

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添3-013-06改02
提出年月日	2023年3月8日

VI-3-別添 1-6 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の
強度計算書

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	13
2.3.1	衝突評価	13
2.3.2	構造強度評価	14
2.4	適用規格・基準等	16
3.	強度評価方法	17
3.1	記号の定義	17
3.2	評価対象部位	22
3.2.1	貫通評価	22
3.2.2	裏面剥離評価	22
3.2.3	変形評価	23
3.2.4	応力評価	23
3.3	荷重及び荷重の組合せ	25
3.3.1	荷重の設定	25
3.3.2	荷重の組合せ	26
3.4	許容限界	28
3.4.1	貫通評価	28
3.4.2	裏面剥離評価	29
3.4.3	変形評価	31
3.4.4	応力評価	31
3.5	評価方法	33
3.5.1	貫通評価	33
3.5.2	裏面剥離評価	43
3.5.3	変形評価	47
3.5.4	応力評価	69
4.	評価条件	71
4.1	貫通評価	71
4.1.1	式による評価（鉄筋コンクリート部）	71
4.1.2	タービン建物屋根スラブに対する衝突解析	72
4.1.3	扉及び鋼製蓋	72
4.2	裏面剥離評価	73

4.2.1	式による評価	73
4.2.2	タービン建物外壁に対する衝突解析	73
4.2.3	タービン建物屋根スラブに対する衝突解析	74
4.3	変形評価	75
4.3.1	耐震壁	75
4.3.2	屋根スラブ	78
4.4	応力評価	81
5.	強度評価結果	82
5.1	貫通評価	82
5.2	裏面剥離評価	84
5.3	変形評価	87
5.3.1	耐震壁	87
5.3.2	屋根スラブ	87
5.4	応力評価	88

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建物（竜巻防護対策設備である鋼製扉を含む）、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物（以下「建物」という。）、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽（以下「地中構造物」という。）が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に加え、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対し、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設計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、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備のうち、原子炉建物鋼製扉（以下「扉」という。）が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、外部事象防護対象施設に設計飛来物を衝突させず、また、機械的な波及的影響を与えず、外部事象防護対象施設の安全機能を考慮して、扉が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、各施設及び扉の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

建物及び地中構造物の設置位置を図 2-1 に示す。

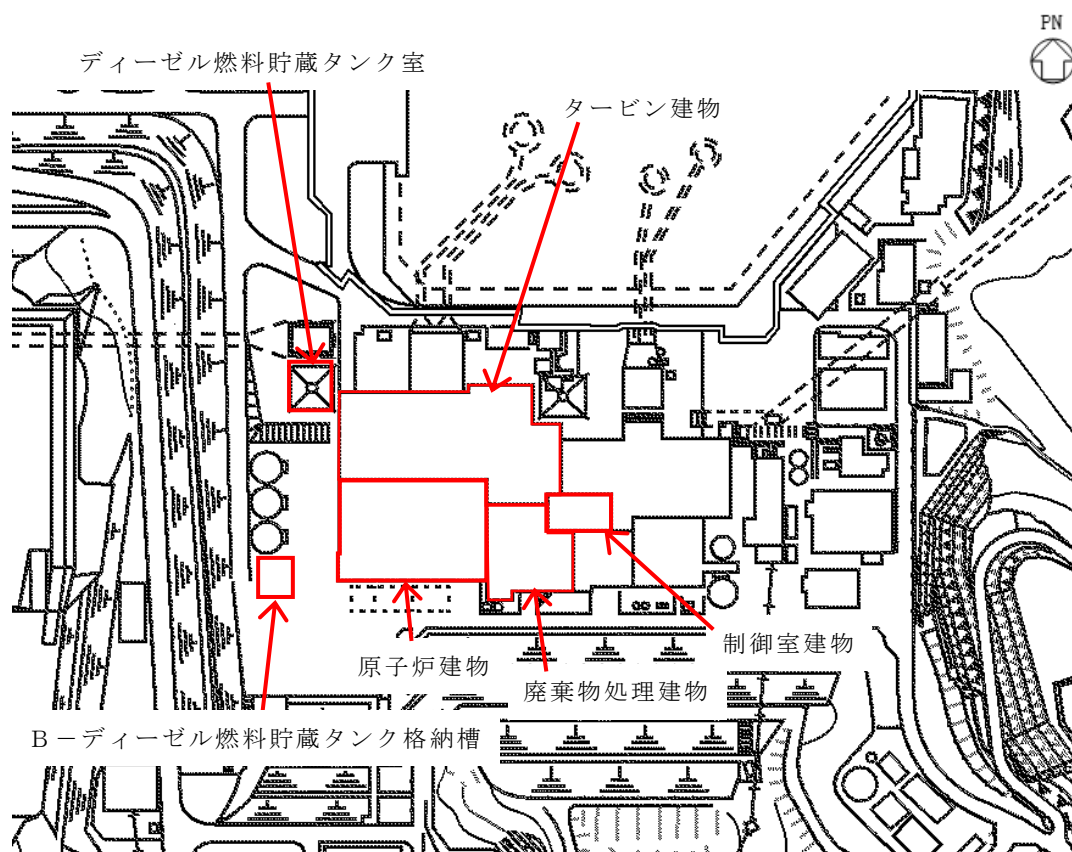


図 2-1 建物及び地中構造物の設置位置

2.2 構造概要

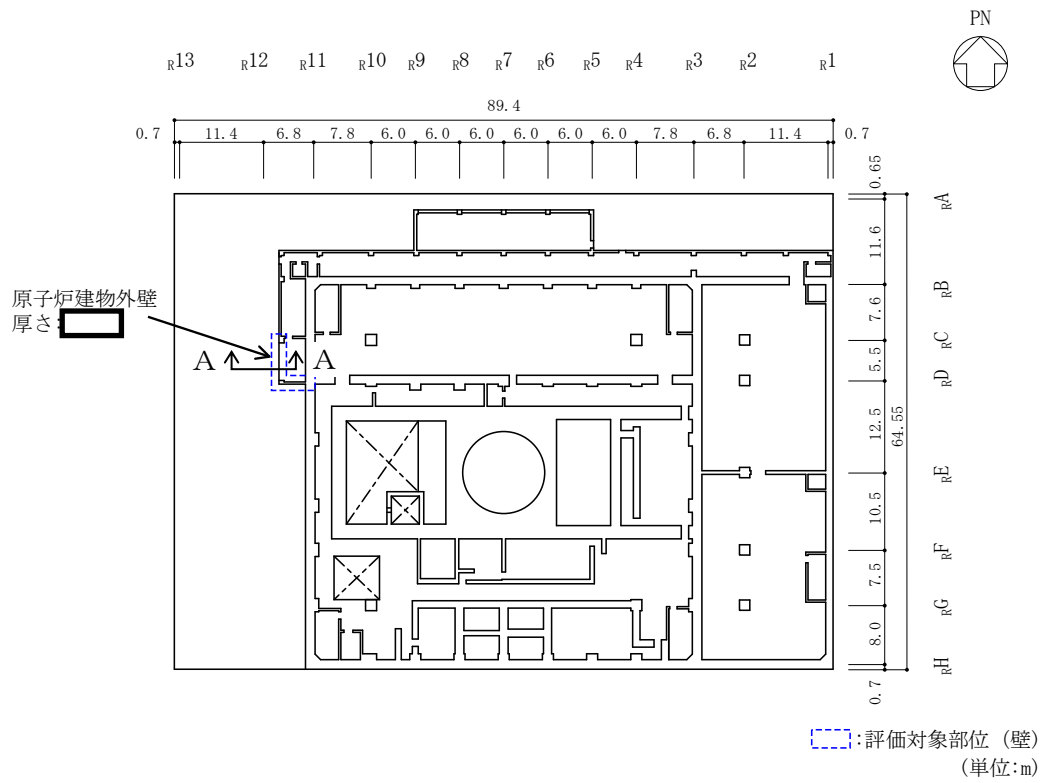
各施設の構造は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

建物は、主体構造が鉄筋コンクリート造であり、一部鉄骨鉄筋コンクリート造又は一部鉄骨造を有する構造である。地中構造物は、地中に埋設された構造物であり、外殻の躯体は鉄筋コンクリート造、地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。また、原子炉建物には、竜巻防護対策設備である扉が設置されている。

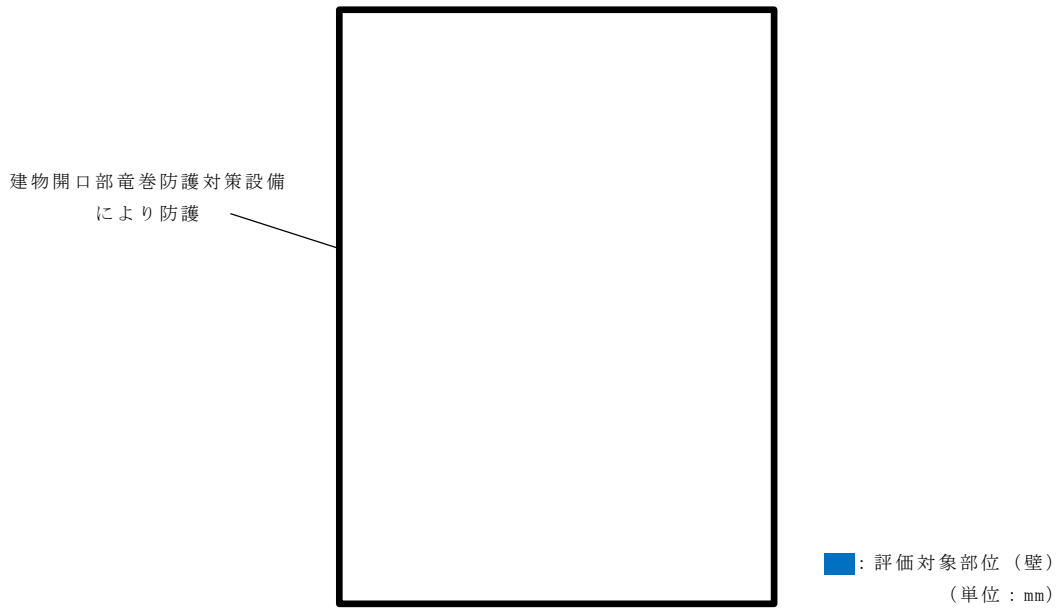
扉は、表面鋼板、芯材、扉枠等の鋼材を主構造とし、アンカーボルトによって建物躯体に固定された扉枠に対し、カンヌキによって扉本体を扉枠と固定することで支持

する設計とする。

各施設の概略平面図及び概略図を図 2-2～図 2-7 に，扉の位置図を図 2-8 に，扉の構造図を図 2-9 に示す。



(a) 平面図



(b) 断面図 (A-A 断面)

図 2-2(1) 原子炉建物の概略図 (EL 34.8m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

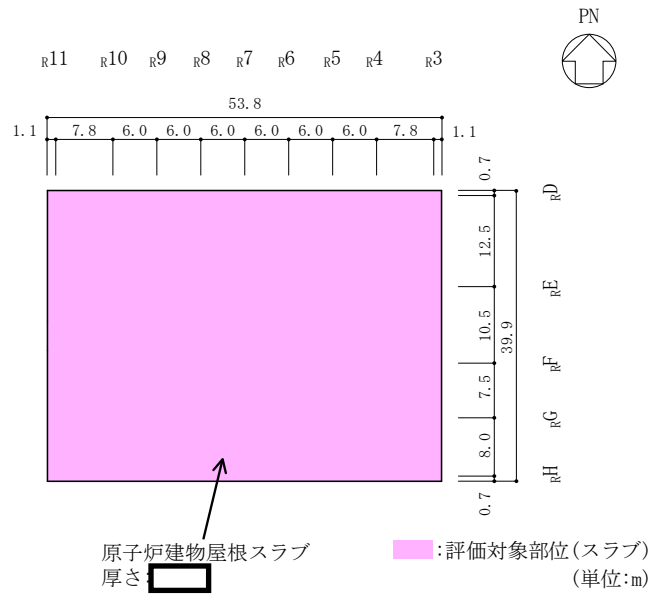


図 2-2(2) 原子炉建物の概略平面図 (EL 63.5m)

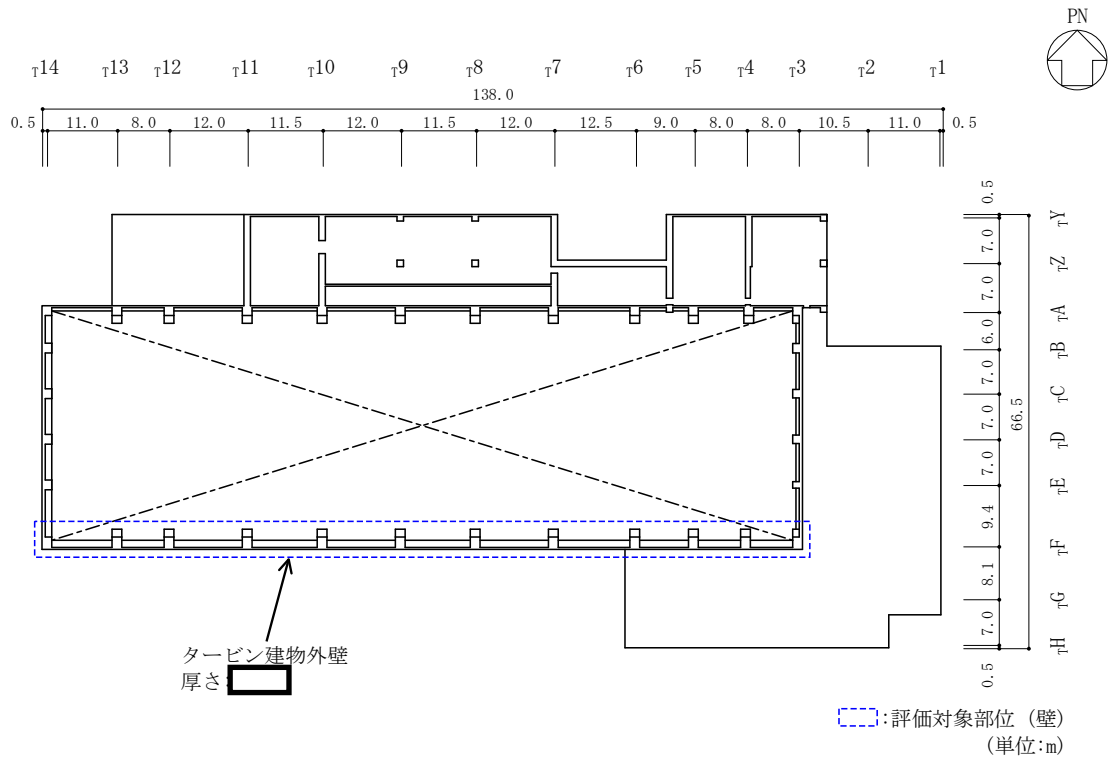


図 2-3(1) タービン建物の概略平面図 (EL 32.0m)

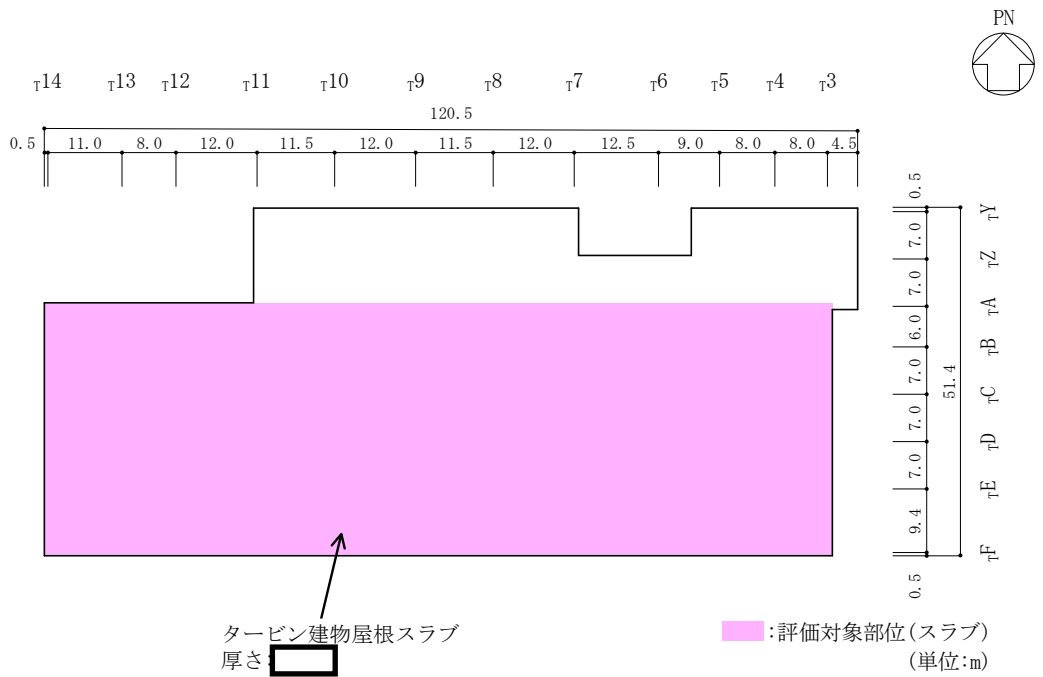


図 2-3(2) タービン建物の概略平面図 (EL 41.6m)

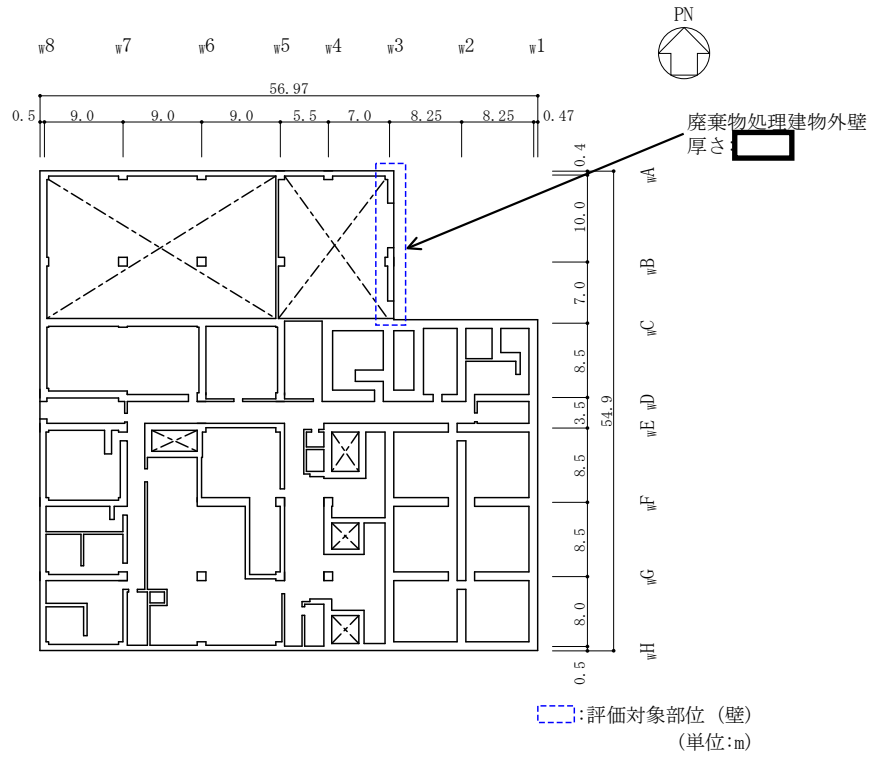


図 2-4(1) 廃棄物処理建物の概略平面図 (EL 26.7m)

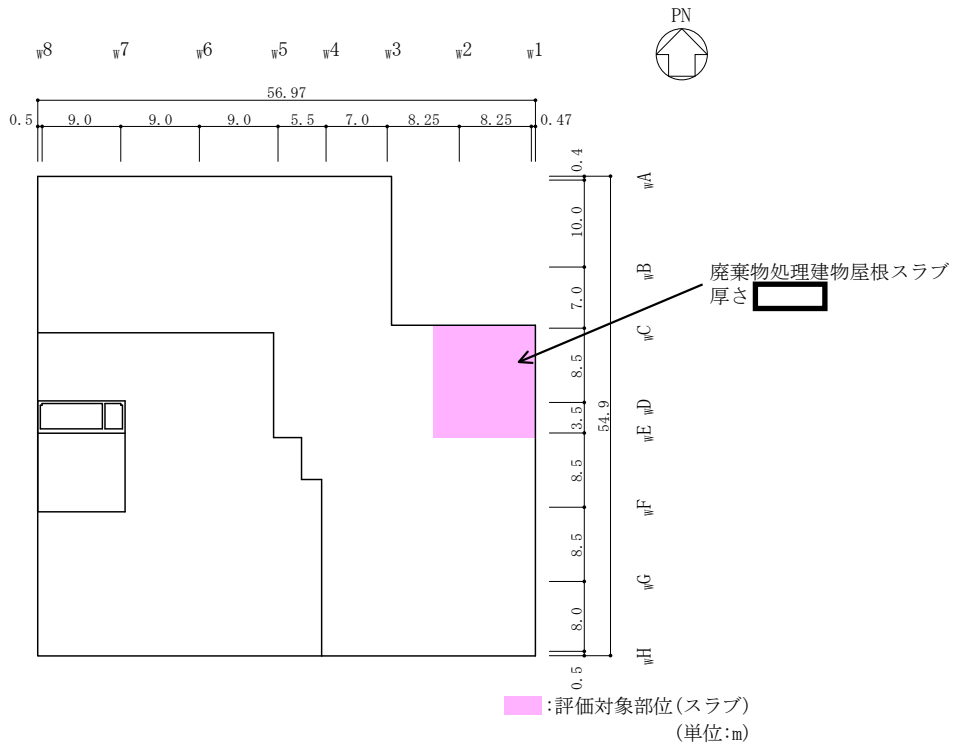


図 2-4(2) 廃棄物処理建物の概略平面図 (EL 42.0m)

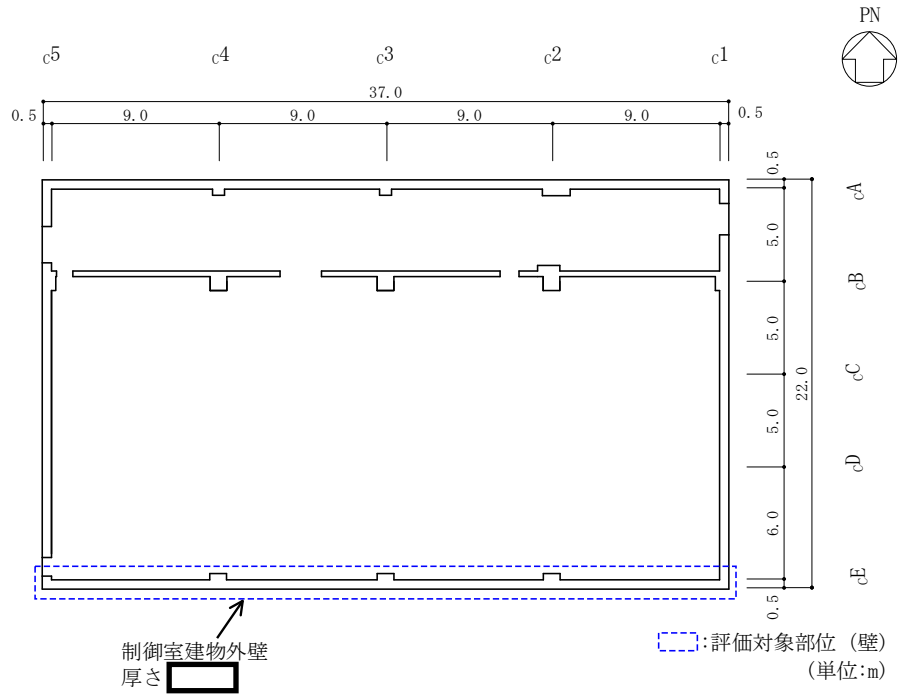


図 2-5(1) 制御室建物の概略平面図 (EL 16.9m)

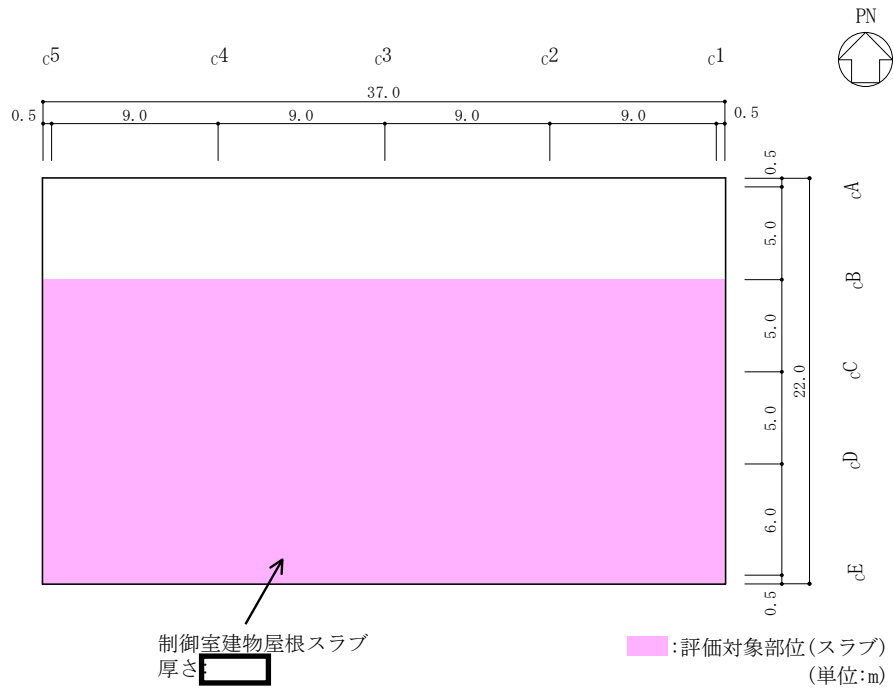
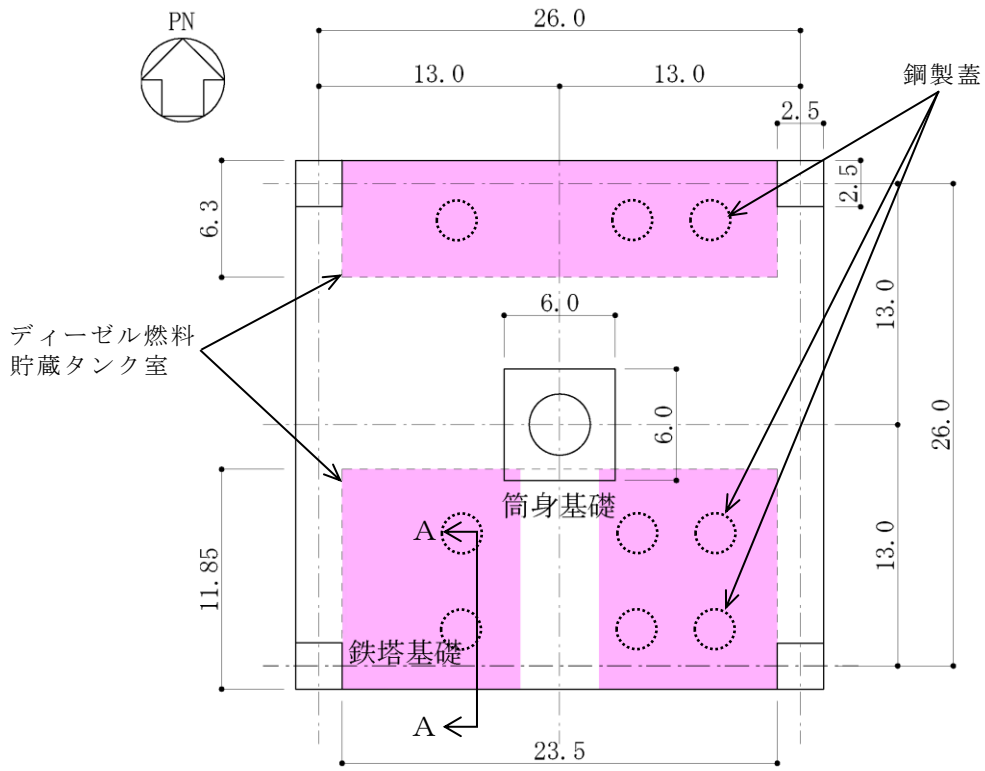
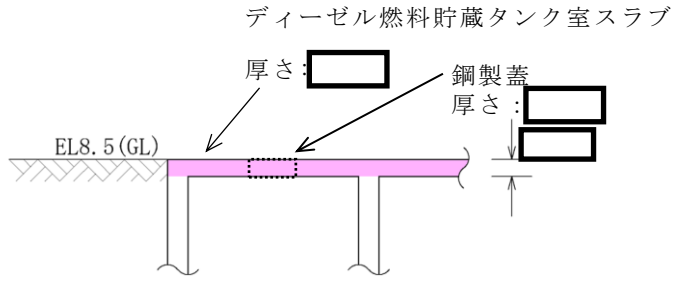


図 2-5(2) 制御室建物の概略平面図 (EL 22.05m)



(a) 平面図



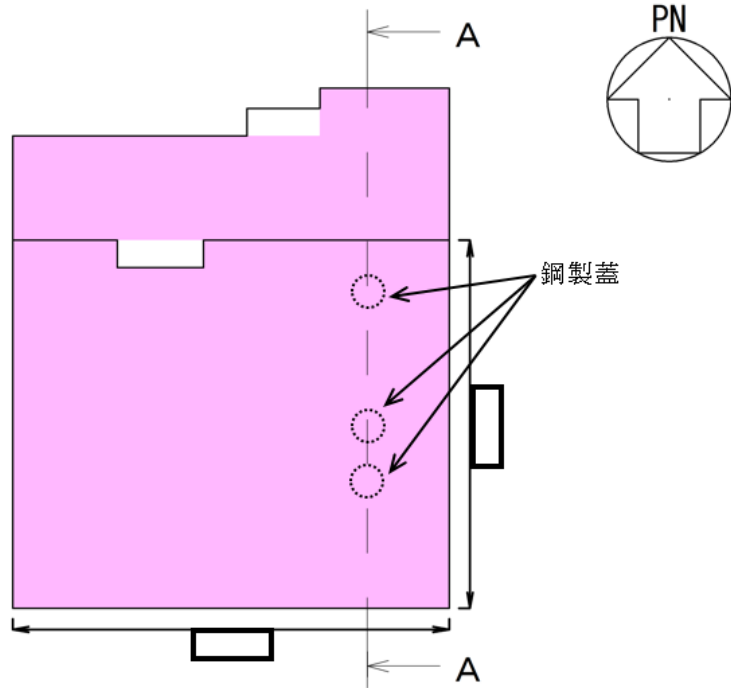
(b) 断面図 (A-A断面)

■: 評価対象部位 (スラブ)

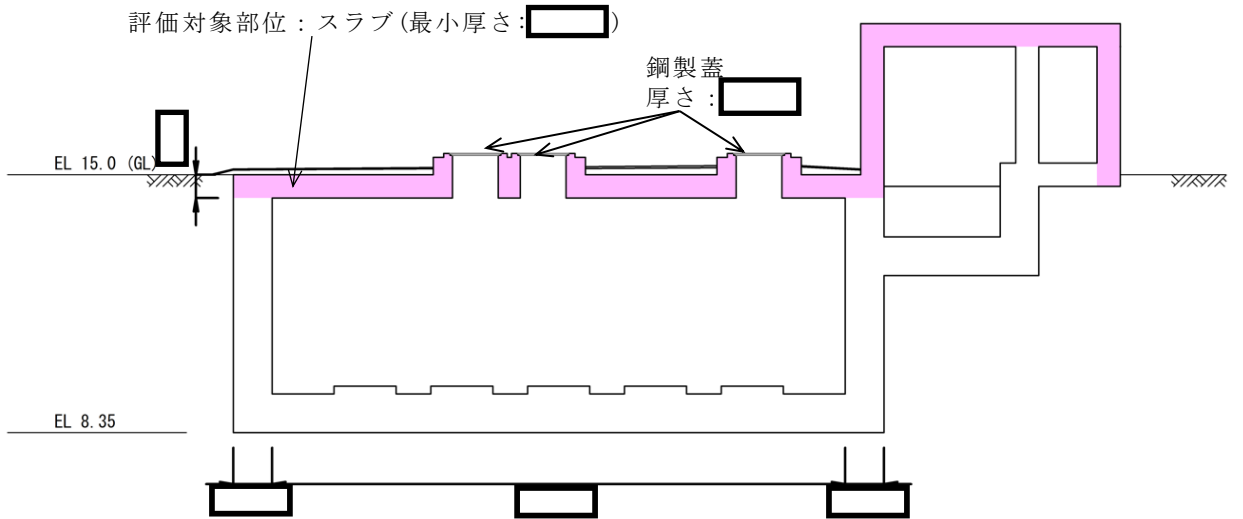
(単位: m)

図 2-6 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略図

KEY-PLAN



(a) 平面図



(b) 断面図 (A-A断面)

■ : 評価対象部位(スラブ)
(単位 : m)

図 2-7 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の概略図

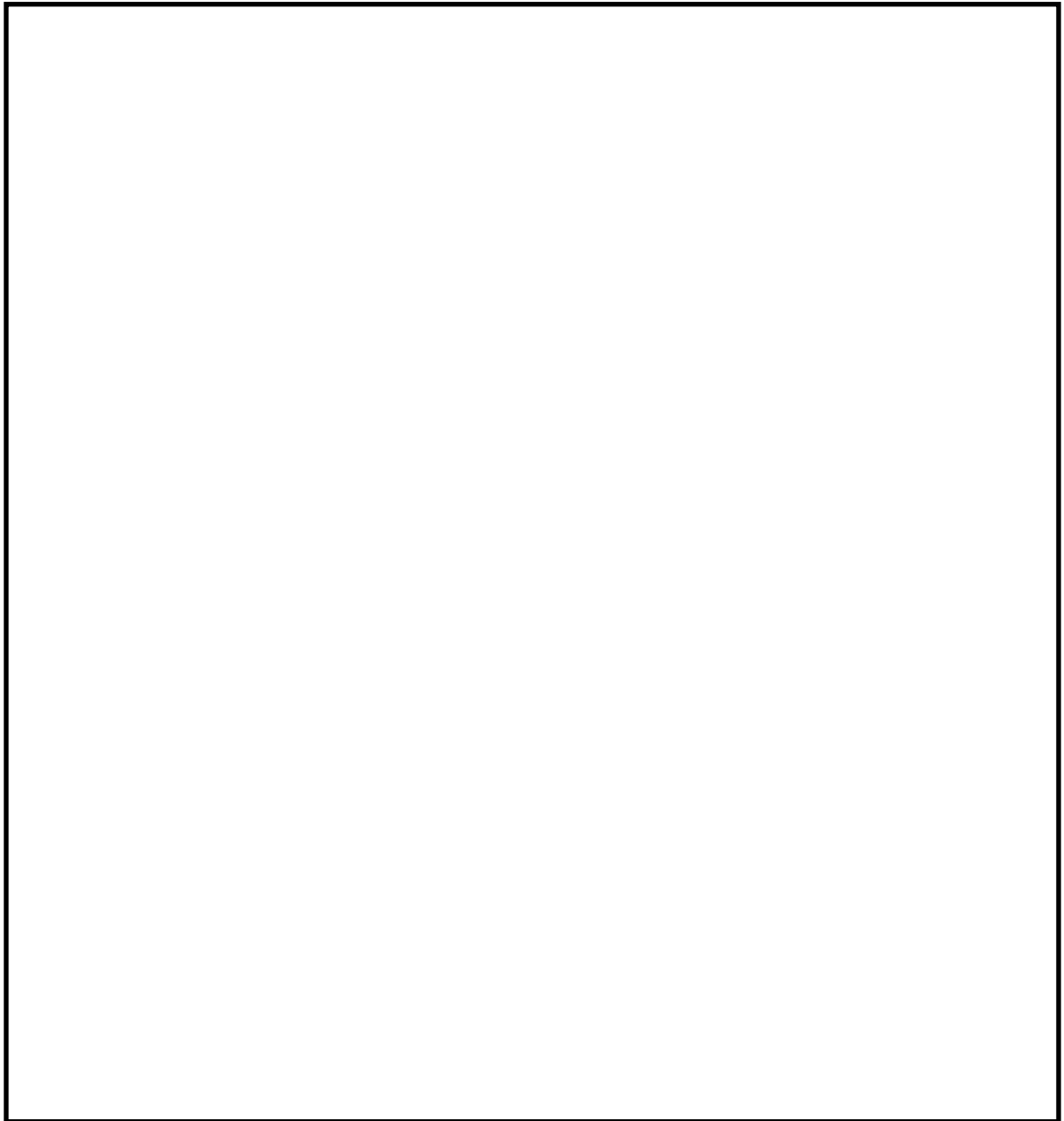


図 2-8 扉の位置図

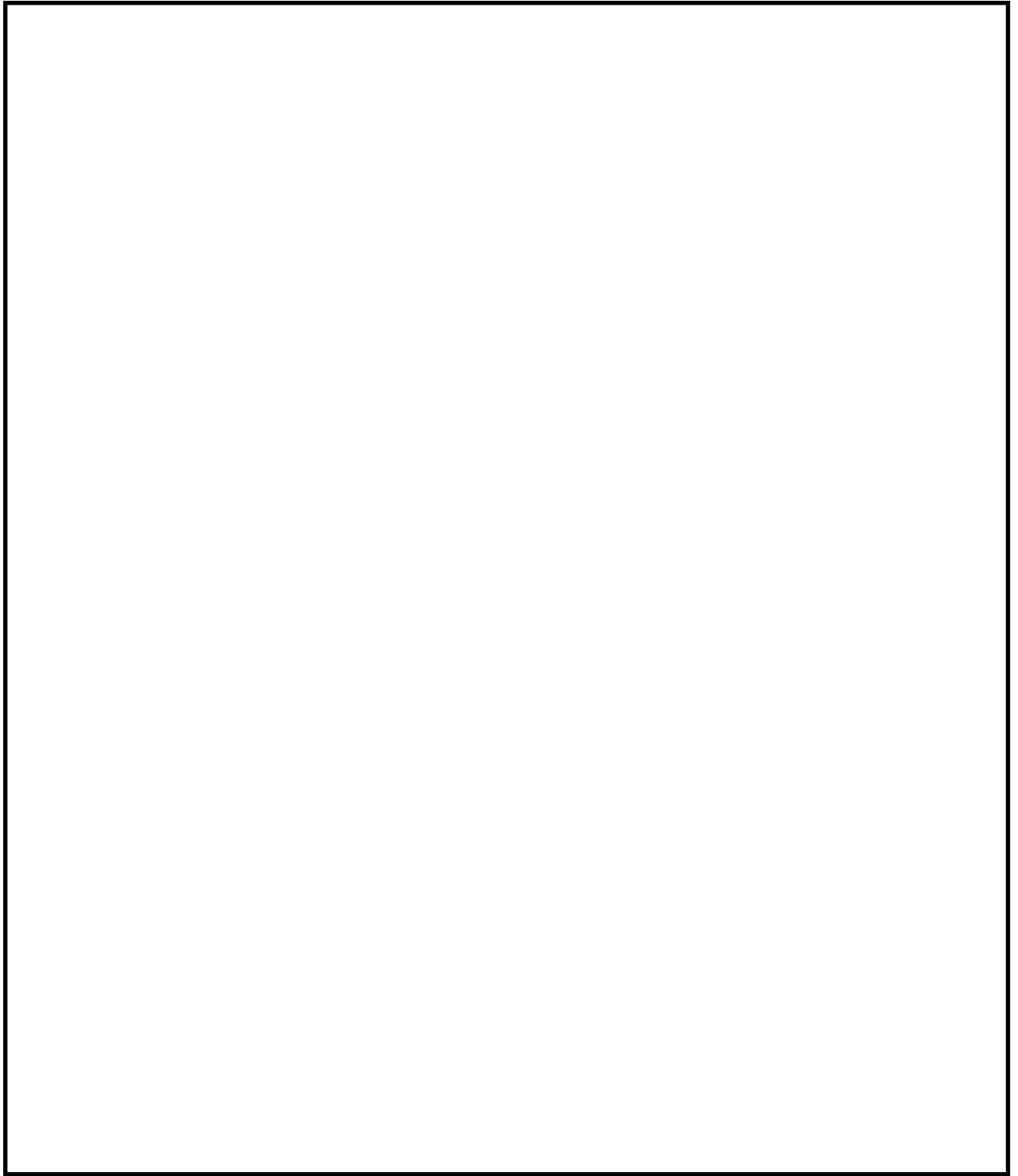


図 2-9 扉の構造図
(例：原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉)

2.3 評価方針

各施設の強度評価は、VI-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。

各施設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、設計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、施設の外殻を構成する部材に対する衝突評価を行う。また設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突もしくは接触する波及的な影響の構造強度評価として、施設の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響評価及び施設の外殻を構成する部材の転倒及び脱落並びに施設の変形の影響評価を行う。

各施設の強度評価フローを図 2-10 に示す。

2.3.1 衝突評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建物の外壁、扉及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブ及び鋼製蓋が、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。

建物の外壁、屋根スラブ及び地中構造物のスラブの評価には、「NEI07-13:Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」（以下「NEI07-13」という。）及び「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、VI-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「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

なお、施設の外殻を構成する部材のうち、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブにおいては、当該部材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。

扉及び鋼製蓋の評価には、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚（設計荷重が作用した場合の鋼板が貫通しない最小肉厚）に対し、扉及び鋼製蓋が十分な厚さを有していることを確認する。（以下「貫通評価」という。）

2.3.2 構造強度評価

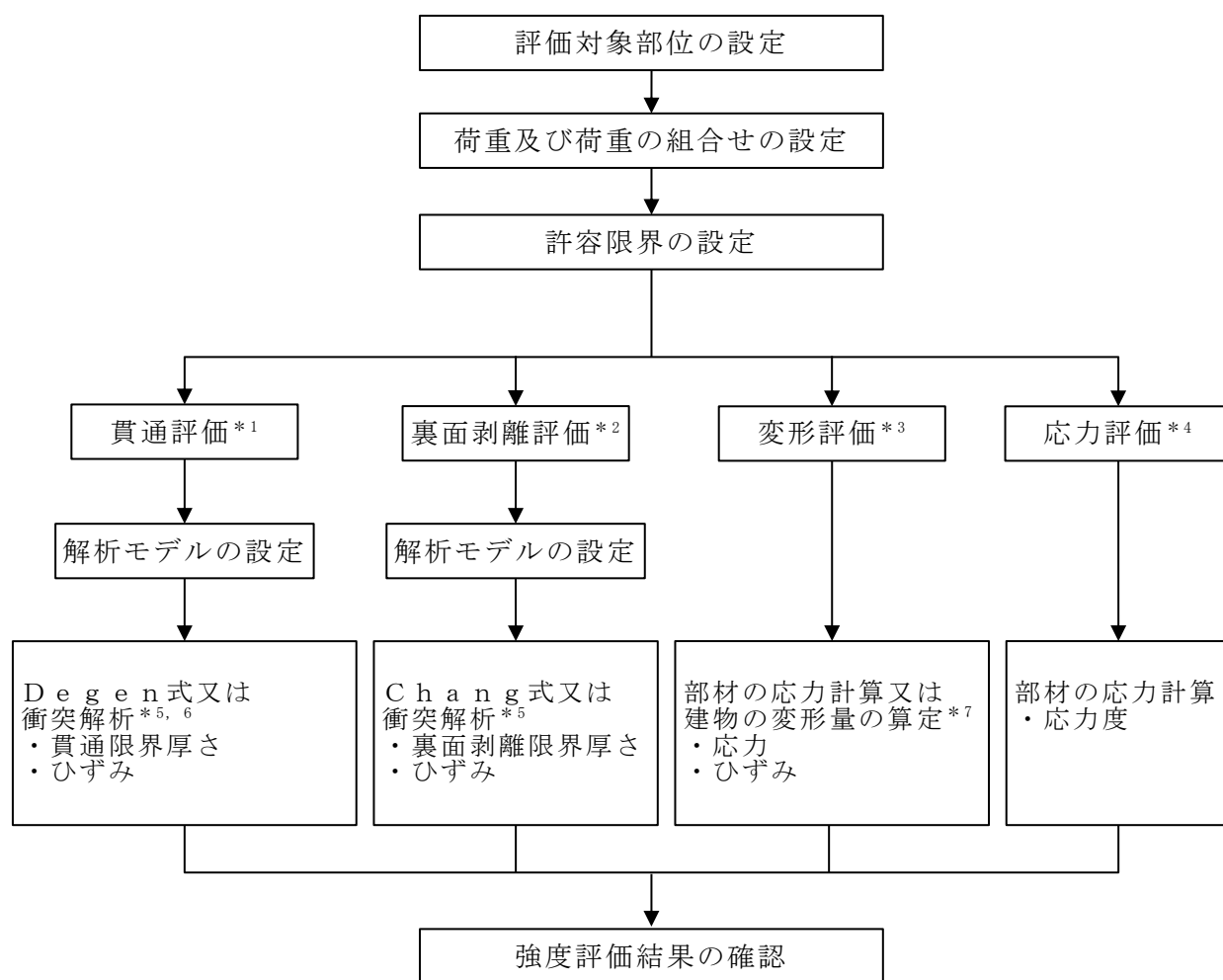
設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを確認する。

評価には、NEI07-13にて示されている式を準用し、VI-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「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

なお、施設の外殻を構成する部材のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない壁及び屋根スラブにおいては、当該部材が裏面剥離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。（以下「裏面剥離評価」という。）

また、建物及び地中構造物の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、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブ、屋根スラブのスタッドボルト（以下「スタッド」という。）及び耐震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を計算及び解析により確認する。（以下「変形評価」という。）

扉については、施設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、扉のカンヌキに生じる応力度が「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）」及びJISに基づき設定する短期許容応力度を超えないことを、力学における標準式による荷重及び応力の算定により確認する。（以下「応力評価」という。）



注記*1: 建物の外壁，扉及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブ及び鋼製蓋について実施する。

*2: 建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブについて実施する。

*3: 屋根スラブ，スタッド及び耐震壁について実施する。

*4: 扉のカンヌキについて実施する。

*5: 屋根スラブ及び外壁の衝突解析については，解析コード「LS-DYNA」により，壁，スラブ及び鉄筋を3次元FEMモデルによりモデル化し評価を実施する。

*6: 扉及び鋼製蓋については，VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚に対し，扉及び鋼製蓋が十分な厚さを有していることを確認する。

*7: 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図 2-10 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8P (NEI07-13))
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ ISE7607-3 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 (昭和 51 年 10 月 高温構造安全技術研究組合)
- ・ タービンミサイル評価について (昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 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)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 日本産業規格 (J I S)
- ・ 各種合成構造設計指針 同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改定)
- ・ 理科年表 (国立天文台, 第 85 冊, 2003 年)
- ・ コンクリート標準示方書 設計編 ((社) 土木学会, 2012 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

D e g e n式による鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 3-1 に、C h a n g式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表 3-2 に、力学における標準式による屋根スラブ，スタッド及び扉の評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1 D e g e n式による鉄筋コンクリート部の貫通限界厚さの算定に用いる記号

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

表 3-2 C h a n g 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	設計飛来物直径
f_c'	kgf/cm ²	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	壁面 設計飛来物の衝突速度（水平）
		屋根 設計飛来物の衝突速度（鉛直）
V_0	m/s	飛来物基準速度
W	kgf	設計飛来物重量
α_s	—	低減係数

表 3-3(1) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号
(荷重算定用)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m ²	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W_M	N	設計飛来物による衝撃荷重
W_P	N	気圧差による荷重
W_W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
ΔP_{max}	N/m ²	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）
Δt	s	設計飛来物と被衝突体の接触時間
L_1	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

表 3-3(2) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号
(屋根スラブ)

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN・m	設計竜巻による単位幅当たりの曲げモーメント
Q	kN	屋根スラブに生じる単位幅当たりのせん断力
f_t	N/mm ²	鉄筋の許容引張応力度
f_s	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
a_t	mm ²	引張鉄筋の断面積
b	mm	屋根スラブの幅
d'	mm	屋根スラブの有効せい
j	mm	屋根スラブの応力中心間距離 ($j = (7/8) \cdot d'$)
M_a	kN・m	屋根スラブの許容曲げモーメント
Q_a	kN	屋根スラブの許容せん断力
ω_d	kN/m	常時作用する荷重による単位幅当たりの荷重
ω_T	kN/m	設計竜巻による単位幅当たりの荷重 ($= \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$)
ω_{T1}	kN/m	複合荷重 W_{T1} による単位幅当たりの荷重
ω_{T2}	kN/m	複合荷重 W_{T2} による単位幅当たりの荷重 (設計飛来物による 衝撃荷重 W_M は考慮しない)

表 3-3(3) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号
(スタッド)

記号	単位	定義
A_c	mm^2	コーン状破壊面の有効投影面積
A_0	mm^2	スタッド頭部の支圧面積
a_{ca}	mm^2	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値
D	mm	スタッドの頭部直径
d	mm	スタッドの軸部直径
F_c	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
f_n	N/mm^2	コンクリートの支圧強度
l_{ce}	mm	スタッドの強度計算用埋込み長さ ($l_{ce} = l_e$)
l_e	mm	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ
p_a	kN	スタッド 1 本当たりの許容引張力
p_{a1}	kN	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本当たりの許容引張力
p_{a2}	kN	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本当たりの許容引張力
p_{a3}	kN	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本当たりの許容引張力
π	—	円周率
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm^2	スタッドの引張強度
${}_s\sigma_y$	N/mm^2	スタッドの規格降伏点強度
Φ_1	—	低減係数
Φ_2	—	低減係数
L_1	m	屋根スラブの支持スパン
L_2	m	屋根スラブの支持スパン
p	mm	スタッドの間隔
Q	kN	屋根スラブに生じる単位幅当たりのせん断力
T	kN	スタッドに生じる引張力
ω_T	kN/m	設計竜巻による単位幅当たりの荷重 ($=\text{M a x } \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$)
ω_{T1}	kN/m	複合荷重 W_{T1} による単位幅当たりの荷重
ω_{T2}	kN/m	複合荷重 W_{T2} による単位幅当たりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 W_M は考慮しない)

表 3-3(4) 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号
(扉)

記号	単位	定義
A_1	m^2	表面鋼板の受圧面積
A_2	mm^2	カンヌキの断面積
L	mm	カンヌキと扉枠の距離
n	本	カンヌキの本数
R	N	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
W_P	N	気圧差による荷重
ΔP_{max}	N/m^2	最大気圧低下量
Z	mm^3	カンヌキの断面係数
σ_b	N/mm^2	曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

3.2 評価対象部位

各施設の評価対象部位は、VI-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、設定する。

評価対象部位は図 2-2～図 2-9 のとおり。

3.2.1 貫通評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、外部事象防護対象施設を内包する区画のうち外殻を構成する部材の中から最も厚みが小さい箇所を評価対象部位として設定することとし、原子炉建物については屋根スラブ及び外壁（EL 34.8m）並びに鋼製扉を、タービン建物については屋根スラブ及び外壁（EL 32.0m）を、廃棄物処理建物については屋根スラブ及び外壁（EL 26.7m）を、制御室建物については屋根スラブ及び外壁（EL 16.9m）を、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については地表面に露出するスラブ及び開口部の鋼製蓋を評価対象部位として設定する。

評価においては、各施設の評価対象部位の最小厚さが、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを確認する。

なお、評価対象部位のうち、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることが確認できない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、衝突解析により評価を行う。

3.2.2 裏面剥離評価

設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体が、脱落により竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない設計とするために、外殻を構成する部材の中から最も厚みが小さい箇所を評価対象部位として設定することとし、原子炉建物については屋根スラブ及び外壁（EL 34.8m）を、タービン建物については屋根スラブ及び外壁（EL 32.0m）を、廃棄物処理建物については屋根スラブ及び外壁（EL 26.7m）を、制御室建物については屋根スラブ及び外壁（EL 16.9m）を、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については地表面に露出するスラブを評価対象部位として設定する。

評価においては、各施設の評価対象部位の最小厚さが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回ることを確認する。

なお、評価対象部位のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回ることが確認できない原子炉建物屋根スラブ及び外壁並びにタービン建物屋根スラブ及び外壁については、衝突解析により評価を行う。

3.2.3 変形評価

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、設計荷重が直接作用し、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び壁を評価することとし、屋根スラブについては、代表として部材厚が最も小さいタービン建物の屋根スラブを評価対象部位として設定する。

また、風圧力及び気圧差による荷重は屋根スラブに作用し、スタッドに伝達されることから、スタッドを評価対象部位として設定するものとし、屋根スラブの支持にスタッドを用いる構造である原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについて評価を行う。

壁については、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁を評価対象部位として設定する。

なお、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については、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。

3.2.4 応力評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体が、転倒及び脱落により外部事象防護対象施設へ接触等の影響を与えない設計とするために、カンヌキに生じる応力度が「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）」及びJISに基づき設定する短期許容応力度を超えないことを、力学における標準式による荷重の算定により確認する。

室内側の扉板に作用する荷重が芯材，表面鋼板に作用し，ヒンジ，カンヌキ及びアンカーボルトにより固定された扉枠を介して建物躯体に伝達されることから，これらの部材が評価対象部位として抽出される。

このうち，表面鋼板は対貫通性を考慮した厚板であり，またヒンジ，芯材については評価上期待しないこと，アンカーボルトにより固定された扉枠は建物躯体と一体化していることから，扉の閉止状態を維持するための支持部材であるカンヌキを評価対象部位として設定する。

ここで，カンヌキに作用する荷重は「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に記載するとおり，気圧差による荷重を設定することから，カンヌキに生じる気圧差による荷重が最大となる，即ちカンヌキ1本当たりの表面鋼板の負担面積が最大となる扉を代表として評価するものとし，原子炉建物 1階 RCW熱交換器室南側鋼製扉を評価対象とする。評価の対象とする扉の選定結果として，カンヌキ1本当たりの表面鋼板の負担面積の一覧を表3-4に示す。

表 3-4 評価の対象とする扉の選定結果

評価対象の扉	表面鋼板の仕様			カンヌキの本数 (本)	カンヌキ 1 本当たりの 表面鋼板の負担面積 (m ²)	評価対象
	幅 (mm)	高さ (mm)	面積 (m ²)			
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室北側鋼製扉	2375	5125	12.18	7	1.74	
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉	4950	5125	25.37	9	2.82	○
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉 くぐり戸	859.5	2085	1.80	4	0.45	
原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南側鋼製扉	4900	5045	24.73	9	2.75	
原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南側鋼製扉 くぐり戸	859.5	2085	1.80	4	0.45	

3.3 荷重及び荷重の組合せ

各施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-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」を踏まえて設定する。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
92	14	78	7500

(1) 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、部材の自重とする。

(2) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」(日本建築学会)に準拠して、次式のとおり算出する。

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

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

(3) 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P_{max} \cdot A$$

(4) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物による衝撃荷重は、表 3-6 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-7 に示す。

なお、評価対象部位に設計飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

表 3-6 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3-7 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
鋼製材	245	2.06×10^5	0.3	77

3.3.2 荷重の組合せ

各施設の強度評価に用いる荷重の組合せについては、VI-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」のとおり、設計飛来物による衝撃荷重，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-8 に示す。

表 3-8 荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位		設計飛来物の衝突方向	荷重の組合せ
貫通評価	D e g e n式による評価			
	原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	水平	W_M
	タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	水平	
	廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	スラブ	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	スラブ	鉛直	
	必要最小肉厚と部材厚の比較による評価			
	原子炉建物	鋼製扉	水平	W_M
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	鋼製蓋	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	鋼製蓋	鉛直	
	解析による評価			
原子炉建物	屋根スラブ	鉛直	$W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$	
タービン建物	屋根スラブ	鉛直		
裏面剥離評価	C h a n g式による評価			
	廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	水平	W_M
		屋根スラブ	鉛直	
	制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	ディーゼル燃料貯蔵タンク室	スラブ	鉛直	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	スラブ	鉛直	
	解析による評価			
	原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	水平	$W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$
		屋根スラブ	鉛直	
タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	水平		
	屋根スラブ	鉛直		
変形評価	力学における標準式による評価			
	原子炉建物	屋根スラブのスタッド	—	複合荷重 W_{T1} : W_P 複合荷重 W_{T2} : $W_W + 0.5W_P$
	タービン建物	屋根スラブのスタッド	—	
		屋根スラブ	—	複合荷重 W_{T1} : $W_P + F_d$ 複合荷重 W_{T2} : $W_W + 0.5W_P + F_d$
	地震応答解析モデルを用いた静的解析			
	原子炉建物	耐震壁	水平	複合荷重 W_{T1} : $W_P + F_d$ 複合荷重 W_{T2} : $W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$
	タービン建物	耐震壁	水平	
	廃棄物処理建物	耐震壁	水平	
制御室建物	耐震壁	水平		
応力評価	力学における標準式による評価			
	扉	カンヌキ	—	W_P

注： W_W ：風圧力による荷重 W_P ：気圧差による荷重 W_M ：設計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

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の許容限界は、VI-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」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

3.4.1 貫通評価

貫通評価のうち、式又は必要最小肉厚との比較による評価の許容限界は評価対象部位の最小厚さとした。表 3-9 に設定した許容限界を示す。

表 3-9 貫通評価の許容限界（式又は必要最小肉厚との比較による評価）

評価対象部位		許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁 (EL 34.8m)	
	屋根スラブ	
	扉	
タービン建物	外壁 (EL 32.0m)	
	屋根スラブ	
廃棄物処理建物	外壁 (EL 26.7m)	
	屋根スラブ	
制御室建物	外壁 (EL 16.9m)	
	屋根スラブ	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ	
	鋼製蓋	
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ	
	鋼製蓋	

注記*：単位は mm

貫通評価のうち、式又は必要最小肉厚との比較により算定する貫通限界厚さが最小部材厚さを上回る場合における、解析による評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 貫通評価の許容限界（解析による評価）

評価対象部位		材質	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
タービン建物 屋根スラブ*	鉄筋	SD35 (SD345 相当)	0.084 (塑性ひずみ)

注記*：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない屋根スラブのうち、最も厚さの小さいものとして選定

設計飛来物が屋根スラブへ衝突する場合の貫通評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、VI-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「4.2.1(1) 許容限界の設定」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI07-13においてT F（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、安全余裕としてT F = 2.0を考慮して設定する。

3.4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価の許容限界のうち、式による評価の許容限界は貫通評価の許容限界と同じであり、表 3-9 のとおり。

式により算定する裏面剥離限界厚さが最小部材厚さを上回る場合における、解析による評価の許容限界を表 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）

評価対象部位		材質	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
タービン建物 外壁* ¹	鉄筋	SD35 (SD345 相当)	0.084 (塑性ひずみ)
タービン建物 屋根スラブ* ²	デッキ プレート	SDP2	0.080 (塑性ひずみ)

注記*1：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない外壁のうち、最も厚さの小さいものとして選定

*2：設計飛来物に対する裏面剥離限界厚さを満たさない屋根スラブのうち、最も厚さの小さいものとして選定

設計飛来物が外壁及び屋根スラブへ衝突する場合の裏面剥離評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、VI-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「4.2.1(1) 許容限

界の設定」に示すとおり，J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，NEI07-13においてT F（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，安全余裕として $T F = 2.0$ を考慮して設定する。

3.4.3 変形評価

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

評価対象部位		許容限界	
		項目	数値
原子炉建物	屋根スラブのスタッド	「各種合成構造設計指針 同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）」に基づく許容耐力	59 (kN/本)
タービン建物	屋根スラブのスタッド	「各種合成構造設計指針 同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）」に基づく許容耐力	61 (kN/本)
タービン建物	屋根スラブ	「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 -（（社）日本建築学会，1999 改定）」に基づく短期許容応力度	曲げ：23 (kN・m) せん断：85 (kN)
原子炉建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	2.0×10^{-3}
タービン建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	2.0×10^{-3}
廃棄物処理建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	2.0×10^{-3}
制御室建物	耐震壁	最大せん断ひずみ	2.0×10^{-3}

3.4.4 応力評価

(1) 評価対象部位の材料仕様

扉の評価対象部位の材料仕様を表 3-13 に示す。

表 3-13 評価対象部位の材料仕様

評価対象部位	仕様	材質
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉 カンヌキ	φ 70	S45C

(2) 許容限界

応力評価の許容限界を表 3-14 に示す。

応力評価におけるカンヌキの評価は、J I S 及び「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）」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

表 3-14 応力評価の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度	
		曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室 南側鋼製扉カンヌキ	S45C	345	199

3.5 評価方法

各施設の強度評価は、VI-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「5. 強度評価方法」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施し、構造強度評価として裏面剥離評価、変形評価及び応力評価を実施する。

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

設計飛来物が各施設に衝突する場合の貫通限界厚さを NEI07-13 に示されている D e g e n 式を用いて算定する。D e g e n 式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 N D R C 式を用いて算定する。

D e g e n 式を以下に示す。

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29 \cdot (X/d)\} \cdot d$$

$X/d \leq 1.52$ の場合

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

修正 N D R C 式を以下に示す。

$X/d \leq 2.0$ の場合

$$X/d = 2 \cdot \left\{ \left(12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

$X/d \geq 2.0$ の場合

$$X/d = \left(12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8} + 1$$

b. 扉及び鋼製蓋

扉及び鋼製蓋の評価方法としては、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す解析により求めた必要最小肉厚が「3.4 許容限界」で定めた許容限界以下であることを確認する。解析により求めた必要最小肉厚を表 3-15 に示す。

表 3-15 必要最小肉厚

評価対象部位	材質	衝突方向	必要最小肉厚 (mm)
扉	SS400	水平	16
鋼製蓋		鉛直	

(2) 屋根スラブに対する衝突解析

設計飛来物に対して、Degen式による貫通限界厚さを満足しない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブを代表箇所を選定し、設計飛来物による衝撃荷重 W_M 及び常時作用する荷重 F_d を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により屋根スラブの鉄筋に生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

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。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 解析モデル

(a) タービン建物屋根スラブ

タービン建物屋根スラブのモデル化範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、スラブを構成するコンクリート、鉄筋及びデッキプレートとする。コンクリートはソリッド要素でモデル化し、鉄筋をビーム要素、デッキプレートをシェル要素でモデル化する。

タービン建物屋根スラブのモデル化範囲を図 3-1 に、解析モデル及び境界条件を図 3-2 に示す。

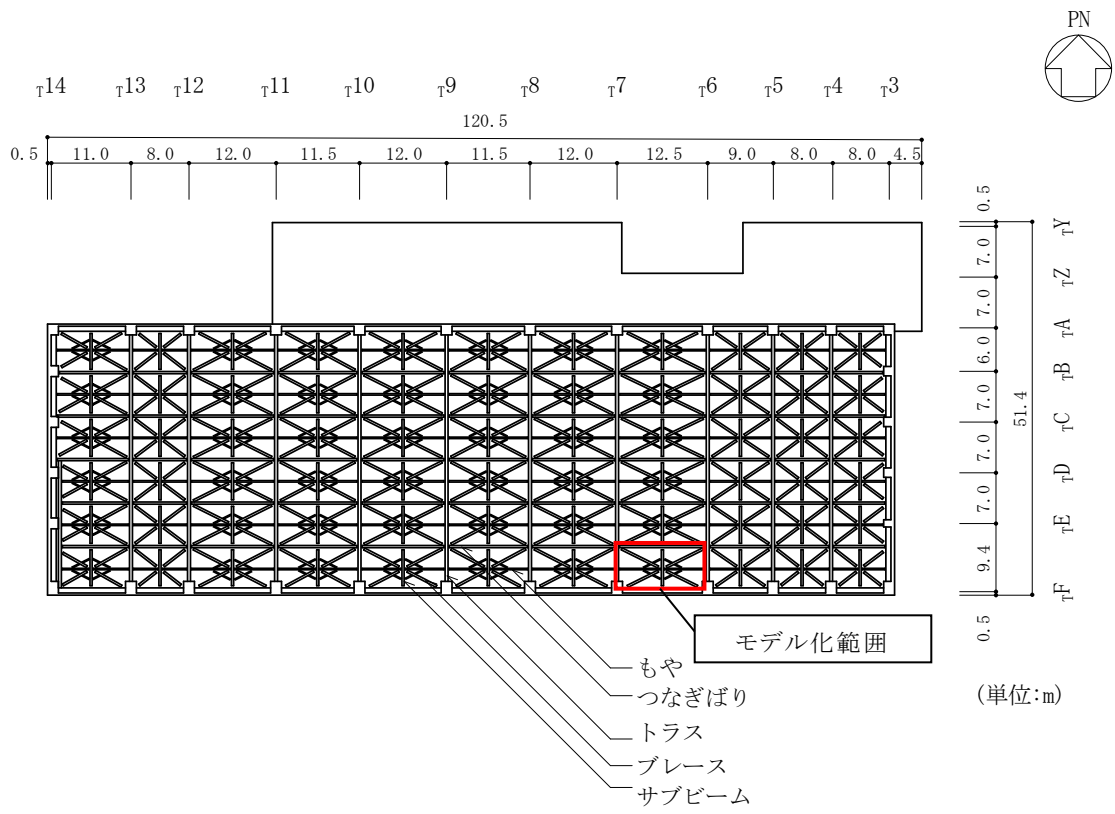
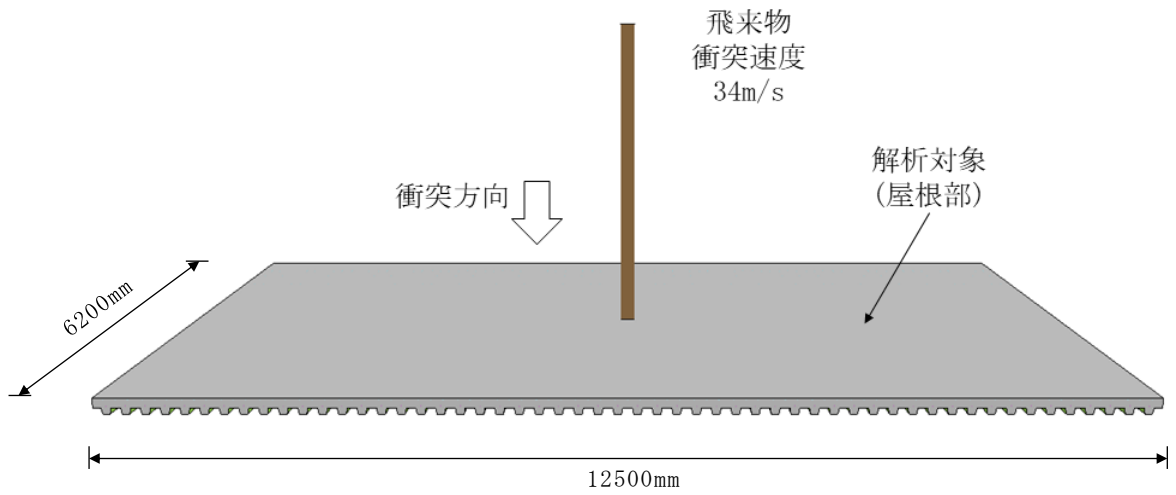
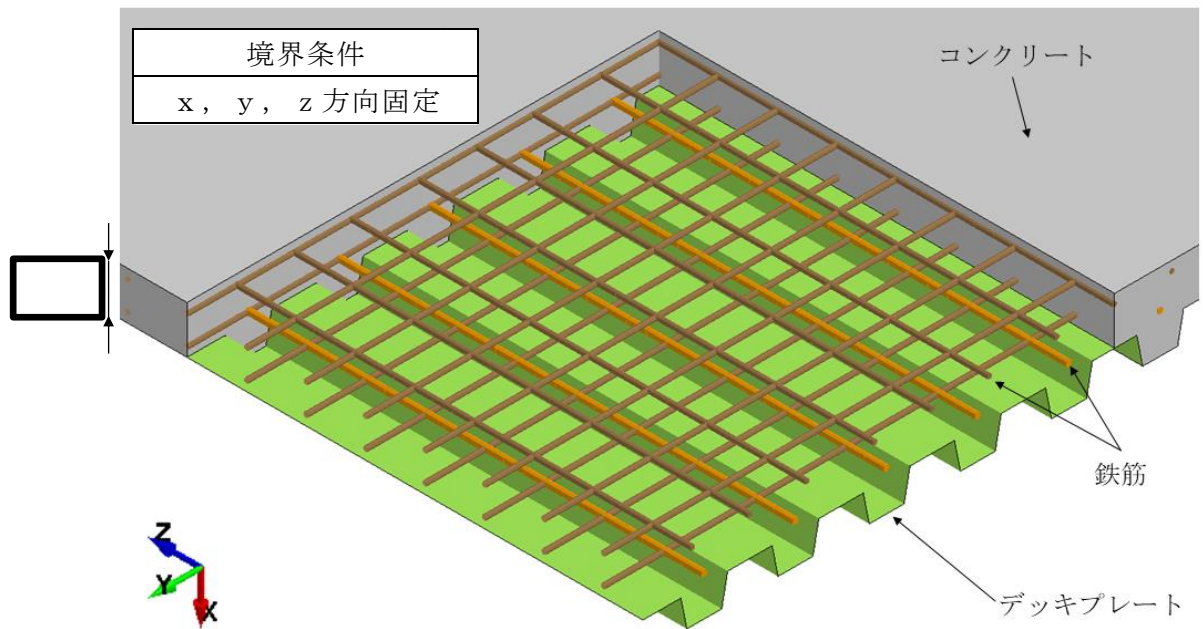


図 3-1 タービン建物屋根スラブのモデル化範囲



<概略図>



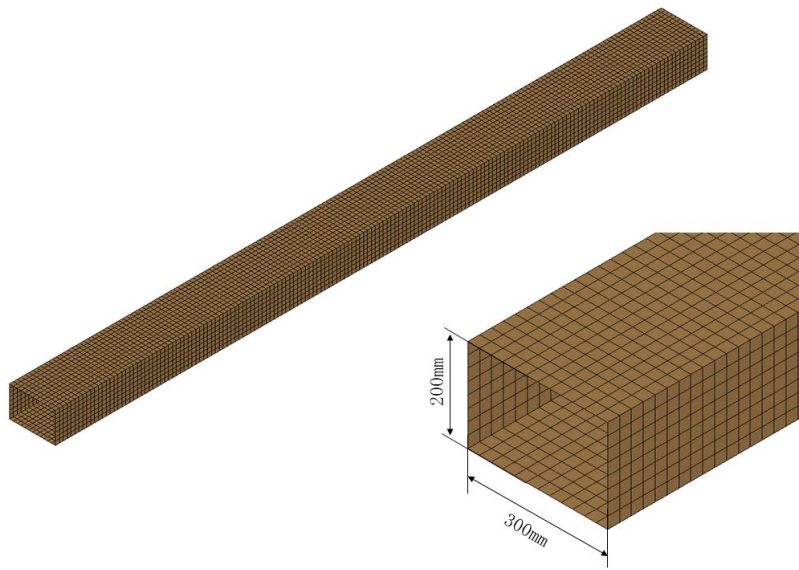
<詳細図>

図 3-2 タービン建物屋根スラブの解析モデル及び境界条件

(b) 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は，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。

設計飛来物の解析モデルを図 3-3 に示す。



設計飛来物断面：

t4.2 mm×200 mm×300 mm

全長：4.2m

質量：135kg

図 3-3 設計飛来物の解析モデル

b. 材料定数

コンクリート、鉄筋及びデッキプレートの材料定数をそれぞれ表 3-16～表 3-18 に示す。設計飛来物の材料定数については、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」の表 3-7 に示すとおり設定する。

表 3-16 コンクリートの材料定数

種類	設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
普通 コンクリート	23.5 (240kgf/cm ²)	2.25×10 ⁴	0.2	23

表 3-17 鉄筋の材料定数

種類	降伏応力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
SD35 (SD345 相当)	345	2.06×10 ⁵	0.3	77

表 3-18 デッキプレートの材料定数

種類	降伏応力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
SDP2	235	2.06×10 ⁵	0.3	77

c. 材料の非線形特性

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

鋼製部材である鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の応力-ひずみ曲線は、第1折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第2折れ点を「破断相当応力-破断相当ひずみ」とするトリリニア型とする。鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の降伏応力は、降伏応力に動的増加率を乗じた値、破断相当応力は、動的増加率を乗じた降伏応力及び引張強さを結ぶ線のうち、規格値の伸びを「3.4 許容限界」にて示した多軸性係数で除したひずみ（破断相当ひずみ）時に相当する応力とする。

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

鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、鉄筋及びデッキプレートの破断相当ひずみはTF=2.0とする。なお、設計飛来物の破断相当ひずみは、設計飛来物が破断することなく継続的に荷重がかかるよう配慮し、TF=1.0とする。

コンクリート、鉄筋、デッキプレート及び設計飛来物の強度をそれぞれ表3-19及び表3-20に示す。

表3-19 コンクリートの圧縮及び引張強度

設計基準強度 (N/mm ²)	材料モデル	
	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
23.5 (240kgf/cm ²)	29.4	2.66

表 3-20 鉄筋，デッキプレート及び設計飛来物の降伏及び破断強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm ²)	破断応力 (N/mm ²)	降伏応力 (N/mm ²)	破断応力 (N/mm ²)	破断相当 塑性ひずみ (-)
鉄筋	SD35 (SD345 相当)	345	490	380	497	0.084
デッキ プレート	SDP2	235	400	303	413	0.080
設計飛来物	SS400	245	400	316	532	0.188

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

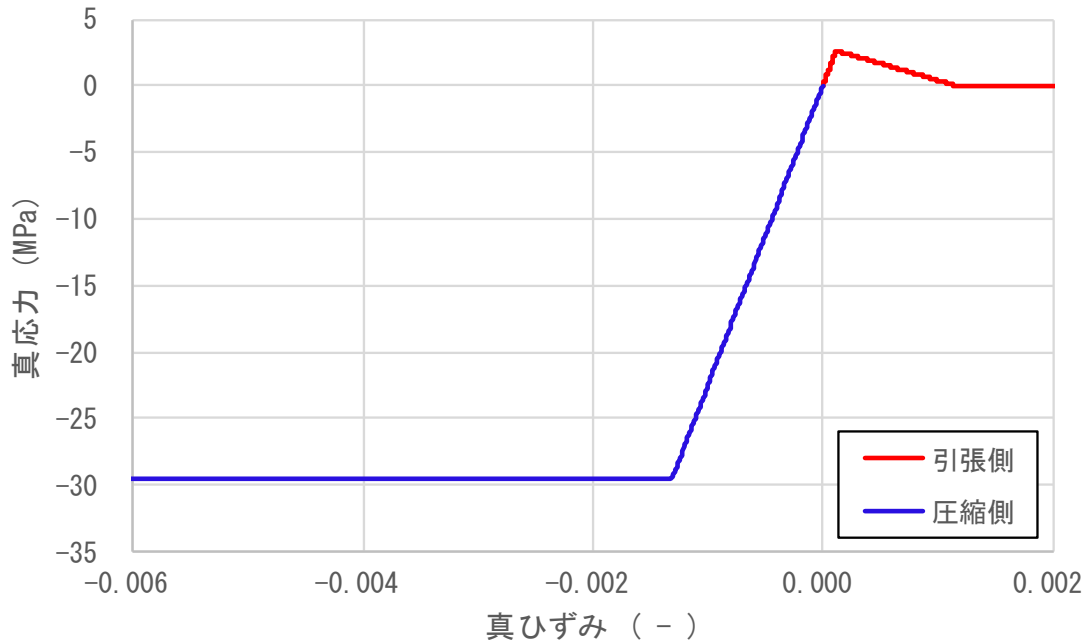


図 3-4 真応力－真ひずみ関係（コンクリート）

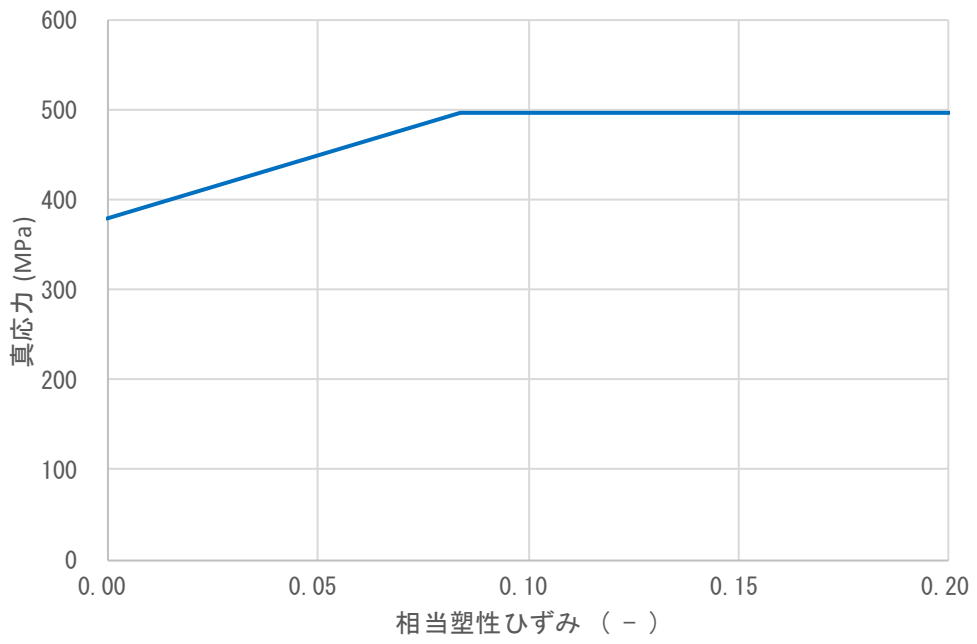


図 3-5 真応力-相当塑性ひずみ関係 (鉄筋)

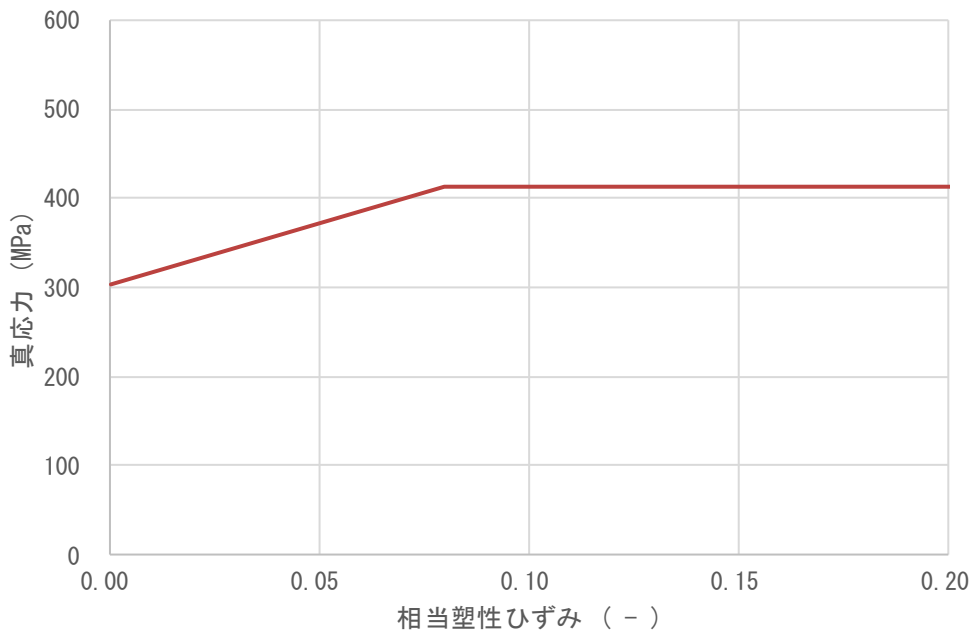


図 3-6 真応力-相当塑性ひずみ関係 (デッキプレート)

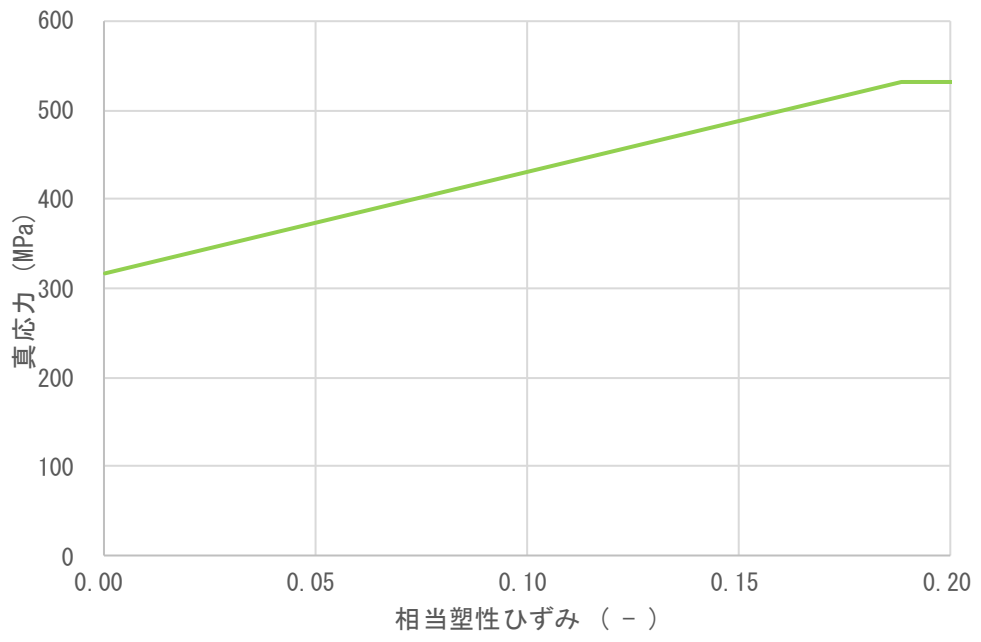


図 3-7 真応力-相当塑性ひずみ関係 (設計飛来物)

3.5.2 裏面剥離評価

(1) 式による評価

設計飛来物が各施設に衝突する場合の裏面剥離限界厚さを、NEI07-13に示されているChang式を用いて算定する。

Chang式を以下に示す。

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

(2) 屋根スラブに対する衝突解析

設計飛来物に対して、Chang式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについては、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブを代表箇所を選定し、設計飛来物による衝撃荷重 W_M 及び常時作用する荷重 F_d を考慮し、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。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

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。

衝突解析に使用する解析コード、解析モデル及び諸元、材料定数、並びに材料の非線形特性は「3.5.1 貫通評価」における設定に同じ。

(3) 外壁に対する衝突解析

設計飛来物に対してChang式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建物外壁及びタービン建物外壁については、厚さが最も小さいタービン建物外壁を代表箇所を選定し、風圧力による荷重 W_w 、設計飛来物による衝撃荷重 W_M 及び常時作用する荷重 F_d を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により裏面側の鉄筋に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。

衝突位置については、部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は、部材面に対して垂直とし、局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように、飛来物の面積が最小の面(0.3m×0.2m)が衝突するケースを選定した。

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。

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

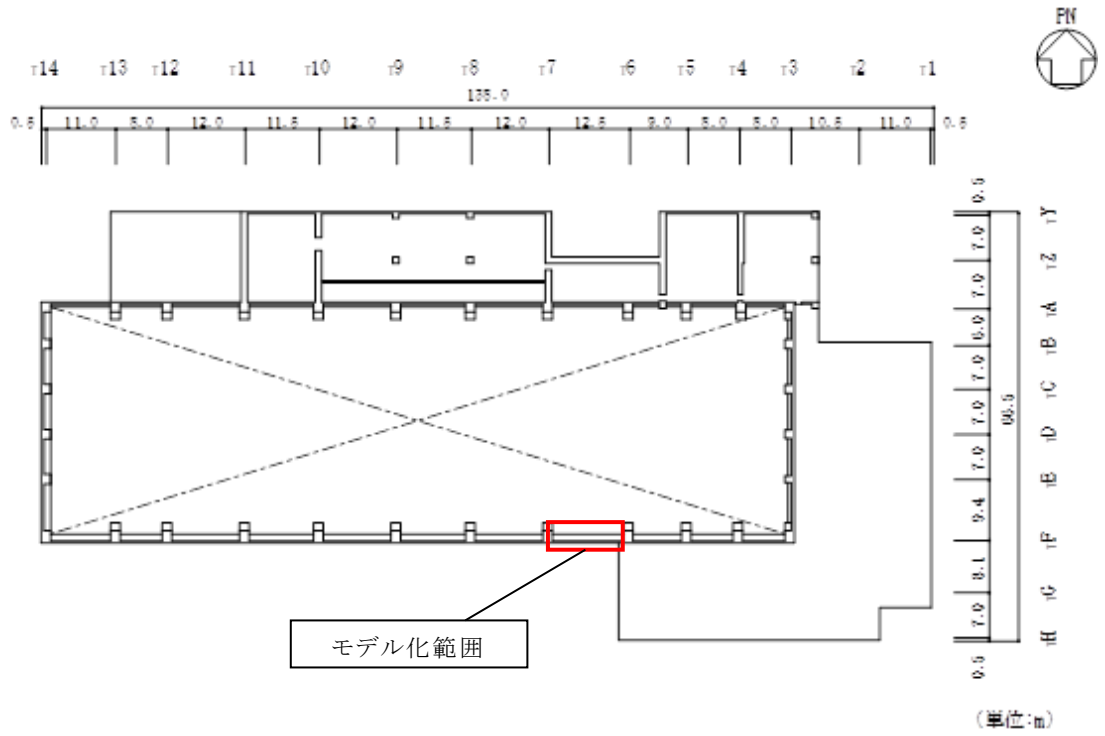
a. 解析モデル

(a) タービン建物外壁

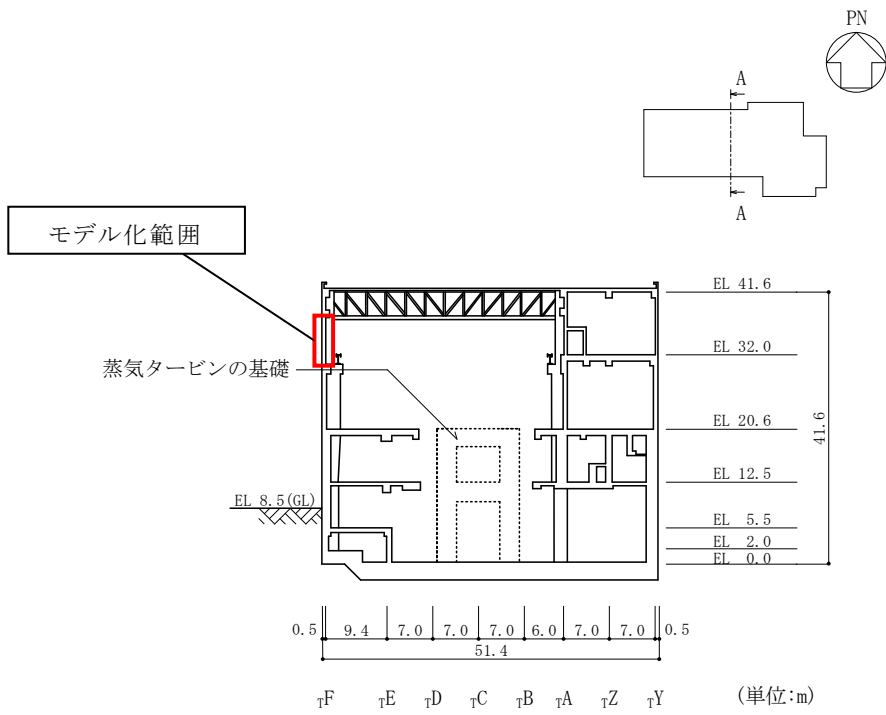
タービン建物外壁のモデル化範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、外壁を構成するコンクリート及び鉄筋とする。

コンクリートはソリッド要素でモデル化し、鉄筋をビーム要素でモデル化する。

タービン建物外壁のモデル化範囲を図 3-8 に、解析モデル及び境界条件を図 3-9 に示す。



(a) 平面図 (EL 32.0m)



(b) 断面図 (A-A断面, NS方向)

図 3-8 タービン建物外壁のモデル化範囲

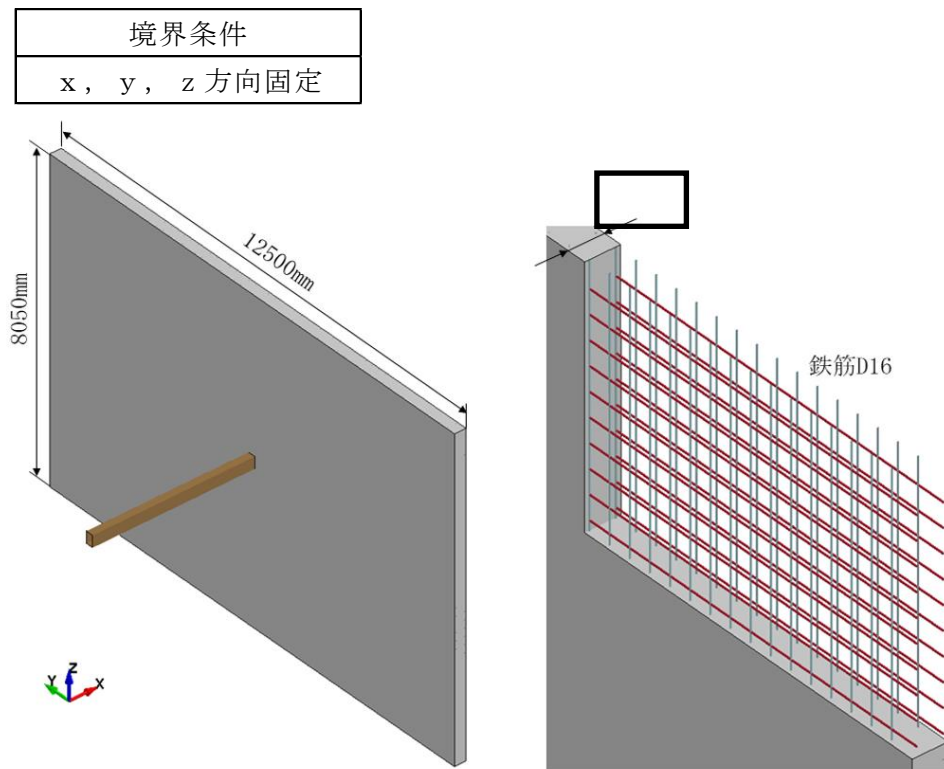


図 3-9 タービン建物外壁の解析モデル及び境界条件

(b) 設計飛来物

設計飛来物は、タービン建物屋根スラブの解析モデルと同じ鋼製材を用いる。

b. 使用材料及び材料定数

コンクリート及び鉄筋の材料物性については、タービン建物屋根スラブの解析に同じ。

3.5.3 変形評価

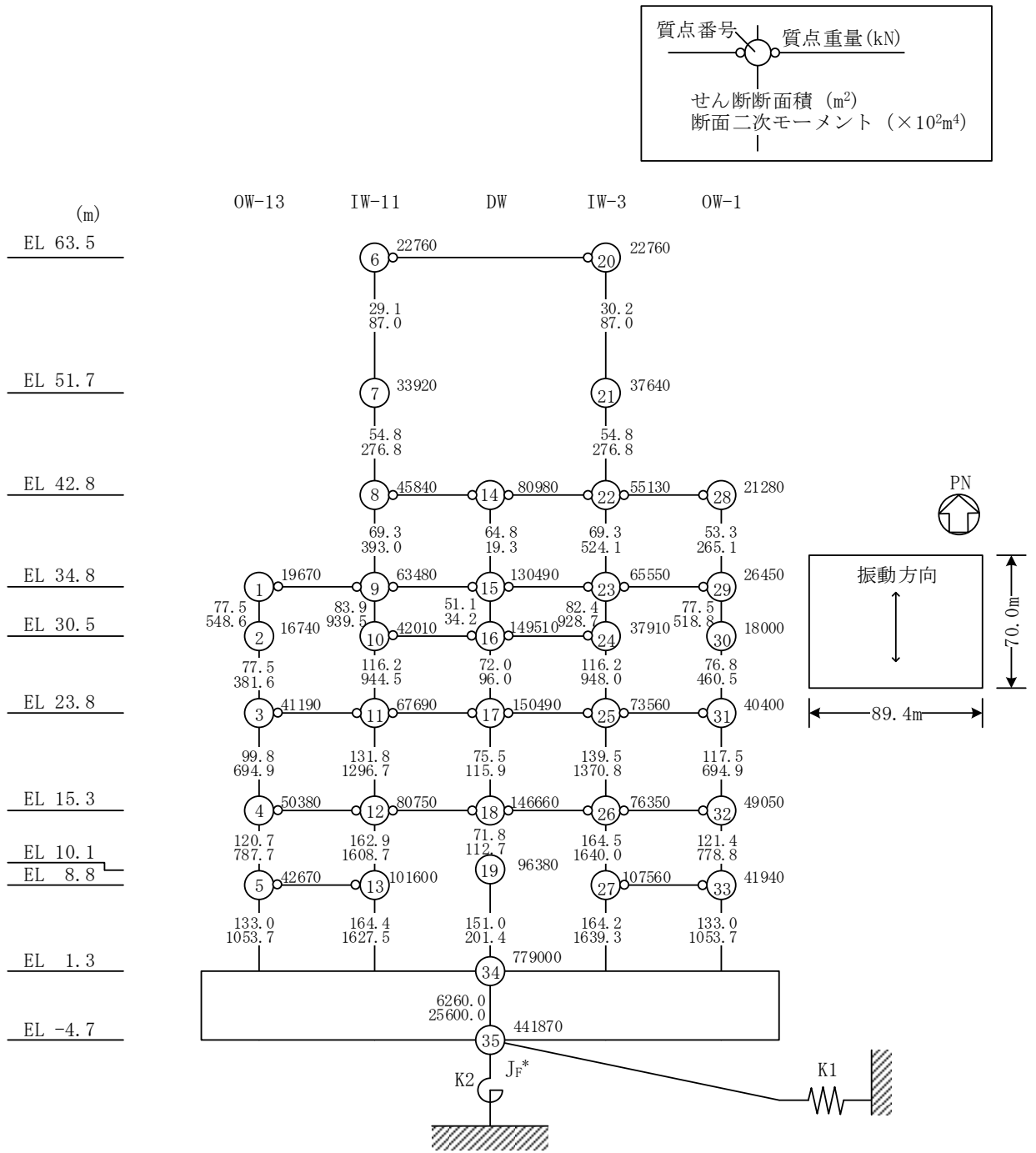
(1) 耐震壁

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁については，設計荷重を考慮し，地震応答解析モデルを用いた静的解析によりせん断ひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地震応答解析モデル図を図3-10～図3-13に， $\tau - \gamma$ 関係を表3-21～表3-28に示す。

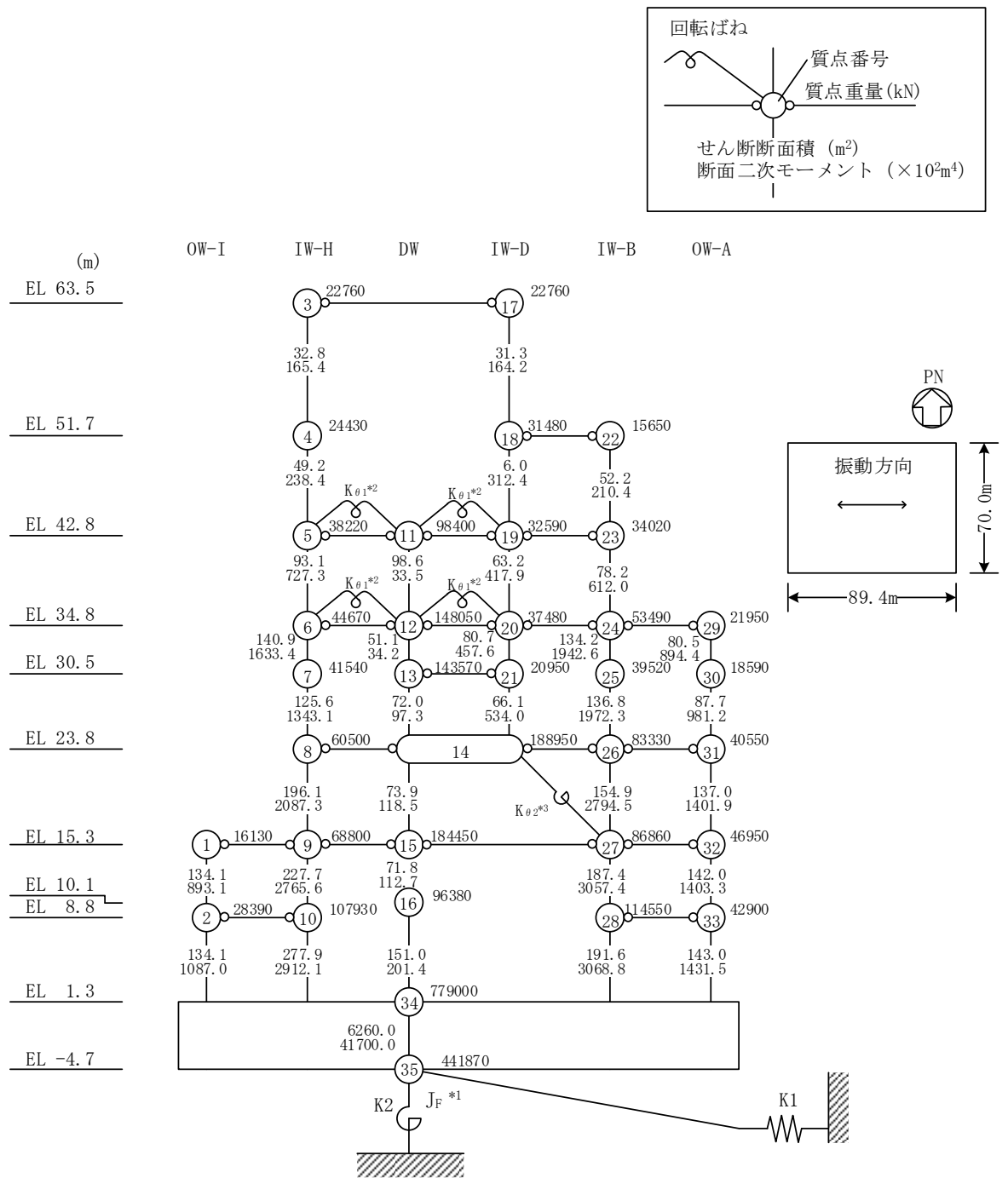
原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地震応答解析モデル図及び $\tau - \gamma$ 関係は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」，VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」，VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」と同じである。

静的解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。評価に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注記* : 回転慣性重量(12.25×10⁸kN・m²)

図 3-10(1) 原子炉建物の地震応答解析モデル図 (NS 方向)



注記*1：回転慣性重量(20.88×10⁸kN・m²)

*2：燃料プール壁の回転ばね(2.195×10⁹kN・m/rad)

*3：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね(135.2×10⁹kN・m/rad)

図 3-10(2) 原子炉建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)

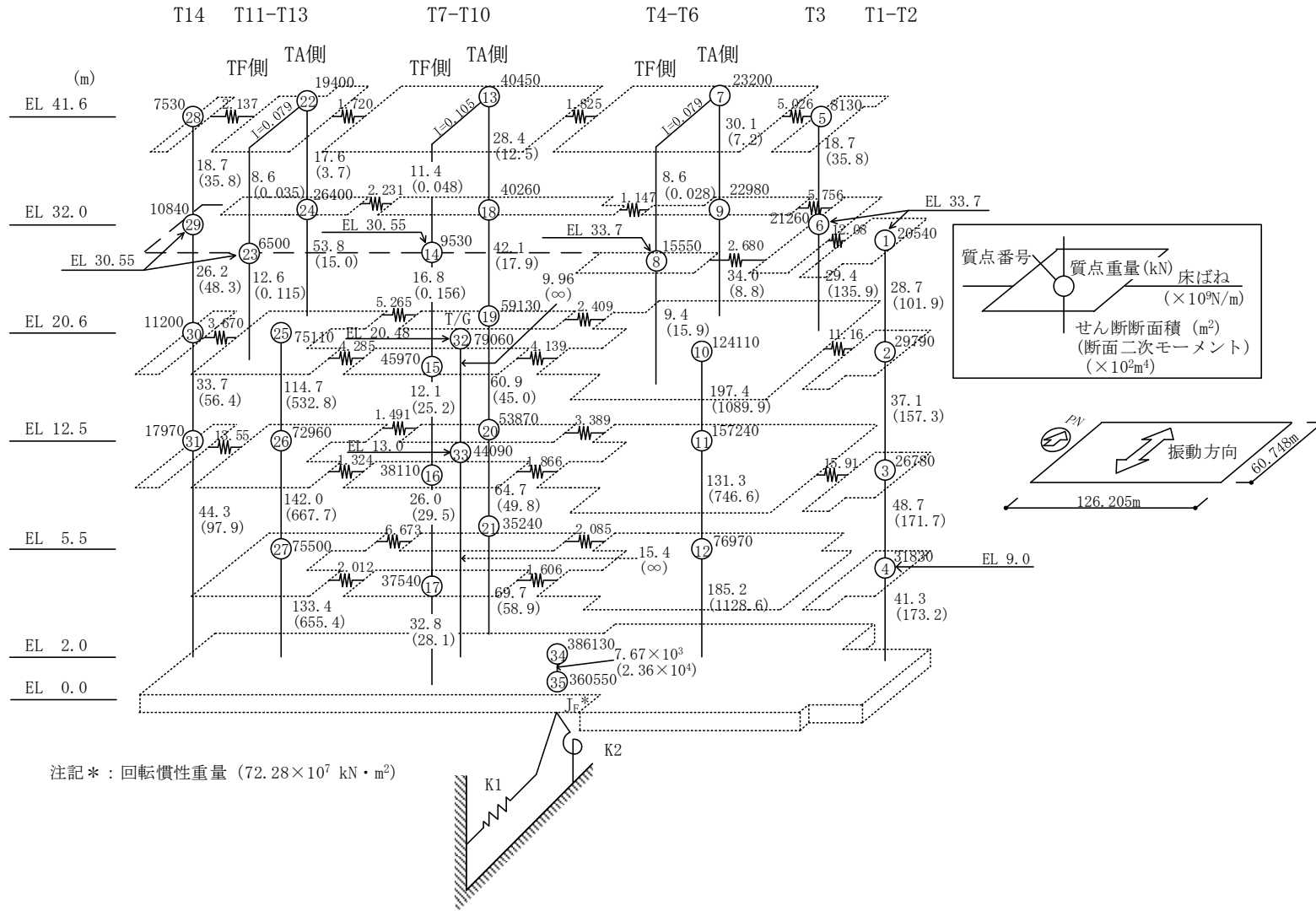
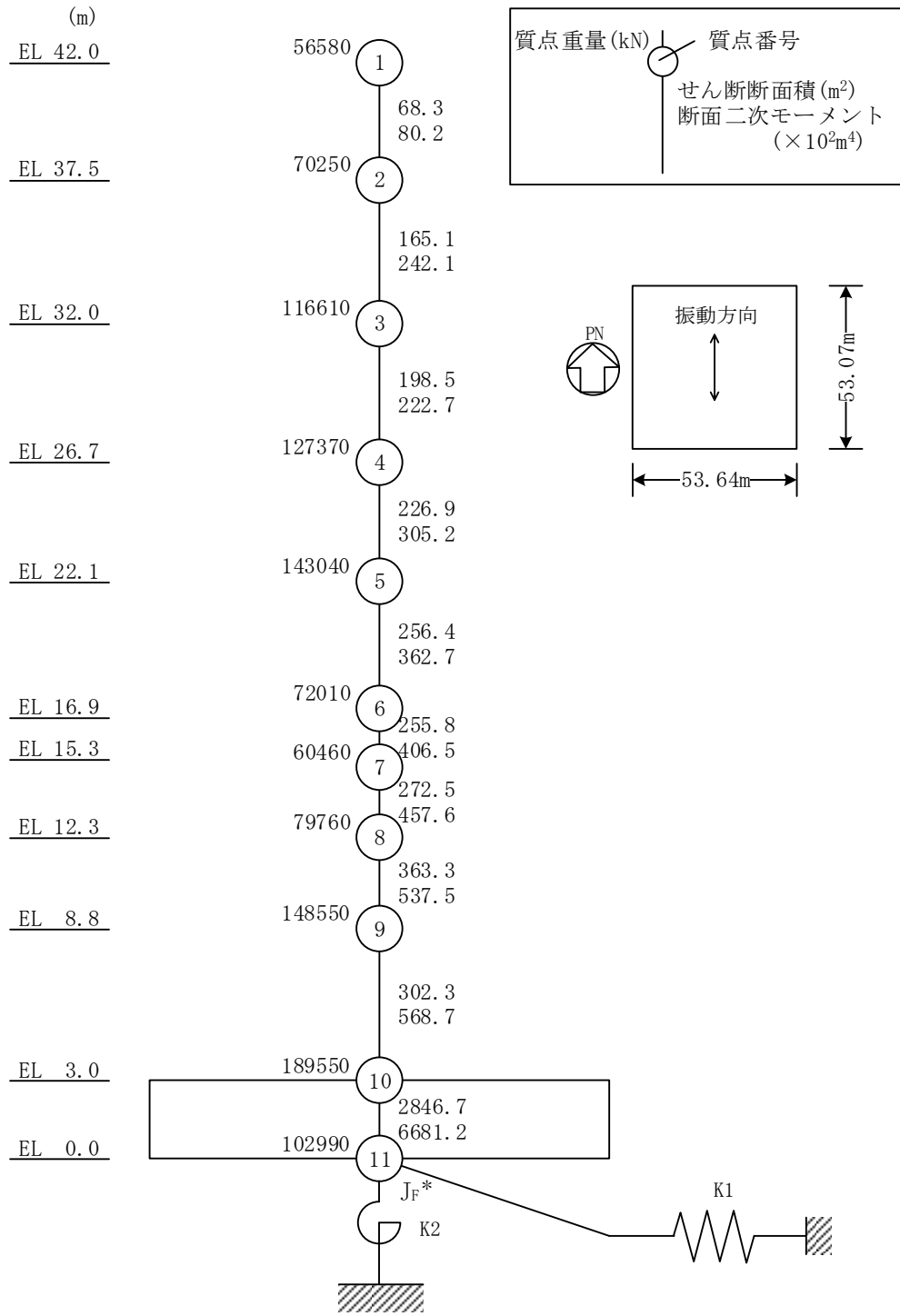
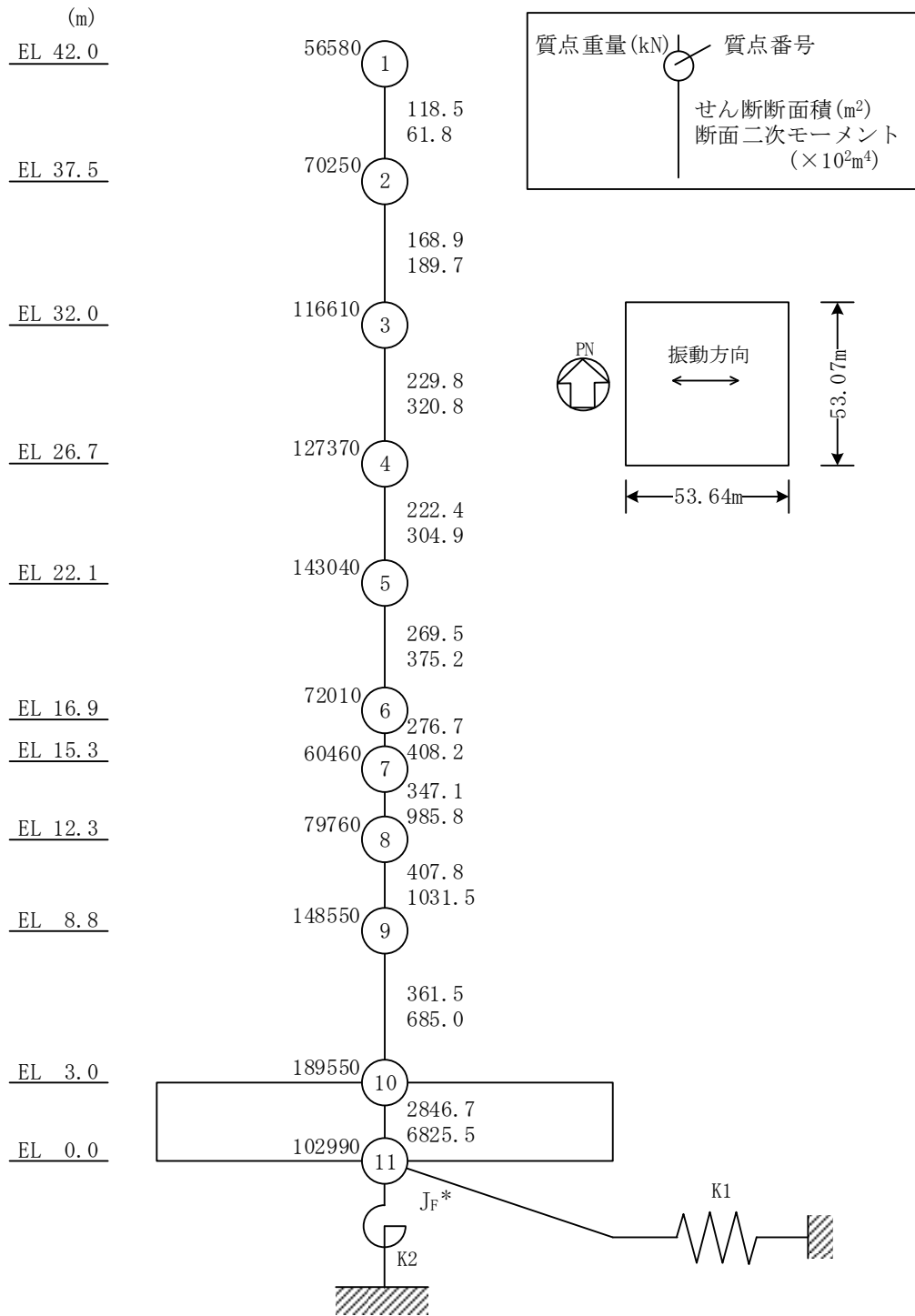


図 3-11(1) タービン建物の地震応答解析モデル図 (NS 方向)



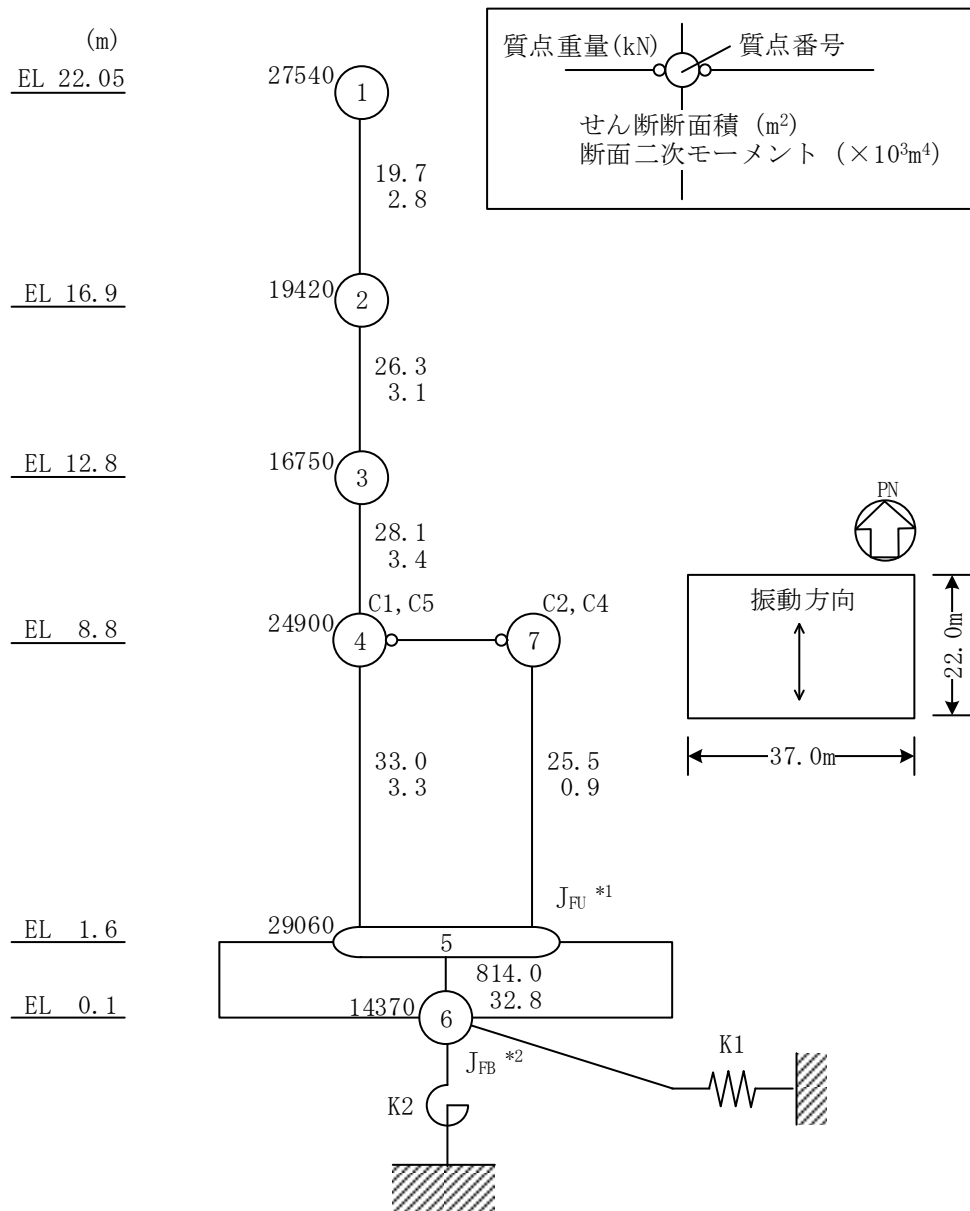
注記* : 回転慣性重量 (29.35 × 10⁷ kN · m²)

図 3-12(1) 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル図 (NS 方向)



注記* : 回転慣性重量 (31.61 × 10⁷ kN · m²)

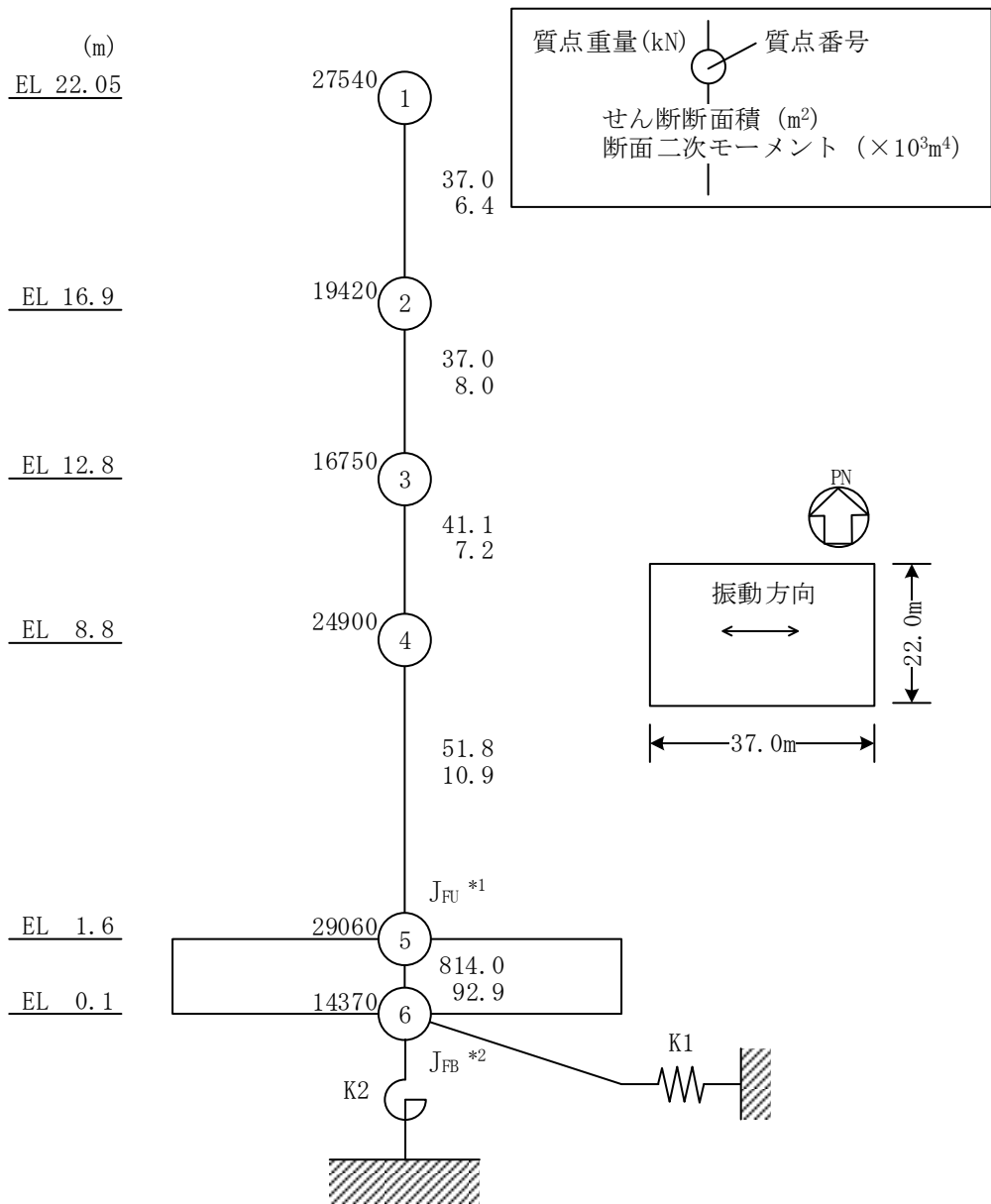
図 3-12(2) 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)



注記*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）(47.46×10⁵kN・m²)

*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）(5.79×10⁵kN・m²)

図 3-13(1) 制御室建物の地震応答解析モデル図 (NS方向)



注記 *1 : 回転慣性重量 (基礎スラブ上端) ($13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)
 *2 : 回転慣性重量 (基礎スラブ下端) ($1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

図 3-13(2) 制御室建物の地震応答解析モデル図 (EW方向)

表 3-21(1) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

OW-13

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
34.8~30.5	1.60	2.15	5.40	0.170	0.510	4.00
30.5~23.8	1.68	2.26	5.44	0.179	0.536	4.00
23.8~15.3	1.74	2.35	5.33	0.185	0.556	4.00
15.3~8.8	1.82	2.46	5.35	0.194	0.582	4.00
8.8~1.3	1.86	2.52	5.40	0.199	0.596	4.00

IW-11

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.5~51.7	1.69	2.28	5.20	0.180	0.539	4.00
51.7~42.8	1.73	2.34	5.28	0.185	0.554	4.00
42.8~34.8	1.75	2.36	5.39	0.186	0.558	4.00
34.8~30.5	1.79	2.41	5.43	0.190	0.571	4.00
30.5~23.8	1.94	2.62	5.23	0.207	0.620	4.00
23.8~15.3	1.96	2.65	5.17	0.209	0.627	4.00
15.3~8.8	2.06	2.78	5.22	0.220	0.659	4.00
8.8~1.3	2.12	2.86	5.25	0.226	0.678	4.00

DW

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
42.8~34.8	1.62	2.19	5.68	0.173	0.519	4.00
34.8~30.5	1.83	2.47	5.56	0.195	0.584	4.00
30.5~23.8	2.05	2.76	5.43	0.218	0.655	4.00
23.8~15.3	2.31	3.12	5.91	0.247	0.740	4.00
15.3~10.1	2.44	3.29	6.34	0.260	0.780	4.00
10.1~1.3	2.35	3.18	5.97	0.251	0.753	4.00

表 3-21(2) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

IW-3

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.5~51.7	1.68	2.26	5.19	0.179	0.536	4.00
51.7~42.8	1.76	2.37	5.30	0.187	0.561	4.00
42.8~34.8	1.75	2.36	5.39	0.187	0.560	4.00
34.8~30.5	1.91	2.57	5.49	0.203	0.610	4.00
30.5~23.8	1.94	2.62	5.23	0.207	0.620	4.00
23.8~15.3	1.99	2.68	5.20	0.212	0.635	4.00
15.3~8.8	2.04	2.76	5.19	0.218	0.653	4.00
8.8~1.3	2.13	2.87	5.24	0.227	0.681	4.00

OW-1

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
42.8~34.8	1.63	2.21	5.36	0.174	0.523	4.00
34.8~30.5	1.70	2.29	5.45	0.181	0.543	4.00
30.5~23.8	1.78	2.40	5.59	0.190	0.569	4.00
23.8~15.3	1.84	2.48	5.34	0.196	0.587	4.00
15.3~8.8	1.87	2.52	5.29	0.199	0.597	4.00
8.8~1.3	1.91	2.57	5.36	0.203	0.610	4.00

表 3-22(1) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

OW-I

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
15.3~8.8	1.58	2.13	5.27	0.168	0.505	4.00
8.8~1.3	1.64	2.22	5.46	0.175	0.526	4.00

IW-H

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.5~51.7	1.72	2.32	5.26	0.183	0.549	4.00
51.7~42.8	1.77	2.38	5.34	0.188	0.565	4.00
42.8~34.8	1.78	2.40	5.43	0.189	0.568	4.00
34.8~30.5	1.85	2.49	5.40	0.197	0.590	4.00
30.5~23.8	1.91	2.57	5.43	0.203	0.610	4.00
23.8~15.3	1.91	2.58	5.63	0.203	0.610	4.00
15.3~8.8	1.97	2.66	5.36	0.210	0.630	4.00
8.8~1.3	2.05	2.77	5.36	0.219	0.656	4.00

DW

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
42.8~34.8	1.62	2.19	5.85	0.173	0.519	4.00
34.8~30.5	1.83	2.47	5.92	0.195	0.584	4.00
30.5~23.8	2.05	2.76	5.71	0.218	0.655	4.00
23.8~15.3	2.31	3.12	6.01	0.247	0.740	4.00
15.3~10.1	2.44	3.29	6.34	0.260	0.780	4.00
10.1~1.3	2.35	3.18	5.97	0.251	0.753	4.00

表 3-22(2) 原子炉建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

IW-D

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.5~51.7	1.71	2.31	5.25	0.182	0.547	4.00
51.7~42.8	—*					
42.8~34.8	1.81	2.45	5.06	0.193	0.580	4.00
34.8~30.5	1.93	2.61	5.09	0.206	0.619	4.00
30.5~23.8	2.09	2.82	5.37	0.223	0.669	4.00

IW-B

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
51.7~42.8	1.64	2.21	5.39	0.174	0.523	4.00
42.8~34.8	1.74	2.35	5.47	0.185	0.556	4.00
34.8~30.5	1.74	2.35	5.18	0.185	0.556	4.00
30.5~23.8	1.83	2.47	5.22	0.195	0.584	4.00
23.8~15.3	1.90	2.56	5.43	0.202	0.607	4.00
15.3~8.8	2.00	2.70	5.19	0.213	0.640	4.00
8.8~1.3	2.09	2.82	5.20	0.223	0.668	4.00

OW-A

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
34.8~30.5	1.62	2.18	5.24	0.172	0.517	4.00
30.5~23.8	1.68	2.27	5.14	0.179	0.538	4.00
23.8~15.3	1.74	2.35	5.39	0.185	0.556	4.00
15.3~8.8	1.85	2.50	5.33	0.198	0.593	4.00
8.8~1.3	1.95	2.64	5.38	0.208	0.625	4.00

注記* : 線形部材

表 3-23(1) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T1-T2

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~20.6	1.61	2.17	4.66	0.171	0.514	4.00
20.6~12.5	1.69	2.28	4.55	0.180	0.540	4.00
12.5~9.0	1.74	2.35	4.67	0.186	0.557	4.00
9.0~2.0	1.82	2.45	4.60	0.194	0.581	4.00

T3

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~33.7	1.64	2.21	5.10	0.175	0.524	4.00
33.7~20.6	1.80	2.43	4.88	0.192	0.576	4.00

T4-T6 (TA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~32.0	1.67	2.25	3.95	0.178	0.534	4.00
32.0~20.6	1.86	2.51	3.73	0.198	0.595	4.00

T4-T6 (TF側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~33.7	—*					
33.7~20.6	1.64	2.21	4.07	0.174	0.523	4.00

T3-T6

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
20.6~12.5	1.74	2.34	4.77	0.185	0.555	4.00
12.5~5.5	1.93	2.60	4.85	0.205	0.616	4.00
5.5~2.0	1.95	2.63	4.84	0.208	0.624	4.00

注記* : 線形部材

表 3-23(2) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T7-T10(TA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~32.0	1.69	2.28	4.06	0.180	0.539	4.00
32.0~20.6	2.00	2.70	4.18	0.213	0.640	4.00
20.6~12.5	1.95	2.64	3.60	0.208	0.625	4.00
12.5~5.5	2.06	2.78	3.69	0.220	0.659	4.00
5.5~2.0	2.14	2.89	3.79	0.228	0.683	4.00

T7-T10(TF側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~30.55	—*					
30.55~20.6	—*					
20.6~12.5	1.56	2.10	4.07	0.166	0.498	4.00
12.5~5.5	1.72	2.32	3.81	0.183	0.549	4.00
5.5~2.0	1.80	2.42	3.61	0.191	0.574	4.00

T11-T13(TA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~32.0	1.69	2.28	4.17	0.180	0.539	4.00
32.0~20.6	1.68	2.27	3.84	0.179	0.537	4.00

T11-T13(TF側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~30.55	—*					
30.55~20.6	—*					

注記* : 線形部材

表 3-23(3) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T11-T13

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
20.6~12.5	1.73	2.33	4.66	0.184	0.552	4.00
12.5~5.5	1.82	2.45	4.46	0.193	0.580	4.00
5.5~2.0	1.96	2.64	4.47	0.209	0.626	4.00

T14

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~30.55	1.67	2.26	5.01	0.178	0.535	4.00
30.55~20.6	1.78	2.41	4.31	0.190	0.570	4.00
20.6~12.5	1.83	2.48	3.98	0.195	0.586	4.00
12.5~2.0	1.88	2.53	4.50	0.200	0.600	4.00

表 3-24(1) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW方向)

TX-TZ

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~32.0	1.69	2.27	4.95	0.180	0.539	4.00

TX-TZ (T14側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
32.0~20.6	1.82	2.46	5.49	0.194	0.583	4.00
20.6~12.5	1.76	2.37	5.00	0.187	0.561	4.00
12.5~5.5	1.84	2.48	4.93	0.196	0.587	4.00

TX-TZ (T1側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
32.0~20.6	1.66	2.24	5.14	0.177	0.531	4.00
20.6~8.8	1.90	2.56	4.13	0.202	0.606	4.00
8.8~5.5	2.06	2.78	4.29	0.220	0.659	4.00

TX-TZ

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
5.5~2.0	1.91	2.57	5.09	0.203	0.609	4.00

TA-TC

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~32.0	1.89	2.55	5.06	0.201	0.604	4.00
32.0~20.6	1.94	2.62	5.25	0.207	0.620	4.00
20.6~12.5	1.94	2.62	5.00	0.207	0.621	4.00

表 3-24(2) タービン建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

TA-TC(T14側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
12.5~5.5	2.45	3.31	4.49	0.261	0.783	4.00
5.5~2.0	2.47	3.34	4.54	0.263	0.790	4.00

TA-TC(T1側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
12.5~5.5	1.93	2.61	5.07	0.206	0.617	4.00
5.5~2.0	2.03	2.75	4.91	0.217	0.650	4.00

TC-TF

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
41.6~30.55	1.85	2.50	5.04	0.197	0.592	4.00
30.55~20.6	1.89	2.56	5.12	0.202	0.605	4.00
20.6~12.5	1.83	2.48	5.01	0.195	0.586	4.00
12.5~5.5	1.92	2.59	5.11	0.204	0.612	4.00
5.5~2.0	2.18	2.94	5.24	0.232	0.695	4.00

TG-TH

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~20.6	1.65	2.23	4.91	0.176	0.528	4.00
20.6~12.5	1.71	2.31	4.75	0.182	0.546	4.00
12.5~5.5	1.90	2.56	4.75	0.202	0.607	4.00
5.5~2.0	2.07	2.80	4.80	0.221	0.662	4.00

表 3-25 廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
42.0~37.5	1.62	2.19	4.58	0.173	0.519	4.00
37.5~32.0	1.67	2.26	4.53	0.178	0.535	4.00
32.0~26.7	1.79	2.42	4.31	0.191	0.573	4.00
26.7~22.1	1.89	2.55	4.34	0.201	0.604	4.00
22.1~16.9	1.95	2.63	4.42	0.208	0.624	4.00
16.9~15.3	2.00	2.69	4.43	0.213	0.638	4.00
15.3~12.3	1.99	2.69	4.45	0.212	0.637	4.00
12.3~8.8	1.97	2.67	4.27	0.210	0.631	4.00
8.8~3.0	2.03	2.74	4.17	0.216	0.648	4.00

表 3-26 廃棄物処理建物のせん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
42.0~37.5	1.61	2.17	4.64	0.171	0.514	4.00
37.5~32.0	1.67	2.26	4.33	0.178	0.535	4.00
32.0~26.7	1.79	2.42	4.30	0.191	0.573	4.00
26.7~22.1	1.89	2.55	4.35	0.202	0.605	4.00
22.1~16.9	1.98	2.67	4.37	0.211	0.633	4.00
16.9~15.3	2.10	2.84	4.43	0.224	0.673	4.00
15.3~12.3	2.03	2.74	4.54	0.216	0.649	4.00
12.3~8.8	1.97	2.66	4.28	0.210	0.629	4.00
8.8~3.0	2.06	2.78	4.34	0.220	0.659	4.00

表 3-27 制御室建物のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）（N S 方向）

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1.70	2.29	4.72	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.83	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.69	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6 (C1, C5)	1.83	2.47	4.16	0.199	0.597	4.00
8.8~1.6 (C2, C4)	1.83	2.47	3.82	0.199	0.597	4.00

表 3-28 制御室建物のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）（E W 方向）

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1.70	2.29	4.74	0.185	0.554	4.00
16.9~12.8	1.80	2.44	4.80	0.196	0.589	4.00
12.8~8.8	1.88	2.53	4.83	0.204	0.613	4.00
8.8~1.6	1.83	2.47	4.45	0.199	0.597	4.00

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、建物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、建物の内部から外部に作用し、建物の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。

また、設計飛来物による衝撃荷重 W_M は、各建物の最上部に加える。ここで、地震応答解析モデルが多軸モデルの場合には、各軸の最上部の質点に W_M を加え評価を行うものとし、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製材の衝撃荷重 $W_M=1760\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

(2) 屋根スラブ

a. スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブについて、風圧力による荷重 W_w 及び気圧差による荷重 W_p によってスタッドに生じる引張力を算定し、許容限界を超えないことを確認する。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。

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、スタッドに作用する荷重の概要を図3-14に示す。

スタッド1本当たりの発生引張力

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

ここで、 $Q = \frac{\omega_T (L_1 + L_2)}{2}$

n : スタッドの本数 (本)

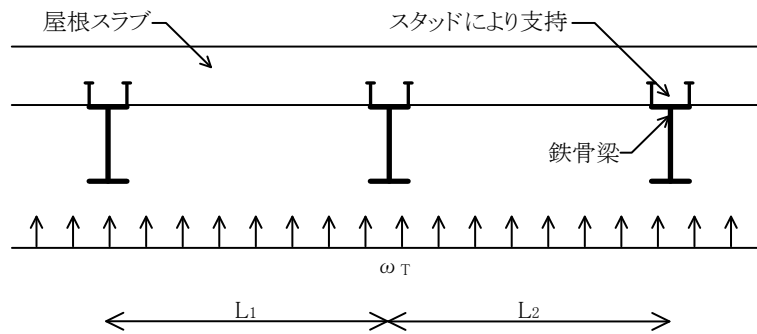


図3-14 屋根スラブの評価方法

スタッドの許容引張力は、「各種合成構造設計指針 同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」に基づき、スタッドの降伏により定まる場合の許容引張力 p_{a1} 、定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合の許容引張力 p_{a2} 及びコンクリートの支圧破壊により定まる場合の許容引張力 p_{a3} のうち、最も小さい値とする。スタッドの許容引張力 p_a の算定式を以下に示す。

$$p_a = \text{Min} \{ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} \}$$

ここで、

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot a_c \cdot a$$

$$p_{a2} = \Phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

$$p_{a3} = f_n \cdot A_0$$

b. 屋根スラブ

タービン建物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 により屋根スラブに発生する曲げモーメント及びせん断力を算定し、許容限界を超えないことを確認する。評価は、屋根スラブを支持する梁位置を支持点とした二連梁として行う。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 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3-15に示す。

屋根スラブに発生する単位幅当たりの曲げモーメント

$$M = \text{Max} \{ M_1, M_2 \}$$

ここで、

$$M_1 = \frac{9}{128} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L^2$$

屋根スラブに発生する単位幅当たりのせん断力

$$Q = \frac{5}{4} \cdot (\omega_T - \omega_d) \cdot L$$

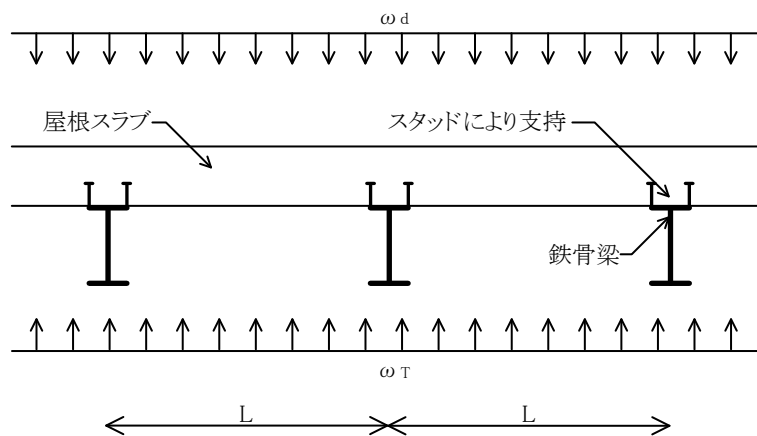


図3-15 屋根スラブの評価方法

許容限界である屋根スラブの短期許容応力度は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」に基づき算出する。

3.5.4 応力評価

気圧差による荷重 (W_p) によりカンヌキに発生する応力度を算出し、許容限界を超えないことを確認する。

(1) カンヌキに生じる荷重

カンヌキに生じる荷重は気圧差による荷重 (W_p) をカンヌキで負担した場合に発生する反力 R から算定する。

カンヌキに生じる荷重を図 3-16 に示す。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A_1$$

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

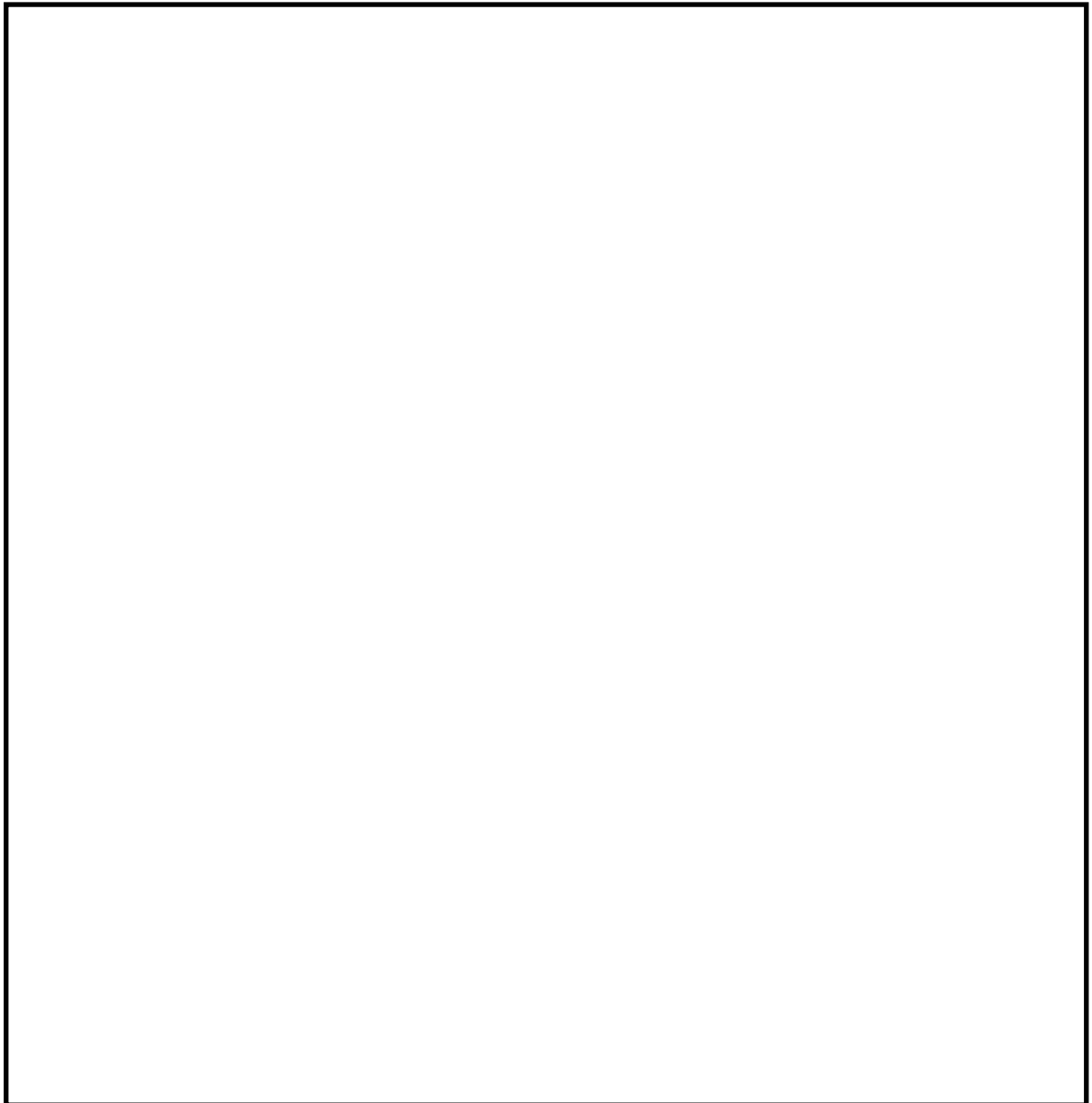


図 3-16 カンヌキに生じる荷重

カンヌキの詳細図及びカンヌキの評価に用いるモデルの概念図を図 3-17 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。

$$M_k = R \cdot L$$

$$Q_k = R$$

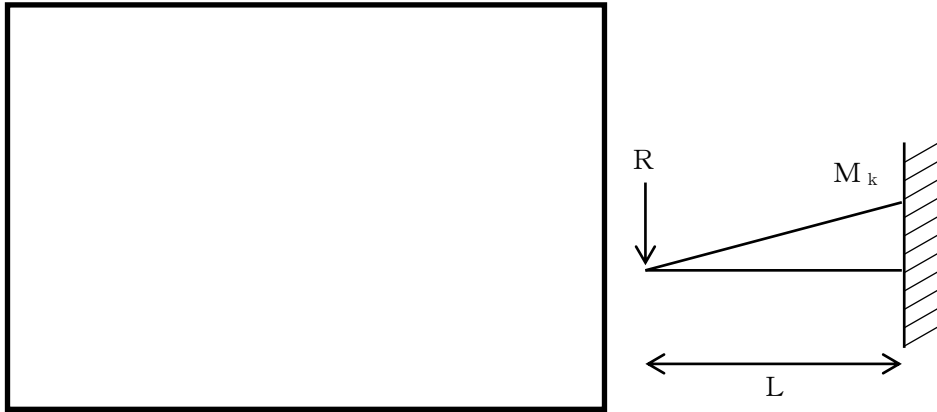


図 3-17 カンヌキの詳細図及びモデルの概念図

(2) 断面検定

カンヌキに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。カンヌキの許容限界は表 3-14 のとおり。

カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_k}{Z}$$

カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{Q_k}{A_2}$$

4. 評価条件

4.1 貫通評価

4.1.1 式による評価（鉄筋コンクリート部）

貫通評価において、各施設の鉄筋コンクリート部の壁、スラブ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条件

記号	単位	記号の説明		数値
D	kgf/cm ³	設計飛来物直径密度 ($D = W/d^3$)		6.39×10^{-3}
d	cm	設計飛来物直径		27.6
F _c	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度		240* ¹
				225* ²
				210* ³
				244* ⁴
N	—	設計飛来物の形状係数		1.14
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度（水平）	51
		屋根スラブ	設計飛来物の衝突速度（鉛直）	34
W	kgf	設計飛来物重量		135
α _e	—	低減係数		1.0

注記*1：原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物の値

*2：制御室建物の値

*3：ディーゼル燃料貯蔵タンク室の値

*4：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の値（コンクリートの設計基準強度 24N/mm² より換算）

4.1.2 タービン建物屋根スラブに対する衝突解析

タービン建物屋根スラブの貫通評価における衝突解析は、屋根スラブの最大変形が生じると想定される評価対象の中央部に衝突するケースを設定する。

解析ケースを表 4-2 に、解析ケース図を図 4-1 に示す。

表 4-2 解析ケース

評価対象	衝突位置	設計飛来物の衝突方向	対象部材
タービン建物 屋根スラブ	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート () 鉄筋上端筋 EW 方向 D13@150, NS 方向 D13@150 鉄筋下端筋 EW 方向 D13@150, NS 方向 D16@230 デッキプレート (t=2.3mm)

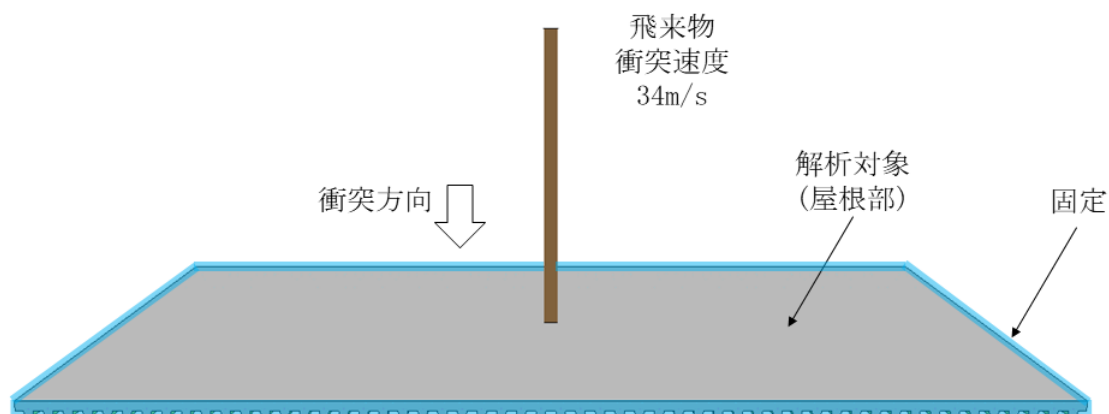


図 4-1 解析ケース図

4.1.3 扉及び鋼製蓋

評価条件については、「3. 強度評価方法」に示すとおり設定する。

4.2 裏面剥離評価

4.2.1 式による評価

裏面剥離評価において、各施設の壁、スラブの裏面剥離評価式に用いる条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 裏面剥離評価式に用いる条件

記号	単位	記号の説明		数値
d	cm	設計飛来物直径		27.6
f_c'	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度		240* ¹
				225* ²
				210* ³
				244* ⁴
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度（水平）	51
		屋根スラブ	設計飛来物の衝突速度（鉛直）	34
V_0	m/s	飛来物基準速度		60.96
W	kgf	設計飛来物重量		135
α_s	—	低減係数		1.0

注記*1：原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物の値

*2：制御室建物の値

*3：ディーゼル燃料貯蔵タンク室の値


*4：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の値（コンクリートの設計基準強度 24N/mm² より換算）

4.2.2 タービン建物外壁に対する衝突解析

タービン建物外壁の裏面剥離評価における衝突解析は、外壁の最大変形が生じると想定される評価対象の中央部に衝突するケースを設定する。

解析ケースを表 4-4 に、解析ケース図を図 4-2 に示す。

表 4-4 解析ケース

評価対象	衝突位置	設計飛来物の衝突方向	対象部材
タービン建物 外壁	中央部	水平：縦	躯体コンクリート () 鉄筋 (D16@200)

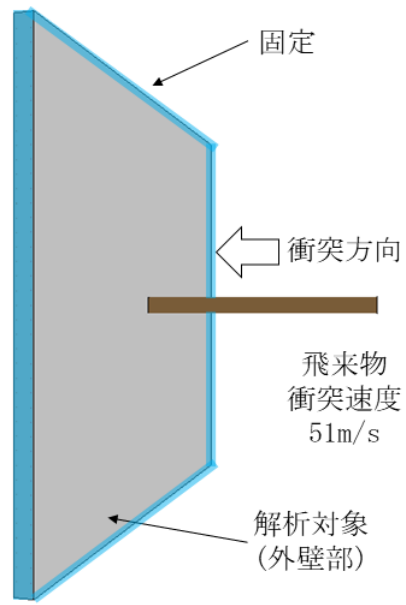


図 4-2 解析ケース図

- 4.2.3 タービン建物屋根スラブに対する衝突解析
解析ケースは貫通評価に同じ。

4.3 変形評価

4.3.1 耐震壁

原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の耐震壁の変形評価に用いる条件を表 4-5～表 4-9 に示す。

表 4-5 設計飛来物による衝撃荷重の評価条件

記号	定義	数値	単位
L ₁	設計飛来物の最も短い辺の全長	0.2	m
m	設計飛来物質量	135	kg
V	設計飛来物の衝突速度（水平）	51	m/s

表 4-6 原子炉建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	
			N S 方向	E W 方向
57.60～65.035	風上	0.8	400	297
	風下	0.4		
47.25～57.60	風上	0.8	557	489
	風下	0.4		
38.80～47.25	風上	0.8	610	477
	風下	0.4		
32.65～38.80	風上	0.8	514	391
	風下	0.4		
27.15～32.65	風上	0.8	492	355
	風下	0.4		
19.55～27.15	風上	0.8	679	491
	風下	0.4		
15.00～19.55	風上	0.8	407	296
	風下	0.4		

表 4-7 タービン建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)			
			N S 方向		E W 方向	
			北側	南側	東側	西側
36.80~42.96	風上	0.8	741	773	334	334
	風下	0.4				
26.30~36.80	風上	0.8	1405	1405	666	666
	風下	0.4				
16.55~26.30	風上	0.8	1362	1329	691	661
	風下	0.4				
9.00~16.55	風上	0.8	1019	1016	521	544
	風下	0.4				
8.50~9.00	風上	0.8	92	95	28	36
	風下	0.4				

表 4-8 廃棄物処理建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	
			N S 方向	E W 方向
39.75~47.117	風上	0.8	261	231
	風下	0.4		
34.75~39.75	風上	0.8	285	275
	風下	0.4		
29.35~34.75	風上	0.8	308	297
	風下	0.4		
24.40~29.35	風上	0.8	282	272
	風下	0.4		
19.50~24.40	風上	0.8	279	288
	風下	0.4		
16.10~19.50	風上	0.8	194	207
	風下	0.4		
15.00~16.10	風上	0.8	63	67
	風下	0.4		

表 4-9 制御室建物の変形評価の評価条件

EL (m)	位置	風力係数 C	受圧面積 A (m ²)	
			N S 方向	E W 方向
19.475~22.80	風上	0.8	123	73
	風下	0.4		
15.00~19.475	風上	0.8	166	99
	風下	0.4		

4.3.2 屋根スラブ

(1) スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブのスタッドの変形評価に用いる条件を表 4-10 に示す。

表 4-10(1) スタッドの評価条件
(原子炉建物屋根スラブ)

記号	定義	数値	単位
A_c	コーン状破壊面の有効投影面積	59200	mm^2
A_0	スタッド頭部の支圧面積	520.7	mm^2
$a_c a$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	284	mm^2
D	スタッドの頭部直径	32	mm
d	スタッドの軸部直径	19	mm
F_c	コンクリートの設計基準強度	23.5	N/mm^2
f_n	コンクリートの支圧強度	141.0	N/mm^2
l_e	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	200	mm
p_a	スタッド 1 本当たりの許容引張力	59	kN
p_{a1}	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本当たりの許容引張力	66	kN
p_{a2}	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本当たりの許容引張力	59	kN
p_{a3}	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本当たりの許容引張力	73	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.50	N/mm^2
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	N/mm^2
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	N/mm^2
Φ_1	低減係数	1	—
Φ_2	低減係数	2/3	—
p	スタッドの間隔	200	mm
T	スタッドに生じる引張力	13.86	kN
L_1	屋根スラブの支持スパン	8.0	m
L_2	屋根スラブの支持スパン	7.5	m
n	スタッドの本数	1	本


表 4-10(2) スタッドの評価条件
(タービン建物屋根スラブ)

記号	定義	数値	単位
A_c	コーン状破壊面の有効投影面積	61330	mm^2
A_0	スタッド頭部の支圧面積	520.7	mm^2
$a_c a$	スタッド断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小さな方の値	284	mm^2
D	スタッドの頭部直径	32	mm
d	スタッドの軸部直径	19	mm
F_c	コンクリートの設計基準強度	23.5	N/mm^2
f_n	コンクリートの支圧強度	141.0	N/mm^2
l_e	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	150	mm
p_a	スタッド1本当たりの許容引張力	61	kN
p_{a1}	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド1本当たりの許容引張力	66	kN
p_{a2}	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド1本当たりの許容引張力	61	kN
p_{a3}	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド1本当たりの許容引張力	73	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.50	N/mm^2
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	N/mm^2
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	N/mm^2
Φ_1	低減係数	1	—
Φ_2	低減係数	2/3	—
p	スタッドの間隔	460	mm
T	スタッドに生じる引張力	24.89	kN
L_1	屋根スラブの支持スパン	6.0	m
L_2	屋根スラブの支持スパン	6.1	m
n	スタッドの本数	1	本

(2) 屋根スラブ

タービン建物屋根スラブの変形評価に用いる条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 屋根スラブの評価条件

記号	定義	数値	単位
L	屋根スラブの支持スパン	6	m
M	設計竜巻による単位幅当たりの曲げモーメント	15.89	kN・m
Q	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力	26.48	kN
f_t	鉄筋の許容引張応力度	345	N/mm ²
f_s	コンクリートの許容せん断応力度	1.08	N/mm ²
a_t	引張鉄筋の断面積	863.5	mm ²
b	屋根スラブの幅	1000	mm
d'	屋根スラブの有効せい		mm
j	屋根スラブの応力中心間距離 ($j = (7/8) \cdot d'$)	78.75	mm
M_a	屋根スラブの許容曲げモーメント	23	kN・m
Q_a	屋根スラブの許容せん断力	85	kN
ω_d	常時作用する荷重による単位幅当たりの荷重	5.41	kN/m
ω_T	設計竜巻による単位幅当たりの荷重 ($= \text{Max} \{ \omega_{T1}, \omega_{T2} \}$)	8.94	kN/m
ω_{T1}	複合荷重 W_{T1} による単位幅当たりの荷重	7.5	kN/m
ω_{T2}	複合荷重 W_{T2} による単位幅当たりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 W_M は考慮しない)	8.94	kN/m

4.4 応力評価

扉の応力評価に用いる条件を表 4-12 に示す。

表 4-12 応力評価に用いる評価条件
(原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側鋼製扉)

記号	定義	数値	単位
A_1	表面鋼板の受圧面積	25.37	m^2
A_2	カンヌキの断面積	3848	mm^2
L	カンヌキと扉枠の距離	140	mm
n	カンヌキの本数	9	本
R	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重	21142	N
ΔP_{max}	気圧差による等分布荷重	7500	N/m^2
W_P	気圧差による荷重	190275	N
Z	カンヌキの断面係数	33673	mm^3

5. 強度評価結果

5.1 貫通評価

式による評価にて算定した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屋根スラブのうち、厚さが最も小さいタービン建物屋根スラブについて、解析による評価の結果を表 5-2 に、鉄筋のひずみ分布図を図 5-1 に示す。

上記結果より、建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブに設計飛来物による貫通が生じないことを確認した。

表 5-1 貫通評価結果（式による評価）

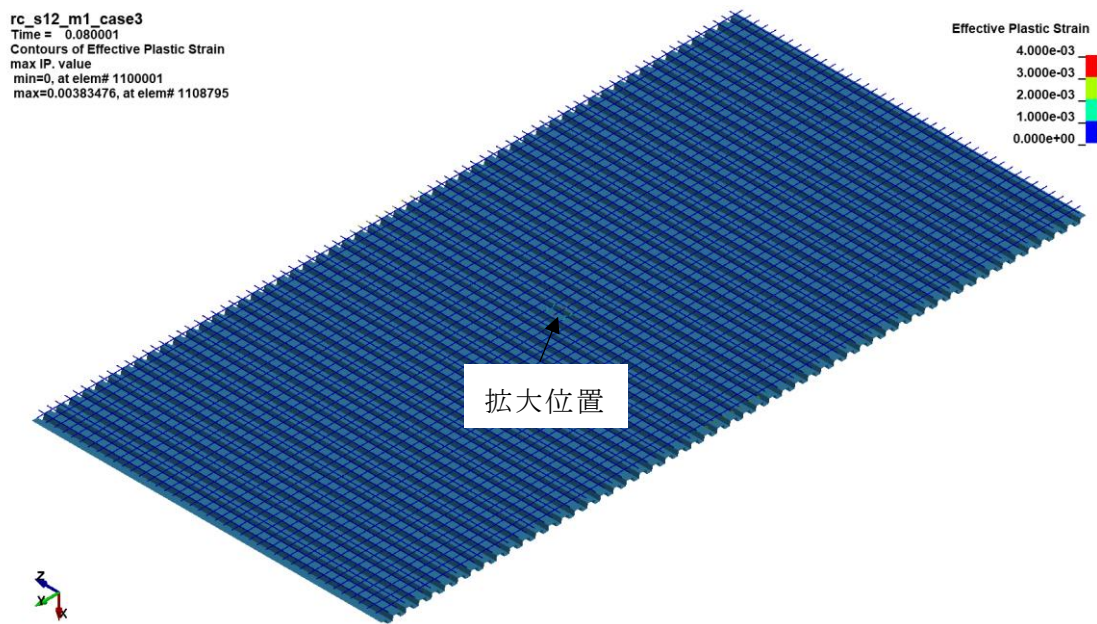
評価対象部位		設計飛来物	評価結果 (cm)	許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁	鋼製材	27	
	屋根スラブ		19	
	扉		16*	
タービン建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
廃棄物処理建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
制御室建物	外壁		27	
	屋根スラブ		19	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ		20	
	鋼製蓋	6*		
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ	19		
	鋼製蓋	6*		

注記*：単位は mm

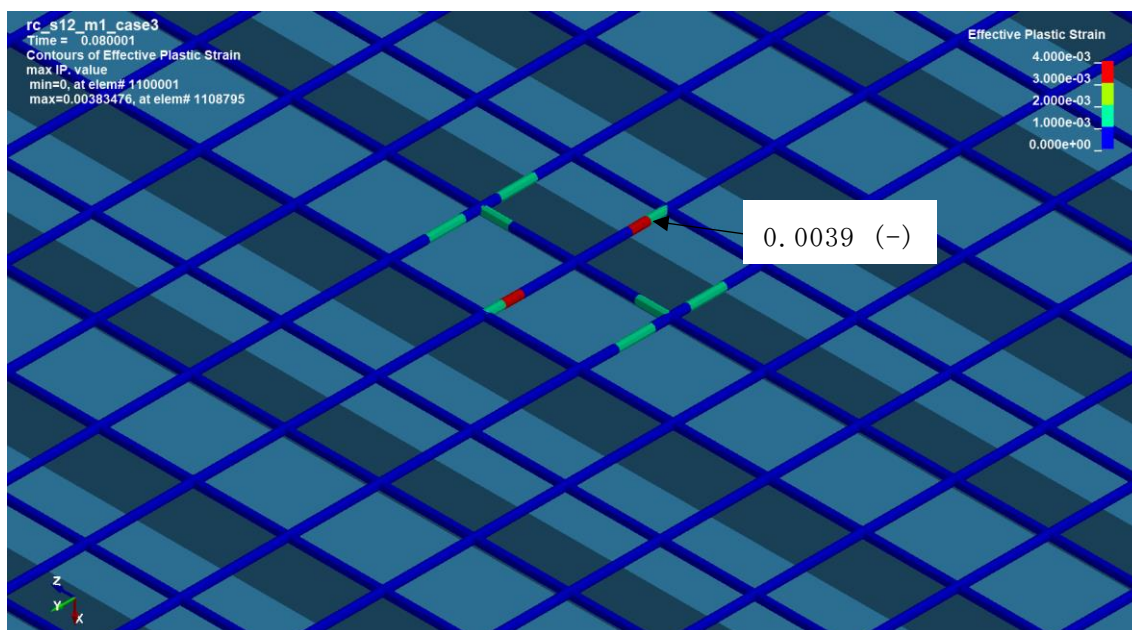
表 5-2 貫通評価結果（解析による評価）

評価対象部位		評価結果	許容限界
タービン建物屋根スラブ*	鉄筋	3.9×10^{-3}	8.4×10^{-2}

注記*：外殻となる屋根スラブの代表箇所（最小版厚部位）



(a) モデル全体



(b) 拡大図

図 5-1 鉄筋のひずみ分布図 (タービン建物屋根スラブ)

5.2 裏面剥離評価

式による評価にて算定した裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表 5-3 に示す。

式による評価で許容限界を満足しなかった外壁及び屋根スラブのうち、厚さが最も小さいタービン建物外壁及びタービン建物屋根スラブについて、解析による評価の結果を表 5-4 に、鉄筋及びデッキプレートのひずみ分布図を図 5-2 及び図 5-3 に示す。

上記結果より、建物の外壁及び屋根スラブ並びに地中構造物のスラブに設計飛来物による裏面剥離が生じないことを確認した。

表 5-3 裏面剥離評価結果（式による評価）

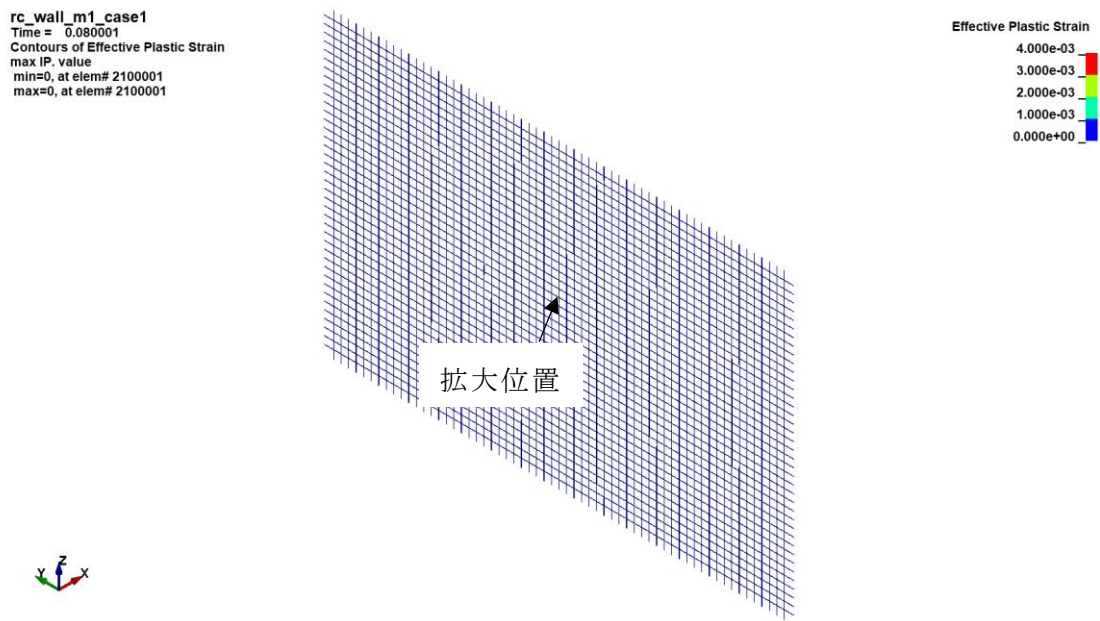
評価対象部位		設計飛来物	評価結果 (cm)	許容限界 (cm)
原子炉建物	外壁	鋼製材	46	
	屋根スラブ		35	
タービン建物	外壁		46	
	屋根スラブ		35	
廃棄物処理建物	外壁		46	
	屋根スラブ		35	
制御室建物	外壁		47	
	屋根スラブ		36	
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	スラブ		37	
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	スラブ		35	

表 5-4 裏面剥離評価結果（解析による評価）

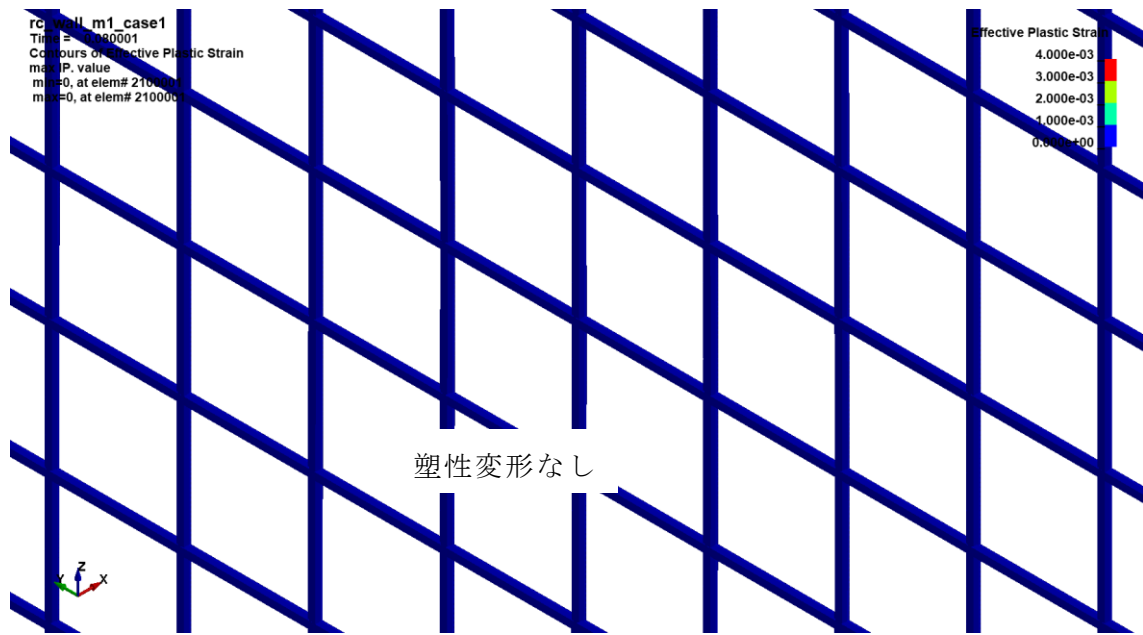
評価対象部位		評価結果	許容限界
タービン建物外壁* ¹	裏面側鉄筋	塑性ひずみ なし	8.4×10^{-2}
タービン建物屋根スラブ* ²	デッキプレート	3.5×10^{-3}	8.0×10^{-2}

注記*1：外殻となる外壁の代表箇所（最小版厚部位）

*2：外殻となる屋根スラブの代表箇所（最小版厚部位）

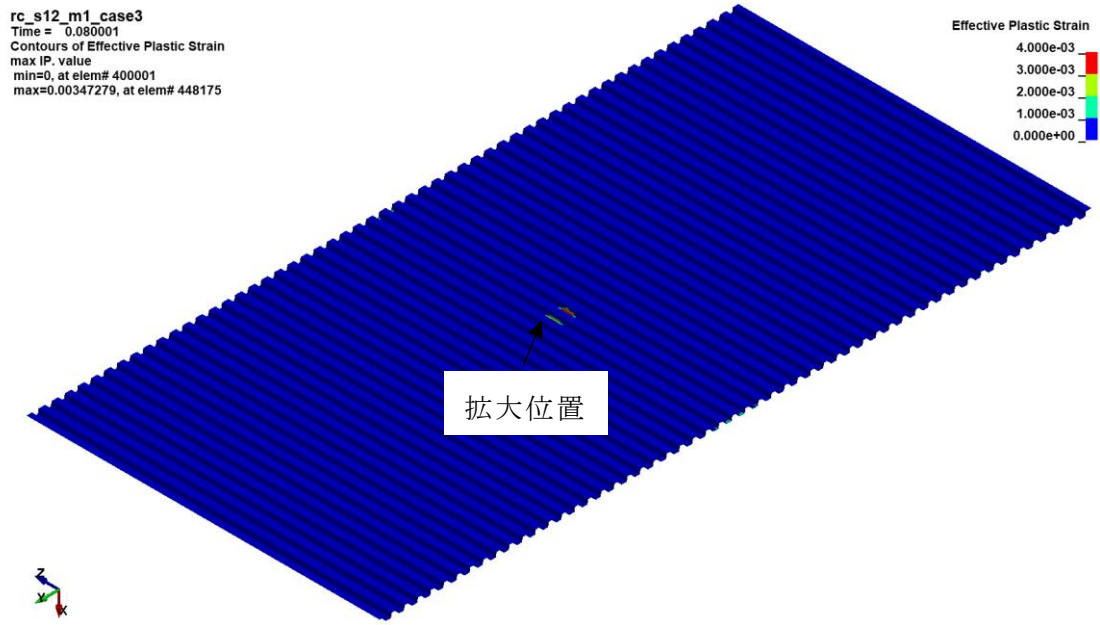


(a) モデル全体

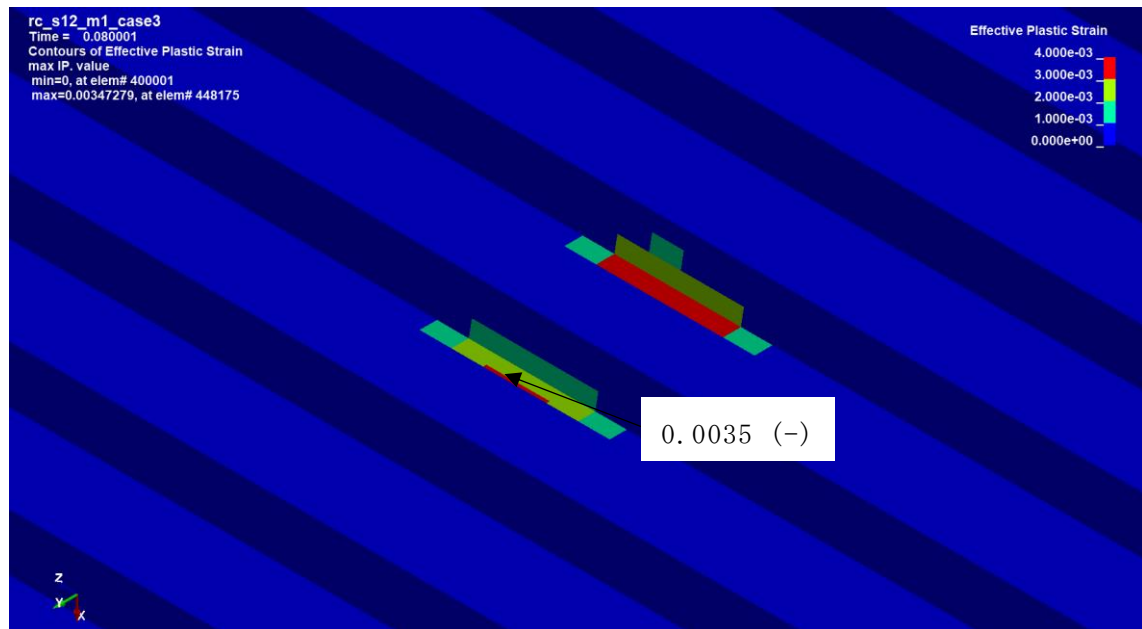


(b) 拡大図

図 5-2 鉄筋のひずみ分布図 (タービン建物外壁)



(a) モデル全体



(b) 拡大図

図 5-3 デッキプレートのひずみ分布図 (タービン建物屋根スラブ)

5.3 変形評価

5.3.1 耐震壁

各施設の耐震壁に生じるせん断ひずみについて、許容限界との比較を表 5-5 に示す。

評価結果より、各施設の耐震壁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 5-5 変形評価結果（耐震壁）

評価対象施設		評価結果			許容限界
		項目	W_{T1}	W_{T2}	
原子炉建物	耐震壁	せん断 ひずみ	0.01×10^{-3}	0.02×10^{-3}	2.0×10^{-3}
タービン建物	耐震壁		0.03×10^{-3}	0.03×10^{-3}	2.0×10^{-3}
廃棄物処理建物	耐震壁		0.01×10^{-3}	0.01×10^{-3}	2.0×10^{-3}
制御室建物	耐震壁		0.01×10^{-3}	0.02×10^{-3}	2.0×10^{-3}

注：N S 方向，E W 方向の評価結果のうち、最も評価結果が厳しい部材について評価結果を記載するものとする。

5.3.2 屋根スラブ

(1) スタッド

原子炉建物屋根スラブ及びタービン建物屋根スラブのスタッドに生じる引張力と許容限界の比較を表 5-6 に示す。

評価結果より、スタッドに生じる引張力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（スタッド）

評価対象部位		評価結果		許容限界 (kN/本)
		項目	数値 (kN/本)	
原子炉建物	屋根スラブ のスタッド	引張力	13.86	59
タービン建物	屋根スラブ のスタッド	引張力	24.89	61

(2) 屋根スラブ

タービン建物屋根スラブに生じる応力と許容限界の比較を表 5-7 に示す。
評価結果より,屋根スラブに生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-7 変形評価結果 (屋根スラブ)

評価対象部位		評価結果		許容限界 (kN・m, kN)
		項目	数値 (kN・m, kN)	
タービン建物	屋根スラブ	曲げ	15.89	23
		せん断	26.48	85

5.4 応力評価

扉のカンヌキに生じる応力度と許容限界の比較を表 5-8 に示す。
評価結果より,扉のカンヌキに生じる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-8 評価結果

評価対象の扉	評価結果		許容限界 (N/mm ²)
	項目	数値 (N/mm ²)	
原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室 南側鋼製扉	曲げ応力度	88.0	345
	せん断応力度	5.50	199