

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 38      |
| 提出年月日            | 平成 30 年 8 月 17 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 |
| 2.3.1 貫通評価 .....           | 22 |
| 2.3.2 構造強度評価 .....         | 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 |
| 3.2.1 貫通評価 .....           | 28 |
| 3.2.2 裏面剥離評価 .....         | 28 |
| 3.2.3 変形評価 .....           | 28 |
| 3.3 荷重及び荷重の組合せ.....        | 29 |
| 3.3.1 荷重の設定 .....          | 29 |
| 3.3.2 荷重の組合せ .....         | 30 |
| 3.4 許容限界.....              | 32 |
| 3.4.1 貫通評価 .....           | 32 |
| 3.4.2 裏面剥離評価 .....         | 33 |
| 3.4.3 変形評価 .....           | 33 |
| 3.5 評価方法.....              | 34 |
| 3.5.1 貫通評価 .....           | 34 |
| 3.5.2 裏面剥離評価 .....         | 41 |
| 3.5.3 変形評価 .....           | 49 |
| 4. 評価条件.....               | 75 |
| 4.1 貫通評価.....              | 75 |
| 4.1.1 式による評価（RC造部） .....   | 75 |
| 4.1.2 式による評価（鋼製部） .....    | 76 |
| 4.1.3 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ ..... | 76 |
| 4.2 裏面剥離評価.....            | 77 |
| 4.2.1 式による評価 .....         | 77 |
| 4.2.2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ ..... | 78 |
| 4.2.3 原子炉建屋原子炉棟壁面 .....    | 78 |
| 4.2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面 .....  | 79 |
| 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、添付書類「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」に示しており、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、添付書類「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。

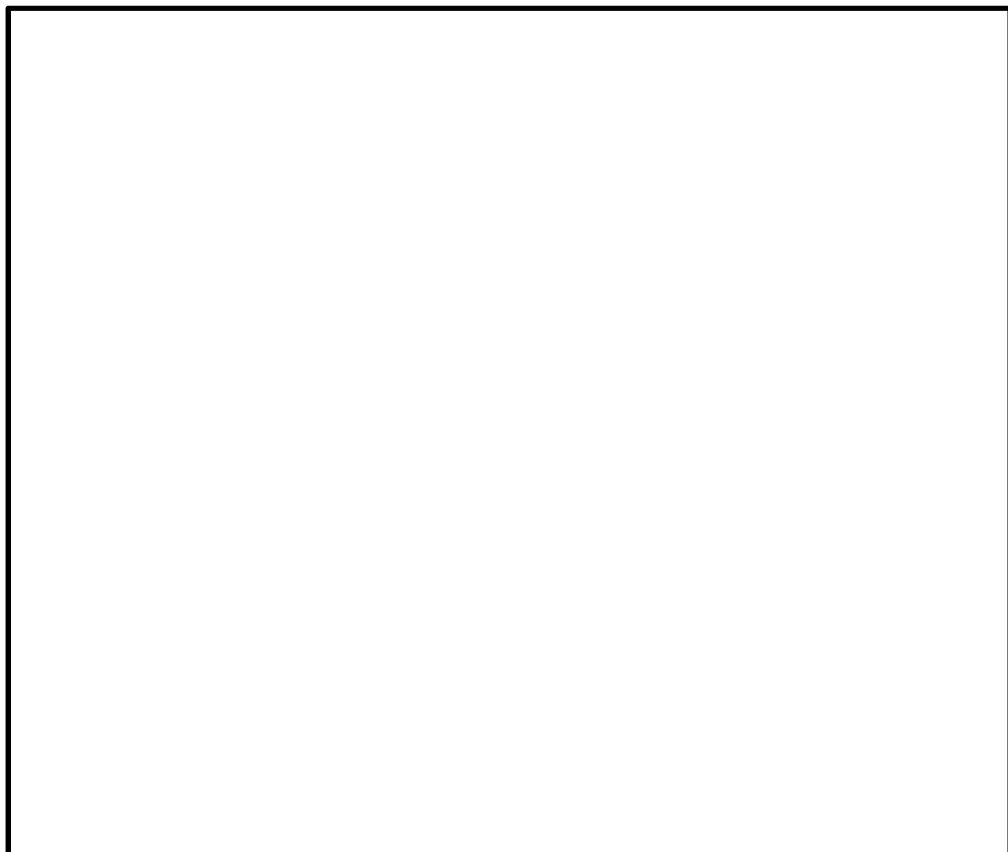


図 2-1 建屋及び構造物の配置図



## 2.2 構造概要

建屋及び構造物は、**添付書類「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（以下「**R C造**」という。）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。



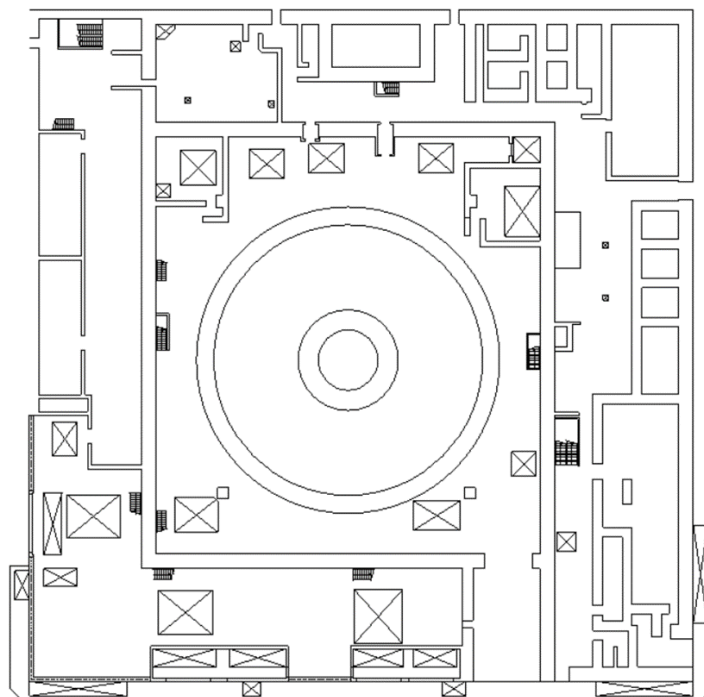
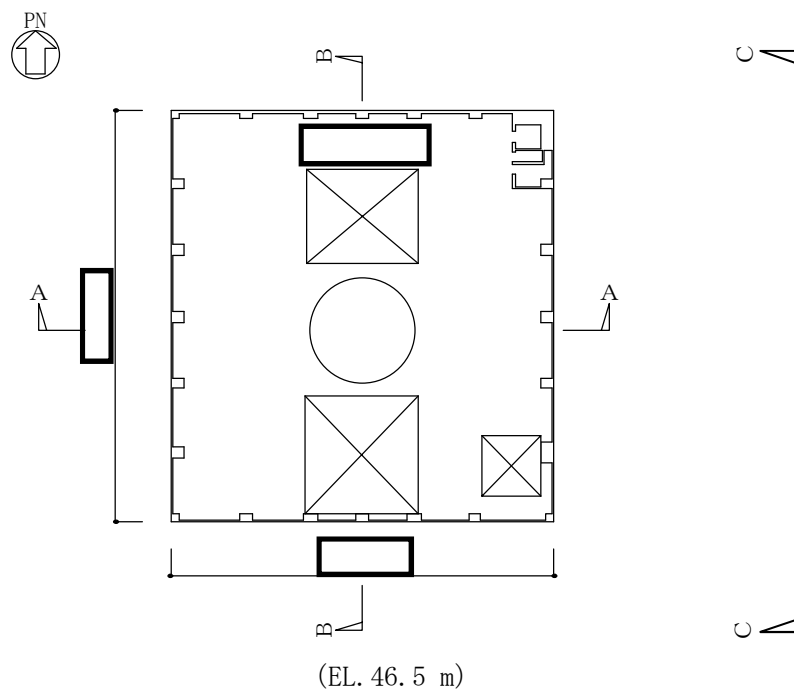


図2-2  の概略平面図



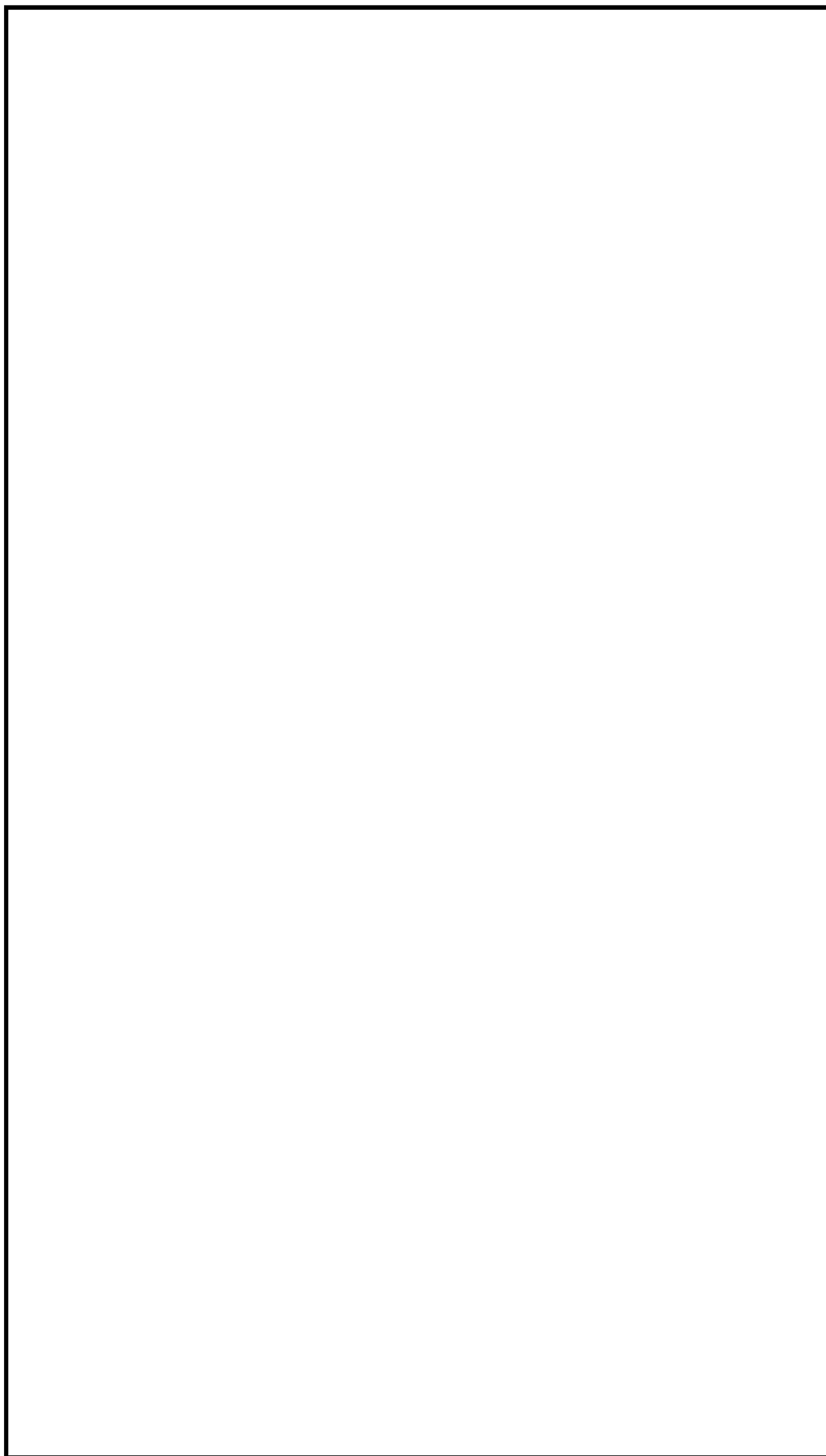
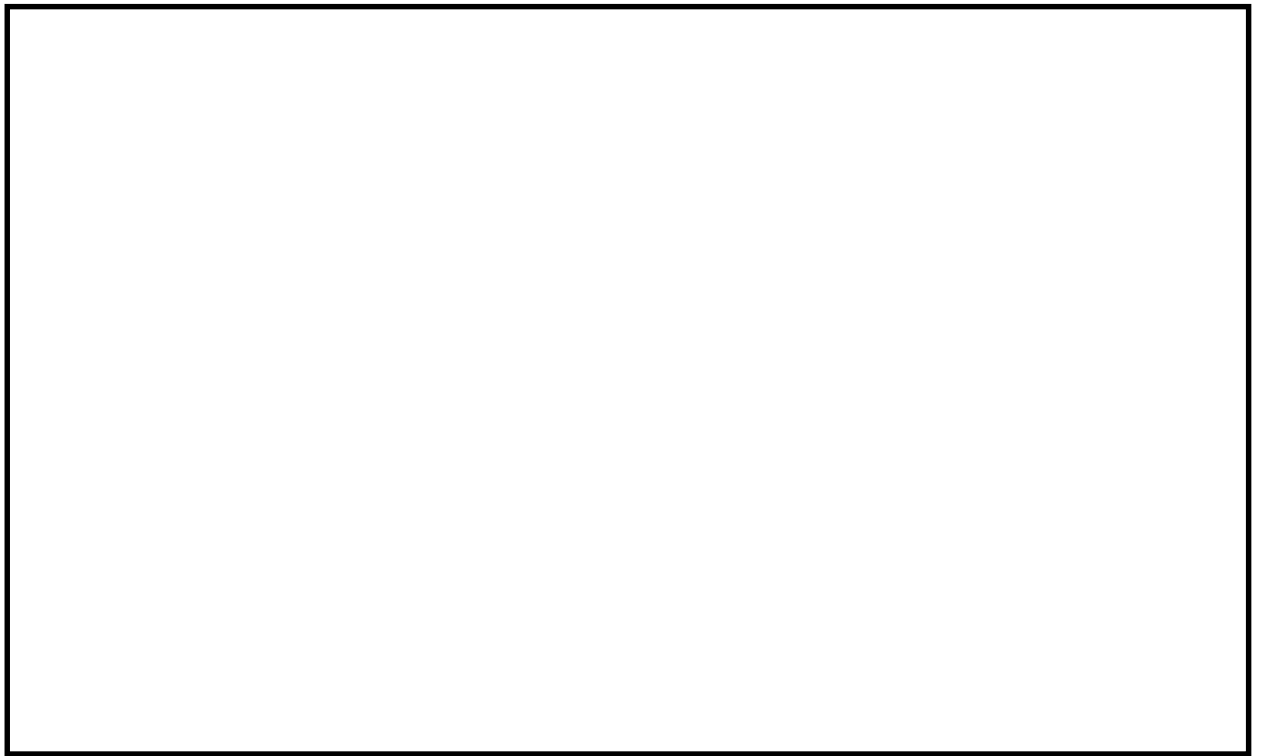


図 2-3 原子炉建屋の概略断面図(1/2)





(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)



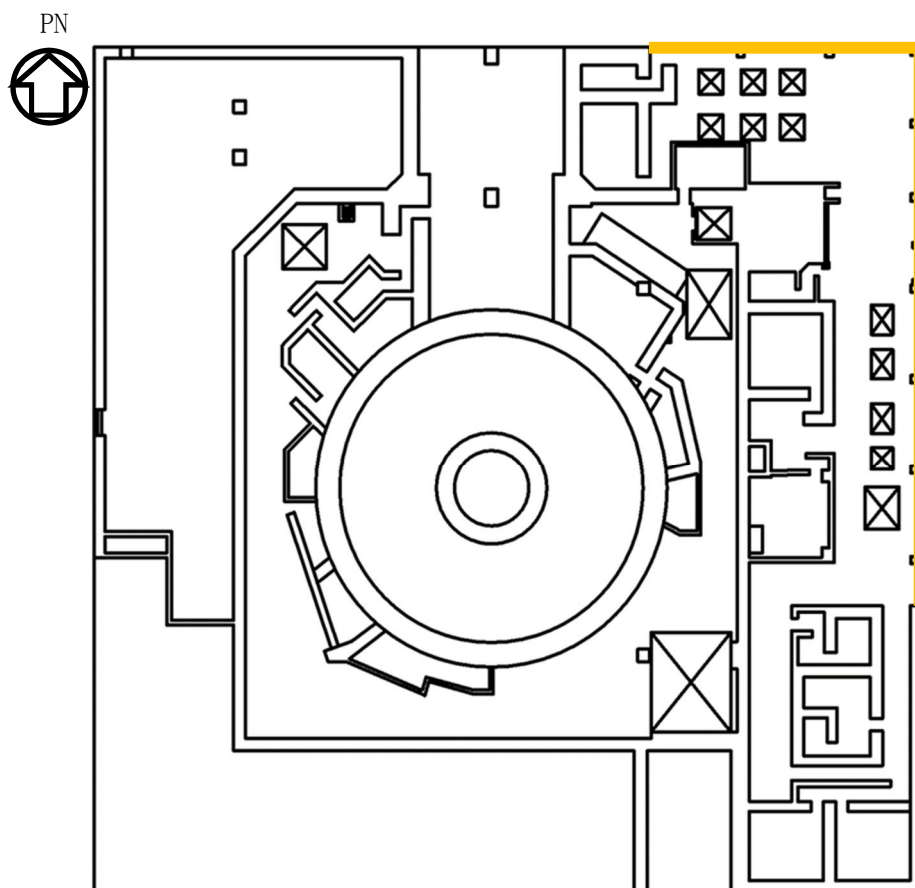


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (1/3 : EL. 14.0m)

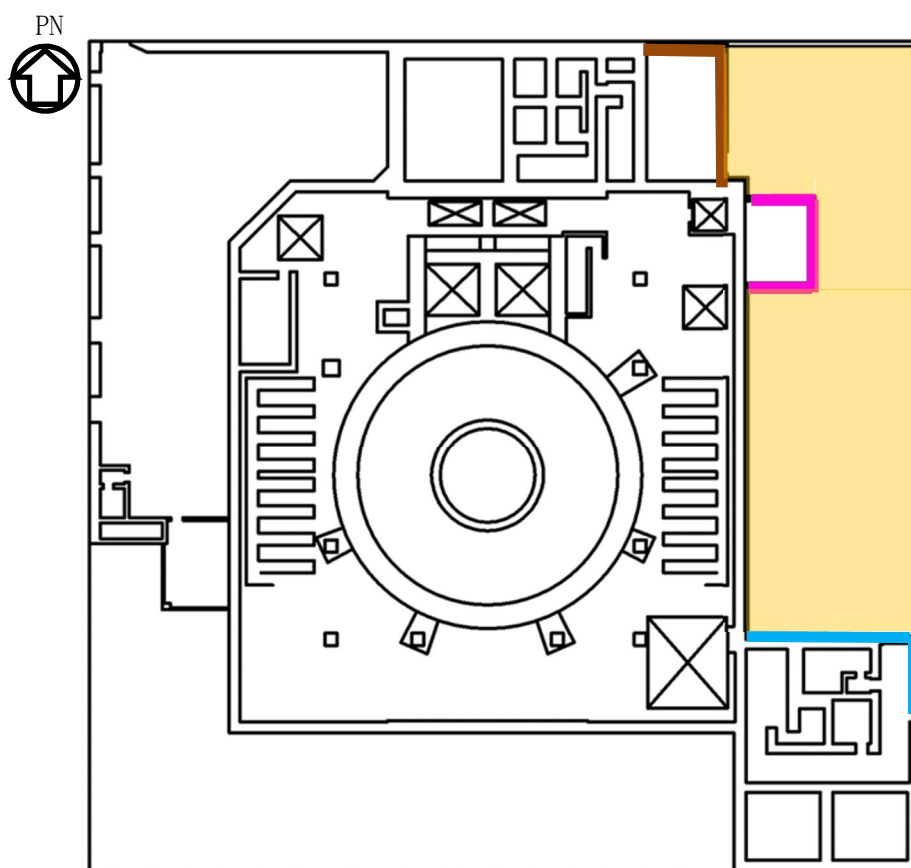


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (2/3 : EL. 23.0m)



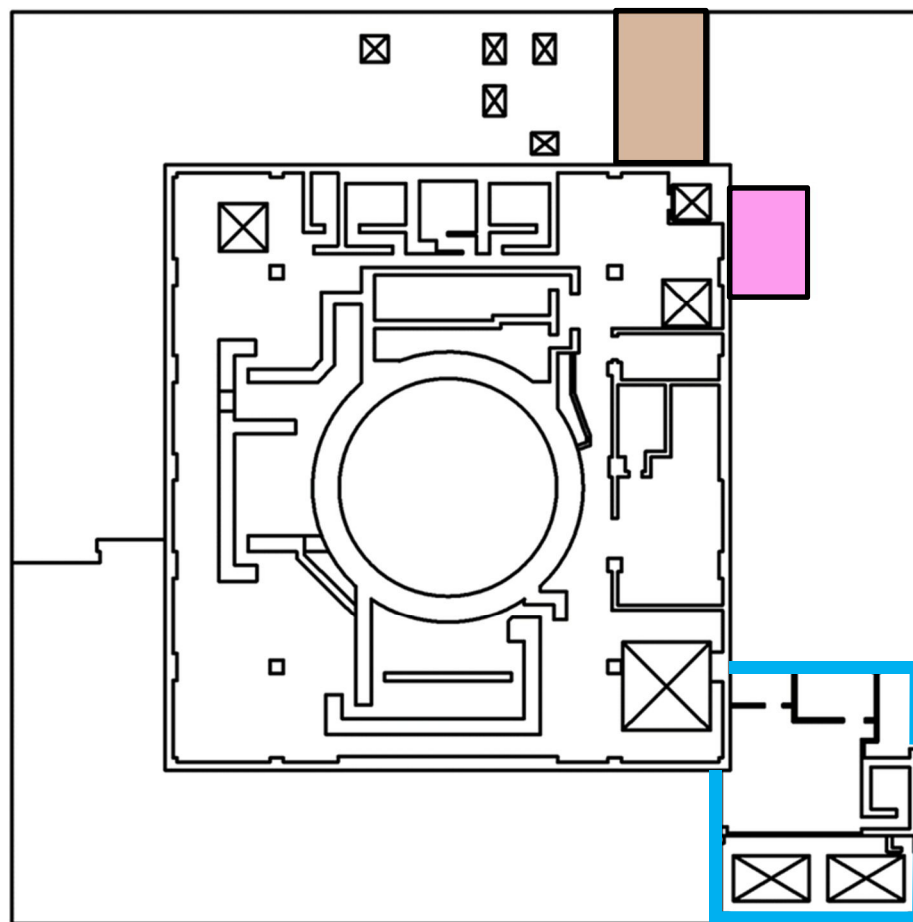


図2-4 鉄骨構造部の位置図 (3/3 : EL. 30.0m)



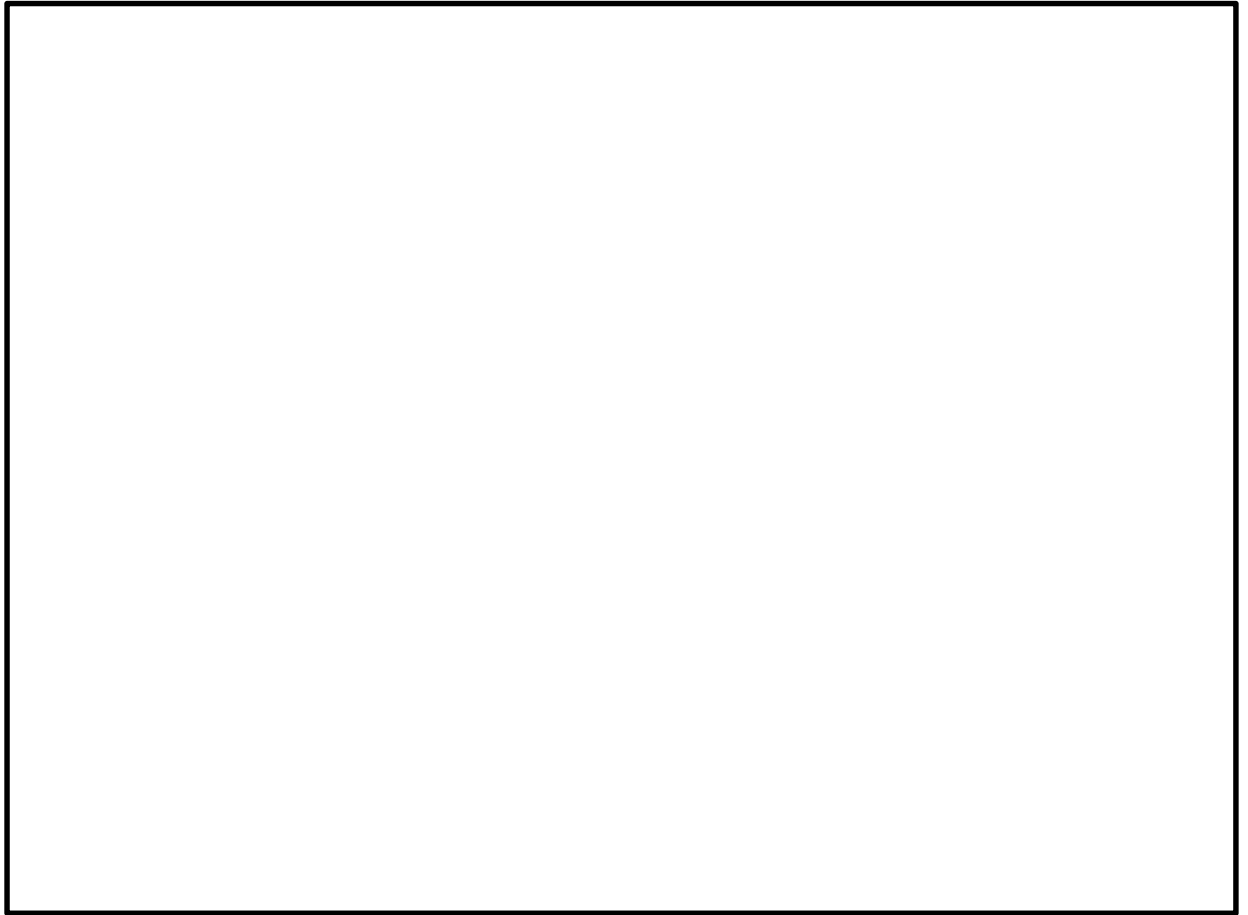


図2-5 外殻となる扉の位置図（立面図：東側）



図2-6 外殻となる扉の位置図（立面図：西側）



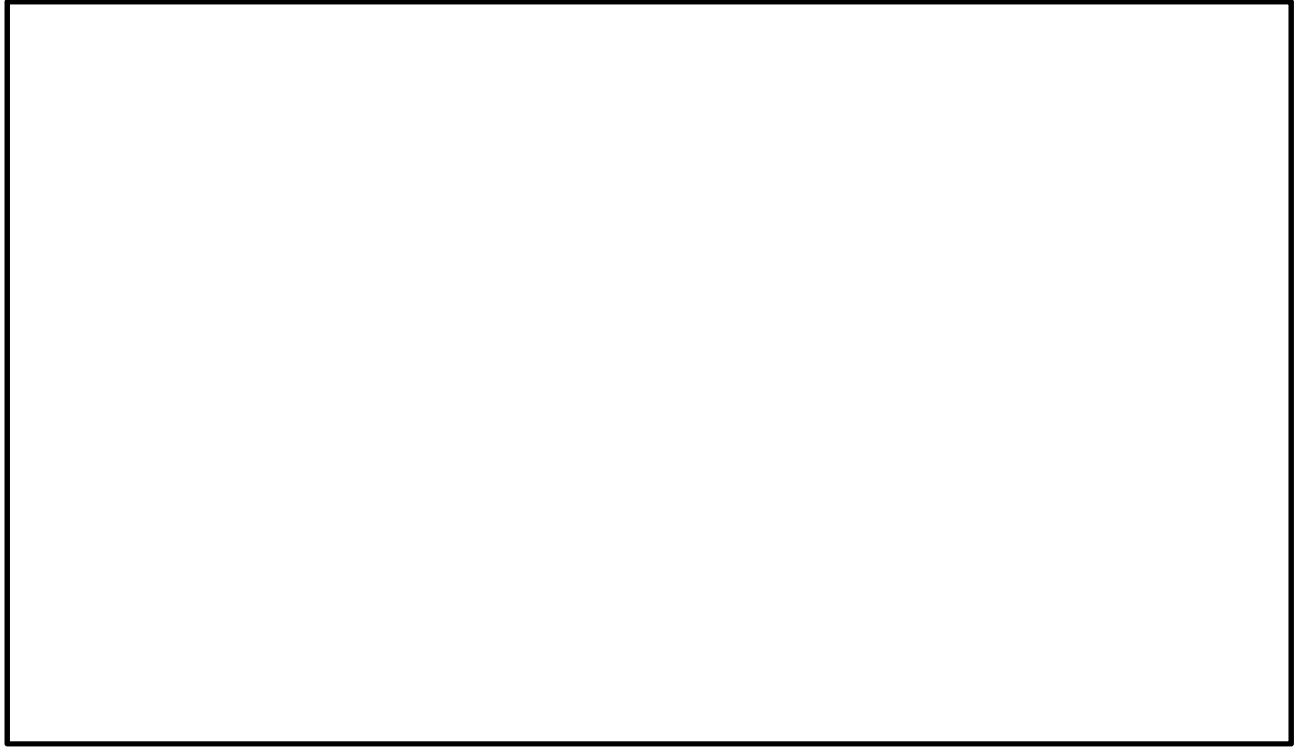


図2-7 外殻となる扉の位置図（立面図：南側）



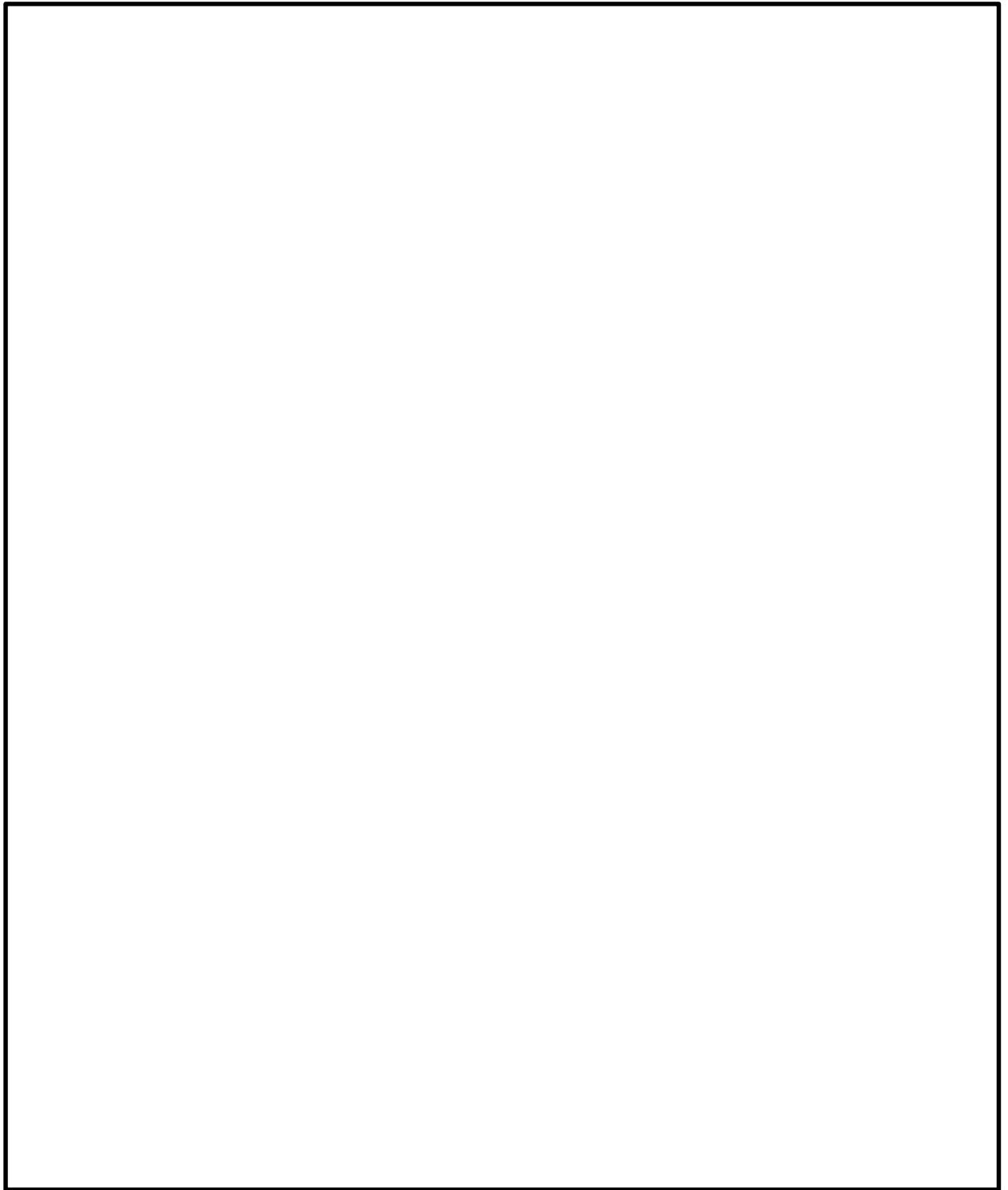


図2-8 原子炉建屋の外殻となる扉の位置図 (EL. 8.2m)



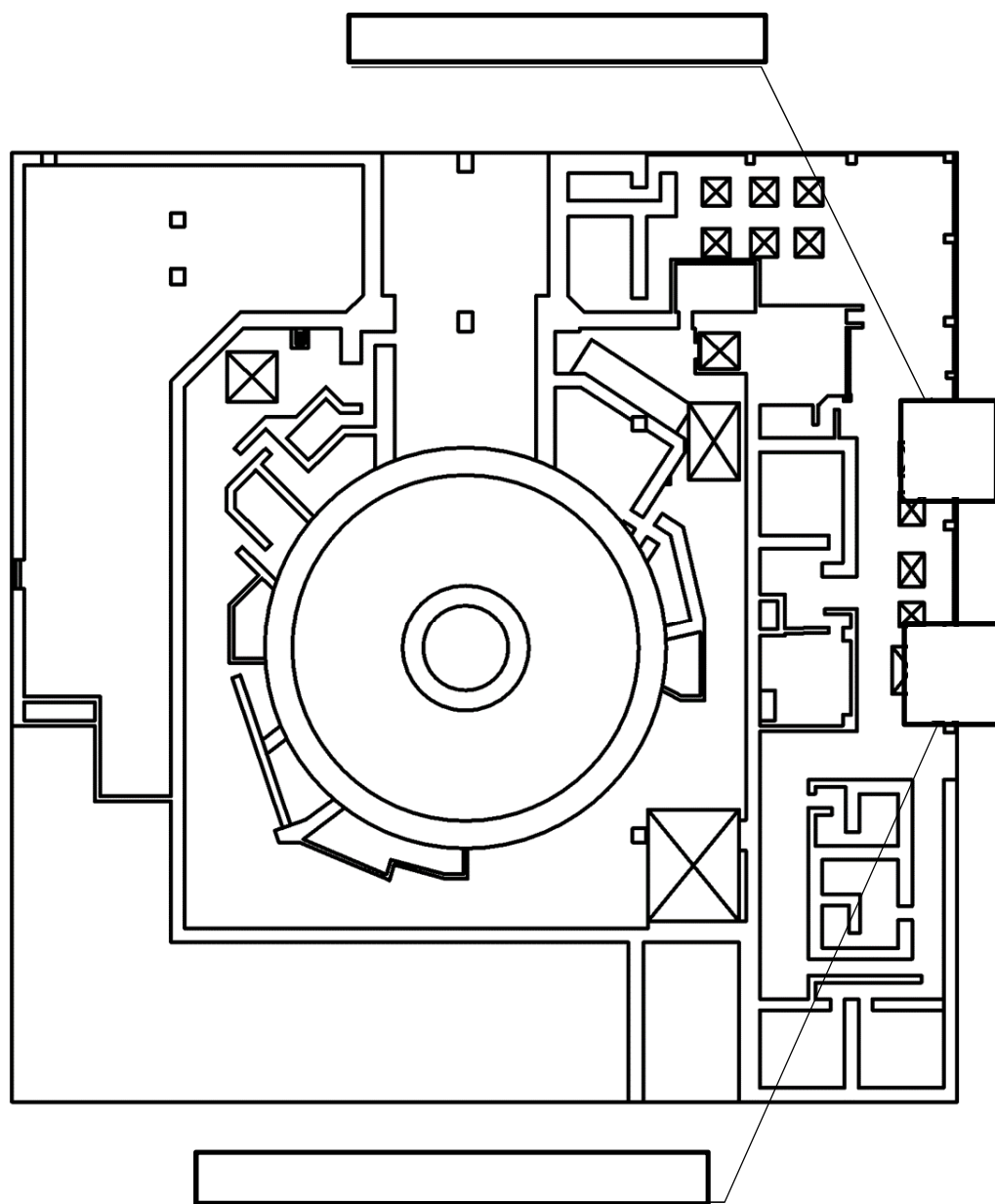


図2-9  の位置図 (EL. 14.0m)



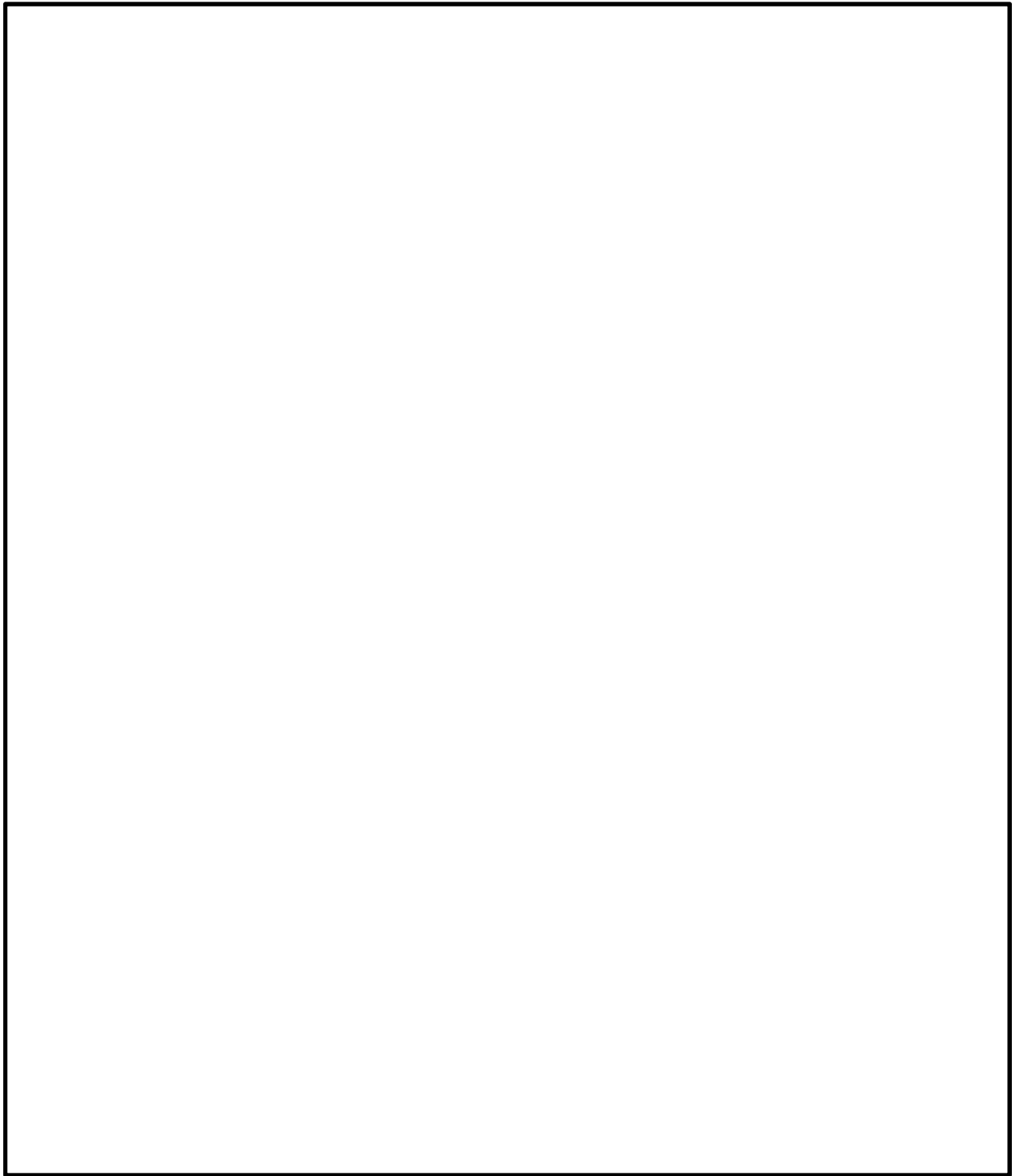


図2-10 原子炉建屋外殻となる扉の位置図 (EL. 20.3m, EL. 23.0m)



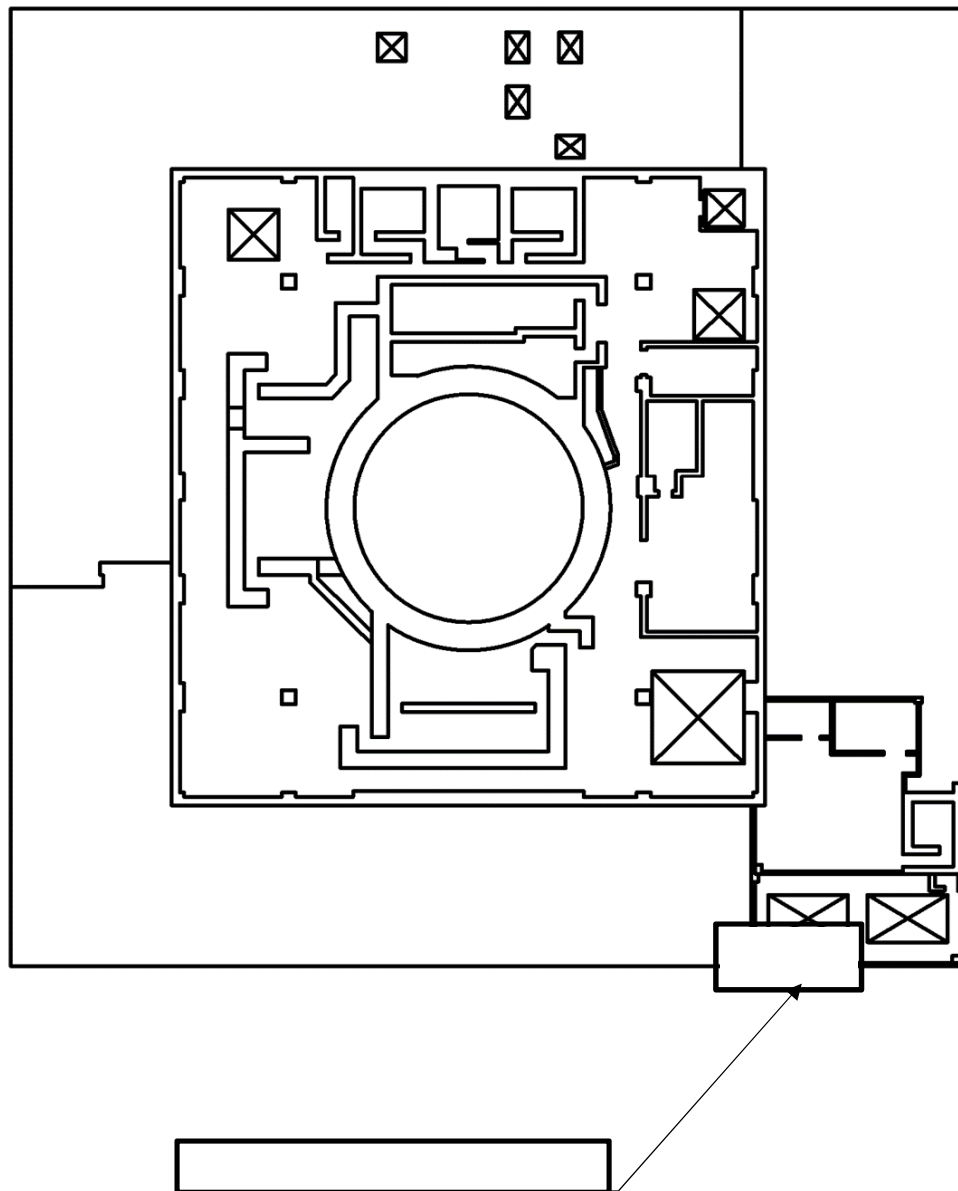


図2-11  の位置図 (EL. 29. 0m)



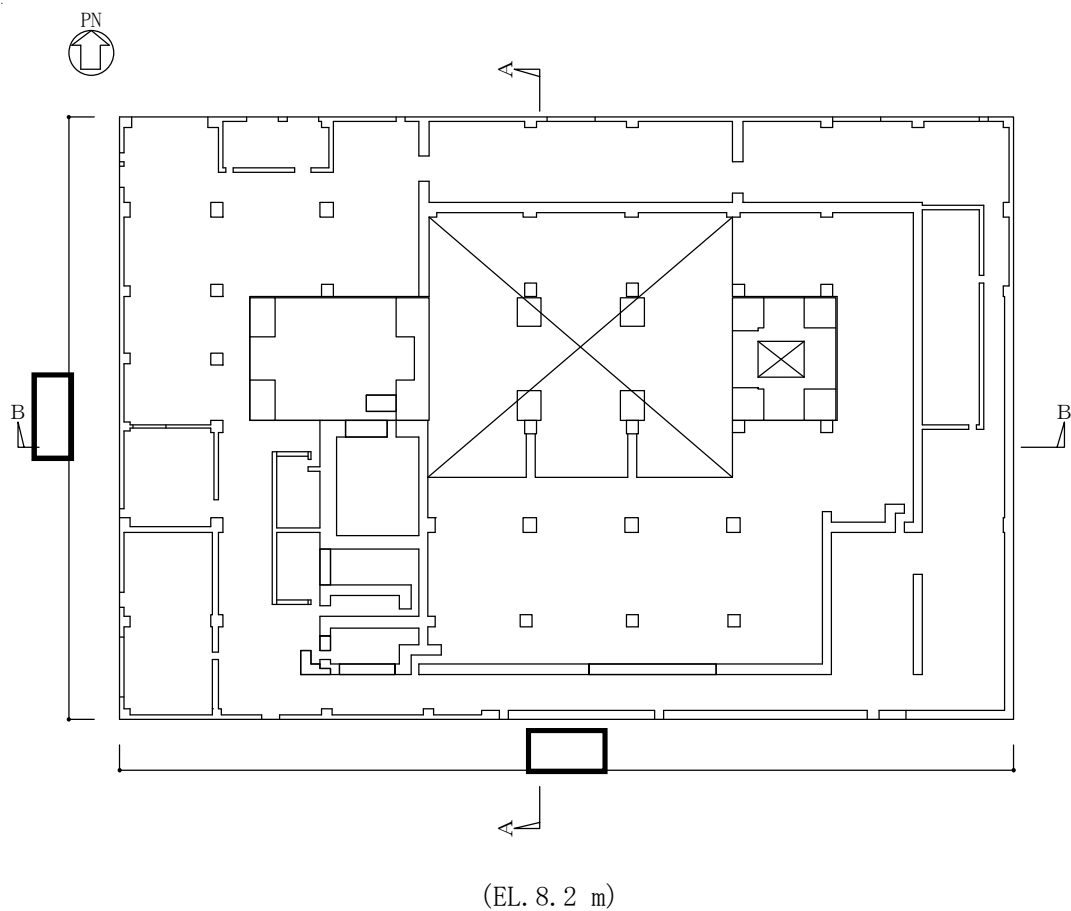


図 2-12  の概略平面図



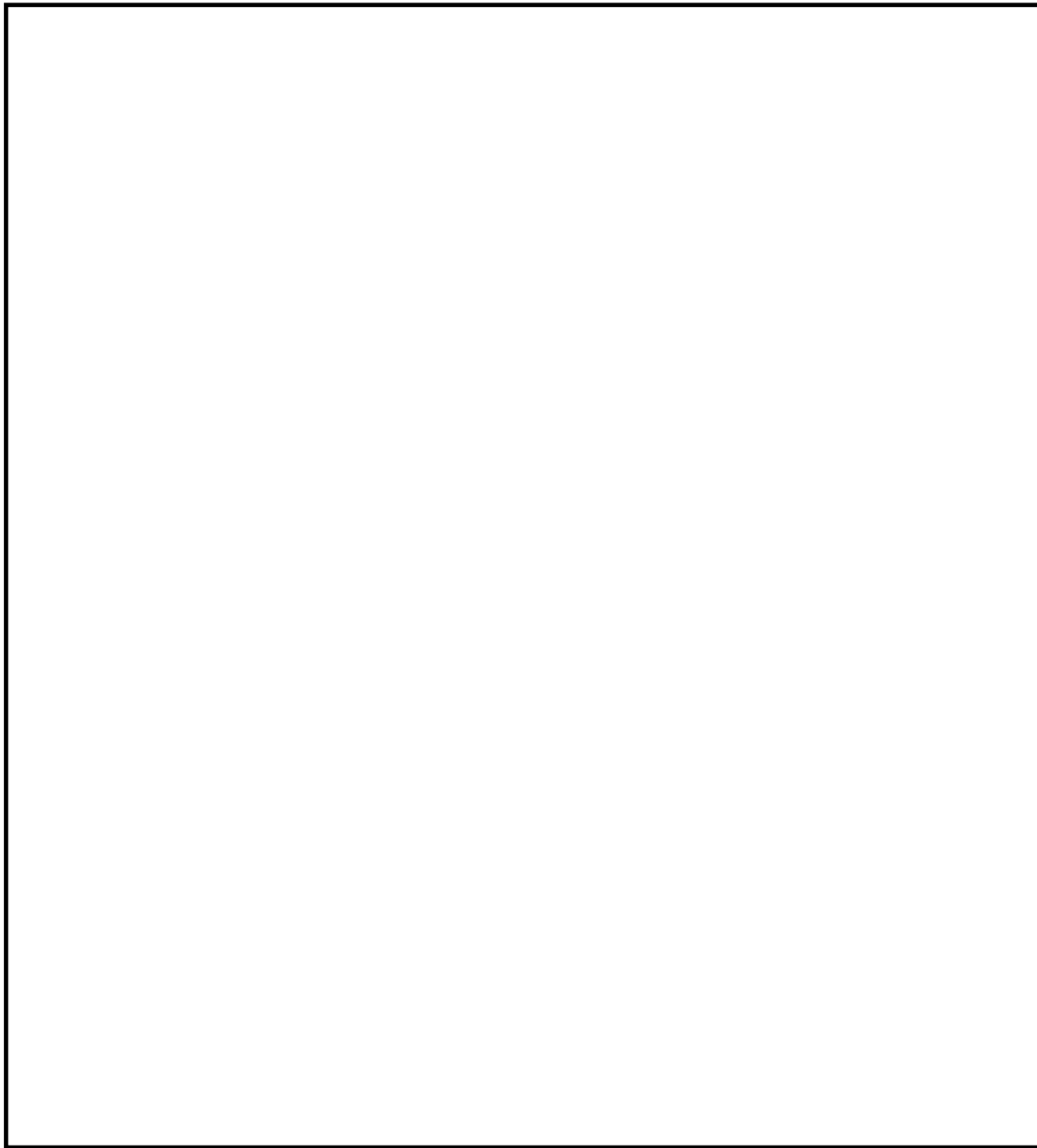


図 2-13 タービン建屋の概略断面図



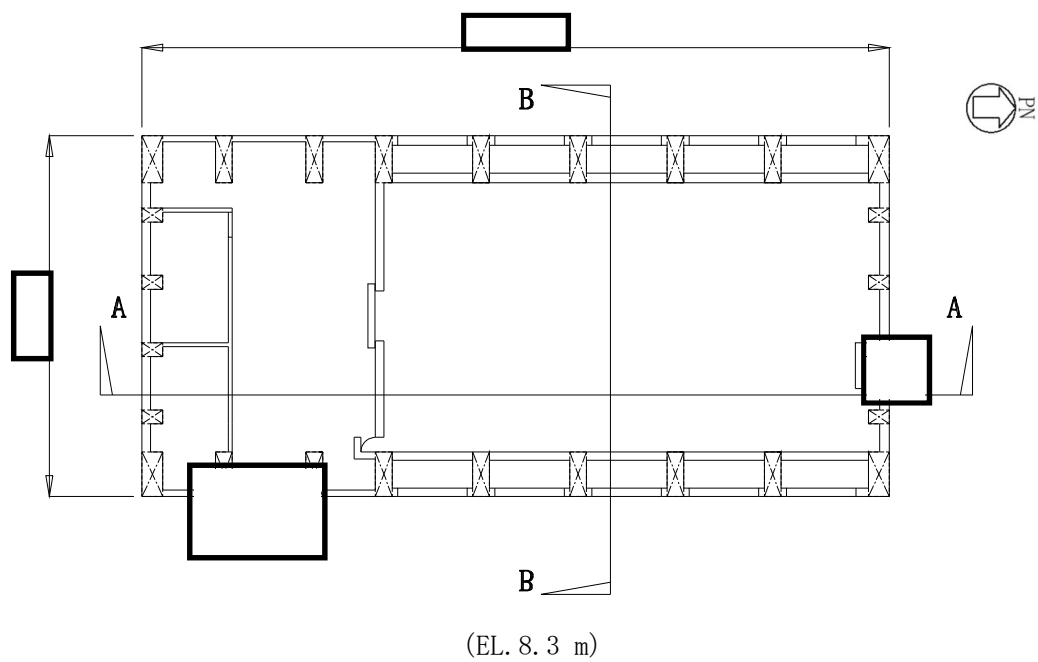


図 2-14  の概略平面図



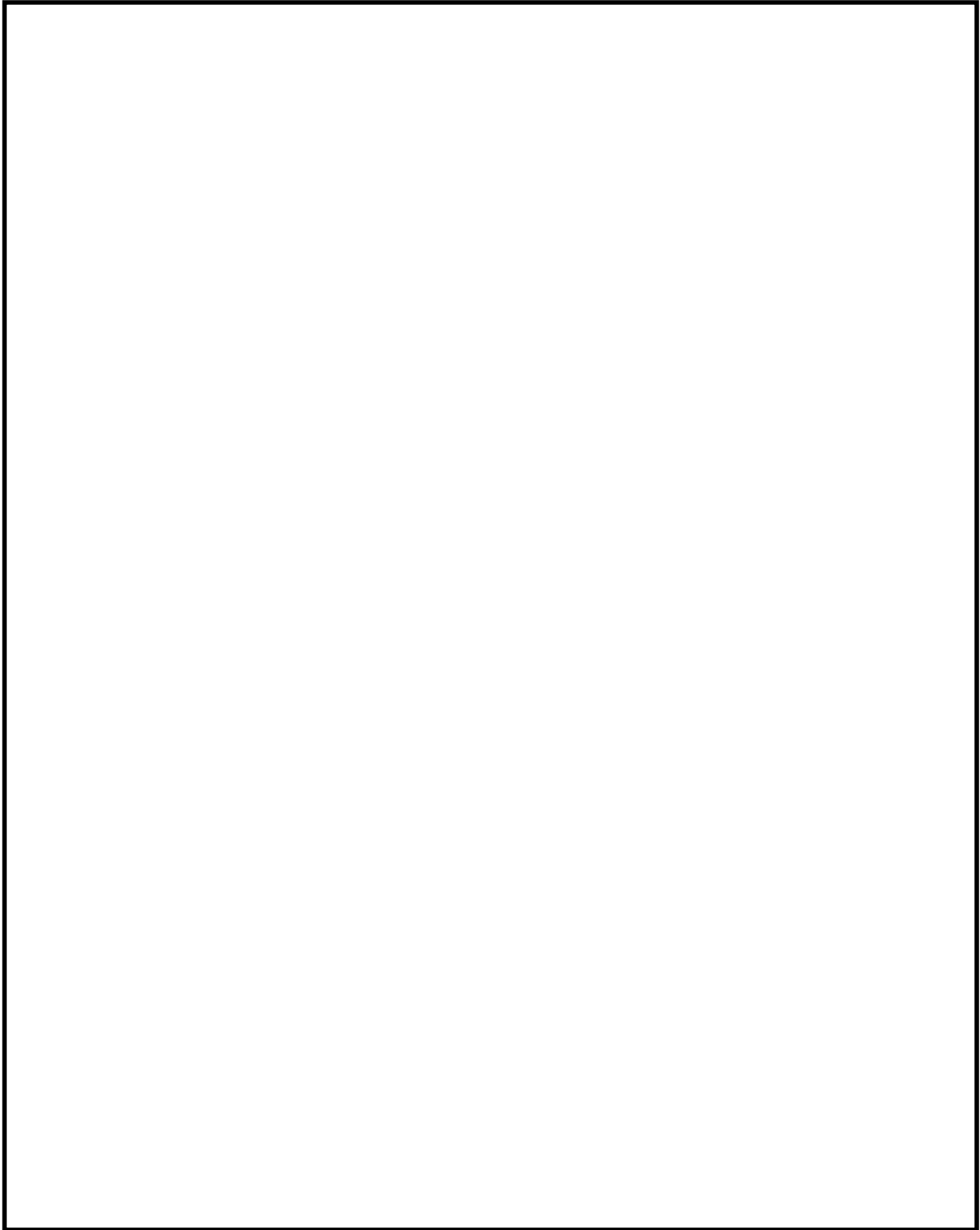


図 2-15 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図



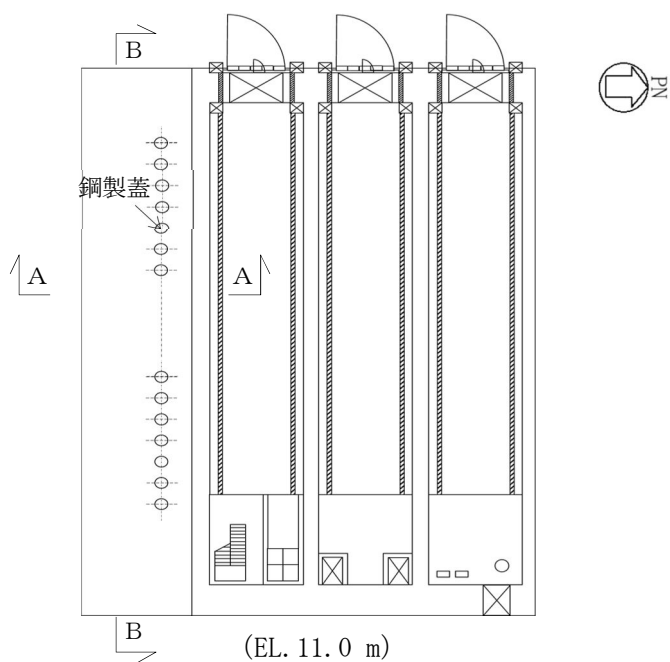


図2-16 軽油貯蔵タンクタンク室の概略平面図

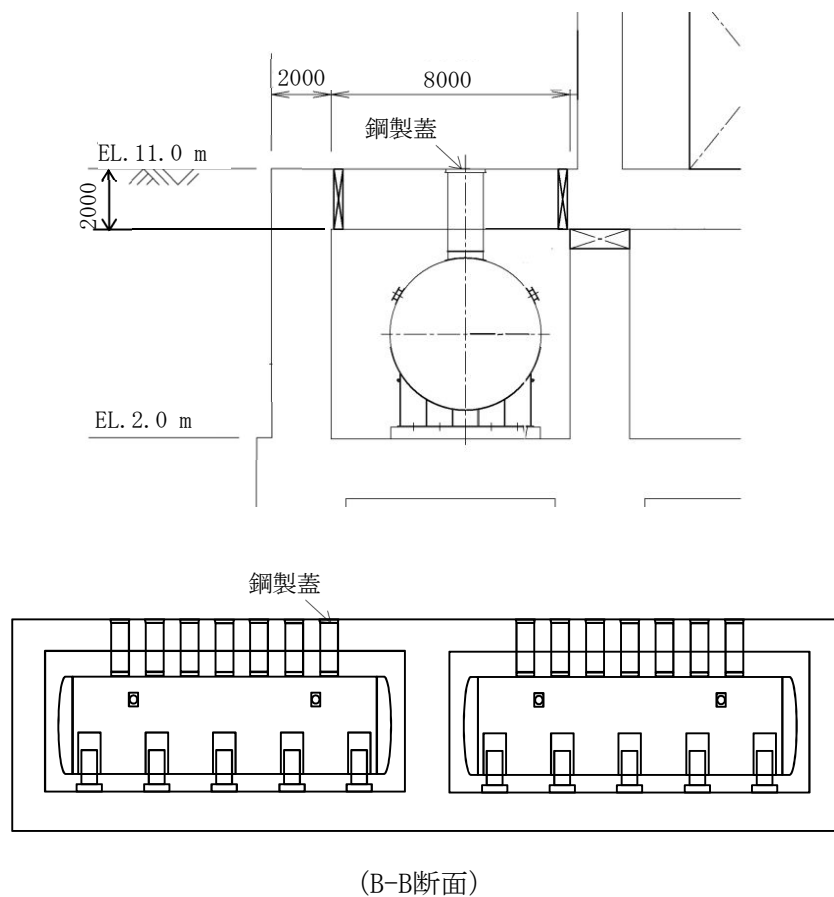
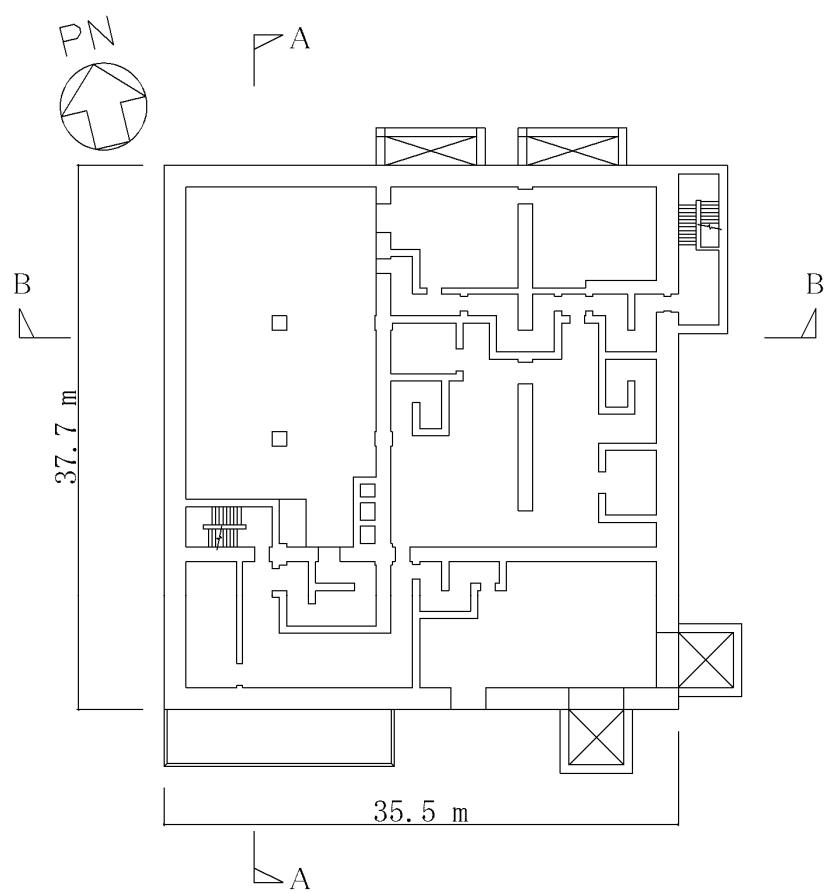


図2-17 軽油貯蔵タンクタンク室の概略断面図

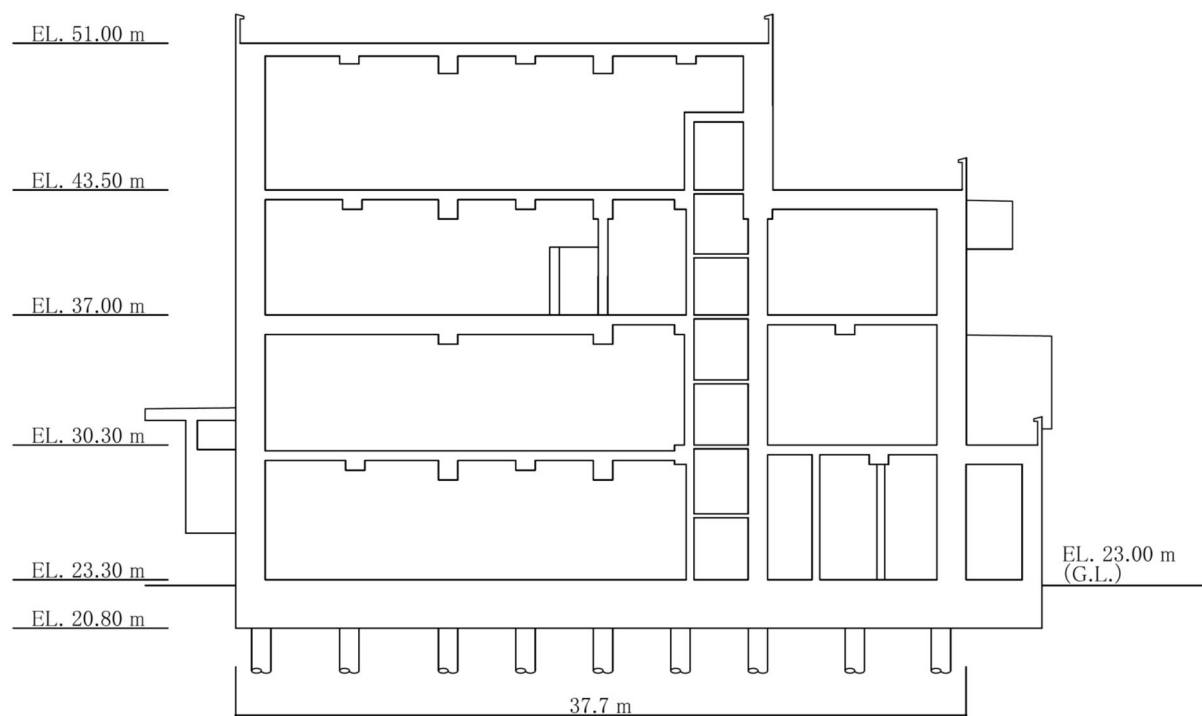




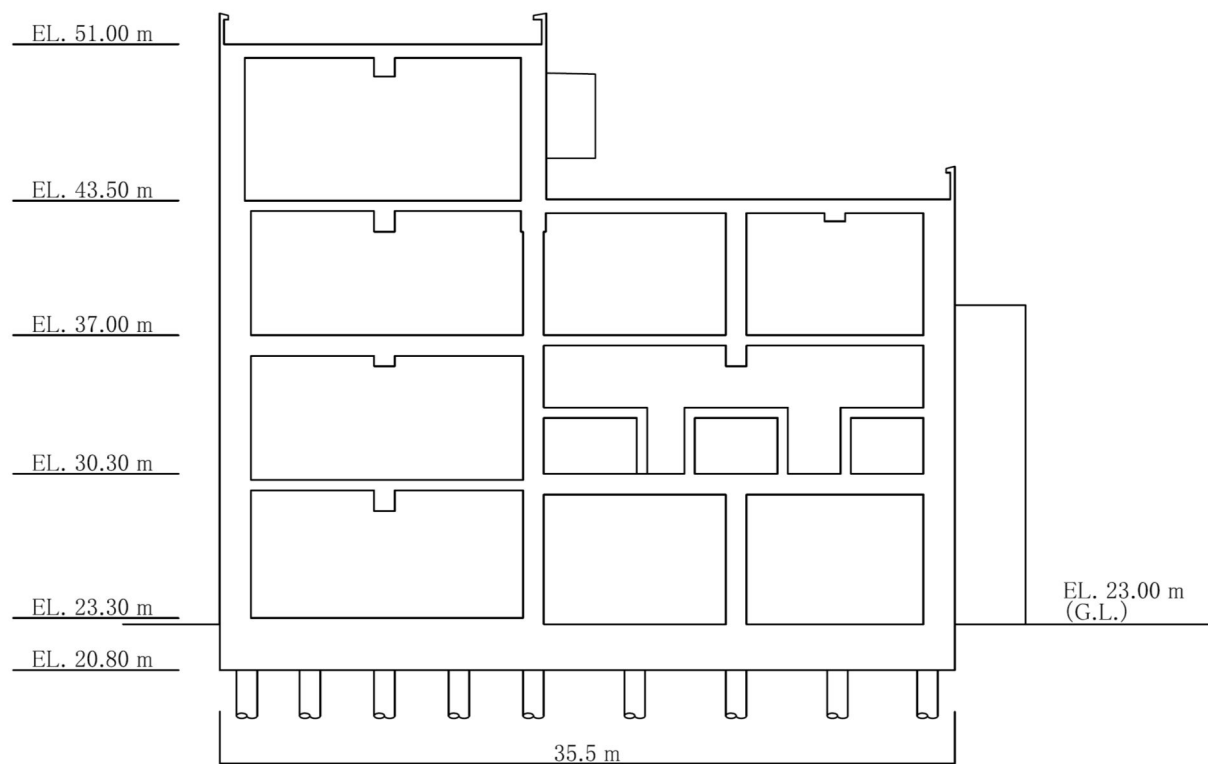
(2階平面図 : EL. 30.3 m)

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



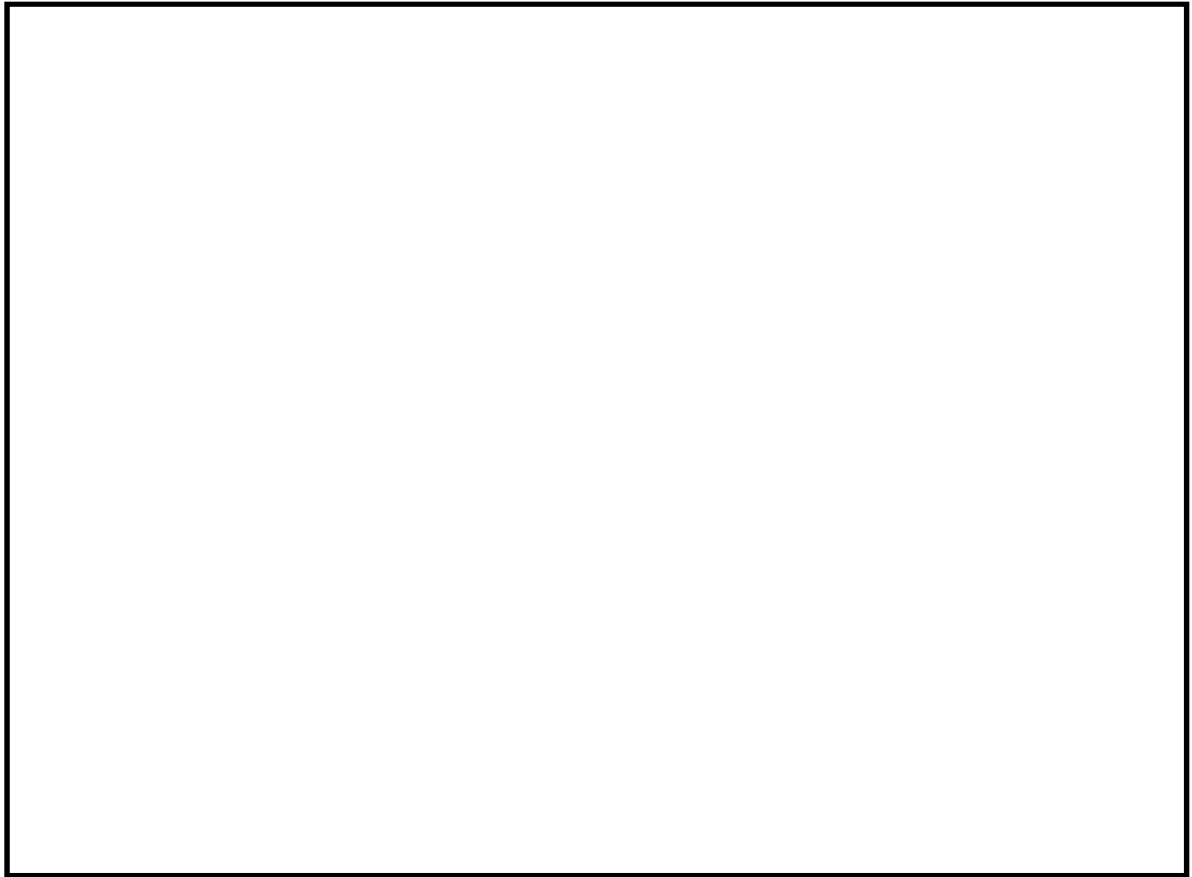


図2-20 廃棄物処理建屋の概略平面図



## 2.3 評価方針

建屋及び構造物の強度評価は、添付書類「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。）

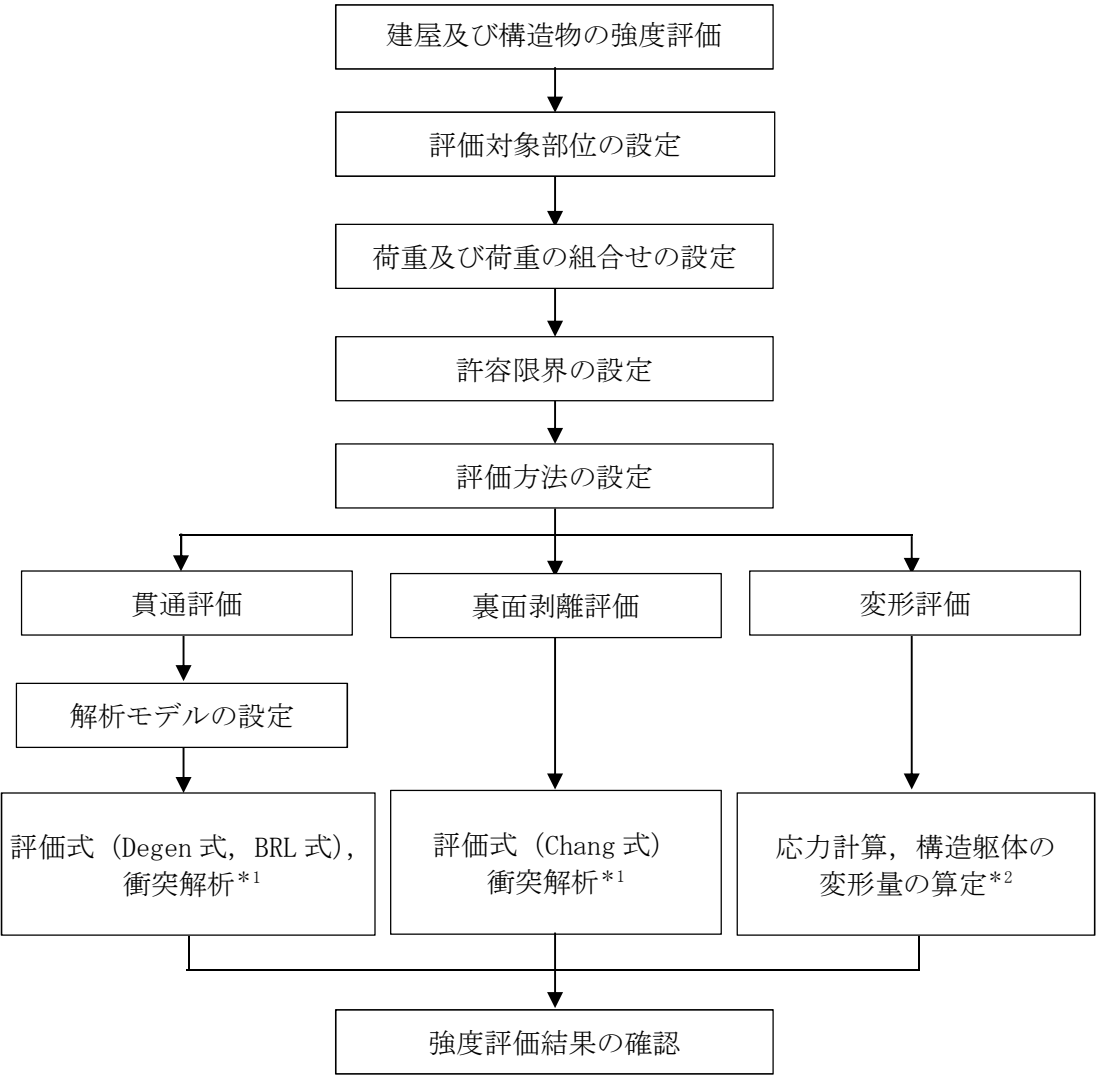
具体的には、RC造の建屋及び構造物について、飛来物による衝撃荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、外殻となる屋根スラブ、外壁及び内壁並びに構造物の鉄筋コンクリートが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

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。）
- ・「コンクリート標準示方書 設計編」（（社）土木学会，2007改定）
- ・「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）
- ・「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）
- ・日本工業規格（J I S）
- ・「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。）

### (参考文献)

- ・「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治



## 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                                     |
|--------------------|-----------------|---|
| $q$                | $\text{N/m}^2$  | 設計用速度圧                                    |
| $C$                | —               | 風力係数                                      |
| $G$                | —               | ガスト影響係数                                   |
| $\Delta P$         | $\text{N/m}^2$  | 最大気圧低下量                                   |
| $A_c$              | $\text{mm}^2$   | コーン状破壊面の有効投影面積                            |
| $A_0$              | $\text{mm}^2$   | 頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積                         |
| $s_c a$            | $\text{mm}^2$   | 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<br>小なる方の値 |
| $b$                | $\text{mm}$     | 部材幅                                       |
| $d'$               | $\text{mm}$     | 部材の有効せい                                   |
| $L$                | $\text{mm}$     | 屋根スラブの支持スパン                               |
| $p$                | $\text{mm}$     | 頭付きアンカーボルトの間隔                             |
| $D$                | $\text{mm}$     | 頭付きアンカーボルト頭部の直径                           |
| $d$                | $\text{mm}$     | 頭付きアンカーボルト軸部の直径                           |
| $F_c$              | $\text{N/mm}^2$ | コンクリートの設計基準強度                             |
| $f_n$              | $\text{N/mm}^2$ | コンクリートの支圧強度                               |
| $f_s$              | $\text{N/mm}^2$ | コンクリートの許容せん断応力度                           |
| $f_t$              | $\text{N/mm}^2$ | 鉄筋の許容引張応力度                                |
| $a_t$              | $\text{mm}^2$   | 引張鉄筋断面積                                   |
| $j$                | $\text{mm}$     | 応力中心間距離（ $j = (7/8) \cdot d'$ ）           |
| $l_{ce}$           | $\text{mm}$     | 頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ（ $l_{ce} = l_e$ ）   |
| $l_e$              | $\text{mm}$     | 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               |
| ${}_c \sigma_t$    | $\text{N/mm}^2$ | コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度                     |
| ${}_s \sigma_{pa}$ | $\text{N/mm}^2$ | 頭付きアンカーボルトの引張強度                           |
| ${}_s \sigma_y$    | $\text{N/mm}^2$ | 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                                      |
| $\omega_d$         | $\text{kN/m}$   | 常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重                      |
| $\omega_{T1}$      | $\text{kN/m}$   | 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         |
| $\omega_{T2}$      | $\text{kN/m}$   | 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、添付書類「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）、原子炉建屋附属棟1階電気室搬入口水密扉、原子炉建屋附属棟3階バルブ室東側扉、原子炉建屋附属棟3階バルブ室北側扉、原子炉建屋附属棟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、重大事故等対処施設の環境条件維持に関与する扉（原子炉建屋附属棟1階東側水密扉、原子炉建屋附属棟1階南側水密扉、原子炉建屋附属棟2階東側機器搬入口扉、原子炉建屋附属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉及び原子炉建屋附属棟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RC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) RC造構造物

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、添付書類「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<br>(m)       | 質量<br>(kg) | 水平方向の<br>飛来速度<br>(m/s) | 鉛直方向の<br>飛来速度<br>(m/s) | 衝突対象  |
|-----|-----------------|------------|------------------------|------------------------|---|
| 鋼製材 | 4.2×0.2×<br>0.3 | 135        | 51                     | 34                     | 設計飛来物として、全ての<br>建屋及び構造物を対象  |
| 車両  | 3.6×2.5×<br>8.6 | 5000       | 52                     | —*                     | 隣接事業所からの飛来物の<br>代表的なものとして、以下<br>の施設を対象<br>・使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>・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、添付書類「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)<br>・ 下記施設の屋根スラブ，外壁及び内壁<br>原子炉建屋（R C造部及び鉄骨造部）<br>タービン建屋<br>使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>軽油貯蔵タンクタンク室<br>緊急時対策所建屋<br>・ 扉（扉板） | $W_M$            |                            |
|        | (解析による評価)<br>・ 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ  | 複合荷重<br>$W_{T2}$ | $W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$ |
| 裏面剥離評価 | (式による評価)<br>・ 下記施設の屋根スラブ，外壁及び内壁<br>原子炉建屋（R C造部）<br>タービン建屋<br>使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>軽油貯蔵タンクタンク室<br>緊急時対策所建屋                  | $W_M$            |                            |
|        | (解析による評価)<br>・ 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ<br>・ 原子炉建屋外壁<br>・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁  | 複合荷重<br>$W_{T2}$ | $W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$ |
| 変形評価   | (式による評価)<br>・ 原子炉建屋（R C造部）<br>・ タービン建屋<br>・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>・ 緊急時対策所建屋  | 複合荷重<br>$W_{T2}$ | $W_W + 1/2W_P + F_d$       |
|        | (解析による評価)<br>・ 原子炉建屋（鉄骨造部）<br>・ 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<br>$W_{T2}$ | $W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$ |
|        | (式による評価)<br>・ 原子炉建屋（鉄骨造部外装板）<br>・ 扉（カンヌキ部）<br>・ 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、添付書類「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（式による評価）を表 3-8 に示す。

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<br>(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<br>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）      |                |      |

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<br>(解析による評価) | 原子炉建屋原子炉棟<br>屋根スラブ | 鉄筋 |      |



### 3.4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価の許容限界（式による評価）を表 3-10 に示す。

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) *1 |      |
|                    |        |             |     | 鉛直方向             | 水平方向 |
| 裏面剥離評価<br>(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を表3-11に示す。

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<br>(解析による評価) | 原子炉建屋原子炉棟<br>外壁*1    | 下層の鉄筋       |      |
|                     | 原子炉建屋原子炉棟<br>屋根スラブ*2 | デッキ<br>プレート |      |
|                     | 使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>外壁*3  | 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部位

### 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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(鉄骨造部)  | 外装板             | 面外                             | 外装板の許容曲げ応力度<br>$40 \text{ (N/mm}^2\text{)}^*$<br>取付ボルトの許容引張荷重<br>$3 \text{ (kN)}^*$ |
| 変形評価<br>(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. 鉄筋コンクリート部

貫通限界厚さ  $e$  を、添付書類「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。

$X/d \leq 1.52$  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、

$X/d \leq 2.0$  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  $T$  を、添付書類「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、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、下式で表わされる。

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

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

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

となる。

## (2) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

飛来物（鋼製材）に対してDegen式による貫通限界厚さを満足しない、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについては、飛来物（鋼製材）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、添付書類「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。



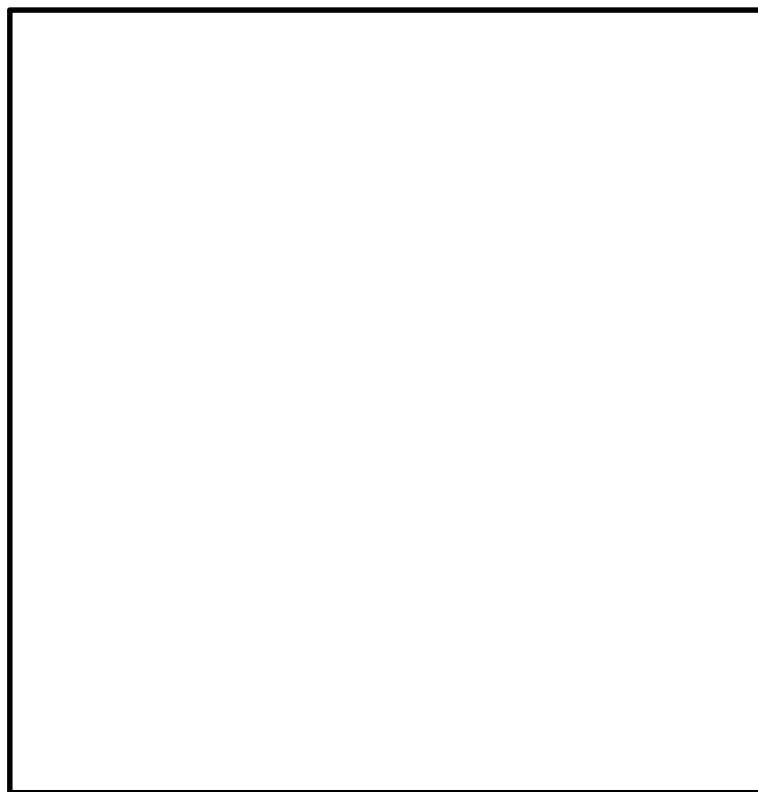


図3-1 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブのモデル化範囲

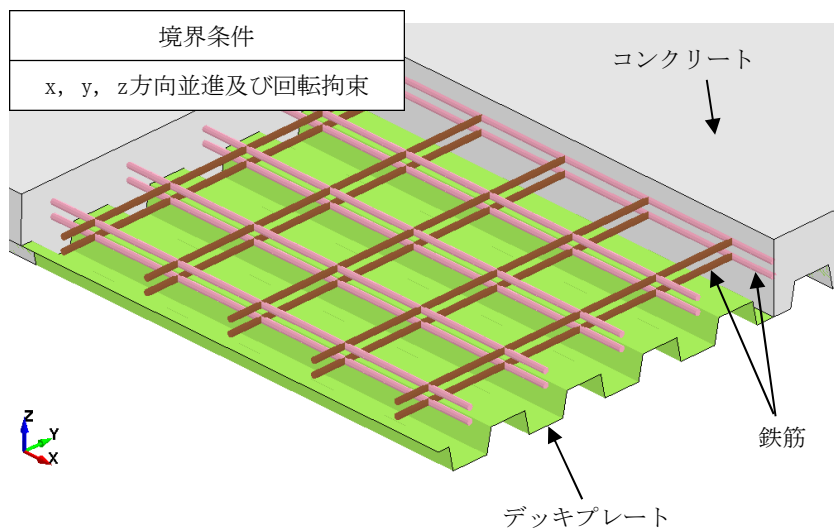


図3-2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデル図



## (b) 飛来物

飛来物（鋼製材）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、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（鋼製材）の解析モデル図を図3-3に示す。

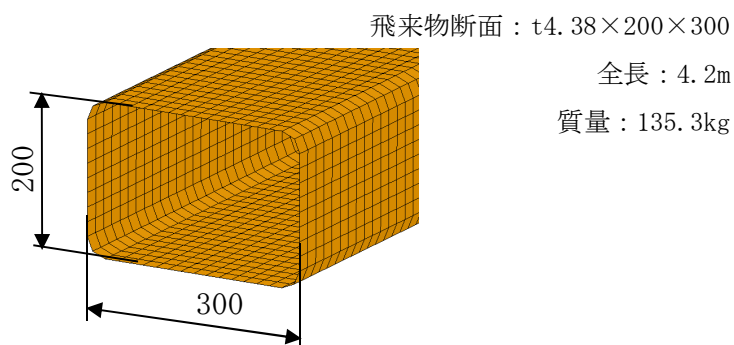


図3-3 飛来物（鋼製材）の解析モデル図

## b. 材料定数

コンクリート、鉄筋、デッキプレート及び飛来物（鋼製材）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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|
| 普通<br>コンクリート | 22.1                           | $2.21 \times 10^4$            | 0.2   | 23.0                           |

表3-14 鉄筋の材料定数

| 種類    | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| SD345 | 345                          | $2.05 \times 10^5$            | 77                             |

表3-15 デッキプレートの材料定数

| 種類    | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| SDP1T | 205                          | $2.05 \times 10^5$            | 77                             |



表3-16 飛来物（鋼製材）の材料定数

| 種類    | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| SS400 | 245                          | $2.05 \times 10^5$            | 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、NE I O 7－1 3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飛来物（鋼製材）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飛来物（鋼製材）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、NE I O 7－1 3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、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NE I O 7－1 3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とする。なお、飛来物（鋼製材）の破断相当ひずみは、飛来物（鋼製材）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飛来物（鋼製材）の強度をそれぞれ表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（単位：N/mm<sup>2</sup>）

| 設計基準強度 | 材料モデル |      |
|--------|-------|------|
|        | 圧縮強度  | 引張強度 |
| 22.1   | 27.6  | 2.55 |



表3-18 鉄筋，デッキプレート及び飛来物（鋼製材）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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断相当<br>応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断相当<br>塑性ひずみ |
| 鉄筋           | SD345 | 345                          | 490                          | 380.2                        | 494.2                              | 0.082         |
| デッキ<br>プレート  | SDP1T | 205                          | 270                          | 264.8                        | 307.8                              | 0.082         |
| 飛来物<br>(鋼製材) | 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飛来物（鋼製材）の応力－ひずみ関係を，それぞれ図3-4～図3-7に示す。

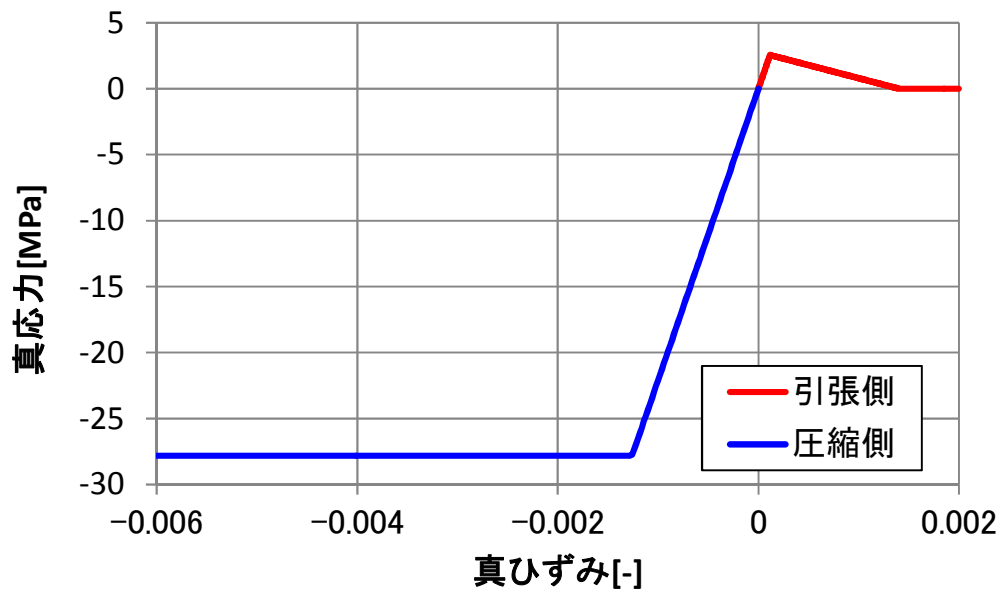


図3-4 真応力－真ひずみ関係（コンクリート）



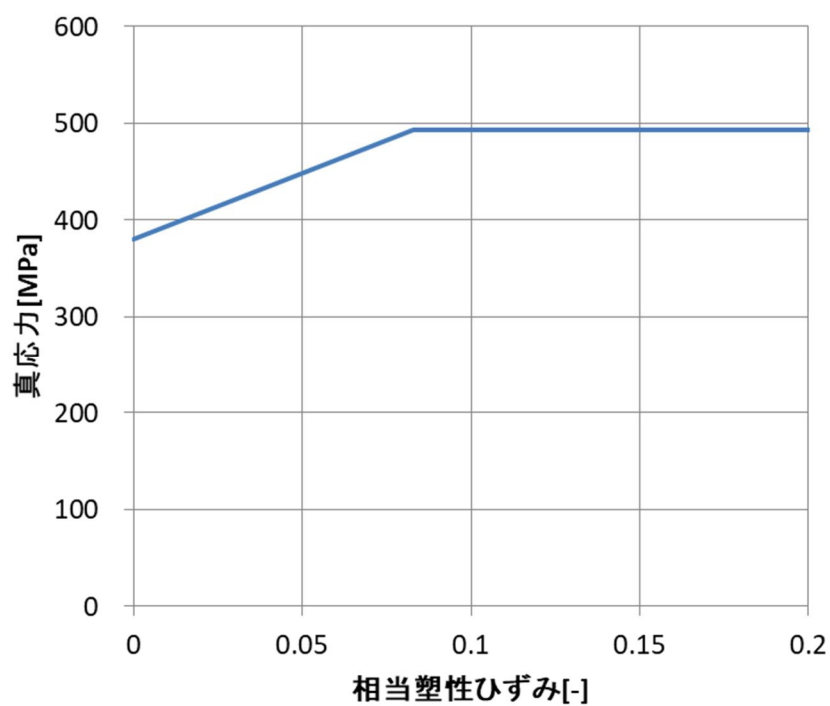


図3-5 真応力－相当塑性ひずみ関係（鉄筋）

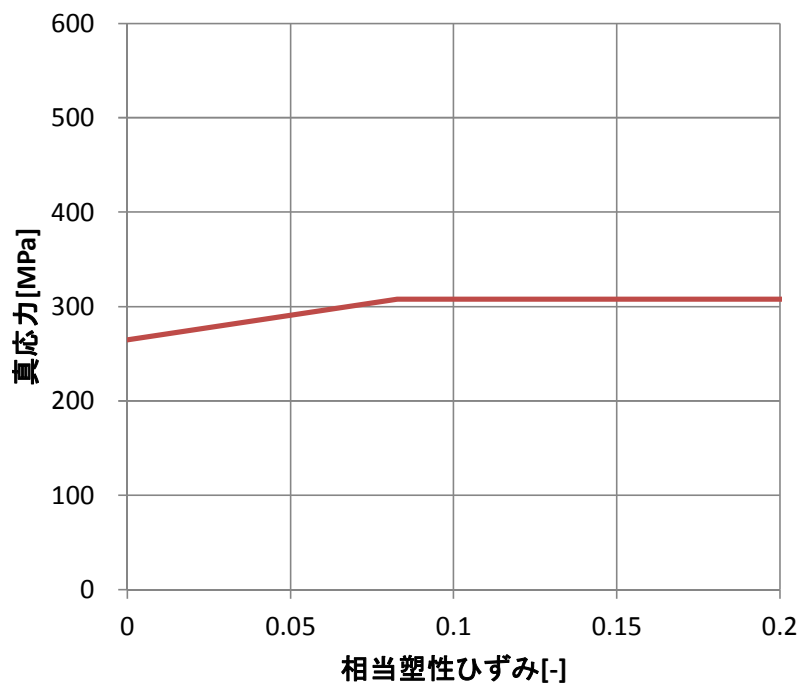


図3-6 真応力－相当塑性ひずみ関係（デッキプレート）



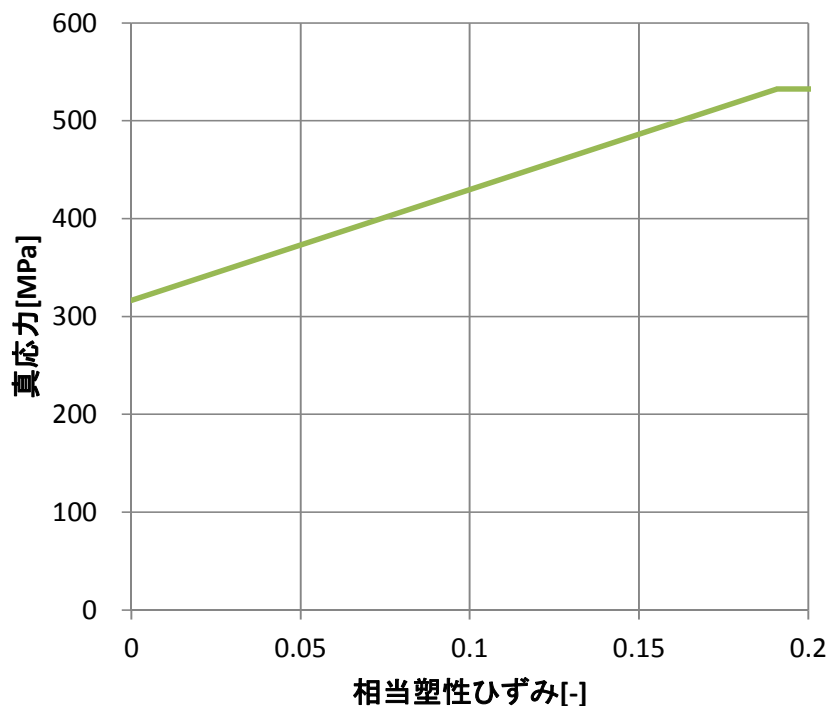


図3-7 真応力－相当塑性ひずみ関係（飛来物（鋼製材））

### 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、添付書類「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

飛来物（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、原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについては、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外壁に対する衝突解析

デッキプレートを有する原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ及び裏面にライナを貼付する使用済燃料乾式貯蔵建屋を除く、飛来物（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については、版厚が最も小さい原子炉建屋原子炉棟6階の外壁



を代表箇所を選定し，風圧力による荷重 $W_w$ ，飛来物（鋼製材）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) 建屋外壁

評価対象箇所（原子炉建屋原子炉棟6階外壁）の構造及び解析モデル図を図3-8に示す。モデル化は，曲げが大きくなるよう，最も幅の広い柱間1スパンを対象とする。

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。

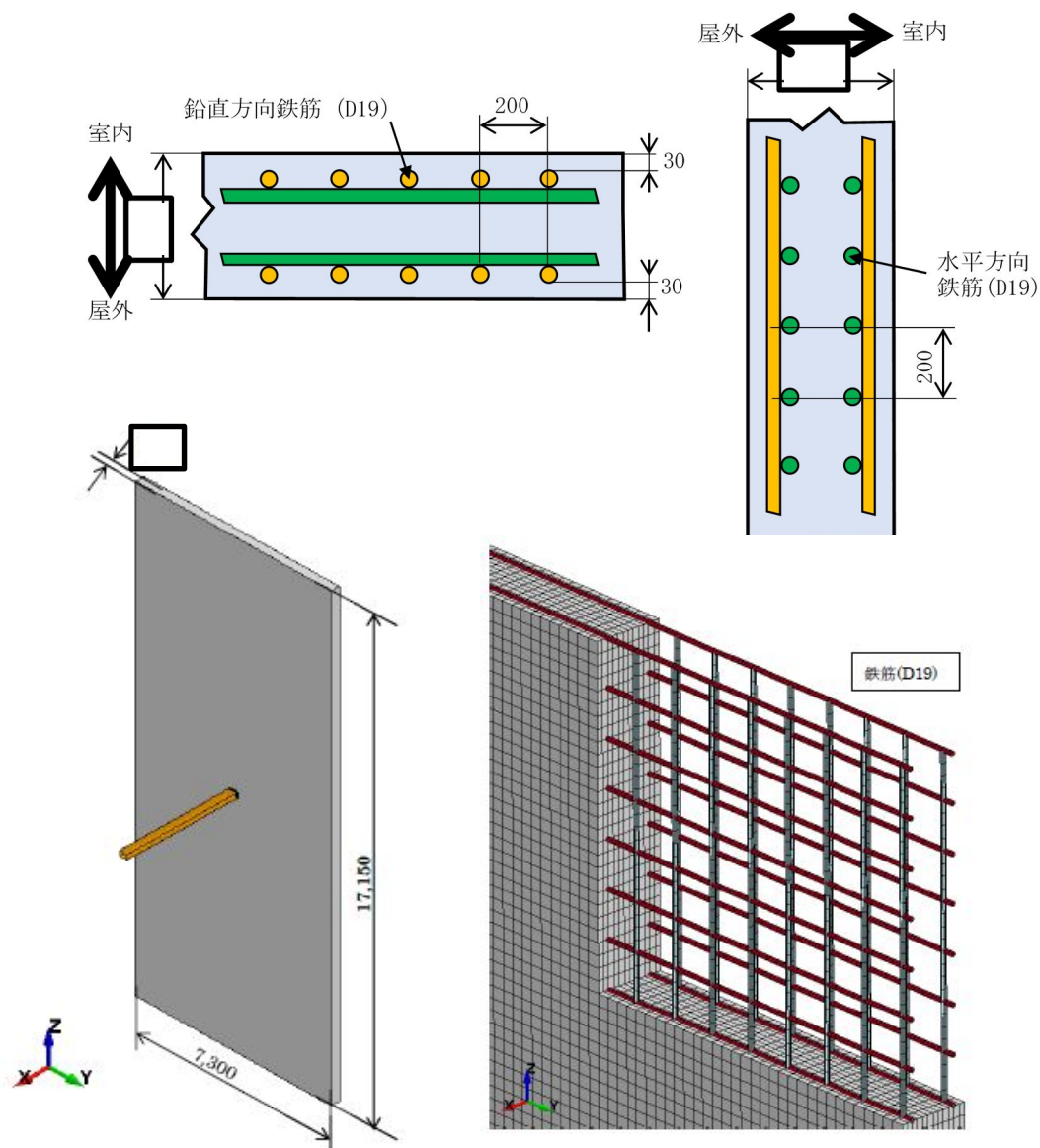


図 3-8 飛来物（鋼製材）に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図



## (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外壁に対する衝突解析

飛来物（鋼製材及び車両）に対してChang式による裏面剥離限界厚さを満足しない、使用済燃料乾式貯蔵建屋の外壁（車両の衝突を想定する東側及び南側）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（車両を代表とする）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。

鋼製ライナの貼付範囲を図3-9に示す。鋼製ライナは、アンカーボルトにより外壁の裏面に固定する。

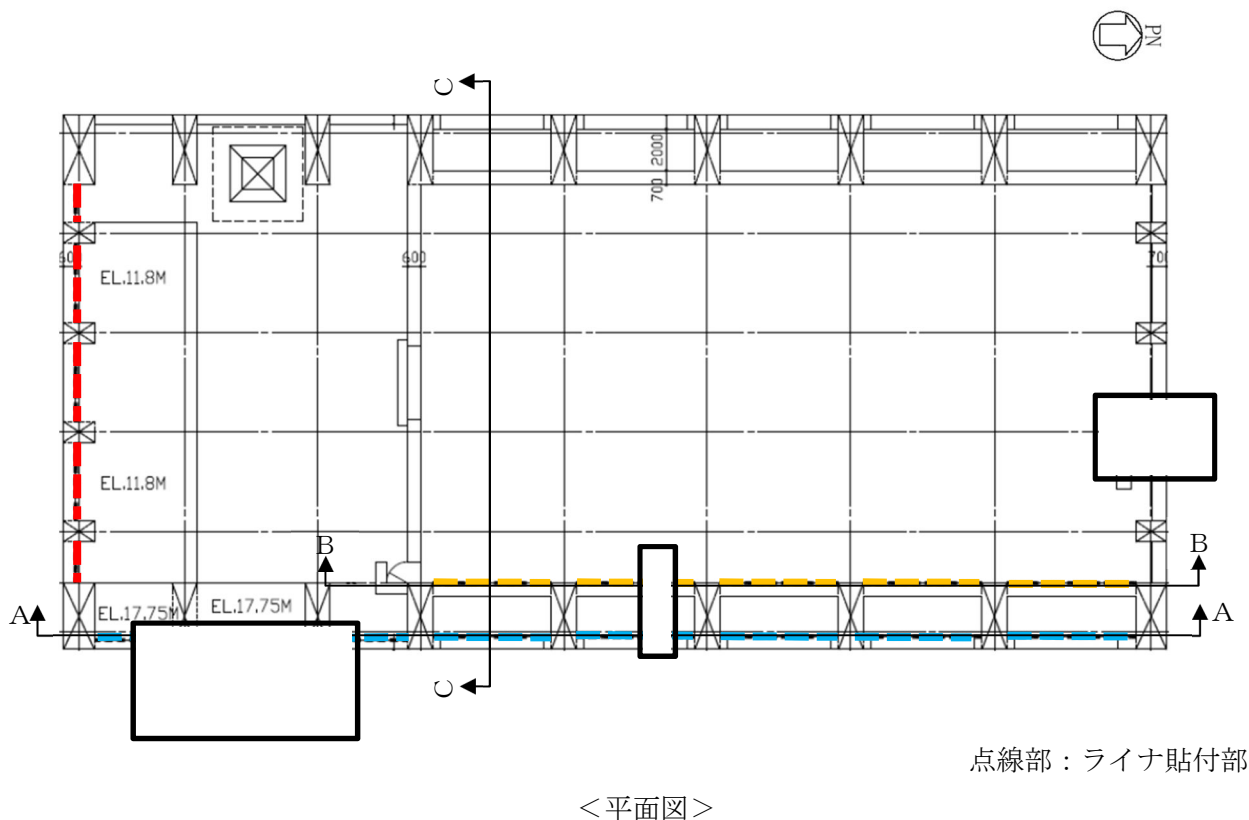
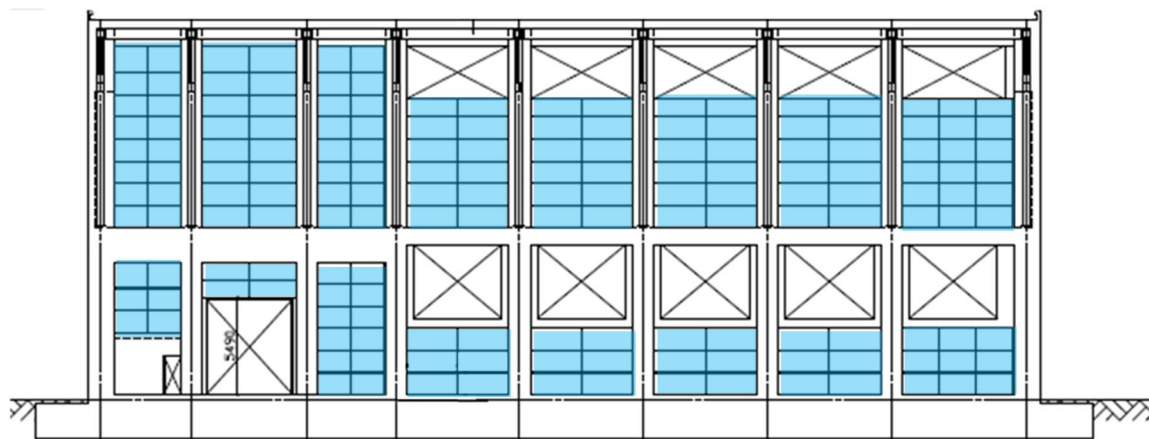
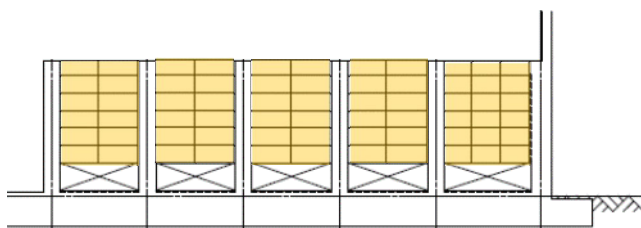


図3-9 鋼製ライナ貼付範囲 (1/2)

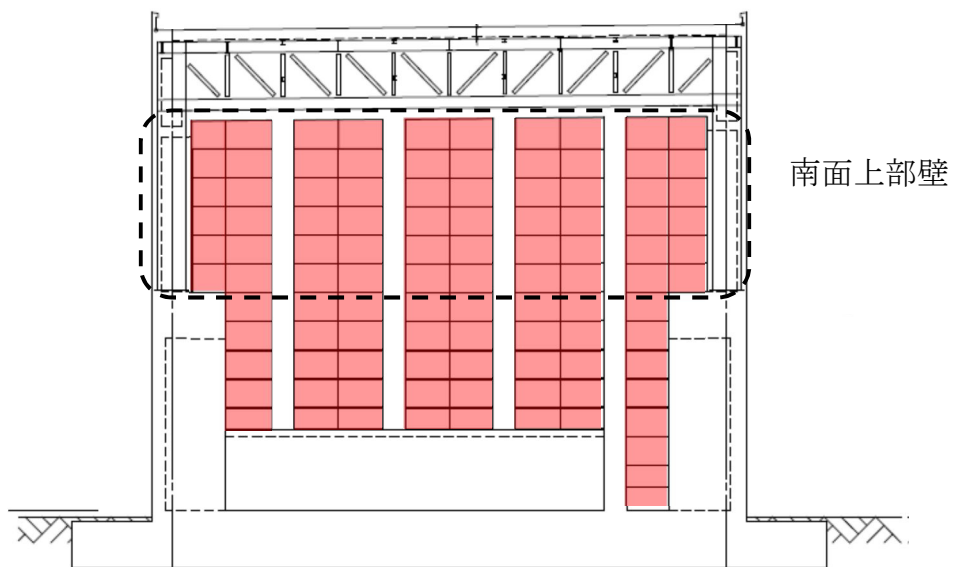




＜東側 外壁面（A－A視）＞



＜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) 建屋外壁

評価対象箇所（南面上部壁）の構造及び解析モデル図を図3-10に示す。モデル化は、柱間1スパンを対象とする。

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

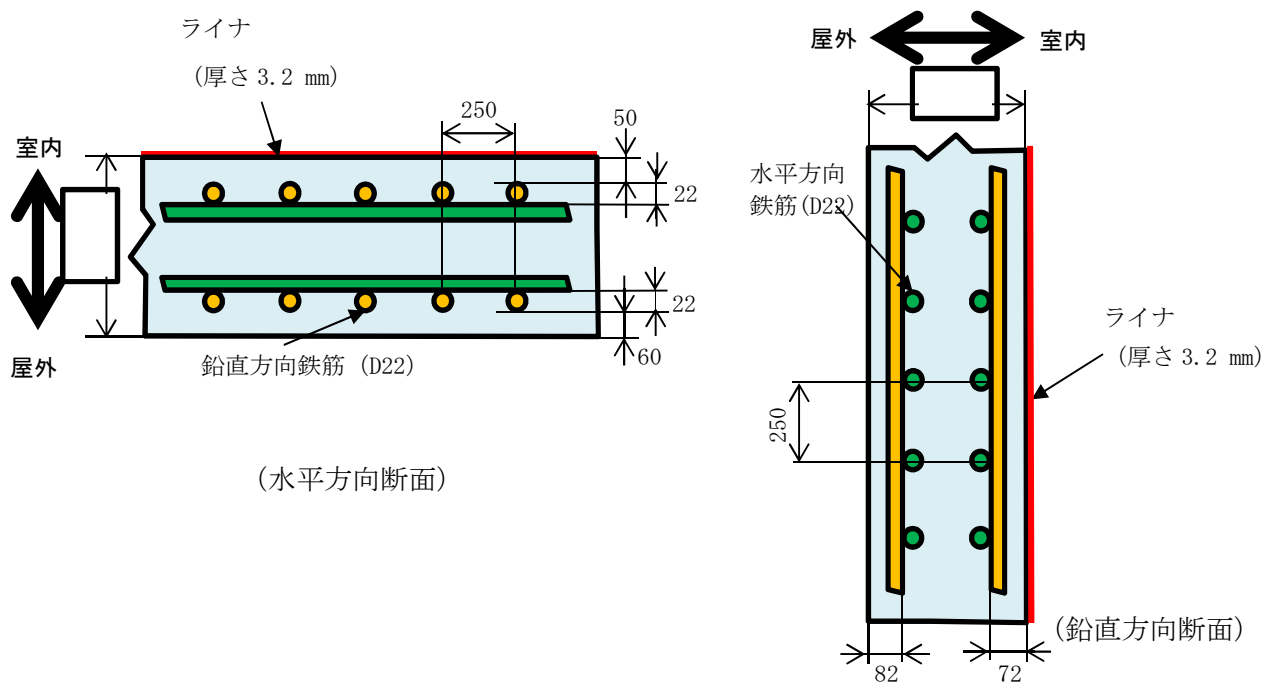


図 3-10 飛来物（車両）に対する裏面剥離評価解析対象箇所の構造及び解析モデル図



## (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バネを、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に対し車両（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。

飛来物（車両）モデルの諸元を表3-19に示す。

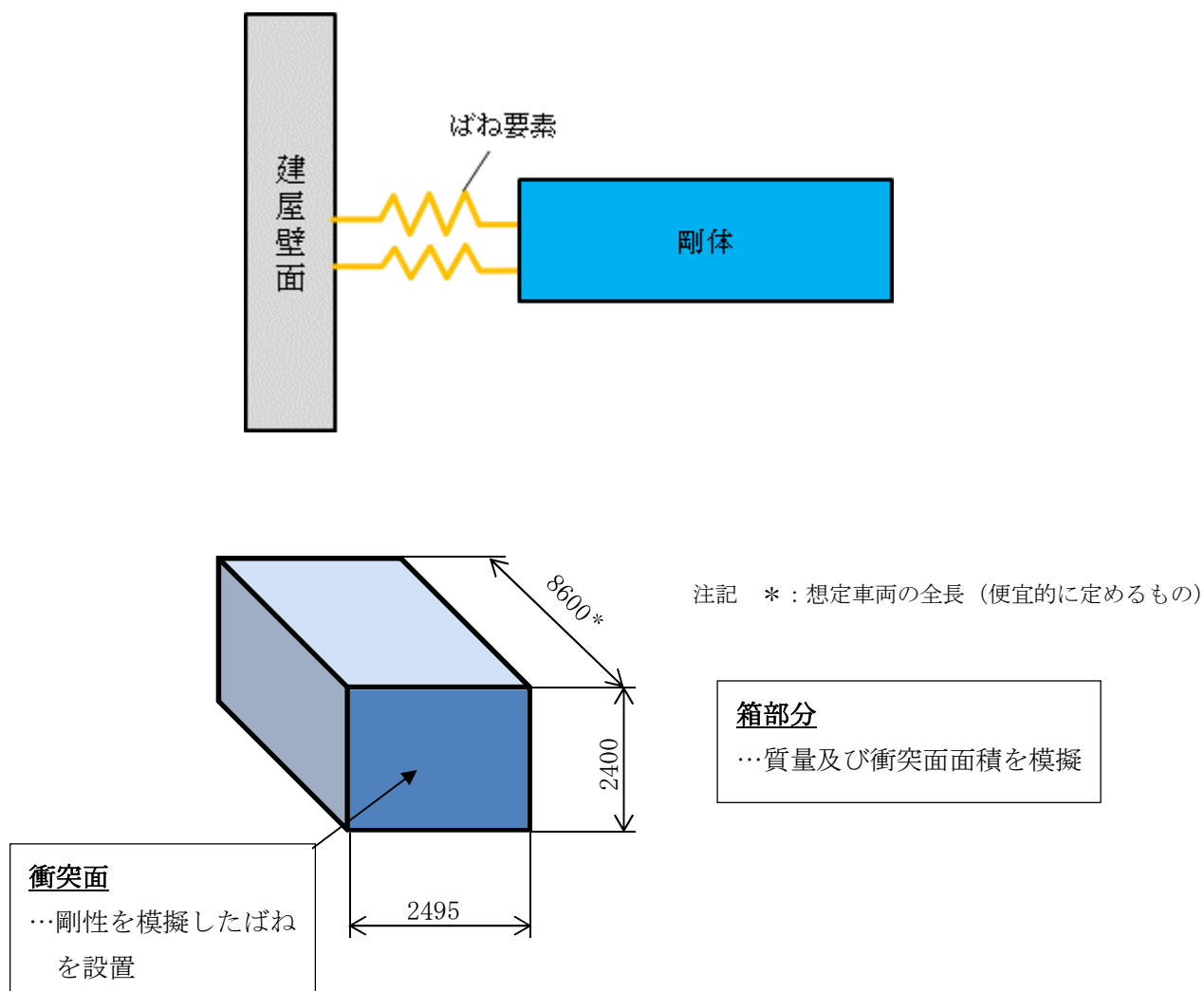


図3-11 飛来物（車両）の解析モデル図



表3-19 飛来物（車両）モデルの諸元

| 寸法* <sup>1</sup><br>(m) | 衝突面寸法* <sup>2</sup><br>(m) | 質量<br>(kg) |
|-------------------------|----------------------------|------------|
| 3.6×2.5×8.6             | 幅 2.495<br>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  
基に設定

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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|
| 23.5                           | $2.25 \times 10^4$            | 0.2   | 24                             |

表3-21 鉄筋の材料定数

| 種類    | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| SD390 | 390                          | $2.05 \times 10^5$            | 77                             |

表3-22 ライナの材料定数

| 種類    | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| SS400 | 245                          | $2.05 \times 10^5$            | 77                             |

表3-23 車両モデルの剛性（単位：N/m）

| 剛性                   |
|----------------------|
| $2.94 \times 10^6$ * |

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。  
 $588 \text{ (N/m/kg)} \times 5,000 \text{ (kg)} = 2.94 \times 10^6 \text{ (N/m)}$



## 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（単位：N/mm<sup>2</sup>）

| 設計基準強度 | 材料モデル |      |
|--------|-------|------|
|        | 圧縮強度  | 引張強度 |
| 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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断相当<br>応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 破断相当<br>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。

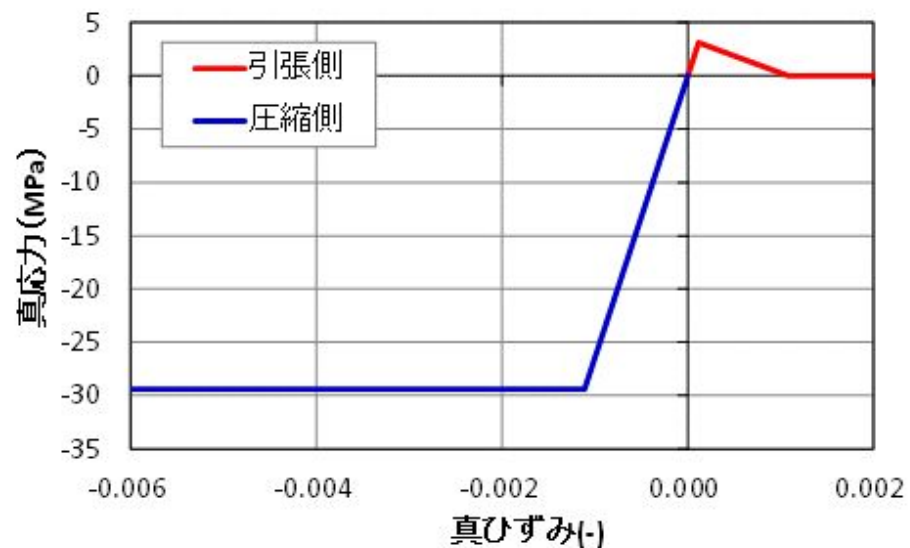


図3-12 真応力－真ひずみ関係（コンクリート）



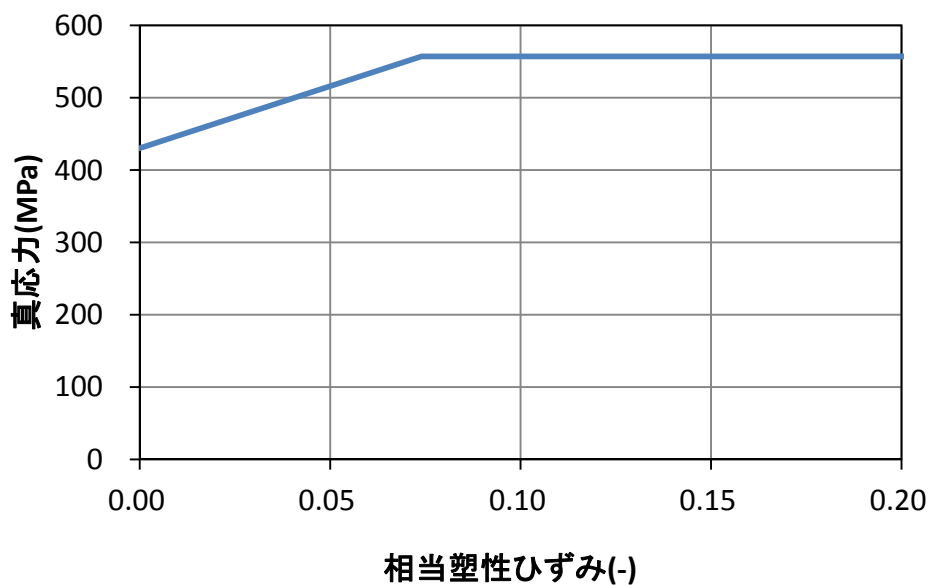


図3-13 真応力－相当塑性ひずみ関係（鉄筋）

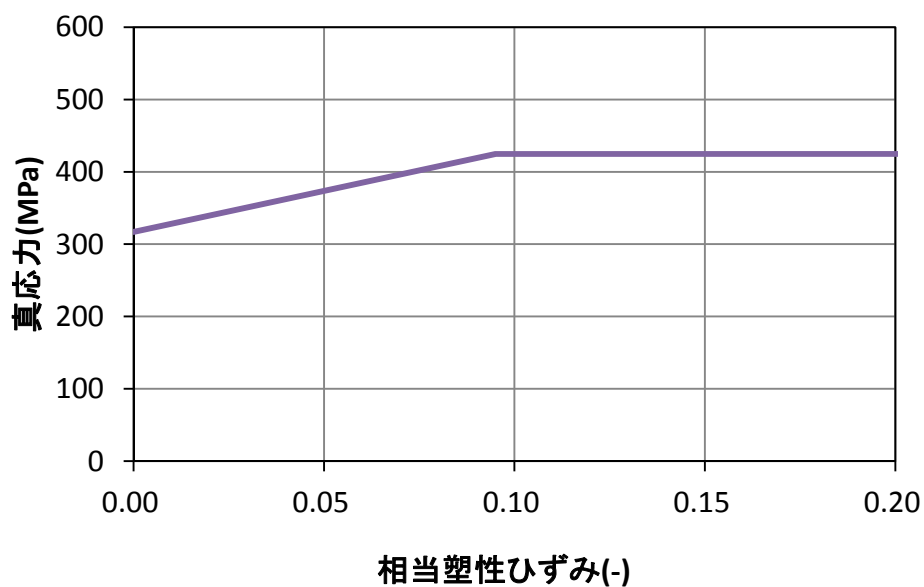


図3-14 真応力－相当塑性ひずみ関係（ライナ）

### 3.5.3 変形評価

- (1) 原子炉建屋（R C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（R C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，添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「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。

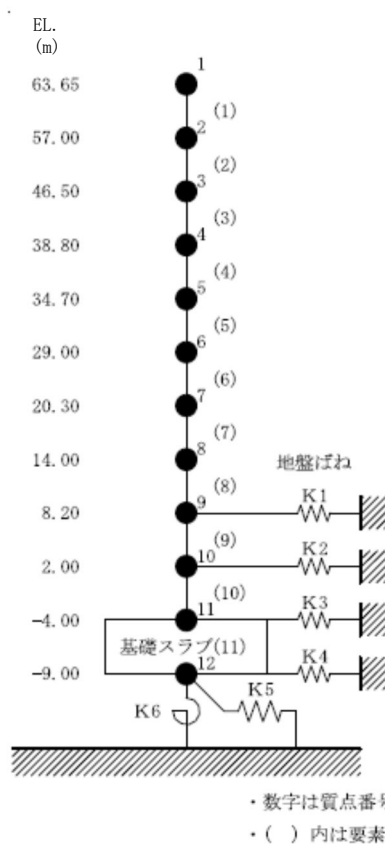


図3-14 原子炉建屋の地震応答解析モデル図



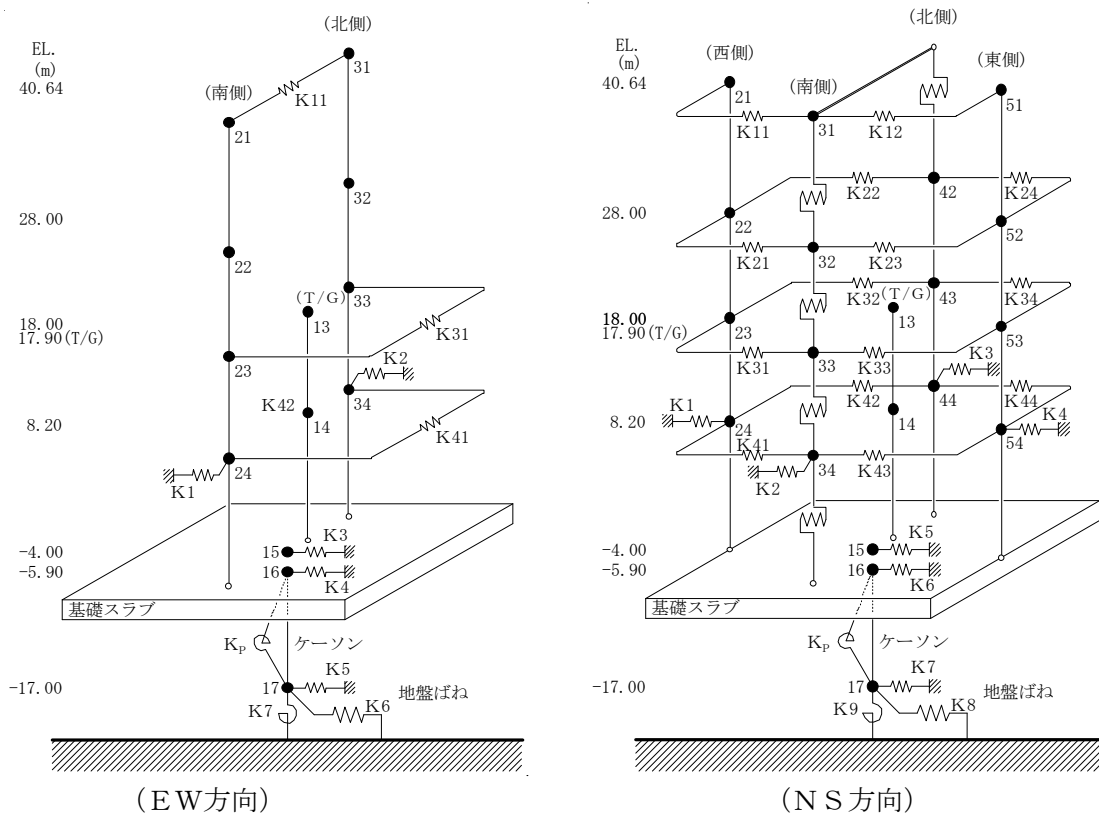


図3-15 タービン建屋の地震応答解析モデル図

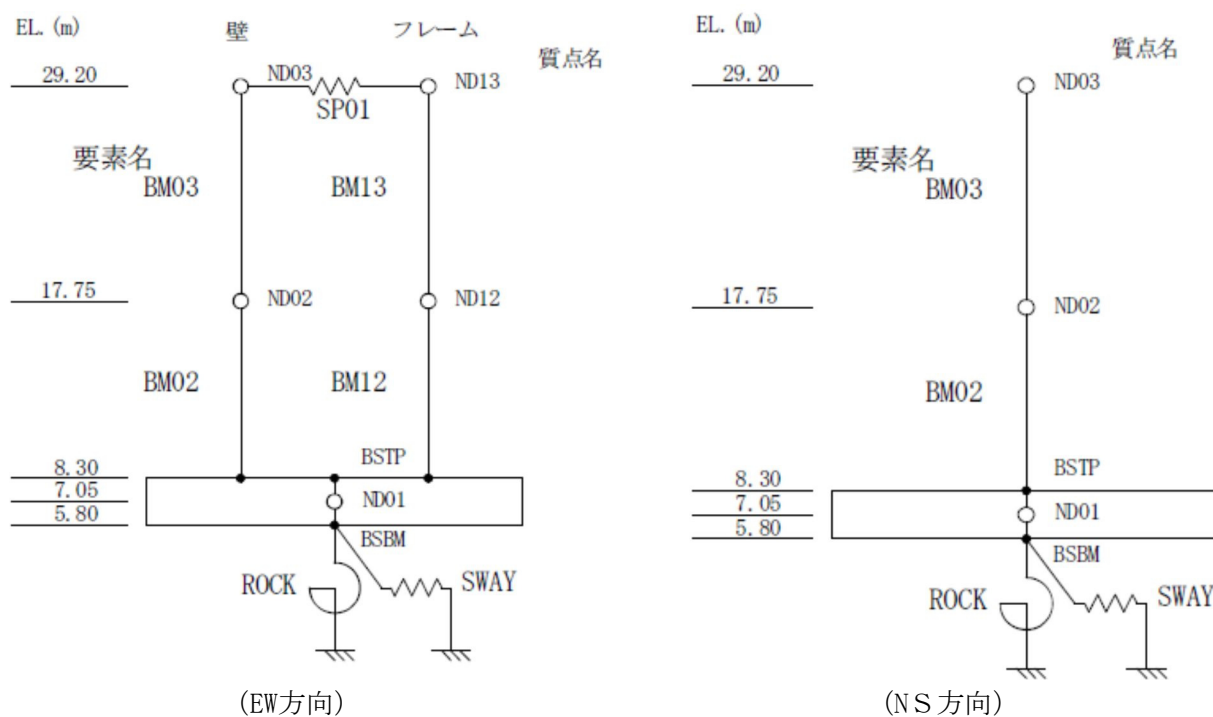


図3-16 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル図



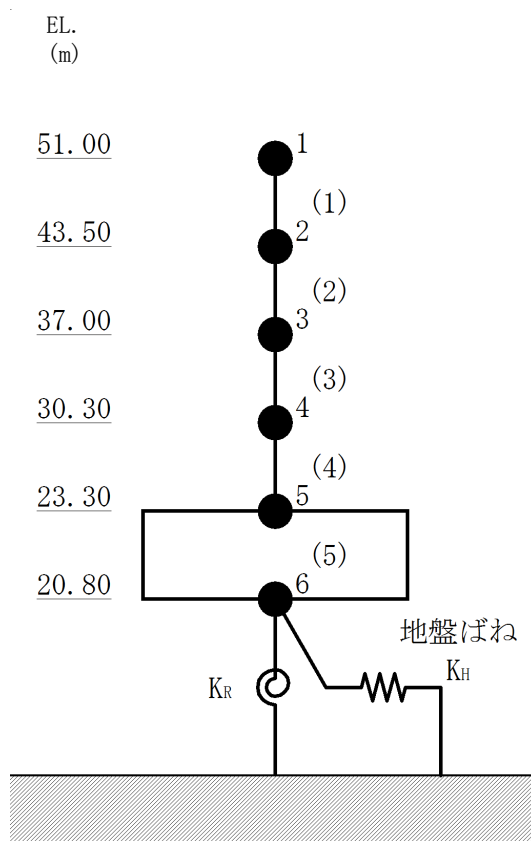


図3-17 緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル図



表3-26 原子炉建屋のQ- $\gamma$ 関係

(a) NS方向

| 高さ<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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- $\gamma$  関係

(a) NS方向

| 高さ<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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- $\gamma$  関係

(a) NS方向

| 高さ<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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 $Q-\gamma$ 関係

(a) NS方向

| 高さ<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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<br>EL.     | 要素<br>番号 | 第1折点<br>$Q_1$ | 第2折点<br>$Q_2$ | 終局点<br>$Q_3$ | 第1折点<br>$\gamma_1$             | 第2折点<br>$\gamma_2$ | 終局点<br>$\gamma_3$ |
|---------------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| (m)           | -        | (kN)          |               |              | $(\times 10^{-3} \text{ (-)})$ |                    |                   |
| 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（鉄骨造部）

### a. 鉄骨架構

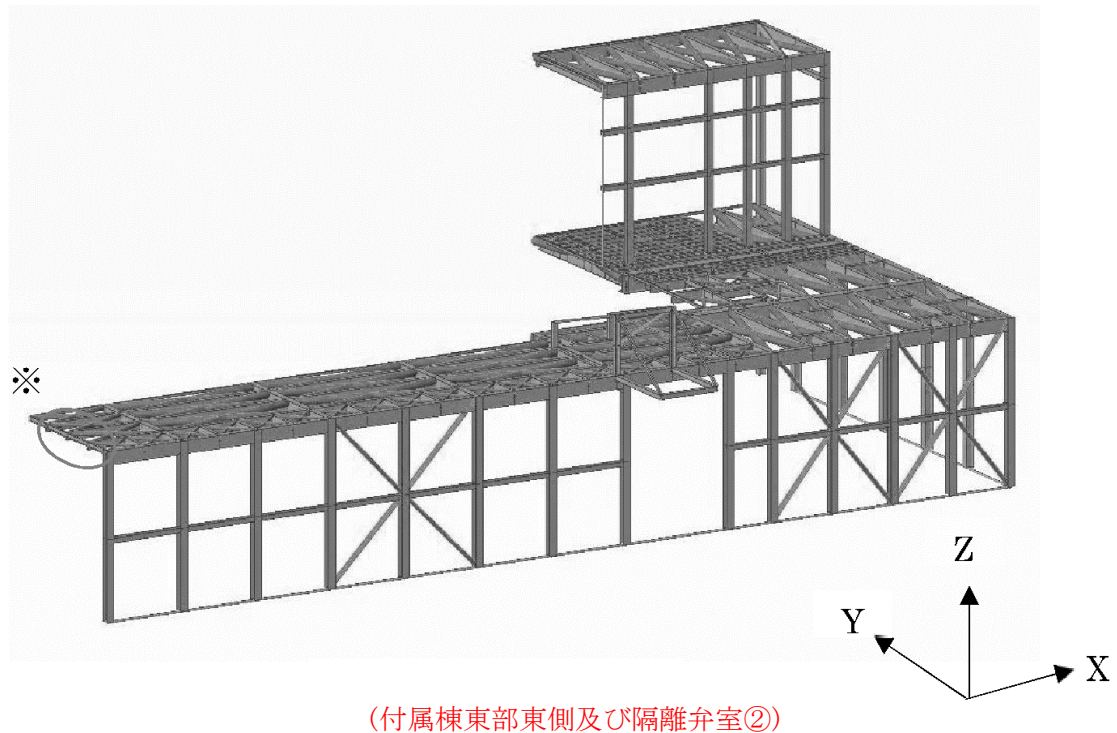
原子炉建屋（鉄骨造部）のうち鉄骨架構については、図3-18に示す付属棟東部のモデルの様に、原子炉建屋原子炉棟との接合部をピン支持とした3次元はりモデルについて、風圧力による荷重 $W_w$ 、気圧差による荷重 $W_p$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ により部材に発生する応力度を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

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。

構造解析には、解析コード「*m i d a s i G E N*」を用いる。なお、評価に用いた解析コード「*m i d a s i G E N*」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要・*m i d a s i G E N*」に示す。



- ・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。
- ・周辺のRC造躯体との接合部は、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（鉄骨造部）の解析モデル図（1/2）



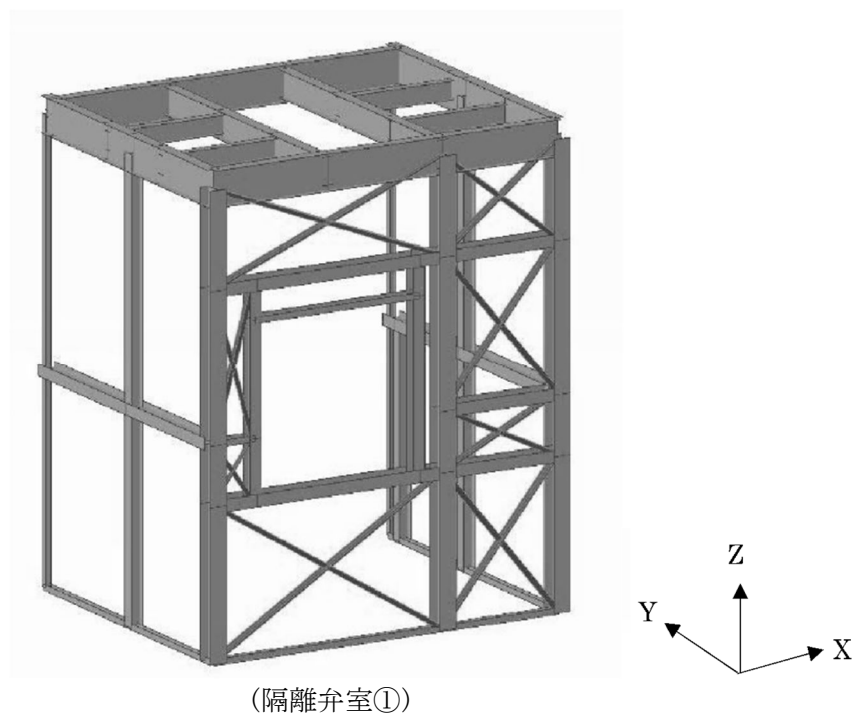
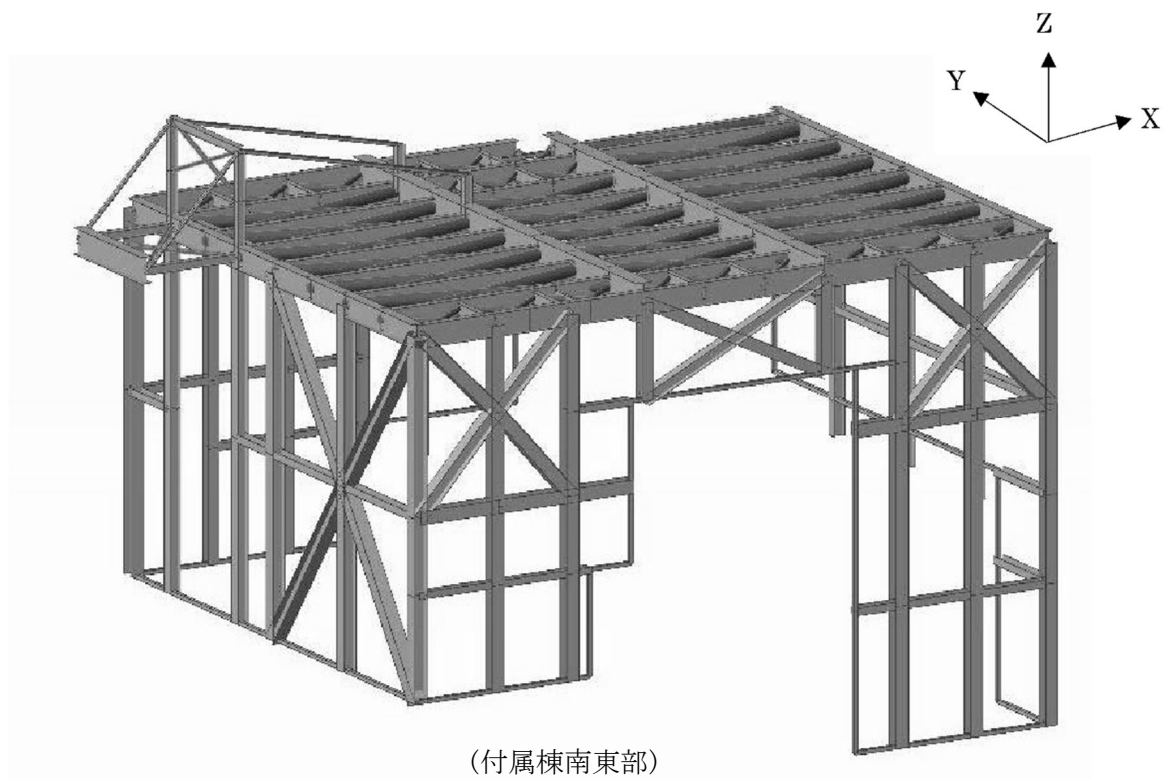


図3-18 原子炉建屋（鉄骨造部）の解析モデル図（2/2）



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 架構部材の応力度計算式

| 応力度の種類                           |                      | 単位  | 計算式   |
|----------------------------------|----------------------|-----|---|
| 引張応力度 $\sigma_t$                 |                      | MPa | $\frac{N_t}{A}$   |
| 圧縮応力度 $\sigma_c$                 |                      | MPa | $\frac{N_c}{A}$   |
| 曲げ応力度 $\sigma_{by}, \sigma_{bz}$ |                      | MPa | $\frac{M_y}{Z_y}, \frac{M_z}{Z_z}$  |
| せん断応力度 $\tau_y, \tau_z$          |                      | MPa | $\frac{Q_y}{A_{sy}}, \frac{Q_z}{A_{sz}}$  |
| 組合せ<br>応力度                       | 圧縮＋曲げ                | －   | $\max \left( \frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_b}, \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t} \right)$   |
|                                  | 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）<br>＋曲げ＋せん断 | －   | $\max \left( \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_z^2}}{1.5f_t}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_y^2}}{1.5f_t} \right)$<br>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。



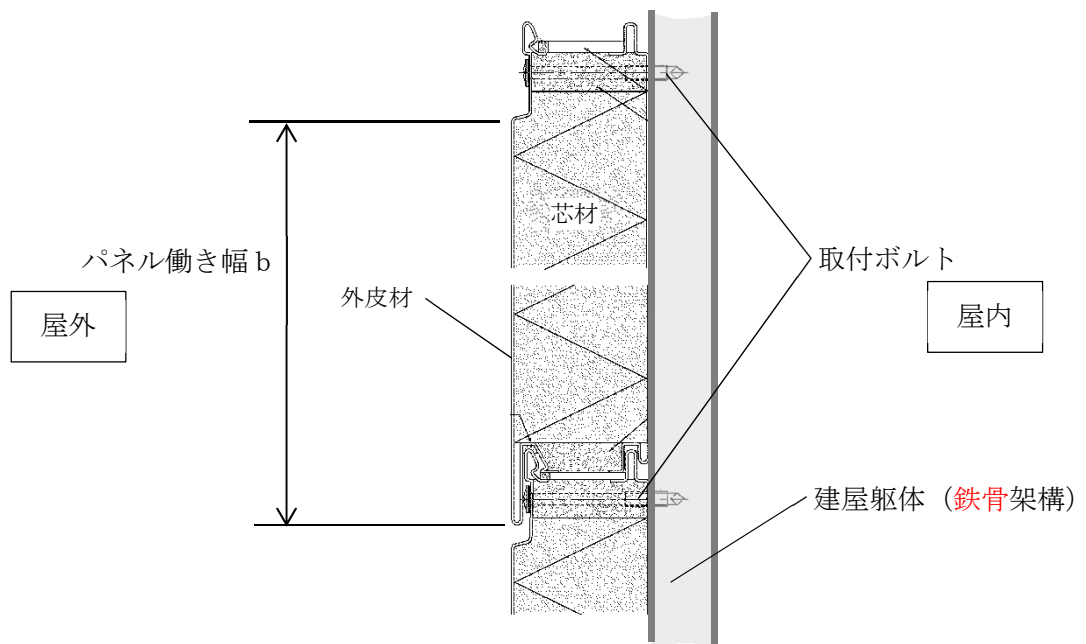


図3-19 原子炉建屋（鉄骨造部）のうち外装板の取付構造

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、下式にて曲げ応力度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度

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

$\Delta P$  : 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

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

$b$  : 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

$$R_1 = 1.1 F$$

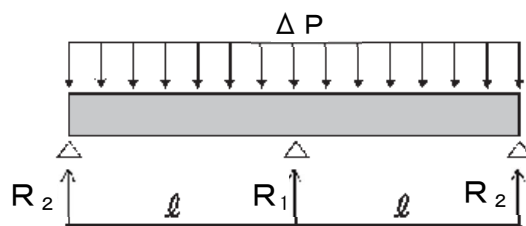


図 3-20 気圧差により外装板に作用する荷重



## (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、鋼製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。

屋根スラブに発生する曲げモーメント $M$ 及びせん断力 $Q$ 並びにスタッドに発生する引張力 $T$ 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発生する曲げモーメント

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

単位幅の屋根スラブに発生するせん断力

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

スタッド1本あたりに発生する引張力

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

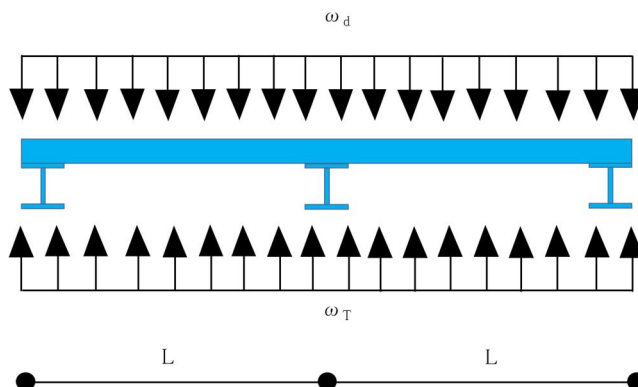


図3-21 屋根スラブに作用する荷重の概要

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 $M_a$ 、許容せん断力 $Q_a$ 及び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 $\sigma$ 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
- ・原子炉建屋附属棟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)
- ・原子炉建屋附属棟1階東側水密扉
- ・原子炉建屋附属棟1階南側水密扉
- ・原子炉建屋附属棟2階東側機器搬入口扉
- ・原子炉建屋附属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉
- ・原子炉建屋附属棟3階バルブ室東側扉
- ・原子炉建屋附属棟3階バルブ室北側扉
- ・原子炉建屋附属棟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)
- ・原子炉建屋附属棟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，原子炉建屋附属棟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)及び原子炉建屋附属棟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，原子炉建屋附属棟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)及び原子炉建屋附属棟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。

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

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

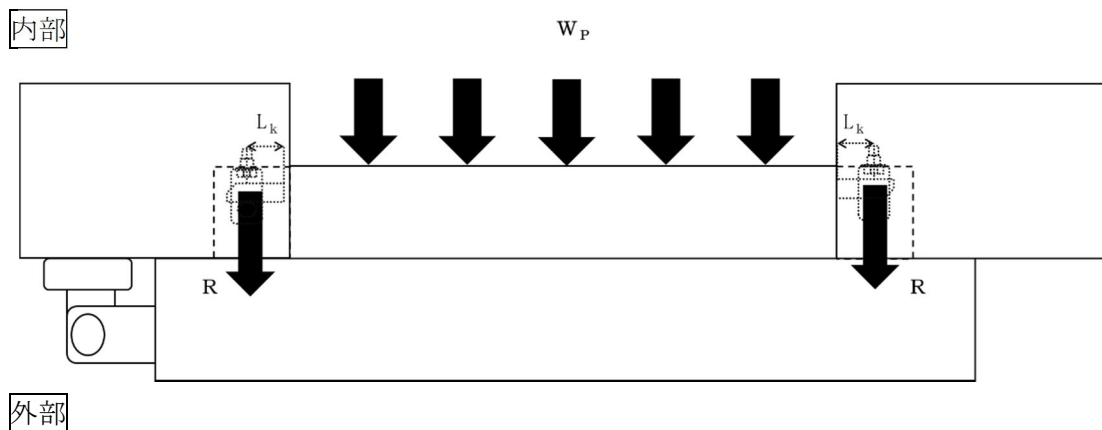


図3-22 カンヌキ部に生じる荷重

#### 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。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

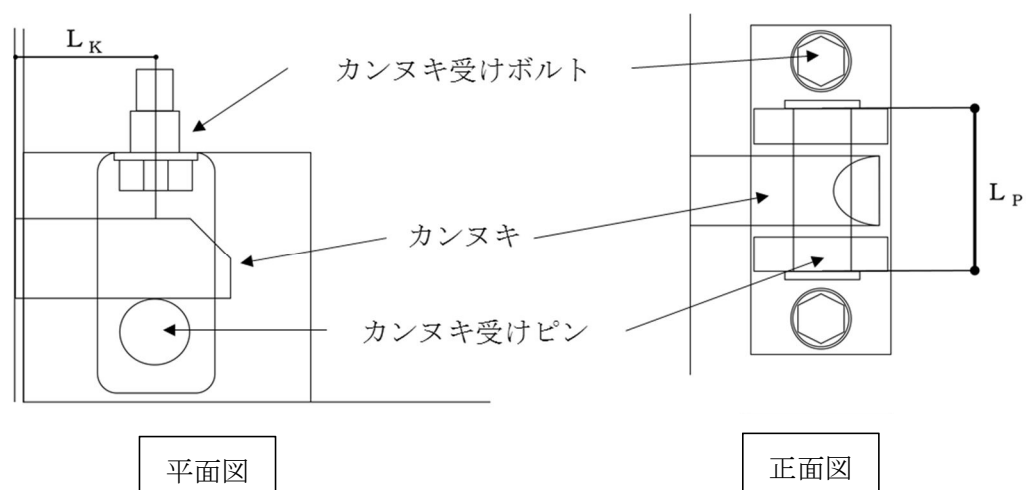


図3-23 カンヌキ部詳細図



## 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

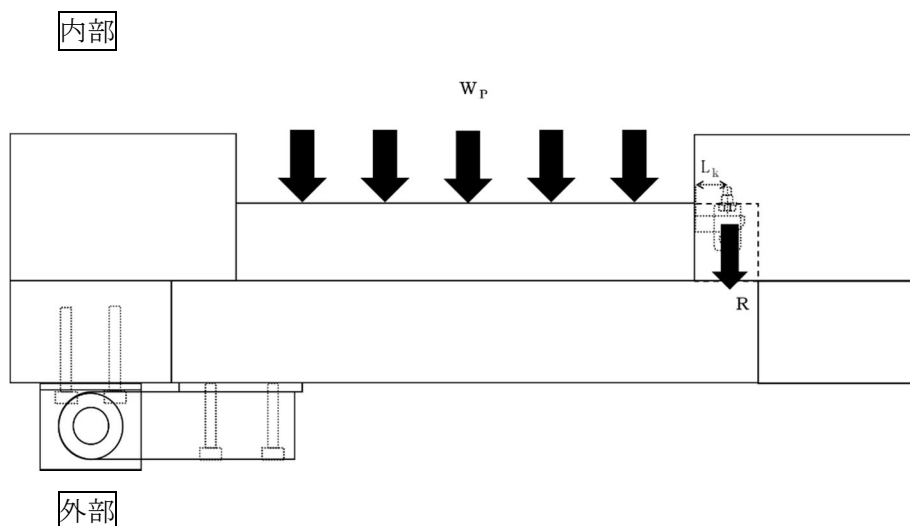
評価対象扉について、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ、せん断及び引張荷重をモデル化し、評価を行う。ヒンジ部及びカンヌキ部に作用する荷重、発生曲げモーメントM、発生せん断力Q及び発生引張力Tの算定式を以下に示す。

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。

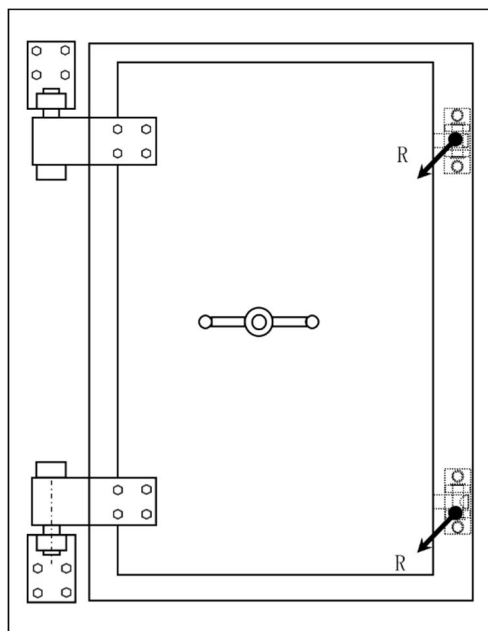
$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

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



<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。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

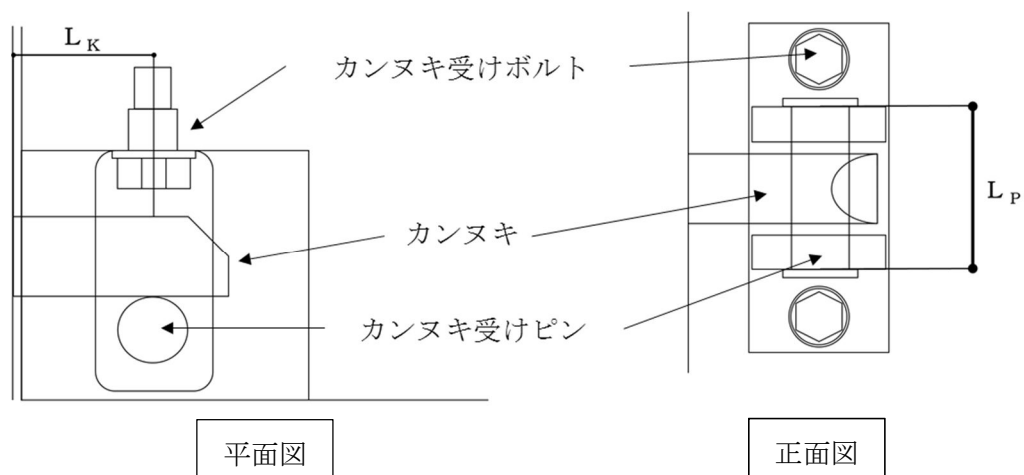


図3-25 カンヌキ部詳細図



## 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

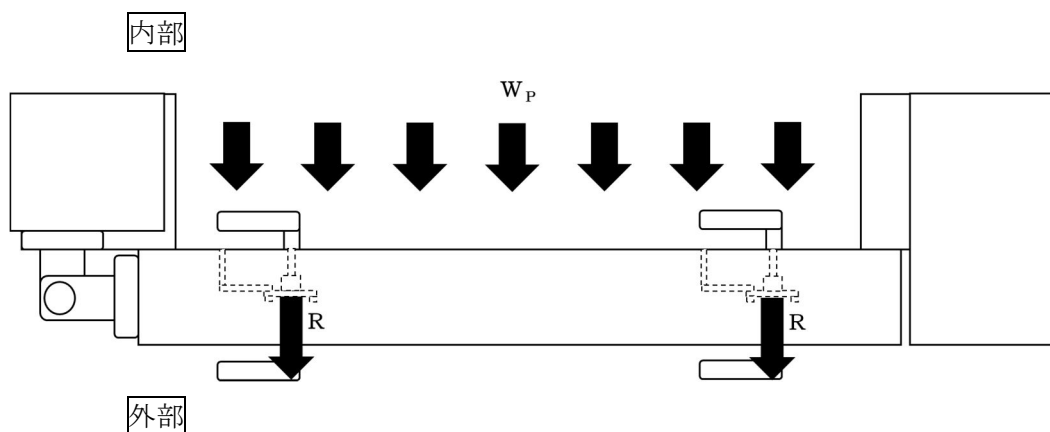
評価対象扉について、カンヌキ部（カンヌキバー及びカンヌキ受けボルト）に掛かる曲げ、せん断及び引張荷重をモデル化し、評価を行う。カンヌキ部に作用する荷重、発生曲げモーメントM、発生せん断力Q及び発生引張力Tの算定式を以下に示す。

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。

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

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



<扉平面図>



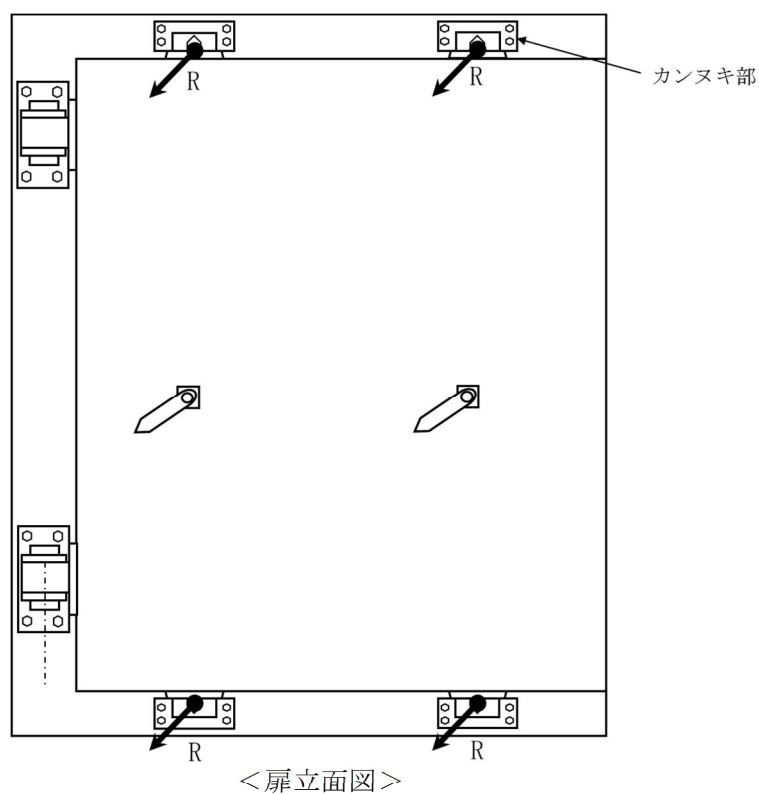


図3-31 ヒンジ部及びカンヌキ部に生じる荷重

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。

$$M_1 = R \cdot L_k$$

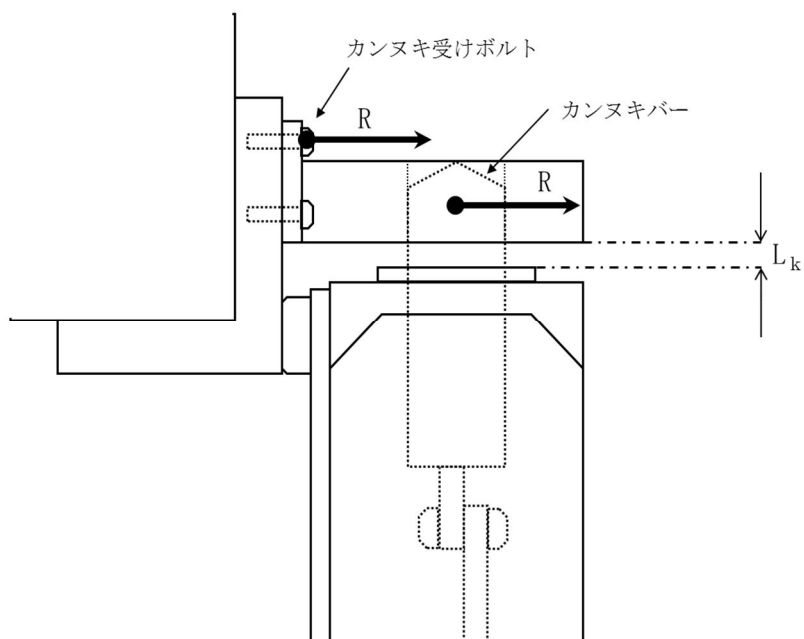


図3-32 カンヌキ部詳細図



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。

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



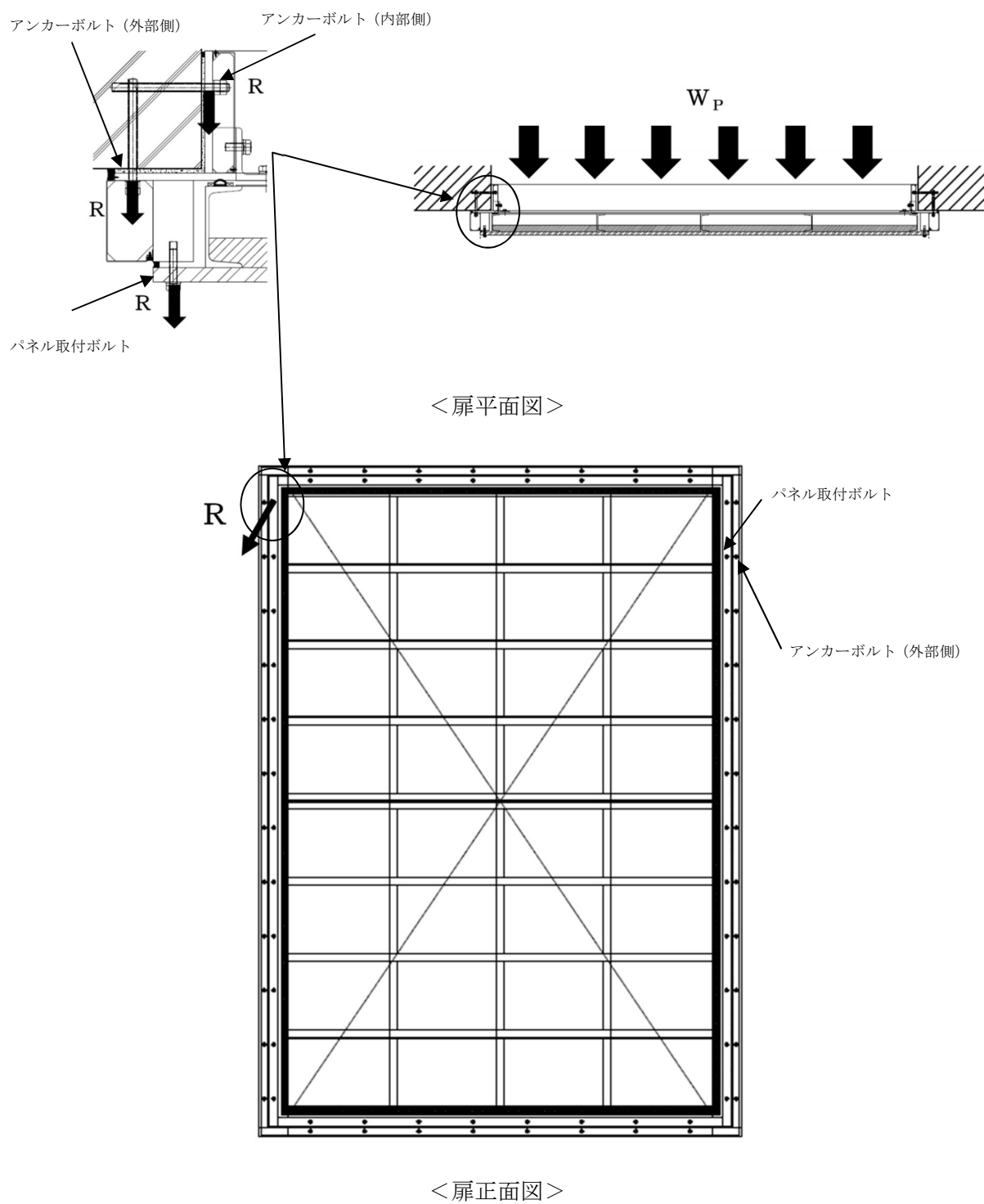


図3-33 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉に生じる荷重  
(扉枠体アンカーボルト固定)



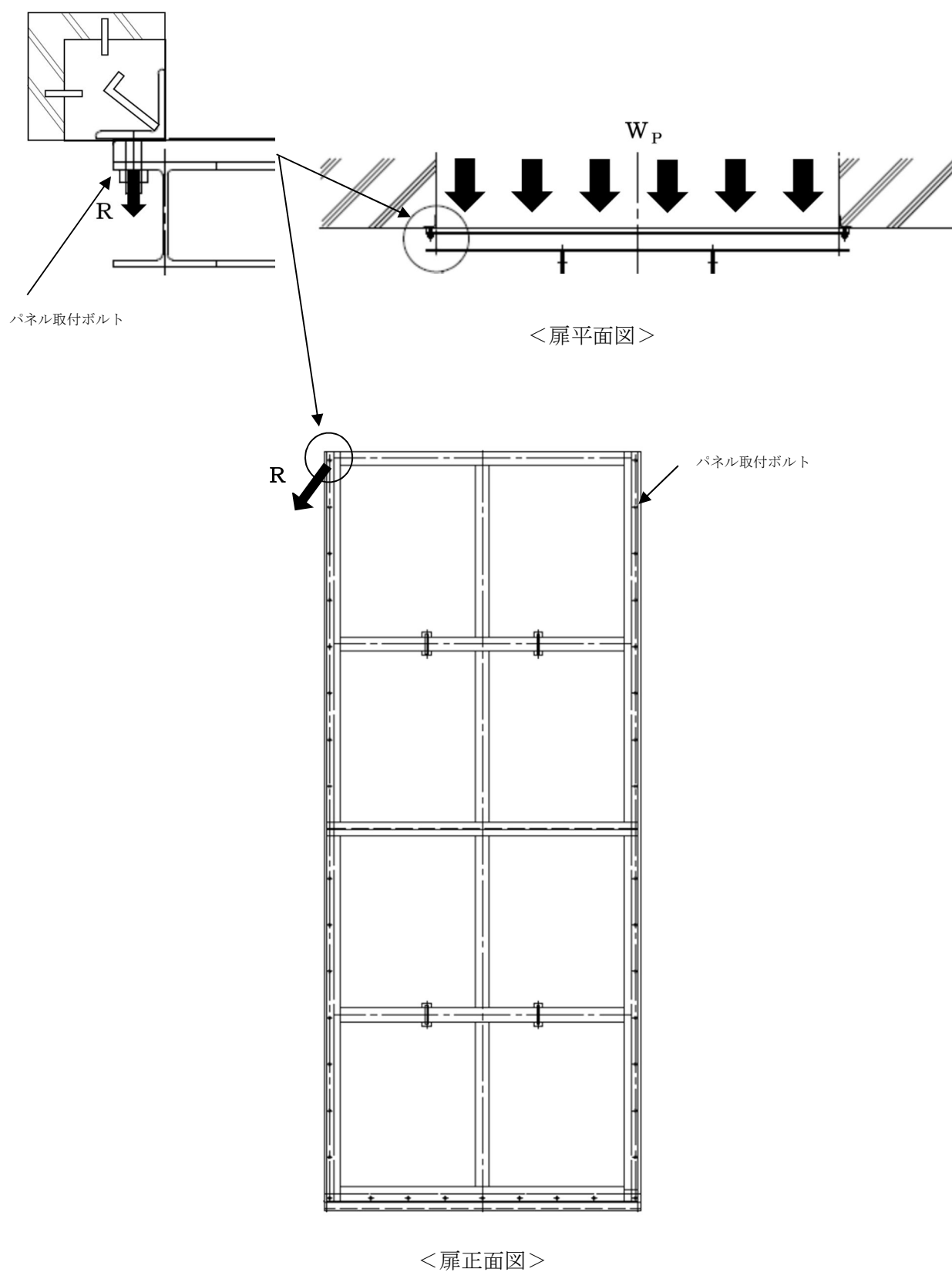


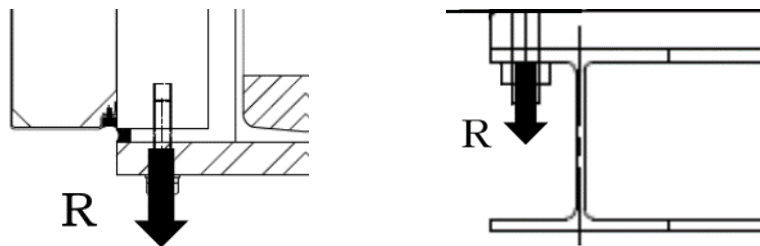
図3-34 原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉に生じる荷重  
(扉枠体躯体埋込)



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。

$$T = R / n$$

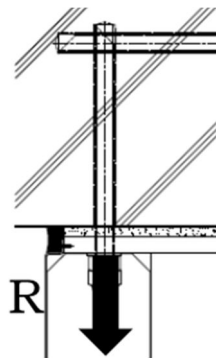


図3-36 アンカーボルト（外部側）詳細図

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。

$$Q = R / n$$



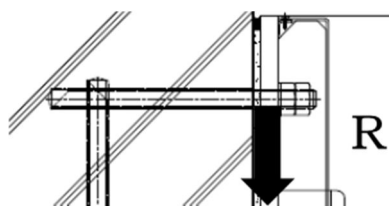


図3-37 アンカーボルト（内部側）詳細図

(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（鉄骨造部）

廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）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次元はりモデルに対し、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。

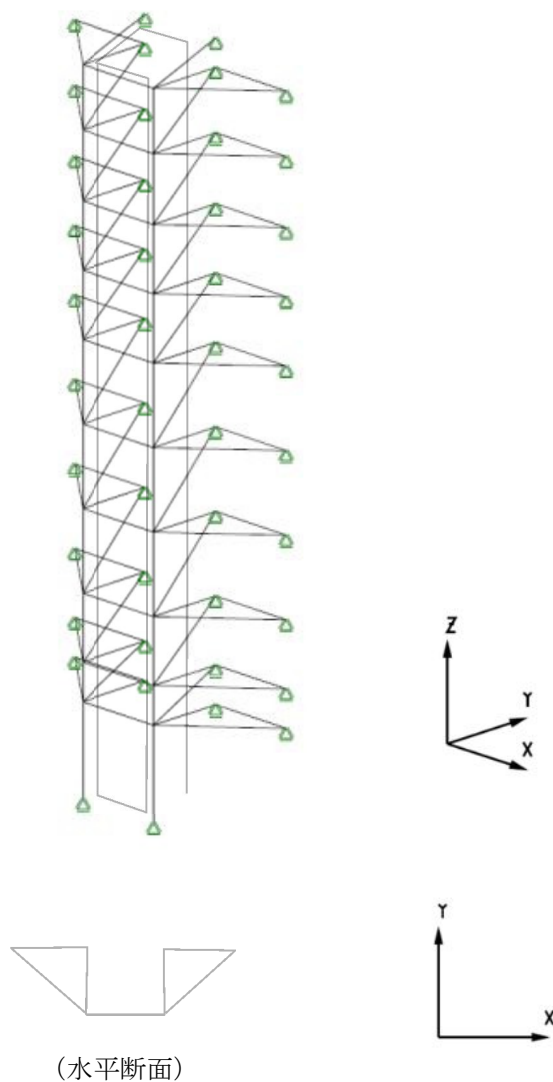


図 3-38 廃棄物処理建屋固体廃棄物搬出入設備（鉄骨造部）の解析モデル図（2/2）



## 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 式による評価（RC造部）

RC造部の貫通評価式に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1 貫通評価式に用いる入力値（RC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<br>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 式による評価（鋼製部）

鋼製部の貫通評価式に用いる条件を表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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>衝突方向 | 対象部材   |
|------------------------|-----|------|--------------|--|
| 原子炉建屋<br>原子炉棟<br>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 type="text" value=""/> mm)<br>鉄筋(D13@180, 200) |



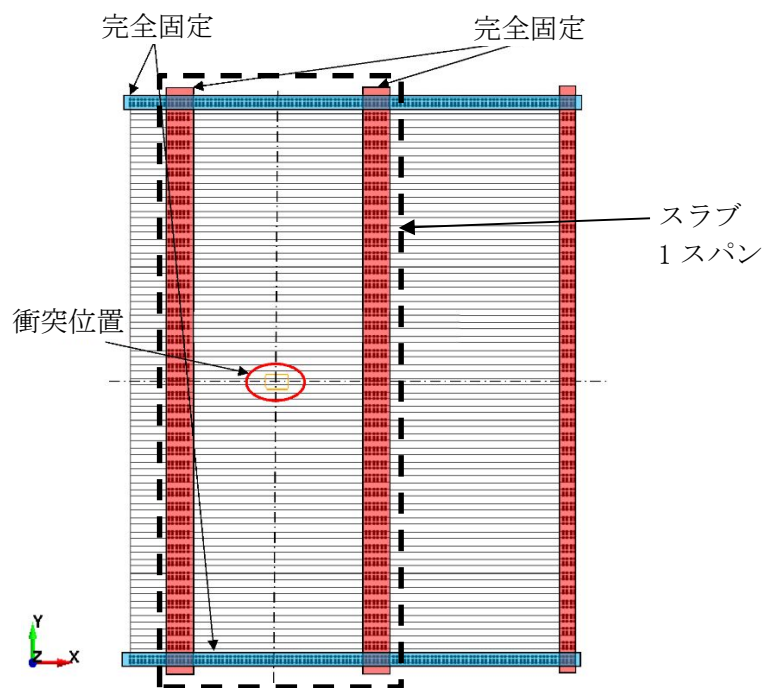


図4-1 解析ケース図

## 4.2 裏面剥離評価

## 4.2.1 式による評価

裏面剥離評価式に用いる条件を表 4-4 に示す。

表4-4 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<br>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



#### 4.2.2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

解析ケースは、貫通評価に同じ。

#### 4.2.3 原子炉建屋原子炉棟外壁

原子炉建屋原子炉棟外壁の裏面剥離評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「L S-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、建屋外壁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（原子炉建屋原子炉棟外壁裏面剥離評価）

| 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<br>原子炉棟<br>外壁 | 鋼製材 | 中央部  | 鉛直：縦     | 躯体コンクリート ( <input type="text"/> mm)<br>鉄筋 (D19@200) |

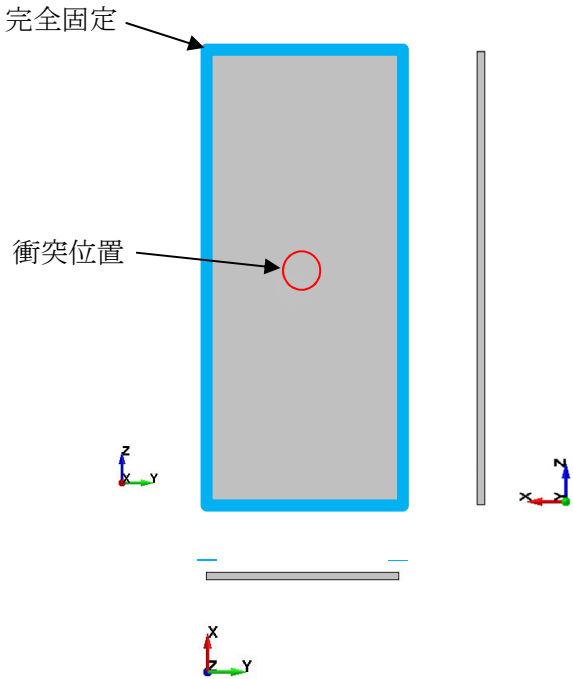


図4-2 解析ケース図（原子炉建屋原子炉棟外壁裏面剥離評価）



#### 4.2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁

使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁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、建屋外壁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外壁裏面剥離評価）

| 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<br>原子炉棟<br>外壁 | 車両  | 中央部  | 鉛直：縦     | 躯体コンクリート ( mm)<br>鉄筋 (D22@250) |

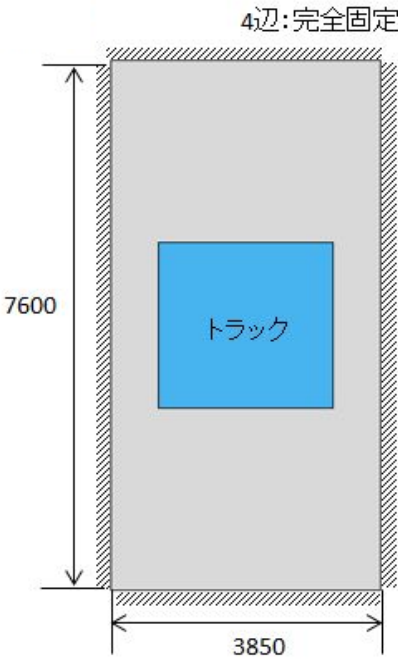


図4-3 解析ケース図（使用済燃料乾式貯蔵建屋外壁裏面剥離評価）

#### 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) (R C造部)

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

注記 \*1：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

\*2：構造上、N－S方向に対し見附面を有しない。

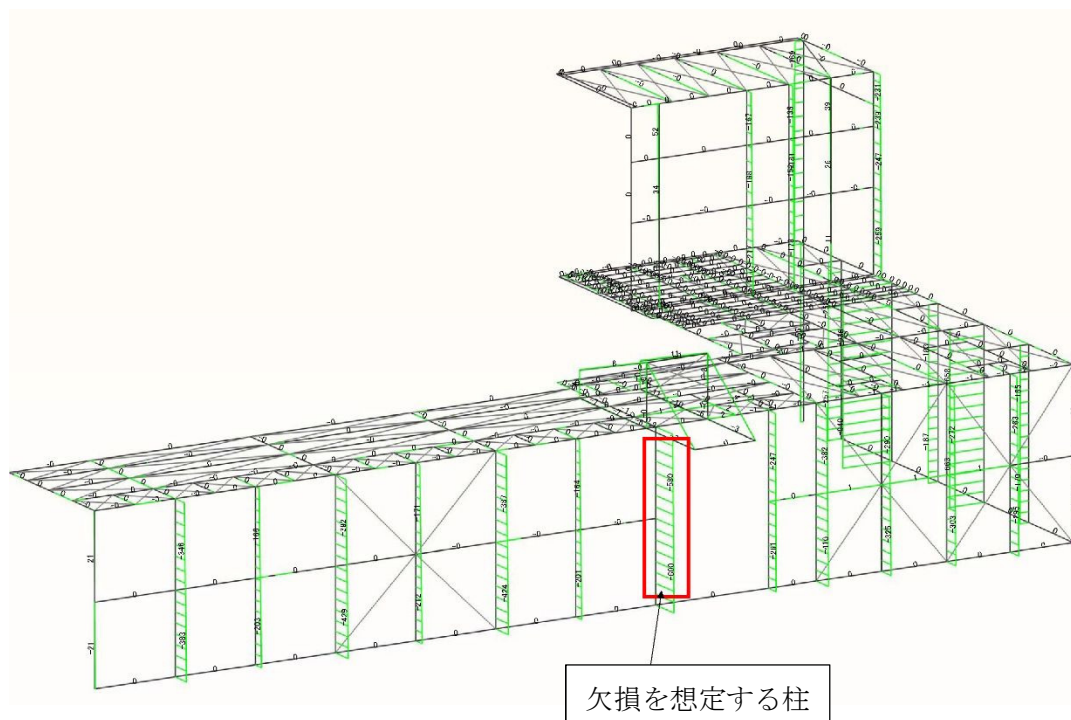


表4-7 原子炉建屋変形評価の評価条件 (3/4) (鉄骨造部分：主要部材断面)

| 部材断面            | 材質     | 主な<br>使用部位 | 許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) |                         |                         |                         |
|-----------------|--------|------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                 |        |            | F                         | 引張<br>1.5f <sub>t</sub> | 圧縮<br>1.5f <sub>c</sub> | 曲げ<br>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。

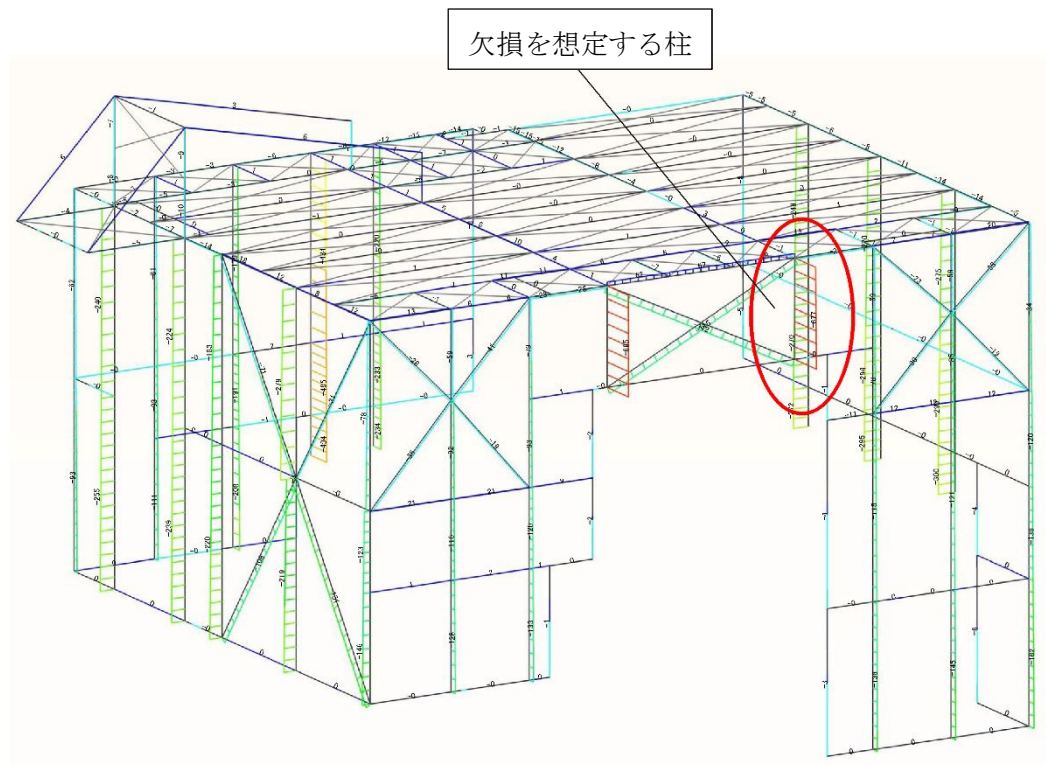
原子炉建屋(鉄骨造部分)の竜巻評価における、架構部材の欠損想定位置を図4-4に示す。  
当該部材は、竜巻時及び通常時(竜巻襲来後の状態)の状態において、架構を支える軸力が最大となる箇所を抽出した。



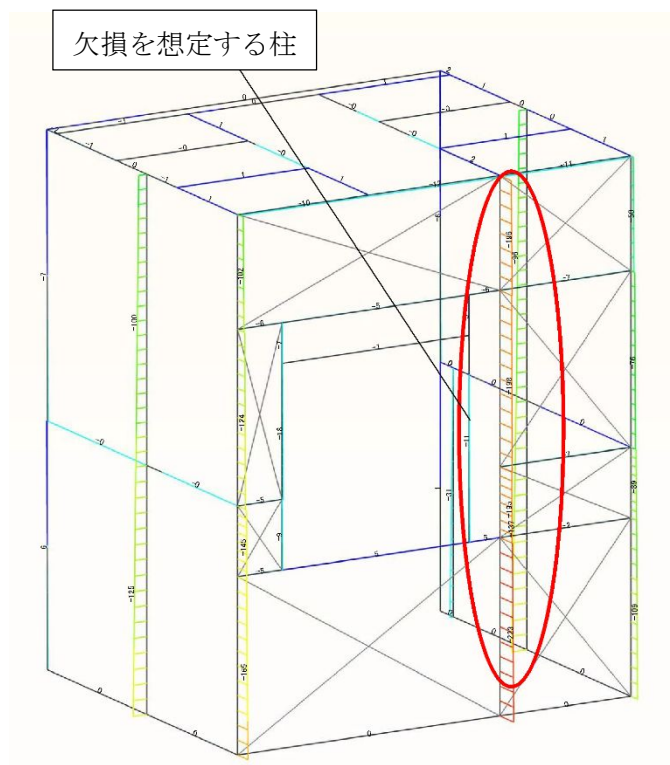
(付属棟東部及び隔離弁室②)

図4-4 欠損を想定する架構部材 (1/2)





(附属棟南東部)



(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  | $\varnothing$ | 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.)<br>(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.)<br>(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.)<br>(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)  
(鉄骨造部分：風荷重)

| 高さ(EL.)<br>(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<br>～<br>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<br>1.5f <sub>t</sub> | 圧縮<br>1.5f <sub>c</sub> | 曲げ<br>1.5f <sub>b</sub> |
| H-175×175×7.5×11 | SN400B | 支柱，梁         | F                        |                         |                         |                         |
| H-244×175×7×11   | SN400B | 梁            | 235                      | 235                     | (*)                     |                         |
| H-150×75×6.5×10  | SS400  | 鉛直支持<br>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。

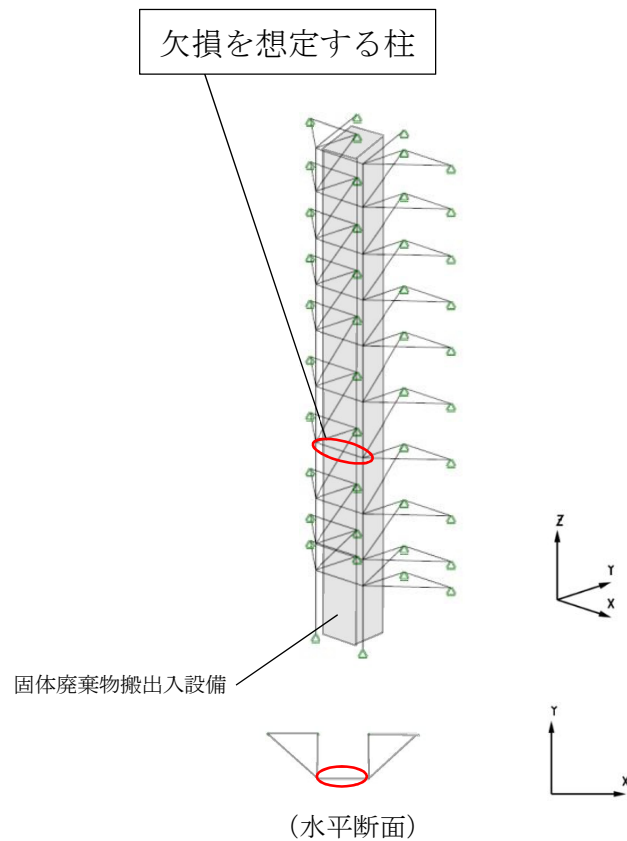


図 4-5 欠損を想定する架構部材

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)

(鉄骨造部分：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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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原子炉棟スラブについては、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 | 最小厚さ*1<br>(mm) | 貫通限界<br>厚さ<br>(mm) |          |
|------|-----------------|-----------------------|-------|-----|----------------|--------------------|----------|
| 貫通評価 | 原子炉建屋           | 屋根スラブ                 |       | 鋼製材 |                | 188                |          |
|      |                 | 外壁                    | R C 部 | 鋼製材 |                | 265                |          |
|      |                 |                       | 鋼構造部  | 鋼製材 |                | 32                 |          |
|      | タービン建屋          | オペレーティング<br>フロア床版*4   |       | 鋼製材 |                | 188                |          |
|      |                 | 気体廃棄物処理系<br>隔離弁設置エリア壁 |       | 鋼製材 |                | 265                |          |
|      | 使用済燃料乾式<br>貯蔵建屋 | 屋根スラブ                 |       | 鋼製材 |                | 185                |          |
|      |                 |                       |       | 車両  |                | —                  |          |
|      |                 | 外壁                    | 鋼製材   | 261 |                |                    |          |
|      |                 |                       | 車両    | 299 |                |                    |          |
|      | 軽油貯蔵タンク<br>タンク室 | 頂版                    |       | 鋼製材 |                | 163                |          |
|      | 緊急時対策所          | 建屋屋根スラブ               |       | 鋼製材 |                | 175                |          |
|      |                 |                       |       | 車両  |                | —                  |          |
|      |                 | 建屋外壁                  | 鋼製材   | 247 |                |                    |          |
|      |                 |                       | 車両    | 282 |                |                    |          |
|      | 扉               | 原子炉建屋<br>大物搬入口扉       |       | 鋼製材 |                | 32                 |          |
|      |                 | (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       |

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（添付書類「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 | 屋根スラブ<br>(鉄筋) | 鋼製材 | $2.1 \times 10^{-3}$ | $8.2 \times 10^{-2}$ |
|      | 原子炉棟  |               |     |                      |                      |

## 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 | 最小厚さ* <sup>1</sup><br>(mm) | 裏面剥離<br>限界厚さ<br>(mm) |
|--------|-----------------|---------------------------------|-------|-----|----------------------------|----------------------|
| 裏面剥離評価 | 原子炉建屋           | 屋根スラブ                           |       | 鋼製材 |                            | 355                  |
|        |                 | 外壁                              | R C 部 | 鋼製材 |                            | 466                  |
|        | タービン建屋          | オペレーティング<br>フロア床版* <sup>3</sup> |       | 鋼製材 |                            | 355                  |
|        |                 | 気体廃棄物処理系<br>隔離弁設置エリア壁           |       | 鋼製材 |                            | 466                  |
|        | 使用済燃料乾式<br>貯蔵建屋 | 屋根スラブ                           |       | 鋼製材 |                            | 346                  |
|        |                 |                                 |       | 車両  |                            | —                    |
|        |                 | 外壁                              |       | 鋼製材 |                            | 454                  |
|        |                 |                                 |       | 車両  |                            | 649                  |
|        | 軽油貯蔵タンク<br>タンク室 | 頂版                              |       | 鋼製材 |                            | 280                  |
|        | 緊急時対策所<br>建屋    | 屋根スラブ                           |       | 鋼製材 |                            | 314                  |
|        |                 |                                 |       | 車両  |                            | —                    |
|        |                 | 外壁                              |       | 鋼製材 |                            | 412                  |
|        |                 |                                 |       | 車両  |                            | 589                  |

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           | 原子炉棟屋根スラブ<br>(デッキプレート) | 鋼製材 | 0.013*                  | 0.082                |
|        |                 | 原子炉棟6階外壁*<br>(裏面側鉄筋)   | 鋼製材 | $9.45 \times 10^{-4}$ * | $2.0 \times 10^{-3}$ |
|        | 使用済燃料<br>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<br>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。

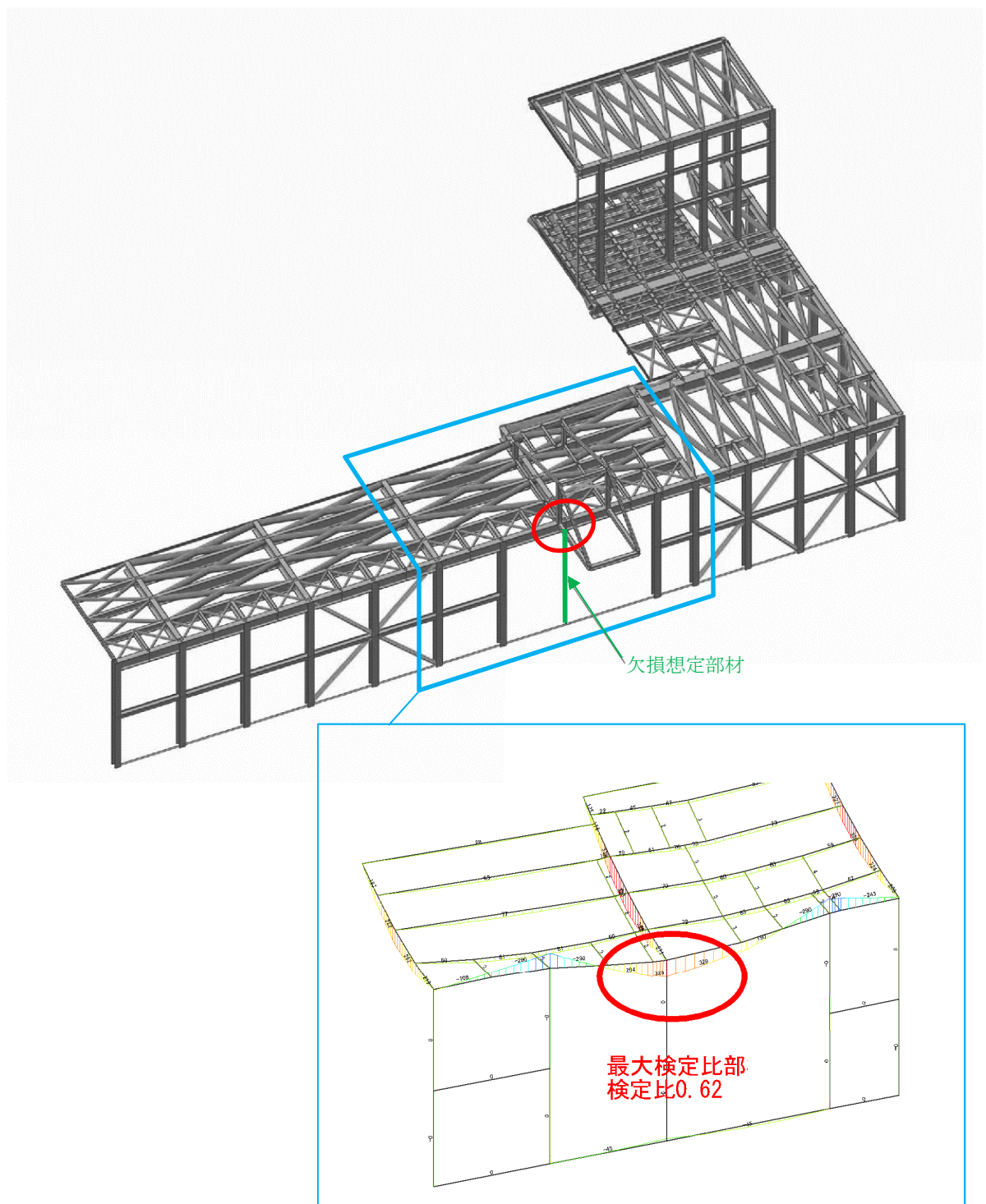


表5-4 変形評価結果（原子炉建屋（鉄骨造部）鉄骨架構）

| 評価項目           | 評価箇所                 | 評価結果        |        | 許容限界                     |
|----------------|----------------------|-------------|--------|--------------------------|
| 鉄骨架構の<br>発生応力度 | 付属棟東側<br>及び<br>隔離弁室② | 検定比         |        | 1 * <sup>2</sup>         |
|                |                      | 応<br>力<br>度 | 曲げ（強軸） | 144 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|                |                      |             | 曲げ（弱軸） | 0 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |                      |             | 軸力（引張） | 2 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                | 付属棟<br>南東側           | 検定比         |        | 1 * <sup>2</sup>         |
|                |                      | 応<br>力<br>度 | 曲げ（強軸） | 123 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|                |                      |             | 曲げ（弱軸） | 0 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |                      |             | 軸力（圧縮） | 3 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                | 隔離弁室①                | 検定比         |        | 1 * <sup>2</sup>         |
|                |                      | 応<br>力<br>度 | 曲げ（強軸） | 94 (N/mm <sup>2</sup> )  |
|                |                      |             | 曲げ（弱軸） | 0 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |                      |             | 軸力（圧縮） | 3 (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

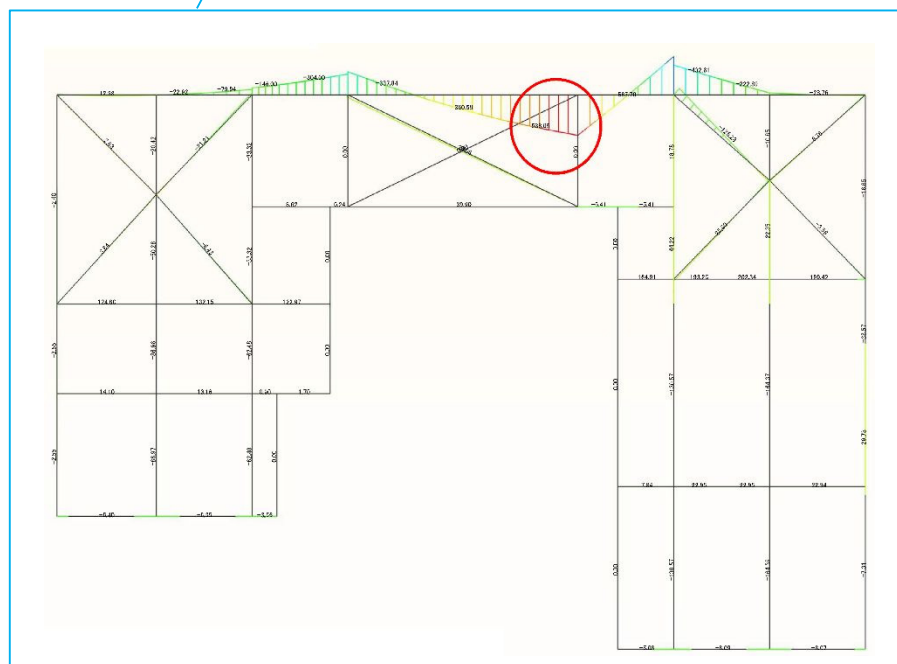
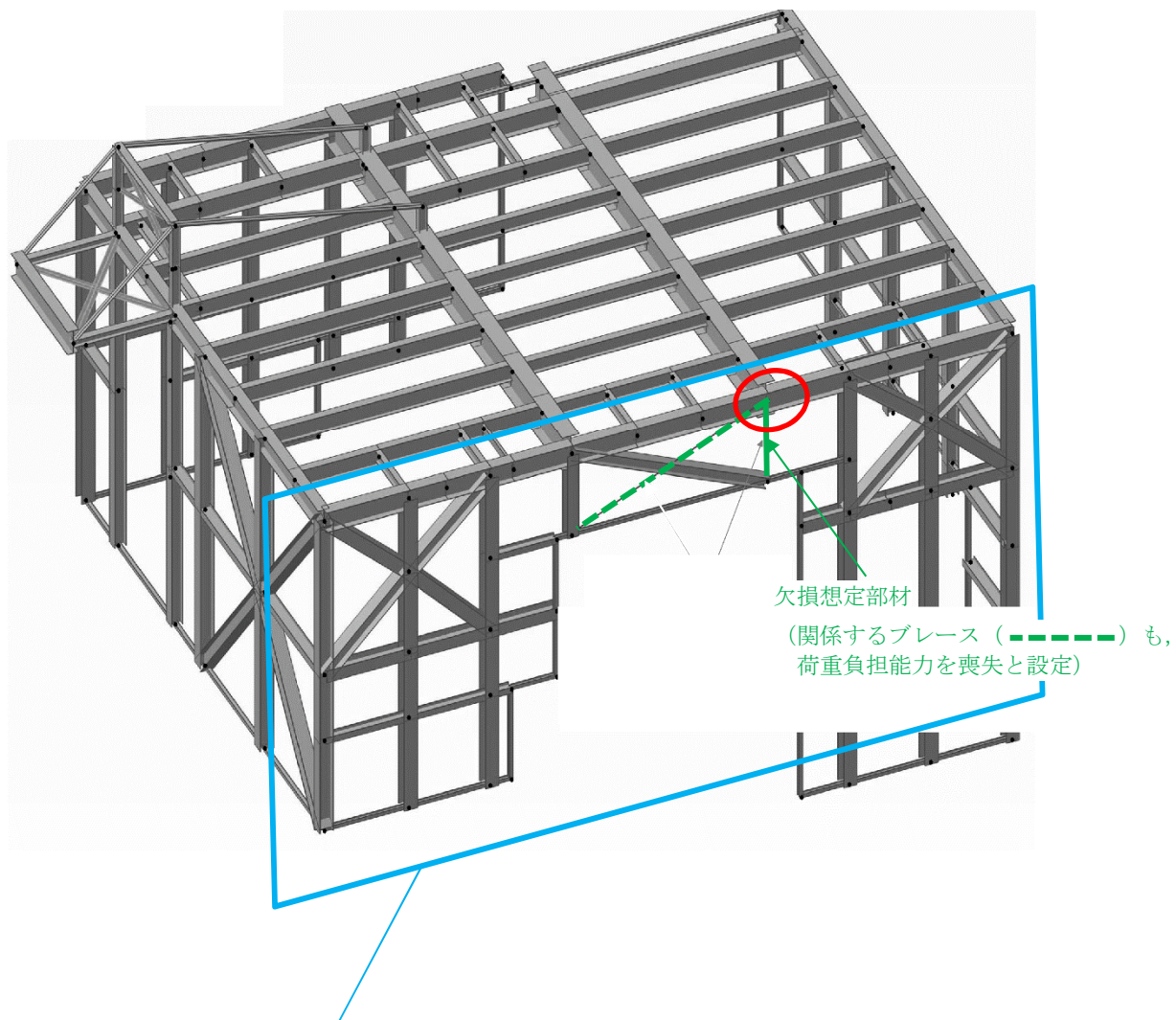




(付属棟東側及び隔離弁室②)

図5-1 最大検定比の発生箇所（竜巻時）（1/3）

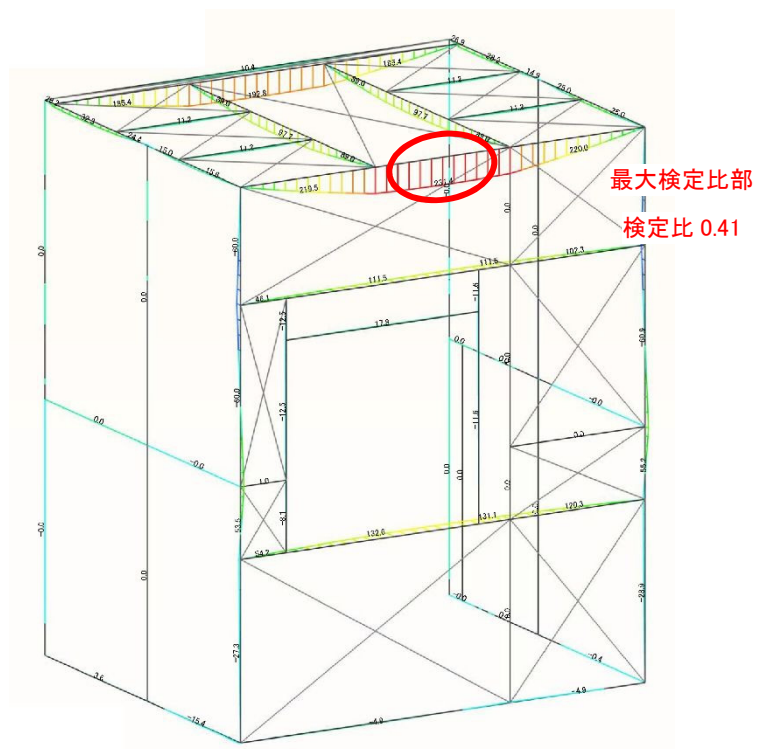
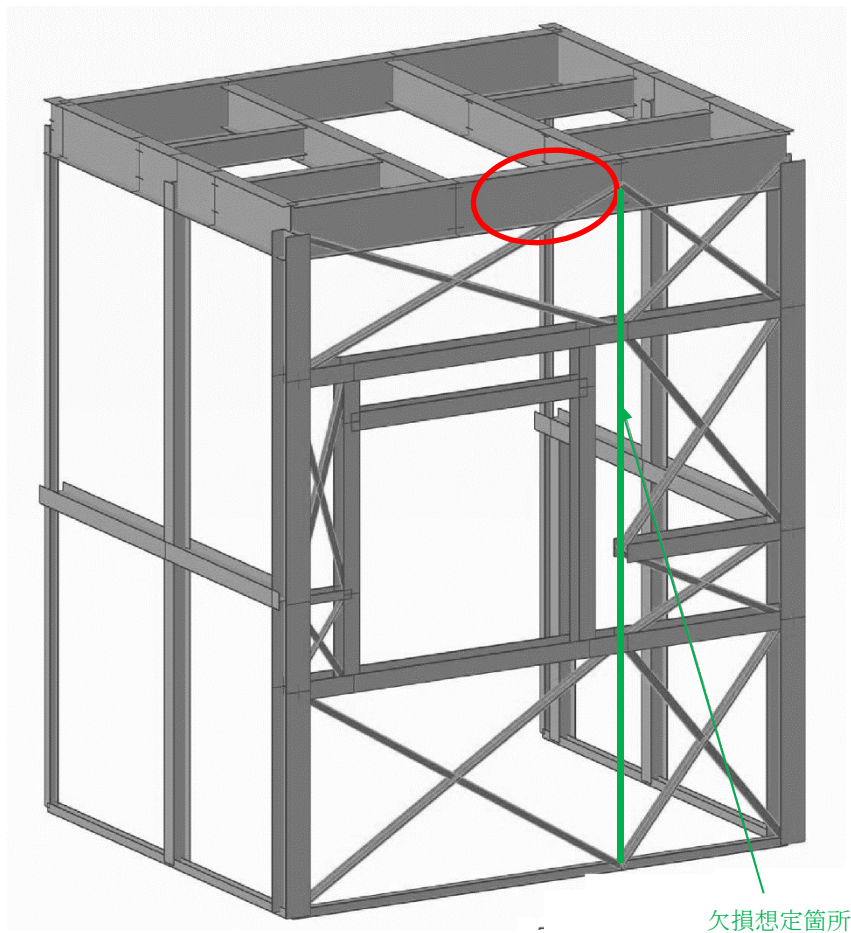




(付属棟南東側)

図5-1 最大検定比の発生箇所（竜巻時）（2/3）





(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（鉄骨造部）外装板）

| 評価項目              | 評価結果                     | 許容限界                    |
|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| 曲げ応力度             | 6.1 (N/mm <sup>2</sup> ) | 40 (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 取付ボルト（1本あたり）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（単位幅）のせん断力    | 9 (kN)   | 46 (kN) * <sup>1</sup>   |
| スタッド（1本あたり）の引張力    | 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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容限界<br>(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<br>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<br>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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容限界<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--|-------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 原子炉建屋付属棟2階<br>サンプルタンク室連絡<br>通路扉,<br>原子炉建屋付属棟3階<br>バルブ室東側扉<br>及び<br>原子炉建屋付属棟3階<br>バルブ室北側扉 | カン<br>ヌ<br>キ<br>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<br>ヌ<br>キ<br>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<br>ヌ<br>キ<br>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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容限界<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|-------|-----------|------------------------------|------------------------------|
| 原子炉建屋付属棟南側<br>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<br>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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容限界<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|-----------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 原子炉建屋付属棟 2 階<br>東側機器搬入口扉  | 扉体<br>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<br>南東側機器搬入口扉 | 固定部<br>扉体 | 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<br>発生応力度 | 検定比         |         | 0.35 <sup>*1</sup>       |
|                | 応<br>力<br>度 | 曲げ（弱軸）  | 4 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |             | 曲げ（強軸）  | 40 (N/mm <sup>2</sup> )  |
|                |             | せん断（弱軸） | 1 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |             | せん断（強軸） | 38 (N/mm <sup>2</sup> )  |
|                |             | 軸力（圧縮）  | 4 (N/mm <sup>2</sup> )   |
|                |             |         | 1 <sup>*2</sup>          |
|                |             |         | 234 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|                |             |         | 229 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|                |             |         | 135 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|                |             |         | 135 (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

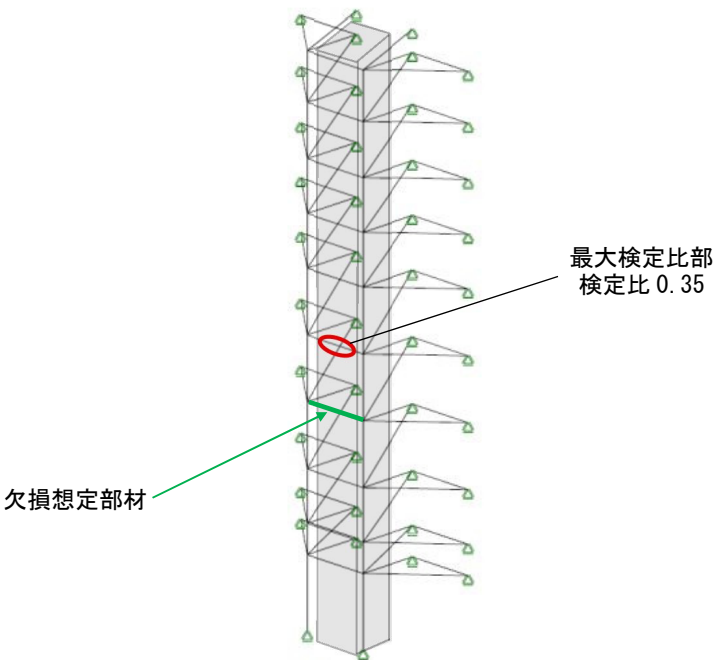


図5-2 最大検定比の発生箇所



## b. 外装板

外装板の曲げ~~応~~力度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~~造部）外装板）

| 評価項目               | 評価結果                     | 許容限界                     |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 曲げ <del>応</del> 力度 | 125 (N/mm <sup>2</sup> ) | 235 (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 取付ボルトの引張荷重         | 6 (kN)                   | 20 (kN)                  |