

東海第二発電所

外部からの衝撃による損傷の防止

(火山)

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。



: 今回ご説明範囲

第 6 条 外部からの衝撃による損傷の防止 (火山)

<目 次>

1. 基本方針
 1. 1 要求事項の整理
 1. 2 追加要求事項に対する適合性（手順等含む）
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
2. 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）
 - 別添資料 1 火山影響評価について
3. 運用，手順説明資料
 - 別添資料 2 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

東海第二発電所

火山影響評価について

目 次

1. 基本方針
 - 1.1 概要
 - 1.2 火山影響評価の流れ
2. 立地評価
 - 2.1 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出
 - 2.2 抽出された火山の火山活動に関する個別評価
3. 影響評価
 - 3.1 火山事象の影響評価
 - 3.2 火山事象（降下火砕物）に対する設計の基本方針
 - 3.3 火山事象（降下火砕物）から防護する施設
 - 3.4 降下火砕物による影響の選定
 - 3.4.1 降下火砕物の特徴
 - 3.4.2 直接的影響
 - 3.4.3 間接的影響
 - 3.5 設計荷重の設定
 - 3.6 降下火砕物の直接的影響に対する設計方針
 - 3.6.1 降下火砕物による荷重に対する設計方針
 - 3.6.2 降下火砕物による荷重以外に対する設計方針
 - 3.6.3 外気取入口からの降下火砕物の侵入に対する設計方針
 - 3.7 降下火砕物の除去等の対策
 - 3.7.1 降下火砕物に対応するための運用管理
 - 3.7.2 手順
 - 3.8 降下火砕物の間接的影響に対する設計方針

4. まとめ

資料

- － 1 降下火砕物の特徴について
- － 2 評価すべき影響の要因と評価手法
- － 3 直接的影響の評価結果
- － 4 建屋構築物に係る影響評価
- － 5 海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（モータ含む）に係る影響評価
- － 6 海水ストレーナ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）（下流設備含む）に係る影響評価
- － 7 海水取水設備に係る影響評価
- － 8 計装制御設備（安全保護系）に係る影響評価
- － 9 換気空調設備に係る影響評価
- － 10 ディーゼル発電機に係る影響評価
- － 11 排気筒（非常用ガス処理系排気配管含む）に係る影響評価
- － 12 間接的影響の評価結果

参考資料

- － 1 原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備について
- － 2 降下火砕物堆積荷重評価への材料強度×1.1の適用について
- － 3 降下火砕物の海水ポンプ（残留熱除去系海水系，ディーゼル発電機海水系）基礎部堆積による影響評価について
- － 4 降下火砕物と積雪の重ね合わせの考え方について
- － 5 原子力発電所で使用する塗料について
- － 6 降下火砕物の金属腐食研究について

- － 7 給水処理設備に係る影響評価について
- － 8 降下火砕物のその他の設備への影響評価について
- － 9 降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について
- － 10 降水による降下火砕物の固結の影響について
- － 11 火山影響評価ガイドとの整合性について
- － 12 原子炉建屋の健全性評価について
- － 13 タービン建屋の健全性評価について
- － 14 防潮堤外部事象に対する津波防護施設，浸水防止設備，及び津波監視設備の防護方針について
- － 15 降下火砕物の偏りによる影響評価について
- － 16 除灰時の人員荷重の考え方について

降下火砕物の除去に要する時間及び灰置場について

1. 降下火砕物の除去に要する時間

降下火砕物の除去に要する時間について、土木工事の人力掘削作業を参考に評価した結果を以下に示す。

(1) 評価条件

堆積面積 1m²あたりの作業人工等の評価条件を表1に示す。

表1 降下火砕物の除去に要する時間の評価条件

項目		評価値
①堆積面積 (m ²)	原子炉建屋 (附属棟含む)	約4,490
	タービン建屋	約7,320
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	約1,400
	合計	約13,210
②堆積厚さ (m)		0.5
③堆積量=①×② (m ³)		6,605
④1m ³ 当たりの作業人工*		0.39

※：「国土交通省土木工事積算基準 (H24)」における人力掘削での人工

(2) 評価結果

降下火砕物の除去に要する作業量は以下のとおり。

$$0.39 \text{ 人/日} \cdot \text{m}^3 \times 6,605 \text{m}^3 = \text{約 } 2,576 \text{ 人日}$$

以上の結果から、降下火砕物の除去に人員を約120人動員した場合、3週間程度で降下火砕物を除去できる。また、人員を増やすことによりさらに期間の短縮が可能である。

2. 灰置場について

灰置場については、積んだ降下火砕物が崩れることにより発電所の重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう、また、SA時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼすことがないよう、それらから十分に離れた場所に降下火砕物を集積する運用とする。

仮に、一時的に発電所設備の近傍に降下火砕物を積む場合は、降下火砕物が崩れることにより重要施設に想定外の荷重が負荷されないよう、また、SA時に必要なアクセスルートの通行に影響を及ぼさない離隔距離を確保する運用とする。

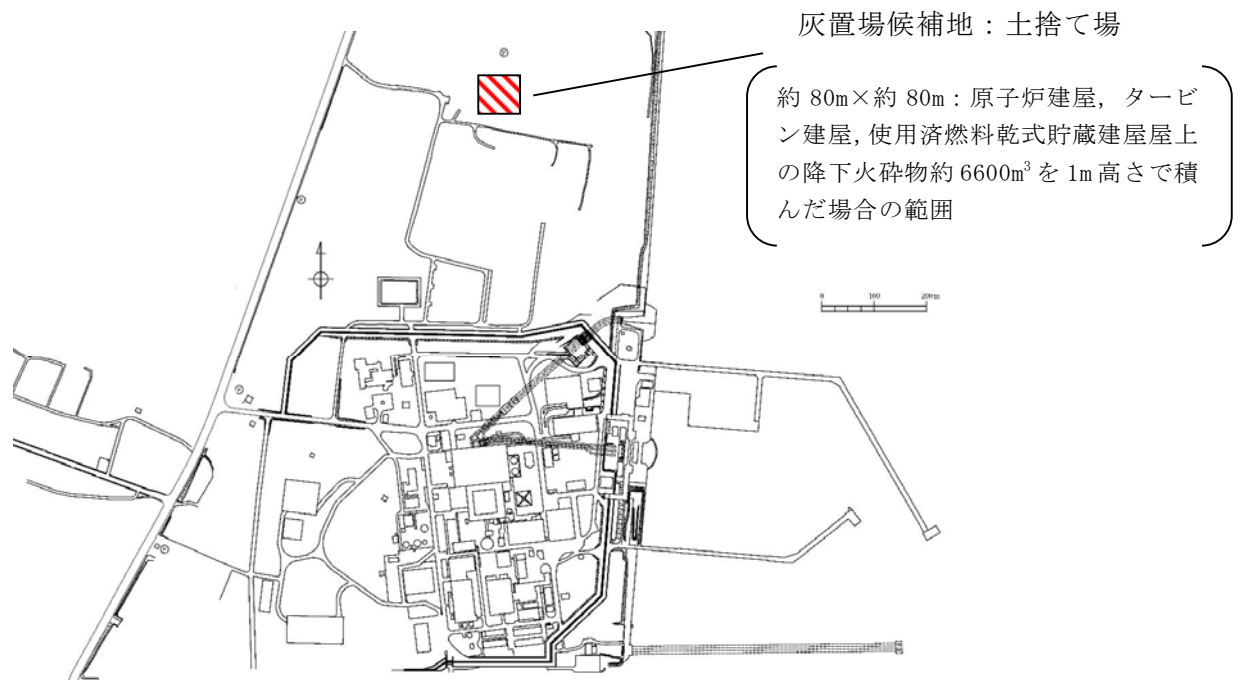


図1 灰置場の候補地

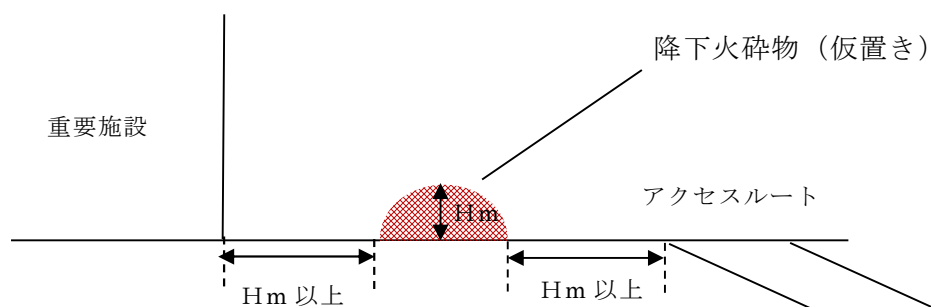


図2 降下火砕物仮置時のイメージ

原子炉建屋の建屋健全性評価について

1. 基本方針

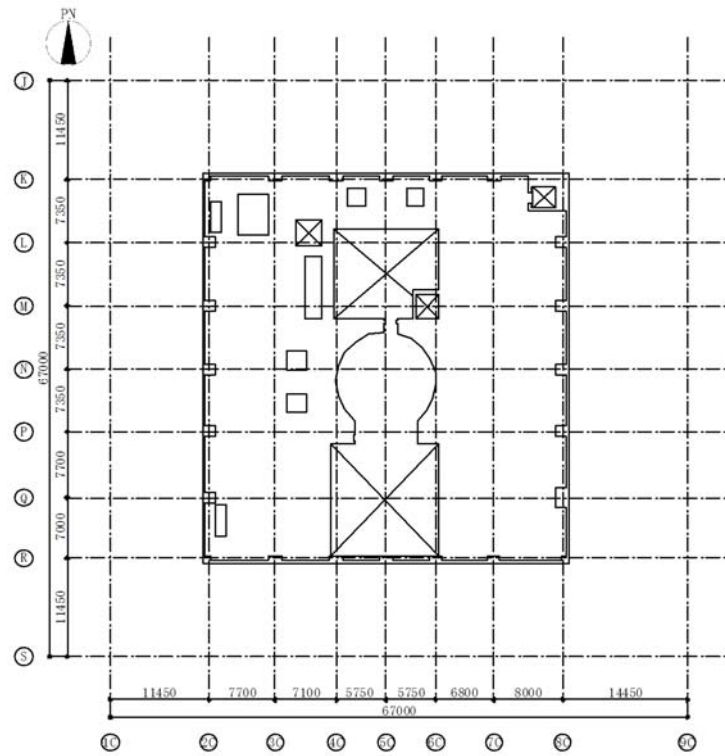
(1) 概要

降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを、応力解析による評価によって確認する。設置許可においては、自身がMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス1及び2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として，評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－ 1 2では，原子炉建屋について評価内容及び評価結果を示す。

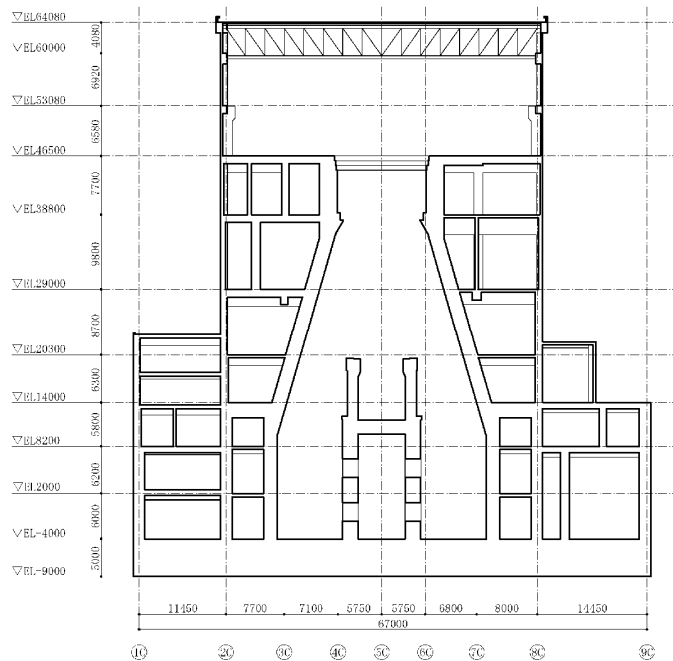
(2) 構造概要

原子炉建屋は，地上6階，地下2階建てで，平面が約67 m（南北方向）×約67 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋の概略平面図を第1-1図に，概略断面図を第1-2図に示す



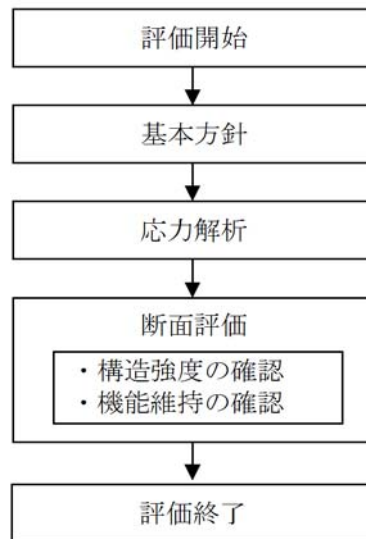
第 1-1 図 原子炉建屋の概略平面図 (EL. +46.5 m)



第 1-2 図 原子炉建屋の概略断面図 (E W方向)

(3) 評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して、応力解析による断面の評価を行うことで、建物の構造強度及び機能維持の確認を行う。第 1-3 図に評価フローを示す。



第 1-3 図 建屋の評価フロー

(4) 適用規格・基準等

本評価において、準拠する規格基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 平成 12 年建設省告示第 2464 号
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2. 応力解析による評価方法

原子炉建屋の応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1) 評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は、以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

- ・ 主要な部位のうち、梁間方向に配されている主トラスと、屋根スラブが主体構造として、降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため。
- ・ 原子炉建屋の屋根スラブは MS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を担保しているため。

降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が屋根スラブについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下 RC 規準という。），主トラスについては「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」（以下 S 規準という。）を参考に，各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重

(a) 固定荷重 (DL)

固定荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 固定荷重

固定荷重 (DL)
5,364N/m ²

(b) 積載荷重 (LL)

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 積載荷重 (LL)

積載荷重 (LL)
$1,000\text{N}/\text{m}^2$

(c) 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重 (SNL)
$210\text{N}/\text{m}^2$

(d) 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重 (VAL)
$7,355\text{N}/\text{m}^2$

(e) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表 荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL + LL + SNL + VAL

(3) 許容限界

応力解析による評価における原子炉建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。
 また、鋼材、コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7、
 2-8、2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力評価解析における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力 ^{※1}
		主トラス		終局耐力 ^{※2}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度 ^{※3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により射影機能を損なわないこと	屋根トラス	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度 ^{※3}

※1 「RC 規準」の短期許容応力度（曲げ）の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用（弾性限耐力）

※2 「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用（弾性限耐力）

※3 「RC 規準」の短期許容応力度

以上より、屋根スラブは短期許容応力度、主トラスは「S 規準」の短期許容応力度の評価式に F 値×1.1（弾性限耐力）を用いて、評価を行う。

第 2-7 表 鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	258.5	258.5

第 2-8 表 コンクリートの基準強度及び評価基準値

Fc (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表 鉄筋の基準強度及び評価基準値

鉄筋種類	評価基準値 (N/mm ²)	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3. 解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1) 屋根スラブ モデル化の基本方針

「RC 規準」に基づいて、合成デッキスラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し、応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表、使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表 屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 64.08m (S1-1)	100	2.27	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200
EL 64.08m (S1-2)	100	1.53	7.30	D13@180	D13@180	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm ²)	中央部 (mm ²)	端部 (mm ²)	中央部 (mm ²)
EL 64.08m (S1-1)	705.6	705.6	635.0	635.0
EL 64.08m (S1-2)	705.6	705.6	635.0	635.0

第 3-2 表 使用材料の物性値

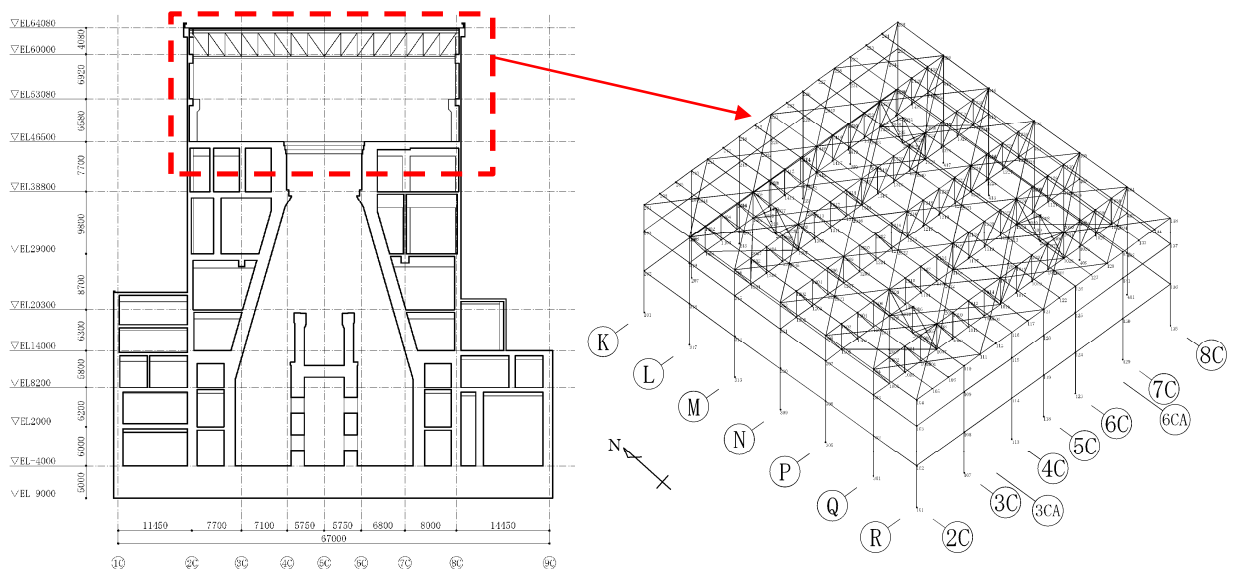
使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋 コンクリート	24.0kN/m ³	22.1kN/mm ²	9.21kN/mm ²	0.2

(2) 主トラス モデル化の基本方針

a. 応力解析モデルの概要

- ・主トラス上・下弦材は，軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材と束材は軸剛性だけのトラス要素とする。
- ・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。
- ・オペレーティングフロアより上部構造を3次元の立体架構でモデル化する。

原子炉建屋断面図と屋根トラスの検討モデルを第3-1図に示す。



第3-1図 原子炉建屋断面図（E W側）及び立体架構モデル

b. 解析コード

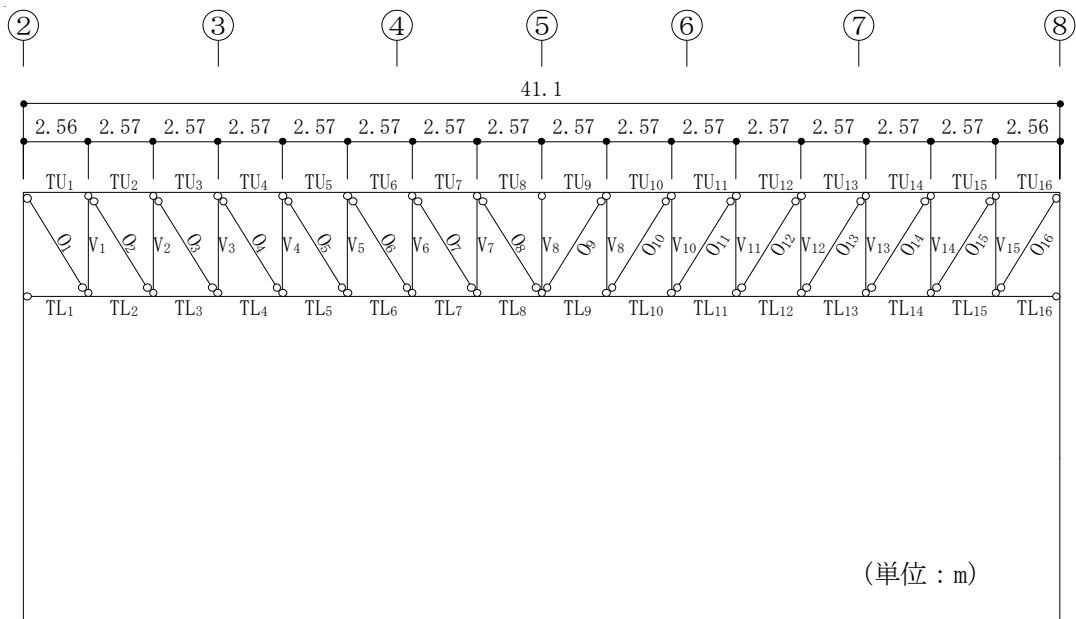
D Y N A 2 E Ver. 8. 0

c. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表 検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	TU ₁ ~TU ₁₆	H-400×400×13×21	SS400 (SS41)
下弦材	TL ₁ ~TL ₁₆	H-400×400×13×21	
斜材	O ₁ , O ₂ , O ₁₅ , O ₁₆	2Ls-200×200×15	
	O ₃ , O ₄ , O ₁₃ , O ₁₄	2Ls-150×150×15	
	O ₅ ~O ₁₂	2Ls-150×100×12	
束材	V ₁ , V ₂ , V ₁₄ , V ₁₅	2Ls-200×200×15	
	V ₃ , V ₁₃	2Ls-150×150×15	
	V ₄ , V ₁₂	2Ls-150×150×15	
	V ₅ ~V ₇ , V ₉ ~V ₁₁	2Ls-150×100×12	
	V ₈	2Ls-150×100×12	



第 3-2 図 部材位置図

6 条(火山)-1-参考 12-10

d. 使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN/m ³
ヤング係数	205.0kN/mm ²
せん断弾性係数	79.0kN/mm ²

(3) 評価方法

a. 屋根スラブの評価方法

「RC 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

$$M = a_t f_t j$$

M : 許容曲げモーメント a_t : 引張鉄筋断面積
 j : 応力中心間距離 (7/8) d d : 有効せい
 f_t : 鉄筋の短期許容引張応力度

また、「RC 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5 {}_w f_t (p_w - 0.002)\}$$

$$\text{ただし, } \alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

b : 幅	f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
j : 応力中心間距離(7/8) d	${}_w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度
d : 有効せい	α : せん断スパン比 $\frac{M}{Qd}$ による割増係数
p_w : せん断補強筋比 $p_w = \frac{a_w}{bx}$	M : 設計する梁の最大曲げモーメント
a_w : せん断補強筋の断面積	Q : 設計する梁の最大せん断力
x : せん断補強筋の間隔	

b. 主トラスの評価方法

「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

(a) 軸力のみを負担する部材の評価方法

軸力のみを負担するトラス要素（斜材，束材等）に発生する応力度 σ_c 、 σ_t が、以下の式による応力度比は 1 以下となることを確認する。

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{f_c}, \frac{\sigma_t}{f_t}\right) \leq 1$$

f_c 、 f_t は以下の式により求める。

$$f_t = \frac{F}{1.5}$$

$$f_c = \frac{\left\{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき})$$

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2} \quad (\lambda > \Lambda \text{ のとき})$$

$$f_c : \text{許容圧縮応力度 (N/mm}^2\text{)} \quad \Lambda : \text{限界細長比} \quad \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

$$f_t : \text{許容引張応力度 (N/mm}^2\text{)} \quad E : \text{ヤング係数}$$

$$\lambda : \text{圧縮材の細長比} \quad \nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

(b) 軸力と曲げを負担する部材の評価方法

軸力と曲げを負担する梁要素（上・下弦材等）は、軸力により生じる軸応力度 σ_c 、 σ_t と曲げモーメントにより生じる曲げ応力度 σ_b の組合せに対して、以下の式により応力度比が 1 以下となることを確認する。

【圧縮と曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

【引張りと曲げにより生じる応力度の確認】

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$$

f_c 、 f_t は軸力を負担する場合と同じ。 f_b は以下の式により求める。

$$f_b = \frac{F}{\nu} \quad (\lambda_b \leq_p \lambda_b)$$

$$f_b = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b -_p \lambda_b}{_e \lambda_b -_p \lambda_b} \right) \right\}}{\nu} F \quad (_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b)$$

$$f_b = \frac{1}{2.17 \lambda_b^2} F \quad (_e \lambda_b < \lambda_b)$$

ここに,

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \quad _e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}} \quad _p \lambda_b = 0.6 + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \quad \nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_b}{_e \lambda_b} \right)^2$$

$$C = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \leq 2.3 \quad M_e = C \sqrt{\frac{\pi^4 E I_Y \cdot E I_w}{l_b^4} + \frac{\pi^2 E I_Y \cdot G J}{l_b^2}}$$

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| f_b : 許容曲げ応力度 | λ_b : 曲げ部材の細長比 |
| l_b : 圧縮フランジの支点間距離 | $_e \lambda_b$: 弾性限界細長比 |
| $_p \lambda_b$: 塑性限界細長比 | C : 許容曲げ応力度の補正係数 |
| M_e : 弾性横座屈モーメント | Z : 断面係数 |
| I_Y : 弱軸まわりの断面2次モーメント | |
| I_w : 曲げねじり定数 | G : せん断弾性係数 |
| J : サンプナンのねじり定数 | M_y : 降伏モーメント ($F \cdot Z$) |

4. 評価結果

屋根スラブの評価結果を第4-1表, 主トラスの評価結果を第4-2表に示す。

降下火砕物の堆積時において, 発生応力度が検定値を超えないことを確認した。

第4-1表 屋根スラブ 評価結果

部位	曲げモーメント							
	設計配筋量 (mm ²)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量* (mm ²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 64.08 (S1-1)	705.6	705.6	5.17	2.59	323.1	161.6	0.46	0.23
EL 64.08 (S1-2)	705.6	705.6	3.52	1.98	220.2	123.9	0.32	0.18

部位	せん断力		
	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N/mm ²)	検定比
EL 64.08 (S1-1)	13.67	0.295	0.28
EL 64.08 (S1-2)	9.21	0.199	0.19

※ 短期許容応力度による必要鉄筋量

第 4-2 表 主トラス 評価結果

部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値	位置
上弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	112.7	257.3	0.60	P 通り TU8, TU9
	(曲げ)	40.3	255.4		
	(引張)	37.7	258.5	0.55	L 通り TU1, TU16
	(曲げ)	103.1	256.5		
下弦材 H-400×400×13×21	(圧縮)	78.9	248.9	0.46	Q 通り TL1
	(曲げ)	34.3	256.3		
	(引張)	157.6	258.5	0.79	P 通り TL8, TL9
	(曲げ)	44.9	195.9		
斜材 2Ls-150×150×15	(引張)	207.8	258.5	0.81	L 通り 03, 014
束材 2Ls-150×150×15	(圧縮)	152.0	158.2	0.97	P 通り V13

タービン建屋の建屋健全性評価について

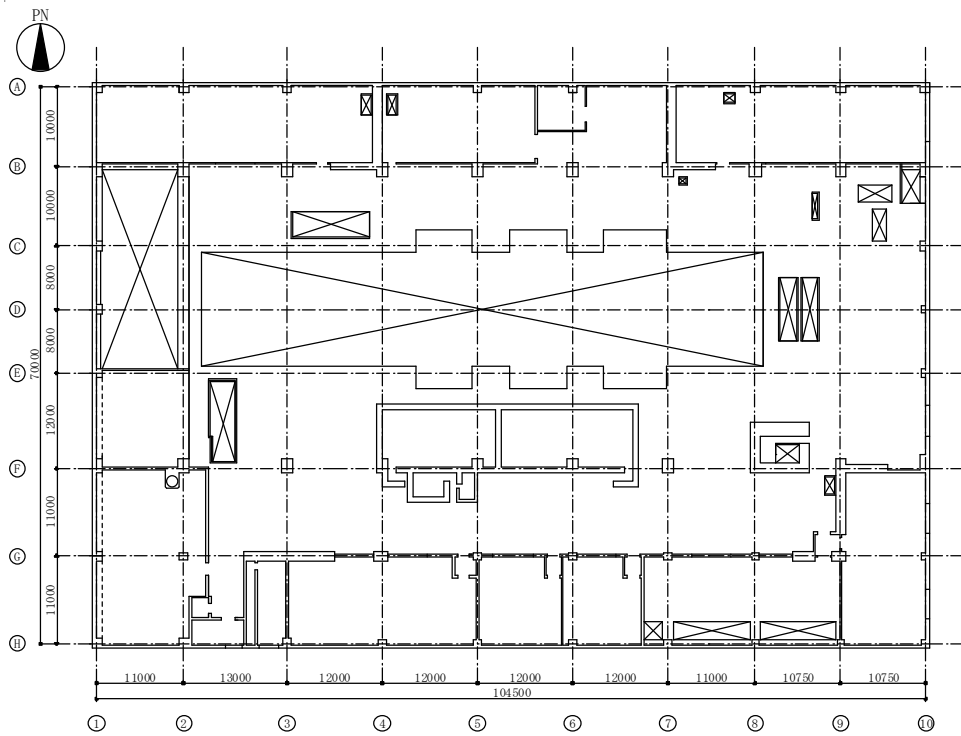
1. 基本方針

(1) 概要

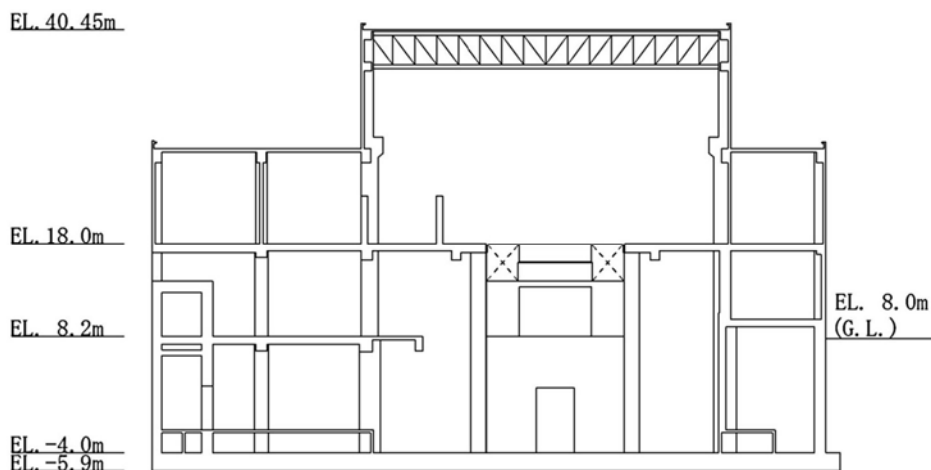
降下火砕物の堆積荷重に対して各建屋が健全性を有することを、応力解析による評価によって確認する。設置許可においては、自身がMS-1（放射性物質の閉じ込め機能，放射線の遮蔽及び放出低減機能）及びMS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を有する原子炉建屋と，自身がクラス1及び2施設に該当しない建屋のうち，構造的にもスパンが長いタービン建屋を代表として，評価内容及び評価結果を示す。工事計画認可においては，屋根スラブ，主トラス及び二次部材の構造性能を確認し，建屋に求められる機能設計上の性能目標を満足していることを示す。参考資料－ 1 3では，タービン建屋について評価内容及び評価結果を示す。

(2) 構造概要

タービン建屋は、地上2階、地下1階建で、平面が約70m（南北方向）×約105m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。タービン建屋の概略平面図を第1-1図に、概略断面図を第1-2図に示す



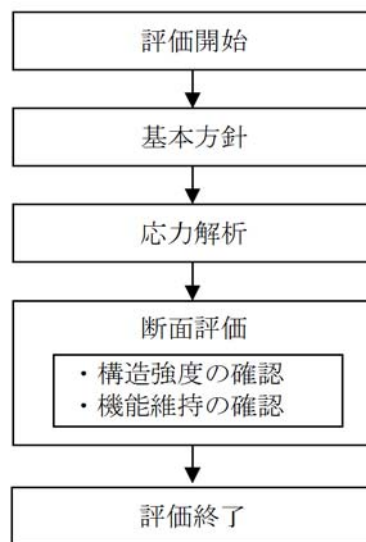
第1-1図 タービン建屋の概略平面図 (EL. +18.0 m)



第1-2図 タービン建屋の概略断面図 (NS方向)

(3) 評価方針

降下火砕物の堆積荷重に対して、応力解析による断面の評価を行うことで、建物の構造強度及び機能維持（タービン建屋が内包するクラス2設備に波及的影響を及ぼさない）の確認を行う。第1-3図に評価フローを示す。



第1-3図 各建屋の評価フロー

(4) 適用規格

本評価において、準拠する規格基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 平成12年建設省告示第2464号
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

2. 応力解析による評価方法

タービン建屋応力解析による評価対象部位は屋根スラブ及び主トラスとする。

(1) 評価対象部位及び評価方針

評価対象部位は、以下の理由から屋根スラブと主トラスを選定する。

- ・ 主要な部位のうち、梁間方向に配されている主トラスと、屋根スラブが主体構造として、降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため降下火砕物の堆積荷重と堆積荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が屋根スラブについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下 RC 規準という。）、主トラスについては「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」（以下 S 規準という。）を参考に、各々設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) 荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重

(a) 固定荷重 (DL)

固定荷重を第 2-1 表に示す。

第 2-1 表 固定荷重

固定荷重 (DL)
4,669N/m ²

(b) 積載荷重 (LL)

積載荷重を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 積載荷重 (LL)

積載荷重 (LL)
1,000N/m ²

(c) 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重 (SNL)
$210\text{N}/\text{m}^2$

(d) 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重を第 2-4 表に示す。

第 2-4 表 降下火砕物の堆積荷重 (VAL)

降下火砕物の堆積荷重 (VAL)
$7,355\text{N}/\text{m}^2$

(e) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 2-5 表に示す。

第 2-5 表 荷重の組合せ

荷重の組合せ
DL + LL + SNL + VAL

(3) 許容限界

応力解析による評価におけるタービン建屋の許容限界を第 2-6 表に示す。

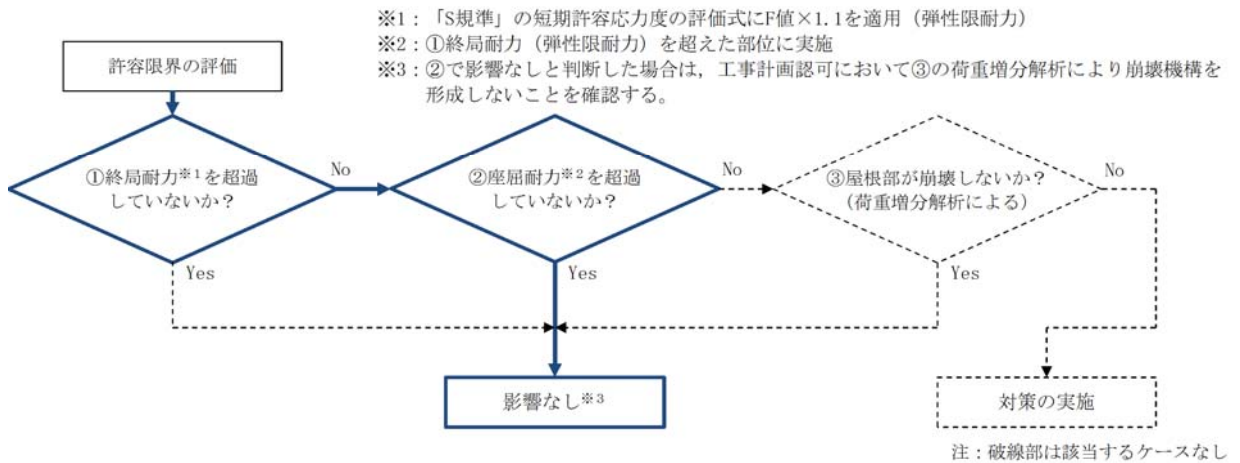
また、鋼材、コンクリート及び鉄筋の基準強度及び評価基準値を第 2-7, 2-8, 2-9 表に示す。

第 2-6 表 応力解析評価における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界
-	上位クラス設備に波及的影響を及ぼさないこと	屋根スラブ	落下しないことを確認	終局耐力 ^{※1}
		主トラス	崩壊機構を形成しないことを確認	崩壊機構を形成しないこと

※1 「RC 規準」の短期許容応力度（曲げ）の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用（弾性限耐力）

主トラスの許容限界評価のフローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 主トラス許容限外評価フロー

第 2-7 表 鋼材の基準強度及び評価基準値

鋼材種類	板厚 (mm)	基準強度 F (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
			引張	圧縮及び曲げ
SS400 (SS41)	t ≤ 40	235	258.5	258.5

第 2-8 表 コンクリートの基準強度及び評価基準値

Fc (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	
	圧縮	せん断
22.1	14.7	1.06

第 2-9 表 鉄筋の基準強度及び評価基準値

鉄筋種類	評価基準値 (N/mm ²)	
	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD345 (SD35)	345	345

3. 応力解析モデル及び緒元

屋根スラブ及び主トラスの解析モデル及び緒元を以下に示す。

(1) 屋根スラブ モデル化の基本方針

「RC 規準」に基づいて、合成デッキスラブは一方向版として曲げモーメント及びせん断力を算出し、応力比を算出する。屋根スラブの検討条件を第 3-1 表、使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表 屋根スラブの検討条件

位置	厚さ (mm)	短辺長さ (m)	長辺長さ (m)	配筋			
				短辺		長辺	
				端部	中央部	端部	中央部
EL 40.65m	100	2.08	11.60	D13@200	D13@200	D13@200	D13@200

位置	配筋量			
	短辺		長辺	
	端部 (mm ²)	中央部 (mm ²)	端部 (mm ²)	中央部 (mm ²)
EL 40.65m	635.0	635.0	635.0	635.0

第 3-2 表 使用材料の物性値

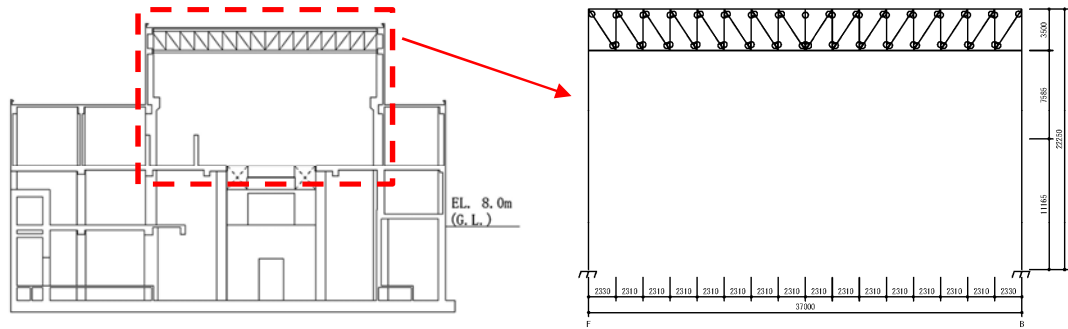
使用材料	単位体積重量 γ	ヤング係数 E	せん断弾性係数 G	ポアソン比
鉄筋 コンクリート	24.0kN/m ³	22.1kN/mm ²	9.21kN/mm ²	0.2

(2) 主トラス モデル化の基本方針

a. 応力解析モデルの概要

- ・主トラス上・下弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素，斜材，束材は軸剛性だけのトラス要素とする。
- ・各部材長さは部材芯位置でモデル化する。
- ・オペレーティングフロアより上部構造のうち，最も応力が厳しくなる 1 構面を取り出した 2 次元モデルとする。

タービン建屋断面図と屋根トラスの検討モデルを第 3-1 図に示す。



第 3-1 図 タービン建屋断面図（N S 側）及び屋根トラス検討モデル

b. 解析コード

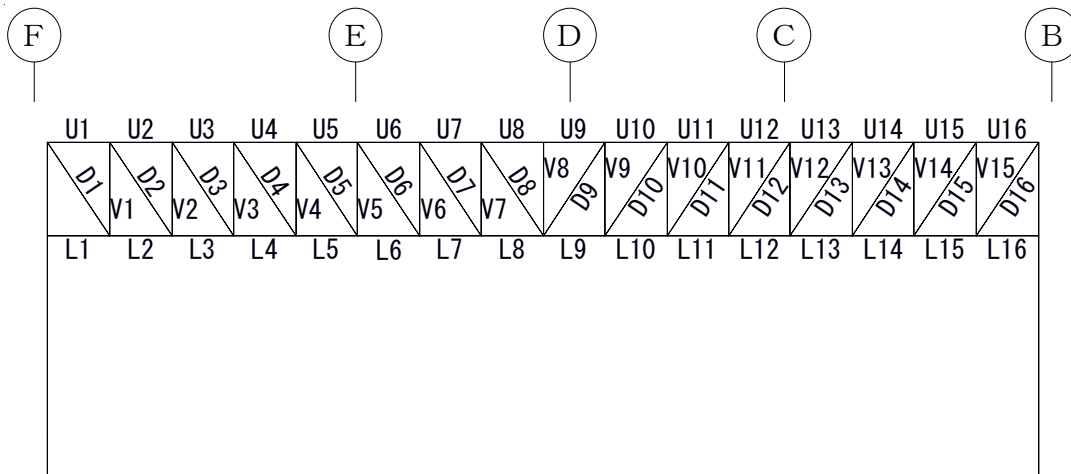
F A P 3 Ver. 5.0

c. 検討部材の形状・寸法

検討部材の形状と寸法を第 3-1 表に示す。また、部材位置を第 3-2 図に示す。

第 3-1 表 検討部材の形状・寸法

部位	部材符号	形状寸法	材質
上弦材	$U_1 \sim U_{16}$	H-428×407×20×35	SS400 (SS41)
下弦材	$L_1 \sim L_{16}$	H-428×407×20×35	
斜材	$D_1 \sim D_3$ $D_{14} \sim D_{16}$	2Ls-200×200×20	
	D_4, D_5, D_{12}, D_{13}	2Ls-150×150×19	
	D_6, D_{11}	2Ls-130×130×12	
	D_7, D_8, D_9, D_{10}	2Ls-100×100×10	
束材	V_1, V_2, V_{14}, V_{15}	2Ls-200×200×20	
	V_3, V_4, V_{12}, V_{13}	2Ls-200×200×15	
	V_5, V_6, V_{10}, V_{11}	2Ls-150×150×15	
	$V_7 \sim V_9$	2Ls-130×130×9	



第 3-2 図 部材位置図

d. 使用材料の物性値

使用材料の物性値を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 使用材料の物性値

項目	物性値
単位体積重量	77.0kN/m ³
ヤング係数	205.0kN/mm ²
せん断弾性係数	79.0kN/mm ²

(3) 評価方法

a. 屋根スラブの評価方法

「RC 規準」に基づき、計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が許容応力度を超えないことを確認する。また、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。

評価式は、参考資料－1 2 「原子炉建屋の建屋健全性評価について」に記載と同様。

b. 主トラスの評価方法

「S 規準」に基づき、計算した評価対象部位に生じる軸応力及び曲げモーメントによる応力度が許容応力度を超えないことを確認する。

評価式は、参考資料－ 1 2 「原子炉建屋の建屋健全性評価について」に記載と同様。

4. 評価結果

屋根スラブの評価結果を第 4-1 表、主トラスの評価結果を第 4-2、4-3 表に示す。主トラスは、F 値×1.1 を適用した評価において、一部の部材が検定値 1.0 を上回る結果となったが、当該部材は座屈耐力に対して検定値は 1.0 以下であり、構造体が崩壊することはない。

第 4-1 表 屋根スラブ 評価結果

部位	曲げモーメント							
	設計配筋量 (mm ²)		発生曲げモーメント (kN・m)		必要鉄筋量* (mm ²)		検定比	
	端部	中央	端部	中央	端部	中央	端部	中央
EL 40.65	635.0	635.0	7.36	4.14	460.0	258.7	0.73	0.41

部位	せん断力		
	発生せん断力 (KN)	せん断応力度 (N/mm ²)	検定比
EL 40.65	17.69	0.381	0.36

※ 短期許容応力度による必要鉄筋量

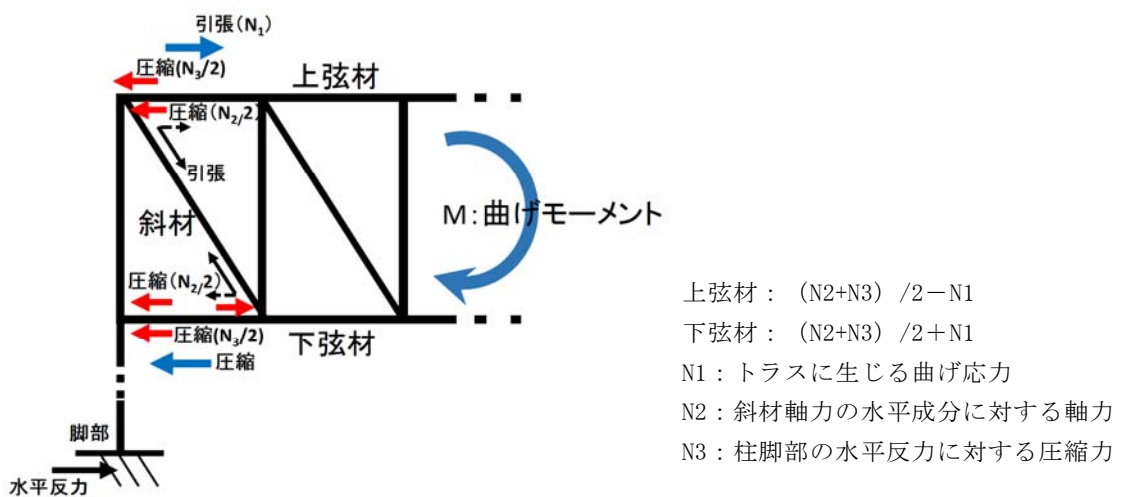
第 4-2 表 主トラスの評価結果 (終局耐力^{※1})

部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値	位置
上弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	179.9	250.0	0.96	U8, U9
	(曲げ)	59.9	258.0		
	(引張)	0 ^{※2}	258.0	0.53	U1, U16
	(曲げ)	136.0	258.0		
下弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	55.2	152.0	1.04 ^{※3}	L1, L16
	(曲げ)	162.1	241.0		
	(引張)	160.3	258.0	0.90	L8, L9
	(曲げ)	70.8	219.0		
斜材 2Ls-200×200×20	(引張)	201.7	258.0	0.79	D2, D15
束材 2Ls-200×200×15	(圧縮)	184.7	212.0	0.88	V3, V13

※1 「S 規準」の短期許容応力度の評価式に F 値×1.1 を適用 (弾性限耐力)

※2 屋根トラスに作用する曲げモーメントは、上下弦材の軸力に置換され、トラス端部では上弦材に引張軸力が作用する。また、斜材に生じる引張軸力に対して釣り合うため、上弦材には圧縮軸力が作用し、門型フレーム脚部の水平反力に対して上弦材には圧縮軸力が作用する。従って、上弦材に生じる軸力は、曲げによる引張よりも圧縮が支配的となり、引張が 0 となる。(概略を第 4-1 図に示す)

※3 検定値を超過した下弦材 (L1, L16) は座屈耐力に対して評価を行う。



第 4-1 図 発生応力の概略図

第 4-3 表 主トラスの評価結果 (座屈耐力^{※4})

部材	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定値	位置
下弦材 H-428×407×20×35	(圧縮)	55.2	177.3	0.94	L1, L16
	(曲げ)	162.1	258.5		

※4 終局耐力を超過した下弦材 L1 及び L16 を評価

降下火砕物の偏りによる影響評価について

原子炉建屋及びタービン建屋には、屋上端部にパラペットが設置されているため、風向き等により降下火砕物の偏りが生じる可能性があることから、建屋発生応力への影響について評価する。

1. 風向きによる偏り

(1) 原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋

原子炉建屋のパラペット高さは屋上階から 62cm，使用済燃料乾式貯蔵建屋のパラペット高さは屋上階から 70cm であるのに対し，降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm となり，仮に風向きにより堆積厚さに偏りが生じた場合においても増加分は軽微であること及び，屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなるため，現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。

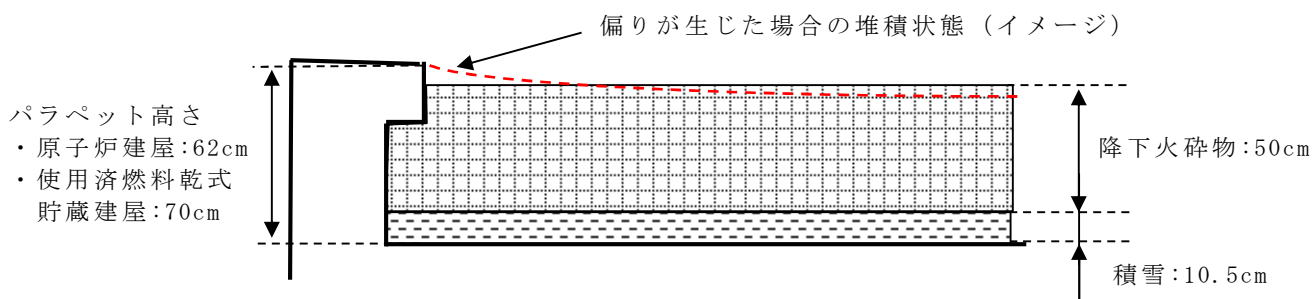


図1 原子炉建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋における降下火砕物及び積雪の堆積状態（イメージ）

(2) タービン建屋

タービン建屋のパラペット高さは屋上階から 58.5cm であるのに対し、降下火砕物堆積厚さに積雪厚さを加えた堆積高さは 60.5cm であり、風による堆積の偏りを想定した場合、堆積厚さは減少することとなるため、現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。

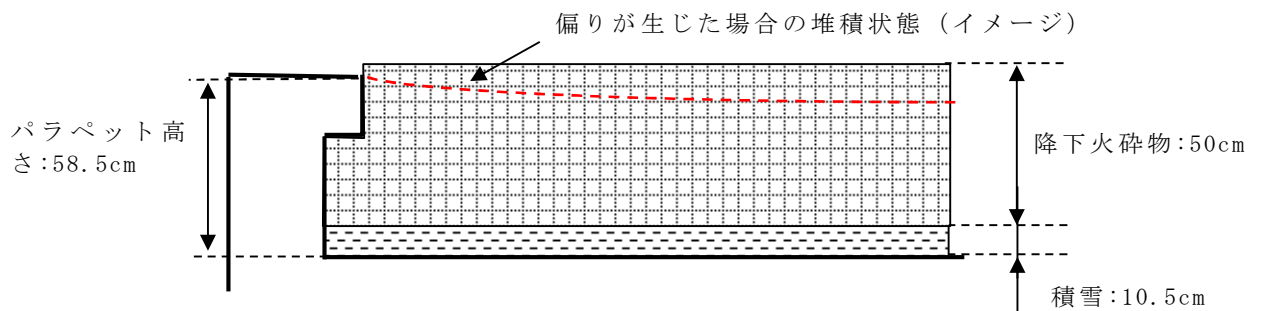


図2 タービン建屋における降下火砕物及び積雪の堆積状態 (イメージ)

なお、降下火砕物の堆積が 50cm より少ない場合は、風により屋上端部に偏る降下火砕物の割合は多くなることが考えられるが、屋上端部近傍以外の堆積量は相対的に減少することとなり、屋上中央部に発生する応力は小さくなることから、現状想定している垂直に堆積する場合の応力評価を上回ることはないと考える。

図3に積雪におけるパラペット付屋根の堆積イメージを示す。

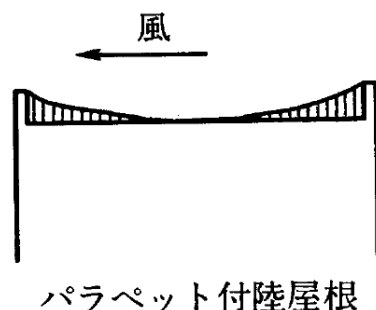


図3 カナダにおける屋上積雪に関する調査結果の概要
(建築物荷重指針・同解説 (2004) 図 5.4.1 抜粋)

2. 降下火砕物除灰時の偏り

降下火砕物の除灰作業時の荷重の偏りを防止するため、以下のとおり運用することとする。

- ・ 屋上面の荷重を均等化するため、堆積した降下火砕物について部分的に掘り下げることせず、可能な限り降下火砕物上面を平滑に削って除灰することとする。
- ・ 除灰した降下火砕物について屋上面で集積せず、速やかに下ろすこととする。

除灰時の人員荷重の考え方について

降下火砕物を除灰する際の人員の荷重については、建屋健全性評価において以下のとおり考慮している。

1. 屋根スラブ

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省 平成 27 年版）における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における 980N/m^2 を包絡するよう、除灰時人員荷重として $1,000\text{ N/m}^2$ ※を考慮し、健全性評価を行っている。

2. 主トラス

「建築構造設計基準の資料」（国土交通省 平成 27 年版）における「屋上(通常人が使用しない場合)」の大梁計算用積載荷重における 600 N/m^2 に対し、屋根スラブと同じ値で設定することとし、除灰時人員荷重として $1,000\text{ N/m}^2$ ※を考慮し、健全性評価を行っている。

なお、建屋屋上の除灰時はスコップ、土のう袋、集じんマスク、ゴーグル、ほうき等軽量の資機材を使用し、重機等の大きな荷重を伴う資機材は使用しない。

※原子炉建屋頂部の場合、約 100kg の人員が約 $1,800$ 人、 1m^2 毎に配置されているのと同様な荷重状態となる。

表 1 「建築構造設計基準の資料」(国土交通省 平成 27 年版)

表 4.2 積 載 荷 重

(単位: N/m²)

室 名 等		床版又は小梁 計算用	大梁、柱 又は基礎 計算用	地震力 計算用	備 考
屋 上	常時人が使用する場合 (学校、百貨店の類を除く)	1,800	1,300	600	「令」第 85 条の屋上広場を準 用。
	〃 (学校、百貨店の類)	2,900	2,400	1,300	
	通常人が使用しない場合	980	600	400	
	鉄骨造体育館、武道場等	980	0	0	短期荷重とする(作業荷重を考 慮)。積雪荷重及び風荷重との組 合せは行わない。
事務室 会議室及び食堂		2,900	1,800	800	「令」第 85 条による。