

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)

**[建物の地震応答解析モデル
(建物基礎底面の付着力及び 3 次元 F E Mモデルの採用)]**

令和 2 年 1 月
中国電力株式会社

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>			
5	H31.4.9	[論点Ⅱ－1：建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）] ・建物基礎底面の付着力として設定した値が、物性値のばらつき、標本数、原位置試験の不確実性、建物直下地盤と試験地盤の差異による不確実性等を踏まえて、十分な保守性を有しているとする根拠を説明すること。	13～48

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>			
16	R元.8.1	<p>論点Ⅱ－1「建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）」</p> <p>①付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の島根2号炉への適用性</p> <p>a.既工認実績との相違点及びその理由・根拠の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設定付着力の根拠とした付着力試験の方法，仕様については，既工認実績との相違点を整理した上で，その方法等を採用した理由を説明すること。 ・設定付着力の安全余裕の考え方については，既工認実績との相違点を整理した上で，付着力のばらつきを踏まえても，その考え方に妥当性及び保守性があることを説明すること。 <p>b.対象建物の設置位置の特徴を踏まえた設定付着力の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2種の岩種で構成された基礎地盤の付着力を凝灰岩と頁岩の付着力試験の平均値を用いて評価する考え方について，岩盤の互層状況の不確実性や試験データのばらつきによる信頼性を踏まえても保守性があるとする根拠を整理し，資料を提示した上で説明すること。 ・3号炉付近の付着力試験結果を2号炉建物に適用する方針について，3号炉付近と2号炉付近の基礎地盤の同等性や建物直下地盤の特徴を把握するための詳細な資料を提示した上で，妥当性を説明すること。 	13～48

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>17</p>	<p>R元.8.1</p>	<p>論点Ⅱ－1「建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）」 ②付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の詳細設計における適用方針 a.付着力の考慮の有無，評価・解析方法の選定の方針 ・基礎浮上りの評価フローについて，J E A G 4 6 0 1 及び J E A C 4 6 0 1 の評価フローを踏まえた評価・解析方法に係る選定プロセスを説明すること。その際、建物ごとに異なる基礎浮上り評価法を選定する理由とそれらを適用できると判断した根拠についても説明すること。 ・波及的影響に係る施設及び新設のS A 施設において低接地率となる場合，詳細設計において対象建物が追加された場合の基礎浮上りの評価・解析方法の選定の考え方を説明すること。 ・1号炉原子炉建物及び1号炉廃棄物処理建物を含めて，設定付着力を2号炉と同じ値とすることの適用性を網羅的に説明すること。 b.付着力を考慮しない建物に対する付着力の有無の影響評価の方針 ・基礎浮上りの考慮方法として幾つかの選択肢がある中で，付着力を考慮しないS R モデルのうち，付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討を行う対象建物の選定の考え方，代表とする建物及び評価対象設備の選定の考え方，建物・設備への評価方法について，使い分け方法とその影響評価の方法を整理して説明すること。</p>	<p>7～48</p>

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5】

第754回審査会合

資料1-1にて説明

※指摘を踏まえ修正した箇所を青字で示す

■ 指摘事項

【No.5 (論点Ⅱ - 1) 建物の地震応答解析モデル (建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用)】

○建物基礎底面の付着力として設定した値が、物性値のばらつき、標本数、原位置試験の不確実性、建物直下地盤と試験地盤の差異による不確実性等を踏まえて、十分な保守性を有しているとする根拠を説明すること。

■ 回答

- 岩盤物性を用いる解析では一般に数個の試料によって試験を実施し、得られた試験結果の平均値を用いているが、今回設定した付着力は、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、**2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩**に対して2倍の安全率を考慮して保守的な値を設定した。(P22, 23)
- 各種原位置試験の標本数と島根サイトで実施した試験の標本数を比較し、十分な標本数であることを確認した。(P23)
- 建物直下地盤と試験地盤における岩盤の物性値を比較し、同等の岩盤であることを確認した。(P24, 27～34, 37～48)

以上のことから、設定した付着力の値は、物性値のばらつき、標本数、原位置試験の不確実性、建物直下地盤と試験地盤の差異による不確実性等を踏まえても十分な保守性を有している。

なお、建物基礎底面の付着力は、地震応答解析における解析精度の確保(接地率の改善)を目的として設定したものであり、付着力の考慮の有無による建物応答への影響は軽微であることを確認している。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.16】

■ 指摘事項

【No.16（論点Ⅱ－1）建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）】

①付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の島根2号炉への適用性

a.既工認実績との相違点及びその理由・根拠の妥当性

- 設定付着力の根拠とした付着力試験の方法、仕様については、既工認実績との相違点を整理した上で、その方法等を採用した理由を説明すること。
- 設定付着力の安全余裕の考え方については、既工認実績との相違点を整理した上で、付着力のばらつきを踏まえても、その考え方に妥当性及び保守性があることを説明すること。

b.対象建物の設置位置の特徴を踏まえた設定付着力の妥当性

- 2種の岩種で構成された基礎地盤の付着力を凝灰岩と頁岩の付着力試験の平均値を用いて評価する考え方について、岩盤の互層状況の不確実性や試験データのばらつきによる信頼性を踏まえても保守性があるとする根拠を整理し、資料を提示した上で説明すること。
- 3号炉付近の付着力試験結果を2号炉建物に適用する方針について、3号炉付近と2号炉付近の基礎地盤の同等性や建物直下地盤の特徴を把握するための詳細な資料を提示した上で、妥当性を説明すること。

■ 回答(①付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の島根2号炉への適用性)

a.既工認実績との相違点及びその理由・根拠の妥当性

- 設定付着力の根拠とした付着力試験の方法、仕様について、既工認実績との相違点及び理由を整理した。(P 35)
- 設定付着力の安全余裕の考え方について、既工認実績との相違点を整理した上で、その考え方に妥当性及び保守性があることを確認した。(P 36)

b.対象建物の設置位置の特徴を踏まえた設定付着力の妥当性

- 設定付着力は、建物直下地盤の岩盤の互層状況の不確実性や試験データのばらつきによる信頼性を踏まえて、2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩に対して、2倍の安全率を考慮し保守的な値を設定した。(P 22, 23, 26, 36)
- 3号炉付近と2号炉付近の基礎地盤の同等性や建物直下地盤の特徴を整理し、3号炉付近の付着力試験結果を2号炉建物に適用することの妥当性を確認した。(P 24, 27～34, 37～48)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.17】

■ 指摘事項

【No.17（論点Ⅱ－１）建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び３次元FEMモデルの採用）】

②付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の詳細設計における適用方針

a.付着力の考慮の有無，評価・解析方法の選定の方針

- 基礎浮上りの評価フローについて，J E A G 4 6 0 1 及び J E A C 4 6 0 1 の評価フローを踏まえた評価・解析方法に係る選定プロセスを説明すること。その際，建物ごとに異なる基礎浮上り評価法を選定する理由とそれらを適用できると判断した根拠についても説明すること。
- 波及的影響に係る施設及び新設の S A 施設において低接地率となる場合，詳細設計において対象建物が追加された場合の基礎浮上りの評価・解析方法の選定の考え方を説明すること。
- 1号炉原子炉建物及び1号炉廃棄物処理建物を含めて，設定付着力を2号炉と同じ値とすることの適用性を網羅的に説明すること。

b.付着力を考慮しない建物に対する付着力の有無の影響評価の方針

- 基礎浮上りの考慮方法として幾つかの選択肢がある中で，付着力を考慮しない S R モデルのうち，付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討を行う対象建物の選定の考え方，代表とする建物及び評価対象設備の選定の考え方，建物・設備への評価方法について，使い分け方法とその影響評価の方法を整理して説明すること。

■ 回答(②付着力を考慮した基礎浮上り評価及び地震応答解析の詳細設計における適用方針)

a.付着力の考慮の有無，評価・解析方法の選定の方針

- 「J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版」及び「J E A C 4 6 0 1 - 2008」の基礎浮上り評価フローを踏まえた島根2号炉における地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定プロセスを整理し，各建物(重要SA施設及び波及的影響に係る施設を含む)の地震応答解析モデルに関する選定方針を示した。(P 7～9)
- 3号炉付近と1号炉付近の基礎地盤の同等性や建物直下地盤の特徴を整理し，3号炉付近の付着力試験結果を1号炉建物に適用することの妥当性を確認した。(P 24, 27～34, 37～48)

b.付着力を考慮しない建物に対する付着力の有無の影響評価の方針

- 付着力を考慮しない地震応答解析モデルにおける，付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討を行う対象建物の選定の考え方，代表とする建物及び評価対象設備の選定の考え方，建物・設備への評価方法について，使い分け方法とその影響評価の方法を整理した。(P 8, 9, 12)
- 検討の結果，建物基礎底面の付着力を考慮することなく地震応答解析の解析精度が確保される建物の設計用地震力等については，付着力による影響を考慮しない方針とする。(P 9, 12)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

1. 建物の地震応答解析モデルについて（1）

1. 1 検討概要

- 島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書では、原子炉建物等の地震応答解析における基礎浮上り評価について、線形地震応答解析又は浮上り非線形地震応答解析を実施している。
- 今回の工事計画認可申請(以下「今回工認」という。)では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s による検討においては、一部解析結果で浮上り非線形地震応答解析を適用できる接地率に満たないことから、個別に解析の妥当性を確認し、採用する地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)について検討する。

1. 2 検討方針及び妥当性確認

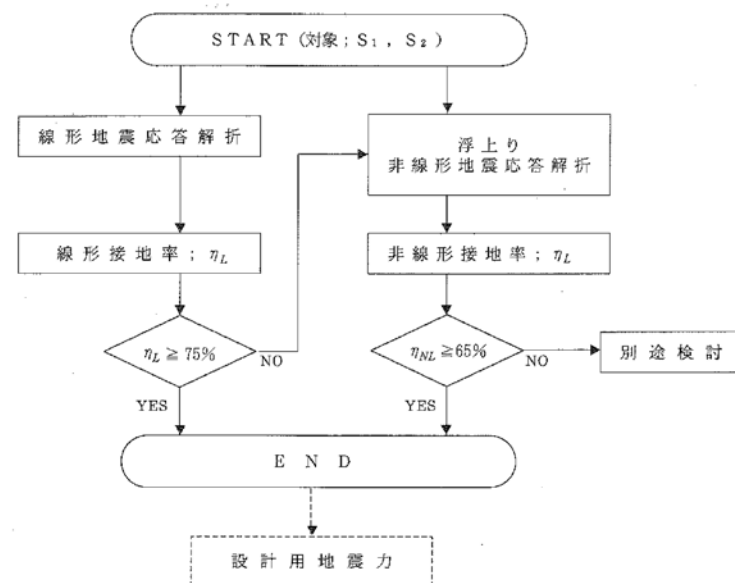
基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理し、低接地率となる見込みの解析結果について個別に解析の妥当性を確認する。

(1) 基礎浮上りに関する既往の知見

島根2号炉の地震応答解析に当たっては、建物形状に応じ、建物と地盤の相互作用を考慮することとしている。「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 (以下「J E A G 4 6 0 1」という。)

－1987」においては、建物と地盤の相互作用の影響を適切に考慮できるモデルとしてSRモデルや離散系モデル(FEMモデルを含む)が列挙されている。また、「J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版」においては、接地率に応じた地震応答解析手法の適用性が示されており、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ の場合は別途検討となっている(右図参照)。

なお、参考として、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ となる場合の別途検討の手法について、「原子力発電所耐震設計技術規格 J E A C 4 6 0 1 - 2008(以下「J E A C 4 6 0 1 - 2008」という。)」では、誘発上下動を考慮したSRモデルや、特別な検討としてジョイント要素を用いた3次元FEMモデルが提案されている。



基礎浮上り評価フロー

(「J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版」より抜粋)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

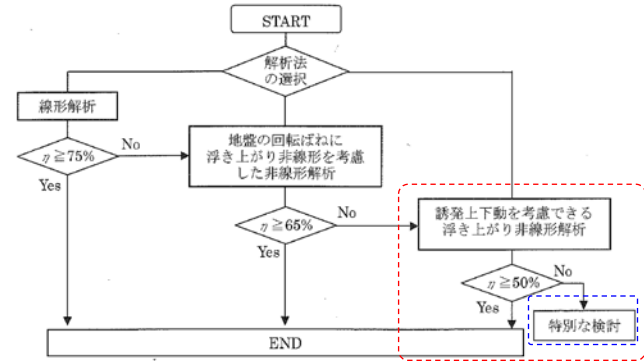
論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

1. 建物の地震応答解析モデルについて（2）

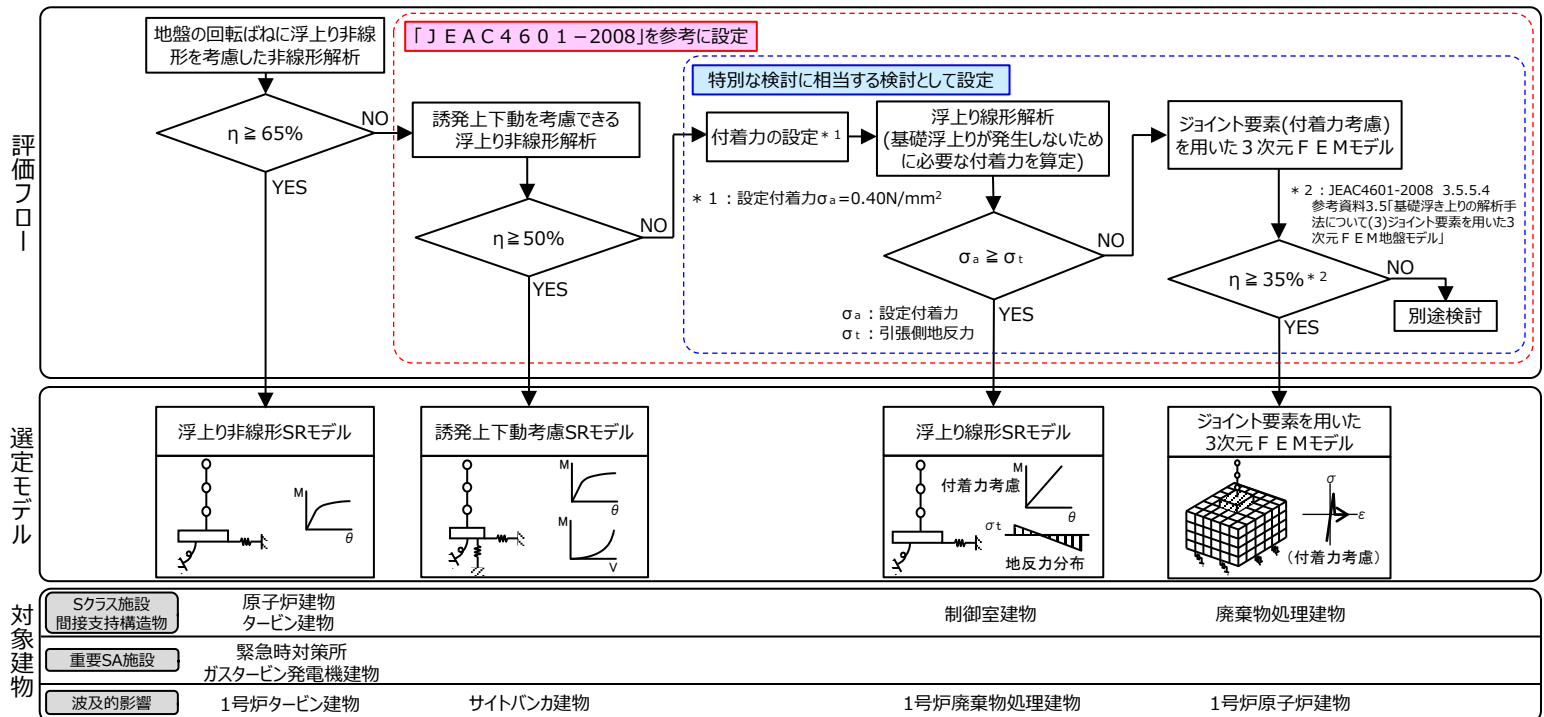
(2) 低接地率となる地震応答解析結果の妥当性確認について

a. 基礎浮上り評価方針

- 島根2号炉の建物・構築物は「J E A G 4 6 0 1 - 1991追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とする。
- 接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討は、「J E A C 4 6 0 1 - 2008」の評価フローを参考とした(右図参照)。
- 上記を踏まえた島根2号炉における各建物(重要SA施設及び波及的影響に係る施設を含む)の地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローを下図に示す。



(参考)基礎浮上り評価フロー
〔「J E A C 4 6 0 1 - 2008」より抜粋、一部加筆〕



注：上記以外の建物（サイトバンカ建物(増築部)、2号炉排気筒モニタ室、燃料移送ポンプエリア電巻防護対策設備）は基礎固定モデルとする。

島根2号炉における各建物の地震応答解析モデルの選定フロー

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

1. 建物の地震応答解析モデルについて（3）

（2）低接地率となる地震応答解析結果の妥当性確認について（続き）

b. 採用する地震応答解析モデルの選定

- 制御室建物，廃棄物処理建物等は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形解析において，接地率 $\eta < 50\%$ の見込みであることから，建物規模等に応じた検討を行い，採用する地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)を整理する。
- その際，建物の基礎底面と地盤間には付着力を考慮することとし，その値は島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき 0.40N/mm^2 とした。(設定根拠についてはP13~48を参照)
- 次頁以降に，スクラス施設の間接支持構造物である廃棄物処理建物及び制御室建物を代表として検討した内容を示す。なお，上記建物以外で付着力を考慮する場合に採用する基礎浮上り評価法の適用性については，詳細設計段階にて説明する。

c. 建物基礎底面の付着力有無による建物応答への影響検討

- 建物基礎底面の付着力の考慮の有無による建物応答への影響を把握するため，付着力を考慮しない地震応答解析モデルを採用する建物のうち，建物の重要度，内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ，原子炉建物を代表として，付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた地震応答解析を行った。
- その結果，付着力により接地率は改善され，両モデルとも同等の応答値を示した。このことから，付着力の考慮の有無による建物応答への影響は軽微であることを確認している。(添付1(P12)参照)
- 以上より，建物基礎底面の付着力は，地震応答解析における解析精度の確保(接地率の改善)を目的として設定したものであることを踏まえて，付着力を考慮することなく地震応答解析の解析精度が確保される建物の設計用地震力等については，付着力による影響を考慮しない方針とする。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

第754回審査会合
資料1-1 P5再掲
※設定付着力の見直しに伴う
変更箇所を青字で示す

1. 建物の地震応答解析モデルについて（4）

（3）廃棄物処理建物に関する検討

● 検討概要

廃棄物処理建物は建物が比較的小規模で、基準地震動 S_s に対する接地率が小さい(接地率 $\eta < 50\%$)ため、接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討手法として先行プラントの既工認で適用実績のあるジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、接地率が適用範囲内であることを確認する。

● 検討結果

検討の結果、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルによる接地率(最小値)は98.8%($S_s - D$, NS方向), 93.9%($S_s - D$, EW方向)であり、解析の適用性^{※1}を確認した。

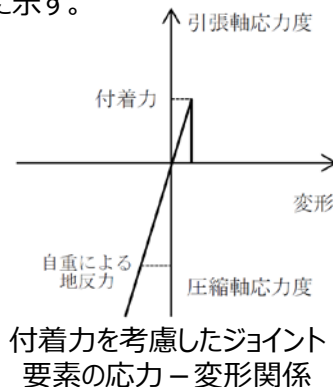
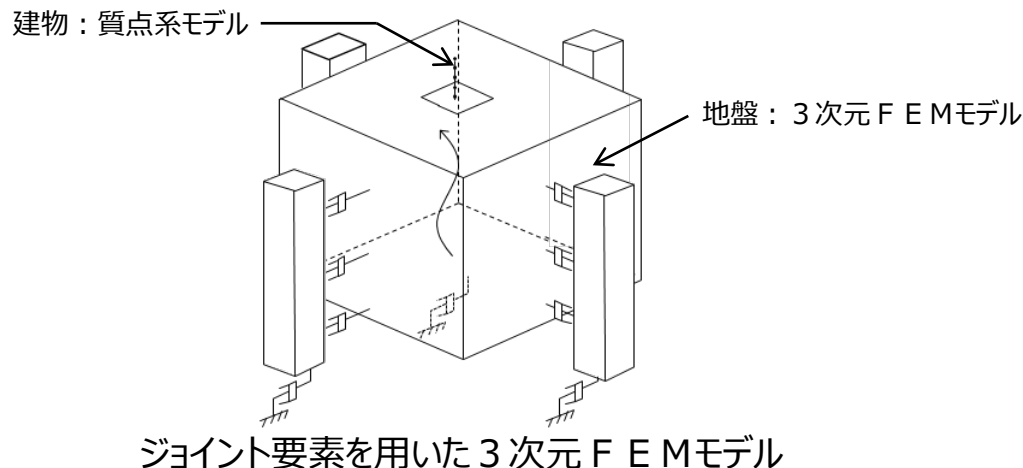
※1：「J E A C 4 6 0 1 - 2008」を参考に接地率 $\eta \geq 35\%$ を目安とした。

● 採用する基礎浮上り評価法

廃棄物処理建物の地震応答解析には、ジョイント要素(付着力考慮)^{※2}を用いた3次元FEMモデルを採用する(下図参照)。なお、ジョイント要素(付着力考慮)を用いた3次元FEMモデルは、新規制における先行審査(高浜3, 4号炉中間建屋^{※3})の地震応答解析で適用実績がある。

※3：付着力試験を踏まえて設定した付着力を考慮している。

※2：建物モデルの自重によりジョイント要素に発生する応力(地反力)を算定し、これを地震応答解析の初期応力とする。ジョイント要素に与える付着力及び地反力を下図に示す。



審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

第754回審査会合
資料1-1 P6再掲
※設定付着力の見直しに伴う
変更箇所を青字で示す

1. 建物の地震応答解析モデルについて（5）

（4）制御室建物に関する検討

・ 検討概要

制御室建物は建物が小規模であることから、基準地震動 S_s に対する接地率が小さい(接地率 $\eta < 50\%$) ため、建物基礎の接地状況を踏まえた検討を行う。「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に示される浮上り線形地震応答解析(下図参照)を実施し、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定を行い、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値を超えないことを確認する。

・ 検討結果の概要

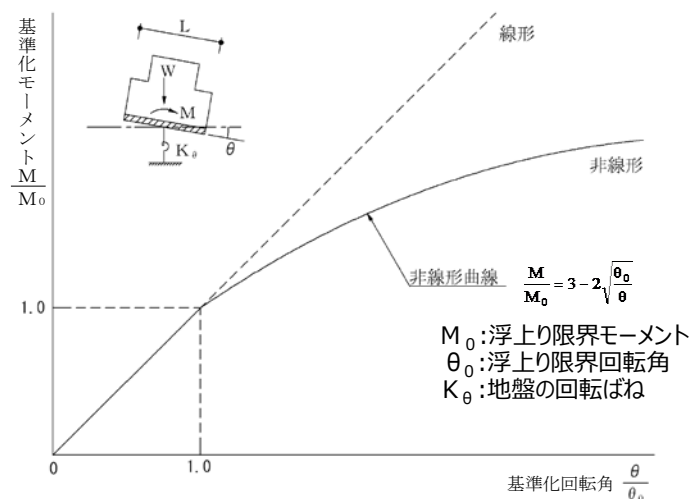
基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の最大値は 0.32 N/mm^2 ($S_s - D$, NS 方向) であり、島根原子力発電所における付着力試験の結果に基づき設定した値 (0.40 N/mm^2) を超えないことを確認した。

・ 採用する基礎浮上り評価法

制御室建物の地震応答解析には、浮上り線形地震応答解析を採用する。

なお、建物基礎底面の付着力の考慮は、新規制における先行審査(川内1, 2号炉ディーゼル建屋※1, 主蒸気管室建屋※1)の地震応答解析で適用実績がある。

※1：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の最大値が、設定した付着力を超えないことを確認している。



地盤の回転ばねのモーメント－回転角関係

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

（添付1）付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討

1. 検討概要

建物基礎底面の付着力の考慮の有無による建物応答への影響を把握するため、原子炉建物を対象に、付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた**基準地震動 S s - D**による地震応答解析を行い、**応答値の比較を行った**（加速度、せん断ひずみ、床応答スペクトル(h=1%, 5%)）。

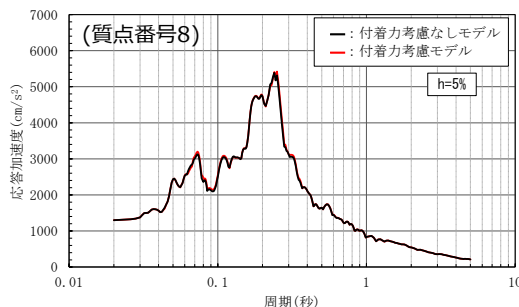
2. 検討結果

付着力を考慮していないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた地震応答解析結果(代表として、接地率, 床応答スペクトル(NS方向, h=5%))の比較を以下に示す。付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示したことから、付着力の考慮の有無による建物応答(水平方向)への影響は軽微であることを確認した。

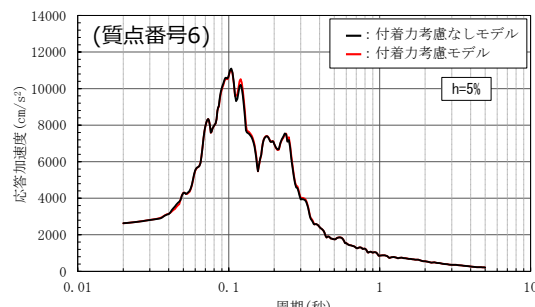
接地率の比較

(検討用地震動：基準地震動 S s - D)

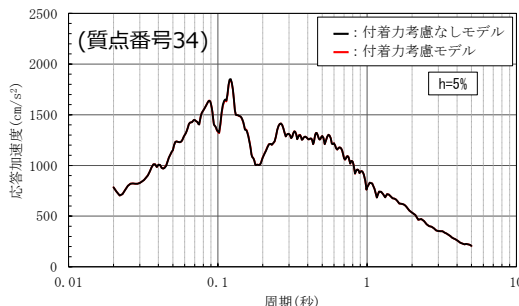
地震応答解析モデル	接地率η(%)	
	NS方向	EW方向
付着力考慮なしモデル	68.9	82.3
付着力考慮モデル	100	100



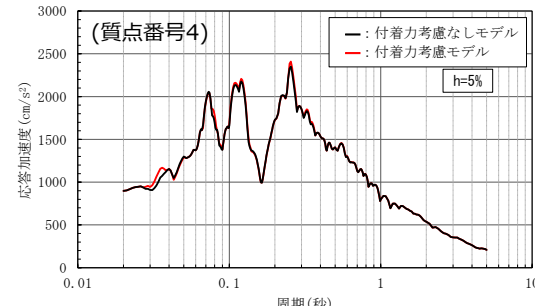
(オペロ：E L 42.8m)



(R F：E L 63.5m)



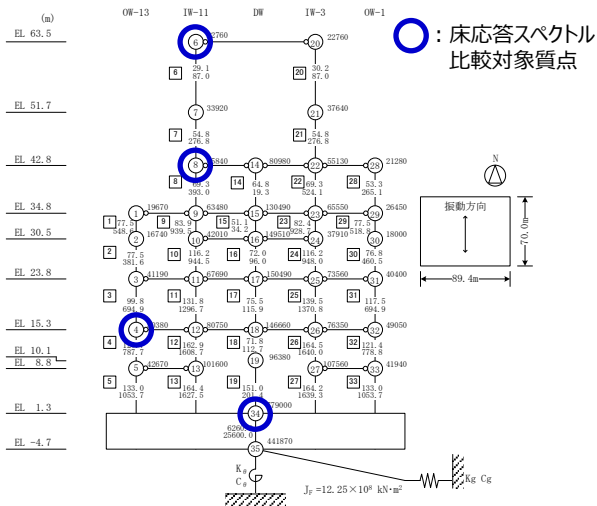
(基礎上：E L 1.3m)



(1 F：E L 15.3m)

床応答スペクトル (NS方向, h=5%) の比較

(検討用地震動：基準地震動 S s - D)



注：第754回審査会合において示した、建物基礎底面の付着力0.49N/mm²を考慮したモデルによる転倒モーメントMは、付着力0.40N/mm²における浮上り限界モーメントMat₀より小さいことから、付着力0.40N/mm²における応答値は付着力0.49N/mm²の場合と同一の結果を示す。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

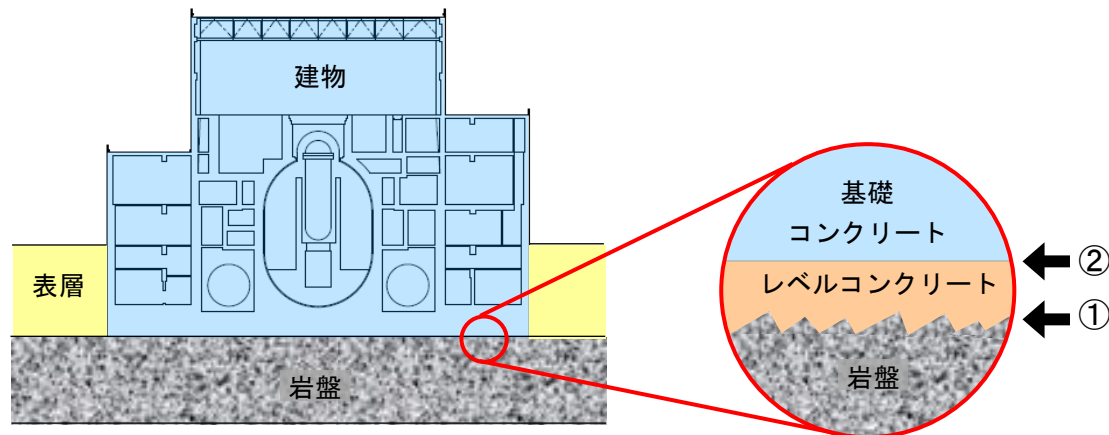
論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

第754回審査会合
資料1-1 P8再掲

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（1）

2. 1 検討概要

- 原子炉施設の建設にあたっては、下図に示すように施工精度確保の観点から岩盤上にコンクリート(レベルコンクリート)を打設し基礎底面を平坦にした後、基礎コンクリートを打設している。
- 島根原子力発電所における建物基礎底面と地盤(岩盤)間の付着力を把握するため、耐震上重要な建物が設置されている岩盤(以下「建物直下地盤」という。)と同等な岩盤を選定し、岩盤－レベルコンクリート間(下図の①)及びレベルコンクリートと基礎コンクリート間(下図の②)を模擬した試験体を用いて付着力試験を行った。
- 地震応答解析に用いる付着力は、これらの試験結果に基づき設定する。
- 次頁以降に試験位置の選定、試験方法、試験結果及び試験結果を踏まえた地震応答解析に用いる付着力の設定について示す。なお、付着力試験については、「(独)原子力安全基盤機構の報告書⁽¹⁾」(以下「JNES報告書」という。)を参考にした。



原子炉施設の建物基礎と岩盤

(1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構：平成18年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備 基礎浮上り評価手法の調査に関する報告書，2007

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

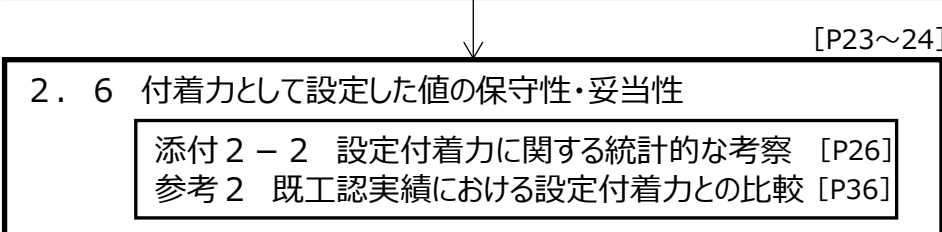
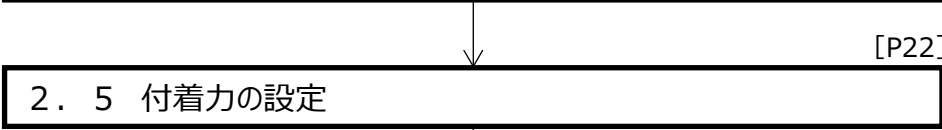
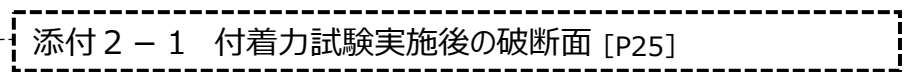
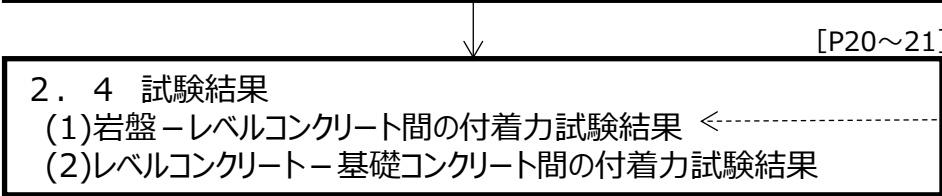
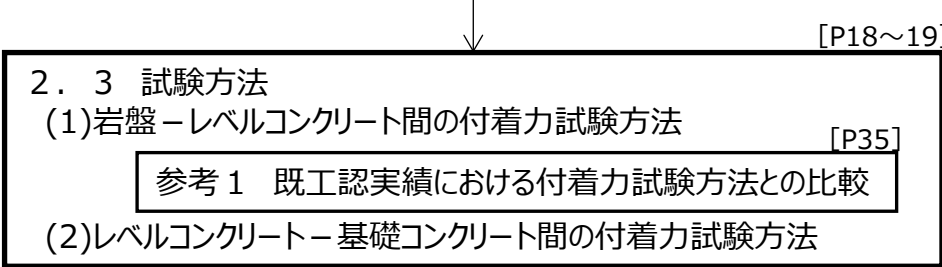
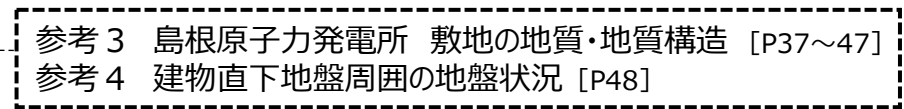
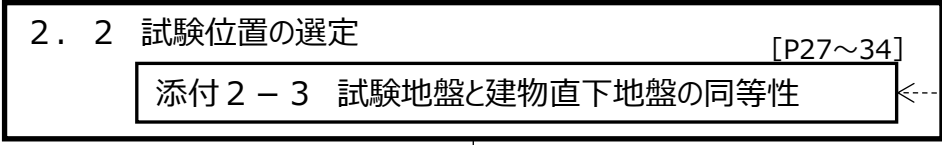
2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（2）

2. 1 検討概要(続き)

試験位置の選定，試験方法，試験結果及び試験結果を踏まえた地震応答解析に用いる付着力の設定について以下の流れに従って検討する。

〈検討の流れ(詳細説明事項)〉 [P15~17]

〈関連事項〉



付着力の設定に係る検討の流れ

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

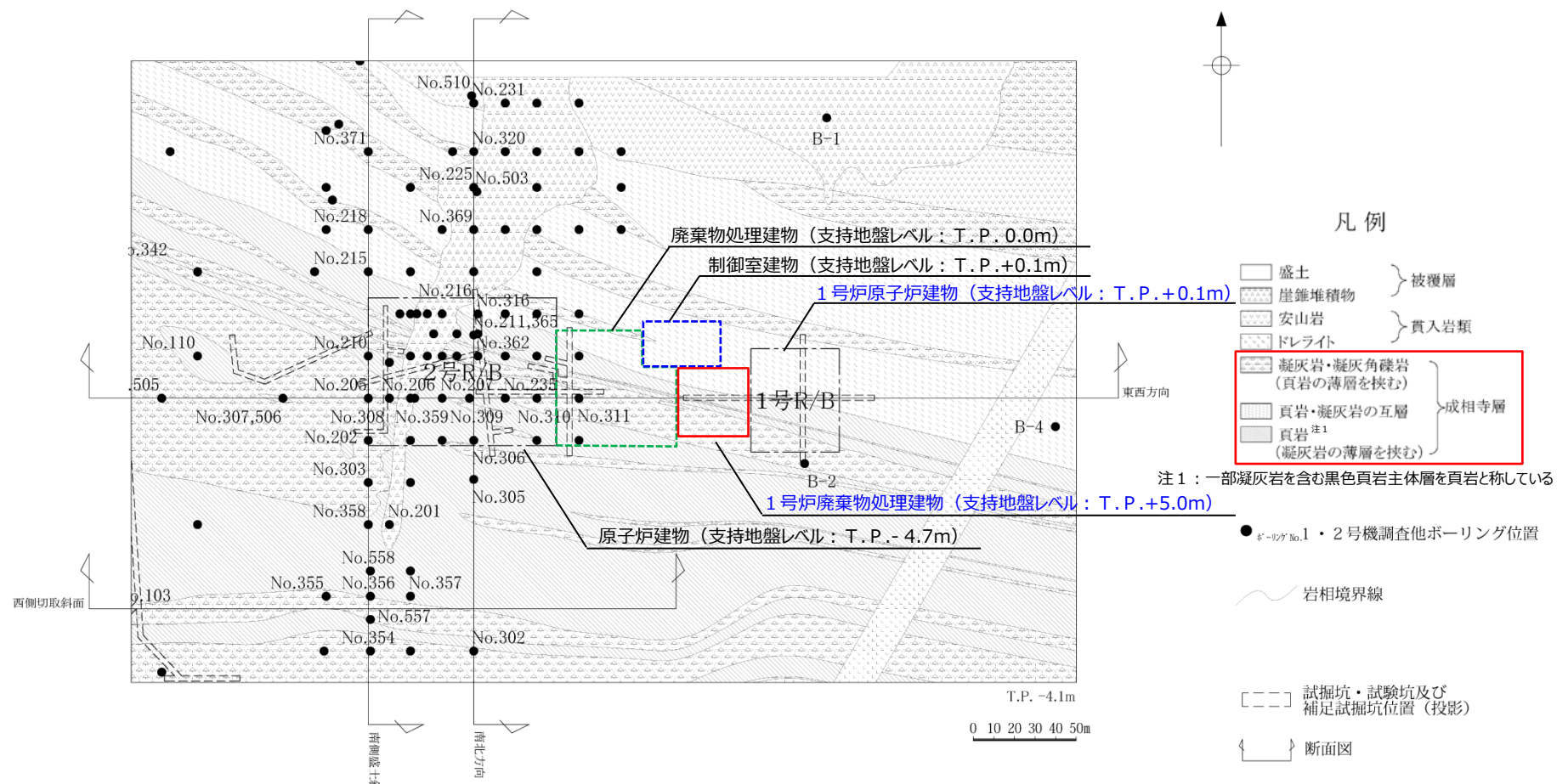
2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（3）

第754回審査会合
資料1-1 P9再掲
※指摘を踏まえ修正した箇所を青字で示す

2. 2 試験位置の選定について

(1) 島根原子力発電所2号炉における敷地の地質

- 島根2号炉における地質水平断面図(T.P.-4.1m)を以下に、地質鉛直断面図を次頁に示す。
- 建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されている。



地質水平断面図（2号炉）(T.P.-4.1m)

注1：一部凝灰岩を含む黒色頁岩主体層を頁岩と称している

● ボーリングNo.1・2号機調査他ボーリング位置

〰 岩相境界線

[- - -] 試掘坑・試験坑及び補足試掘坑位置（投影）

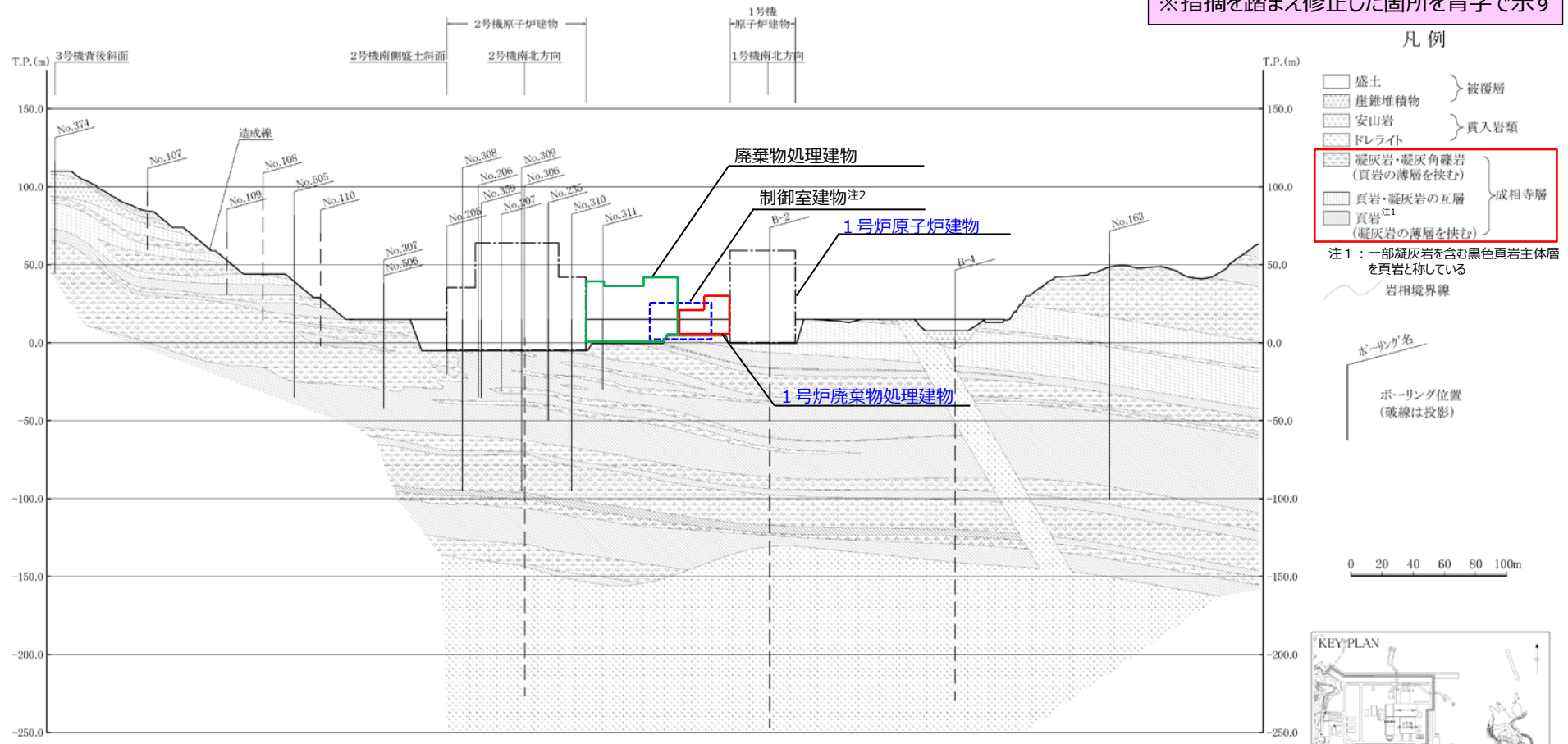
{ } 断面図

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（4）

第754回審査会合
資料1-1 P10再掲
※指摘を踏まえ修正した箇所を青字で示す



地質鉛直断面図(東西方向)(2号炉)

注2：制御室建物位置を投影

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

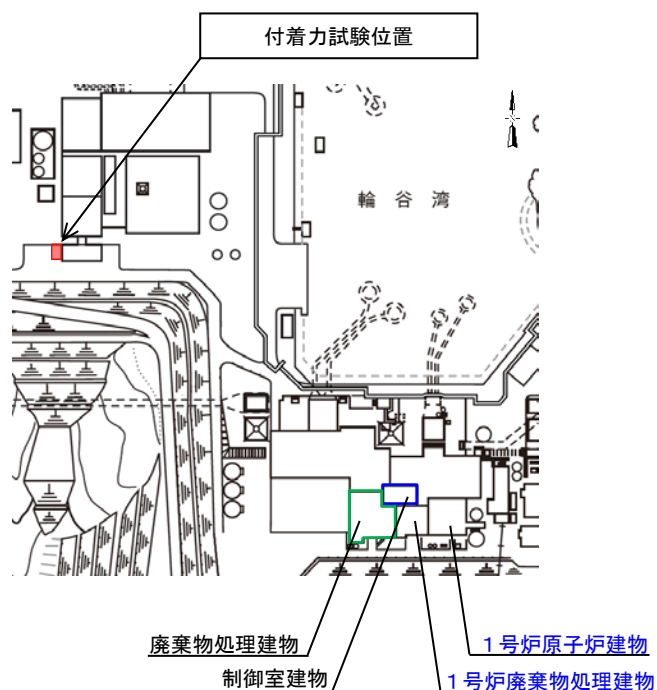
論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（5）

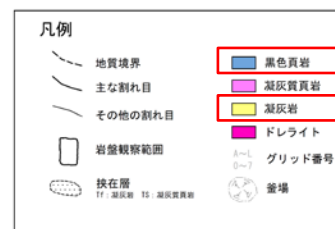
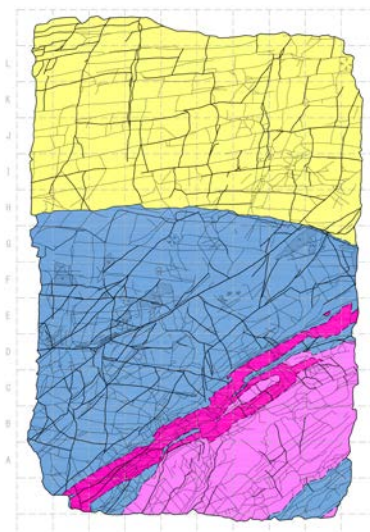
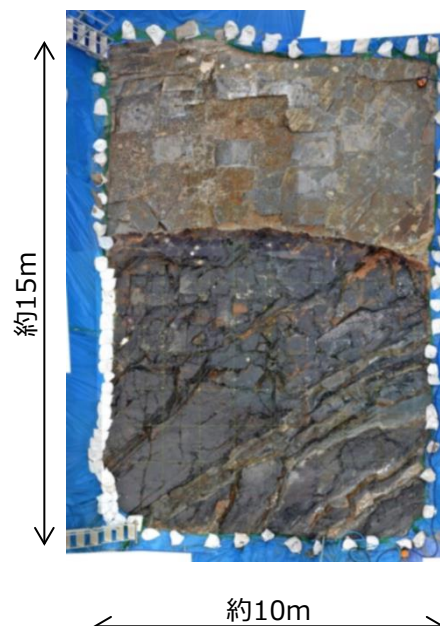
第754回審査会合
資料1-1 P11再掲
※指摘を踏まえ修正した箇所を青字で示す

(2) 試験位置

- 建物直下地盤と同等な岩盤(黒色頁岩及び凝灰岩)が現われた箇所(3号炉本館南西)を試験位置として選定した。
- 試験位置及び試験面の状況(写真及びスケッチ)を以下に示す。おおよそ北側半分が凝灰岩, 南側半分が黒色頁岩で構成されている。
- 試験地盤が建物直下地盤から離れているため, 添付2-3において, 両者の比較を行い同等性を確認した(P27~34)。



試験位置



試験面の状況
(左側：写真, 右側：スケッチ図)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（6）

第754回審査会合

資料1-1 P12再掲

※指摘を踏まえ修正した箇所を青字で示す

2. 3 試験方法について

(1) 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験方法

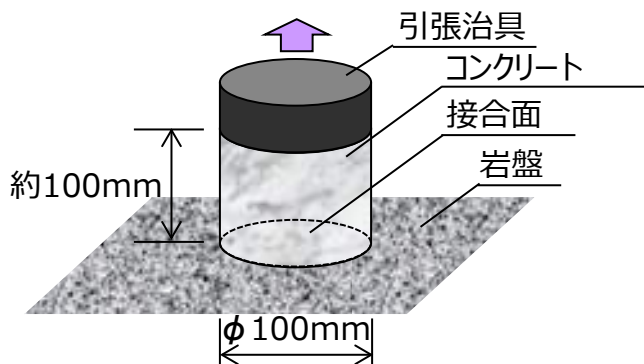
- 試験は、岩盤上(黒色頁岩及び凝灰岩)に $\phi 100\text{mm}$ 、高さ約100mmのコンクリート($F_c=18\text{N}/\text{mm}^2$)を直接打設し(1岩種あたり12個)、コンクリート上面に取付けた引張治具をロードセルに接続し、岩盤とコンクリート境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定した。
- 試験体の概要及び付着力試験装置の概要を下図に示す。[既工認実績における付着力試験方法との比較を参考1\(P35\)に示す。](#)
- なお、付着力 F_t は下式により算出した。

$$F_t = \frac{P}{A}$$

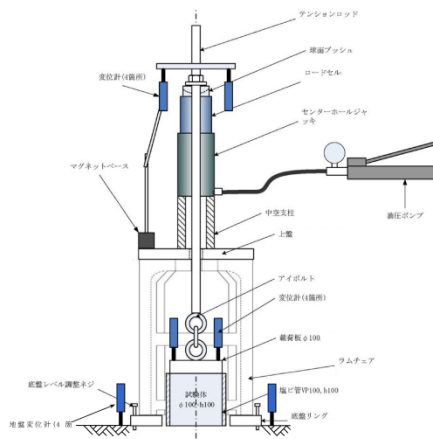
ここで、 F_t ：付着力 (N/mm²)

P：最大荷重 (N)

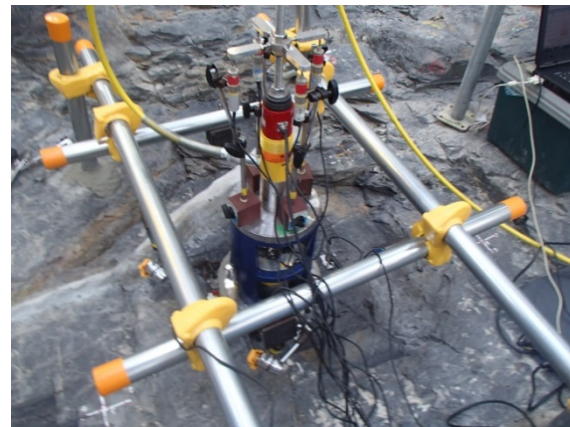
A：断面積 (mm²)



試験体の概要



付着力試験装置の概要



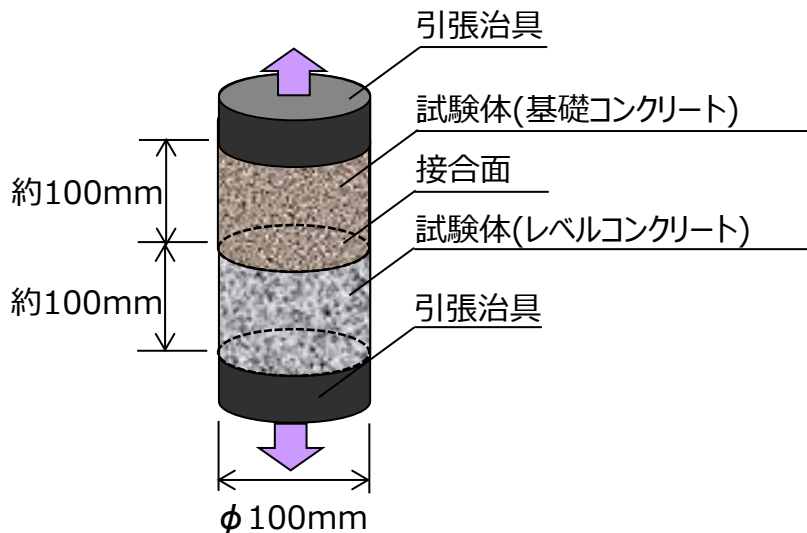
審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（7）

(2) レベルコンクリート-基礎コンクリート間の付着力試験方法

- 試験体は、高さ約100mmに打設したレベルコンクリート($F_c=18\text{N/mm}^2$)を7日間養生した後、その上に高さ約100mmの基礎コンクリート($F_c=21\text{N/mm}^2$)を打設し、 $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ200mmの試験体を作製し(12個)、さらに7日間養生した後、室内にて試験を実施した。
- 付着力は、岩盤-レベルコンクリート間の付着試験と同様に、コンクリート相互の境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定し算出した。
- 試験体及び付着力試験方法の概要を下図に示す。



試験体及び付着力試験方法の概要(レベルコンクリート-基礎コンクリート)

第754回審査会合
資料1-1 P14再掲
※参照ページの変更箇所を青字で示す

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（8）

2.4 試験結果について

(1) 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験結果

- 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験の結果を以下に示す。
- 建物直下地盤は主に黒色頁岩と凝灰岩から構成されていることを踏まえ、岩盤全体として評価した付着力（平均値）は、 0.98N/mm^2 （標準偏差 0.30N/mm^2 ）となった。
- なお、個々の岩盤における付着力の平均値は、黒色頁岩 0.81N/mm^2 （標準偏差 0.26N/mm^2 ）、凝灰岩 1.15N/mm^2 （標準偏差 0.24N/mm^2 ）であった。

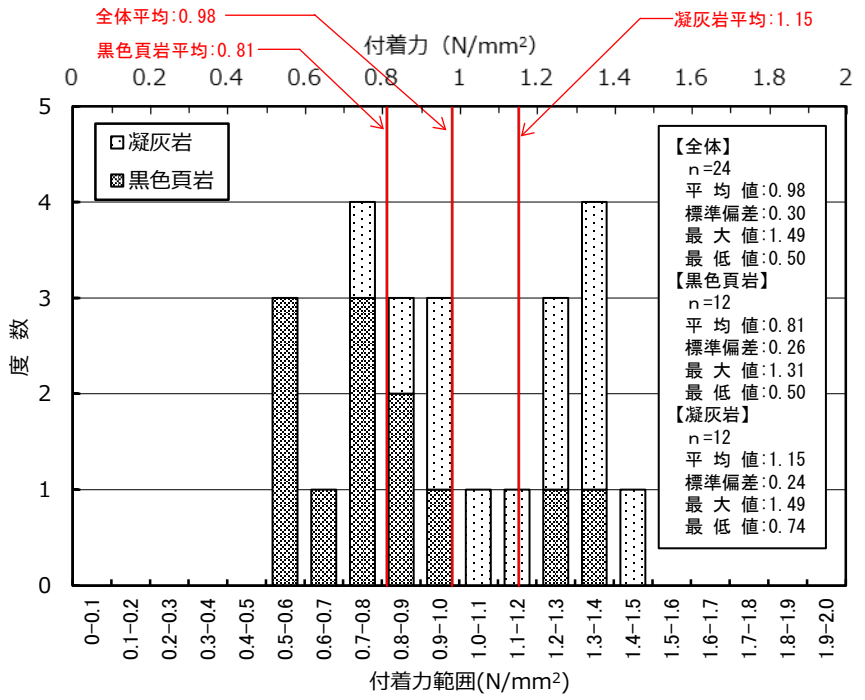
付着力試験の結果(岩盤-レベルコンクリート)

試験体の種類	平均値(N/mm ²)	
岩盤-レベルコンクリート	0.98	
黒色頁岩-レベルコンクリート		0.81
凝灰岩-レベルコンクリート		1.15



試験後の破断面の状況の例
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

※試験後の破断面に関する考察を添付2-1(P25)に示す。



付着力試験の結果(岩盤-レベルコンクリート)

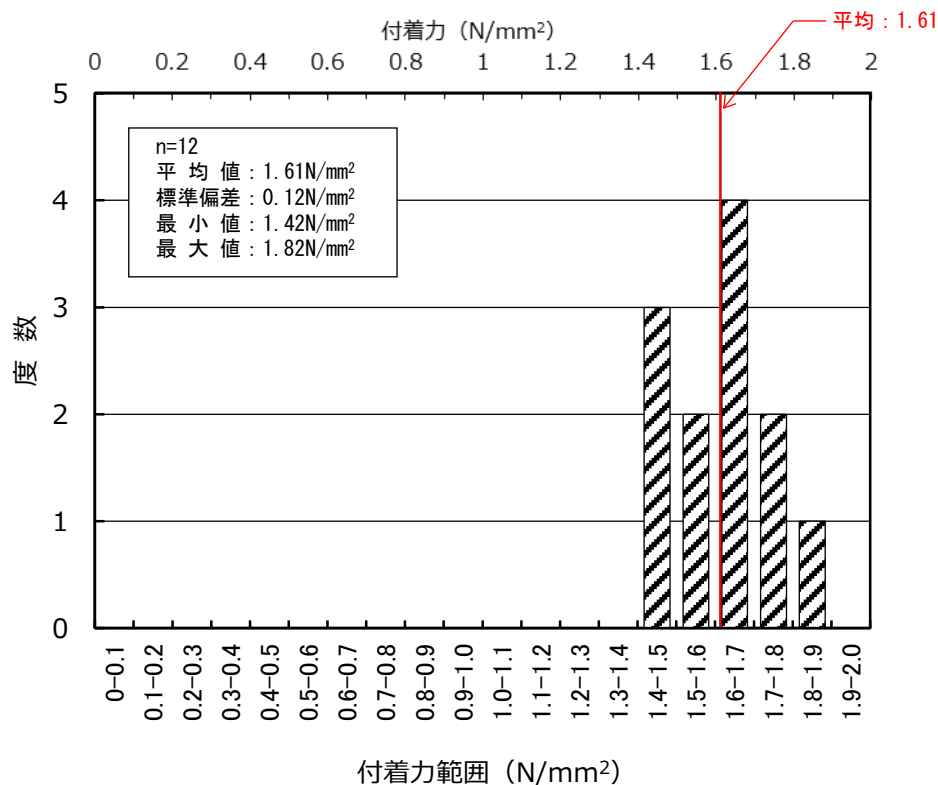
審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（9）

（2）レベルコンクリート-基礎コンクリート間の付着力試験結果

- レベルコンクリート-基礎コンクリート間の付着力試験の結果を以下に示す。
- 付着力の平均値は 1.61N/mm^2 （標準偏差 0.12N/mm^2 ）であった。



試験後の破断面の状況の例
(レベルコンクリート-基礎コンクリート)

付着力試験の結果(レベルコンクリート-基礎コンクリート)

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（10）

2. 5 地震応答解析に用いる付着力の設定について

- 「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」及び「レベルコンクリート－基礎コンクリート間の付着力試験」の試験結果及び設定付着力を下表に示す。
- 「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の付着力の方が小さいことから、「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の試験結果に基づき地震応答解析に用いる付着力を設定することとし、2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の平均値0.81N/mm²に対して2倍の安全率を考慮した0.40N/mm²を採用することとした。
- なお、設定した付着力は、試験結果の最低値(0.50N/mm²)を下回る値となっている。

付着力として設定した0.40N/mm²という値の保守性について、次頁に示す。

付着力試験の結果及び設定付着力

試験	試験体の種類		平均値 (N/mm ²)	設定付着力 (N/mm ²)
原位置試験※1	岩盤－レベルコンクリート	黒色頁岩	0.81	0.40※2
		凝灰岩	1.15	
室内試験	レベルコンクリート－基礎コンクリート		1.61	

※1：直接引張試験

※2：各試験の平均値のうち、最も小さい「黒色頁岩－レベルコンクリート」の平均値に対して2倍の安全率を考慮

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（11）

2.6 建物基礎底面の付着力として設定した値の保守性・妥当性について

【付着力として設定した値の保守性について】

- 岩盤物性を用いる解析では一般に数個の試料によって試験を実施し、得られた試験結果の平均値を用いているが、今回実施した付着力試験は試験方法が標準化されていない※1ことから、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、平均値をそのまま用いるのではなく、保守性を考慮し、平均値に対して2倍の安全率を考慮した。
- また、建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されていることを踏まえ、第754回審査会合(令和元年8月1日)では岩盤全体の平均値を用いていたが、実際の建物直下地盤における黒色頁岩と凝灰岩の構成割合を定量的に確認できないこと、建物毎でその構成割合が異なることを踏まえ、付着力の設定には、岩盤全体の平均値ではなく、保守的に値の小さい黒色頁岩のみが建物直下地盤を構成するものと見なして黒色頁岩の平均値(0.81N/mm²)を用いて設定した(0.81/2 = 0.40N/mm²)。
- なお、設定した付着力は、試験結果の最低値(0.50N/mm²)を下回る値となっている。
- 設定付着力に関する統計的な考察を添付2-2(P26)に示す。設定付着力(0.40N/mm²)は、岩盤全体の平均値(0.98N/mm²)に対して-1.93σ、黒色頁岩の平均値(0.81N/mm²)に対して-1.58σに相当する。
- 既工認実績における設定付着力との比較を参考2(P36)に示す。

※1：地盤工学会において、「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」(令和元年6月末で公示終了)が定められ、その適用範囲に「岩盤とコンクリートの付着強さを求める場合にも適用できる。」とされている。今回実施した付着力試験は、本基準に示されているものと同等の試験方法となっていることを確認した。

【標本数の妥当性について】

- 標本数は、「JNES報告書」の標本数と同様に1岩種あたり12個であるが、他の原位置試験における標本数と比較を行い妥当性を検討する。
- 土木学会指針⁽¹⁾に規定されている原位置における岩盤試験の標本数は、3ないしは4個以上とされている※2。また、「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」においても3個以上とされている。
- 今回実施した付着力試験では24個の試験体(1岩種あたり12個)を用いていることから、これらと比べても十分な標本数といえる。

※2：土木学会指針に規定された試験の標本数

- ・原位置岩盤の平板載荷試験：3個以上
- ・原位置岩盤のせん断試験：4個以上
- ・岩盤の孔内載荷試験：3点以上

(1) 土木学会：原位置岩盤試験法の指針，2000

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

2. 島根原子力発電所における建物基礎底面の付着力の設定について（12）

第754回審査会合
資料1-1 P18再掲
※参照ページの変更箇所を青字で示す

2. 6 建物基礎底面の付着力として設定した値の保守性・妥当性について(続き)

【建物直下地盤と試験地盤の差異について】

- 試験地盤として建物直下地盤と同等の岩盤を選定し、物性試験を行った。
- 建物直下地盤と試験地盤の岩盤物性の比較を下表に示す。
- 物性値を比較すると建物直下地盤と試験地盤はほぼ同等である。両者の比較の詳細を添付2 - 3 (P 27~34)に示す。

建物直下地盤と試験地盤の岩盤物性の比較

	建物直下地盤※1	試験地盤
岩種	主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成される	黒色頁岩、凝灰岩
弾性波速度 (建物直下地盤：PS検層 試験地盤：超音波速度測定)	黒色頁岩 縦波：約4.4 km/s 横波：約2.1 km/s 凝灰岩 縦波：約4.2 km/s 横波：約2.0 km/s	黒色頁岩 縦波：約3.8 km/s 横波：約2.3 km/s 凝灰岩 縦波：約2.9 km/s 横波：約1.5 km/s
圧裂引張強度	黒色頁岩：8.82 N/mm ² 凝灰岩：9.03 N/mm ²	黒色頁岩：7.14 N/mm ² 凝灰岩：9.36 N/mm ²

※1：2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験。
(島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(平成25年12月25日))

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ-1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2-1）岩盤-レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面について

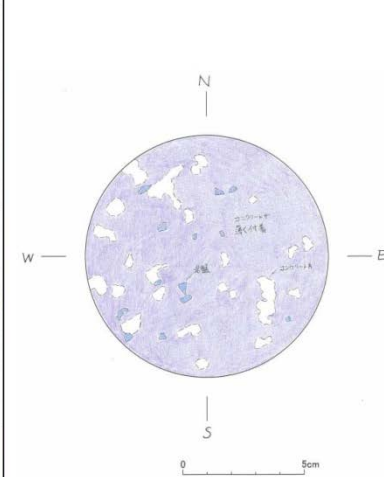
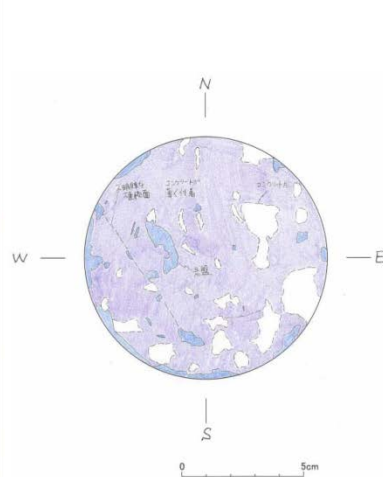
- 岩盤-レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面の状況の例を下図に示す。
- 岩種に関わらず、岩盤面には薄いコンクリートの層が広く付着しているが、破断位置はいずれも岩盤とレベルコンクリートの境界面であったことから、試験値は岩盤とレベルコンクリート間の付着力を示しているといえる。

〈写真〉

〈スケッチ〉

〈写真〉

〈スケッチ〉



(黑色頁岩)

(凝灰岩)

岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験後の破断面の状況の例

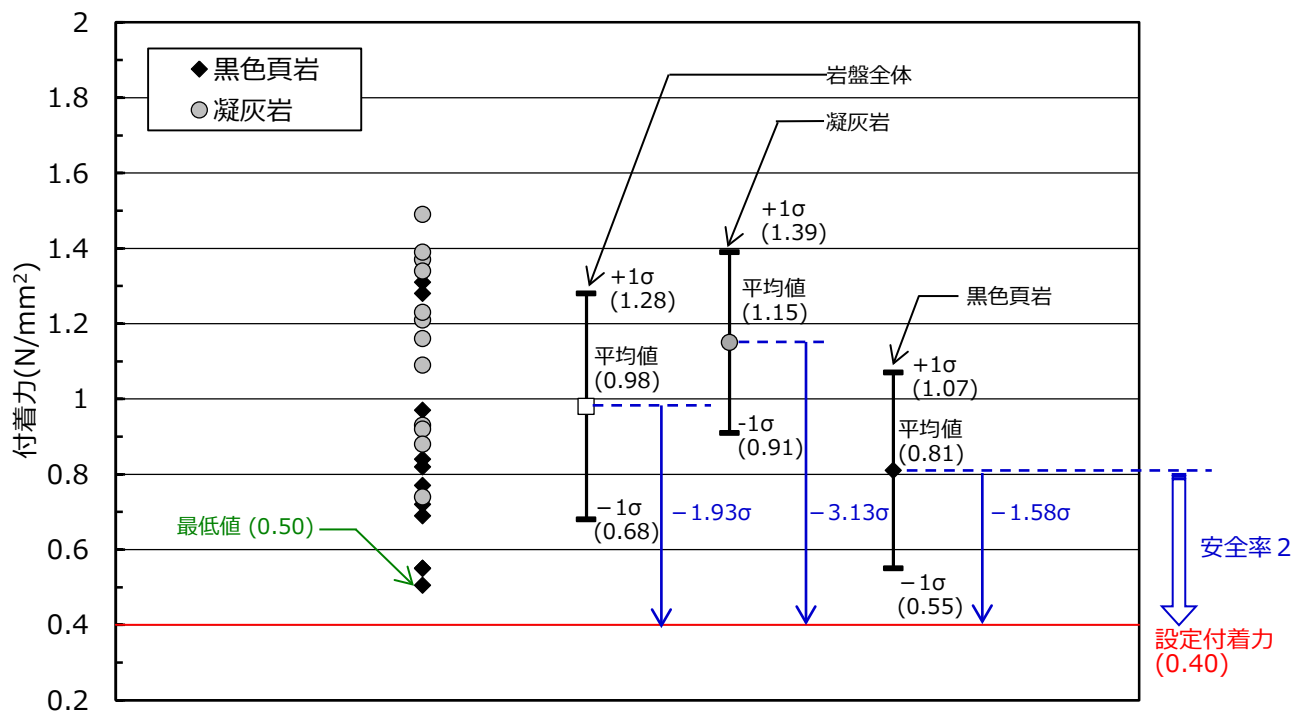
審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

（添付2 - 2）設定付着力に関する統計的な考察について

設定付着力について統計的な観点も含めた考察を以下に示す。

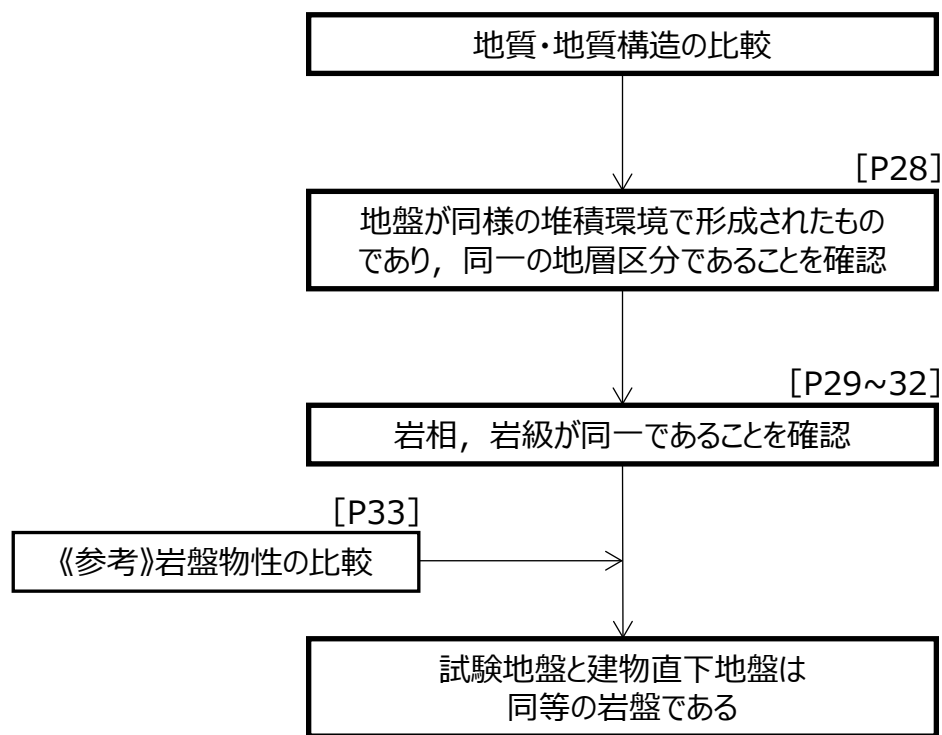
- 岩盤 - レベルコンクリート間の付着力試験の結果と設定付着力の関係を下図に示す。
- 設定付着力(0.40N/mm^2)は、平均値の小さい黒色頁岩の試験結果の平均値(0.81N/mm^2)に対して -1.58σ に相当する。
- 参考として、設定付着力は凝灰岩の平均値(1.15N/mm^2)に対して -3.13σ 、黒色頁岩と凝灰岩を合わせた全体の平均値(0.98N/mm^2)に対して -1.93σ となる。
- なお、試験結果のばらつきについて、岩種毎に評価した場合は試験によるものであるが、岩盤全体として評価した場合には試験によるものと岩種の違いによるものが含まれている。



岩盤 - レベルコンクリート間の付着力試験の結果と設定付着力の関係

論点Ⅱ－１ 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び３次元 F E Mモデルの採用） （添付２－３）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（１／８）

試験地盤は、建物直下地盤から離れているため、以下の流れに従って、地質・地質構造の観点から両者を比較し、試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することの妥当性を確認する。また参考に岩盤物性の観点からも比較を行う。



試験地盤と建物直下地盤の同等性確認の流れ

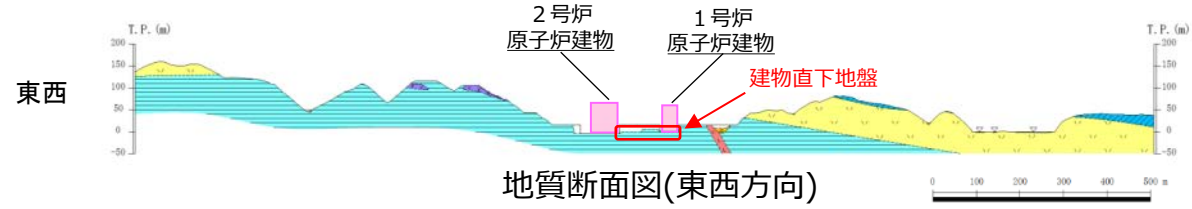
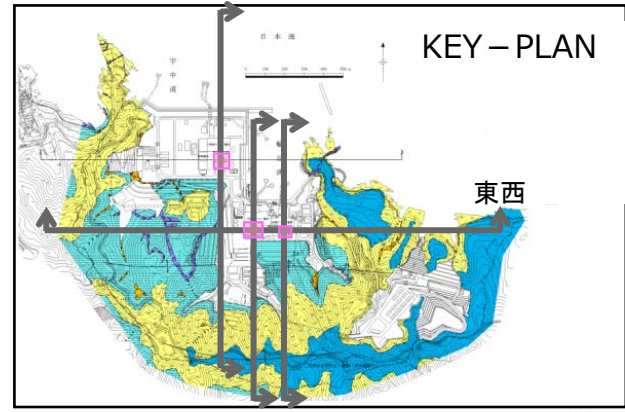
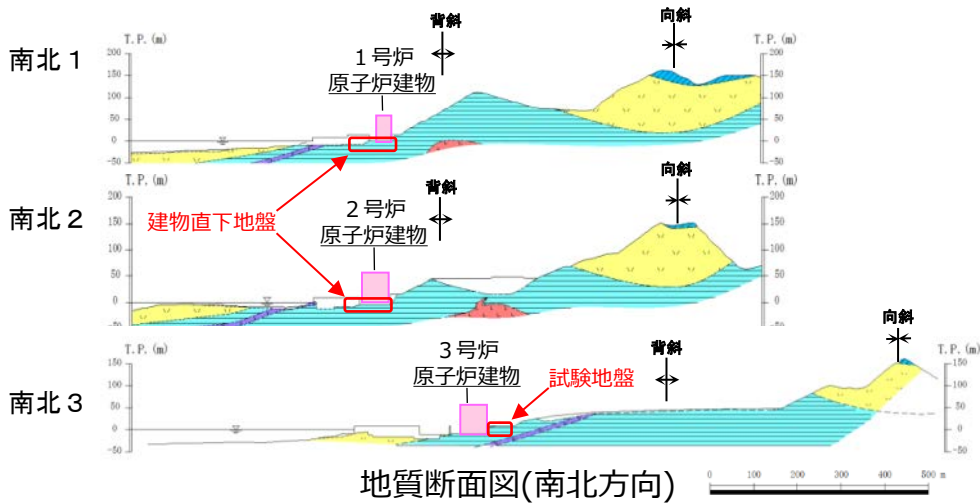
審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2 - 3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（2 / 8）

(1) 試験地盤と建物直下地盤の地質・地質構造の比較

a. 敷地地盤について

- 敷地地盤における地質断面図を下図に示す。また、2号炉エリア(1号炉エリア含む)及び3号炉エリアの地質・地質構造を参考3(第223回審査会合資料の再掲, P37~47)に示す。
- 敷地地盤は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類から構成されており(P37参照)、2号炉及び3号炉原子炉建物基礎地盤周辺は北へ向かって約10°~30°傾斜している(P42,45参照)。
- これまでのボーリング調査の結果、成相寺層中において、連続性の高い堆積層(フローユニット)が2号炉エリア(1号炉エリア含む)から3号炉エリアまで連続していることを確認しており(P38~41参照)、試験地盤及び建物直下地盤を構成する地質は、いずれもこの連続性の高い堆積層の上位に位置し、同一の「下部頁岩部層」に区分される(下図参照)。
- このことから、試験地盤及び建物直下地盤の地質は、同様の堆積環境で形成されたものであり、岩相及び岩級が同一であれば、両者の岩盤は同等であると判断する。



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質		
第四紀	被覆層	盛土	■	
	崖線堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	▲	
新第三紀	貫入岩類	安山岩	■	
		ドレライト	■	
	成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩	■
		火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	■
		下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	■

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2 - 3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（3 / 8）

b. 試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級について

試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級の比較を行う。

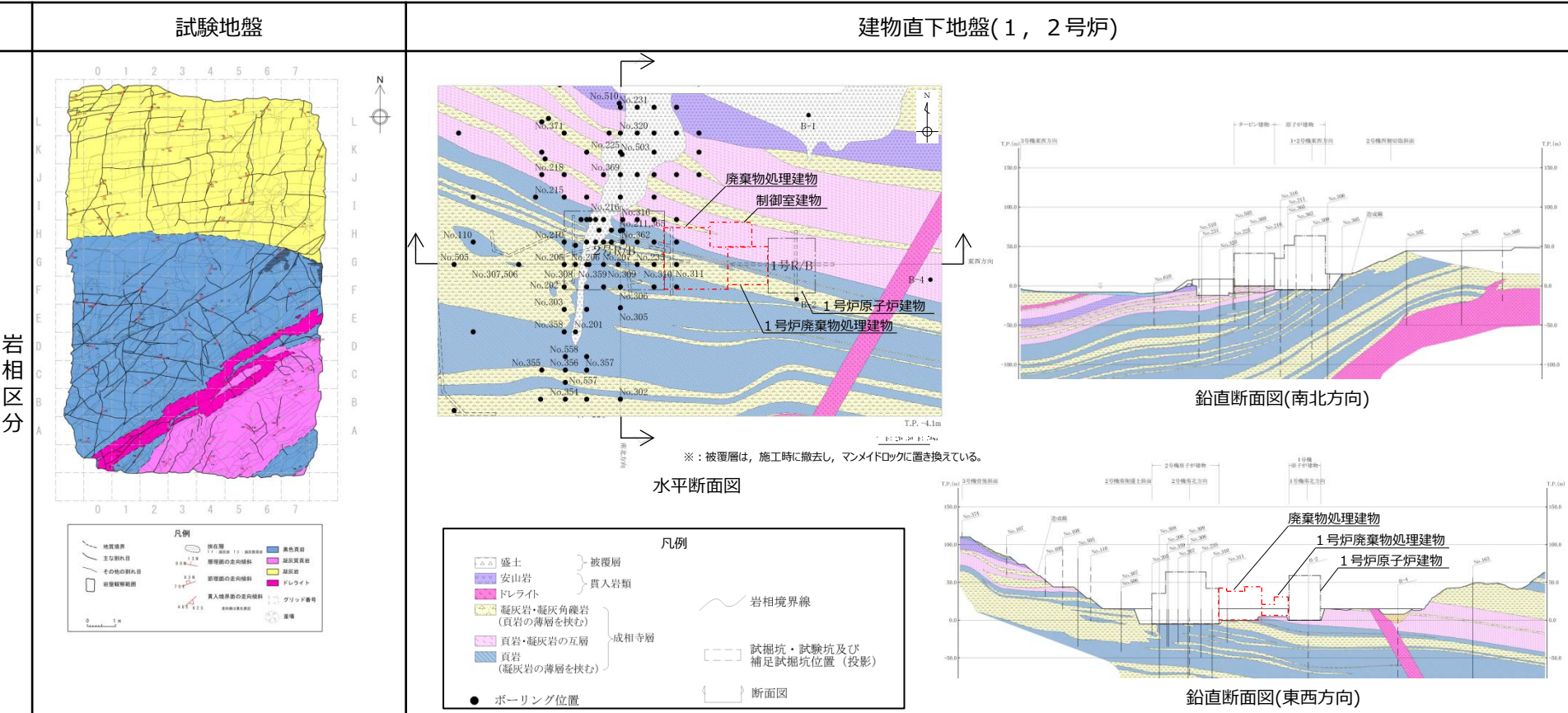
＜岩相の比較＞

- 試験地盤と建物直下地盤における岩相区分の比較を下図に示す。
- 試験地盤は黒色頁岩及び凝灰岩で構成されており、建物直下地盤は試験地盤と同様に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層が広く分布している。

試験地盤と建物直下地盤の岩相区分の対応

試験体	試験地盤	建物直下地盤（1, 2号炉）	
凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)	頁岩・凝灰岩 の互層
黒色 頁岩	黒色頁岩 凝灰質頁岩	頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)	

試験地盤と建物直下地盤における岩相区分の比較



岩相区分

※：被覆層は、施工時に撤去し、マンメイドロックに置き換えている。

30

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2-3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（4/8）

〈岩相の比較〉(続き)

- 試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤(3号炉)及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩相区分の比較を行う。それぞれ地盤における岩相区分及び位置関係を下図に示す。
- いずれの地盤においても主に黒色頁岩及び凝灰岩から構成されている。

試験地盤と建物直下地盤における岩相区分の比較及び位置関係

①試験地盤: 約15m x 約10m, T.P.+6.5m. 付着力試験位置の地盤.

②建物直下地盤(3号炉): 3号炉原子炉建物. 凡例: 海底堆植物(被覆層), 安山岩, ドレライト, 凝灰角礫岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰岩, 凝灰質頁岩, 黒色頁岩. 貫入岩類, 成相寺層. ボーリング位置, 岩相境界線, 試験坑・試験坑及び補足試験坑位置(投影), 断面図.

③建物直下地盤(1, 2号炉): 1号炉原子炉建物, 1号炉廃棄物処理建物, 制御室建物, 廃棄物処理建物. 凡例: 盛土, 安山岩, ドレライト, 凝灰岩・凝灰角礫岩(頁岩の薄層を挟む), 頁岩・凝灰岩の互層, 頁岩(凝灰岩の薄層を挟む). ボーリング位置. 被覆層, 貫入岩類, 成相寺層. 0.10 20 30 40 50m scale.

岩相区分

配置図: ①試験地盤(付着力試験位置), ②建物直下地盤(3号炉), ③建物直下地盤(1, 2号炉), ④原子炉建物南側地盤.

試験地盤と建物直下地盤の岩相区分の対応*1

試験体	試験地盤	建物直下地盤(3号炉)原子炉建物南側地盤	建物直下地盤(1, 2号炉)
凝灰岩	凝灰岩	凝灰角礫岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰岩	凝灰岩・凝灰角礫岩(頁岩の薄層を挟む)
黒色頁岩	黒色頁岩, 凝灰質頁岩	黒色頁岩, 凝灰質頁岩	頁岩(凝灰岩の薄層を挟む)

*1: 3号炉設置許可では、2号炉設置許可に比べ岩相区分をより細分化している。

④原子炉建物南側地盤

約25m x 約27m x 約13m. T.P.-5.0m, T.P.-1.6m. 第1バントフィルタ格納槽, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽. 凡例: 黒色頁岩, 凝灰質頁岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩, 岩相境界線, 層理面の走向・傾斜, 割れ目の走向・傾斜, 主要な割れ目, シーム.

※建物直下地盤(2号炉)周囲の地盤状況を参考4(P48)に示す。
※岩相区分の分類方法は建物直下地盤(3号炉)と同じである。

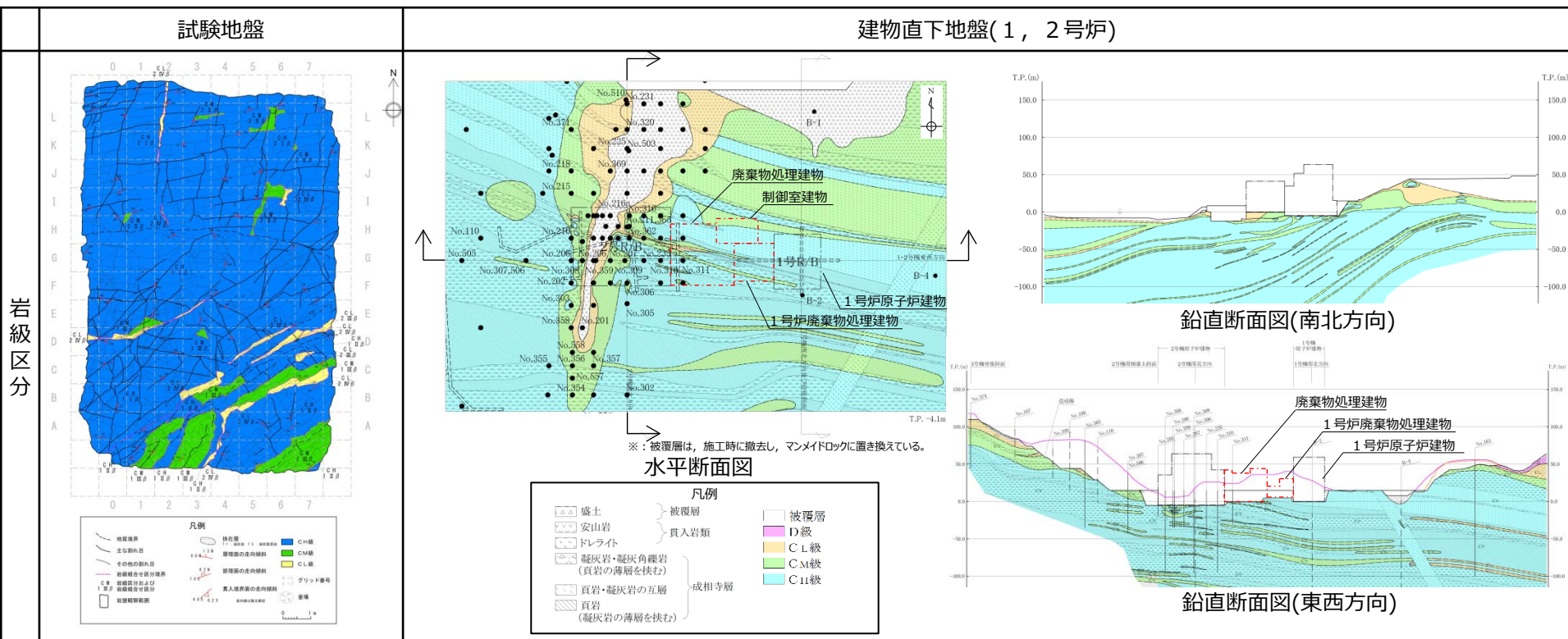
論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2－3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（5／8）

b. 試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級について(続き)

〈岩級の比較〉

- 試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較を下図に示す。
- 試験地盤における岩級は主にC H級であり、建物直下地盤における岩級は試験地盤と同様に主にC H級である。

試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較



岩級区分

※：被覆層は、施工時に撤去し、マンメイドロックに置き換えている。

32

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2 - 3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（6 / 8）

〈岩級の比較〉(続き)

- 試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤(3号炉)及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩級区分の比較を行う。それぞれの地盤における岩級区分及び位置関係を下図に示す。
- いずれの地盤においても岩級は主にCH級である。

試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較及び位置関係

①試験地盤	②建物直下地盤(3号炉)	③建物直下地盤(1, 2号炉)
<p>岩級区分</p> <p>④原子炉建物南側地盤</p>		

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2－3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（7／8）

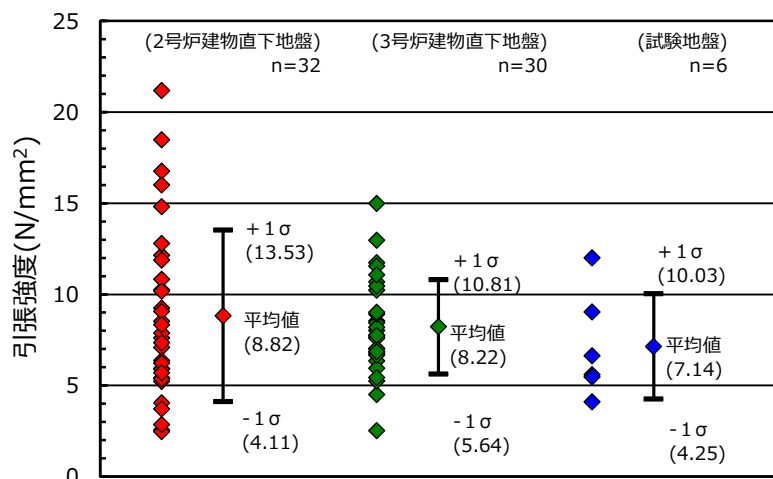
《参考》試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値の比較

- 「JNES報告書」によると、「直接引張試験による付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となった。^{※1}」とされていることから、付着力と岩盤の圧裂引張強度は関係性があると判断し、ここでは圧裂引張強度の比較を行う。
- 建物直下地盤(2号炉)及び試験地盤における岩種毎の圧裂引張強度^{※2}の比較を下図に示す。併せて3号炉の建物直下地盤における圧裂引張強度^{※3}も示す。
- 黑色頁岩、凝灰岩とも試験地盤の圧裂引張強度の平均値は、建物直下地盤(2号炉)の圧裂引張強度の平均値と同程度であり、試験地盤の個々の圧裂引張強度は、建物直下地盤(2号炉)の $\pm 1\sigma$ の範囲内に概ね収まっていることから、試験地盤と建物直下地盤(2号炉)は同等の岩盤である。また、3号炉の建物直下地盤の値とも同程度であることを確認した。

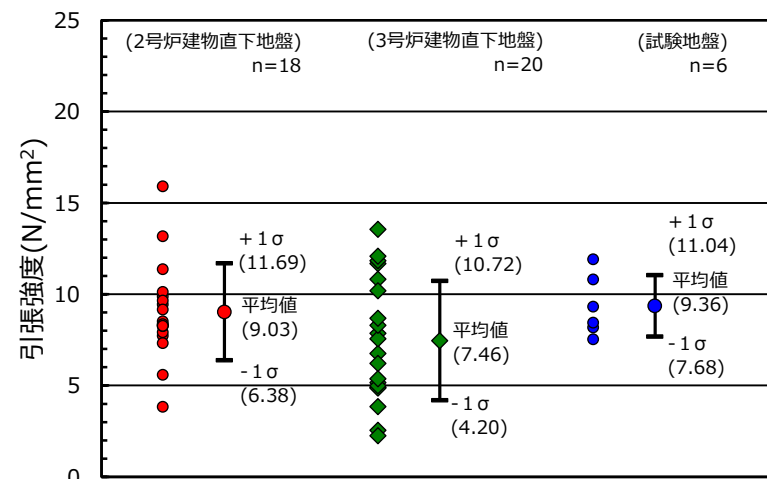
※1：「JNES報告書」では、岩盤物性試験として、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、超音波伝播速度を計測しており、このうち圧裂引張強度の順と付着力の順が同じ傾向(砂岩>花崗岩>凝灰岩)となったことが示されている。

※2：2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験(島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(平成25年12月25日))

※3：3号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験(島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(平成17年4月26日))



黑色頁岩



凝灰岩

試験地盤及び建物直下地盤(2号炉及び3号炉)における黑色頁岩及び凝灰岩の圧裂引張強度の比較

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （添付2－3）試験地盤と建物直下地盤の同等性について（8／8）

（2）まとめ

- 試験地盤と建物直下地盤の同等性を地質・地質構造の観点から確認した。
- 試験地盤と建物直下地盤が同様の堆積環境で形成されたものであり、同一の地層区分であることを確認した。
- 試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級が同一であることを確認した。
- 参考として、試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値(圧裂引張強度)を比較し、同程度であることを確認した。

- 以上より、試験地盤と建物直下地盤は同等のものであり、試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することは妥当であると判断する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

（参考1）既工認実績における付着力試験方法との比較について

- 島根サイトと既工認実績における付着力試験方法の比較を下表に示す。
- また、参考に「JNES報告書」及び地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法」の試験方法も下表に示す。

島根サイトと既工認実績における付着力試験方法の比較

サイト	試験体形状	接合面の凹凸の状態	レベルコンクリート		対象岩種等	標本数	
			圧縮強度 (N/mm ²)	養生日数			
島根	直円柱 ^① (φ10cm)	10mm程度 ^②	18 ^③	7日 ^④	黒色頁岩, 凝灰岩	24 ^⑤ (1岩種当り12)	
既工認実績	高浜	直四角柱 (10cm×10cm)	10～20mm程度	15	27日	流紋岩	27
	大飯	直四角柱 (10cm×10cm)	10～20mm程度	15	28日	石英閃緑岩	19
	美浜	直四角柱 (10cm×10cm)	10～20mm程度	15	28日	花崗岩	15(現地)+25(室内)
	川内*1	直四角柱 (150cm×150cm)	木ごて仕上げ	15 30	62～68日 31～37日	レベルコンクリート 基礎コンクリート	3
参考	JNES 報告書	直四角柱 (10cm×10cm)	10～20mm程度	15	28日	花崗岩, 砂岩, 凝灰岩	36(1岩種当り12)
		直四角柱 (150cm×150cm)	粗面(80mm程度) 平滑面(20mm程度)	15	28日	花崗岩	6(1水準当り3)
	地盤 工学会	直円筒, 直円柱, 直四角柱 (100～1000mm)	規定なし	規定なし	規定なし	軟岩から硬岩まで を対象	3以上

《(既工認実績と異なる方法を採用した理由)》

- ① コンクリートの充填性を考慮し試験体形状を直円柱とした。なお、地盤工学会の試験方法では直円柱も採用されている。
- ② 「JNES報告書」によると、「岩盤表面の凹凸状況の差が接合面の剥離性状にほとんど影響を及ぼしていないことが認められた。」とあることから、接合面の凹凸による付着力への影響は軽微であると考え10mm程度に設定した。
- ③ 市中生コンプラントで調達可能で最も低いF_c = 18N/mm²とした。
- ④ 養生期間を短縮するため、早強コンクリート(調合材齢7日)を採用した。
- ⑤ 標本数は、「JNES報告書」を参考に1岩種当り12個とした。なお、地盤工学会の試験方法では3個以上とされている。

* 1 : 「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の付着力試験結果を用いている。

注：他サイトの情報等に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ－1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （参考2）既工認実績における設定付着力との比較について

- 島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較を下表に示す。
- 島根サイトの設定付着力は既工認実績と比較しても試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である。

島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較

サイト	建物	採用する地震応答解析モデル (基礎浮き上がり評価法)	付着力の設定				
			試験の平均値 (N/mm ²)	試験の最小値 (N/mm ²)	設定付着力 (N/mm ²)	保守性の考え方等	
島根	廃棄物処理建物	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル*1	1.15(凝灰岩) 0.81(黒色頁岩)	0.50	0.40	2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の 平均値に対して2倍の安全率を考慮するとともに 最小値0.50を下回るよう設定	
	制御室建物	SRモデル*2 (浮上り線形地震応答解析)					
既工認実績	高浜	中間建屋	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル*1	0.92	0.55	0.3	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに 最小値0.55を下回るよう設定
	大飯	制御建屋	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル*1	0.71	0.44	0.3	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに 最小値0.44を下回るよう設定
	美浜	原子炉建屋	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル*1	0.91	0.57	0.91	補足説明資料において工認ケースとの比較ケース (側面回転ばね非考慮モデル)に平均値を設定*3
	川内	ディーゼル建屋, 主蒸気管室建屋	基礎固定モデル*2	0.61	0.50	0.6	「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の試験結果を基に設定

* 1 : ジョイント要素に付着力を考慮。

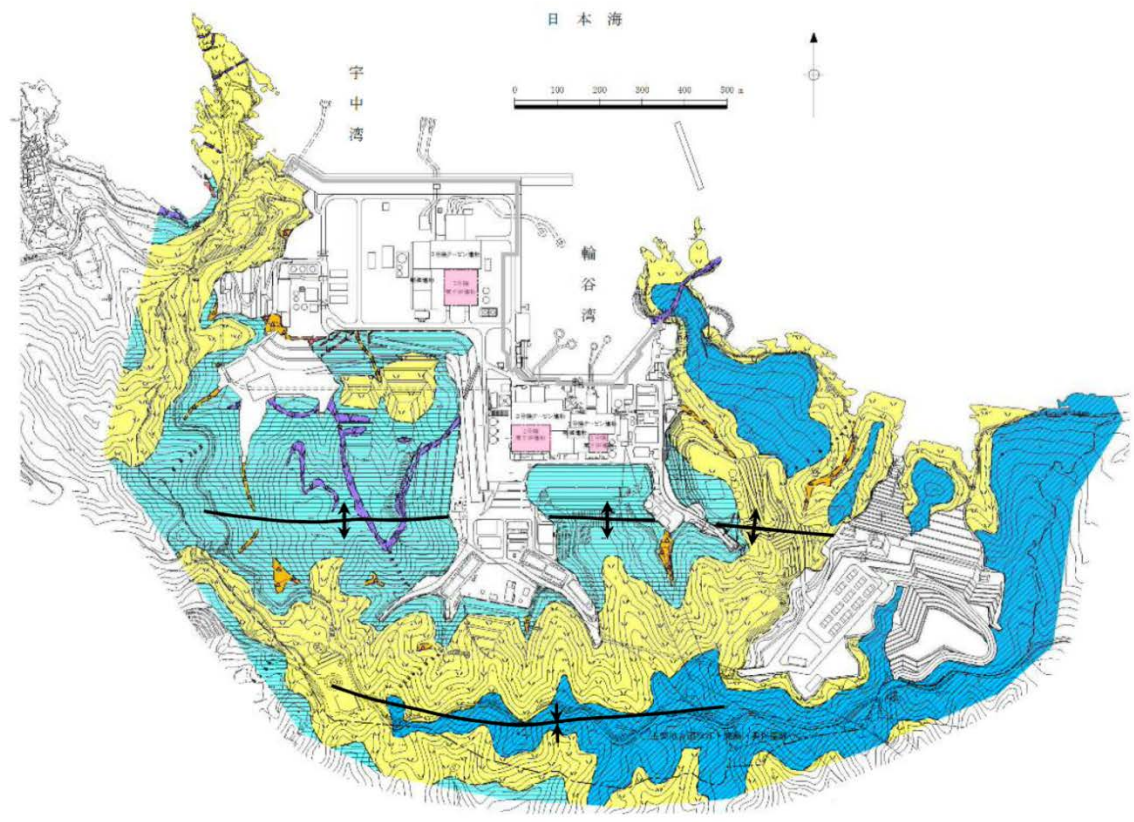
* 2 : 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が設定付着力を超えないことを確認。

* 3 : 工認ケースにおいては、付着力を考慮していない。

注：他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造
 敷地の地質平面図

第223回審査会合
 資料2-1 P9再掲



凡例

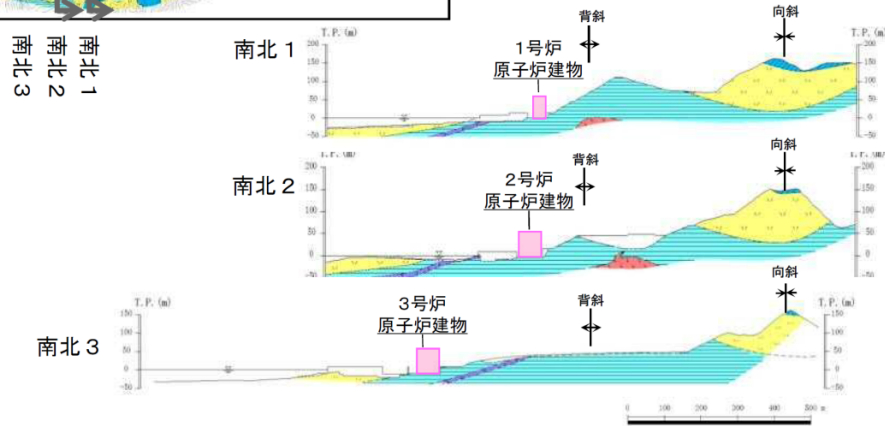
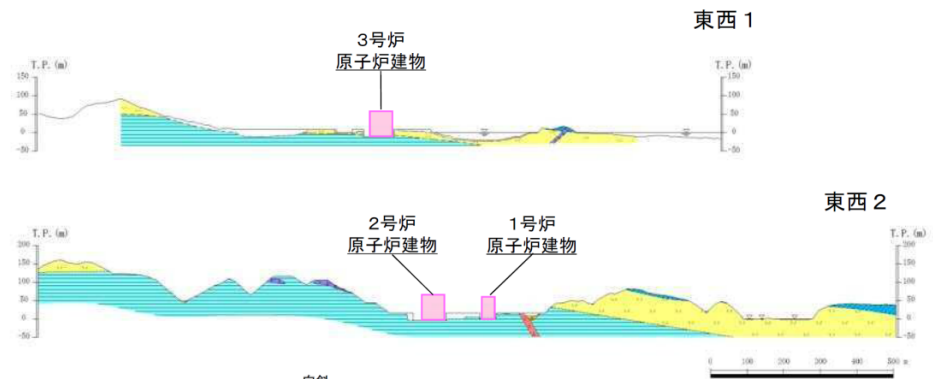
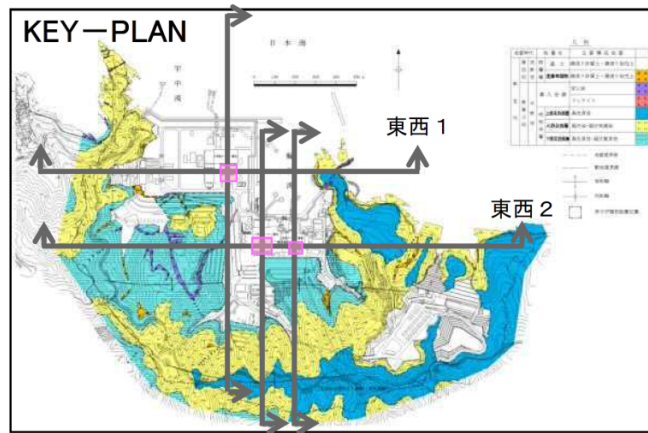
地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀 完新世	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土	
	崖錐堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	△△△
新第三紀 中新世	貫入岩類	安山岩	▽▽▽
		ドレライト	△△△
	成相寺層 上部頁岩部層	黒色頁岩	■
	成相寺層 火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	▽▽▽
成相寺層 下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	■	

- 地質境界線
- 敷地境界線
- ↑ ↓ 背斜軸
- ↓ ↑ 向斜軸
- 原子炉建物設置位置

- ・敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
- ・敷地の南方には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められる。
- ・敷地には、破碎帯や活断層は確認されていない。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造 敷地の地質断面図

第223回審査会合
資料2-1 P10再掲



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀	被覆層	礫混り砂質土・礫混り粘性土	
	礫堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	△ △ △
新第三紀	貫入岩類	安山岩	V V
		ドレライト	L L
	上部頁岩部層	黑色頁岩	■ ■ ■
	下部頁岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	V V
		黑色頁岩・凝灰質頁岩	■ ■ ■

----- 地質境界線

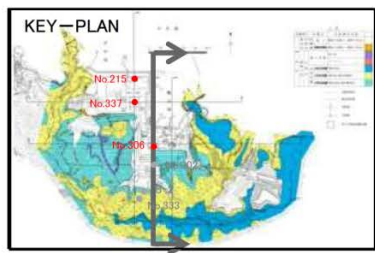
- ・敷地に分布する成相寺層は、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層、上部頁岩部層の3つの部層に区分される。
- ・1～3号炉原子炉建物基礎地盤においては、主として黑色頁岩、凝灰質頁岩より成る「下部頁岩部層」が広く分布する。

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （参考3）島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について（3 / 11）

第223回審査会合
資料2-1 P11再掲

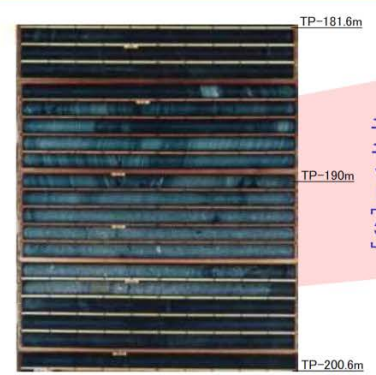
1. 敷地の地形及び地質・地質構造 敷地に分布する鍵層①



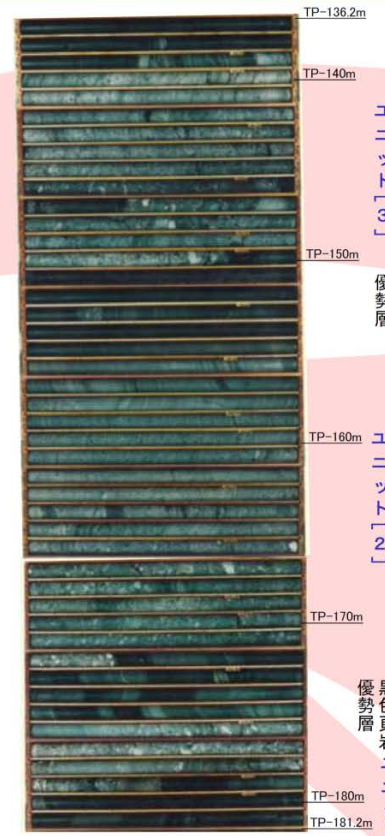
凡例

地質時代	地層名	主要構成地層
第四紀	堆積層	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	堆積堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土
中生代	黒川層	安山岩
	上野原砂岩層	砂岩
	火砕岩層	凝灰岩・凝灰角礫岩
	下野原砂岩層	黒色頁岩・凝灰質頁岩

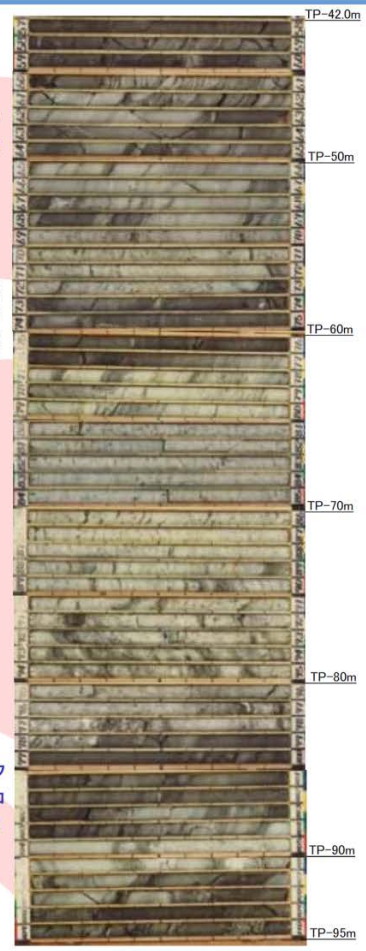
----- 地質境界線



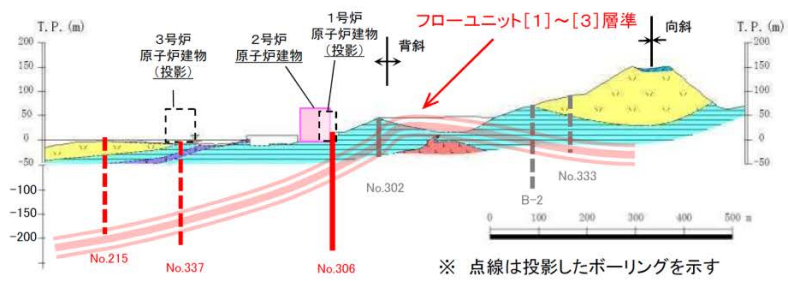
No.215コア写真



No.337コア写真



No.306コア写真



- ・ 2号炉エリア及び3号炉エリアにおけるボーリング調査の結果、下部頁岩部層中において、連続性が高い堆積層が確認された。
- ・ 当該堆積層は、凝灰角礫岩主体で黒色頁岩優勢層を挟在し、級化層理を示す等の特徴を有することから、水中火砕流により堆積したものと考えており、フローユニットと呼称している。
- ・ 当該フローユニットは、地層の対比がし易いため、敷地の地質構造把握において鍵層となる。

40

審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （参考3）島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について（4 / 11）

第223回審査会合
資料 2-1 P12再掲

1. 敷地の地形及び地質・地質構造 敷地に分布する鍵層②

凡例

地質時代	地層名	主要構成地質
第四紀	後期	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	前期	礫混り砂質土・礫混り粘性土
中生代	新第三紀	安山岩
	中新世	ドレタイト
	成相層	黒色頁岩
	火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	

----- 地質境界線

TP+14.3m
TP+10m
TP 0m
TP-10m
TP-20m
TP-30.7m

No.302コア写真

TP+16.5m
TP+10m
TP 0m
TP-10m
TP-20m
TP-30m
TP-38.5m

B-2コア写真

TP-6.6m
TP-10m
TP-20m
TP-30m
TP-36.6m

No.333コア写真

T.P. (m)
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200

3号炉 原子炉建物 (投影)
2号炉 原子炉建物 (投影)
1号炉 原子炉建物 (投影)

背斜
向斜

フローユニット[1]~[3]層準

No.215 No.337 No.306 No.302 B-2 No.333

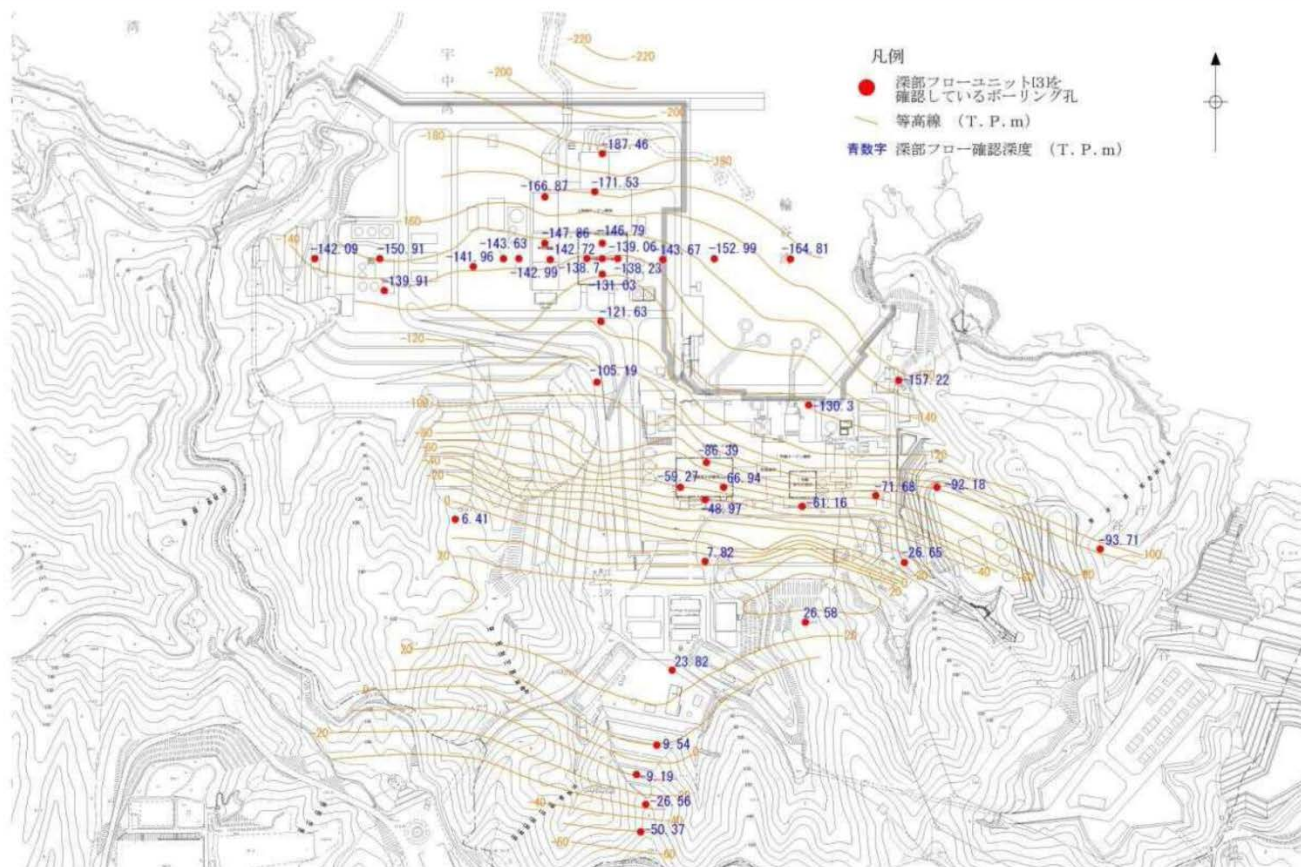
※ 点線は投影したボーリングを示す

ユニット「3」優勢層 黒色頁岩
ユニット「2」優勢層 黒色頁岩
ユニット「1」優勢層 黒色頁岩

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

鍵層の連続性

第223回審査会合
資料2-1 P13再掲



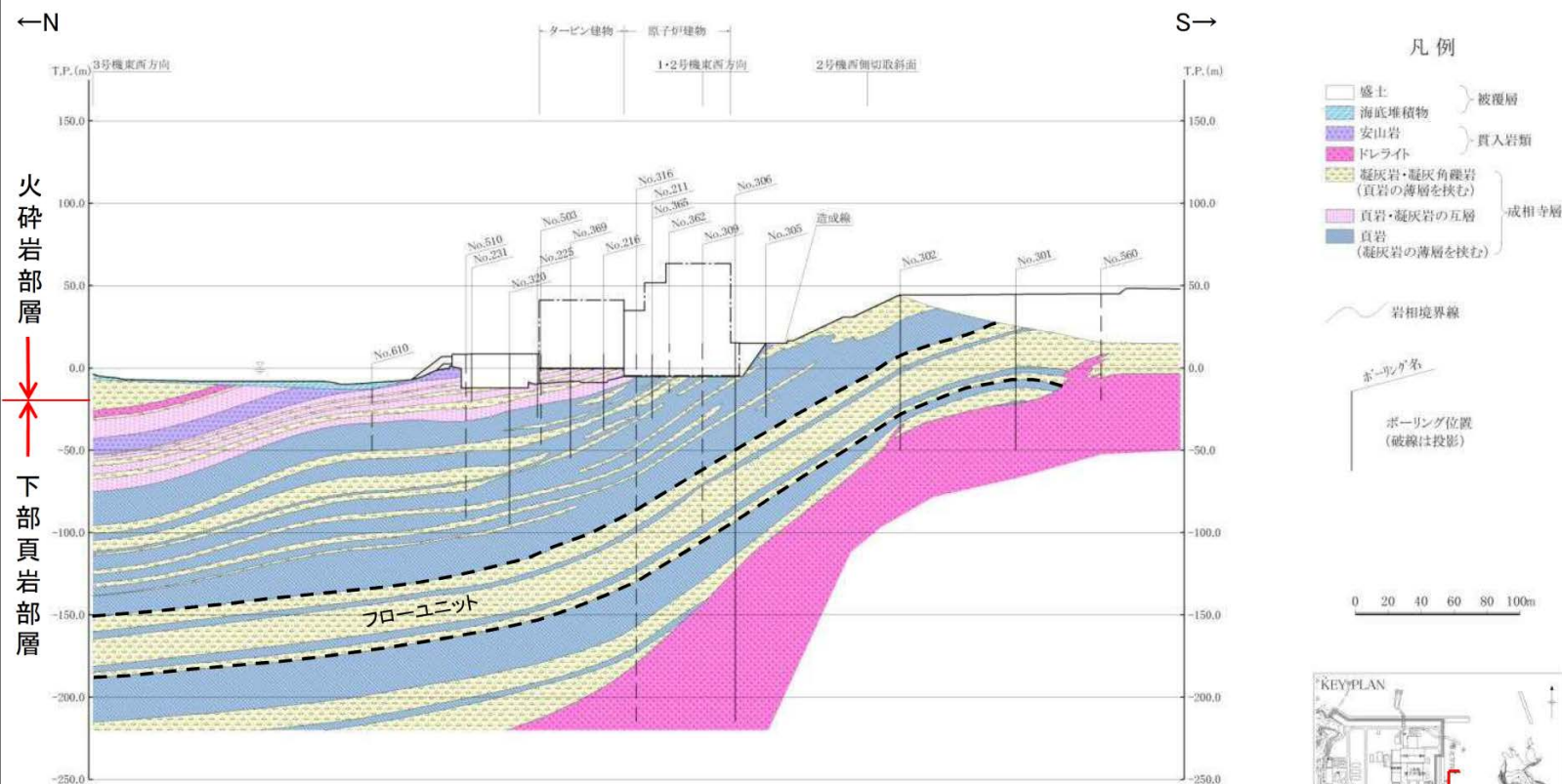
ボーリング調査によるフローユニット[3]上面の等高線図

- ・ フローユニットの分布等に基づき敷地の地質構造を検討した結果、下部頁岩部層中の同一層準は、2号炉エリア及び3号炉エリアに連続的に分布すると考えられる。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質鉛直断面図（2号炉原子炉建物基礎地盤）

第223回審査会合
資料2-1 P15再掲

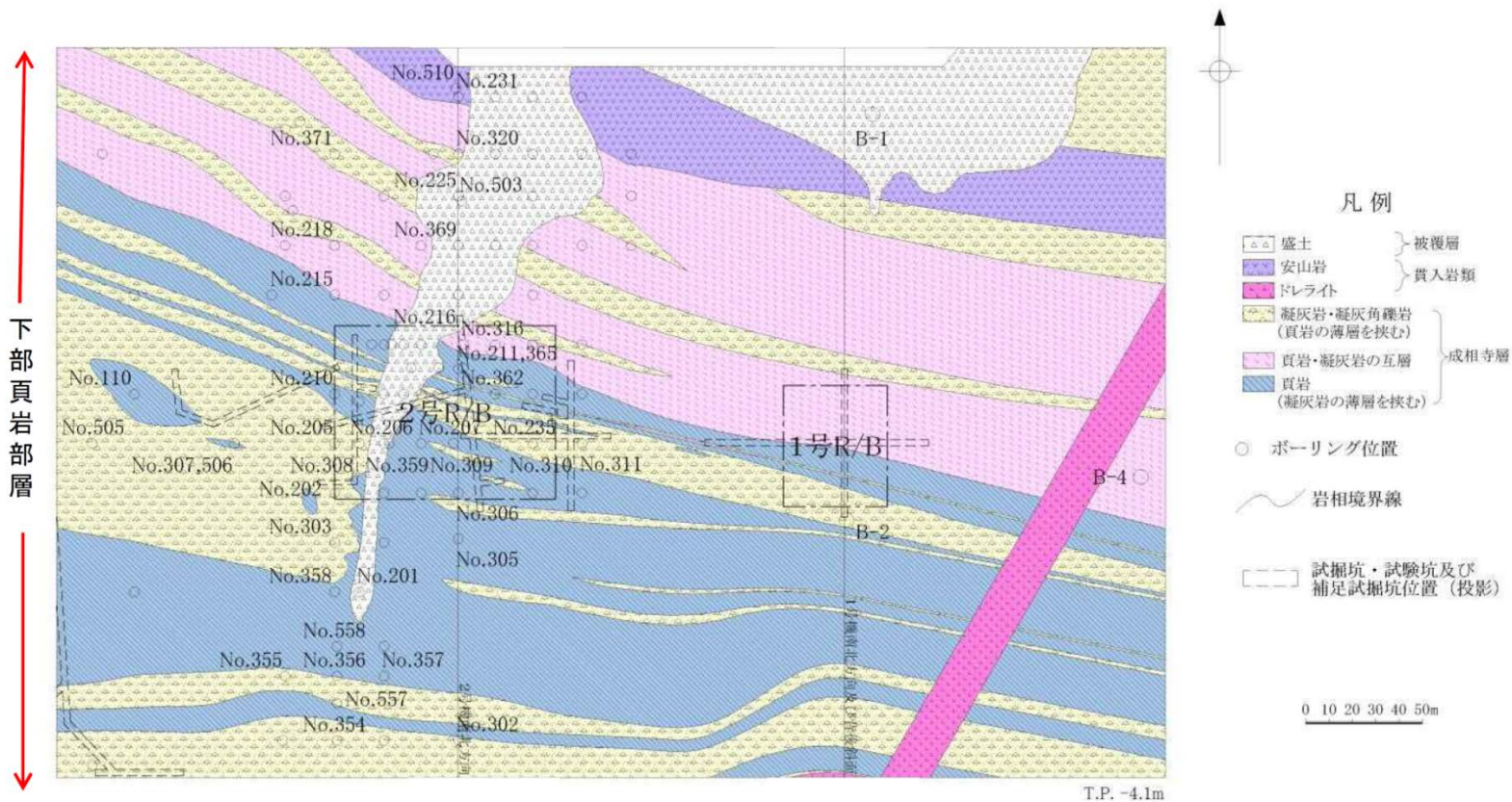


- ・2号炉原子炉建物基礎地盤には、主として下部頁岩部層、貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩（黒色頁岩及び凝灰質頁岩）を主体とし、凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、北へ向かって約10°～30°傾斜している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質水平断面図（1・2号炉原子炉建物基礎地盤）

第223回審査会合
資料2-1 P17再掲



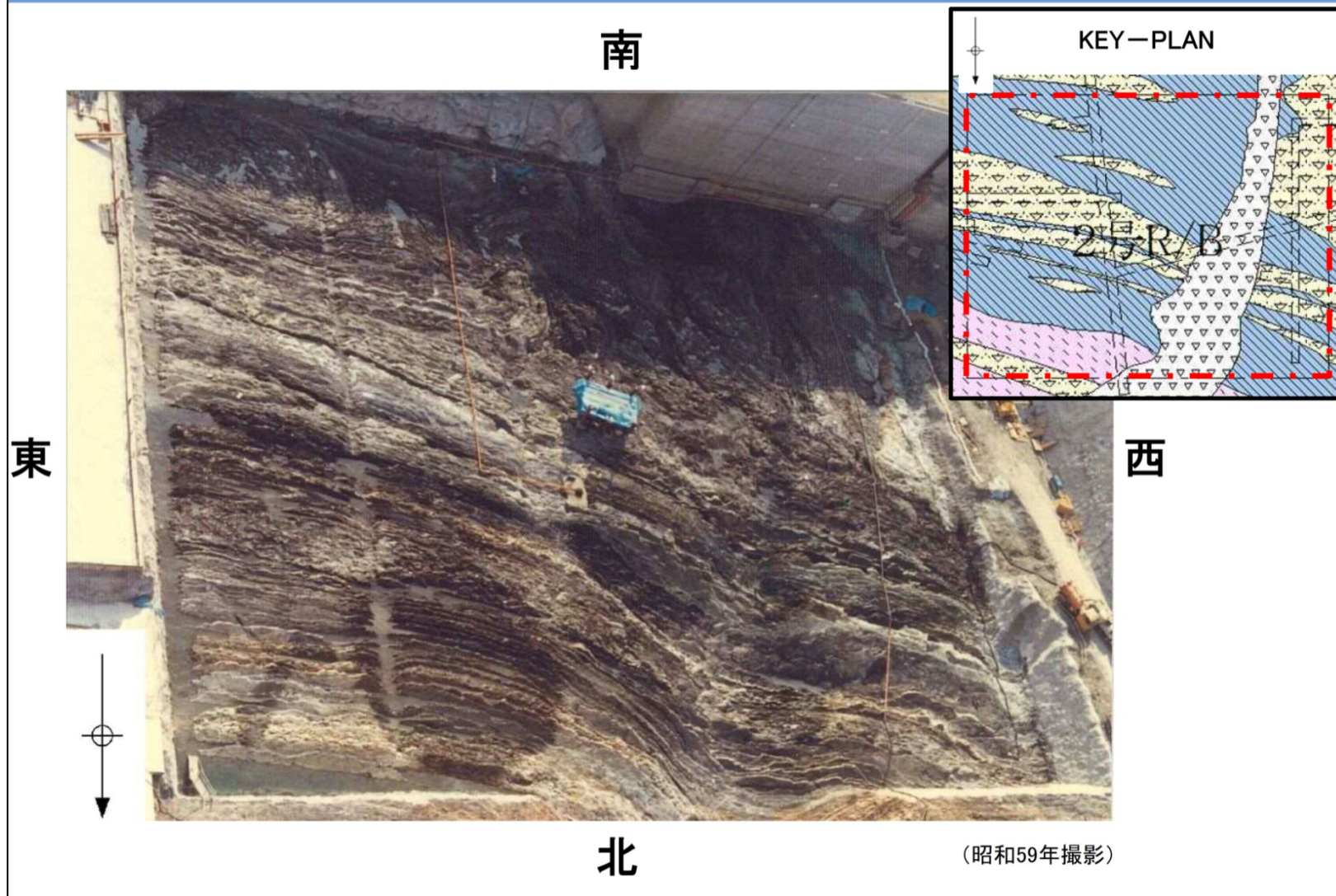
・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示す。

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （参考3）島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について（8 / 11）

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

底面付近写真（2号炉原子炉建物基礎地盤）

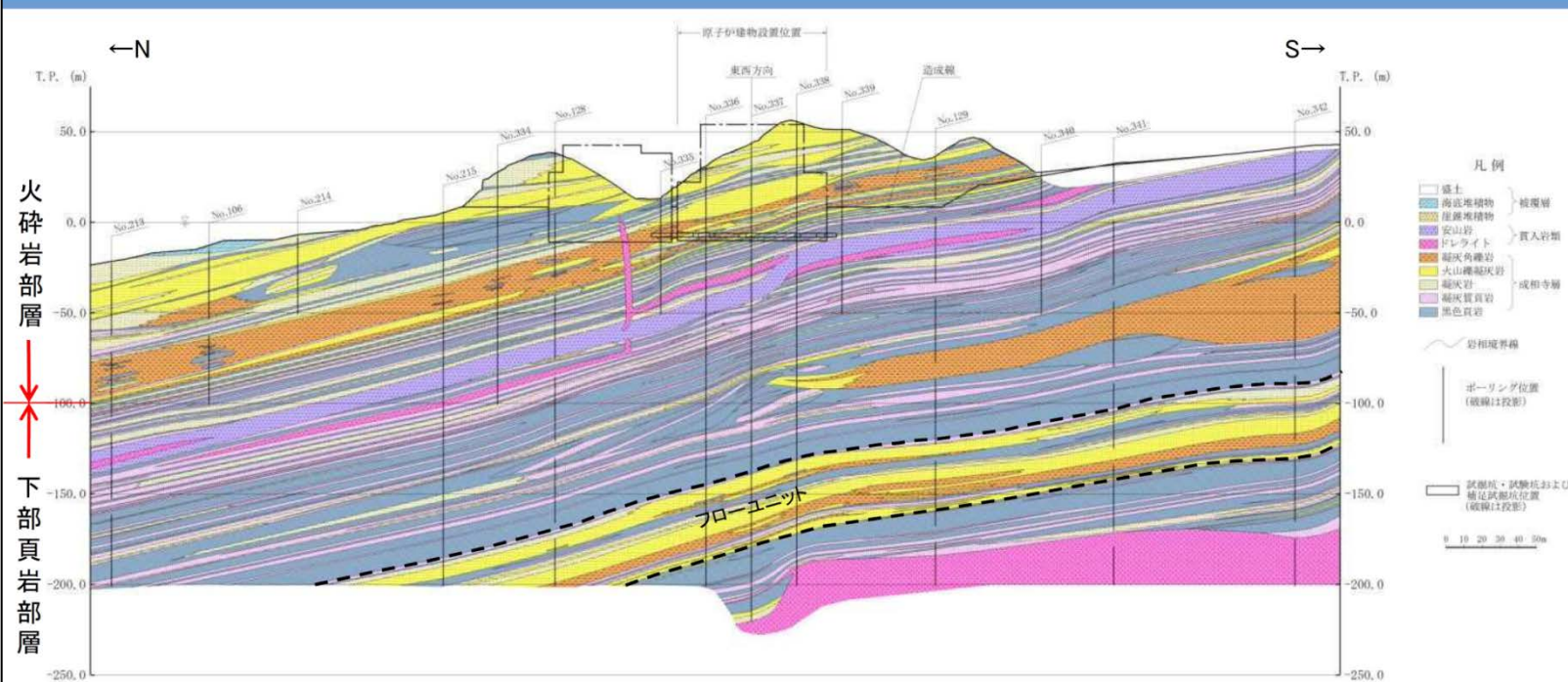
第223回審査会合
資料2-1 P18再掲



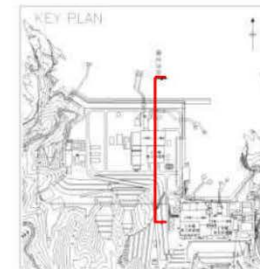
1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質鉛直断面図（3号炉原子炉建物基礎地盤）

第223回審査会合
資料 2-1 P20再掲



- ・3号炉原子炉建物基礎地盤には、成相寺層(下部頁岩部層、火砕岩部層)及び貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黑色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・火砕岩部層は、主として凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩から構成される。
- ・成相寺層の構造は、ほぼ東西方向の走向を示し、北へ向かって約10° ~ 20° 緩く傾斜している。



※ BTV解析結果は補足説明資料「BTV解析による見掛けの傾斜（3号炉南北断面）」参照

注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

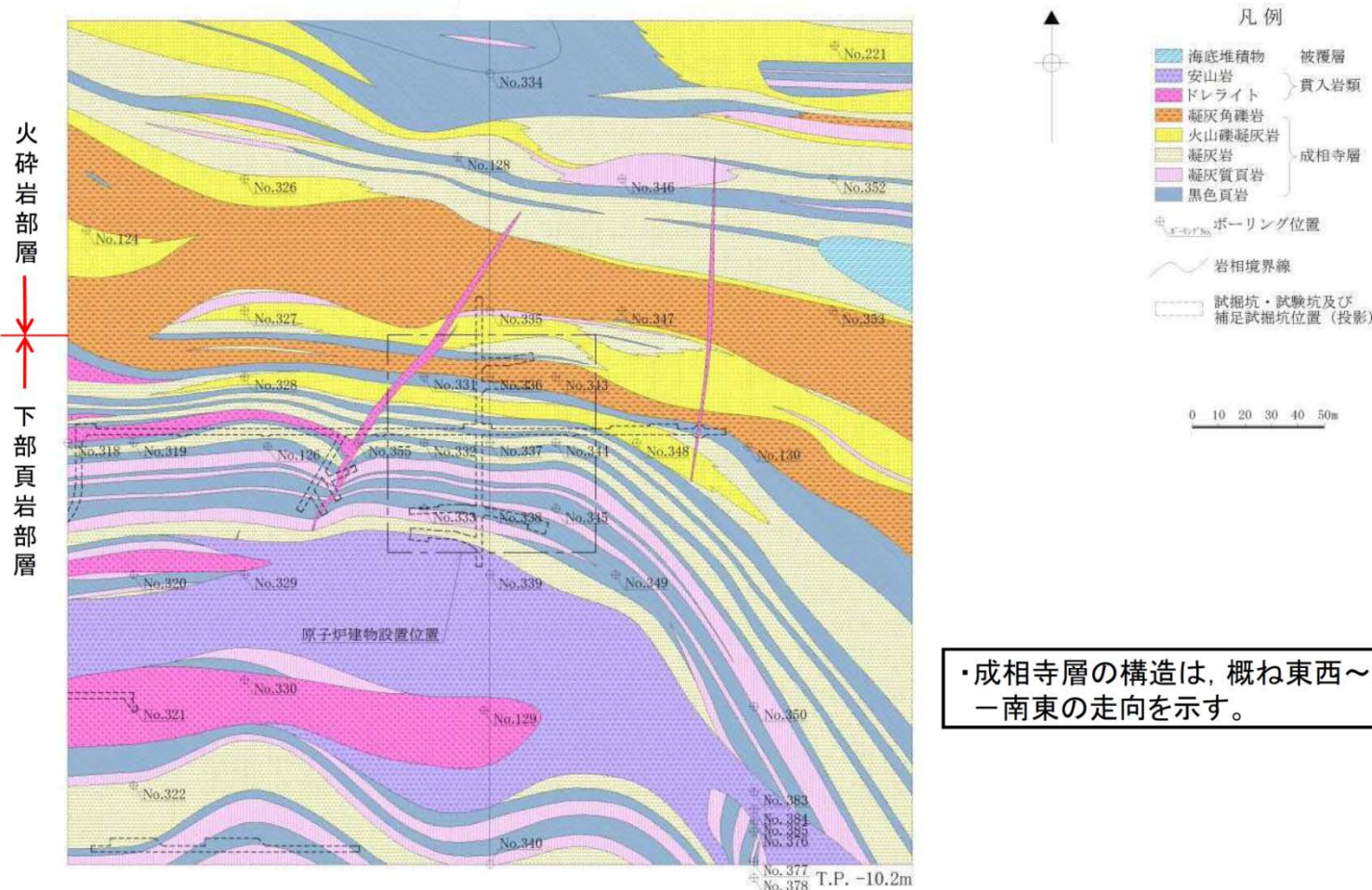
審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用） （参考3）島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について(10/11)

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質水平断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第223回審査会合
資料2-1 P21再掲



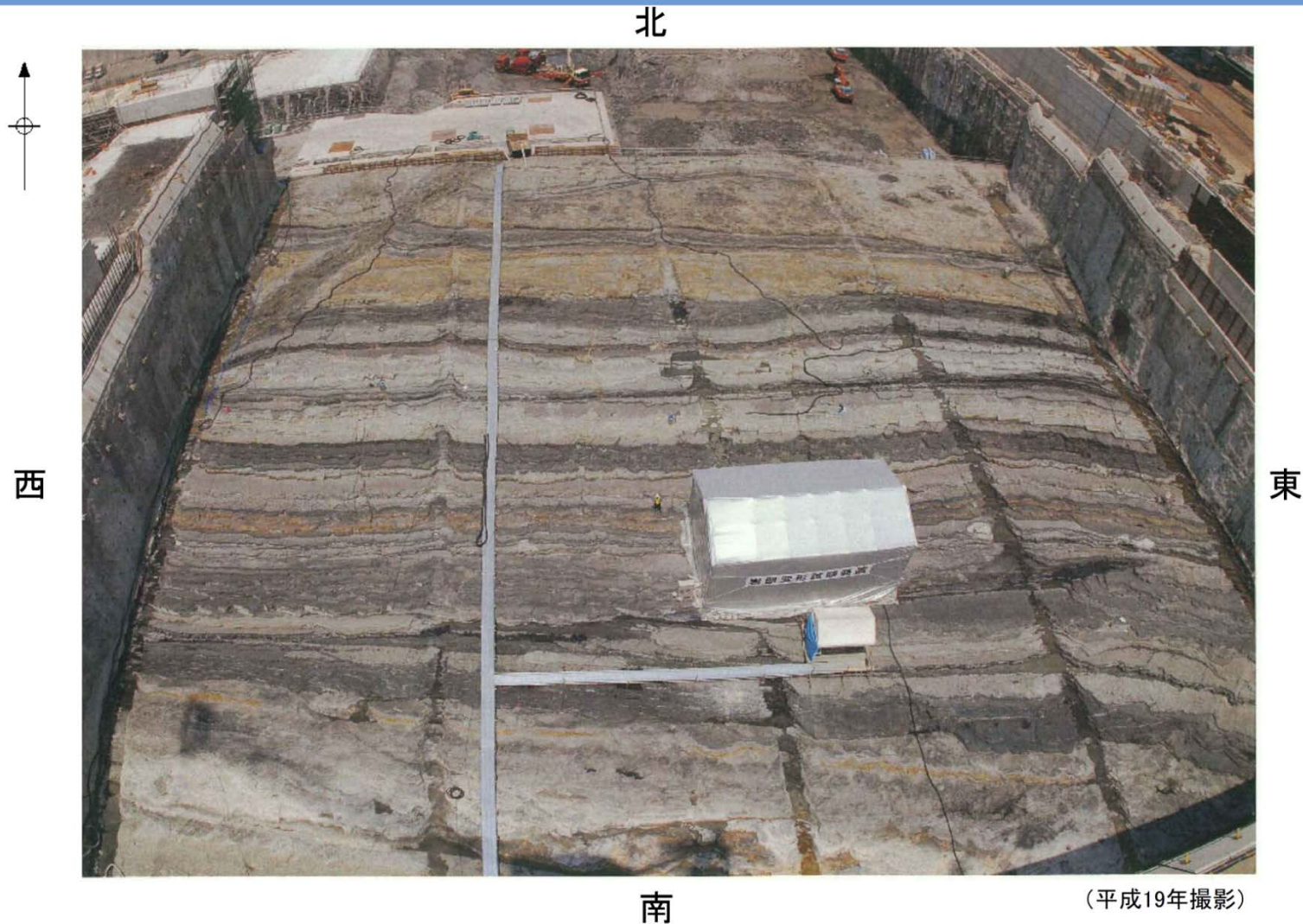
・成相寺層の構造は、概ね東西～北西
-南東の走向を示す。

注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

底面付近写真(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第223回審査会合
資料2-1 P22再掲

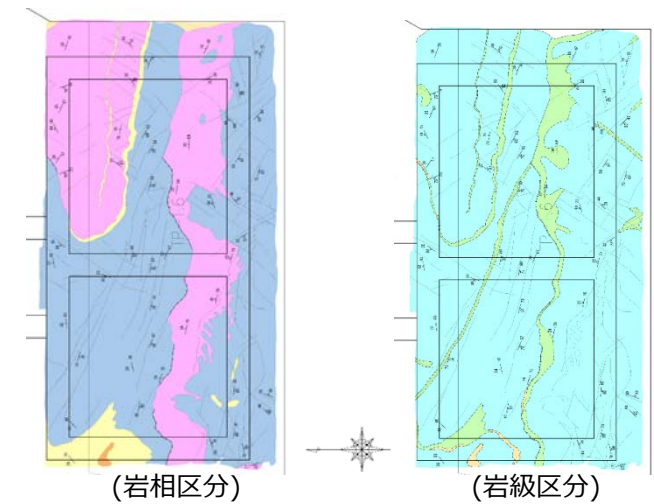
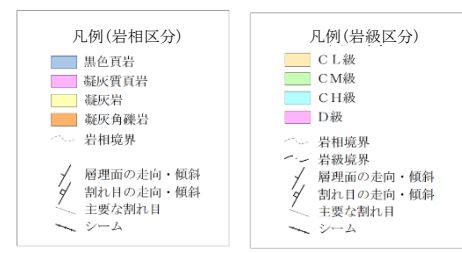
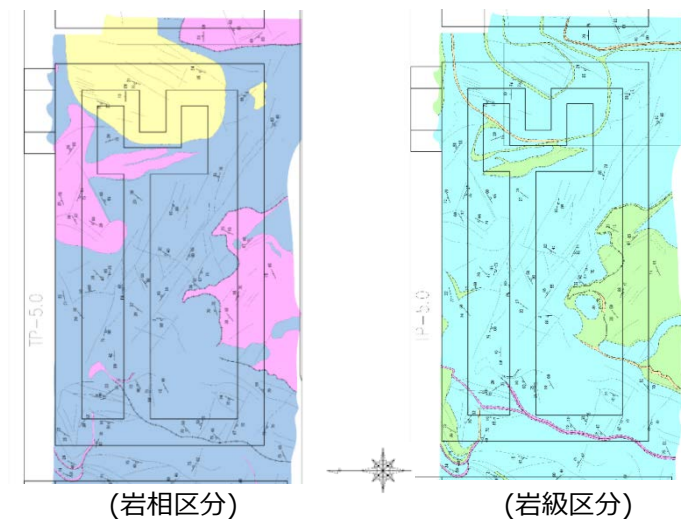


審査会合における指摘事項に対する回答【No.5, 16, 17】

論点Ⅱ - 1 建物の地震応答解析モデル（建物基礎底面の付着力及び3次元FEMモデルの採用）

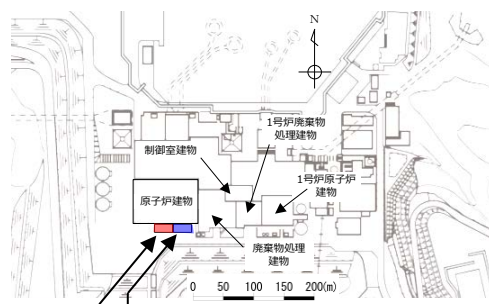
（参考4）建物直下地盤周囲の地盤状況について

- 建物直下地盤周囲の地盤状況として、原子炉建物南側に隣接した土木構造物(第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽)の設置地盤における岩相区分及び岩級区分を下図に示す。
- 建物直下地盤周囲における岩相は黒色頁岩(一部凝灰質頁岩)及び凝灰岩が確認され、岩級は主にCH級であることから、試験地盤は建物直下地盤と同等の地盤である。



(掘削面)(T.P.-5.0m)

第1ベントフィルタ格納槽



(掘削面)(T.P.-1.6m)

※：岩相区分及び岩級区分図と方位を合わせるため写真を180°回転させている。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

原子炉建物南側に隣接する土木構造物設置地盤における岩相区分及び岩級区分