

# 島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止 (コメント回答)

---

[原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について]

令和 2 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。

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
<b>論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点</b>			
<b>&lt;建物・構築物&gt;</b>			
48	R1.11.14	[論点Ⅱ－2：原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用] ・水平ブレースの要求機能及び許容限界について、当該部位が建設工認時より地震水平力の伝達を担う構造部材であることを踏まえ、主トラスと同様に「弾性範囲内」とする等、構造部材としての健全性確保の観点で検討して説明すること。	5, 13
49	R1.11.14	[論点Ⅱ－2：原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用] ・屋根スラブは二次格納施設のバウンダリーであり気密機能が要求される。その上、今回、建設工認時とは異なり、水平地震力を伝達する構造部材として評価対象とするならば、大飯3 / 4号機のアニュラス区画構築物のような先行工認実績を踏まえて、屋根スラブについて構造部材及び二次格納施設のバウンダリーとしての評価方針及び許容限界の考え方を説明すること。	9

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48】

## ■ 指摘事項（第797回審査会合 令和元年11月14日）

### 【No.48（論点Ⅱ－2）原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用】

○水平ブレースの要求機能及び許容限界について、当該部位が建設工認時より地震水平力の伝達を担う構造部材であることを踏まえ、主トラスと同様に「弾性範囲内」とする等、構造部材としての健全性確保の観点で検討して説明すること。

## ■ 回答

- ・水平ブレースが建設工認時より地震水平力の伝達を担う構造部材であることを明記し、要求機能を明確化した。（P5,P13）
- ・水平ブレースを含めた屋根トラスの主要部材の許容限界については、構造部材としての健全性確保の観点から主要部材が弾性範囲内であることを確認することを基本とし、弾性範囲を上回る応答が生じた場合は別途詳細検討を行う方針とする。（P13）

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.49】

## ■ 指摘事項（第797回審査会合 令和元年11月14日）

### 【No.49（論点Ⅱ－2）原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用】

○屋根スラブは二次格納施設のバウンダリーであり気密機能が要求される。その上、今回、建設工認時とは異なり、水平地震力を伝達する構造部材として評価対象とするならば、大飯3 / 4号機のアニュラス区画構造物のような先行工認実績を踏まえて、屋根スラブについて構造部材及び二次格納施設のバウンダリーとしての評価方針及び許容限界の考え方を説明すること。

## ■ 回答

今回工認では、3次元フレームモデルに屋根スラブをモデル化（面内方向の剛性を考慮）することから、屋根スラブの構造部材及び二次格納施設のバウンダリーとしての地震荷重に対する評価方針及び許容限界について、先行工認実績を踏まえ、以下の通り整理した。（P9）

### ・二次格納施設のバウンダリー

気密性の維持について、面内方向は、概ね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認し、概ね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する。また、面外方向は、面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないことを確認する。

### ・構造部材

構造強度については、気密性に対する評価方針を満足していることを確認することにより、構造強度を確保する方針とする。

## 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ－２ 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用（１）

## ■ 耐震設計の論点

【論点Ⅱ－２：原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用】（論点の重み付け：B 2）

○地震応答解析及び部材応力評価において、材料（鉄骨）の非線形特性を考慮した3次元フレームモデルによる弾塑性解析を採用する。

## ■ 論点に係る説明概要

原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用に関する方針を以下に示す。

○建設時の工事計画認可申請書（「既工認」）

- ・既工認における原子炉建物屋根トラスの解析においては、2次元フレームモデルを用いた静的応力解析による評価を実施していた。

○今回の工事計画認可申請（「今回工認」）

- ・今回工認では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動  $S_s$  による地震応答解析及び部材応力評価において、基本的に材料（鉄骨）の非線形特性を考慮した3次元フレームモデルによる弾塑性解析を採用する。
- ・弾塑性解析で使用する材料構成則の設定にあたっては、修正若林モデルによる特性を設定する。

○先行プラント実績

- ・川内原子力発電所タービン建屋の解析で考慮したブレースの弾塑性特性及び東海第二発電所原子炉建屋の解析で考慮したトラス部材の弾塑性特性として採用実績あり。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ-2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用（2）

■ 本資料では原子炉建物屋根トラスの解析モデルについて、既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異及びモデル変更の目的を整理し、論点を抽出した上で、その適用性・妥当性を検討する。また、要求機能を踏まえた屋根トラス各部材及び屋根スラブの機能維持評価の方針について整理する。

### 1. 原子炉建物屋根トラスの概要

- 原子炉建物の上部構造は、鉄筋コンクリート造陸屋根をもつ鉄骨造の屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、38.5m（南北）×51.6m（東西）の長方形をなしており、燃料取替床レベル（E L 42.8m）からの高さは20.7mである。
- 屋根トラスについては補強工事を実施している。
- 屋根トラス各部材の主な要求機能は、屋根スラブからの鉛直荷重の支持であり、主トラスについては、既工認と同様に水平地震荷重及びクレーン荷重についても支持する設計としている。
- 水平ブレースについては、既工認と同様に水平地震荷重の伝達が可能な設計としている。

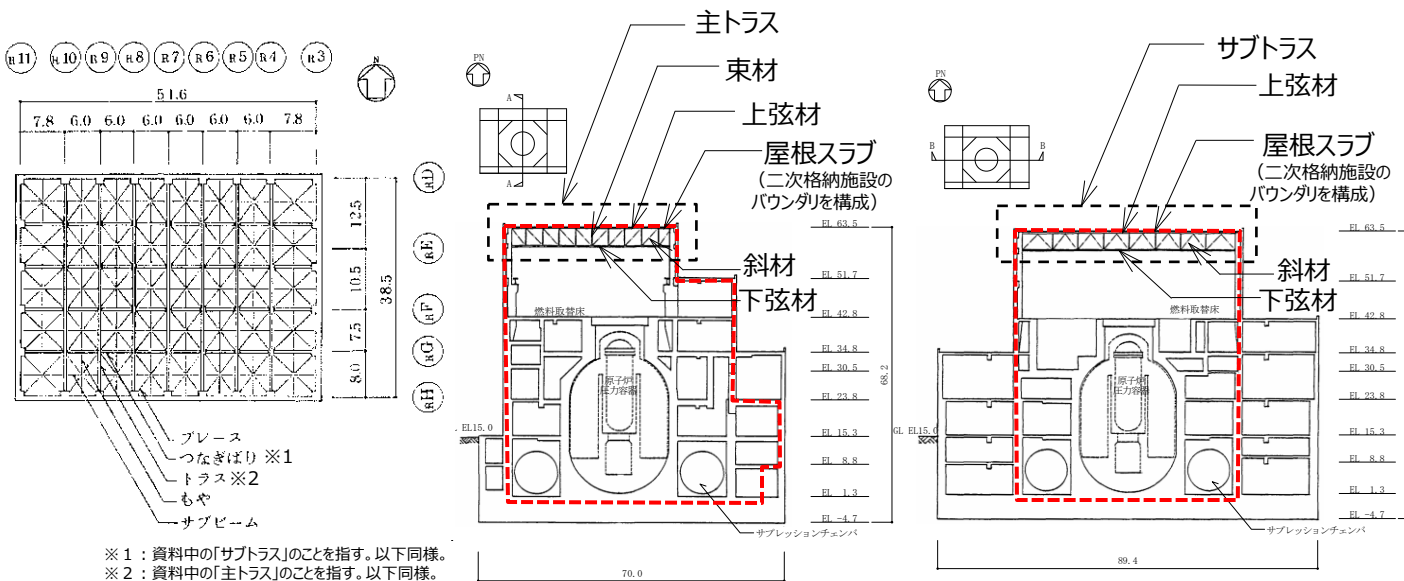
主トラスの部材諸元

部材	使用部材
上弦材	H-400×400×13×21
下弦材	BH-400×400×19×35
	H-400×400×13×21
斜材	2CTs-175×350×12×19
	2CTs-150×300×10×15
	2CTs-125×250×9×14
束材	2CTs-175×350×12×19
	2CTs-150×300×10×15
	2CTs-125×250×9×14

屋根トラスの各部材の要求機能

部位	部材	要求機能 <sup>注1</sup>
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として水平地震荷重、クレーン荷重の支持
	下弦材	
	斜材	
サブトラス	束材	鉛直荷重の支持
	上弦材	
	下弦材	
母屋		鉛直荷重の支持
サブビーム		鉛直荷重の支持
水平ブレース		水平地震荷重の伝達

注1：主な機能を示しており基準地震動S<sub>s</sub>に対する発生応力の負担も考慮する。



：原子炉棟（二次格納施設）

原子炉建物屋根トラスの概要（単位：m）

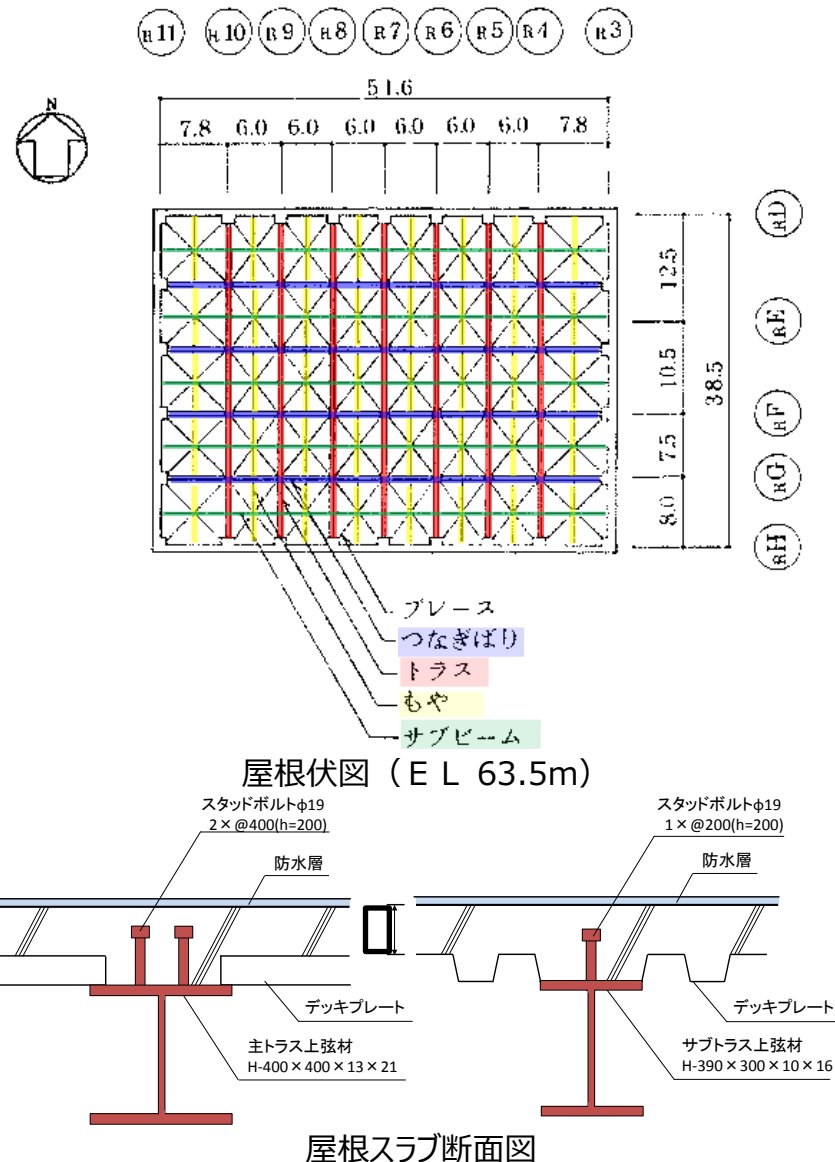
※1：資料中の「サブトラス」のことを指す。以下同様。  
 ※2：資料中の「主トラス」のことを指す。以下同様。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (3)

### 2. 原子炉建物屋根スラブの概要

- 原子炉建物の屋根スラブは南北方向39.9m×東西方向53.8mの平面寸法、厚さ  の鉄筋コンクリート構造である。
- 外周部は厚さ  (南北方向) 及び  (東西方向) の鉄筋コンクリート造の耐震壁並びに鉄骨鉄筋コンクリート造の柱で支持されており、南北方向に配置された7構面の主トラスと主トラスの中間の母屋、東西方向の4構面のサブトラス (つなぎばり) とサブトラスの中間のサブビームで支持されている。
- 屋根スラブ下面に取りつく主トラス上弦材及びサブトラス上弦材はH型断面の鋼材であり、スタッドボルトで屋根スラブと一体化することにより面内及び面外に高い剛性を確保している。
- 屋根スラブには気密性の機能維持が要求されるため、換気性能とあいまって機能維持する方針である。なお、屋上面には防水材を施すことにより、防水性を確保している。



# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (4)

### 3. 原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア

#### (1) 解析モデルの概要

##### ○解析手法

- 原子炉建物屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために3次元モデルによる地震応答解析を採用する。

##### ○解析モデル

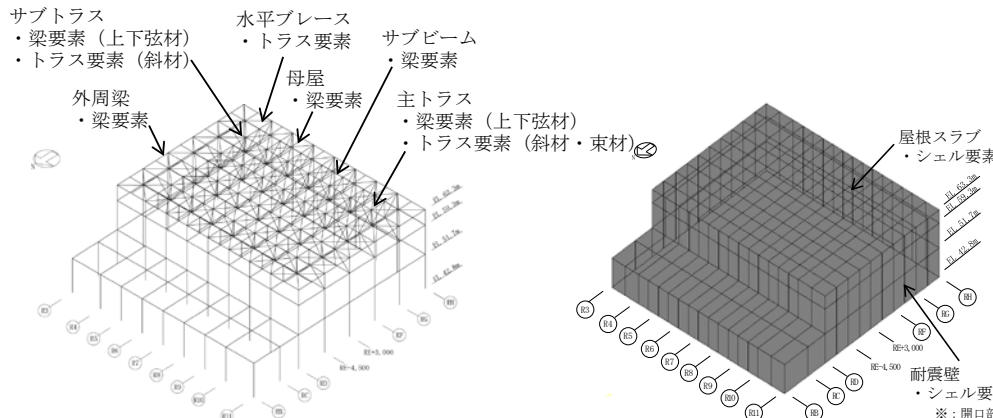
- 地震応答解析モデルは、燃料取替床レベル (E L 42.8m) より上部の鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨鉄筋コンクリート造) の柱、梁、壁、鉄骨造の屋根トラス及び屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した3次元フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。

##### ○屋根トラス部のモデル化

- 屋根トラス部は、主トラス、サブトラス、水平ブレース (屋根上弦面)、サブビーム及び母屋をモデル化する。
- 各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材及びサブビーム等) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (水平ブレース、トラスの斜材及び束材等) としてモデル化する。
- 耐震壁及び屋根スラブはシェル要素、外周梁は軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。なお、柱脚の条件は固定とする。

##### ○屋根スラブ部のモデル化

- 屋根トラスは屋根スラブとスタッドで一体化されていることにより、高い剛性を確保しているため、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいても屋根スラブの面内剛性を考慮することとする。なお、屋根トラス部材の応力評価に対する保守性を考慮し、屋根スラブの面外剛性は考慮しないこととする。
- 屋根スラブのシェル要素は、主トラス及びサブトラスの各交点、並びに主トラス及びサブトラスと母屋、サブビームの各交点で節点を共有するようにモデル化する。



解析に用いる材料定数

部位	材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	減衰定数
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	0.02
躯体	コンクリート	2.25×10 <sup>4</sup>	0.2	0.05

(a) モデル化範囲

(b) 線材によるモデル化部分  
屋根トラスの解析モデルの概要

(c) 面材によるモデル化部分



# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (5)

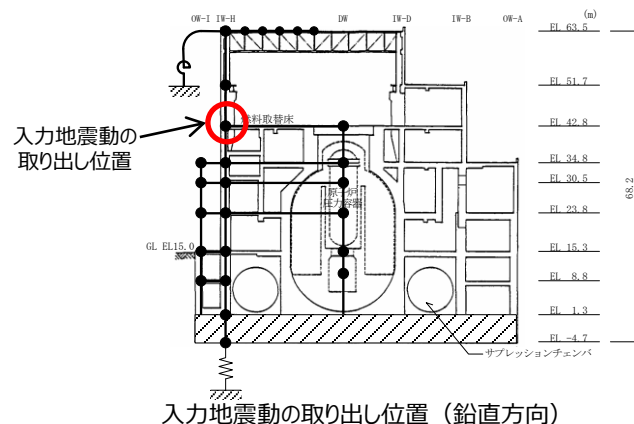
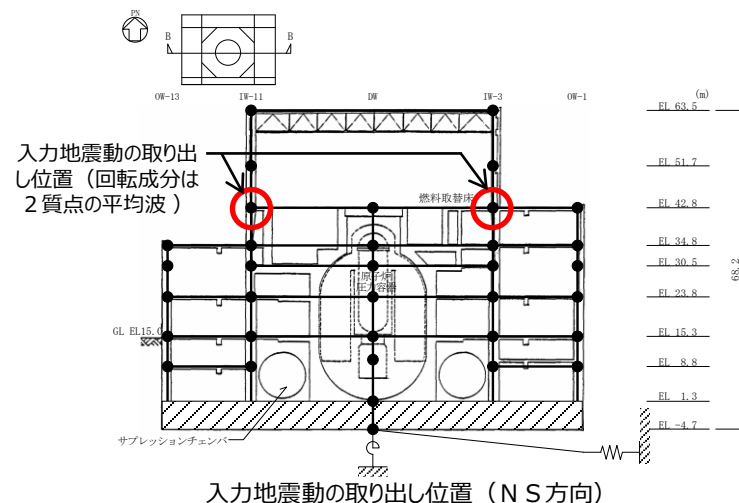
### 3. 原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア (続き)

#### (2) 鉄骨部材の弾塑性評価

- 基準地震動  $S_s$  に対する評価を実施する際、トラス材としてモデル化した部材の一部については、塑性領域に入ると考えられるため、部材座屈後の挙動を模擬できる手法（修正若林モデル）に基づく弾塑性特性を考慮している。考慮した弾塑性特性の詳細については、「6. 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について」に示す。

#### (3) 入力地震動, 材料減衰

- 解析モデルへの入力地震動は、原子炉建物の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル (E L 42.8m) の応答結果 (水平, 鉛直及び回転成分) を用いることとし、燃料取替床位置を固定として、同時入力による地震応答解析を実施する。
- 原子炉建物水平方向の質点系モデルは床剛モデルを採用しているため、加速度並進成分は燃料取替床レベルの各質点で同一応答となるが、回転成分は各質点で応答が異なるため、回転成分の入力波は、モデル脚部の2質点の平均波を入力する。
- なお、今回工認では、原子炉建物屋根トラスの地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている<sup>(1)(2)</sup>。
- 地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造部分については、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数(4.60Hz)に対して減衰定数を2%とし、鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造部分については、NS, EW方向の短い方の1次周期に対して減衰定数を5%とした減衰係数を設定する剛性比例型減衰(各部別)とする。
- 剛性比例型減衰の特徴として高次モードの減衰を大きくとることになるが、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいため、剛性比例型減衰の採用が屋根トラスの応答へ与える影響は小さいと考える。



(1) 日本建築センター：性能評価を踏まえた超高層建築物の構造設計実務－超高層・免震建築物の構造設計者が実際に行ってきた検討と判断を集大成－, 2019

(2) 日本建築学会：建築物の減衰, 2000

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ－２ 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用（６）

### 3. 原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア（続き）

#### （４）要求機能に対する設計方針（設計クライテリア）

- 屋根トラスの要求機能は屋根スラブの間接支持構造物であり、Sクラスである原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）のバウンダリを構成する屋根スラブの要求機能である気密性が確保されるように基準地震動  $S_s$  に対し屋根トラスの設計を行う。
- 屋根スラブの評価方針は、面内方向については屋根トラスの地震応答解析モデルにおいて屋根スラブの面内剛性を考慮しているため、屋根スラブに発生する面内応力を対象に機能維持評価を実施する。面外方向については、質点系モデルの屋根面に対応する鉛直方向震度を用いて、主トラス上弦材、サブトラス上弦材、サブビーム及び母屋に支持されるスラブとして評価する。また、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいては屋根スラブの面外剛性は考慮していないが、詳細設計段階では面外剛性を考慮した解析により、屋根スラブの応答性状や応力分布などを確認のうえ機能維持評価を実施する。
- 屋根トラスの評価方針については、基準地震動  $S_s$  に対して屋根スラブを支持できることを確認する。
- なお、屋根スラブにはひび割れに対して追従性のある防水材を全面に施工することにより、防水性を確保している。また、屋根スラブには防水材の他に下部の全面にデッキプレートを敷設してある。これらは気密性に対し有効な機能を有すると考えられるが、今回の気密性の検討においては、特にその性能は考慮しない。

機能維持の評価方針

部位	要求機能	評価方針
屋根スラブ	気密性 <sup>注4</sup>	（面内）概ね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。概ね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する <sup>注1</sup> 。 （面外）面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと <sup>注2</sup> を確認する <sup>注3</sup> 。（鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討）
屋根トラス	間接支持構造物	基準地震動 $S_s$ に対して屋根スラブを支持できること。

注1：漏えい量の算定にあたっては、別途算定する耐震壁の漏えい量を考慮する。

注2：「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2005）（以下、「RC-N規準」という。）」の短期許容応力度の鋼材の基準強度  $F$  を「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，2015）（以下、「技術基準解説書」という。）」に基づき1.1倍した耐力を超えないこと。

注3：屋根スラブについては、主トラス上弦材、サブトラス上弦材、サブビーム及び母屋に支持されるスラブとして鉛直方向の震度を考慮する。

注4：構造強度については、気密性に対する評価方針を満足していることを確認することにより、構造強度を確保する方針とする。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ－２ 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用（7）

### 4. 既工認と今回工認における原子炉建物屋根トラスの解析モデルの比較

- 既工認と今回工認における解析モデルの比較を以下に示す。
- 解析コード、要素分割及び地震荷重の差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。
- モデル化については、原子炉建物屋根トラスが鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を適切に行うことを目的として3次元フレームモデルによる弾塑性時刻歴応力解析を採用している。
- コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、適用基準を日本建築学会「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－」（1999）に見直したことによるものである。
- 以上を踏まえ、既工認と今回工認における主要な差異として、「原子炉建物屋根トラスに対する弾塑性時刻歴応力解析の採用」を抽出し、検討を行う。

原子炉建物屋根トラスの解析モデルの比較

項目	既工認	今回工認
解析手法	・静的応力解析（弾性解析）	・時刻歴応力解析（弾塑性解析）
解析コード	・SD	・f a p p a s e
モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル （屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 <sup>注1</sup> ）
要素分割	梁要素：トラスの上下弦材等 トラス要素：トラスの斜材，束材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁等 トラス要素：水平ブレース，トラス斜材，束材等 シェル要素：耐震壁，屋根スラブ
材料物性	・鉄骨のヤング係数： $E = 2.1 \times 10^7$ (t/m <sup>2</sup> ) ・コンクリートのヤング係数 $E = 2.1 \times 10^6$ (t/m <sup>2</sup> ) ・コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.167$	・鉄骨のヤング係数： $E = 2.05 \times 10^5$ (N/mm <sup>2</sup> ) ・コンクリートのヤング係数 $E = 2.25 \times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> ) ・コンクリートのポアソン比 $\nu = 0.2$
評価方法	・Aクラス施設として、基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認 <sup>注2</sup>	・Sクラスである原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）のパウンタリを構成する屋根スラブの間接支持構造物として、基準地震動Ssによる地震力に対し、主トラスの各部材に発生する応力が、許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性（修正若林モデル）を適用する部材が過度な塑性化はしないこと（破断の可能性がないこと）を確認 <sup>注3</sup>
地震荷重	・水平：原子炉建物の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建物の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力
その他	・水平ブレース，屋根スラブ等の部材は重量として考慮し，剛性は考慮しない	・水平ブレース，屋根スラブ <sup>*</sup> 等の部材は3次元フレームモデルを構成する部材としてモデル化 <sup>*</sup> 屋根スラブはシェル要素としてモデル化し，面内剛性を考慮（保守性を考慮し，面外剛性は考慮しない）

注1：耐震補強工事の概要については、補足1に示す。

注2：主トラスの耐震性を確認することにより、屋根スラブの要求機能は維持できると考え評価を実施。

注3：軸力のみを負担するトラス要素でモデル化した部材に弾塑性特性を考慮する。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (8)

### 5. 弾塑性解析を採用することの目的

- 基準地震動  $S_s$  による地震動の増大に伴い、トラスを構成する部材の一部が塑性領域に入ると考えられるが、弾性解析では当該部材の塑性化による影響を考慮できないため、解析と実現象に乖離が生じることになる。
- そこで今回工認では、屋根トラスの弾塑性挙動を適切に評価することを目的として、部材の弾塑性特性を考慮した地震応答解析を採用する予定としている。
- 原子炉建物屋根トラスの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現できないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。
- 弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、部材の弾塑性特性を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。
- 今回工認で採用予定の屋根トラス部材の弾塑性特性について、下表に示すとおり、軸力のみを負担するトラス要素に対してのみ弾塑性特性として修正若林モデルを採用する予定である。
- 修正若林モデルを用いた弾塑性解析を実施することにより、一部部材の塑性化を考慮することとなるため、当該部材のクイテリアについて整理する。

屋根トラス部材の弾塑性特性について

評価部位		モデル要素	弾塑性特性
主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル) 注1
	束材		
サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル) 注1
母屋		梁要素	考慮しない (弾性)
サブビーム		梁要素	考慮しない (弾性)
水平ブレース		トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)

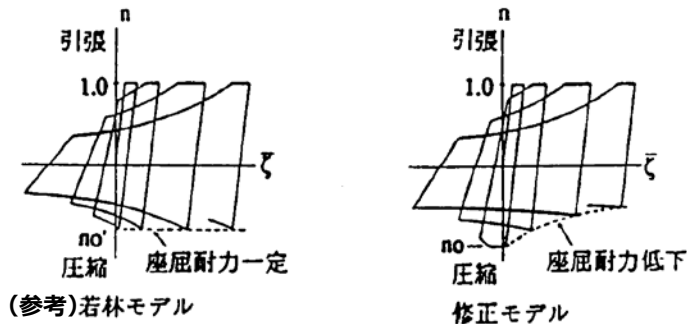
注1：主トラス斜材、束材及びサブトラス斜材の細長比は修正若林モデルの適用範囲より大きいですが、修正若林モデルによる弾塑性特性を考慮しており、その適用性については詳細設計段階で説明する。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

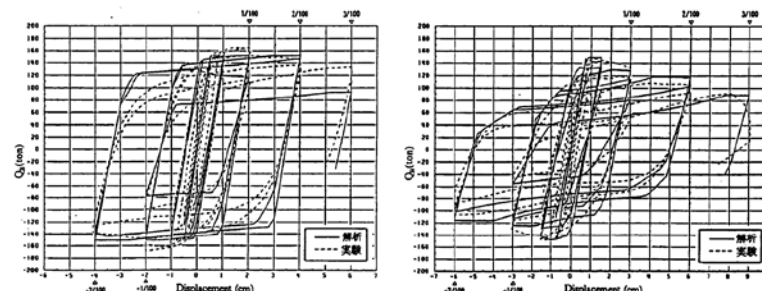
## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (9)

### 6. 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について

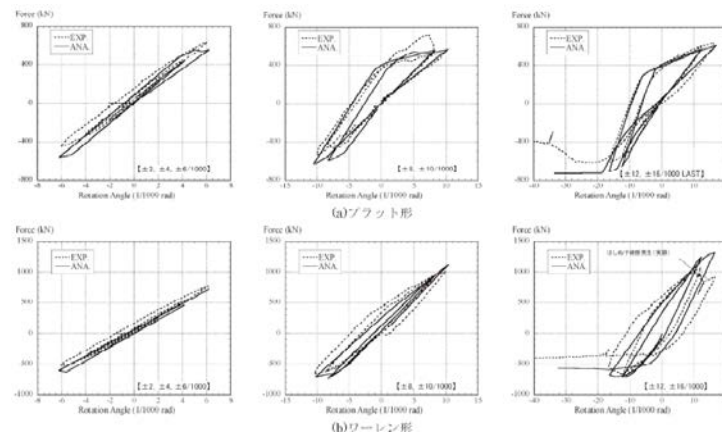
- 原子炉建物屋根トラスを構成する部材のうち、軸力のみを負担するトラス要素としてモデル化した部材については、弾塑性特性として修正若林モデルを使用している。
- 修正若林モデルは、原子力発電所建物（実機）を対象として実施された谷口らの研究<sup>(1)</sup>に示される部材レベルの弾塑性特性である（右上図）。修正若林モデルは、若林モデル<sup>(2)</sup>を基本としているが、谷口らの研究<sup>(1)</sup>で実施された実験のシミュレーション解析を踏まえて、繰り返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性歪の関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法である。
- 谷口らの研究<sup>(1)</sup>においては、修正若林モデルの妥当性を確認するに当たって、ブレース部材の弾塑性特性として修正モデルを適用した解析モデルによる実験のシミュレーション解析を実施しており、解析結果は実験結果を概ねよくとらえているとしている（右中図）。
- また、原子炉建物鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析<sup>(3)</sup>においてもその適用性・妥当性が検証されている（右下図）。
- これより、原子炉建物屋根トラスの鉄骨部材のうち、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として、修正若林モデルを採用することは妥当であると考えられる。



修正若林モデルの弾塑性特性 (1)



解析結果と実験結果の比較 (1)



実験のシミュレーション解析結果 (3)

(1) 谷口ほか：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集Vol.37B号，1991年3月，pp.303-316  
 (2) 柴田ほか：鉄骨筋違の履歴特性の定式化，日本建築学会論文報告集 第316号，昭和57年6月，pp.18-24  
 (3) 鈴木ほか：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集Vol.76 No.661，2011年3月，pp.571-580

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

## 論点Ⅱ - 2 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用 (10)

### 7. 各部材のクライテリアについて

- 今回工認における屋根トラス各部材のクライテリアを下表に示す。
- 評価方法としては、**主要部材が弾性範囲であることを確認する方針とし**、弾性範囲を上回る応答が生じた場合は別途詳細な検討を行う。
- 別途詳細な検討として、**弾塑性特性を考慮してモデル化している部材については**、各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について破断の可能性がないことを検討する。

今回工認における屋根トラス各部材のクライテリア

評価部位		要求機能 <sup>注1</sup>	弾塑性特性	評価方法 <sup>注3</sup>
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持	考慮しない (弾性)	主要部材が弾性範囲であることを確認 <sup>注2</sup> (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)
	下弦材		弾塑性 (修正若林モデル)	
	斜材			
	束材			
サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	考慮しない (弾性)	
	下弦材		弾塑性 (修正若林モデル)	
	斜材			
母屋	鉛直荷重の支持	考慮しない (弾性)		
サブビーム	鉛直荷重の支持	考慮しない (弾性)		
水平ブレース	水平地震荷重の伝達	弾塑性 (修正若林モデル)		

注1 : 主な機能を示しており基準地震動 S s に対する発生応力の負担も考慮する。  
 注2 : 「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき1.1倍した耐力を超えないこと。  
 注3 : 接合部はボルト接合としており、保有耐力接合を基本とする。

## 審査会合における指摘事項に対する回答【No.48, 49】

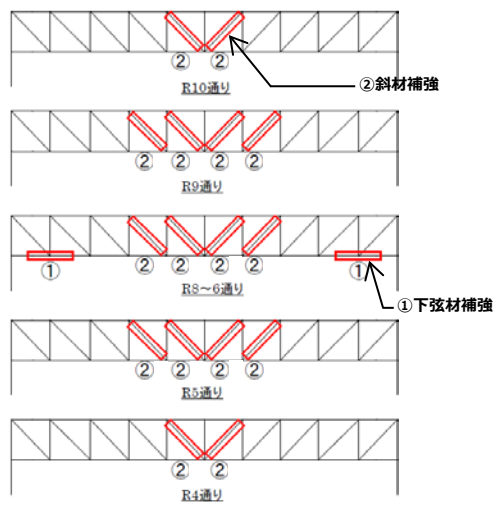
## 論点Ⅱ－２ 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用（11）

## 8. 原子炉建物屋根トラスの評価に関するまとめ

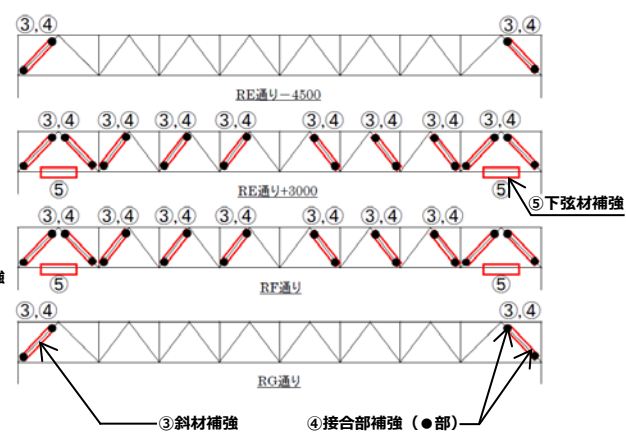
- 今回工認では、原子炉建物屋根トラスの評価に当たって、3次元フレームモデルによる弾塑性解析（弾塑性特性としては修正若林モデルを考慮）を採用する予定である。
- 修正若林モデルは先行審査で採用実績のある弾塑性特性であるが、X型ブレースを対象として検討されたものであったため、本検討においては、修正若林モデルの原子炉建物屋根トラスへの適用性を検討する必要があると判断した。
- 既往文献（原子炉建物鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析）を参照し、その適用性・妥当性が検証されていることを確認した。
- また、屋根スラブの要求機能と評価方針を踏まえ、弾塑性特性を考慮する部材のクライテリアについても検討し、妥当性を確認した。
- 以上より、今回工認において原子炉建物屋根トラスの評価に弾塑性解析を採用することは妥当であると考えます。
- また、弾塑性特性を採用した屋根トラスの評価及び屋根スラブの検討により、屋根スラブの二次格納施設としての機能維持の評価方針を整理した。

■ 原子炉建物屋根トラスの耐震補強について

- 島根原子力発電所2号炉の原子炉建物屋根トラスについては耐震補強工事を実施している。
- 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。

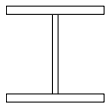
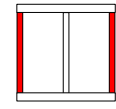
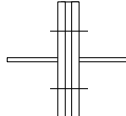
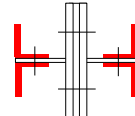
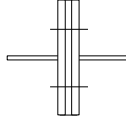
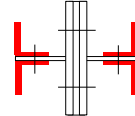
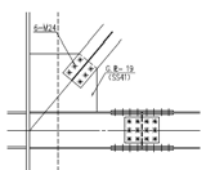
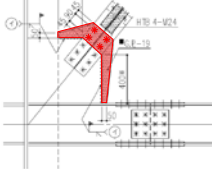
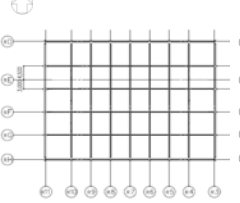
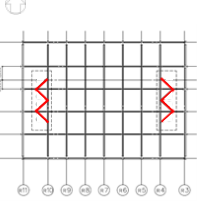


主トラス断面図



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	主トラス下弦材 補強材追加  補強前   補強材 PL-16 補強後
②	主トラス斜材 補強材追加  補強前   補強材 4Ls-90×90×10 補強後
③	サブトラス斜材 補強材追加  補強前   補強材 4Ls-65×65×6 補強後
④	サブトラス斜材 接合部補強  補強前   接合部補強 (PL-19, ボルト) 補強後
⑤	サブトラス下弦材 補強材追加  補強前   補強材 2Cs-150x75x9x12.5 補強後