

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-025-6 改3
提出年月日	2020年7月22日

緊急時対策所の地震応答計算書に関する補足説明資料

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-15「緊急時対策所の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 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

別紙 2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

下線：今回ご提示資料

別紙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

## 目 次

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

別紙1-1 5号機原子炉建屋の地震応答解析モデルの変更点について

別紙1-2 5号機原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

別紙1-3 表層ばねの取扱い

下線部：今回提出範囲

## 1. 概要

本資料は、緊急時対策所が設置される、5号機原子炉建屋の既工認時及び今回工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 地震応答解析モデル及び手法の比較

5号機原子炉建屋の地震応答解析モデル及び手法の比較を表2-1に示す。鉛直モデルの諸元の設定方法を表2-2に示す。また、今回工認時の地震応答解析モデルを図2-1及び図2-2に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、建設工認である。

表 2-1 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	既工認*1	今回工認	備考
入力地震動の算定法	水平	設計用模擬地震波を用いて、一次元波動論により算定	同左	—
	鉛直	—*2	設計用模擬地震波を用いて、一次元波動論により算定	—
解析コード		R E S P 4	T D A S	—
建屋のモデル化	モデル	多質点系並列地盤モデル	多質点系SRモデル (一部建屋重量を変更)	①, ②
	材料物性	検討時の各規準に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数 E = 20.6kN/mm <sup>2</sup> (SI換算) ・コンクリートのポアソン比 ν = 0.167	適用規準の見直しによる再設定 ・コンクリートのヤング係数 E = 24.8kN/mm <sup>2</sup> ・コンクリートのポアソン比 ν = 0.2 ・鉄骨のヤング係数 E = 205kN/mm <sup>2</sup> ・鉄骨のポアソン比 ν = 0.3	③, ④
	剛性評価	耐震壁を考慮 (設計基準強度)	耐震壁及び補助壁を考慮 (実強度)	⑤, ⑥
	減衰定数	・水平方向 : RC : 5%	・水平方向 : RC : 5% ・鉛直方向 : RC : 5% S (屋根トラス) : 2%	—
	回転拘束ばね	—	・鉛直方向 : 屋根トラス端部回転拘束ばね (K <sub>θ</sub> ) 屋根トラス端部の柱による曲げ変形を拘束する効果として、屋根トラス端部が柱に剛接されているものとした場合の回転ばね剛性を考慮	—
地盤のモデル化	底面ばね	水平ばねは多質点系並列地盤モデルによる評価 回転ばねは3次元有限要素法による評価 ・水平方向 : 水平及び回転ばねを考慮	振動アドミッタンス理論に基づく近似法 ・水平方向 : 水平及び回転ばねを考慮 ・鉛直方向 : 鉛直ばねを考慮	⑦
	側面ばね	多質点系並列地盤モデルによる評価 ・水平ばねのみ考慮	Novakの方法により設定 ・水平ばねのみ考慮 (表層の埋戻土は無視)	⑧
非線形特性	耐震壁	・水平方向 : 考慮せず	・水平方向 : 非線形特性を考慮 ・鉛直方向 : 考慮せず	⑦, ⑨
	底面ばね	・水平方向 : 考慮せず	・水平方向 : 基礎浮上りによる幾何学的非線形特性考慮 ・鉛直方向 : 考慮せず	

注記\*1 : 柏崎刈羽原子力発電所5号機『既工事計画認可申請書 「IV-2-5 原子炉建屋の耐震性についての計算書」(58資庁第9522号昭和58年8月22日認可)』

\*2 : 既工認時は、水平方向のみ地震応答解析を実施し、鉛直方向は静的地震力を考慮。

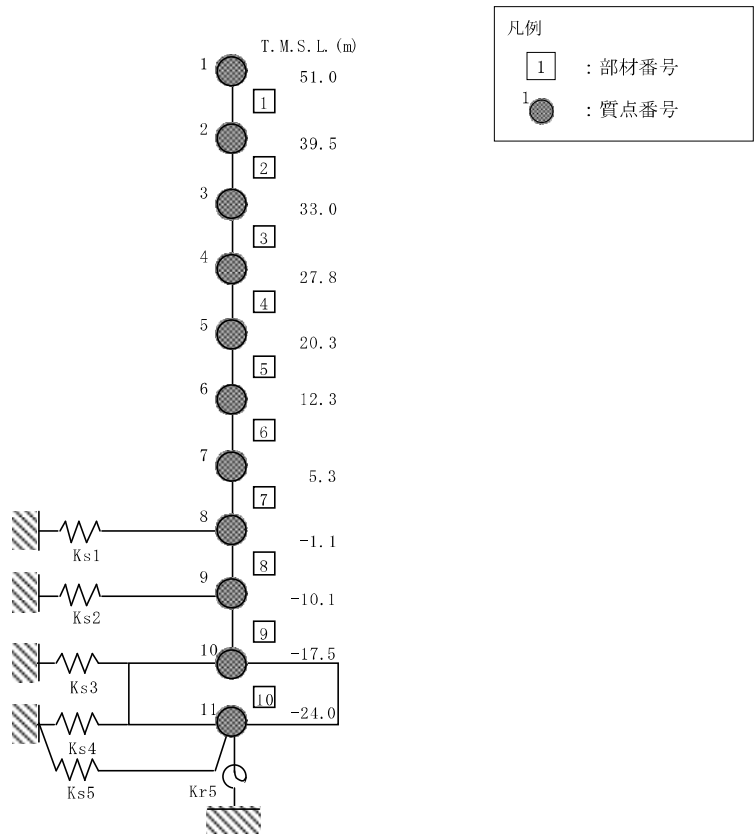
【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- ① 2007年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事等による重量の変更を考慮。詳細は別紙1-1に示す。
- ② 多質点系SRモデルは「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）に基づく。
- ③ コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、「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）に基づく。
- ④ 鉄骨部のヤング係数は、「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。
- ⑤ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる壁を補助壁として、その分の剛性を考慮。補助壁の評価方法については、原子炉建屋の地震応答計算書についての補足説明資料 別紙1-3「地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について」に示す。
- ⑥ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋剛性の評価においてコンクリート実強度に基づき評価される実剛性を考慮。コンクリート実剛性の採用については、別紙1-1に示す。
- ⑦ 「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）に基づく。
- ⑧ 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、地盤表層部の地盤ばねを考慮しない。地盤表層部の地盤ばねの取扱いについては、原子炉建屋の地震応答計算書についての補足説明資料 別紙1-6「表層ばねの取扱いについて」に示す。
- ⑨ 耐震壁の非線形特性の設定については別紙2に示す。



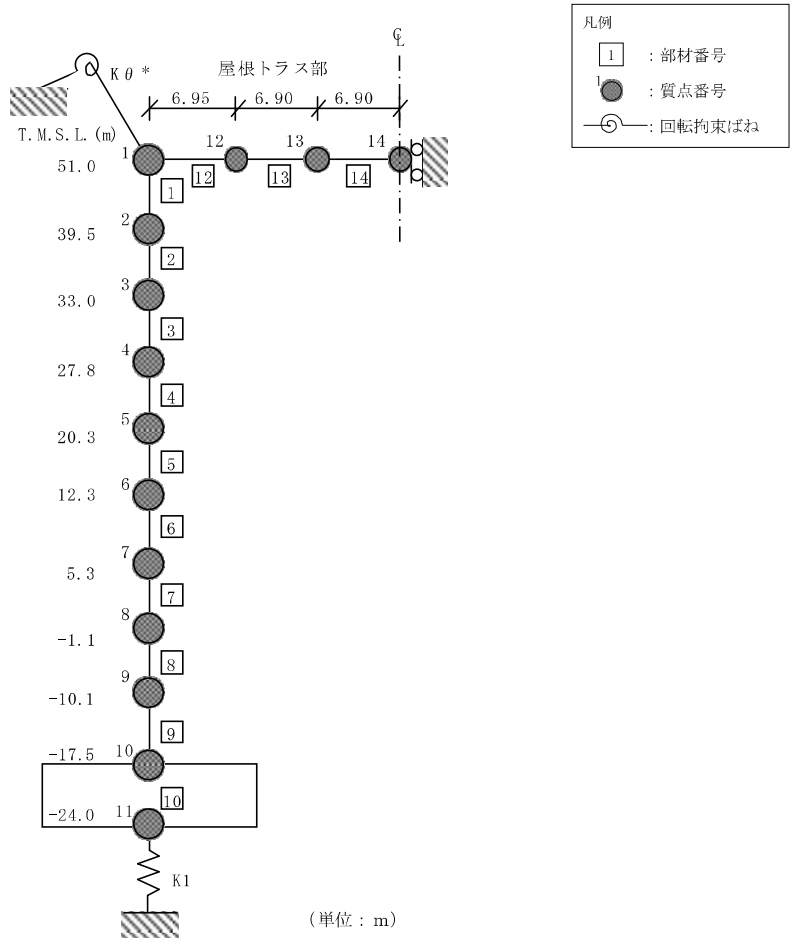
表2-2 鉛直モデルの諸元の設定方法

部位	質量	剛性
耐震壁 補助壁 柱	鉛直モデルに対応する 水平モデルの質点の質量	水平方向モデルにおいて剛性を考慮している耐震壁及び補助壁の全軸断面積及び鉛直剛性として考慮できる柱の軸断面積の和より軸剛性を算出
屋根トラス	質点の支配面積より算出	曲げ変形とせん断変形を生じる質点系の曲げせん断はりモデルとして剛性を算出。なお、曲げ剛性は、主トラス上下弦材の中心軸に関する断面2次モーメントを用いて算出し、せん断剛性は、斜材の断面積に軸変形によって生じるせん断変形量を考慮した等価せん断断面積を用いて算出。



注：東京湾平均海面（以下「T. M. S. L.」という。）

図 2-1 地震応答解析モデル（水平方向）



注記\* : 屋根トラス端部回転拘束ばね

図2-2 地震応答解析モデル (鉛直方向)

別紙1-2 5号機原子炉建屋の地震応答解析モデルについて

## 目 次

1. 概要 .....	別紙1-2-1
2. 5号機原子炉建屋の概要 .....	別紙1-2-2
3. 地震応答解析モデルに係る影響検討 .....	別紙1-2-7
3.1 概要 .....	別紙1-2-7
3.2 検討ケース .....	別紙1-2-11
3.3 シミュレーション解析結果 .....	別紙1-2-12
4. まとめ .....	別紙1-2-17

## 1. 概要

5号機原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震（以下「新潟県中越沖地震」という。）時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。

本資料は，新潟県中越沖地震のシミュレーション解析として実施した，コンクリート実剛性，補助壁の考慮，地盤表層部の地盤ばね（以下「表層地盤ばね」という。）の非考慮についての影響検討結果を説明するものである。

## 2. 5号機原子炉建屋の概要

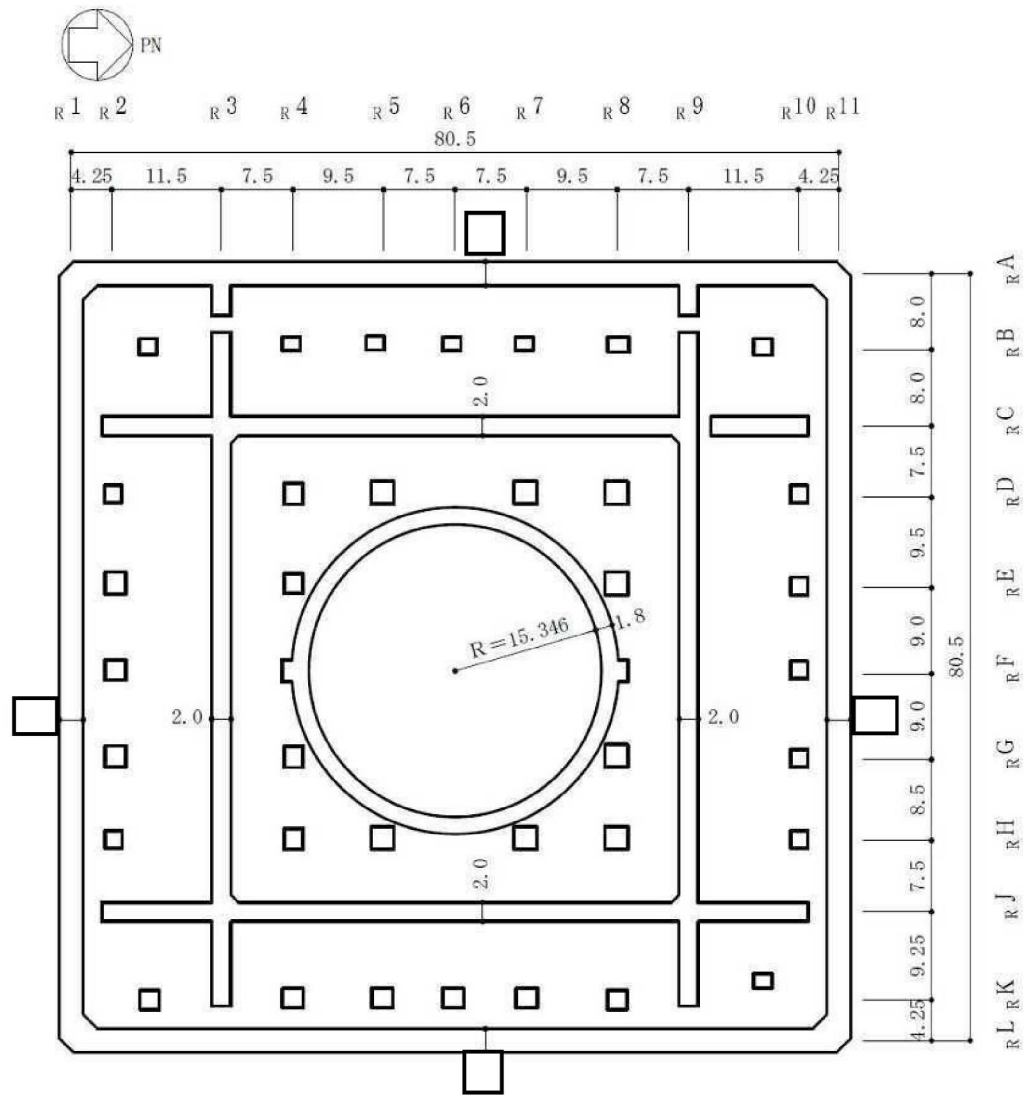
5号機原子炉建屋は主体構造が鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）で、鉄骨造陸屋根をもつ建物である。5号機原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-1及び図2-2に、物性値を表2-1に示す。

中央部には平面が51.0m（NS方向）×53.0m（EW方向）で地下4階，地上4階の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり，その周囲には地下4階，地上3階の原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟とその付属棟とは同一基礎スラブ上に配置した一体構造であり，5号機原子炉建屋の平面は下部で83.0m×83.0mの正方形をなしている。基礎スラブ底面からの高さは75.0mであり，地上高さは39.0mである。また，5号機原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

5号機原子炉建屋の基礎は厚さ6.5mのべた基礎で，支持地盤である泥岩上に設置している。

5号機原子炉建屋の主な耐震要素は，原子炉格納容器の周りを囲んでいる原子炉一次遮蔽，原子炉棟の外壁及び付属棟の外壁であり，開口部も少なく，建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。

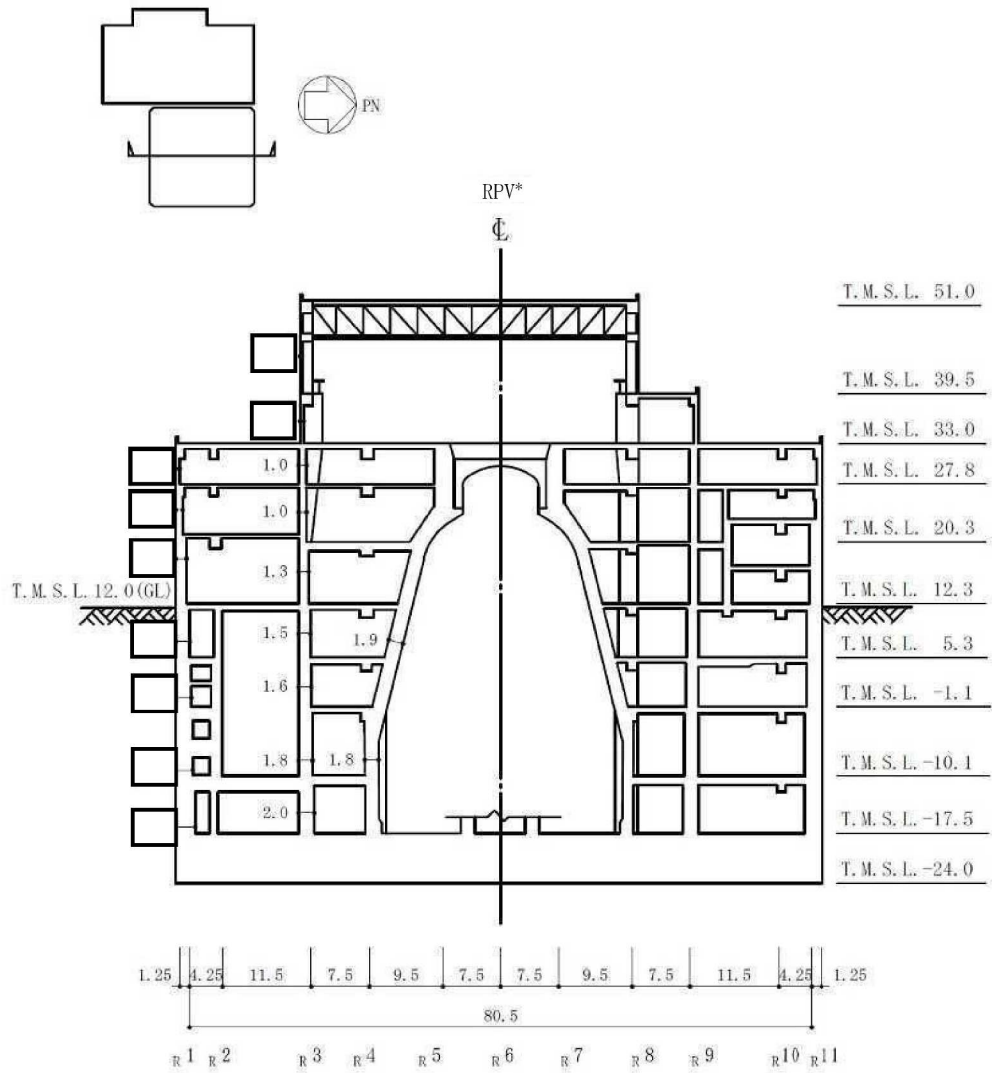


(単位 : m)

注 : 東京湾平均海面 (以下「T.M.S.L.」という。)

図 2-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B4F, T.M.S.L. -17.5m)

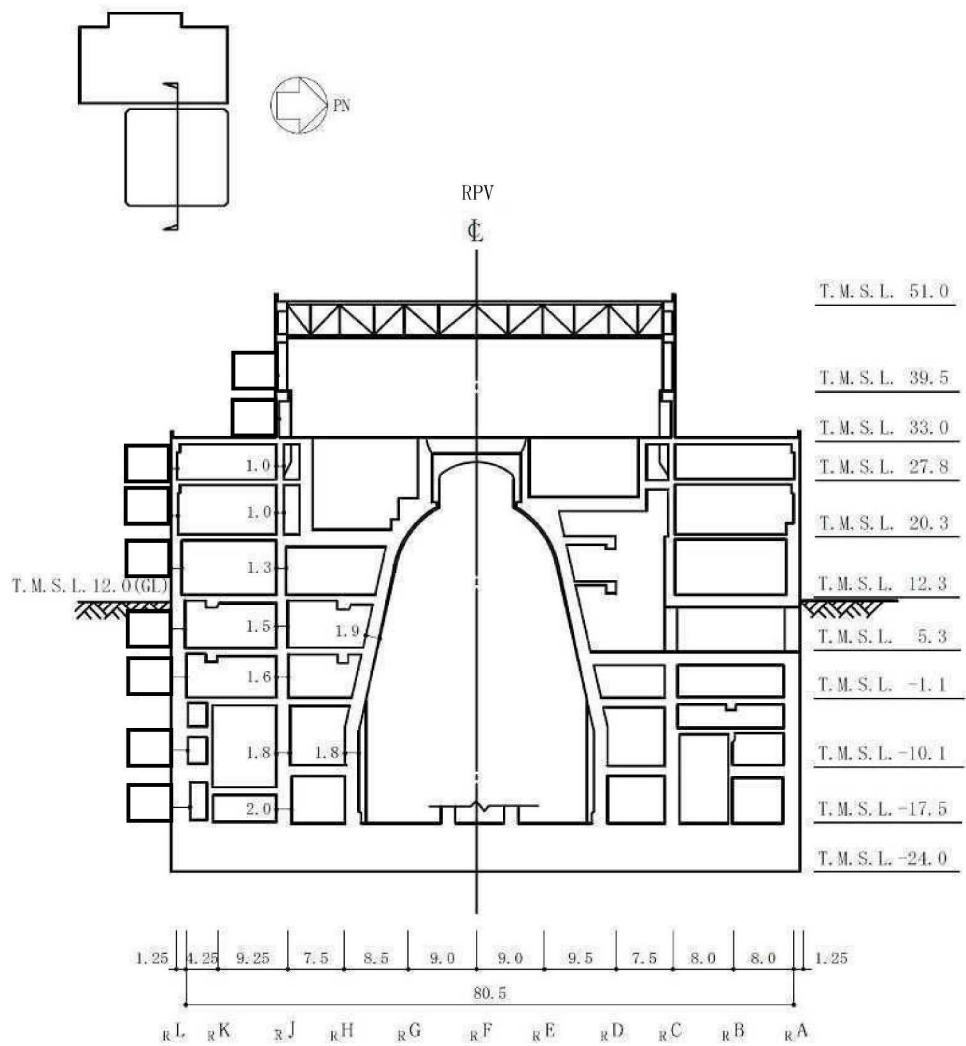




(単位 : m)

注記\* : 原子炉圧力容器 (以下「RPV」という。)

図2-2 5号機原子炉建屋の概略断面図 (NS方向) (1/2)



(単位 : m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

表 2-1 建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部 基礎スラブ	コンクリート* $\sigma_c = 31.3$ (N/mm <sup>2</sup> ) ( $\sigma_c = 320$ (kgf/cm <sup>2</sup> )) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	$2.48 \times 10^4$	$1.03 \times 10^4$	5
屋根トラス部	鉄骨SS41 (SS400相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨SM41A (SM400A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨SM50A (SM490A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2

注記\*：実強度に基づくコンクリート強度。

### 3. 地震応答解析モデルに係る影響検討

#### 3.1 概要

シミュレーション解析に用いる地震の諸元を図3-1に、地震計設置位置を図3-2に示す。5号機原子炉建屋基礎スラブ上の地震観測記録を図3-3に示す。

また、本検討におけるシミュレーション解析は、地震時に観測した基礎スラブ上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた弾性応答解析による。建屋各部位の応答は、5号機原子炉建屋の基礎スラブ上での観測地震波を解析モデルの基礎スラブ上に入力し、基礎スラブ上からの建屋各部の伝達関数を用いて算定する。シミュレーション解析における地震応答解析のフローを図3-4に示す。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 午前10時13分頃
マグニチュード	6.8
震源深さ	17km
震央距離	16km
震源距離	約23km



図3-1 シミュレーション解析に用いる地震の諸元（新潟県中越沖地震）

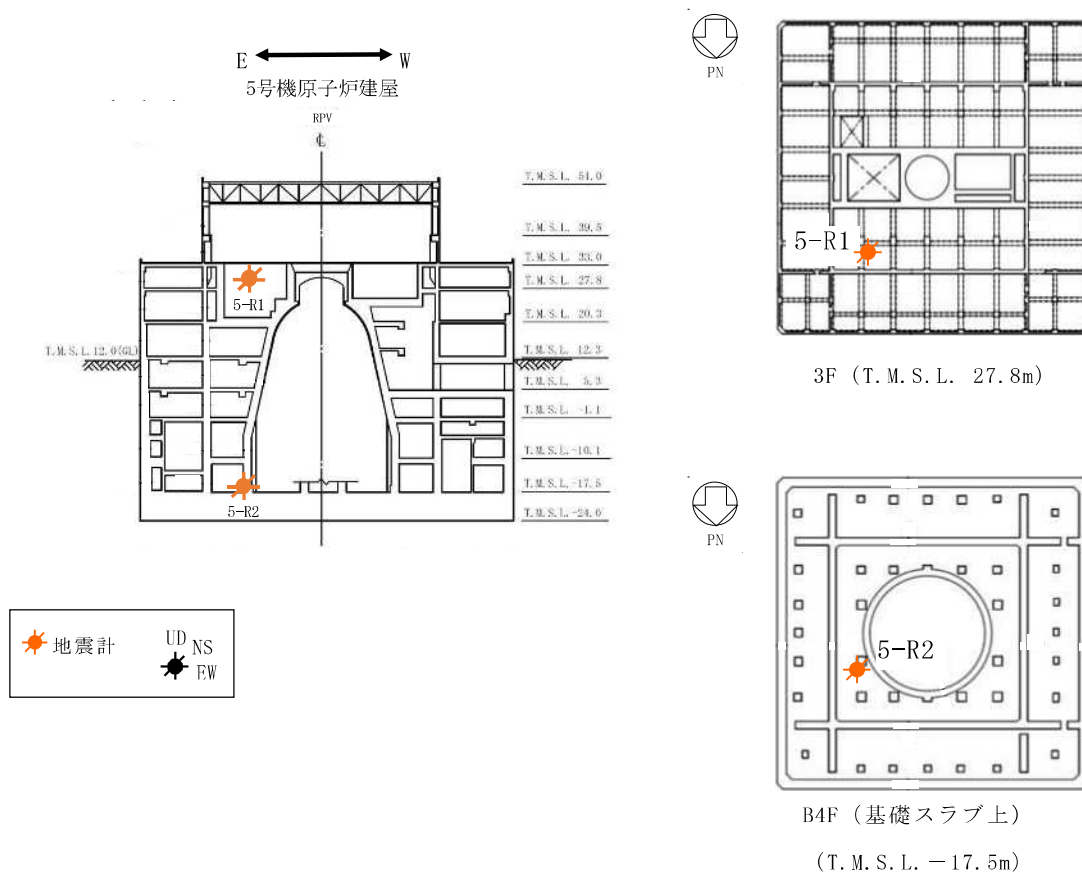
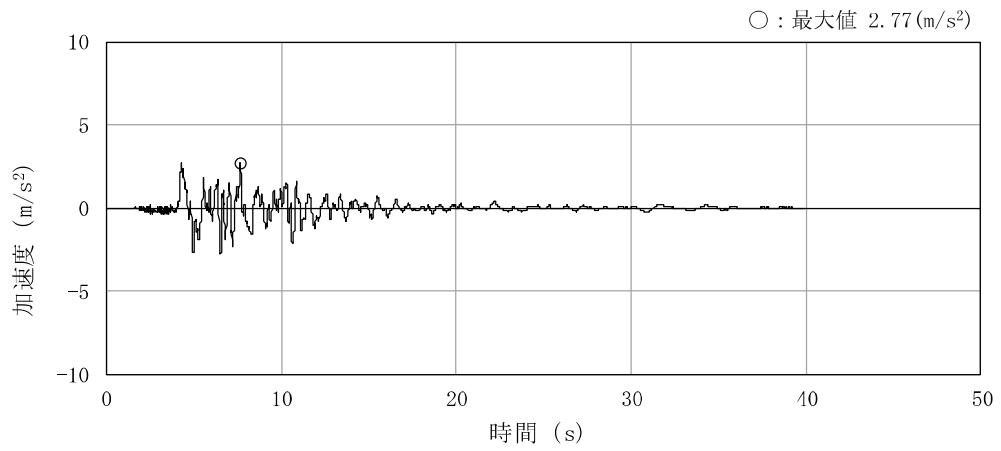
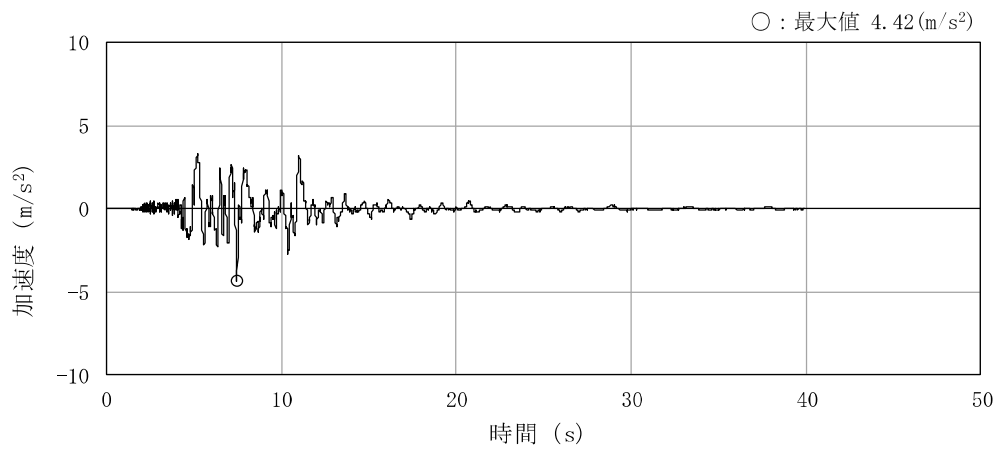


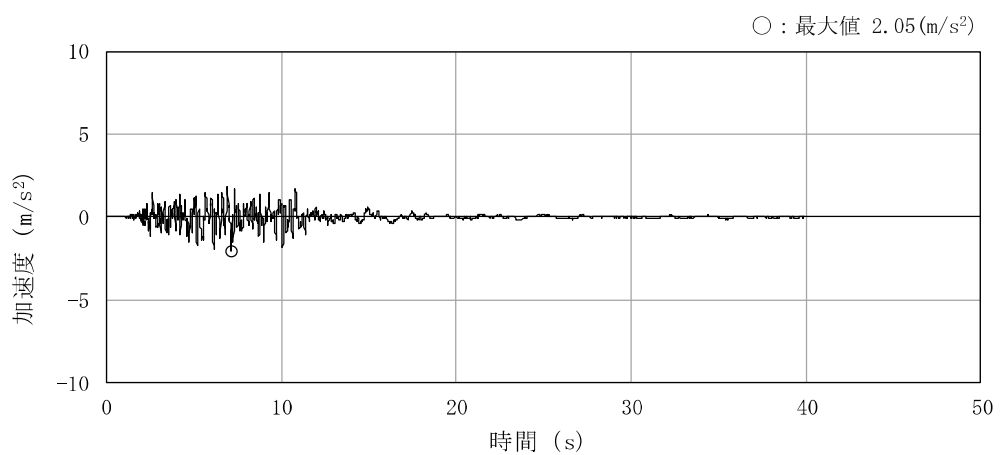
図3-2 地震計設置位置



(a)NS 方向



(b)EW 方向



(c)鉛直方向

図3-3 基礎スラブ上の地震観測記録 加速度時刻歴波形  
(5-R2 : T. M. S. L. - 17.5m)

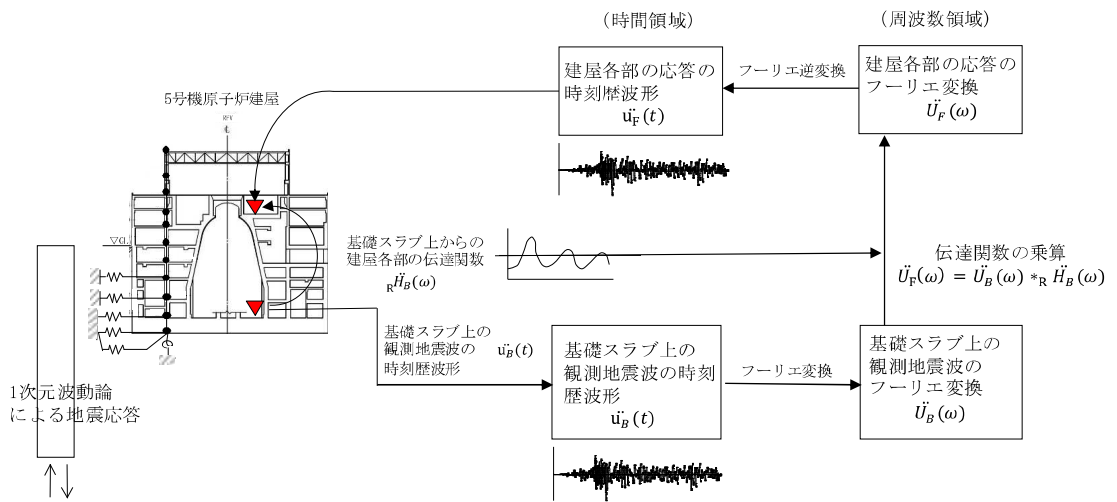


図3-4 シミュレーション解析における地震応答解析のフロー

### 3.2 検討ケース

表3-1に示す全2ケースについて解析を実施する。

表3-1 パラメータスタディケース

ケース名	建屋モデル		地盤モデル
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法モデル*	設計基準強度に基づく	耐震壁	考慮
今回工認モデル	実剛性	耐震壁+補助壁	非考慮

注記\*：既工認手法モデルは、今回工認モデルからコンクリートのヤング係数、剛性を考慮する部位及び表層部での建屋-地盤相互作用について既工認の設定に変更したケース。



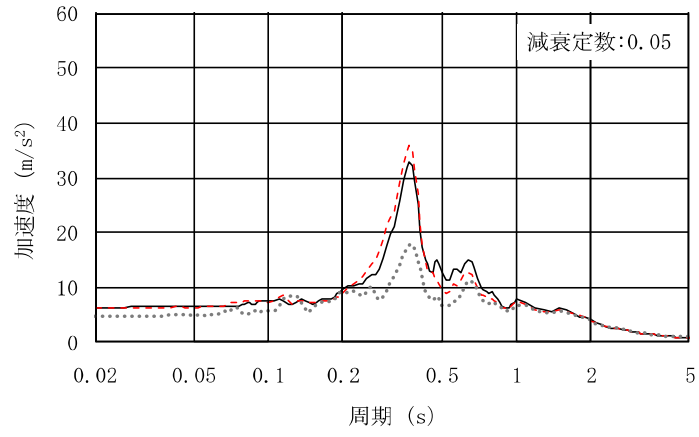
### 3.3 シミュレーション解析結果

今回工認モデル及び既工認手法モデルの地震応答解析結果と観測記録の比較（加速度応答スペクトル，最大応答加速度）を図3-5及び図3-6に示す。

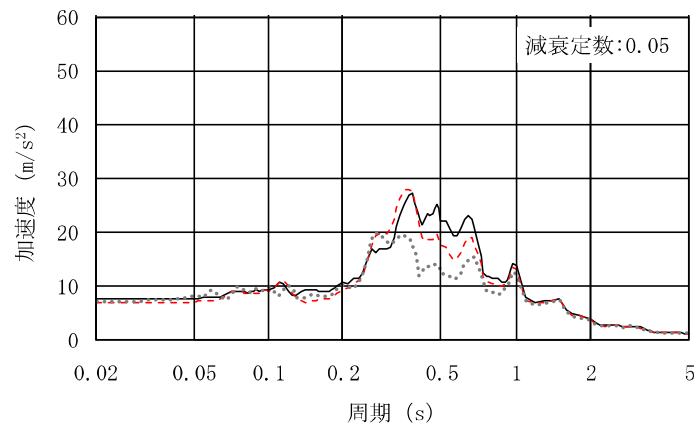
加速度応答スペクトルについては，NS方向及びEW方向では周期0.4秒付近で今回工認モデルの応答が既工認手法モデル及び観測記録に比べ大きくなる傾向にあるが，他周期帯では既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。鉛直方向では周期0.05～0.1秒付近で今回工認モデルの応答が既工認手法モデル及び観測記録に比べ大きくなる傾向にあるが，他周期帯では既工認手法と比較して観測記録との整合性が向上している。

最大応答加速度については，NS方向及びEW方向では既工認手法と比較して今回工認モデルの方が観測記録との整合性が向上している。鉛直方向については，今回工認モデルの応答が既工認手法モデル及び観測記録に比べ大きくなる傾向であった。

--- : 今回工認モデル    — : 既工認手法モデル    ..... : 観測記録



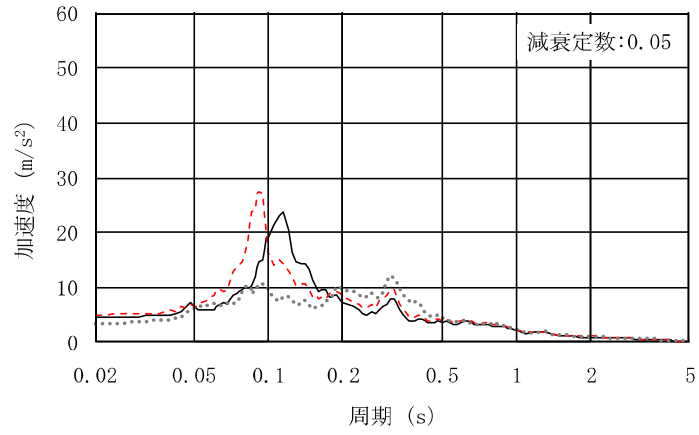
(a) NS方向



(b) EW方向

図3-5 加速度応答スペクトルの比較 (T. M. S. L. 27.8m) (1/2)

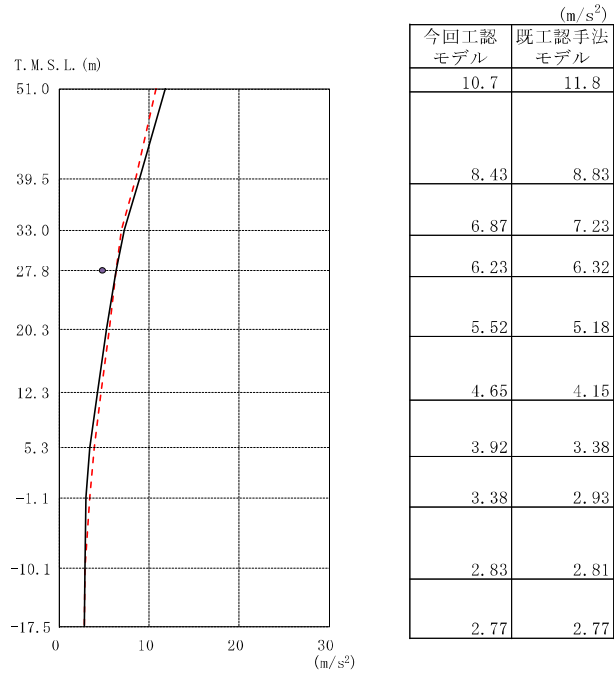
----- : 今回工認モデル    — : 既工認手法モデル    ..... : 観測記録



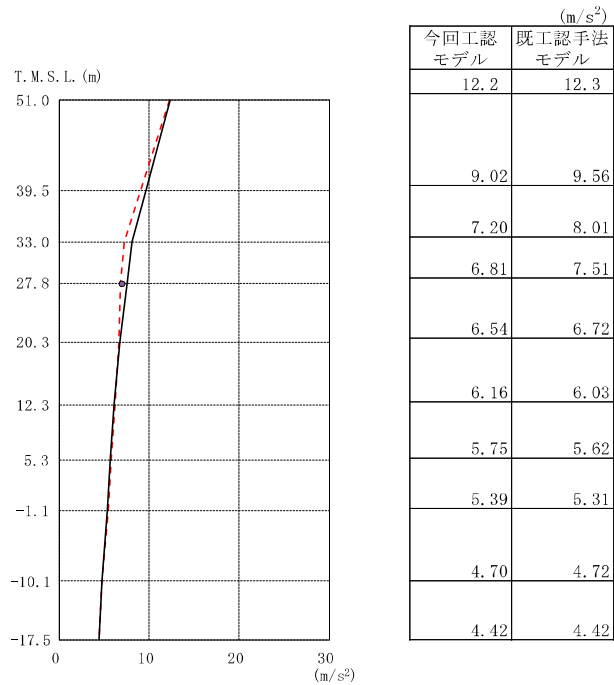
(c) 鉛直方向

図3-5 加速度応答スペクトルの比較 (T. M. S. L. 27.8m) (2/2)

--- : 今回工認モデル    — : 既工認手法モデル    ● : 観測記録



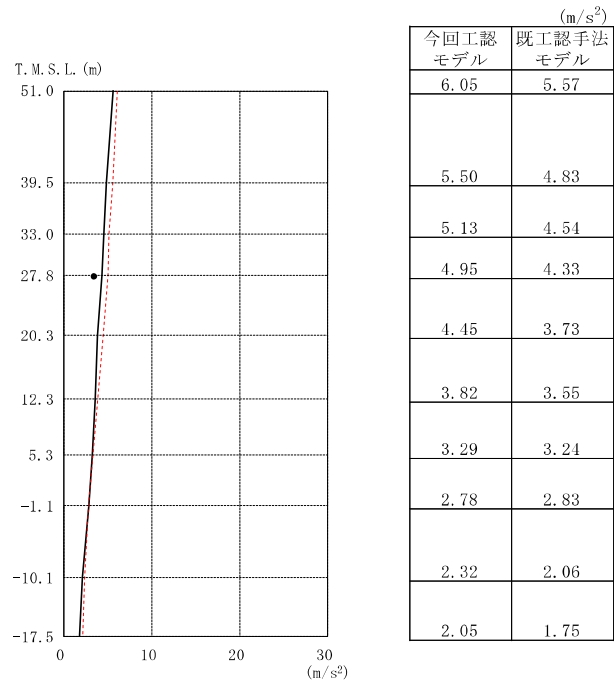
(a) NS 方向



(b) EW 方向

図3-6 最大応答加速度の比較 (1/2)

----- : 今回工認モデル    — : 既工認手法モデル    ● : 観測記録



(c) 鉛直方向

図3-6 最大応答加速度の比較 (2/2)

#### 4. まとめ

5号機原子炉建屋の地震応答解析の今回工認モデルについて、既工認モデルからの変更点が地震応答解析結果に与える影響の確認として、今回工認モデル及び既工認手法モデルでの新潟県中越沖地震のシミュレーション解析を行い観測記録との比較を行った。

コンクリート実剛性、補助壁の考慮、表層地盤ばねの非考慮を採用することで、一部、既工認手法モデルに比べ保守的な評価となる場合もあるが、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認した。

以上の結果から、今回工認モデルで、コンクリート実剛性及び補助壁を考慮したモデル化を行い、表層地盤ばねを非考慮とすることは妥当と判断する。

別紙1-3 表層ばねの取扱いについて

## 目 次

1. はじめに .....	別紙1-3-1
2. 検討概要 .....	別紙1-3-1
3. 地盤の等価線形解析結果 .....	別紙1-3-1
4. まとめ .....	別紙1-3-3



## 1. はじめに

既工認時の地震応答解析モデルでは地盤表層部（埋戻土）についても地盤ばねとして考慮していたが、今回工認で採用するモデルでは、基準地震動  $S_s$  による地盤応答レベルを踏まえ、表層部では建屋－地盤相互作用が見込めないと判断し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、この部分の地盤ばねを考慮しないこととしている。本資料はその妥当性を説明するものである。

## 2. 検討概要

5号機原子炉建屋ほかの地震応答解析では、一次元波動論による等価線形解析によって、地盤内各層の加速度、有効ひずみを求めている。

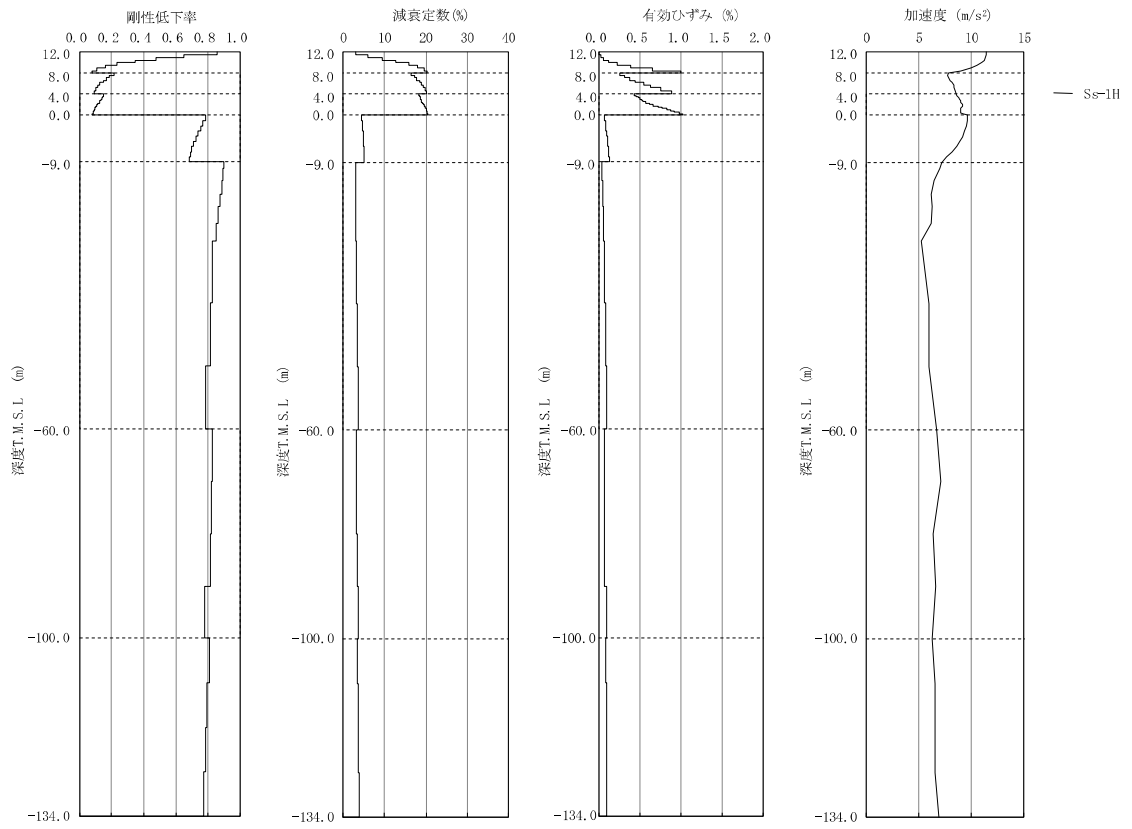
本検討では、5号機原子炉建屋の地盤モデルを対象として、基準地震動  $S_s-1$  による等価線形解析を実施し、表層部（埋戻土）の応答（剛性低下率、有効ひずみ）を確認することにより、この部分の建屋－地盤相互作用が有効かどうかを確認する。

## 3. 地盤の等価線形解析結果

基準地震動  $S_s-1$  に対する地盤の等価線形解析結果を図3-1に示す。

表層部（埋戻土，T.M.S.L. 0.0m～12.0m）において、急激に剛性が低下しており、有効ひずみについても大きくなっている（剛性低下率（ $G/G_0$ ）は最小で0.1程度、有効ひずみは最大で1%程度）。

したがって、当該層における建屋－地盤連成効果は見込めず、建屋応答評価上、この部分の地盤ばねは評価しないことが適切であると考えられる。



注：T.M.S.L. 0.0m～12.0mが表層部に該当。

図3-1 地盤の等価線形解析結果 (Ss-1)

#### 4. まとめ

以上より，5号機原子炉建屋の耐震設計に用いる地震応答解析モデルにおいて，表層部の地盤ばねを考慮しないことは妥当であると考えられる。