

入力地震動について

目次

1. 概要	1
2. 基準地震動の策定における解放基盤表面の位置.....	1
3. 入力地震動の評価における解放基盤表面.....	3
3.1 設定方針	3
3.2 地震観測記録に基づく検討	6
3.3 解放基盤表面の深さに関する検討.....	12
4. 入力地震動の設定方法	15
4.1 建物・構築物	15
4.2 土木構造物	16
4.3 保管場所	17
5. 入力地震動設定に関する影響検討.....	18
5.1 検討概要	18
5.2 検討条件及び結果	19

1. 概要

本資料は、設計基準対象施設、重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）、波及的影響の設計対象とする下位クラス施設及び可搬型重大事故等対処設備の保管場所の地震応答解析を実施するに当たり、入力地震動設定の妥当性を示すものである。

2. 基準地震動の策定における解放基盤表面の位置

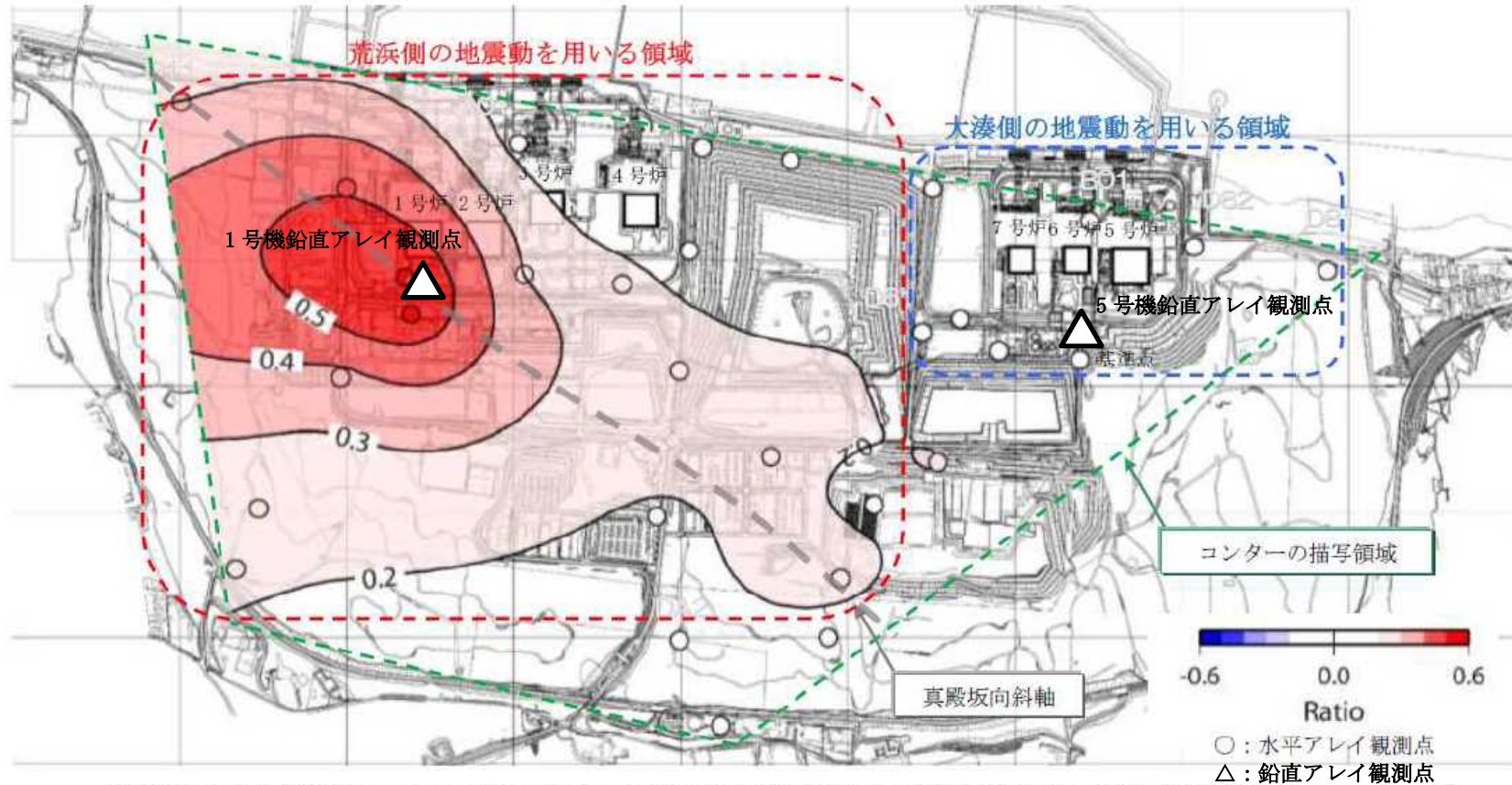
基準地震動は図-1 に示す敷地における地震波の伝播特性を踏まえ、地震波の顕著な増幅が認められる1号機～4号機を含む領域においては、著しい増幅が認められる1号機鉛直アレイ観測点を代表とし「荒浜側の基準地震動S_s」として、地震波の顕著な増幅が認められない5号機～7号機を含む領域においては、各号機で特異な差異がないことから5号機鉛直アレイ観測点を代表とし「大湊側の基準地震動S_s」として策定している（発電用原子炉設置変更許可申請（原管発官25第192号）に係る申請書（以下「設置変更許可申請書」という。）並びに審査資料「資料3-1 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 基準地震動の策定について」及び「資料3-2 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 基準地震動の策定について【補足説明資料】」（以下「基準地震動のまとめ資料」という。）に基づく）。

基準地震動の策定においては、S波速度が700m/s以上で著しい高低差がなく広がりを持って分布している硬質地盤に解放基盤表面を設定することとし、5号機～7号機を含む大湊側では、表-1に示すとおり、5号機鉛直アレイ観測点でのT.M.S.L. -134mの位置に設定している。

表-1 基準地震動の策定における解放基盤表面の位置
(設置変更許可申請書より引用)

位置	標高 T.M.S.L. *(m)	整地面からの深さ(m)
5号機 鉛直アレイ	-134	146

注記* : T.M.S.L. : 東京湾平均海面。Tokyo bay Mean Sea Level の略で、東京湾での検潮に基づき設定された陸地の高さの基準



※基準点に対する各観測点のフーリエスペクトル比において、顕著な不整形性の影響がない北側の地震に対する南西側の地震の比を周期0.1~0.4秒の平均で算定し、コンターを描画したもの。コンターは、観測点間で補間しており、観測点がない端部は外挿となるためコンター描写領域を表記。(数値及び色はフーリエスペクトル比の常用対数を示す。)

※なお、どちらの基準地震動を用いるか、判断にあたり十分なデータが得られていない領域については、周辺の地盤調査結果や地震観測記録等を参照し、必要に応じて地震観測を実施するなど検討したうえで、適切な基準地震動を用いる。

図-1 水平アレイ地震観測記録に基づく敷地地盤の増幅特性の領域区分

(敷地南西側から到来する地震動の増幅特性)

(設置変更許可申請書より引用)

3. 入力地震動の評価における解放基盤表面

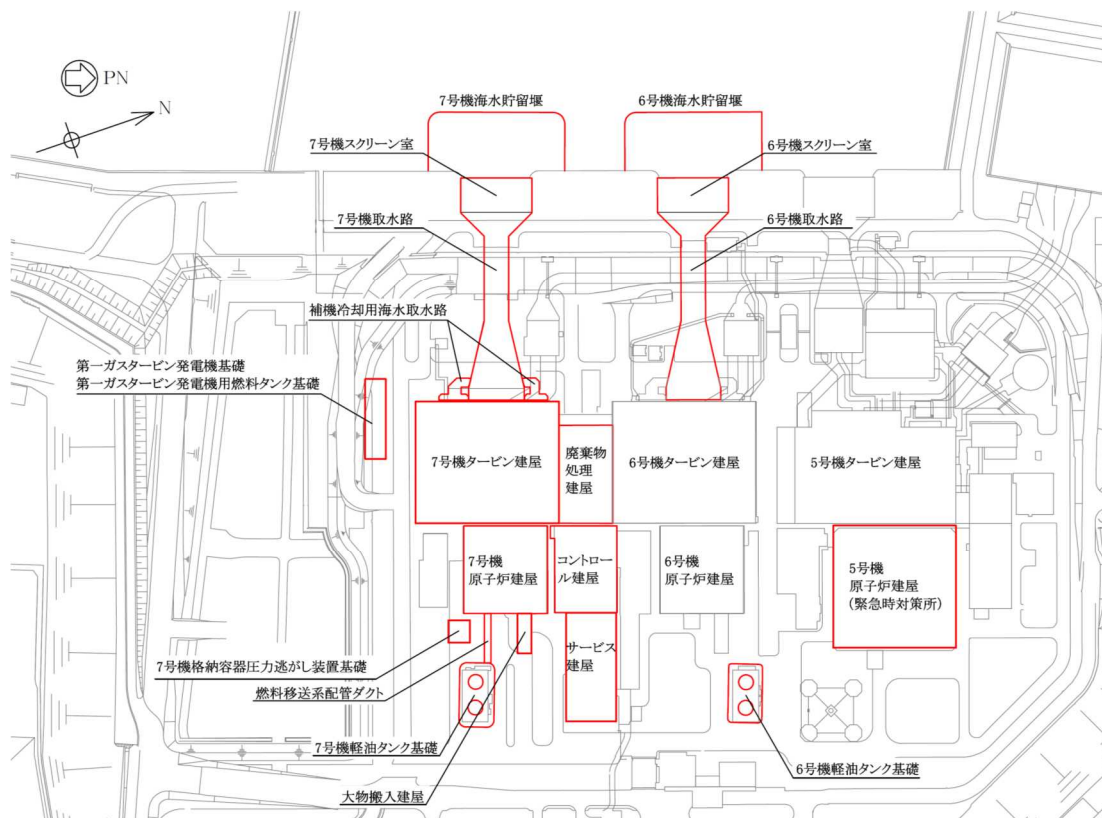
3.1 設定方針

当工事計画書において、地震応答解析を実施する施設及び保管場所の配置図を図-2 に、各施設及び保管場所の入力地震動の評価における解放基盤表面の位置を表-2 に示す。

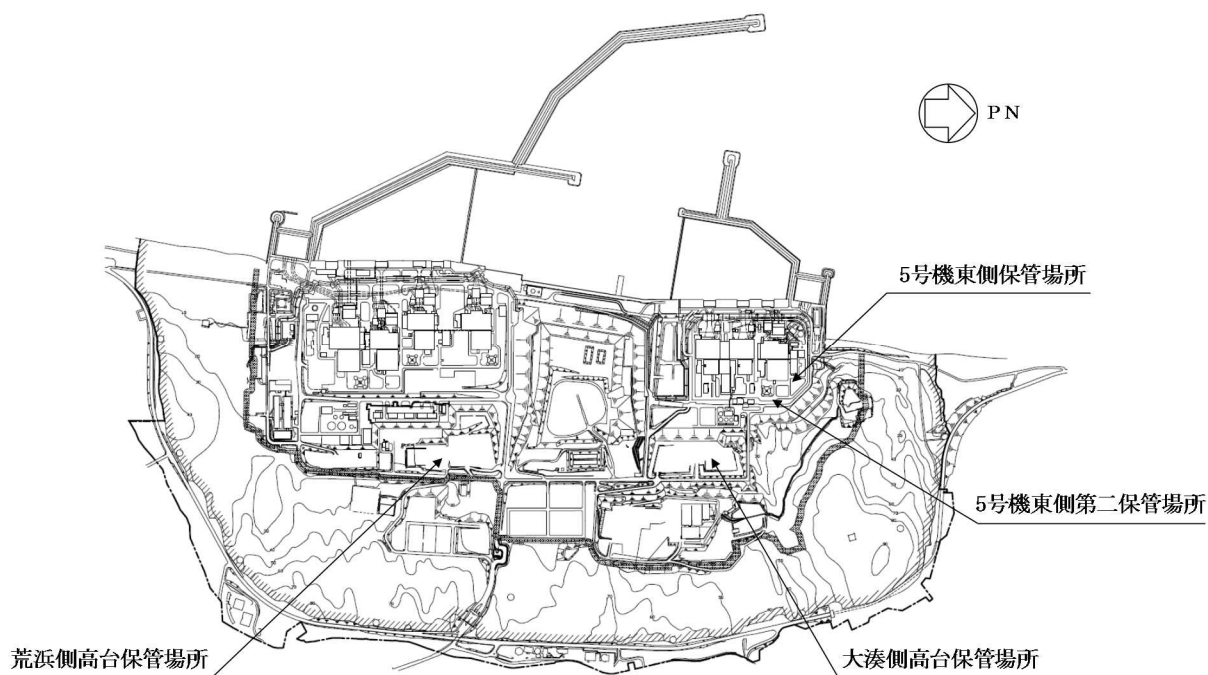
7号機及び6号機原子炉建屋周辺に設置される施設については、7号機及び6号機原子炉建屋位置でのボーリング調査結果に基づき、入力地震動の評価における解放基盤表面の位置をS波速度が700m/s以上となるT.M.S.L. -155mとする（参考資料図-1及び図-2参照）。また、5号機原子炉建屋周辺に設置される施設及び保管場所については、5号機原子炉建屋位置でのボーリング調査結果に基づき、入力地震動の評価における解放基盤表面の位置をS波速度が700m/s以上となるT.M.S.L. -134mの位置とする（参考資料図-3及び図-4参照）。なお、これらの入力地震動の評価における解放基盤表面の位置は、既工事計画書*における設定と同様である。

高台保管場所（荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所）は、5～7号機原子炉建屋から離れた場所に配置することから、各高台保管場所位置で実施したボーリング調査結果に基づき、入力地震動の評価における解放基盤表面の位置をS波速度が700m/s以上となる硬質地盤の位置とする。なお、高台保管場所の入力地震動の評価における解放基盤表面の設定については、KK7補足-028-9（参考5）「高台保管場所における入力地震動について」に示す。

注記*：総文発官3第167号平成3年5月17日付け 柏崎刈羽原子力発電所第7号機『工事計画認可申請書』



(施設配置図)



(保管場所配置図)

図-2 地震応答解析を実施する施設及び保管場所の配置図

表-2 各施設及び保管場所の入力地震動評価における解放基盤表面の位置

施設及び保管場所		解放基盤表面の位置	
		当工事計画書	(参考) 既工事計画書
7号機 周辺施設	原子炉建屋	T. M. S. L. -155m	T. M. S. L. -155m
	大物搬入建屋		-
	タービン建屋		T. M. S. L. -155m
	格納容器圧力逃がし装置基礎		-
	海水貯留堰		-
	スクリーン室		T. M. S. L. -155m
	取水路		T. M. S. L. -155m
	補機冷却用海水取水路		T. M. S. L. -155m
	軽油タンク基礎		T. M. S. L. -155m
	燃料移送系配管ダクト		-
	第一ガスタービン発電機基礎		-
	第一ガスタービン発電機用燃料 タンク基礎		-
6,7号機 周辺施設	コントロール建屋	T. M. S. L. -155m	T. M. S. L. -155m
	廃棄物処理建屋		-
	サービス建屋		-
6号機 周辺施設	海水貯留堰	T. M. S. L. -155m	-
	スクリーン室		T. M. S. L. -155m
	取水路		T. M. S. L. -155m
	軽油タンク基礎		T. M. S. L. -155m
5号機 周辺施設及び 保管場所	原子炉建屋（緊急時対策所）	T. M. S. L. -134m	T. M. S. L. -134m
	東側保管場所		-
	東側第二保管場所		-

3.2 地震観測記録に基づく検討

(1) 検討概要

2007年新潟県中越沖地震（以下「中越沖地震」という。）では、各号機の原子炉建屋基礎版上において地震観測記録が得られている。中越沖地震は敷地において最も大きな最大加速度値が観測された地震であることから、観測記録の特徴を分析するとともに、原子炉建屋基礎版上の観測記録から解放基盤波の推定を行っており、その検討は「基準地震動のまとめ資料」や土方ほか(2010)⁽¹⁾においてまとめられている。

ここでは、図-3に示すように5～7号機の原子炉建屋基礎版上で得られた中越沖地震の観測記録から、5号機原子炉建屋位置でのボーリング調査結果に基づきS波速度が700m/s以上となるT.M.S.L. -134mにおいて推定された解放基盤波と、6,7号機原子炉建屋位置でのボーリング調査結果に基づきS波速度が700m/s以上となるT.M.S.L. -155mにおいて推定された解放基盤波についての検討を行う。中越沖地震の観測記録及びそれに基づき推定された解放基盤波の時刻歴波形には特徴的な3つのフェーズが見られ、芝(2008)⁽²⁾により中越沖地震の震源断層にはこれらのフェーズに対応する3つのアスペリティ（強震動生成域）があったことが明らかとなっている。推定された解放基盤波の検討においては、この3つのフェーズをより明瞭に確認することが可能な速度時刻歴波形を用い、特に、敷地南西側から到来し荒浜側と大湊側で顕著な差が見られた3番目のフェーズに着目して比較を行うことにより、5号機原子炉建屋位置でのT.M.S.L. -134mと6,7号機原子炉建屋位置でのT.M.S.L. -155mでは、地震動特性がおおむね等しいことを確認する。

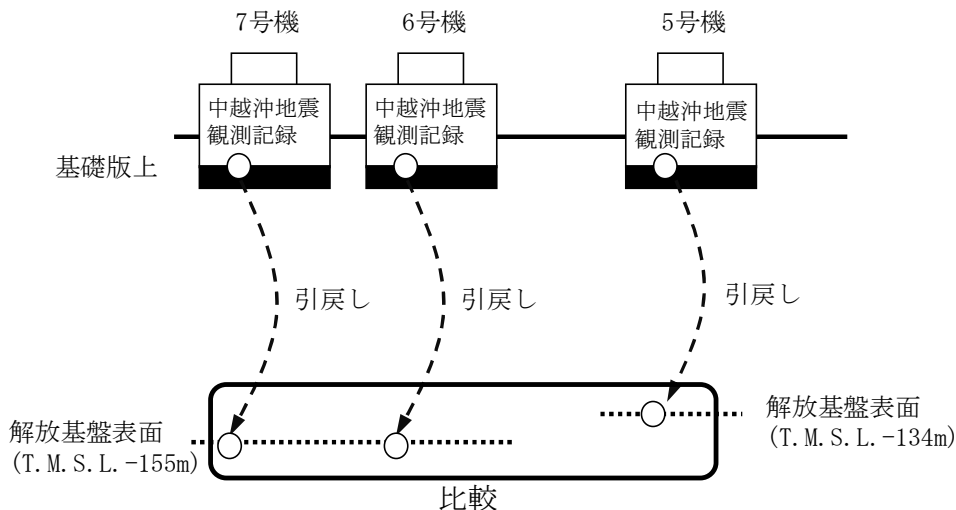


図-3 観測記録に基づく検討の概要

(参考文献)

- (1) 土方勝一郎, 西村功, 水谷浩之, 徳光亮一, 真下貢, 田中信也 (2010) : 2007年新潟県中越沖地震の地震動特性, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻第653号
- (2) 芝良昭(2008) : 2007年新潟県中越沖地震の震源過程の解明と広帯域強震動評価, 電力中央研究所報告, 研究報告 N08007

(2) 検討条件及び結果

① 解放基盤波の推定手法

土方ほか(2010)では、図-4 に示すフローに従い収束計算を行うことで、各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録から、中越沖地震の解放基盤波の推定を行っている。本検討においては、この手法に基づき推定された、5号機原子炉建屋基礎版上の観測記録による T.M.S.L. -134m の位置での解放基盤波、及び6,7号機原子炉建屋基礎版上の観測記録による T.M.S.L. -155m の位置での解放基盤波を用いる。

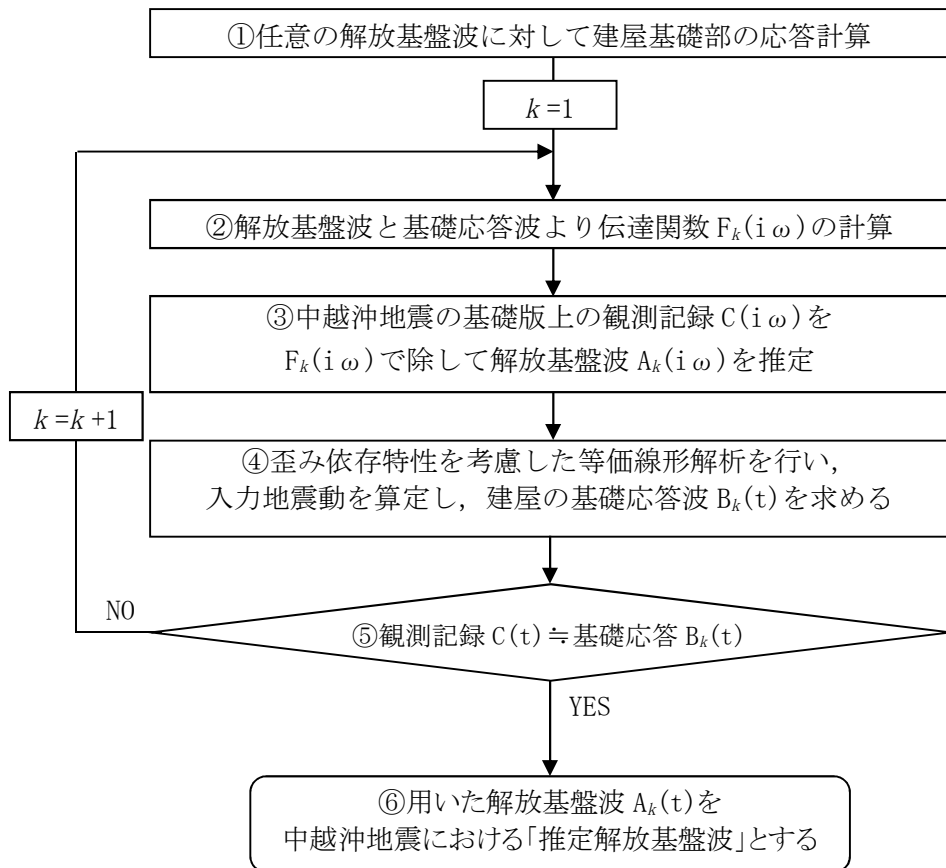
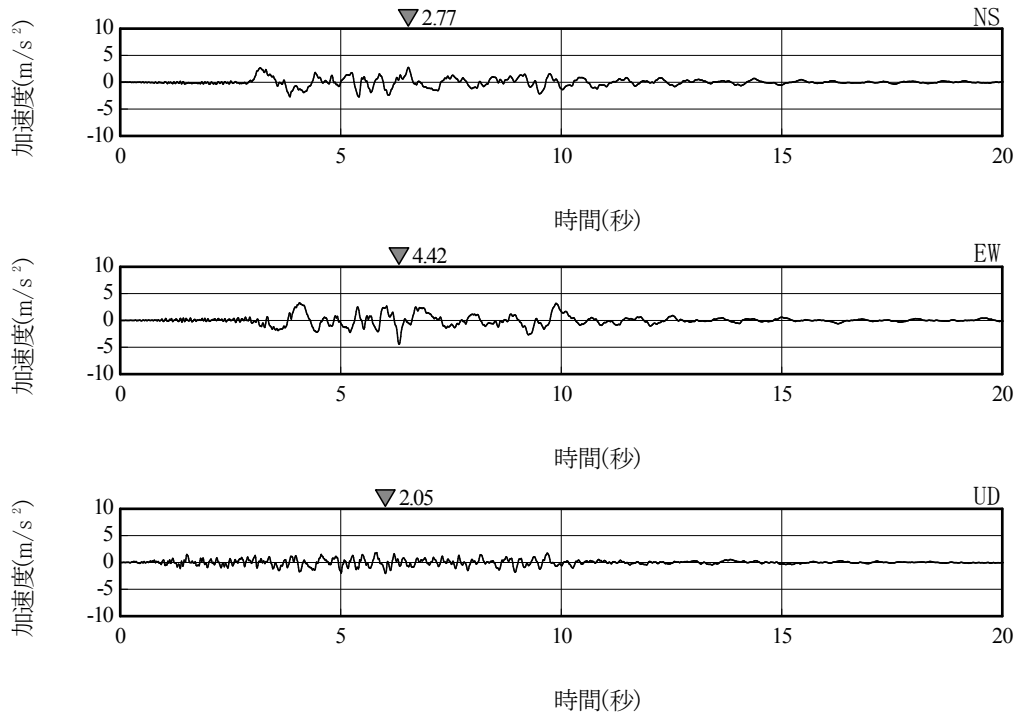


図-4 原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づく解放基盤波の推定フロー

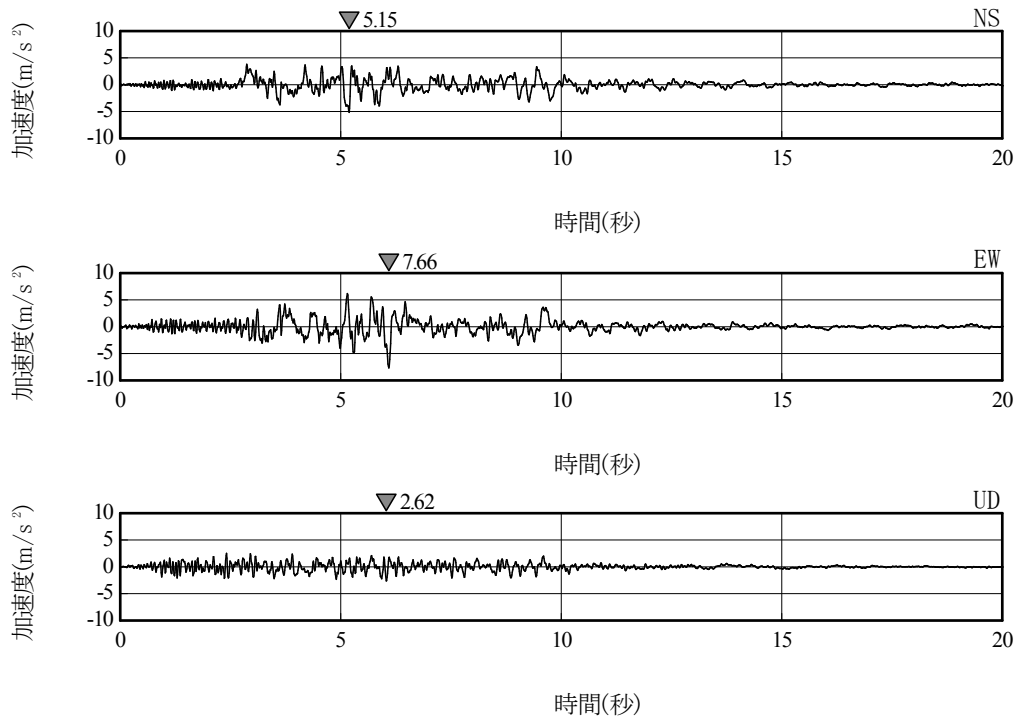
② 検討結果

中越沖地震において5~7号機の原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形及びそれに基づき推定された解放基盤波の加速度時刻歴波形を図-5にそれぞれ示す。また、解放基盤波の速度時刻歴波形について、5~7号機を比較して図-6に示す。図-6より、3つのフェーズが明瞭に認められ、5~7号機の傾向が一致していること、時刻8秒~10秒の3番目のフェーズにおいて特に大きな振幅が観測されたEW方向についても5~7号機で地震動レベルに差が見られないことを確認した。

以上のことから、中越沖地震の観測記録に基づく大湊側の5号機原子炉建屋位置での T.M.S.L. -134m と6,7号機原子炉建屋位置での T.M.S.L. -155m における地震動特性はおおむね等しく、解放基盤表面としてそれぞれ適切な深度に設定していることを確認した。

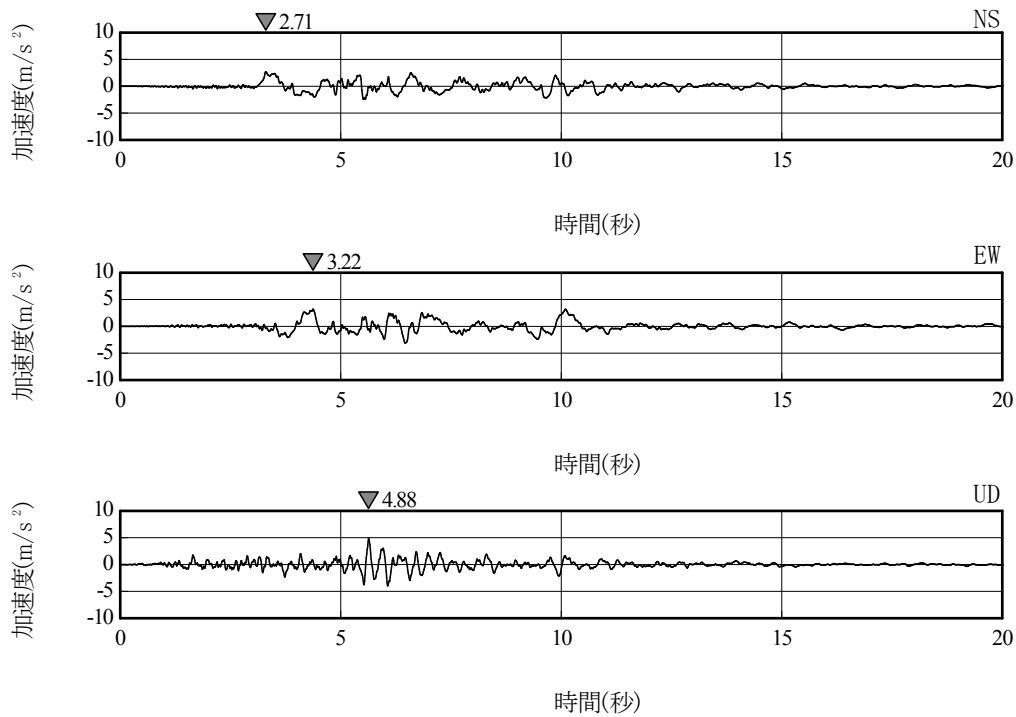


(a) 原子炉建屋基礎版上における観測記録

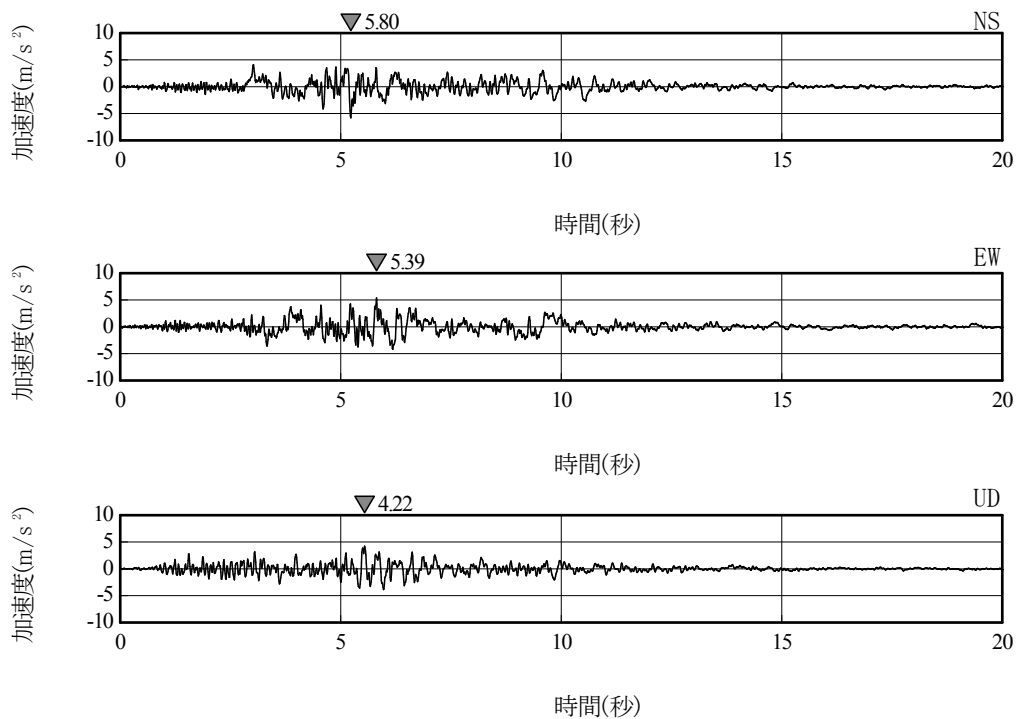


(b) 推定された解放基盤波 (T. M. S. L. - 134m)

図-5(1) 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形及び推定された解放基盤波の加速度時刻歴波形 (5号機)

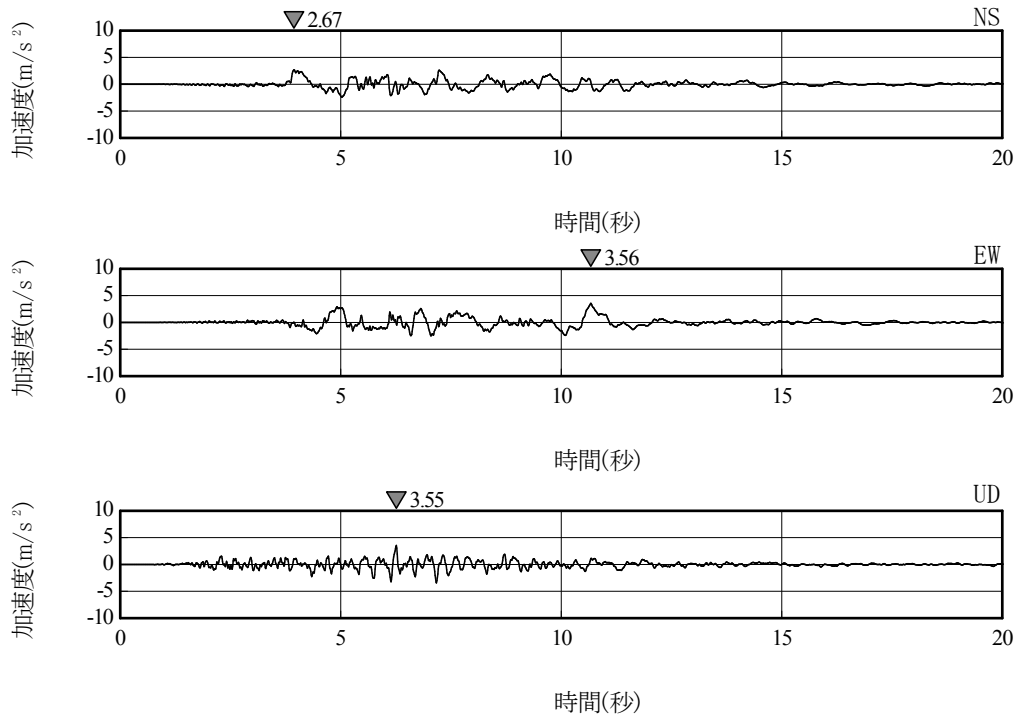


(a) 原子炉建屋基礎版上における観測記録

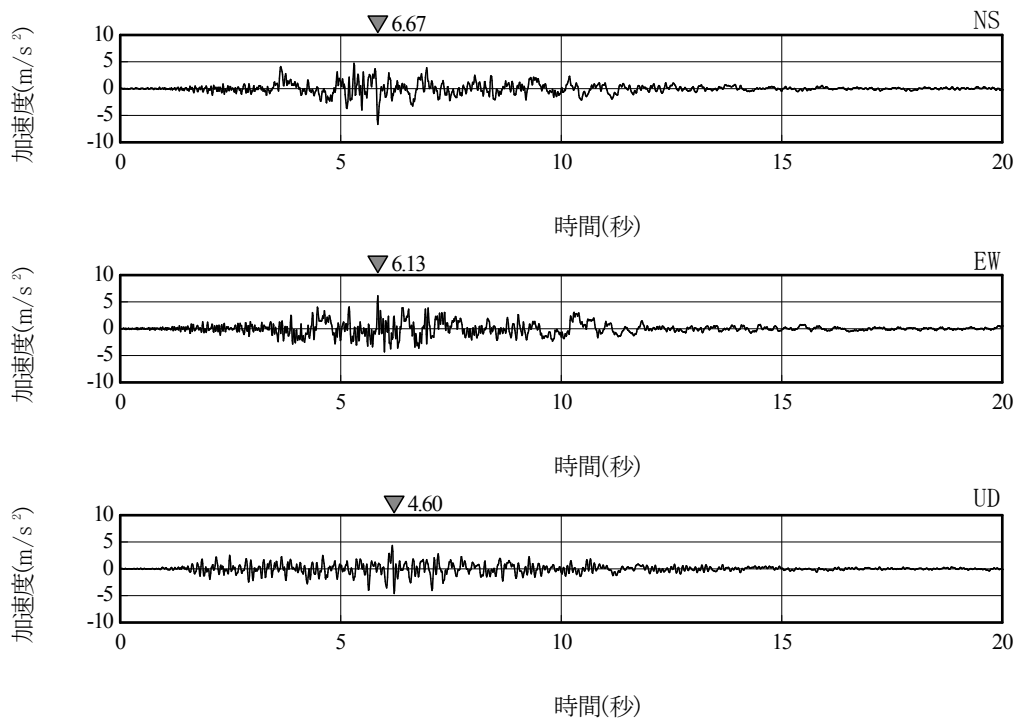


(b) 推定された解放基盤波 (T. M. S. L. - 155m)

図-5(2) 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形及び推定された解放基盤波の加速度時刻歴波形 (6号機)

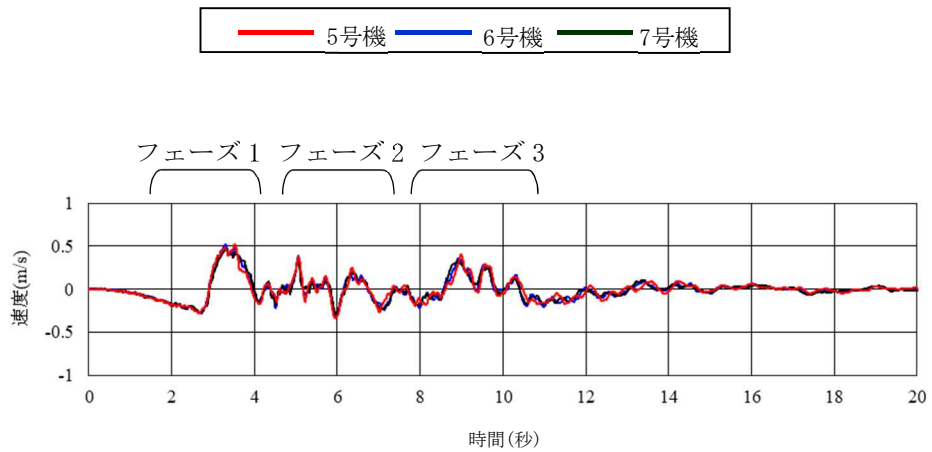


(a) 原子炉建屋基礎版上における観測記録

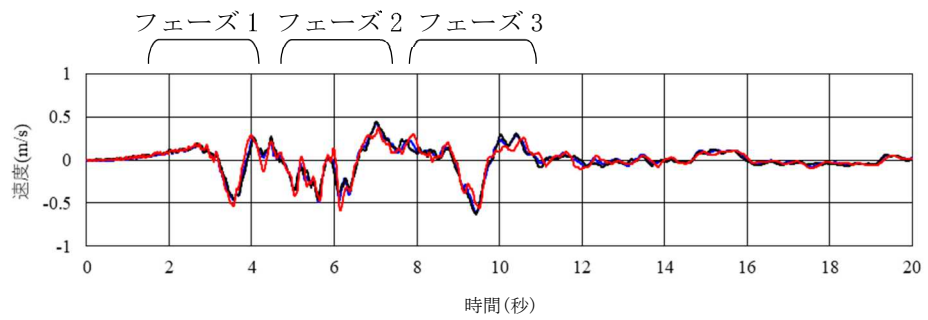


(b) 推定された解放基盤波 (T. M. S. L. - 155m)

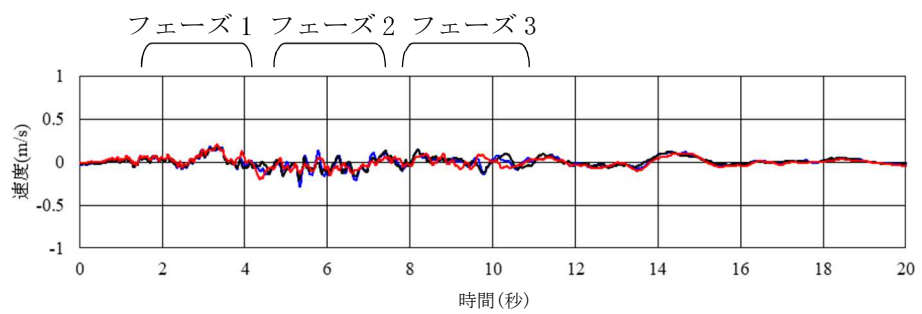
図-5(3) 原子炉建屋基礎版上で観測された加速度時刻歴波形及び推定された解放基盤波の加速度時刻歴波形 (7号機)



(a) NS 方向



(b) EW 方向



(c) UD 方向

図-6 推定された解放基盤波の速度時刻歴波形 (5~7号機)
(設置変更許可申請書より引用・追記)

3.3 解放基盤表面の深さに関する検討

(1) 検討概要

基準地震動の策定においては、5号機鉛直アレイ観測点での T.M.S.L. -134m の位置に解放基盤表面を設定している。一方、入力地震動評価における解放基盤表面の位置は、6/7号機原子炉建屋位置でのボーリング調査結果に基づき S 波速度が 700m/s 以上となる T.M.S.L. -155m としている。ここでは、入力地震動の評価における解放基盤表面の位置を T.M.S.L. -155m に設定することが妥当であることを示す。

図-7 に示すように、まず、5号機鉛直アレイ観測点の T.M.S.L. -134m で定義された基準地震動 $2E_5$ (以下「 $2E_5$ 」という。) を 5号機鉛直アレイ観測点における地盤モデルで、深部(T.M.S.L. -180m)まで引戻して深部の入射波(以下「 $2E_0$ 」という。)を算定する。地盤モデル下端の深度は、6/7号機地盤において T.M.S.L. -180m 付近までは $V_s=720\text{m/s}$ 程度の地層が連続的に存在していること(「基準地震動のまとめ資料」及び参考資料図-1及び図-2 参照)から、T.M.S.L. -180m と設定する。次に、この $2E_0$ を 6/7号機の地盤モデルを用いて引上げ解析を行い、T.M.S.L. -155m における露頭波(以下「 $2E_7$ 」という。)を算定する。最後に、 $2E_7$ と $2E_5$ を比較し、おおむね同等であることを確認する。

なお、1次元波動論による計算には、解析コード「SHAKE」を用いる。

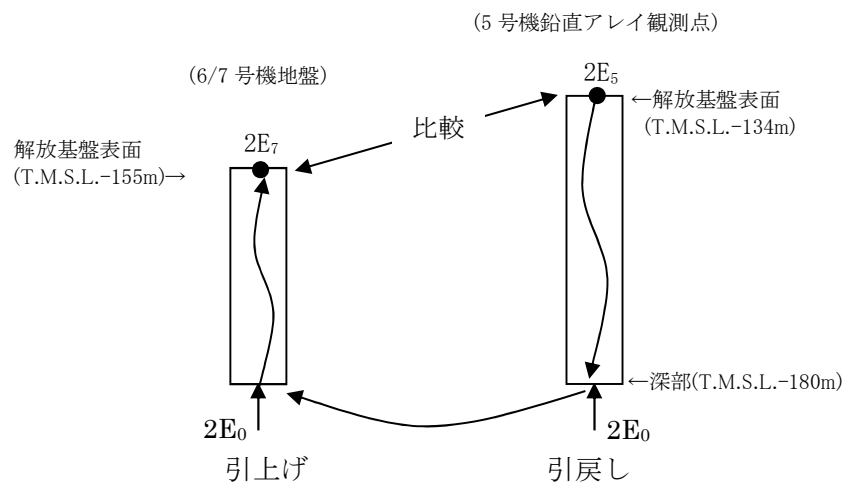


図-7 解放基盤表面の妥当性検討

(2) 検討条件及び結果

① 解析用地盤モデル

5号機鉛直アレイ観測点の地盤モデルは、基準地震動のまとめ資料を参考とし、表-3に示す物性値を用いる。6/7号機の地盤モデルは、設置変更許可申請書及びV-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、表-4に示す物性値を用いる。なお、減衰定数 h は、基準地震動のまとめ資料を参考に、本検討では保守的な減衰定数として、微小な「0.01」を一定減衰として与える。

表-3 5号機鉛直アレイ観測点の地盤モデル

標高 T. M. S. L. (m)	密度 (g/cm ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	減衰定数 h
-134				
-149	2.03	730	1800	0.01
-180	2.03	890	1900	0.01
-∞	2.03	890	1900	0.01

表-4 6/7号機の地盤モデル

標高 T. M. S. L. (m)	密度 (g/cm ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	減衰定数 h
-155				
-180	2.03	720	1900	0.01
-∞	2.03	720	1900	0.01

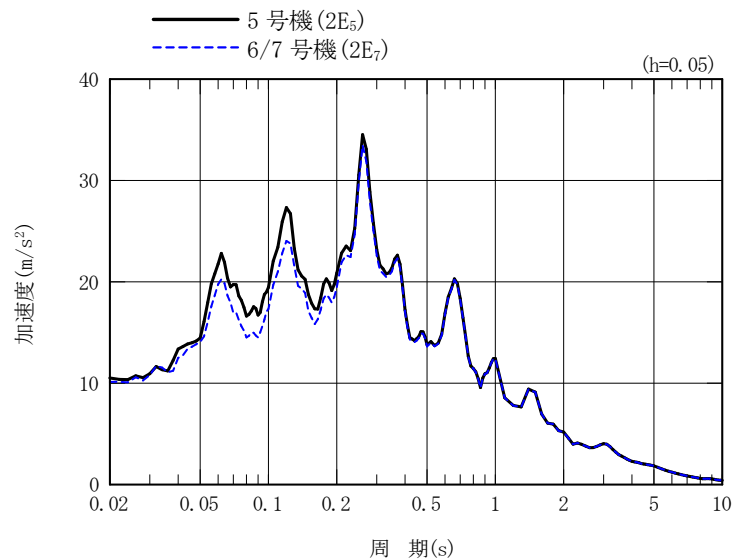
② 解析用地震動

解析で用いる地震動は、地盤モデルに基づく $2E_5$ に対する $2E_7$ の伝達関数は一義的に確定し、 $2E_5$ 及び $2E_7$ 両者の周波数特性の比率は地震動に依存しないことから、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 Ss-1 を代表波として影響検討を行う。

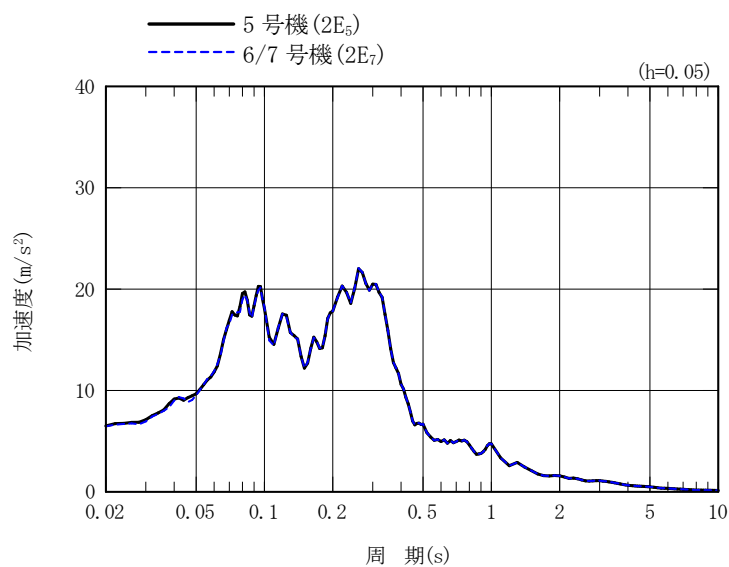
③ 検討結果

5号機鉛直アレイ観測点の T.M.S.L. -134m で定義された $2E_5$ を5号機鉛直アレイ観測点の地盤モデルで、T.M.S.L. -180m まで引き戻して $2E_0$ を算定し、この $2E_0$ を6/7号機の地盤モデルを用いて T.M.S.L. -155m における $2E_7$ を算定した。 $2E_7$ の加速度応答スペクトルと $2E_5$ の加速度応答スペクトルの比較を図-8 に示す。図-8 より、水平方向の周期 0.2s 以上と鉛直方向の全周期において、6/7号機の $2E_7$ は $2E_5$ とおおむね同等であり、水平方向の周期 0.2s 以下においては、 $2E_7$ は $2E_5$ より小さいことを確認した。

以上のことから、6/7号機の地盤モデルにおいて、T.M.S.L. -155m に解放基盤表面を設定することは、妥当である。



(水平)



(鉛直)

図-8 $2E_5$ 及び $2E_7$ の加速度応答スペクトル比較

4. 入力地震動の設定方法

4.1 建物・構築物

建物・構築物の地震応答解析における入力地震動は、図-9 に示すとおり、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 (設計用模擬地震波) 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、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、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。

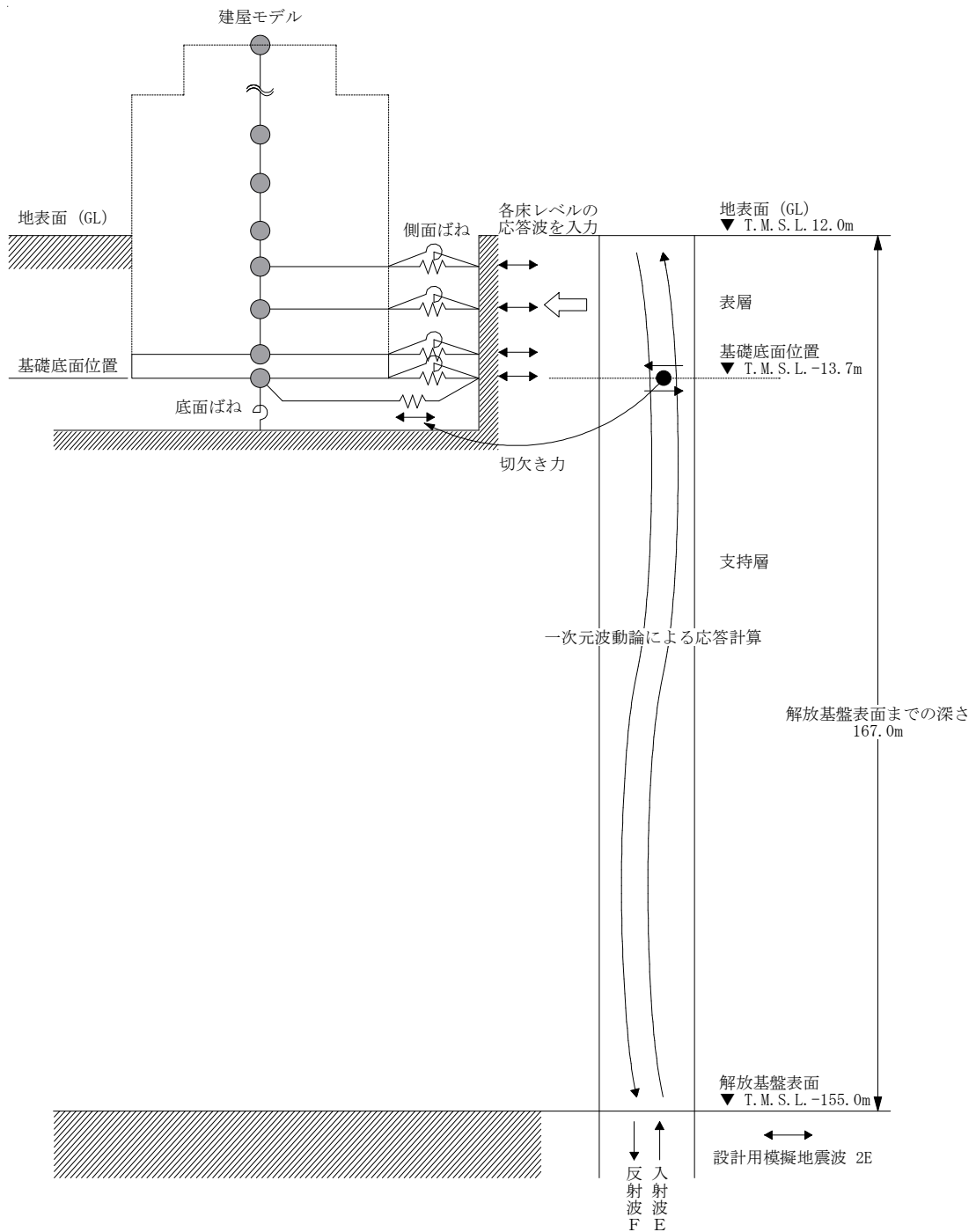


図-9 入力地震動設定の概念図 (建物・構築物：7号機原子炉建屋の例)

4.2 土木構造物

土木構造物の地震応答解析における入力地震動は、図-10 に示すとおり、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 （設計用模擬地震波）を基に、対象構造物の地盤条件を適切に考慮したうえで、必要に応じ2次元FEM解析又は1次元波動論により、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。入力地震動の設定における地盤モデルは、原子炉建屋と同様のものを用いる。

なお、土木構造物の地震応答解析では、解析モデル底面位置を T.M.S.L. -80m とする2次元FEM解析モデルを用いることで、西山層を含む表層地盤の不陸を適切に考慮する。

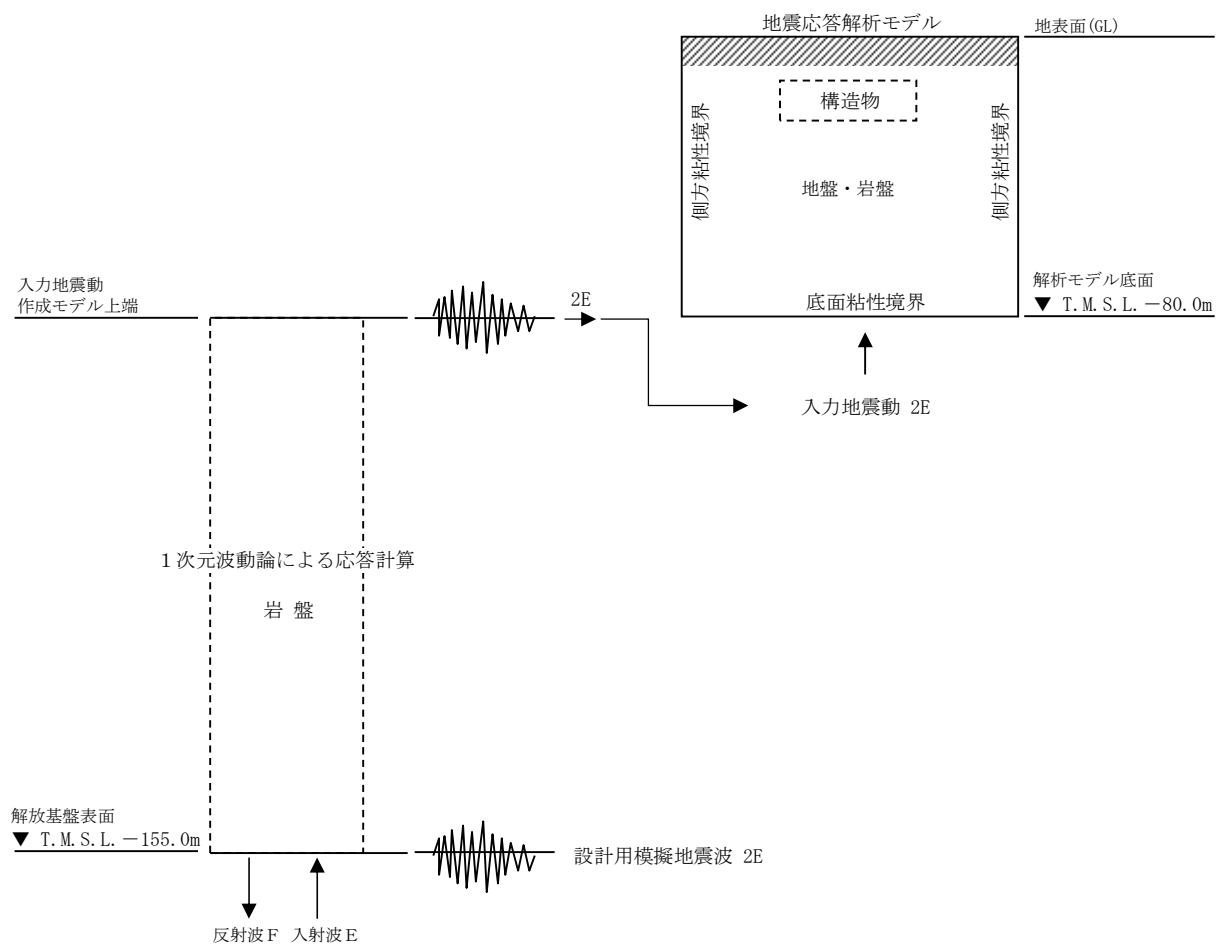


図-10 入力地震動設定の概念図（土木構造物：7号機の例）

4.3 保管場所

保管場所（東側保管場所及び東側第二保管場所）の地震応答解析における入力地震動は、図-11 に示すとおり、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s （設計用模擬地震波）を基に、対象保管場所の地盤条件を適切に考慮したうえで、1次元波動論により、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。入力地震動の設定における地盤モデルは、原子炉建屋と同様のものを用いる。

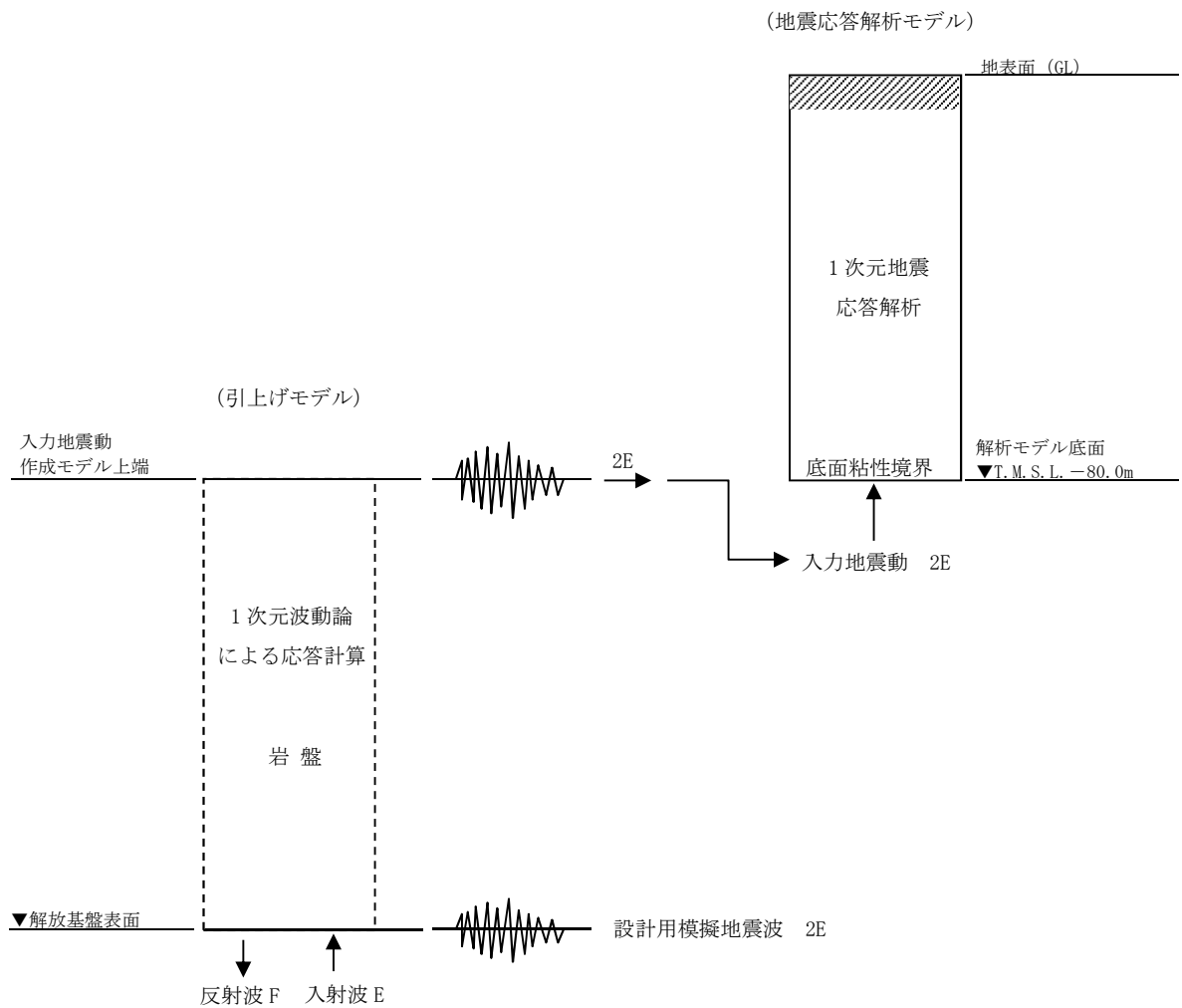


図-11 入力地震動設定の概念図（東側保管場所及び東側第二保管場所）

5. 入力地震動設定に関する影響検討

5.1 検討概要

原子炉建屋周辺に設置される施設及び保管場所の入力地震動の設定においては、各原子炉建屋位置にて設定された解放基盤表面位置（6/7号機：T.M.S.L. -155m、5号機：T.M.S.L. -134m）に基づき、入力地震動を設定している。

図-12に7号機原子炉建屋汀線直交方向の地質断面図を示す。図-12に示すとおり、西山層と椎谷層との地層境界は、全体としてEW方向に傾斜していることから、原子炉建屋周辺に設置される施設の解放基盤表面位置を仮定した地震応答解析を実施し、解放基盤表面の位置の違いが入力地震動の設定に及ぼす影響について検討する。

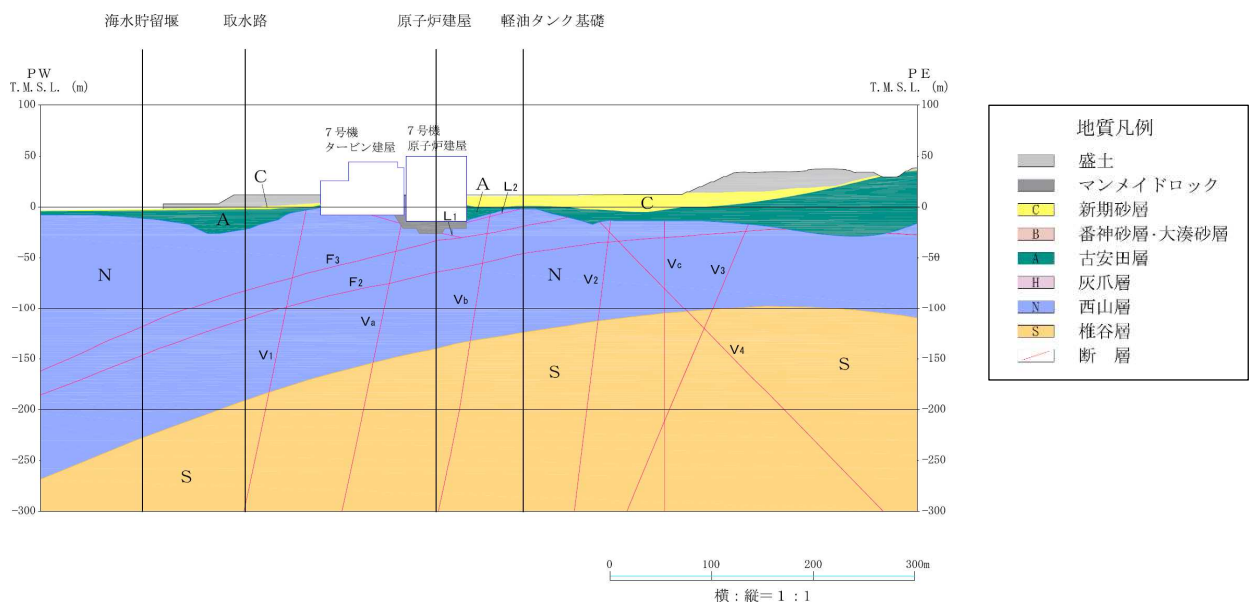


図-12 地質断面図（7号機原子炉建屋汀線直交方向）

5.2 検討条件及び結果

(1) 解析位置

解析位置は、7号機原子炉建屋位置及び図-12に示す7号機原子炉建屋汀線直交方向の地質断面図において、西山層と椎谷層との地層境界が原子炉建屋位置と比較して最も深くなる7号機海水貯留堰位置と最も浅くなる7号機軽油タンク基礎位置とする。

(2) 解析手法及びモデル

図-13に解析モデル図を示す。

7号機原子炉建屋位置の解析モデルは、7号機原子炉建屋位置における解放基盤表面(T.M.S.L. -155m)から、土木構造物の地震応答解析(2次元FEM解析)モデル底面位置のT.M.S.L. -80mまでを西山層と椎谷層の2層でモデル化した1次元モデルとし、T.M.S.L. -155mの位置に基準地震動 S_s を入力し、T.M.S.L. -80mまでの1次元波動論による引上げ計算を行う。

軽油タンク基礎位置及び海水貯留堰位置の解析モデルは、設置変更許可申請書(添付書類六)に記載した表-5に示す椎谷層の密度及び初期動せん断弾性係数に基づき、S波速度が700m/s以上となる位置に基準地震動 S_s の入力位置を設定する。

表-5に示すとおり、西山層及び椎谷層の密度及び初期せん断弾性係数は、標高に依存することから、標高に応じてS波速度は一定となる。

軽油タンク基礎位置のT.M.S.L. -155mでの椎谷層のS波速度は、図-14に示すとおり、表-5に示す椎谷層の密度及び初期動せん断弾性係数から算定すると約708m/sとなることから、原子炉建屋位置と同様にT.M.S.L. -155mの位置に基準地震動 S_s を入力し、T.M.S.L. -80mまでの1次元波動論による引上げ計算を行う。

一方、海水貯留堰位置の地質断面図に基づく西山層と椎谷層との地層境界のT.M.S.L. -228mでの西山層のS波速度は、図-14に示すとおり、表-5に示す西山層の密度及び初期動せん断弾性係数から算定すると約652m/sとなるが、T.M.S.L. -155m以深の椎谷層はS波速度が700m/s以上となることから、椎谷層上限面のT.M.S.L. -228mの位置に基準地震動 S_s を入力し、T.M.S.L. -80mまでの1次元波動論による引上げ計算を行う。

なお、1次元波動論による引上げ計算には、解析コード「SLOK」を用いる。

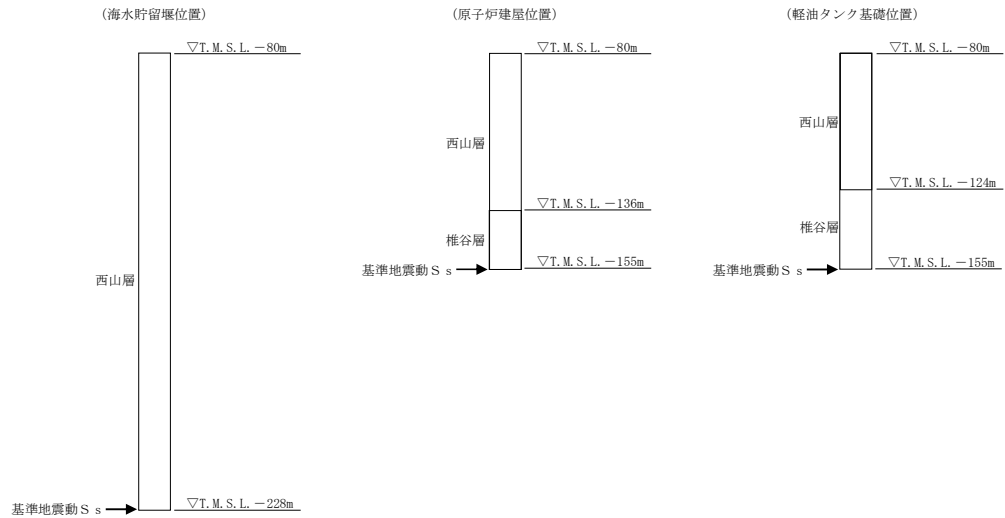


図-13 解析モデル図

初期動せん断弾性係数と密度及びS波速度の関係式は(式1)による。

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2 \quad (\text{式1})$$

ここで、 G_0 : 初期動せん断弾性係数
 ρ : 密度
 V_s : S波速度

○椎谷層のT.M.S.L. -155m位置でのS波速度の算定

(式1)の関係式より、表-5に示す椎谷層の密度及び初期動せん断弾性係数からT.M.S.L. -155mでのS波速度を算定すると約708m/sとなる。

$$V_s = \sqrt{G_0 / \rho} = \sqrt{\frac{\{-133 - 7.35 \times (-155)\} \times 1000000}{\{1.94 - 0.00044 \times (-155)\} \times 1000}} \doteq 708\text{m/s}$$

○西山層のT.M.S.L. -228m位置でのS波速度の算定

(式1)の関係式より、表-5に示す西山層の密度及び初期動せん断弾性係数からT.M.S.L. -228mでのS波速度を算定すると約652m/sとなる。

$$V_s = \sqrt{G_0 / \rho} = \sqrt{\frac{\{394 - 1.63 \times (-228)\} \times 1000000}{\{1.69 - 0.00048 \times (-228)\} \times 1000}} \doteq 652\text{m/s}$$

図-14 S波速度の算定

(3) 解析用物性値

解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した表-5 に示す西山層及び椎谷層の物性値を用いる。

表-5 解析用物性値

物性値		地質区分		
		西山層	椎谷層	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	$1.69 - 0.00048 \cdot Z$	$1.94 - 0.00044 \cdot Z$	
変形特性	動的変形特性	初期動せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$394 - 1.63 \cdot Z$	$-133 - 7.35 \cdot Z$
		動ポアソン比 ν_d	$0.45 + 0.00015 \cdot Z$	$0.47 + 0.00031 \cdot Z$
		動せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1 + 4.10 \gamma^{1.37})$	$1/(1 + 5.76 \gamma^{0.69})$
		減衰定数のひずみ依存特性 h (%) $\sim \gamma$	$25.0 \gamma^{0.94} + 0.7$	$\gamma / (0.065 \gamma + 0.004) + 0.7$

注1: Zは、T.M.S.L. (m)を示す。

注2: γ は、せん断ひずみ(%)を示す。

(4) 解析用地震動

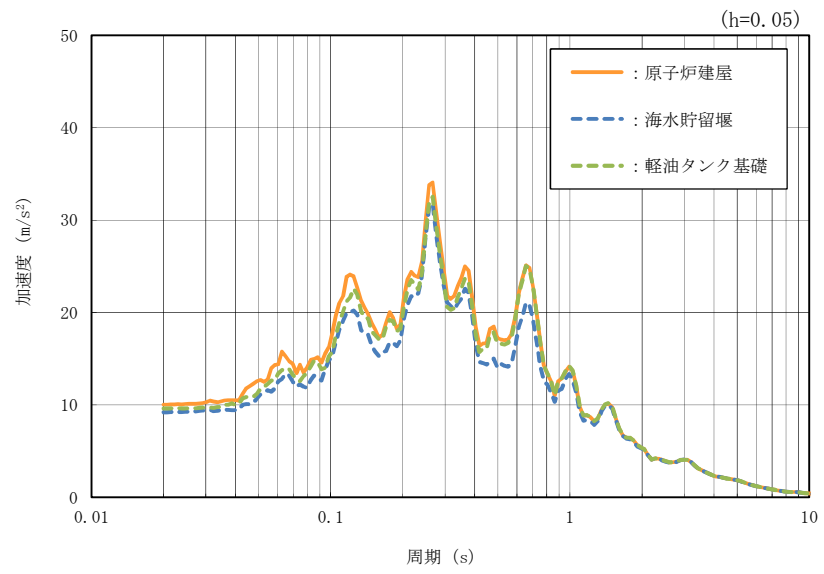
解析で用いる地震動は、各構造物位置での地盤モデルに基づく基準地震動 S_s に対する T.M.S.L. -80m における露頭波の伝達関数は一義的に確定し、基準地震動 S_s 及び T.M.S.L. -80m における露頭波両者の周波数特性の比率は地震動に依存しないことから、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 S_{s-1} を代表波として影響検討を行う。

(5) 検討結果

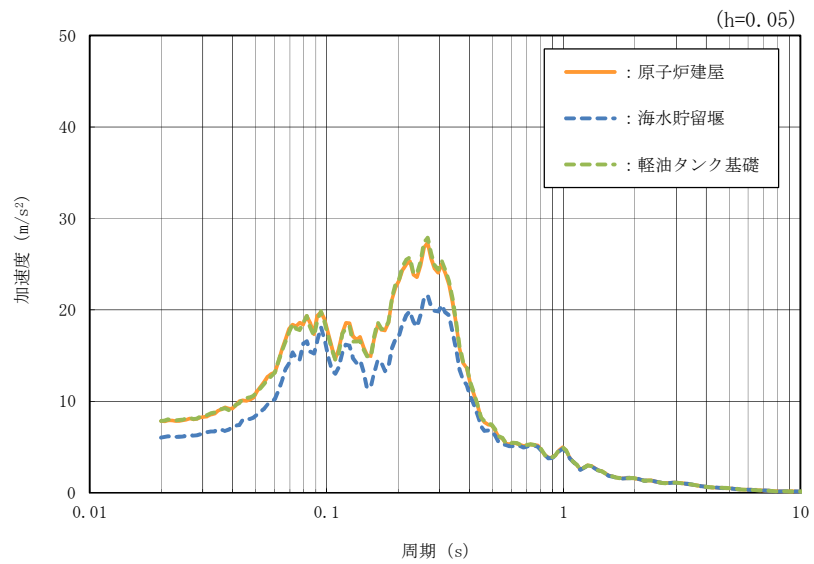
図-15 に 1 次元波動論による引上げ計算に基づく、T. M. S. L. -80m 位置での地震動の加速度応答スペクトルの比較結果を示す。

図-15 に示すとおり、7 号機原子炉建屋位置と海水貯留堰位置の加速度応答スペクトルを比較すると、水平方向及び鉛直方向ともに、周期 1s 以上において海水貯留堰位置の応答は、原子炉建屋位置の応答とおおむね同等であり、周期 1s 以下においては、海水貯留堰位置の応答は、原子炉建屋位置の応答より小さい。また、7 号機原子炉建屋位置と軽油タンク基礎位置の加速度応答スペクトルを比較すると、水平方向の周期 0.5s 以上と鉛直方向の全周期において、軽油タンク基礎位置の応答は、原子炉建屋位置の応答とおおむね同等であり、水平方向の周期 0.5s 以下においては、軽油タンク基礎位置の応答は、原子炉建屋位置の応答より小さい。

以上のことから、原子炉建屋周辺に設置される施設及び保管場所の入力地震動の設定において、各原子炉建屋位置にて設定された解放基盤表面位置及び地盤モデルに基づき、2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、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ことは妥当である。



(水平)



(鉛直)

図-15 加速度応答スペクトルの比較

「入力地震動について」の参考資料

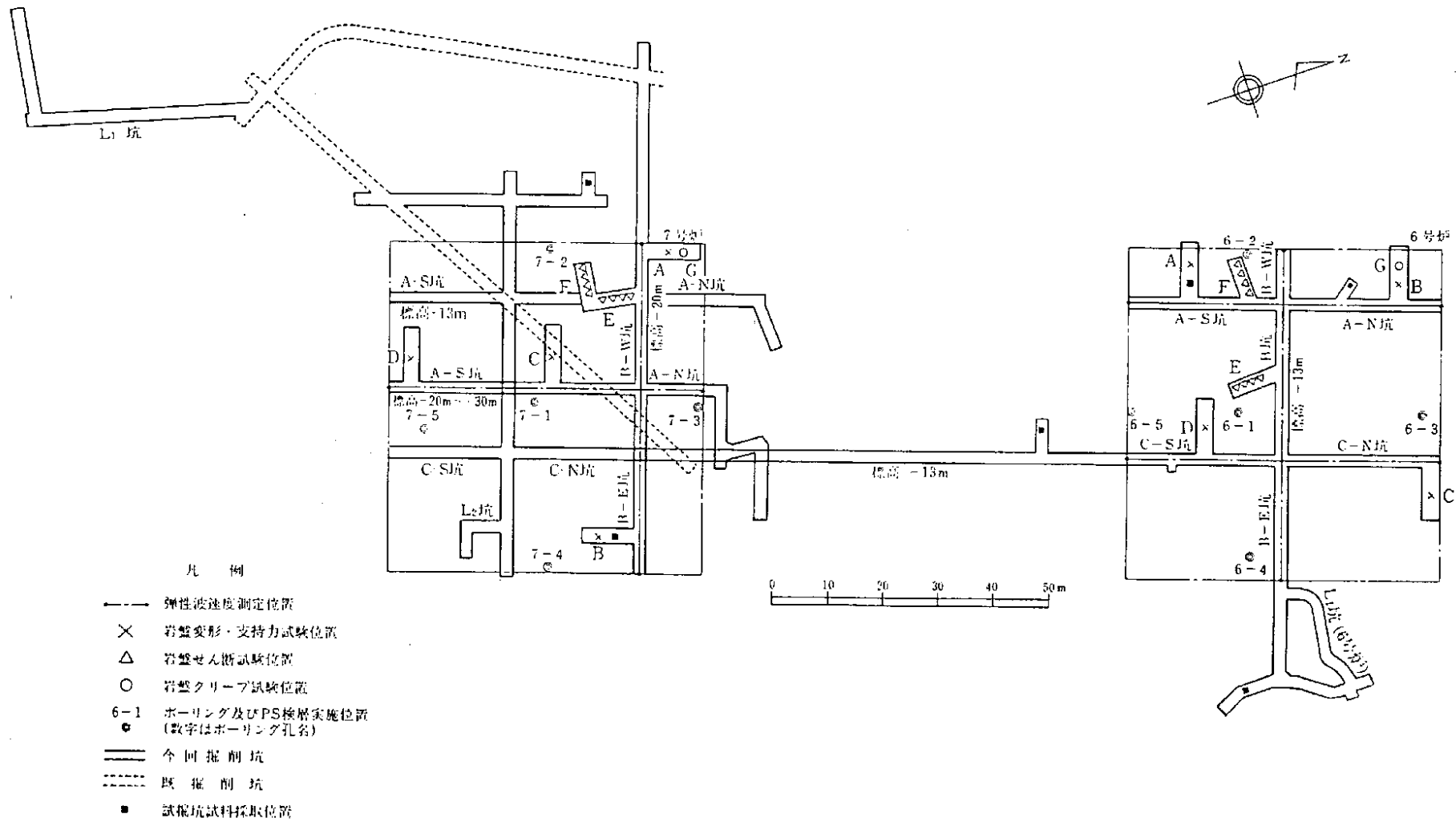
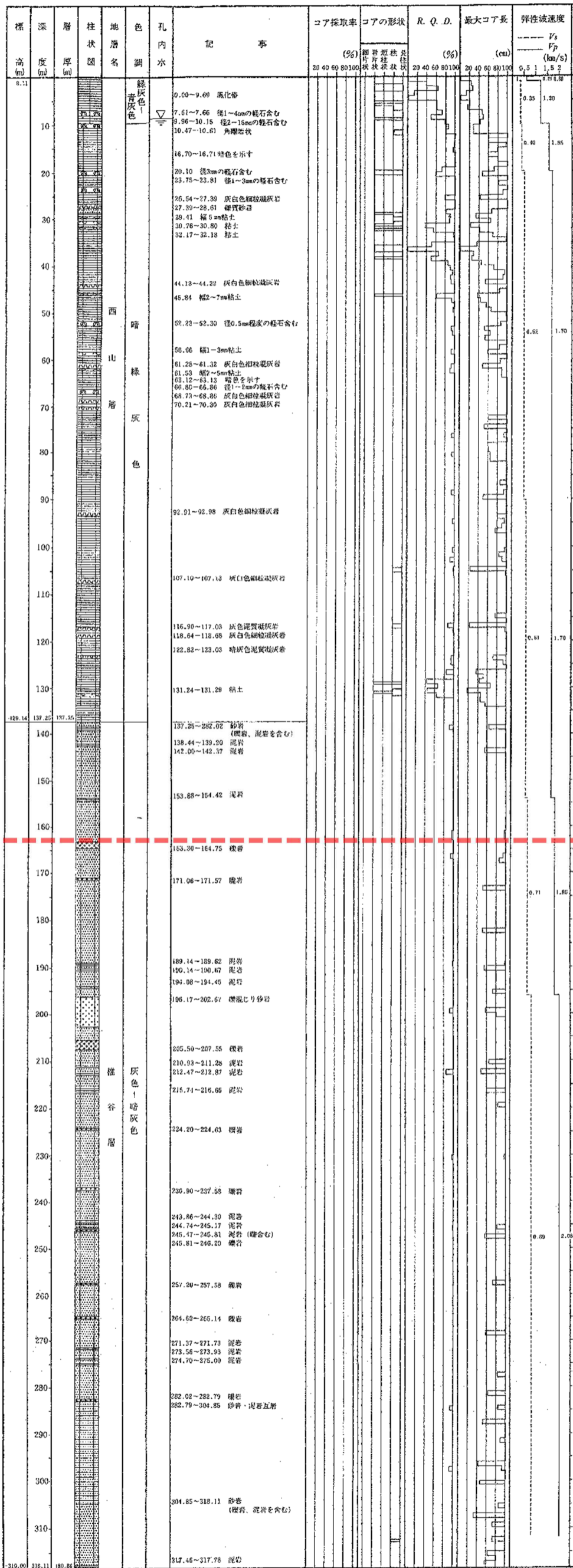


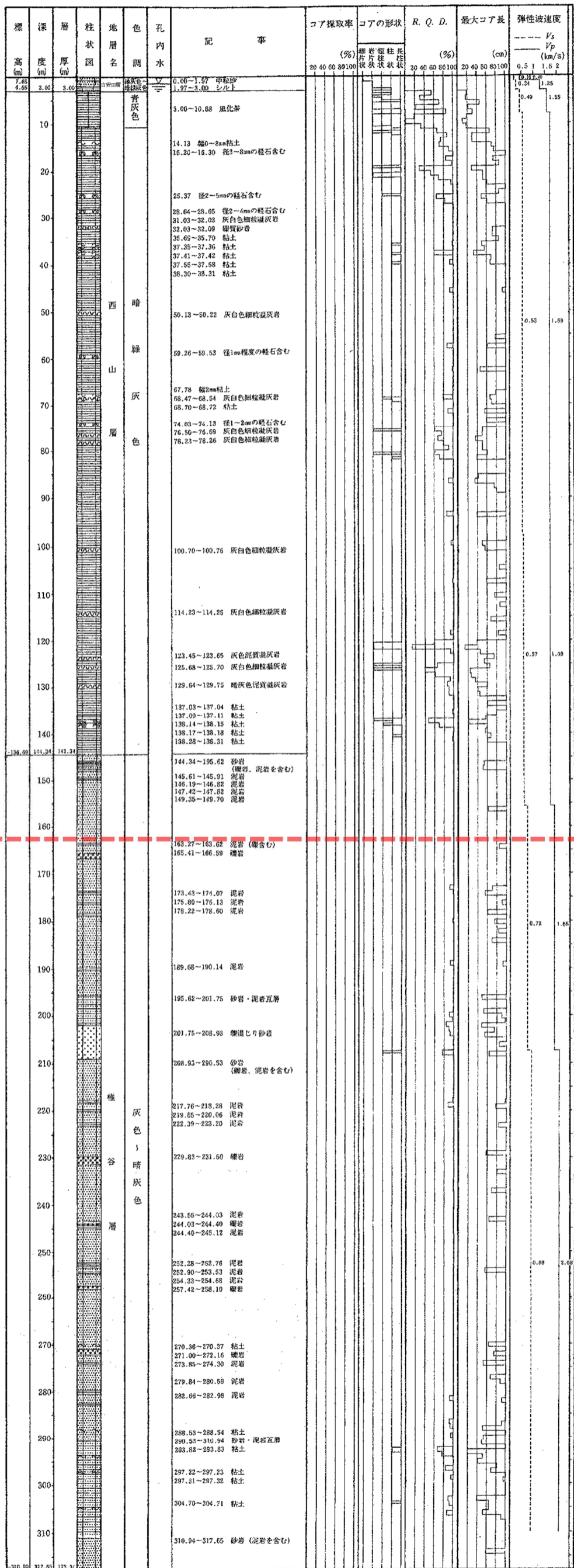
図-1 6号機及び7号機試掘坑及び坑内試験位置図



柱状図凡例

- | | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

図-2(1) 6号機及び7号機の地質柱状図(6-1孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

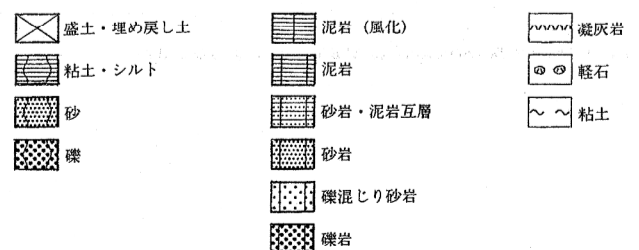
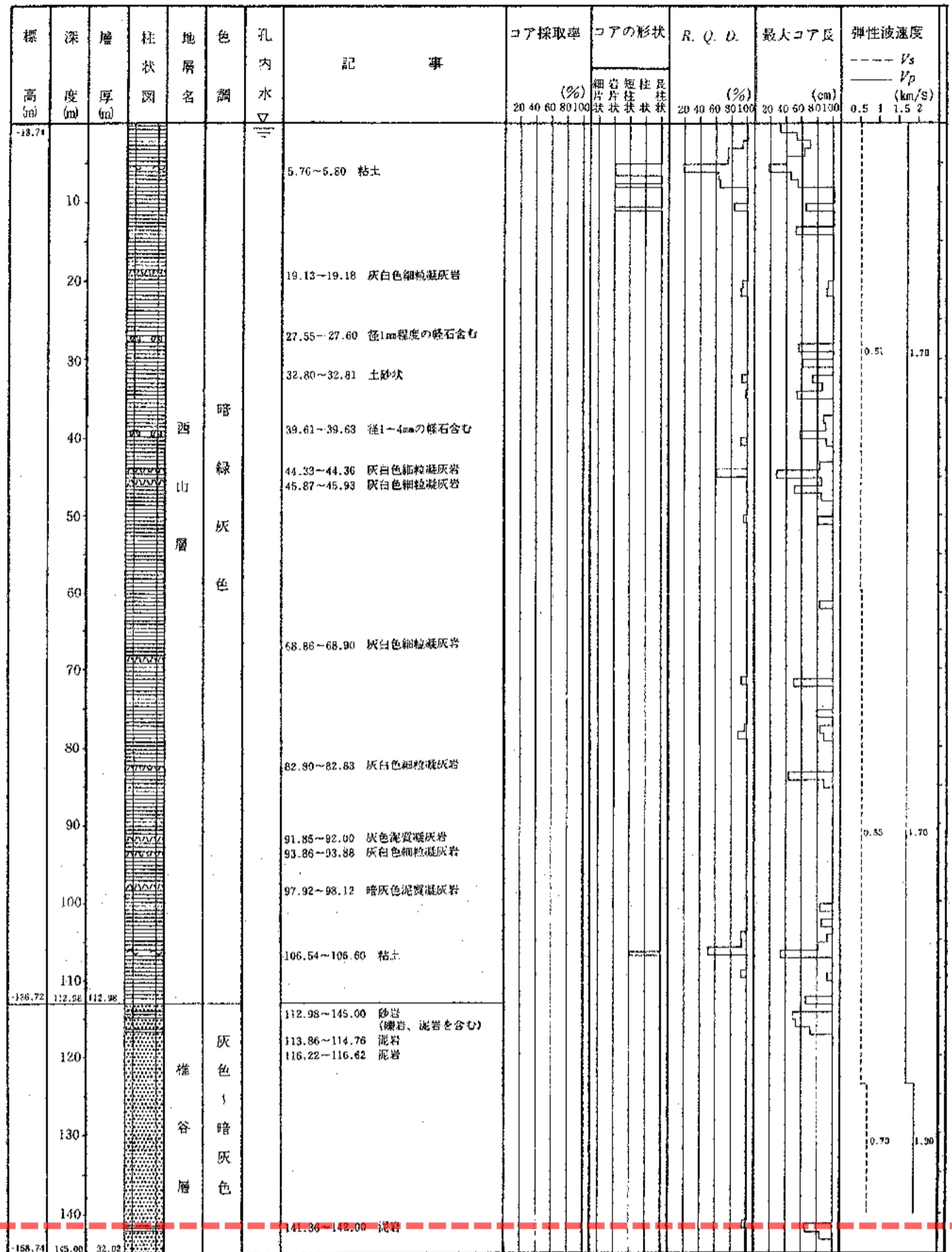


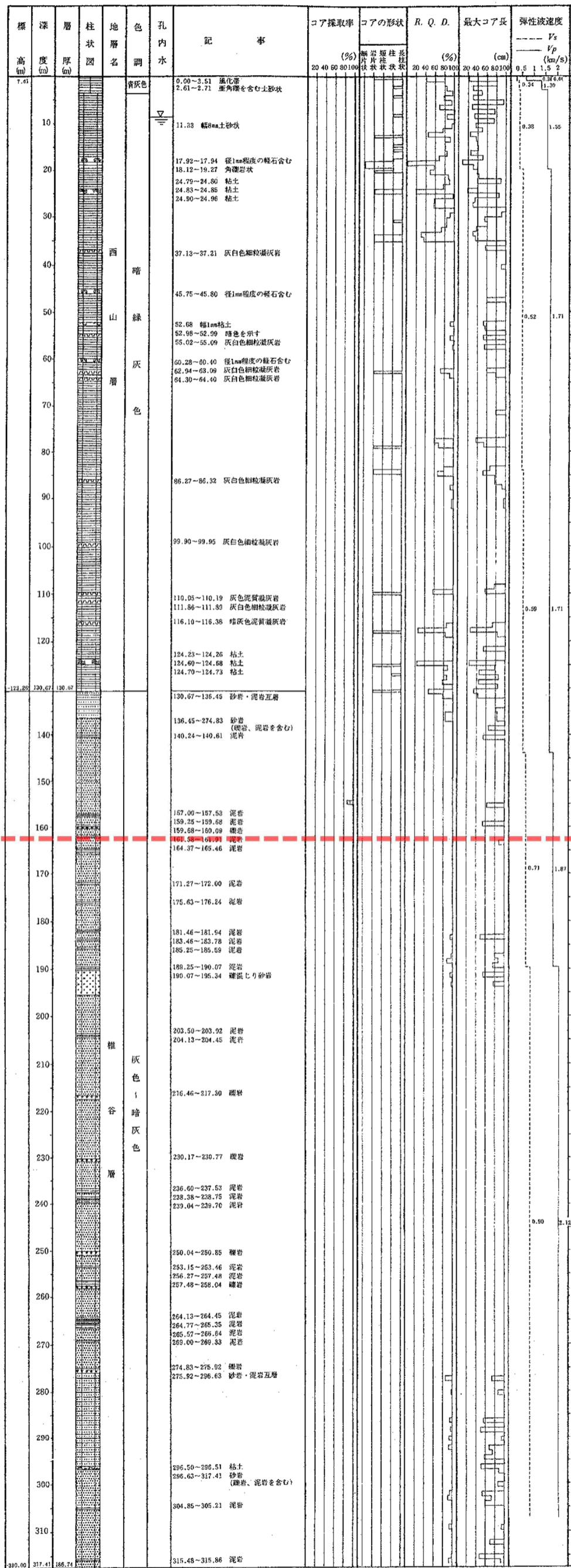
図-2(2) 6号機及び7号機の地質柱状図(6-2孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

- | | | | | | |
|--|----------|--|---------|--|-----|
| | 盛土・埋め戻し土 | | 泥岩 (風化) | | 凝灰岩 |
| | 粘土・シルト | | 泥岩 | | 軽石 |
| | 砂 | | 砂岩・泥岩互層 | | 粘土 |
| | 礫 | | 砂岩 | | |
| | | | 礫混じり砂岩 | | |
| | | | 泥岩 | | |

図-2(3) 6号機及び7号機の地質柱状図(6-3孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例














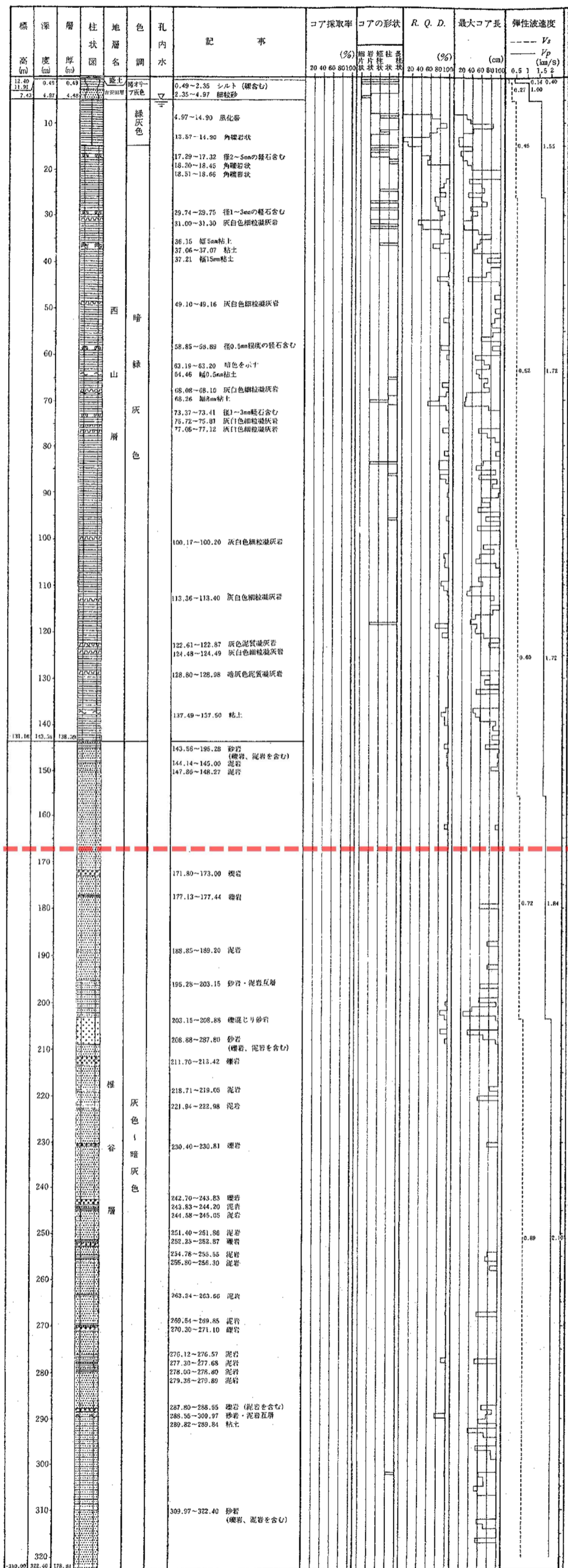
-  盛土・埋め戻し土
-  泥岩 (風化)
-  凝灰岩
-  粘土・シルト
-  泥岩
-  軽石
-  砂
-  砂岩・泥岩互層
-  粘土
-  礫
-  砂岩
-  礫混じり砂岩
-  礫岩

図-2(4) 6号機及び7号機の地質柱状図(6-4孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

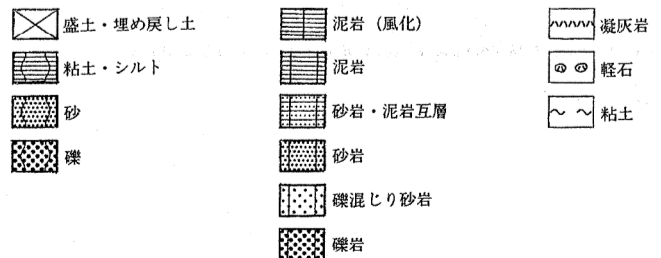
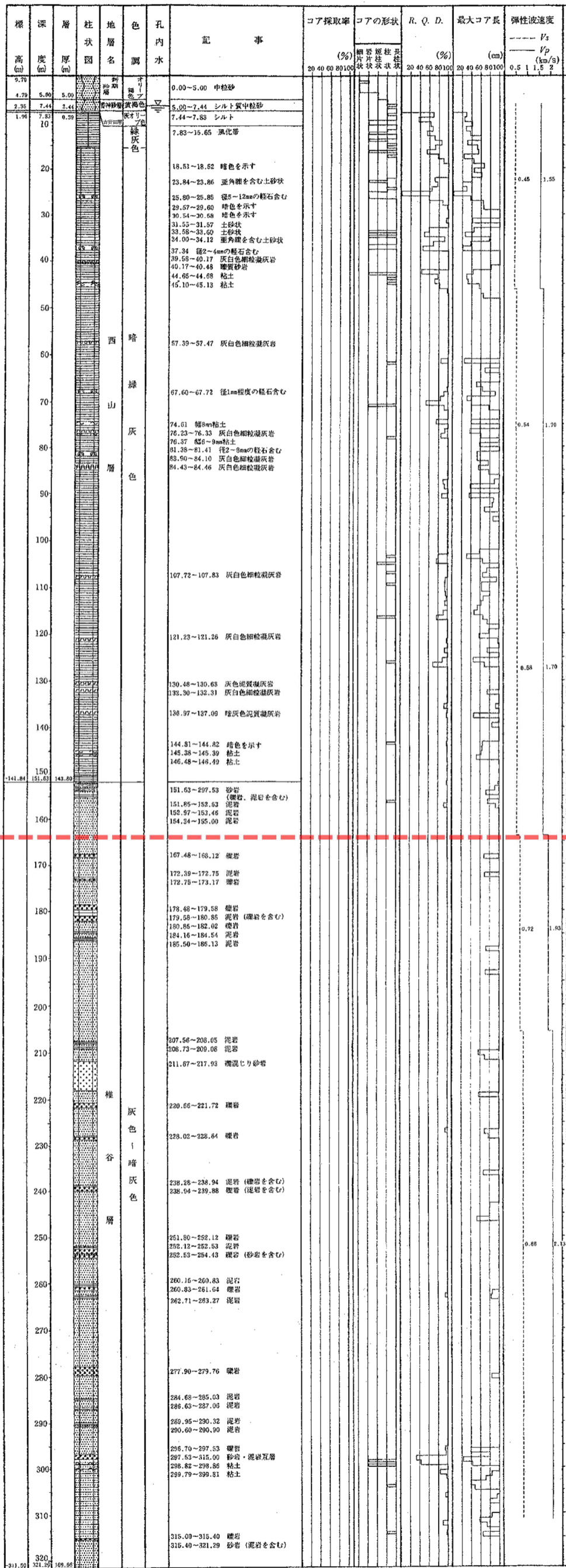


図-2(5) 6号機及び7号機の地質柱状図(6-5孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例














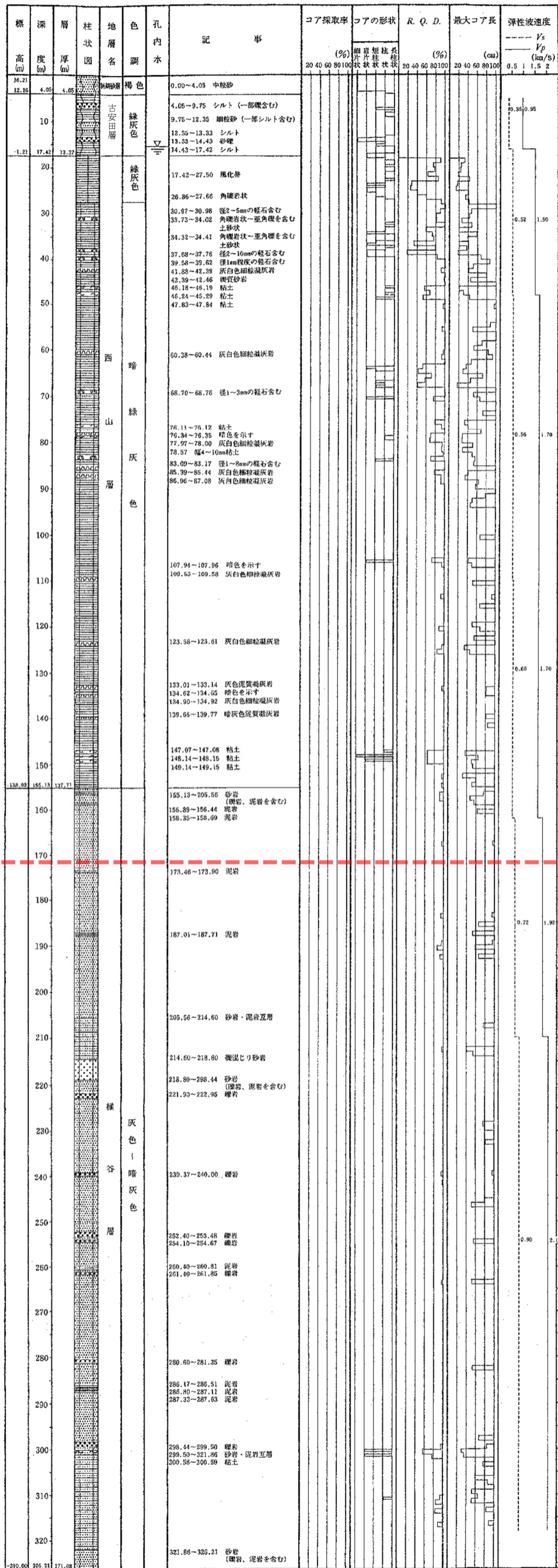
-  盛土・埋め戻し土
-  泥岩 (風化)
-  凝灰岩
-  粘土・シルト
-  泥岩
-  軽石
-  砂
-  砂岩・泥岩互層
-  粘土
-  礫
-  砂岩
-  礫混じり砂岩
-  礫岩

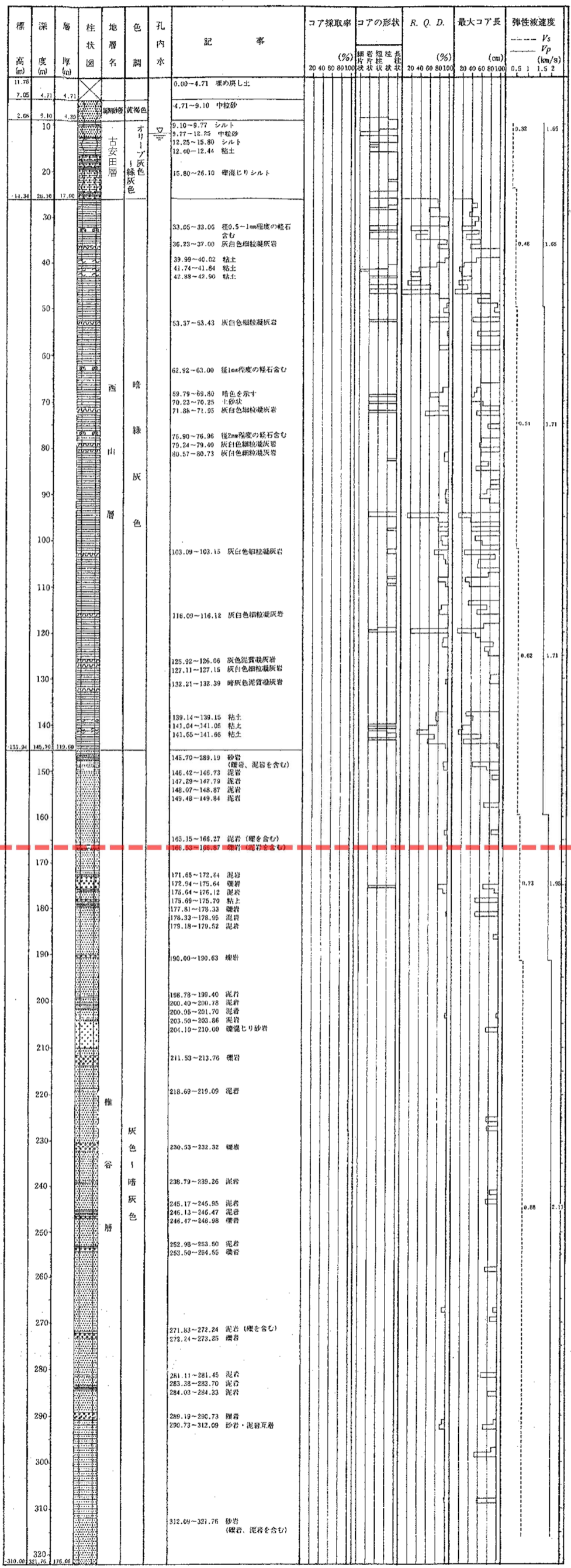
図-2(6) 6号機及び7号機の地質柱状図(7-1孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

- 盛土・埋め戻し土
- 泥岩 (風化)
- 凝灰岩
- 粘土・シルト
- 泥岩
- 砂岩
- 軽石
- 砂岩・泥岩互層
- 砂岩
- 粘土
- 礫
- 砂岩
- 礫混じり砂岩
- 礫岩

図-2(8) 6号機及び7号機の地質柱状図(7-3孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

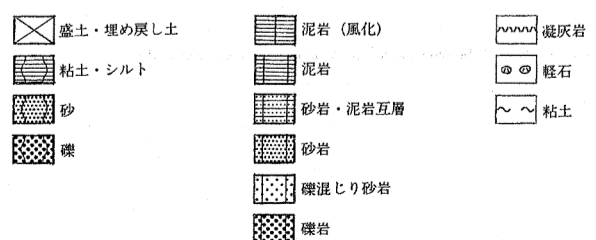
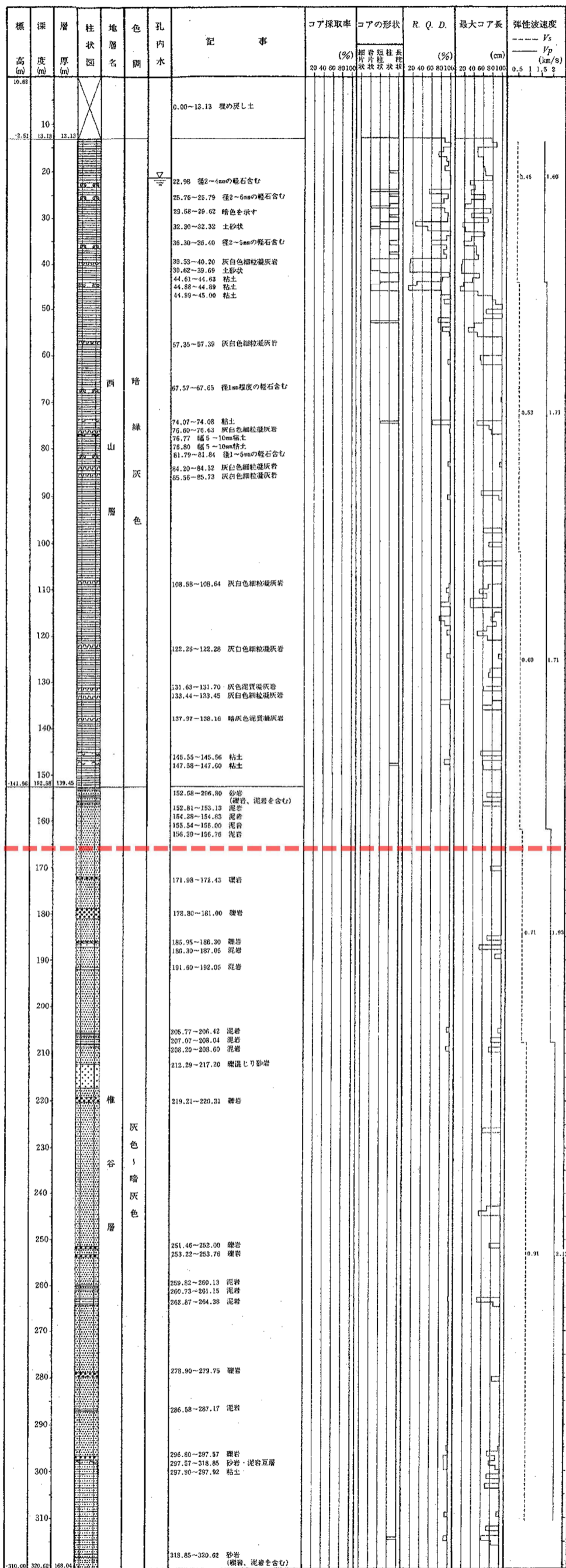


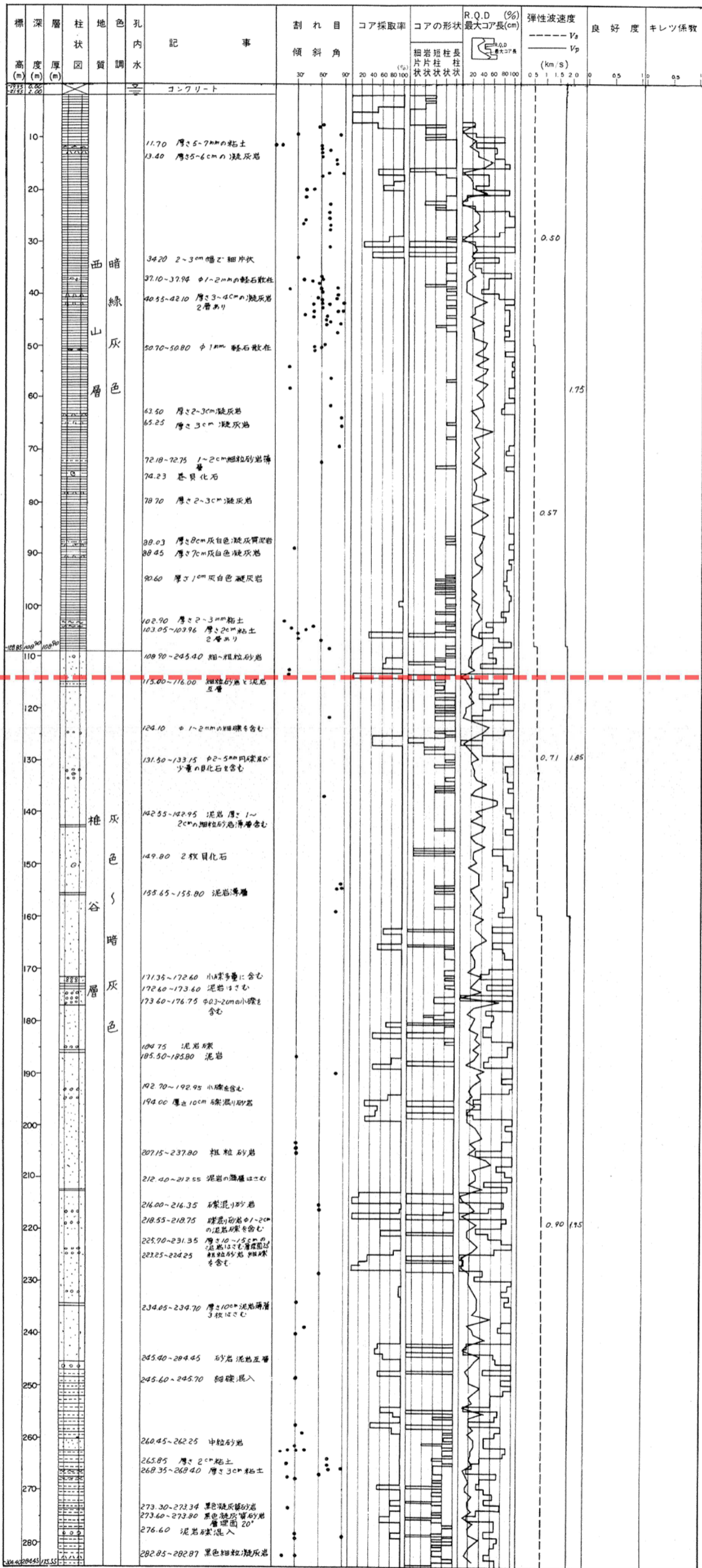
図-2(9) 6号機及び7号機の地質柱状図(7-4孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例

- 盛土・埋め戻し土
- 泥岩 (風化)
- 凝灰岩
- 粘土・シルト
- 泥岩
- 砂岩・泥岩互層
- 砂岩
- 砂岩 (軽石)
- 砂
- 砂岩・泥岩互層
- 粘土
- 礫
- 礫混じり砂岩
- 礫岩

図-2(10) 6号機及び7号機の地質柱状図(7-5孔) ※図中赤破線は標高-155mの位置を示す。



柱状図凡例
















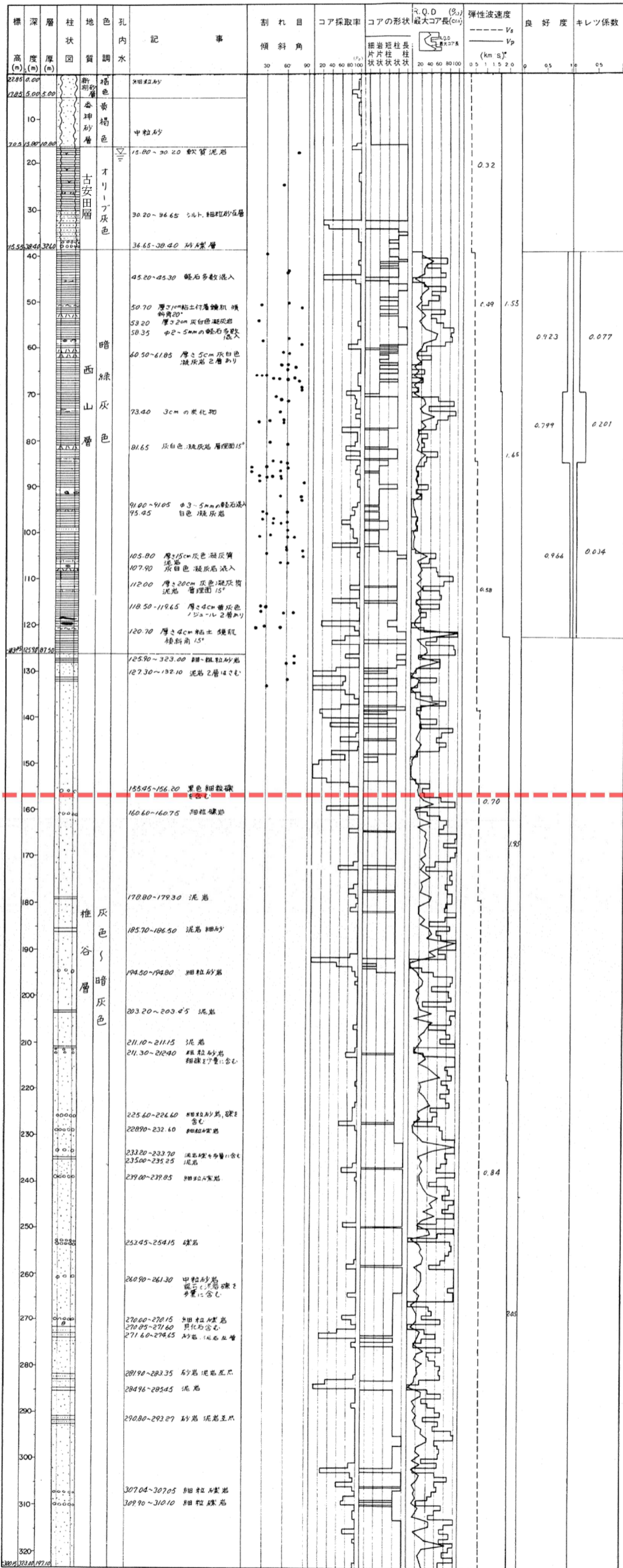
-  盛土・埋戻し土
-  凝灰岩 (風化)
-  凝灰岩
-  粘土・シルト
-  泥岩
-  砂岩・泥岩互層
-  砂
-  砂岩
-  粘土
-  礫
-  砂岩
-  凝灰岩
-  凝灰岩
-  凝灰岩
-  凝灰岩

図-4(1) 5号機の地質柱状図(5-1孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。



柱状図凡例









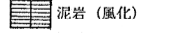

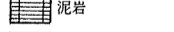

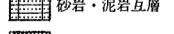

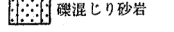

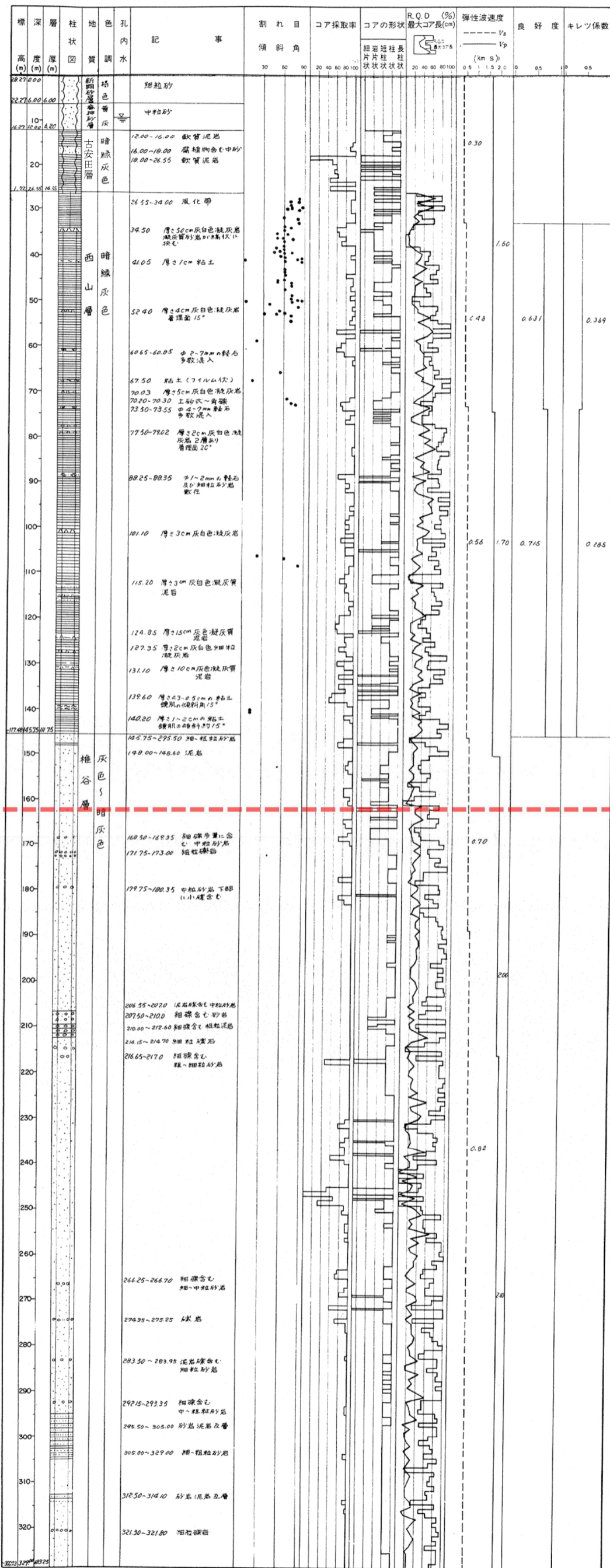
-  盛土・埋め戻し土
-  凝灰岩
-  粘土・シルト
-  凝灰岩
-  砂
-  凝灰岩
-  礫
-  凝灰岩
-  砂岩・泥岩互層
-  凝灰岩
-  砂岩
-  凝灰岩
-  礫混じり砂岩
-  凝灰岩
-  礫岩
-  凝灰岩

図-4(2) 5号機の地質柱状図(5-2孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。



柱状図凡例

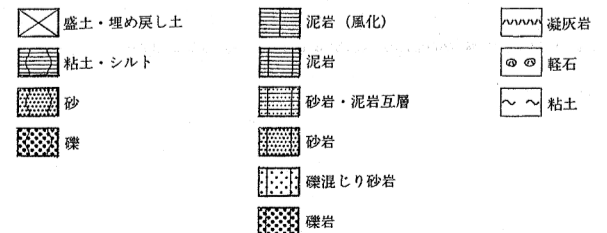


図-4(3) 5号機の地質柱状図(5-3孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。

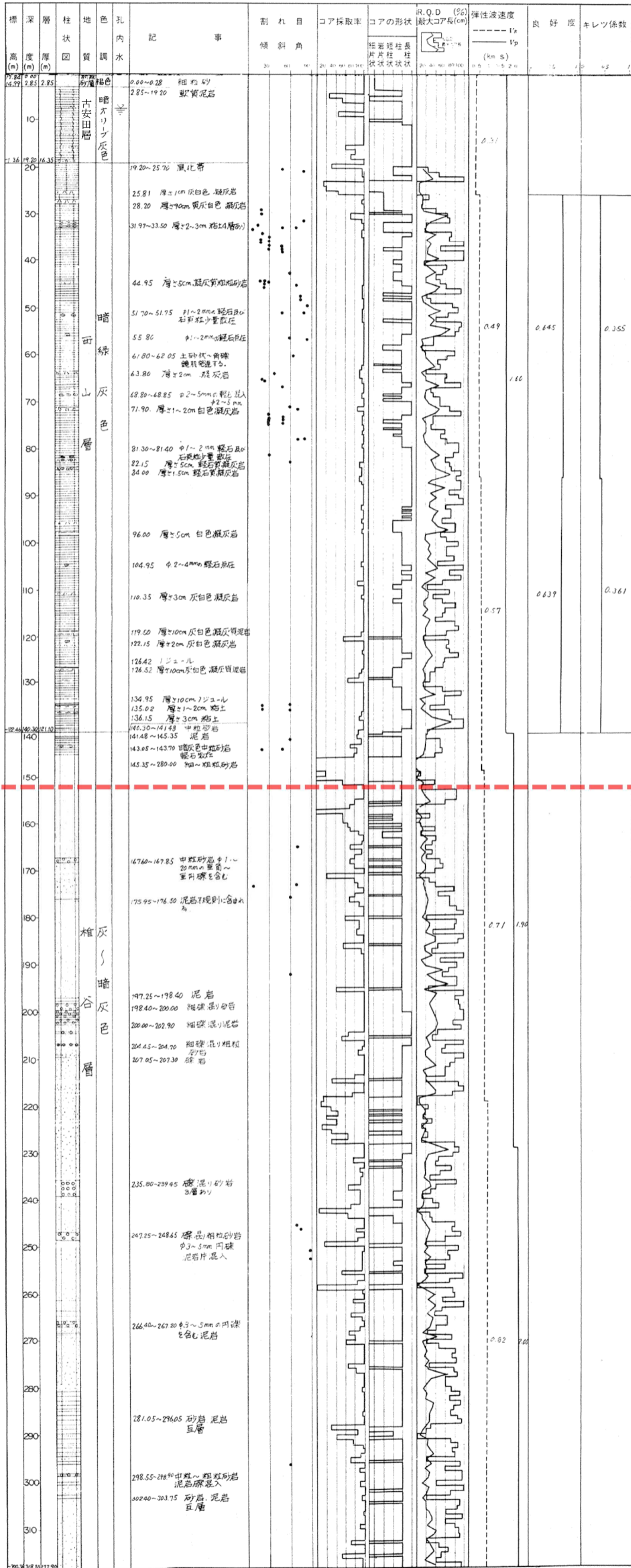


図-4(4) 5号機の地質柱状図(5-4孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。

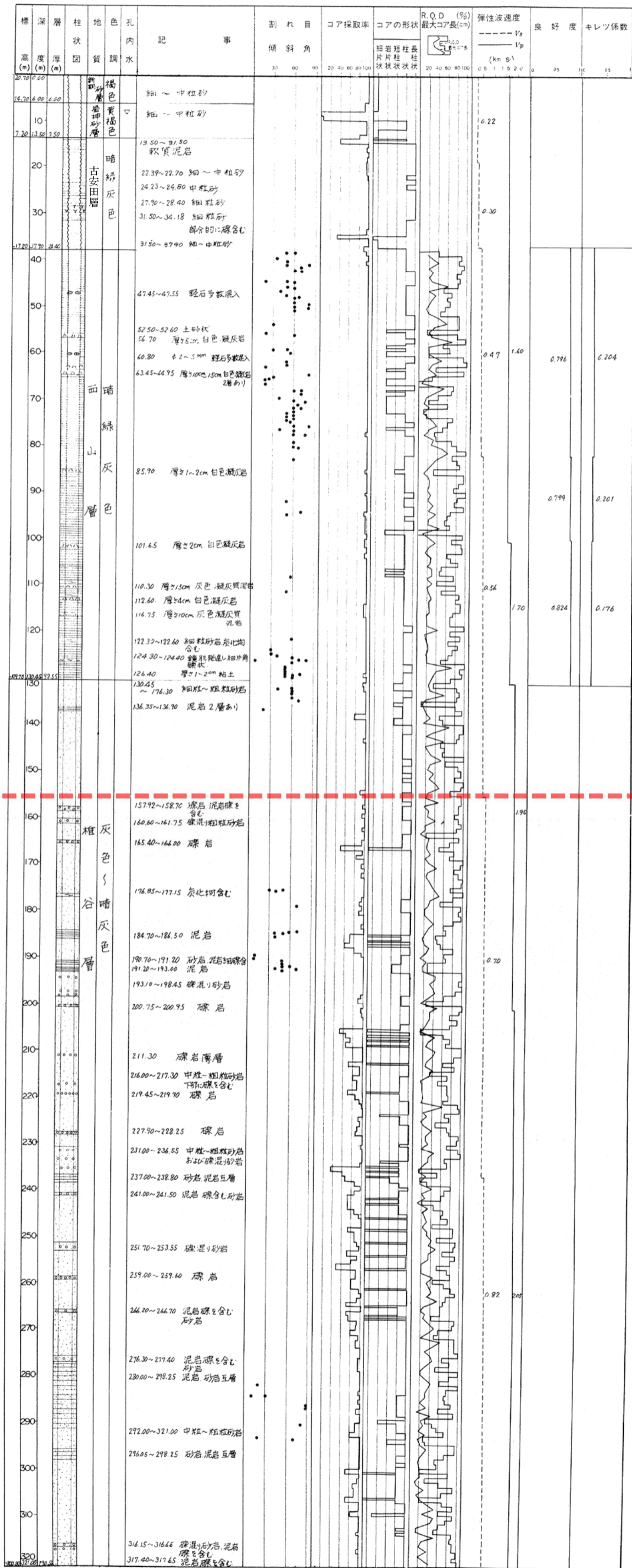
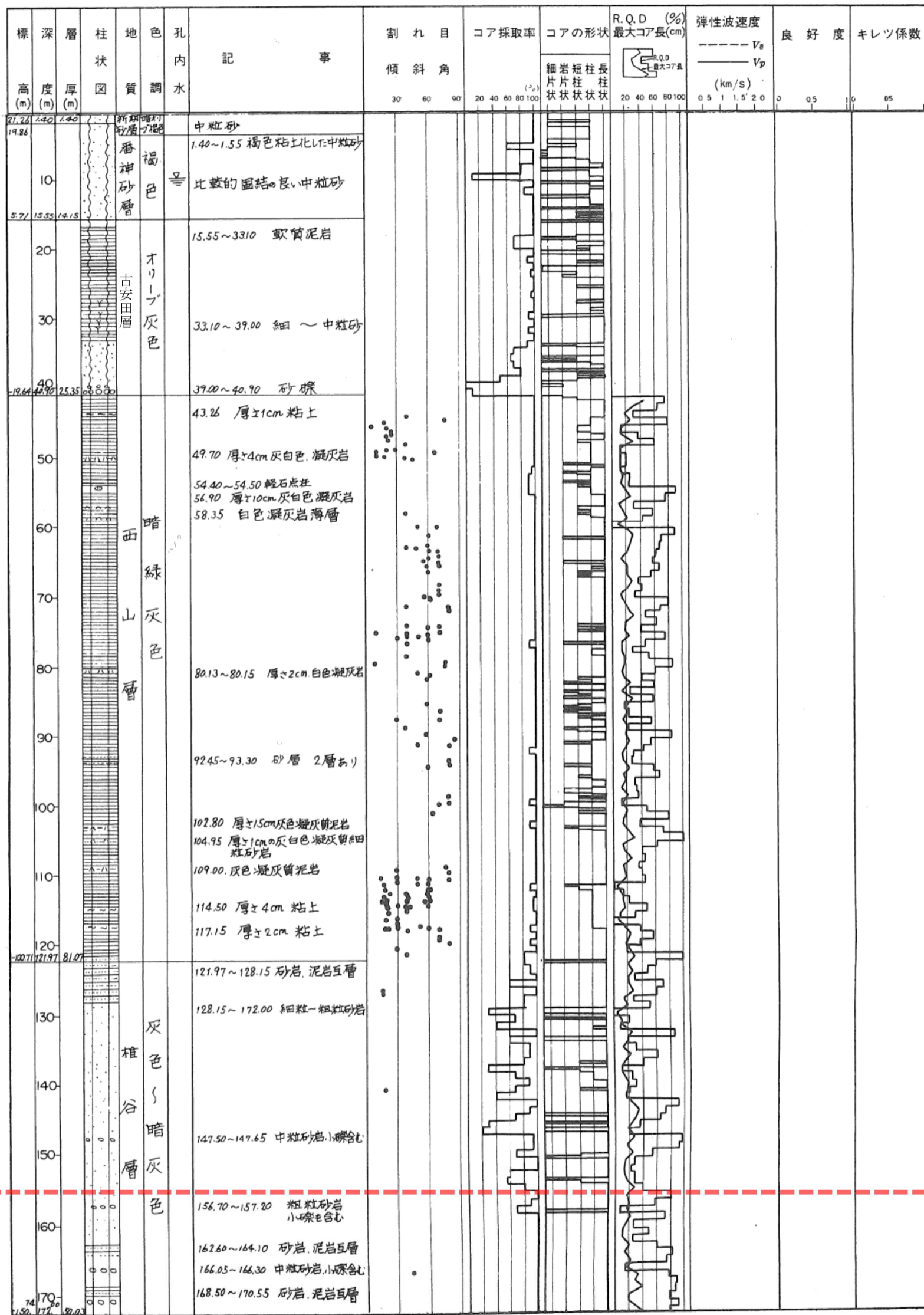


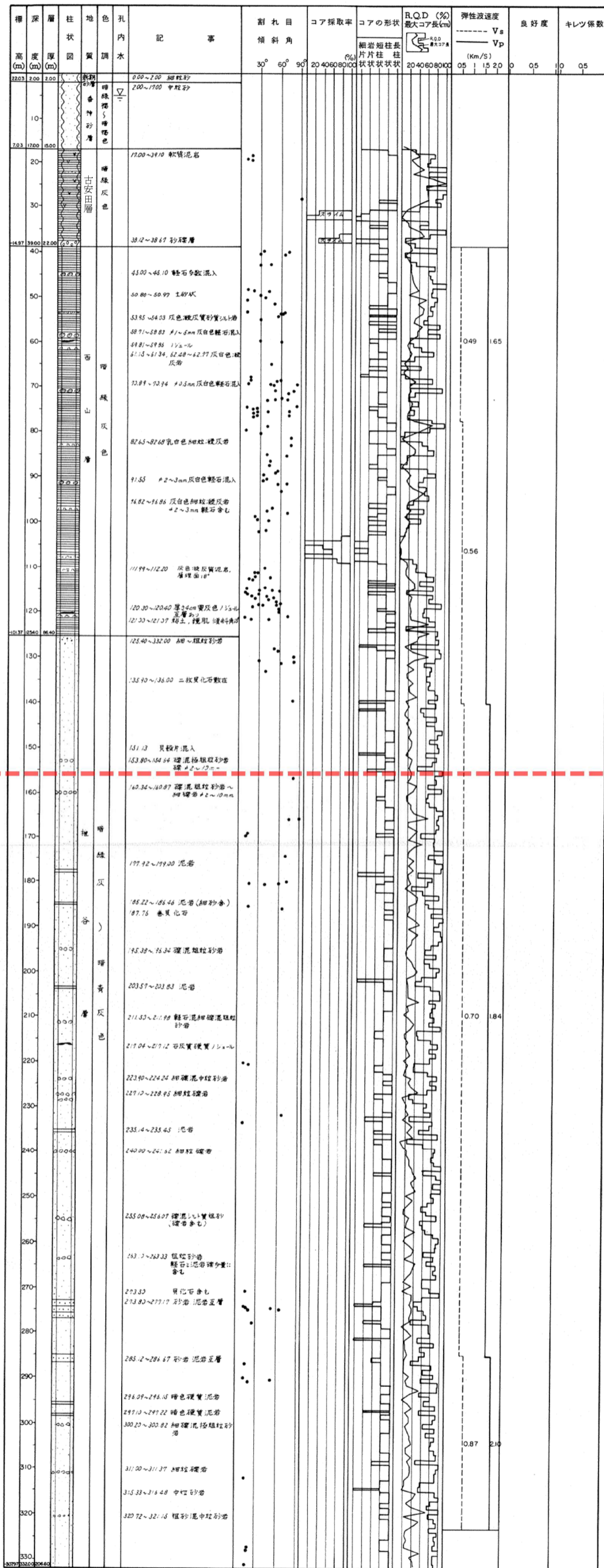
図-4(5) 5号機の地質柱状図(5-5孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。



柱状図凡例

- | | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

図-4(6) 5号機の地質柱状図(5-6孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。



柱状図凡例














-  盛土・埋め戻し土
-  泥岩(風化)
-  凝灰岩
-  粘土・シルト
-  泥岩
-  軽石
-  砂
-  砂岩・泥岩互層
-  粘土
-  礫
-  砂岩
-  礫混じり砂岩
-  礫岩

図-4(7) 5号機の地質柱状図(5-2' 孔) ※図中赤破線は標高-134mの位置を示す。

基礎地盤の安定性評価について

目次

1. 概要	1
2. 解析条件	2
2.1 解析モデル	2
2.2 解析手法	4
2.3 解析用地盤物性値の設定	5
2.4 解析用建屋モデルの設定	7
2.5 7号機原子炉建屋の建屋重量について	8
2.6 7号機原子炉建屋の建屋物性値について	9
3. 評価内容及び評価結果	10
3.1 評価内容	10
3.2 評価結果	13
3.3 まとめ	14

1. 概要

本資料は、設置（変更）許可時における原子炉建屋等の基礎地盤の安定性に関して、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加（以下、「増加重量」という。）を踏まえた基礎地盤の安定性評価について説明するものである。

設置（変更）許可における基礎地盤の安定性評価で用いたモデル（以下、「設置（変更）許可モデル」という。）と、工認評価に用いているモデル（以下、「工認モデル」という。）に対して増加重量を考慮した場合の評価結果を比較する。あわせて、建屋剛性の影響について確認する。

増加重量を考慮したモデルに対して、原子炉建屋等の基礎地盤が、基準地震動 S_s による地震力による基礎地盤のすべり、基礎地盤の支持力及び基礎底面の傾斜に対して十分な安全性を有することを確認する。

2. 解析条件

2.1 解析モデル

解析条件は、設置（変更）許可申請に基づく条件を基本とする。

評価対象断面位置図を図-1に、解析用要素分割図を図-2及び図-3に示す。

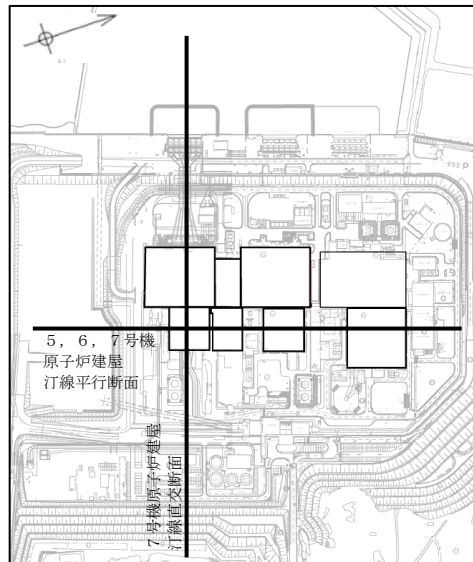


図-1 評価対象断面位置図

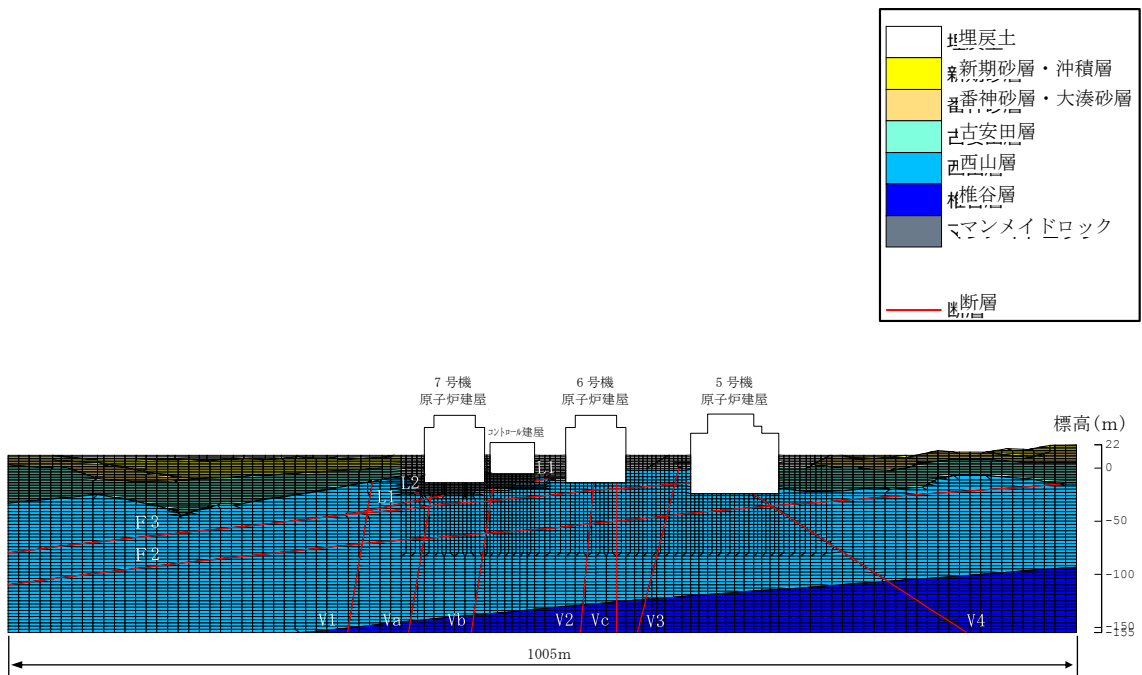


図-2 解析用要素分割図
(5号、6号及び7号機原子炉建屋汀線平行断面)

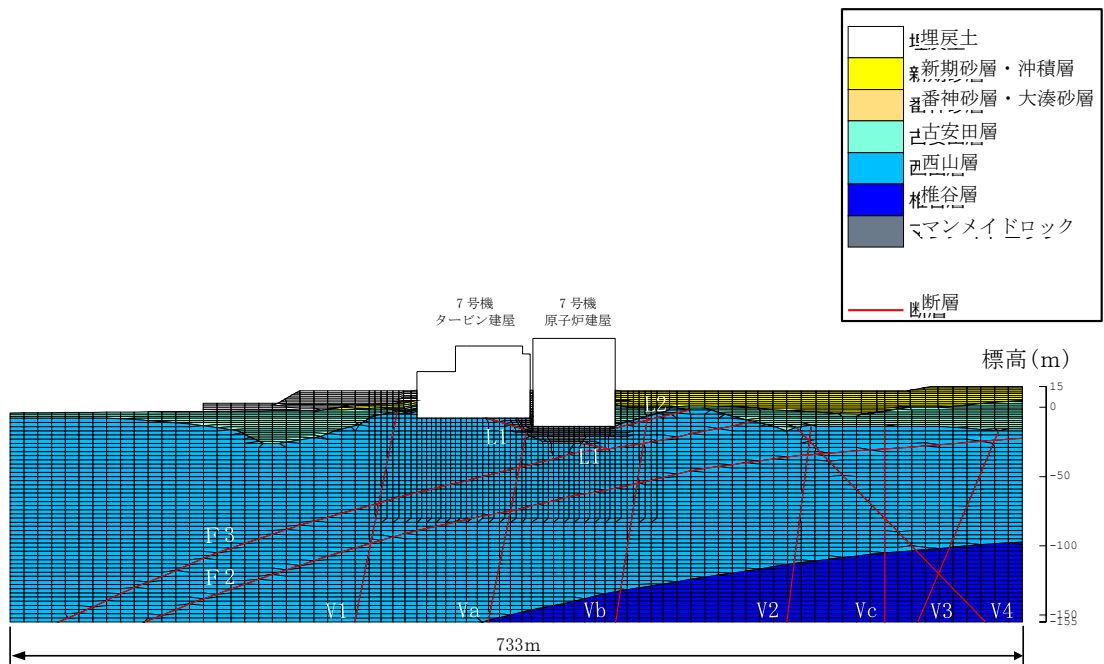


図-3 解析用要素分割図
(7号機原子炉建屋汀線直交断面)

2.2 解析手法

基礎地盤のすべり，基礎地盤の支持力及び基礎底面の傾斜に関する安全性については，有限要素法に基づく二次元地震応答解析（以下「動的解析」という。）により検討した。

動的解析では，動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮するため，等価線形化法による周波数応答解析手法を用いた。なお，常時応力は，地盤の自重計算により求まる初期応力，建屋基礎掘削に伴う解放力及び建屋・埋戻土の荷重を考慮した有限要素法に基づく二次元静的解析により求めた。

基礎地盤のすべりに対する安全性については，動的解析により求まる地震時増分応力と常時応力を重ね合わせた地震時応力から検討した。基礎地盤の支持力に対する安全性については，岩盤支持力試験の結果に基づいて，建屋接地圧及び動的解析により求まる地震時増分応力と常時応力を重ね合わせた地震時応力から検討した。基礎底面の傾斜に対する安全性については，動的解析により求まる地震時の原子炉建屋の相対変位及び傾斜に対する安全性を検討した。

2.3 解析用地盤物性値の設定

動的解析では、岩石試験、土質試験及び原位置試験から得られた各種物性値に基づいて、表-1 から表-4 に示す解析用物性値を設定した。

表-1 解析用物性値一覧（西山層，椎谷層，古安田層）

物性値		地層区分			
		西山層	椎谷層	古安田層	
物理特性		ρ_t (g/cm^3)	$1.69-0.00048 \cdot Z$	$1.94-0.00044 \cdot Z$	1.76
変形特性	静的 変形特性	E_0 (N/mm^2)	$502-2.29 \cdot Z$	$251-3.88 \cdot Z$	$126+232 \cdot P$
		ν	$0.48+0.00024 \cdot Z$	0.46	0.49
	動的 変形特性	G_0 (N/mm^2)	$394-1.63 \cdot Z$	$-133-7.35 \cdot Z$	175
		ν_d	$0.45+0.00015 \cdot Z$	$0.47+0.00031 \cdot Z$	0.45
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+4.10 \gamma^{1.37})$	$1/(1+5.76 \gamma^{0.69})$	$1/(1+5.39 \gamma^{0.77})$
$h \sim \gamma$ (%)	$25.0 \gamma^{0.94}+0.7$	$\gamma/(0.065 \gamma+0.004)+0.7$	$24.8 \gamma^{0.56}$		
強度特性	ピーク強度	C_u (N/mm^2)	$1.37-0.00504 \cdot Z$	$0.721-0.00773 \cdot Z$	$0.238+0.407 \cdot P$
		ϕ_u ($^{\circ}$)	0	0	0
		σ_t (N/mm^2)	$0.335-0.00157 \cdot Z$	—	—
	残留強度	C_{ur} (N/mm^2)	$0.673-0.00201 \cdot Z$	$0.799-0.00607 \cdot Z$	$0.224+0.312 \cdot P$

注：Zは、T.M.S.L. (m)を示す。

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm^2)を示す。

注： γ は、せん断歪み (%)を示す。

注：西山層の σ_t (引張強度)は、平均強度を用いたすべり安全率評価では、

保守的に強度を考慮しない。

表-2 解析用物性値一覧（F系，V系，L₁・L₂断層）

物性値		地層区分				
		断層部				
		F系断層		V系断層	L ₁ ・L ₂ 断層	
物理特性		ρ_t (g/cm^3)	1.92 1.73 層厚の重み付き平均=1.75	1.78	1.82	
変形特性	静的 変形特性	E_0 (N/mm^2)	$62.4+80.5 \cdot P$	低圧部：48.8+923・P 高圧部：224+131・P	低圧部：141+389・P 高圧部：296+78.0・P	$165+148 \cdot P$
		ν	0.46	0.46	0.46	0.46
	動的 変形特性	G_0 (N/mm^2)	337 層厚の重み付き平均=340	340	394	230
		ν_d	0.47 層厚の重み付き平均=0.43	0.42	0.44	0.47
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+7.45 \gamma^{1.14})$ 層厚の重み付き平均= $1/(1+9.69 \gamma^{1.04})$	$1/(1+9.79 \gamma^{1.03})$	$1/(1+4.75 \gamma^{0.68})$	$1/(1+4.86 \gamma^{0.73})$
$h \sim \gamma$ (%)	$41.0 \gamma^{0.62}$ 層厚の重み付き平均= $36.0 \gamma^{0.44}$	$35.0 \gamma^{0.42}$	$18.0 \gamma^{0.28}+0.1$	$17.0 \gamma^{0.31}$		
強度特性	ピーク強度	C_u (N/mm^2)	$0.286+0.191 \cdot P$	$0.279+0.242 \cdot P$ 粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。	$0.504+0.359 \cdot P$	$0.486+0.481 \cdot P$
		ϕ_u ($^{\circ}$)	0	0	0	0
		σ_t (N/mm^2)	—	—	—	—
	残留強度	C_{ur} (N/mm^2)	$0.219+0.251 \cdot P$	$0.278+0.181 \cdot P$ 粘土部と破砕部の強度の低い方を用いる。	$0.485+0.293 \cdot P$	$0.497+0.353 \cdot P$

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm^2)を示す。

注： γ は、せん断歪み (%)を示す。

表-3 解析用物性値一覧 (マンメイドロック)

物性値		地層区分	マンメイドロック	
			原子炉建屋下	コントロール建屋下
物理特性		ρ_t (g/cm ³)	1.75	1.75
変形特性	静的 変形特性	E_0 (N/mm ²)	1160	1020
		ν	0.44	0.45
	動的 変形特性	G_0 (N/mm ²)	2110	1990
		ν_d	0.36	0.36
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+4.30\gamma^{1.00})$	$1/(1+4.30\gamma^{1.00})$
	$h \sim \gamma$ (%)	$19.0\gamma^{0.60}$	$19.0\gamma^{0.60}$	
強度特性	ピーク強度	C_u (N/mm ²)	1.84 (1.38)	1.84 (1.38)
		ϕ_u (°)	0	0
		σ_t (N/mm ²)	0.666 (0.330)	0.666 (0.330)
	残留強度	C_{ur} (N/mm ²)	1.38 (1.04)	1.38 (1.04)

注： γ は、せん断歪み (%) を示す。

注：強度特性の括弧内の数値は、打継部の強度を示す。

表-4 解析用物性値一覧 (表層部)

物性値		地層区分	番神砂層・大湊砂層	新期砂層・沖積層	埋戻土
			物理特性	ρ_t (g/cm ³)	1.84
変形特性	静的 変形特性	E_0 (N/mm ²)	$23.5+572 \cdot P$	$19.3+187 \cdot P$	58.8
		ν	0.47	0.33	0.33
	動的 変形特性	G_0 (N/mm ²)	184	25.3	27.0
		ν_d	0.43	0.36	0.41
		$G/G_0 \sim \gamma$	$1/(1+9.48\gamma^{0.74})$	$1/(1+10.95\gamma^{0.81})$	$1/(1+9.01\gamma^{0.77})$
	$h \sim \gamma$ (%)	$\gamma/(0.041\gamma+0.005)+1.0$	$\gamma/(0.031\gamma+0.002)$	$\gamma/(0.034\gamma+0.003)+0.1$	
強度特性	ピーク強度	C_u (N/mm ²)	$0.322+0.412 \cdot P$	-	-
		ϕ_u (°)	0	-	-
		σ_t (N/mm ²)	-	-	-
	残留強度	C_{ur} (N/mm ²)	$0.321+0.375 \cdot P$	-	-

注：Zは、T.M.S.L. (m) を示す。

注：Pは、平均有効拘束圧(N/mm²)を示す。

注： γ は、せん断歪み (%) を示す。

2.4 解析用建屋モデルの設定

7号機原子炉建屋，6号機原子炉建屋，5号機原子炉建屋，7号機タービン建屋及びコントロール建屋（以下「解析対象建屋」という。）の建屋モデルは，質点系モデルを基にモデル化を行った。

図-4にモデル化手法の概念図を示す。下端固定の質点系モデルから建屋各層の水平剛性 K_H ，鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて，せん断剛性 G_i ，ヤング係数 E_i 及びポアソン比 ν_i を求め，等価な有限要素モデルを作成し，水平及び鉛直地震動の同時入力に対応したモデル化を実施した。

モデル化は水平方向及び鉛直方向の1次モードの固有周期が，質点系モデルと有限要素モデルで一致するように実施している。表-5に，7号機原子炉建屋における質点系モデルと有限要素モデルの振動特性の比較を示す。

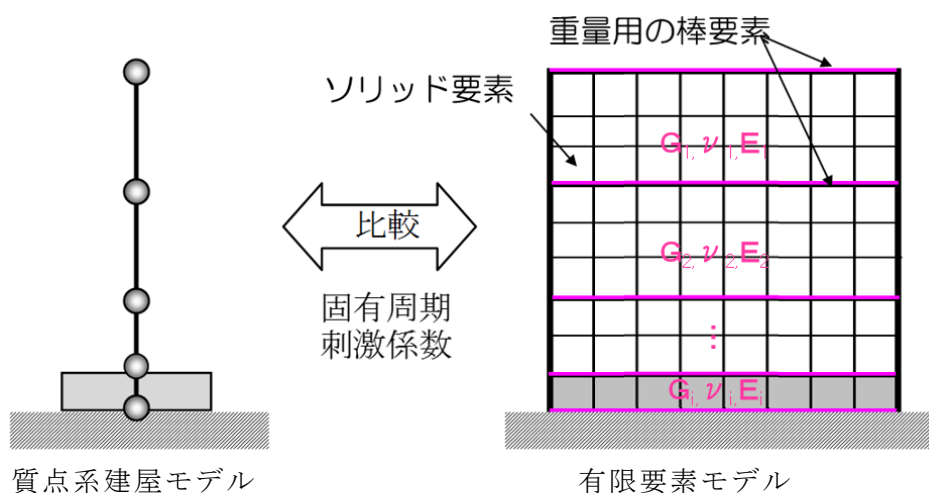


図-4 モデル化手法の概念図

表-5 7号機原子炉建屋の振動特性比較（固有周期）

断面	方向	モード数	固有周期 (s)		固有周期誤差 (%)
			質点系モデル	有限要素モデル	
NS断面	水平	1次	0.255	0.255	0.0
	鉛直	1次	0.095	0.095	0.0
EW断面	水平	1次	0.242	0.242	0.0
	鉛直	1次	0.095	0.095	0.0

2.5 7号機原子炉建屋の建屋重量について

設置（変更）許可モデル，工認モデルの建屋重量及び工認モデルに対する7号機原子炉建屋増加重量の比較を表-6に示す。

設置（変更）許可モデルの重量に対して，工認モデルに増加重量を加えた重量は1%程度小さい。

この要因としては，重力単位系から国際単位系へ変換する際の重力加速度を，設置（変更）許可モデルでは 10m/s^2 と設定（工認モデルにおいては 9.80665m/s^2 ）していることが挙げられる。なお，基礎地盤安定性評価においては，建屋モデル重量が大きい場合，地震時における慣性力が大きくなり，地盤の変形に対してはより厳しい評価になるものと考えられる。

表-6 建屋モデルの重量比較

7号機原子炉建屋モデル重量 [kN]		
設置（変更）許可モデル	工認モデル	増加重量
2002100 (1.00) *1	1955110	27290
	[工認モデル+増加重量]	
	1982400 (0.99) *1	

注記*1：（）は設置（変更）許可モデルを1.00とした場合の重量比率

2.6 7号機原子炉建屋の建屋物性値について

7号機原子炉建屋の設置（変更）許可モデル及び工認モデルの質点系モデル諸条件の比較を表-7に示す。

建屋剛性（ヤング係数E及びせん断弾性係数G）は，設置（変更）許可モデル対して工認モデルは15%程度大きい。これは，設置（変更）許可モデルは設計基準強度に基づき剛性を設定しているが，工認モデルは実強度に基づき剛性を設定しているためである。

ポアソン比 ν は，設置（変更）許可モデル及び工認モデルのどちらも0.2である。

減衰定数hは，設置（変更）許可モデル及び工認モデルのどちらも5%である。

表-7 質点系モデル諸条件の比較

物性値	設置（変更）許可モデル		工認モデル	
	建屋部	基礎スラブ	建屋部	基礎スラブ
ヤング係数E [N/mm ²]	2.51×10 ⁴ (1.00) *1	2.43×10 ⁴ (1.00) *1	2.88×10 ⁴ (1.15) *1	2.79×10 ⁴ (1.15) *1
せん断弾性係数G [N/mm ²]	1.05×10 ⁴ (1.00) *1	1.01×10 ⁴ (1.00) *1	1.20×10 ⁴ (1.14) *1	1.16×10 ⁴ (1.15) *1
ポアソン比 ν	0.2	0.2	0.2	0.2
減衰定数h [%]	5	5	5	5

注記*1：（）は設置（変更）許可モデルを1.00とした場合の比率

3. 評価内容及び評価結果

3.1 評価内容

建屋モデル重量の影響を確認するため、設置（変更）許可モデルから解析対象建屋の重量を一律 1%減じた条件で基礎地盤の安定性評価を実施し、建屋モデル重量の影響を確認する。なお、建屋モデル重量が大きい場合、地震時における慣性力が大きくなり、地盤の変形に対してはより厳しい評価になるものと考えられることから、安全対策工事物量が最も多い 7 号機原子炉建屋の設置（変更）許可モデル重量との比率を、他の解析対象建屋にも適用する。

また、解析対象建屋の建屋剛性（ヤング係数 E 及びせん断弾性係数 G）について、設置（変更）許可モデルは設計基準強度に基づき設定しているのに対して、工認モデルは実強度に基づき設定していることから、解析対象建屋の重量を一律 1%減じた上で、解析対象建屋の建屋剛性を一律 15%増加させた条件で基礎地盤の安定性評価を実施し、建屋物性値の影響も確認する。

評価項目、評価対象断面及び地震動は、表-8 に示す設置（変更）許可の評価結果のうち最も厳しい結果となる条件を対象とする。

表-9 に基礎地盤支持力の評価基準値を示す。

表-8 評価対象断面及び地震動


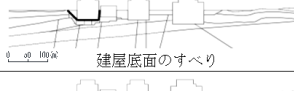
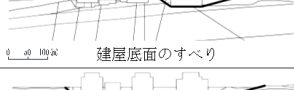
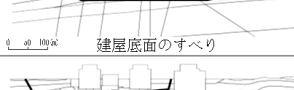
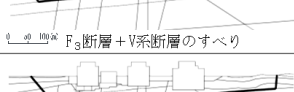
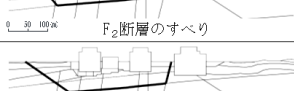
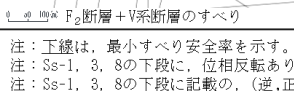
評価項目	評価対象断面 及び地震動	備考
基礎地盤のすべり (すべり安全率)	5, 6, 7号機 汀線平行断面 【Ss-3(正, 逆)】	設置（変更）許可の すべり安全率評価結果一覧 (表-10及び表-11) 参照
基礎地盤の支持力 (最大接地圧)	7号機原子炉建屋 汀線直交断面 【Ss-1(逆, 逆)】	設置（変更）許可の 基礎地盤の支持力評価結果一覧 (表-12) 参照
基礎底面の傾斜 (最大傾斜)	5, 6, 7号機 汀線平行断面 【Ss-8(正, 正)】	設置（変更）許可の 基礎底面の傾斜評価結果一覧 (表-13) 参照

注記：基準地震動 Ss の（逆，正）は水平反転，（正，逆）は鉛直反転，（逆，逆）は水平反転かつ鉛直反転を示す。

表-9 基礎地盤支持力の評価基準値

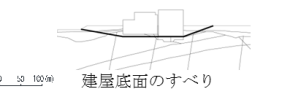
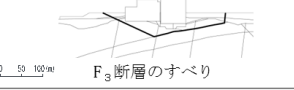
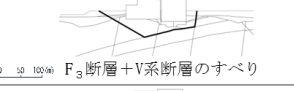
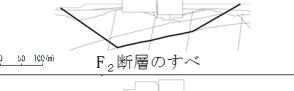

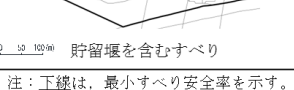
対象施設	基礎地盤支持力 の評価基準値 (N/mm ²)	備考
5号機原子炉建屋	5.5 (4.4)	各号機の岩盤支持力試験 の最大荷重の平均値 () 内は最小値
6号機原子炉建屋	6.0 (5.4)	
7号機原子炉建屋	6.2 (5.4)	

表-10 設置(変更)許可のすべり安全率 評価結果一覧
(5号, 6号及び7号機原子炉建屋汀線平行断面, 平均強度)

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
 建屋底面のすべり	2.8 [5.67]	4.7 [21.75]	4.1 [24.80]	7.4 [51.84]	7.1 [47.71]	6.3 [51.86]	6.7 [48.54]	4.3 [8.04]
	—		3.8(正,逆) [36.73]					3.1(逆,正) [8.02]
 建屋底面のすべり	3.0 [6.13]	4.9 [22.88]	3.4 [17.83]	8.1 [51.84]	7.5 [48.50]	7.7 [51.82]	7.8 [88.33]	4.6 [7.98]
	3.0(逆,正) [6.13]		3.4(逆,逆) [17.83]					—
 建屋底面のすべり	4.2 [5.70]	6.1 [22.88]	4.2 [37.18]	8.5 [51.83]	8.8 [48.52]	8.2 [51.83]	9.1 [88.40]	4.7 [7.88]
	4.0(逆,正) [5.70]		4.0(正,逆) [17.86]					4.5(逆,正) [7.87]
 建屋底面のすべり	3.2 [5.67]	5.0 [22.88]	3.9 [17.84]	7.5 [51.83]	7.5 [48.52]	6.8 [51.83]	7.7 [48.55]	4.2 [7.87]
	—		3.6(逆,逆) [17.85]					4.0(逆,正) [7.87]
 F ₃ 断層+V系断層のすべり	1.9 [5.67]	2.6 [21.22]	1.7 [17.83]	3.6 [51.82]	3.5 [48.50]	3.1 [51.82]	3.4 [48.52]	1.9 [8.00]
	1.7(逆,正) [6.88]		1.6(正,逆) [17.84]					—
 F ₂ 断層のすべり	1.8 [6.47]	2.9 [20.80]	1.6 [37.38]	3.2 [51.58]	3.6 [48.52]	3.1 [51.58]	3.3 [88.37]	1.9 [8.05]
	—		1.5(正,逆) [17.82]					1.8(逆,正) [8.05]
 F ₂ 断層+V系断層のすべり	2.2 [6.47]	4.2 [20.87]	2.1 [17.80]	4.4 [51.57]	4.9 [64.87]	4.4 [51.58]	4.2 [88.34]	2.6 [8.02]
	—		2.0(正,逆) [17.80]					—

注: 下線は, 最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に, 位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。
注: Ss-1, 3, 8の下段に, 位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。
注: Ss-1, 3, 8の下段に記載の, (逆,正)は水平反転, (正,逆)は鉛直反転, (逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※ [] は, 発生時刻(秒)を示す。

表-11 設置(変更)許可のすべり安全率 評価結果一覧
(7号機原子炉建屋汀線直交断面, 平均強度)

すべり線形状のパターン	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
 建屋底面のすべり	2.7 [5.88]	3.2 [22.48]	3.9 [37.14]	4.5 [52.58]	4.2 [48.48]	3.8 [54.54]	4.2 [48.88]	3.3 [7.88]
	2.4(逆,正) [5.88]		3.7(正,逆) [17.85]					—
 F ₃ 断層のすべり	1.9 [4.72]	2.6 [21.83]	2.2 [17.83]	2.9 [52.55]	2.6 [57.31]	2.4 [54.54]	2.7 [48.87]	2.2 [7.87]
	1.6(逆,正) [5.87]		2.0(正,逆) [17.83]					—
 F ₃ 断層+V系断層のすべり	2.4 [4.72]	3.2 [21.83]	2.5 [17.81]	3.4 [52.53]	2.9 [57.31]	2.8 [54.54]	3.1 [58.94]	2.6 [7.87]
	2.0(逆,正) [5.87]		2.2(正,逆) [17.81]					—
 F ₂ 断層のすべり	3.8 [10.30]	4.5 [19.30]	3.3 [37.28]	4.7 [58.17]	3.9 [57.28]	3.9 [54.58]	3.9 [57.32]	3.7 [8.01]
	3.6(逆,正) [5.88]		3.1(正,逆) [17.57]					—
 F ₂ 断層+V系断層のすべり	3.7 [6.42]	4.7 [19.30]	3.2 [37.28]	5.1 [58.15]	4.0 [57.28]	4.1 [54.57]	3.8 [58.93]	4.1 [8.01]
	—		3.0(正,逆) [17.57]					—
 貯留堰を含むすべり	2.7 [5.88]	2.9 [22.48]	2.5 [19.27]	3.7 [54.54]	3.1 [55.18]	3.1 [54.58]	2.8 [57.32]	2.8 [7.88]
	2.7(逆,正) [10.31]		2.4(逆,正) [17.81]					2.8(逆,正) [8.00]

注: 下線は, 最小すべり安全率を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に, 位相反転なしの場合のすべり安全率を記載。
注: Ss-1, 3, 8の下段に, 位相反転ありの場合のすべり安全率が位相反転なしの場合のすべり安全率を下回った場合の最小すべり安全率を記載。
注: Ss-1, 3, 8の下段に記載の, (逆,正)は水平反転, (正,逆)は鉛直反転, (逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※ [] は, 発生時刻(秒)を示す。

表-12 設置(変更)許可の基礎地盤の支持力 評価結果一覧
(7号機原子炉建屋汀線直交断面, 平均強度)

評価対象	評価基準値 (N/mm ²)	地震時最大接地圧 (N/mm ²)							
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
6号炉原子炉建屋 汀線平行断面	6.0	1.64 (8.78)	1.44 (23.57)	1.54 (36.88)	1.17 (45.80)	1.25 (51.40)	1.42 (51.88)	1.18 (48.48)	1.65 (8.02)
		1.79(正,逆) (5.73)		1.63(逆,正) (17.53)					—
6号炉原子炉建屋 汀線直交断面	6.0	1.39 (8.18)	1.36 (21.91)	1.30 (37.45)	1.18 (46.23)	1.22 (57.38)	1.15 (59.08)	1.16 (54.37)	1.24 (8.01)
		1.46(逆,逆) (5.70)		1.33(逆,逆) (17.25)					1.24(逆,正) (7.78)
7号炉原子炉建屋 汀線平行断面	6.2	2.72 (8.10)	2.06 (20.85)	2.35 (17.52)	1.79 (51.81)	1.58 (46.55)	1.73 (51.88)	1.64 (88.21)	2.38 (8.08)
—		—		—					
7号炉原子炉建屋 汀線直交断面	6.2	2.94 (8.55)	2.80 (22.31)	2.71 (37.48)	2.66 (46.24)	2.91 (48.90)	2.51 (59.08)	2.60 (48.92)	2.47 (8.01)
		3.23(逆,逆) (5.68)		2.77(逆,逆) (24.90)					2.70(逆,正) (7.77)
5号炉原子炉建屋 汀線平行断面	5.5	1.94 (8.77)	1.67 (22.19)	1.79 (37.48)	1.60 (46.79)	1.66 (46.43)	1.59 (51.83)	1.56 (48.45)	1.70 (8.00)
		2.05(逆,逆) (5.70)		—					1.86 (8.02)
5号炉原子炉建屋 汀線直交断面	5.5	1.51 (8.58)	1.52 (21.90)	1.48 (17.88)	1.35 (51.90)	1.48 (57.37)	1.38 (59.08)	1.41 (55.22)	1.44 (8.03)
		1.76(逆,逆) (5.70)		1.51(逆,逆) (17.23)					1.46(逆,正) (7.77)

注：下線は、各号炉における地震時最大接地圧の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の上段に、位相反転なしの場合の最大接地圧を記載。
注：Ss-1, 3, 8の下段に、位相反転ありの場合の最大接地圧が位相反転なしの場合の最大接地圧を上回った場合の最大接地圧を記載。
注：Ss-1, 3, 8の下段に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔 〕は、発生時刻(秒)を示す。

表-13 設置(変更)許可の基礎底面の傾斜 評価結果一覧

評価対象	上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜										
	Ss-1		Ss-2	Ss-3		Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
6号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.8 (8.79)	3.0 (正,逆) (8.78)	2.2 (23.58)	2.4 (36.88)	—	1.3 (51.87)	1.4 (51.88)	1.4 (51.87)	1.2 (51.43)	3.5 (8.01)	—
	1/2,000	1/1,800	1/2,500	1/2,300	—	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,700	1/1,600	—
6号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	1.5 (5.78)	—	1.4 (22.52)	1.2 (25.00)	1.5 (正,逆) (17.49)	1.2 (51.98)	1.1 (46.58)	1.2 (54.80)	1.4 (48.87)	1.7 (8.02)	1.7 (逆,正) (8.01)
	1/3,900	—	1/4,300	1/4,900	1/4,000	1/5,000	1/5,100	1/5,000	1/4,200	1/3,500	1/3,400
7号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	3.3 (5.77)	—	1.9 (21.54)	2.8 (19.15)	—	1.2 (51.81)	1.4 (46.58)	1.6 (51.82)	1.2 (46.53)	3.3 (8.07)	—
	1/1,700	—	1/2,900	1/2,000	—	1/4,500	1/4,100	1/3,600	1/4,600	1/1,700	—
7号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.4 (5.74)	—	2.2 (20.83)	1.9 (19.12)	2.1 (正,逆) (17.50)	1.8 (52.57)	1.7 (46.54)	2.0 (51.94)	1.9 (46.85)	2.5 (8.03)	—
	1/2,500	—	1/2,700	1/3,000	1/2,800	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000	1/2,400	—
5号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.5 (18.79)	—	1.9 (23.54)	2.1 (38.55)	2.1 (正,逆) (19.81)	1.3 (51.87)	1.4 (46.48)	1.1 (51.88)	1.0 (46.48)	3.0 (8.00)	3.1 (逆,正) (7.88)
	1/3,200	—	1/4,400	1/3,900	1/3,900	1/6,300	1/5,900	1/7,500	1/8,200	1/2,700	1/2,700
5号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.3 (9.18)	—	2.1 (22.53)	1.6 (37.21)	1.8 (17.51)	1.6 (51.98)	1.9 (46.58)	1.5 (51.98)	1.6 (46.88)	2.3 (8.03)	—
	1/3,600	—	1/4,000	1/5,200	1/4,500	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300	1/3,600	—

注：下線は、各号炉における最大相対変位及び最大傾斜の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の左側に、位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
注：Ss-1, 3, 8の右側に、位相反転ありの場合の最大相対変位及び最大傾斜が位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を上回った場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
注：Ss-1, 3, 8の右側に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※〔 〕は、発生時刻(秒)を示す。

3.2 評価結果

評価結果一覧を表-14に示す。


基礎地盤の安定性評価について建屋モデル重量の影響を確認するため、設置（変更）許可時の地盤安定性評価結果に対して、設置（変更）許可モデルにおける各解析対象建屋に対して建屋重量を一律1%減じた条件の評価結果を比較する。

更に、建屋物性値の影響を確認するため、設置（変更）許可時の地盤安定性評価結果に対して、解析対象建屋の重量を一律1%減じた条件に加え、建屋剛性（ヤング係数E及びせん断弾性係数G）を15%増加させた条件の評価結果を比較する。

建屋モデル重量の影響については、建屋重量を1%減じた条件の結果は建屋重量変更なしの結果に対してすべり安全率は増加、最大接地圧は減少、最大傾斜は減少している。また、建屋剛性（ヤング係数E及びせん断弾性係数G）を変更した条件に対しても、評価結果に大きな変動はないことから、設置（変更）許可時の基礎地盤安定性評価への影響はないことを確認した。

なお、設置（変更）許可時は、地盤強度のばらつき（平均値-1 σ 強度）を考慮した条件で二次元重合せ解析を実施しているが、今回は影響検討を目的として平均強度・単一断面ケースの評価結果を比較している。

表-14 評価結果一覧

評価項目	評価対象断面 及び地震動	評価結果		
		建屋重量 -1%	建屋重量 -1%	建屋重量 変更なし
		建屋剛性 +15%	建屋剛性 変更なし	建屋剛性 変更なし
基礎地盤のすべり (すべり安全率)  F ₂ 断層のすべり	5, 6, 7号機 汀線平行断面 【Ss-3(正, 逆)】	1.5 (1.551)	1.5 (1.549)	1.5 (1.547)
基礎地盤の支持力 (最大接地圧) [N/mm ²]	7号機原子炉建屋 汀線直交断面 【Ss-1(逆, 逆)】	3.24	3.21	3.23
基礎底面の傾斜 (最大傾斜)	5, 6, 7号機 汀線平行断面 【Ss-8(正, 正)】	1 / 1,700 (1 / 1,749)	1 / 1,700 (1 / 1,740)	1 / 1,700 (1 / 1,729)

注記：基準地震動 S_s の（逆，正）は水平反転，（正，逆）は鉛直反転，（逆，逆）は水平反転かつ鉛直反転を示す。

数値は、平均強度時の評価結果を示す。

（ ）は、桁処理なしの値を示す。

3.3 まとめ

7号機原子炉建屋が設置される基礎地盤の安定性に関して、工認モデルの建屋重量増加及び建屋物性値を踏まえた基礎地盤の安定性評価を実施し、7号機原子炉建屋を設置する地盤が、基準地震動 S_s による地震力による基礎地盤のすべり、基礎底面の支持力及び基礎底面の傾斜に対して十分な安全性を有することを確認した。

地下水排水設備の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-別添 1「地下水排水設備の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 地下水排水設備の機能を期待する範囲について

別紙 1 地下水排水設備の機能を期待する範囲について

1. 目的

地下水に対しては、地下水排水設備の停止により建屋周囲の水位が周辺の地下水位で上昇することを想定し、建屋外周部における壁、扉、堰等により溢水防護区画を内包する建屋内への流入を防止する設計とし、溢水防護対象設備等が安全機能を損なわない設計及び建屋の耐震性を損なわない設計としているが、地下外壁ひび割れ等からの浸水の可能性に係る安全側の評価を踏まえ、より一層の安全性の向上を図るため、基準地震動 S_s による地震力に対し、地下水排水設備の耐震性を確保することで、地震時及び地震後においても溢水源である地下水の水位上昇そのものを抑制し、建屋内への浸水及び建屋の耐震性を損なう可能性を排除する設計とする。

2. 地下水排水設備の設計方針

7号機においては、溢水防護区画（浸水防護重点化範囲）を構成する原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋を対象とし、5号機においては、緊急時対策所を内設する原子炉建屋の周辺地下部にサブドレンピットを配置し、各ピットに地下水排水設備を設置することにより各建屋周囲に流入する地下水の排出を行っている。

地震時及び地震後においても、これら地下水排水設備が排水可能であること、また、地下水排水設備の排水実績に対して十分な排水能力を有することにより、地下水が溢水防護区画（浸水防護重点化範囲）を内包するエリア内及び建屋内へ流入することを防止し、且つ対象建屋の耐震性を損なわない設計とする。

7号機及び5号機の溢水並びに耐震における地下水低下を期待する建屋と機能を第2-1表に示す。

第2-1表 地下水位低下を期待する範囲

対象施設	基礎形式	検討用地震動 (耐震クラス等)	設置許可基準規則			審査区分及び設置許可基準規則 の該当条項		今回工認における 地下水位の扱い	
			直接的に影響する 可能性のある条項		間接的に 影響する 可能性の ある条項	設置許可	工認	設計用揚圧力	設計への 反映事項
			4条 39条	9条	5条 40条				
			地震	溢水	津波				
7号機原子炉建屋	直接基礎	基準地震動Ss (耐震Sクラス, SA施設, 耐震Sクラス及びSA施設 の間接支持構造物)	○	○	○	—	4条 9条(5条, 40条) 39条	各建屋の基礎スラブの 上端まで水があると 仮定した場合の 揚圧力を基礎スラブの 底面レベルで考慮。 地下水排水設備の効果を 見込んだ地下水位を考慮 して耐震評価を実施。	
7号機タービン建屋	直接基礎	基準地震動Ss (SA施設, 耐震Sクラス 及びSA施設 の間接支持構造物)	○	○	○	—	4条 9条(5条, 40条) 39条		
コントロール建屋	直接基礎	基準地震動Ss (耐震Sクラス, SA施設, 耐震Sクラス及びSA施設 の間接支持構造物)	○	○	○	—	4条 9条(5条, 40条) 39条		
廃棄物処理建屋	直接基礎	基準地震動Ss (SA施設, SA施設 の間接支持構造物)	○	○	○	—	9条(5条, 40条) 39条		
緊急時対策所 (5号機原子炉建屋)	直接基礎	基準地震動Ss (SA施設, SA施設 の間接支持構造物)	○	—	—	—	39条		

3. 地下水排水設備配置及び耐震性について

3.1 地下水排水設備の配置

地下水排水設備は、建屋を囲むように集水管を配置し、建屋周囲の四隅に配置したサブドレンピットを介して接続している。これにより建屋周囲に発生する地下水の集水を可能としている。また、集水した地下水はサブドレンピット内に設けた2台のサブドレンポンプにより、地上部の雨水側溝若しくは雨水枡まで送水され、最終的に海に放水する設計としている。また、建屋周囲にマンメイドロックを施工している7号機原子炉建屋については、建屋周囲に透水マットを設置することで、地下水の円滑な集水を可能としている。

地下水排水設備の配置を第3-1図に、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び廃棄物処理建屋における集水管の配置と基礎スラブ上端のレベルを第3-2図～第3-12図に、透水マットの敷設概念図を第3-13図に、集水管敷設状況断面図を第3-14図に、集水管敷設状況写真を第3-15図に示す。

3.2 地下水排水設備に期待する機能と耐震性

地下水排水設備の配置を第3-1図に示し、各構成部位における基準地震動 S_s に対する機能維持（以下、「耐震性」という。）の範囲を凡例に示す。

(1) 地下水を地上に排水する機能

地下水排水設備のうち、第3-1図中に赤四角で示した7号機の7R-4-1及び7T-6、5号機の5R-1及び5R-2は、耐震性のあるサブドレンポンプ及び排水配管を設置し、当該設備の支持機能であるサブドレンシャフト及びサブドレンピット、水位検出器及びサブドレン動力制御盤に対して耐震性を持たせる設計とすることで、地下水を S_s 地震後も確実に地上に排水する機能を有する。

(2) 地下水を集水する機能

集水管及びサブドレン管は、第2-1表地下水位低下を期待する範囲（7号機原子炉建屋、7号機タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋、緊急時対策所（5号機原子炉建屋））の各建屋周囲の基礎マット下のレベルに設置しており、建屋周囲の地下水を集水する機能を有している。

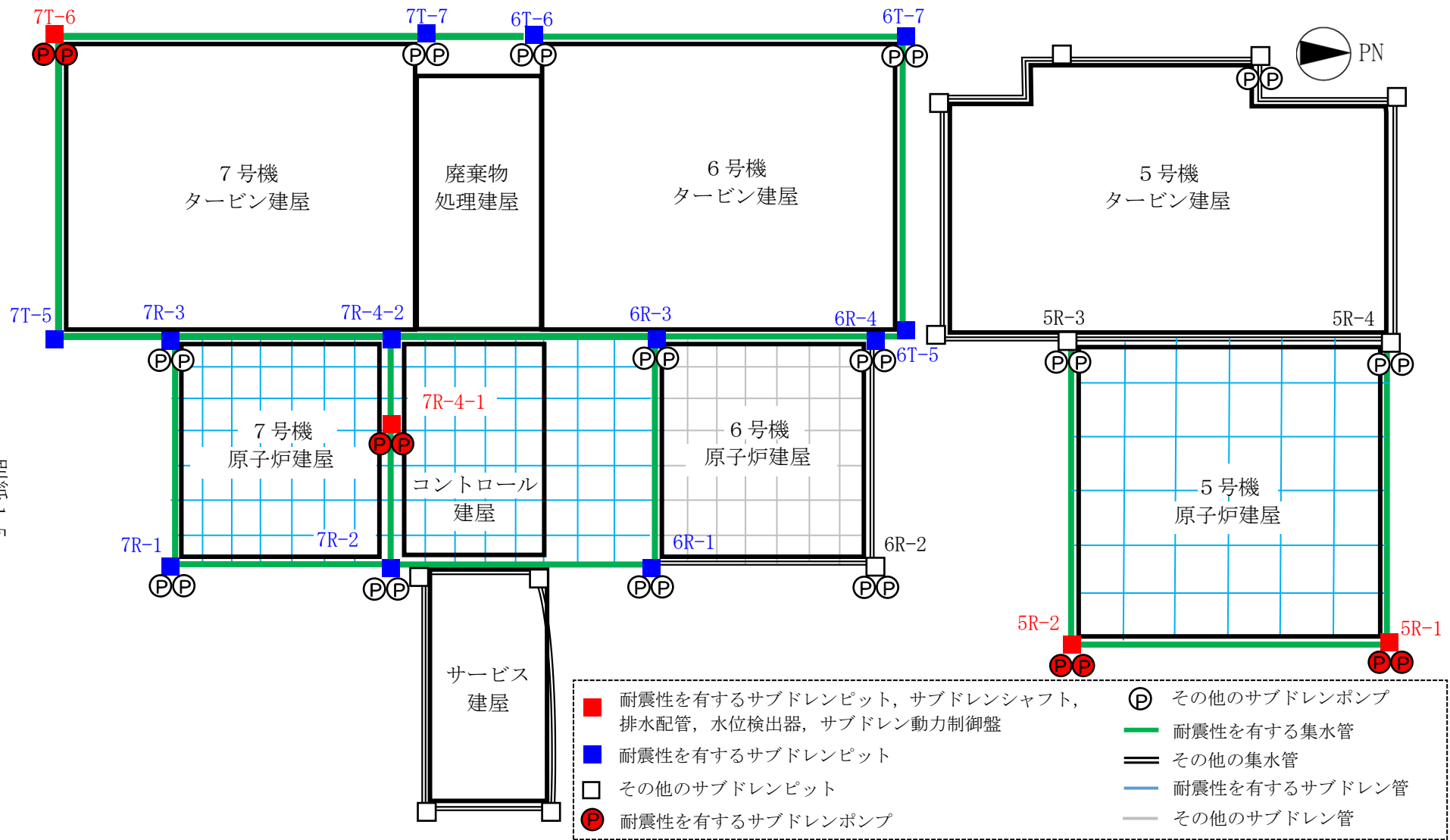
集水管及びサブドレン管で集水した地下水は、7号機では7R-4-1及び7T-6、5号機では5R-1、5R-2に集水されることで地上に排水する。このため集水した地下水の経路となる集水管及びサブドレン管、集水管相互の接続部に位置するサブドレンピットについて耐震性を持たせる設計とする。ただし、緊急時対策所（5号機原子炉建屋）においては、第3-10図に示す通り建屋西側には西山層に岩着したタービン建屋があり、地下水の供給は遮られるため、集水を期待する範囲は、透水性のある周辺地盤に接する原子炉建屋の南北及び東面としている。

耐震性を有し、集水機能を期待するサブドレンピットは、第3-1図の青四角で示した通りであり、耐震性を有する集水管及びサブドレン管は、第3-1図の緑色及び水色の着色部

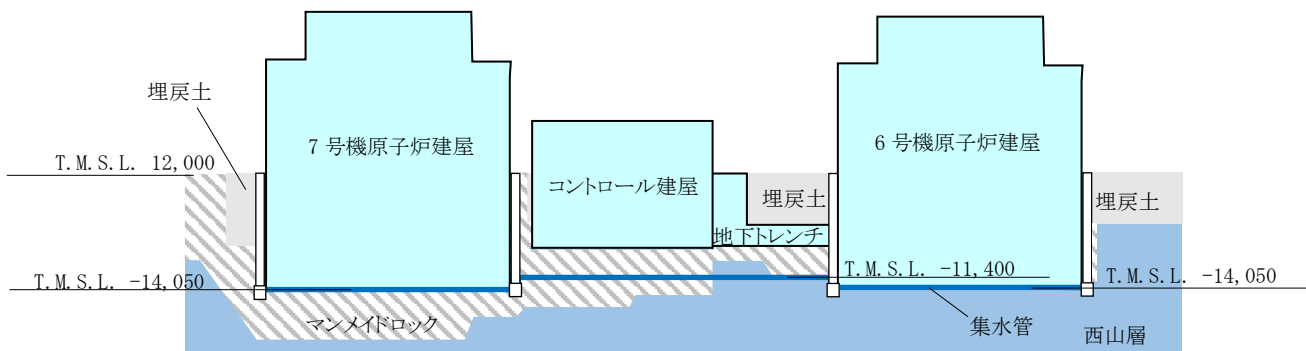
である。

なお、集水機能を期待するサブドレンピットの上部に設置しているサブドレンシャフトについては 7R-4-1 及び 7T-6 のサブドレンシャフトと同じく鋼製であり、破断することはないため、サブドレンピット内空の閉塞などの波及的影響を及ぼすことはない。

地下水排水設備の設備構成を第 3-16 図に示す。



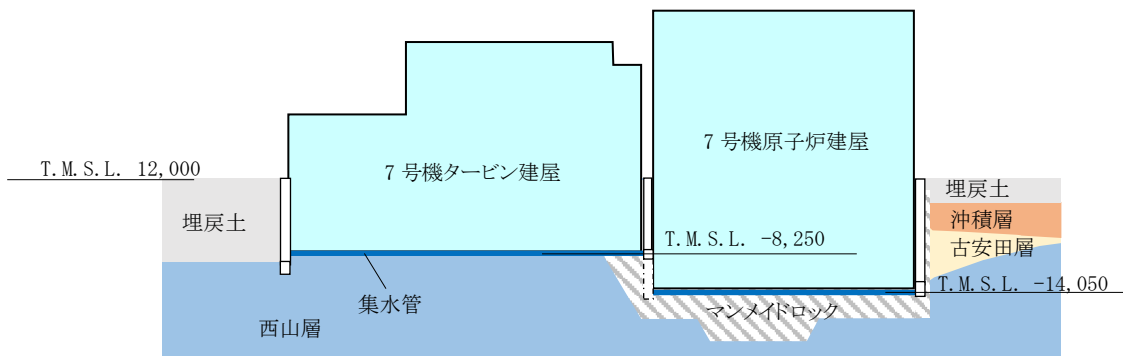
第3-1 図 5号機及び7号機の地下水排水設備の配置



基礎スラブ上端レベル (mm)

6号原子炉建屋: T.M.S.L. -8,200
7号原子炉建屋: T.M.S.L. -8,200
コントロール建屋: T.M.S.L. -2,700

第3-2図 A-A 立面図

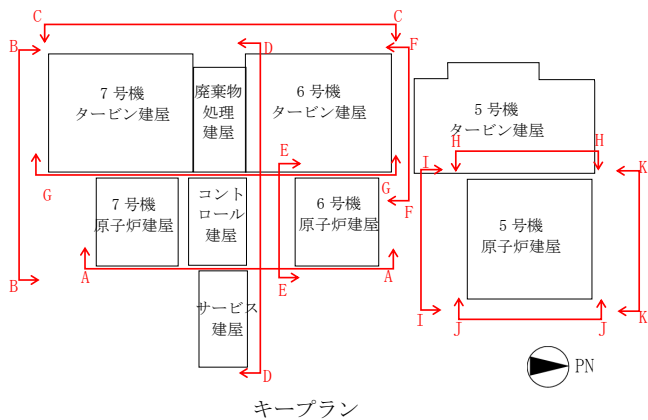


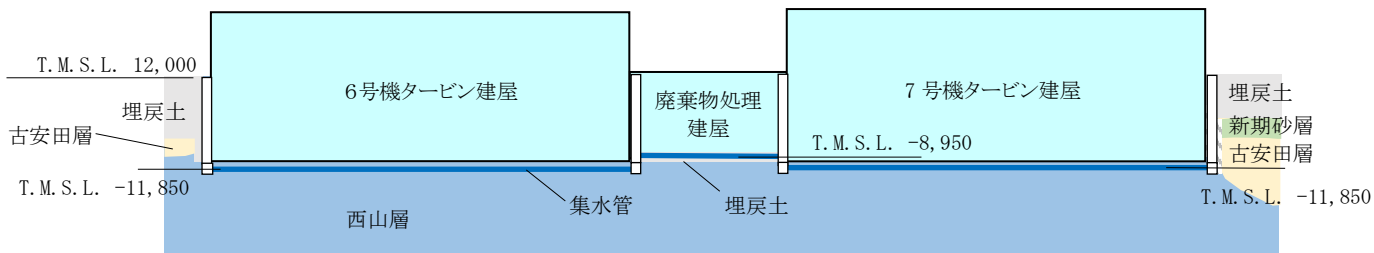
基礎スラブ上端レベル (mm)

地下排水設備 (透影)

7号原子炉建屋: T.M.S.L. -8,200
7号タービン建屋: T.M.S.L. -5,100

第3-3図 B-B 立面図

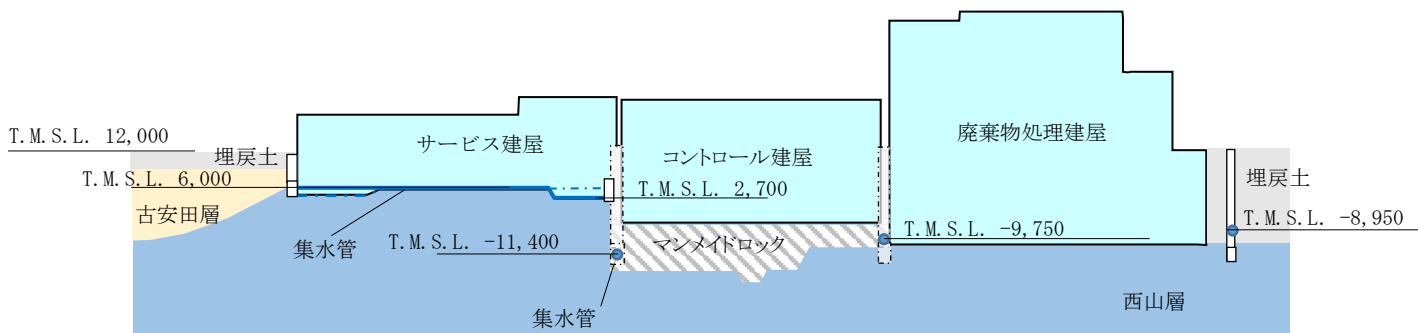




基礎スラブ上端レベル(mm)

6号タービン建屋: T.M.S.L. -9,500
7号タービン建屋: T.M.S.L. -9,500
廃棄物処理建屋: T.M.S.L. -6,900

第3-4図 C-C 立面図

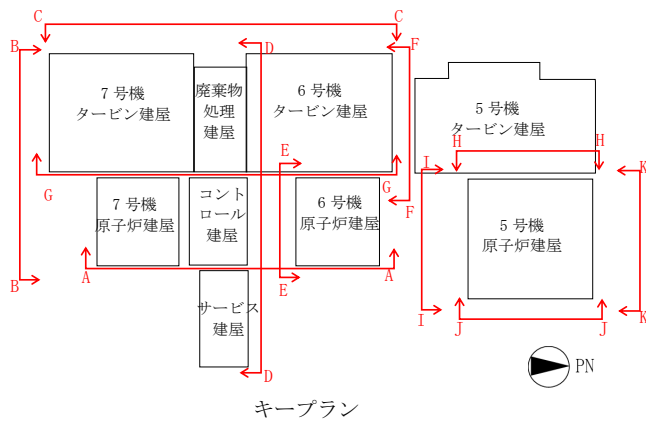


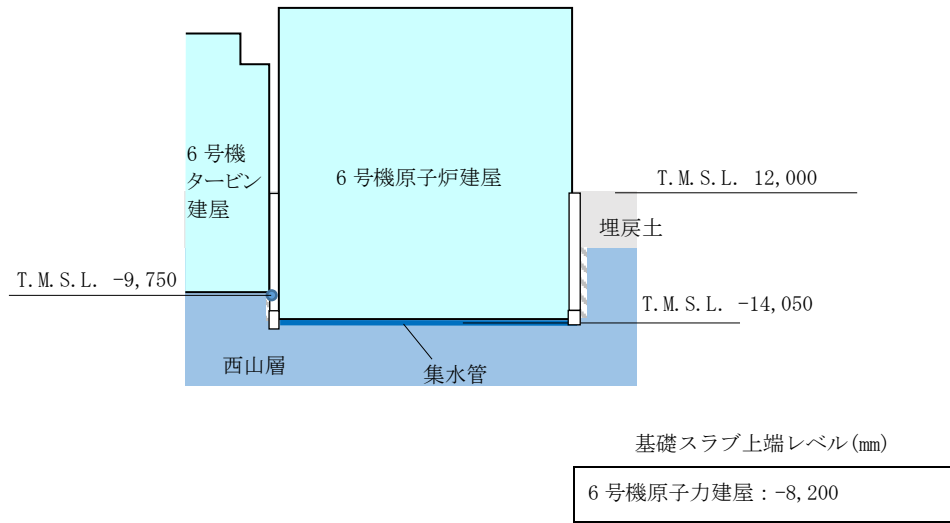
基礎スラブ上端レベル(mm)

⊞ 地下水排水設備(透影)

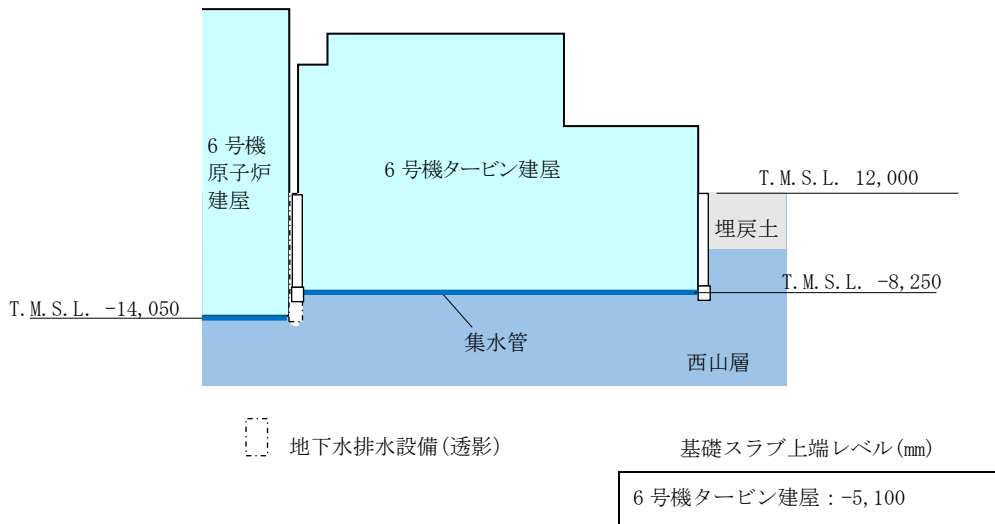
廃棄物処理建屋: T.M.S.L. -6,900
コントロール建屋: T.M.S.L. -2,700
サービス建屋: T.M.S.L. 4,300

第3-5図 D-D 立面図

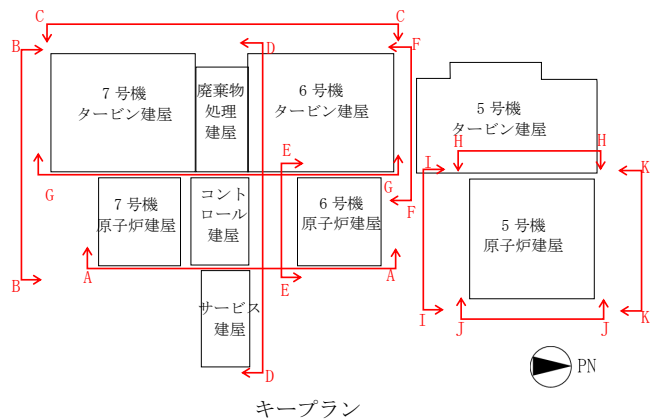


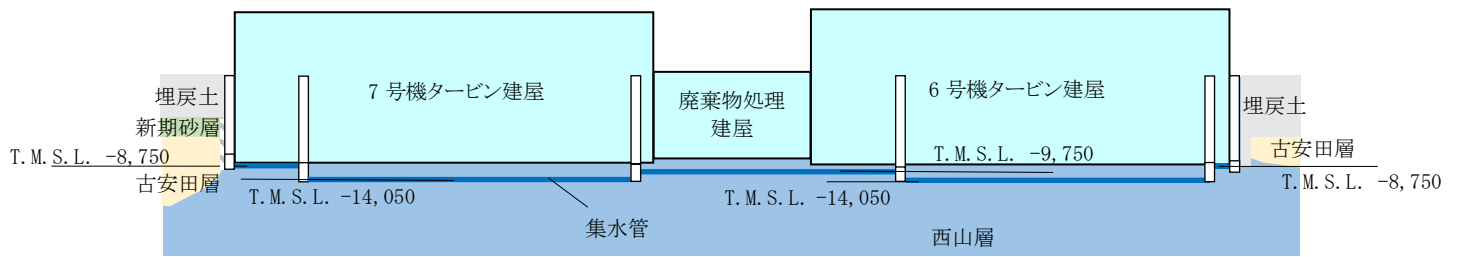


第3-6図 E-E 立面図



第3-7図 F-F 立面図





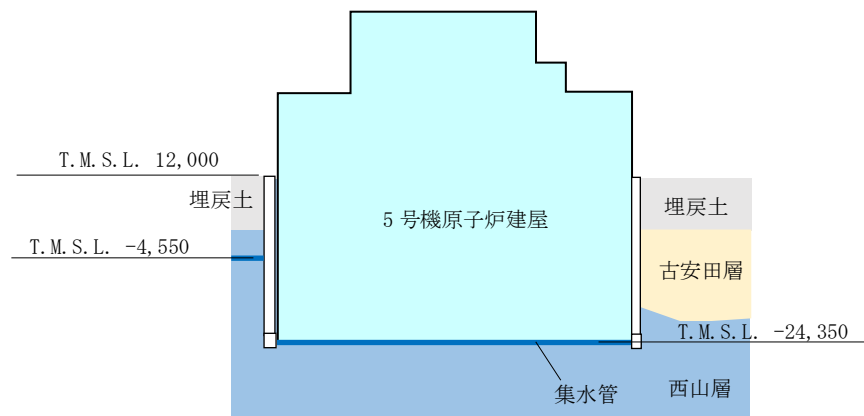
基礎スラブ上端レベル(mm)

6号タービン建屋: T.M.S.L. -5,100

7号タービン建屋: T.M.S.L. -5,100

廃棄物処理建屋: T.M.S.L. -6,900

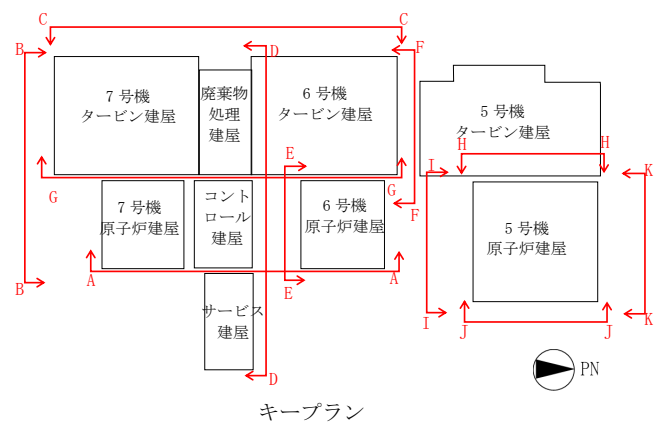
第3-8図 G-G 立面図

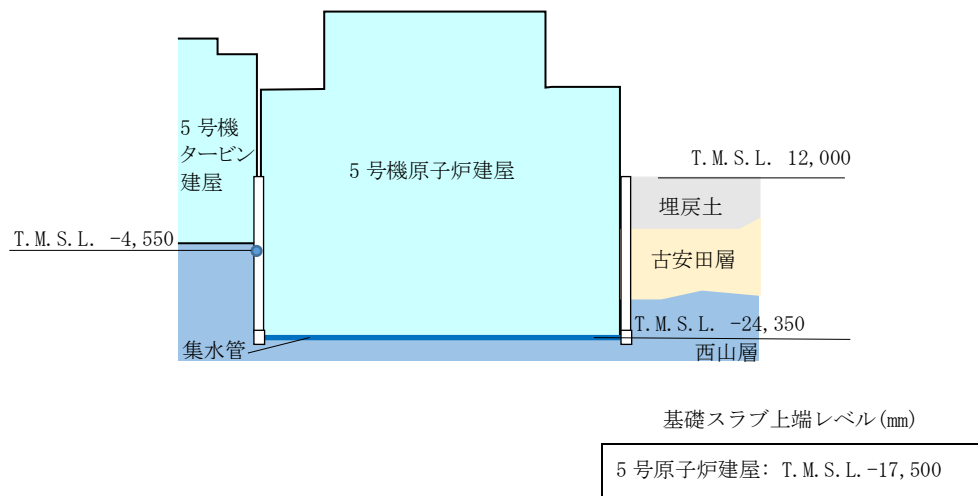


基礎スラブ上端レベル(mm)

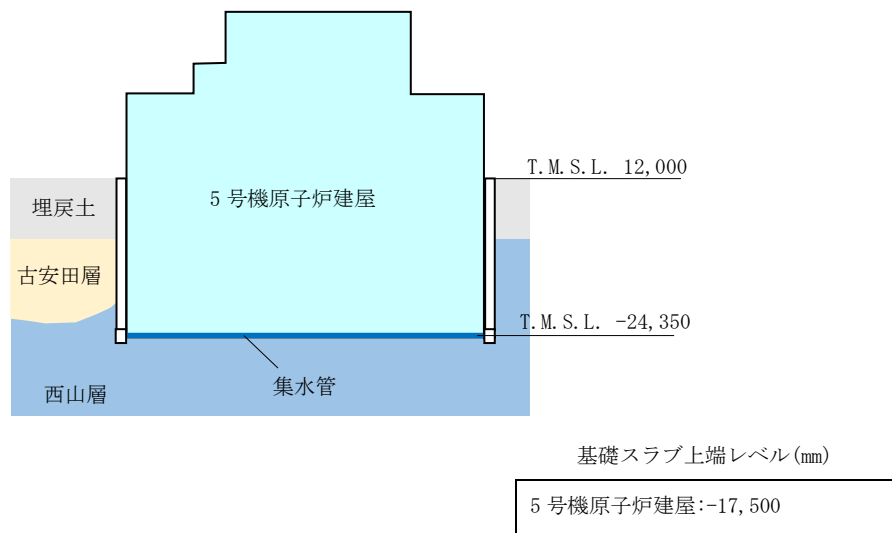
5号機原子炉建屋: T.M.S.L. -17,500

第3-9図 H-H 立面図

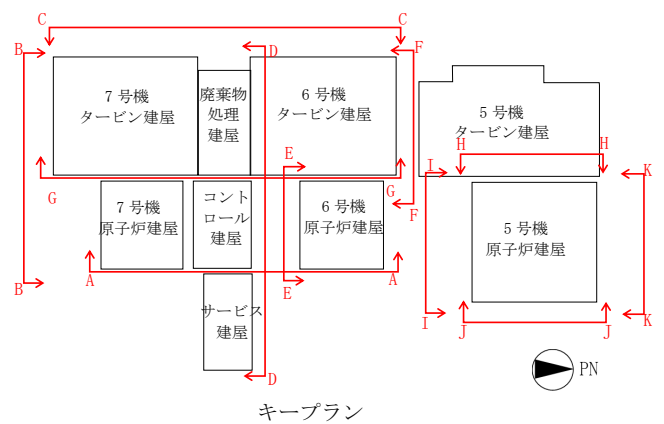


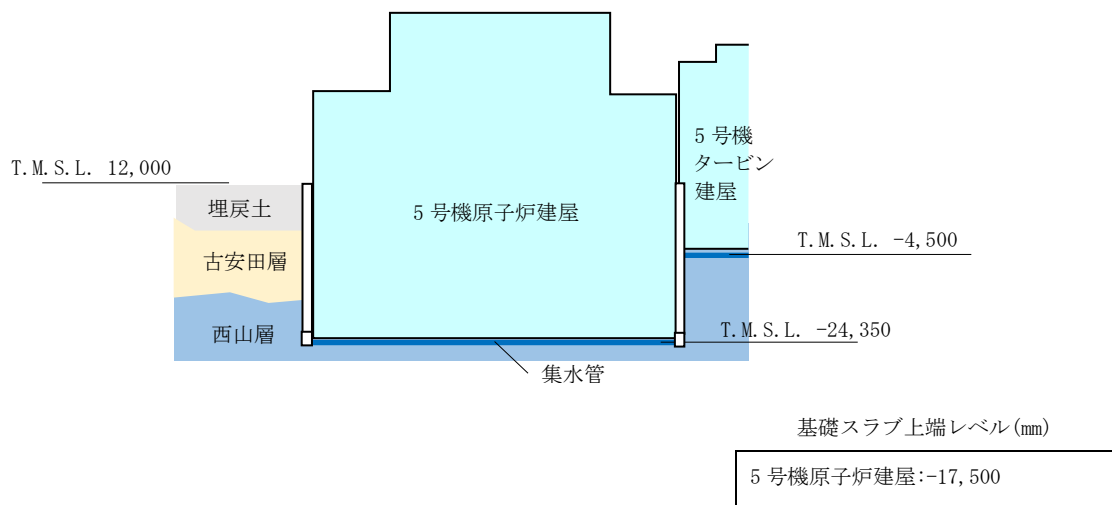


第3-10図 I-I 立面図

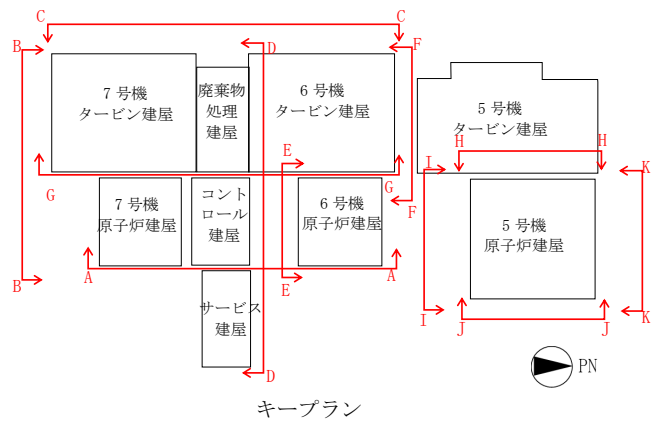


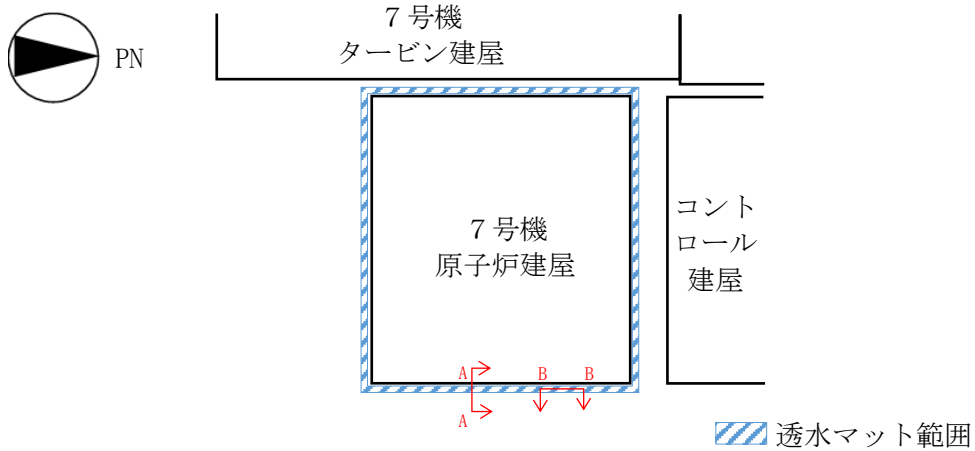
第3-11図 J-J 立面図



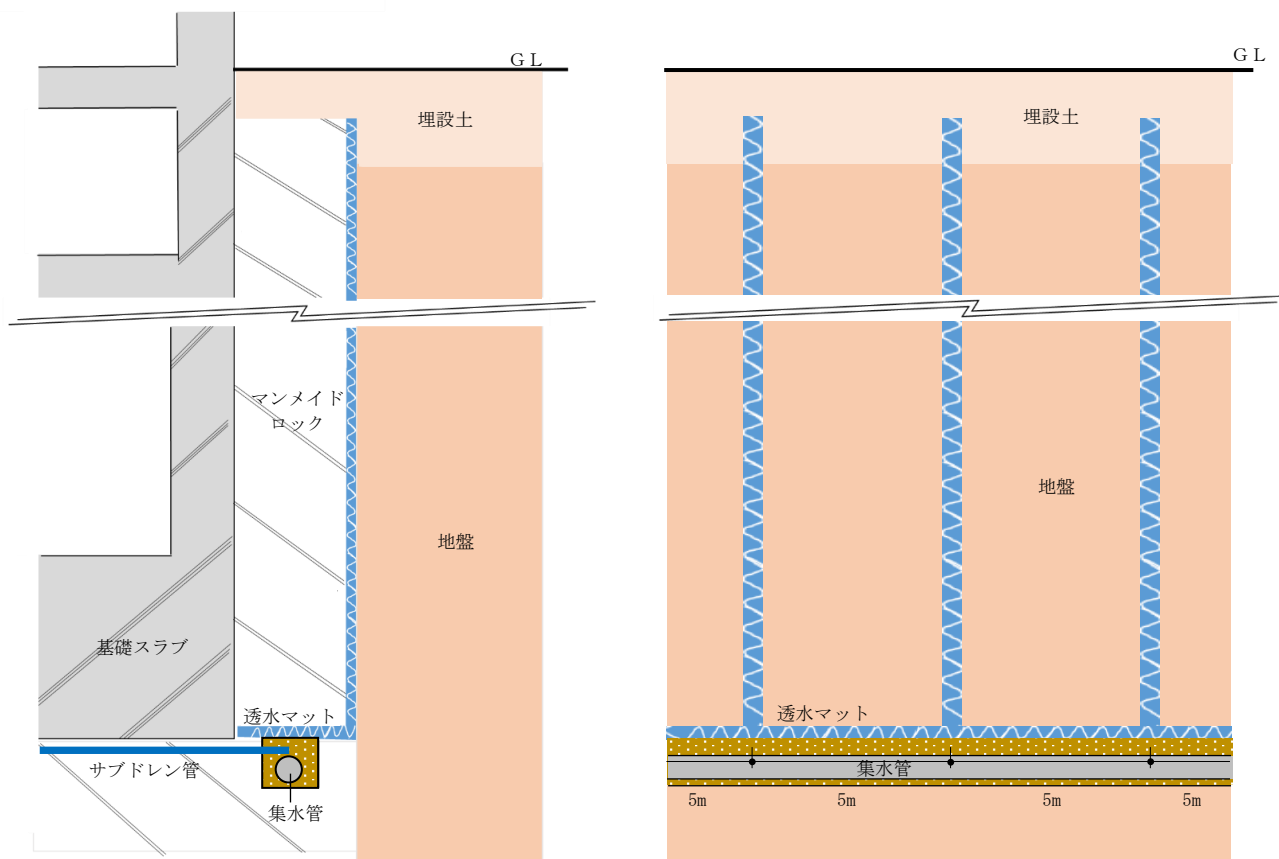


第3-12図 K-K 立面図





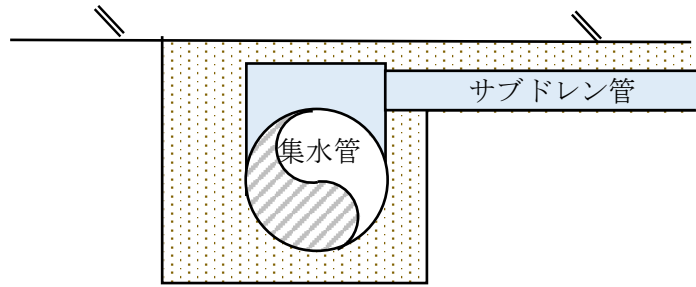
配置図



A-A 断面図

B-B 断面図

第 3-13 図 透水マットの敷設概念図



第 3-14 図 集水管敷設状況断面図



第 3-15 図 集水管敷設状況

機能	構成部位		7R-1, 7R-2 7R-3, 7R-4-2 7T-5, 7T-7 6R-1, 6R-3 6R-4, 6T-5 6T-6, 6T-7 5R-3, 5R-4	設備構成イメージ
集水機能	集水管 サブドレン管	○	○	
排水機能	サブドレン ポンプ	○	—	
	排水配管	○	—	
支持機能	サブドレン シャフト	○	—	
	サブドレン ピット	○	○	
監視・ 制御機能	水位検出器	○	—	
	サブドレン 動力制御盤	○	—	
電源機能	電源	○	—	

注：基準地震動 S_s に対して耐震性を有する部位を○とする。

第3-16図 地下水排水設備の設備構成

4. 地下水排水設備の排水能力

排水能力の設定には、建設計画時に実施した浸透流解析の結果から、第4-1表に示す湧水量を参照して想定湧水量を設定する。

第4-1表 浸透流解析に基づく想定湧水量

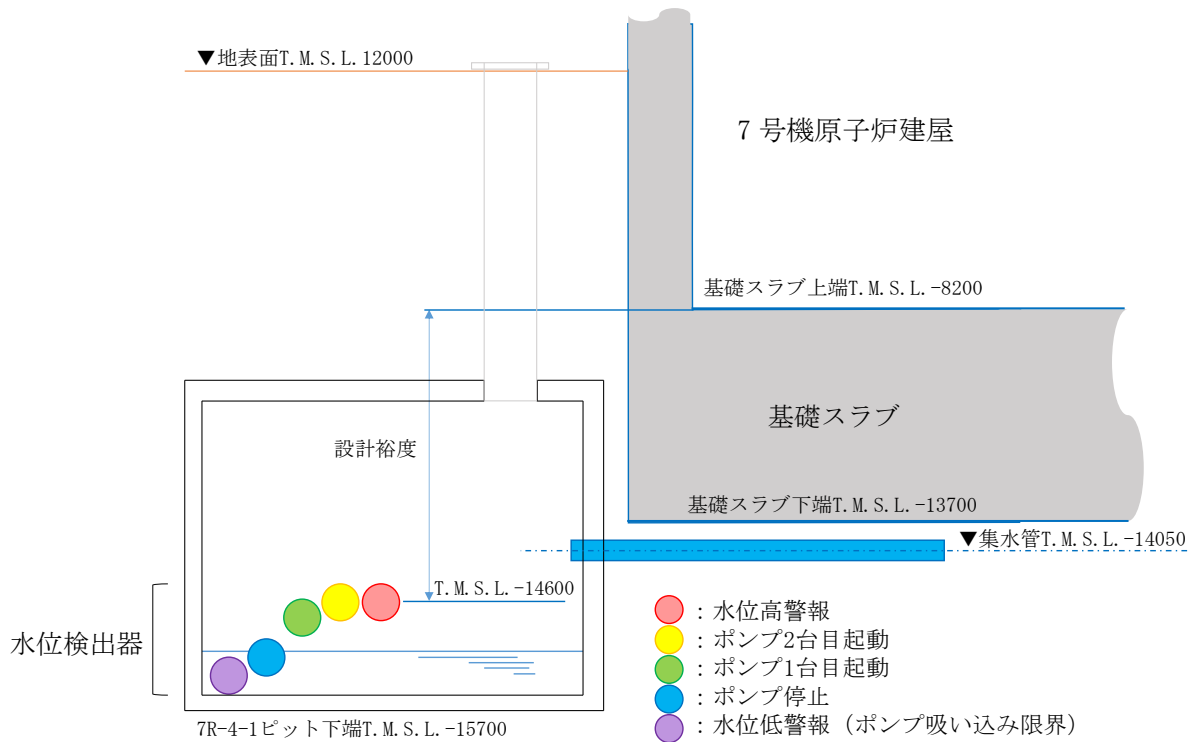
号機	解析結果	排水能力
7号機	741 L/min. (1067 m ³ /日)	1500 L/min.
5号機	289 L/min. (416 m ³ /日)	(2台/2カ所)

この解析実施時に併せて7号機側で実測した建築工事着手前の地下水の湧水量は、約(228 m³/日)であり、平成20年度から平成29年度の地下水の排水実績約(150 m³/日)と比較しても解析結果が十分な裕度を持った値であることから、本解析値以上の排水容量を有するサブドレンポンプを設置する。また、5号機側における地下水の排水実績は、平成20年度から平成29年度で(381 m³/日)であり、これらは、7号機地下水排水設備で設計したサブドレンポンプの排水容量に対し十分な裕度をもっていることから、7号機地下水排水設備の排水容量を有するサブドレンポンプを設置する。

なお、サブドレンポンプの配置については、サブドレンピット1カ所に750L/minの排水能力を有するポンプを2台設置し、通常時は交互運転とする。これを2カ所のサブドレンピットに配置することで、通常時の排水能力を1500L/minとし、更に、ポンプ起動水位を超えた場合については、1カ所のサブドレンピット内のポンプ2台が同時に運転するとして排水能力を高められる設計としている。

これらの排水能力の設定により、地震時の湧水に対しても十分な排水能力の裕度を確保できていると考えられることから、地下水位の上昇を抑制することが可能と判断する。

水位レベルとポンプ運転モード概念図を第4-1図に示す。



第 4-1 図 水位レベルとポンプ運転モード概念図（7号機原子炉建屋の例）

5. 建屋基礎スラブ上端までの水位上昇時間

地下水排水設備は、地震時及び地震後においても常に地下水排水機能の健全性を維持し、7号機原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋、廃棄物処理建屋及び5号機原子炉建屋（緊急時対策所を内設）の耐震性の確保の必要性から、もっとも水位条件の厳しい原子炉建屋基礎スラブ上端未満に地下水の水位を維持することが必要である。水位上昇時間については、対象建屋周辺の地盤による透水係数を考慮し算出した場合、十分な猶予時間が考えられるが、保守的に考慮し、原子炉建屋周辺に設置されている4カ所のサブドレンピットにおける1日当たりの最大湧水量を4カ所のサブドレンピットの底面積で除し、1時間当たりの上昇時間と基礎スラブ上端までの高さを比較し、猶予時間を算出する。算出結果を第5-1表に示す。

第 5-1 表 建屋基礎スラブ上端までの水位上昇猶予時間

号機	最大湧水量	ピット底面積	高低差*1	猶予時間
7号機	179 m ³ /日	31.7 m ²	6m	25 時間
5号機	390 m ³ /日	25.1 m ²	7m	10 時間

注記 *1：第 4-1 図に示す水位検出器の水位高警報から基礎スラブ上端までの距離を示す。

6. 電源構成

7号機は非常用電源（非常用ディーゼル発電機）から、5号機は5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備からの給電可能な設計とする。

7. 地下水排水設備に対する想定される現象への設計配慮

地下水排水設備は技術基準規則第5条（地震による損傷防止）、第12条（溢水等による損傷の防止）に適合するため、主要建屋周囲の地下水上昇を抑制する設備であり、外部事象防護対象施設*1の選定対象にならず外部事象に対する防護要求はない。なお、設計への配慮として7号機排水配管の強度計算書（管の基本板厚計算書）を作成するにあたり、安全重要度分類クラス3相当で設計すると共に、地下水排水設備は基準地震動S_s後にも機能を期待することから、基準地震動S_sにより発生が想定される屋外淡水タンク溢水や屋外変圧器火災影響に対し機能を損なわないよう設計の配慮を行う。

注記*1 : 外部事象防護対象施設

外部事象に対し防護が必要な構築物、系統及び機器（安全重要度分類のクラス1、クラス2及び安全評価上その機能に期待するクラス3に属する構築物、系統及び機器）に加え、それらを内包する建屋をいう。

8. 地下水排水設備機能維持の運用

地下水排水設備の耐震性向上並びに電源強化等を行うが、万が一、地下水排水設備が停止した場合、「5. 建屋基礎スラブ上端までの水位上昇時間」に示す建屋基礎スラブ上端までの保守的に考慮した水位上昇猶予時間内に、電力自主設備の可搬式ポンプを起動する運用とし、当該排水機能の維持を可能とする。

地震荷重と風荷重の組合せについて

補足説明資料目次

. はじめに

1. 自然現象評価における地震と風の組合せについて
2. 地震荷重と風荷重の組合せの影響評価について
3. タービン建屋，廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋の風荷重及び積雪荷重の比較について

．はじめに

本補足説明資料は、 -2-別添 4「地震荷重と風荷重の組合せの影響評価結果」の内容を補足するものである。

1. 自然現象評価における地震と風の組合せについて

1. はじめに

6/7号機設置変更許可申請において、自然現象の組合せを考慮した場合に原子炉施設に与える影響パターンを以下のフローに基づき選定している。

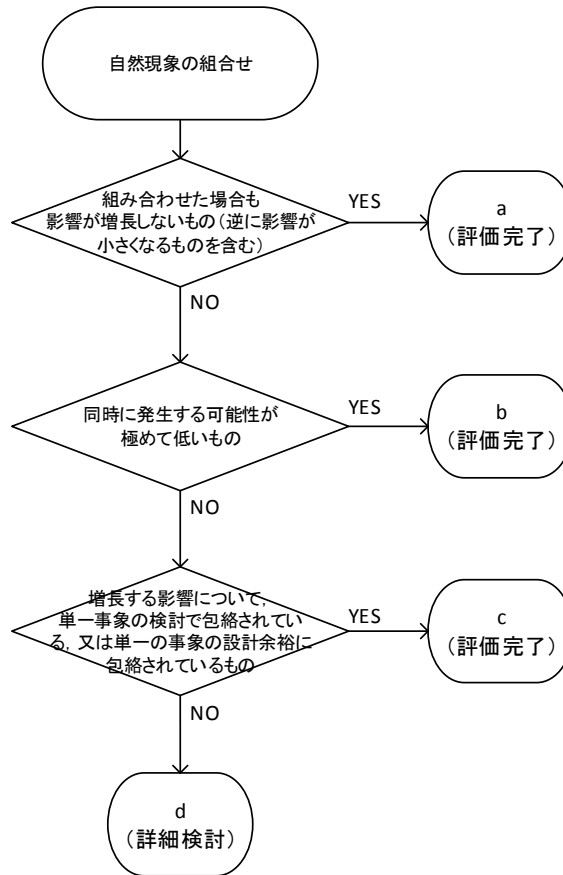


図1 影響パターン選定フロー

上記フローに基づき、地震と風の組合せについては、「同時に発生する可能性が極めて低いもの」に分類し、安全施設の安全機能が損なわれないと整理している。

本資料では、地震と風の組合せについて、同時に発生する可能性が極めて低いものと整理した根拠を記載する。

2. 自然現象の組合せ要否の考え方

6/7号機設置変更許可申請において、自然現象同士の組合せを考慮する際の事象の規模については、主事象として設計基準で想定している規模、副事象として年超過確率 10^{-2} の規模の事象を想定するとしている。

「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と判断する基準については、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」の記載内容を参考にしている。主事象の発生確率、副事象の発生確率、副事象の継続時間をかけ合わせ、その値が 10^{-7} /炉年以上の場合には組合せを考慮し、超えない場合には同時に発生する可能性が極めて低いため、組合せの考慮は不要と整理する。

【地震（主事象）と風（副事象）の組合せ評価】

①地震の年超過確率 [/年] × ②風の年超過確率 [/年] × ③風の継続時間 [年]
の値を求める。

- ① 地震（主事象）の規模として、設計基準相当を考える。6/7号機設置許可申請において、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-7$ の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度であり、基準地震動 S_s-8 の年超過確率は $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度とされていることから、 10^{-4} /年を選定する
- ② 重ね合わせるべき風（副事象）の規模として、年超過確率は 10^{-2} /年相当を選定する。
- ③ 風の継続時間は、設計基準等の風速を設定する際に10分間平均風速の気象庁データを用いていることから、10分（ $\approx 2 \times 10^{-5}$ 年）とする。

表1 地震（主事象）と風（副事象）の組合せを考慮した年超過確率

地震（主事象）の年超過確率	風（副事象）の年超過確率	風の継続時間	組合せを考慮した年超過確率
10^{-4} /年	10^{-2} /年	2×10^{-5} 年	2.0×10^{-11} /年

表1より、地震（主事象）と風（副事象）の組合せを考慮した年超過確率は、 2.0×10^{-11} /年となり、組合せ基準である 10^{-7} /年を大きく下回るため、地震（主事象）と風（副事象）の組合せは、同時に発生する可能性が極めて低いものと整理し、組合せの考慮は不要となる。

ただし、発生頻度が高い事象はベースとして負荷を常に考慮することと整理している。風は常時吹いていることから、ベースの負荷として年間を通じて生じ得る平均的な風速との組合せを考慮している。

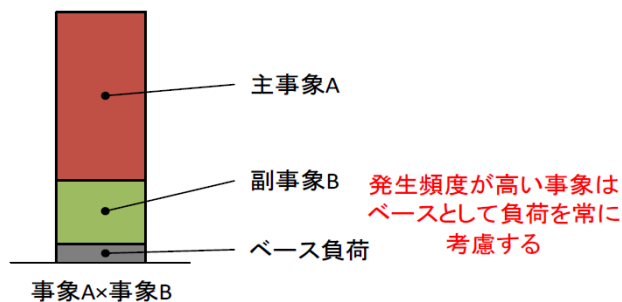


図2 ベース負荷の考え方

3. 平均的な風速について

柏崎刈羽原子力発電所周辺での平均的な風速について検討する。

新潟市の観測記録（1961年～2012年）に基づいて、平均風速を求めると 3.7m/s となる。

さらに、季節変動の影響の分析を実施すると、冬季（10月～3月）は夏季（4月～9月）と比較し、平均値が大きいことを確認した。

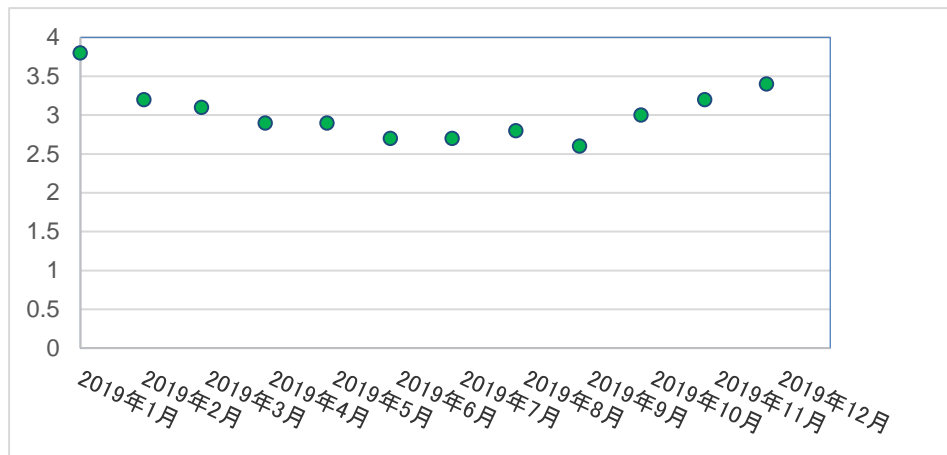


図3 2019年の新潟市における月別平均風速 [m/s]

季節変動による影響等を考慮し、新潟市の冬季観測記録（1961年～2012年）をもとに、

4. 1m/s を柏崎刈羽原子力発電所で考慮する平均的な風速と設定する。

（参考：柏崎市の冬季平均風速（1978年～2012年）：2.5m/s）

4. 基準地震動の荷重と平均的な風速の荷重の比較について

表2に7号機原子炉建屋を対象とした平均的な風速における風荷重と基準地震動における地震荷重の比較を示す。また、表3に7号機主排気筒を対象とした平均的な風速における風荷重と基準地震動における地震荷重の比較を示す。

平均的な風速として、1961年から2012年における新潟市の冬季の観測値を平均化したものを用いる。

表2 7号機原子炉建屋を対象とした風荷重と地震荷重の比較

7号機原子炉建屋（T.M.S.L 49.7m～38.2m，部材番号1相当）			
解析ケース		せん断力（kN）	基本ケースとの比
風荷重 （平均的な荷重）	平均的な風速 4.1m/s （1961年から2012年までの 新潟市の冬季平均風速）	28	0.00040
	基準地震動 （基本ケース最大値）	71700	1
地震荷重 （積雪荷重含む）	基準地震動 （パラスタケース*最大値）	74400	1.03766

注記*：材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

表3 7号機主排気筒を対象とした風荷重と地震荷重の比較

7号機主排気筒（入力荷重の総和）			
解析ケース		せん断力 (kN)	基本ケースとの比
風荷重 (平均的な荷重)	平均的な風速 4.1m/s (1961年から2012年までの 新潟市の冬季平均風速)	11	0.00175
地震荷重	基準地震動 (基本ケース最大値)	6300	1
	基準地震動 (パラスタケース*最大値)	6900	1.09524

注記*：材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

表2, 3より, 風荷重は基準地震動（基本ケース）と比較し, 7号機原子炉建屋の場合には0.040%, 7号機主排気筒の場合には0.175%であり, 基準地震動（基本ケース）と風荷重を組み合わせても, 基準地震動（パラスタケース）の比（1.03766, 1.09524）に包絡される。

以上より, 柏崎刈羽原子力発電所7号機においては, 地震荷重と風荷重との組合せを考慮するものの, 耐震評価においてはパラスタケースで代表させる方針としている。

2. 地震荷重と風荷重の組合せの影響評価について

1. 概要

工事計画に係る説明資料（発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書）のうち資料 1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書に係る補足説明資料」（以下「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書に係る補足説明資料」という。）の「1. 外部事象の重畳の考え方」別紙-1 において述べているとおり、地震を主荷重とし風を従荷重とする組合せは「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と整理している。また、同資料「2.2 積雪・降下火砕物堆積状態での地震発生時の評価について」で抽出した No.1 の重畳評価ケースである地震を主荷重とし積雪を従荷重とする組合せにおいては、ベース負荷として新潟市の冬季の平均風速（4.1m/s）を考慮して設計している（別紙-1 参照）。

このうち、積雪荷重が生じにくい形状の施設や除雪等の緩和措置に期待できる施設については、従荷重にあたる年超過確率 10^{-2} /年規模の積雪荷重の組合せを考慮していない。

これらの施設に関しては、従荷重としての積雪荷重を設計には加えていないものの、想定される地震とその際に生じうる外部事象に対し一定の裕度を有していることを確認するため、風荷重を大きくした場合の影響を確認する。

(1) 組み合わせる風速の条件について

柏崎刈羽原子力発電所の設計基準風速は、保守的な値となるよう、新潟県各地の観測記録を比較し、その中でも大きい風速が観測される傾向がある新潟市の観測記録に基づき定めているが、地震荷重と組み合わせる風速については、ベース負荷として用いている冬季の平均風速よりも大きい値として、柏崎市の観測記録の既往最大である 16m/s（10 分間平均値，地上高 10m）（別紙-2 参照）を用いる。

なお、発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書に係る補足説明資料の「1. 外部事象の重畳の考え方」別紙-1 において述べているとおり、地震を主荷重とし風を従荷重とする組合せは「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と整理しているが、本評価で用いる風速値は統計的には 10 分間平均値の年超過確率 2×10^{-2} /年に相当する値となる（別紙-5 参照）。また、風荷重の算出においては、建築基準法及び建設省告示に基づき、高さに応じたガスト影響係数を乗じることで、突発的な風荷重についても考慮することとする（別紙-6 参照）。

(2) 対象となる施設の選定について

対象となる施設については、耐震計算書の屋外対象物を参考に図1のフローにて選定する。選定結果を別紙-3にまとめる。

選定された対象のうち以下の観点で特に風の影響を受けやすいと考えられるものについて影響評価を行う。

- a. 重量が軽く耐震性能の裕度に対して風の影響が大きくなる可能性のある鉄骨造施設
- b. その他、屋外で風の影響を受けると推定される施設

特に風の影響を受けやすいと推定される施設を表1に、配置図を図2に示す。

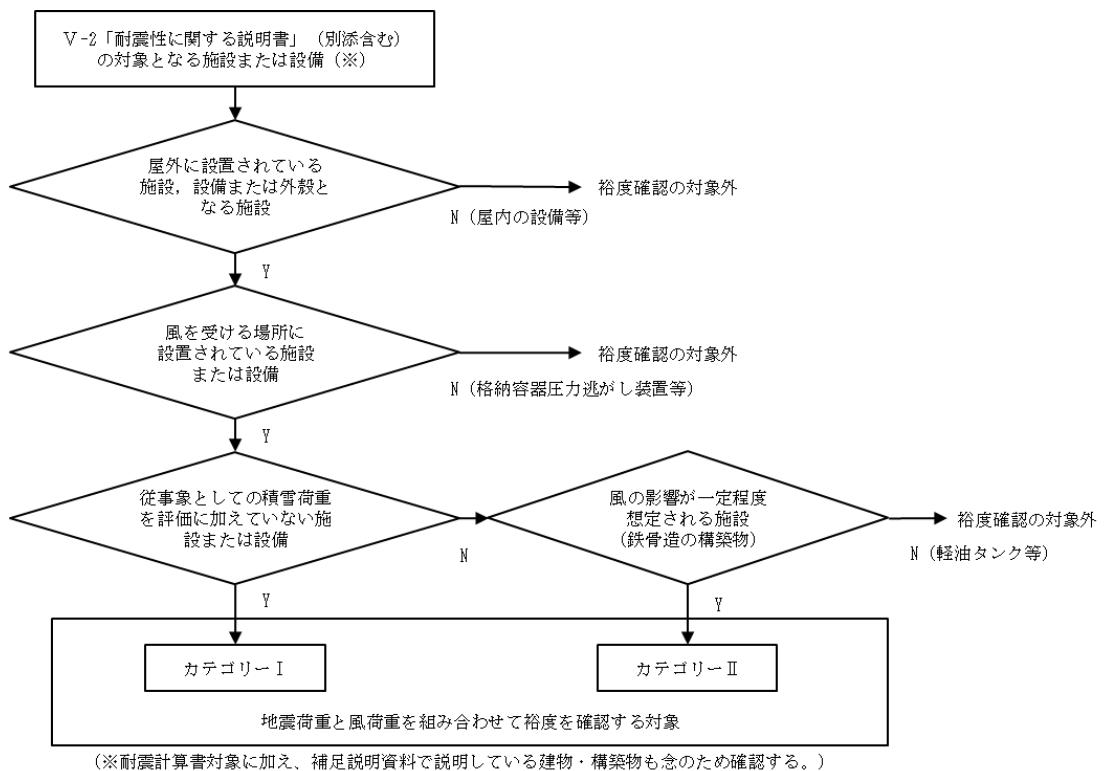


図1 地震荷重と風荷重を組み合わせる対象施設の選定フロー

表1 対象施設のうち、特に風の影響を受けやすいと推定される施設

カテゴリー	施設	観点
カテゴリー I	主排気筒	a.
	5号機主排気筒	a.
	火災感知器(熱感知カメラ)	b.
	衛星無線通信装置用アンテナ	b.
カテゴリー II	第一ガスタービン発電機(発電機車, 制御車)	b.
	タービン建屋	a.
	廃棄物処理建屋	a.
	5号機タービン建屋	a.

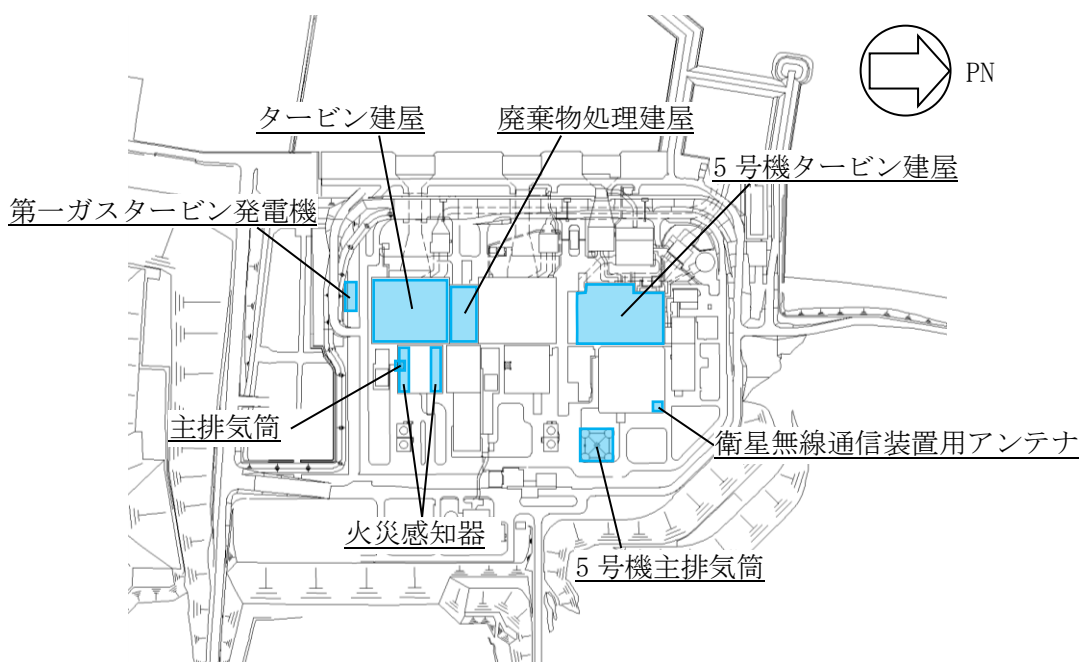


図2 特に風の影響を受けやすいと推定される施設の配置図

(3) 影響確認について

① 主排気筒

対象とした施設のうち、7号機の主排気筒については、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」の補足説明資料の別紙4「地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討」に示すように、主排気筒のモデル化における保守性を、実状に合わせた解析モデルへと見直すことで、基準地震動 S_s 及び風荷重(16m/s)の組合せを考慮した場合であっても、最も厳しい部材において検定値が1を下回ることを確認した。確認結果を表2に示す。

表2 7号機主排気筒における基準地震動 S_s 及び風速16m/sを重畳させた場合の影響確認結果

ケース	最大検定値 (断面算定結果)			
	支柱材	斜材	水平材	筒身
S_s -1 (基本ケース)	0.61	0.74	0.17	0.76
S_s -2 (回転ばね低減ケース)	0.95	0.69	0.25	0.81

また、5号機主排気筒については、KK7補足-024-3「下位クラス施設の波及的影響の検討について」の添付資料7「5号機主排気筒の波及的影響について」の別紙2「年超過確率 10^{-2} の風荷重に対する変位と基準地震動 S_s による変位応答との重畳について」に示すように、基準地震動 S_s 及び風荷重(16m/s)の組合せを考慮した場合であっても、全体変形角が許容限界(1/100)以下であることから倒壊しないことを確認した。確認結果を表3に示す。

表3 5号機主排気筒における基準地震動 S_s 及び風速16m/sを重畳させた場合の影響確認結果

項目	鉄塔部	筒身部
重畳時の全体変形角	1/155	1/149

② 鉄骨造の建物（タービン建屋，廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋）

地震の従荷重として積雪を重畳させている施設のうち，風荷重による影響が比較的大きいと考えられる鉄骨造の建物（タービン建屋，廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋）については，地震応答解析で考慮している積雪荷重と風速 16m/s による風荷重を比較し，積雪荷重による慣性力が大きいことを確認することで，基準地震動 S_s 及び風荷重 (16m/s) の組合せについて影響がないことを確認した。確認結果を図3に示す。

なお，詳細については本補足説明資料「3. 鉄骨造の建物の風荷重及び積雪荷重の比較について」に示す。

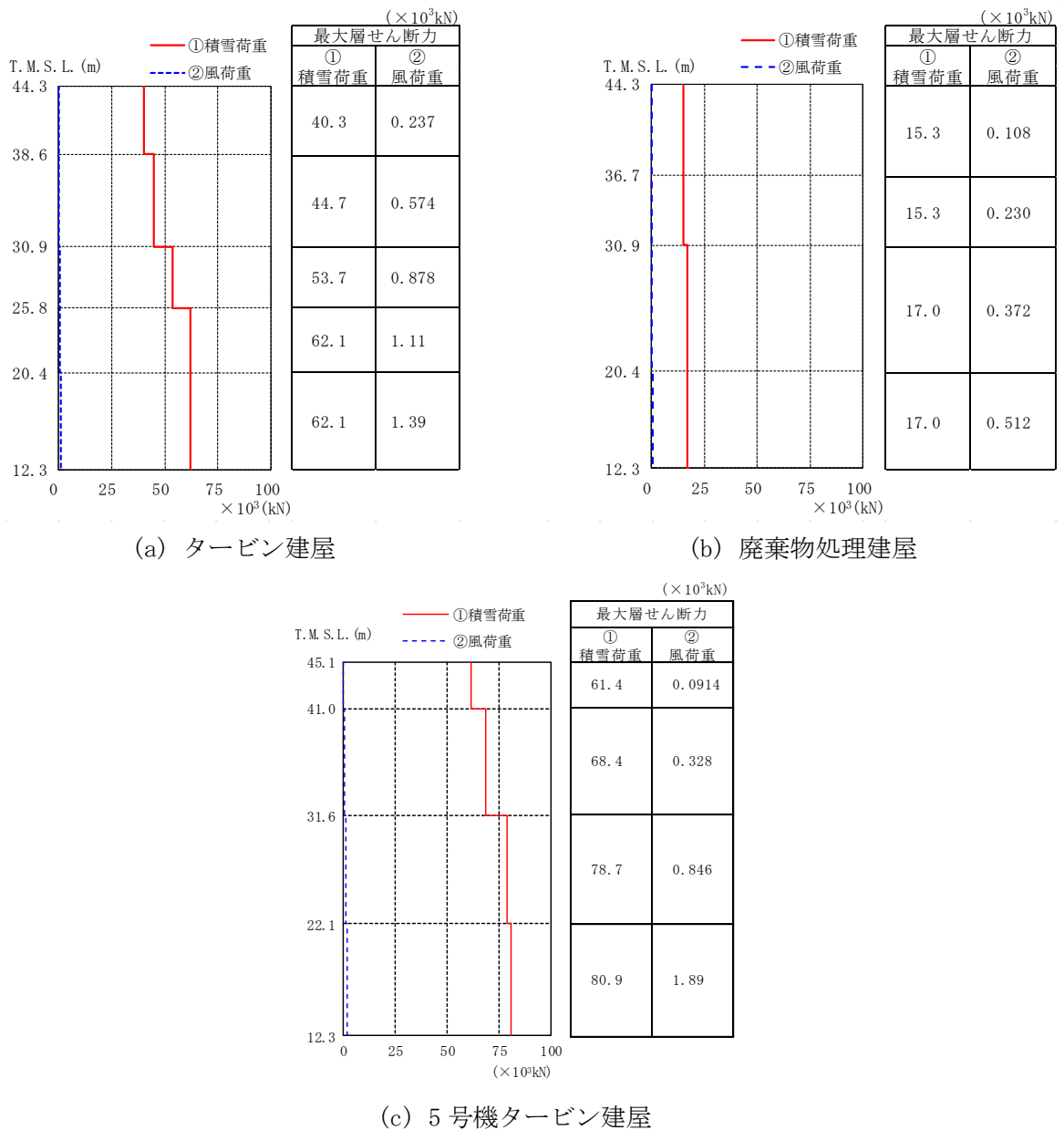


図3 風荷重と積雪荷重の比較

注：風荷重はNS方向及びEW方向の包絡値を示す。

③ 機器・配管系の設備

機器・配管系の設備については、以下の方法のうち、適切な手段を選択し確認を行う。

方法①：耐震計算書の最小裕度部材について、地震荷重と風荷重を組み合わせた評価を行う。

方法②：「耐震計算書（地震荷重）の評価結果（裕度）」と「地震荷重（ $m \cdot C_H \cdot g$ ）と風荷重（ W ）の比」の比較を行う。

方法③：「加振試験における設計用床応答曲線に対する加振波の床応答曲線の裕度」と「風荷重（ W ）」の比較を行う。

表4に示すとおり、機器・配管系の設備も地震荷重に加え16m/sの風荷重を考慮しても、裕度の範囲に含まれることを確認した。

表4 地震荷重と風荷重を組み合わせた際の裕度の確認結果

工認図書番号	施設	確認方法	基準地震動 S_s の評価			基準地震動 S_s + 風荷重 (16m/s) の評価			確認結果
			評価値	判定値	裕度	評価値	判定値	裕度	
V-2-別添 1-2	火災感知器 (熱感知カメラ)	①	29 MPa	154 MPa	5.3	35 MPa	154 MPa	4.4	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-15(1)	衛星無線通信装置 用アンテナ	②	21 MPa	193 MPa	9.1	26.6 MPa	193 MPa	7.2	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-10-1-2-2-1	第一ガスタービン 発電機 (発電機車)	③	100%	158%	58%*	102%	158%	56%	現設計の裕度に包絡されることを確認
	第一ガスタービン 発電機 (制御車)	③	100%	145%	45%*	104%	145%	41%	現設計の裕度に包絡されることを確認

注記*：加振試験にて評価を行っている施設の、設計用床応答曲線に対する加振波の床応答曲線の裕度を示す。

(4) まとめ

地震を主荷重とし風を従荷重とする組合せは「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と整理しているが、地震とその他自然現象の組合せのうち、積雪荷重の影響を受けにくい施設について、設計の裕度を確認するため柏崎市の観測記録の既往最大である 16m/s の風荷重と地震荷重を組み合わせた確認の方針を検討し評価を行った。その結果、評価を行ったいずれの施設においても、一定の裕度を有していることを確認した。

なお、地震荷重と組み合わせる風速 16m/s は年超過確率で 2×10^{-2} / 年に相当する風速であるが、別紙-4 に記載するとおり、継続時間を考慮すると組み合わせた際の掛け合わせた結果は、 4×10^{-11} / 年となる。

(5) 別紙

- 別紙-1 「冬季の平均的な風速」の算出について
- 別紙-2 柏崎市の既往最大の風速（10 分間平均値）
- 別紙-3 対象施設の選定結果及び裕度評価結果について
- 別紙-4 地震（S s）と風（16m/s）の組合せに関する統計的考察について
- 別紙-5 柏崎市における既往最大風速 16m/s の年超過確率評価方法
- 別紙-6 風荷重の算出に用いた係数の設定について
- 別紙-7 第一ガスタービン発電機の加振試験における裕度について

以上

「冬季の平均的な風速」の算出について

1. インプットデータ入手元

気象庁 HP「過去の気象データ・ダウンロード」からデータをダウンロード

(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>)

2. インプットデータ概要

・新潟市

・1961年10月～2012年3月までの冬季（10月，11月，12月，1月，2月，3月）の月平均風速データ ^(※) 306点

※：月平均風速データは，毎10分の観測値（144回/日）の平均である日平均風速値を月の日数で平均して求められている

・正常値（統計のもととなるデータに欠損がない）及び準正常値（統計を行う対象資料が許容範囲で欠けている）を使用

3. 算出方法

・306点の風速データを足して，サンプル数306で単純平均（荷重平均を考慮せず）し算出

4. 算出結果

上記算出方法により算出し，4.1m/sとの結果を得た。

表1 「冬季の平均的な風速」算出に使用したデータ

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1961	10	3.7	3.7
1961	11	4.2	4.2
1961	12	5	5
1962	1	5.4	5.4
1962	2	5.3	5.3
1962	3	4.9	4.9
1962	4	4.3	—
1962	5	3.3	—
1962	6	2.9	—
1962	7	3.2	—
1962	8	3.6	—
1962	9	3.4	—
1962	10	2.9	2.9
1962	11	4	4
1962	12	4.5	4.5
1963	1	6.5	6.5
1963	2	4.6	4.6
1963	3	4.2	4.2
1963	4	3.9	—
1963	5	3.2	—
1963	6	3.2	—
1963	7	2.8	—
1963	8	3	—
1963	9	3.5	—
1963	10	3.4	3.4
1963	11	3.8	3.8
1963	12	4.5	4.5
1964	1	4.1	4.1
1964	2	5.2	5.2
1964	3	4.2	4.2
1964	4	4	—
1964	5	3.4	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1964	6	3.6	—
1964	7	2.9	—
1964	8	3.3	—
1964	9	2.9	—
1964	10	3.3	3.3
1964	11	4.1	4.1
1964	12	4.4	4.4
1965	1	5.1	5.1
1965	2	6.1	6.1
1965	3	5.2	5.2
1965	4	4.1	—
1965	5	3.2	—
1965	6	2.7	—
1965	7	3	—
1965	8	2.9	—
1965	9	3.3	—
1965	10	3.1	3.1
1965	11	5.1	5.1
1965	12	5.6	5.6
1966	1	6.6	6.6
1966	2	5.1	5.1
1966	3	5.1	5.1
1966	4	4.1	—
1966	5	4	—
1966	6	3.6	—
1966	7	3.4	—
1966	8	3	—
1966	9	3.4	—
1966	10	3.5	3.5
1966	11	4.2	4.2
1966	12	5.1	5.1
1967	1	6.4	6.4

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1967	2	4.3	4.3
1967	3	4.2	4.2
1967	4	4.4	—
1967	5	3.2	—
1967	6	3.4	—
1967	7	2.9	—
1967	8	3.2	—
1967	9	3.4	—
1967	10	3.5	3.5
1967	11	3.8	3.8
1967	12	5.3	5.3
1968	1	6.1	6.1
1968	2	4.9	4.9
1968	3	4.4	4.4
1968	4	3.4	—
1968	5	3.6	—
1968	6	3.3	—
1968	7	3.7	—
1968	8	3.7	—
1968	9	4	—
1968	10	2.9	2.9
1968	11	3.8	3.8
1968	12	4.4	4.4
1969	1	4.5	4.5
1969	2	4.5	4.5
1969	3	4.4	4.4
1969	4	3.7	—
1969	5	4.2	—
1969	6	3.2	—
1969	7	3.1	—
1969	8	3.1	—
1969	9	2.9	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1969	10	3.5	3.5
1969	11	4.2	4.2
1969	12	5.3	5.3
1970	1	5	5
1970	2	5.8	5.8
1970	3	5.5	5.5
1970	4	3.6	—
1970	5	3.8	—
1970	6	2.9	—
1970	7	3.3	—
1970	8	3.2	—
1970	9	3	—
1970	10	3.2	3.2
1970	11	4.4	4.4
1970	12	4.8	4.8
1971	1	5	5
1971	2	4.1	4.1
1971	3	4.9	4.9
1971	4	3.6	—
1971	5	3.5	—
1971	6	3	—
1971	7	3.1	—
1971	8	3.3	—
1971	9	3.2	—
1971	10	3.2	3.2
1971	11	3.7	3.7
1971	12	4.5	4.5
1972	1	4.1	4.1
1972	2	4.8	4.8
1972	3	3.5	3.5
1972	4	3.6	—
1972	5	3.7	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1972	6	3.3	—
1972	7	3.3	—
1972	8	2.9	—
1972	9	3.5	—
1972	10	3.6	3.6
1972	11	5.1	5.1
1972	12	4.5	4.5
1973	1	4.5	4.5
1973	2	4.9	4.9
1973	3	4.9	4.9
1973	4	3.9	—
1973	5	3.5	—
1973	6	2.8	—
1973	7	2.7	—
1973	8	3	—
1973	9	3.2	—
1973	10	3.5	3.5
1973	11	5	5
1973	12	5.4	5.4
1974	1	6.1	6.1
1974	2	4.4	4.4
1974	3	3.9	3.9
1974	4	4.3	—
1974	5	3.4	—
1974	6	3.2	—
1974	7	2.6	—
1974	8	3.1	—
1974	9	3.2	—
1974	10	3.4	3.4
1974	11	4.9	4.9
1974	12	4.8	4.8
1975	1	4.1	4.1

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1975	2	4.2	4.2
1975	3	3.8	3.8
1975	4	3.3	—
1975	5	3.1	—
1975	6	2.7	—
1975	7	2.5	—
1975	8	2.8	—
1975	9	2.6	—
1975	10	2.8	2.8
1975	11	3.3	3.3
1975	12	3.5	3.5
1976	1	4.8	4.8
1976	2	3.5	3.5
1976	3	3.3	3.3
1976	4	2.8	—
1976	5	3	—
1976	6	2.7	—
1976	7	2.4	—
1976	8	2.6	—
1976	9	2.6	—
1976	10	3.3	3.3
1976	11	3.9	3.9
1976	12	4.5	4.5
1977	1	4.9	4.9
1977	2	3.9	3.9
1977	3	3.2	3.2
1977	4	3.4	—
1977	5	3.2	—
1977	6	2.7	—
1977	7	2.3	—
1977	8	2.7	—
1977	9	2.4	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1977	10	2.2	2.2
1977	11	2.9	2.9
1977	12	3.6	3.6
1978	1	4.2	4.2
1978	2	4	4
1978	3	3.5	3.5
1978	4	3.3	—
1978	5	3	—
1978	6	2.4	—
1978	7	2.5	—
1978	8	2.8	—
1978	9	2.4	—
1978	10	2.9	2.9
1978	11	2.5	2.5
1978	12	3.3	3.3
1979	1	3.4	3.4
1979	2	3.1	3.1
1979	3	3.3	3.3
1979	4	3.5	—
1979	5	2.8	—
1979	6	2.2	—
1979	7	2.5	—
1979	8	2.6	—
1979	9	2.3	—
1979	10	2.6	2.6
1979	11	3.1	3.1
1979	12	3	3
1980	1	4	4
1980	2	3.8	3.8
1980	3	2.7	2.7
1980	4	2.4	—
1980	5	2.6	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1980	6	2.5	—
1980	7	2.1	—
1980	8	2.2	—
1980	9	2.1	—
1980	10	3.3	3.3
1980	11	2.5	2.5
1980	12	4.4	4.4
1981	1	5.4	5.4
1981	2	4	4
1981	3	3.8	3.8
1981	4	3.7	—
1981	5	3.7	—
1981	6	2.4	—
1981	7	2.7	—
1981	8	3.1	—
1981	9	2.7	—
1981	10	3.6	3.6
1981	11	4.2	4.2
1981	12	4.5	4.5
1982	1	4.7	4.7
1982	2	4.3	4.3
1982	3	3.8	3.8
1982	4	3.9	—
1982	5	3.5	—
1982	6	3.2	—
1982	7	3	—
1982	8	3.4	—
1982	9	3.5	—
1982	10	3.5	3.5
1982	11	3.9	3.9
1982	12	4.3	4.3
1983	1	4.5	4.5

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1983	2	4.6	4.6
1983	3	4.1	4.1
1983	4	3.5	—
1983	5	3.6	—
1983	6	3.4	—
1983	7	3.1	—
1983	8	3.1	—
1983	9	3	—
1983	10	3.4	3.4
1983	11	4	4
1983	12	4.8	4.8
1984	1	4.4	4.4
1984	2	4.9	4.9
1984	3	3.8	3.8
1984	4	2.9	—
1984	5	3.2	—
1984	6	3	—
1984	7	2.9	—
1984	8	3.3	—
1984	9	3	—
1984	10	3.7	3.7
1984	11	3.3	3.3
1984	12	4.4	4.4
1985	1	5.1	5.1
1985	2	4.8	4.8
1985	3	3.3	3.3
1985	4	3.2	—
1985	5	3	—
1985	6	3	—
1985	7	2.8	—
1985	8	3.2	—
1985	9	2.9	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1985	10	3.3	3.3
1985	11	4	4
1985	12	4.2	4.2
1986	1	5.1	5.1
1986	2	4.4	4.4
1986	3	4.1	4.1
1986	4	3.8	—
1986	5	3.5	—
1986	6	3	—
1986	7	2.9	—
1986	8	3.1	—
1986	9	3.1	—
1986	10	3.2	3.2
1986	11	3.9	3.9
1986	12	4.6	4.6
1987	1	5.1	5.1
1987	2	4.8	4.8
1987	3	4.1	4.1
1987	4	3.5	—
1987	5	3.3	—
1987	6	3.2	—
1987	7	3.2	—
1987	8	3.1	—
1987	9	3.5	—
1987	10	3.4	3.4
1987	11	4	4
1987	12	4.1	4.1
1988	1	4.7	4.7
1988	2	4.7	4.7
1988	3	3.9	3.9
1988	4	3.7	—
1988	5	3.5	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1988	6	3.3	—
1988	7	3.1	—
1988	8	3	—
1988	9	3	—
1988	10	3.6	3.6
1988	11	3.9	3.9
1988	12	4.7	4.7
1989	1	4.1	4.1
1989	2	3.8	3.8
1989	3	3.9	3.9
1989	4	3.8	—
1989	5	3.4	—
1989	6	3.3	—
1989	7	3.3	—
1989	8	3.2	—
1989	9	2.7	—
1989	10	3.4	3.4
1989	11	3.7	3.7
1989	12	4.4	4.4
1990	1	4.6	4.6
1990	2	3.3	3.3
1990	3	4.1	4.1
1990	4	3.5	—
1990	5	3	—
1990	6	3.4	—
1990	7	3.1	—
1990	8	3.2	—
1990	9	3.2	—
1990	10	2.8	2.8
1990	11	3.8	3.8
1990	12	4.9	4.9
1991	1	4.7	4.7

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1991	2	5	5
1991	3	3.6	3.6
1991	4	3.2	—
1991	5	3.4	—
1991	6	3.2	—
1991	7	3.4	—
1991	8	3.1	—
1991	9	3.1	—
1991	10	3.1	3.1
1991	11	3.4	3.4
1991	12	3.9	3.9
1992	1	3.9	3.9
1992	2	4.3	4.3
1992	3	3.3	3.3
1992	4	3.9	—
1992	5	3.5	—
1992	6	3	—
1992	7	3.1	—
1992	8	3.2	—
1992	9	3.7	—
1992	10	3	3
1992	11	3.7	3.7
1992	12	4.5	4.5
1993	1	4.3	4.3
1993	2	5.3	5.3
1993	3	3.7	3.7
1993	4	4.1	—
1993	5	3.3	—
1993	6	3.1	—
1993	7	3	—
1993	8	3.1	—
1993	9	3	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1993	10	3.4	3.4
1993	11	3.7	3.7
1993	12	4.7	4.7
1994	1	4.3	4.3
1994	2	5.7	5.7
1994	3	4	4
1994	4	3.8	—
1994	5	3.7	—
1994	6	3	—
1994	7	3.3	—
1994	8	3.1	—
1994	9	3.1	—
1994	10	3	3
1994	11	3.1	3.1
1994	12	4.4	4.4
1995	1	4.9	4.9
1995	2	3.7	3.7
1995	3	3.7	3.7
1995	4	4.1	—
1995	5	3.3	—
1995	6	2.9	—
1995	7	2.9	—
1995	8	3.2	—
1995	9	3.1	—
1995	10	3.3	3.3
1995	11	4.7	4.7
1995	12	5.1	5.1
1996	1	4.8	4.8
1996	2	4.3	4.3
1996	3	4.2	4.2
1996	4	3.9	—
1996	5	3.2	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1996	6	3.2	—
1996	7	3	—
1996	8	3.3	—
1996	9	3	—
1996	10	3	3
1996	11	3.7	3.7
1996	12	3.8	3.8
1997	1	5.1	5.1
1997	2	4.5	4.5
1997	3	3.9	3.9
1997	4	3.5	—
1997	5	3.5	—
1997	6	3.1	—
1997	7	3.3	—
1997	8	3	—
1997	9	3.2	—
1997	10	3.5	3.5
1997	11	3.6	3.6
1997	12	3.6	3.6
1998	1	4.4	4.4
1998	2	3.6	3.6
1998	3	3.9	3.9
1998	4	3	—
1998	5	3.2	—
1998	6	3.8	—
1998	7	3.2	—
1998	8	2.9	—
1998	9	3	—
1998	10	3.4	3.4
1998	11	4	4
1998	12	4.2	4.2
1999	1	4.9	4.9

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
1999	2	4.5	4.5
1999	3	3.8	3.8
1999	4	3.8	—
1999	5	3.5	—
1999	6	2.9	—
1999	7	2.8	—
1999	8	3.2	—
1999	9	3.2	—
1999	10	3.3	3.3
1999	11	3.4	3.4
1999	12	4.2	4.2
2000	1	4.3	4.3
2000	2	5.2	5.2
2000	3	4.8	4.8
2000	4	4.7	—
2000	5	3.2	—
2000	6	2.7	—
2000	7	3	—
2000	8	3	—
2000	9	3.5	—
2000	10	2.8	2.8
2000	11	3.7	3.7
2000	12	4.6	4.6
2001	1	5.2	5.2
2001	2	4.4	4.4
2001	3	4.3	4.3
2001	4	3.4	—
2001	5	3	—
2001	6	3	—
2001	7	3.2	—
2001	8	3.1	—
2001	9	3.1	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
2001	10	3.4	3.4
2001	11	3.4	3.4
2001	12	4.9	4.9
2002	1	4.9	4.9
2002	2	3.9	3.9
2002	3	3.9	3.9
2002	4	3.5	—
2002	5	3.1	—
2002	6	3.1	—
2002	7	2.8	—
2002	8	3.4	—
2002	9	2.9	—
2002	10	3.6	3.6
2002	11	4.2	4.2
2002	12	3.1	3.1
2003	1	4.3	4.3
2003	2	3.1	3.1
2003	3	3.7	3.7
2003	4	3.2	—
2003	5	3.1	—
2003	6	3	—
2003	7	3	—
2003	8	2.8	—
2003	9	2.8	—
2003	10	3.4	3.4
2003	11	3.2	3.2
2003	12	4.6	4.6
2004	1	4.4	4.4
2004	2	4.1	4.1
2004	3	3.4	3.4
2004	4	3.7	—
2004	5	3.2	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
2004	6	2.5	—
2004	7	3.4	—
2004	8	3.6	—
2004	9	3.2	—
2004	10	2.8	2.8
2004	11	3	3
2004	12	3.8	3.8
2005	1	4.3	4.3
2005	2	4.2	4.2
2005	3	3.8	3.8
2005	4	3.5	—
2005	5	3.3	—
2005	6	2.8	—
2005	7	2.9	—
2005	8	2.6	—
2005	9	3.1	—
2005	10	2.6	2.6
2005	11	3.3	3.3
2005	12	4.6	4.6
2006	1	3.8	3.8
2006	2	3.9	3.9
2006	3	3.8	3.8
2006	4	3.8	—
2006	5	3	—
2006	6	2.9	—
2006	7	2.8	—
2006	8	2.8	—
2006	9	2.9	—
2006	10	2.6	2.6
2006	11	3	3
2006	12	3.4	3.4
2007	1	3.5	3.5

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
2007	2	3.7	3.7
2007	3	3.8	3.8
2007	4	3	—
2007	5	3.6	—
2007	6	2.5	—
2007	7	2.5	—
2007	8	2.5	—
2007	9	3.1	—
2007	10	2.6	2.6
2007	11	3.3	3.3
2007	12	3.3	3.3
2008	1	3.7	3.7
2008	2	4	4
2008	3	3.1	3.1
2008	4	3.3	—
2008	5	3.9	—
2008	6	2.6	—
2008	7	2.2	—
2008	8	2.9	—
2008	9	2.5	—
2008	10	2.9	2.9
2008	11	3	3
2008	12	3.9	3.9
2009	1	3.9	3.9
2009	2	3.5	3.5
2009	3	3.6	3.6
2009	4	3.4	—
2009	5	3.1	—
2009	6	2.7	—
2009	7	2.5	—
2009	8	2.3	—
2009	9	2.8	—

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
2009	10	2.9	2.9
2009	11	3.4	3.4
2009	12	3.8	3.8
2010	1	4.3	4.3
2010	2	3.1	3.1
2010	3	3.5	3.5
2010	4	3.9	—
2010	5	2.9	—
2010	6	2.2	—
2010	7	2.4	—
2010	8	2.4	—
2010	9	2.9	—
2010	10	3	3
2010	11	3.3	3.3
2010	12	4.4	4.4

年	月	気象庁 風速データ (m/s)	算出に使用 したデータ (m/s)
2011	1	4.3	4.3
2011	2	3	3
2011	3	3.6	3.6
2011	4	3.1	—
2011	5	3.1	—
2011	6	2.6	—
2011	7	3	—
2011	8	2.7	—
2011	9	3.2	—
2011	10	3	3
2011	11	2.8	2.8
2011	12	4	4
2012	1	3.7	3.7
2012	2	3.4	3.4
2012	3	3.3	3.3

以上

柏崎市の既往最大の風速（10 分間平均値）

観測史上1~10位の値(年間を通じての値)												
観測年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
柏崎(新潟県)												
要素名/順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	9位	10位	統計期間	
日降水量 (mm)	256 (2005/6/28)	141 (1984/8/30)	137.5 (2017/7/3)	123 (1978/6/26)	121 (2004/10/20)	121 (1999/9/15)	113 (1995/7/8)	111 (1996/8/15)	108.0 (2017/7/4)	108 (1993/7/10)	1976/4 2020/5	
日最大10分間降水量 (mm)	17.5 (2018/8/28)	17.0 (2013/7/7)	17.0 (2010/9/14)	16.5 (2014/8/21)	16.5 (2013/8/2)	16.0 (2013/8/27)	15.5 (2013/7/14)	15.5 (2011/7/5)	13.5 (2011/10/11)	13.0 (2009/8/2)	2008/3 2020/5	
日最大1時間降水量 (mm)	52 (2007/8/22)	50 (1976/8/14)	48 (1991/8/8)	46 (1984/8/30)	43.5 (2013/7/14)	41.0 (2010/9/14)	39.0 (2008/7/26)	39 (1993/7/10)	38 (2006/8/10)	38 (2006/8/28)	1976/4 2020/5	
月降水量の多い方から (mm)	627.5 (2014/12)	595 (1999/12)	594 (1985/11)	584 (1980/12)	544 (2002/11)	516.0 (2010/1)	504.0 (2013/11)	498 (2006/7)	486 (1995/7)	480 (2017/7)	1976/4 2020/4	
月降水量の少ない方から (mm)	15 (1994/8)	21 (1985/8)	23 (1994/4)	27 (1984/4)	31.0 (2010/8)	33.5 (2018/7)	37 (1994/5)	40 (1990/5)	40 (1978/5)	41 (2000/8)	1976/4 2020/4	
年降水量の多い方から (mm)	2955 (1985)	2911 (2002)	2804.0 (2017)	2774.5 (2010)	2765 (1999)	2720 (1981)	2713 (1980)	2707.0 (2013)	2707 (1993)	2681 (1995)	1976年 2019年	
年降水量の少ない方から (mm)	1806 (1994)	1855 (1990)	1874 (1986)	1922.5 (2015)	1935 (1987)	2005 (2000)	2075 (1982)	2086.0 (2016)	2114 (1992)	2117 (1984)	1976年 2019年	
日最高気温の高い方から (℃)	37.6 (1994/8/11)	37.5 (2006/8/17)	37.4 (2018/8/23)	37.4 (1985/8/30)	37.3 (1994/8/12)	37.1 (1986/8/29)	37.0 (2018/7/29)	36.9 (2015/7/13)	36.8 (2019/8/14)	36.8 (1999/8/7)	1978/11 2020/5	
日最高気温の低い方から (℃)	-2.1 (1981/2/26)	-1.8 (2014/2/5)	-1.6 (1984/2/7)	-1.4 (1984/2/6)	-1.4 (1984/2/4)	-1.4 (1983/2/13)	-1.0 (1990/1/25)	-1.0 (1984/2/8)	-0.8 (1988/2/3)	-0.8 (1984/2/17)	1978/11 2020/5	
日最低気温の高い方から (℃)	28.6 (2019/8/15)	27.0 (2011/8/11)	26.6 (1994/8/3)	26.5 (1984/8/22)	26.5 (2007/8/3)	26.0 (2019/8/16)	26.0 (2004/8/5)	26.0 (2002/8/2)	26.0 (1994/8/4)	25.9 (2004/7/20)	1978/11 2020/5	
日最低気温の低い方から (℃)	-11.3 (1983/2/15)	-11.2 (1984/2/12)	-11.1 (1987/2/2)	-11.1 (1986/2/2)	-10.7 (1981/2/18)	-10.6 (1983/2/14)	-10.3 (1986/2/8)	-9.9 (2016/2/8)	-9.9 (1985/1/9)	-9.8 (1988/2/22)	1978/11 2020/5	
月平均気温の高い方から (℃)	27.8 (2010/8)	27.8 (1985/8)	27.4 (1994/8)	27.0 (1999/8)	26.9 (2019/8)	26.8 (2012/8)	26.8 (2000/8)	26.7 (2018/7)	26.3 (2006/8)	26.3 (1984/8)	1978/11 2020/4	
月平均気温の低い方から (℃)	-0.2 (1984/2)	0.0 (1985/1)	0.4 (1986/2)	0.5 (1984/1)	0.9 (1988/2)	0.9 (1983/2)	1.0 (2012/2)	1.0 (1986/1)	1.0 (1981/1)	1.1 (1980/2)	1978/11 2020/4	
年平均気温の高い方から (℃)	14.1 (2019)	14.1 (2004)	14.1 (1998)	14.1 (1990)	14.0 (2018)	13.8 (2015)	13.8 (2000)	13.8 (1999)	13.8 (1994)	13.7 (2016)	1978年 2019年	
年平均気温の低い方から (℃)	11.8 (1981)	12.0 (1984)	12.0 (1980)	12.3 (1986)	12.5 (1982)	12.5 (1996)	12.5 (1993)	12.7 (1985)	12.7 (1983)	13.0 (2006)	1978年 2019年	
日最大風速・風向 (m/s)	16 南南東 (2006/4/11)	15.2 南南東 (2016/4/17)	15.2 西 (2012/4/4)	14.6 西南西 (2012/4/3)	14.2 南西 (2019/10/4)	14 南西 (1994/4/12)	13.9 西 (2013/4/7)	13.6 西南西 (2018/3/1)	13.6 南南西 (2010/3/21)	13.5 南南東 (2010/5/23)	1978/11 2020/5	

出典：気象庁 HP より

(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/rank_a.php?prec_no=54&block_no=0532&year=&month=&day=&view=)

以上

対象施設の選定結果及び裕度評価結果について

工認図書番号	工認図書名称	確認手法	確認結果
V-2-2-7	主排気筒の地震応答計算書	個別評価	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-2-8	主排気筒の耐震性についての計算書	個別評価	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-6(3)	メッシュ型アンテナの耐震性についての計算書 (安全パラメータ表示システム (SPDS) (6,7号機共用)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-9(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (衛星電話設備(常設)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-10(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (衛星電話設備(常設)(中央制御室待避室)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-11(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (衛星電話設備(常設)(6,7号機共用)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-12(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (無線連絡設備(常設)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-13(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (無線連絡設備(常設)(中央制御室待避室)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-14(1)	アンテナの耐震性についての計算書 (無線連絡設備(常設)(6,7号機共用)の耐震性についての計算書)	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-6-7-15(1)	衛星無線通信装置用アンテナの耐震性についての計算書	②	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-7-2-1	主排気筒の耐震性についての計算書	個別評価	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-8-2-1-3	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-8-4-7	配管遮蔽の耐震性についての計算書(格納容器圧力逃がし装置)	②	現設計の裕度に包絡されることを確認

工認図書番号	工認図書名称	確認手法	確認結果
V-2-10-1-2-2-1	第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書	③	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-10-1-2-2-2	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの耐震性についての計算書	②	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-10-1-4-1	緊急用断路器の耐震性についての計算書	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-別添 1-2	火災感知器の耐震計算書	①	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-別添 3-3	可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書	③	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-別添 3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書	③	現設計の裕度に包絡されることを確認
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	個別評価	影響が無いことを確認
V-2-2-6	タービン建屋の耐震性についての計算書	個別評価	影響が無いことを確認
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	個別評価	影響が無いことを確認
V-2-2-12	廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書	個別評価	影響が無いことを確認
KK7 補足-024-3	下位クラス施設の波及的影響の検討について 5号機主排気筒の波及的影響について	個別評価	影響が無いことを確認
KK7 補足-024-3	下位クラス施設の波及的影響の検討について 5号機タービン建屋の波及的影響について	個別評価	影響が無いことを確認

以上

地震（S s）と風（16m/s）の組合せに関する統計的考察について

地震（S s）と組み合わせる風速を柏崎市の観測記録の既往最大である 16m/s（10 分間平均値，地上高 10m）を採用している。この風速に関する統計的考察の結果を示す。

- ・地震（S s）の年超過確率： 1×10^{-4} / 年
- ・風（16m/s）の年超過確率： 2×10^{-2} / 年
- ・風の継続時間：10 分 $\div 2 \times 10^{-5}$ 年

これらを掛け合わせると、 4×10^{-11} / 年となる。

(参考)「同時に発生する可能性が極めて低いもの」として整理した主荷重（地震：S s）と従荷重（風：27.9m/s）に関する統計的考察

- ・地震（S s）の年超過確率： 1×10^{-4} / 年
- ・風（27.9m/s）の年超過確率： 1×10^{-2} / 年（ただし，新潟市の観測記録に基づく）
- ・風の継続時間：10 分 $\div 2 \times 10^{-5}$ 年

これらを掛け合わせると、 2×10^{-11} / 年となる。

以上

柏崎市における既往最大風速 16m/s の年超過確率評価方法

1. 評価方法

参考資料に記載

2. 統計処理に用いる観測記録

統計処理に用いる観測記録は、以下のとおり気象庁 HP で公開されている観測記録を用いる。

- ・ 柏崎市：年最大風速 1979～2012 年の記録（表 1 参照）

（気象庁 HP には 1978 年からの観測記録が掲載されているが、1978 年の記録は 11 月から観測開始されたものであるため、年間を通して観測されるようになった 1979 年からの観測記録を採用する）

表 1 柏崎市の観測記録（1979～2012 年）

（気象庁 HP より）

年	年最大風速 [m/s]	年	年最大風速 [m/s]
1979	13	1996	12
1980	11	1997	13
1981	12	1998	11
1982	12	1999	11
1983	13	2000	10
1984	10	2001	10
1985	10	2002	11
1986	10	2003	11
1987	12	2004	12
1988	12	2005	11
1989	12	2006	16
1990	10	2007	11
1991	11	2008	10.7
1992	11	2009	11.5
1993	10	2010	13.6
1994	14	2011	11.2
1995	11	2012	15.2

3. 統計処理の結果

柏崎市の最大風速の観測記録の平均，分散等を算出し，Gumbel 分布，平方根指数型最大値分布及び一般化極値分布に当てはめ，適合度評価（SLSC 値）を行った。その結果，一般化極値分布が基準に適合することを確認した（表 2）。

また，評価より得られたハザード曲線を図 1 に示す。この曲線に基づき，柏崎市における既往最大風速（16m/s）の年超過確率を確認した結果， 2.0×10^{-2} /年となった。

表 2 柏崎市における観測記録を各分布適用させた場合の SLSC 値

	Gumbel 分布	一般化 極値分布	平方根指数型 最大値分布
SLSC	0.044	0.034	※

(※SLSC を求めるための関数の定義域外となるため算出不可)

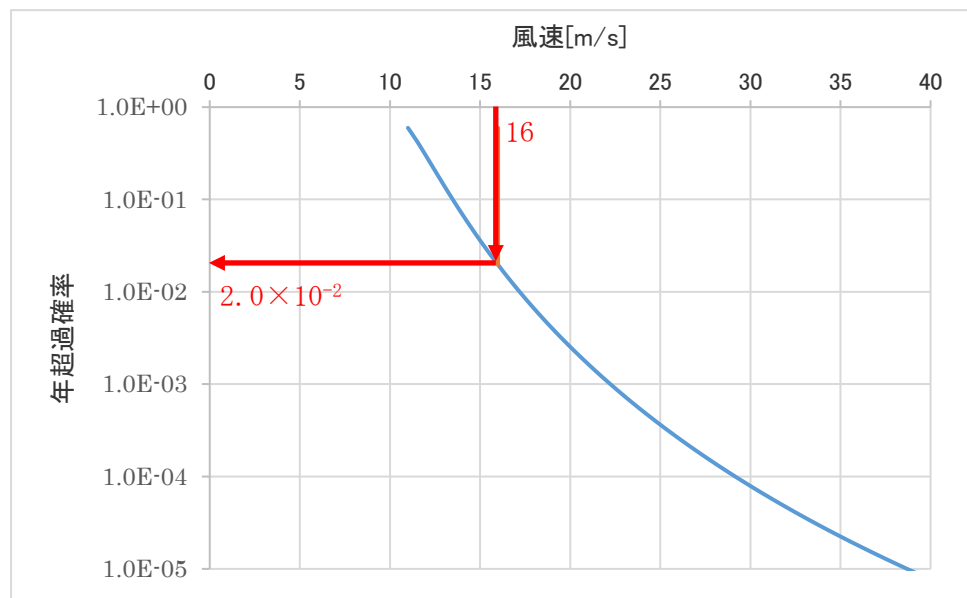


図 1 柏崎市の最大風速ハザード曲線（一般化極値分布）

以上

【参考】（設置許可申請書まとめ資料より）

年超過確率の推定は、気象庁の「異常気象リスクマップ」⁽¹⁾の確率推定方法を採用して評価を実施する。

評価フローを図1に示す。

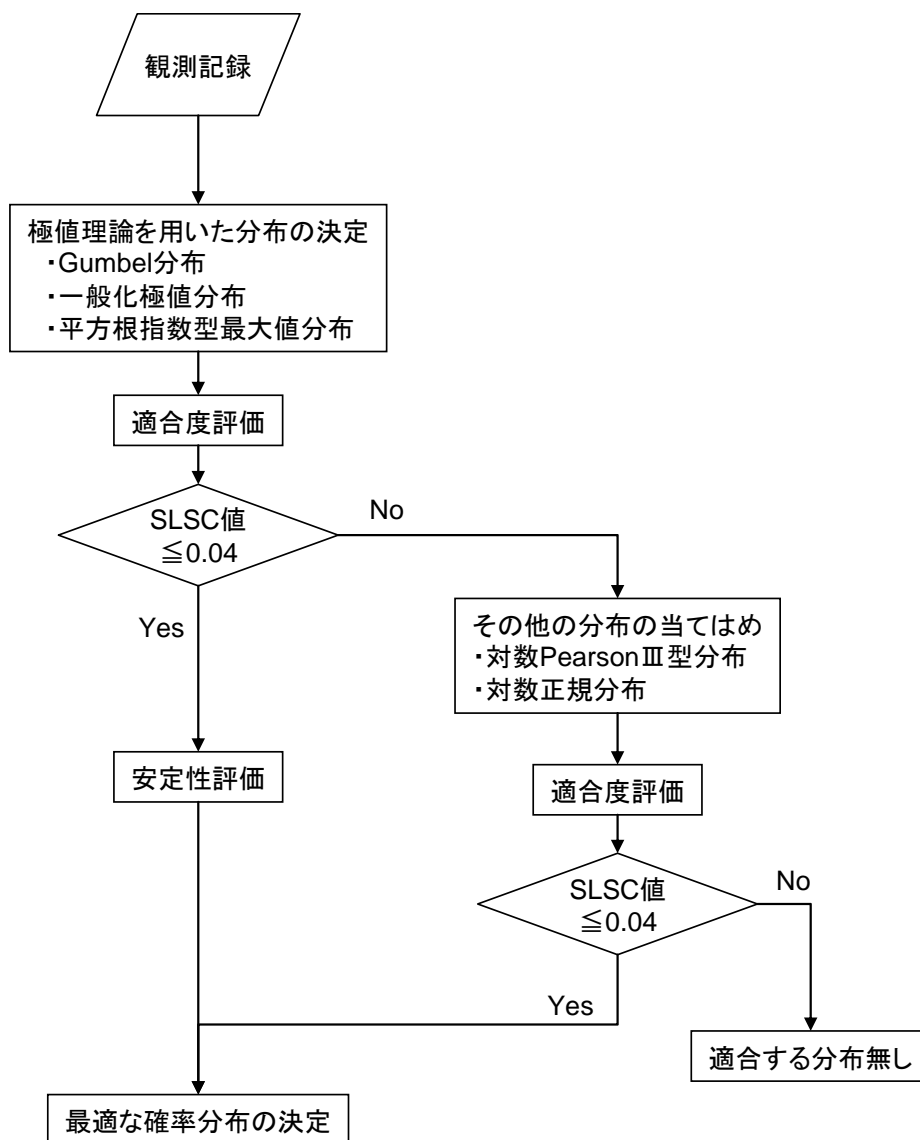


図1 年超過確率評価フロー

(1) 確率分布の算出

観測記録から確率分布の分布特性を表す母数を推定し、確率分布形状を特定する。ここでは、極値理論からの分布（Gumbel 分布、平方根指数型最大値分布、一般化極値分布）や従来から使用されている分布（対数 PearsonⅢ型分布、対数正規分布）の中から最適な確率分布を決定する。

確率分布モデルの母数推定については、以下に示す L 積率法（L Moments）や最尤法等の手法を用いる。⁽²⁾

L 積率法

第 1 次の L 積率 λ_1 、第 2 次の L 積率 λ_2 、第 3 次の L 積率 λ_3 はそれぞれ以下のように定義される。

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= b_0 \\ \lambda_2 &= 2b_1 - b_0 \\ \lambda_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0\end{aligned}$$

ここで、

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$$

$$b_1 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{j=1}^N (j-1)x_j$$

$$b_2 = \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \sum_{j=1}^N (j-1)(j-2)x_j$$

N : 標本数

x_j : N 個の標本を昇順に並び替えたときの小さい方から j 番目の値

最尤法

以下に示す対数尤度関数 L が最大となる a, b を算出

$$L(a, b) = \sum_{j=1}^N \ln f(x_j)$$

$f(x)$: 確率密度関数

また、例として極値理論からの分布（Gumbel 分布、平方根指数型最大値分布、一般化極値分布）の母数推定方法、及び非超過確率 p に対応する値の算出方法を表 1 に示す。

表 1 極値分布の母数推定法について

分布	母数推定法	母数	クオンタイル (非超過確率 p に対応する値)
Gumbel 分布	L 積率法 (2 母数)	$a = \frac{\lambda_2}{\ln 2}$ $c = \lambda_1 - 0.5772157a$	$x_p = c - a \cdot \ln[-\ln(p)]$
一般化 極値分布 (GEV 分布)	L 積率法 (3 母数)	$k = 7.859d + 2.9554 \cdot d^2$ ここで $d = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$ $a = \frac{k\lambda_2}{(1 - 2^{-k}) \cdot \Gamma(1 + k)}$ $c = \lambda_1 - \frac{a}{k} \cdot [1 - \Gamma(1 + k)]$	$x_p = c + \frac{a}{k} \cdot \{1 - [-\ln(p)]^k\}$
平方根指数型 最大値分布	最尤法 (2 母数)	$L(a, b) = \sum_{j=1}^N \ln f(x_j)$ $= N \ln a + N \ln b - N \ln 2 - \sum_{j=1}^N \sqrt{bx_j}$ $- a \left[\sum_{j=1}^N \exp(-\sqrt{bx_j}) \right.$ $\left. + \sum_{j=1}^N \sqrt{bx_j} \exp(-\sqrt{bx_j}) \right]$ L が最大となる a, b	$x_p = \frac{t_p^2}{b}$ ここで $\ln(1 + t_p) - t_p = \ln\left[-\frac{1}{a} \ln(p)\right]$

(2) 適合度評価

算出した分布がどの程度、観測記録と適合しているかを確認し分布の適合度を評価する。

本評価では、分布の適合度を SLSC (Standard Least Squares Criterion) と呼ばれる指標で評価する。

SLSC は、観測値をプロットイングポジション公式で並べた場合と、確率分布から推定した場合との確率の差を指標化した値である。(図 2)

SLSC が小さいほど、適合度が高く、経験的な分布とよくフィットする。本評価では SLSC が 0.04 以下で適合していると判断する。

プロットイングポジション公式とは、経験的に求められた公式であり、観測値の個数、大きさの順に並べたときの順位と再現期間との関係を数式化したものである。同公式では、いくつかの式が提案されているが、本評価においては多くの分布系によく適合する以下の式を採用する。

$$T(i) = \frac{N + 0.2}{i - 0.4}$$

ここで、 N はデータの個数であり、大きい方から i 番目のデータの再現期間* (最大風速の確率年) $T(i)$ とする。

※：ある現象 (例えば 30m/s の風が吹くこと) が 1 回起こり得る「50 年」「100 年」という期間⁽¹⁾

このとき、SLSC 値は、データ値と関数値 (それぞれ標準化した値) を 2 乗平均した以下の式で表される。⁽²⁾

$$SLSC = \frac{\sqrt{\xi^2}}{|s_{0.99} - s_{0.01}|}$$

ここで、

$$\xi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - r_i)^2$$

$s_{0.99}$, $s_{0.01}$: それぞれ非超過確率 0.99 と 0.01 に対する当該確率分布の標準変量

s_i : 順序統計量データ x_{-i} を推定母数で変換した標準変量

r_i : プロットングポジションに対応した理論クオンタイルを推定母数で変換した標準変量

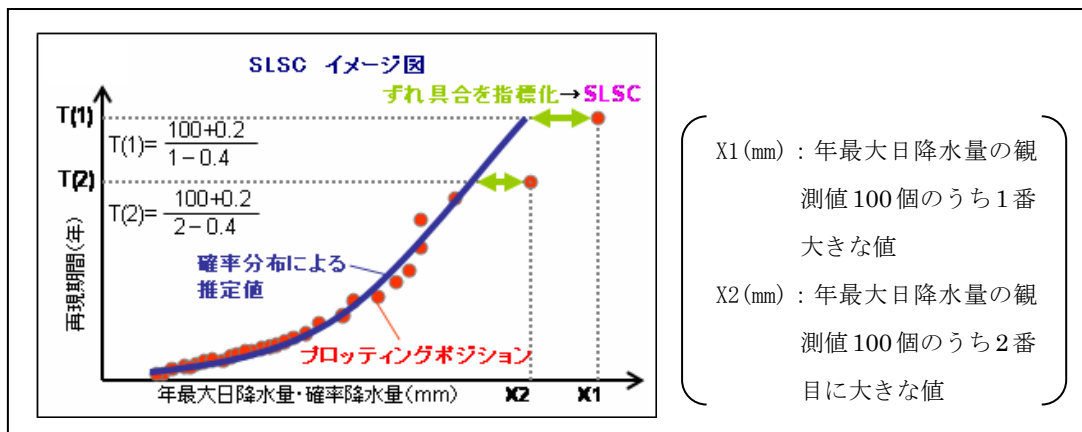


図 2 SLSC のイメージ図 (確率降水量の場合の例) ⁽¹⁾

(3) 安定性評価

(2) で分布の適合度を評価し、SLSC が 0.04 以下を満足した場合には、次に分布の安定性を評価する。現在得られている観測値をランダムに抜き取った場合に、結果が大きく変化しないことを評価する。本評価では安定性評価には Jack knife 法を用いる。

[参考文献]

(1) 気象庁 :

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/index.html>

(2) 星清, 1998 : 水文統計解析, 開発土木研究所月報 No. 540

風荷重の算出に用いた係数の設定について

風荷重を求める際に用いる設計用速度圧 q は、建築基準法施行令第 87 条及び建設省告示第 1454 号に基づき算出する。設計用速度圧 q の算出式を以下に示す。

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V^2$$

$$E = E_r^2 \cdot G_f$$

q : 設計用速度圧 [N/m²]

E : 建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値 [-]

V : 風速 [m/s]

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数[-]

G_f : ガスト影響係数[-]

E_r は、表 1 の式によって算出する。

表 1 E_r の算出式

Hが Z_b を超える場合	$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha$
Hが Z_b 以下の場合	$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$

Z_b 、 Z_G 及び α は表 2 に示すとおり地表面粗度区分に応じた値であり、 H は建築物の高さと軒の高さとの平均値を示すが、本評価では保守的に地上からの施設頂部高さ[m]とする。

なお、算出にあたり使用する地表面粗度区分については、柏崎刈羽原子力発電所の周辺環境を勘案し、対象とする施設の頂部高さが 13m を超える場合には地表面粗度区分Ⅱを、13m 以下の場合には地表面粗度区分Ⅲを用いる。

表2 地表面粗度区分に応じた Z_b 、 Z_G 及び α

地表面粗度区分		Z_b [m]	Z_G [m]	α
I	都市計画区域外にあつて、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあつて地表面粗度区分Iの区域以外の区域（建築物の高さが13m以下の場合を除く。）又は都市計画区域内にあつて地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線（対岸までの距離が1,500m以上のものに限る。以下同じ。）までの距離が500m以内の地域（ただし、建築物の高さが13m以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が200mを超え、かつ、建築物の高さが31m以下である場合を除く。）	5	350	0.15
III	地表面粗度区分I、II又はIV以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあつて、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

ガスト影響係数 G_f は、表3に示すとおり表2の地表面粗度区分及びHに応じた値である。

表3 地表面粗度区分及びHに応じたガスト影響係数 G_f

地表面粗度区分 \ H	(1)	(2)	(3)
	10 以下の場合	10 を超え 40 未満の場合	40 以上の場合
I	2.0	(1)と(3)とに掲げる数値を直線的に補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

以上

第一ガスタービン発電機の加振試験における裕度について

第一ガスタービン発電機の加振試験における裕度については、KK7 補足-028-10-15「第一ガスタービン発電機の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 3-2「加振試験における設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度について」において、施設の固有周期に対する加振波 FRS の加速度を設計用 FRS の加速度で除することにより整理している。

走行軸直角方向、走行軸方向及び鉛直方向について整理しているが、そのうち、第一ガスタービン発電機に対する地震荷重と風荷重を組み合わせた際の影響については、風荷重の影響が最も大きくなる最大面積の施設側面（走行軸直角方向）について確認することとし、加振試験の裕度については走行軸直角方向の試験結果を用いることとする。

第一ガスタービン発電機の各固有周期における設計用 FRS に対する加振波 FRS の裕度を表 1 に示す。

表 1 第一ガスタービン発電機の各固有周期における設計用 FRS に対する加振波 FRS の裕度

走行軸直角方向			
	施設	固有周期 (Hz)	裕度
	第一ガスタービン発電機 (発電機車)		
	第一ガスタービン発電機 (制御車)		

赤下線 : P.2-5 表 4「地震荷重と風荷重を組み合わせた際の裕度の確認結果」の第一ガスタービン発電機の基準地震動 S_s の評価に用いる裕度である最小裕度を示す。

以上

3. タービン建屋，廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋の
風荷重及び積雪荷重の比較について

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、柏崎刈羽原子力発電所7号機の建物・構築物の耐震評価において、地震の従属事象として積雪を重畳させている施設のうち、風荷重による影響が比較的大きいと考えられる鉄骨造の建物（タービン建屋、廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋）を対象に、地震応答解析で考慮している積雪荷重と風速16.0m/sによる風荷重を比較することで、積雪荷重を考慮した地震応答解析の保守性について説明するものである。

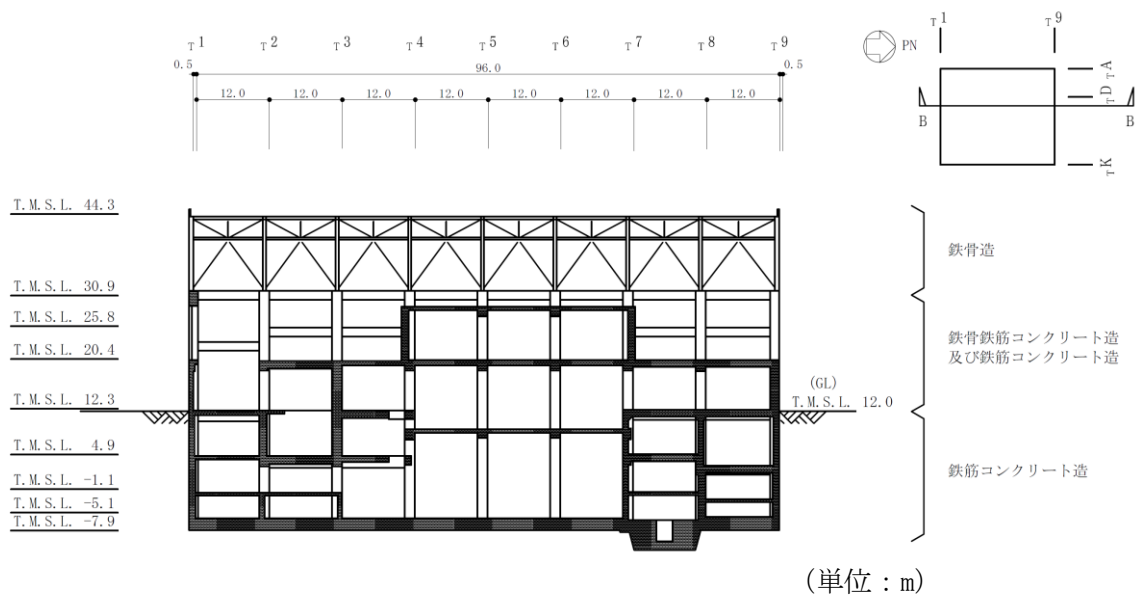
1.2 検討方針

タービン建屋、廃棄物処理建屋及び5号機タービン建屋では、積雪荷重を地震応答解析モデルの各質点の重量として考慮した上で地震応答解析を実施しているため、積雪荷重による慣性力が各方向の地震応答解析結果に含まれている。

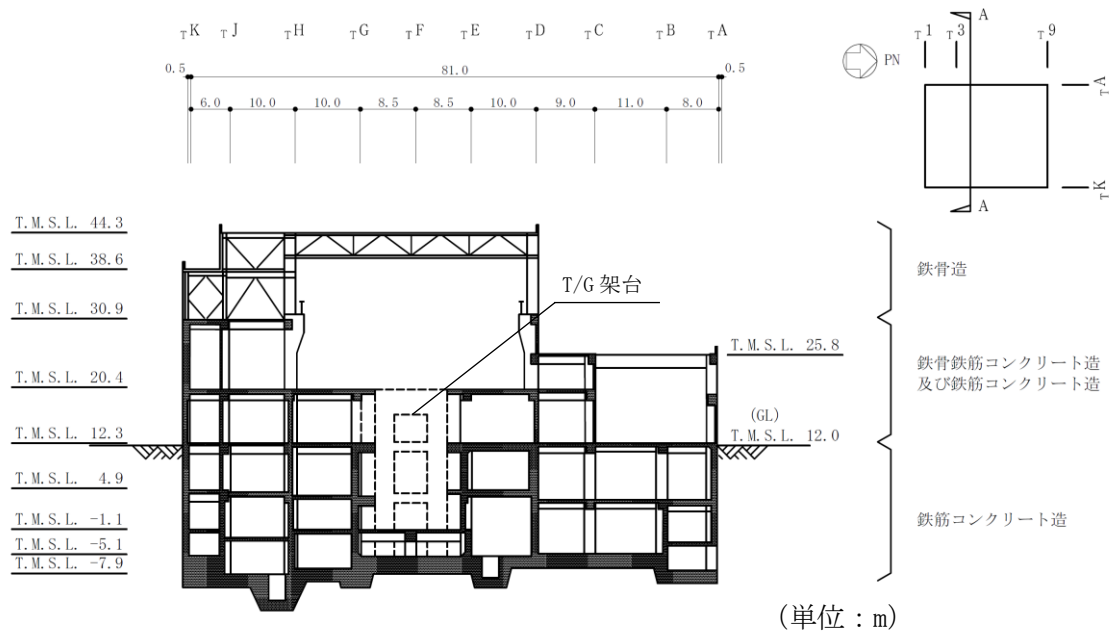
本検討では、風荷重（風速16.0m/sに基づく）による層せん断力に比べ、積雪荷重による慣性力が十分大きいことを確認する。

各建屋の地震応答解析モデルは多軸モデルであるが、本検討では1軸に集約し検討する。

各建屋の概略断面図を図1-1から図1-3に示す。

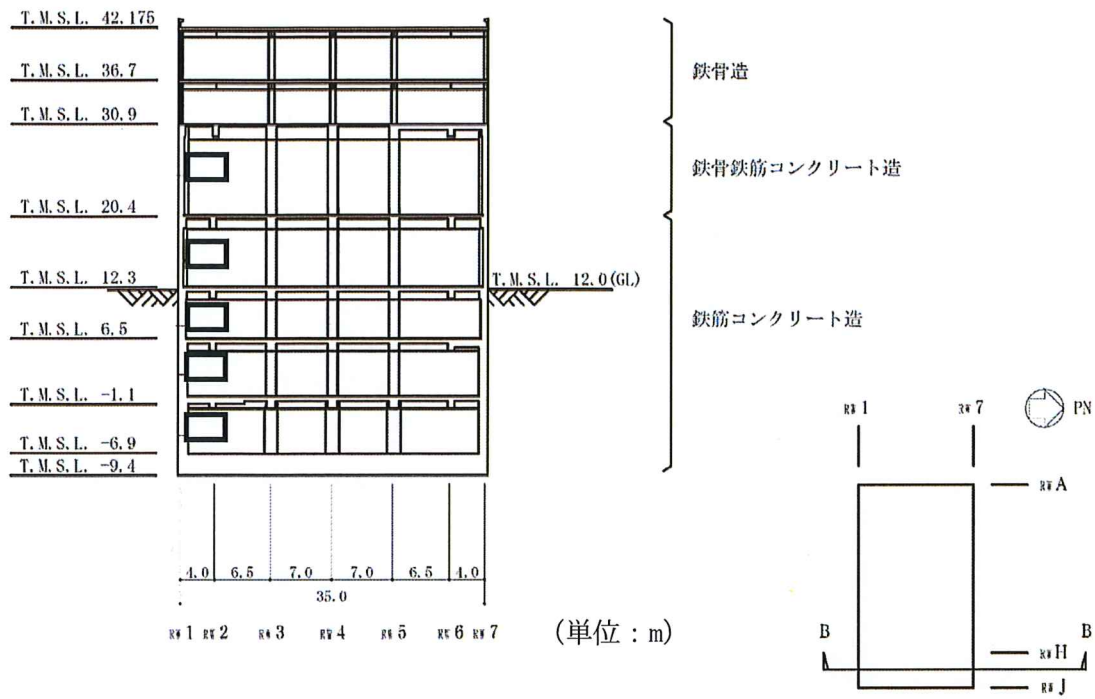


NS 方向断面

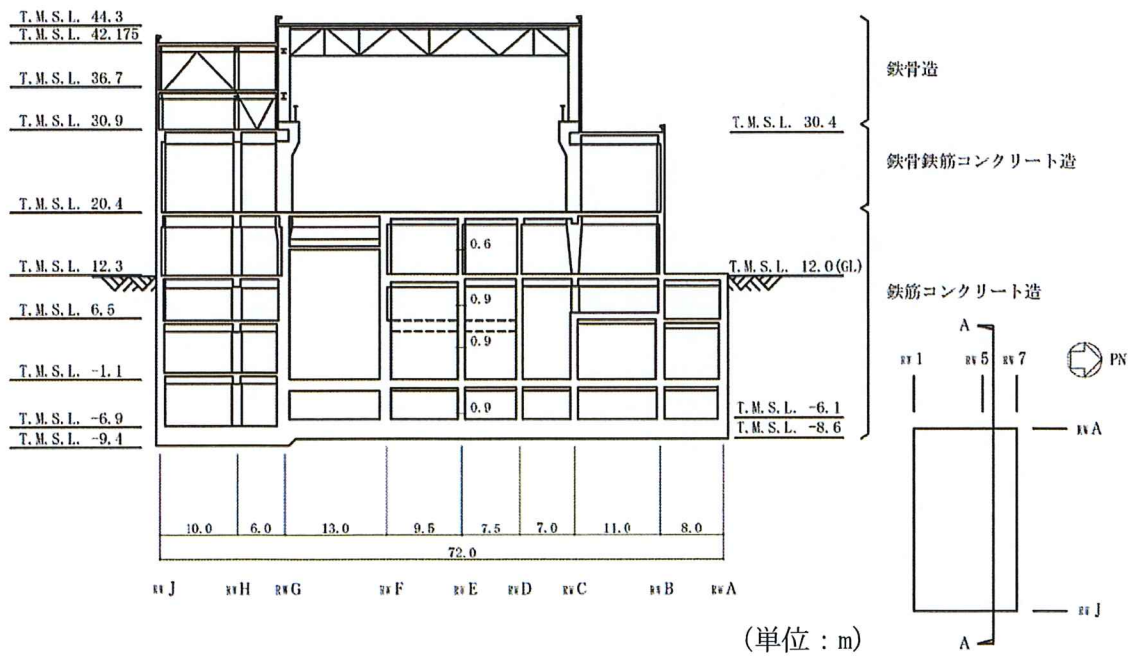


EW 方向断面

図 1-1 タービン建屋の概略断面図

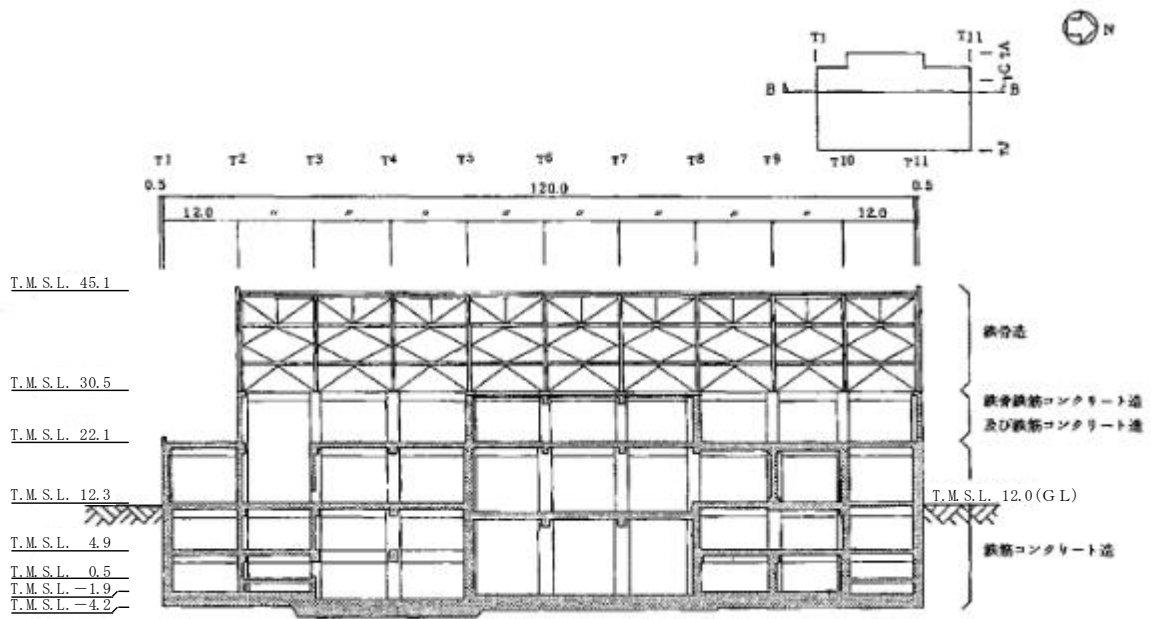


NS 方向断面



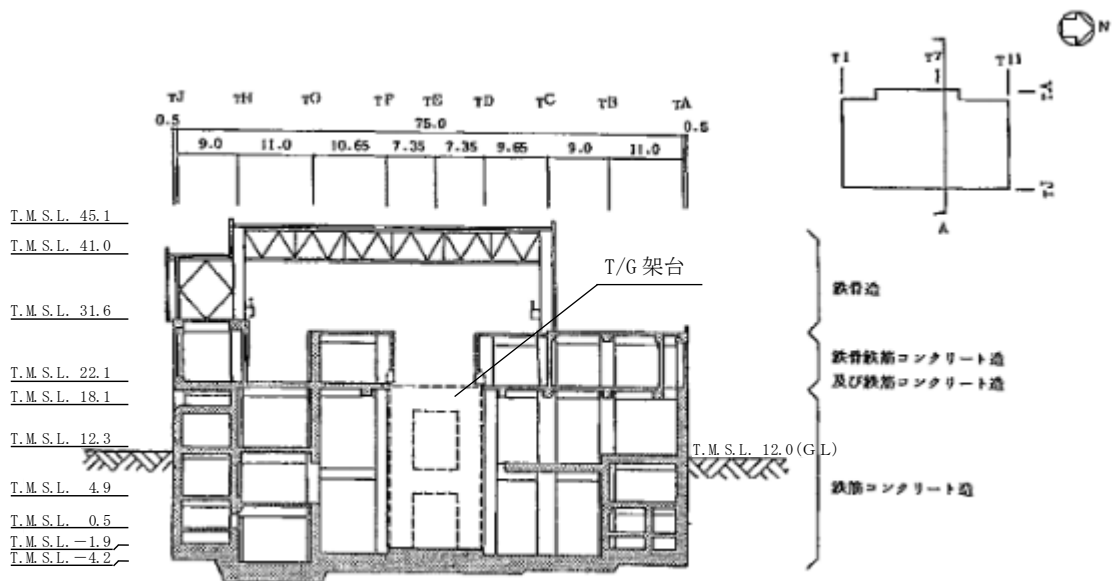
EW 方向断面

図 1-2 廃棄物処理建屋の概略断面図



(単位：m)

NS方向断面



(単位：m)

EW方向断面

図 1-3 5号機タービン建屋の概略断面図

1.3 風荷重による層せん断力の算定

本検討に用いる風速は 16.0m/s とする。

$$W = q \cdot C_f \cdot A \cdots \cdots \cdots (1. 1)$$

ここで、

W : 風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m²) = 0.6 · E · V₀²

V₀ : 検討用風速 (=16.0 m/s)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値 = E_r² · G_f

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \leq Z_b)$$

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

H : 建築物の高さ(m)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて示される数値

(当該地の地表面粗度区分Ⅱ : Z_b = 5 m, Z_G = 350 m, α = 0.15)

G_f : ガスト影響係数

C_f : 風力係数

A : 見付面積 (m²)

1.4 積雪荷重による慣性力の算定

積雪荷重による慣性力は、各層の積雪荷重に対し最大応答加速度を乗じることで算出する。用いる最大応答加速度は、基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮した水平方向の地震応答解析結果のうち、各層における最大値とする。

なお、地震応答解析に考慮している積雪は以下の通りである。

タービン建屋 : 積雪深 280cm × 0.35

廃棄物処理建屋 : 積雪深 280cm × 0.35

5号機タービン建屋 : 積雪深 170cm × 0.35

2. 検討結果

風荷重（風速 16.0m/s に基づく）による層せん断力を表 2-1 に、積雪荷重の慣性力による層せん断力を表 2-2 に、風荷重及び積雪荷重による層せん断力の比較を図 2-1 に示す。

風荷重（風速 16.0m/s に基づく）による層せん断力に対して積雪荷重の慣性力による層せん断力はいずれも十分に大きいため、積雪荷重を考慮した地震応答計算を行うことが保守的であることを確認した。

表 2-1 風荷重による層せん断力

(a) タービン建屋

T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	NS方向				EW方向			
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	層せん断力 Q (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	層せん断力 Q (kN)
44.3	0.451	1.19	232	125	125	1.19	441	237	<u>237</u>
38.6	0.451	1.15	361	187	312	1.15	651	338	<u>574</u>
30.9	0.451	1.08	499	243	555	1.08	623	303	<u>878</u>
25.8	0.451	1.02	434	200	754	1.02	511	235	<u>1110</u>
20.4	0.451	0.93	579	243	997	0.93	656	275	<u>1390</u>

(b) 廃棄物処理建屋

T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	EW方向			
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	層せん断力 Q (kN)
44.3	0.451	1.19	201	108	108
36.7	0.451	1.13	240	122	230
30.9	0.451	1.08	292	142	372
20.4	0.451	0.93	333	140	512

注：NS方向は6号機及び7号機タービン建屋と接しているため検討対象外とする。

(c) 5号機タービン建屋

T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	NS方向				EW方向			
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	層せん断力 Q (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	層せん断力 Q (kN)
45.1	0.454	1.19	87	47.1	47.1	1.19	169	91.4	<u>91.4</u>
41.0	0.454	1.16	230	122	170	1.16	447	236	<u>328</u>
31.6	0.454	1.08	541	266	436	1.08	1055	518	<u>846</u>
22.1	0.454	0.96	1659	724	1160	0.96	2365	1040	<u>1890</u>

注：層せん断力Qは最上階～当該階における風荷重Pの合計値を示す。

注：層せん断力Qの下線はNS方向及びEW方向のうち大きい値を示す。

表 2-2 積雪荷重の慣性力による層せん断力

(a) タービン建屋

T. M. S. L. (m)	積雪荷重 (kN)	最大震度	地震動 (ケース)	最大 慣性力 (kN)	最大 層せん断力 (kN)
44.3	13425	3.00	Ss-1 (ケース3)	40300	40300
38.6	1677	2.62	Ss-1 (ケース5)	4400	44700
30.9	3305	2.72	Ss-1 (ケース1)	8990	53700
25.8	4531	1.85	Ss-1 (ケース1)	8390	62100
20.4	0	1.42	Ss-1 (ケース1)	0	62100

(b) 廃棄物処理建屋

T. M. S. L. (m)	積雪荷重 (kN)	最大震度	地震動 (ケース)	最大 慣性力 (kN)	最大 層せん断力 (kN)
44.3	5621	2.72	Ss-1 (ケース3)	15300	15300
36.7	0	2.01	Ss-2 (ケース3)	0	15300
30.9	1088	1.53	Ss-2 (ケース4)	1670	17000
20.4	0	1.19	Ss-1 (ケース3)	0	17000

(c) 5号機タービン建屋

T. M. S. L. (m)	積雪荷重 (kN)	最大震度	地震動 (ケース)	最大 慣性力 (kN)	最大層 せん断力 (kN)
45.1	9516	6.45	Ss-1 (ケース5)	61400	61400
41.0	1043	6.62	Ss-1 (ケース5)	6910	68400
31.6	2827	3.64	Ss-2 (ケース4)	10300	78700
22.1	1378	1.62	Ss-1 (ケース4)	2240	80900

注：最大震度とは最大加速度を重力加速度で除した値を示す。

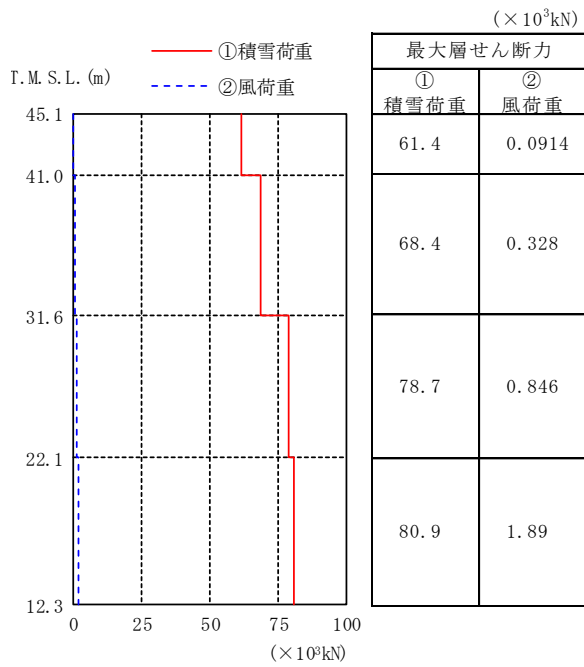
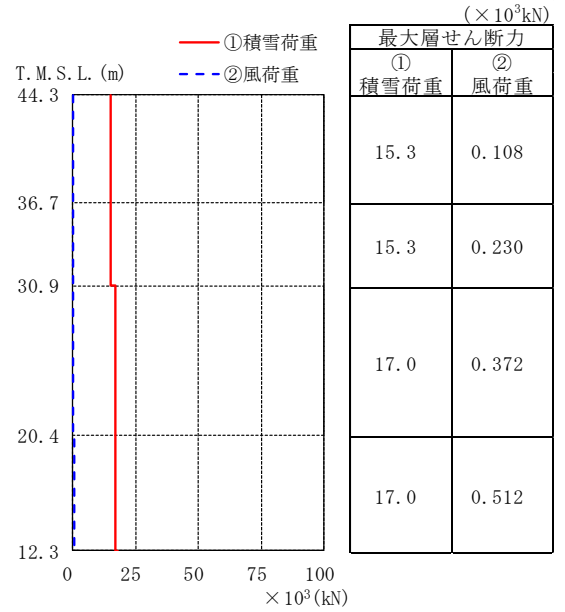
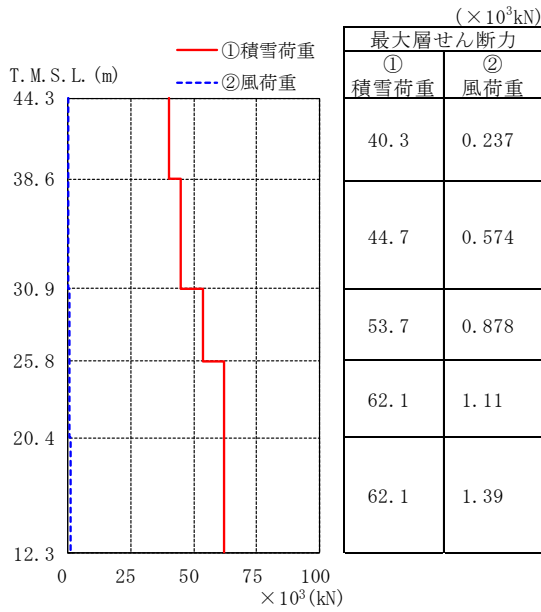


図 2-1 風荷重と積雪荷重の比較

注：風荷重はNS方向及びEW方向の包絡値を示す。