

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-400-1 改7
提出年月日	平成30年8月23日

## 建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料

### 補足-400-1【地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較】

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 概要.....	1
2. 地震応答解析モデル及び手法の比較.....	2

別紙 1-1 原子炉建屋の地盤接地状況と埋込みS Rモデルの適用性について

別紙 1-2 原子炉建屋の地震応答解析モデルの変更について

別紙 1-3 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

別紙 2-1 使用済燃料乾式貯蔵建屋で用いる有効入力動の適用性について

別紙 2-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの変更について

別紙 2-3 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルについて

下線 今回提出資料

## 別紙 2-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの変更について

## 目次

1. 概要..... 別紙 2-2-1
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの変更について..... 別紙 2-2-2
3. 既工認モデルとの比較..... 別紙 2-2-7
4. FEMモデルの固有値解析結果との比較..... 別紙 2-2-12

## 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル（以下「DC 今回工認モデル」という。）は、基本的に建設工認時の地震応答解析モデル（以下「DC 既工認モデル」という。）に基づき設定しているが、解析モデルの精緻化を目的とし、DC 既工認モデルから変更を行っている。本資料では、使用済燃料乾式貯蔵建屋のモデルについて変更の概要及び影響確認結果を示すことで、DC 今回工認モデルの妥当性を確認する。

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの変更について

地震応答解析モデルは、以下の方針に基づいて、DC 既工認モデルから変更する。

NS 方向の耐震壁には、金属キャスク冷却のために上階及び下階に大開口が設けられている。NS 方向の DC 既工認モデルでは、剛床仮定に基づいて弾性剛性を設定し 1 本棒多質点系モデルを構築した。このモデルによる  $S_2$  地震の建屋応答は弾性範囲に収まっていた。DC 今回工認モデルでは、弾性剛性が  $S_3$  地震時の非線形挙動に大きな影響を及ぼすため、大開口の影響をより適切に反映できる 3 次元全体 FEM モデルによる等価弾性剛性を採用することに変更する。3 次元全体 FEM モデルは既工認の応力解析で用いた全体モデルとする。図 2-1 に 3 次元全体 FEM モデルによる等価剛性の設定フローを示す。壁脚部(EL. 8.3m)を固定とした FEM モデルを用い、NS 方向載荷時の荷重-変位関係より等価剛性を設定する。FEM 解析による変位は、基準床レベルの鉛直自由度を拘束(水平ローラー)したせん断変形モデル及び全体変形モデル(せん断変形+曲げ変形)による X1 及び X2 通りの代表 18 節点の平均値を用いる。なお、屋根スラブ構成節点は、剛床仮定(MPC 拘束条件)を適用している。等価せん断剛性  $A_e$  は各層のせん断変形より、等価曲げ剛性  $I_e$  は曲げ変形より設定する。

一方、EW 方向の DC 既工認モデルは、NS 方向に細長い形状をしている使用済燃料乾式貯蔵建屋の EW 方向振動に対して、妻側耐震壁と中央のフレームを集約して 1 本棒多質点系モデルを構築した。DC 今回工認モデルでは、 $S_3$  地震時の非線形挙動を精度良く表現する必要があるために、妻側耐震壁と耐震壁間のフレームを分離してそれぞれ 1 本棒でモデル化し、屋根スラブを模擬したせん断ばねで連結した 2 本棒多質点系モデルに変更する。図 2-2 に DC 今回工認モデル(EW 方向)を、図 2-3 に壁とフレームのモデル化範囲を、図 2-4 に屋根スラブのせん断ばね置換の概要を示す。EW 方向モデルは、竣工図に基づき壁部及びフレーム部の剛性を評価した。壁部は黒塗りした 2 枚の妻側耐震壁のせん断剛性及び曲げ剛性の和で評価した。フレーム部の弾性剛性は黒塗りした柱の個々のせん断剛性及び曲げ剛性の和で評価した。

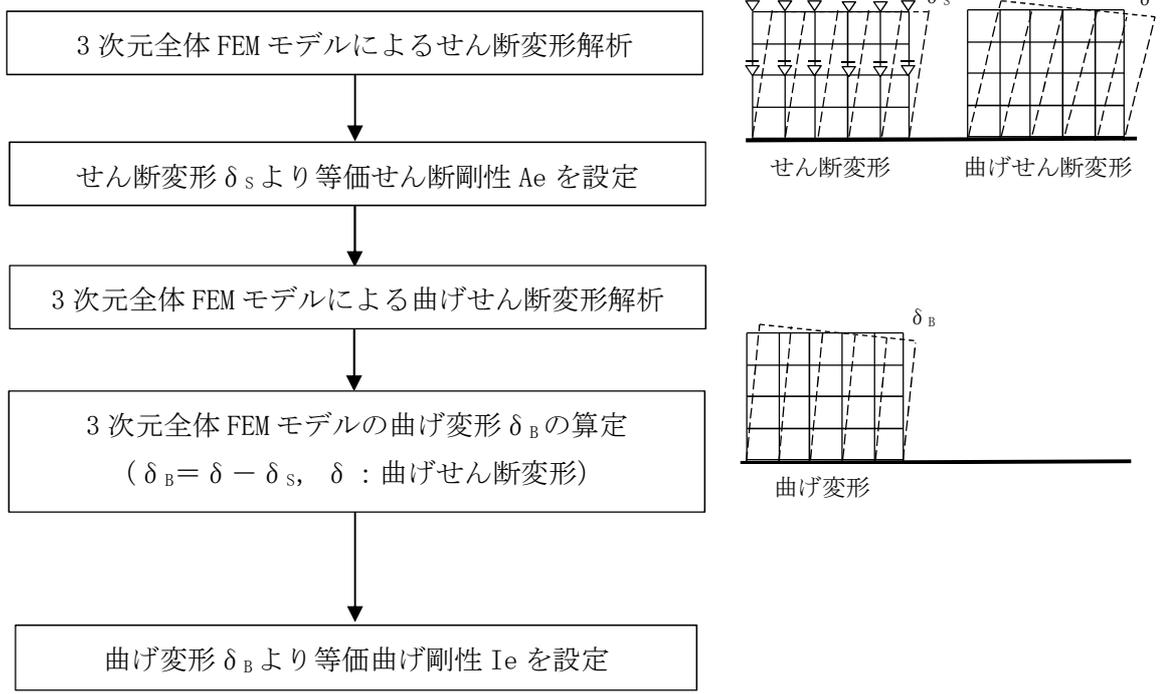


図 2-1 3次元全体 FEM モデルによる等価剛性 (Ae・Ie) の設定フロー (NS 方向)

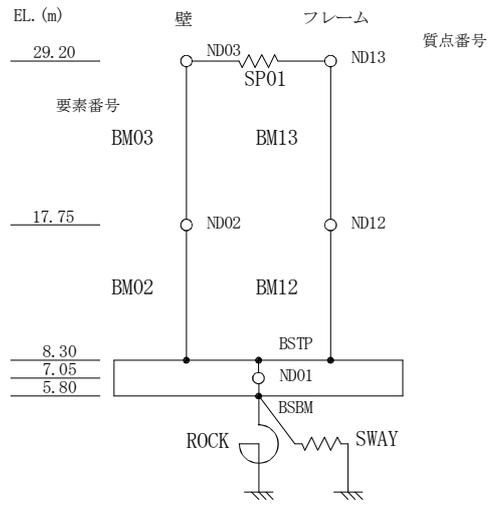


図 2-2 DC 今回工認モデル (EW 方向)

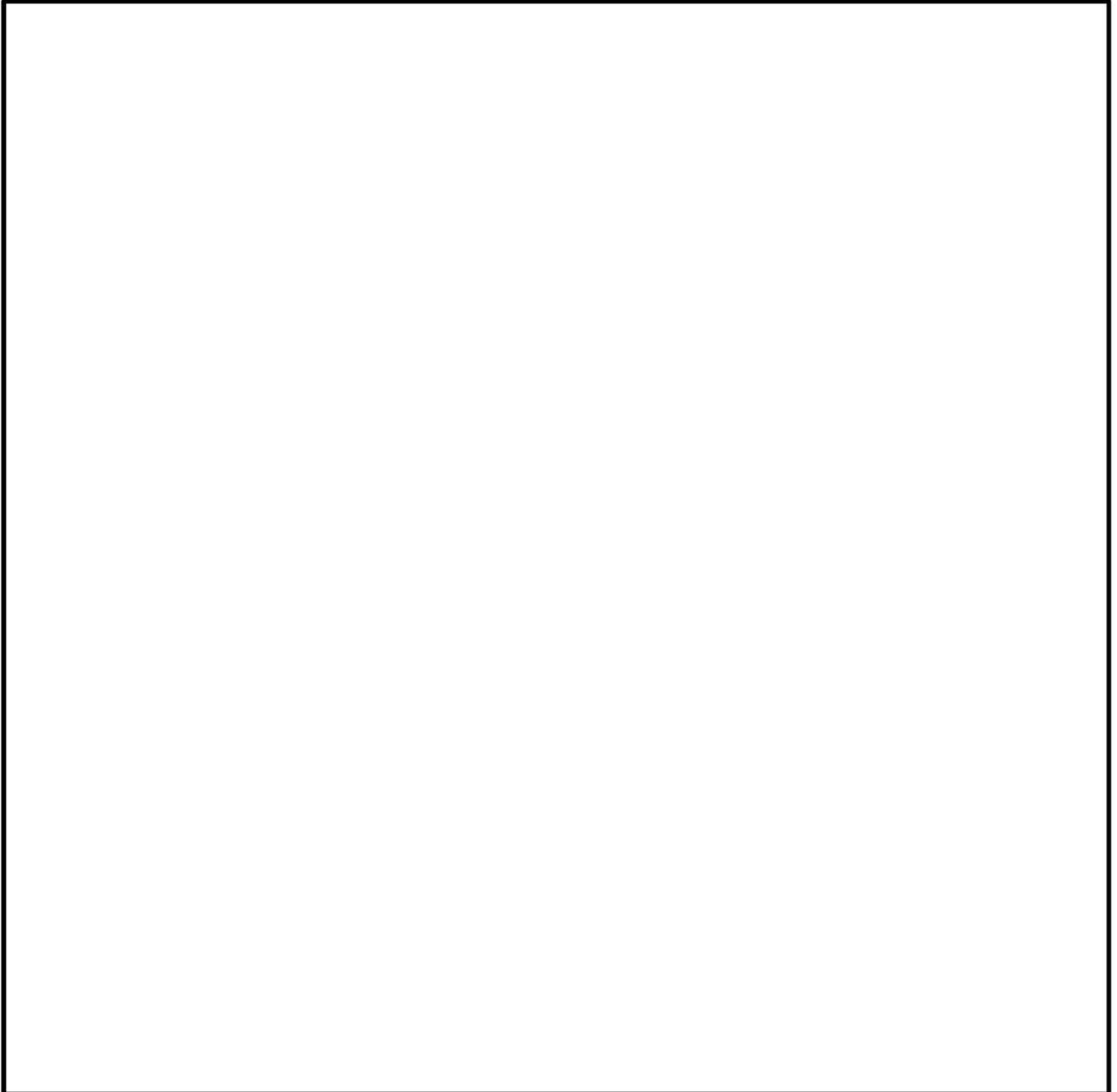
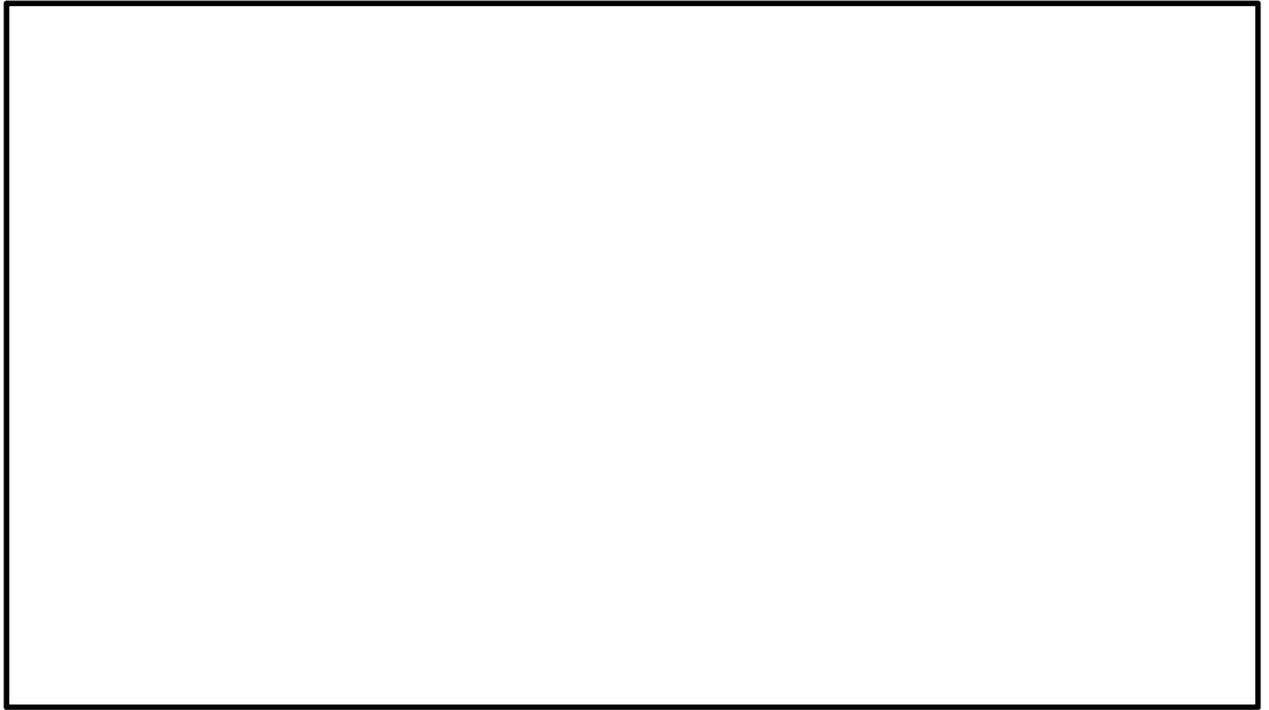


図 2-3 壁とフレームのモデル化範囲 (EW 方向)



$$\begin{aligned} \text{屋根スラブのせん断断面積 } A &= 45(\text{cm}) \times 2600(\text{cm}) \\ &= 117000(\text{cm}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{壁質点とフレーム質点の距離 } L &= 5230/2(\text{cm}) \\ &= 2615(\text{cm}) \end{aligned}$$

$$\text{せん断弾性係 } G = 95.6(\text{tf/cm}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{屋根スラブのせん断ばね定数 } K &= 2GA/L \\ &= 8550(\text{tf/cm}) \end{aligned}$$

図 2-4 屋根スラブのせん断ばね置換の概要

### 3. 既工認モデルとの比較

DC 既工認モデル（NS 方向）及び諸元を図 3-1 及び表 3-1 に、DC 今回工認モデル（NS 方向）及び諸元を図 3-2 及び表 3-2 に示す。DC 既工認モデル（EW 方向）及び諸元を図 3-3 及び表 3-3 に、DC 今回工認モデル（EW 方向）及び諸元を図 3-4 及び表 3-4 に示す。今回工認モデルでは、積雪荷重を考慮したために頂部質点の質点重量及び回転慣性重量が増加した。

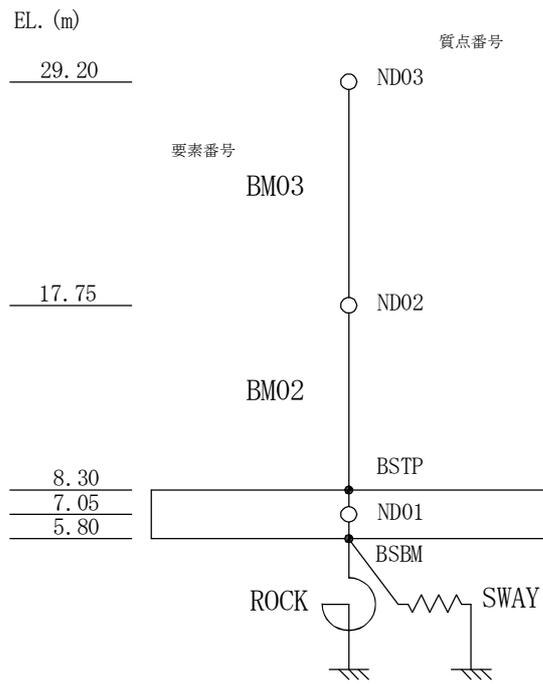


図 3-1 DC 既工認モデル (NS 方向)

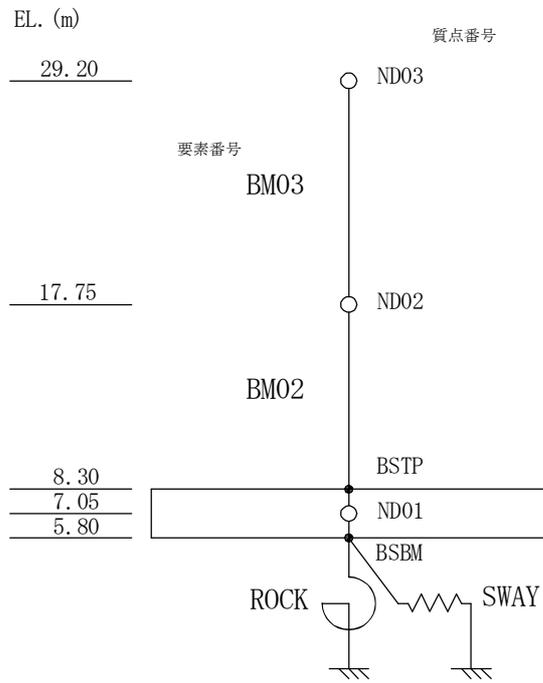


図 3-2 DC 今回工認モデル (NS 方向)

表 3-1 DC 既工認モデルの諸元 (NS 方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ( $\times 10^4$ kN $\cdot$ m $^2$ )	要素 番号	せん断断面積 (m $^2$ )	断面 2 次 モーメント (m $^4$ )
29.20	ND03	40400	974	BM03	29.90	22803
17.75	ND02	40890	1651			
7.05	ND01	163180	4861	BM02	28.43	30420

表 3-2 DC 今回工認モデルの諸元 (NS 方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ( $\times 10^4$ kN $\cdot$ m $^2$ )	要素 番号	せん断断面積 (m $^2$ )	断面 2 次 モーメント (m $^4$ )
29.20	ND03	40700	981	BM03	24.17	5997
17.75	ND02	40890	1651			
7.05	ND01	163180	4861	BM02	30.09	8000

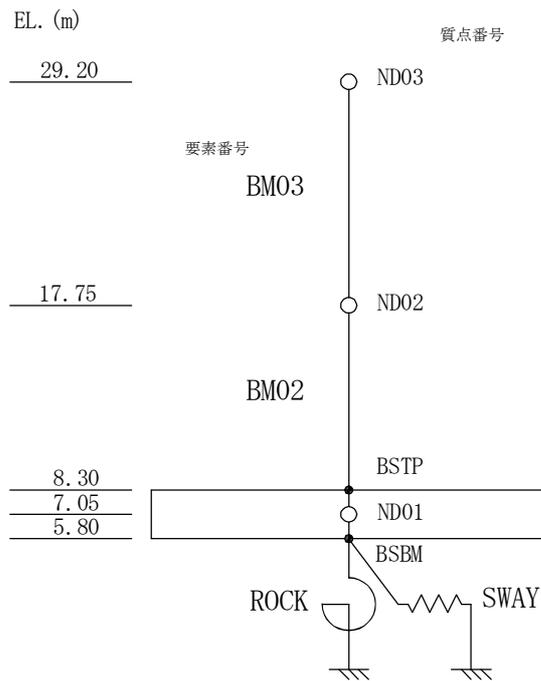


図 3-3 DC 既工認モデル (EW 方向)

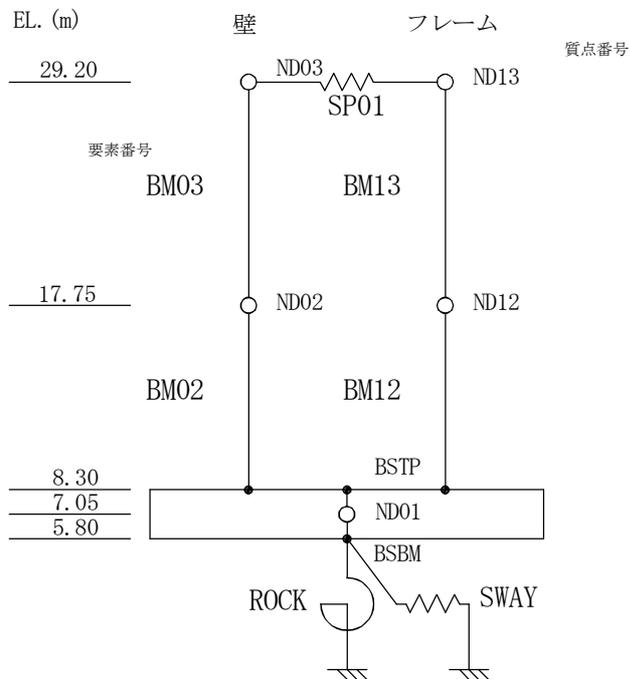


図 3-4 DC 今回工認モデル (EW 方向)

表 3-3 DC 既工認モデルの諸元 (EW 方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ( $\times 10^4$ kN $\cdot$ m $^2$ )	要素 番号	せん断断面積 (m $^2$ )	断面 2 次 モーメント (m $^4$ )
29.20	ND03	40400	101	BM03	10.93	4281
17.75	ND02	40890	117			
7.05	ND01	163180	1497	BM02	41.43	5426

表 3-4 DC 今回工認モデルの諸元 (EW 方向)

標高 EL. (m)	質点 番号		質点重量 (kN)			回転慣性重量 ( $\times 10^4$ kN $\cdot$ m $^2$ )		要素 番号		せん断断面積 (m $^2$ )		断面 2 次 モーメント (m $^4$ )	
	壁	フレーム	壁	フレーム	合計	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム	壁	フレーム
29.20	ND03	13	12330	28370	40700	70	—	BM03	13	23.40	29.40	3495	7.503
17.75	ND02	12	13570	27320	40890	77	—						
7.05	01		163180			1497		BM02	12	33.63	55.44	4429	50.45

※ 屋根スラブせん断ばね : SP01=8.38 $\times$ 10 $^6$  kN/m

#### 4. FEMモデルの固有値解析結果との比較

比較対象とした3次元FEMモデルは今回工認の基礎スラブや屋根トラスの応力解析に用いたモデルである。既工認モデルからの変更点を以下に示す。図4-1に既工認モデル，図4-2に今回工認モデルを示す。今回工認モデルは，地震時変形挙動をより適切に反映させるため，上部構造のメッシュサイズを既工認モデルに対して水平及び上下方向を約1/2に細分化した。

表4-1にNS方向，表4-2にEW方向の比較を示す。NS方向，EW方向ともに質点系モデルの固有値がFEMモデルの固有値と概ね一致していることから，DC今回工認モデルの妥当性を確認した。

表 4-1 質点系モデルと F E Mモデルの固有値の比較 (NS 方向, 壁脚部固定条件)

モード次数	質点系モデル	今回工認 F E Mモデル
1 次	6.91 Hz, 0.145 s	6.87 Hz, 0.146 s
固有モード図		<p>(全体 29 次)</p>

※ F E Mモデルは基準床レベルの水平変位を一定に拘束 (MPC) している。

表 4-2 質点系モデルと F E Mモデルの固有値の比較 (EW 方向, 壁脚部固定条件)

モード次数	質点系モデル	今回工認 F E Mモデル
1 次	5.82 Hz, 0.172 s	5.83 Hz, 0.172 s
固有モード図		<p>(全体 19 次)</p>

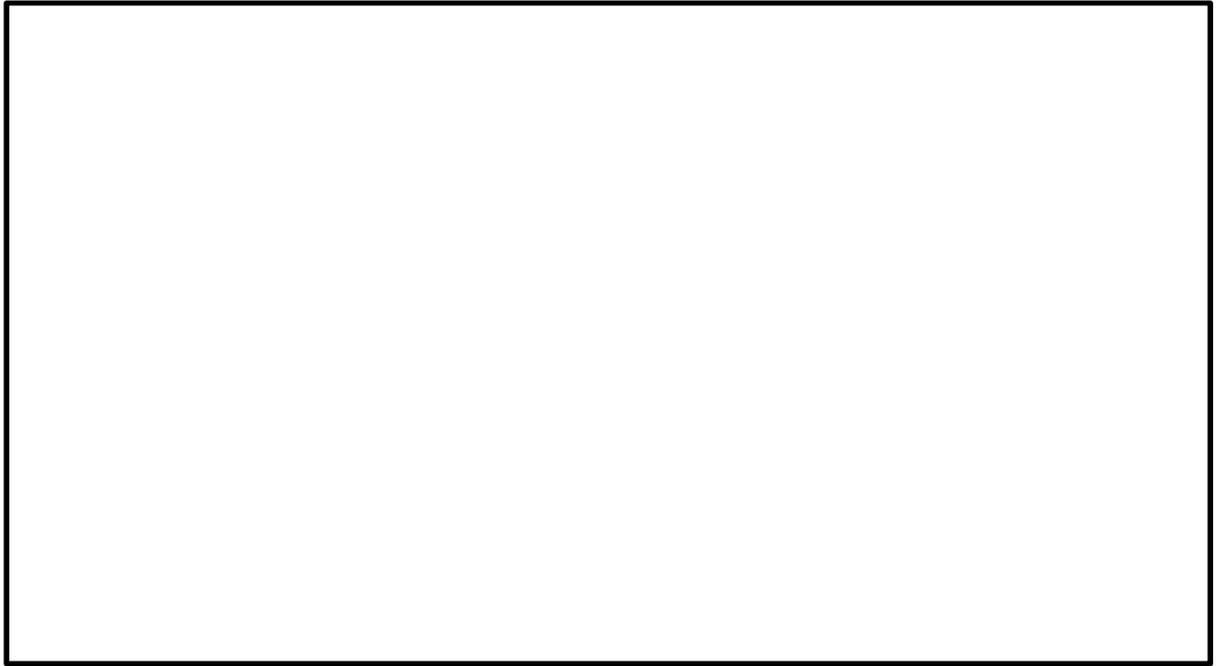


図 4-1 既工認 FEM モデル

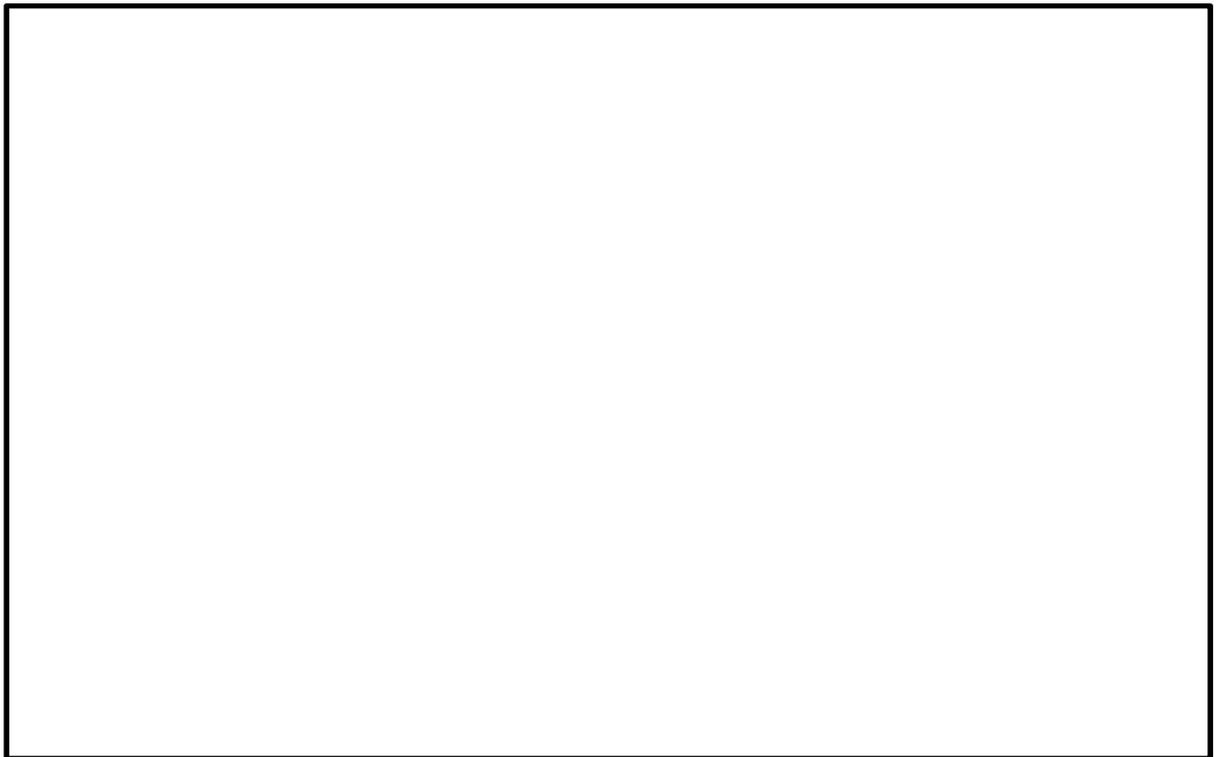


図 4-2 今回工認 FEM モデル