

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)

[建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価]

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
<p>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</p>			
<p><建物・構築物></p>			
<p>18</p>	<p>R1.8.1</p>	<p>[論点Ⅱ－4：建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価] ①入力地震動算定方法の相違点及びその理由・根拠の妥当性 a.既工認からの変更点とその設定根拠及び影響 ・1次元モデル及び2次元FEMモデルについて、既工認からの変更点（速度層区分、表層地盤の物性・非線形性の考慮の方法等）を整理し、その設定根拠を説明すること。また、既工認と今回の方法による入力地震動及び建物の応答値の比較、異なる場合はその理由を示すこと。 ・2次元FEMモデルの上下方向のメッシュ割について、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえたメッシュ割になっているか説明すること。 ・各建物・構築物の入力地震動算定方法の既工認からの変更点をより明確化するため、入力地震動の評価手法の一覧表について下記事項を明示すること。 ＊地盤・構築物相互作用モデル、建物・構築物の設置レベル ＊上記に応じた入力地震動としての、地盤モデルでの出力地震動の位置、種類 ＊入力地震動作成法パターン毎の、地盤・構築物相互作用モデル及びそれに対応した入力地震動の「引下げ」、「引上げ」の説明図 ＊既工認から変更しているものはその理由</p> <p style="text-align: right;">（次頁へ続く）</p>	<p>9～11 16～30 33～38</p>

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
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			
<建物・構築物>			
18	R1.8.1	<p>b.入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2号炉の主要な建物・構築物について、それぞれの特徴を踏まえて入力地震動の算定方法の選定の考え方を説明すること。また、水平地震動の引き上げ計算に2次元FEMを適用しているのに鉛直地震動の引き上げ計算では2次元FEMを用いない理由を説明すること。 ・原子炉建物及び制御室建物について、水平動・鉛直動について1次元波動論と2次元FEMにより算定した入力地震動を比較し、算定方法の違いによる影響（効果）と保守性に対する考え方を説明すること。 	12, 31, 32

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
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			
<建物・構築物>			
81	R2.1.21	入力地震動の算定方法・算定条件について、使い分けの考え方を説明すること。その際、各対象建物の埋込み深さ、周辺地盤との接地状況等も整理して説明すること。	14, 15
82	R2.1.21	1次元波動論により入力地震動を算定している建物及び機器・配管については2次元 F E Mによる入力地震動に対して保守性を確保するよう詳細設計段階において評価を実施すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。	13
83	R2.1.21	島根2号炉では原子炉建物と制御室建物の水平入力動は2 E 入力とするが、鉛直入力動は2 E 入力としない理由を、入力動への影響を踏まえて説明すること。	14, 17
84	R2.1.21	入力地震動を算定する際の表層地盤の物性値については地震動によらず S_s , S_d でそれぞれ一定値とする方針であるが、表層地盤の物性値を入力地震動に応じて設定した場合の建物・構築物の応答結果と比較して現行の方法の保守性を詳細設計段階で説明すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。	13

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

■ 指摘事項（第754回審査会合 令和元年8月1日）

【No.18（論点Ⅱ－4）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

①入力地震動算定方法の相違点及びその理由・根拠の妥当性

a.既工認からの変更点とその設定根拠及び影響

- 1次元モデル及び2次元FEMモデルについて、既工認からの変更点（速度層区分、表層地盤の物性・非線形性の考慮の方法等）を整理し、その設定根拠を説明すること。また、既工認と今回の方法による入力地震動及び建物の応答値の比較、異なる場合はその理由を示すこと。
- 2次元FEMモデルの上下方向のメッシュ割について、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえたメッシュ割になっているか説明すること。
- 各建物・構築物の入力地震動算定方法の既工認からの変更点をより明確化するため、入力地震動の評価手法の一覧表について下記事項を明示すること。
 - * 地盤・構築物相互作用モデル、建物・構築物の設置レベル
 - * 上記に応じた入力地震動としての、地盤モデルでの出力地震動の位置、種類
 - * 入力地震動作成法パターン毎の、地盤・構築物相互作用モデル及びそれに対応した入力地震動の「引下げ」、「引上げ」の説明図
 - * 既工認から変更しているものはその理由

■ 回答（①入力地震動算定方法の相違点及びその理由・根拠の妥当性）

a.既工認からの変更点とその設定根拠及び影響

- 1次元モデル及び2次元FEMモデルについて、既工認からの変更点を整理し、その設定根拠を示した。（P9～11, 23～26）
また、既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動を比較した。（P27）
- 2次元FEMモデルの上下方向のメッシュ分割高さが適切であることを示した。なお、高振動数領域の応答による影響が考えられる設備については、詳細設計段階において影響検討を実施する。（P28～30）
- 入力地震動算定方法の既工認からの変更点をより明確化するため、以下の観点を含めて一覧表を整理した。（P16～22）
 - * 地盤・構築物相互作用モデル、建物・構築物の設置レベル
 - * 上記に応じた入力地震動としての、地盤モデルでの出力地震動の位置、種類
 - * 入力地震動作成法パターン毎の、地盤・構築物相互作用モデル及びそれに対応した入力地震動の「引下げ」、「引上げ」の説明図
 - * 既工認から変更しているものはその理由

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

■ 指摘事項（第754回審査会合 令和元年8月1日）

【No.18（論点Ⅱ－４）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

①入力地震動算定方法の相違点及びその理由・根拠の妥当性

b.入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針

- 2号炉の主要な建物・構築物について、それぞれの特徴を踏まえて入力地震動の算定方法の選定の考え方を説明すること。また、水平地震動の引き上げ計算に2次元 F E Mを適用しているのに鉛直地震動の引き上げ計算では2次元 F E Mを用いない理由を説明すること。
- 原子炉建物及び制御室建物について、水平動・鉛直動について1次元波動論と2次元 F E Mにより算定した入力地震動を比較し、算定方法の違いによる影響（効果）と保守性に対する考え方を説明すること。

■ 回答（①入力地震動算定方法の相違点及びその理由・根拠の妥当性）

b.入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針

- 2号炉の主要な建物・構築物の原子炉建物及び制御室建物について、それぞれの特徴を踏まえて入力地震動の算定方法の選定の考え方を示した。（P12, 31, 32）
- また、水平方向と鉛直方向の入力地震動について、1次元波動論モデルと2次元 F E Mモデルにより算定した結果を比較し、算定方法の妥当性について確認した。（P12, 31, 32）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.81, 82】

■ 指摘事項（第823回審査会合 令和2年1月21日）

【No.81（論点Ⅱ－4）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

- 入力地震動の算定方法・算定条件について、使い分けの考え方を説明すること。その際、各対象建物の埋込み深さ、周辺地盤との接地状況等も整理して説明すること。

■ 回答

- 建物・構築物の入力地震動の評価手法は、耐震クラス、各建物の埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、以下の通り使い分けを行う。なお、埋込み及び切欠きの影響については適切に評価する。（P14, 15）

○ 水平方向

- 「耐震 S クラス施設」の建物については、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響をより詳細にモデル化した「2次元 F E M 解析」を基本とする。（原子炉建物の既工認の考え方と同様）
- 「耐震 S クラス施設以外」の建物については、「1次元波動論」による評価を基本とする。（タービン建物等の既工認の考え方と同様）

○ 鉛直方向

- 2次元 F E M 解析との比較により、鉛直方向の入力地震動は建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいことを確認していることから、「1次元波動論」による評価を基本とする。

■ 指摘事項（第823回審査会合 令和2年1月21日）

【No.82（論点Ⅱ－4）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

- 1次元波動論により入力地震動を算定している建物及び機器・配管については2次元 F E M による入力地震動に対して保守性を確保するよう詳細設計段階において評価を実施すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。

■ 回答

- 入力地震動の評価手法（補足1）、1次元波動論及び2次元 F E M による入力地震動の比較（補足6）を踏まえ、2次元 F E M モデルの速度層に基づき設定した1次元波動論モデルにより入力地震動を算定している建物及び機器・配管について、詳細設計段階において、建物・内包する施設の重要度、及びそれらの許容限界に対する裕度を踏まえた上で、代表とする建物を選定し、2次元 F E M 解析による水平方向の入力地震動を算定し、1次元波動論による入力地震動の保守性を確認する。（P13）
- 1次元波動論と2次元 F E M 解析による入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し、影響があると判断した場合は、2次元 F E M 解析による入力地震動を用いた地震応答解析により、建物及び機器・配管への影響検討を実施する。（P13）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.83, 84】

■ 指摘事項（第823回審査会合 令和2年1月21日）

【No.83（論点Ⅱ－4）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

- 島根2号炉では原子炉建物と制御室建物の水平入力動は2E入力とするが、鉛直入力動は2E入力としない理由を、入力動への影響を踏まえて説明すること。

■ 回答

- 建物・構築物の入力地震動は、各建物の埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、埋込み及び切欠きの影響を適切に評価する方針としている。（P14）
- 原子炉建物及び制御室建物の水平入力動は、2次元FEMモデルの切欠き地盤の表面応答であるため「2E」と表記しているが、建物の埋込みによる切欠き地盤を詳細にモデル化しているため、埋込み及び切欠きの影響は入力地震動に考慮されている。（P17）

■ 指摘事項（第823回審査会合 令和2年1月21日）

【No.84（論点Ⅱ－4）建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】

- 入力地震動を算定する際の表層地盤の物性値については地震動によらず S_s 、 S_d でそれぞれ一定値とする方針であるが、表層地盤の物性値を入力地震動に応じて設定した場合の建物・構築物の応答結果と比較して現行の方法の保守性を詳細設計段階で説明すること。許可段階ではその評価方針について説明すること。

■ 回答

- 入力地震動を算定する際の表層地盤の物性値については、既工認において表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d それぞれの地震動レベルに応じた一定値を設定する方針であるが（補足2）、詳細設計段階において、建物・内包する施設の重要度、及びそれらの許容限界に対する余裕を踏まえた上で、代表とする建物を選定し、地震動に応じた等価線形解析による入力地震動との比較により、表層地盤の物性値の影響検討を実施し、現行の設定方法の保守性を示す。（P13）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（1）

■ 耐震設計の論点

【論点Ⅱ-4：建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価】（論点の重み付け：A）

- 入力地震動の評価手法は既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元F E M解析を採用する。
- 解析モデルは建設時以降の敷地内の追加地質調査結果等に基づき設定する。

■ 論点に係る説明概要

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価の方針を以下に示す。

- 建設時の工事計画認可申請書（「既工認」）
 - 原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動は1次元波動論，2次元F E M解析又は直接入力（以下「1次元波動論又は2次元F E M解析等」という。）により評価を実施している。
 - 解放基盤表面で定義される基準地震動S 1及びS 2を基に，対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで，地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定している。
- 今回の工事計画認可申請（「今回工認」）
 - 既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元F E M解析等を採用する方針とする。
 - 解放基盤表面で定義される基準地震動S s及び弾性設計用地震動S dを基に，対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで，地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。
 - 解析モデルの設定にあたっては，既工認のモデルを基本とし，建設時以降の追加地質調査結果等の最新データを基に，より詳細なモデル化を行う。

■ 先行プラント実績

- なし（プラント固有の地質調査結果に基づき，解析モデルを作成している）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（2）

■ 本資料は原子炉建物について、既工認と今回工認の入力地震動の評価手法および解析モデルを示す。原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物については評価手法を示し、解析モデルについては詳細設計段階で示す。

1. 入力地震動評価における既工認からの変更点とその設定根拠及び影響について

1.1 原子炉建物の入力地震動の評価

- 今回工認の入力地震動の評価手法は、既工認と同様に1次元波動論及び2次元FEM解析を採用する。
- 解析モデルについては、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等により、最新のデータを基に、より詳細にモデル化したものである。
- 入力地震動を算定する計算機コードとして、先行プラントで使用実績があるSuperFLUSH及びSHAKEを採用する。
- 既工認と今回工認の評価手法及び解析モデルの比較をP10, 11に示す。

1.2 原子炉建物以外の建物・構築物及び土木構造物の入力地震動の評価

- 原子炉建物と同様に、評価手法は既工認において採用実績のある1次元波動論又は2次元FEM解析等を採用する方針とし、解析モデルは建設時以降の敷地内の追加地質調査結果等に基づき設定する。

建物・構築物及び土木構造物の入力地震動の評価手法の概要について補足1（P14～22）に示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価 (3)

原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法及び解析モデルの比較 (主な解析条件)

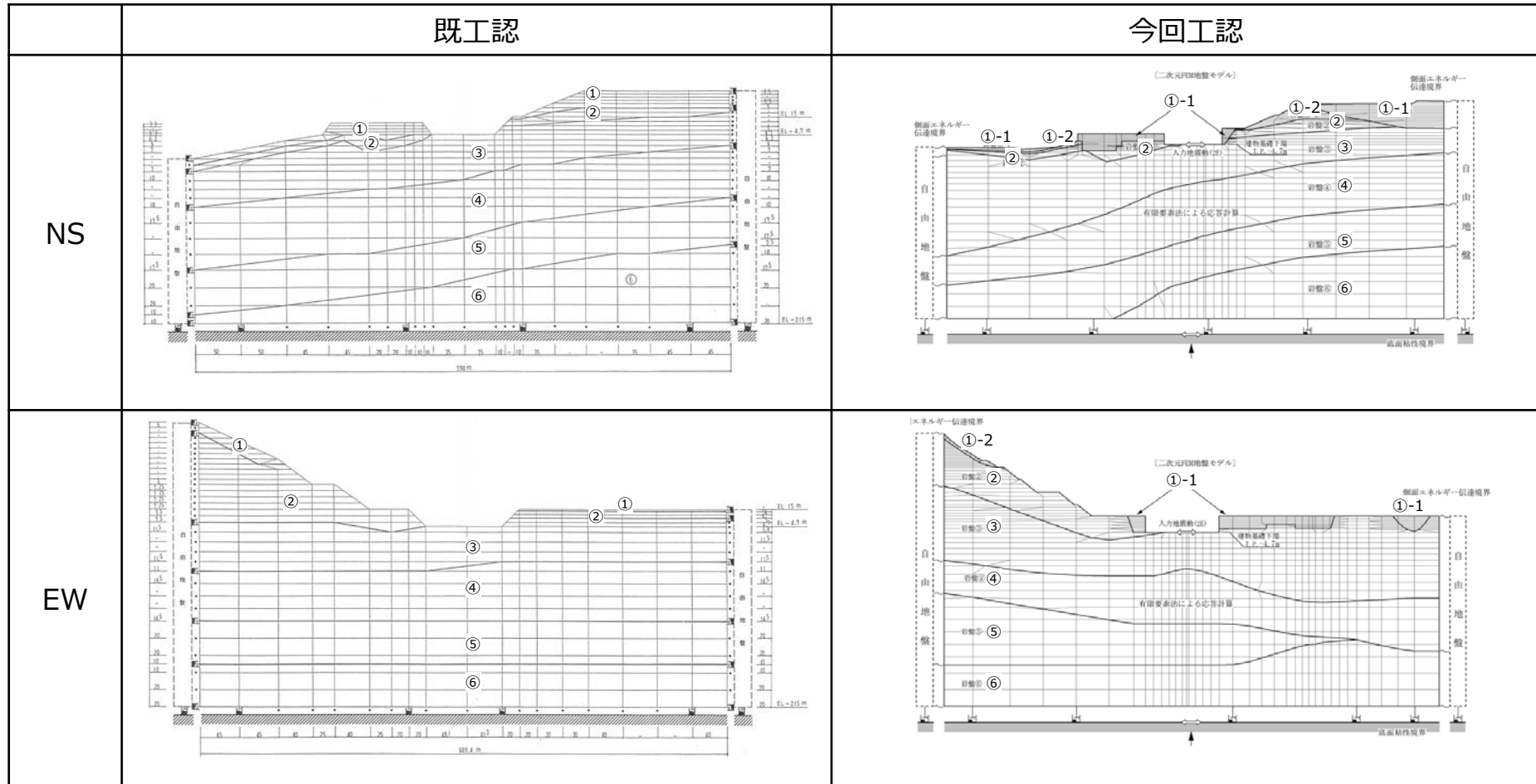
		既工認	今回工認
入力地震動の評価 (概要)		<p>(NS方向)</p>	<p>(NS方向)</p> <p>※解放基盤表面からT.P.-215mまでの1次元モデルは既工認と同じ。</p>
評価手法	解析方法	周波数応答解析	同左
	入力地震動の算定方法 [計算機コード]	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ: 1次元波動論[SHAKE] 引上げ: 2次元 F E M解析[VESL-DYN] 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ: 1次元波動論[SHAKE] 引上げ: 2次元 F E M解析[SuperFLUSH]
入力地震動の解析モデル	モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ: 解放基盤表面(T.P.-10m)から T.P.-215mまでをモデル化 引上げ: 幅は約600mの範囲とし, 高さはT.P.-215m 以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ: 同左 引上げ: 同左
	速度層区分	建設時の地質調査結果に基づき設定	建設時の地質調査結果に加えて, 建設時以降の敷地内の追加地質調査結果 (ボーリング, P S検層) に基づき設定
	地盤物性値 (補足2 (P23~25) 参照)	建設時の地質調査結果に基づき設定 ※表層地盤については文献(1)に基づき標準的な砂質土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定	同左 ※表層地盤については, 地震動レベル及び試験結果に基づき埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定
	境界条件 (2次元FEM) (補足3 (P26) 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 底面: 粘性境界 側面: 粘性境界 	<ul style="list-style-type: none"> 底面: 粘性境界 側面: エネルギー伝達境界 <p>※側方地盤への波動の逸散をより詳細に評価する境界条件に変更</p>
	入力地震動出力位置	EL -4.7m	同左
	相互作用モデル	水平: 地盤ばねモデル (SRモデル) 鉛直: —	同左
地震応答	建物設置レベル	EL -4.7m	同左
	相互作用モデル	水平: 地盤ばねモデル (SRモデル) 鉛直: 地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	同左

(1)大崎他, 地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第5回 日本地震工学シンポジウム, 1978

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（4）

原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法及び解析モデルの比較（2次元 F E M解析モデル）



- ※ 2次元 F E M解析モデルの作成に用いた速度層区分については、地質調査結果に基づき作成し、審査会合（平成27年3月6日）にて、「概ね必要な検討がなされている」と評価されている。（参考1参照：速度層断面図（南北：P33，東西：P34），岩相区分との比較（南北：P35，東西：P37），岩級区分との比較（南北：P36，東西：P38））
- ※ 今回工認モデルでは建物基礎底面レベルの振動を同一とするため、建物基礎底面レベルの平面を保持する拘束条件を設けている。また、建物床レベルの水平変位を同一とするため、切欠き地盤側面には水平変位を保持する拘束条件を設けている。
- ※ 地盤物性値を補足2（P23～25）に示す。
- ※ 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較を補足4（P27）に示す。
- ※ 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する検討結果を補足5（P28～30）に示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（5）

2. 建物・構築物の入力地震動の算定に用いる解析モデルの詳細設計における適用方針について

今回工認におけるSクラス施設を含む2号炉の主要な建物・構築物である原子炉建物及び制御室建物の入力地震動は、以下の通り算定することとする。

- ・水平方向は、原子炉建物の既工認と同様に、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響を考慮するため、2次元 F E Mモデルを採用する。
- ・鉛直方向は、入力地震動に対する建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいと考えられることから、1次元波動論モデルを採用する。

原子炉建物及び制御室建物の入力地震動の算定方法について、今回工認の評価手法及び解析モデルを下表に示す。

今回工認の原子炉建物及び制御室建物の入力地震動の算定方法

		水平方向	鉛直方向
入力地震動の評価 (概念図)			
手 法 評 価	入力地震動の算定方法 [計算機コード]	<ul style="list-style-type: none"> ・引下げ：1次元波動論[SHAKE] ・引上げ：2次元 F E M解析[SuperFLUSH] 	<ul style="list-style-type: none"> ・引下げ：1次元波動論[SHAKE] ・引上げ：1次元波動論[SHAKE]
解 析 モ デ ル	モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・引下げ：解放基盤表面(T.P.-10m)から T.P.-215mまでをモデル化 ・引上げ：幅は約600m の範囲とし、高さはT.P.-215m 以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> ・引下げ：解放基盤表面(T.P.-10m)から T.P.-215mまでをモデル化 ・引上げ：T.P.-215m 以浅の地盤を水平成層にモデル化
	速度層区分	建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果（ボーリング、P S 検層）に基づき設定	同左
	地盤物性値	建設時の地質調査結果に基づき設定 ※表層地盤については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定	同左

※ 原子炉建物及び制御室建物について、水平方向・鉛直方向それぞれの1次元波動論及び2次元 F E Mによる入力地震動の比較を、補足6（P31, 32）に示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.82, 84】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（6）

3. 詳細設計段階における影響検討方針について

○ 1次元波動論の入力地震動の保守性の確認

- 入力地震動の評価手法（補足1）、1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較（補足6）を踏まえ、2次元FEMモデルの速度層に基づき設定した1次元波動論モデルにより入力地震動を算定している建物及び機器・配管について、詳細設計段階において、建物・内包する施設の重要度、及びそれらの許容限界に対する裕度を踏まえた上で、代表とする建物を選定し、2次元FEM解析による水平方向の入力地震動を算定し、1次元波動論による入力地震動の保守性を確認する。
- 1次元波動論と2次元FEM解析による入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し、影響があると判断した場合は、2次元FEM解析による入力地震動を用いた地震応答解析により、建物及び機器・配管への影響検討を実施する。

○ 表層地盤の物性値（せん断剛性(G)、減衰定数(h))を一定値にすることの保守性の確認

- 入力地震動を算定する際の表層地盤の物性値については、既工認において表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d それぞれの地震動レベルに応じた一定値を設定する方針であるが（補足2）、詳細設計段階において、建物・内包する施設の重要度、及びそれらの許容限界に対する裕度を踏まえた上で、代表とする建物を選定し、地震動に応じた等価線形解析による入力地震動との比較により、表層地盤の物性値の影響検討を実施し、現行の設定方法の保守性を示す。

○ 高振動数領域の応答に関する影響検討

- 建物・構築物の入力地震動の算定に用いる2次元FEMモデルについて、原子炉建物を代表として最高振動数（50Hz）に対して設定した比較用モデルによる解析を実施し、入力地震動への影響を評価した結果、高振動数領域（約30~50Hz）で比較用モデル（50Hz透過）が今回工認モデル（20Hz透過）を上回る周期帯があることから、高振動数領域の応答による影響が考えられる弁の動的機能維持評価等にあたっては、詳細設計段階において影響検討を実施する。（補足5）

審査会合における指摘事項に対する回答【No.81, 83】

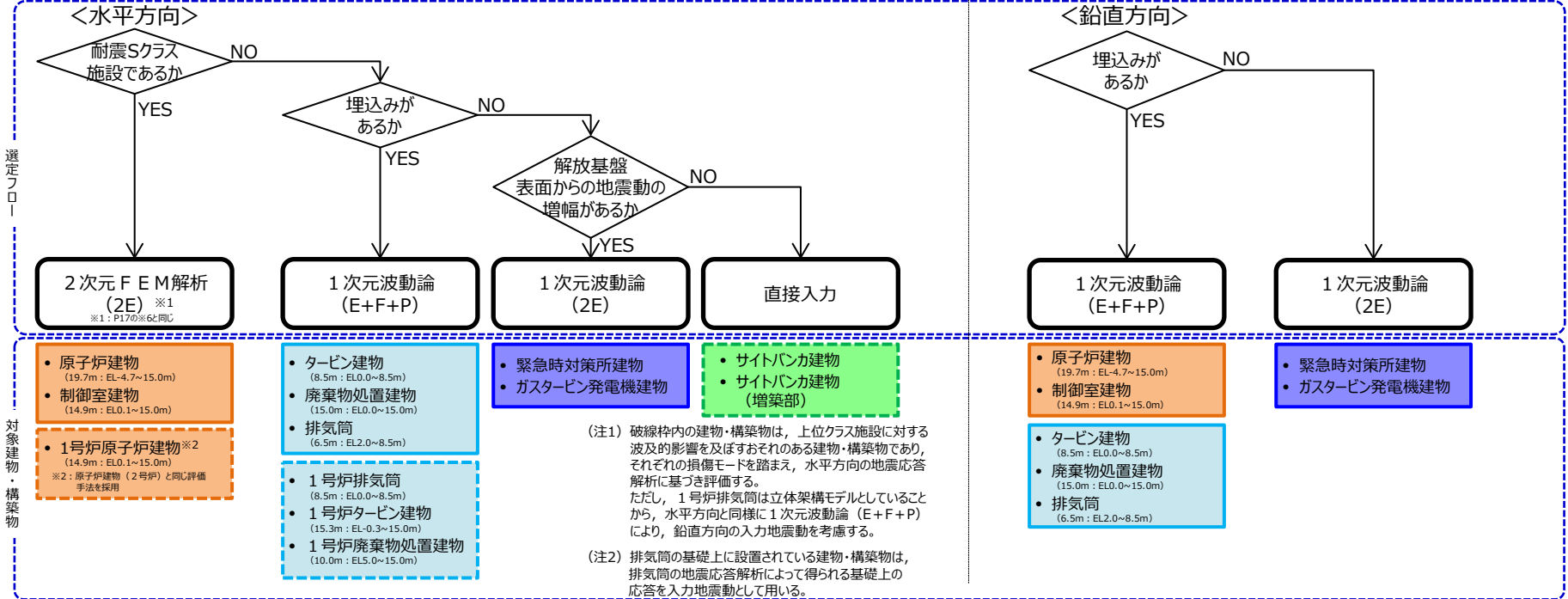
論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 1 / 9>

[方針] 建物・構築物の入力地震動の評価手法は、耐震クラス、各建物の埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、以下の通り使い分けを行う。なお、埋込み及び切欠きの影響については適切に評価する。

- 水平方向
 - 「耐震Sクラス施設」の建物については、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響をより詳細にモデル化した「2次元FEM解析」を基本とする。（原子炉建物の既工認の考え方と同様）
 - 「耐震Sクラス施設以外」の建物については、「1次元波動論」による評価を基本とする。（タービン建物等の既工認の考え方と同様）
- 鉛直方向
 - 入力地震動に対して建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいことから「1次元波動論」による評価を基本とする。（補足6において、2次元FEM解析との比較により速度層の傾斜等の入力地震動への影響が小さいことを確認している。）

[選定フロー] 各建物・構築物の入力地震動の評価手法の選定フローを下図に示す。



入力地震動の評価手法の選定フロー

凡例：建物・構築物の名称 (埋込み深さ：設置レベル～地表面レベル)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.81】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 2 / 9>

- 入力地震動の評価手法の選定フローに従い整理した建物・構築物の入力地震動の評価手法の使い分けの一覧を示す。

建物・構築物の入力地震動の評価方法

耐震クラス	建物・構築物の設置状況		建物・構築物	入力地震動の評価手法		選定理由等
				水平	鉛直	
Sクラス施設	埋込みあり	EL8.5m盤 もしくは EL15m盤	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 1号炉原子炉建物※1 	2次元FEM (2E) ※2	1次元波動論 (E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 : 「Sクラス施設」として、既工認と同様に2次元FEMモデルを採用 制御室建物 : 「Sクラス施設」として、原子炉建物と同様に2次元FEMモデルを採用 1号炉原子炉建物 : 原子炉建物であることを踏まえ、原子炉建物（2号炉）と同じ評価手法を採用 <p>【鉛直方向】</p> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した1次元波動論（E+F+P）を採用
Sクラス施設以外	埋込みあり	EL8.5m盤 もしくは EL15m盤	<ul style="list-style-type: none"> タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 1号炉タービン建物※1 1号炉廃棄物処理建物※1 1号炉排気筒※1 	1次元波動論 (E+F+P)	1次元波動論 (E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> タービン建物 : 「Sクラス施設以外」、「埋込みあり」として、既工認と同様に埋込みを考慮した1次元波動論を採用 廃棄物処理建物 : 同上 排気筒 : 同上 1号炉タービン建物 : 「Sクラス施設以外」、「埋込みあり」として、タービン建物（2号炉）と同じ評価手法を採用 1号炉廃棄物処理建物 : 「Sクラス施設以外」、「埋込みあり」として、廃棄物処理建物（2号炉）と同じ評価手法を採用 1号炉排気筒 : 「Sクラス施設以外」、「埋込みあり」として、排気筒（2号炉）と同じ評価手法を採用 <p>【鉛直方向】</p> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した1次元波動論（E+F+P）を採用
<ul style="list-style-type: none"> Sクラス施設の間接支持構造物 SA施設 SA施設の間接支持構造物 波及的影響を及ぼすおそれのある施設 		高台 (EL44m盤 もしくは EL50m盤)	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所建物 ガスタービン発電機建物 	1次元波動論 (2E)	1次元波動論 (2E)	<p>【水平、鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所建物 : 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL44m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」建物であることから、1次元波動論（2E）を採用 ガスタービン発電機建物 : 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL50m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」建物であることから、1次元波動論（2E）を採用
	埋込みなし	解放基盤 相当の岩盤 (EL8.5m盤)	<ul style="list-style-type: none"> サイトバンカ建物※1 サイトバンカ建物（増築部）※1 	直接入力	-	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> サイトバンカ建物 : 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、EL8.5m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がない」解放基盤相当（Vs=1600m/s）の岩盤に支持された建物であることから、既工認と同様に直接入力を採用 サイトバンカ建物（増築部） : 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、EL8.5m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がない」解放基盤相当（Vs=1600m/s）の岩盤に支持された建物であることから、サイトバンカ建物と同じ評価手法を採用
		排気筒の 基礎上	<ul style="list-style-type: none"> 2号炉排気筒モニタ室※1 燃料移送ポンプエリア 電巻防護対策設備※1 	排気筒の基礎 上の地震応答 解析結果を 用いる	-	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 2号炉排気筒モニタ室 : 「排気筒の基礎上に配置」されているため、排気筒の地震応答解析によって得られる基礎上の応答を入力地震動として採用 燃料移送ポンプエリア電巻防護対策設備 : 同上

※1：上位クラス施設に対する波及的影響を及ぼすおそれのある建物・構築物については、それぞれの損傷モードを踏まえ、水平方向の地震応答解析に基づき評価する。ただし、1号炉排気筒は立体架構モデルとしており、水平方向と同様に1次元波動論（E+F+P）により、鉛直方向の入力地震動を考慮する。

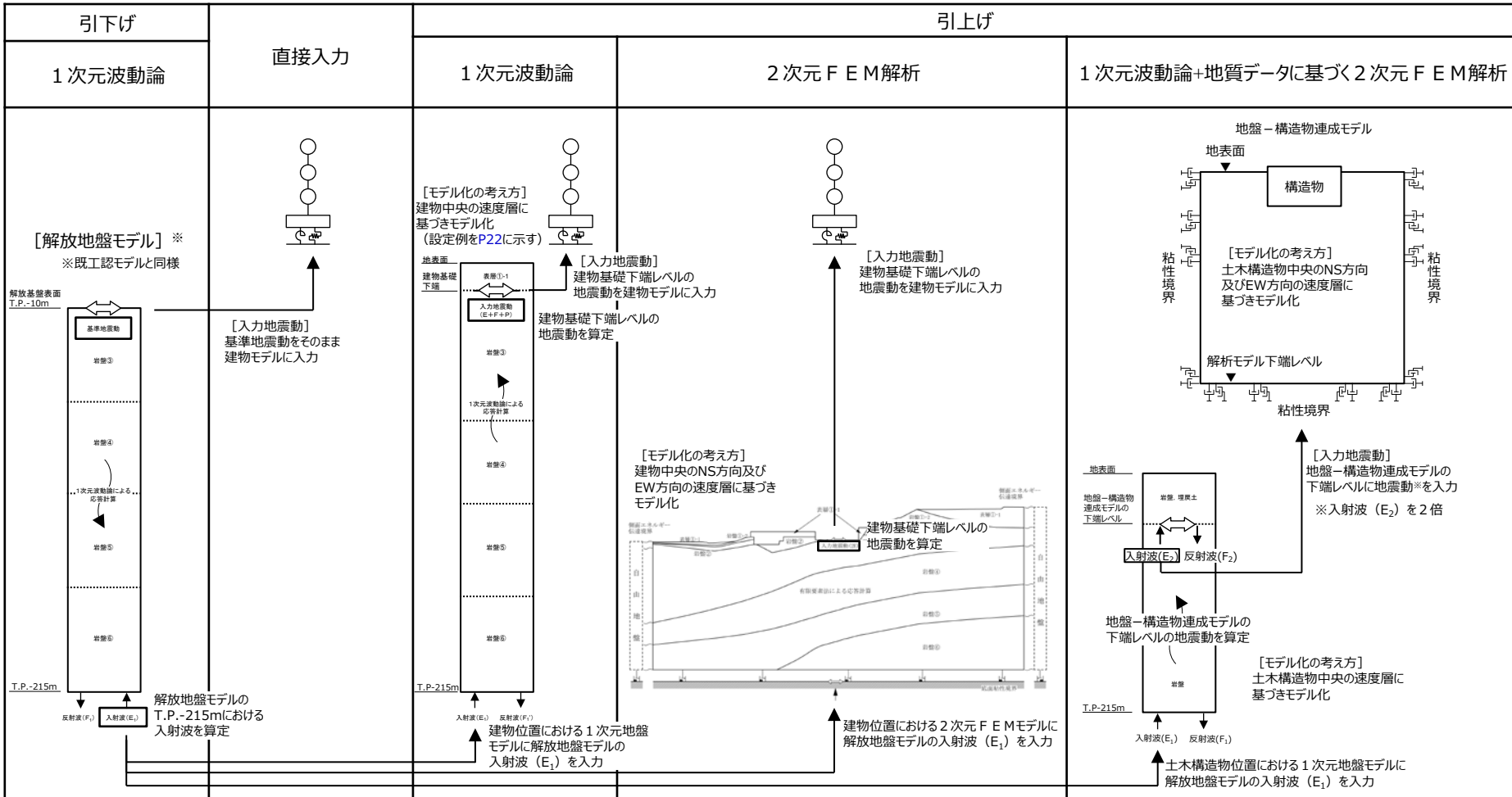
※2：P17の※6と同じ

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価 (補足1)

<入力地震動の評価手法 3 / 9>

- 入力地震動の評価手法 (直接入力, 1次元波動論, 2次元 F E M解析) の概念図を示す。



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18, 83】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 4 / 9>

建物・構築物の入力地震動は建物基礎底面位置で評価する。なお、建物・構築物の地震応答解析モデルは、既工認と同様に質点系モデルを採用する。

建物・構築物		入力地震動の評価手法						建物・構築物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		変更理由		入力地震動出力位置	相互作用モデル		建物・構築物の設置レベル※5
		水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		水平※4	鉛直	
S クラス 施設 の間 接 支 持 構 造 物	原子炉建物	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E※6	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	EL -4.7m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL -4.7m
	制御室建物	直接入力	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E※6	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	Sクラス施設を含む 建物・構築物であるた め、原子炉建物の 評価手法と合わせる	—	EL 0.1m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 0.1m
	タービン建物	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を 詳細に評価するため、 J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版に基づき、 切欠き力を考慮する	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 0.0m
	廃棄物 処理建物	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を 詳細に評価するため、 J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版に基づき、 切欠き力を考慮する	—	EL 0.0m	ジョイント要素を用いた 3次元 F E Mモデル		EL 0.0m
	排気筒	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論※1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論※1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	EL 2.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 2.0m
重 要 S A 施 設	ガスタービン 発電機建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※2	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※2	—	—	EL 44.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 44.0m
	緊急時対策所 建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※3	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※3	—	—	EL 48.25m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 48.25m

※1 排気筒の既工認は、改造工認（平成25年）を示す。
 ※2 高台のEL 44m盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。
 ※3 高台のEL 50m盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。
 ※4 水平方向の相互作用モデルにおいて、側面ばねは考慮しない。
 ※5 代表的な設置レベルを示す。

※6 原子炉建物及び制御室建物の水平入力動は、2次元FEMモデルの切欠き地盤の表面応答であるため「2E」と表記しているが、建物の埋込みによる切欠き地盤を詳細にモデル化しているため、埋込みと切欠きの影響は入力地震動に考慮されている。

注1 「E+F+P」は地盤の切欠き力の影響を考慮した建物基礎底面位置の地震動を表す。
 注2 「2E」は地盤表面の地震動を表す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 5 / 9>

建物・構築物	入力地震動の評価手法							建物・構築物の地震応答解析モデル			
	既工認		今回工認		変更理由		入力地震動 出力位置	相互作用モデル		建物・構築物の 設置レベル※4	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		水平※3	鉛直		
1号炉 原子炉建物	直接入力	—	(引下げ) 1次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E	—	2号炉原子炉建物 の評価手法と 合わせる	—	EL 0.1m	ジョイント要素を用いた 3次元 F E Mモデル	—	EL 0.1m	
1号炉 タービン建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL -0.3m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL -0.3m	
1号炉 廃棄物 処理建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL 5.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 5.0m	
1号炉 排気筒	直接入力	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 E+F+P	2号炉排気筒の 評価手法と合わせる	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 0.0m	
サイトバンカ建物	直接入力	—	直接入力※2	—	—	—	—	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 7.3m	
サイトバンカ建物 (増築部)	—	—	直接入力※2	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 7.3m	
2号炉 排気筒モニタ室	—	—	排気筒の基礎上の 地震応答解析 結果を用いる※1	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.8m (排気筒基礎上)	
燃料移送ポンプ エリア巻巻防護 対策設備	—	—	排気筒の基礎上の 地震応答解析 結果を用いる※1	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.7m (排気筒基礎上)	

※1 排気筒の基礎上に設置されている建物・構築物であるため、排気筒の地震応答解析によって得られる基礎上の応答を入力地震動として用いる。
 ※2 EL 8.5m盤に設置された埋込みを有しない建物であり、解放基盤相当 (Vs=1600m/s) に支持されていることから、既工認と同様に直接入力とする。
 ※3 水平方向の相互作用モデルにおいて、側面ばねは考慮しない。
 ※4 代表的な設置レベルを示す。

注1 「E+F+P」は地盤の切欠き力の影響を考慮した建物基礎底面位置の地震動を表す。
 注2 「2E」は地盤表面の地震動を表す。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 6 / 9>

土木構造物の入力地震動は構造物の基礎底面又はFEMモデルの下端位置で評価する。なお、取水槽及び屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答解析モデルは、既工認から変更し、地盤－構造物連成系の2次元FEMモデルを採用する。

土木構造物	入力地震動の評価手法					土木構造物の地震応答解析モデル		
	既工認		今回工認		入力地震動 出力位置	相互作用モデル		土木構造物の 設置レベル※1
	水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
（スクラス施設の間接構造物を含む） 屋外重要土木構造物	取水槽	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -65.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL -10.75m
	屋外配管ダクト (タービン建物～ 排気筒)	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -30.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL 5.2m
	ディーゼル燃料貯蔵 タンク基礎	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL 8.85m
	燃料移送系 配管ダクト	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL 10.7m
	屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～ 原子炉建物)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -20.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL 11.011m
	取水管	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -100.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL -17.8m
	取水口	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -100.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル	EL -22.0m

※1 代表的な設置レベルを示す。

注1 「2E」は、地盤－構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 7 / 9>

土木構造物		入力地震動の評価手法				土木構造物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		入力地震動 出力位置	相互作用モデル		土木構造物の 設置レベル※1
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL -19.1m (杭下端レベル)
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL -3.3m (杭下端レベル)
	防波壁 (波返重力擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -50.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL -13.0m (ケーソン下端レベル)
	除じん機エリア防水壁	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※2	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※2	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
重要SA施設	第1ペントフィルタ 格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL 1.7m
	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL -35.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL -0.3m
	緊急時対策所用 燃料地下タンク	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E	EL 35.0m	地盤-構造物連成系の2次元FEMモデル		EL 46.8m
	ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※3	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※3	EL 45.8m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 45.8m

※1 代表的な設置レベルを示す。

※2 取水槽に設置されている土木構造物であるため、取水槽の地震応答解析によって得られる応答を入力地震動として用いる。

※3 高台のEL 44m盤に設置された埋込みを有しない土木構造物であることから、「2E」とする。

注1 「2E」は、地盤-構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 8 / 9>

土木構造物		入力地震動の評価手法				土木構造物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		入力地震動 出力位置	相互作用モデル		土木構造物の 設置レベル※1
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
波 及 的 影 響 を 及 ぼ す お そ れ の あ る 施 設	輪谷貯水槽（西側）	—	—	(引下げ) 1次元波動論 2E	(引下げ) 1次元波動論 2E	EL -215.0m	地盤－構造物連成系の2次元FEMモデル		EL 45.5m
	免震重要棟遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※2	(引下げ, 引上げ) 1次元波動論 2E※2	EL 49.7m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)	EL 49.7m (壁下端レベル)
	循環水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
	海水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)
	給気エリア防水壁	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	取水槽の地震応答 解析結果を用いる※3	—	基礎固定モデル		EL 8.8m (取水槽上)

※1 代表的な設置レベルを示す。

※2 高台のEL 50m盤に設置された埋込みを有しない土木構造物であることから、「2E」とする。

※3 取水槽に設置されている土木構造物であるため、取水槽の地震応答解析によって得られる応答を入力地震動として用いる。

注1 「2E」は、地盤－構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足1）

<入力地震動の評価手法 9 / 9>

- 建物・構築物の1次元波動論モデルは、建物中央の速度層の層厚及び物性値に基づきモデル化する。
- 1次元波動論モデルの速度層の設定例として、タービン建物及び廃棄物処理建物の速度層の設定方法を示す。

速度層区分と1次元波動論モデルの設定例

(例1) タービン建物		(例2) 廃棄物処理建物	
<p>設定根拠</p>	<p>原子炉建物の2次元FEMモデルにおけるNS方向の速度層に基づき、建物中央でモデル化</p>	<p>設定根拠</p>	<p>原子炉建物の2次元FEMモデルにおけるEW方向の速度層に基づき、建物中央でモデル化</p>

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足2）

<入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値 1 / 3 >

- 今回工認の入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値を以下に示す。
- 表層地盤を除く岩盤の地盤物性値は、既工認で設定した値を用いる。なお、既工認では埋戻し土としてモデル化していた今回工認の①-2層については、C_L級及びD級の岩盤であり、S波速度（Vs）は小さいが、検討建物から離れたわずかな領域に分布しており、地震時の非線形性が建物の入力地震動に与える影響は小さいと判断し、地質調査結果に基づく地盤物性値を用い、線形として扱う。
- 今回工認モデルにおいては、埋戻し土を反映した表層地盤（層番号①-1）について、基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dそれぞれに対して、2次元FEMモデルによる等価線形解析に基づき等価物性値（剛性、減衰定数）を詳細設計段階で設定することとする。なお、既工認モデルにおける表層地盤（層番号①）については、基準地震動S₁及びS₂に対する1次元モデルによる等価線形解析に基づき、等価物性値（剛性）を設定している。

入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値

層番号※1		S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	単位体積重量※3 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν (-)	ヤング係数※3 E (×10 ⁵ kN/m ²)	せん断弾性係数※3 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
既工認	今回工認							
①	①-1	等価線形解析及び試験結果に基づき設定						
	①-2	250	800	20.6	0.446	3.80	1.31	3※2
②	②	900	2100	23.0	0.388	52.9	19.0	3※2
③	③	1600	3600	24.5	0.377	176.5	64.0	3
④	④	1950	4000	24.5	0.344	256.0	95.1	3
⑤	⑤	2000	4050	26.0	0.339	283.4	105.9	3
⑥	⑥	2350	4950	27.9	0.355	427.6	157.9	3

※1 層番号は解析モデル図(P11)を参照。

※2 既工認では、慣用値として5%と設定。

※3 単位体積重量、ヤング係数及びせん断弾性係数については、今回工認では既工認の値（MKS単位系）を単位換算（SI単位系）した値を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足2）

<入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値 2 / 3 >

- 表層地盤（①-1：埋戻土）の剛性と減衰のひずみ依存性は、既工認では文献⁽¹⁾に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性としていたが、今回工認では試験結果に基づくひずみ依存性に変更する。

埋戻土のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

	既工認	今回工認
埋戻土のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性		
設定根拠	文献 ⁽¹⁾ に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性	埋戻土における動的変形試験結果により設定したひずみ依存性

(1)大崎他，地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例，第5回 日本地震工学シンポジウム，1978

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足2）

<入力地震動評価用解析モデルの地盤物性値 3 / 3 >

- 表層地盤の等価物性値の設定の考え方を、既工認と比較して以下の表に示す。
- なお、島根原子力発電所の建物・構築物の支持地盤は硬質岩盤であるため、**既工認において表層地盤のみ地震動レベルに応じた非線形性を考慮することとし**、表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、剛性及び減衰定数はそれぞれの地震動レベル（ S_s 、 S_d ）に対して一定値を設定する。

表層地盤の等価物性値の設定の考え方

	既工認	今回工認		
評価フロー	<ul style="list-style-type: none"> 2号炉原子炉建物の1次元波動論モデルに基づき設定 表層地盤の初期せん断弾性係数(G_0)、ひずみ依存性($G/G_0-\gamma, h-\gamma$)を設定 <p>等価線形解析の概念図</p>	<ul style="list-style-type: none"> 2号炉原子炉建物のNS方向及びEW方向の2次元FEMモデルに基づき設定 表層地盤の拘束圧依存性を考慮した初期せん断弾性係数(G_0)、ひずみ依存性($G/G_0-\gamma, h-\gamma$)を設定 <p>等価線形解析の概念図</p>		
	<p>等価線形解析による収束計算</p> <p> <ul style="list-style-type: none"> S_1, S_2による収束値から算定した平均的な剛性低下率に基づき、等価なせん断弾性係数(G)を設定 各建物の表層地盤の物性値に設定 </p> <p>表層地盤の有効ひずみ、剛性及び減衰</p>	<p>等価線形解析による収束計算</p> <p> <ul style="list-style-type: none"> S_s, S_dによる各要素の収束値から算定した平均的な剛性低下率に基づき、S_s, S_dそれぞれの等価なせん断弾性係数(G)及び減衰定数(h)を設定 各建物の表層地盤の物性値に設定 </p>		
等価物性値	基準地震動 S_1, S_2		基準地震動 S_s , 弾性設計用地震動 S_d	
	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)
	0.65 (t/cm^2) (剛性低下率 G/G_0 0.485)	5% (慣用値)	詳細設計段階で S_s, S_d それぞれの等価線形解析に基づき設定	

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足3）

< 2次元 F E M解析モデル側面の境界条件 >

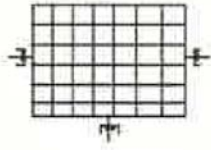
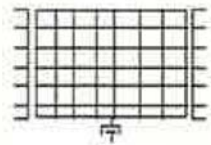
■ 2次元 F E M解析モデルの側面の境界条件は F E M部分から側方地盤への波動の逸散を考慮したものであり、粘性境界は隣接する側方地盤との変位の関係から、エネルギー伝達境界は F E M部分と側方地盤全体の変位分布の関係からこの逸散を考慮している。詳細を以下に示す。

- 粘性境界

ダッシュポットを用いた速度比例型の減衰力により、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度が良く、計算も容易である。

- エネルギー伝達境界

F E M部分の境界節点と側方地盤との変位分布の差から、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度がとても良く、より現実に応じた解析結果を得ることができる。なお、先行プラントの工認において適用実績がある。

境界処理法	概念図	説明	定式化の難易度	計算上の特徴	解の精度	その他
粘性境界		・速度比例型の減衰力により波動逸散波を吸収	容易	・計算は容易 ・[K*]は対角またはバンドマトリクス	○	・手間と精度のバランスが良い ・周波数応答/時刻歴解析の双方に適用可能 ・1～3次元で適用可能
エネルギー伝達境界		・一般化表面波の固有モードを合成し、側方の水平成層地盤と結合	難解	・計算は煩雑、かつ固有値解析に計算時間を要する ・側方の[K*]はフルマトリクス	◎	・2次元および軸対称の周波数応答のみ適用可能

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足4）

<既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較>

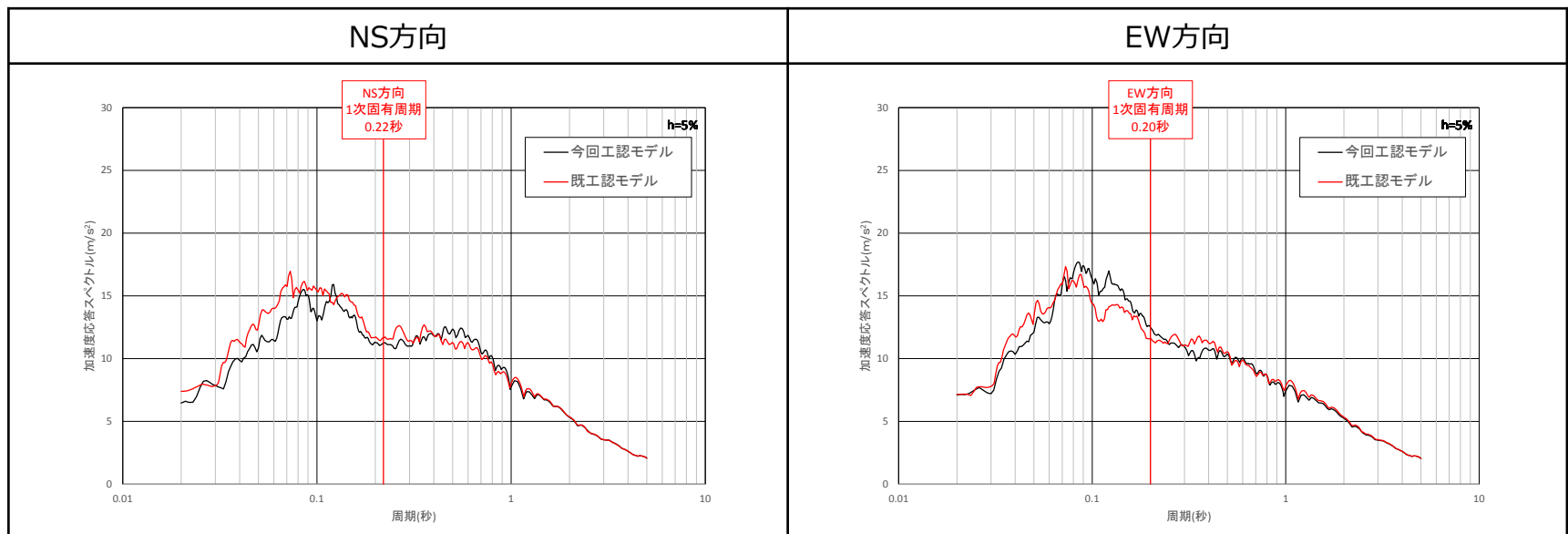
(1) 検討条件

- 原子炉建物の入力地震動の評価に用いる2次元FEMモデルについて、P11に示す既工認モデルと今回工認モデルを用いた基準地震動S_{s-D}による入力地震動を比較する。なお、既工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については既工認の値を用い、今回工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については、 $G/G_0=0.2$ 及び $h=8\%$ と設定した。
- 解析プログラムは、既工認モデル及び今回工認モデルともにSuperFLUSHを用いる。

(2) 検討結果

- 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を下図に示す。
- 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動を比較すると、一部の周期帯において差異はあるものの、加速度応答スペクトルの傾向は概ね一致しており、建物の応答値への影響は軽微である。
- 以上のことから、今回工認モデルは、建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の追加地質調査結果に基づき設定しており、妥当である。

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足5）

< 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する検討 1 / 3 >

(1) メッシュ分割高さの設定方法

- 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さは、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえて設定することとし、今回工認は既工認と同様に最高振動数（20Hz）に対して設定する。
- メッシュ分割高さHは、先行審査実績と同様に J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版に示された以下の基準を満足するように設定している。

$$H \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{\max}}$$

V_s : S波速度 (m/s)

f_{\max} : 最高透過振動数 (Hz)

(2) メッシュ分割高さの違いによる影響検討

a. 検討条件

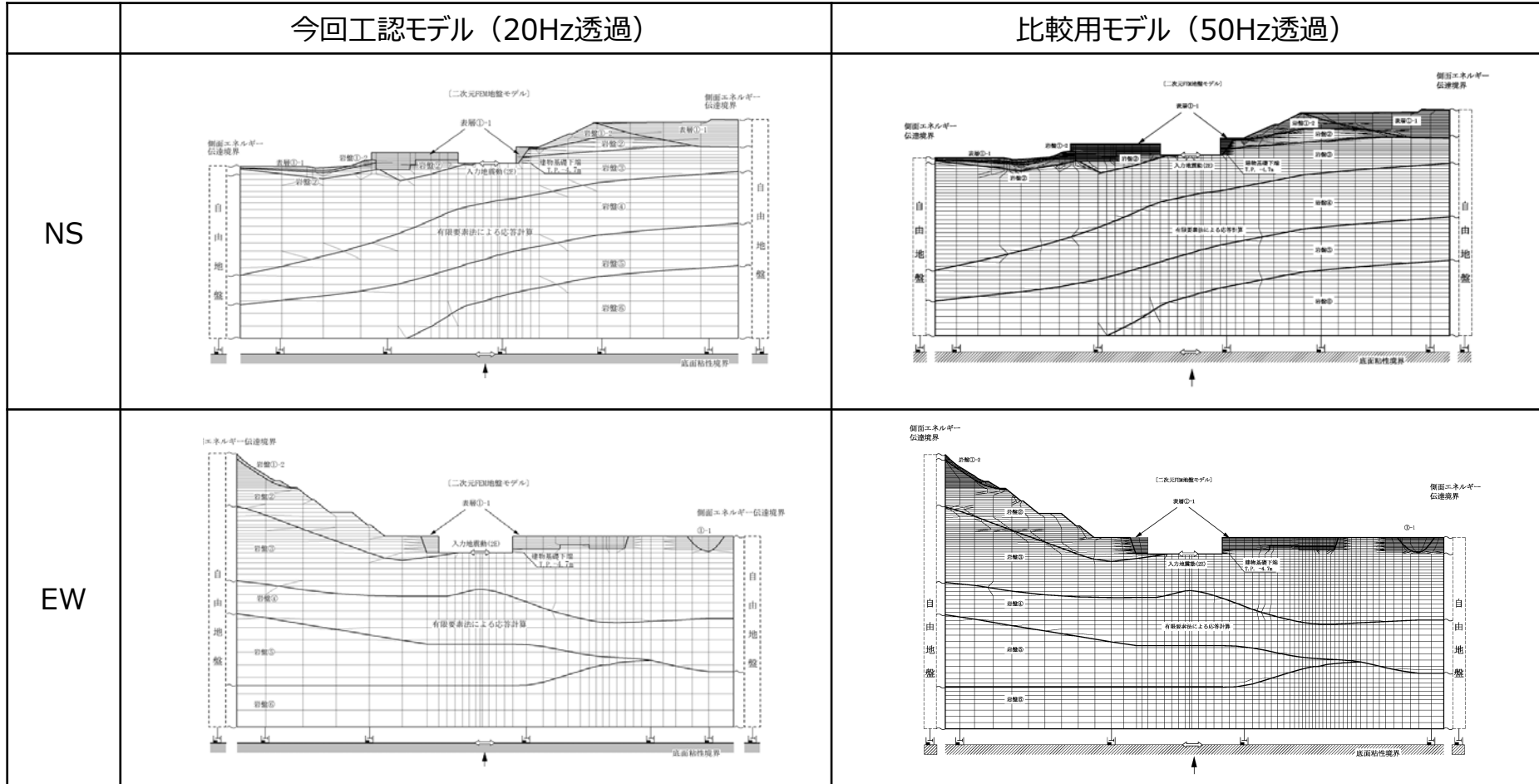
- メッシュ分割高さの妥当性を確認するため、原子炉建物を代表として最高振動数（50Hz）に対して設定した比較用モデルによる解析を実施し、入力地震動への影響を評価する。
- [P 29](#)に今回工認モデルと比較用モデルにおける2次元 F E Mモデル図を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足5）

< 2次元 FEMモデルのメッシュ分割高さに関する検討 2 / 3 >

今回工認モデル（20Hz透過）と比較用モデル（50Hz透過）における2次元FEM解析モデル図



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

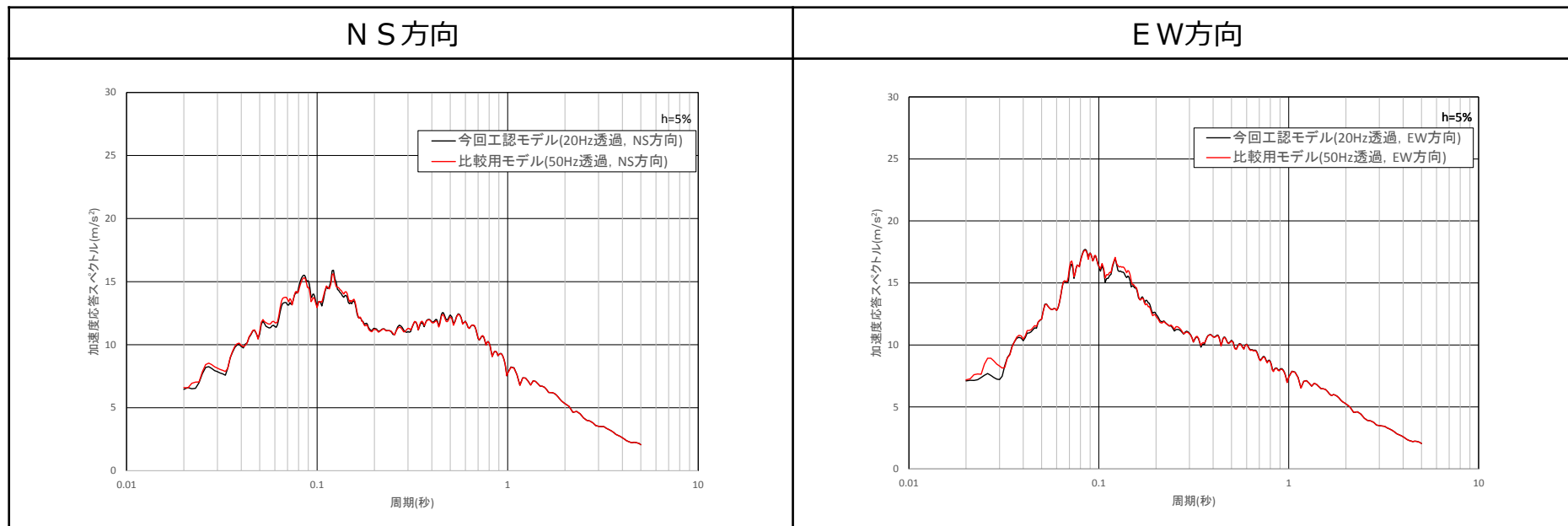
論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足5）

< 2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さに関する検討 3 / 3 >

b. 検討結果

- 基準地震動 S s - Dによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を下図に示す。
- 今回工認モデル（20Hz透過）及び比較用モデル（50Hz透過）において、両者の加速度応答スペクトルは概ね一致していることから、今回工認においても既工認と同様に20Hzを透過させるようにメッシュ分割高さを設定する。なお、先行サイトの審査実績においても、建物・構築物の入力地震動の算定に用いる2次元 F E Mモデルにおけるメッシュ分割高さは20Hzを考慮して作成されている。
- ただし、E W方向において高振動数領域（約30~50Hz）で比較用モデル（50Hz透過）が今回工認モデル（20Hz透過）を上回る周期帯があることから、高振動数領域の応答による影響が考えられる弁の動的機能維持評価等にあたっては、詳細設計段階において影響検討を実施する。

基準地震動 S s - Dにおける入力地震動の加速度応答スペクトルの比較（今回工認モデル、比較用モデル）



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足6）

< 2号炉主要建物における1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較 1 / 2 >

(1) 検討条件

原子炉建物及び制御室建物について、解析モデルの違いによる入力地震動への影響を確認するため、基準地震動 $S_s - D$ を用いて、下表に示す比較検討を実施した。

入力地震動の解析モデルの比較（引上げモデル）

	今回工認モデル	比較用モデル
水平方向	2次元FEMモデル	1次元波動論モデル
鉛直方向	1次元波動論モデル	2次元FEMモデル

(2) 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を P 32 に示す。

○ 水平方向

- 水平方向は、2次元FEMモデル及び1次元波動論モデルで多少の差異が認められ、また、地盤の傾斜をモデル化しているNS方向においてその差が大きくなっているが、2次元FEMモデルでは地盤の速度層の傾斜及び建物周辺の地形の影響等をより詳細に評価できると考えられることから、原子炉建物の既工認と同様に、水平方向の解析において2次元FEMモデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。

○ 鉛直方向

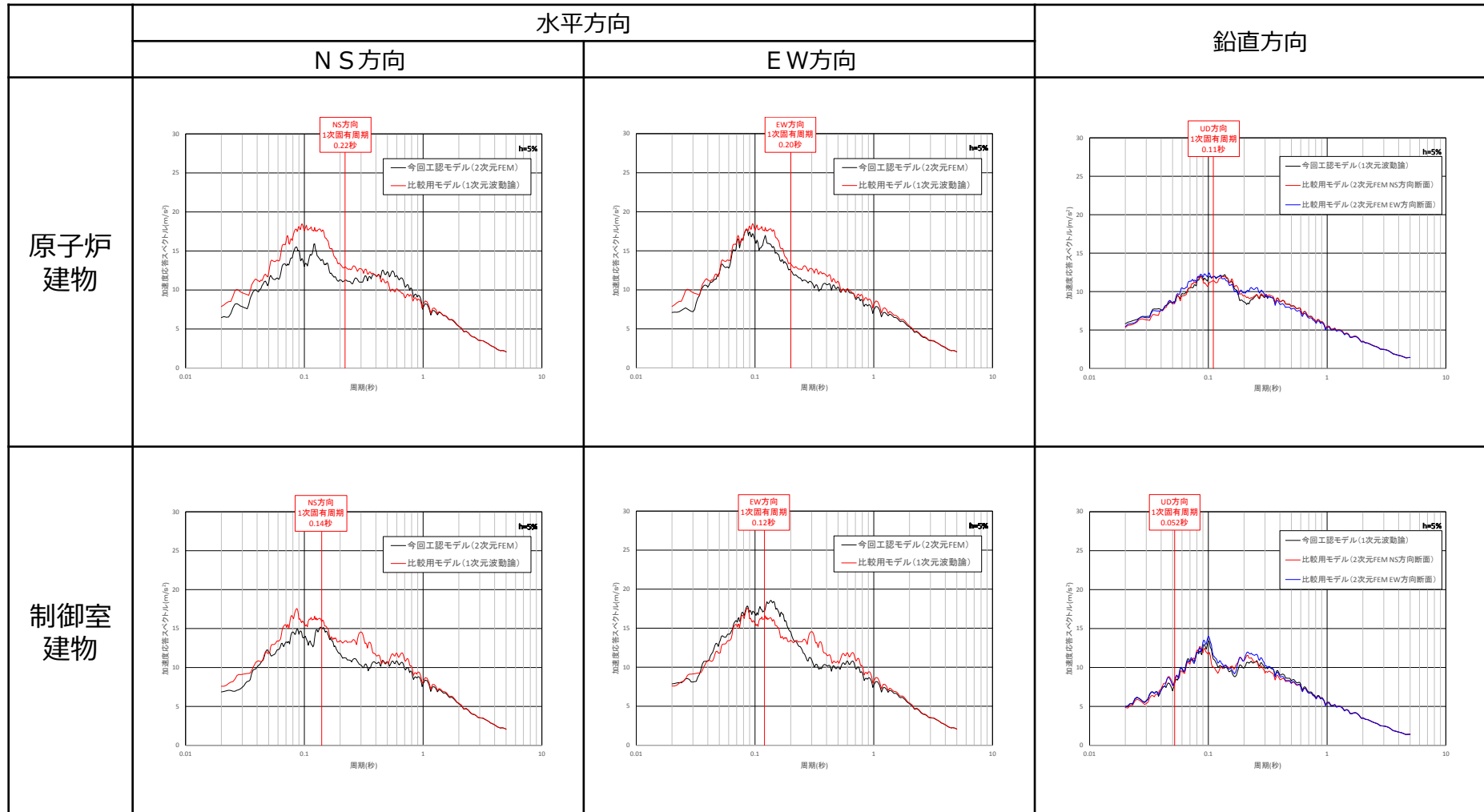
- 鉛直方向は、建物直下地盤による影響が大きく、1次元波動論モデルと2次元FEMモデルの加速度応答スペクトルは概ね一致している。また、それぞれの建物の固有周期における加速度応答スペクトルの値に大きな差はない。よって、モデルの違いによる入力地震動への影響は軽微であり、鉛直方向の解析において1次元波動論モデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（補足6）

< 2号炉主要建物における1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較 2 / 2 >

2号炉主要建物における1次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

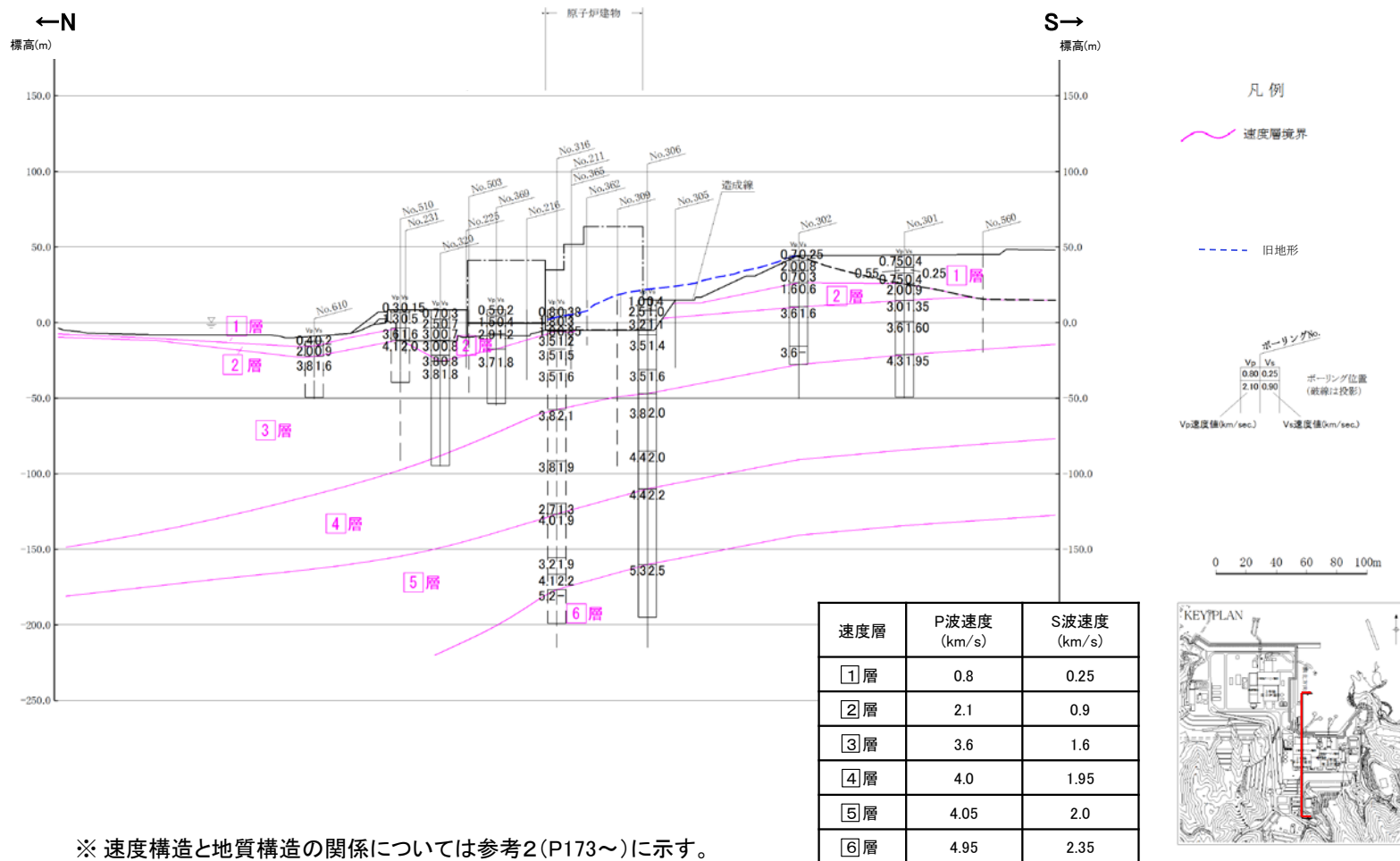
2. 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査

敷地地盤の地質・地質構造(2号地盤の速度層断面図:南北断面)

第204回審査会合

資料1 P17再掲

- 2号地盤の南北断面における速度層区分より、2号地盤の南北方向の地下構造は北に緩やかに傾斜していると考えられる。



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

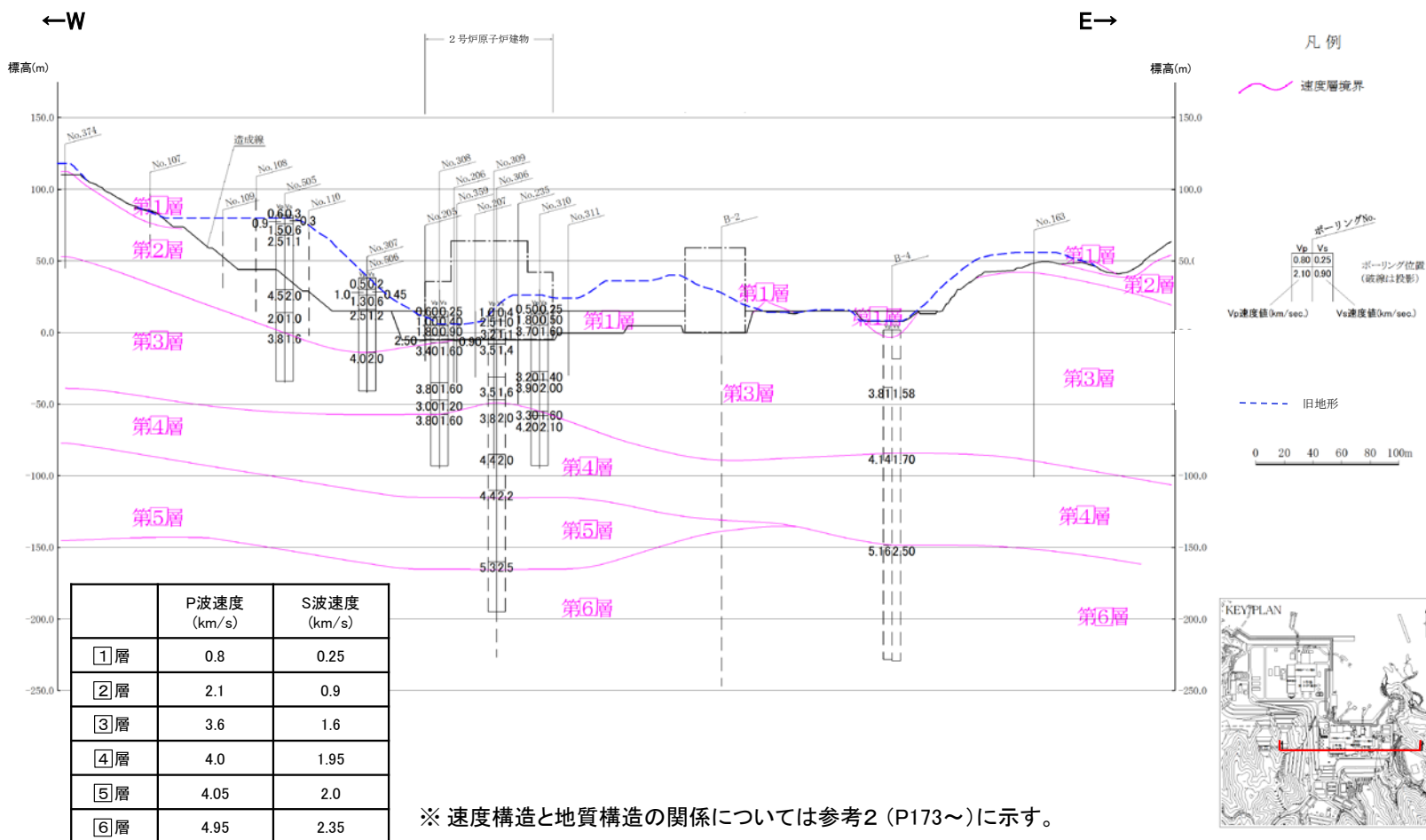
論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

第204回審査会合
資料1 P18再掲

2. 敷地及び敷地周辺の地質・地質構造の調査

敷地地盤の地質・地質構造(2号地盤の速度層断面図:東西断面)

- 2号地盤の東西断面における速度層区分より, 2号地盤の東西方向の地下構造はほぼ水平成層であると考えられる。

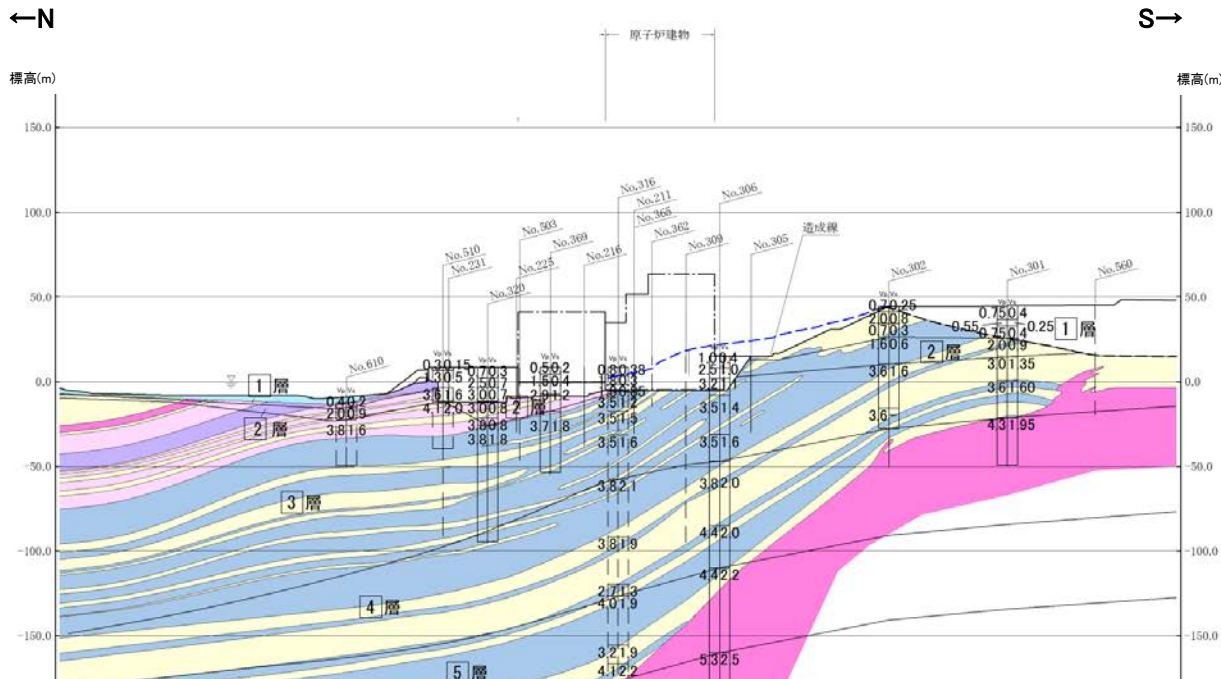


審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

第204回審査会合
資料1 P175再掲

【参考2】2号地盤の岩相区分との比較(南北断面)

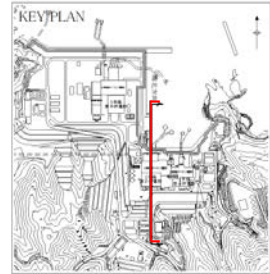


凡例

- 速度層境界線
- 盛土 } 被覆層
- 海底堆積物 } 被覆層
- 安山岩 } 貫入岩類
- ドレライト } 貫入岩類
- 凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む) } 成相寺層
- 頁岩・凝灰岩の互層 } 成相寺層
- 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む) } 成相寺層
- 岩相境界線
- ボーリングNo. (破線は投影)
- 旧地形

0 20 40 60 80 100m

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
1層	0.8	0.25
2層	2.1	0.9
3層	3.6	1.6
4層	4.0	1.95
5層	4.05	2.0
6層	4.95	2.35

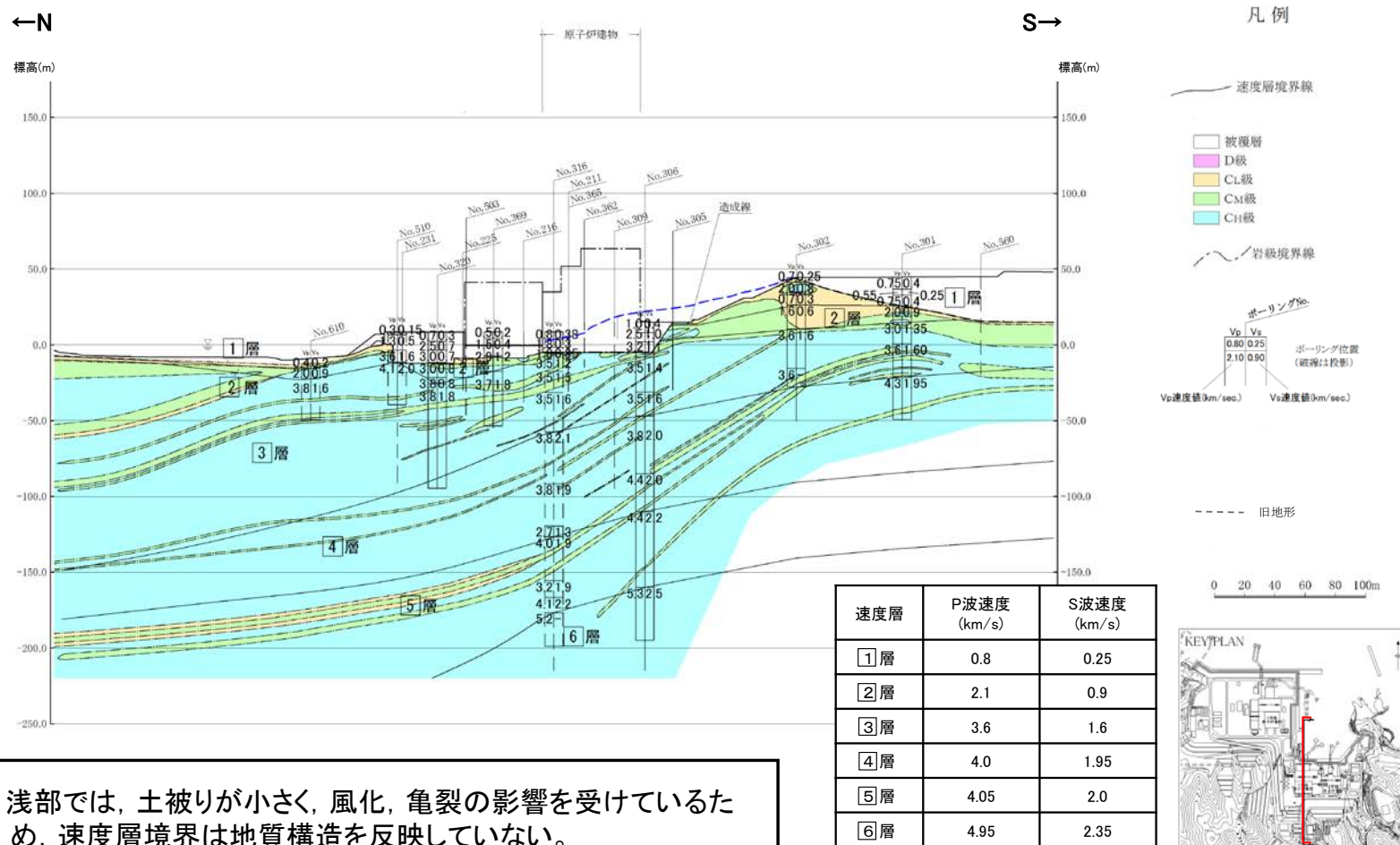


審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

【参考2】2号地盤の岩級区分との比較（南北断面）

第204回審査会合
資料1 P176再掲

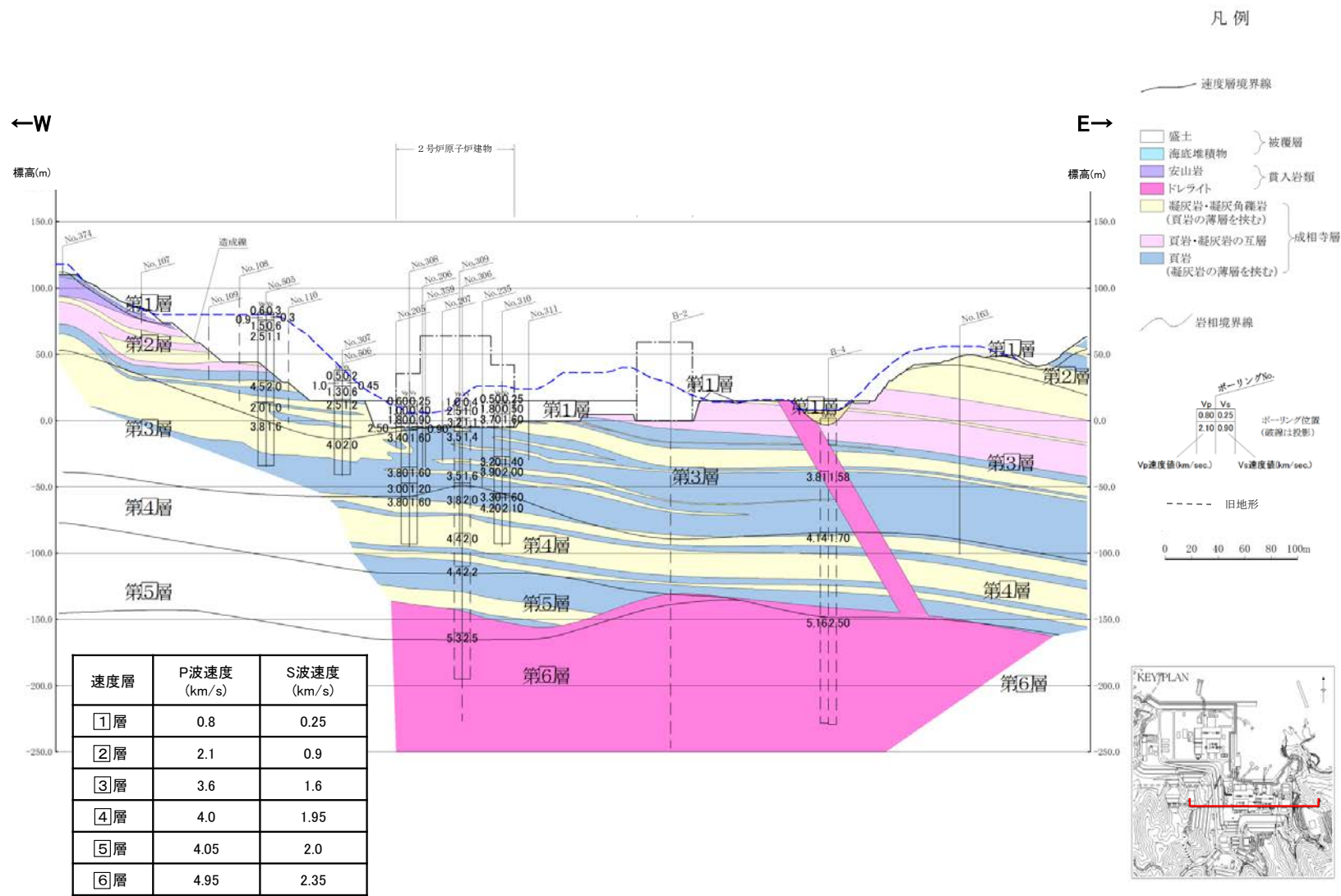


審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

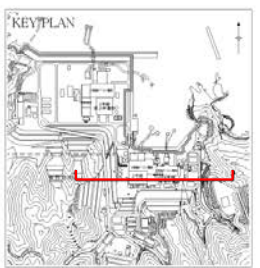
【参考2】2号地盤の岩相区分との比較（東西断面）

第204回審査会合
資料1 P177再掲



凡例

- 速度層境界線
- 盛土 } 被覆層
- 海底堆積物 } 貫入岩類
- 安山岩 } 成相層
- ドレライト } 成相層
- 凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む) } 成相層
- 頁岩・凝灰岩の互層 } 成相層
- 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む) } 成相層



審査会合における指摘事項に対する回答【No.18】

論点Ⅱ-4 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価（参考1）

【参考2】2号地盤の岩級区分との比較（東西断面）

第204回審査会合
資料1 P178再掲

