

島根原子力発電所 2 号炉 火山影響評価について (コメント回答)

令和 3 年 1 月
中国電力株式会社

1. 審査会合での指摘事項に対する回答 指摘事項一覧

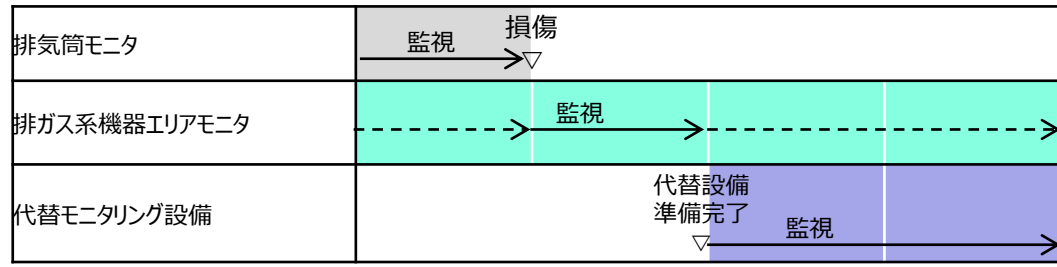
No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
1	R2.12.15	降下火砕物により排気筒モニタ等が損傷した場合、その安全上支障のない期間がどの程度であるか等を明確にした上で、可搬型モニタリング設備による対応等によって、排気筒モニタが有する安全機能が損なわれないことを整理して説明すること。	P2～4
2	R2.12.15	建物に係る影響評価について、島根2号炉は降下火砕物の堆積厚が先行機に比べて厚いことから、詳細設計段階ではより実状に近い条件で安全性を確認するために、原子炉建物については3次元立体モデルを用いた応力評価結果を説明すること。設置変更許可段階ではその解析条件について、東海第二と比較して部材の補強情報と共に説明すること。屋根スラブについても結果だけでなく先行審査と同様に設計方針、設計条件について説明すること。	P5～14

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

指摘事項回答No.1 (1/3)

■ 指摘事項 (第930回審査会合 令和2年12月15日)
 降下火砕物により排気筒モニタ等が損傷した場合、その安全上支障のない期間がどの程度であるか等を明確にした上で、可搬型モニタリング設備による対応等によって、排気筒モニタが有する安全機能が損なわれないことを整理して説明すること。

- 回答
 - 排気筒モニタが損傷したときには補修等の運用による対応としていたが、評価対象施設等であることを踏まえ、排気筒モニタの信頼性向上対策について検討した。その結果、以下の対策により、排気筒モニタの安全機能が維持できることから、方針を変更し、排気筒モニタに対する降下火砕物の直接的な影響因子によって、安全機能を損なわない設計とする。
 - ✓ 降下火砕物の堆積荷重に対する排気筒モニタ室の補強
 - ✓ 排気筒モニタ室の通気口へのフィルタ設置
 - なお、排気筒モニタが損傷した場合においても代替設備により安全機能を損なわず対応可能としていた理由を以下に示す。
 - ✓ 排気筒モニタの損傷は、サンプリング配管破断などに伴うサンプル流量の低下やケーブル損傷に伴うラック電源の断線による「排気筒サンプリング装置」の警報が中央制御室の制御盤に表示されるため、遅滞なく検知可能である。
 - ✓ 排気筒モニタの損傷時、代替設備を準備するまでの間は、常設エリアモニタであり排ガス処理系機器設置エリアの室内空気の放射線レベルを監視している排ガス系機器エリアモニタ（タービン建物及び廃棄物処理建物に設置）によって、放射性気体廃棄物処理系機器の損傷について連続監視が可能である。
 - ✓ 代替設備である可搬型モニタリング設備は、準備に要する時間として30分から1時間を見込んでおり、その間も排ガス系機器エリアモニタによる連続監視が可能であるため、安全上支障はない。タイムチャートを以下に示す。



1. 審査会合での指摘事項に対する回答

指摘事項回答No.1 (2/3)

- 排気筒モニタ室及び排気筒モニタについて、補修等の対応ではなく、評価対象施設等と同様の評価を行うこととする。
- 排気筒モニタの設計方針及び評価結果を次頁に示す。
- 排気筒モニタ室については、補強工事を行い、補強の内容を反映した評価により構造健全性に影響がないことを詳細設計段階で示す。

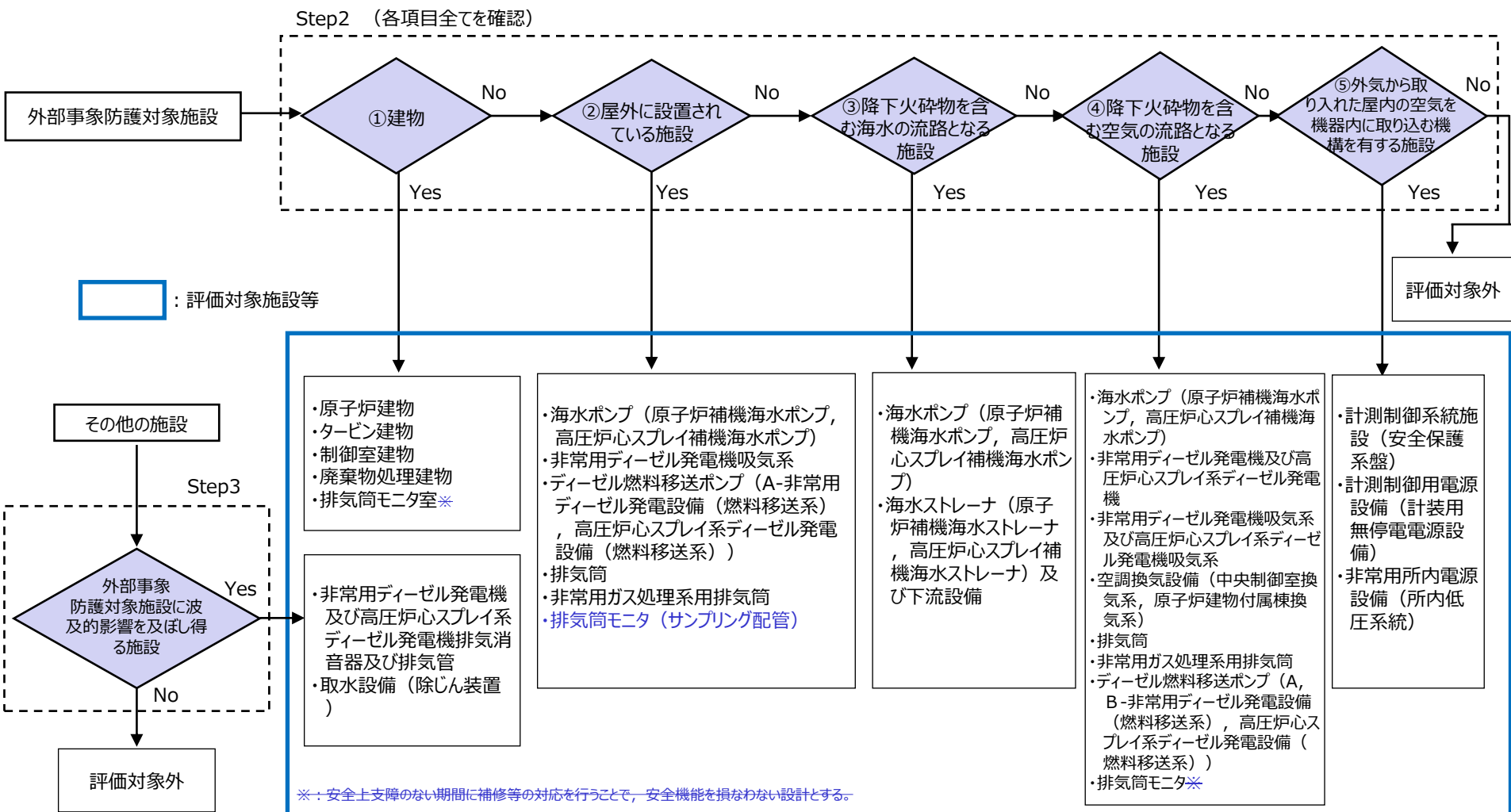


図 評価対象施設等の抽出フロー

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

指摘事項回答No.1 (3/3)

- 降下火砕物による排気筒モニタに係る影響について以下のとおり評価した。
排気筒モニタ（屋外サンプリング配管除く）は排気筒モニタ室内に設置されているが、排気筒モニタ室の通気口にフィルタを設置し、降下火砕物が内部に侵入しにくい設計とするため、排気筒モニタへの影響はない。

排気筒モニタの設計方針及び評価結果

評価項目	設計方針	評価結果
換気系、電気系及び計装制御系に対する機械的影響（閉塞）	排気筒モニタのサンプリング配管の計測口は、排気筒内部に設置するとともに下方から吸い込む構造とすることにより、閉塞しない設計とする。	排気筒モニタのサンプリング配管計測口は、下方から吸い込む構造であること、また排気筒内部に設置していることで、排気筒の排気速度により降下火砕物が排気筒内部に侵入しないことから、計測口が閉塞することではなく機能に影響を及ぼすことはない。
構造物への化学的影響(腐食)	腐食性ガスによって直ちに金属腐食は生じないが、耐食性のある材料の使用等によって、短期での腐食により安全機能を損なわない設計とする。	排気筒モニタのサンプリング配管は、耐食性のあるステンレス鋼を用いていることから降下火砕物による短期での腐食により機能に影響を及ぼすことはない。

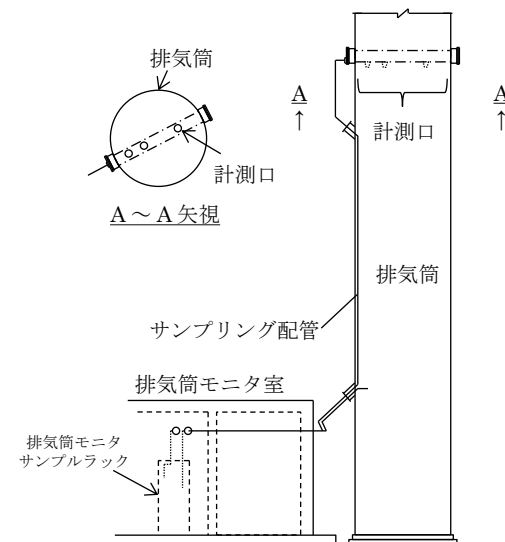


図 排気筒モニタ概要図

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

■ 指摘事項（第930回審査会合 令和2年12月15日）

建物に係る影響評価について、島根2号炉は降下火砕物の堆積厚が先行機に比べて厚いことから、詳細設計段階ではより実状に近い条件で安全性を確認するために、原子炉建物については3次元立体モデルを用いた応力評価結果を説明すること。設置変更許可段階ではその解析条件について、東海第二と比較して部材の補強情報と共に説明すること。屋根スラブについても結果だけでなく先行審査と同様に設計方針、設計条件について説明すること。

■ 回答

【原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析】

・設置許可段階の評価においては、原子炉建物主トラスの応力評価を設計時と同様に二次元フレームモデルを用いているが、詳細設計段階の評価においては、三次元立体モデルを用いた応力解析によりフレーム間の応力伝達を考慮した詳細な主トラスの評価を行うこととする。三次元立体モデルによる評価方針及び部材諸元について東海第二発電所と比較して示す。（P6～P11）

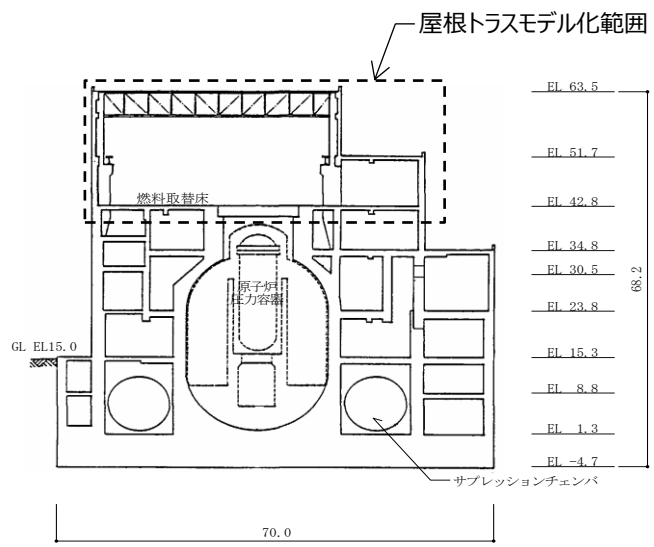
【原子炉建物の屋根スラブ評価】

・気密性及び遮蔽性に対する機能維持の確認を行う原子炉建物屋根トラス上部の屋根スラブについて、「a.設計時の構造計算結果に基づく評価」による評価フロー、評価条件及び評価結果を示す。（P12～P14）

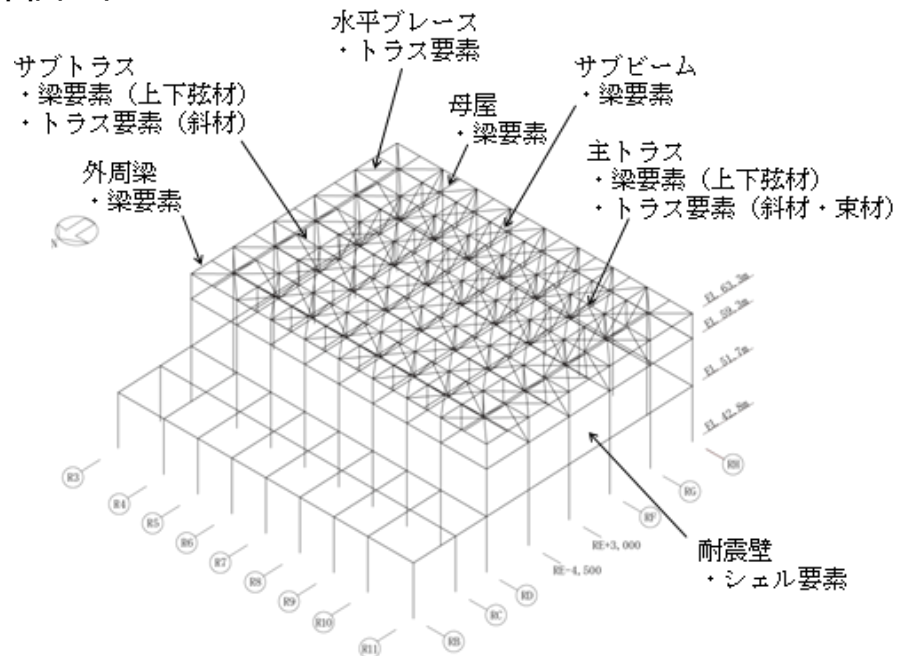
1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析（1 / 6）

- 三次元立体モデルによる評価方針を以下に示す。
 - 屋根トラスの補強工事の内容を反映したモデルとする。
 - 燃料取替床より上部の構造を立体構造でモデル化する。
 - 主トラス弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素、斜材と束材は軸剛性のみ考慮されたトラス要素とし、部材長さは部材芯位置でモデル化する。また、二次部材については、以下の概念図に示す通りとする。
 - 屋根スラブの自重等の屋根スラブにかかる荷重は主トラス上弦材に負荷する。その際、屋根スラブの剛性は保守的に考慮しない。
 - 三次元立体モデルによる応力解析から得られる解析結果に基づき、主トラスの構造評価を行う。また、二次部材については個別に応力解析を行い構造評価を行う。



(a) モデル化範囲



(b) 三次元立体モデル（概念図）

屋根トラスの解析モデルの概要

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析（2 / 6）

- 詳細設計段階で原子炉建物屋根トラスの応力解析に用いる三次元立体モデルの基本的な作成方針について東海第二発電所の方針との比較を示す。基本的な作成方針は東海第二発電所と同様。

表 東海第二発電所との基本的な方針の比較

	東海第二発電所※	島根原子力発電所2号炉
範囲	・オペレーティングフロアより上部構造を三次元の立体構造でモデル化する。	・燃料取替床より上部の構造を三次元の立体構造でモデル化する。 (差異なし)
トラス	・主なトラス弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素、斜材と束材は軸剛性のみ考慮されたトラス要素とし、部材長さは部材芯位置でモデル化する。	・主なトラス弦材は、軸・曲げ・せん断剛性のある梁要素、斜材と束材は軸剛性のみ考慮されたトラス要素とし、部材長さは部材芯位置でモデル化する。 (差異なし)
屋根スラブ	・屋根スラブの自重等の屋根スラブに係る荷重は主トラス上弦材に負荷して、主トラスの構造評価を行う。その際、屋根スラブの剛性は保守的に考慮しない。	・屋根スラブの自重等の屋根スラブにかかる荷重は主トラス上弦材に負荷して、主トラスの構造評価を行う。その際、屋根スラブの剛性は保守的に考慮しない。 (差異なし)

※第514回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成29年9月28日）「資料1-2-2 東海第二発電所 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）（審査会合における指摘事項への回答）」

注：他サイトの情報等に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析（3 / 6）

■東海第二発電所との部材比較

原子炉建物屋根トラス及び屋根トラス上の屋根スラブの部材諸元について、東海第二発電所との比較を示す。

島根原子力発電所 2 号炉の降下火砕物の堆積厚は56cmであり、東海第二発電所の50cmに比べやや厚いが、島根原子力発電所 2 号炉は東海第二発電所に比べ、各表に示す強度評価上の観点において構造強度が高いことから、構造健全性が確保される結果になると思われる。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析（4 / 6）

■ 原子炉建物屋根トラスの部材諸元等について、東海第二発電所との比較を示す。

表 原子炉建物屋根トラスの部材比較

	東海第二発電所※1		島根原子力発電所2号炉		強度評価上の観点
スパン	41.1m		38.5m		トラスのスパンが短い
上弦材	H-400×400×13×21	SS400 (SS41)	H-400×400×13×21	SM490 (SM50A)	上下弦材の材料強度が高い
下弦材	H-400×400×13×21		BH-400×400×19×35		
		H-400×400×13×21			
斜材※2	2L _S -200×200×15 (115.5cm ²)	SS400 (SS41)	2CT _S -175×350×12×19 (173.9cm ²)	SS400 (SS41)	斜材及び束材の部材断面が大きい (耐震補強でさらに部材断面が大きくなっている)
	2L _S -150×150×15 (85.48cm ²)		2CT _S -150×300×10×15 (119.8cm ²)		
	2L _S -150×100×12 (57.12cm ²)		2CT _S -125×250×9×14 +4L _S -90×90×10※3 (92.18+68=160.18cm ²)		
束材※2	2L _S -200×200×15 (115.5cm ²)	SS400 (SS41)	2CT _S -175×350×12×19 (173.9cm ²)	SS400 (SS41)	
	2L _S -150×150×15 (85.48cm ²)		2CT _S -150×300×10×15 (119.8cm ²)		
	2L _S -150×100×12 (57.12cm ²)		2CT _S -125×250×9×14 (92.18cm ²)		
モデル図					—

※1：第514回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成29年9月28日）「資料1-2-2 東海第二発電所 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）（審査会合における指摘事項への回答）」

※2：括弧内は、鉄骨の断面積

※3：補強工事で追加した部材

注：他サイトの情報等に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析（5 / 6）

- 原子炉建物屋根スラブ（屋根トラス上部）の部材諸元について，東海第二発電所との比較を示す。

表 原子炉建物屋根スラブの部材比較

	東海第二発電所※	島根原子力発電所2号炉		強度評価上の観点
コンクリートの設計基準強度	22.1N/mm ²	23.5N/mm ²		コンクリートの材料強度が高い
鉄筋材料	SD345 (SD35)	SD345 (SD35)		鉄筋の材料強度は同等
厚さ				スラブ厚が厚い
配筋	短辺：D13@180（上端・下端） 長辺：D13@200（上端・下端）	中央部	短辺：D13@200（上端・下端） 長辺：D13@200（上端・下端）	配筋は同等
		周辺部	短辺：D13@100（上端・下端） 長辺：D13@100（上端・下端）	

※第514回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成29年9月28日）「資料1-2-2 東海第二発電所 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）（審査会合における指摘事項への回答）」

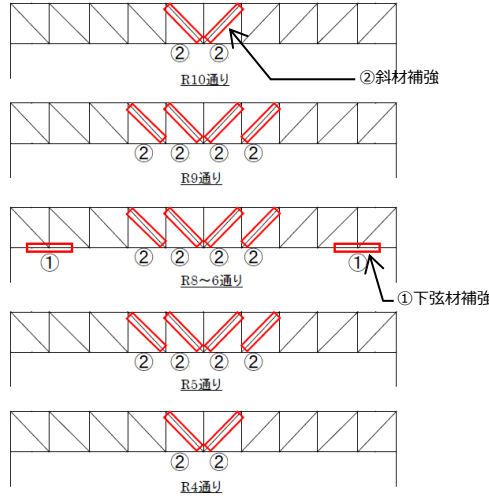
注：他サイトの情報等に係る記載内容については，公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

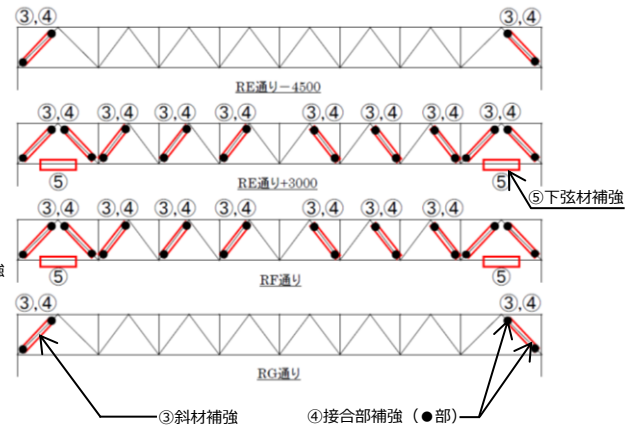
原子炉建物屋根トラスの三次元立体モデルを用いた応力解析 (6 / 6)

■ 原子炉建物屋根トラスの耐震補強の概要は以下の通り。

- 屋根トラスの補強については、主トラスやサブトラスの余裕の少ない部材に対して、補強材の追加等による耐震補強工事を実施している。耐震補強箇所を下図に、補強部材の詳細を右表に示す。



主トラス断面図



サブトラス断面図

補強部材の詳細

No	箇所及び補強方法
①	<p>主トラス下弦材 補強材追加</p>
②	<p>主トラス斜材 補強材追加</p>
③	<p>サブトラス斜材 補強材追加</p>
④	<p>サブトラス斜材 接合部補強</p>
⑤	<p>サブトラス下弦材 補強材追加</p>

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

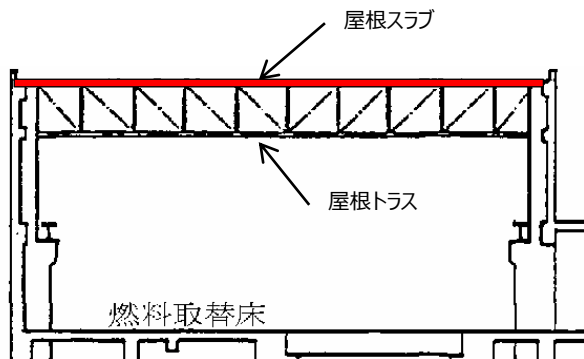
原子炉建物の屋根スラブ評価（1 / 3）

■ 評価部位

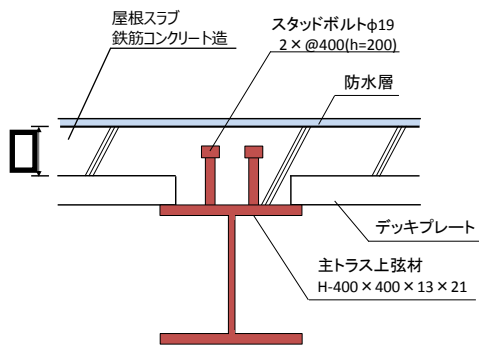
- 以下に屋根トラス上部の屋根スラブについて，屋根トラス断面図，屋根スラブ断面図及び屋根平面図を示す。

■ 設置許可段階での評価方針及び評価方法

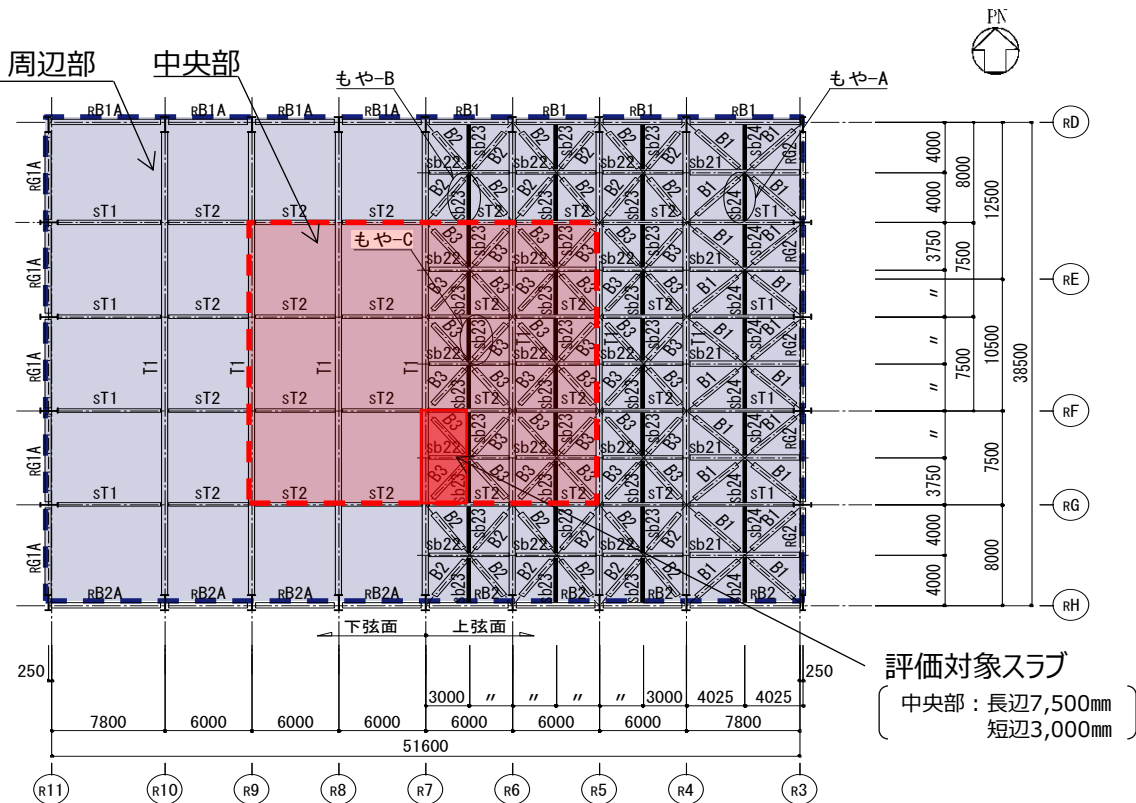
- 設計時の長期荷重に対する部材裕度及び構造部材の材料の短期許容応力度と長期許容応力度の比を考慮することにより，許容堆積荷重を算定し，設計堆積荷重を上回っていることを確認する。
- 許容堆積荷重が最も少なく算定された中央部を評価対象スラブ（屋根平面図に位置を示す）として，評価フロー，評価条件及び評価結果を示す。



屋根トラス断面図



屋根スラブ断面図



1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物の屋根スラブ評価（2 / 3）

- 評価フロー及び評価条件を以下に示す。

表 1 評価フロー及び評価条件

評価フロー	評価条件	
(1) ①設計時の長期荷重に対して、屋根を構成する各構造部材が持つ設計荷重に対する②余裕率 α を設計時の構造計算結果を基に算出する。	①設計時の長期荷重	7,700N/m ² (積載荷重588N/m ² * ¹ を含む)
	②余裕率 α * ²	2.07 =min(曲げ(2.07), せん断(6.59))
(2) 設計時の長期荷重に余裕率 α を乗算することにより、部材として許容できる③最大の長期荷重を算定する。なお、最大の長期荷重算出には、各構造部材に対する余裕率 α の中で最小となる α を用いる。	③最大の長期荷重 (①×②)	15,939N/m ² =7,700×2.07
(3) (2)で算定した荷重に、各構造部材の材料の④短期許容応力度と長期許容応力度の比を乗算することにより、⑤耐荷重を算定する。	④短期許容応力度と長期許容応力度の比	1.59 (鉄筋SD345, D13)
	⑤耐荷重 (③×④)	25,343N/m ² = 15,939×1.59
(4) (3) で算定した耐荷重から⑥常時作用する荷重を差し引くことにより⑦許容堆積荷重を算定する。	⑥常時作用する荷重 (① + 積載荷重* ³)	8,093N/m ² =7,700 + 981 - 588* ¹
	⑦許容堆積荷重 (⑤ - ⑥)	17,200N/m ² ≒25,343 - 8,093

部材諸元 厚さ： ，配筋：長辺・短辺共D13@200（上端・下端）（SD345），長辺7,500mm×短辺3,000mm

※ 1：設計時の長期荷重に含まれる長期検討用の積載荷重

※ 2：曲げについては、必要鉄筋量に対する設計鉄筋量、せん断については、コンクリートの発生応力に対する許容応力により算定

※ 3：積載荷重として考慮する除灰時の人員荷重

1. 審査会合での指摘事項に対する回答【 No. 2 】

原子炉建物の屋根スラブ評価（3 / 3）

- 評価結果を以下に示す。

表2 堆積荷重評価結果（a.設計時の構造計算結果に基づく評価）

評価対象建物	評価部位	設計 堆積荷重※1 (N/m ²)	許容堆積荷重※2 (N/m ²)	評価 結果
原子炉建物	屋根スラブ (屋根トラス上部)	8,938	17,200	○

※1:降下火砕物堆積量（56cm）に積雪量（35cm）を加えて設定した荷重。

※2:積載荷重として考慮する除灰時の人員荷重981N/m²を差し引いて設定した値。

- 詳細設計段階での評価方針及び評価方法

- ・原子炉建物の屋根スラブについては、原子炉建物原子炉棟の二次格納施設バウンダリを構成する部位であるため、火山灰堆積荷重と積雪荷重等の荷重を重ね合わせた荷重に対して、換気機能とあいまの気密性能、遮蔽性能及び構造健全性を確保する方針とする。
- ・火山灰堆積荷重、積雪荷重、固定荷重及び積載荷重（除灰時の人員荷重981N/m²を含む）を重ね合わせた荷重に対し応力解析を行い、屋根スラブに生じる応力が許容値を超えないことを確認する。
- ・許容値は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に従うとともに、短期許容応力度に基づくものとして設定する。