

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-09 改 06
提出年月日	2023年5月18日

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の
評価について

2023年5月

中国電力株式会社

1. 概要	1
2. 入力地震動の評価方針	2
2.1 評価手法の選定	4
2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定	5
3. 評価手法及び地盤の物性値	10
3.1 評価手法	10
3.2 地盤の物性値	16
4. 入力地震動に関する検討	20
4.1 表層地盤の物性値に関する検討	20
4.2 一次元波動論による入力地震動評価の保守性に関する検討	32
4.3 D級岩盤の非線形性による影響に関する検討	45
4.4 2次元FEMのメッシュ分割高さに関する検討	53
4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証	83
4.6 隣接構造物及び地盤改良による影響に関する検討	88
4.7 安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討	94
5. まとめ	96
6. 参考文献	96

別紙-1 表層地盤の等価物性値の設定について

別紙-2 側面地盤からの地震動の入力に対する影響について

添付資料-1 主要建物における一次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較

添付資料-2 既工認モデルと今回工認のモデルによる入力地震動の比較

添付資料-3 D級岩盤の速度層区分の設定について

参考資料-1 2次元FEM解析モデル側面の境界条件

1. 概要

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動は一次元波動論，2次元FEM解析又は直接入力（以下「一次元波動論又は2次元FEM解析等」という。）により評価を実施している。

今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、既工認において採用実績のある一次元波動論又は2次元FEM解析等を採用しており、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、一次元波動論又は2次元FEM解析等により、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。

本資料は、解析モデルに建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等を行っていることも踏まえて、今回工認で評価を行う建物・構築物について、入力地震動の評価方針、解析モデルの設定方法及びその妥当性を示すものである。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするもので、使用する計算機プログラムについても以下の資料に準ずる。

- ・ VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-7 「タービン建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-9 「廃棄物処理建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-11 「緊急時対策所の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-13 「排気筒の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-16 「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-39 「屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-1 「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-2 「1号機タービン建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-3 「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-4 「サイトバンカ建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-5 「サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-2 「1号機排気筒の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-15 「ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-別添 7-1 「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」

2. 入力地震動の評価方針

入力地震動は、「2.1 評価手法の選定」にて、各建物・構築物の評価手法を選定し、「2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定」にて、設定した地盤モデルを用いた線形解析により評価する。

また、「3. 評価手法及び地盤の物性値」にて、今回工認で入力地震動評価に採用している評価手法及び地盤の物性値を既工認と比較して示す。

なお、「4. 入力地震動に関する検討」にて、入力地震動に影響を及ぼす可能性のある各種検討及び今回工認に用いる原子炉建物の地盤モデルの妥当性確認を実施する。

入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フローを図2-1に示す。

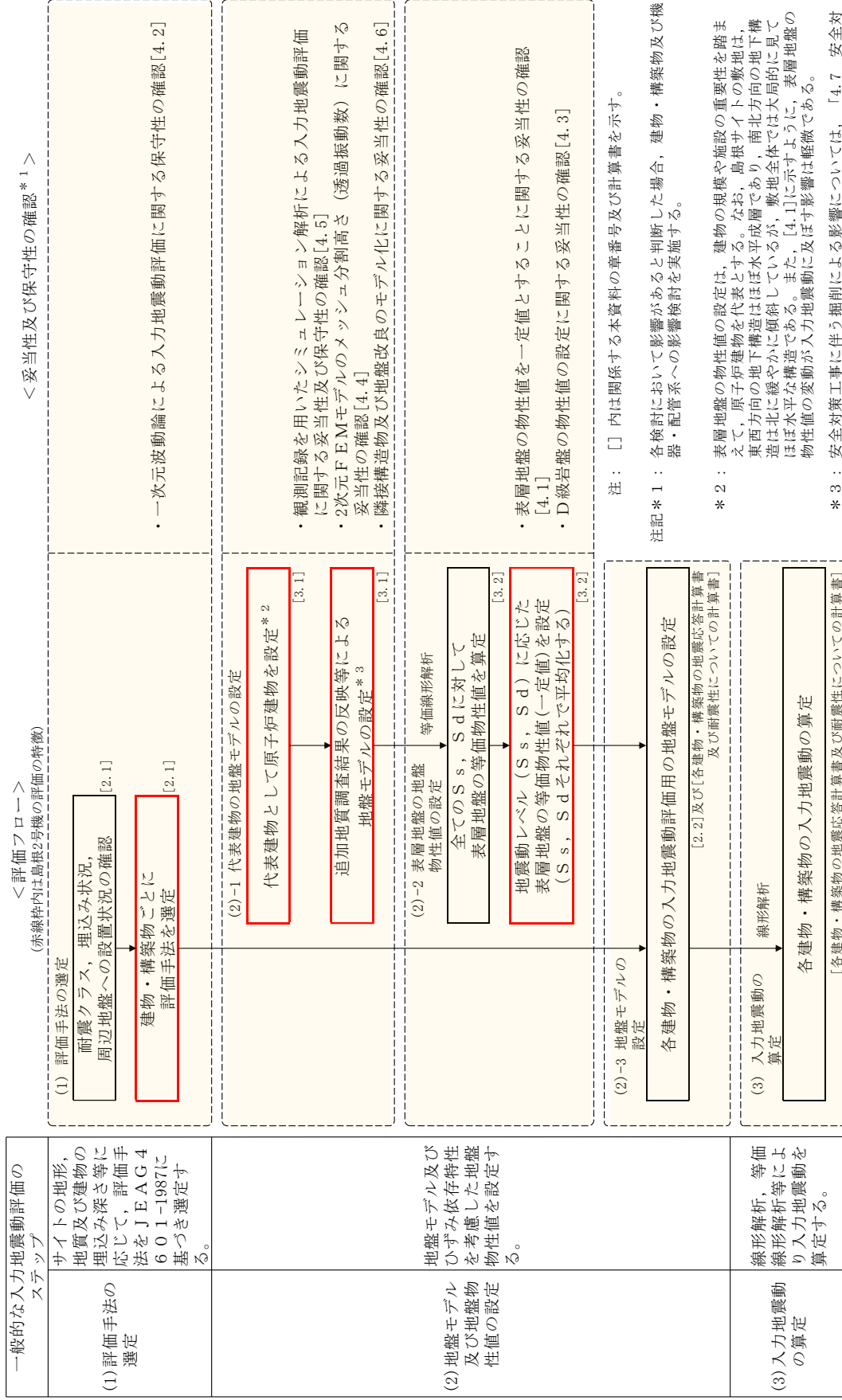


図 2-1 入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フロー

2.1 評価手法の選定

建物・構築物の入力地震動の評価手法は、耐震クラス、建物・構築物の埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、以下のとおり使い分けを行う。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。

(1) 水平方向

「耐震Sクラス施設」の建物については、原子炉建物の既工認の考え方と同様に、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、それらをより詳細にモデル化した「2次元FEM解析」を基本とする。

「耐震Sクラス施設以外」の建物については、タービン建物等の既工認の考え方と同様に、「一次元波動論」による評価を基本とする。

(2) 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「一次元波動論」による評価を基本とする。(添付資料-1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。)

構内配置図を図2-2に、建物・構築物の入力地震動の評価手法の選定フローを図2-3に、建物・構築物の入力地震動の評価手法の一覧を表2-1に示す。

2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定

(1) 地盤モデル

土木構造物を含めた入力地震動の評価手法の概念図を図2-4に示す。また、各建物・構築物の入力地震動評価用の地盤モデルは、「1. 概要」に示す各建物・構築物の地震応答計算書又は耐震性についての計算書に示す。

(2) 地盤物性値

地盤物性値設定の基本方針を以下に示す。表層地盤の等価物性値の詳細な設定方法については、「3.2 地盤の物性値」及び「別紙-1 表層地盤の等価物性値の設定について」に示す。

1) 表層地盤

表層地盤の物性値は、原子炉建物を対象に、既工認から追加地質調査結果の反映等を行った今回工認モデルを用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の全波に対して等価線形解析を実施し、等価物性値を設定する。原子炉建物で算定した等価物性値を各建物・構築物に適用する。

2) 表層地盤を除く岩盤

表層地盤を除く岩盤の地盤物性値については、既工認で設定した値を用いる。

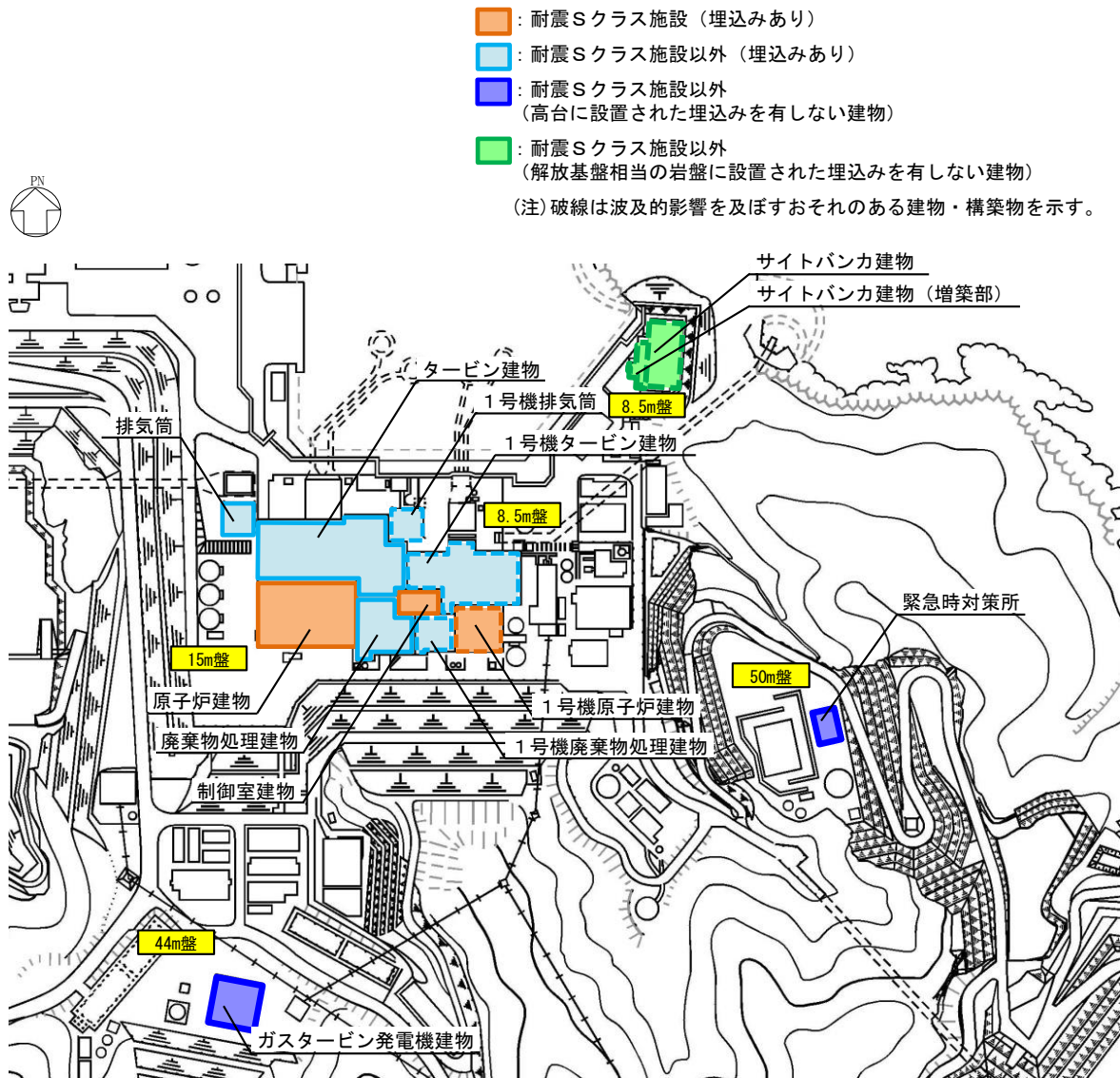


図 2-2 構内配置図

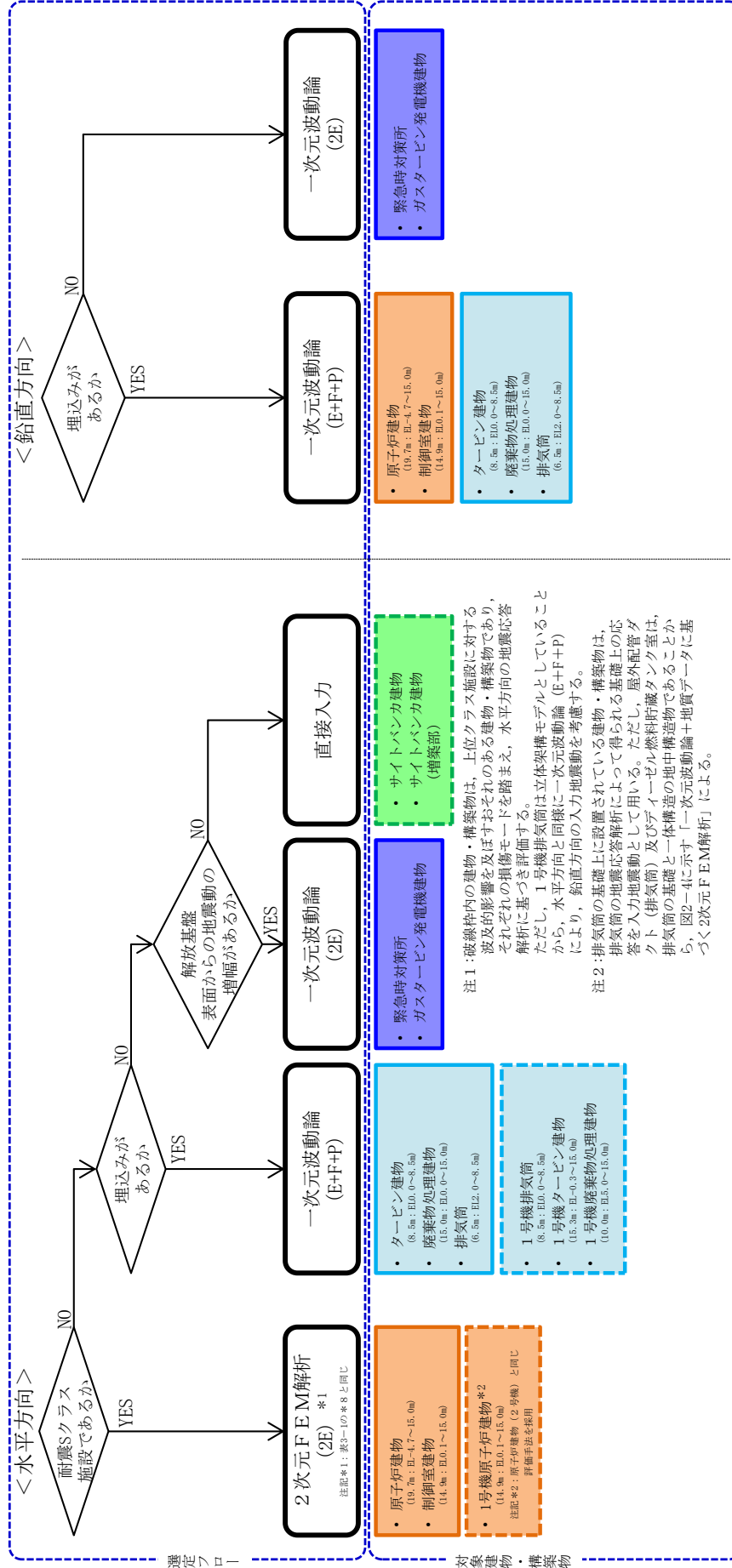


図2-3 建物・構築物の入力地震動の評価手法の選定フロー

表 2-1 建物・構築物の入力地震動の評価手法の一覧

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
	埋込みあり	設置状況		水平	鉛直	
Sクラス施設	埋込みあり	EL15m盤	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 1号機原子炉建物*1 	2次元FEM(2E)*2	一次元波動論(E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「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 「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 原子炉建物であることを踏まえ、原子炉建物(2号機)と同じ評価手法を採用 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した一次元波動論(E+F+P)を採用
	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号機タービン建物*1 1号機廃棄物処理建物*1 1号機排気筒*1 	一次元波動論(E+F+P)	一次元波動論(E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みあり」として、埋込みを考慮した一次元波動論を採用 タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 同上 「Sクラス施設以外」の建物として、タービン建物(2号機)と同じ評価手法を採用 「Sクラス施設以外」の建物として、廃棄物処理建物(2号機)と同じ評価手法を採用 「Sクラス施設以外」の建物として、排気筒(2号機)と同じ評価手法を採用 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した一次元波動論(E+F+P)を採用
Sクラス施設以外	埋込みなし	高台 (EL4m盤 もしくは EL50m盤)	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所 ガスタービン発電機建物 	一次元波動論(2E)	一次元波動論(2E)	<p>【水平、鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所 「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」ことから、一次元波動論(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EL4m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」ことから、一次元波動論(2E)を採用
			<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	<ul style="list-style-type: none"> 排気筒モニタ室*1 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備*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"> 排気筒モニタ室 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備：同上 「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

注記*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に基づき評価する。ただし、1号機排気筒は立体架構モデルとしていることから、水平方向と同様に一次元波動論(E+F+P)により、鉛直方向の入力地震動を考慮する。

*2：2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：屋外配管ダクト(排気筒)及びディーゼル燃料貯蔵タンク室の入力地震動の評価手法は、排気筒の基礎と一体構造の地中構築物であることから、図2-4に示す「一次元波動論+地質データに基づく2次元FEM解析」による。

3. 評価手法及び地盤の物性値

3.1 評価手法

建物・構築物及び土木構造物における、既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較を表3-1及び表3-2に示す。

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、今回工認の建物・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。

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、今回工認の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。

建物・構築物を代表して原子炉建物の既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較を表3-3及び表3-4に示す。なお、原子炉建物については、既工認と同様に、側面地盤が埋戻土であることを踏まえ、地震応答解析モデルにおいて側面地盤ばねは考慮しないこととするが、入力地震動評価においては、建物の埋込みによる切欠き地盤の影響を考慮した評価を行っていることから、側面地盤からの地震動の入力に対する影響について検討し、その結果を「別紙-2 側面地盤からの地震動の入力に対する影響について」に示す。

入力地震動評価のための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。なお、安全対策工事に伴う掘削による影響については、「4.7 安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討」に示す。

表層地盤の物性値については、建物の規模や施設の重要性を踏まえて、原子炉建物を代表として、等価物性値を設定する。原子炉建物で算定した等価物性値を各建物・構築物に適用する。なお、島根サイトの敷地は、東西方向の地下構造はほぼ水平成層であり、南北方向の地下構造は北に緩やかに傾斜しているが、敷地全体では大局的に見てほぼ水平な構造である。また、「4.1 表層地盤の物性値に関する検討」に示すように、表層地盤の物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は軽微である。以上のことから、表層地盤の物性値の設定において、原子炉建物を代表することは妥当であるといえる。

表 3-1 入力地震動の評価手法の比較 (建物・構築物)

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) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	—	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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) 一次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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) 一次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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FEMモデル		EL 0.0m
	排気筒	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論*1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論*1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	EL 2.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 2.0m
	屋外配管ダクト (排気筒)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	—	EL -55.0m	地盤-構築物連成系の 2次元FEMモデル		EL 5.345m
重要 S A 施設	ガスタービン 発電機建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*2	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*3	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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
波 的 影 響 を 及 ぼ す お そ れ の あ る 施 設	1号機 原子炉建物	直接入力	—	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	—	2号機原子炉 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FEM モデル	—	EL 0.1m
	1号機 タービン建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL -0.3m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL -0.3m
	1号機 廃棄物 処理建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL 5.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 5.0m
	1号機 排気筒	直接入力	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	2号機排気筒の 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*6	—	—	—	—	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*6	—	—	—	—	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 7.3m
	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*7	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.8m (排気筒基礎上)
	ディーゼル燃料 移送ポンプエ リア防護対策設備	—	—	排気筒の基礎上 の地震応答解析 結果を用いる*7	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.7m (排気筒基礎上)
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	—	EL -55.0m	地盤-構築物連成系の 2次元FEMモデル		EL 2.75m	

注記 * 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、「2 E」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、「2 E」とする。

* 4 : 水平方向の相互作用モデルにおいて、側面地盤ばねは考慮しない。

* 5 : 代表的な設置レベルを示す。

* 6 : 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 ($V_s=1600\text{m/s}$) に支持されていることから、既工認 (サイトバンカ建物 (増築部) においてはサイトバンカ建物) と同様に直接入力とする。

* 7 : 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。

* 8 : 2次元FEMモデルの切欠き地盤の表面応答であるため「2 E」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 : 「2 E」は地盤表面の地震動を表す。ただし、地震応答解析モデルを地盤-構築物連成系の2次元FEMモデルとする屋外配管ダクト (排気筒) 及びディーゼル燃料貯蔵タンク室においては、地盤-構築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。

表 3-2(1) 入力地震動の評価手法の比較 (土木構造物)

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*1	相互作用モデル		土木構造物の設置レベル*2
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
屋外重要土木構造物	取水槽	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-65.0m EL-120.0m	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) 一次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 5.2m
	B-ディーゼル燃料貯蔵 タンク格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.85m
	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク~原子炉建物)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-140.0m EL-8.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 11.011m
	屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-30.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 1.60m
	取水管	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-17.812m
	取水口	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-22.0m
津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-19.1m
	防波壁 (逆T擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.0m
	防波壁 (波返重力擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m EL-25.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-13.0m
	1号機取水槽流路縮小工 (北側壁含む)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-85.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-6.575m (北側壁:EL-8.2m)
	防波壁通路防波扉 (荷揚場南)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.5m
	防波壁通路防波扉 (3号機東側)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.5m
重要SA施設	第1ベントフィルタ 格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m EL-130.0m	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) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m EL-130.0m	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) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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) 一次元波動論 2E*3	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 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
	屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油 タンク~ガスタービン 発電機)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL 40.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 45.7m

注記*1: 地震応答解析モデル (2次元FEMモデル又は地盤ばねモデル) のモデル下端位置を示す。

*2: 代表的な設置レベルを示す。

*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: 「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。

表 3-2(2) 入力地震動の評価手法の比較 (土木構造物)

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*1	相互作用モデル		土木構造物の設置レベル*2
		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 箇 所	免震重要棟遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL 30.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 43.85m (杭下端レベル)
	復水貯蔵タンク遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 15.3m
	取水槽循環水ポンプエリア防 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	—	—		EL 8.8m (取水槽上)
	取水槽海水ポンプエリア防 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	—	—		EL 8.8m (取水槽上)
	1号機取水槽ピット部及び1 号機取水槽漸拉ダクト部底版	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-85.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-0.3m
	仮設耐震構台	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-130.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-2.7m (支持杭下端レ ベル)

注記*1：地震応答解析モデル（2次元FEMモデル又は地盤ばねモデル）のモデル下端位置を示す。

*2：代表的な設置レベルを示す。

*3：取水槽に設置される土木構造物であるため、取水槽の地震応答解析による応答値を基に算定した静的震度を用いる。

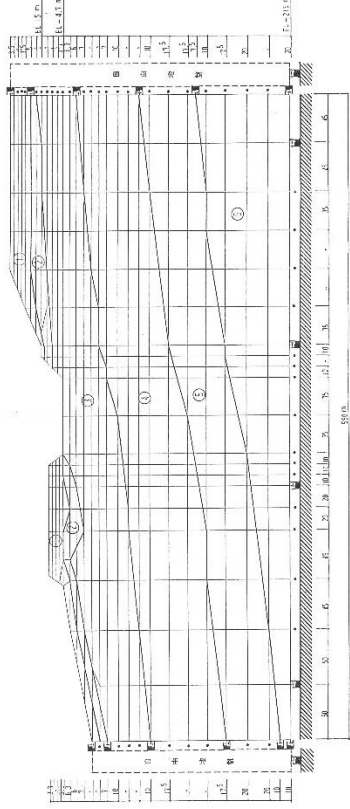
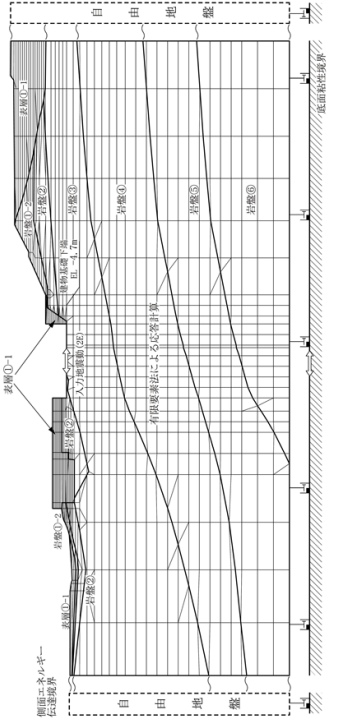
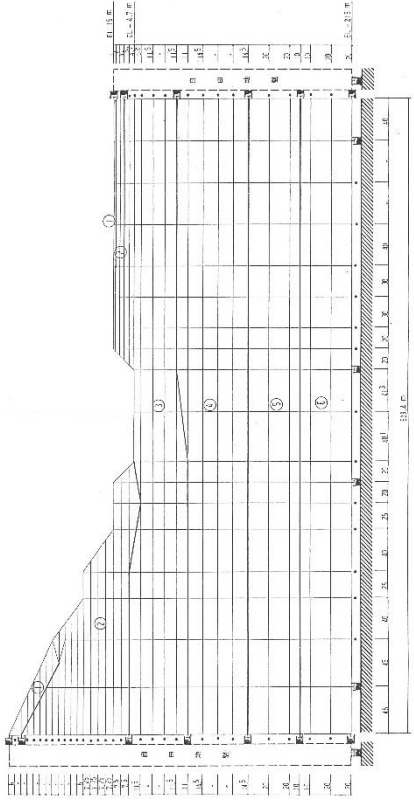
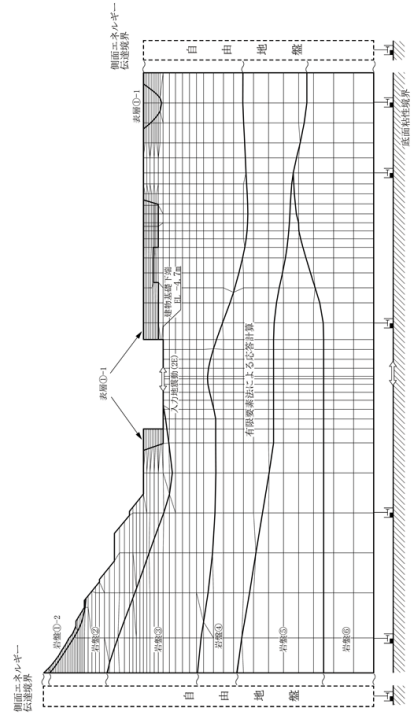
注：「2E」は、地盤-構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

表 3-3 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>(N S方向)</p>	<p>(N S方向)</p> <p>※解放基盤表面から EL -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：一次元波動論[SHAKE] 引上げ：2次元FEM解析 [VESL-DYN] 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論[SHAKE] 引上げ：2次元FEM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(EL -10m)から EL -215m までをモデル化 引上げ：幅は約 600m の範囲とし、高さは EL -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、PS検層）に基づき設定
地盤物性値*1	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤については、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⁾に基づく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 	<ul style="list-style-type: none"> 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く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 (2次元FEM)	<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
備考	建設工認 第1回 添付書類IV-2-4-1 「原子炉建物の地震応答計算書」による	今回工認 添付書類VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」による
地震応答解析モデル		
相互作用モデル	水平：地盤ばねモデル (SR モデル) 鉛直：—	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)
建物設置レベル	EL -4.7m	同左

注記*1：今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値を表 3-5 に示す。
 *2：2次元FEM解析モデル側面の境界条件を参考資料-1 に示す。

表 3-4 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の解析モデルの比較 (2次元 FEM 解析モデル)

	既工認	今回工認
NS		
EW		

注1：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。

注2：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添付資料-2に示す。

3.2 地盤の物性値

今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値を表 3-5 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表 3-6 に、表層地盤 (①-1 : 埋戻土) のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方を、既工認と比較して表 3-7 に示す。

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。表層地盤を除く岩盤 (①-2~⑥) の地盤物性値は、既工認で設定した値を用いる。

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) に対してモデルの要素の大きさを考慮した等価物性値 (一定値) を設定する。

また、地震応答解析においては、表 3-5 に示す物性値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさを考慮する。地盤物性の不確かさ (岩盤) については、「NS2-補-023-01 地盤の支持性能について」に示すとおり、地盤調査結果の平均値を基に設定した基本ケースの S 波速度及び P 波速度に対して標準偏差に相当するばらつき ($\pm\sigma$) を考慮して設定する。なお、表層地盤①-1 の地盤物性値の不確かさについては、P S 検層の結果により設定した岩盤①-2~⑥の変動係数 (岩盤①-2~② : $\pm 20\%$, 岩盤③~⑥ : $\pm 10\%$) に基づき、 $\pm 20\%$ を変動係数として設定する。

表 3-5 今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値

層番号*1		S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積 重量*2 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数*2 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	S s	127*3	422*3	20.7	0.45	0.341*3	8*3
	S d	156*3	516*3	20.7	0.45	0.512*3	7*3
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3*4
岩盤②		900	2100	23.0	0.388	19.0	3*4
岩盤③		1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④		1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*1：層番号は解析モデル図(表3-4)を参照

*2：単位体積重量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。

*3：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

*4：既工認では、慣用値として5%としていたが、今回工認では他の岩盤（③～⑥）と同様に3%とする。

表 3-6 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

(a) S波速度

層番号		地盤のS波速度 V_s (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	127	153	102
	S d	156	187	125
岩盤①-2		250	300	200
岩盤②		900	1080	720
岩盤③		1600	1760	1440
岩盤④		1950	2145	1755
岩盤⑤		2000	2200	1800
岩盤⑥		2350	2585	2115

(b) P波速度

層番号		地盤のP波速度 V_p (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	422	506	338
	S d	516	620	413
岩盤①-2		800	960	640
岩盤②		2100	2520	1680
岩盤③		3600	3960	3240
岩盤④		4000	4400	3600
岩盤⑤		4050	4455	3645
岩盤⑥		4950	5445	4455

表 3-7 表層地盤のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方

	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		<p>VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」より引用</p>		
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		
評価フロー	<p>2号機原子炉建物の一次元モデルに基づき設定</p> <p>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> <p>等価線形解析の概念図</p> <p>基準地震動 S1, S2</p> <p>等価線形解析による収束計算</p> <p>S1, S2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, 等価せん断弾性係数(G)を設定</p> <p>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>$G(\text{平均}) = \Sigma H_i / \Sigma H$ 剛性低下率 = $G(\text{平均}) / G_0$ ※剛性低下率は S1, S2 共通とし, 表層地盤の3層の平均値に基づき設定</p>	<p>2号機原子炉建物の NS 方向及び EW 方向の 2 次元 FEM モデルに基づき設定</p> <p>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> <p>等価線形解析の概念図</p> <p>基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d</p> <p>等価線形解析による収束計算</p> <p>各要素の収束値を要素面積の重み付け平均することにより地震動ごとの剛性低下率及び減衰定数を算定し, S s 及び S d それぞれで平均化することにより, 地震動レベルに応じた等価物性値を設定</p> <p>2号機原子炉建物の 2 次元 FEM で算定した等価物性値を各建物の表層地盤の物性値にも設定</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)	表 3-5 参照 (等価物性値の設定方法については, 別紙-1 参照)	