）時のみ考慮する。

表3-6 飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)	衝突対象
鋼製材	4.2×0.2× 0.3	135	51	34	設計飛来物として、全ての 建屋及び構造物を対象
車両	3.6×2.5× 8.6	5000	52	—*	隣接事業所からの飛来物の 代表的なものとして、以下 の施設を対象 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所

注記 \*：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から、車両が屋根に到達することは考え難く、仮に屋根に到達した場合でも、飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり、有意な衝突速度にならないと考えられるため。

(4) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重  $F_d$  として、自重及び上載荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、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」の、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえ、設計竜巻荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

表3-7 荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位	荷重の組合せ	
貫通評価	(式による評価) ・屋根スラブ, 外壁及び内壁 ・扉 (扉板)	$W_M$	
	(解析による評価) ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ	複合荷重 $W_{T2}$	$W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$
裏面剥離評価	(式による評価) ・屋根スラブ, 外壁及び内壁	$W_M$	
	(解析による評価) ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ ・原子炉建屋外壁	複合荷重 $W_{T2}$	$W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$
変形評価	(式による評価) ・原子炉建屋 (RC造部及び鉄骨造部) ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所建屋 ・廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入 設備 (鉄骨造部)	複合荷重 $W_{T2}$	$W_W + 1/2W_P + F_d$
	(式による評価) ・原子炉建屋 (鉄骨造部外装板) ・扉 (カンヌキ部) ・廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入 設備 (鉄骨造部外装板)	$W_P$	

$W_W$  : 風圧力による荷重       $W_P$  : 気圧差による荷重

$W_M$  : 飛来物による衝撃荷重       $F_d$  : 常時作用する荷重

### 3.4 許容限界

建屋及び構造物の許容限界は、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」の「4.2 許容限界」に示す許容限界を踏まえて、評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。

#### 3.4.1 貫通評価

貫通評価の許容限界は、式による評価を行う場合においては表 3-8 に示す最小部材厚さとする。

表3-8 貫通評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界	
			貫通限界厚さ (mm) *1	
			鉛直方向	水平方向
貫通評価 (式による評価)	コンクリート	原子炉建屋		[Blank]
		タービン建屋		
		使用済燃料 乾式貯蔵建屋	鋼製材 車両	
		軽油貯蔵タンクタンク室		
		緊急時対策所	鋼製材 車両	
		扉板（鋼板）		
	扉板（鋼板）			

- 注記
- \*1：特記ない場合は、鋼製材に対する値
  - \*2：屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-4より）
  - \*3：地中の構造物のため、側壁は露出していない。
  - \*4：複数枚の板が直列の構成となっている、原子炉建屋機器搬入口扉が該当する。

式による評価を満足せず、解析による評価を行う場合における許容限界を、表3-9に示す。

表3-9 貫通評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界
貫通評価 (解析による評価)	原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ	鉄筋	[Blank]

### 3.4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価において、式による評価を行う場合においては表 3-10 に示す最小部材厚さとする。

表3-10 裏面剥離評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界	
			裏面剥離限界厚さ(mm) <sup>*1</sup>	
			鉛直方向	水平方向
裏面剥離評価 (式による評価)	コンクリート	原子炉建屋		
		タービン建屋		
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	鋼製材	
			車両	
		軽油貯蔵タンクタンク室		
		緊急時対策所	鋼製材	
車両				

注記 \*1: 特記ない場合は、鋼製材に対する値  
 \*2: 屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-4より）。  
 \*3: 地中の構造物のため、側壁は露出していない。

式による評価を満足せず、解析による評価を行う場合における許容限界は、表3-11に示すコンクリート内面のライナ若しくはデッキプレートの破断ひずみとする。

表3-11 裏面剥離評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位		許容限界
裏面剥離評価 (解析による評価)	原子炉建屋原子炉棟 外壁 <sup>*1</sup>	下層の鉄筋	
	原子炉建屋原子炉棟 屋根スラブ <sup>*2</sup>	デッキ プレート	
	使用済燃料乾式貯蔵建屋 外壁 <sup>*3</sup>	ライナ	

注記 \*1: 鋼製材に対する裏面剥離限界厚さを満たさない部位（内張材無し）のうち、最も厚さの小さいものとして選定  
 \*2: 鋼製材に対する裏面剥離限界厚さを満たさない部位（内張材あり）  
 \*3: 車両に対する必要最小厚さを満たさない箇所

### 3.4.3 変形評価

屋根スラブ及びスタッドの変形評価の許容限界は、それぞれRC規準及び各種合成構造指針に基づく強度とし、RC造の建屋全体の変形評価の許容限界は、耐震壁のせん断ひずみに関する許容限界に基づく  $2.0 \times 10^{-3}$  とする。

その他の評価対象部位を含めた変形評価の許容限界を表3-12に示す。

表3-12 変形評価の許容限界

評価内容	評価対象部位	許容限界	
変形評価 (屋根スラブ)	屋根スラブ	「RC規準」に基づく終局強度	
	スタッド (屋根支持部)	「各種合成構造指針」に基づく許容耐力	
変形評価 (建物全体)	建物の構造躯体	RC造部	せん断ひずみ $2 \times 10^{-3}$
		鉄骨造部	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に準じた短期許容応力度
変形評価 (鉄骨造部)	外装板	面外	外装板の許容曲げ応力 $40 \text{ (N/mm}^2\text{)}^*$ 取付ボルトの許容引張荷重 $3 \text{ (kN)}^*$
変形評価 (扉)	カンヌキ部	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に準じた短期許容応力度	

注記 \* : 外装材メーカーの技術資料による

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 貫通評価

##### (1) 貫通評価式による評価

##### a. 鉄筋コンクリート造部分

貫通限界厚さ  $e$  を、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すDegen式を用いて算出し、外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$$X/d \leq 1.52 \text{ の場合,}$$

$$e = \alpha_e \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで、貫入深さ  $X$  は、

$$X/d \leq 2.0 \text{ の場合,}$$

$$X/d = \{(48580/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8}\}^{0.5}$$

b. 鋼製部

貫通限界厚さ  $e$  を、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すBRL式を用いて算出し、外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.439 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

なお、BRL式による許容限界を1枚では満足しない箇所については、BRL式をエネルギー吸収量の観点により変形した以下の式に基づき、直列する複数枚の鋼製障壁によるエネルギー吸収量の総和が、設計飛来物の運動エネルギーを上回ることを確認する。

複数の鋼板 ( $n$  枚) を考慮し、 $i$  枚目の板厚を  $t_i$  とすると、 $i$  枚目の板で吸収可能なエネルギー  $e_i$  は、

$$e_i = \left(1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}\right) \cdot t_i^{\frac{3}{2}} \quad \dots \textcircled{3}$$

よって、 $n$  枚の板により吸収可能な飛来物の運動エネルギー  $E$  は

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

(2) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する貫通評価については、飛来物による衝撃荷重  $W_M$  及び常時作用する荷重  $F_d$  を考慮し、3次元 FEM モデルを用いた衝突解析により屋根スラブの鉄筋に生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。なお、風圧力による荷重  $W_w$  及び気圧差による荷重  $W_p$  については、衝撃荷重と逆方向に作用するため、保守的に考慮しない。

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」を用いる。なお、評価に用いた解析コード「LS-DYNA」の検証及び妥当性確認等の概要については、V-5-32「計算機プログラム（解析コード）の概要・LS-DYNA」に示す。

a. 解析モデル

(a) 屋根スラブ

屋根スラブのモデル化範囲及び飛来物の衝突位置を図3-1に示す。屋根トラスの主トラス間の長さはほぼ同等であることより、評価上重要な使用済燃料貯蔵プール直上となる部位とし、屋根スラブのコンクリート、鉄筋及びデッキプレートモデル化する。

コンクリートはソリッド要素、鉄筋はビーム要素及びデッキプレートはシェル要

素でモデル化する。

屋根スラブの解析モデル図を図3-2に示す。

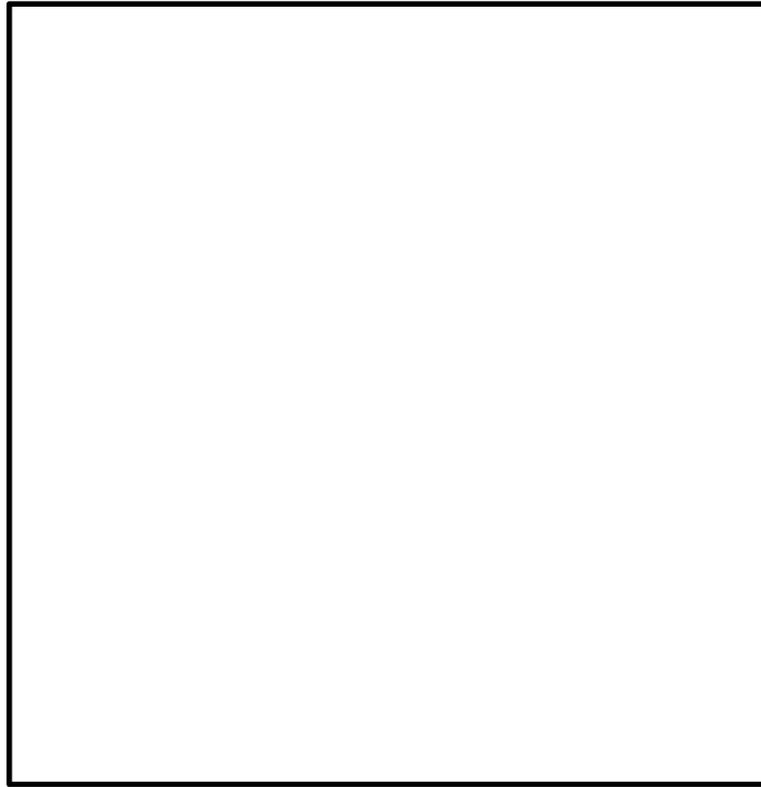


図3-1 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブのモデル化範囲

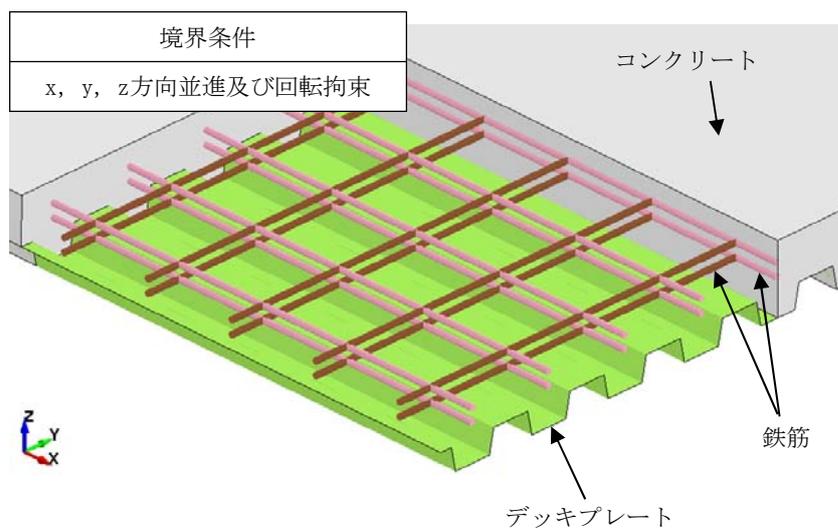


図3-2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデル図

(b) 飛来物

飛来物は、衝突時の荷重が保守的となるよう接触断面積を小さくするため、鋼製材は先端部（衝突部）を開口としてシェル要素でモデル化し、自重及び竜巻による風圧力による荷重を作用させた状態で衝突させる。

飛来物の解析モデル図を図3-3に示す。

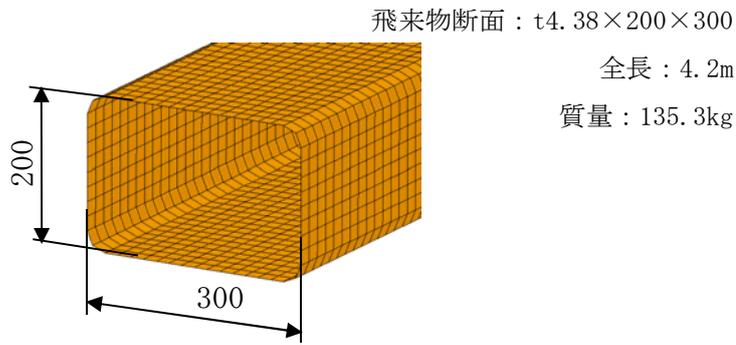


図3-3 飛来物の解析モデル図

b. 材料定数

コンクリート、鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の材料定数をそれぞれ表3-13～表3-16に示す。

表3-13 コンクリートの材料定数

種類	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
普通 コンクリート	22.1	2.21×10 <sup>4</sup>	0.2	23.0

表3-14 鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SD345	345	2.05×10 <sup>5</sup>	77

表3-15 デッキプレートの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SDP1T	205	2.05×10 <sup>5</sup>	77

表3-16 設計飛来物の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SS400	245	2.05×10 <sup>5</sup>	77

c. 材料の非線形特性

コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側が圧縮強度に到達後もその応力を保持するバイリニアとし、引張側は主応力が引張強度に到達後に引張主応力と直交方向にひび割れが生じるものとして、ひずみに応じて保持応力を低下させる引張軟化特性を与える。圧縮強度は、NEI07-13に従い、設計基準強度に対して動的増加率1.25を乗じた値とする。

鋼製部材である鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の応力-ひずみ曲線は、第1折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第2折れ点を「破断相当応力-破断相当ひずみ」とするトリリニア型とする。鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の降伏応力は、降伏応力に動的増加率を乗じた値、破断相当応力は、動的増加率を乗じた降伏応力及び引張強さを結ぶ線のうち、規格値の伸びを後述の多軸性係数で除したひずみ（破断相当ひずみ）時に相当する応力とする。

動的増加率は、NEI07-13に基づく値（鉄筋：1.10（降伏応力）、1.05（引張強度）、デッキプレート・飛来物：1.29（降伏応力）、1.10（引張強度））とする。

金属材料の破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI 07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、鉄筋及びデッキプレートの破断相当ひずみはTF=2.0を考慮する。なお、設計飛来物の破断相当ひずみは、設計飛来物が破断することなく継続的に荷重が掛かるように配慮し、TF=1.0とする。

コンクリート、鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の圧縮及び引張強度をそれぞれ表3-17及び表3-18に示す。

表3-17 コンクリートの圧縮及び引張強度

種別	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材料モデル	
		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
躯体 コンクリート	22.1	27.6	2.55

表3-18 鉄筋，デッキプレート及び設計飛来物の降伏及び破断強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断応力 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断相当 応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断相当 塑性ひずみ
鉄筋	SD345	345	490	380.2	494.2	0.082
デッキ プレート	SDP1T	205	270	264.8	307.8	0.082
設計飛来物	SS400	245	400	316.6	533.3	0.189

コンクリート，鉄筋，デッキプレート及び設計飛来物の応力－ひずみ関係を，それぞれ図3-4～図3-7に示す。

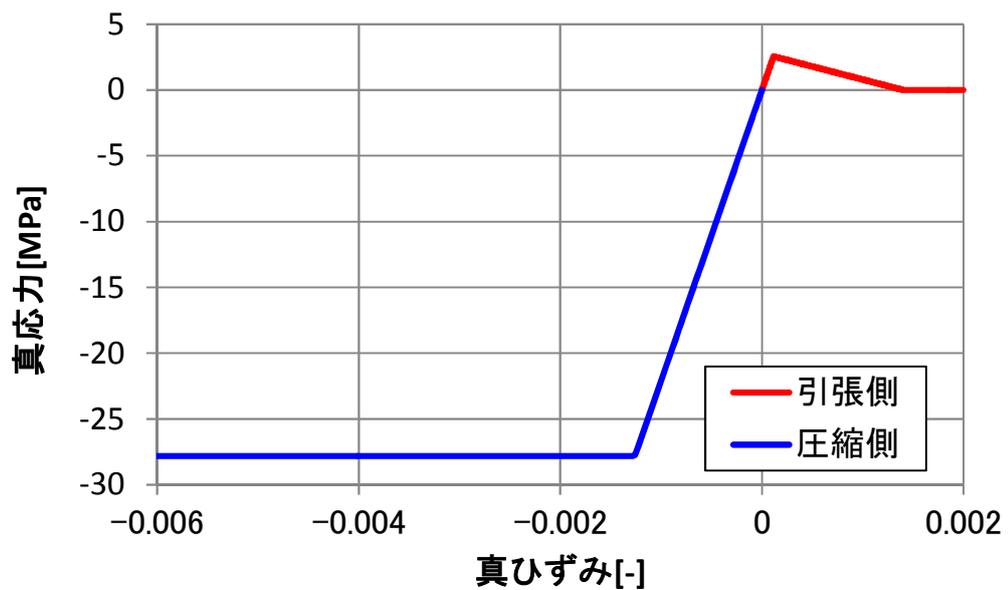


図3-4 真応力－真ひずみ関係（コンクリート）

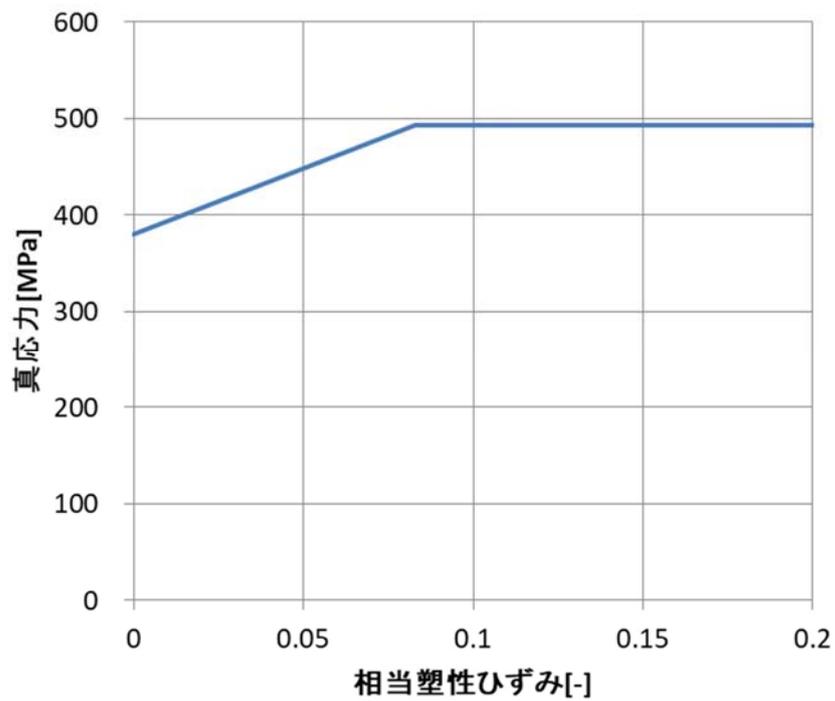


図3-5 真応力-相当塑性ひずみ関係 (鉄筋)

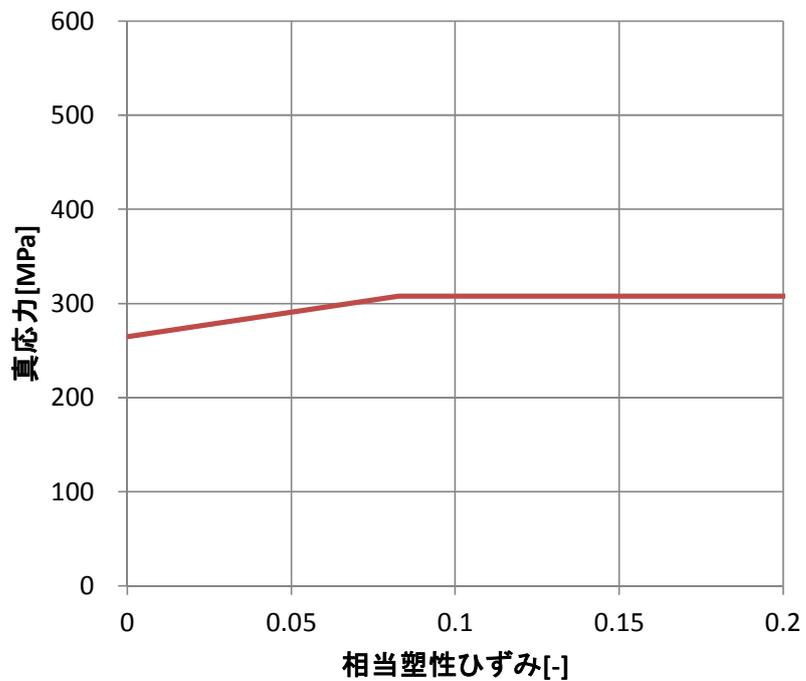


図3-6 真応力-相当塑性ひずみ関係 (デッキプレート)

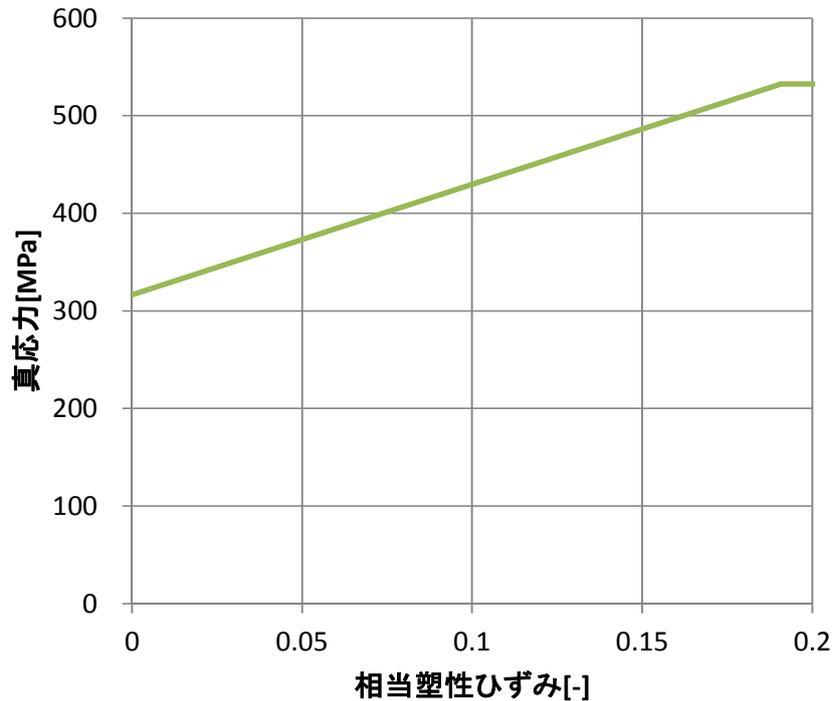


図3-7 真応力－相当塑性ひずみ関係（飛来物）

### 3.5.2 裏面剥離評価

#### (1) Chang式による評価

裏面剥離限界厚さSを、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すChang式を用いて算定し、許容限界を超えないことを確認する。

$$S = 1.84 \alpha_s \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left( \frac{W \cdot V^2}{0.0980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

#### (2) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する裏面剥離評価については、貫通評価と同じモデルによる衝突解析によりデッキプレートに生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

#### (3) 原子炉建屋原子炉棟壁面に対する衝突解析

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブを除く、鋼製材に対してChang式による裏面剥離限界厚さを満足しない箇所のうち、版厚が最も小さい原子炉建屋原子炉棟6階の壁面を代表箇所を選定し、風圧力による荷重 $W_w$ 、飛来物による衝撃荷重 $W_M$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により裏面側の鉄筋に発生するひず

みを算出し、許容限界を超えないことを確認する。なお、気圧差による荷重 $W_p$ については、衝撃荷重と逆方向に作用するため、保守的に考慮しない。

a. 解析モデル

(a) 建屋壁面

鋼製材に対しChang式の限界厚さを満足しない箇所について、FEM評価の対象となる箇所（原子炉建屋原子炉棟6階壁面）の構造及び解析モデル図を図3-8に示す。コンクリートはソリッド要素，鉄筋はビーム要素でモデル化する。

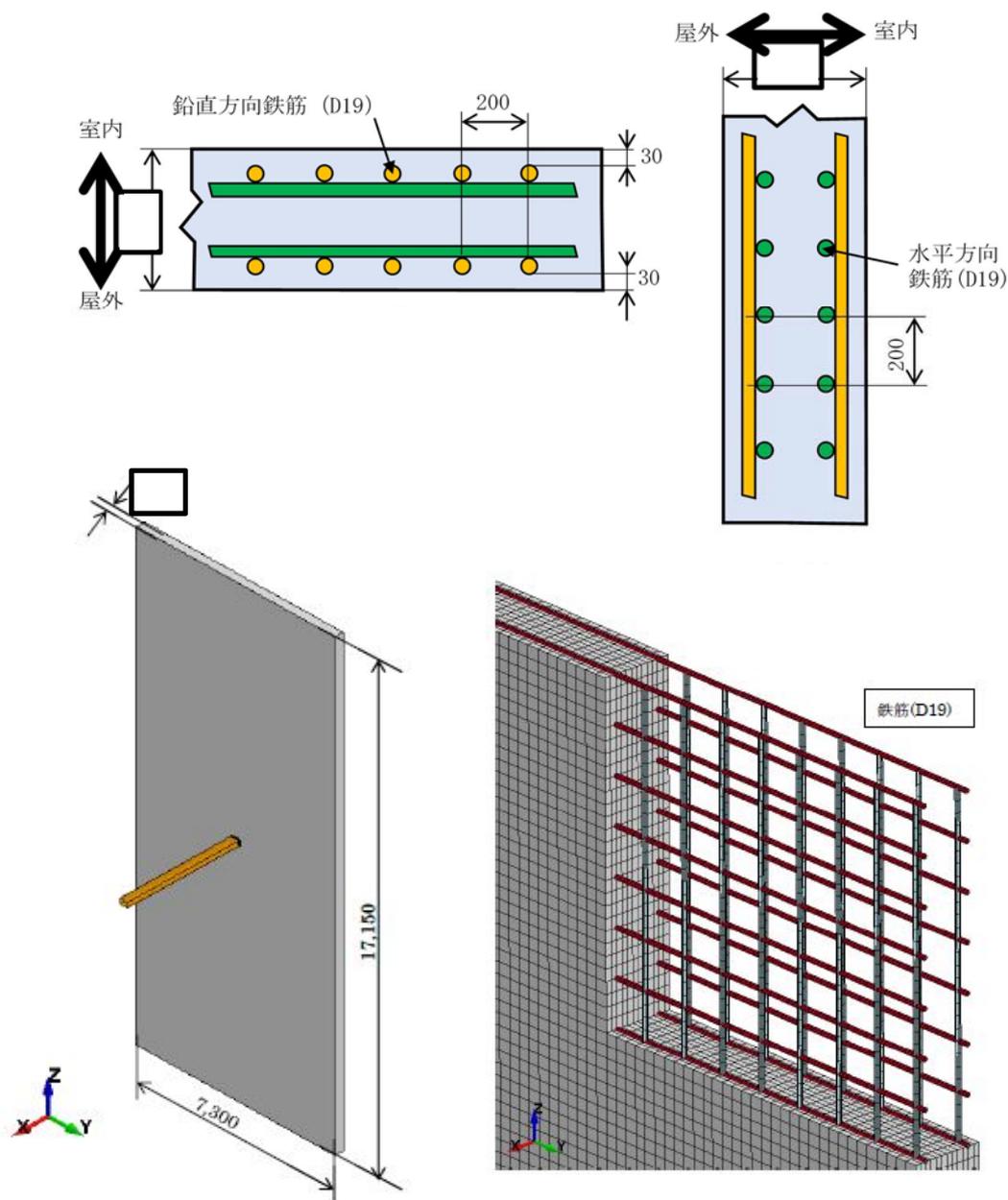


図3-8 鋼製材に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図

(b) 飛来物

飛来物は、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデルと同じ鋼製材を用いる。

b. 材料定数及び材料の非線形特性

コンクリート及び鉄筋の材料物性については、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面に対する衝突解析

車両に対してChang式による裏面剥離限界厚さを満足しない、車両の衝突を想定する使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁面（東側及び南側）に対しては、裏面に鋼製ライナを施工する対策を講ずる。これらの壁については、最薄部の版厚と配筋ピッチは同じであることから、最薄部かつ鉄筋径が小さい南面上部壁を代表箇所を選定し、風圧力による荷重 $W_w$ 、飛来物による衝撃荷重 $W_M$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により裏面のライナに発生するひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。なお、気圧差による荷重 $W_p$ については、使用済燃料乾式貯蔵建屋は開かれた建物であるため考慮しない。

鋼製ライナの貼付箇所を図3-9に示す。鋼製ライナは、アンカーボルトにより建屋壁面に固定する。

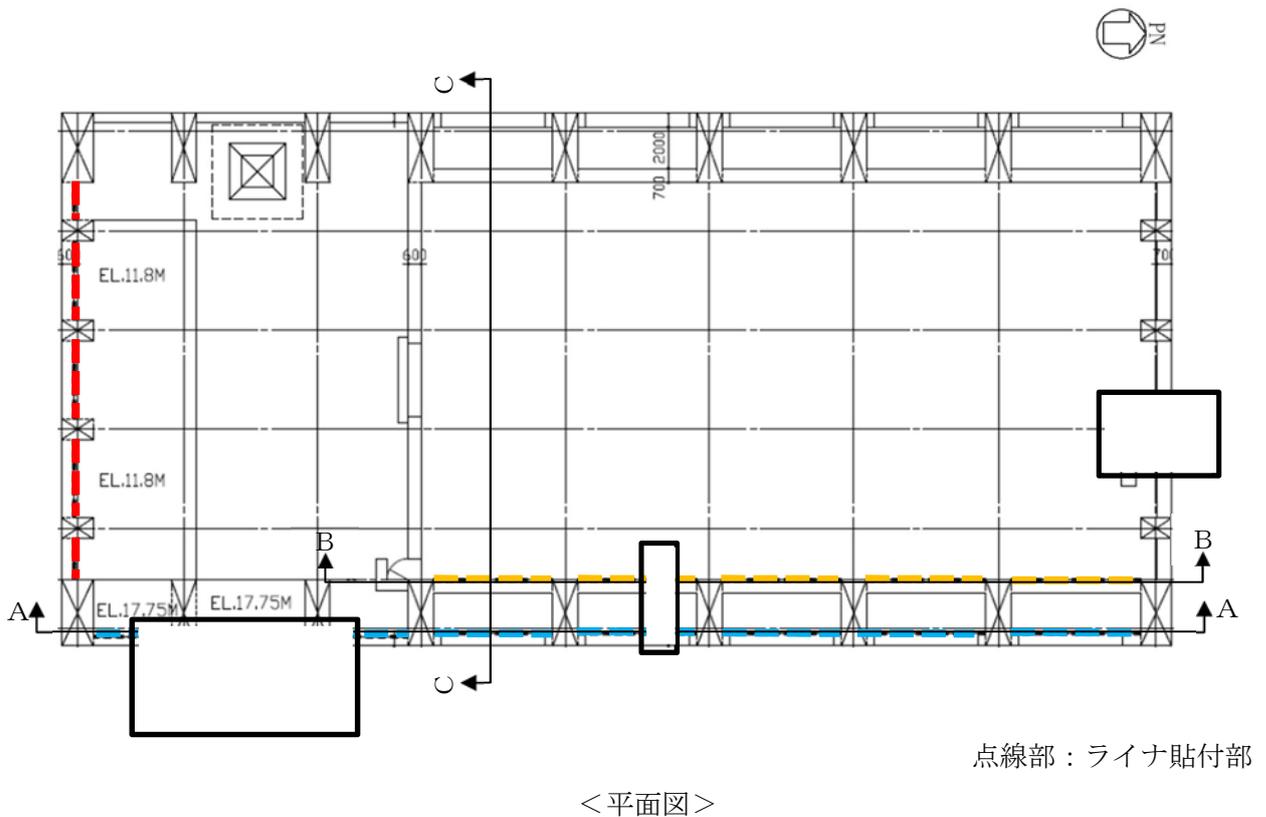
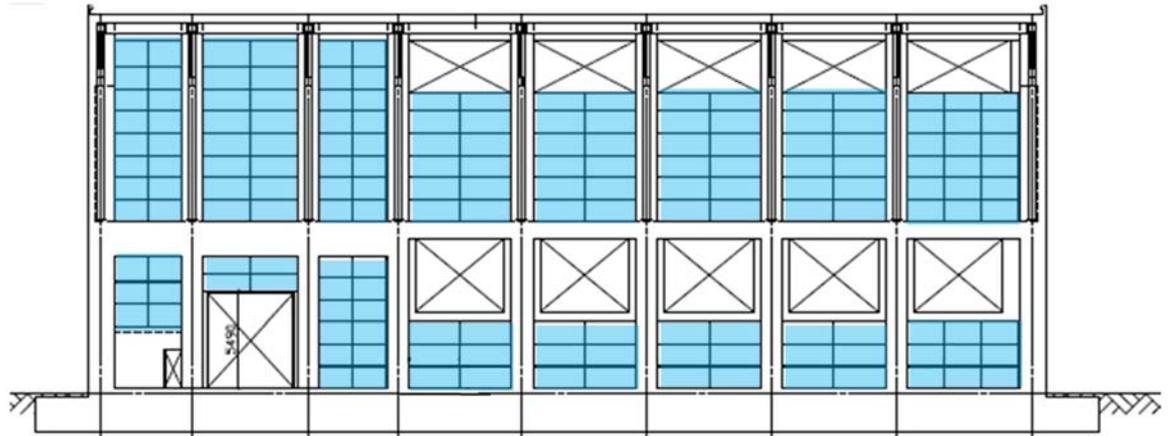
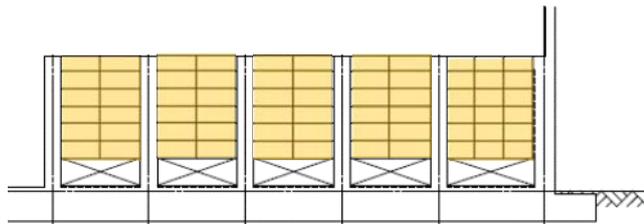


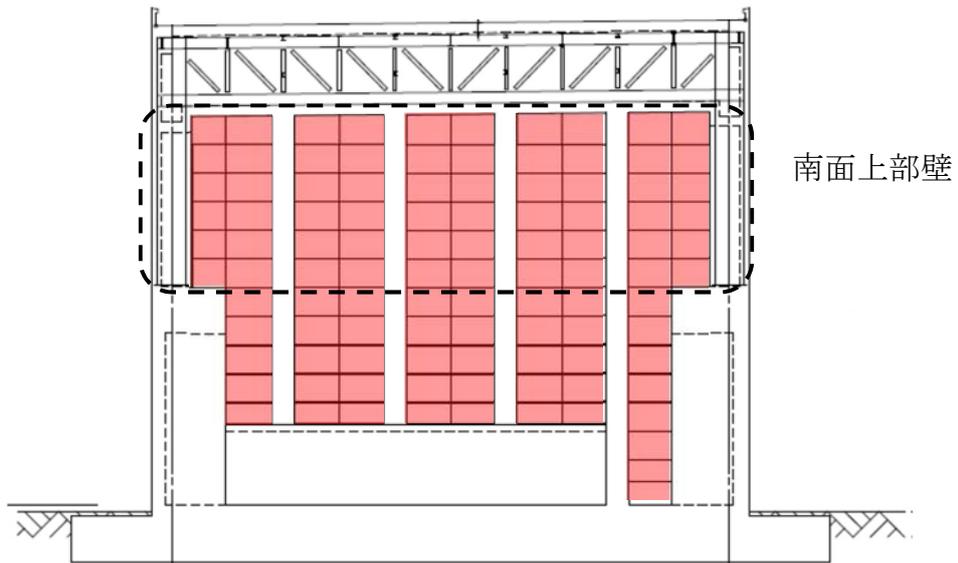
図3-9 鋼製ライナ貼付範囲 (1/2)



<東側 外壁面 (A-A視) >



<東側 内壁面 (B-B視) >



<南側壁面 (C-C視) >

図3-9 鋼製ライナ貼付範囲 (2/2)

a. 解析モデル  
 (a) 建屋壁面

評価対象箇所の構造及び解析モデル図を図3-10に示す。代表箇所である南面上部壁のうち、柱間1スパンをモデル化した。

コンクリートはソリッド要素、鉄筋はビーム要素及びライナはシェル要素でモデル化する。

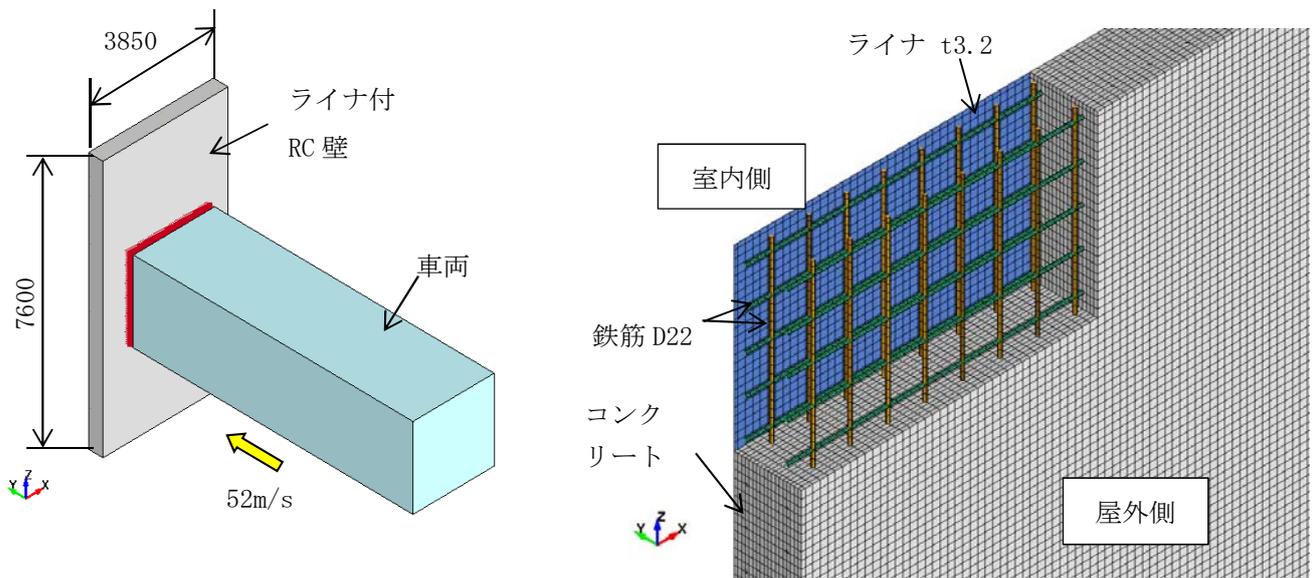
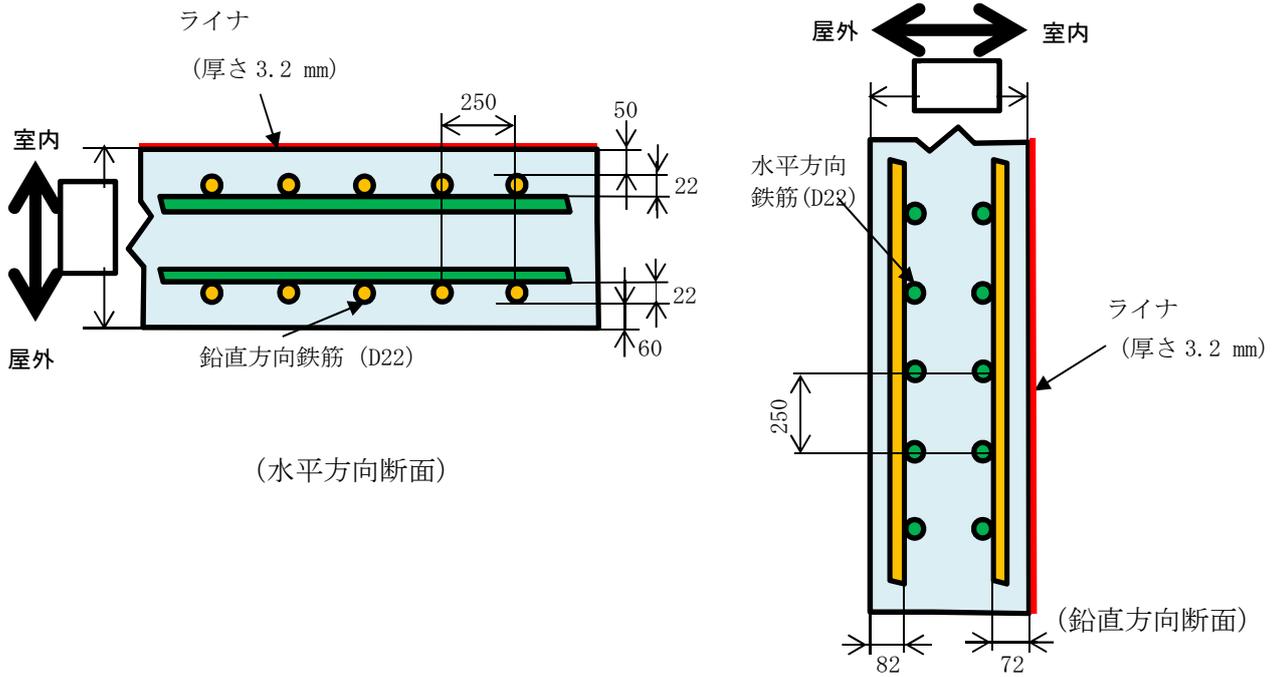


図3-10 車両に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図

(b) 飛来物

飛来物として想定する車両のモデル図を図3-11に示す。車両は、車両剛性を衝突面の接点数で除した剛性を持つばねを、衝突面の接点ごとに配分した剛体としてモデル化した。また、建屋の柱間のスパンと車両（トラック相当）の長さが上回り、横向き時には柱で衝突荷重を支えることになるため、壁面のみで負荷を受けるよう、車両は正面衝突するモデルとした。また、衝突面の寸法については、衝突想定箇所となるキャビンの寸法を踏まえ設定した。

車両モデルの諸元を表3-19に示す。

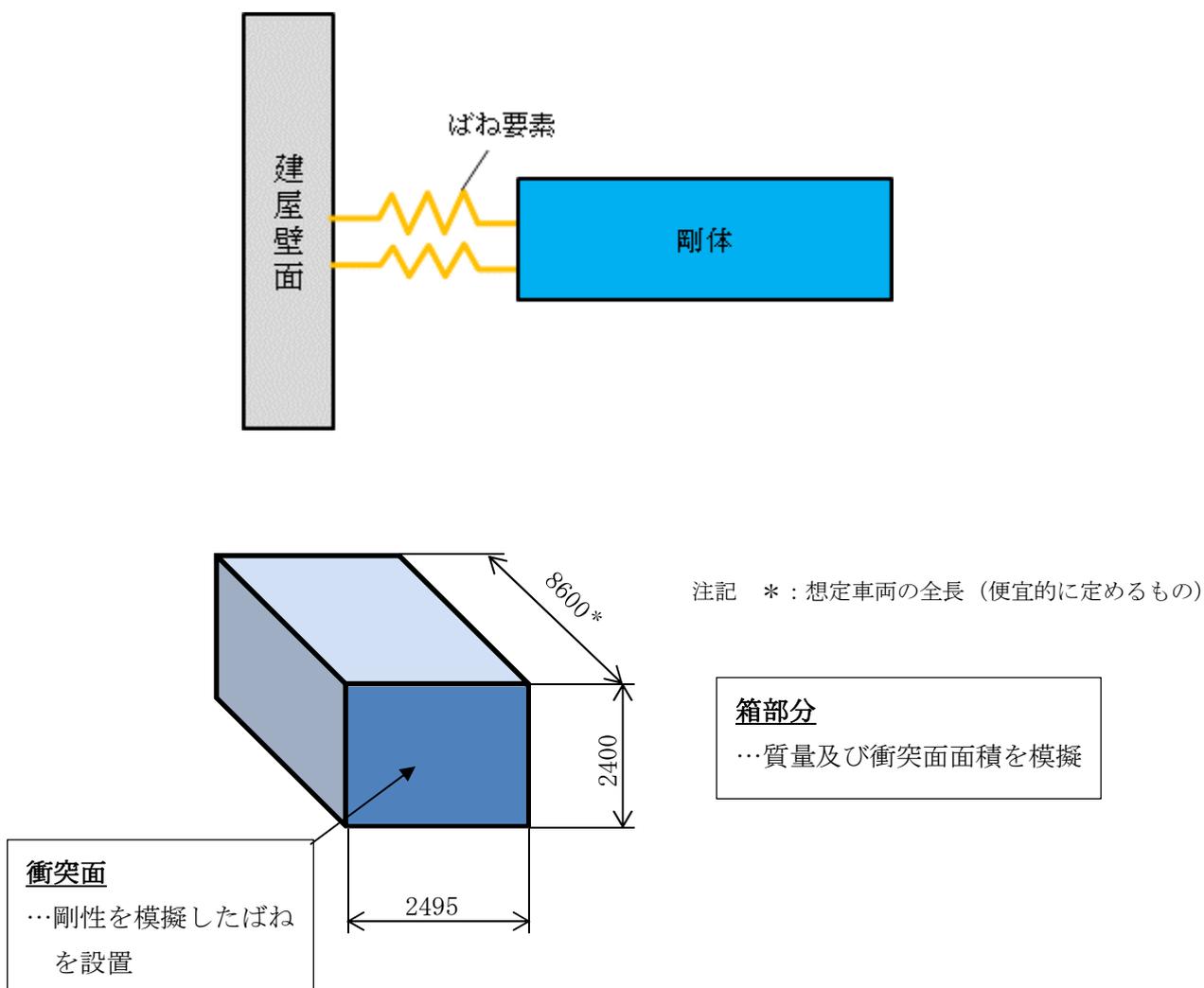


図3-11 車両の解析モデル図

表3-19 車両モデル諸元

寸法*1 (m)	衝突面寸法*2 (m)	質量 (kg)
3.6×2.5×8.6	幅 2.495 高さ 2.400	5,000

注記 \*1：簡易式評価

\*2：車両諸元のモデルとなったトラック（8tクラス）のキャビン前面寸法をもとに設定

b. 材料定数

コンクリート、鉄筋、ライナの材料定数及び車両モデルの剛性を、それぞれ表3-20～表3-23に示す。

表3-20 コンクリートの材料定数

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
23.5	2.25×10 <sup>4</sup>	0.2	24

表3-21 鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SD390	390	2.05×10 <sup>5</sup>	77

表3-22 ライナの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
SS400	245	2.05×10 <sup>5</sup>	77

表3-23 車両モデルの剛性

剛性* (N/m)
2.94×10 <sup>6</sup>

注記 \*：自動車の衝突安全（名古屋大学出版会）を参照し、以下のとおり算出。  
588 (N/m/kg) × 5,000 (kg) = 2.94×10<sup>6</sup> (N/m)

c. 材料の非線形特性

材料の非線形特性の考え方は、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析に同じ。  
コンクリート、鉄筋及びライナの強度をそれぞれ表3-24及び表3-25に示す。

表3-24 コンクリートの圧縮及び引張強度

種別	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材料モデル	
		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
躯体 コンクリート	23.5	29.4	3.08

表3-25 鉄筋及びライナの降伏及び破断強度

種別	材質	規格値 (公称応力)		材料モデル (真応力, 真ひずみ)		
		降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断応力 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断相当 応力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断相当 塑性ひずみ
鉄筋	SD390	390	560	429.9	556.9	0.074
ライナ	SS400	245	400	316.6	425.0	0.095

コンクリート、鉄筋及びライナの応力-ひずみ関係を、それぞれ図3-12～図3-14に示す。

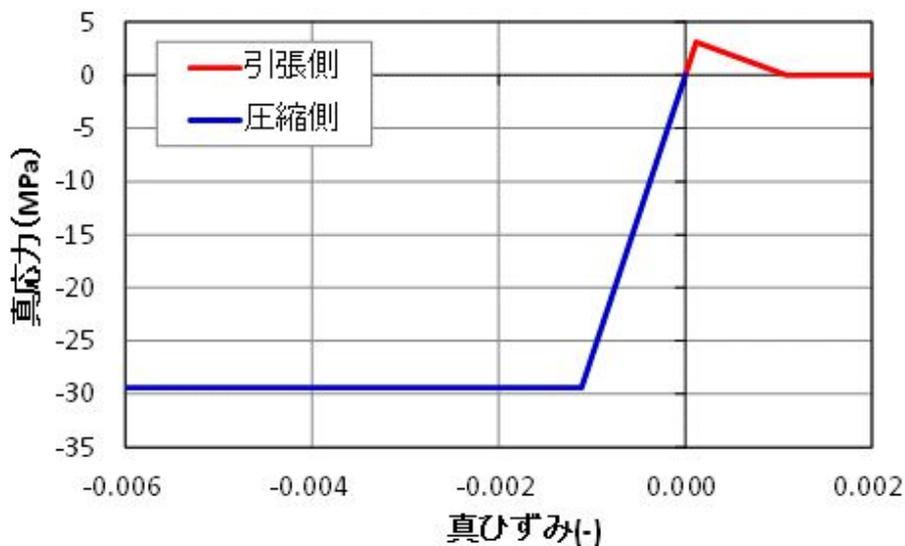


図3-12 真応力-真ひずみ関係 (コンクリート)

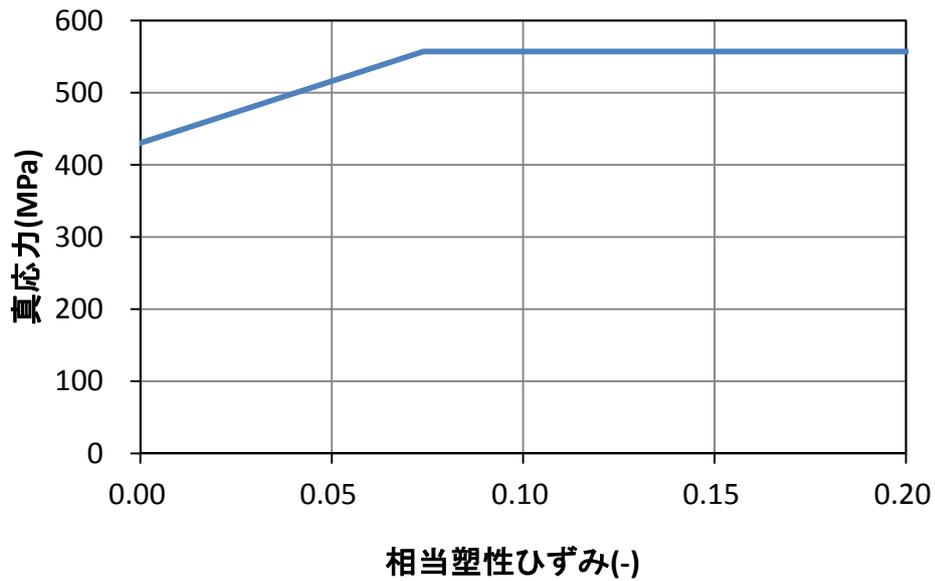


図3-13 真応力－相当塑性ひずみ関係（鉄筋）

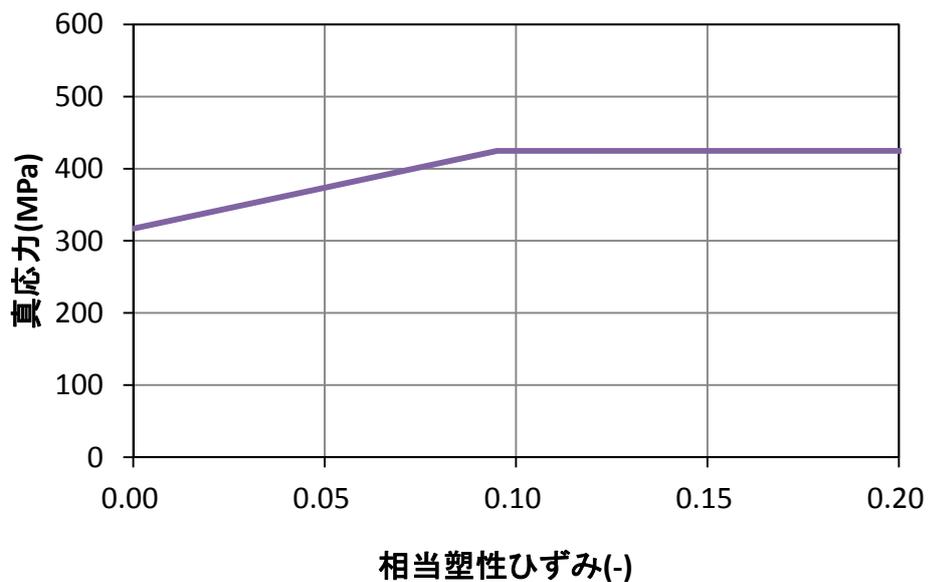


図3-14 真応力－相当塑性ひずみ関係（ライナ）

### 3.5.3 変形評価

- (1) 原子炉建屋（RC構造部），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋

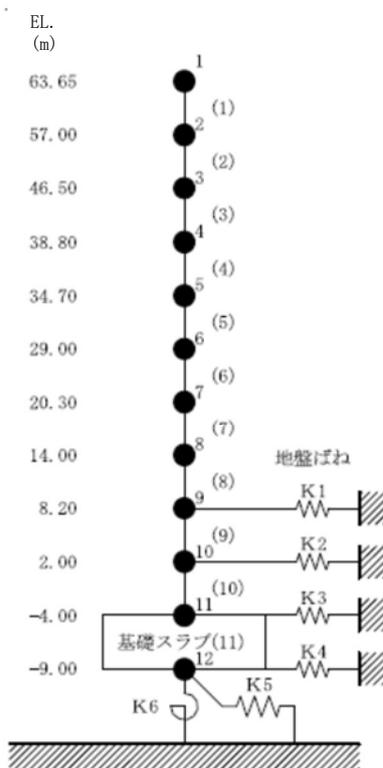
原子炉建屋（RC構造部），タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の変位は，設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ ）関係より算定する。

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の $Q-\gamma$ 関係は，V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及びV-2-2-4「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」に示される

せん断スケルトンカーブ（ $\tau$ - $\gamma$  関係）に基づき算出する。

タービン建屋の Q -  $\gamma$  関係は、地震応答解析モデルが多軸の質点系モデルを用いており各軸に対しせん断スケルトンカーブを算出していることから、層全体の評価を行うため、各軸のせん断スケルトンカーブを層全体の値に集約したせん断スケルトンカーブに基づき算出する。

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル図を図3-14～図3-17に、Q -  $\gamma$  関係を表3-26～表3-29に示す。



・数字は質点番号を示す。  
 ・( ) 内は要素番号を示す。

図3-14 原子炉建屋の地震応答解析モデル図

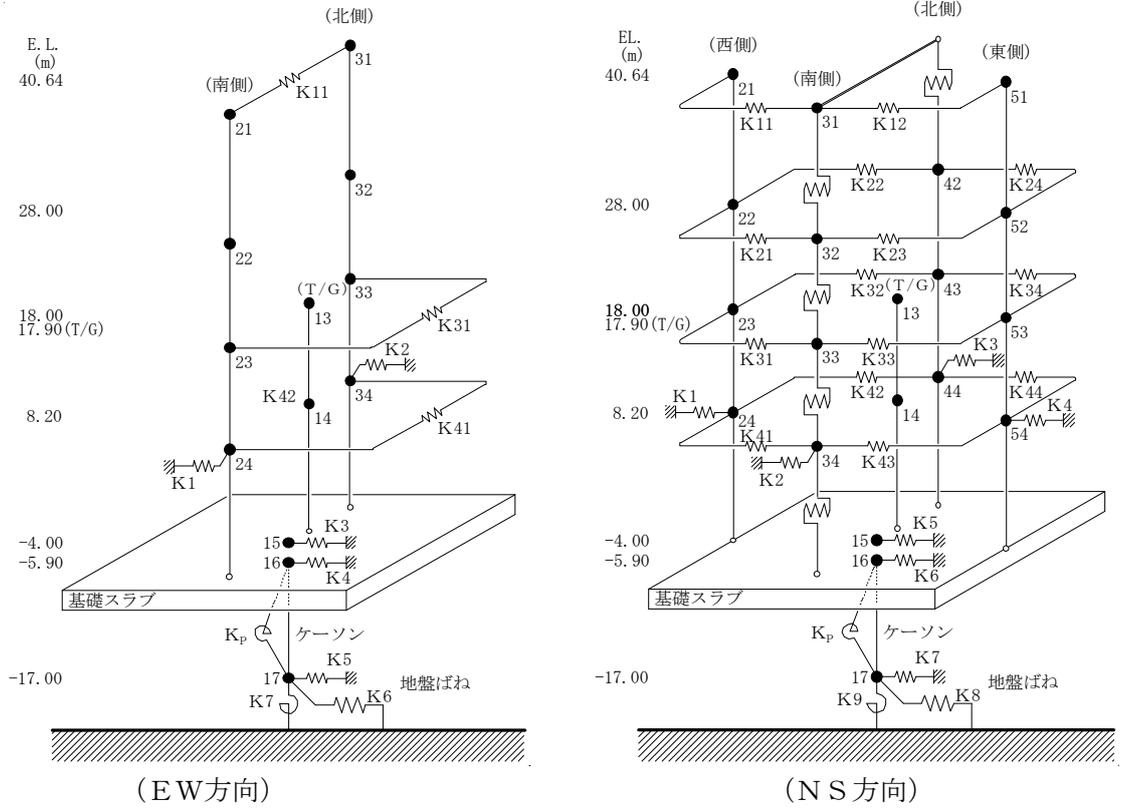


図3-15 タービン建屋の地震応答解析モデル図

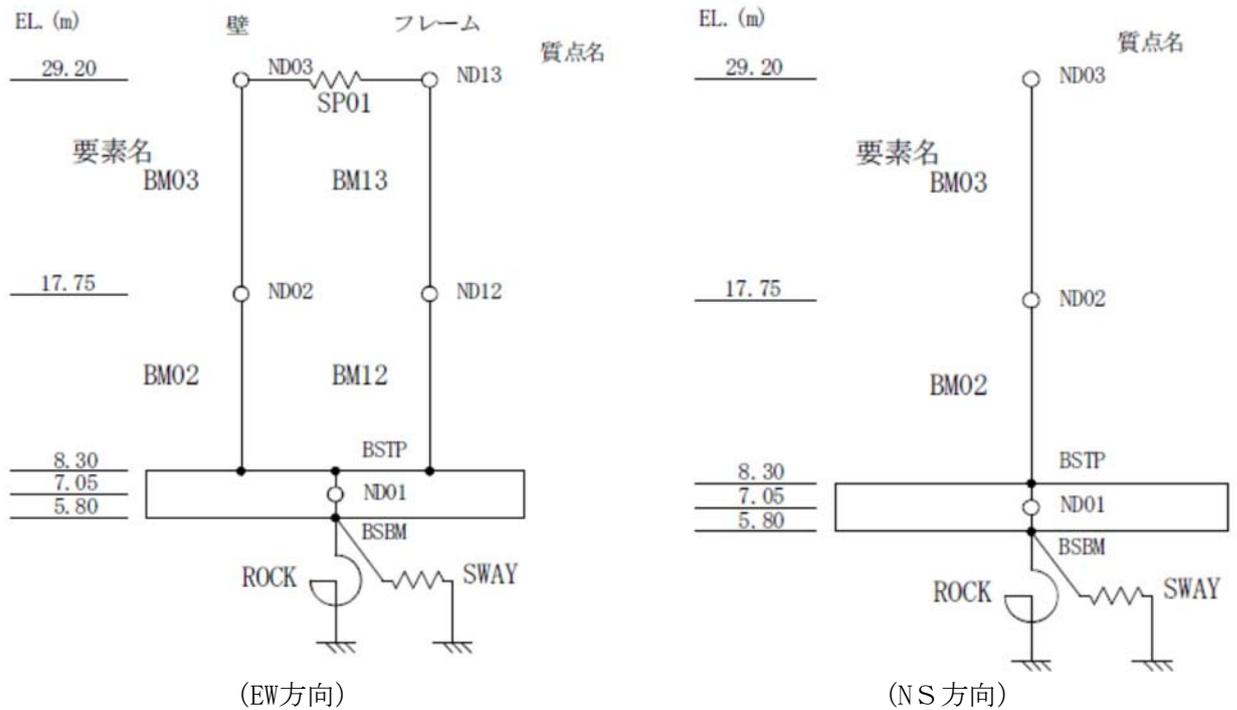


図3-16 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル図

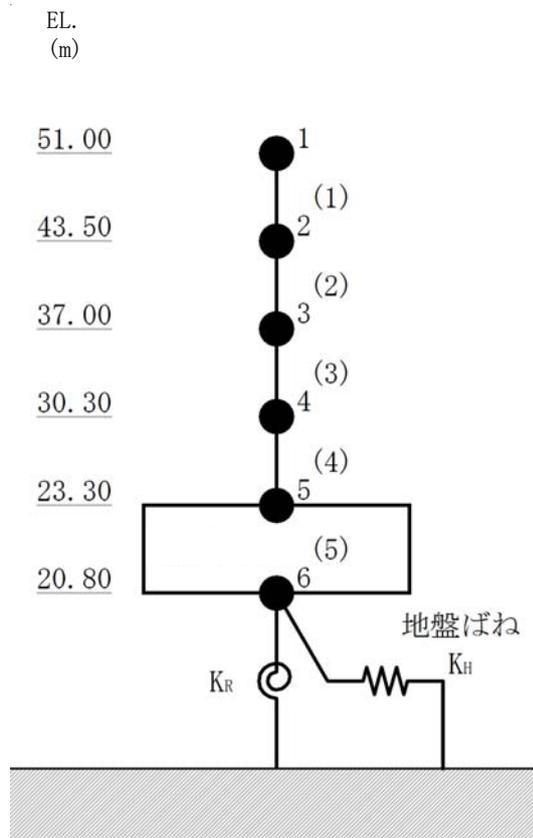


図3-17 緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル図

表3-26 原子炉建屋のQ- $\gamma$ 関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 $Q_1$	第2折点 $Q_2$	終局点 $Q_3$	第1折点 $\gamma_1$	第2折点 $\gamma_2$	終局点 $\gamma_3$
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
63.65 ~ 57.00	1	4.37E+04	5.90E+04	1.24E+05	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	2	4.67E+04	6.31E+04	1.26E+05	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	3	3.37E+05	4.56E+05	9.29E+05	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.78E+05	2.41E+05	5.55E+05	0.145	0.435	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.83E+05	2.47E+05	5.59E+05	0.139	0.417	4.0
29.00 ~ 20.30	6	3.20E+05	4.32E+05	9.29E+05	0.159	0.477	4.0
20.30 ~ 14.00	7	3.90E+05	5.25E+05	1.18E+06	0.174	0.522	4.0
14.00 ~ 8.20	8	6.62E+05	8.94E+05	1.68E+06	0.183	0.549	4.0

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 $Q_1$	第2折点 $Q_2$	終局点 $Q_3$	第1折点 $\gamma_1$	第2折点 $\gamma_2$	終局点 $\gamma_3$
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
63.65 ~ 57.00	1	4.08E+04	5.51E+04	1.16E+05	0.174	0.522	4.000
57.00 ~ 46.50	2	4.36E+04	5.89E+04	1.18E+05	0.185	0.555	4.000
46.50 ~ 38.80	3	2.46E+05	3.33E+05	7.13E+05	0.173	0.519	4.000
38.80 ~ 34.70	4	2.10E+05	2.83E+05	6.20E+05	0.162	0.486	4.000
34.70 ~ 29.00	5	2.17E+05	2.93E+05	6.26E+05	0.151	0.453	4.000
29.00 ~ 20.30	6	3.10E+05	4.19E+05	8.82E+05	0.143	0.429	4.000
20.30 ~ 14.00	7	3.56E+05	4.82E+05	1.02E+06	0.172	0.516	4.000
14.00 ~ 8.20	8	5.80E+05	7.83E+05	1.56E+06	0.182	0.546	4.000

表3-27 タービン建屋のQ-γ関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
40.64 ~ 28.00	1	6.32E+04	8.54E+04	1.18E+05	0.176	0.528	4.000
28.00 ~ 18.00	2	1.84E+05	2.51E+05	3.21E+05	0.228	0.684	4.000
18.00 ~ 8.20	3	4.54E+05	6.26E+05	8.18E+05	0.233	0.699	4.000

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
40.64 ~ 28.00	1	1.03E+05	1.39E+05	2.37E+05	0.176	0.528	4.000
28.00 ~ 18.00	2	2.09E+05	2.91E+05	4.39E+05	0.213	0.639	4.000
18.00 ~ 8.20	3	3.82E+05	5.24E+05	7.58E+05	0.230	0.690	4.000

表3-28 使用済燃料乾式貯蔵建屋のQ-γ関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
29.20 ~ 17.75	BM03	4.50E+04	6.07E+04	1.36E+05	0.198	0.594	4.0
17.75 ~ 8.30	BM02	6.05E+04	8.15E+04	1.56E+05	0.214	0.642	4.0

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
29.20 ~ 17.75	BM03	4.19E+04	5.66E+04	1.14E+05	0.191	0.573	4.0
17.75 ~ 8.30	BM02	6.19E+04	8.37E+04	1.62E+05	0.197	0.590	4.0

表3-29 緊急時対策所建屋のQ-γ関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
43.50 ~ 51.00	1	1.18E+05	1.59E+05	2.96E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ~ 43.50	2	3.23E+05	4.35E+05	7.75E+05	0.181	0.542	4.000
30.30 ~ 37.00	3	3.29E+05	4.44E+05	7.56E+05	0.193	0.579	4.000
23.30 ~ 30.30	4	3.77E+05	5.10E+05	8.44E+05	0.205	0.614	4.000

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q <sub>1</sub>	第2折点 Q <sub>2</sub>	終局点 Q <sub>3</sub>	第1折点 γ <sub>1</sub>	第2折点 γ <sub>2</sub>	終局点 γ <sub>3</sub>
(m)	-	(kN)			(×10 <sup>-3</sup> (-))		
43.50 ~ 51.00	1	8.43E+04	1.14E+05	1.89E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ~ 43.50	2	2.57E+05	3.46E+05	6.04E+05	0.179	0.538	4.000
30.30 ~ 37.00	3	2.69E+05	3.62E+05	6.05E+05	0.192	0.577	4.000
23.30 ~ 30.30	4	3.21E+05	4.34E+05	7.11E+05	0.204	0.613	4.000

設計荷重のうち、風圧力による荷重 $W_w$ は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 $W_p$ は、建屋の内部から外部に作用し、建屋層全体の評価においては相殺される荷重であるが、保守的に $W_w$ と同じ方向にのみ作用すると見なす。

飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は、瞬間的に作用するものであり、またこれら建屋の質量が飛来物に対し十分に大きなものであることから、建屋の全体的な挙動に対する影響は軽微と考えられるため考慮しない。

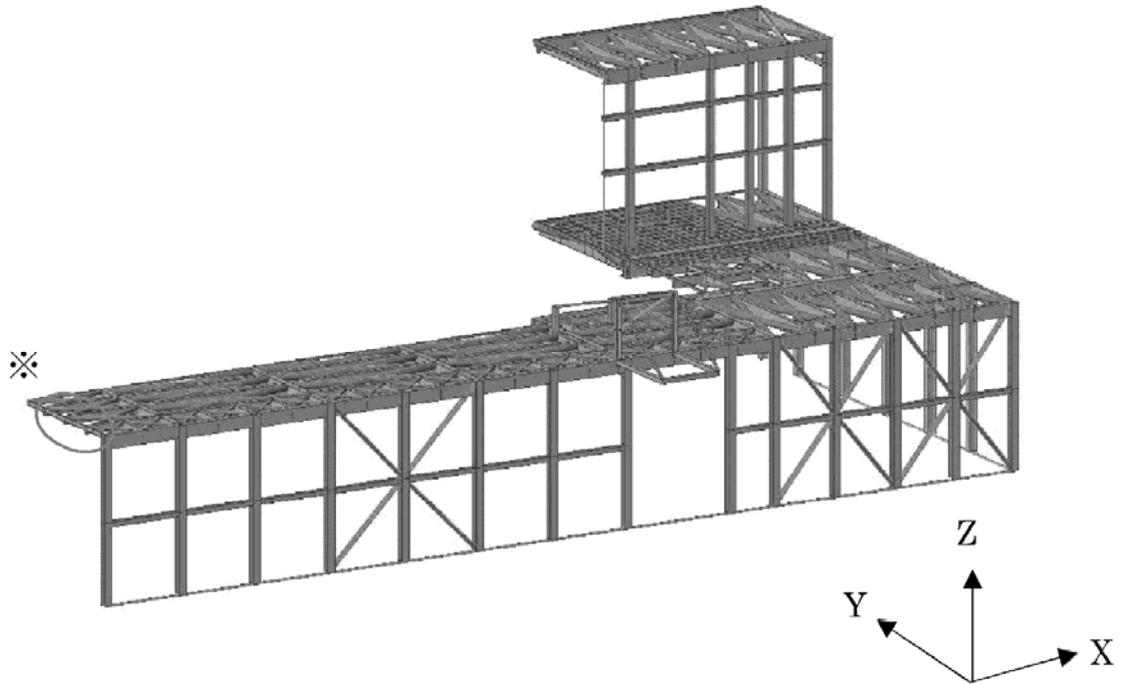
(2) 原子炉建屋（鉄骨構造部）

a. 鉄骨架構

原子炉建屋（鉄骨構造部）のうち鉄骨架構については、図3-18に示す付属棟東部のモデルの様に、原子炉建屋原子炉棟との接合部をピン支持とした3次元フレームモデルについて、風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ により部材に発生する応力度を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

飛来物による衝撃荷重 $W_M$ については、瞬間的に作用するものであり、当該部の質量は飛来物に対し十分に大きなものであること、また当該部は頑健な原子炉建屋（RC造部）に支えられた構造となっていることから、飛来物の衝突荷重で当該部の全体的な倒壊を起こすことは考え難いが、衝突による架構部材（鉄骨）の部分的な損傷を生じた場

合には、その後に作用する自重若しくは風荷重により倒壊しないことが必要となるため、飛来物の衝突荷重は、柱若しくははりの一本を喪失したものと置き換えたモデルとして考慮する。



- 水平床面はコンクリートスラブが配置されているため、ブレース置換により剛性評価を行う。
- RC周辺躯体との接合部は、上図※部分を除いて境界条件をピンとする。  
※部分はX方向にローラーとし、軸ブレースの地震時の評価を行う。

図3-18 原子炉建屋（鉄骨構造部）の解析モデル図（1/2）

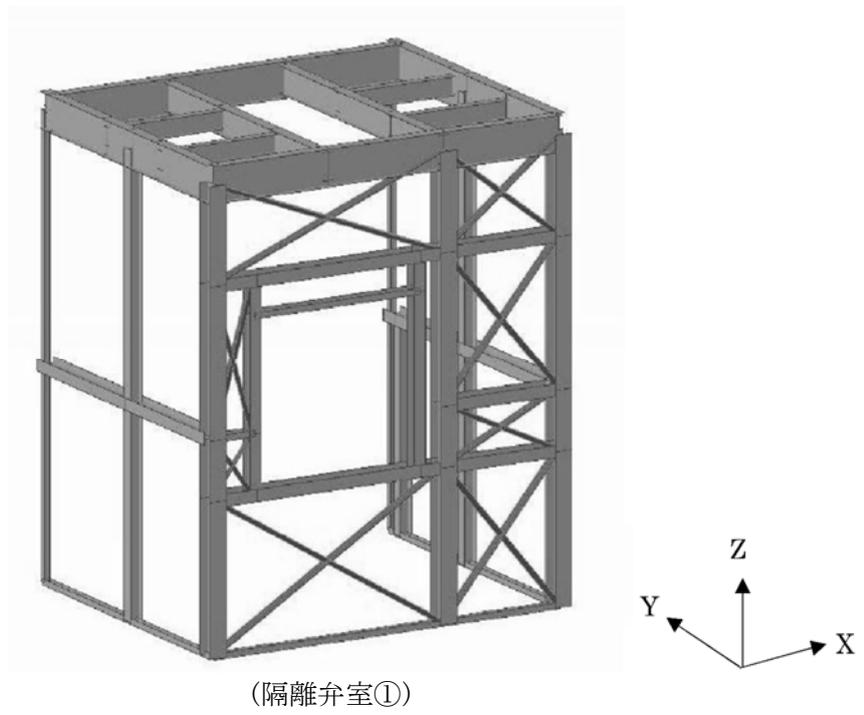
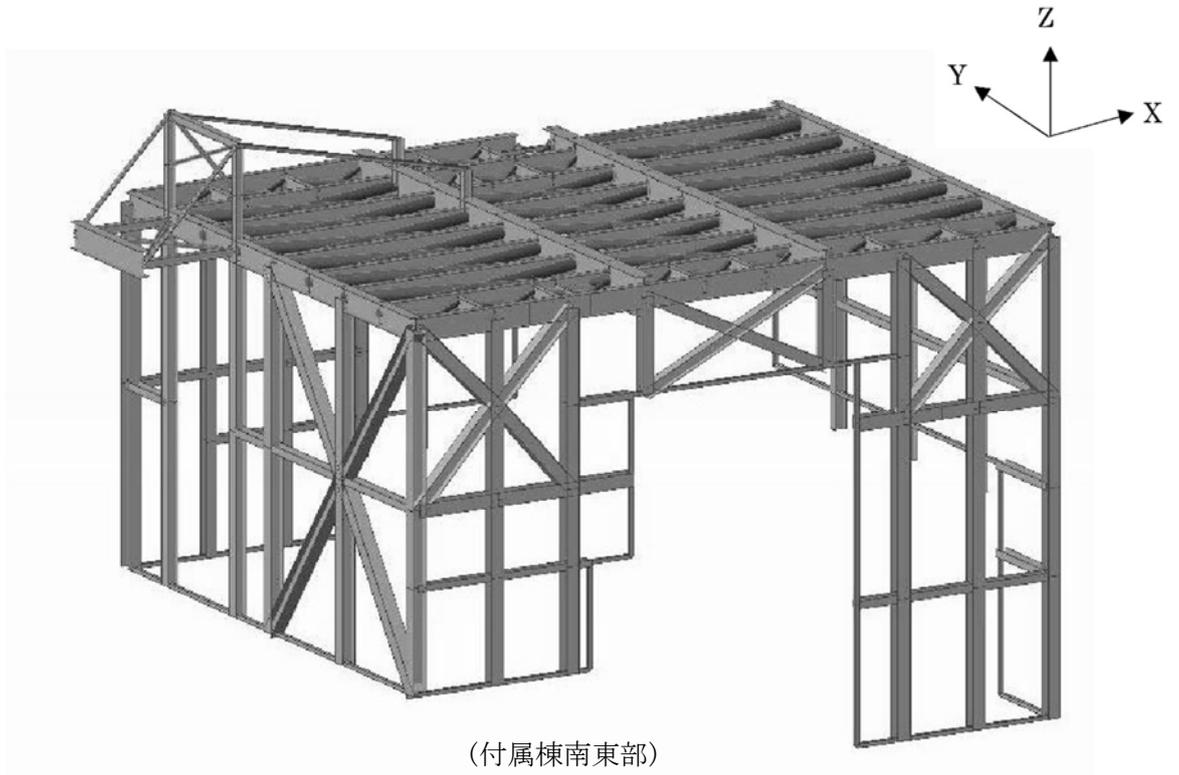


図3-18 原子炉建屋（鉄骨構造部）の解析モデル図（2/2）

架構部材に発生する応力度は、表3-30に示す式にて算出する。

表 3-30 架構部材の応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 $\sigma_t$		MPa	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 $\sigma_c$		MPa	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 $\sigma_{by}, \sigma_{bz}$		MPa	$\frac{M_y}{Z_y}, \frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 $\tau_y, \tau_z$		MPa	$\frac{Q_y}{A_{sy}}, \frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ 応力	圧縮+曲げ	-	$\max\left(\frac{\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_c + 1.5f_b}, \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t}\right)$
	引張+曲げ	-	$\max\left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_t}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5f_b}\right)$
	軸力 (圧縮, 引張) +曲げ+せん断	-	$\max\left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_z^2}}{1.5f_t}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_y^2}}{1.5f_t}\right)$ 軸力が引張の場合は、 $\sigma_c$ を $\sigma_t$ とする。

ここで、

- A : 断面積 (mm)
- $Z_y, Z_z$  : 断面係数 (y, z 軸回り) (mm)
- $A_{sy}, A_{sz}$  : せん断断面積 (y, z) (mm)
- $N_t, N_c$  : 軸力 (引張, 圧縮) (N)
- $M_y, M_z$  : 曲げモーメント (y, z 軸回り) (N・mm)
- $Q_y, Q_z$  : せん断力 (y, z 軸) (N)

b. 外装板

原子炉建屋 (鉄骨構造部) のうち外装板については、図3-19に示すように、鉄骨架構にボルト止めしたパネルを嵌め合わせた構造となっている。これについて、風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ により発生する曲げモーメント及びせん断力を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

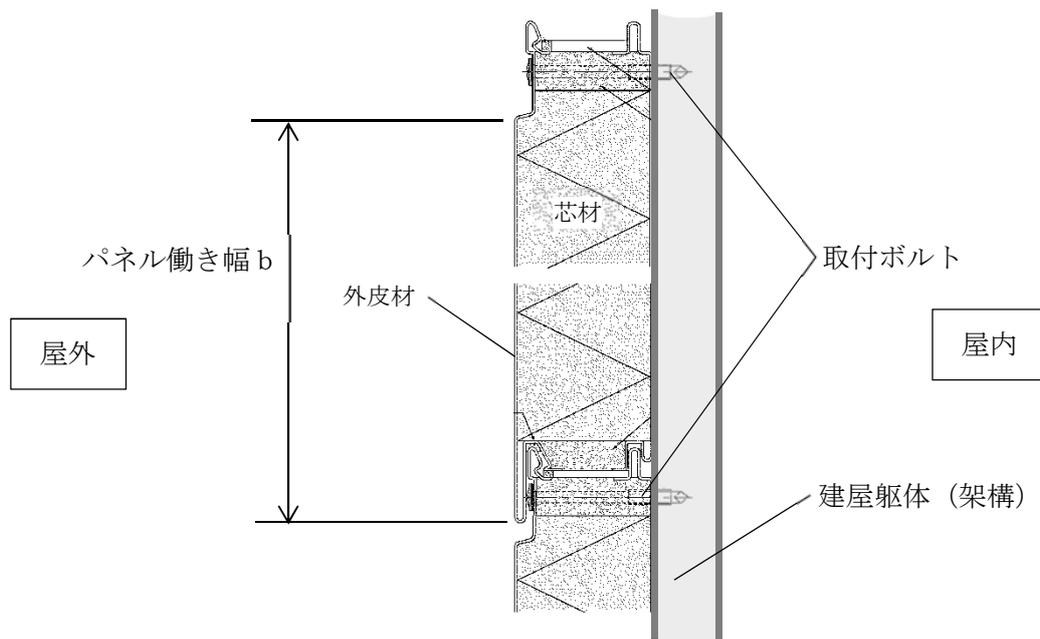


図3-19 原子炉建屋（鉄骨構造部）のうち外装板の取付構造

竜巻荷重に対する外装板の脱落防止の観点からは、図3-20に示すような、気圧差による荷重 $W_P$ により屋内から屋外の向きに発生する、外装板の曲げ及び取付ボルトの引張が支配的であるため、下式にて曲げ応力及び取付ボルトに作用する荷重を算定する。

取付幅  $\ell$  の外装板における最大曲げ応力

$$M = \frac{\Delta P \cdot \ell^2}{8 \cdot Z}$$

$\Delta P$  : 気圧差による荷重

$Z$  : 外装材の断面係数

外装板 1 枚当たりの、気圧差による面外方向荷重

$$F = \ell \cdot b \cdot \Delta P$$

$b$  : 外装材の働き幅

取付ボルト 1 本あたりに生じる最大引張荷重

$$R_1 = 1.1 F$$

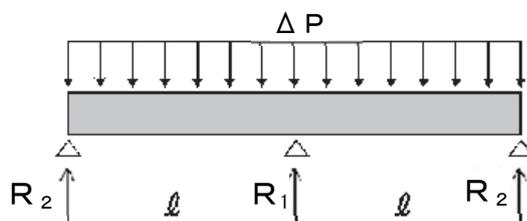


図 3-20 気圧差により外装板に作用する荷重

## (3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについて、風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ により発生する曲げモーメント及びせん断力を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブは、鉄骨はりにスタッドを介して接続しているため、はり位置を支持点とした一方向版とし、両端固定はりとして評価する。スタッドに作用する引張力は、単位幅の屋根スラブに生じるせん断力を当該範囲のスタッドが均等に負担するものとして評価する。

屋根スラブの発生曲げモーメント $M$ 及び発生せん断力 $Q$ 並びにスタッドの発生引張力 $T$ の算定式を以下に示す。また、屋根スラブに作用する荷重の概要を図3-21に示す。

単位幅の屋根スラブにおける発生モーメント

$$M = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L^2}{12}$$

単位幅の屋根スラブにおける発生せん断力

$$Q = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L}{2}$$

スタッド1本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

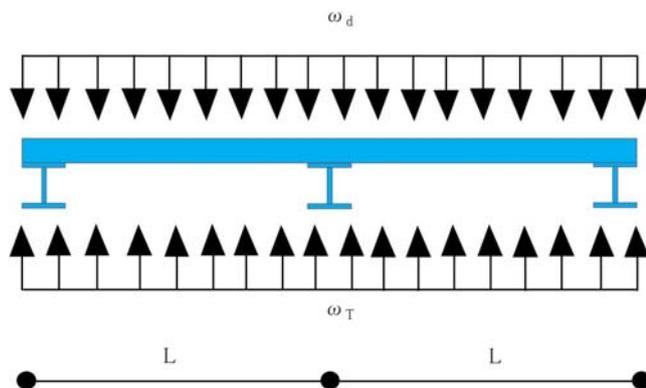


図3-21 屋根スラブに作用する荷重の概要

許容限界である終局強度については、「RC規準」に基づき算定する。

スタッドの許容引張力は、「各種合成構造指針」に準拠し、スタッドの降伏により定まる許容引張力 $P_{a1}$ 、コンクリート部のコーン状破壊により定まる許容引張力 $P_{a2}$ 及びコンクリート部の支圧破壊により定まる許容引張力 $P_{a3}$ のうち、最も小さい値とする。

屋根スラブの許容曲げモーメント $M_a$ 及び許容せん断力 $Q_a$ 並びにスタッドの許容引張力 $P_a$ の算定式を以下に示す。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$Q_a = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$$

#### (4) 扉

扉の閉状態を維持する部材について、気圧差による荷重 $W_P$ により発生する応力を算出し、許容限界を超えないことを確認する。

下記の扉を評価対象とする。

- ・原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉
- ・原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉
- ・原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)
- ・原子炉建屋付属棟1階東側水密扉
- ・原子炉建屋付属棟1階南側水密扉
- ・原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉
- ・原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉
- ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉
- ・原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉
- ・原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉
- ・空調機械室搬入口扉
- ・空調機械室搬入口扉(潜戸)
- ・原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉

- a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉に関する評価

##### (a) 応力評価

原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉及び原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉について、カンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ，せん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。カンヌキ部に作用する荷重，発生曲げモーメント $M$ ，発生せん断力 $Q$ 及び発生引張力 $T$ の算定式を以下に示す。

##### イ. カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は気圧差による荷重 $W_P$ をカンヌキ部で負担した場

合に発生する反力  $R_p$  から算定する。カンヌキ部に生じる荷重を図3-22に示す。

$$W_p = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_p}{n_k}$$

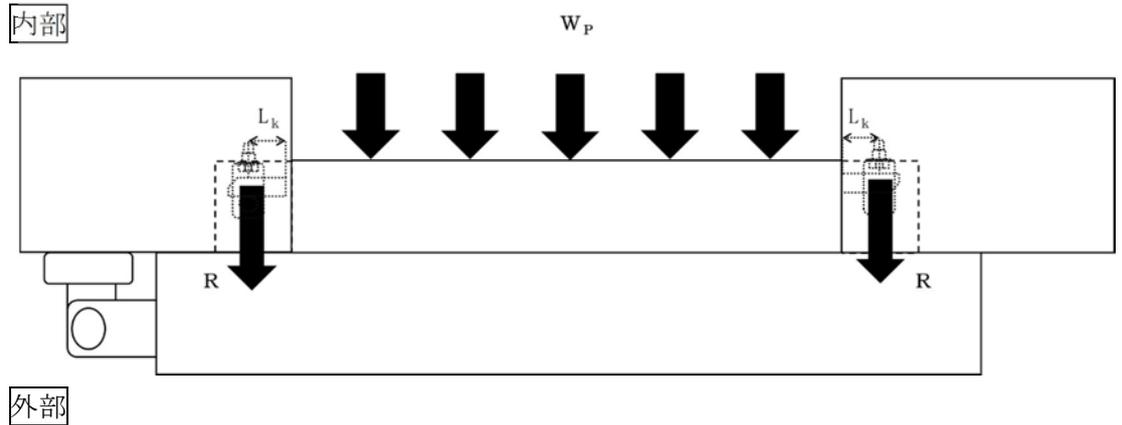


図3-22 カンヌキ部に生じる荷重

ロ. カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図3-23に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント  $M_k$  及びせん断力  $Q_k$  は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

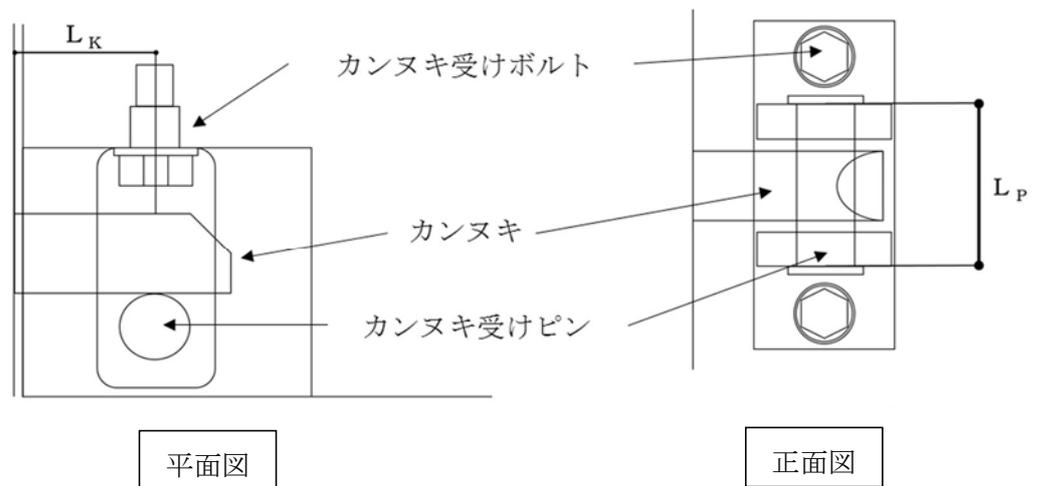


図3-23 カンヌキ部詳細図

## ハ. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント $M_p$ とせん断力 $Q_p$ は次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_p}{4}$$

$$Q_p = R$$

## ニ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力 $T$ は以下のとおりである。

$$T = R$$

## (b) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。評価対象部位の許容限界を表3-31に示す。

## イ. カンヌキ

カンヌキに生じる生じる曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M_k}{Z_k}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_k}{A_k}\right)^2}$$

## ロ. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、評価結果が厳しい方の値が短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_b = M_p / Z_p$$

$$\tau = Q_p / 2 \cdot A_p$$

## ハ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。 $n$ はカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = T / (n \cdot A_b)$$

表3-31 評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304	205	—
	カンヌキ受けピン	SCM440	686	396
		S45C	345	199
	カンヌキ受けボルト	SCM435	651	—

- b. 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉、原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉、原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉、空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）についての評価

(a) 応力評価

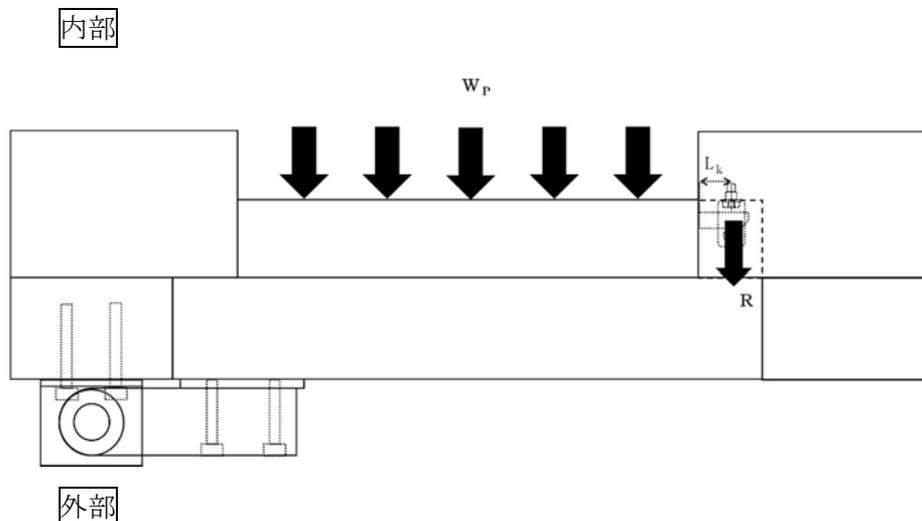
評価対象扉について、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ、せん断及び引張荷重をモデル化し、評価を行う。ヒンジ部及びカンヌキ部に作用する荷重、発生曲げモーメントM、発生せん断力Q及び発生引張力Tの算定式を以下に示す。

イ. カンヌキ部に生じる荷重

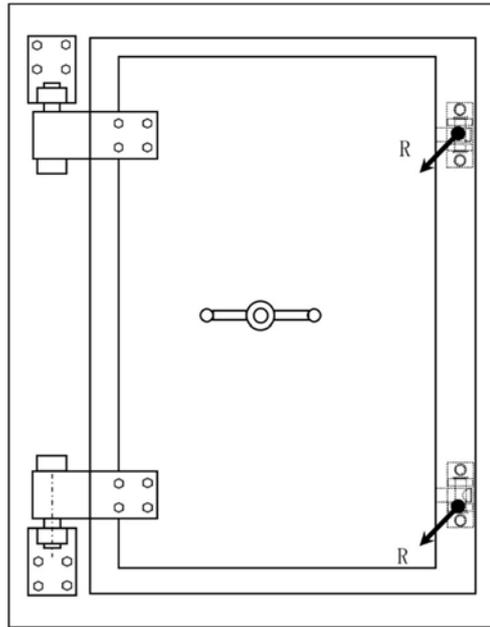
カンヌキ部に生じる荷重は、気圧差による荷重 $W_p$ をカンヌキ部で負担した場合に発生する反力Rから算定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_p}{n_k + n_h}$$



<扉平面図>



<扉立面図>

図3-24 カンヌキ部に生じる荷重

ロ. カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図3-25に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント $M_k$ 及びせん断力 $Q_k$ は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

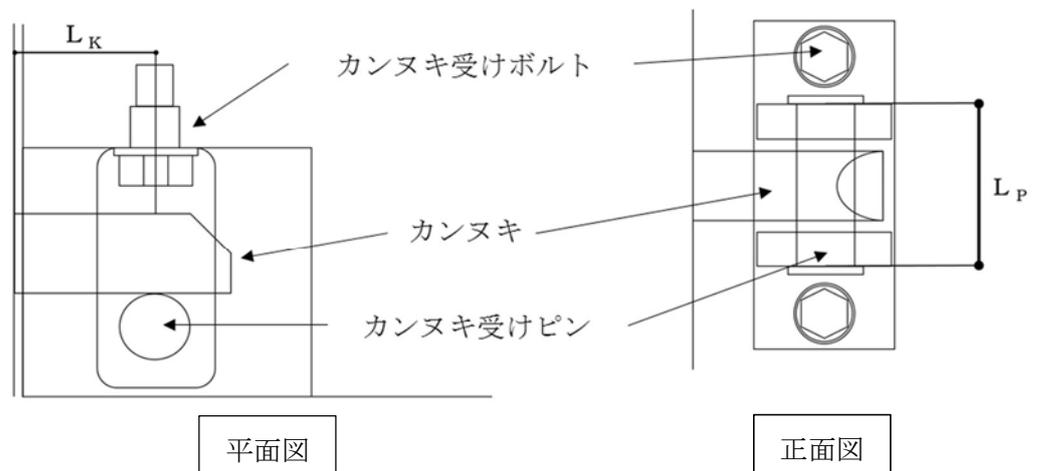


図3-25 カンヌキ部詳細図

## ハ. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント $M_p$ とせん断力 $Q_p$ は次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_p}{4}$$

$$Q_p = R$$

## ニ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力 $T$ は以下のとおりである。

$$T = R$$

## (b) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。評価対象部位の許容限界を表3-32に示す。

## イ. カンヌキ

カンヌキに生じる生じる曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M_k}{Z_k}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_k}{A_k}\right)^2}$$

## ロ. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、評価結果が厳しい方の値が短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_b = M_p / Z_p$$

$$\tau = Q_p / 2 \cdot A_p$$

## ハ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。 $n$ はカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = T / (n \cdot A_b)$$

表3-32 評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界値 (N/mm <sup>2</sup> )	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304	205	—
	カンヌキ受けピン	S45C	345	199
	カンヌキ受けボルト	SCM435	651	—

c. 原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉についての評価

(a) 応力評価

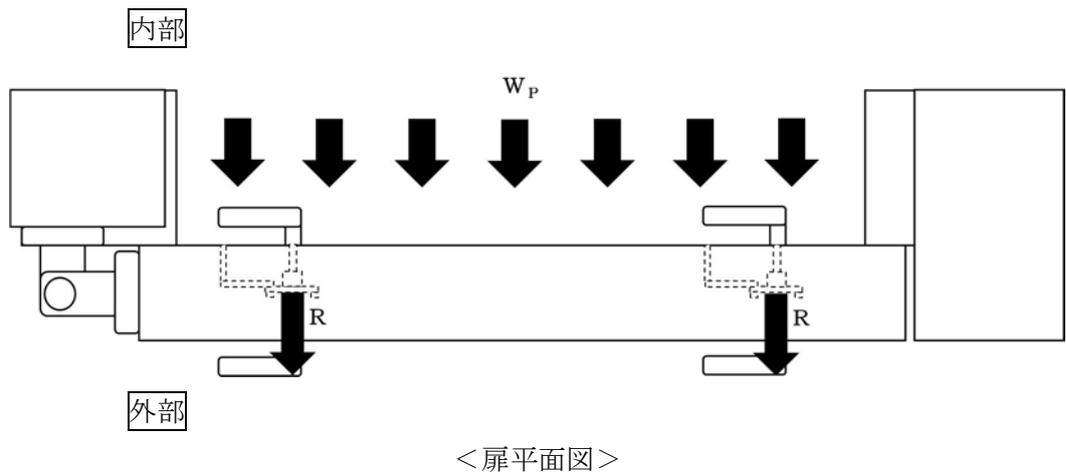
評価対象扉について、カンヌキ部（カンヌキバー及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ、せん断及び引張荷重をモデル化し、評価を行う。カンヌキ部に作用する荷重、発生曲げモーメントM、発生せん断力Q及び発生引張力Tの算定式を以下に示す。

イ. カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は、気圧差による荷重 $W_P$ をヒンジ部及びカンヌキ部で負担した場合に発生する反力Rから算定する。

$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_P}{n_k + n_h}$$



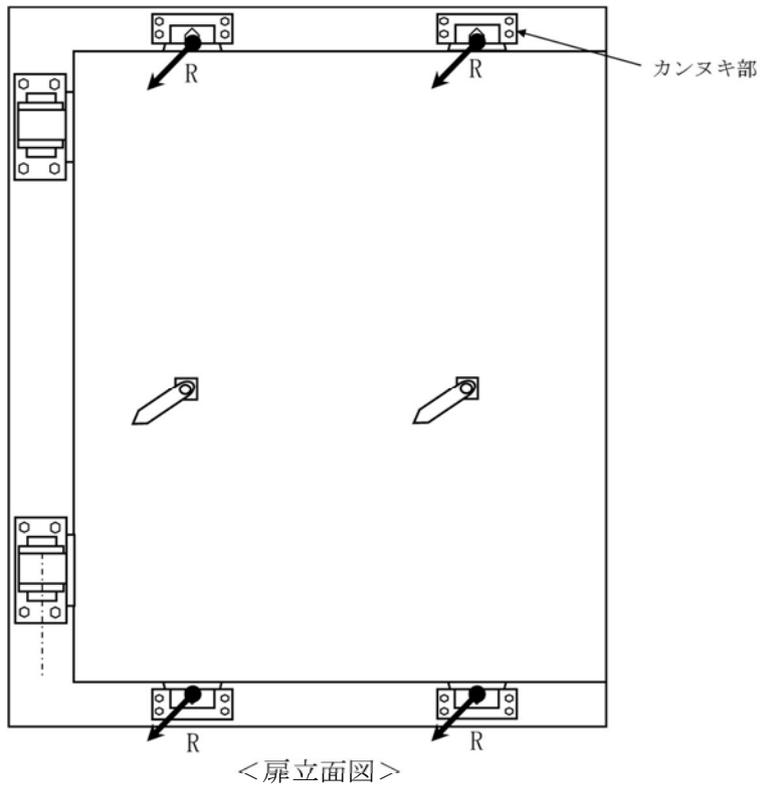


図3-31 ヒンジ部及びカンヌキ部に生じる荷重

ロ. カンヌキバー

カンヌキ部の詳細図を図3-32に示す。カンヌキバーに生じる曲げモーメント $M_1$ は次式により算定する。

$$M_1 = R \cdot L_k$$

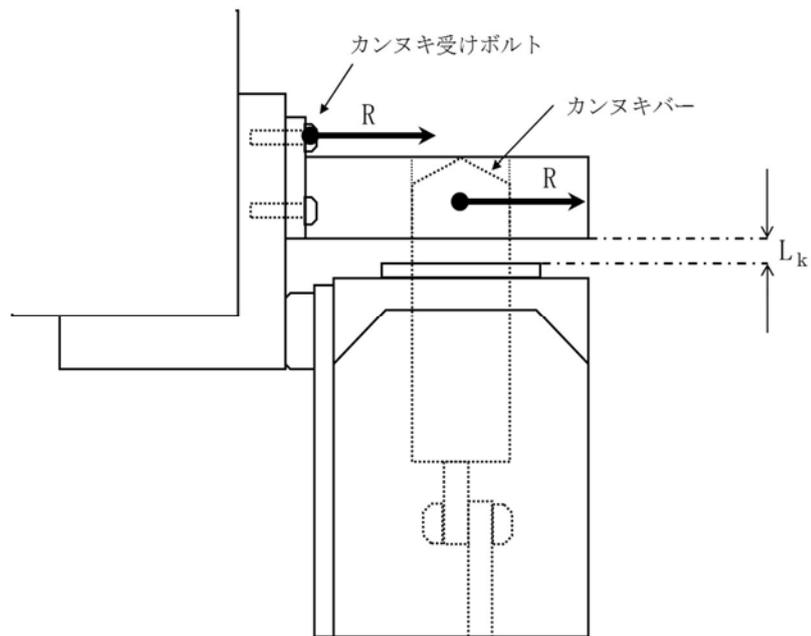


図3-32 カンヌキ部詳細図

ハ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Tは以下のとおりである。

$$T = R$$

(b) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。評価対象部位の許容限界を表3-33に示す。

イ. カンヌキバー

カンヌキバーに生じる曲げ応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_b = M_1 / Z_1$$

ロ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度 $T_1$ を次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。nはカンヌキ受けボルトの本数である。

$$\sigma_t = T / (n \cdot A_b)$$

表3-33 評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界値 (N/mm <sup>2</sup> )	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキバー	SUS304N2	345	199
	カンヌキ受けボルト	SUS304	205	118

d. 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉についての評価

(a) 応力評価

評価対象扉について、パネル取付ボルト及びアンカーボルトに掛かるせん断及び引張荷重をモデル化し、評価を行う。パネル取付ボルト及びアンカーボルトに作用する荷重、発生せん断力Q及び発生引張力Tの算定式を以下に示す。

イ. パネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重

パネル取付ボルト及びアンカーボルトに生じる荷重は、気圧差による荷重 $W_p$ をパネル取付ボルト及びアンカーボルトで負担した場合に発生する反力Rから算定する。

$$W_p = R = \Delta P \cdot A_d$$

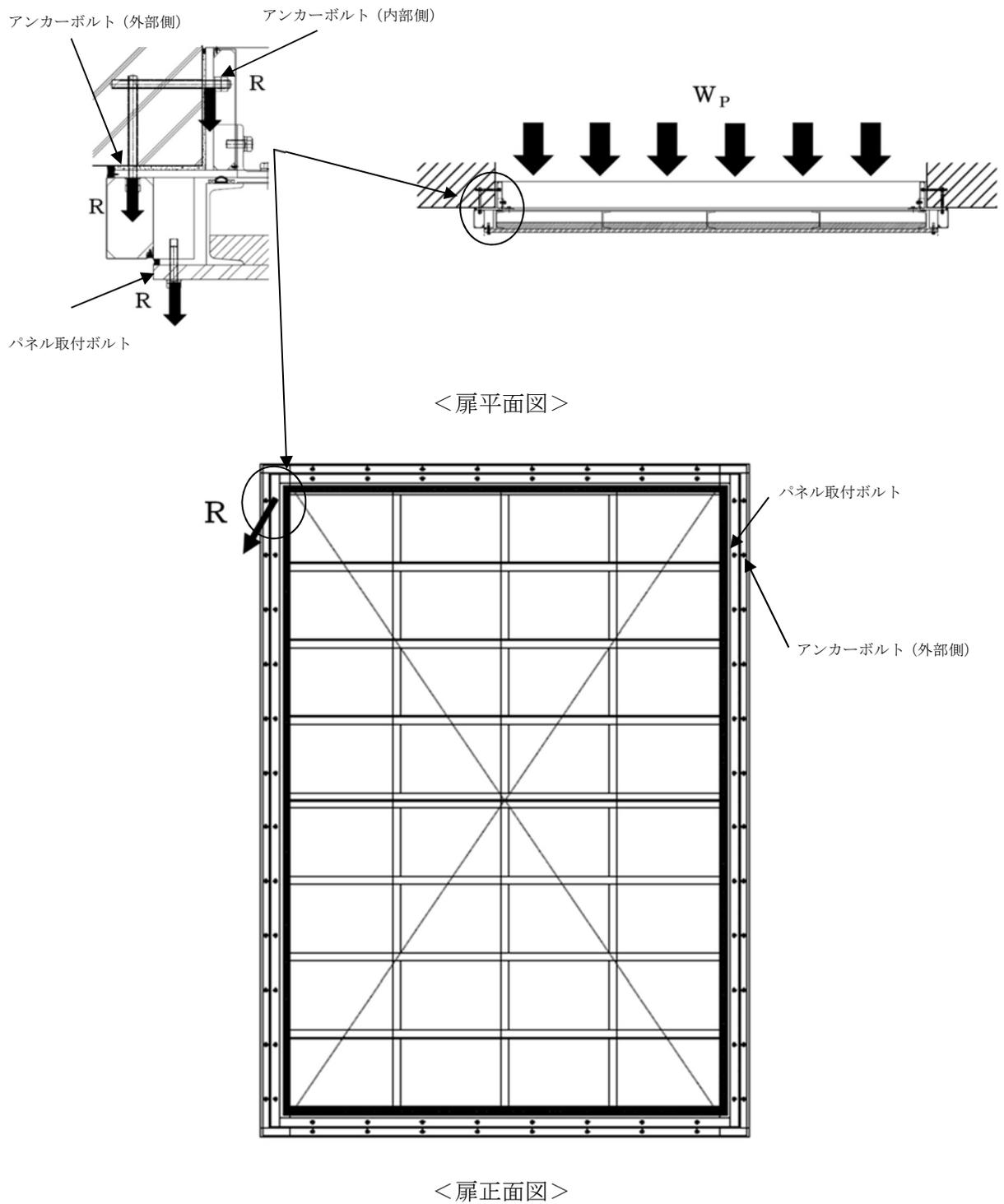


図3-33 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉に生じる荷重  
(扉枠体アンカーボルト固定)

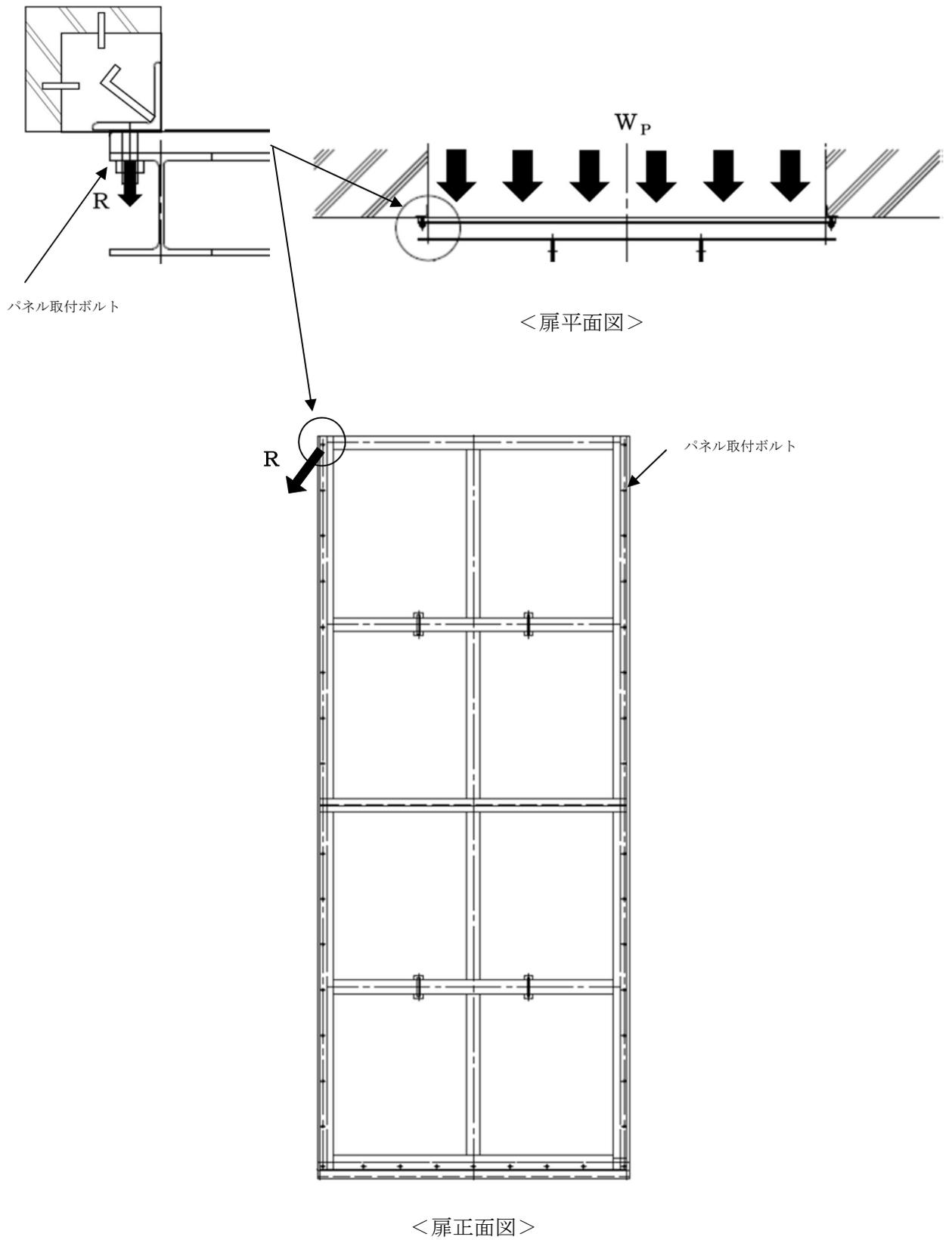
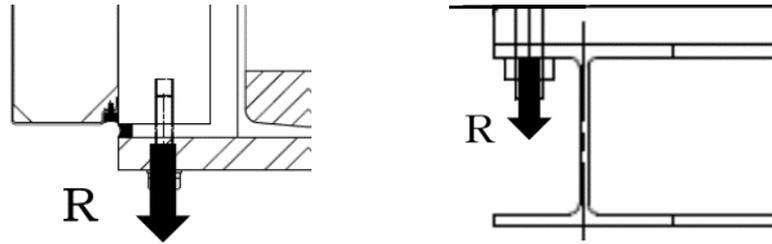


図3-34 原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉に生じる荷重  
(扉枠体躯体埋込)

ロ. パネル取付ボルト

パネル取付ボルトの詳細図を図3-35に示す。パネル取付ボルトに生じる引張力Tは次式により算定する。nはパネル取付ボルトの本数である。

$$T = R / n$$



<扉枠アンカーボルト固定>

<扉枠躯体埋込固定>

図3-35 パネル取付部詳細図

ハ. アンカーボルト（外部側）

アンカーボルト（外部側）の詳細図を図3-36に示す。アンカーボルト（外部側）に生じる引張力Tは次式により算定する。nはアンカーボルト（外部側）の本数である。

$$T = R / n$$

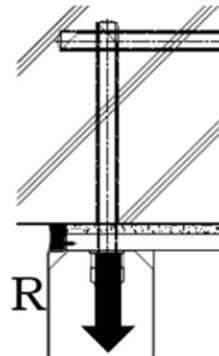


図3-36 アンカーボルト（外部側）詳細図

ニ. アンカーボルト（内部側）

アンカーボルト（内部側）の詳細図を図3-37に示す。アンカーボルト（内部側）に生じるせん断力Qは次式により算定する。nはアンカーボルト（内部側）の本数である。

$$Q = R / n$$

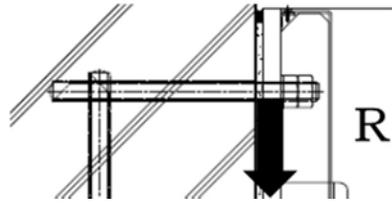


図3-37 アンカーボルト（内部側）詳細図

(b) 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。評価対象部位の許容限界を表3-34に示す。

イ. パネル取付ボルト

パネル取付ボルトに生じる引張応力度 $T$ を次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = T / A_b$$

ロ. アンカーボルト（外部側）

アンカーボルト（外部側）に生じる引張応力度 $T$ を次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = T / A_b$$

ハ. アンカーボルト（内部側）

アンカーボルト（内部側）に生じるせん断応力度 $Q$ を次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = Q / A_b$$

表3-34 評価対象部位の許容限界

評価対象部材	材質	許容限界値(N/mm <sup>2</sup> )	
		引張	せん断
パネル取付ボルト	SUS304	205	118
アンカーボルト（外部側）	SS400	235	135
アンカーボルト（内部側）	SS400	235	135

(5) 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）のうち鉄骨架構については、図3-38に示す各モデルのような、廃棄物処理建屋との接合部をピン支持とした3次元フレームモデルに対し、竜巻荷重により**架構部材**に発生する応力度を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

架構部材に発生する応力度の算出式は、表3-30に示すとおり。

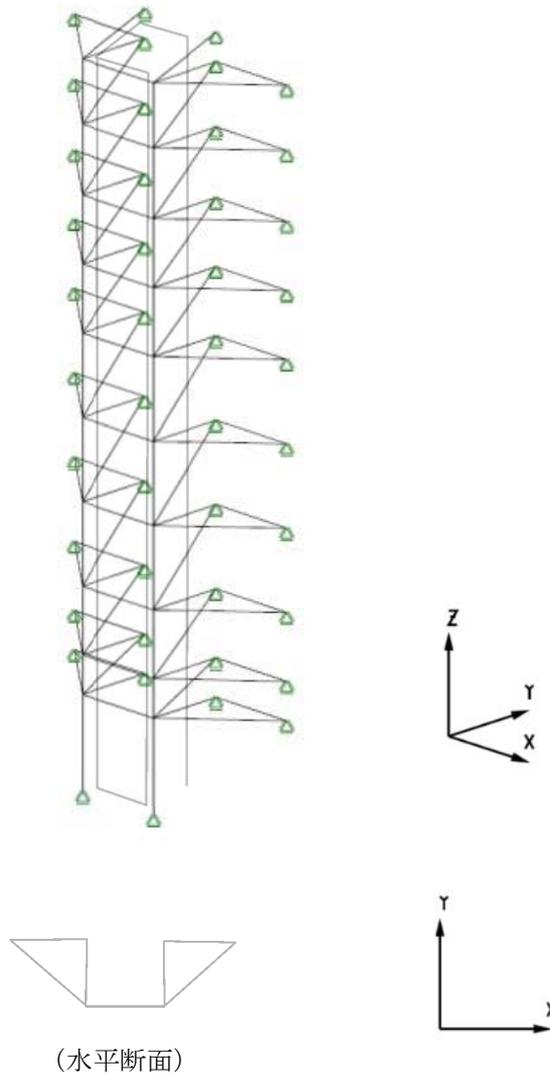


図 3-38 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）の解析モデル図（2/2）

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を、以下に示す。

4.1 貫通評価

4.1.1 鉄筋コンクリート造部

鉄筋コンクリート造部の貫通評価に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1 貫通評価に用いる入力値（鉄筋コンクリート造部）

記号	記号の説明		数値		単位
$\alpha_e$	低減係数	鋼製材	1.0		—
		車両	0.60		—
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		cm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度		原子炉建屋	225	kgf/cm <sup>2</sup>
			タービン建屋	225	
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋	240	
			緊急時対策所建屋	306	
			軽油貯蔵タンクタンク室	408	
N	飛来物の形状係数	鋼製材	1.14		—
		車両	0.72		—
D	飛来物直径密度 $W/d^3$	鋼製材	$6.42 \times 10^{-3}$		kgf/cm <sup>3</sup>
		車両	$1.29 \times 10^{-4}$		kgf/cm <sup>3</sup>
W	飛来物重量	鋼製材	135		kgf
		車両	5000		kgf
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	m/s
			鉛直	—*	

注記 \* : 表3-6を参照

#### 4.1.2 鋼製部

鋼製部の貫通評価に用いる条件を表4-2に示す。

表4-2 貫通評価に用いる入力値（鋼製部）

記号	記号の説明		数値		単位
d	飛来物直径	鋼製材	7.90		cm
k	鋼板の材質に関する係数		1		—
M	飛来物重量	鋼製材	135		kg
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
t <sub>1</sub>	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚 (大扉外側カバープレート)		0.0032		m
t <sub>2</sub>	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚 (大扉スキンプレート)		0.0280		m
t <sub>3</sub>	原子炉建屋原子炉棟水密扉の板厚 (大扉内側カバープレート)		0.0032		m
t <sub>4</sub>	機器搬入口内側扉の板厚 (フェースプレート)		0.0060		m
—	設計飛来物の運動エネルギー		175.6		kJ

#### 4.1.3 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの貫通評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「LS-DYNA」によるFEM解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は、衝突時間が長く、被衝突部材に伝達するエネルギーが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし、衝突位置のスパンに合わせて、屋根に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-3に、解析ケース図を図4-1に示す。

表4-3 解析ケース（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ貫通評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋 原子炉棟 屋根スラブ	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート(最小部： <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> mm) 鉄筋(D13@180, 200)

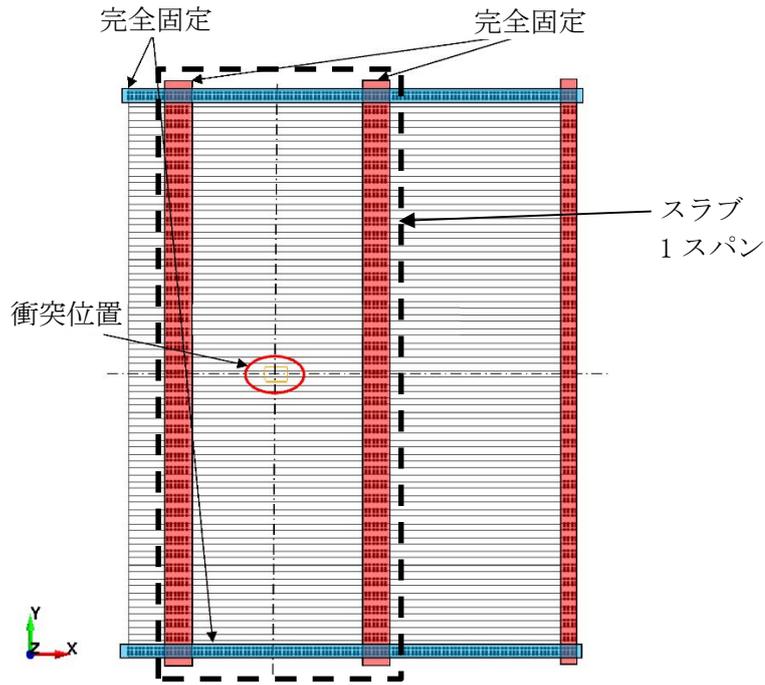


図4-1 解析ケース図

4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価に用いる条件を表 4-4 に示す。

表4-4 屋根スラブの裏面剥離評価式に用いる入力値

記号	記号の説明		数値		単位
$\alpha_s$	低減係数	鋼製材	1.0		—
		車両	0.55		
$V_0$	飛来物基準速度	鋼製材	60.96		m/s
		車両	60.96		
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		
$f_c'$	コンクリートの設計基準強度	原子炉建屋	225		kgf/cm <sup>2</sup>
		タービン建屋	225		
		使用済燃料 乾式貯蔵建屋	240		
		緊急時対策所建屋	306		
		軽油貯蔵タンクタンク室	408		
W	飛来物重量	鋼製材	135		kgf
		車両	5000		
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	
			鉛直	—*	

注記 \* : 表3-4を参照

#### 4.2.3 原子炉建屋壁面

原子炉建屋壁面の裏面剥離評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「LS-DYNA」によるFEM解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は、衝突時間が長く、被衝突部材に伝達するエネルギーが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし、衝突位置のスパンに合わせて、屋根に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-5に、解析ケース図を図4-2に示す。

表4-5 解析ケース（原子炉建屋壁面裏面剥離評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋 原子炉棟 外壁	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート ( <input type="text" value=""/> mm ) 鉄筋 (D19@200)

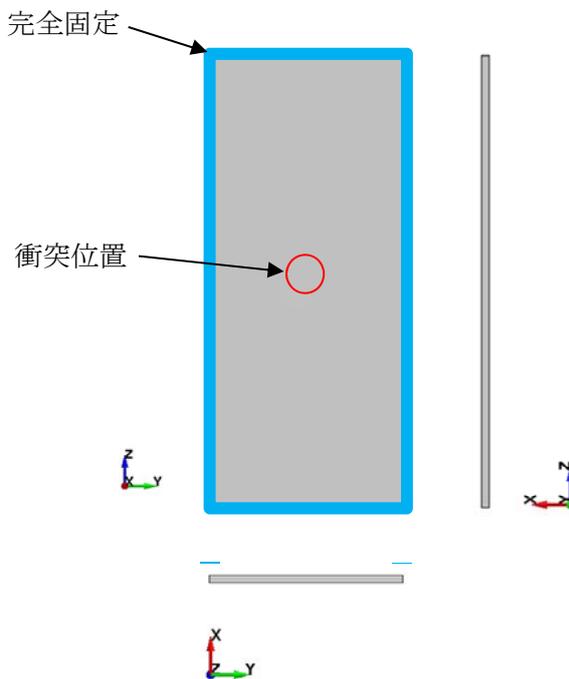


図4-2 解析ケース図（原子炉建屋壁面裏面剥離評価）

#### 4.2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面

使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面の裏面剥離評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「LS-DYNA」によるFEM解析解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は、衝突時間が長く、被衝突部材に伝達するエネルギーが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし、衝突位置のスパンに合わせて、建屋壁面に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-6に、解析ケース図を図4-3に示す。

表4-6 解析ケース（使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面裏面剥離評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋 原子炉棟 外壁	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート ( <input type="text" value=""/> mm ) 鉄筋 (D22@250)

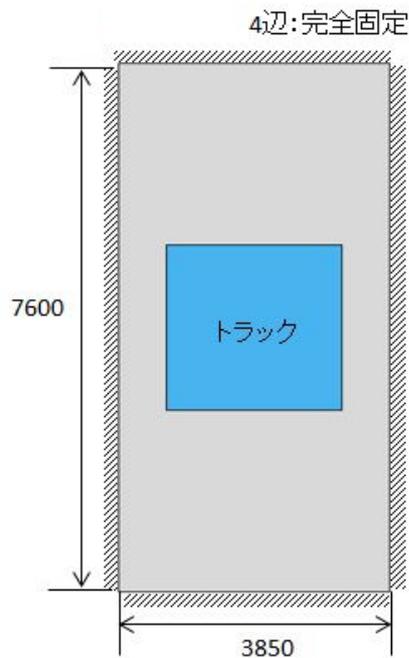


図4-3 解析ケース図（使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面裏面剥離評価）

#### 4.3 変形評価

##### (1) 外壁

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋，緊急時対策所及び廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備の変形評価に用いる条件を表4-7～表4-11に示す。

表4-7 原子炉建屋変形評価の評価条件 (1/4) (RC構造部)

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
				N-S方向	E-W方向
1	63.65	風上	0.8	331	354
		風下	0.4		
2	57.00	風上	0.8	447	478
		風下	0.4		
3	46.50	風上	0.8	328	351
		風下	0.4		
4	38.80	風上	0.8	175	187
		風下	0.4		
5	34.70	風上	0.8	266	283
		風下	0.4		
6	29.00	風上	0.8	581	570
		風下	0.4		
7	20.30	風上	0.8	430	432
		風下	0.4		
8	14.00	風上	0.8	396	398
		風下	0.4		

注記 \* : 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とする。

表4-7 原子炉建屋変形評価の評価条件 (2/4) (鉄骨造部分: 風荷重)

区画	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数* <sup>1</sup>	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
				N-S方向	E-W方向
付属棟 南東	22.0 ~ 35.0	風上	0.8	156	162
		風下	0.4		
付属棟 東側	14.0 ~ 22.0	風上	0.8	— * <sup>2</sup>	391
		風下	0.4		
隔離弁室 ①	22.0 ~ 30.0	風上	0.8	46	57
		風下	0.4		
隔離弁室 ②	22.0 ~ 30.0	風上	0.8	13	104
		風下	0.4		

注記 \*<sup>1</sup>: 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とする。

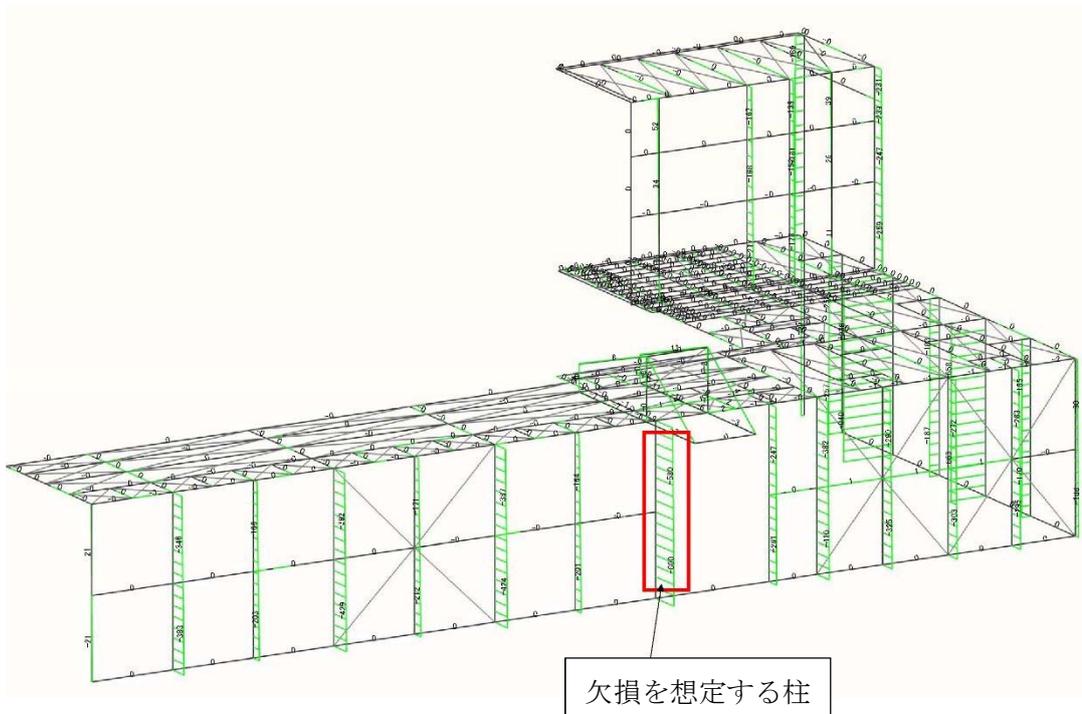
\*<sup>2</sup>: 構造上, N-S方向に対し見附面を有しない。

表4-7 原子炉建屋変形評価の評価条件 (3/4) (鉄骨造部分：主要部材断面)

部材断面	材質	主な使用部位	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )			
			F	引張 1.5f <sub>t</sub>	圧縮 1.5f <sub>c</sub>	曲げ 1.5f <sub>b</sub>
H-350×350×12×19	SS400	柱	235	235	(*)	
H-300×300×10×15	SS400	柱	235	235		
H-800×500×19×40	SM490A	梁	325	325		
H-800×300×16×32	SM490A	梁	325	325		
H-600×300×16×32	SM490A	梁	325	325		
H-600×200×11×17	SS400	梁	235	235		
H-500×200×10×16	SS400	梁	235	235		
H-300×150×6.5×9	SS400	梁	235	235		

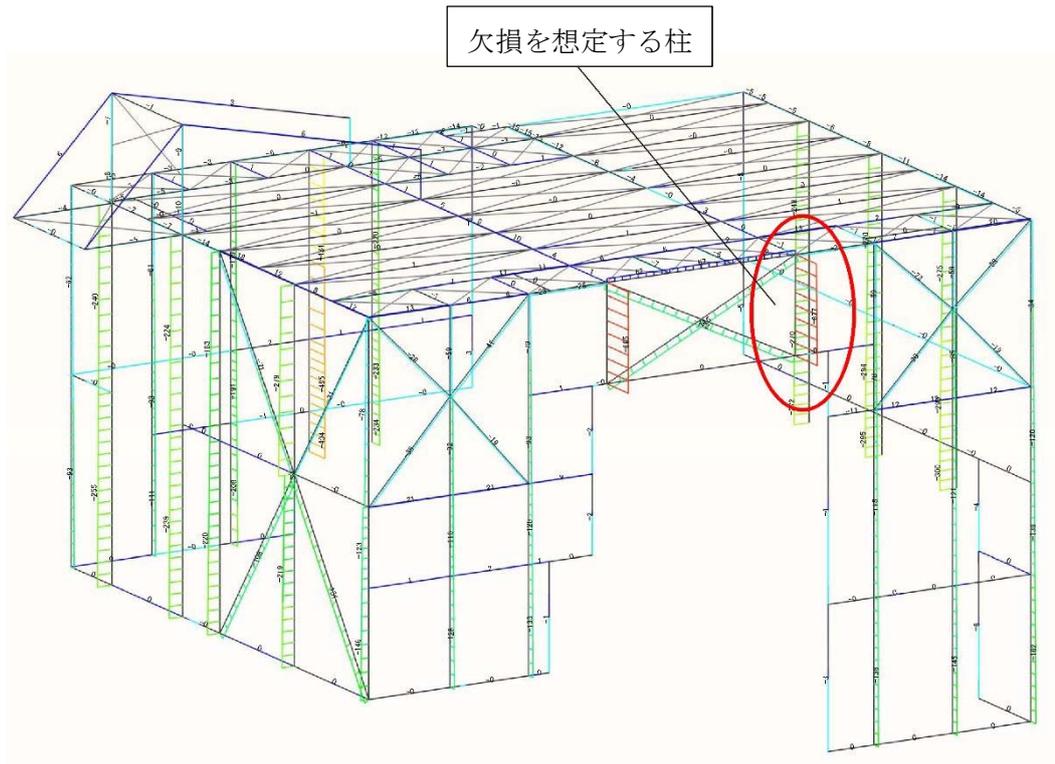
注記 \* : f<sub>c</sub>及びf<sub>b</sub>は、鋼構造設計規準の「5章 許容応力度」により定める。

原子炉建屋(鉄骨造部分)の竜巻評価における、架構部材の欠損想定位置を図4-4に示す。当該部材は、竜巻時及び通常時(竜巻襲来後の状態)の状態において、架構を支える軸力が最大となる箇所を抽出した。

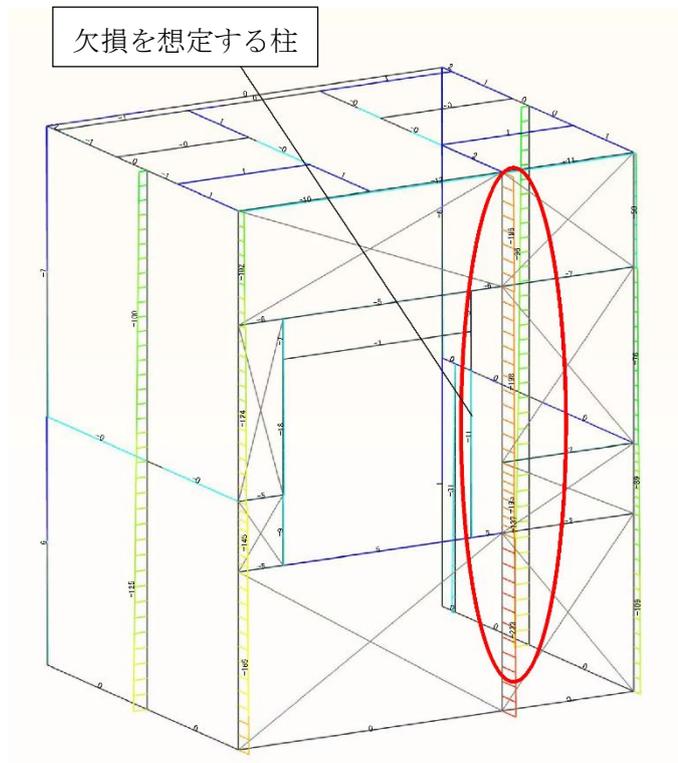


(付属棟東部及び隔離弁室②)

図4-4 欠損を想定する架構部材 (1/2)



(付属棟南東部)



(隔離弁室①)

図4-4 欠損を想定する架構部材 (2/2)

表4-7 原子炉建屋変形評価の評価条件 (4/4) (鉄骨造部分：外装材仕様)

項目	記号	値	単位
外装材の取付幅	$\phi$	450	mm
外装材の断面係数	Z	$3.70 \times 10^4$	mm <sup>3</sup>
外装材の働き幅	b	600	mm

表4-8 タービン建屋変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
				N-S方向	E-W方向
1	40.64	風上	0.8	1408	585
		風下	0.4		
2	28.00	風上	0.8	1129	733
		風下	0.4		
3	18.00	風上	0.8	1034	696
		風下	0.4		

注記 \*：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表4-9 使用済燃料乾式貯蔵建屋変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
				N-S方向	E-W方向
BM03	29.20	風上	0.8	318	658
		風下	0.4		
BM02	17.75	風上	0.8	254	525
		風下	0.4		

注記 \*：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表4-10 緊急時対策所建屋変形評価の評価条件

質点	高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
				N-S方向	E-W方向
1	51.00	風上	0.8	154	228
		風下	0.4		
2	43.50	風上	0.8	256	265
		風下	0.4		
3	37.00	風上	0.8	272	320
		風下	0.4		
4	30.30	風上	0.8	275	333
		風下	0.4		

注記 \*：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表4-11 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件 (1/3)  
(鉄骨架構部分：風荷重)

高さ(EL.) (m)	位置	風力係数*	受圧面積(m <sup>2</sup> )	
			N-S方向	E-W方向
8.45 ～ 31.0	風上	0.8	72.2	62.35
	風下	0.4		

注記 \* : 風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表4-11 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件 (2/3)  
(鉄骨架構部分：主要部材断面)

部材断面	材質	主な使用部位	許容限界(N/mm <sup>2</sup> )			
			F	引張 1.5f <sub>t</sub>	圧縮 1.5f <sub>c</sub>	曲げ 1.5f <sub>b</sub>
H-175×175×7.5×11	SN400B	支柱, 梁	F	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>
H-244×175×7×11	SN400B	梁	235	235	(*)	
H-150×75×6.5×10	SS400	鉛直支持 ブレース	235	235		

ここで、f<sub>c</sub>及びf<sub>b</sub>は、鋼構造設計規準の「5章 許容応力度」により定める

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部分）の竜巻評価における，架構部材の欠損想定位置を図4-5に示す。当該部材は，竜巻時において，竜巻荷重を負担する面積が最大となる箇所を抽出した。

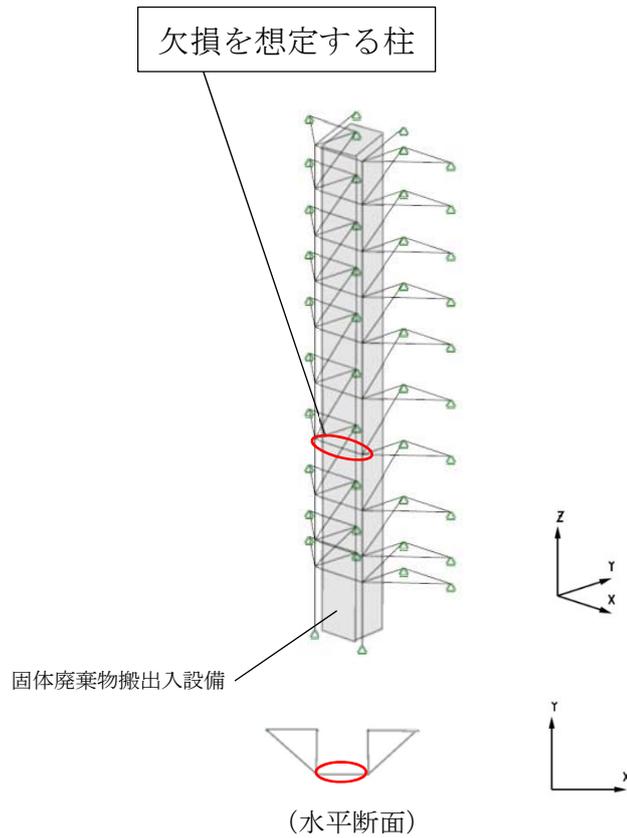


図 4-5 欠損を想定する架構部材

表4-11 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備変形評価の評価条件 (3/3)  
(鉄骨架構部分：外装材仕様)

項目	記号	値	単位
外装材の取付幅	$\ell$	600	mm
外装材の断面係数	Z	3375	mm <sup>3</sup>
外装材の働き幅	b	1000	mm

## (2) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの変形評価に用いる条件を表4-12に示す。

表4-12 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の評価条件

記号	記号の説明	数値	単位
q	設計用速度圧	6100	N/m <sup>2</sup>
C	風力係数	1.0	—
G	ガスト影響係数	1	—
$\Delta P$	最大気圧低下量	8900	N/m <sup>2</sup>
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	33123	mm <sup>2</sup>
$A_0$	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積	442.3	mm <sup>2</sup>
$s_c a$	頭付きアンカーボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	284	mm <sup>2</sup>
b	部材幅	1000	mm
d'	部材の有効せい	50	mm
L	屋根スラブの支持スパン	2270	mm
p	頭付きアンカーボルトの間隔	360	mm
D	頭付きアンカーボルト頭部の直径	30.4	mm
d	頭付きアンカーボルト軸部の直径	19	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	22.1	N/mm <sup>2</sup>
$f_n$	コンクリートの支圧強度	132.6	N/mm <sup>2</sup>
$f_s$	コンクリートの許容せん断応力度	1.06	N/mm <sup>2</sup>
$f_t$	鉄筋の許容引張応力度	345	N/mm <sup>2</sup>
$a_t$	引張鉄筋断面積	703.9	mm <sup>2</sup>
j	応力中心間距離 ( $j = (7/8) \cdot d'$ )	43.8	mm
$l_{ce}$	頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ ( $l_{ce} = l_e$ )	88.6	mm
$l_e$	頭付きアンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ	88.6	mm
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.457	N/mm <sup>2</sup>
$s \sigma_{pa}$	頭付きアンカーボルトの引張強度	235	N/mm <sup>2</sup>
$s \sigma_y$	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度	235	N/mm <sup>2</sup>
$\phi_1$	低減係数	1	—
$\phi_2$	低減係数	0.67	—
$\omega_d$	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重	3.37	kN/m
$\omega_{T1}$	評価に用いる竜巻の荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重	-8.9*	kN/m
$\omega_{T2}$	評価に用いる竜巻の荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重	-10.55*	kN/m

注記 \* : 下向きの荷重を正の値とする。

(3) 扉

- a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)及び原子炉建屋付属棟1階東側水密扉

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-13～4-16に示す。

表4-13 原子炉建屋原子炉棟水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	水密扉受圧面積	25.9	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	14	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	66.0	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	490.9	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	91.0	mm
		$Z_p$	断面係数	1534	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

表4-14 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	水密扉受圧面積	3.61	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	106.0	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	314.2	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	79.0	mm
		$Z_p$	断面係数	785.4	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

表4-15 原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	水密扉受圧面積	1.57	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	95.0	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	314.2	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	90.0	mm
		$Z_p$	断面係数	785.4	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

表4-16 原子炉建屋付属棟1階東側水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	水密扉受圧面積	4.84	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	6	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	106	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	314.2	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	79.0	mm
		$Z_p$	断面係数	785.4	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

- b. 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）

上記扉の変形評価に用いる条件を表4-17～表4-19に示す。

表4-17 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉及び原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	扉受圧面積	1.49	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		$n_h$	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	75	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	314.2	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	80	mm
		$Z_p$	断面係数	785.4	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

表4-18 空調機械室搬入口扉の変形評価の評価条件\*

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	扉受圧面積	17.42	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	4	箇所
		$n_h$	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	65	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	490.9	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	91	mm
		$Z_p$	断面係数	1534	$mm^3$

注記 \*：カンヌキ受けボルトは気圧差による荷重により発生する反力で躯体に押し込まれる構造となるため、カンヌキ受けボルトの評価は行わない。

表4-19 空調機械室搬入口扉（潜戸）の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	扉受圧面積	1.84	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大 気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		$n_h$	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	$A_k$	断面積	1963	$mm^2$
		$L_k$	軸支持間距離	75	mm
		$Z_k$	断面係数	12270	$mm^3$
	カンヌキ受けピン	$A_p$	断面積	314.2	$mm^2$
		$L_p$	軸支持間距離	80	mm
		$Z_p$	断面係数	785.4	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの 断面積	157	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	2	本

- c. 原子炉建屋付属棟1階南側水密扉及び原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉  
上記扉の変形評価に用いる条件を表4-20～表4-21に示す。

表4-20 原子炉建屋付属棟1階南側水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	扉受圧面積	3.59	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大 気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	4	箇所
		$n_h$	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキバー	$L_k$	軸支持間距離	19	mm
		$Z_1$	断面係数	12271	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの 断面積	4	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	157	本

表4-21 原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		$A_d$	扉受圧面積	1.67	$m^2$
		$\Delta P$	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	$N/m^2$
		$n_k$	カンヌキ部箇所数	2	箇所
		$n_h$	ヒンジ部箇所数	2	箇所
カンヌキ部	カンヌキバー	$L_k$	軸支持間距離	19	mm
		$Z_1$	断面係数	2651	$mm^3$
	カンヌキ受けボルト	$A_b$	ボルト1本あたりの断面積	84.3	$mm^2$
		$n$	ボルト本数	4	本

- d. 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉上記扉の変形評価に用いる条件を表4-22～表4-23に示す。

表4-22 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉の変形評価の評価条件

部位	記号	記号の説明	数値	単位
パネル取付ボルト	$A_b$	ボルト一本当たりの断面積	245	$mm^2$
	$n$	ボルト本数	40	本
アンカーボルト (外部側)	$A_b$	ボルト一本当たりの断面積	245	$mm^2$
	$n$	ボルト本数	40	本
アンカーボルト (内部側)	$A_b$	ボルト一本当たりの断面積	245	$mm^2$
	$n$	ボルト本数	40	本

表4-23 原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉の変形評価の評価条件\*

部位	記号	記号の説明	数値	単位
パネル取付ボルト	$A_b$	ボルト一本当たりの断面積	353	$mm^2$
	$n$	ボルト本数	39	本

注記 \* : 扉枠を躯体に直接埋め込むためアンカーボルトなし

5. 強度評価結果

5.1 貫通評価

貫通限界厚さと許容限界の比較を表5-1に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった原子炉建屋屋根スラブについては、解析による評価にてデッキプレートが破断しないことを確認した。

表5-1 貫通評価結果(1/2) (式による評価)

評価項目		評価対象部位		飛来物	部材厚さ*1 (mm)	貫通限界 厚さ (mm)
貫通評価	原子炉建屋	屋根スラブ		鋼製材	100*2	
		外壁	R C 部	鋼製材	300	
			鋼構造部	鋼製材	16*3	
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版*4		鋼製材	800	
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁		鋼製材	1000	
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ		鋼製材	450	
		外壁	車両	—		
			鋼製材	450		
				車両	450	
		軽油貯蔵タンク タンク室		頂版	鋼製材	
	緊急時対策所	建屋屋根スラブ		鋼製材	600	
				車両	—	
		建屋外壁	鋼製材	1000		
			車両	1000		
扉	原子炉建屋 大物搬入口扉		鋼製材	28		
	(吸収エネルギー評価)		鋼製材	175.9 kJ	175.6 kJ	
	上記以外		鋼製材	32	32	

注記 \*1：評価部位の中で最少のもの  
 \*2：表5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認  
 \*3：防護鋼板として、当該厚さでの耐貫通性を確認済（「V-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」）  
 \*4：竜巻より防護すべき施設の上部のスラブを対象とする。

表5-1 貫通評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目	評価対象部位	飛来物	ひずみ		
			評価結果	許容限界	
貫通評価	原子炉建屋 原子炉棟	屋根スラブ (鉄筋)	鋼製材	$2.1 \times 10^{-3}$	$8.2 \times 10^{-2}$

5.2 裏面剥離評価

裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表5-2に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった部位については、解析による評価にてデッキプレート若しくはライナが破断しないことを確認した。

表 5-2 裏面剥離評価結果(1/2) (式による評価)

評価項目	評価対象部位	飛来物	部材厚さ <sup>*1</sup> (mm)	裏面剥離 限界厚さ (mm)	
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	100 <sup>*2</sup>	
		外壁   R C部	鋼製材	300 <sup>*2</sup>	
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版 <sup>*3</sup>	鋼製材	800	
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁	鋼製材	1000	
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ	鋼製材	450	
			車両	—	
		外壁	鋼製材	450 <sup>*4</sup>	
			車両	450 <sup>*2</sup>	
	軽油貯蔵タンク タンク室	頂版	鋼製材	2000	
	緊急時対策所	建屋屋根スラブ	鋼製材	600	
			車両	—	
		建屋外壁	鋼製材	1000	
車両			1000		

注記 \*1：評価部位の中で最少のもの

\*2：表 5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認

\*3：竜巻より防護すべき施設の上部のスラブを対象とする。

\*4：内包する防護すべき施設への影響がないことを、表 5-2(2/2)の原子炉建屋外壁を代表とした評価により確認

表5-2 裏面剥離評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目		評価対象部位	飛来物	ひずみ	
				評価結果	許容限界
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ (デッキプレート)	鋼製材	0.013*	0.082
		6階外壁* (裏面側鉄筋)	鋼製材	$9.45 \times 10^{-4}$ *	$2.0 \times 10^{-3}$
	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	ライナ	車両	0.058	0.095

注記 \* : 外殻となるRC壁の代表箇所(最少版厚部位)

### 5.3 変形評価

#### (1) 建屋(RC造部)

建屋のRC造部に生じるせん断ひずみと許容限界の比較を表5-3に示す。建屋に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 5-3 変形評価結果(建屋(RC造部))

評価項目		評価結果	許容限界
建屋の せん断ひずみ	原子炉建屋	$4.2 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$
	タービン建屋	$4.7 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	$5.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$
	緊急時対策所	$8.8 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-3}$

#### (2) 原子炉建屋(鉄骨構造部)

##### a. 鉄骨架構

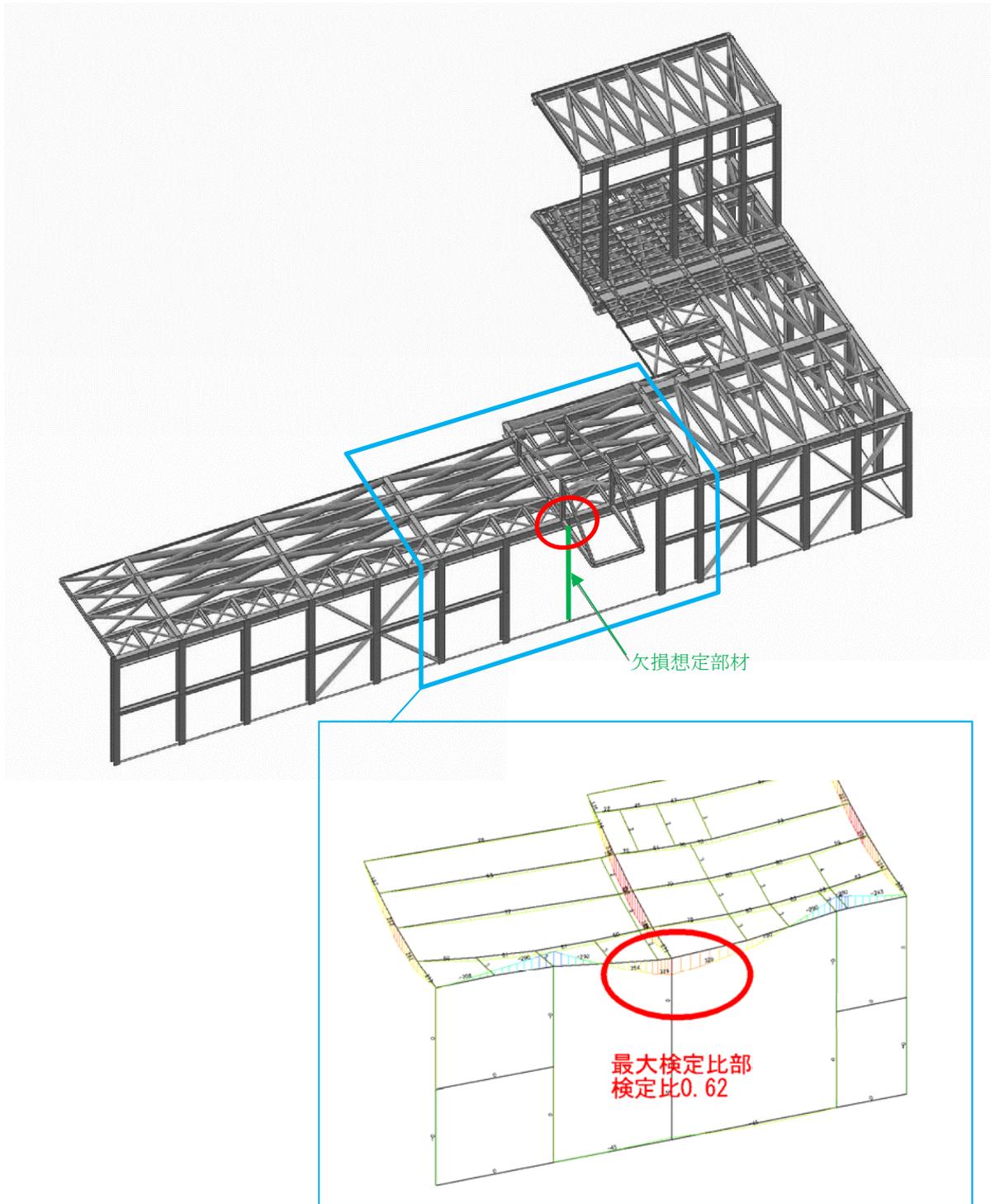
部材の欠損を想定した場合に原子炉建屋(鉄骨構造部)の部材に発生する応力度と許容限界の比較を表5-4(1/2)に示す。鉄骨架構に生じる応力度が、許容限界を超えないことを確認した。検定比が最大となる箇所について、図5-1に示す。

表5-4 変形評価結果（原子炉建屋（鉄骨構造部）鉄骨架構）

評価項目	評価箇所	評価結果		許容限界	
鉄骨架構の 発生応力度	付属棟東側 及び 隔離弁室②	検定比		1*2	
		応 力 度	曲げ（強軸）	0.62*1	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			曲げ（弱軸）	144 (N/mm <sup>2</sup> )	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			軸力（引張）	0 (N/mm <sup>2</sup> )	235 (N/mm <sup>2</sup> )
	付属棟 南東側	検定比		1*2	
		応 力 度	曲げ（強軸）	0.54*1	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			曲げ（弱軸）	123 (N/mm <sup>2</sup> )	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			軸力（圧縮）	0 (N/mm <sup>2</sup> )	226 (N/mm <sup>2</sup> )
	隔離弁室①	検定比		1*2	
		応 力 度	曲げ（強軸）	0.41*1	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			曲げ（弱軸）	94 (N/mm <sup>2</sup> )	235 (N/mm <sup>2</sup> )
			軸力（圧縮）	0 (N/mm <sup>2</sup> )	203 (N/mm <sup>2</sup> )

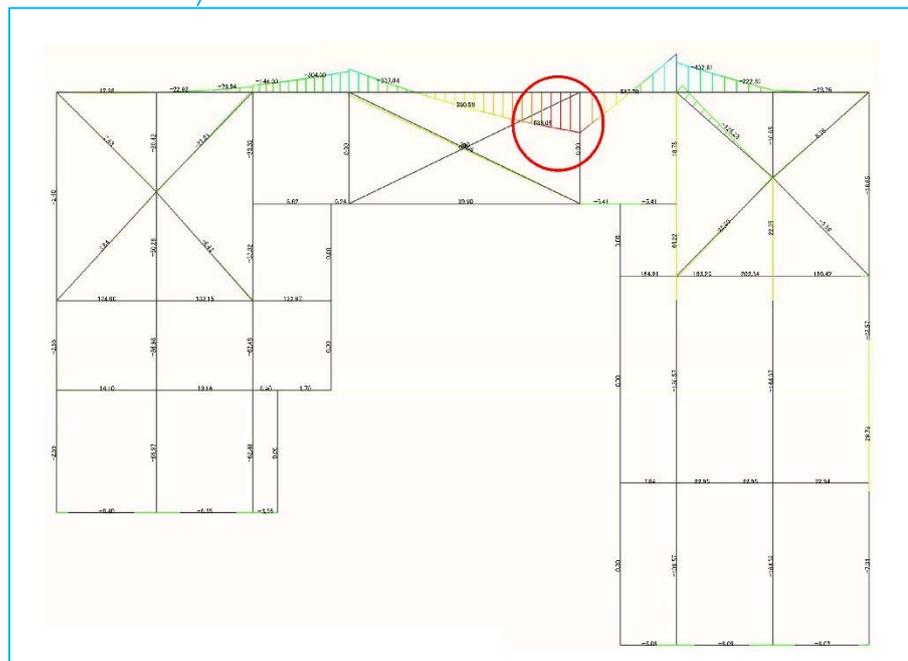
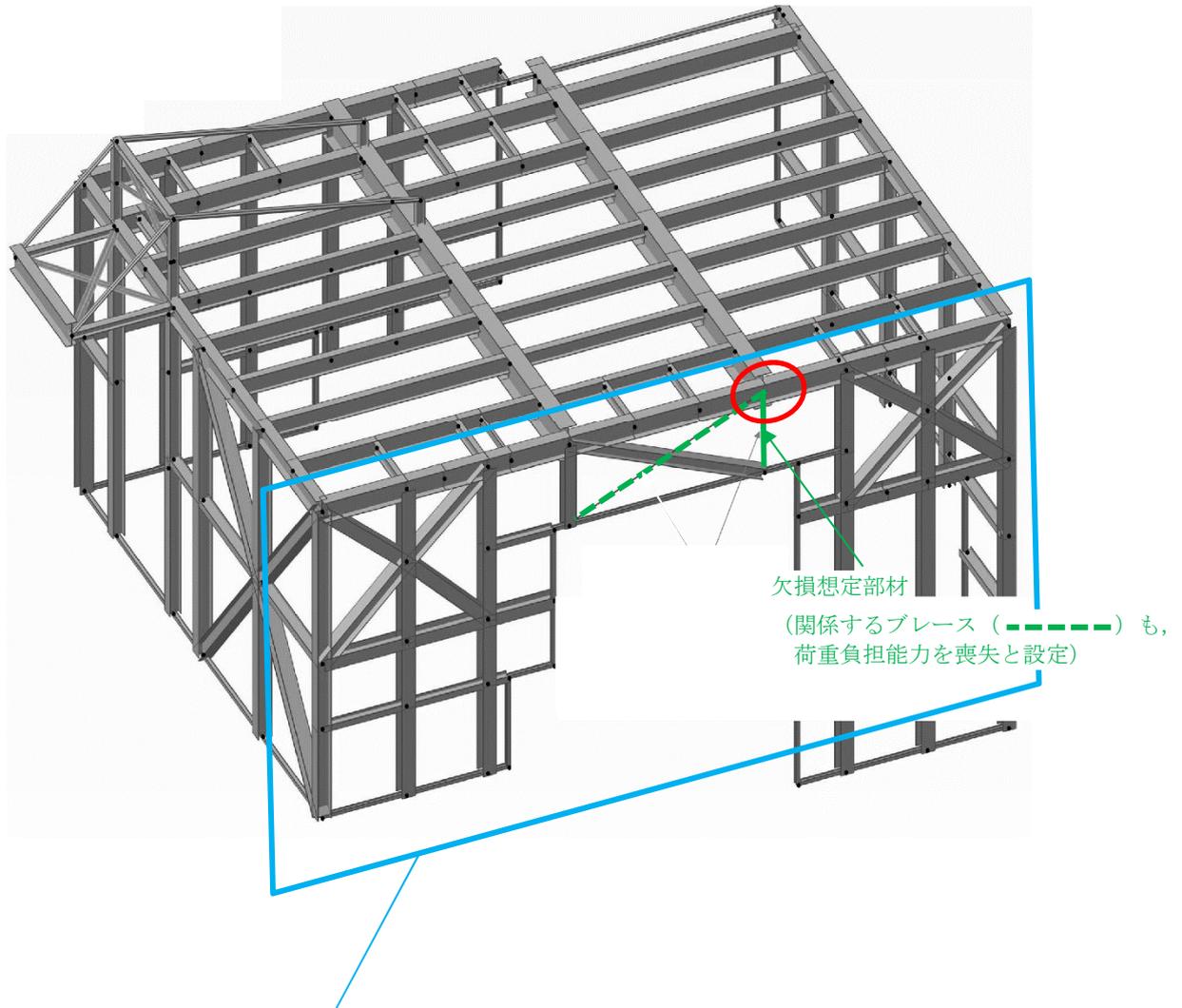
注記 \*1：表3-30の「引張（圧縮）+曲げ」の検定式による

\*2：短期許容応力度



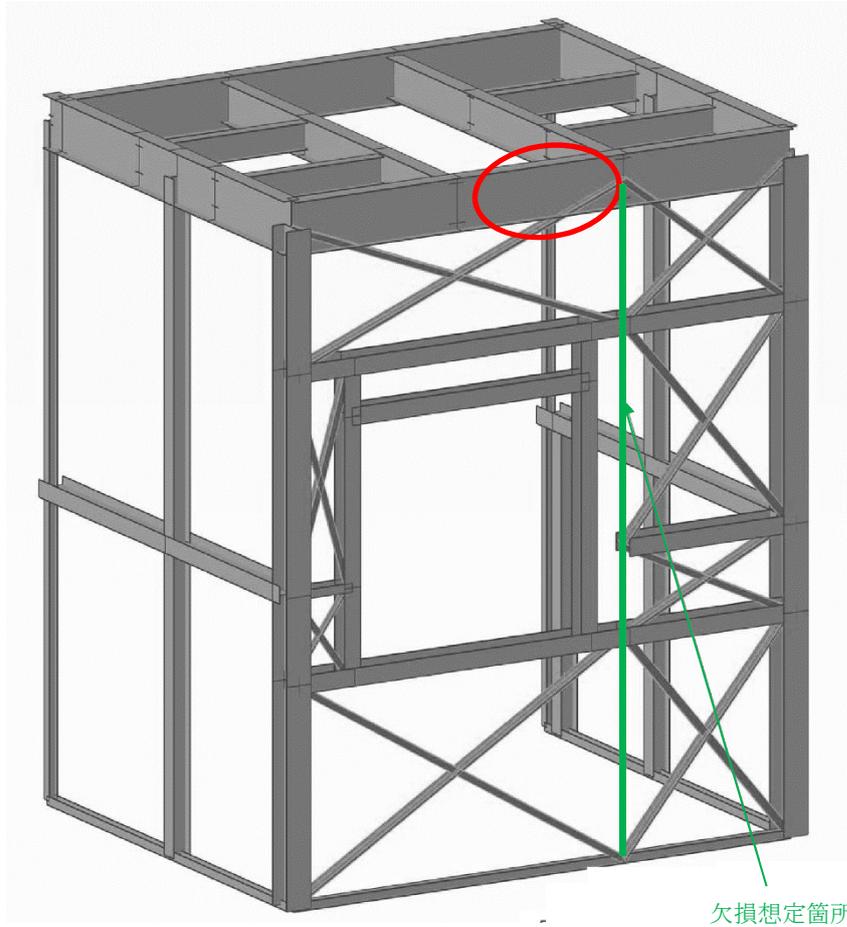
(付属棟東側及び隔離弁室②)

図5-1 最大検定比の発生箇所（竜巻時）（1/3）

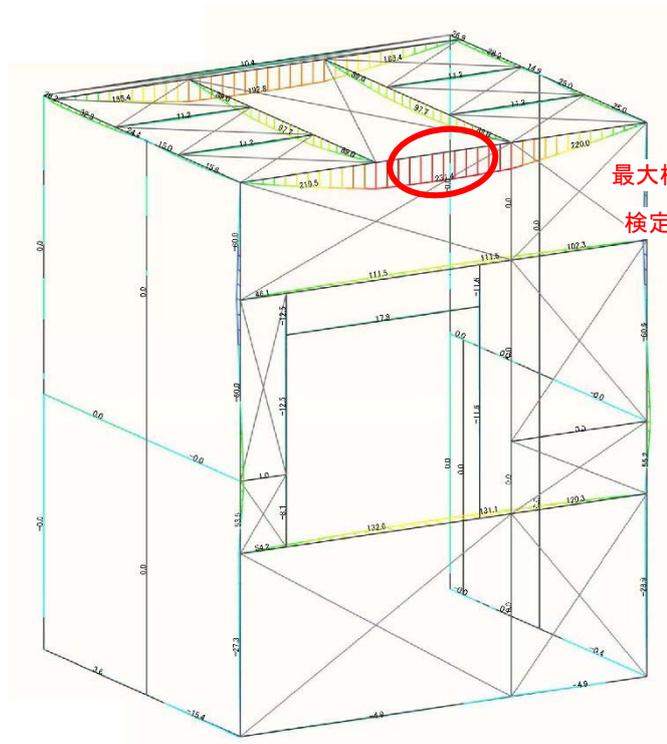


(付属棟南東側)

図5-1 最大検定比の発生箇所 (竜巻時) (2/3)



欠損想定箇所



最大検定比部  
検定比 0.41

(隔離弁室①)

図5-1 最大検定比の発生箇所 (竜巻時) (3/3)

## b. 外装板

外装板の曲げ応力及び取付ボルトの発生荷重と許容限界の比較を表5-5に示す。いずれにおいても許容限界を超えないことを確認した。

表5-5 変形評価結果（原子炉建屋（鉄骨構造部）外装板）

評価項目	評価結果	許容限界
外装板の曲げ応力	6.1 (N/mm <sup>2</sup> )	40 (N/mm <sup>2</sup> )
外装板取付ボルトの引張荷重	2.6 (kN)	3.0 (kN)

## (3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに生じる荷重と許容限界の比較を表5-6に示す。スラブ及びスタッドに生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-6 変形評価結果（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）

評価項目	評価結果	許容限界
屋根スラブ（単位幅）の曲げモーメント	3 (kN・m)	10 (kN・m) * <sup>1</sup>
屋根スラブのせん断力	9 (kN)	46 (kN) * <sup>1</sup>
スタッドの発生引張力	4 (kN)	32 (kN) * <sup>2</sup>

注記 \*1：「RC規準」に基づき算出

\*2：「各種合成構造指針」に基づき算出

(4) 扉

- a. 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-7に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-7 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉の変形評価結果

評価対象部位		評価結果 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉棟水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	90	205
		カンヌキ受けピン*	245	686
		カンヌキ受けボルト	53	651
電気室搬入口水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	70	205
		カンヌキ受けピン*	202	686
		カンヌキ受けボルト	26	651
原子炉棟水密扉(潜戸)	カンヌキ部	カンヌキ	28	205
		カンヌキ受けピン*	101	345
		カンヌキ受けボルト	12	651
原子炉建屋付属棟1階東側水密扉	カンヌキ部	カンヌキ	94	205
		カンヌキ受けピン*	271	686
		カンヌキ受けボルト	35	651

注記 \*：曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載

- b. 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）

評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-8に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-8 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，空調機械室搬入口扉及び空調機械室搬入口扉（潜戸）の評価結果

評価対象部位		評価結果 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉建屋付属棟2階 サンプルタンク室連絡 通路扉， 原子炉建屋付属棟3階 バルブ室東側扉 及び 原子炉建屋付属棟3階 バルブ室北側扉	カンヌキ部	カンヌキ	20	205
		カンヌキ受けピン*	84	345
		カンヌキ受けボルト	11	651
空調機械室搬入口扉(潜戸)	カンヌキ部	カンヌキ	25	205
		カンヌキ受けピン*	104	345
		カンヌキ受けボルト	13	651
空調機械室搬入口扉	カンヌキ部	カンヌキ	137	651
		カンヌキ受けピン*	383	686

注記 \*：曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載

- c. 原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉  
 評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-9に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-9 原子炉建屋付属棟南側水密扉及び原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉の変形評価結果

評価対象部位		評価結果 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉建屋付属棟南側 水密扉	カンヌキ部	カンヌキバー	8	345
		カンヌキ受けボルト	8	205
原子炉建屋付属棟西側 非常用階段連絡口扉	カンヌキ部	カンヌキバー	27	345
		カンヌキ受けボルト	11	205

- d. 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉  
 評価対象扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-10に示す。扉体固定部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-10 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉及び原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉の変形評価結果

評価対象部位		評価結果 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉建屋付属棟 2 階 東側機器搬入口扉	扉体 固定部	パネル取付ボルト	29	205
		アンカーボルト (外部側)	29	235
		アンカーボルト (内部側)	29	135
原子炉建屋付属棟 4 階 南東側機器搬入口扉	扉体 固	パネル取付ボルト	18	205

(5) 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）

a. 鉄骨架構

部材の欠損を想定した場合に廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）の部材に発生する応力度と許容限界の比較を表5-11に示す。鉄骨架構に生じる応力度が、許容限界を超えないことを確認した。検定比が最大となる箇所について、図5-2に示す。

表5-11 変形評価結果

（廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨構造部）鉄骨架構）

評価項目	評価結果		許容限界	
鉄骨架構の 発生応力度	検定比		0.35* <sup>1</sup>	
	応 力 度	曲げ（弱軸）	4 (N/mm <sup>2</sup> )	234 (N/mm <sup>2</sup> )
		曲げ（強軸）	40 (N/mm <sup>2</sup> )	229 (N/mm <sup>2</sup> )
		せん断（弱軸）	1 (N/mm <sup>2</sup> )	135 (N/mm <sup>2</sup> )
		せん断（強軸）	38 (N/mm <sup>2</sup> )	135 (N/mm <sup>2</sup> )
	軸力（圧縮）	4 (N/mm <sup>2</sup> )	175 (N/mm <sup>2</sup> )	

注記 \*1：表3-30の「軸力+曲げ+せん断」の検定式による

\*2：短期許容応力度

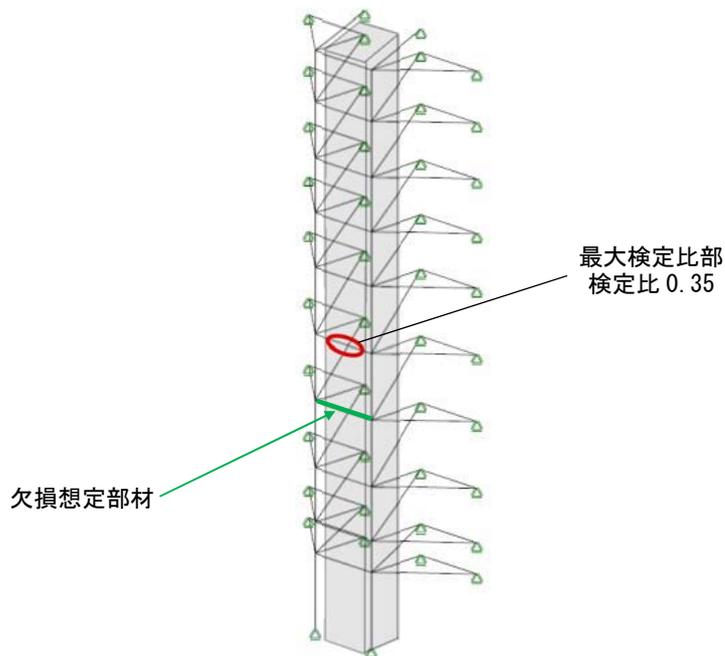


図5-2 最大検定比の発生箇所

## b. 外装板

外装板の曲げ力及び取付ボルトの発生荷重と許容限界の比較を表5-12に示す。いずれにおいても許容限界を超えないことを確認した。

表5-12 変形評価結果

(廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備 (鉄骨構造部) 外装板)

評価項目	評価結果	許容限界
外装板の曲げ応力	125 (N/mm <sup>2</sup> )	235 (N/mm <sup>2</sup> )
外装板取付ボルトの引張荷重	6 (kN)	20 (kN)

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～図 2-8 に示す。

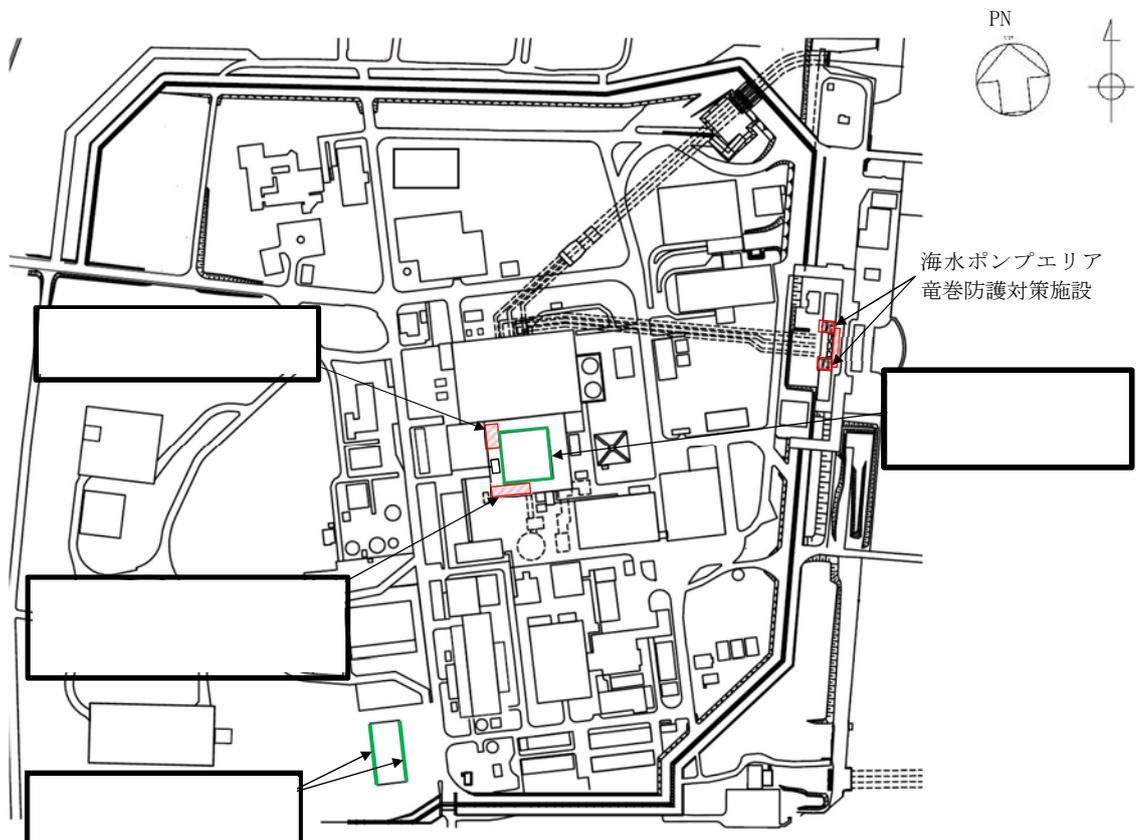
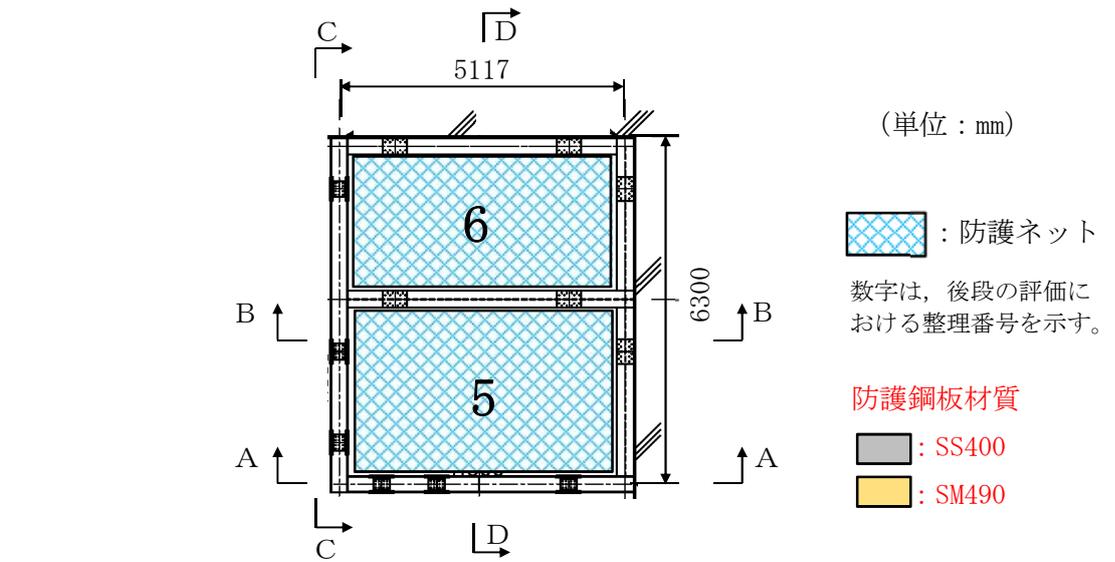
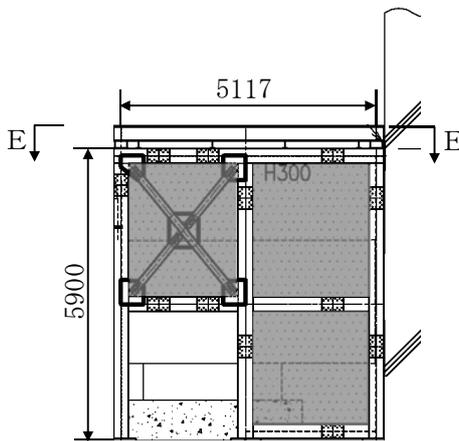


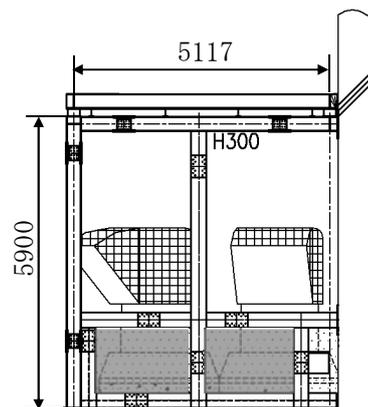
図 2-1 防護ネットの設置位置図



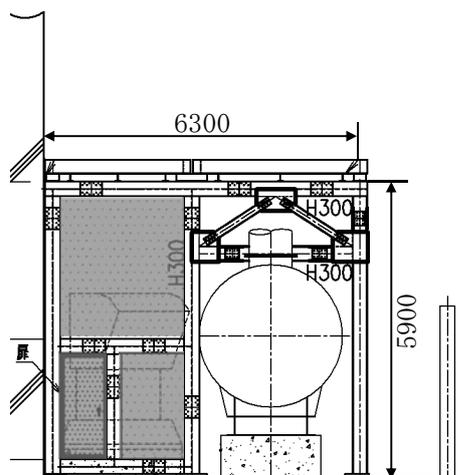
上面図 (E-E 矢視)



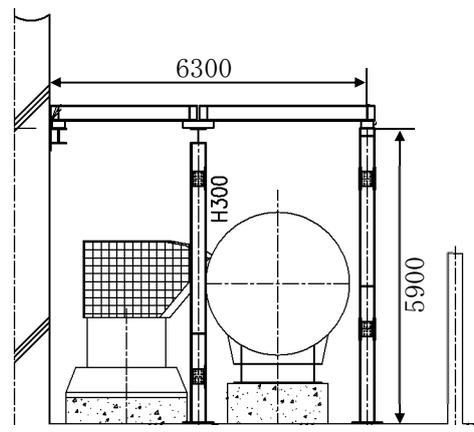
正面図 (A-A 矢視)



正面図 (B-B 矢視)



側面図 (C-C 矢視)



側面図 (D-D 矢視)

図 2-2 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)

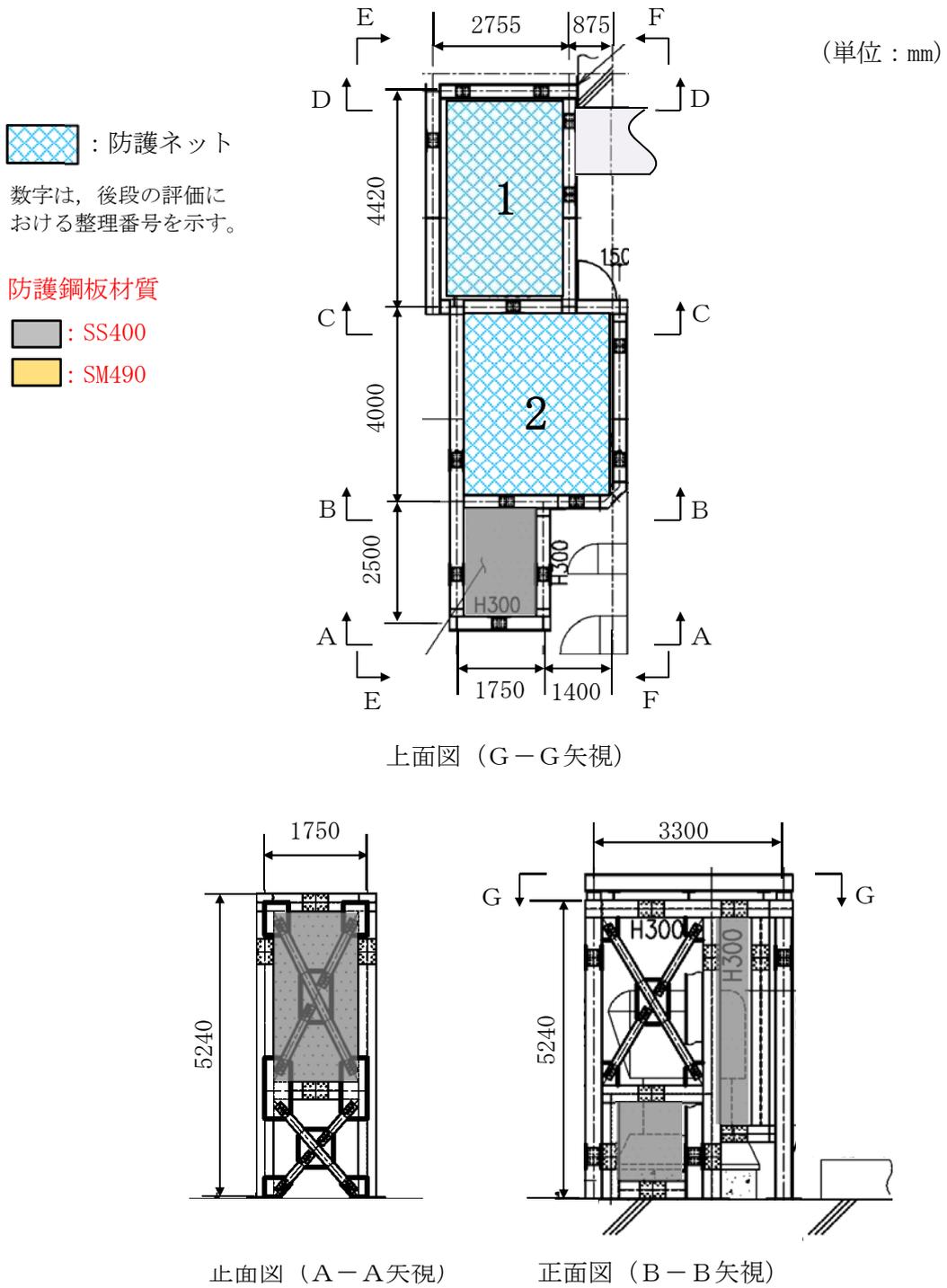


図 2-3 防護ネットの割付展開図(1/2)  
 (2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設)

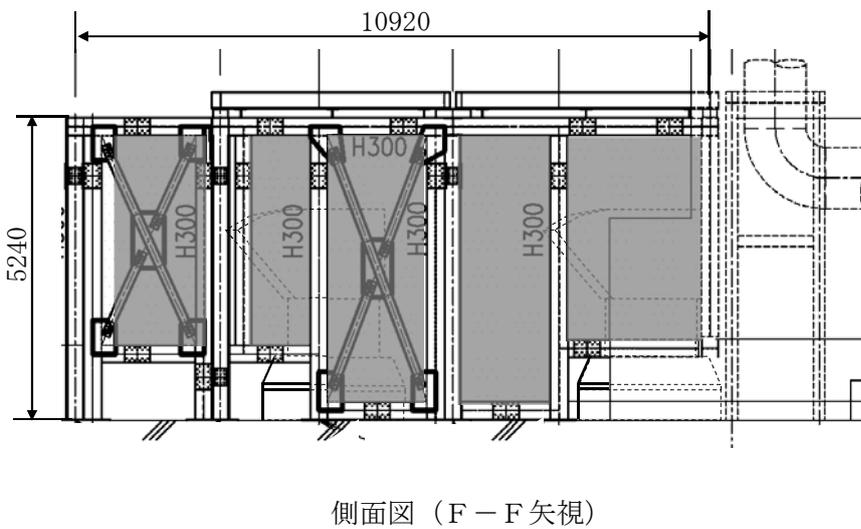
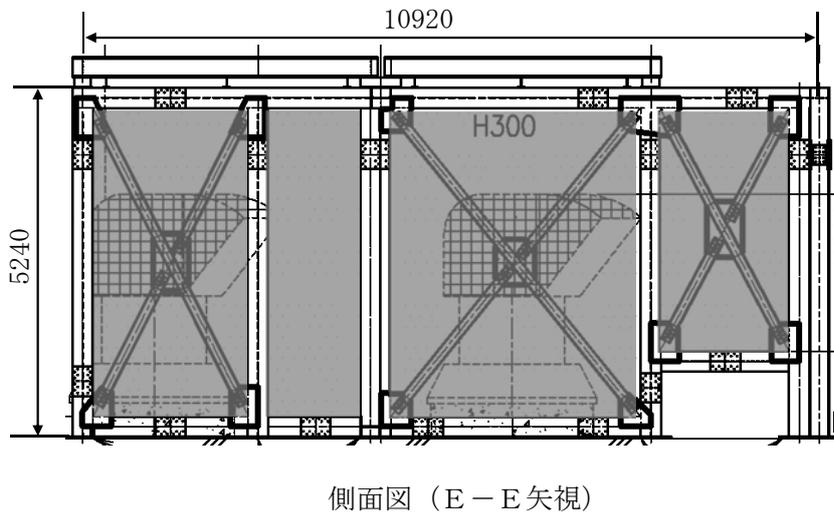
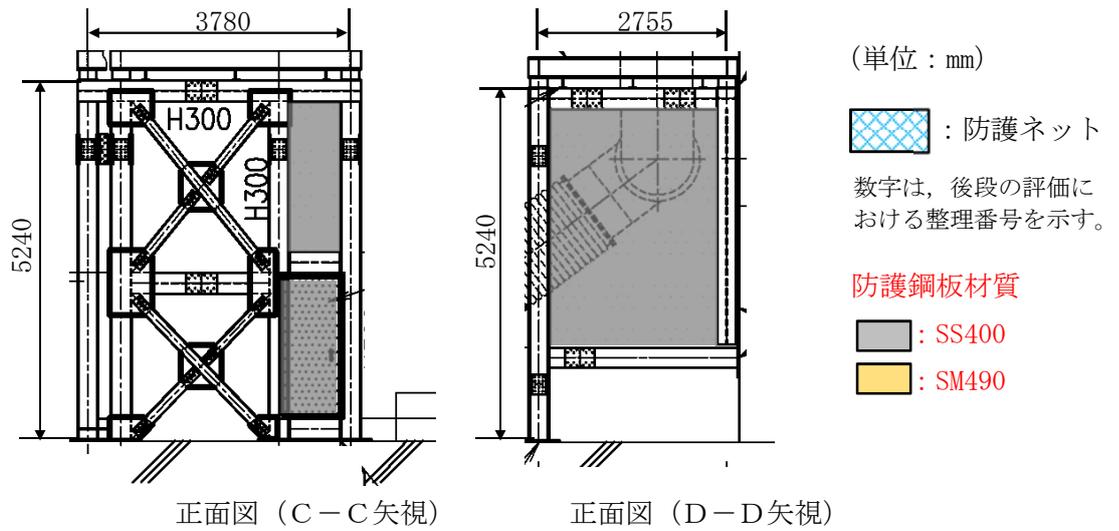
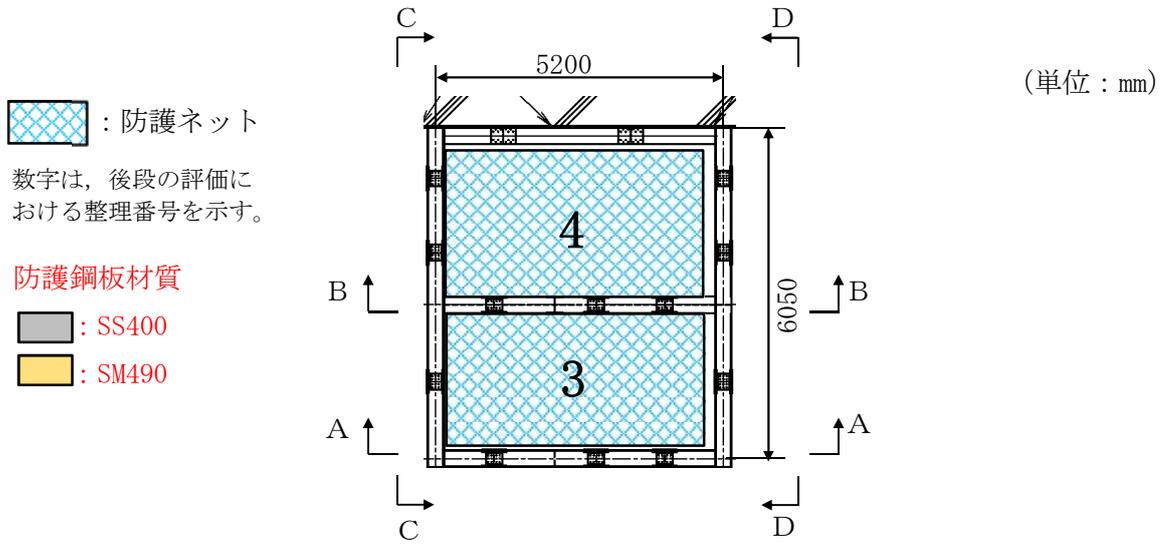
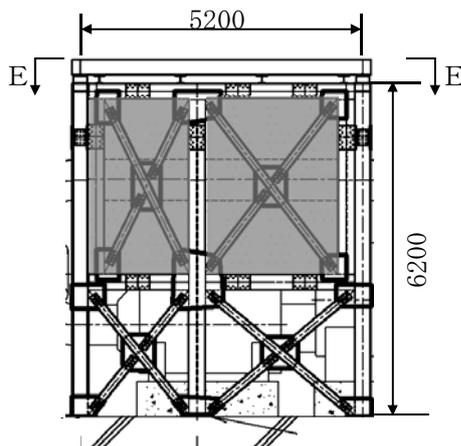


図 2-3 防護ネットの割付展開図(2/2)

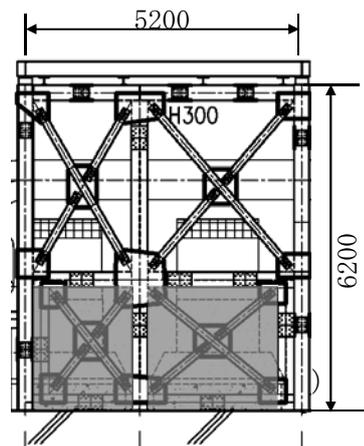
(2D非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン竜巻防護対策施設)



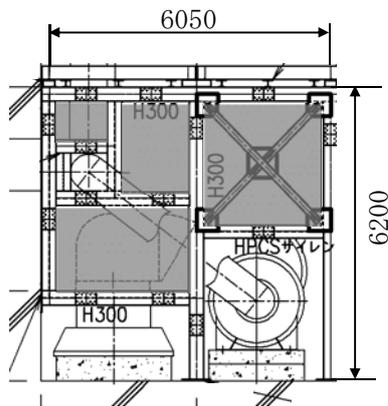
上面図 (E-E 矢視)



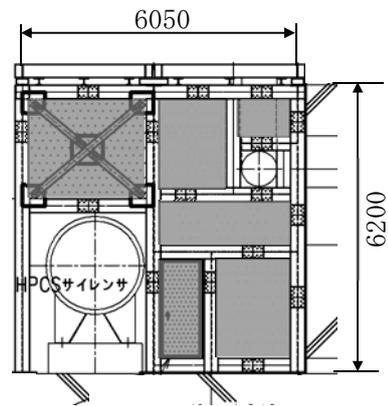
正面図 (A-A 矢視)



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)

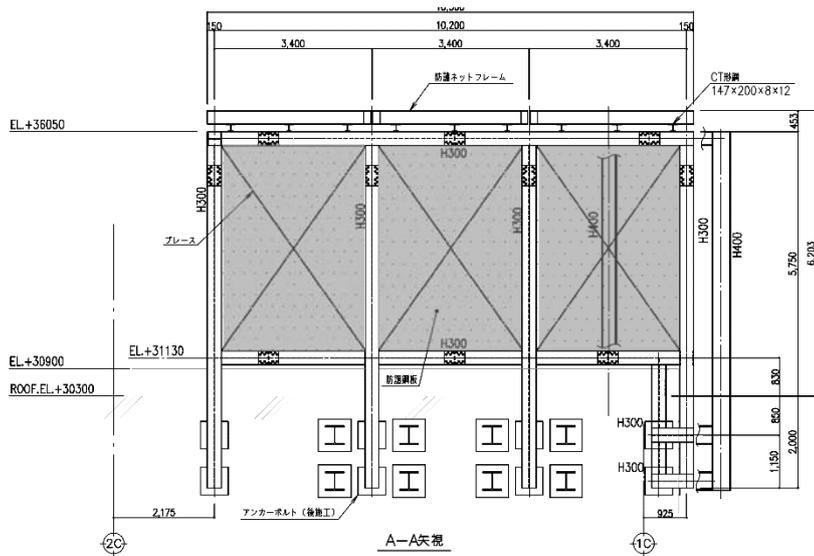
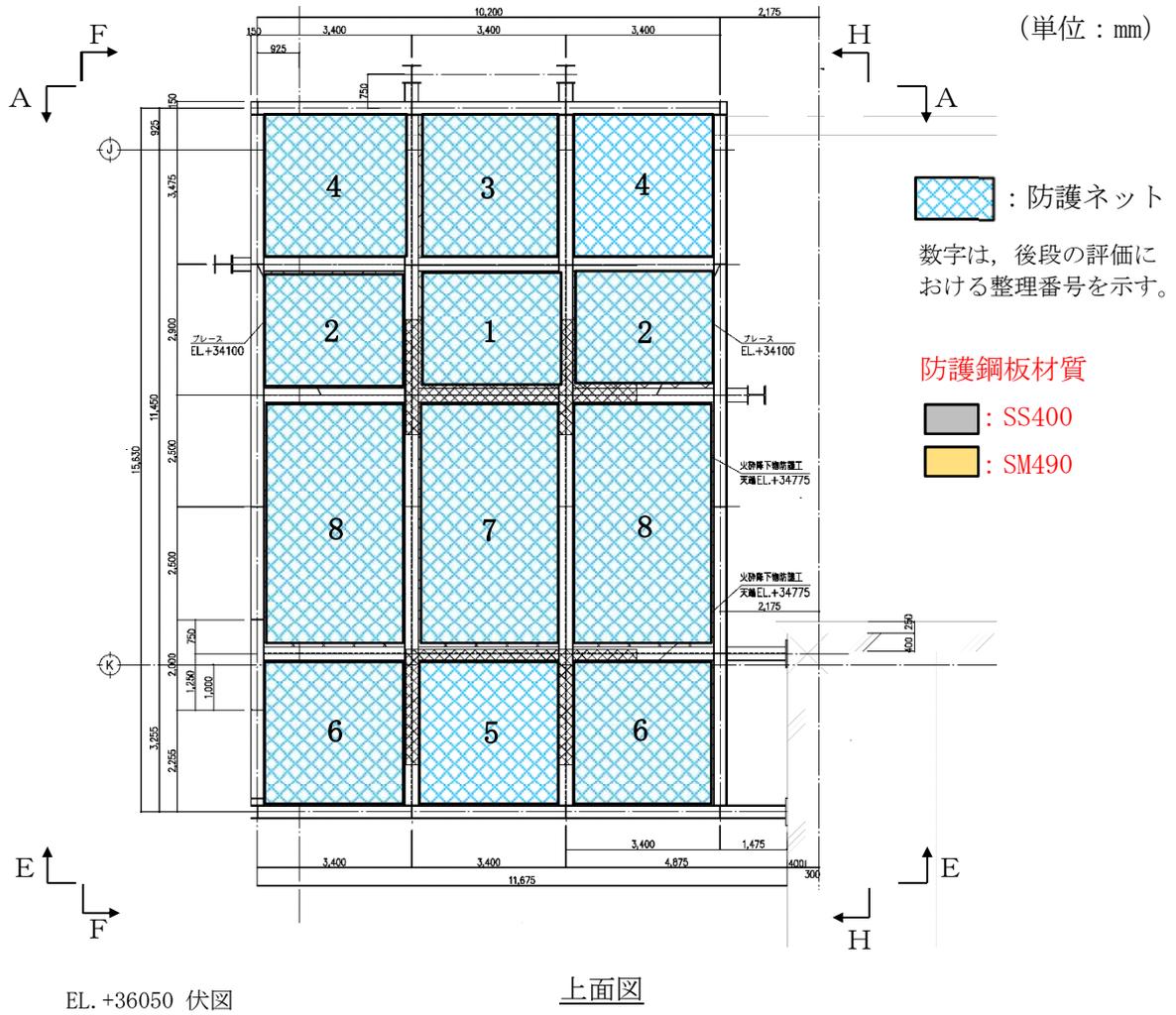


図 2-5 防護ネットの割付展開図(1/2)  
(中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設)

 : 防護ネット

数字は、後段の評価における整理番号を示す。

防護鋼板材質

 : SS400

 : SM490

(単位：mm)

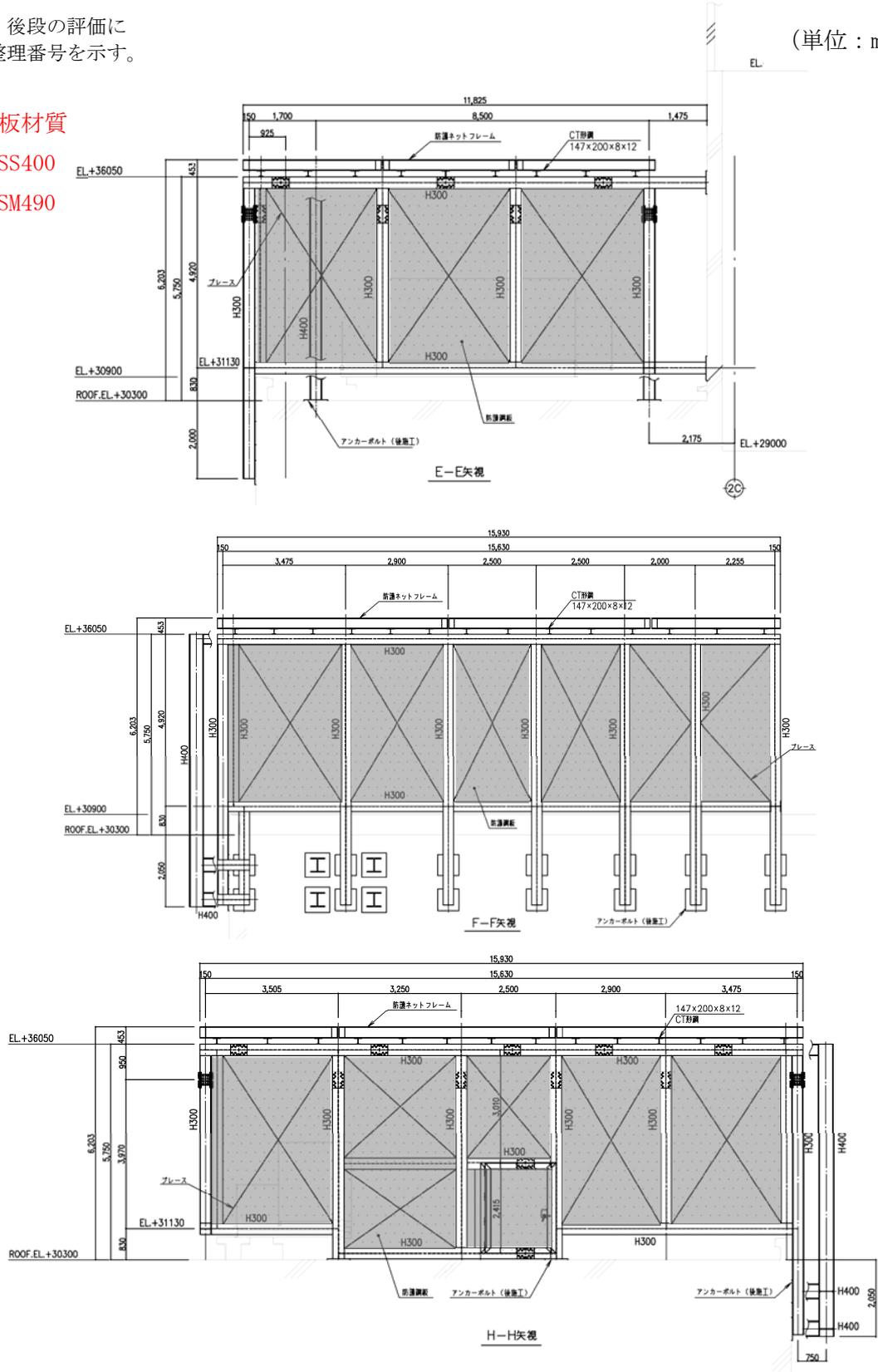


図 2-5 防護ネットの割付展開図(2/2)

(中央制御室換気系冷凍機竜巻防護対策施設)

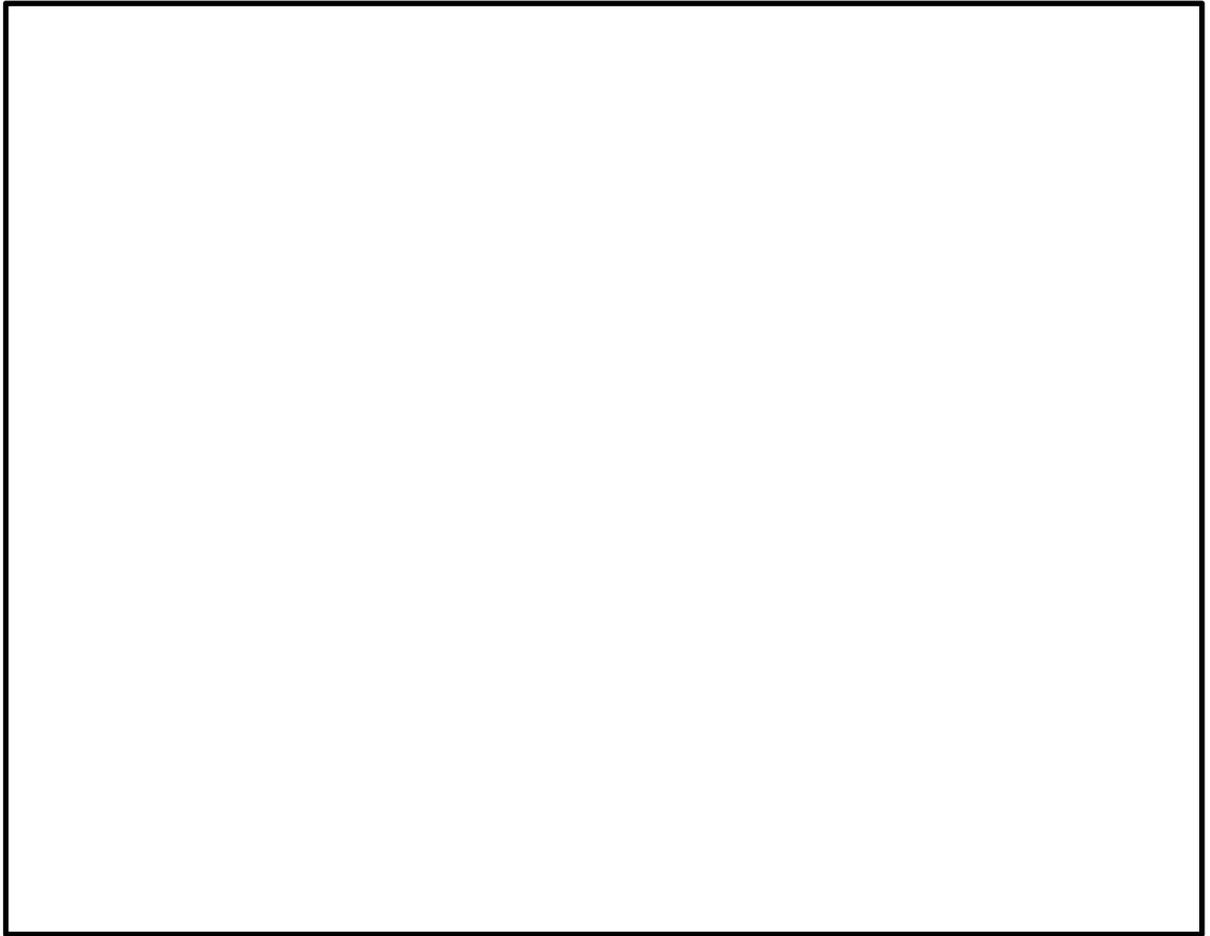
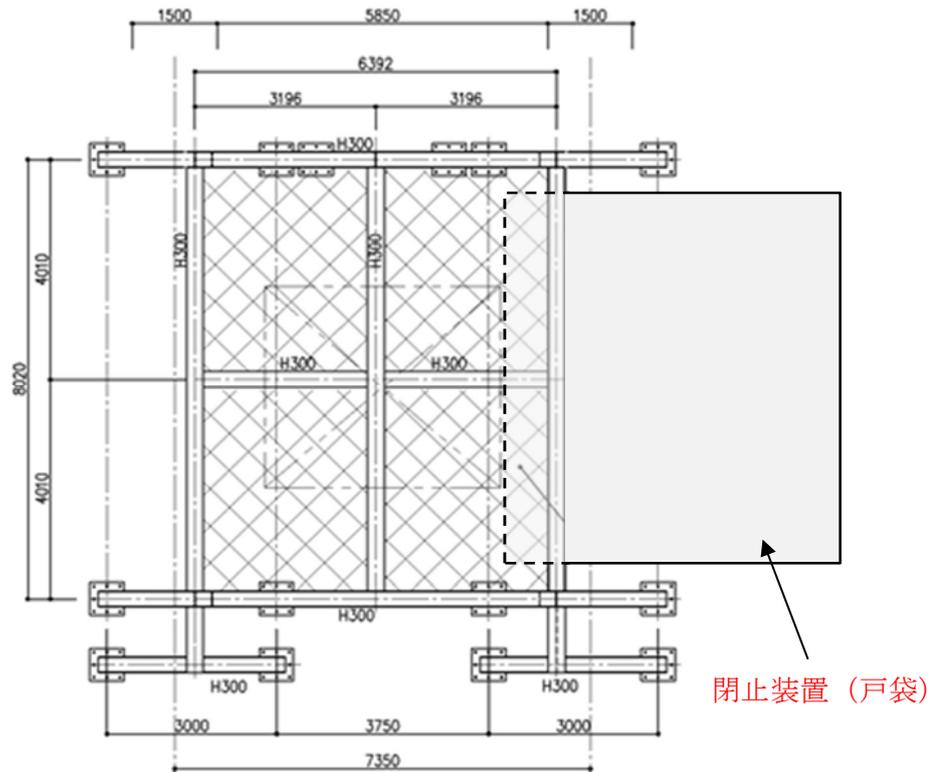


図 2-6 防護ネットの割付展開図  
(海水ポンプエリア竜巻防護対策施設配置図)



 : 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

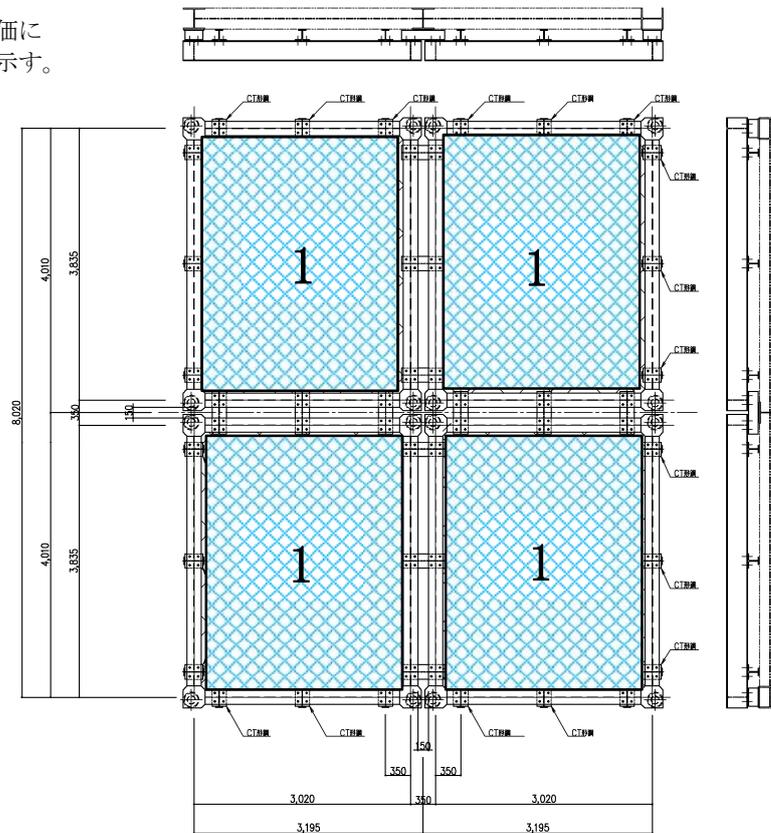


図 2-7 防護ネットの割付展開図

(原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設)

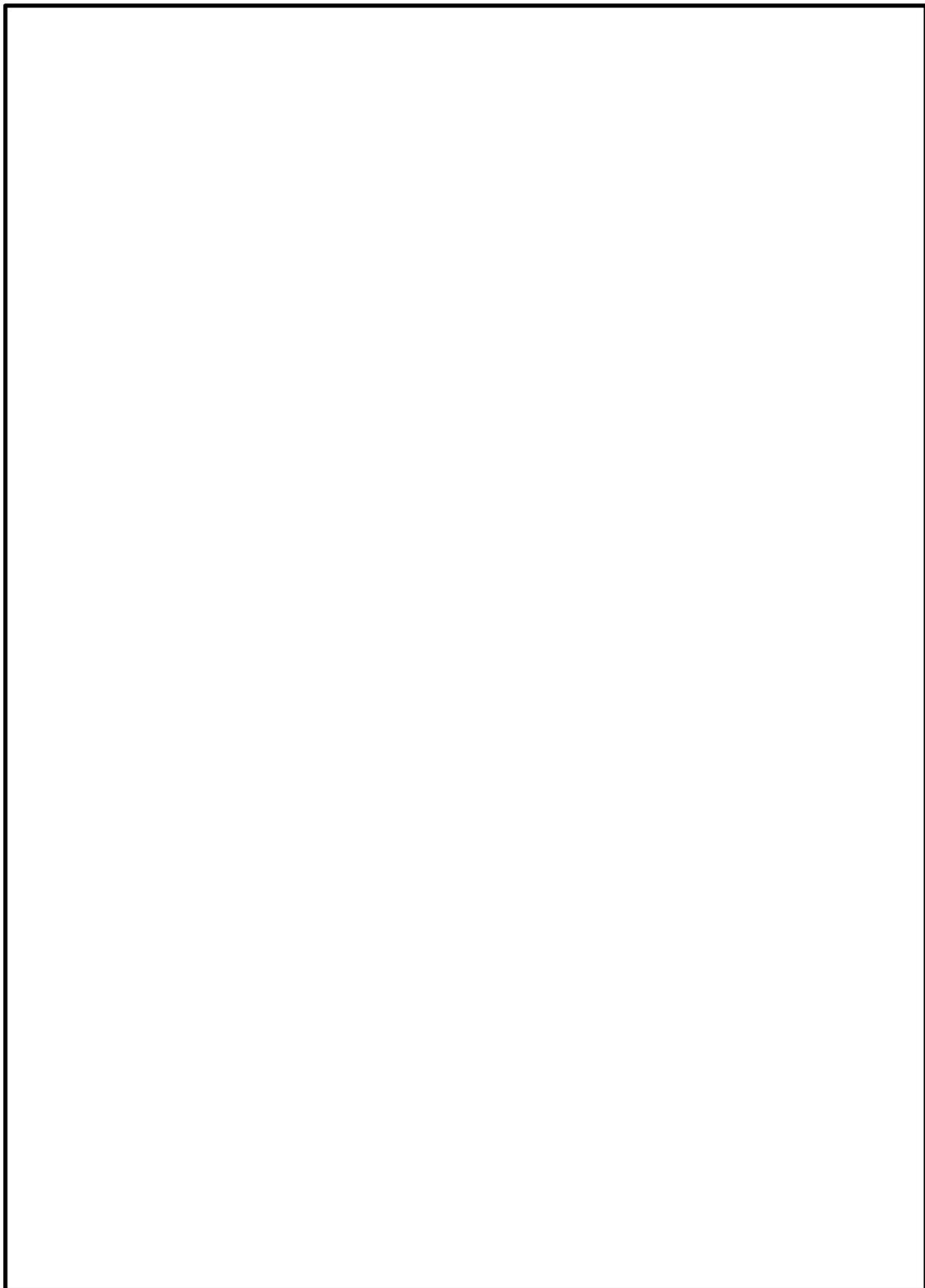


図 2-8 防護ネットの割付展開図  
(使用済燃料乾式貯蔵容器竜巻防護対策施設)

## 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。

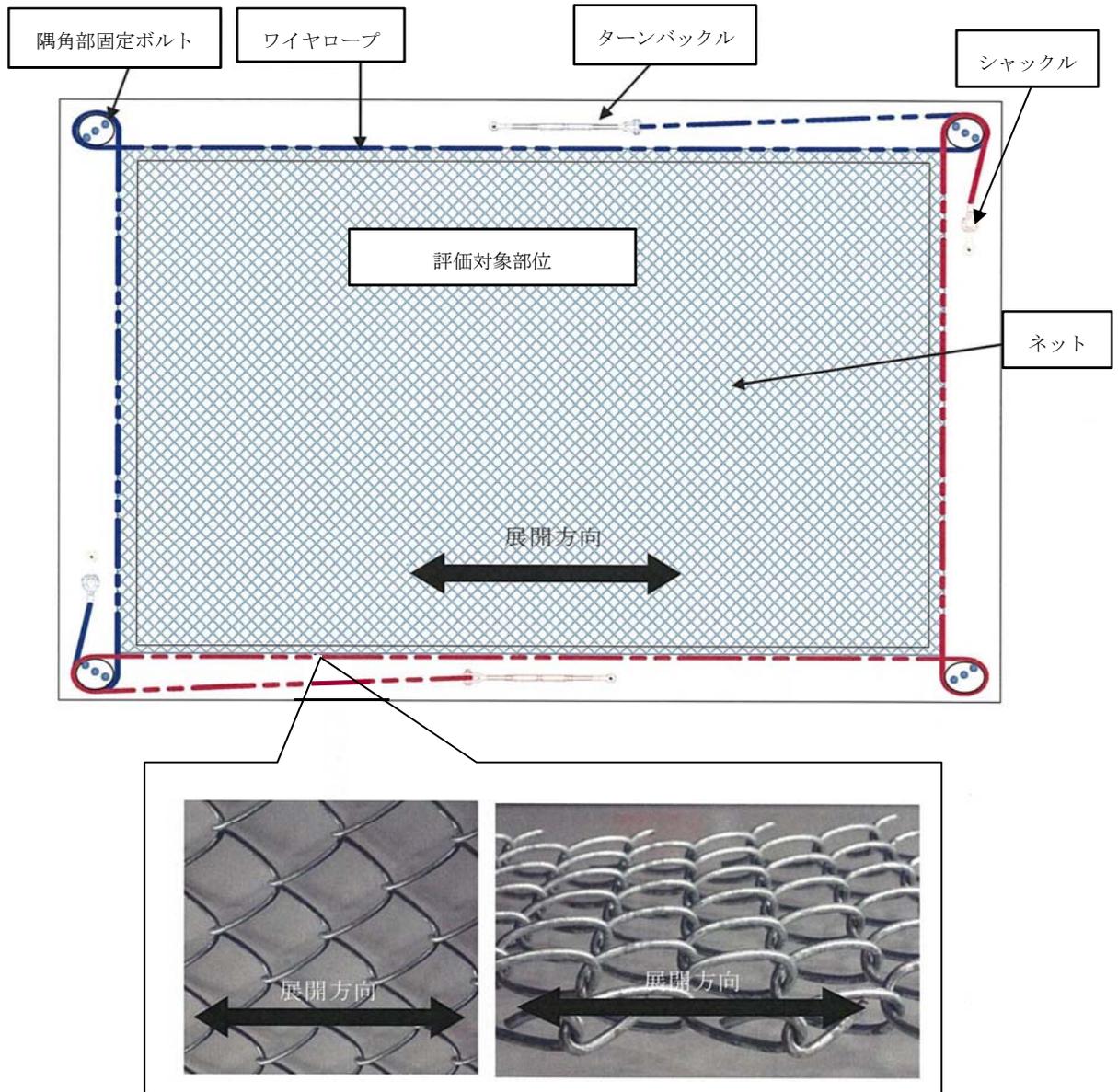


図 2-9 防護ネットの概要図

## 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、展開方向寸法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。

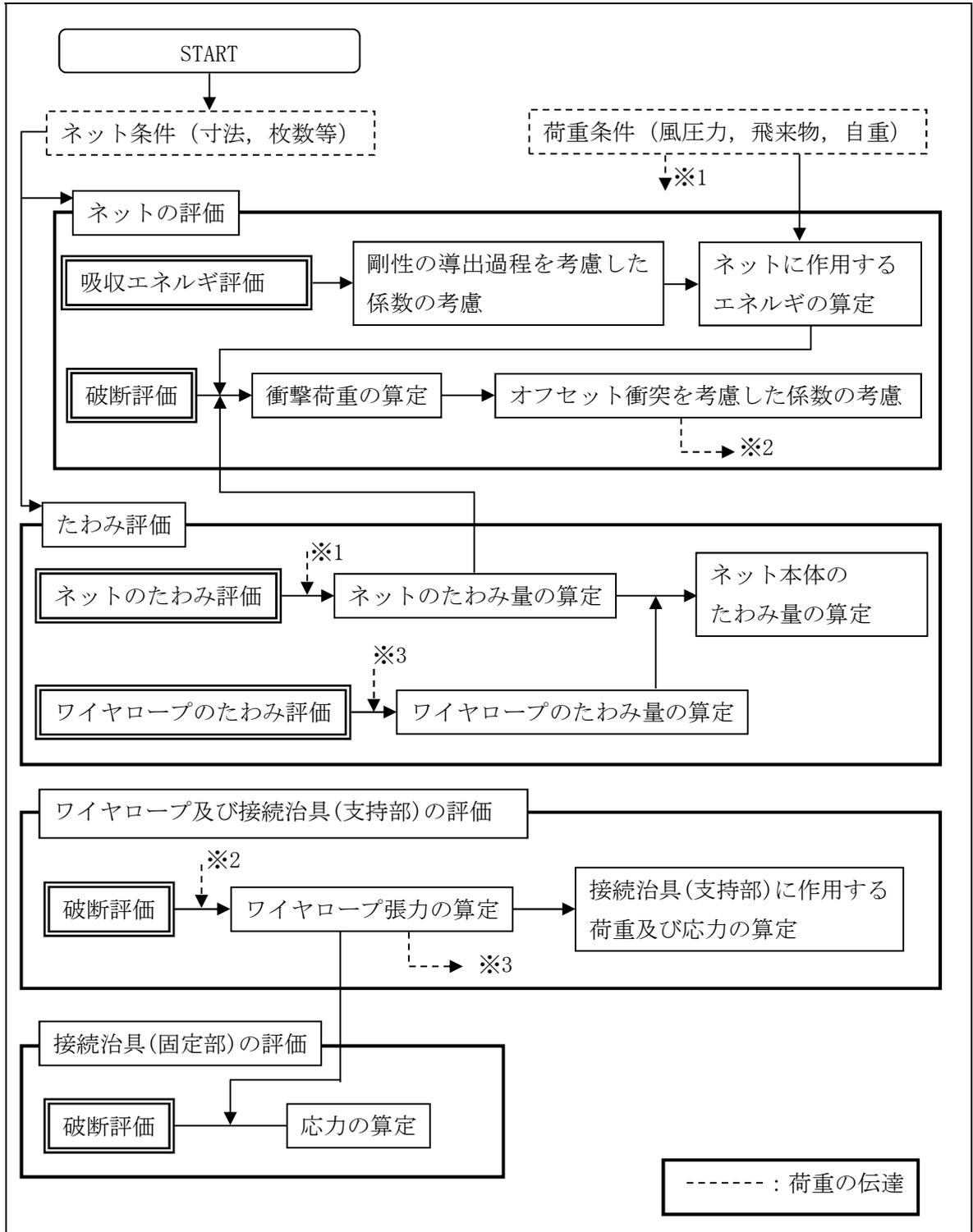


図 2-10 防護ネットの評価フロー

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
$\delta$	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta_a$	m	自重及び風圧力における荷重によるたわみ量
$\delta_i$	m	i 番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_{max}$	m	ネットの最大たわみ量
$\theta_i$	deg	i 番目の列におけるネットたわみ角
$\theta_{max}$	deg	ネットの最大たわみ角
$\phi$	—	ネットの充実率
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	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
$\delta$	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\theta$	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	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
$\theta_x$	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
$\theta_y$	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
$\sigma_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	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
$\delta$	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta_i$	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
$\delta'$	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
$\delta_t$	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
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	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
$\delta_{wy}$	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
$\varepsilon$	—	ワイヤロープのひずみ量
$\theta$	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_x$	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
$\theta_y$	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。

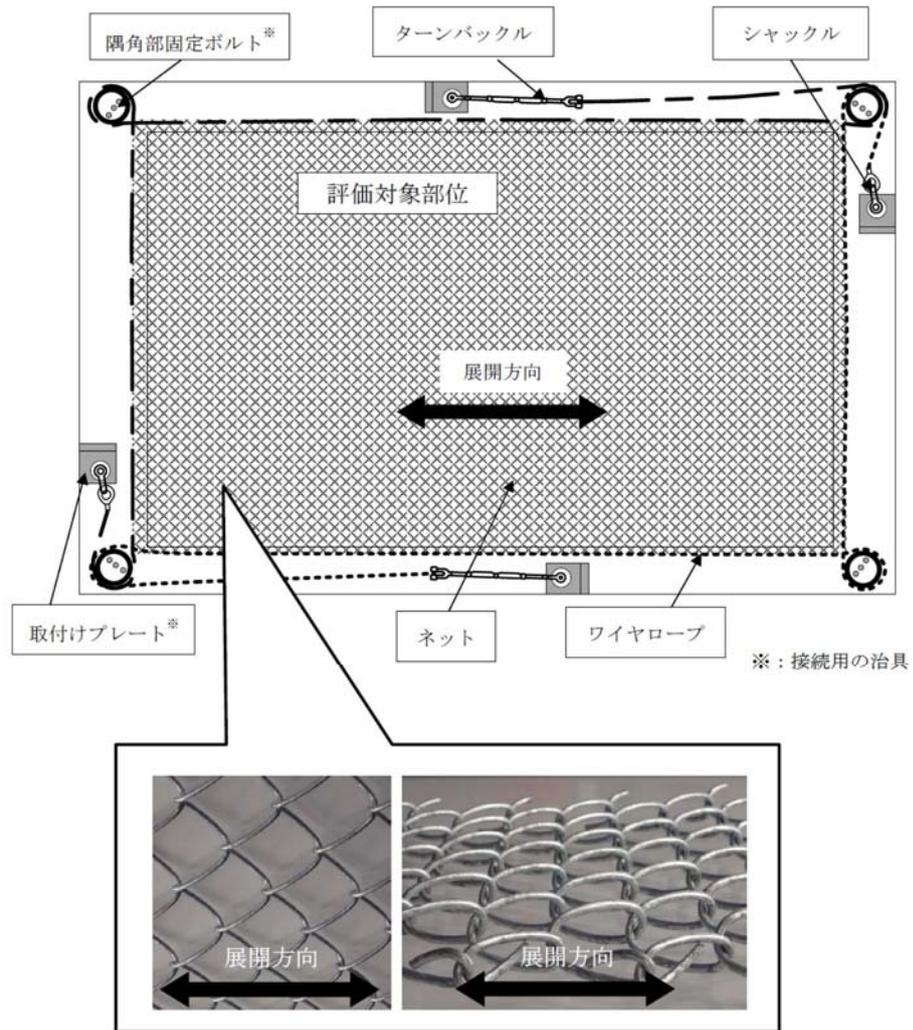


図 3-1 ネットの評価対象部位

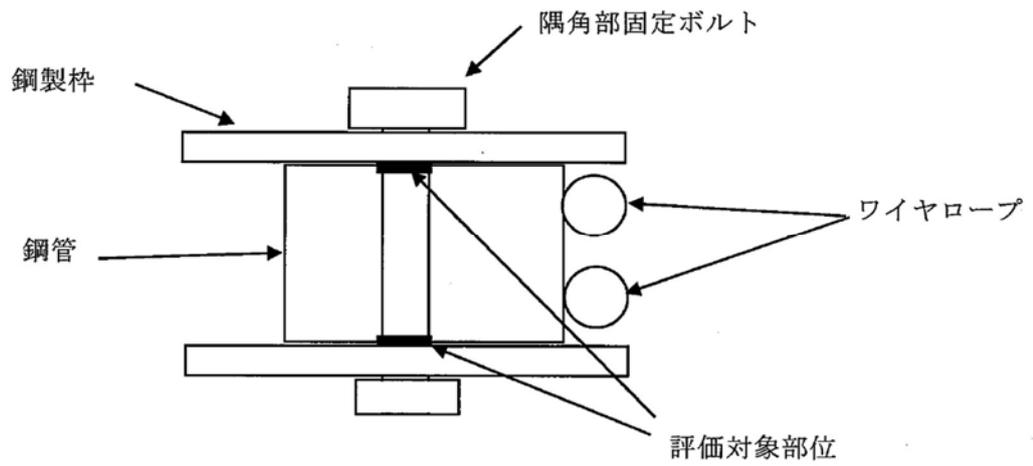


図 3-2 隅角部固定ボルトの評価対象部位

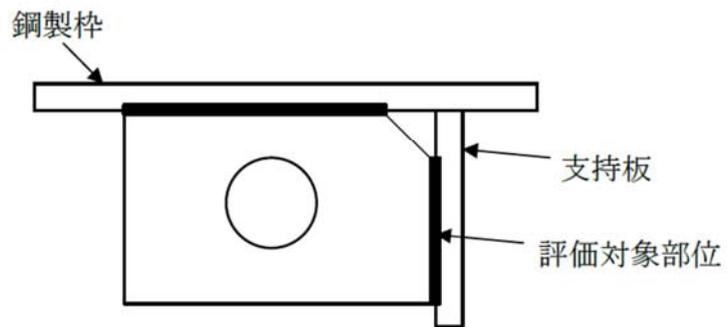


図 3-3 ワイヤロープの取付けプレート(溶接部)の評価対象部位

### 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 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
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 $\delta$ 、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。

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

したがって、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～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"> <li>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）</li> <li>海水ポンプ室周り</li> <li>使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁</li> </ul>	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

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"> <li>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）</li> <li>海水ポンプ室周り</li> <li>使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁</li> </ul>	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

表 3-7 たわみ量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	飛来物による衝撃荷重	風圧力による荷重
・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。

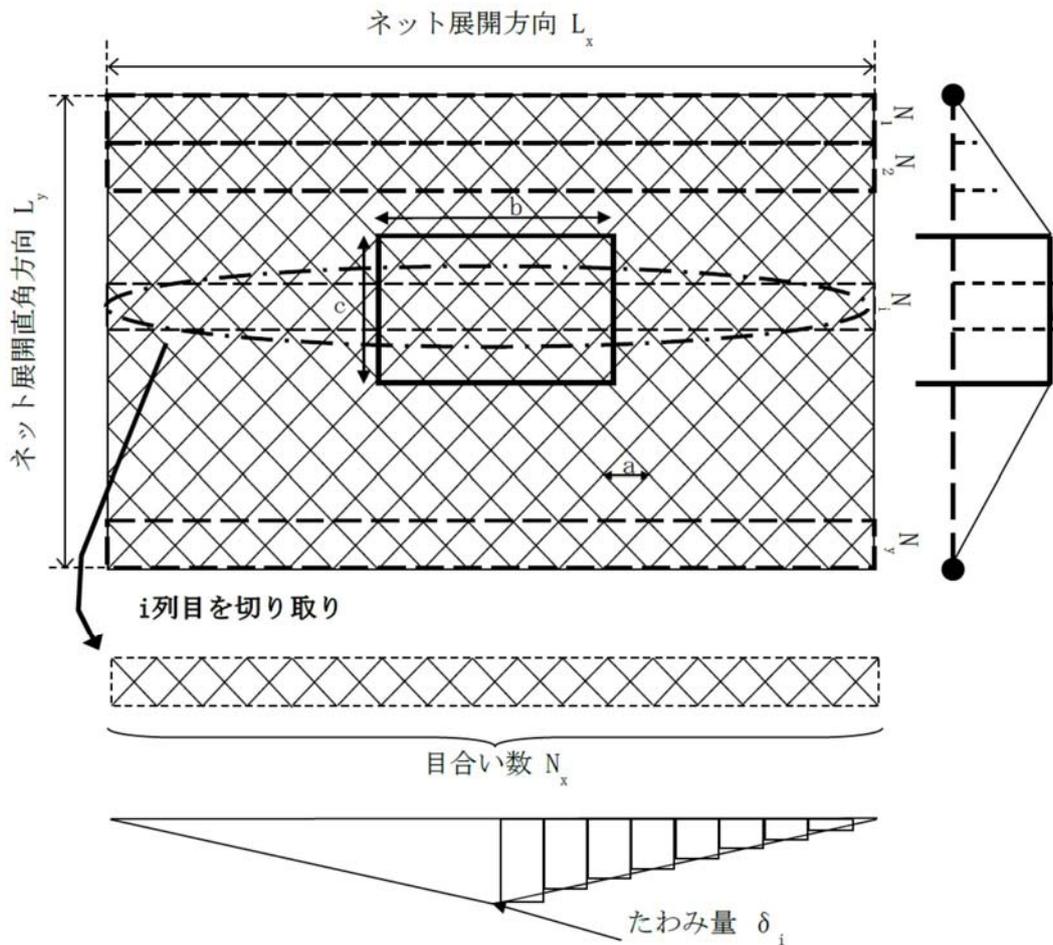


図 3-4 限界吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

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 [ ] 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。

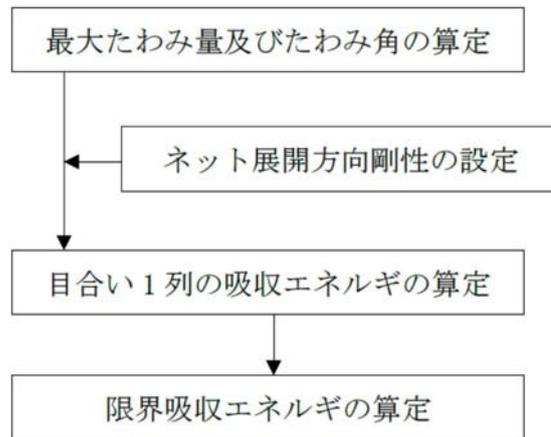
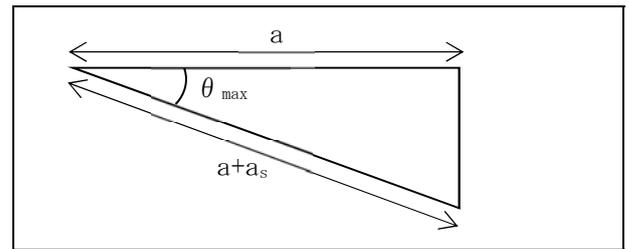


図 3-5 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

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  $\delta_{max}$  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  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{max}$  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

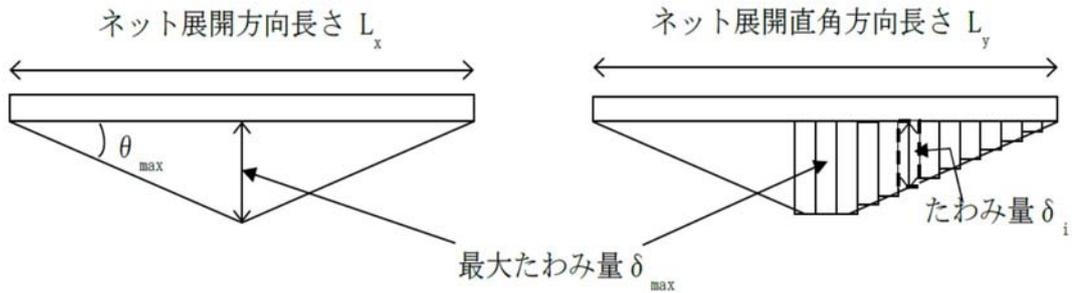


図 3-6 最大たわみ量と最大たわみ角

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。

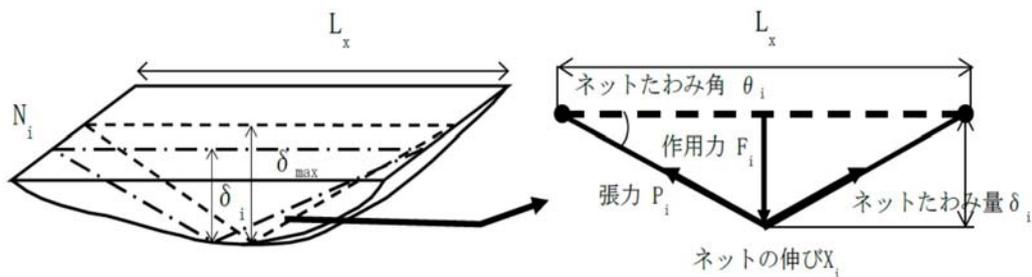


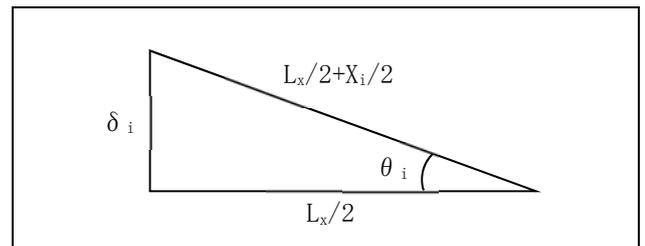
図 3-7 ネットに作用する力のつり合い

$i$  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	$F_1 \times n_1 \times n$

## 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、隅角部固定ボルトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 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  $IV_A S$  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* <sup>1</sup>	せん断	1.5 $f_s$ * <sup>2</sup>
アイプレート溶接部	SM490A* <sup>3</sup>			

**注記** \*1：各評価対象部位の最高使用温度を示す。

\*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

\*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、剛性 <math>K_x</math> を算出するためのネット寸法を小さく設定する。</p>	<p>式⑧において、たわみ量が小さくなることにより、作用する荷重が大きくなるように、ネット寸法を小さく設定する。</p>	<p>たわみ量が大きくなるように、剛性 <math>K_x</math> を算出するためのネット寸法を大きく設定する。</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。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 $\delta_a$ が算出される。

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

ただし、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算出した $\delta_a$ 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、ネットの設置方向により、水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平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、評価に用いる水平最大飛来速度及び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 $E_t$ が以下のとおり算出される。

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

## (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 $\delta$ 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。

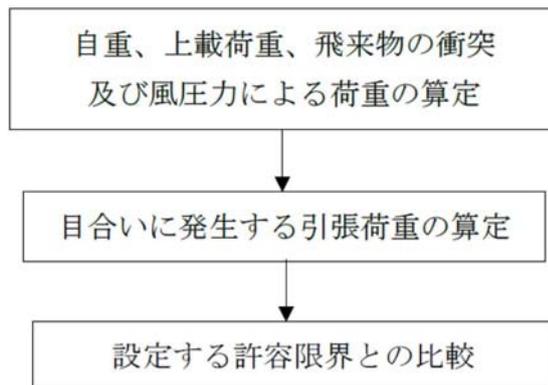


図 3-8 ネットの破断評価フロー

(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。評価モデル図を図 3-9 に示す。

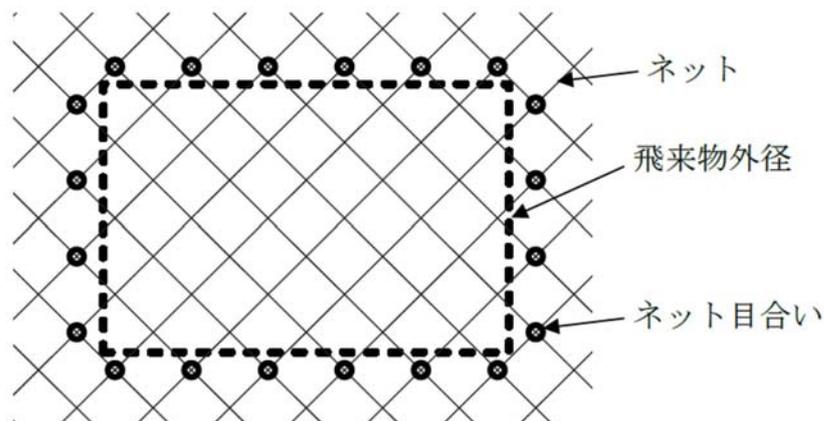


図 3-9 破断評価モデル図

(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。

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

ただし、 $\theta$  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、

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

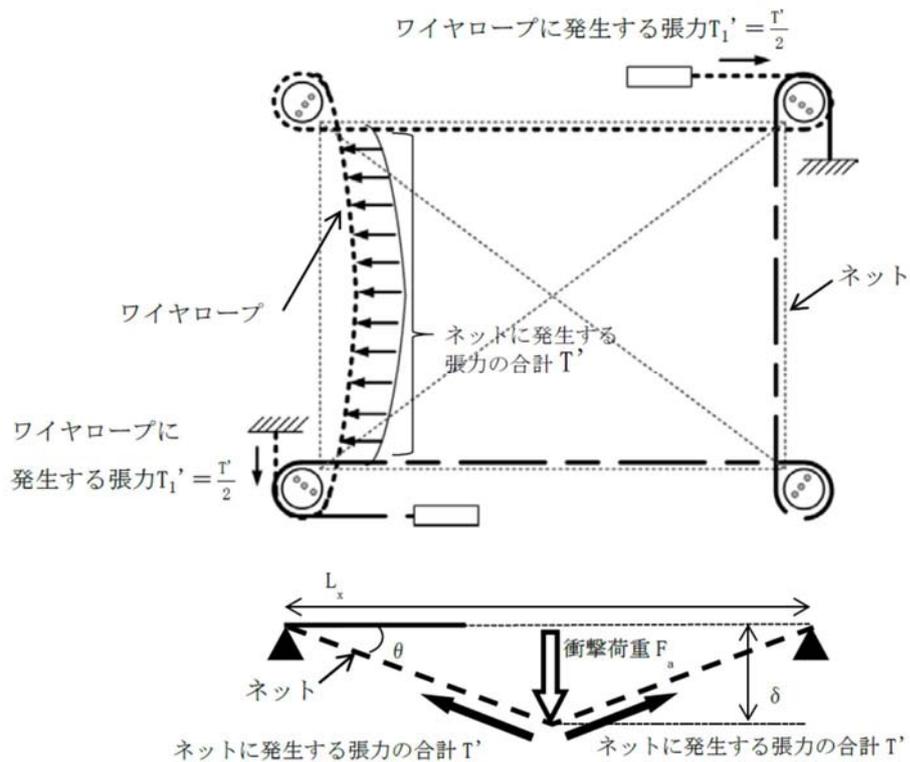


図 3-10 ネット及びワイヤロープに発生する力のつり合い(ネット平面図及び断面図)

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  $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$  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。

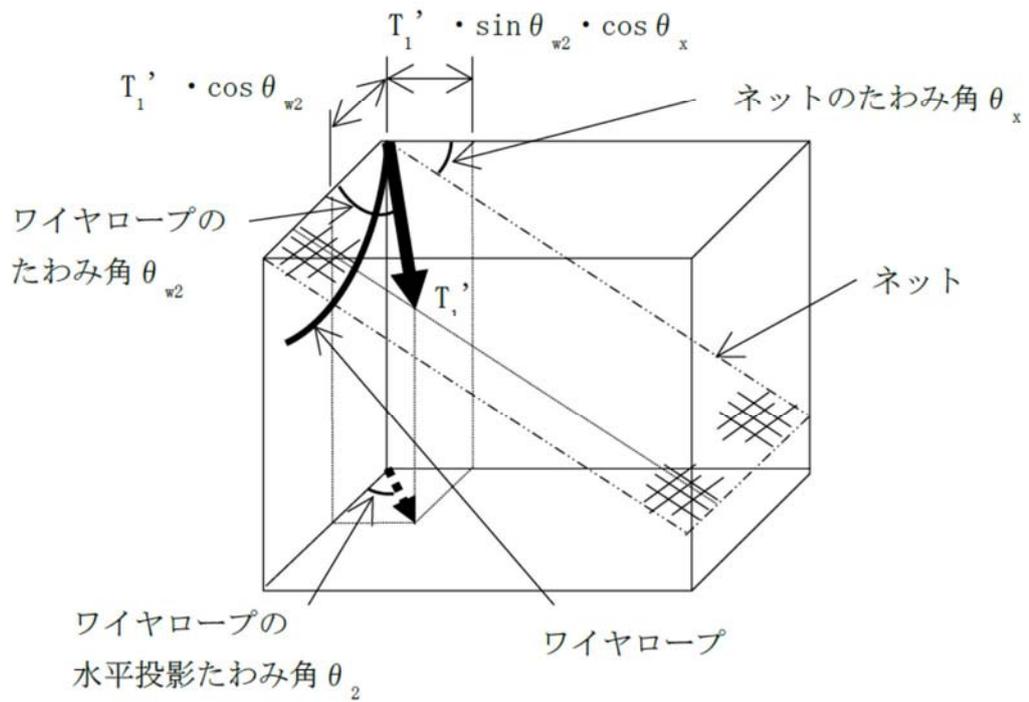
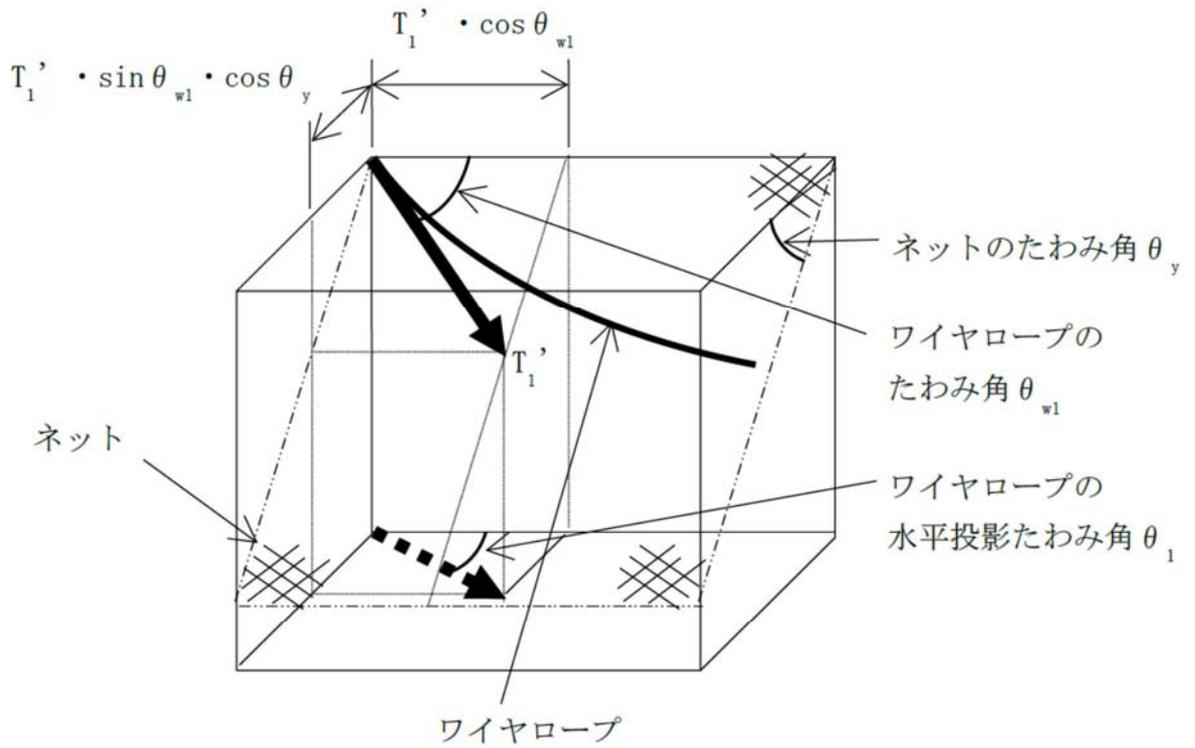


図 3-11 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-12 に示す。

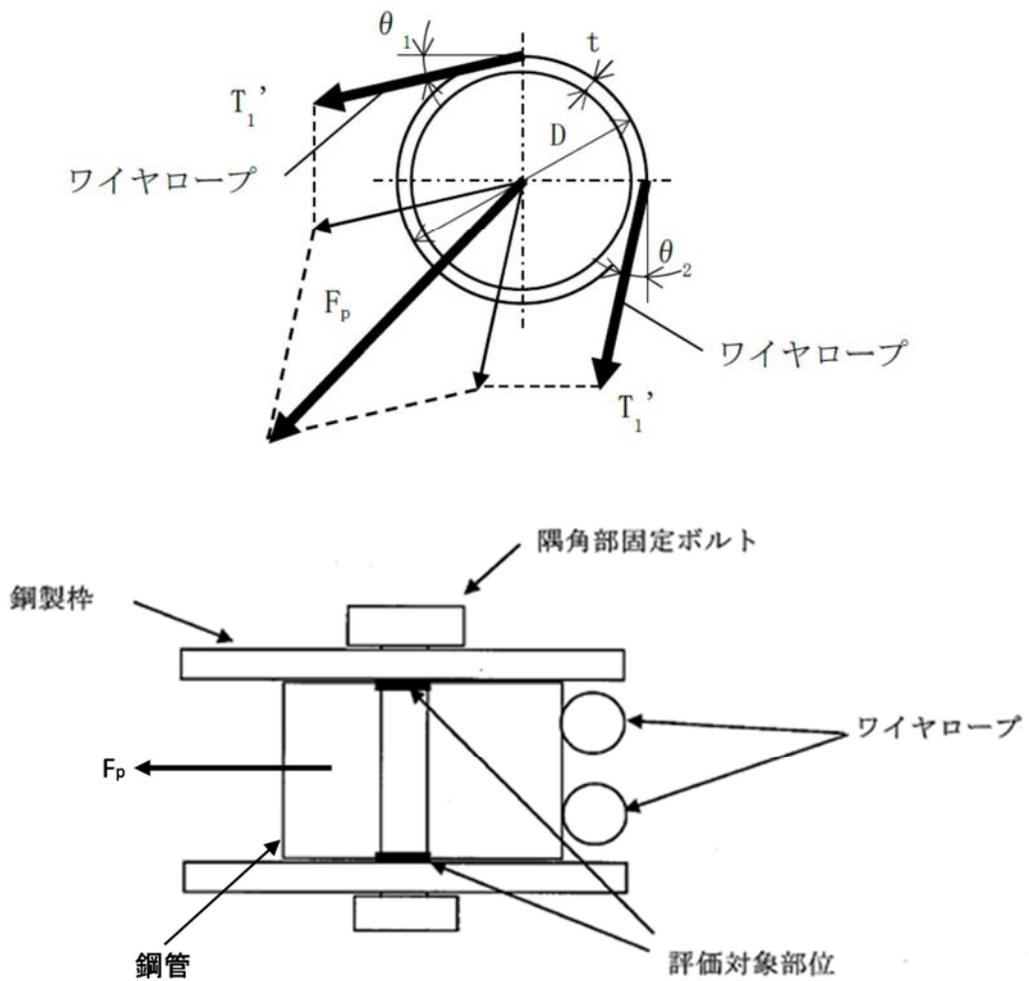


図 3-12 隅角部固定ボルトの荷重状態

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、 $\theta_y$ 、 $\theta_{w1}$ 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、 $\theta_x$ 、 $\theta_{w2}$  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  $\tau_s$  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。

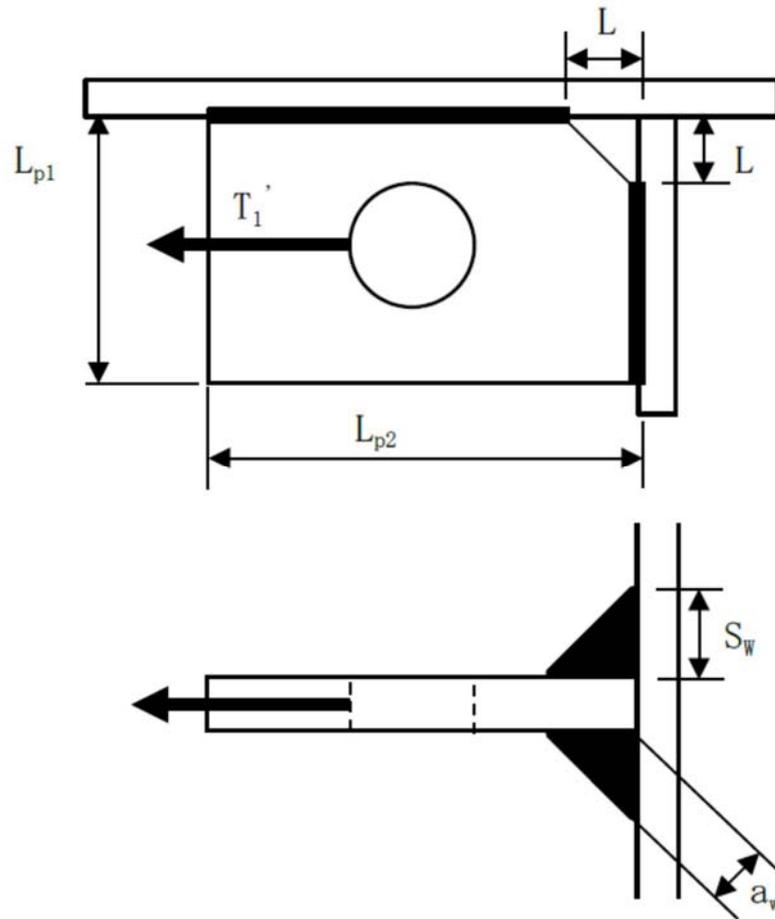


図 3-13 アイプレート溶接部

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 $\tau_w$ 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。

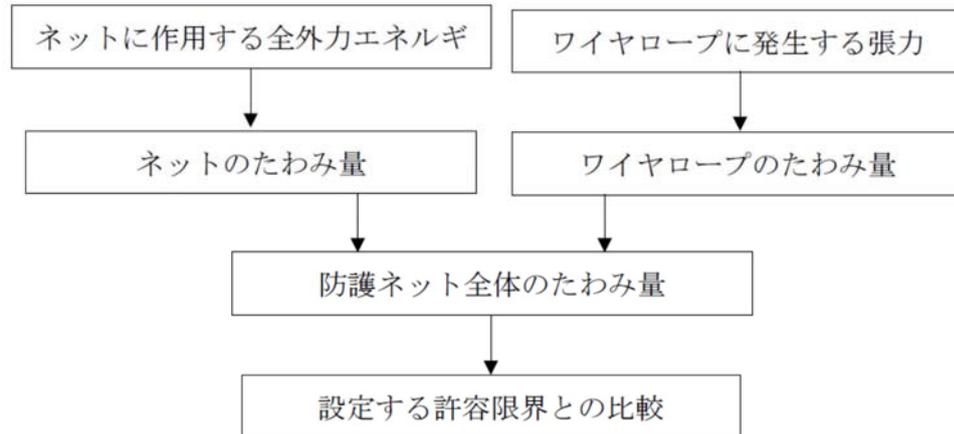


図 3-14 たわみ評価の評価フロー

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 $\delta$ 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 $\varepsilon$ 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 $\delta'$ 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。

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

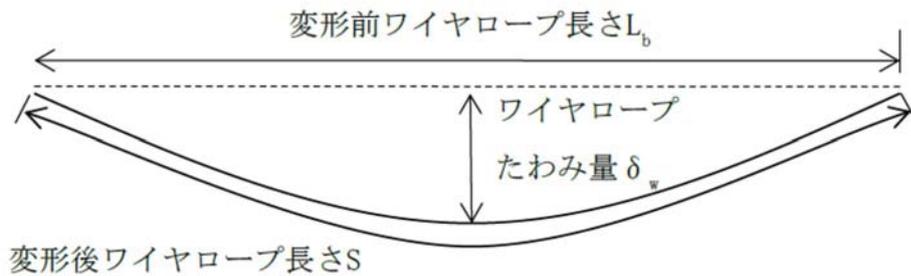


図 3-15 ワイヤロープ変形図

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  $\delta_t$  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  $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$  の関数であり、ワイヤロープ伸び量  $\delta'$  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  $\delta_t$  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、 $\theta_x$  及び  $\theta_y$  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  $\delta$  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  $\delta_{wx}$  及び  $\delta_{wy}$  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  $\delta_t$  が算出される。

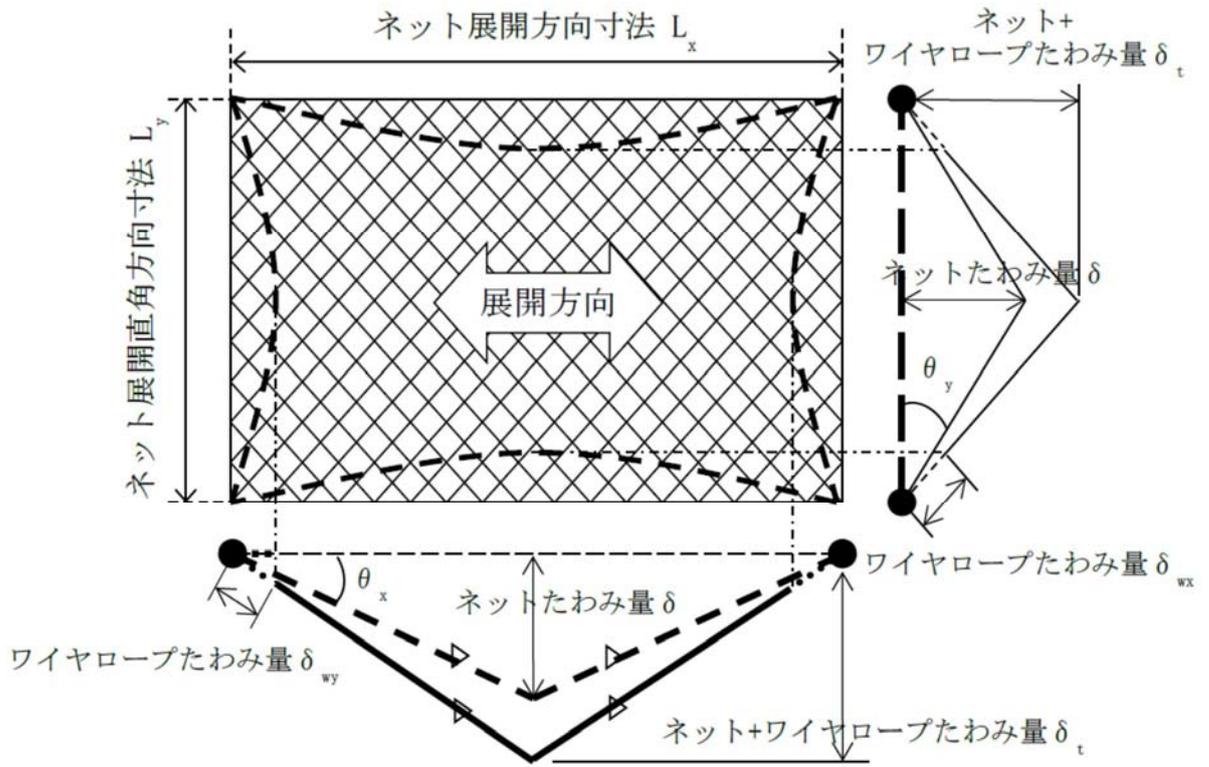


図 3-16 ネット及びワイヤロープ変形図

#### 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 <sub>1</sub> (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 <sup>3</sup> )	V <sub>D</sub> (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 <sub>s</sub>	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 <sub>1</sub>	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 <sub>1</sub>	20 個	
ネットの素線の引張強度	σ'	1400 MPa	
破断時たわみ角	θ <sub>max</sub>	36.4 deg	
ネットの単位面積当たりの質量	m <sub>N</sub>	5.7 kg/m <sup>2</sup>	
ネットの充実率	φ	0.44 (3枚*2)	計算値*1

注記 \*1: φ = 1 - ( (ネット目合い寸法)<sup>2</sup> / (ネット目合い寸法 + ネット素線径)<sup>2</sup> )<sup>n</sup>

\*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 <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	
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 <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	
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 <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	
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 <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	
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 <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	
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 <sup>*1</sup>	0.8 <sup>*2</sup>

注記 \*1: J I S G 3 5 4 9 の破断強度

\*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」

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*

注記 \*: 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 <sub>w</sub> (mm)
		L <sub>p1</sub> (mm)	L <sub>p2</sub> (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～表 5-5 に示す。

全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～表 5-10 に示す。

全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 ( $F_1 \times n_1 \times n$ ) 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)	$F_1 \times n_1 \times n$ (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)	$F_1 \times n_1 \times n$ (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)	$F_1 \times n_1 \times n$ (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)	$F_1 \times n_1 \times n$ (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)	$F_1 \times n_1 \times n$ (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～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～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*	130
2	81*	130
3	63*	130
4	66*	130
5	119*	130
6	99*	130

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-11 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*	130
2	81*	130
3	86*	130
4	89*	130
5	85*	130
6	88*	130
7	65*	130
8	68*	130

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-12 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*	130
2	80*	130
3	82*	130
4	84*	130
5	82*	130
6	82*	130
7	74*	130
8	75*	130
9	85*	130
10	83*	130

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (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 5-19 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*	130

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-14 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*	130

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-15 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～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*	156
2	81*	156
3	63*	156
4	66*	156
5	119*	156
6	99*	156

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-11 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*	156
2	81*	156
3	86*	156
4	89*	156
5	85*	156
6	88*	156
7	65*	156
8	68*	156

注記 \* : ワイヤロープ張力である  $T_1'$  (表 5-12 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*	156
2	80*	156
3	82*	156
4	84*	156
5	82*	156
6	82*	156
7	74*	156
8	75*	156
9	85*	156
10	83*	156

注記 \* : 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*	156

注記 \* : 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*	156

注記 \* : 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～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～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～表5-40に示す。

全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 ( $\delta t$ )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 $\delta t$ (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 $\delta t$ (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	

**注記** \*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。

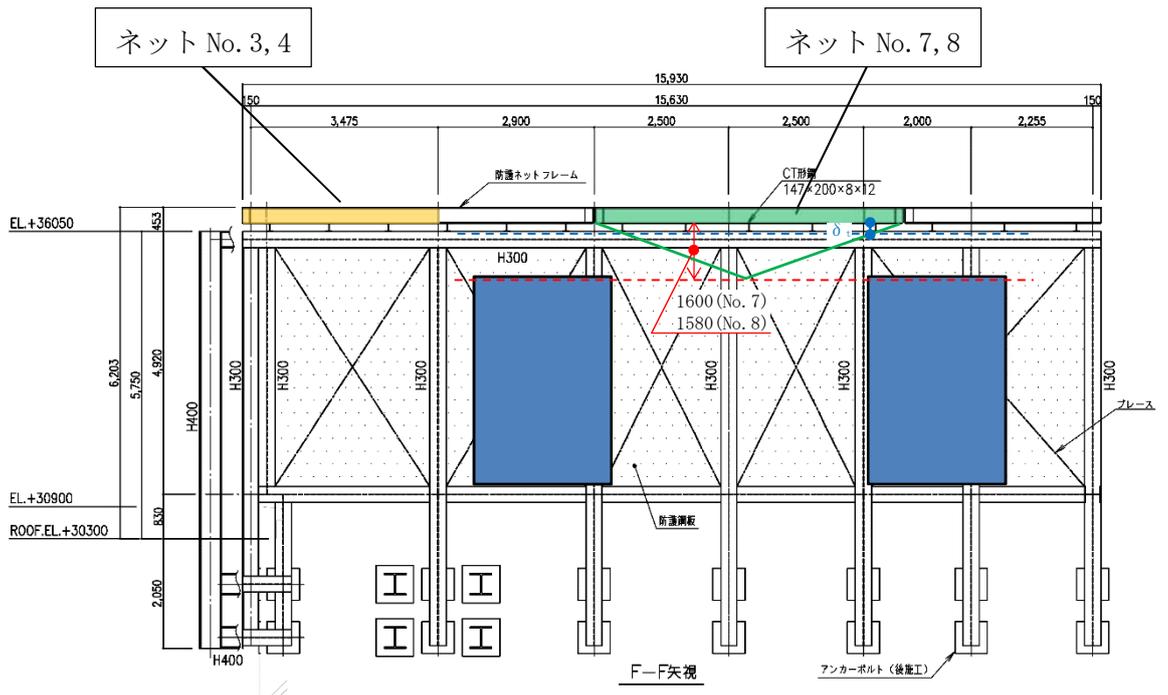


図 5-1 ネット (No. 7, 8) と外部事象防護対象施設の位置関係

(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 $\delta t$ (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 $\delta t$ (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 $\delta t$ (m)	最少離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.50	1.88