

島根原子力発電所2号炉
防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の
周辺斜面の安定性評価について
(コメント回答)

令和元年11月22日
中国電力株式会社

審査会合・現地調査における指摘事項

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
1	防災科研調査結果の地滑り地形①の範囲については、開削面露頭上部の礫質土に認められる黒色の層や凝灰岩と思われる礫の分布も踏まえて観察事実を整理するとともに、より詳細なルートマップを作成した上で、地形・地質の観点から表層すべりの有無について整理すること。	令和元年9月20日 現地調査	4～23
2	防波壁(西端部)の地山における表層すべりの層厚について記載を適正化すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	
3	ボーリングコア及び露頭において確認された局所的に岩級の低い凝灰岩について、その性状や連続性を確認するとともに、斜面の安定性評価への反映について検討すること。	令和元年9月20日 現地調査	24～33
4	ボーリングコア(19W1等)及び開削面露頭において確認されたドレライトを露頭観察結果(スケッチ等)に反映すること。	令和元年9月20日 現地調査	34～38
5	防波壁(西端部)の開削面露頭及びボーリングコア(19W5)において確認された凝灰岩について、溶結構造の有無を確認すること。	令和元年9月20日 現地調査	39～42
6	ボーリングコア(303)の深度79.33m以深のドレライトの細脈については、高帯磁率を呈することから、その成因について地質学的な観点から整理し説明すること。	令和元年9月20日 現地調査	43～49

審査会合・現地調査における指摘事項

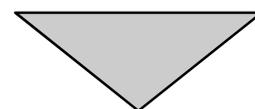
No.	コメント要旨	審査会合等	頁
7	防波壁(西端部)における礫質土及び粘性土の物性設定について, 妥当性を説明すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	50~60
8	東日本大震災, 新潟県中越沖地震等, 過去の地震や津波による斜面の崩落の事例を整理して示すこと。	令和元年8月30日 第762回審査会合	61~88
9	代表的な岩級の写真を示す等により, 岩級区分の妥当性を説明すること。	令和元年9月20日 現地調査	89~101
10	防波壁端部斜面の安定性上考慮する必要のある弱層の有無について, ボーリング, 露頭調査結果等の地質データを踏まえて説明すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	102~120
11	地質断面図について, シーム層準とシームの違いが分かるように適正化すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	
12	防波壁の西端部及び東端部の露頭においてスランプ褶曲が認められることから, 分布する層準について整理すること。	令和元年9月20日 現地調査	121~130
13	2号原子炉建物西側背後斜面に確認された過褶曲構造については, 追加観察結果を資料化すること。	令和元年9月20日 現地調査	

審査会合・現地調査における指摘事項

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
14	今回の現地調査で説明したボーリングデータを提示すること。	令和元年9月20日 現地調査	ボーリング 柱状図・ コア写真集
15	安定性評価フローについて、防波壁(東端部)と防波壁(西端部)の斜面でそれぞれ評価対象斜面を選定するよう、適正化すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	次回以降 説明
16	防波壁(西端部)の斜面(⑥-⑥'断面)頂部のすべり方向について、地形だけでなく、地質構造(層理面沿いのすべり)も踏まえて検討すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	次回以降 説明
17	防波壁(東端部)の斜面(①-①'断面, ⑤-⑤'断面)について、ボーリング, 露頭調査結果等の地質データを踏まえ、表層における低位岩級の分布の設定方法を詳細に説明すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	次回以降 説明
18	1号放水連絡通路防波扉の背後斜面(⑤-⑤'断面)について、急勾配部や1号炉放水連絡通路の斜面安定性への影響を確認するため、動的解析を実施すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	次回以降 説明
19	すべり安全率について、最小ケース以外も整理して示すこと。	令和元年8月30日 第762回審査会合	次回以降 説明

審査会合・現地調査における指摘事項(No.1・2)

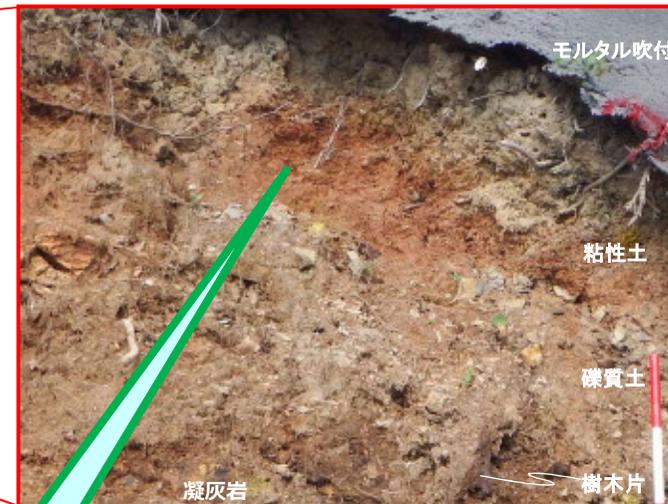
No.	コメント要旨	審査会合等	頁
1	防災科研調査結果の地滑り地形①の範囲については、開削面露頭上部の礫質土に認められる黒色の層や凝灰岩と思われる礫の分布も踏まえて観察事実を整理するとともに、より詳細なルートマップを作成した上で、地形・地質の観点から表層すべりの有無について整理すること。	令和元年9月20日 現地調査	4～23
2	防波壁(西端部)の地山における表層すべりの層厚について記載を適正化すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	



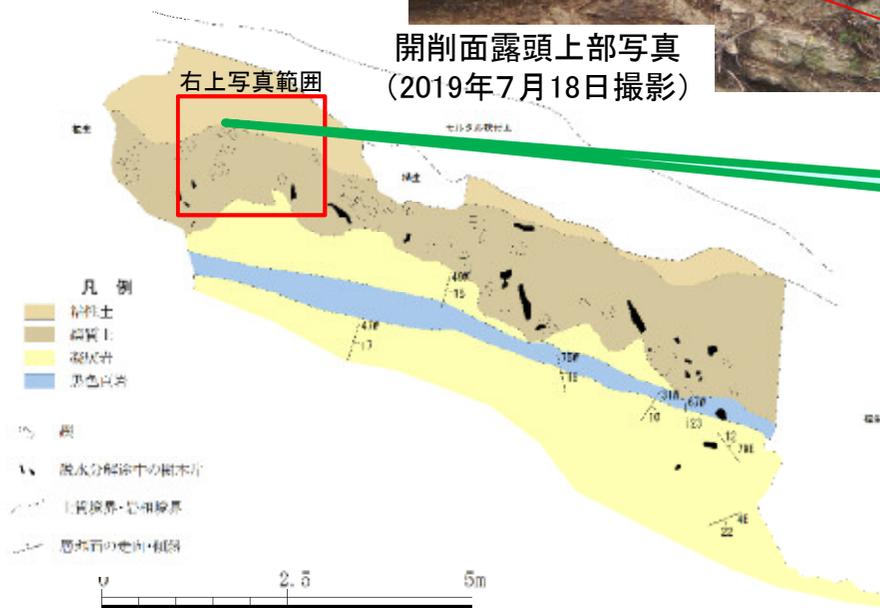
回答方針

- ・開削面露頭上部について露頭スケッチ範囲を拡大するとともに、礫質土の性状について観察事実を整理する。
- ・宇中連絡道路付近では剥ぎ取り調査を実施し、地質データを拡充する。
- ・防災科研調査結果の地滑り地形①の範囲について、ボーリングコアや露頭の状況を整理し、より詳細なルートマップを作成した上で、地形・地質の観点から表層すべりについて整理する。
- ・地形判読結果及び露頭観察結果に基づく表層すべりの層厚について記載を適正化する。
- ・調査結果を踏まえ、必要な対策工(撤去等)の実施を検討する。

防波壁(西端部)の踏査結果 開削面露頭上部



露頭上部 拡大写真(第762回審査会合)



コメントNo. 1:

防災科研調査結果の地滑り地形①の範囲については、開削面露頭上部の礫質土に認められる黒色の層や凝灰岩と思われる礫の分布も踏まえて観察事実を整理するとともに、より詳細なルートマップを作成した上で、地形・地質の観点から表層すべりの有無について整理すること。

コメントNo. 2:

防波壁(西端部)の地山における表層すべりの層厚について記載を適正化すること。

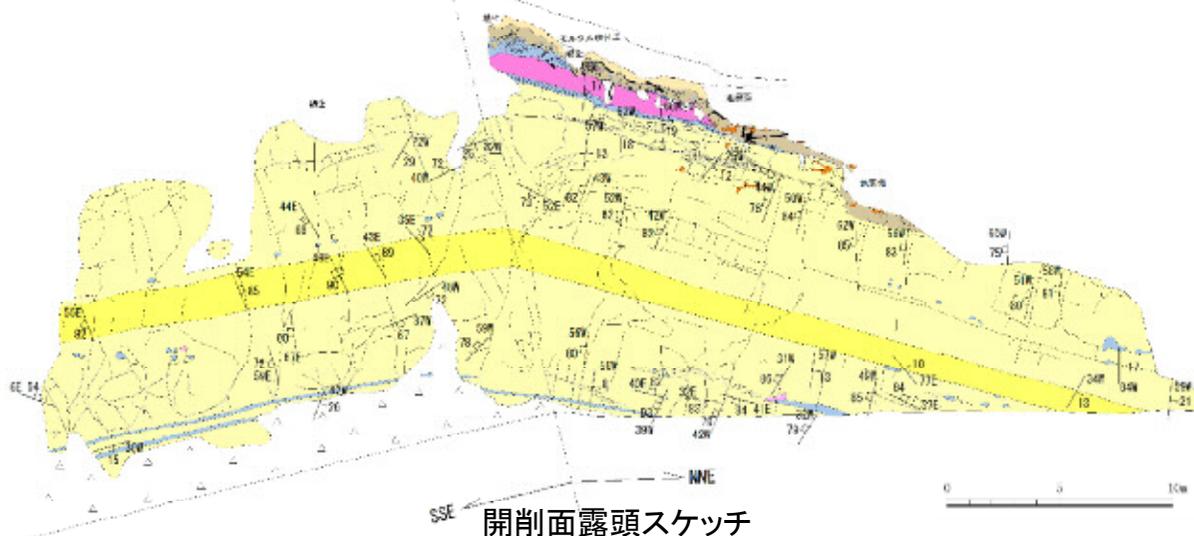
・開削面露頭上部で認められた礫質土及び粘性土は、表層すべりの要因となる表層土に相当する可能性が考えられる。これらは、空中写真判読で認められた表層すべりを想定した厚さ数mの土砂に相当する可能性が考えられる。



開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)

凡 例

- 土砂
- 粘性土
- 礫質土
- ドレライト
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黒色頁岩



開削面露頭スケッチ

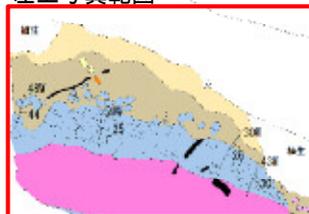
- 稜
- 脱水分解途中の樹木・樹根
- 生育中の樹木・樹根
- 土質境界・岩相境界
- 岩相境界(推定)
- 割れ目
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜

- ・開削面露頭は凝灰岩を主体とし、最下部及び上部に黒色頁岩薄層、ほぼ中央に火山礫凝灰岩層が認められる。これらの岩相境界は明瞭で、ほぼ平滑な境界を有する。また上部には貫入したドレライトが認められる。露頭最上部には、粘性土及び礫質土が分布する。
- ・層理面は北へ緩く傾斜し、これに直交する高角度割れ目が認められる。露頭全体が弱変質により淡褐色を呈するが、岩盤は堅硬である。シームや断層、褶曲、深層崩壊に伴う地滑り面は認められない。

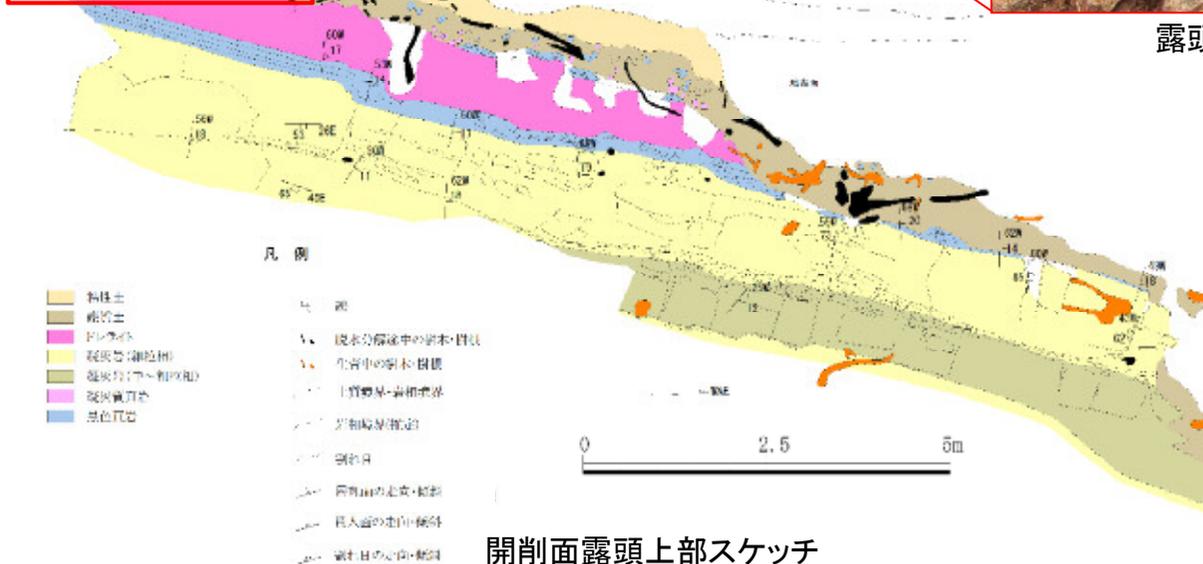
開削面露頭上部 観察結果



左上写真範囲



露頭上部 拡大写真(2019年9月20日撮影)



- ・開削面露頭上部は、下位より凝灰岩、黒色頁岩、ドレライト、黒色頁岩、礫質土及び粘性土、モルタル吹付である。
- ・礫質土及び粘性土に地滑り面は認められない。
- ・礫質土は赤褐色を呈し、締りがよい。
- ・礫質土中の礫は黒色頁岩及び凝灰質頁岩を主体とし、角礫～亜角礫である。
- ・礫質土中には、樹木・樹根が認められる。

開削面露頭上部 礫質土内部の性状(黒色の層)



露頭上部 拡大写真(2019年9月20日撮影)



黒色の層 観察状況(2019年10月10日撮影)



黒色の層 拡大写真



採取試料状況

礫質土内部に認められる黒色の層について、露頭を奥側に掘り込んでその性状を確認した。

- ・黒色の層は連続性に乏しく、観察範囲の右側では露頭の奥側まで連続していなかった。
- ・開削面露頭上部スケッチのとおり、観察範囲の左側では、礫質土層の基底に分布する礫の上面に沿うように分布する。黒色の試料を採取し、室内で洗浄・観察した結果、炭化した樹木片・樹根片であることが確認された。

以上のことから、黒色の層は、連続性に乏しい炭化した樹木片・樹根片に由来すると考えられる。

開削面露頭上部 礫質土内部の性状(礫種検討)



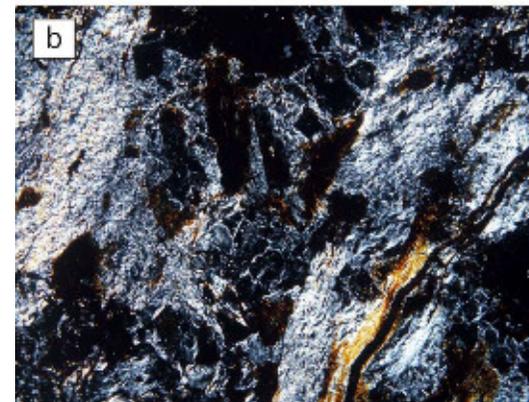
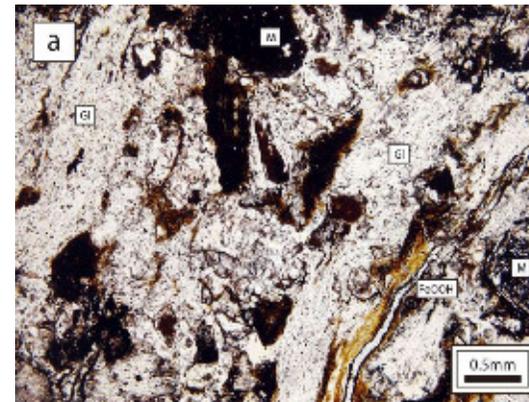
露頭上部 拡大写真(2019年9月20日撮影)



検討対象礫 拡大写真(2019年10月10日撮影)



薄片全体像
(左:単ニコル, 右:直交ニコル)



1: 検討対象礫の薄片写真

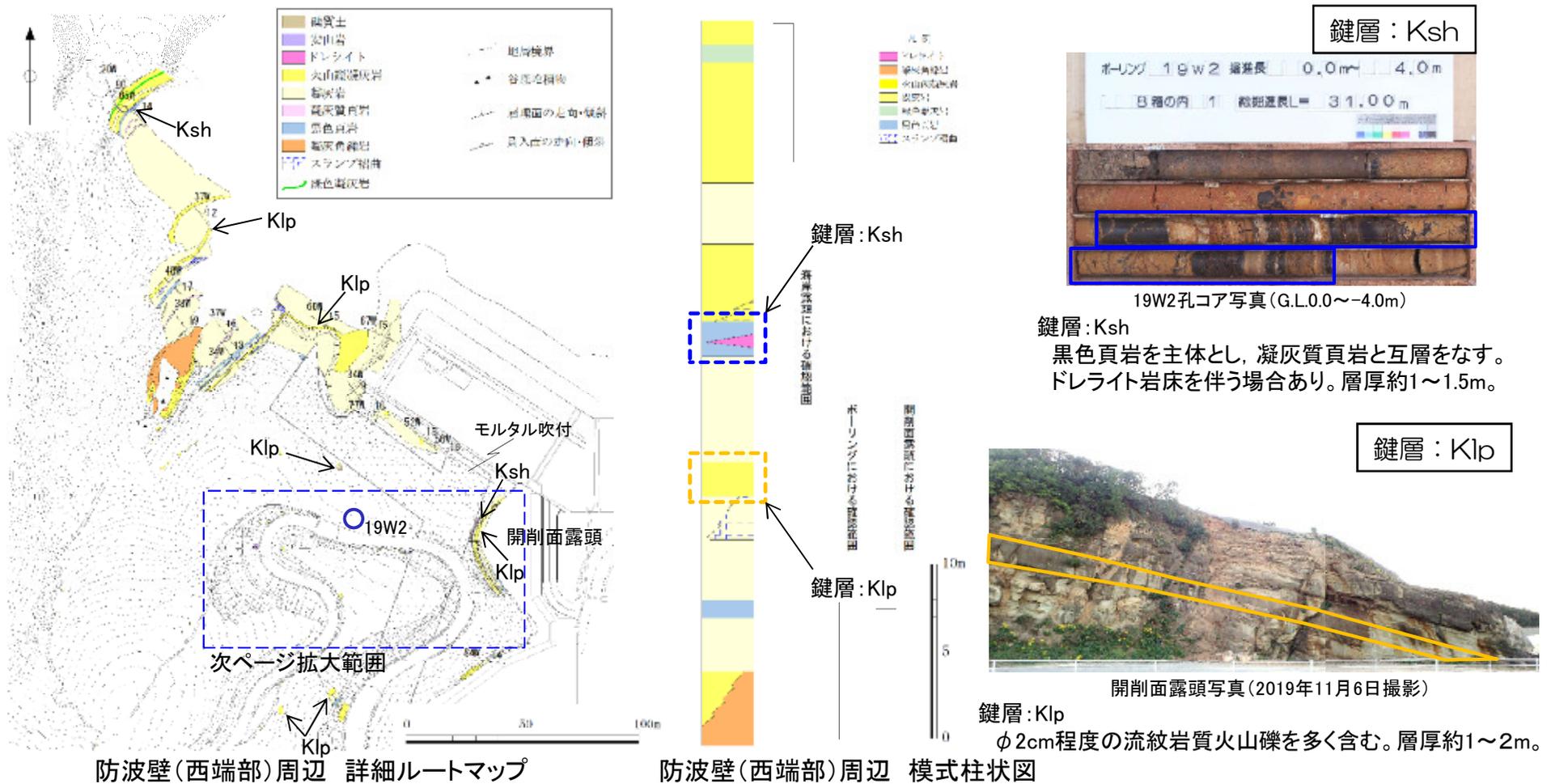
上: 単ニコル, 下: 直交ニコル
Gl: ガラス, M: 鉱物片,
FeOOH: 水酸化鉄鉱物

礫質土内部に認められる礫について、その性状を確認した。

- ・肉眼観察の結果、この礫は、 ϕ 約10cmの亜角礫で、全体に赤褐色を呈し、強変質により軟質であり、半クサリ状である。酸化変質の進んだ凝灰岩と考えられる。
- ・鏡下観察の結果、この礫は全体に変質鉱物に置換されているが、ガラスの組織や鉱物片が認められることから、凝灰岩と考えられる。

以上のことから、礫質土内部に認められる礫は酸化変質の進んだ凝灰岩と考えられる。敷地に凝灰岩は広く分布していることから、周辺岩盤から供給された礫と考えられる。

防波壁(西端部)周辺の詳細ルートマップ



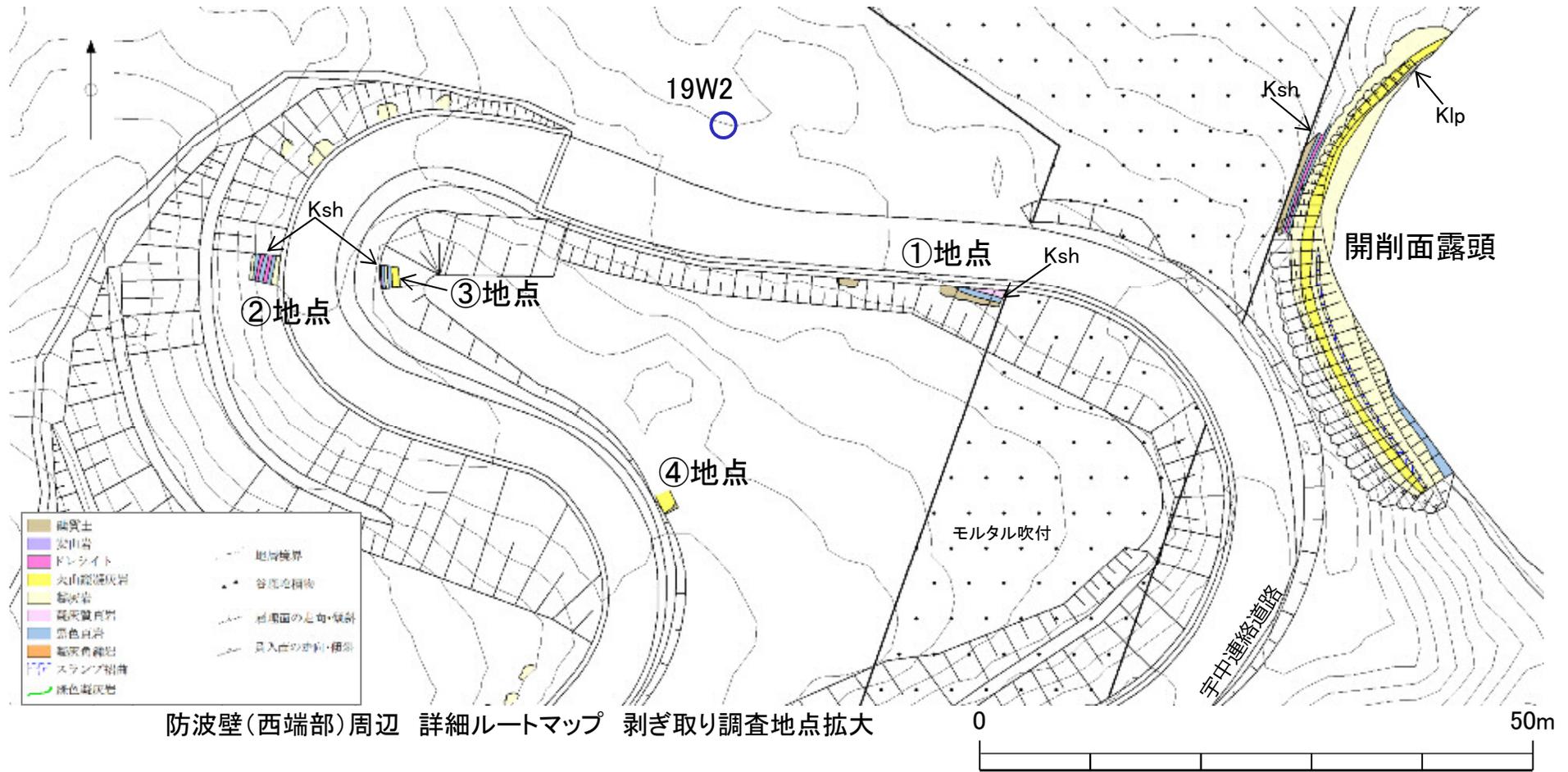
鍵層: Ksh
 黒色頁岩を主体とし、凝灰質頁岩と互層をなす。
 ドレライト岩床を伴う場合あり。層厚約1~1.5m。

鍵層: Klp
 φ2cm程度の流紋岩質火山礫を多く含む。層厚約1~2m。

防波壁(西端部)周辺において、ボーリングコアや露頭の状況を整理し、より詳細なルートマップを作成した。また、これらの情報に基づき、この地域の詳細な模式柱状図を作成した。

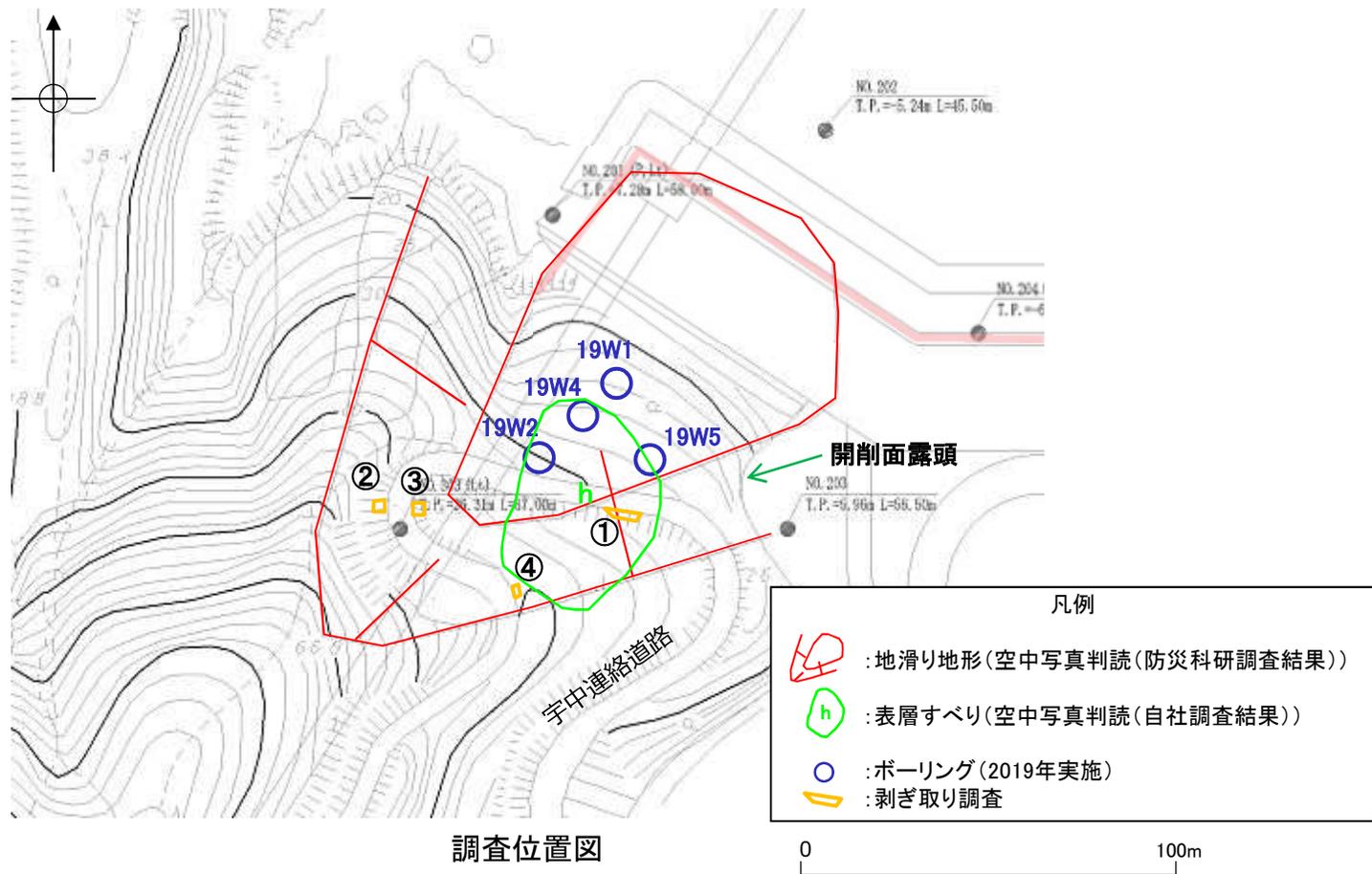
- 調査地点周辺は、凝灰岩及び火山礫凝灰岩を主体とし、凝灰角礫岩や黒色頁岩、ドレライトを挟む。西北西~北西走向、北東緩傾斜であり、局所的なスランプ褶曲が認められる。
- 複数箇所を確認される特徴的な岩相を鍵層として整理した。この付近では、火山礫凝灰岩からなるKlpと黒色頁岩を主体とするKshを鍵層として扱う。

防波壁(西端部)周辺の詳細ルートマップ 剥ぎ取り調査地点



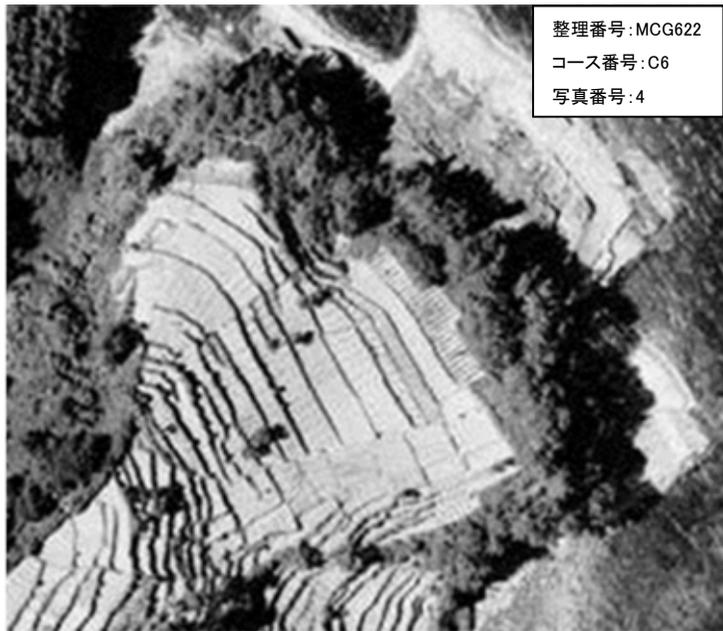
防波壁(西端部)周辺 詳細ルートマップ 剥ぎ取り調査地点拡大

宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査

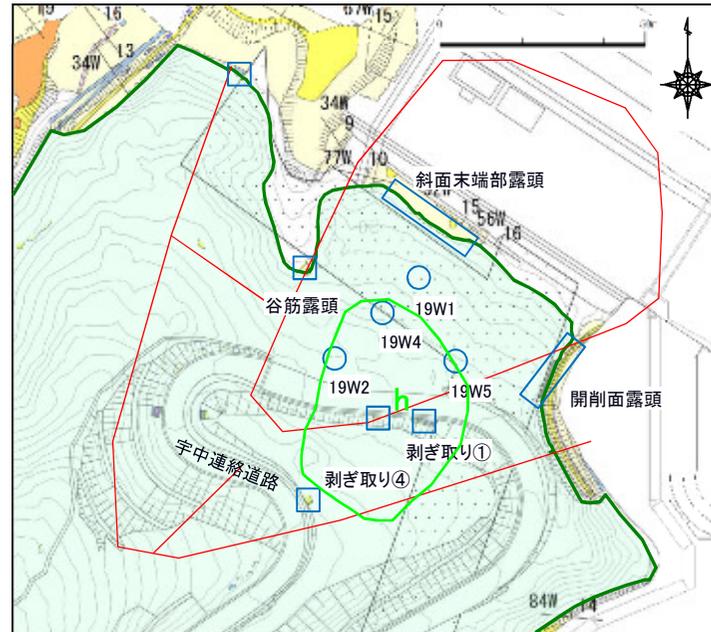


防波壁(西端部)周辺に位置する宇中連絡道路付近において剥ぎ取り調査を複数箇所を実施し、空中写真判読に基づく防災科研調査結果(清水ほか(2005)⁽¹⁾)の地滑り地形及び表層すべり(h)の範囲における層準の連続性、開削面露頭で確認した粘性土・礫質土の分布範囲を確認した。

No. 1・2 開削面露頭上部の性状
表層土の分布範囲



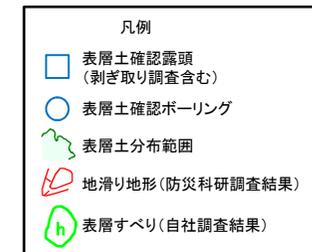
防波壁(西端部)周辺の空中写真
撮影縮尺: 1万分の1, 1962年撮影



表層土の分布範囲



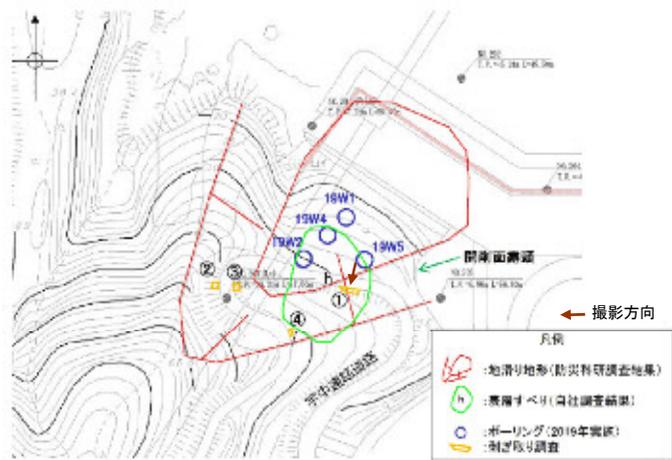
防波壁(西端部)位置図



ボーリングコアや露頭の状況に基づき、表層土の分布範囲を作成した。ここで表層土とは表土、粘性土及び礫質土を指す。

- ・表土は防波壁(西端部)の地山全域に分布する。粘性土及び礫質土は防災科研調査結果の地滑り地形付近(当社の地形調査の表層すべり(h)を含む)に分布すると考えられる。
- ・海岸露頭や斜面の末端部の一部では露岩しており、表層土は分布していない。

宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査 ①地点



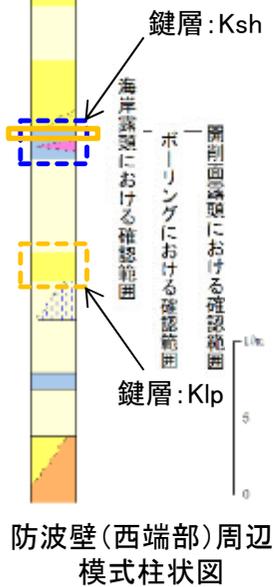
調査位置図



露頭写真(解釈線無, 2019年10月24日撮影)



層準対比 19W2孔コア写真(G.L.0.0~-4.0m)
露頭で確認できる層準を橙四角で示す。



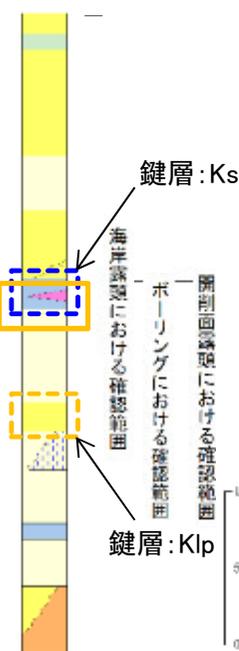
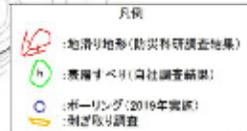
露頭写真(解釈線有, 2019年10月24日撮影)

- ・剥ぎ取り調査①地点では、下位から葉理の発達した凝灰質頁岩、黑色頁岩、礫質土が認められる。
- ・これらは防災科調査結果の地滑り地形の地滑り土塊とされる箇所において実施したボーリング19W2孔のG.L.-2.4m以浅の層準に対比される。また凝灰質頁岩と黑色頁岩は、鍵層Kshの上部に相当する。

宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査 ②地点



調査位置図



鍵層: Ksh

鍵層: Klp

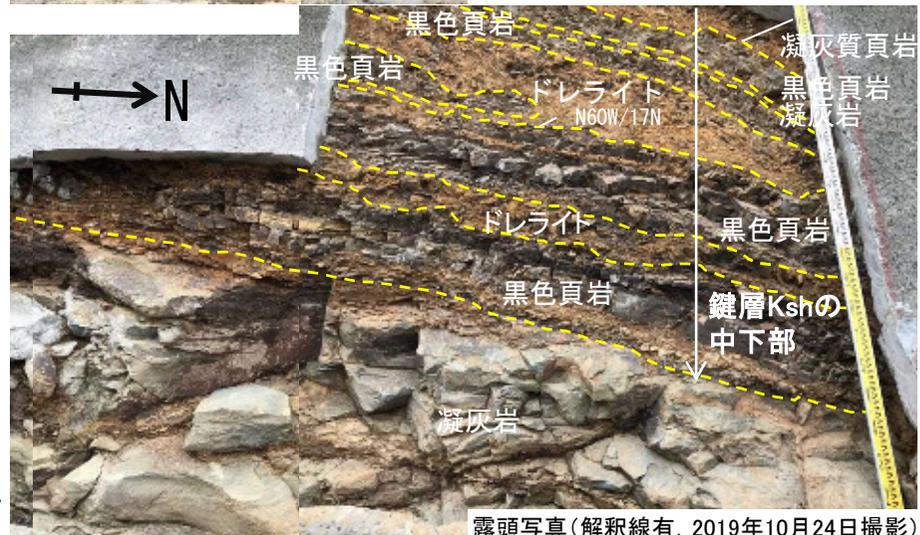


層準対比 19W2孔コア写真 (G.L.0.0~-4.0m)
露頭で確認できる層準を橙四角で示す。

防波壁(西端部)周辺
模式柱状図



露頭写真(解釈線無, 2019年10月24日撮影)



露頭写真(解釈線有, 2019年10月24日撮影)

- ・剥ぎ取り調査②地点では、下位から凝灰岩、黒色頁岩、ドレライト、凝灰岩及び黒色頁岩の互層、凝灰質頁岩が認められる。
- ・これらは防災科調査結果の地滑り地形の地滑り土塊とされる箇所において実施したボーリング19W2孔のG.L.-4.0m以浅の層準に対比される。また凝灰岩より上位の黒色頁岩等は、鍵層Kshの中下部に相当する。

宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査 ③地点



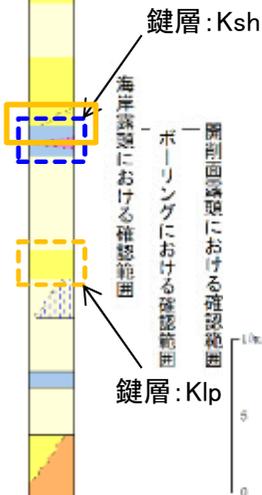
調査位置図



露頭写真(解釈線無, 2019年10月24日撮影)



層準対比 19W2孔コア写真(G.L.0.0~-4.0m)
露頭で確認できる層準を橙四角で示す。



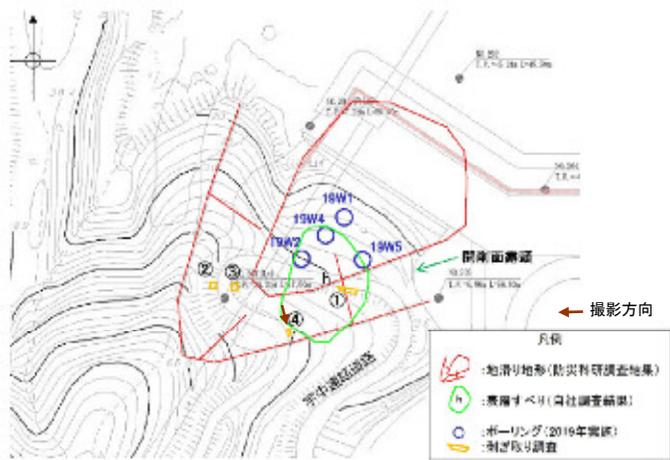
防波壁(西端部)周辺
模式柱状図



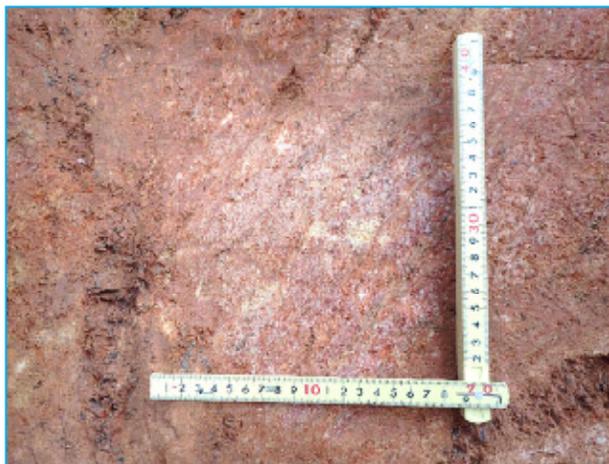
露頭写真(解釈線有, 2019年10月24日撮影)

- ・剥ぎ取り調査③地点では、下位からドレライト、凝灰岩及び黑色頁岩の互層、火山礫凝灰岩が認められる。
- ・これらは防災科調査結果の地滑り地形の地滑り土塊とされる箇所において実施したボーリング19W2孔のGL-3.0m以浅の層準に対比される。また凝灰岩及び黑色頁岩の互層は、鍵層Kshの上部に相当し、最上部の火山礫凝灰岩は鍵層Kshの上位層の火山礫凝灰岩に相当する。

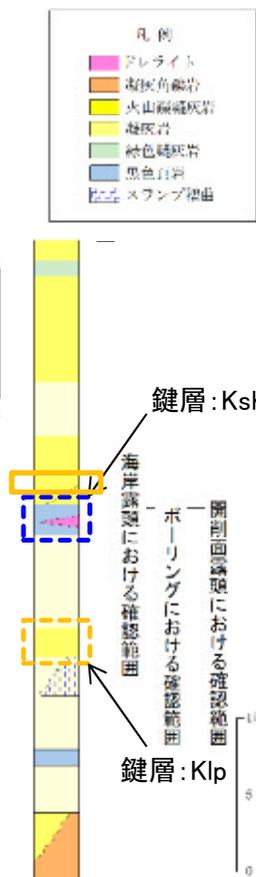
宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査 ④地点



調査位置図



火山礫凝灰岩 拡大写真(2019年11月6日撮影)



防波壁(西端部)周辺
模式柱状図



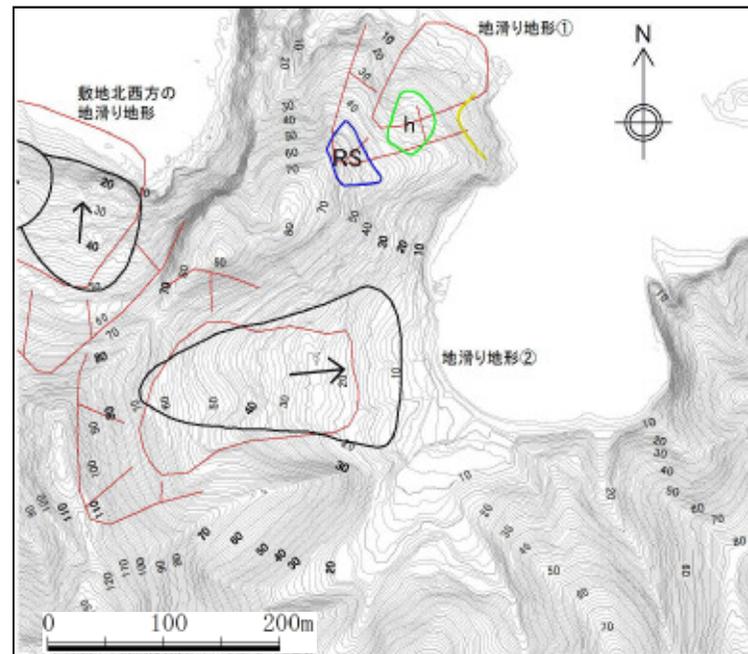
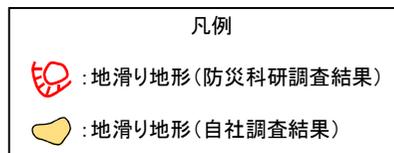
露頭写真(解釈線無, 2019年10月24日撮影)



露頭写真(解釈線有, 2019年10月24日撮影)

- ・剥ぎ取り調査④地点では、下位から火山礫凝灰岩、礫質土が認められる。
- ・礫質土は締りがよく、その層厚は40cmから15cmであり、標高が高くなるにつれて層厚が薄くなる。
- ・火山礫凝灰岩は、剥ぎ取り調査③地点で確認した鍵層Kshの上位層の火山礫凝灰岩に相当する。
- ・この地点において火山礫凝灰岩と礫質土の境界は不明瞭で漸移的であり、下位の火山礫凝灰岩が強風化したものと考えられる。また、開削面露頭で確認された礫質土の性状とは異なる。

防波壁(西端部)周辺の地形判読結果

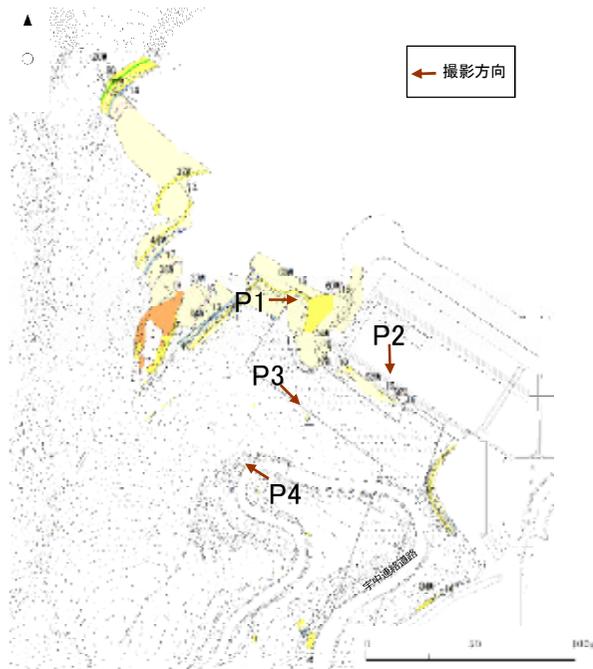


防波壁(西端部)周辺の旧地形の等高線図

(モノクロ空中写真(撮影縮尺: 1万分の1, 1962年撮影)より1mDEMを取得し作成)

- ・空中写真図化により作成した1mDEMを使用し, 1mコンターの等高線図を作成した。
- ・防波壁(西端部)周辺では, 防災科研調査結果の地滑り地形①の地滑り土塊とされる箇所のうち標高25~45mに緩斜面が分布し, 等高線の乱れが認められることから, 表層すべり(h)が想定される。当該箇所は, 浅い谷部に位置することから, 厚さ数mの土砂が堆積していると考えられる。また, 地滑り地形①の滑落崖とされる箇所に概ね対応する地形として, 標高45~65mに相対的に急な斜面が存在するが, その斜面は等斉直線斜面(RS, 鈴木(2000)⁽²⁾)で傾斜方向が東北東方向を示す。地滑り地形①の崩落方向は北北東方向を示し, 斜面(RS)とは方向が異なる。仮に斜面(RS)を滑落崖とした場合, 半円形の凹形谷型斜面が想定される(鈴木(2000))が, そのような地形は確認されない。
- ・開削面露頭上部で認められた表層土(礫質土及び粘性土)は, 表層すべりの要因となる可能性が考えられる。これらは, 空中写真判読で認められた表層すべりを想定した厚さ数mの土砂に相当する可能性が考えられる。

防波壁(西端部)周辺の詳細ルートマップ その他露頭状況



礫質土	地形境界
火山岩	谷筋の樹木
ドレンサイト	斜面の土砂・傾斜
火山礫凝灰岩	侵入岩の境界・傾斜
礫質土	
凝灰質頁岩	
灰色頁岩	
凝灰質砂岩	
スラング褶曲	
褐色凝灰岩	

露頭写真位置



P1 防波壁(西端部)岩着部付近の露頭
火山礫凝灰岩(2019年8月21日撮影)



P2 斜面末端部の露頭
礫質土及び凝灰岩(2019年7月4日撮影)



P3 谷筋の露頭
礫質土及び凝灰岩・火山礫凝灰岩
(2019年8月21日撮影)

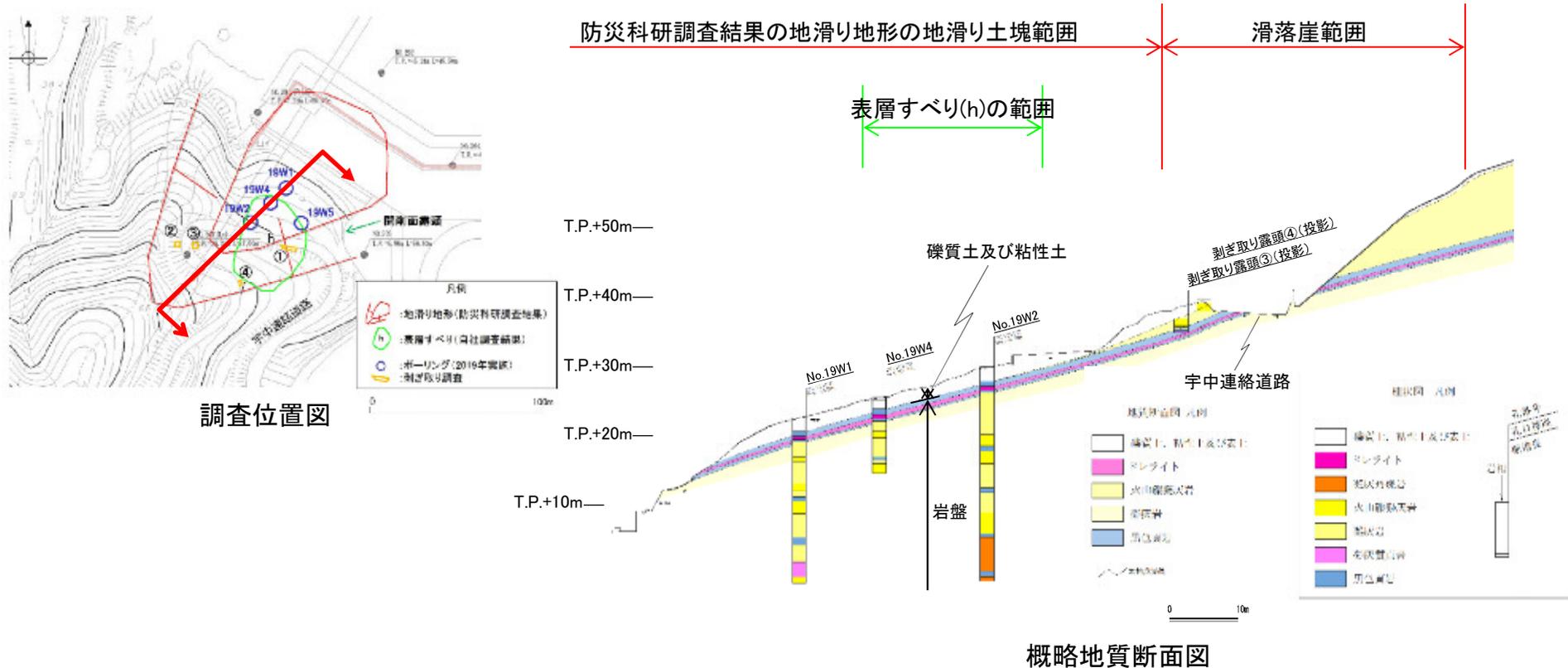


P4 宇中連絡道路沿いの露頭
粗粒凝灰岩
(2019年8月21日撮影)

防波壁(西端部)周辺のその他の露頭状況について整理した。

- ・調査地点周辺では、海岸付近の露頭では堅硬な岩盤が認められる(P1)。また、斜面末端部や谷筋では岩盤と礫質土の露頭が認められる(P2,P3)。宇中連絡道路付近では岩盤が認められる(P4)。

防波壁(西端部)周辺の概略地質断面図



防波壁(西端部)周辺において、ボーリングコアや露頭の状況を整理したより詳細なルートマップに基づき、防災科研調査結果の地滑り地形の範囲における層準の連続性、開削面露頭で確認した礫質土及び粘性土の分布範囲に着目した地質断面図を作成した。

- ・防災科研調査結果の地滑り地形の範囲において、ボーリングコア及び開削面露頭上部に認められる層準が連続することが確認された。
- ・表層すべりの可能性が考えられる礫質土及び粘性土についても、宇中連絡道路直前(剥ぎ取り調査地点④)まで連続し、その範囲は防災科研調査結果の地滑り地形の地滑り土塊及び表層すべり(h)に概ね対応する。また、礫質土及び粘性土の層厚は約2mである。

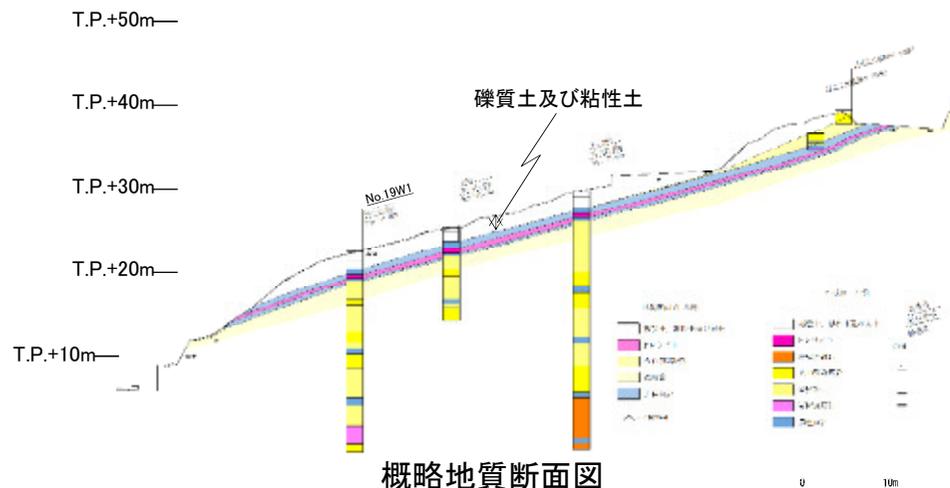
表層すべりを想定した礫質土及び粘性土の層厚



調査位置図



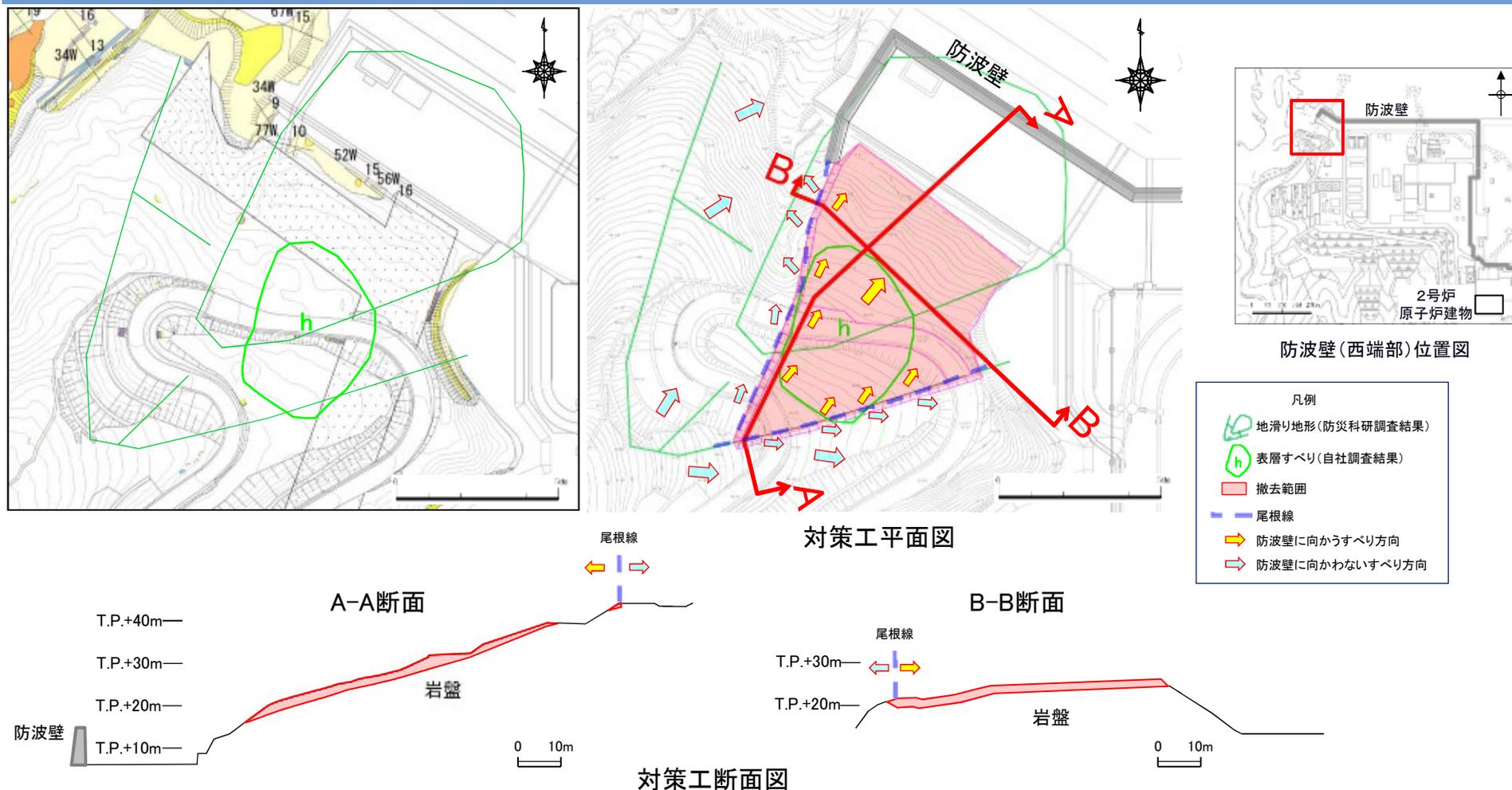
19W1孔 コア写真(G.L.0.0~-8.0m)



概略地質断面図

- ・空中写真判読で認められた表層すべりを想定した厚さ数mの土砂に相当する可能性が考えられる礫質土及び粘性土は、防災科研調査結果の地滑り地形の地滑り土塊及び当社の地形調査に基づく表層すべり(h)付近とされる箇所において認められる。
- ・礫質土及び粘性土の層厚は、ボーリングコアや露頭観察結果を踏まえると、約2mであることが確認された。

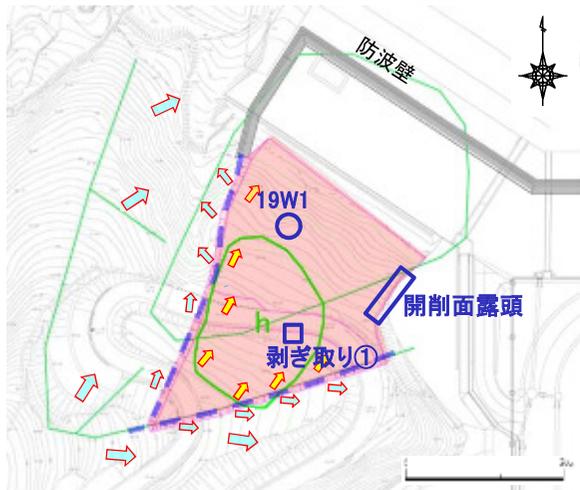
調査結果を踏まえた対策工の検討



防災科研調査結果の地滑り地形付近において確認された礫質土及び粘性土については、過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから、防波壁周辺斜面の安定性確保のため、撤去することとする。

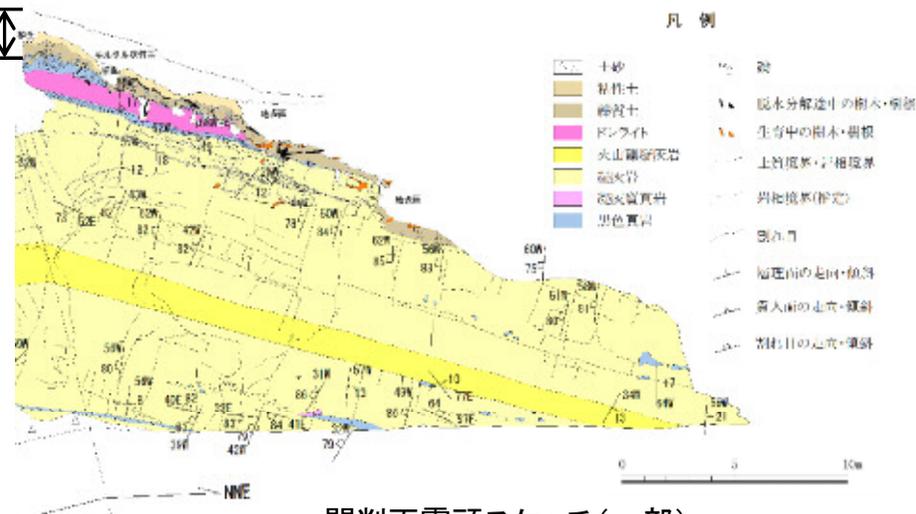
撤去範囲については、防波壁に与える影響を考慮し、尾根線に囲まれた内側の範囲について、岩盤部までの礫質土及び粘性土を全て撤去することとする。

(参考) 対策工による撤去範囲



対策工平面図

撤去範囲



開削面露頭スケッチ(一部)



19W1孔 コア写真(G.L.0.0~4.0m)



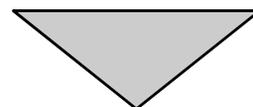
剥ぎ取り調査①地点

対策工では岩盤を確認できる深度まで礫質土及び粘性土を撤去する。

審査会合・現地調査における指摘事項(No.3)

24

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
3	ボーリングコア及び露頭において確認された局所的に岩級の低い凝灰岩について、その性状や連続性を確認するとともに、斜面の安定性評価への反映について検討すること。	令和元年9月20日 現地調査	24～33



回答方針

ボーリングコアや露頭で確認された割れ目密集帯を伴う凝灰岩の性状や連続性について整理する。



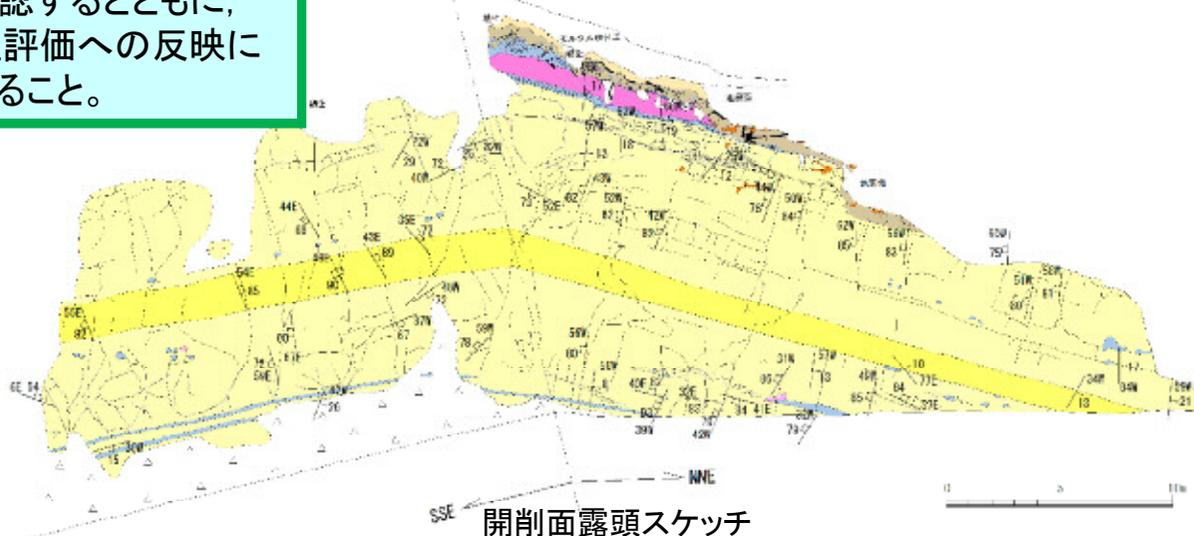
凡例

- 土砂
- 粘性土
- 礫質土
- ドレライト
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黒色頁岩

コメントNo. 3:

ボーリングコア及び露頭において確認された局所的に岩級の低い凝灰岩について、その性状や連続性を確認するとともに、斜面の安定性評価への反映について検討すること。

開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)

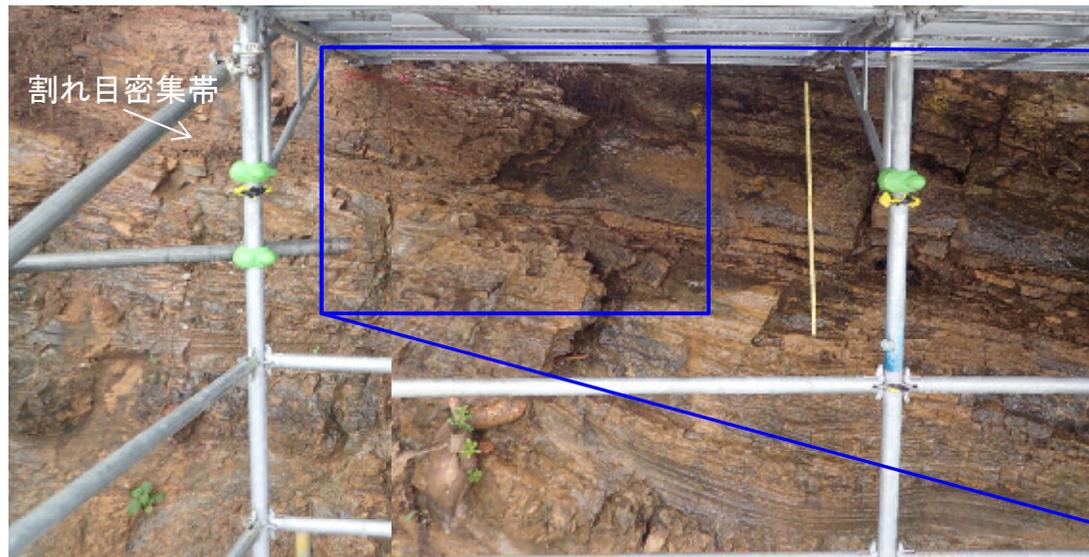


- 礫
- 脱水分解途中の樹木・樹根
- 生育中の樹木・樹根
- 土質境界・岩相境界
- 岩相境界(推定)
- 割れ目
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜

開削面露頭スケッチ

- ・開削面露頭は凝灰岩を主体とし、最下部及び上部に黒色頁岩薄層、ほぼ中央に火山礫凝灰岩層が認められる。これらの岩相境界は明瞭で、ほぼ平滑な境界を有する。また上部には貫入したドレライトが認められる。露頭最上部には、粘性土及び礫質土が分布する。
- ・層理面は北へ緩く傾斜し、これに直交する高角度割れ目が認められる。露頭全体が弱変質により淡褐色を呈するが、岩盤は堅硬である。シームや断層、褶曲、深層崩壊に伴う地滑り面は認められない。

開削面露頭における凝灰岩の性状



露頭における凝灰岩の状況 (2019年10月24日撮影)



凝灰岩露頭写真

開削面露頭の標高22m付近には、凝灰岩が分布しており、この一部は層厚約10cm程度の割れ目密集帯を伴う(右上写真)。この凝灰岩の性状について確認した。

- ・この凝灰岩の割れ目密集帯の連続性は乏しく、該当露頭の約1m右側において、割れ目間隔は6cm程度となる(右下写真)。右下写真の割れ目間隔の広い面は、表面の割れ目密集帯が、再観察時に観察面にほぼ平行な高角度節理で剥がれたものである。この面を見ると、割れ目のない岩盤となっている。
- ・この割れ目密集帯に粘土は認められない。
- ・露頭の割れ目密集帯は表面のみで認められ、岩盤内部では割れ目間隔の広い状態になっていると考えられる。
- ・割れ目密集帯を伴う凝灰岩はC_M級~C_L級岩盤と評価する。



露頭拡大写真

割れ目間隔広い

剥ぎ取り調査②地点における凝灰岩の性状

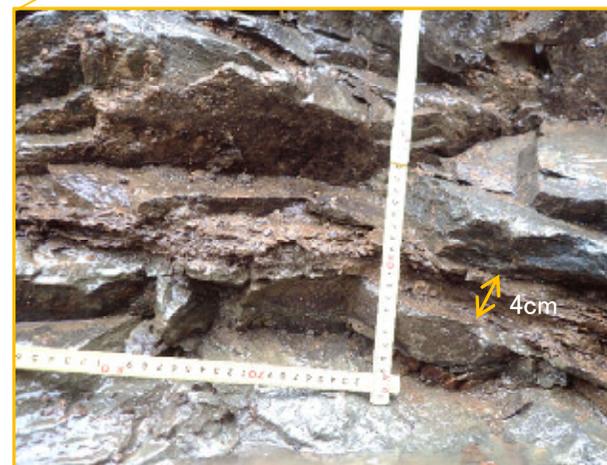


調査位置図

剥ぎ取り調査②地点 (2019年10月24日撮影)



凝灰岩露頭 割れ目なし (2019年11月6日撮影)



凝灰岩露頭 割れ目密集帯の厚さ4cm

- ・剥ぎ取り調査②地点では、最下位の凝灰岩中に、割れ目密集帯の層準が出現する。露頭右側では割れ目密集帯の厚さは4cmであるが、露頭左側では同一層準に割れ目は認められない。
- ・割れ目密集帯は連続しないと考えられる。
- ・割れ目密集帯を伴う凝灰岩はC_M級～C_L級岩盤と評価する。

2. ボーリングコアにおける凝灰岩の性状 19W1孔

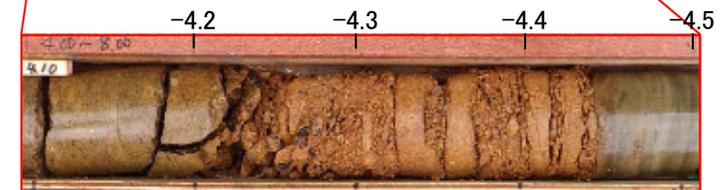


ボーリング調査位置図

- ・開削面露頭の標高22m付近に認められる割れ目密集帯を伴う凝灰岩について、ボーリングコアにより、性状や連続性を確認した。
- ・19W1孔において、G.L.-4.20~-4.45mに割れ目密集帯が認められる。周囲の凝灰岩に比べ粗粒であり、また酸化変質が進行している。コアは岩片状~細礫状を呈する。
- ・この区間の凝灰岩に粘土は認められない。
- ・19W1孔はG.L.-2.08~-4.45mがC_L級である。



19W1孔 コア写真(G.L.0.0~-8.0m)



コア拡大写真

2. ボーリングコアにおける凝灰岩の性状 19W2孔



ボーリング調査位置図



19W2孔 コア写真(G.L.0.0~-8.0m)

-4.3 -4.4 -4.5



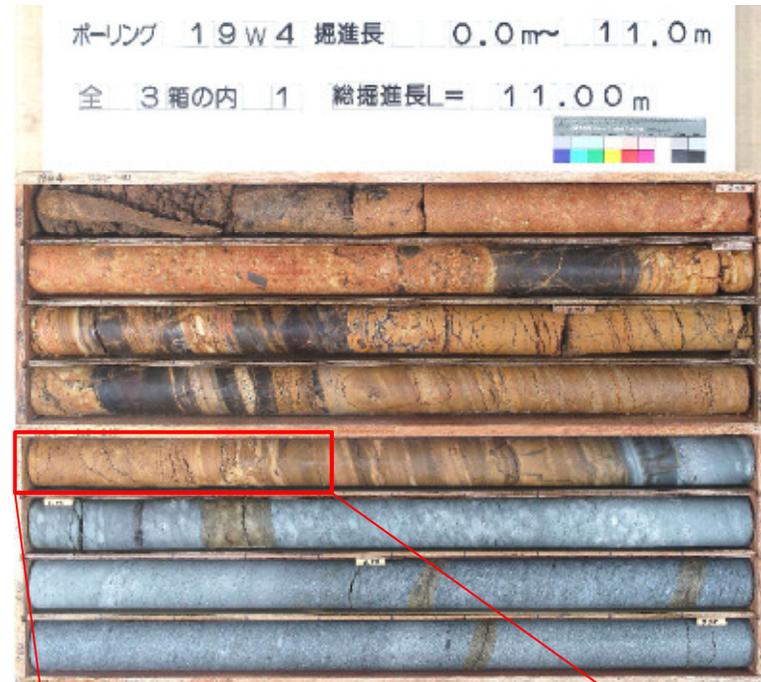
コア拡大写真

- ・19W2孔は、G.L.-4.38~-4.47mに割れ目密集帯が認められる。周囲の凝灰岩に比べ粗粒であり、また酸化変質が進行している。コアは岩片状を呈する。
- ・この区間の凝灰岩に粘土は認められない。
- ・19W2孔はG.L.-2.05~-4.48mがC_L級である。

2. ボーリングコアにおける凝灰岩の性状 19W4孔



ボーリング調査位置図



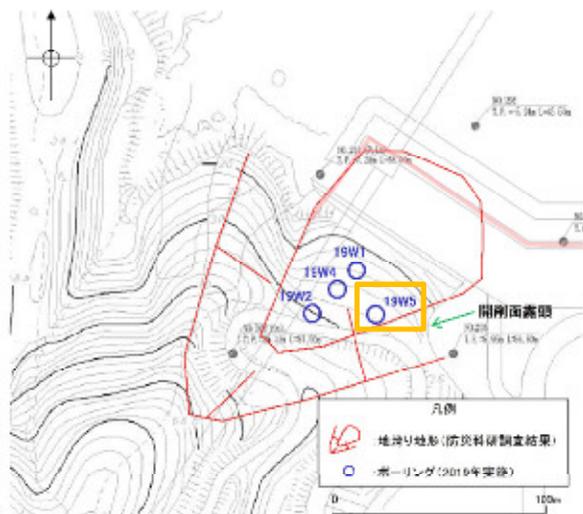
19W4孔 コア写真(G.L.0.0~-8.0m)



コア拡大写真

- ・ 19W4孔は、G.L.-4.20~-4.23mに割れ目密集帯が認められる。周囲の凝灰岩に比べ粗粒であり、また酸化変質が進行している。コアは岩片状を呈する。
- ・ この区間の凝灰岩に粘土は認められない。
- ・ 19W4孔はG.L.-2.45~-4.35mがC_L級である。

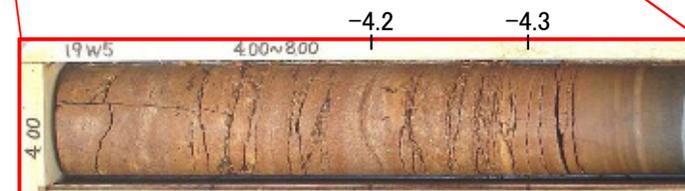
2. ボーリングコアにおける凝灰岩の性状 19W5孔



ボーリング調査位置図



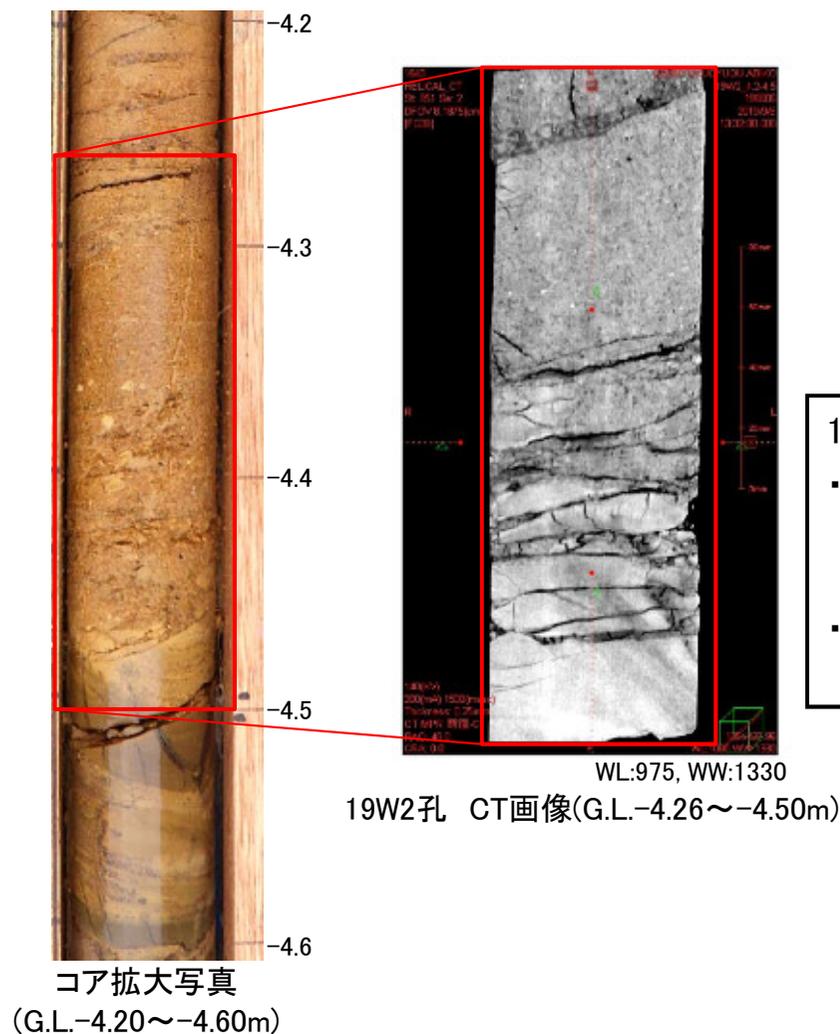
19W5孔 コア写真(G.L.0.0~-8.0m)



コア拡大写真

- ・ 19W5孔は、G.L.-4.22~-4.28mに割れ目密集帯が認められる。周囲の凝灰岩に比べ粗粒であり、また酸化変質が進行している。コアは岩片状を呈する。
- ・ この区間の凝灰岩に粘土は認められない。
- ・ 19W5孔はG.L.-1.67~-4.28mがC_L級である。

2. コアにおける性状 19W2孔 CT画像解析



19W2孔の割れ目密集帯においてCT画像解析を実施した。

- ・凝灰岩の傾斜方向の断面を観察すると、層理に沿った割れ目が認められ、岩片状を呈する。また、粘土脈の存在を示唆する低密度部は認められない。
- ・系統的な割れ目や岩片、粒子の配列は認められないことから、地すべり等の変動と無関係であると考えられる。

・上記の観察結果から、凝灰岩の割れ目密集帯は、相対的に粗粒な凝灰岩の周辺を変質が選択的に進行した結果、局所的に形成されたと考えられる。

3.3 まとめ

ボーリングコアや露頭で確認された割れ目密集帯を伴う凝灰岩の性状や連続性について検討した結果、以下の特徴が明らかになった。

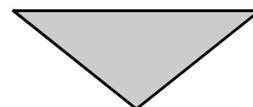
- ・開削面露頭の割れ目密集帯は表面のみで認められ、岩盤内部では割れ目間隔の広い状態になっていると考えられる。
- ・剥ぎ取り調査②地点では、割れ目密集帯は連続しない。
- ・ボーリングコアでは、周囲の凝灰岩に比べ粗粒で酸化変質が進行した箇所では岩片状～細礫状を呈している。しかし、コア形状(割れ目の頻度)はコアによってばらつきがある。

以上のことから、該当の凝灰岩は割れ目が密集する箇所もあるが、防波壁(西端部)の広範囲に連続するものではないと考えられる。複数のボーリングで割れ目密集帯が確認された箇所については、斜面の安定性評価においてC_L級岩盤と評価する。



凝灰岩(割れ目密集帯)の岩級確認結果

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
4	ボーリングコア(19W1等)及び開削面露頭において確認されたドレライトを露頭観察結果(スケッチ等)に反映すること。	令和元年9月20日 現地調査	34~38

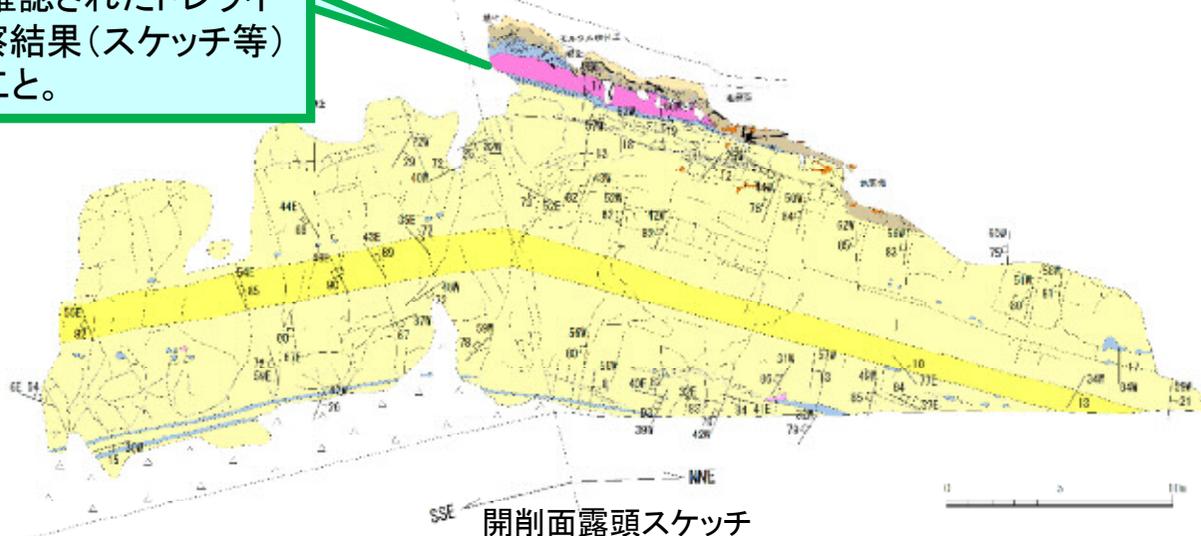


回答方針
ボーリングコア(19W1)から試料を採取・薄片観察等を実施し、岩種を特定したうえで、露頭観察結果(スケッチ等)に反映する。



開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)

コメントNo. 4:
ボーリングコア及び開削面露頭において確認されたドレイトを露頭観察結果(スケッチ等)に反映すること。



開削面露頭スケッチ

凡例

- △ 土砂
- 粘性土
- 礫質土
- ドレイト
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黑色頁岩

- 礫
- ▲ 脱水分解途中の樹木・樹根
- ▲ 生育中の樹木・樹根
- 土質境界・岩相境界
- 岩相境界(推定)
- 割れ目
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜

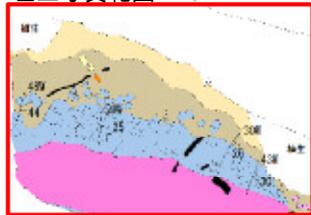
- ・開削面露頭は凝灰岩を主体とし、最下部及び上部に黑色頁岩薄層、ほぼ中央に火山礫凝灰岩層が認められる。これらの岩相境界は明瞭で、ほぼ平滑な境界を有する。また上部には貫入したドレイトが認められる。露頭最上部には粘性土及び礫質土が分布する。(上スケッチ図はコメントを踏まえ露頭観察結果を反映済)
- ・層理面は北へ緩く傾斜し、これに直交する高角度割れ目が認められる。露頭全体が弱変質により淡褐色を呈するが、岩盤は堅硬である。シームや断層、褶曲、深層崩壊に伴う地滑り面は認められない。

(No. 1再掲)開削面露頭上部 観察結果



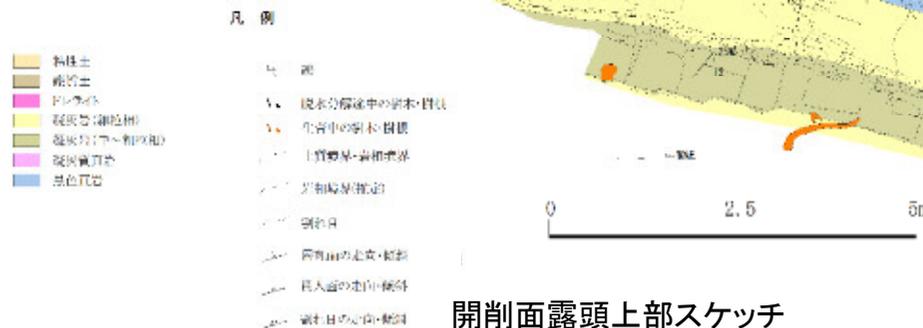
開削面露頭上部写真
(2019年7月18日撮影)

左上写真範囲



露頭上部 拡大写真(2019年9月20日撮影)

- ・開削面露頭上部は、下位より凝灰岩、黒色頁岩、ドレライト、凝灰質頁岩、礫質土及び粘性土、モルタル吹付である。
- ・礫質土及び粘性土に地滑り面は認められない。
- ・礫質土は赤褐色を呈し、締りがよい。
- ・礫質土中の礫は黒色頁岩及び凝灰質頁岩を主体とし、角礫～亜角礫である。
- ・礫質土中には、樹木・樹根が認められる。

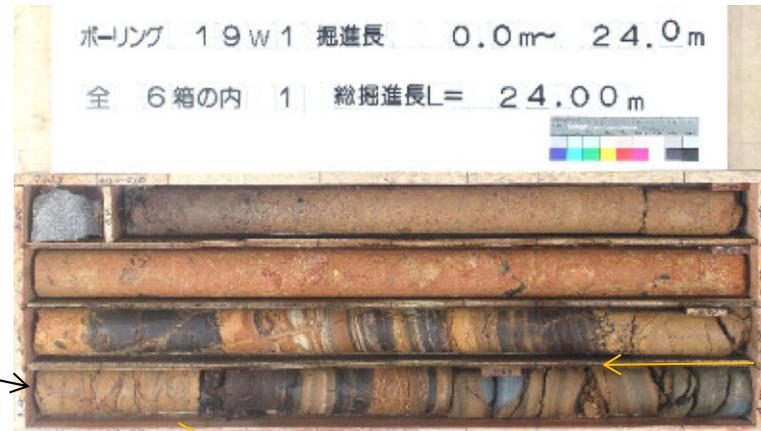


開削面露頭上部スケッチ

ボーリングコア及び露頭における性状

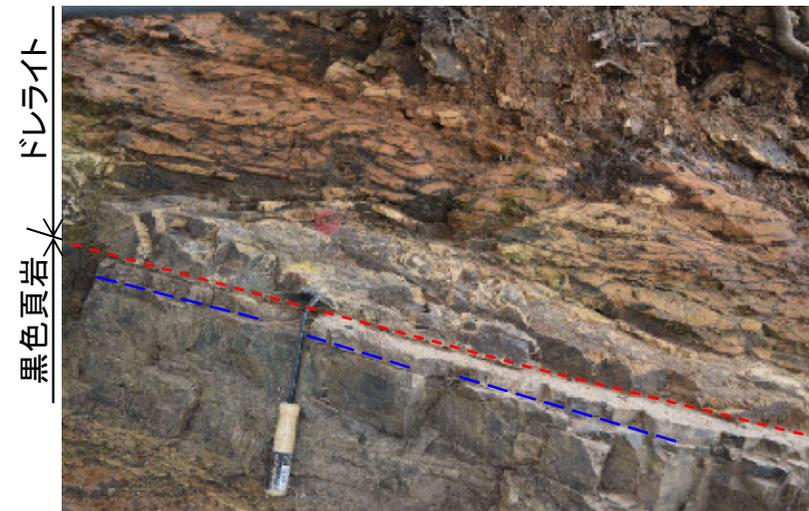


ボーリング調査位置図



19W1孔 コア写真(G.L.0.0~-4.0m)

- ・19W1孔において、G.L.-2.79~-3.23mにドレライトが認められる。上端境界は入り組んだ境界を有し、下端境界は層理面に平行な境界をなす。母岩の黒色頁岩に比べ酸化変質が進行し、やや軟質である。岩体内部が塊状で、層理が認められないことから、貫入岩の特徴を有する。
- ・開削面露頭上部の詳細観察の結果、黄褐~橙褐色を呈するドレライトが認められる。上端境界、下端境界(右写真赤破線)ともに層理面(右写真青破線)に平行な境界をなす。岩体内部が塊状で、層理が認められず、境界に比べ内部の方がわずかに粗粒であることから、貫入岩の特徴を有する。



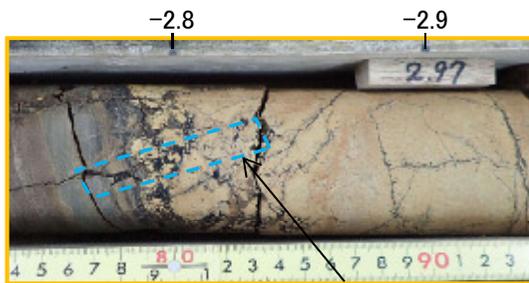
開削面露頭において認められるドレライト(2019年10月17日撮影)

ボーリングコア19W1孔 薄片観察

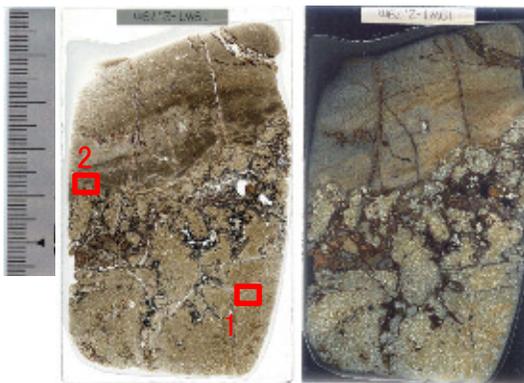
岩種特定のために19W1孔のG.L.-2.79mにおいて薄片観察を実施した。



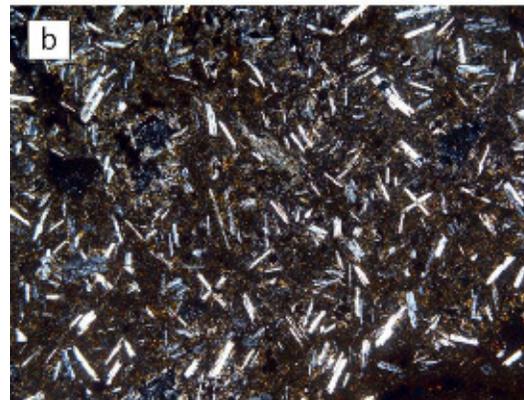
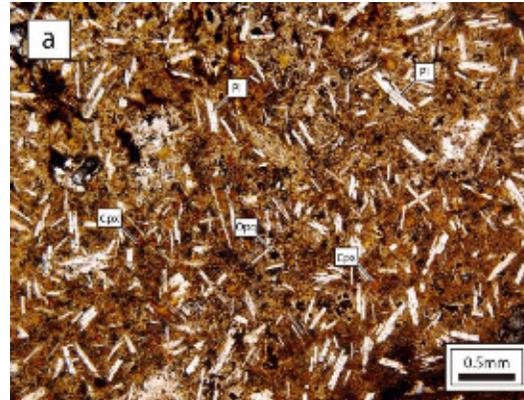
19W1孔 コア写真(抜粋)



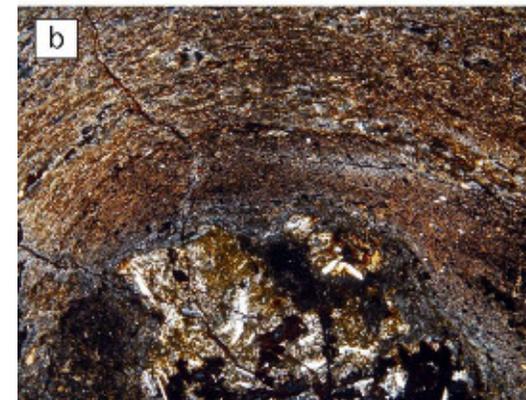
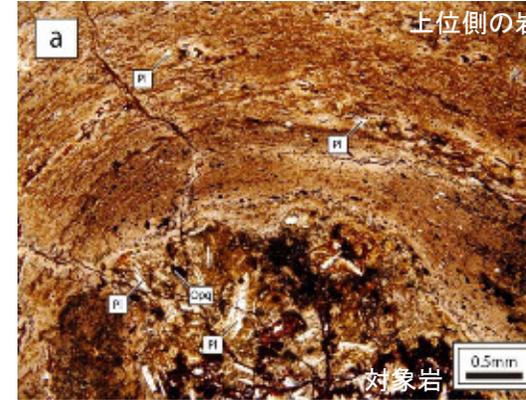
薄片作製位置



薄片全体像
(左:単ニコル, 右:直交ニコル)



1:対象岩



2:境界部

上:単ニコル,
下:直交ニコル
Cpx:単斜輝石,
Pl:斜長石,
Opq:不透明鉱物

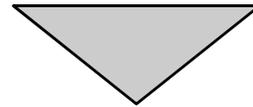
・対象岩は斜長石と変質鉱物からなる。変質鉱物は粒子の小さい輝石と思われ、サブオフィテック組織^{*}を呈していたと考えられる。境界部付近では、対象岩中に上位側の岩の破片が入り込んでいるほか、上位側の岩が変形を受けた部分が認められる。

・薄片観察の結果、対象岩はドレイトである。

^{*}:大きい他形の輝石のなかに、細長い自形の斜長石の一部が含まれている組織。(周藤・小山内(2002)⁽³⁾より引用)

審査会合・現地調査における指摘事項(No.5)

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
5	防波壁(西端部)の開削面露頭及びボーリングコア(19W5)において確認された凝灰岩について、溶結構造の有無を確認すること。	令和元年9月20日 現地調査	39~42



回答方針

ボーリングコア(19W5)から凝灰岩を採取し、薄片観察等を行い、溶結構造の有無を確認する。

No. 5 防波壁(西端部)の凝灰岩の性状
開削面露頭 観察結果

第762回審査会合
資料1-1 P43 加筆・修正

40

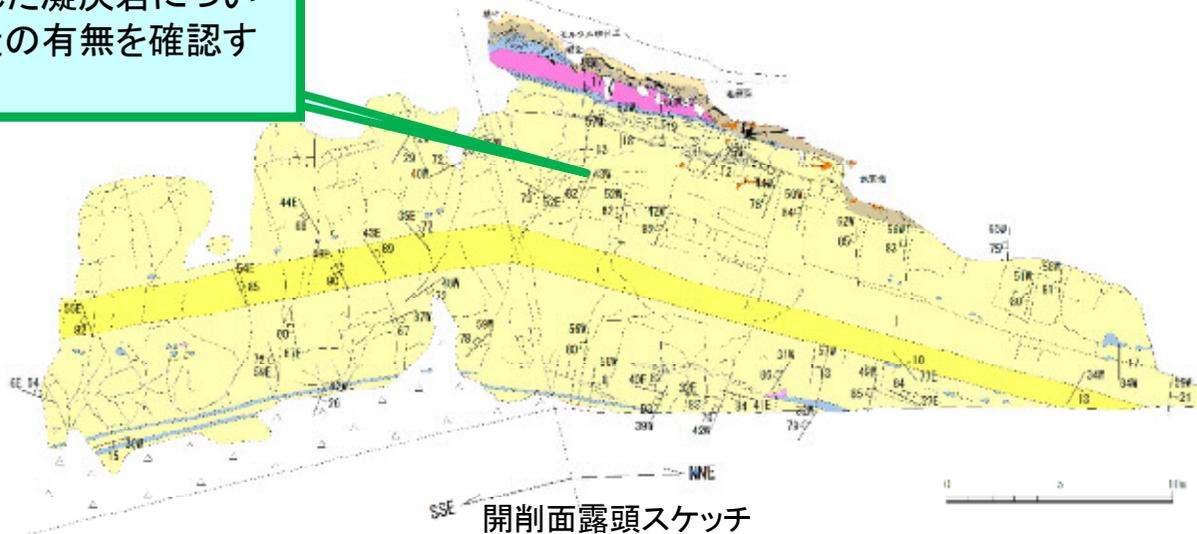


開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)

凡例

- 土砂
- 粘性土
- 礫質土
- ドレライト
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黒色頁岩

コメントNo. 5:
ボーリングコア及び露頭において確認された凝灰岩について、溶結構造の有無を確認すること。



- 土
- 脱水分解途中の樹木・樹根
- 生育中の樹木・樹根
- 土質境界・岩相境界
- 岩相境界(推定)
- 割れ目
- 層理面の走向・傾斜
- 貫入面の走向・傾斜
- 割れ目の走向・傾斜

- ・開削面露頭は凝灰岩を主体とし、最下部及び上部に黒色頁岩薄層、ほぼ中央に火山礫凝灰岩層が認められる。これらの岩相境界は明瞭で、ほぼ平滑な境界を有する。また上部には貫入したドレライトが認められる。露頭最上部には、粘性土及び礫質土が分布する。
- ・層理面は北へ緩く傾斜し、これに直交する高角度割れ目が認められる。露頭全体が弱変質により淡褐色を呈するが、岩盤は堅硬である。シームや断層、褶曲、深層崩壊に伴う地滑り面は認められない。

5.1 ボーリングコア及び露頭における性状



ボーリング調査位置図



19W5孔 コア写真(G.L.-4.0~8.0m)



開削面露頭 標高19m付近(2019年10月24日撮影)

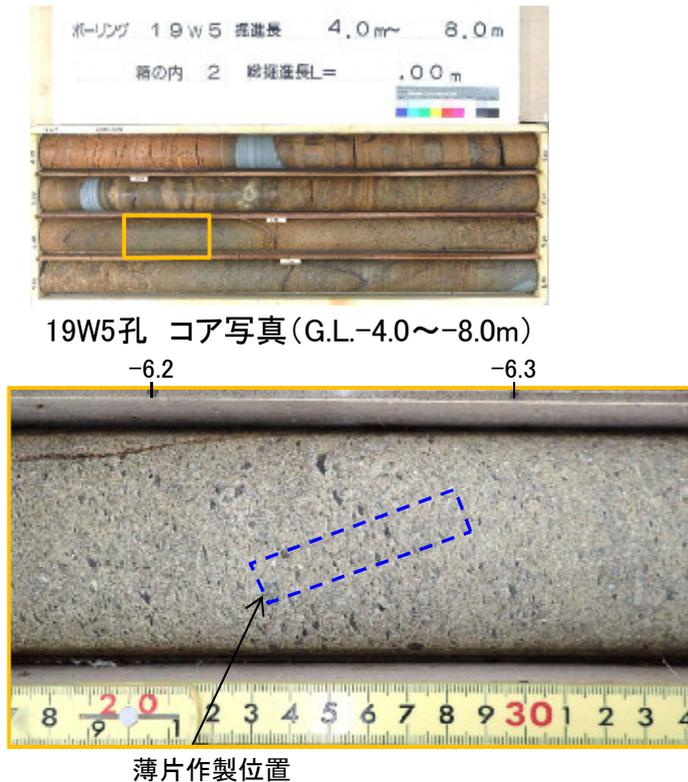


露頭拡大写真 露頭表面の扁平な空隙

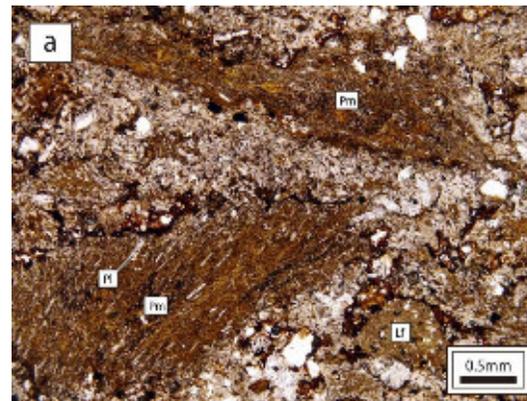
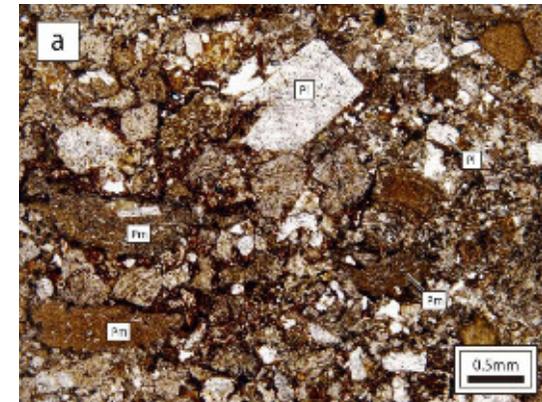
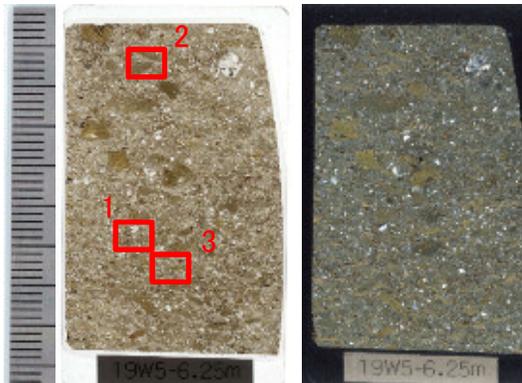
- ・19W5孔G.L.-6.2~-6.3mには、暗緑灰色を呈する長径数mmの扁平なレンズ状組織が平行に配列している。
- ・開削面露頭の標高19m付近には、凝灰岩が分布しており、露頭表面はφ数mm~2cmの扁平なレンズ状の空隙の平行な配列が認められる。

5.2 ボーリングコア19W5孔 薄片観察結果

レンズ状組織の平行配列が認められる19W5孔のG.L.-6.25mにおいて、溶結組織を確認するために薄片観察を実施した。



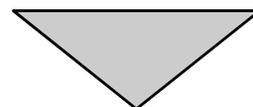
鏡下写真1~3はいずれも単ニコル
Pl: 斜長石, Pm: 軽石, Lf: 岩片



- ・薄片観察の結果, 該当箇所は凝灰岩である。平行配列を呈するレンズ状の組織は潰れた軽石(溶結レンズ)であるが, 基質にユータクシティック*が認められる部分は少ない。
- ・溶結凝灰岩に典型的な組織(ユータクシティック)が認められないが, 溶結レンズが認められることから, この凝灰岩は弱溶結凝灰岩と考えられる。
- ・開削面露頭及びボーリングコア(19W5)において確認された凝灰岩は, 弱溶結凝灰岩である。

*: 火山岩にみられる, 組成, 組織, 色などのちがいによる縞模様。溶結凝灰岩に典型的。(黒田・諏訪(1983)⁽⁴⁾より引用)

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
6	ボーリングコア(303)の深度79.33m以深のドレライトの細脈については、高帯磁率を呈することから、その成因について地質学的な観点から整理し説明すること。	令和元年9月20日 現地調査	43~49



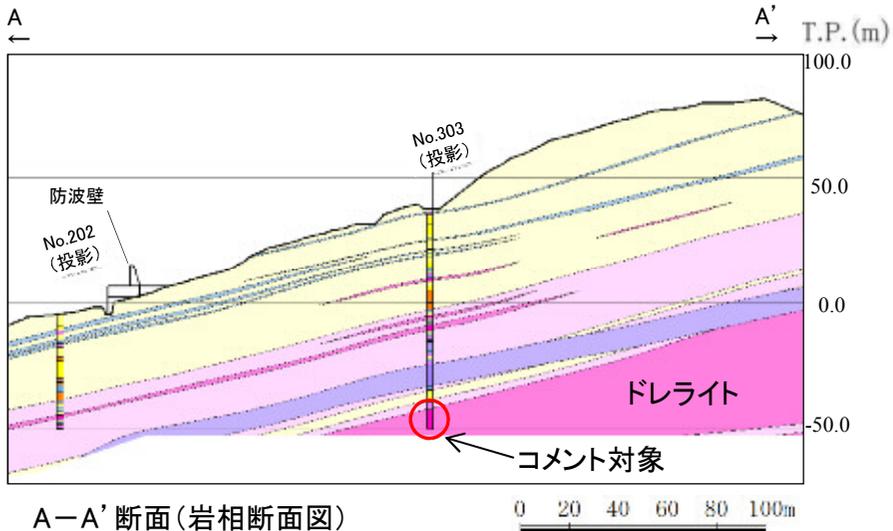
回答方針

ボーリングコアのドレライトについて、高帯磁率を呈する細脈の特徴を帯磁率測定や岩石薄片観察等により、その成因を地質学的な観点から整理する。

No. 6 ドレライト内部の細脈の性状

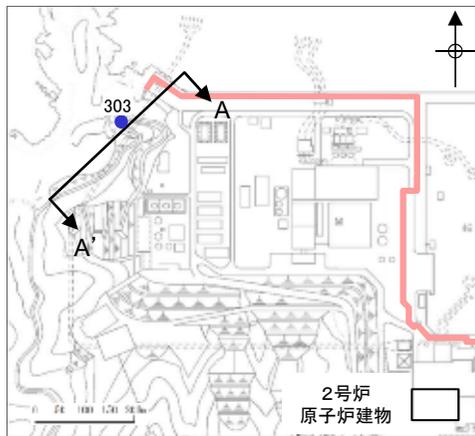
1. ドレライトについて

- ・敷地には、新第三紀中新世の貫入岩類であるドレライトが分布しており、その貫入時期は約14Maとされている。
- ・防波壁(西端部)付近のボーリングNo.303孔では、T.P.-40m付近以深にドレライトが分布する。このドレライトは、層厚50m程度のドレライト岩体の一部と考えられる。

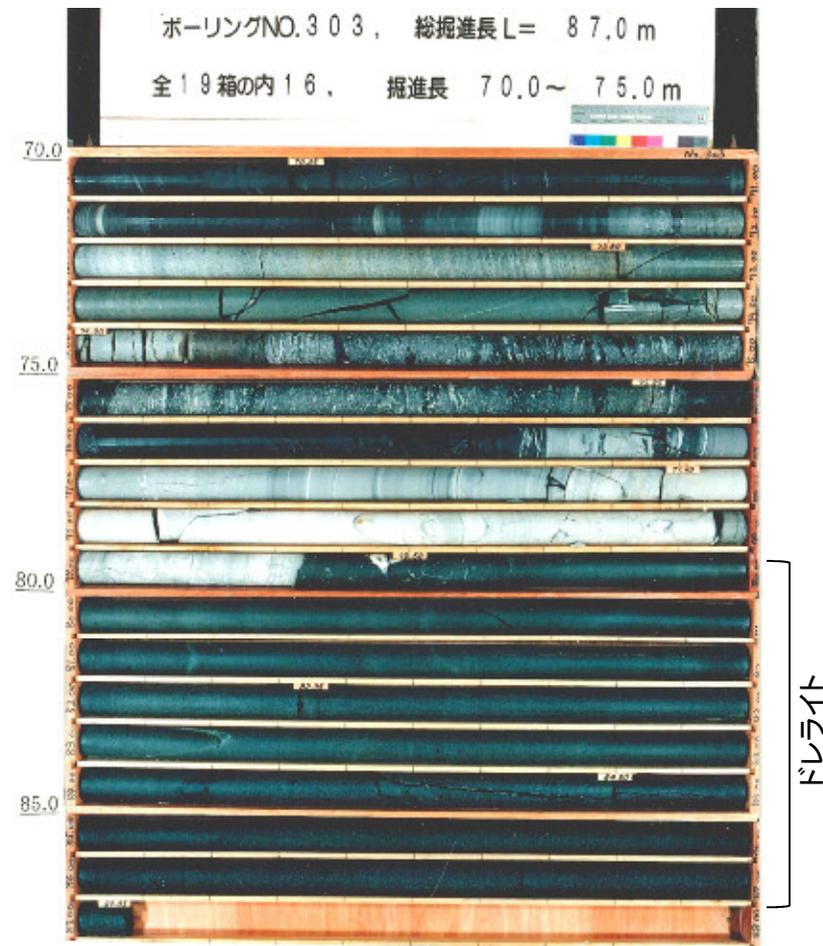
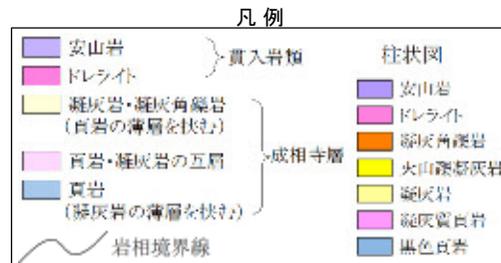


A-A' 断面(岩相断面図)

※当該地質断面図は、コメントNo. 1～3を踏まえ、後段のコメント回答No. 15～19の回答時に更新する。



防波壁(西端部)位置図



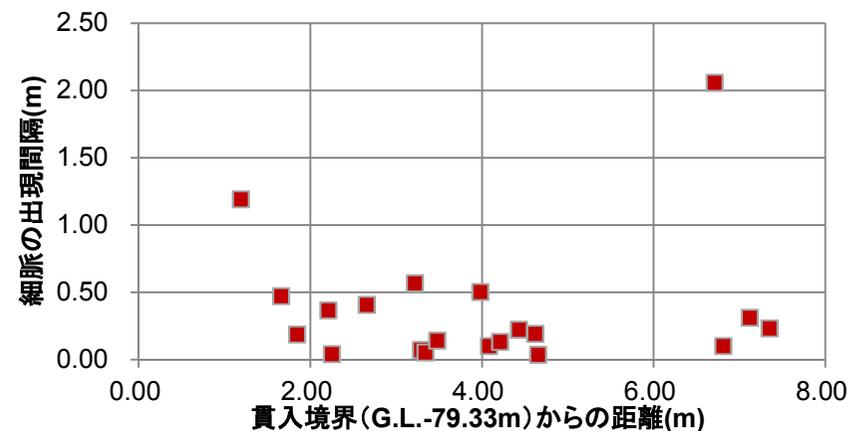
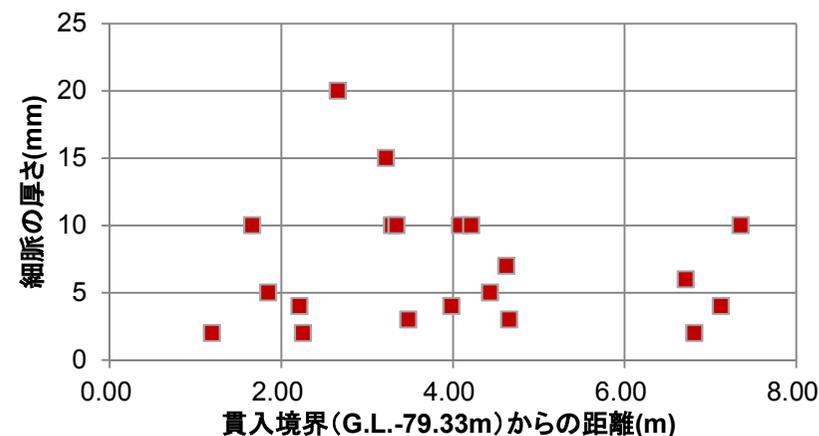
No.303孔コア写真(G.L.-70.0~-87.0m)

2. 細脈の分布状況



No.303孔深度79.33m以深のドレライトに含まれる細脈分布位置

●: 細脈



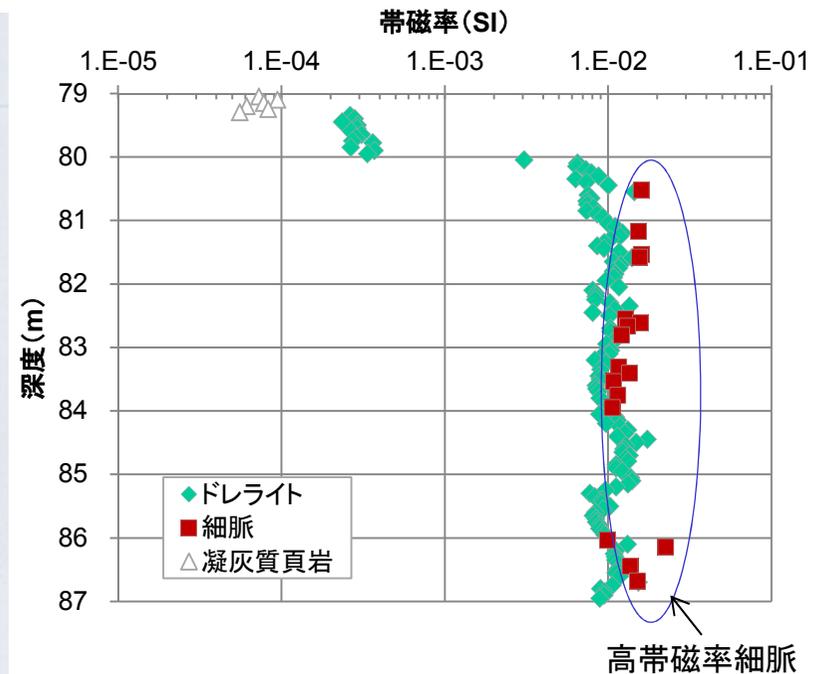
細脈に関して、厚さや出現位置に着目し、ドレライトの貫入境界 (G.L.-79.33m) からの距離に対する規則性について検討した。

- ・細脈の厚さは2~20mmの間でばらつき、厚さと出現位置に明瞭な規則性は認められない。
- ・出現間隔は、貫入境界からの約8m間において、概ね0.1~0.5m間隔で出現する一方、深度84~86mでは全く出現していない。
- ・細脈の厚さや出現位置の分布様式は細脈の注入プロセスに関する知見を与える可能性があると考えられるが、明瞭な規則性は認められない。

3. 帯磁率測定結果



No.303孔 ドレライト



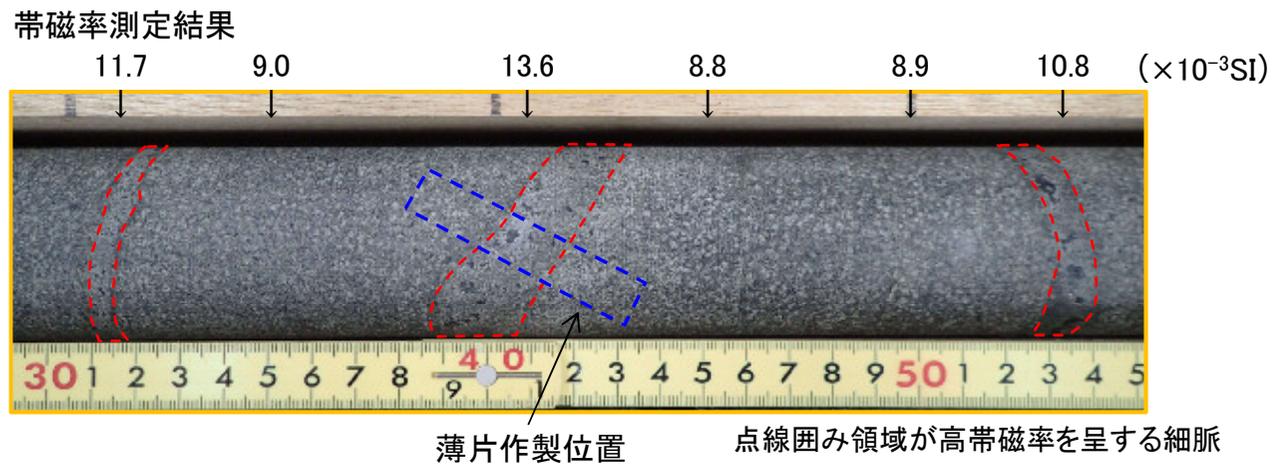
ドレライト及び細脈について、帯磁率を測定し、その値の特性について検討した。

- ・ドレライトの帯磁率は、 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ SIのオーダーであり、貫入境界から約1m間は2オーダー程度低下した値である。
- ・細脈の帯磁率は 10^{-2} SIのオーダーであり、顕著な値の変化は認められなかった。これはドレライトに比べ $0.1 \sim 0.2 \times 10^{-3}$ SI程度高い値である。

4. 薄片作製位置

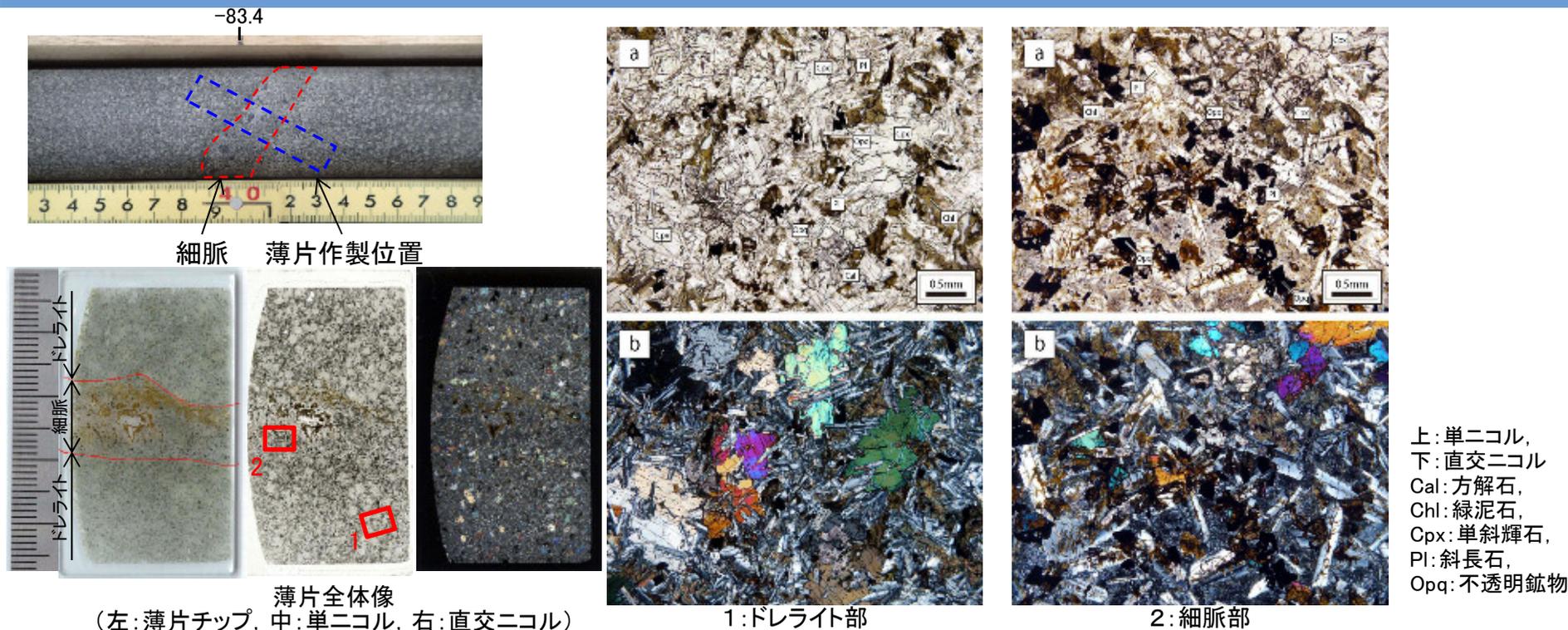


No.303孔 ドレライト



ドレライトと細脈の組織の差異を確認するために、岩石薄片観察を実施した。岩石薄片はドレライトの斑晶サイズが大きく、細脈との組織の違いが明瞭であり、また帯磁率が有意に高い値を示したG.L.-83.41mの細脈を対象に作製した。

4. 薄片観察結果



ドレライト部: オフィティック組織※を呈し、輝石に多数の斜長石が含まれている。
 細脈部: ドレライト部に比べて、輝石が少なく、不透明鉱物が多く、大きい。また斜長石は大型であり、ガラスが脱ガラス化したような細粒部を含む。より変質が進んでいる。
 両者の境界部は不明瞭で直線的でなく、急冷縁のような構造を示さない。

岩石薄片の観察結果、細脈の性状として以下のことが明らかになった。

- ・細脈部にはφ0.4mm以下の不透明鉱物が認められる。また、コアで観察されるφ2mm程度の黒色斑点はほぼ緑泥石で構成される。
- ・ドレライトと細脈を比べると、不透明鉱物の量や大きさが異なっている。この違いが帯磁率の値の違いの要因と考えられる。

※: 輝石の大きい結晶中に自形の斜長石が多数とこまれている組織で粗粒玄武岩(ドレライト)に典型的。(黒田・諏訪(1983)より引用)

5. まとめ

ボーリングコア(303孔)の深度79.33m以深のドレライトの細脈について、高帯磁率を呈する細脈の特徴を帯磁率測定や岩石薄片観察等に基づき検討した結果、以下の特徴が明らかになった。

- ・防波壁(西端部)付近のボーリングNo.303孔では、T.P.-40m付近以深にドレライトが分布する。このドレライトは、層厚50m程度のドレライト岩体的一部分と考えられる。
- ・細脈の厚さや出現位置の分布様式に規則性は認められない。
- ・ドレライトの帯磁率は、 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ SIのオーダーであり、細脈の帯磁率はドレライトに比べ $0.1 \sim 0.2 \times 10^{-3}$ SI程度高い値である。
- ・岩石薄片の観察結果、細脈部には $\phi 0.4$ mm以下の不透明鉱物が認められる。
- ・ドレライトと細脈を比べると、不透明鉱物の量や大きさが異なっている。この違いが帯磁率の値の違いの要因と考えられる。

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
7	防波壁(西端部)における礫質土及び粘性土の物性設定について, 妥当性を説明すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	50~60



回答方針
<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁(西端部)における礫質土及び粘性土については, 過去の表層すべりの可能性が否定できないことから, 当該箇所を撤去を行う。 ・指摘事項である礫質土・粘性土の物性をD級岩盤相当とする妥当性については, 参考として説明する。

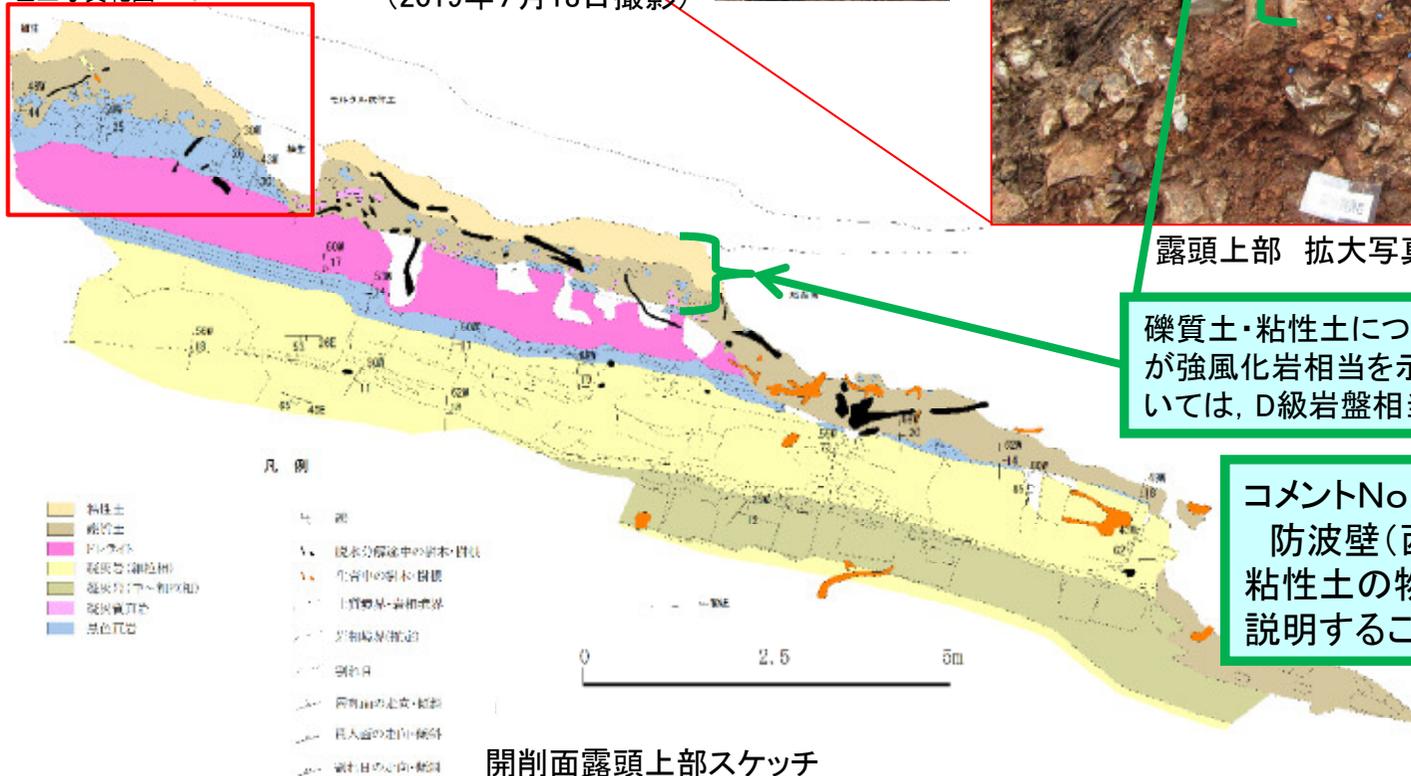
No. 7 礫質土及び粘性土の物性設定の妥当性
開削面露頭上部 観察結果



左上写真範囲



露頭上部 拡大写真(2019年9月20日撮影)



礫質土・粘性土については、動的貫入試験によるNd値が強風化岩相当を示すことから、地盤の安定解析においては、D級岩盤相当としている。

コメントNo. 7:

防波壁(西端部)における礫質土及び粘性土の物性設定について、妥当性を説明すること。

検討の流れ

・防波壁(西端部)における礫質土・粘性土の物性をD級岩盤相当とする妥当性について以下の流れで検討する。

(1) 防波壁(西端部)における礫質土・粘性土の性状の整理

・防波壁(西端部)における礫質土・粘性土の性状について、追加実施したボーリング調査結果を踏まえて整理する。

(2) D級岩盤試験の試料採取を行った原位置の地質状況の整理

・D級岩盤試験の試料採取を行った原位置の地質状況について、ボーリング調査及びサンプリング試料の写真により整理する。

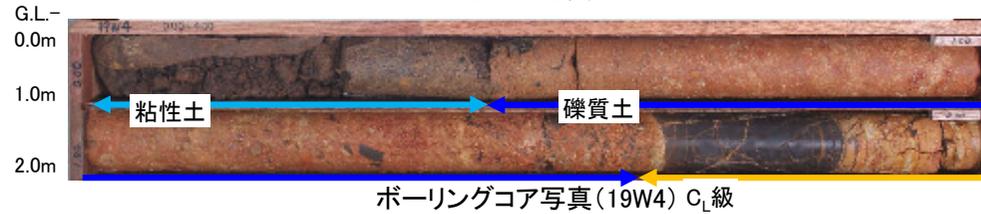
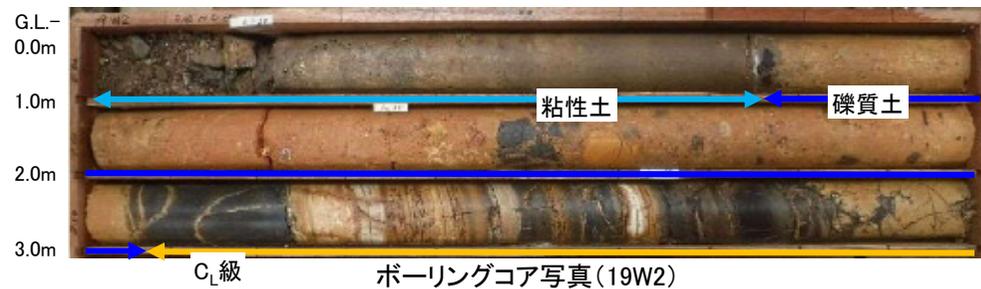
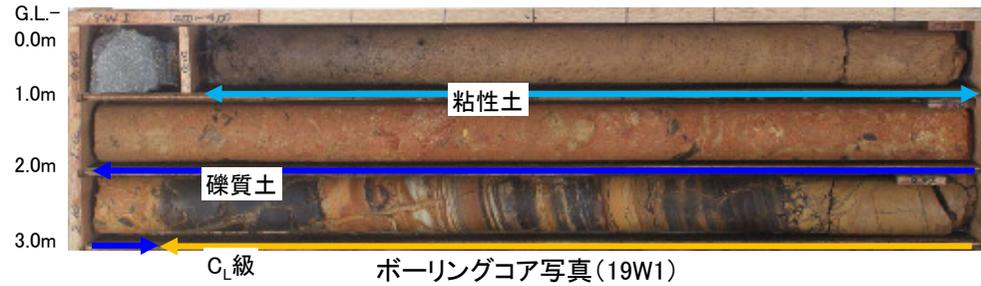
(3) 両者の性状の比較検討

・防波壁(西端部)における礫質土・粘性土とD級岩盤試験の試料採取を行った原位置の地質を以下の観点から比較する。

- ①性状(ボーリングコア等により)
- ②動的貫入試験値
- ③動的貫入試験に基づく土層区分

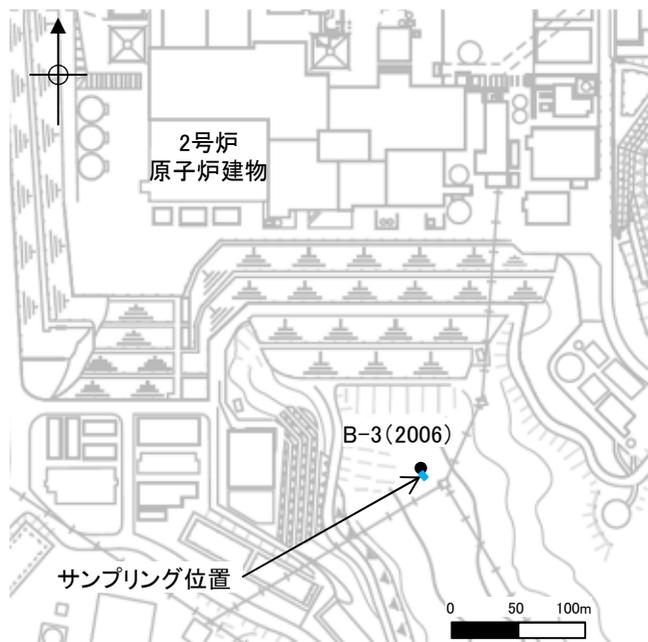
(4) まとめ

(1) 防波壁(西端部)における礫質土・粘性土の性状の整理

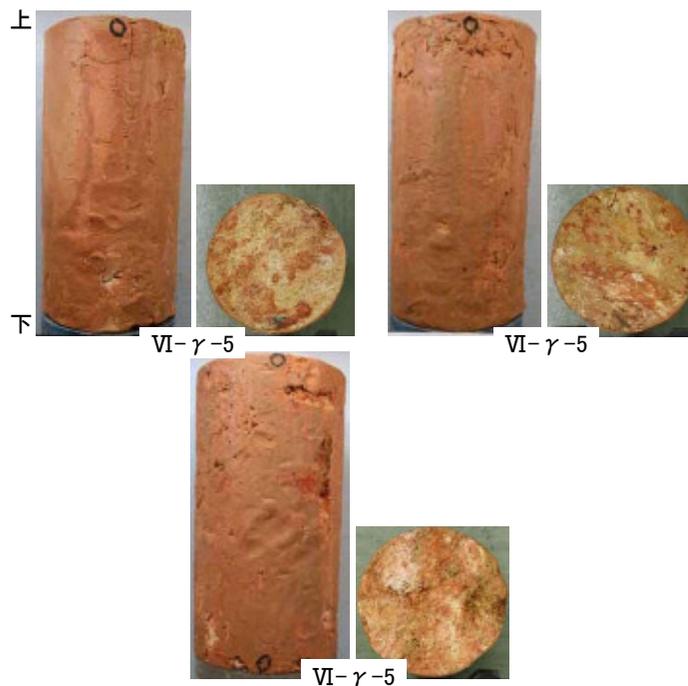


- ・防波壁(西端部)においてボーリング調査を追加実施した結果, 開削面露頭で認められる礫質土・粘性土がボーリングコアでも認められ, 表層から順に「粘性土:0.45~0.9m」, 「礫質土:1.1~1.4m」, 「頁岩(C_L級)」となり, 開削面露頭と概ね対応する。
- ・粘性土は茶褐色を呈し, 均質な細粒土から成る。礫質土の基質は赤褐色を呈する細粒土でφ約10mmの凝灰岩を主体とする角礫~亜角礫を多数混入し, 締りがよい。

(2) D級岩盤試験の試料採取を行った原位置の地質状況の整理



D級試験 サンプル等位置図



D級試験(凝灰岩) 供試体写真(例)(左:正面, 右:下面)

割れ目 間 隔	風化程度 割れ目状態	1	2	3	4	5
		I	α C _H	C _H	C _M	
I	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
	α	C _H	C _H	C _M		
II	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
III	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
	α	C _L	C _L	C _L		
IV	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
	α	C _L	C _L	C _L	D	
V	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
	α					
VI	β					
	γ					
	α					

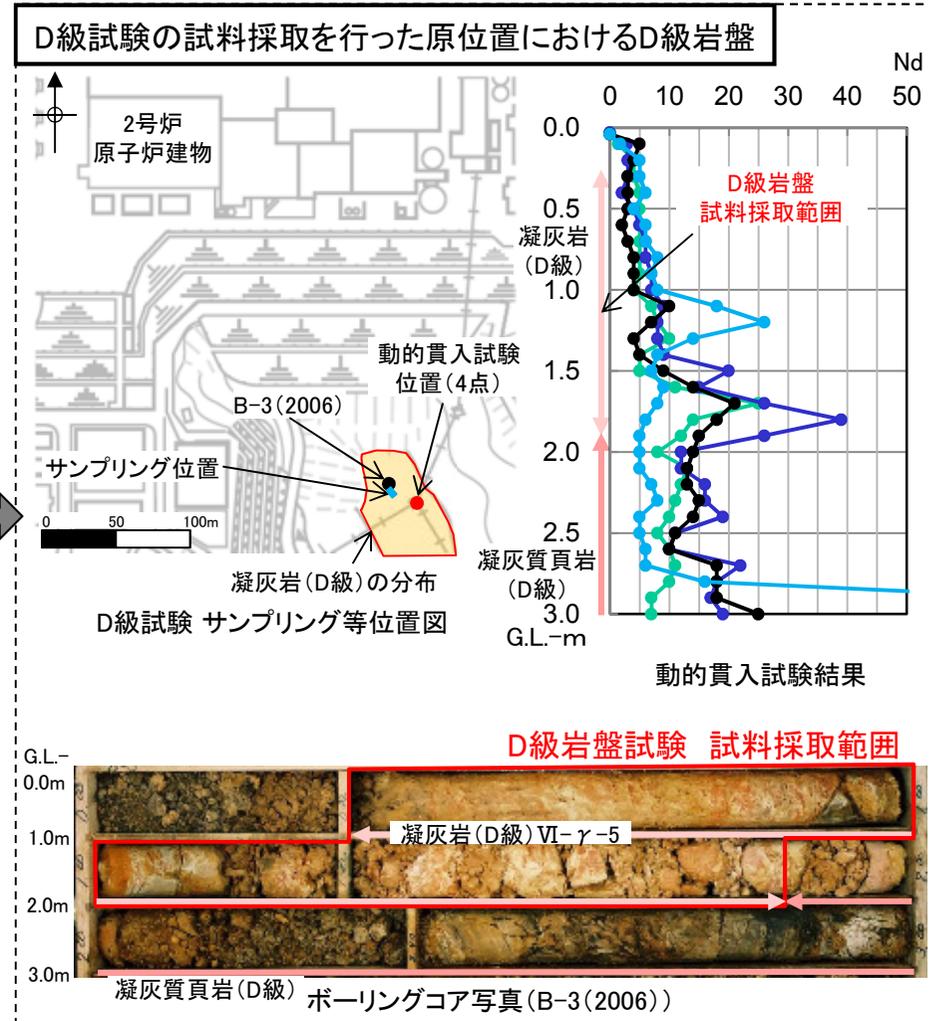
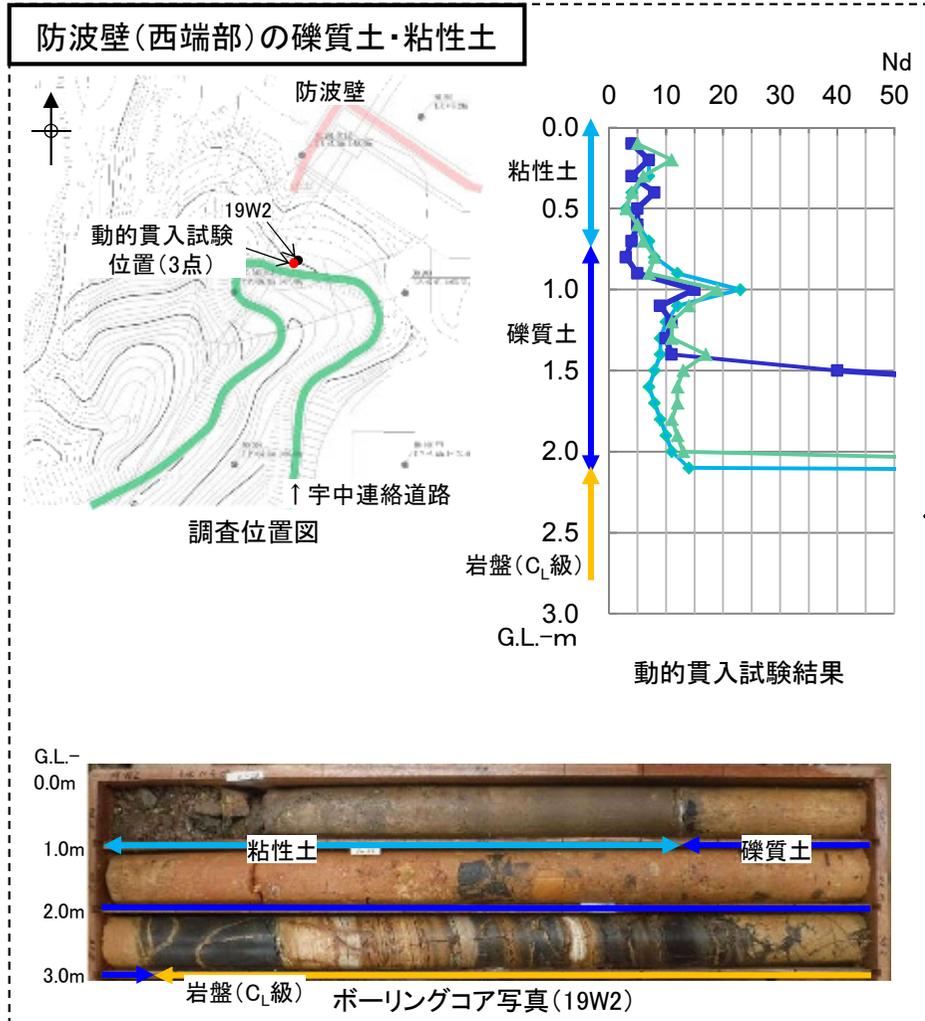
岩級分類基準



D級岩盤試験
試料採取範囲

- ・D級岩盤試験(凝灰岩)では, D級岩盤の中でも最も風化変質を被っている箇所から試料採取している。
- ・D級岩盤(凝灰岩)は, 淡褐色を呈し, 風化により細粒土砂化・粘土化している。

(3) 防波壁(西端部)の礫質土等とD級試験実施箇所との比較



- ・礫質土・粘性土は、粘性土質あるいは土砂状の形態を示す。
- ・地質との対比を行うため、19W2付近で動的貫入試験を追加実施した。礫質土・粘性土はNd=3~14程度を示し、岩盤(C_L級)に到達してNd≥50となる。

- ・D級岩盤試料採取位置の凝灰岩(D級)は、粘性土質あるいは土砂状の形態を示す。
- ・サンプリング位置近傍で動的貫入試験を実施した。凝灰岩(D級)はNd=3~10程度を示す。

(3) 防波壁(西端部)の礫質土等とD級試験実施箇所との比較(動的貫入試験のNd値と土層区分)



土層区分とNc(Nd)値の関係
(小山内ほか(2005)⁽⁵⁾に加筆)

- ・小山内ほか(2005)によると、動的貫入試験のNd値と土層区分には相関があり、 $Nd < 10$ は崩積土等、 $10 \leq Nd < 20$ は強風化岩、 $Nd > 50$ は基盤岩に対応するとしている。
- ・防波壁(西端部)の礫質土・粘性土及びD級試験の試料採取箇所における動的貫入試験の結果、両者とも崩積土等～強風化岩の貫入値を示す。

(4)まとめ

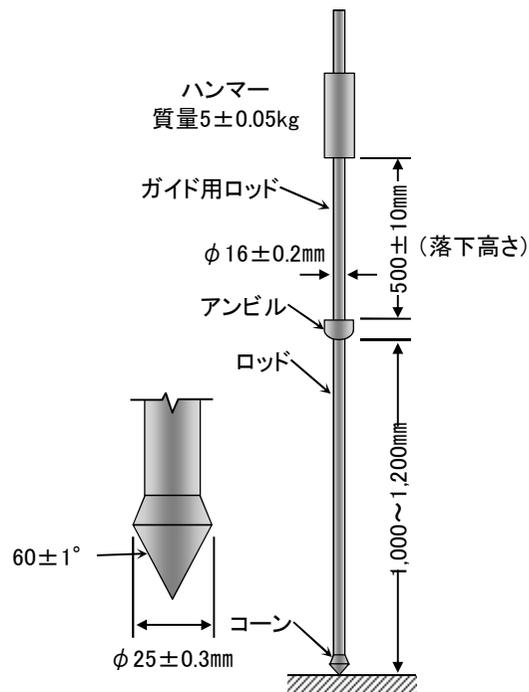
・下表のとおり、両者の①性状、②動的貫入試験値、③動的貫入試験に基づく土層区分は同等であることから、防波壁(西端部)における礫質土・粘性土の物性をD級岩盤相当とすることは妥当である。

比較検討結果

	防波壁(西端部)の 礫質土・粘性土	D級試験の試料採取を行った 原位置におけるD級岩盤
①性状	粘性土質あるいは土砂状の形態	粘性土質あるいは土砂状の形態
②動的貫入試験値	Nd=3~14程度	Nd=3~10程度
③動的貫入試験に 基づく土層区分	崩積土等～強風化岩	崩積土等～強風化岩

(参考)動的貫入試験(簡易動的コーン貫入試験)の概要

- ・簡易動的コーン貫入試験は、貫入先端をつけたロッドをドライブハンマーの打撃によって地盤に打ち込み、貫入量と打撃回数の関係から地盤の硬軟・締まり具合を調べる試験である。
- ・当該試験は、打撃エネルギーが小さく、わずかな土層の貫入抵抗値の変化を把握できること等の理由により、主として斜面崩壊地の風化層の調査等に用いられる。
- ・当該試験は、地盤工学会で基準化されている「JGS 1433-2012 簡易動的コーン貫入試験方法」に準拠して行った。

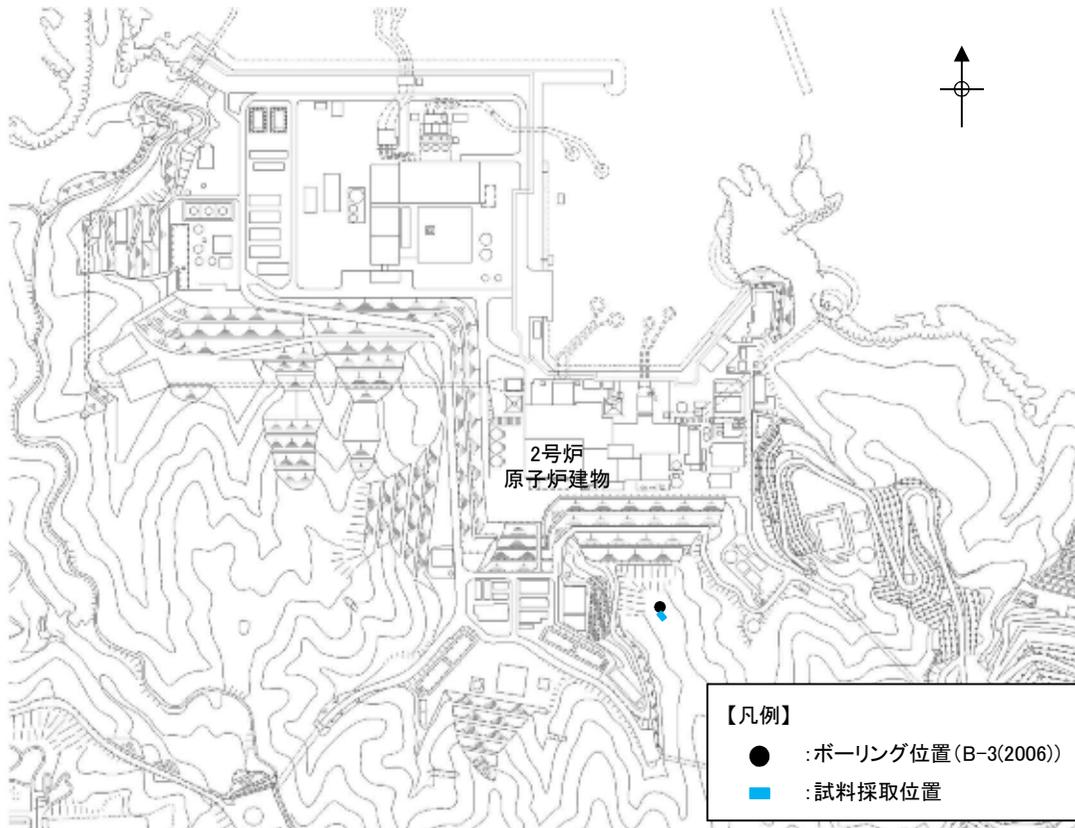


【試験方法】

質量 $5 \pm 0.05 \text{ kg}$ のハンマーを $500 \pm 10 \text{ mm}$ の高さから自由落下させて、ロッド頭部に取り付けたアンビルを打撃し、ロッドの先端に取り付けたコーンを 100 mm 貫入させるのに要する打撃回数 N_d を測定する。

(参考) D級岩盤試験実施地点の概要

- 下図に示す1号南側切取斜面で実施したNo.B-3(2006)のボーリングコアをもとに地表から約4m程度の深さまでD級岩盤(凝灰岩)を確認したため、このボーリングの近傍で、これを不攪乱で試料採取し、安定解析に必要な物性値(強度特性, 変形特性)を取得した。



D級岩盤の試料採取位置図



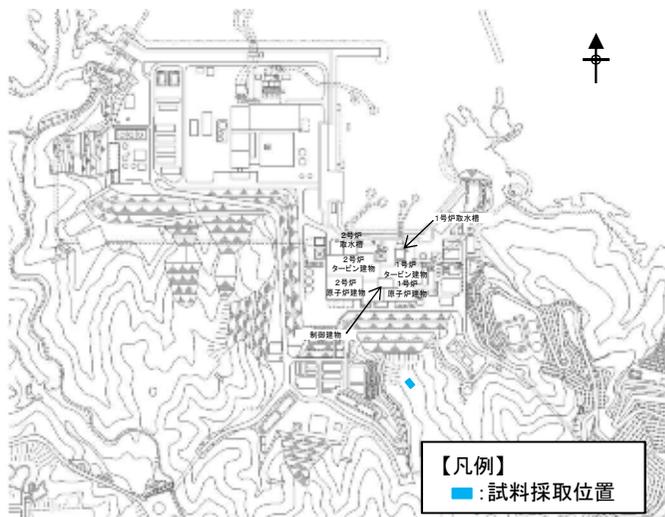
D級岩盤の供試体写真(例)

No. 7 礫質土及び粘性土の物性設定の妥当性
 (参考) D級岩盤(ピーク強度)

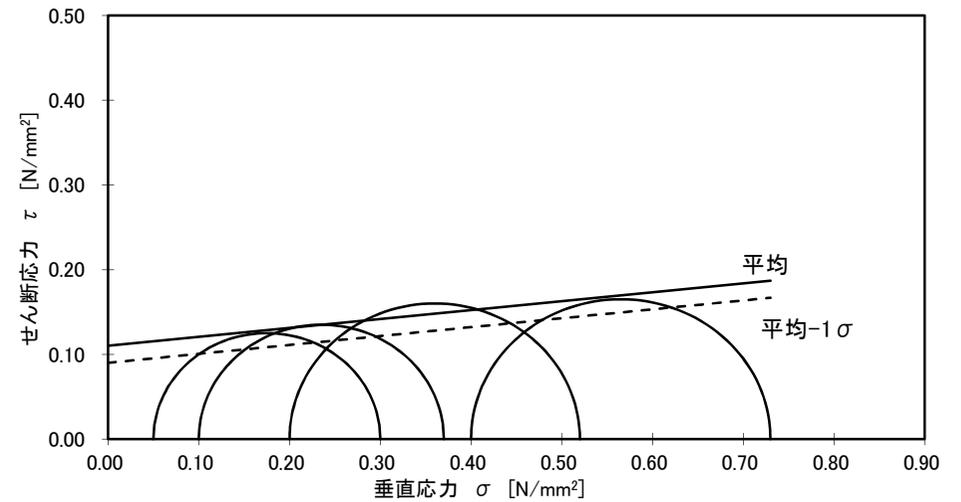
・中型三軸圧縮試験結果(D級岩盤)

項目		ピーク強度※	
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
D級岩盤	凝灰岩	0.11 (0.09)	6

※()内はばらつきを考慮した強度(平均-1 σ)を示す。



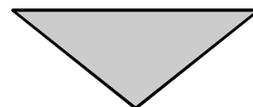
D級岩盤の試料採取位置図



中型三軸圧縮試験結果

・D級岩盤(凝灰岩)を対象に、平成21年に中型三軸圧縮試験結果を実施した。

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
8	東日本大震災, 新潟県中越沖地震等, 過去の地震や津波による斜面の崩落の事例を整理して示すこと。	令和元年8月30日 第762回審査会合	61~88



回答方針
過去の地震や津波によって発生した斜面崩壊について, 地質・地形的特徴等に着目して発生事例を整理する。

地震や津波による斜面の崩落の事例

目次

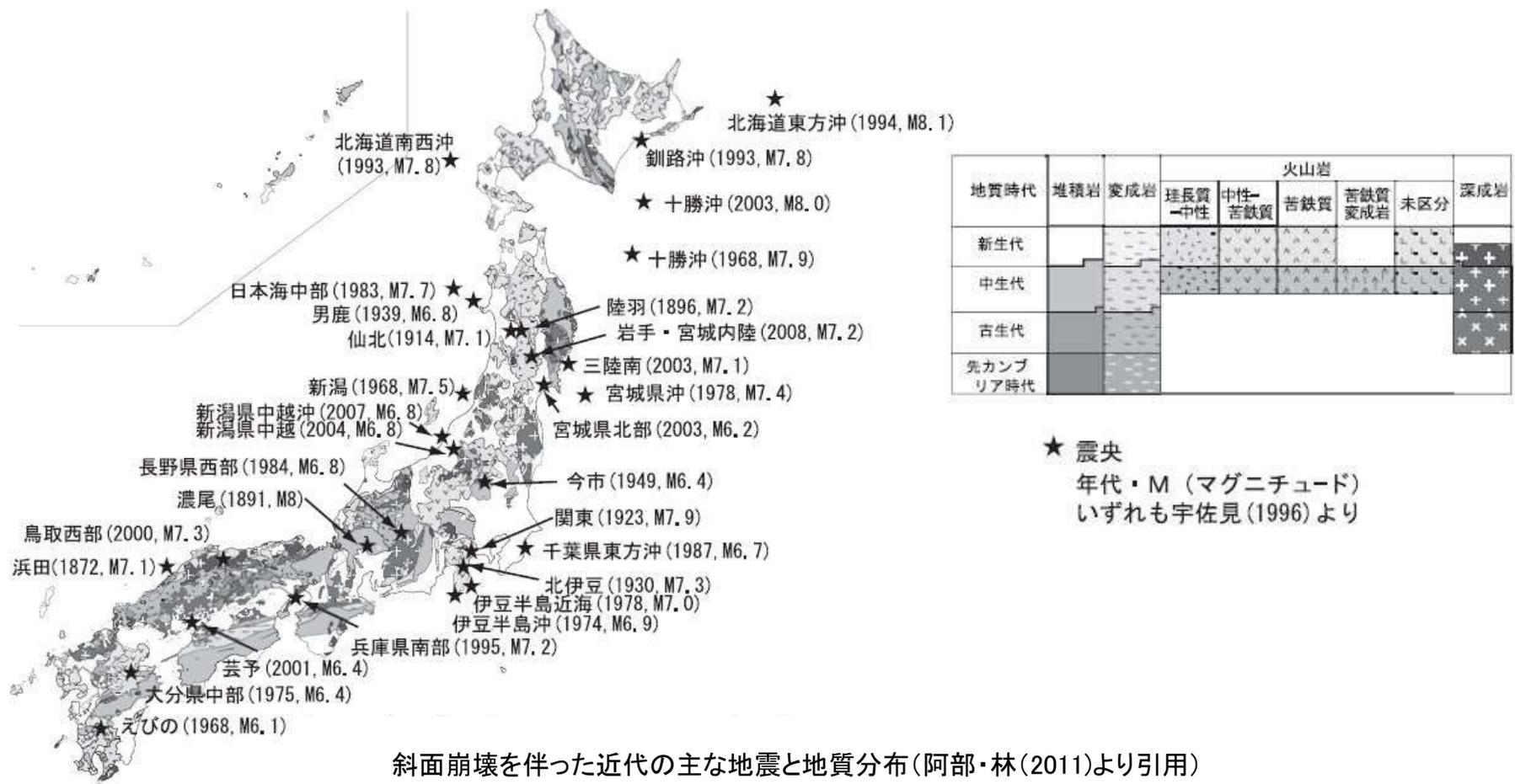
- 1. 地震に伴う斜面崩壊の記録64
 - 1. 1 第四紀の未固結な火山噴出物の堆積域における斜面崩壊65
 - 1. 2 新第三紀～第四紀更新世の堆積岩域における斜面崩壊71
 - 1. 3 先第三紀の変成岩, 堆積岩域における斜面崩壊79
 - 1. 4 花崗岩地帯における斜面崩壊80
 - 1. 5 火山岩類分布域における斜面崩壊82

- 2. 津波に伴う斜面崩壊の記録84
 - 2. 1 東北地方太平洋沖地震の概要85
 - 2. 2 東北地方太平洋沖地震による津波の概要86
 - 2. 3 東北地方太平洋沖地震津波による斜面崩壊87

- 3. まとめ88

1. 地震に伴う斜面崩壊の記録

- ・宇佐美ほか(2013)⁽⁶⁾は、西暦599年から2012年までに発生した約870の地震についてその概要、被災状況等を取りまとめている。このうち、約200の地震について、「山崩れ」、「崖崩れ」等、地震に伴う斜面崩壊の発生に関連する記載がある。
- ・阿部・林(2011)⁽⁷⁾を参考とし、地震や斜面崩壊などの自然災害が科学的に記載されるようになった1868年以降の大規模地震に伴う斜面崩壊を対象に、①第四紀の未固結な火山噴出物の堆積域、②新第三紀～第四紀更新世における層理の発達した堆積岩域、③先第三紀の変成岩、堆積岩域、④花崗岩地帯、⑤火山岩類分布域、に大別し、その特徴を整理した。



斜面崩壊を伴った近代の主な地震と地質分布(阿部・林(2011)より引用)

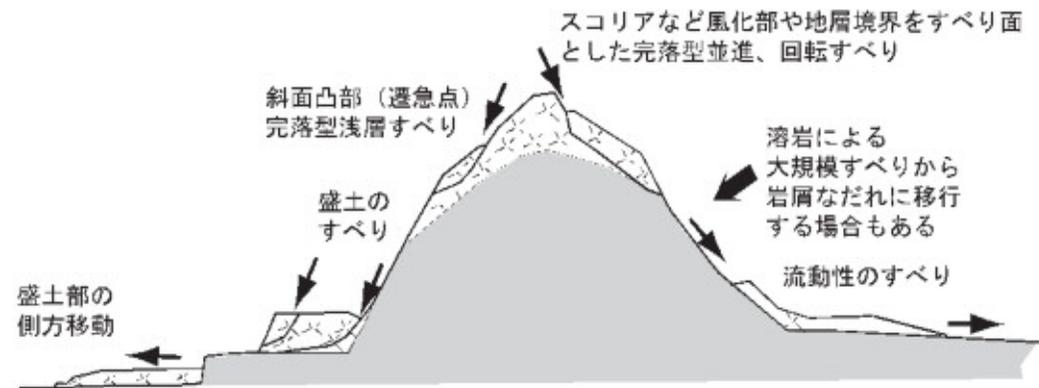
1.1 第四紀の未固結な火山噴出物の堆積域における斜面崩壊

【主な地震】

地震名	発生年	マグニチュード*
北伊豆地震	1930	7.3
今市地震	1949	6.4
新潟地震	1964	7.5
十勝沖地震	1968	7.9
えびの地震	1968	6.1
伊豆半島沖地震	1974	6.9
伊豆半島近海地震	1978	5.2
長野県西部地震	1984	6.8
釧路沖地震	1993	7.5
北海道東方沖地震	1994	8.2
十勝沖地震	2003	8.0
三陸南地震	2003	7.1
岩手・宮城沖地震	2008	7.2
北海道胆振東部地震	2018	6.7

【斜面崩壊の特徴】

- ・火山灰, シラス, スコリア等の未固結な火山噴出物による浅層の完落型すべり, 流動性すべりが多く発生する。
- ・昭和59年(1984年)長野県西部地震では、御岳山^{おんたけ}の大規模崩壊性すべりによる移動地塊が岩砕なだれとして12km程度流下した。



第四紀未固結火山噴出物堆積域の斜面崩壊の形状
(阿部・林(2011)より引用)

1.1(1) 昭和59年(1984年)長野県西部地震による大規模斜面崩壊

・佐々木(1997)⁽⁸⁾によると、昭和59年(1984年)長野県西部地震の発生により、御岳山(標高3,063m)の南西斜面に分布する火山噴出物中の軽石層をすべり面として発生した大崩落が発生し、源頭部の幅は700m、深さ150m、長さ1,300m、面積約44ha、崩壊土砂量は3,600万m³と推定され、土石流となって山肌を削り、小尾根を越え、伝上川から濁沢川を経て王滝川本流まで流下したとされている。



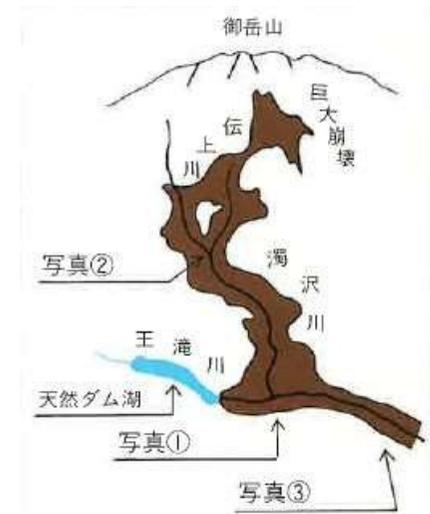
写真① 王滝川と濁沢川合流地点



写真②



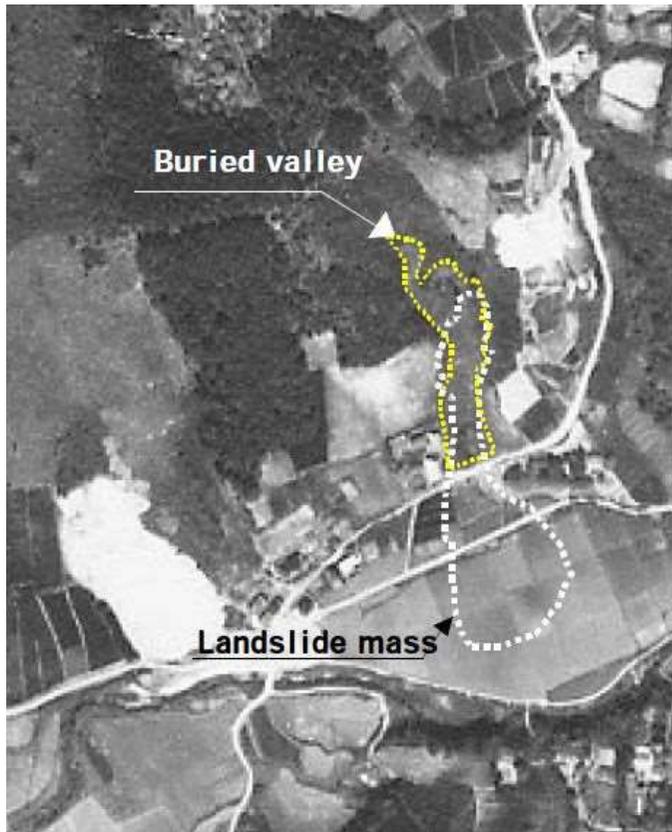
写真③



(長野県土木部⁽⁹⁾より引用)

1.1(2) 平成15年(2003年)三陸南地震※による斜面崩壊

・ (社)土木学会・地盤工学会合同 宮城県沖の地震調査団(2003)⁽¹⁰⁾によると、宮城県^{つきだて}築館町で発生した斜面崩壊が、1964年撮影の航空写真における谷部の位置に対応していることから、農地造成により旧谷地形を埋積した箇所において崩壊が発生したとされている。



崩壊前の航空写真(1964年)



崩壊後

築館町の航空写真と崩壊後の状況

((社)土木学会・地盤工学会合同 宮城県沖の地震調査団(2003)より引用)

※この地域で、2003年5月26日と7月26日、2か月の間隔を置いて二つの地震が発生しており、現時点で気象庁は名称を定めていないため、ここでは文献等を参考に2003年5月26日で発生した地震を「三陸南地震」とする。

1.1 (3) 平成30年(2018年)北海道胆振東部地震による斜面崩壊

・(社)砂防学会(2018)⁽¹¹⁾は、大規模な斜面崩壊が発生した北海道厚真町で4班に分かれて調査を行っている。

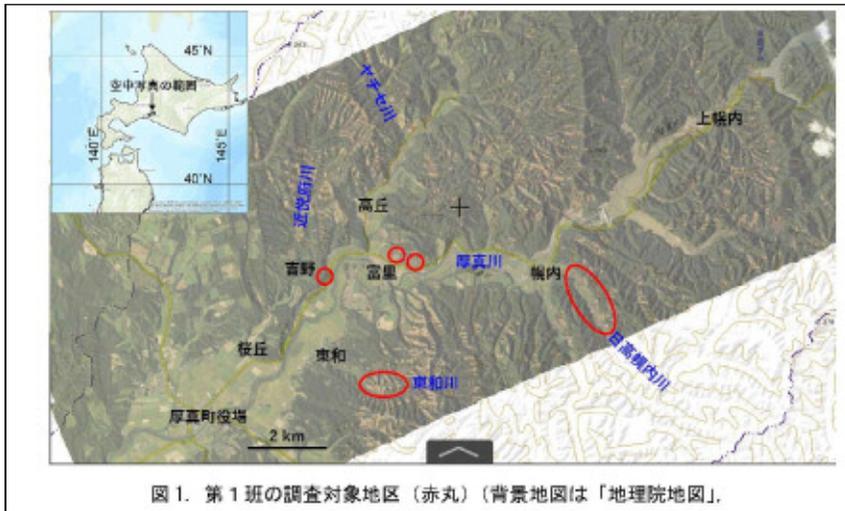


図1. 第1班の調査対象地区(赤丸)(背景地図は「地理院地図」。



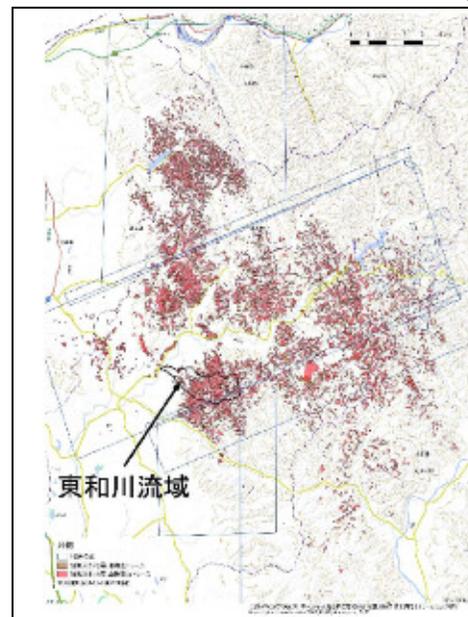
B班 調査位置図

写真位置図 (google mapを引用・加筆)

A班 調査位置図



C班 調査位置図



D班 調査位置図

((社)砂防学会(2018)より引用)

1.1 (3) 平成30年(2018年)北海道胆振東部地震による斜面崩壊

・(社)砂防学会(2018)は、大規模な斜面崩壊が発生した北海道厚真町では、基盤である新第三系泥岩を覆って堆積している表土層(火山灰と埋没腐植層の互層)の最下部が風化して粘土化しており、多少の水分も含んでいたことから、この水分を含む風化粘土層がすべり面になったとしている。



写真① 北海道厚真町吉野地区の斜面崩壊状況



写真② 崩壊斜面の頭部状況



写真③ 崩壊斜面の頭部状況

((社)砂防学会(2018)より引用)

1.1 (3) 平成30年(2018年)北海道胆振東部地震による斜面崩壊



図 4. 斜面崩壊地の滑り面（埋没腐植層型）



図 5. 谷地形内の遷急線の分布. 上部の緩斜面と下部の急斜面に分けられる



図 6. 斜面上部の土層構造



図 7. 斜面上の火山灰分布と樹木の根系. Ta-b もしくは Ta-c 層下位の埋没腐植層に根系が集中しており、Ta-d より下位には根系は分布していない

((社)砂防学会(2018)より引用)

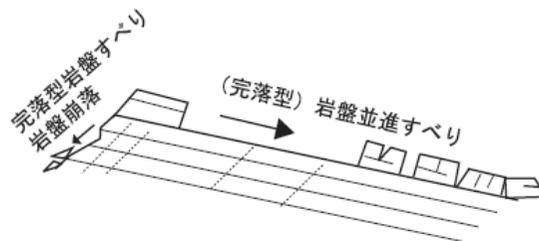
1.2 新第三紀～第四紀更新世の堆積岩地域における斜面崩壊

【主な地震】

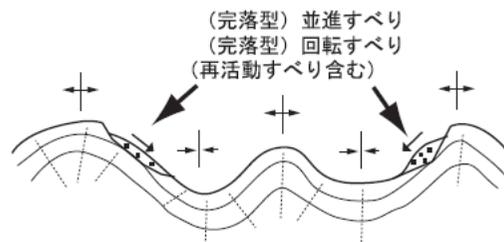
地震名	発生年	マグニチュード
秋田仙北地震	1914	7.1
男鹿地震	1939	6.8
新潟県中越地震	2004	6.8
能登半島地震	2007	6.9
新潟県中越沖地震	2007	6.8
岩手・宮城内陸地震	2008	7.2

【斜面崩壊の特徴】

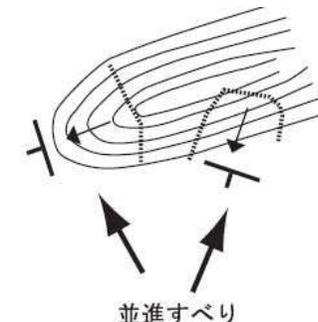
- ・中新世の礫岩・砂岩・泥岩の互層等の堆積地域では既存の層面断層及び砂岩層の層理面で発生している。
- ・鮮新世の泥岩・砂岩・シルト岩の互層等の堆積地域では岩盤並進すべりの発生が多い。これらの斜面崩壊は地層の不連続面としての層理面や層理面の一部をすべり面とし、地震動の増幅しやすい尾根やケスタなど凸状地形で発生している。
- ・更新世の砂岩・泥岩等の堆積する栗原市荒砥沢ダム地点では湖成堆積層をすべり面とし、傾斜が緩やかである。



ケスタ地形



褶曲構造



尾根地形

層理の発達する堆積岩分布域の斜面崩壊形状
(阿部・林(2011)より引用)

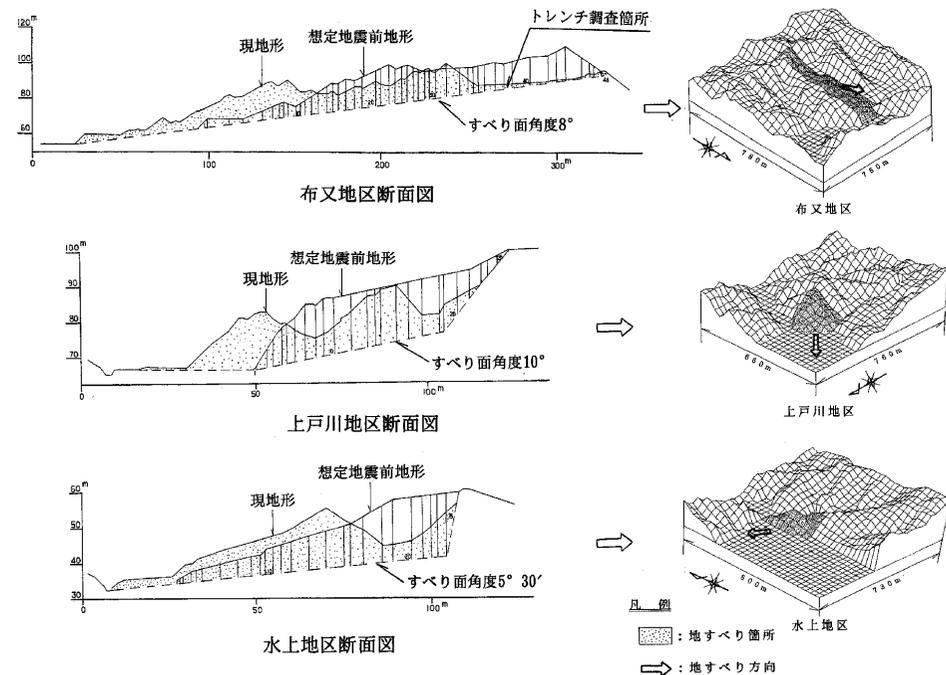
1.2(1) 大正3年(1914年)秋田仙北地震による斜面崩壊

- ・阿部・高橋(1997)⁽¹²⁾は、被災報告資料と地元^{おおさわごう}に保管されている資料を分析及び現地の検証を行った。
- ・大沢郷村^{おおさわごう}で発生した8カ所の岩盤地すべりは、新第三紀鮮新世天徳寺層^{てんとくじ}の砂岩、シルト岩の分布する地域に集中し、大半は塊状であるが、泥岩や凝灰岩などが互層状に挟在されて層理が識別可能となっており地層の走向傾斜は概ねN30E/10Wを示している。
- ・地すべりはいずれも北～北西方向に突出した尾根部(比高30～40m)を胴切りしたような形状で発生し、移動岩塊はブロック状に切断されている。変動方向は地層傾斜方向に一致しており、流れ盤状の初生岩盤すべりの形状を示す。
- ・地すべりの発生は硬質で石英質な薄層の上部の砂岩もしくは砂の薄層をすべり面として発生したものと考えられている。



写真-1 仙北地震による上戸川地すべり
大橋(1915)より引用、撮影1914年

上戸川地区地すべり状況
(阿部ほか(2006)⁽¹³⁾より引用)



3地区の鳥瞰図と地すべり解析断面図
(阿部・高橋(1997)より引用)

1.2(2) 昭和14年(1939年)男鹿地震による斜面崩壊

- ・阿部ほか(2006)によると、北浦町の海岸では初生的な岩盤すべりであったと推察している。また、現在もケスタ地形上での小規模な岩盤すべりが認められるとしている。
- ・地質は新第三紀鮮新世の砂岩・泥岩の細互層からなり、走向・傾斜は概ねN40W/20Eを示している。
- ・地すべりは地層の最大傾斜方向より約20° 斜交して海岸方向へ向かう流れ盤の形状で移動している。
- ・すべり面は不明であるが細互層中の層理面に形成されていると想定している。



写真一 3 男鹿地震による北浦地区の地すべり
— 当時の絵はがきより —

(阿部ほか(2006)より引用)

1.2(3) 平成16年(2004年)新潟県中越地震による斜面崩壊

- ・(社)新潟県地質調査業協会技術委員会(2005)⁽¹⁴⁾は、十日町市小脇^{とうかまち こわき}地内で発生した斜面崩壊について、ケスタ地形や同斜山稜の成因に関わって、過去にも層すべりが発生したとされている。
- ・大八木ほか(2008)⁽¹⁵⁾は、小千谷市横渡^{おちや よこわたし}で発生した斜面崩壊について、シルト岩～砂質泥岩と細粒砂岩の互層からなり、すべり面は厚さ数cmの凝灰岩または凝灰質砂岩とされている。また、齊藤ほか(2007)⁽¹⁶⁾は、シルト岩及び凝灰岩層の岩石強度を針貫入試験により調査した結果、すべり面となっている凝灰岩は砂質シルトより著しく強度が小さいとしている。



写真1: 砂岩泥岩互層の層理面に沿って発生した岩盤すべり
((社)新潟県地質調査業協会技術委員会(2005)より引用)



写真2: シルト岩～砂質泥岩と細粒砂岩の互層から成る斜面で発生した浅層並進岩すべり(大八木ほか(2008)より引用)



写真2

写真1

本震

1.2(4) 平成19年(2007年)能登半島地震による斜面崩壊

- ・土木学会・地盤工学会(2007)⁽¹⁷⁾によると、平成19年(2007年)能登半島地震の発生による岩盤崩壊及び落石の発生確認箇所は、ほとんどが海食崖にあたり、崩壊物として岩塊とともに土砂状になった風化層を比較的多く含み、地質は、新第三紀中新世の礫岩、凝灰岩、凝灰角礫岩等であり、割れ目が少ないため崩壊岩塊は数mの巨礫が多いとされている。
- ・また、当該地域は、新第三紀中新世の層理面沿いの流れ盤地すべりが多く発生しているが、今回の地震では、地すべり地形に対応した部分での明瞭な変動は発生しなかったとしている。



写真1:海食崖上の凝灰角礫岩層の崩壊



写真2:塊状の砂岩における径数mの多数の岩盤崩壊



平成19年(2007年)能登半島地震による地すべり事例

(土木学会・地盤工学会(2007)を引用・加筆)

1.2(5) 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による斜面崩壊

- ・小荒井・佐藤(2008)⁽¹⁸⁾によると、^{ひじりがはな}聖ヶ鼻周辺では、中新統上部の聖ヶ鼻層の砂岩・礫岩及び砂岩泥岩互層が分布し、北に傾斜する流れ盤の層理面すべりとして深層崩壊が発生し、その規模は、崩壊幅約100m、崩壊長約200mで、崩壊深は10mを超えており、すべり面の部分は泥質岩で薄く割れやすいとされている。
- ・また、聖ヶ鼻を通る主尾根の南西では、崩壊の頂部には風化の進んだ砂岩泥岩互層が露出しており、特に泥岩の部分の風化が進みブロック状に割れやすくなっており、そこが砂岩に対して相対的に弱くなって崩壊が発生した可能性が高いとしている。



写真1: 流れ盤における崩壊



写真2: 受け盤における崩壊



柏崎市米山町聖ヶ鼻周の斜面崩壊分布

柏崎市米山町聖ヶ鼻周辺で発生した斜面崩壊(小荒井・佐藤(2008)を引用・加筆)

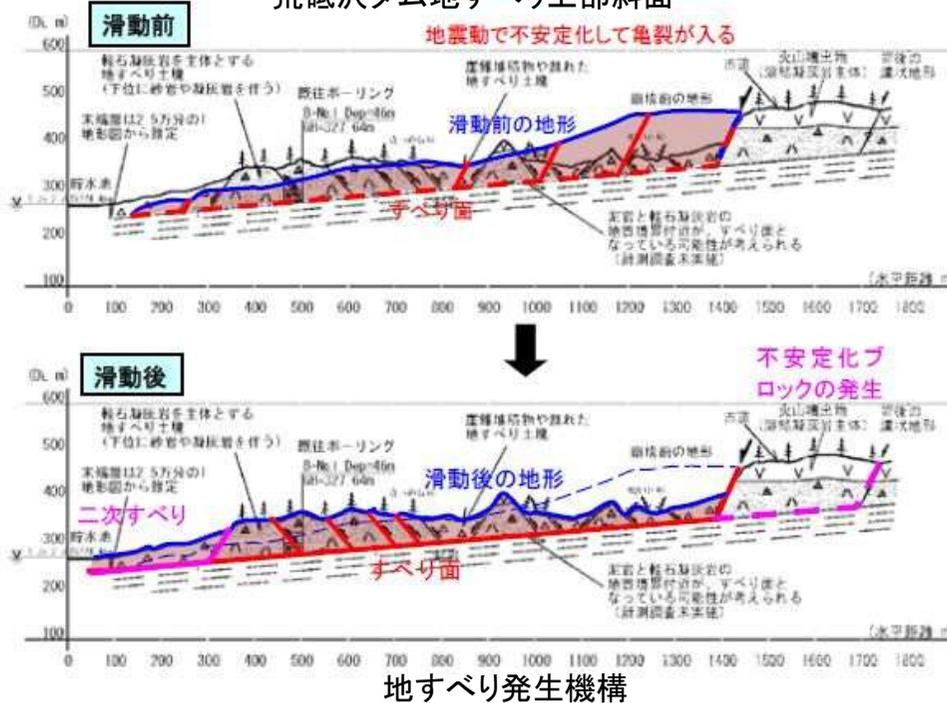
1.2(6) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による斜面崩壊

丸山ほか(2010)⁽¹⁹⁾によると、宮城県栗原市栗駒の荒砥沢ダム右岸上流で発生した大規模地すべり(長さ1,300m, 幅900m, 滑落崖高さ150m)周辺の地質は、上位が第四紀の軽石凝灰岩を主体とする層から構成され、約5°で貯水池側に傾斜した緩い流れ盤構造となっており、すべり面は、軽石凝灰岩主体層の下面付近であり、地すべり土塊は主に軽石凝灰岩からなるとされている。

また、本地すべりは過去に発生した地すべり地の一部が1,000galを超える地震によって、椅子型すべり面形状の地すべりとなって滑動したとされている。



荒砥沢ダム地すべり上部斜面



位置図

荒砥沢ダム地すべり状況 (国土技術政策総合研究所ほか(2008)⁽²⁰⁾を引用・加筆)

1.2(7) 新第三紀～第四紀更新世の堆積岩地域における斜面崩壊に関するまとめ

新第三紀～第四紀更新世の堆積岩分布域に発生した地震と斜面崩壊

地震名	発生年	対象地点	斜面の地質年代	斜面の主な地質	すべり面(傾斜角)	斜面崩壊の運動形態及び特徴	地形	文献
秋田仙北地震	1914	上戸川	鮮新世	シルト質泥岩・砂岩互層	泥岩中の砂岩層中(約10°)	層理面に沿った岩盤並進すべり	尾根部の先端	阿部ほか(2006) 阿部ほか(2011)
男鹿地震	1939	北浦町	鮮新世	砂岩・泥岩の互層	不明(約20°)	層理面に沿った岩盤並進すべり	海岸, 一部ケスタ	阿部ほか(2006) 阿部ほか(2011)
新潟県中越地震	2004	新潟県山古志村	鮮新世	砂岩・泥岩互層, 風化砂岩, 礫岩	砂岩中の泥質薄層部分を想定(0~5°)	岩盤型並進地すべり・完落型回転すべり	丘陵地尾根部, ケスタ受盤斜面	阿部ほか(2006) 阿部ほか(2011)
		小千谷市横渡	鮮新世	シルト岩~砂質泥岩と細粒砂岩の互層	凝灰岩または凝灰質砂岩(約25°)	浅層並進性岩すべり	ケスタ	大八木ほか(2008)
能登半島地震	2007	輪島市門前町	中新世	礫岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩等	傾斜40~70°の急斜面	斜面崩壊	急傾斜地	土木学会・地盤工学会(2007)
新潟県中越沖地震	2007	柏崎市聖ヶ鼻	中新世	砂岩・泥岩互層	既存の層面断層, 砂岩層の層理面(25~30°)	完落型岩盤並進すべり	尾根張出し地形	阿部ほか(2011) 野崎(2008) ⁽²¹⁾
岩手・宮城内陸地震	2008	栗原市荒砥沢ダム	更新世	砂岩・泥岩互層及び軽石質凝灰岩とこれを覆う溶結凝灰岩	砂とシルト層の互層からなる湖成堆積層(0~5°)	大規模岩盤並進すべり	過去の地すべり変動によって形成された地すべり地形	阿部ほか(2011) 井口ほか(2010) ⁽²²⁾ 山科ほか(2009) ⁽²³⁾

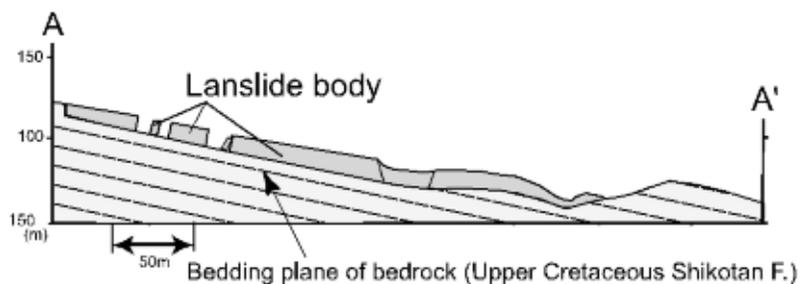
(阿部・林(2011)を参考に作成)

1.3 先第三紀の変成岩，堆積岩域における斜面崩壊

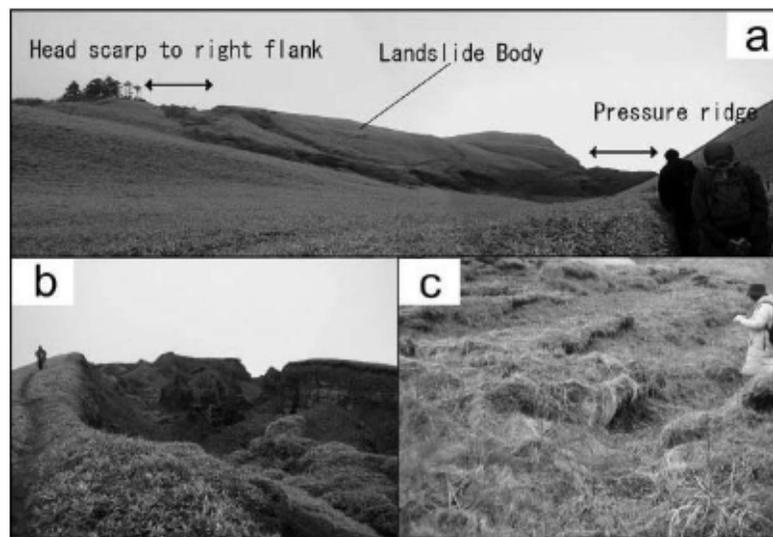
- ・阿部・林(2011)によると1868年以降における先第三紀の変成岩，堆積岩の分布地域に斜面崩壊を発生させた地震は，下記2地震程度とされている。
- ・田近(2009)⁽²⁴⁾は，平成6年(1994年)北海道東方沖地震では，色丹島^{しこたん}における白亜紀硬質頁岩・細粒砂岩互層上で初生大規模岩盤並進すべりが発生したとされている。

【主な地震】

地震名	発生年	マグニチュード
濃尾地震	1891	8.0
北海道東方沖地震	1994	8.2



平成6年(1994年)北海道東方沖地震により斜古丹^{しやこたん}東方で発生した岩盤地すべり模式断面図(田近(2009)より引用)



平成6年(1994年)北海道東方沖地震により斜古丹東方で発生した地すべり写真(田近(2009)より引用)

- 写真a: 斜古丹東方の岩盤地すべりの全景
- 写真b: 同地すべりの頭部と分離崖
- 写真c: 同地すべりの末端隆起部

1.4 花崗岩地帯における斜面崩壊

【主な地震】

地震名	発生年	マグニチュード
関東大地震	1923	7.9
兵庫県南部地震	1995	7.2
鳥取県西部地震	2000	7.3
芸予地震	2001	6.4

【斜面崩壊の特徴】

- ・斜面崩壊の多くは砂状のマサによる表層完落型すべりや流動性すべりとして発生する。
- ・節理やクラックに伴う落石や転倒，崩落も多い。

節理など亀裂に沿った
花崗岩の転倒・崩落



花崗岩類分布域における地震地すべりの形状
(阿部・林(2011)より引用)

1.4(1) 平成12年(2000年)鳥取県西部地震による斜面崩壊

・横田(2001)⁽²⁵⁾によると、平成12年(2000年)鳥取県西部地震の発生により風化した表層のルーズな部分の崩壊が多数発生し、特に張り出した尾根部の崩壊が多いとしている。また、花崗岩類の岩盤斜面では、落石も多く確認され、急斜面においては、落石はすべりによるものだけでなく、鉛直に近い節理に沿ったトップリングのほか、振動によって直接飛び出したようなものも多いとしている。



花崗岩ブロックの落石



花崗岩斜面の崩壊



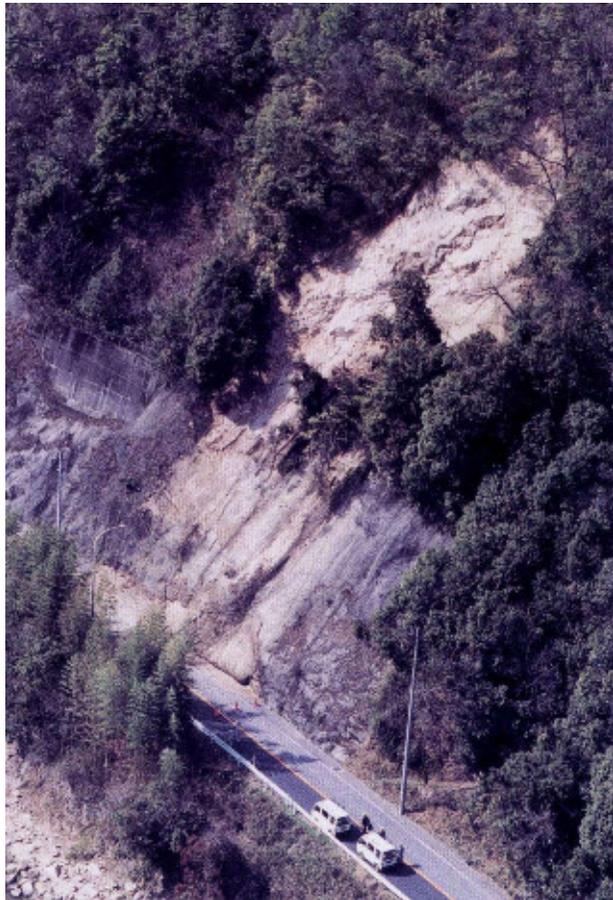
花崗岩急斜面の崩壊



角礫を含んだ花崗岩斜面の崩壊

1.4(2) 平成13年(2001年)芸予地震による斜面崩壊

・水山ほか(2001)⁽²⁷⁾によると、平成13年(2001年)芸予地震^{げいよ}の発生により、自然斜面では40°以上の急斜面での落石・岩盤崩落・崩壊がもともと節理やひび割れに富んでいた風化花崗岩類の分布地帯に多く、また、地形的には、遷急線にあたる部分に多く発生している傾向が見られたとされている。



花崗岩急斜面の崩壊



巨石を含んだ花崗岩斜面の崩壊

平成13年(2001年)芸予地震による斜面崩壊事例(水山ほか(2001)より引用)

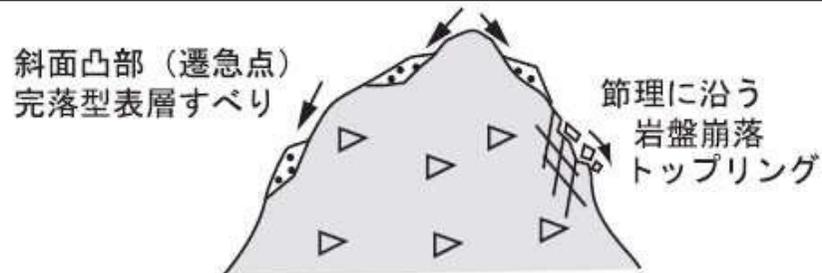
1.5 火山岩類分布域における斜面崩壊

【主な地震】

地震名	発生年	マグニチュード
浜田地震	1872	7.1
陸羽地震	1896	7.2
鳥取県西部地震	2000	7.3

【斜面崩壊の特徴】

・大規模地震時に表層すべりとして数多く発生する傾向が見られる。



火山岩類分布域における地震地すべりの形状
(阿部・林(2011)より引用)



平成12年(2000年)鳥取県西部地震で発生した柱状節理の発達した玄武岩急崖の斜面崩壊
(島根大学鳥取県西部地震災害調査団(2001)より引用)



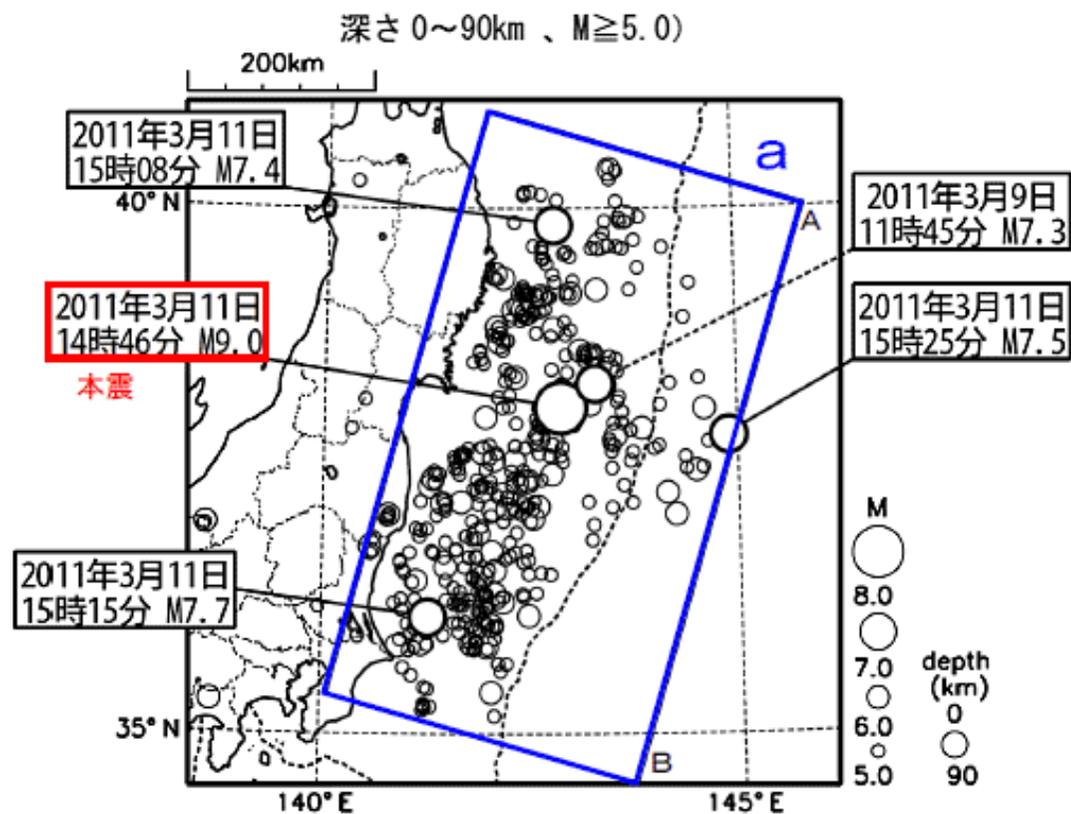
平成12年(2000年)鳥取県西部地震において溝口町で発生した玄武岩溶岩の崩壊(内田ほか(2002)⁽²⁸⁾より引用)

2. 津波に伴う斜面崩壊の記録

- ・渡辺(1998)⁽²⁹⁾は、西暦684年から1996年までに発生した約210の津波についてその概要、被災状況等を取りまとめているが、津波に伴う斜面崩壊については数例の記載があるものの詳細な記述は認められない。
- ・宇佐美ほか(2013)には、地震に伴う斜面崩壊の被害についての記載はあるものの、渡辺(1998)と同様に詳細な記述は認められない。
- ・上記地震及び津波のカタログ発刊以降発生した津波を対象に斜面崩壊の発生の有無について調査した結果、平成23年東日本大震災において発生した津波により、斜面崩壊が発生した事例が報告されているため、斜面崩壊事例について取りまとめた。

2.1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の概要

- ・宇佐美ほか(2013)によると、震度7が宮城県栗原市、そのほか各県の最大震度は、震度6強が福島、茨城、栃木、6弱が岩手、宮城、福島、茨城、千葉、栃木、群馬、埼玉であり、主として大津波によって死者・行方不明者1万8,000余と明治三陸津波に次ぐ被害が生じたとされている。
- ・また、震源域は、岩手県から福島県までの東側沖合で南北に長さ400kmにおよび、日本海溝付近から沿岸部近くまで太平洋プレートと陸側プレートの境界面で東西に幅200kmと広く、最大すべり量は30mにおよぶ日本史上最大の超巨大地震とされている。

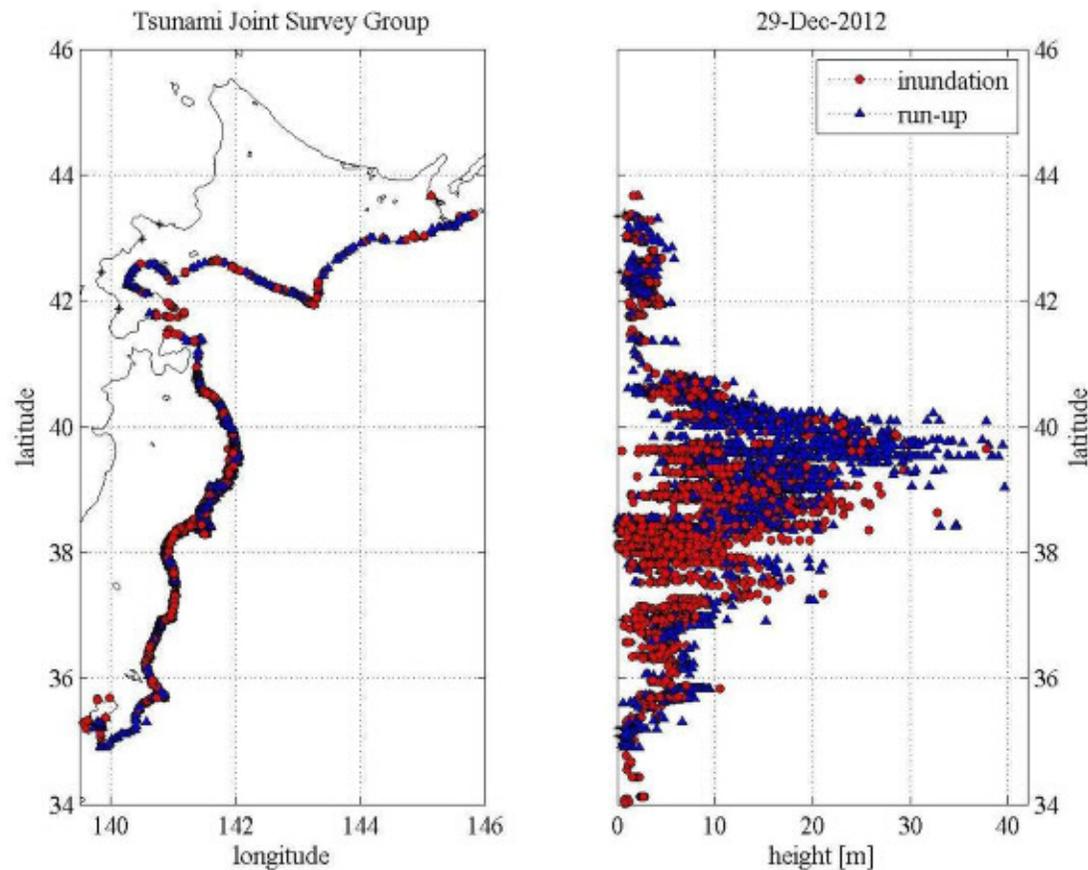


発生日時	2011年3月11日
震源	東北沖 北緯：38° 6.2′ 東経：142° 51.7′ 深さ：24km
マグニチュード	8.4 (Mw=9.0)

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
震源位置(地震調査研究推進本部⁽³⁰⁾を引用・加筆)

2.2 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波の概要

- ・東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ⁽³¹⁾によると、東北地域を中心に、痕跡高が10mを超える地域が南北に約530kmにわたり、20mを超える地域も約200kmと非常に大きな痕跡高が広範囲にわたって記録されたとされている。
- ・また、局所的には、最高40.1mの観測最大の遡上高が^{おおふなと}大船渡市^{りょうり}綾里湾で記録されており、これは明治三陸津波の記録を上回る日本で記録された最大値とされている。



各地の津波浸水高と遡上高(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループより引用)
(<http://www.coastal.jp/ttjt/index.php?plugin=attach&refer=FrontPage&openfile=survey.jpg>)

2.3 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波による斜面崩壊

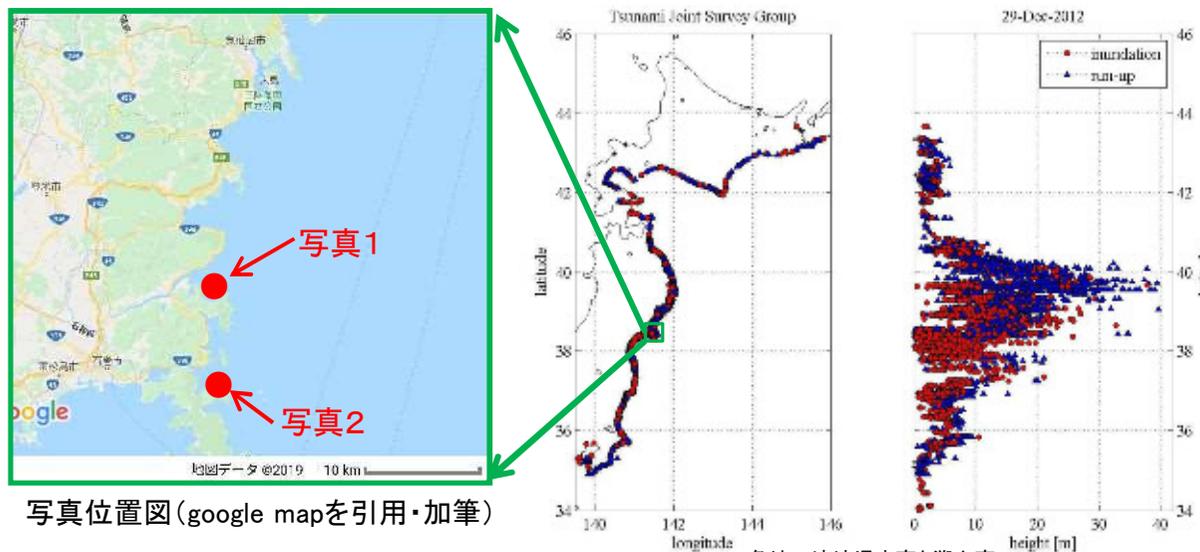
- ・岡ほか(2012)⁽³²⁾によると、宮城県南三陸町では、津波運搬物がトンネル坑口よりも上部に残っていること、擁壁が海側に転倒していること、線路の軌道が完全に流失し、盛土も洗掘している状況を踏まえ、法面の一部が引き波により浸食をうけた可能性があると考えられている。
- ・また、石巻市雄勝町^{いしのまき おがつ}においても、津波運搬物が梢に残っている状況から擁壁高の倍以上の高さまで山肌を遡上したと考えられることから、引き波時の海水面の急低下により斜面崩壊が生じ、崩壊土砂が擁壁下部を押し出したとされている。



写真1(南三陸町の斜面崩壊状況)

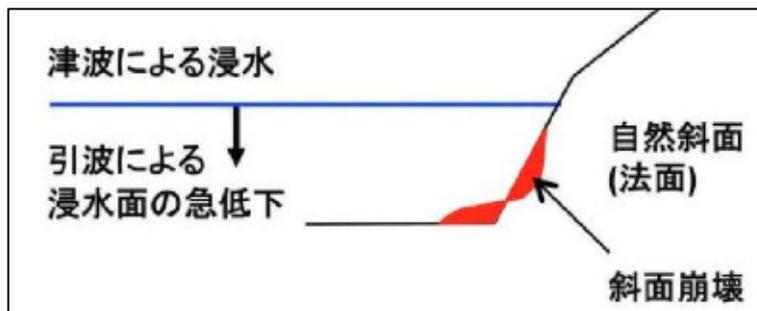


写真2(石巻市雄勝町の斜面崩壊状況)



写真位置図 (google mapを引用・加筆)

各地の津波浸水高と遡上高
(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループより引用)



浸水面の急低下による斜面崩壊の概念図

岡ほか(2012)を引用・加筆

3. まとめ

[地震に伴う斜面崩壊の事例]

・阿部・林(2011)を参考として、地震や斜面崩壊などの自然災害が科学的に記載されるようになった1868年以降の大規模地震に伴う斜面崩壊を対象に、発生した斜面崩壊の地質・地形的特徴等を整理した結果、以下の通りとなった。

【①第四紀】

未固結な火山噴出物の堆積域では、火山灰、シラス、スコリア等の未固結な火山噴出物による浅層の完落型のすべり、流動性すべりが多く発生している。

【②新第三紀～第四紀更新世】

- A. 中新世の礫岩・砂岩・泥岩の互層等の堆積地域では既存の層面断層及び砂岩層の層理面で発生している。
- B. 鮮新世の泥岩・砂岩・シルト岩の互層等の堆積地域では岩盤並進すべりの発生が多い。これらの地すべりは地層の不連続面としての層理面や層理面の一部をすべり面とし、地震動の増幅しやすい尾根やケスタなど凸状地形で発生している。
- C. 更新世の砂岩・泥岩等の堆積する栗原市荒砥沢ダム地点では湖成堆積層をすべり面とし、傾斜が緩やかである。

【③先第三紀】

変成岩、堆積岩域では、発生事例が少なく、明確な特徴は認められなかったが、頁岩・砂岩互層上において、初生大規模岩盤並進すべりの事例が認められた。

【④花崗岩地帯】

地すべりの多くは砂状のマサによる表層完落型すべりや流動性すべりとして発生している。

【⑤火山岩類分布域】

大規模地震時に表層すべりとして発生している傾向がみられる。

[津波に伴う斜面崩壊の事例]

- ・渡辺(1998)及び宇佐美ほか(2013)によると津波に伴う斜面崩壊について数例の記載があるものの詳細な記述は認められない。
- ・上記文献発刊以降に発生した津波を対象に、斜面崩壊の有無を調査した結果、平成23年東北地方太平洋沖地震による引き津波により、斜面の一部が浸食された事例が確認されたものの、大規模な斜面崩壊の事例は認められなかった。

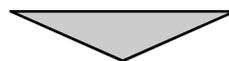
文献調査結果を踏まえた地盤の安定性検討方針

地盤の安定解析に当たっては、対象斜面の地形、分布する地質及び地質構造を把握した上で、上記の文献調査結果も踏まえた斜面崩壊形態を念頭においた安定性検討を行う。特に、敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩(上記②-Aに該当)であることから、層理の発達した堆積岩域における斜面崩壊の特徴に留意し、下記の方針で斜面の安定性評価を実施する。

【弱層のモデル化】

層理面沿いの弱面(シーム等)の連続性検討結果を踏まえ、適切にモデル化を行う。

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
9	代表的な岩級の写真を示す等により, 岩級区分の妥当性を説明すること。	令和元年9月20日 現地調査	89~101



回答方針
・代表的な岩級の写真を示す等により, 岩級区分の妥当性を説明する。

No. 9 岩級区分の妥当性 岩盤分類方法

・岩盤分類は、電研式岩盤分類を基本とし、「風化程度」、「割れ目間隔」、「割れ目状態」を分類の指標として、岩種毎に C_H級、C_M級、C_L級、D級に分類した。

【岩級区分基準】

風化程度	
1	新鮮である。ハンマーの軽打で澄んだ金属音を発する。
2	概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマーの軽打で一部低い金属音を発する。
3	全体的にやや風化変質している。ハンマーの軽打でやや濁った金属音を発する。
4	岩芯まで風化変質している。ハンマーの軽打で容易に岩片状となる。
5	強風化を受け、砂～粘土状を呈する。

割れ目間隔	
I	30cm以上(コア形状は長柱状)
II	10cm～30cm(コア形状は柱状)
III	5cm～10cm(コア形状は短柱状)
IV	3cm～5cm(コア形状は岩片状 (柱状に復元可能))
V	3cm以下(コア形状に短片状 (柱状に復元不可能))
VI	割れ目として認識できない土砂状の岩盤(コア形状は土砂状)

割れ目状態	
α	新鮮
β	割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質
γ	粘土、風化物質、外来物資を介在する

割れ目 間隔	風化程度 割れ目状態	風化程度				
		1	2	3	4	5
I	α	C _H	C _H			
	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
II	α	C _H	C _H	C _M		
	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
IV	α	C _L	C _L	C _L		
	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
V	α	C _L	C _L	C _L	D	
	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
VI	α					
	β					
	γ				D	D

凝灰岩系の各岩級の代表的なボーリングコア

- ・凝灰岩系の各岩級の代表的なボーリングコアを下表のとおり示す。
- ・凝灰岩系では、岩級の低下に伴い、褐色化・土砂化していく特徴がある。

凝灰岩系(凝灰角礫岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰岩)

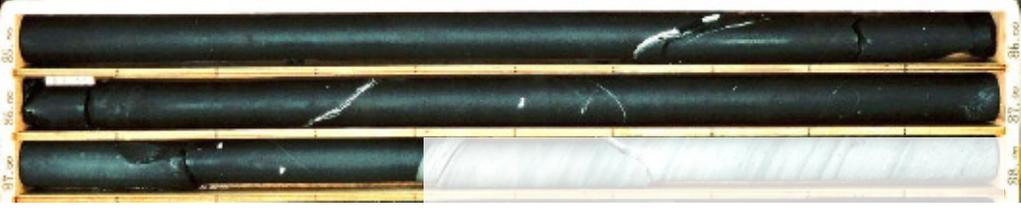
C _H 級		凝灰岩【Ⅰ～Ⅱ-α-1】 No.B-2(2006) G.L.-87.41～88.12, -88.48～-90.00m
C _M 級		凝灰岩【Ⅰ-β-3】 No.B-3(2006) G.L.-86.00～-88.68, -88.75～-89.00m
C _L 級		凝灰岩【Ⅲ-β-3～4】 No.162 G.L.-7.00～-8.95m
D級		凝灰岩【Ⅵ-γ-5】 No.B-3(2006) G.L.-0.30～-2.15m

※ ボーリングコアのうち対象でない部分については白抜きとする。

頁岩系の各岩級の代表的なボーリングコア

- ・頁岩系の各岩級の代表的なボーリングコアを下表のとおり示す。
- ・頁岩系では、岩級の低下に伴い、割れ目が卓越していく特徴がある。

頁岩系(黒色頁岩, 凝灰質頁岩)

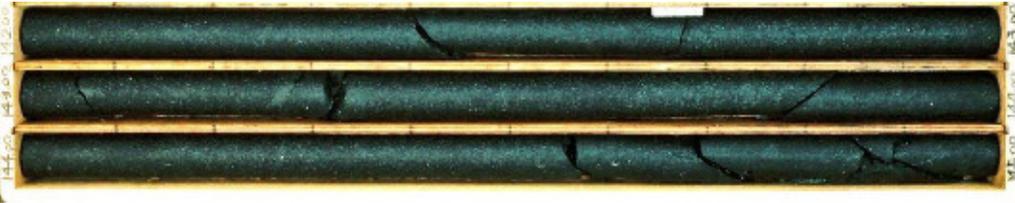
C _H 級		黒色頁岩【Ⅰ～Ⅱ-α-1】 No.B-2(2006) G.L.-85.00～-87.41m
C _M 級		黒色頁岩【Ⅱ-β-3】 No.B-2(2011) G.L.-27.00～-30.00m
C _L 級		黒色頁岩【Ⅲ～Ⅳ-β～γ-2】 No.B-3(2006) G.L.-57.00～-60.00m
D級		黒色頁岩【Ⅴ-γ-4】 No.B-2(2011) G.L.-1.13～-3.13m

※ ボーリングコアのうち対象でない部分については白抜きとする。

貫入岩系の各岩級の代表的なボーリングコア

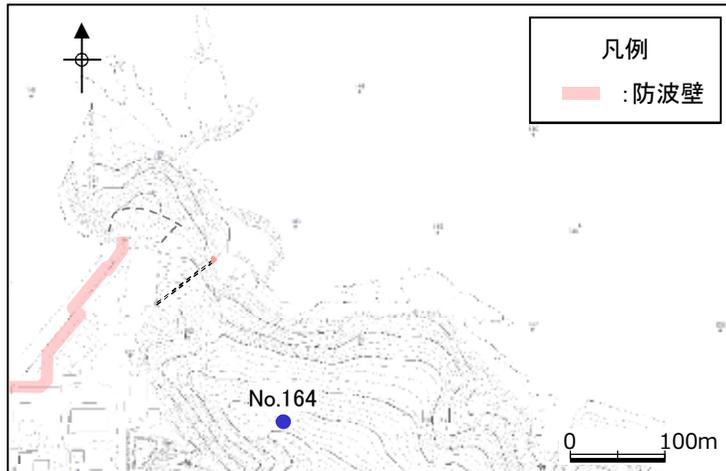
- ・貫入岩系の各岩級の代表的なボーリングコアを下表のとおり示す。
- ・貫入岩系では、岩級の低下に伴い、凝灰岩系と同様、褐色化・土砂化していく特徴がある。

貫入岩系(ドレライト, 安山岩)

C _H 級		ドレライト【Ⅰ～Ⅱ-α-1】 No.B-2(2006) G.L.-142.00～-145.00m
C _M 級		ドレライト【Ⅲ-α-1】 No.B-3(2006) G.L.-161.17～-163.04, -163.55～-163.98m
C _L 級		安山岩【Ⅲ-β-3】 No.315 G.L.-30.00～-33.00m
D級		ドレライト【Ⅴ～Ⅵ-γ-4～5】 No.314 G.L.-18.00～-20.42m

※ ボーリングコアのうち対象でない部分については白抜きとする。

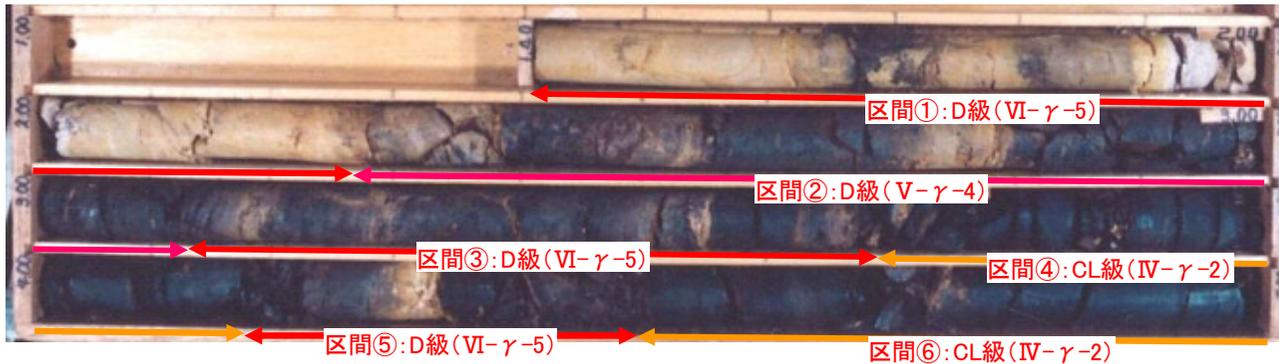
防波壁(東端部)の岩級区分について(例:No.164)(1/2)



・防波壁(東端部)の岩級区分は、前項の電研式岩盤分類を基本とした岩級区分基準に基づき、ボーリングコアの風化程度、割れ目間隔及び割れ目状態の3要素に着目して観察し、区分している。

孔口標高		GL = 64.89 m		掘進長		165.50 m		調査期間		7年 9月 15日 ~ 7年 10月 19日		試錐機械		D2 - G			
角度		—		方向		—		孔内水位		GL - 62.9 m		孔内試験項目		孔内水平載荷試験 PS核層			
標尺	深度	標高	層厚	柱状図	地質種別	色調	岩盤区分	J7形状 短岩片状 短岩柱状	割れ目状態	風化	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	平均コア長 (cm)	孔径 φ75	孔内試験項目 深度(m)	記事
0							VI										
1	1.40	63.49	1.40	△△△ △△△ △△△	礫まじり粘土	黄灰色					100	—	—	—	φ86 m/m メタルシングル	1.40	0.00-0.12m間は植物根を含む粘土および砂から成る。それ以深、5m前後の凝灰質頁岩の礫を含む砂および粘土から成る。
2	2.39	62.50	0.99	△△△ △△△ △△△	凝灰質頁岩	帯褐黄灰色	D	2.28		5	100	5	0	10	φ66 m/m メタルシングル	2.39	強風化の為、業理不明瞭、1.64-1.74m間、黒色頁岩を挟む、下位との境界約5°明瞭。
3				△△△ △△△ △△△	黒色褐色の雑色			3.12		4	100	9	0	—		3.75	2.72-2.79m間と4.29-4.34m間と5.02-5.09m間と5.30-5.35m間に凝灰質頁岩を挟在。凝灰質頁岩との境界約5°明瞭。凝灰質頁岩は風化が進行し、砂状から粘土状化。
4	3.75						CL	3.59		5	100	5	0	—		4	9.42-9.49m間、凝灰岩を挟在。凝灰岩との境界約10°明瞭。2.39-6.88m間は、強風化の影響を受け短柱状の短いコア主体。6.58-6.68m間、粘土から砂状コア。
5							CL	4.17		2	100	5	0	—		5	
6							CL	4.50		2	100	5	0	—		6	
7							CL	4.50		2	100	5	0	—		7	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		8	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		9	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		10	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		11	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		12	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		13	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		14	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		15	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		16	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		17	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		18	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		19	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		20	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		21	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		22	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		23	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		24	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		25	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		26	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		27	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		28	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		29	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		30	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		31	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		32	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		33	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		34	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		35	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		36	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		37	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		38	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		39	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		40	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		41	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		42	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		43	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		44	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		45	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		46	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		47	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		48	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		49	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		50	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		51	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		52	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		53	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		54	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		55	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		56	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		57	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		58	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		59	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		60	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		61	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		62	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		63	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		64	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		65	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		66	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		67	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		68	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		69	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		70	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		71	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		72	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		73	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		74	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		75	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		76	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		77	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		78	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		79	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		80	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		81	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		82	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		83	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		84	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		85	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		86	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		87	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		88	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		89	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		90	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		91	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		92	
							CL	4.50		2	100	5	0	—		93	

防波壁(東端部)の岩級区分について(例:No.164) (2/2)



No.164 コア写真

割れ目間隔	
I	30cm以上(コア形状は長柱状)
II	10cm~30cm(コア形状は柱状)
III	5cm~10cm(コア形状は短柱状)
IV	3cm~5cm(コア形状は岩片状 (柱状に復元可能))
V	3cm以下(コア形状に短片状 (柱状に復元不可能))
VI	割れ目として認識できない土砂状の岩盤(コア形状は土砂状)

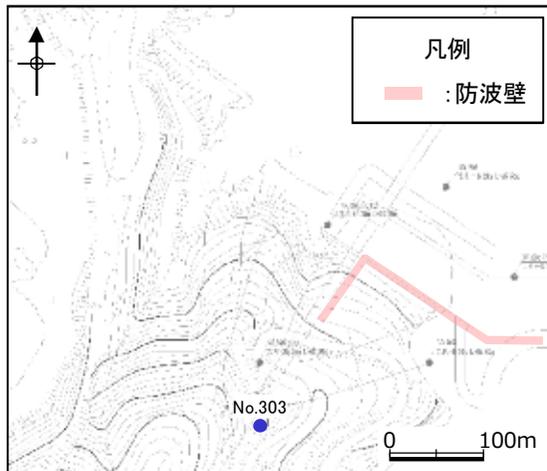
風化程度	
1	新鮮である。ハンマーの軽打で澄んだ金属音を発する。
2	概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマーの軽打で一部低い金属音を発する。
3	全体的にやや風化変質している。ハンマーの軽打でやや濁った金属音を発する。
4	岩芯まで風化変質している。ハンマーの軽打で容易に岩片状となる。
5	強風化を受け、砂~粘土状を呈する。

割れ目状態	
α	新鮮
β	割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質
γ	粘土、風化物質、外来物資を介在する

岩級区分基準(該当部分に枠)

割れ目間隔	割れ目状態	風化程度				
		1	2	3	4	5
I	α	C _H	C _H			
	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
II	α	C _H	C _H	C _M		
	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
IV	α	C _L	C _L	C _L		
	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
V	α	C _L	C _L	C _L	D	
	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
VI	α				D	
	β				D	D
	γ				D	D

防波壁(西端部)の岩級区分について(例:No.303)(1/2)



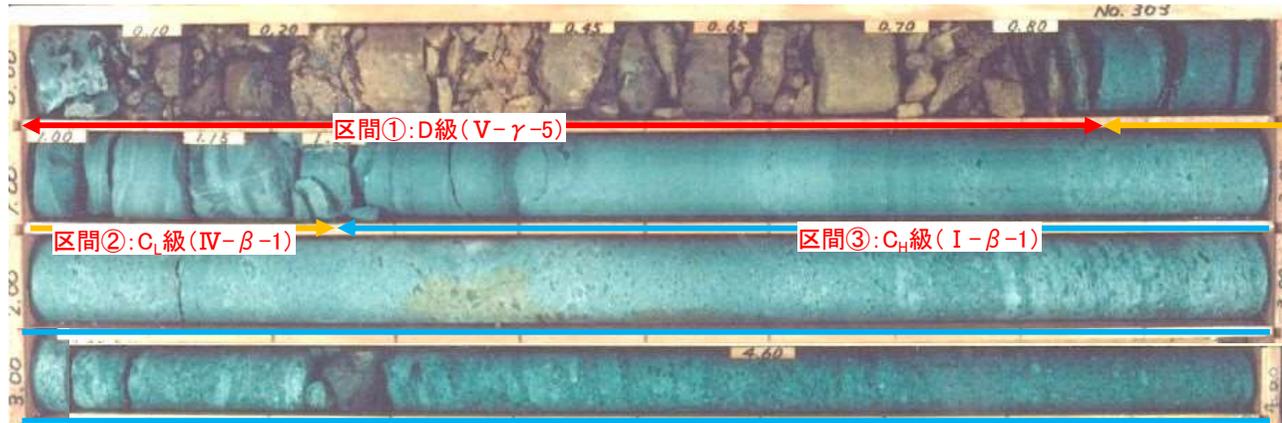
・防波壁(西端部)の岩級区分は、前項の電研式岩盤分類を基本とした岩級区分基準に基づき、ボーリングコアの風化程度、割れ目間隔及び割れ目状態の3要素に着目して観察し、区分している。

孔口標高		T.P. +35.31 m		掘進長		87.00 m		調査期間		1997年 9月 24日 ~ 1997年 10月 7日		試錐機械		OP-1		
角度		—		方向		—		孔内水位		T.P. +35.10 m		孔内試験項目		孔内水平載荷試験		
標尺 (m)	深 度 (m)	標 高 T.P. (m)	層 厚 (m)	柱 状 図	地 質 種 別	色 調	岩 級 区 分	コア形状	割 れ 目 状 態	風 化 程 度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	R Q D (%)	孔径	孔内試験項目	記 事
0							D	土短岩短柱状 砂片柱状 状状状状状状 VI- → I		5	100	5	0	φ 86mm A9A・シグマ		0.0m以下は7.7m以下。強風化を受けた凝灰質頁岩。短片状を呈し全体に脆い。
1	0.65	35.66	0.65		凝灰質頁岩	褐				5	100	65	65	φ 86mm A7A・シグマ		粗粒凝灰岩を主体とする。上部は細粒凝灰岩が挟在しやや変質が発達。下部は火山礫凝灰岩質である。1.12~1.20m間に乱堆積構造(曲り礫)がある。0.85m以下は強風化。
2	1.93	34.48	1.18		凝灰岩	帯緑灰			β		100	88	100			φ5~10mmの礫を主とし、最大60mmの頁岩礫を混入する。暗褐色の頁岩無晶質安山岩礫が少量混入する。それらの礫の輪郭は不明瞭である。一方、緑~帯緑灰色の本質礫の輪郭は不明瞭であり、礫形は偏平~帯状である。上位層との境界は漸移的であるが、境界面の傾斜は約10°である。下位層との境界も漸移的で不鮮明である。
4	4.22	32.09	3.32		火山礫凝灰岩						100	70	84			φ0.5~2mmの粒子を主とし、最大φ15mmの礫を混入する粗粒凝灰岩である。礫種は上位層と同様であるが、礫の輪郭は不明瞭なものが多い。下位層との境界は漸移的である。
5	5.00	31.31	0.78		凝灰岩						100	37	100			φ5~20mmの礫を主とし、最大30mmの礫を混入する。淡緑灰色礫の形状は楕円形~レンズ状を呈し、礫の輪郭はやや不明瞭である。φ10~30mmの礫を主とし、最大φ50mmの礫を混入する。礫種は暗褐色の頁岩無晶質安山岩と淡緑灰色の流紋岩~アツクを主とする。前者にはレンズ~偏平状を呈するものもある。礫の輪郭はいずれも不明瞭である。後者は楕円形を呈するもの
6					頁岩		C11			1	100	33	91			

コア写真範囲

No.303 柱状図

防波壁(西端部)の岩級区分について(例:No.303)(2/2)



No.303 コア写真

割れ目間隔	
I	30cm以上(コア形状は長柱状)
II	10cm~30cm(コア形状は柱状)
III	5cm~10cm(コア形状は短柱状)
IV	3cm~5cm(コア形状は岩片状 (柱状に復元可能))
V	3cm以下(コア形状に短片状 (柱状に復元不可能))
VI	割れ目として認識できない土砂状の岩盤(コア形状は土砂状)

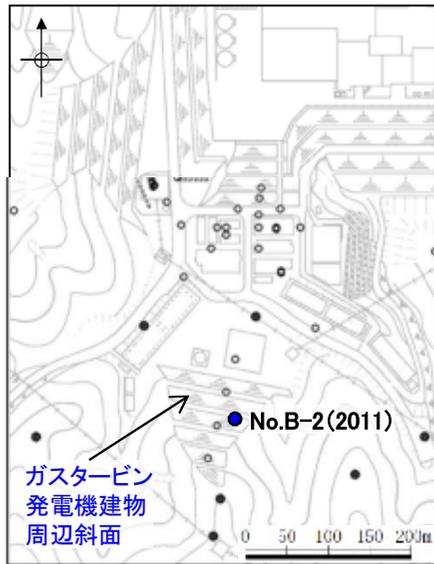
風化程度	
1	新鮮である。ハンマーの軽打で澄んだ金属音を発する。
2	概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマーの軽打で一部低い金属音を発する。
3	全体的にやや風化変質している。ハンマーの軽打でやや濁った金属音を発する。
4	岩芯まで風化変質している。ハンマーの軽打で容易に岩片状となる。
5	強風化を受け、砂~粘土状を呈する。

割れ目状態	
α	新鮮
β	割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質
γ	粘土、風化物質、外来物資を介在する

割れ目間隔	風化程度 割れ目状態	風化程度				
		1	2	3	4	5
I	α	C _H	C _H			
	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
II	α	C _H	C _H	C _M		
	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
IV	α	C _L	C _L	C _L		
	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
V	α	C _L	C _L	C _L	D	
	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
VI	α					
	β				D	D
	γ				D	D

岩級区分基準(該当部分に枠)

重要施設周辺斜面の岩級区分について(例:No.B-2(2011))(1/2)

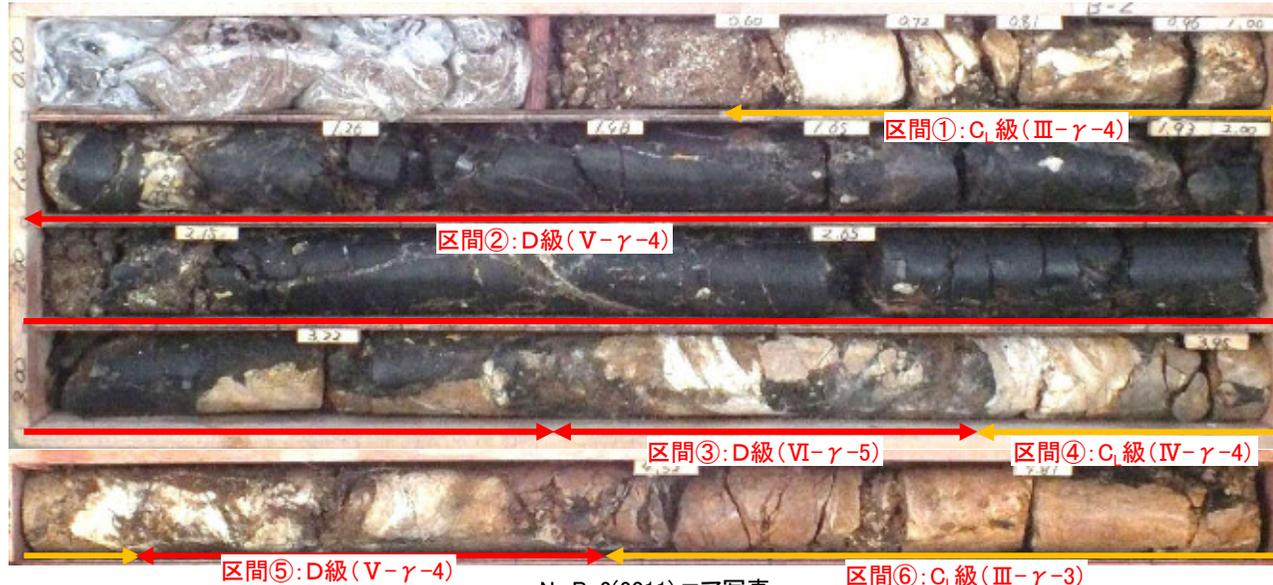


- ・ガスタービン発電機建物周辺斜面の岩級区分は、前項の電研式岩盤分類を基本とした岩級区分基準に基づき、ボーリングコアの風化程度、割れ目間隔及び割れ目状態の3要素に着目して観察し、区分している。
- ・D級区間は黒色頁岩主体である。3cm以下の割れ目が発達し、割れ目には灰白色の粘土を挟在し、岩芯まで風化していることから、D級に区分している。

孔口標高		T. P. +76.54 m		掘進長		127.00 m		調査期間		2011年 9月 16日 ~ 2011年 10月 24日		試験機械		D1-BS1		
角度		—		方向		—		孔内水位		T. P. +33.29 m		孔内試験項目		ボアホールTV		
標尺 (m)	深度 (m)	標高 T. P. (m)	層厚 (m)	柱状図	地質種別	色調	岩級区分	コア形状	割れ目状態	風化程度	コア採取率 (%)	最大コア長 (cm)	RQD (%)	孔径	孔内試験項目	記 事
0					凝混リシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	—	—	—	—	φ 86mm	ボアホールTV	凝土およびコンクリート。0.00~0.40mを鉄筋。0.00~0.30mの南側はコンクリート、北側は火山礫混りシルト。0.30~0.60mは凝混りシルト。
1	0.60	75.94	0.60		凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	—	100	13	—	φ 86mm	ボアホールTV	φ 5mm~90mm以上の珪化した流紋岩、黒色頁岩と細粒凝灰岩の基質。下位との境界は不明瞭。0.60~1.00mは灰白色の珪化した流紋岩。
2	1.13	75.41	0.53		凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	4	100	3	0	φ 86mm	ボアホールTV	弱平行葉理あり。下位との境界は不明瞭。角度は不明。φ 5~10mmの珪化した流紋岩を少量含む。1.25~1.40m弱平行葉理あり。1.50~1.93mは60~90°の割れ目が多く、厚さ5~20mmで褐色砂および砂質シルト挟む。2.00~2.06mはφ 10mm以下の凝混り砂状。2.10~2.15mは60°割れ目沿いに厚さ20~30mmでφ 10mm以下の凝混り砂状。2.15~3.13mは60~90°の湾曲した割れ目沿いに厚さ5~10mmで細粒混りシルト状。2.42mは70°割れ目沿いに厚さ5~10mm灰白色粘土挟む。
3	3.13	72.41	2.00		凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	4	100	4	0	φ 86mm	ボアホールTV	3.17~3.77mはφ 10mm~60mm、最大φ 25cm以上の流紋岩、黒色頁岩と暗褐色に風化した細粒凝灰岩の基質からなる。下位とは20°で接し、境界は明瞭。3.52~3.58mは珪化した流紋岩。3.59~3.68mは黒色頁岩。
4					凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	4	100	3	0	φ 86mm	ボアホールTV	3.77~7.65mは流理の発達した流紋岩で、部分的に10~70mmで角礫状の自破砕状となるところがある。流理の傾斜は深度毎に異なる。下位とは60°で接し、境界は明瞭。全般に岩芯まで風化するが、局部的に灰色を呈するところがある。4.07~4.48mは全般に珪化し、90°の割れ目沿いに軟質となり、割れ目沿いにはシルトを挟む。4.48~4.81mはφ 10~50mmに角礫化した自破砕状流紋岩。4.66~4.70mは35°の割れ目沿いにφ 8~30mmの凝混り砂状となる。4.70~5.00mは70~80°の流理構造を呈す。5.00~5.13mは20~40°の割れ目が多い。5.13~5.25mはφ 10~70mmに角礫化した自破砕状流紋岩。5.25~5.63mは40~45°の流理構造を呈す。5.63~7.30mは70~90°
5					凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	4	100	11	11	φ 86mm	ボアホールTV	
6					凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	3	100	28	60	φ 86mm	ボアホールTV	
7					凝混りシルト	灰褐色	—	土短岩短柱状砂片柱状	VI → I	3	100	28	84	φ 86mm	ボアホールTV	

No.B-2(2011) 柱状図

重要施設周辺斜面の岩級区分について(例:No.B-2(2011))(2/2)



No.B-2(2011) コア写真

割れ目間隔	
I	30cm以上(コア形状は長柱状)
II	10cm~30cm(コア形状は柱状)
III	5cm~10cm(コア形状は短柱状)
IV	3cm~5cm(コア形状は岩片状 (柱状に復元可能))
V	3cm以下(コア形状に短片状 (柱状に復元不可能))
VI	割れ目として認識できない土砂状の岩盤(コア形状は土砂状)

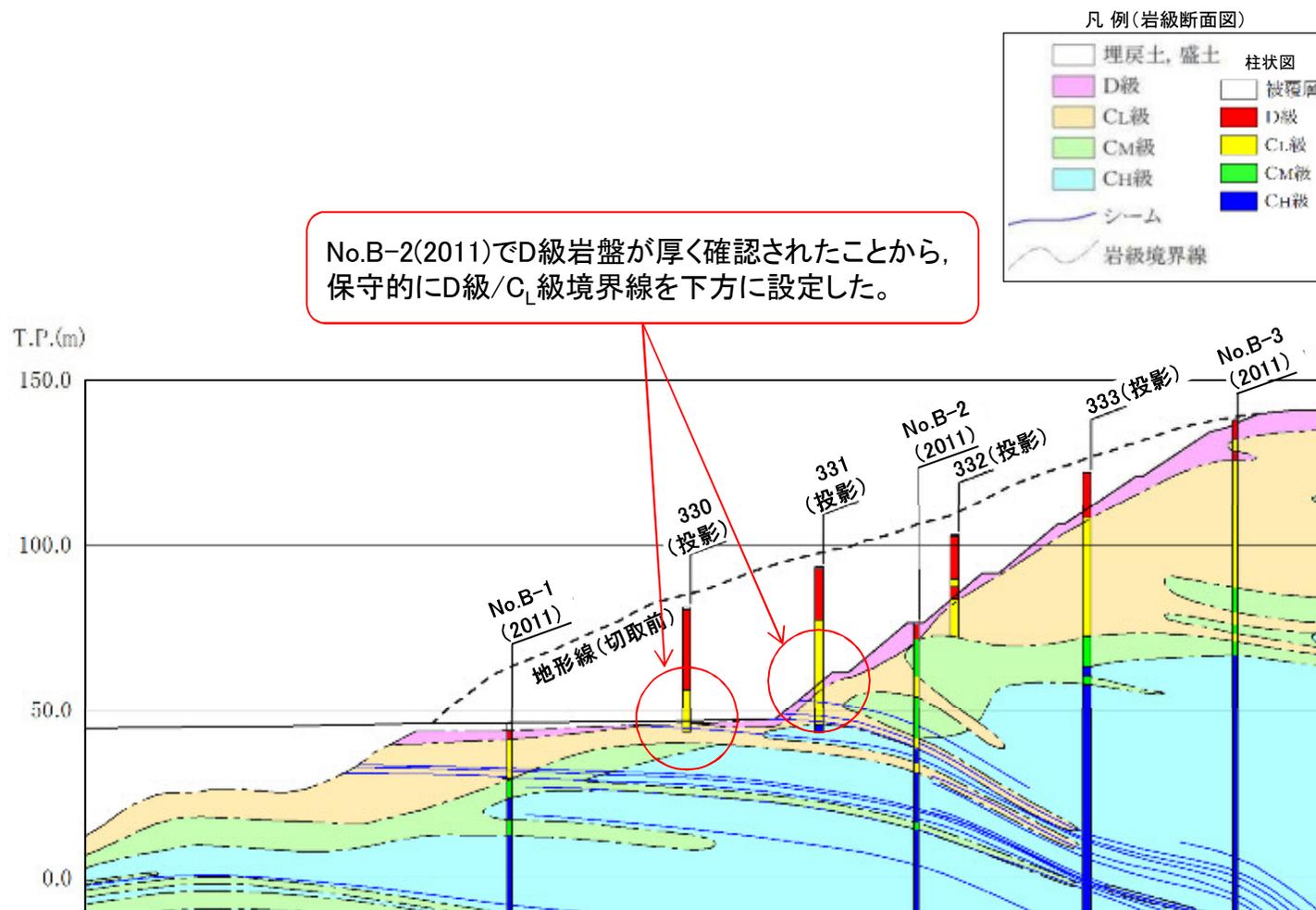
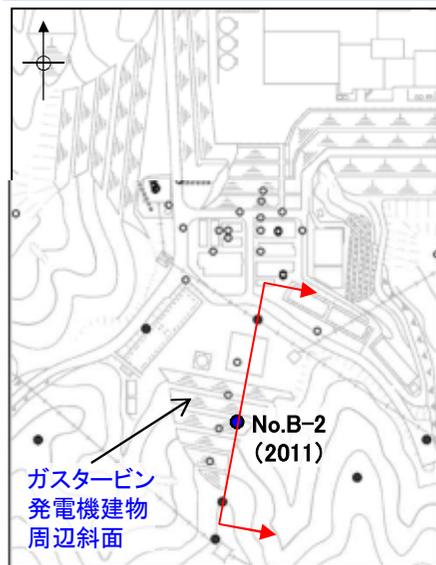
風化程度	
1	新鮮である。ハンマーの軽打で澄んだ金属音を発する。
2	概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマーの軽打で一部低い金属音を発する。
3	全体的にやや風化変質している。ハンマーの軽打でやや濁った金属音を発する。
4	岩芯まで風化変質している。ハンマーの軽打で容易に岩片状となる。
5	強風化を受け、砂~粘土状を呈する。

割れ目状態	
α	新鮮
β	割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質
γ	粘土、風化物質、外来物資を介在する

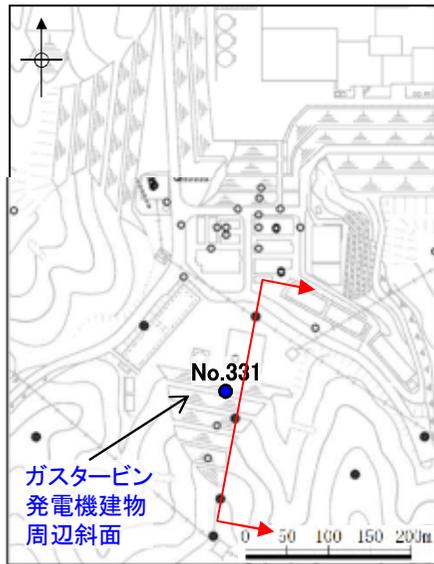
岩級区分基準(該当部分に枠)

割れ目間隔	割れ目状態	風化程度				
		1	2	3	4	5
I	α	C _H	C _H			
	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
II	α	C _H	C _H	C _M		
	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
IV	α	C _L	C _L	C _L	C _L	
	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
V	α	C _L	C _L	C _L	D	
	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
VI	α					
	β					
	γ				D	D

区間③



・ガスタービン発電機建物周辺斜面の岩級断面図は、ボーリング結果に基づき岩級を設定しているが、2011年に断面図上で実施したNo. B-2(2011)ボーリングにおいて、D級岩盤が厚く確認されたことから、No. 330ボーリング及びNo. 331ボーリング付近においては、保守的にD級/CL級境界線を下方に設定している。なお、岩級断面図上でD級としている範囲のNo. 331ボーリングコアを次頁に示す。



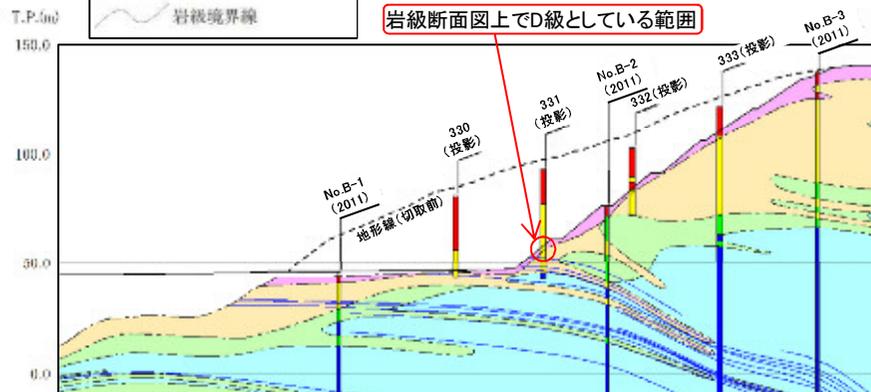
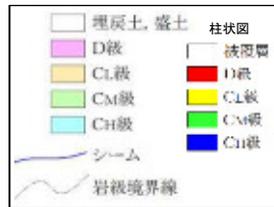
岩級断面図上でD級としている範囲

標高 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	地質記号	地質名	色調	岩級区分	最大・平均・最小径 (mm)	平均・径長 (mm)	コア採取率 (%)	捕集率 (%)	R	面割条件	掘削速度 (m/min)	コア径 (mm)	備考
27.0	0.0	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	40	20	100	9+	0.2	1	0.2	9+	
26.5	0.5	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	7+	0.2	1	0.2	7+	
26.0	1.0	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	3+	0.2	1	0.2	3+	
25.5	1.5	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	3+	0.2	1	0.2	3+	
25.0	2.0	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	4+	0.2	1	0.2	4+	
24.5	2.5	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	8+	0.2	1	0.2	8+	24.00~24.50m C _L 級 粗粒の砂岩を認め、黄褐色を呈し、塊状を呈す。
24.0	3.0	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	2+	0.2	1	0.2	2+	24.00~24.50m C _L 級 粗粒の砂岩を認め、黄褐色を呈し、塊状を呈す。
23.5	3.5	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	4+	0.2	1	0.2	4+	
23.0	4.0	0.5	CL	砂岩	黄褐色	C _L 級	30	15	100	10+	0.2	1	0.2	10+	23.00~23.50m C _L 級 粗粒の砂岩を認め、黄褐色を呈し、塊状を呈す。

コア写真範囲

No.331 柱状図

凡例(岩級断面図)

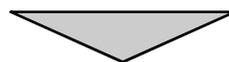


重要施設周辺斜面の岩級断面図



No.331 コア写真

No.	コメント要旨	審査会合等	頁
10	防波壁端部斜面の安定性上考慮する必要のある弱層の有無について、ボーリング、露頭調査結果等の地質データを踏まえて説明すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	102～120
11	地質断面図について、シーム層準とシームの違いが分かるように適正化すること。	令和元年8月30日 第762回審査会合	

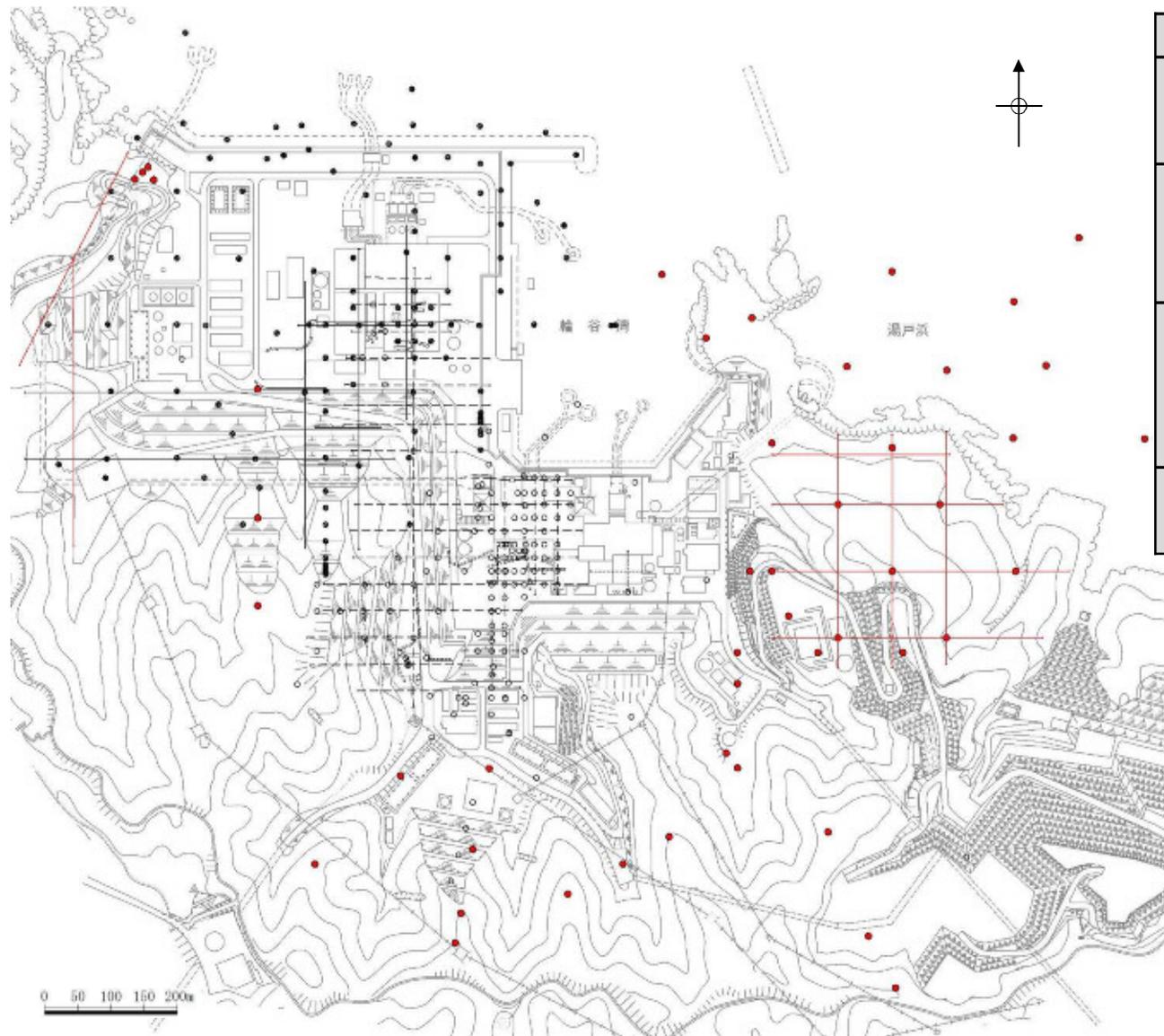


回答方針

- ・防波壁端部斜面の安定性上考慮する必要のある弱層について、島根サイトの地質・地質構造を踏まえ、以下の項目をそれぞれ「性状」、「連続性」等の観点から個別に検討する。
 - ①破砕部，断層
 - ②節理面
 - ③層理面（層理面沿いの弱層やシームを含む）
 - ④地滑り面
- ・地質断面図について、シーム層準とシームの違いが分かるように適正化する。

①破碎部，断層

敷地内地質調査内容

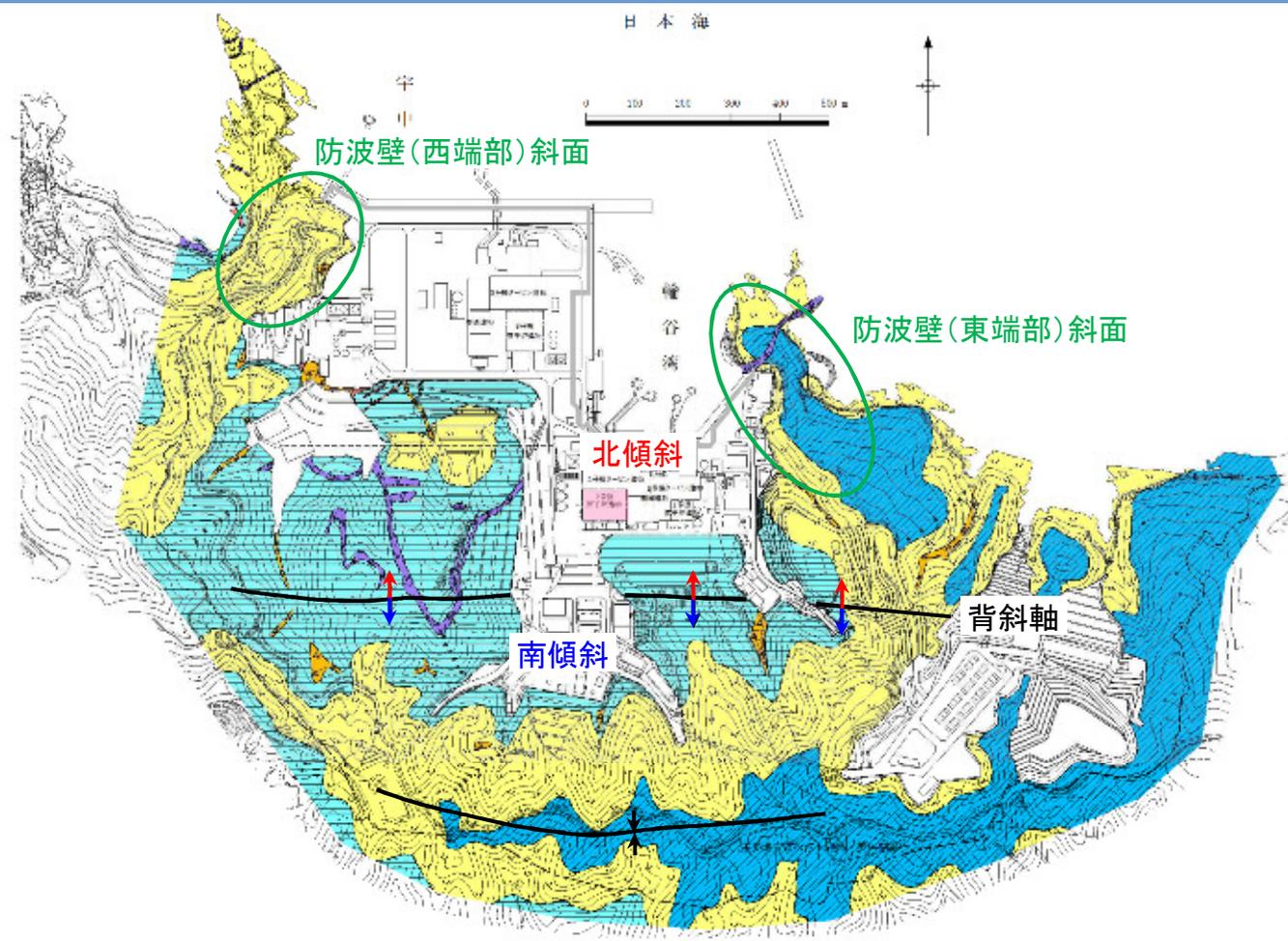


調査項目	1・2号炉調査他 1968～1982年度 2006～2008年度	3号炉調査 1995～2002年度	その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	3,320m (9測線)	11,440m (39測線)
	8,120m (30測線)			
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	47孔 (延4,907m)	315孔 (延26,430m)
	268孔 (延21,523m)			
試掘坑調査	840m	930m	-	1,770m
	1,770m			

凡例

- 1・2号炉調査他ボーリング位置
- 3号炉調査ボーリング位置
- その他調査ボーリング位置
- 1・2号炉調査他弾性波探査測線
- 3号炉調査弾性波探査測線
- その他調査弾性波探査測線
- 1・2号炉調査試掘坑・試験坑
- 3号炉調査試掘坑・試験坑

・敷地の地質・地質構造を把握するため、文献調査、地表地質踏査を行うとともに、地表からの弾性波探査、ボーリング調査、試掘坑調査を実施した。



凡例

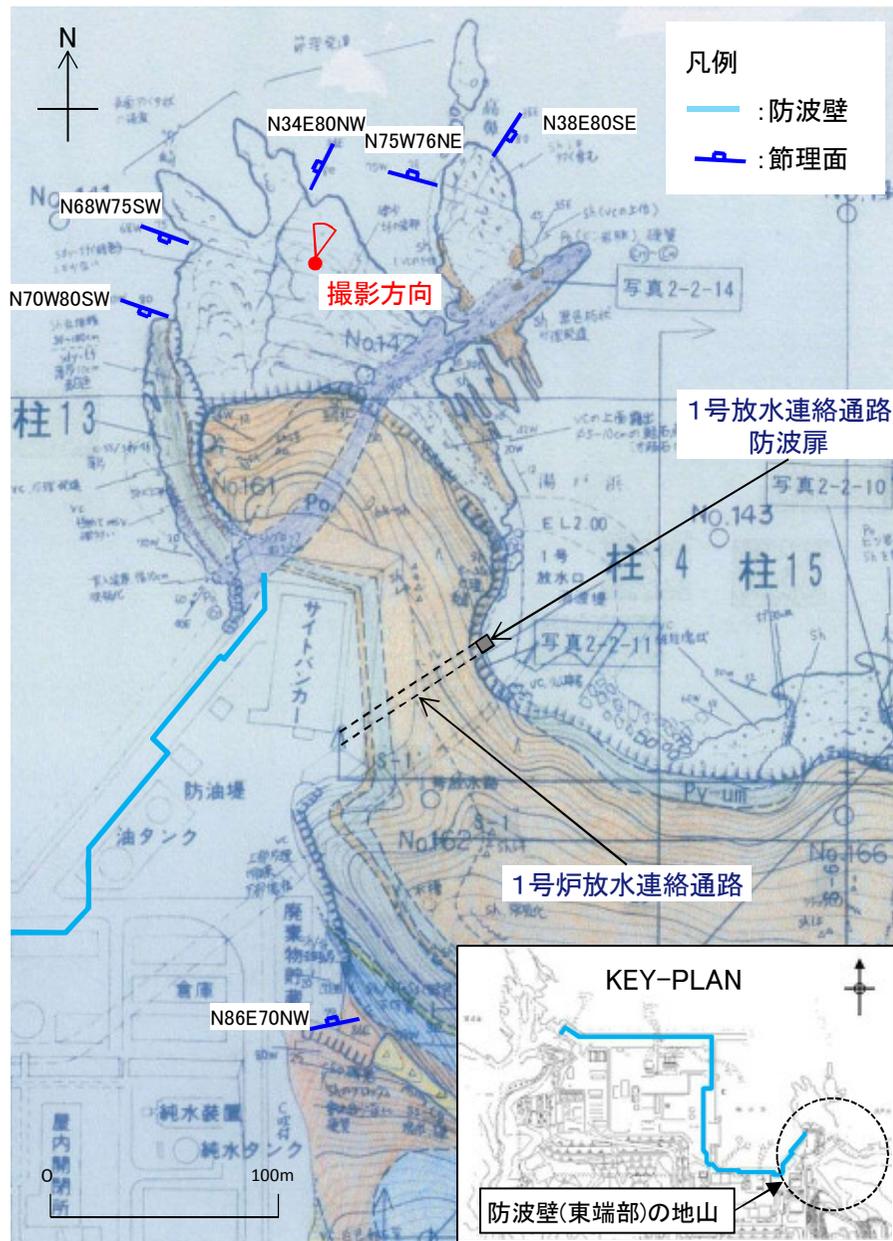
地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀 全新世	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	崖錐堆積物		礫混り砂質土・礫混り粘性土
新生代 中新世	貫入岩類	安山岩	V V V
		ドレライト	L L L
	成相寺層 上部頁岩部層	黒色頁岩	
	成相寺層 火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	V V V
成相寺層 下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩		

- - - - - 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

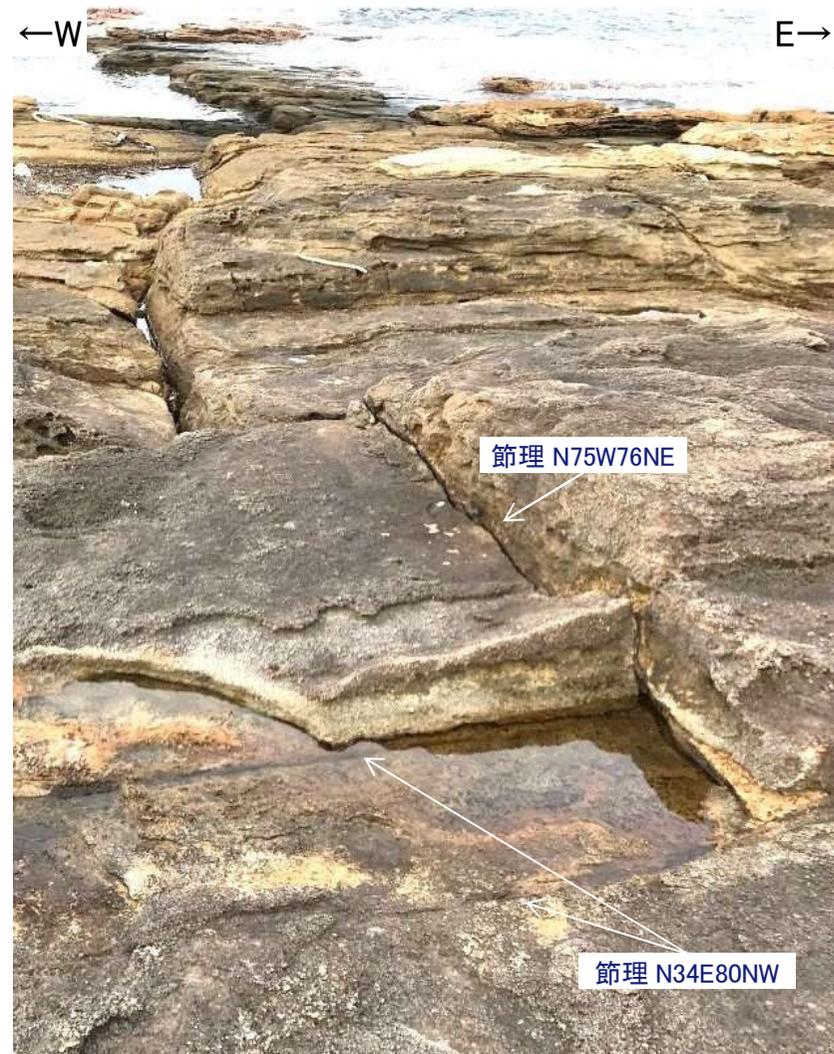
- ・敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
- ・敷地の南方には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められ、背斜軸北側では北傾斜となる。
- ・敷地には、連続する破碎部や断層は認められない。

②節理面

防波壁(東端部)の節理面の性状・連続性について(1/2)



ルートマップ(平成8年調査)



海岸露頭写真(2019年10月25日撮影)

・防波壁(東端部)の地山には、NNE-SSW系もしくはWNW-ESE系の節理が認められるが、いずれも高角であり、連続性は低く、密着している。

防波壁(東端部)の節理面の性状・連続性について(2/2)



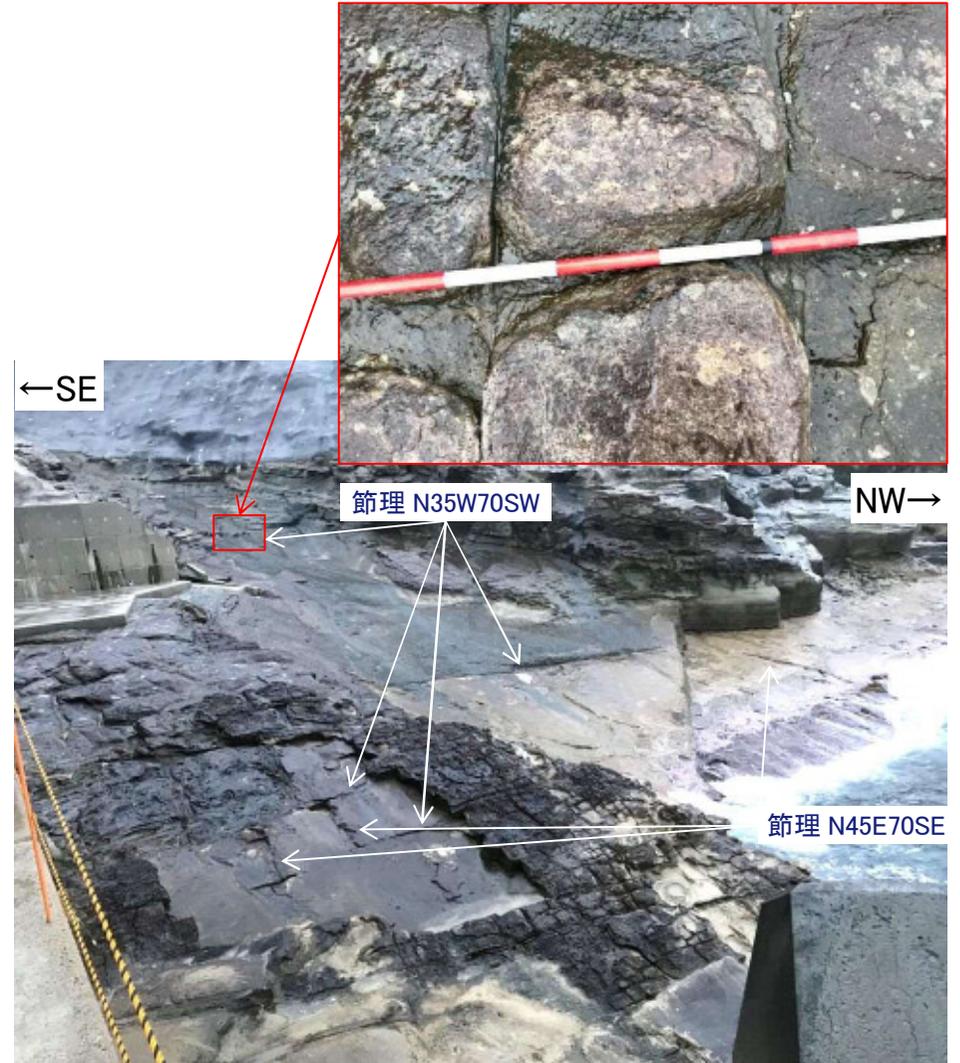
1号放水連絡通路防波扉背後斜面 現地写真(2019年7月25日撮影)

・観察範囲において、連続性の高い節理は認められない。

防波壁(西端部)の節理面の性状・連続性について(1/2)



ルートマップ(平成8年調査)



海岸露頭写真(2019年10月25日撮影)

・防波壁(西端部)の地山には、NNE-SSW系もしくはWNW-ESE系の節理が認められるが、いずれも高角であり、連続性は低く、密着している。

防波壁(西端部)の節理面の性状・連続性について(2/2)

←S

N→



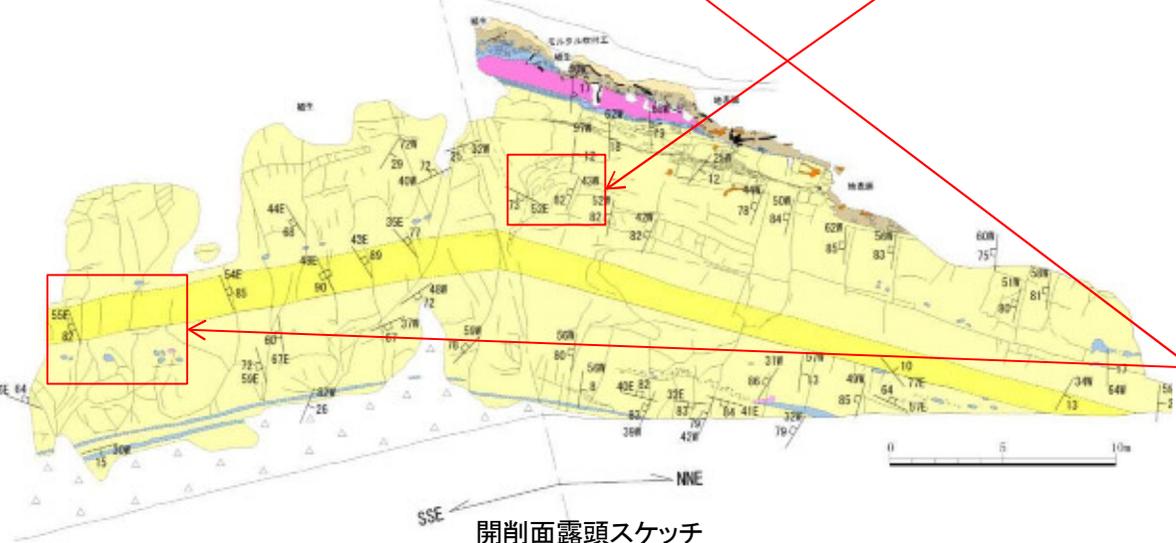
開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)



開削面露頭 拡大写真1(2019年10月25日撮影)



開削面露頭 拡大写真2(2019年10月25日撮影)



開削面露頭スケッチ

凡例	
	土砂
	粘性土
	砂質土
	ドロマイト
	火山礫凝灰岩
	凝灰岩
	凝灰質頁岩
	黒色頁岩
	土質境界・岩相境界
	岩相境界(推定)
	割れ目
	節理面の走向・傾斜
	貫入面の走向・傾斜
	割れ目の走向・傾斜
	礫
	脱水分解途中の樹木・樹根
	生育中の樹木・樹根

・節理面はいずれも高角であり、密着している。

③層理面(層理面沿いの弱層やシームを含む)

防波壁(東端部)の層理面の性状・連続性について(2/3)



ルートマップ(平成8年調査)



海岸露頭 拡大写真(2019年9月13日撮影)

・防波壁(東端部)の地山には、概ねNNE-SSW系の層理面が認められるが、密着しており、層理面沿いの弱層は認められない。

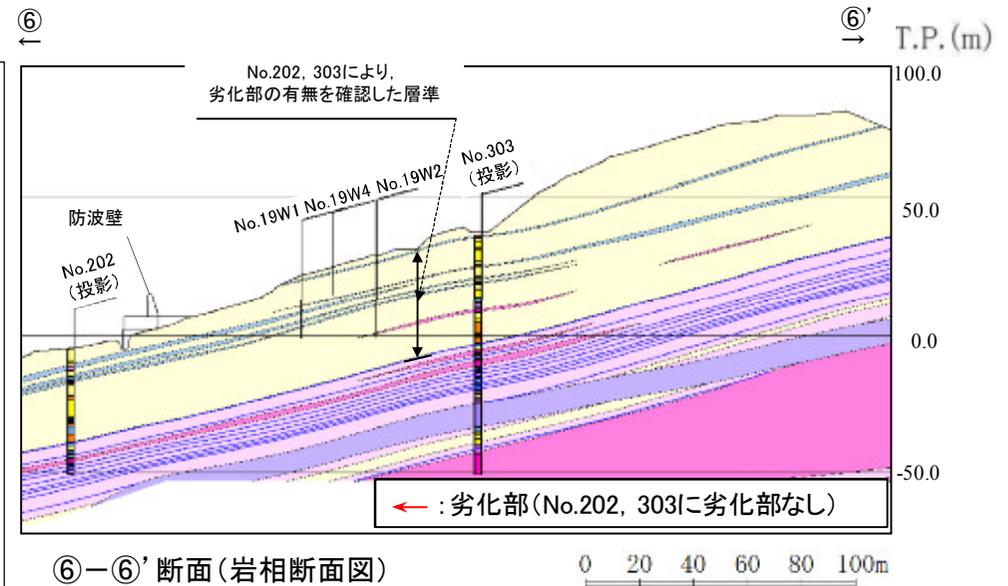
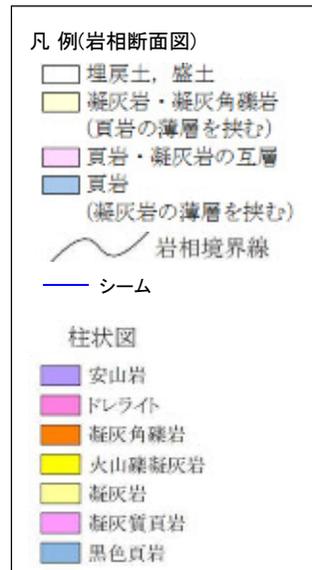
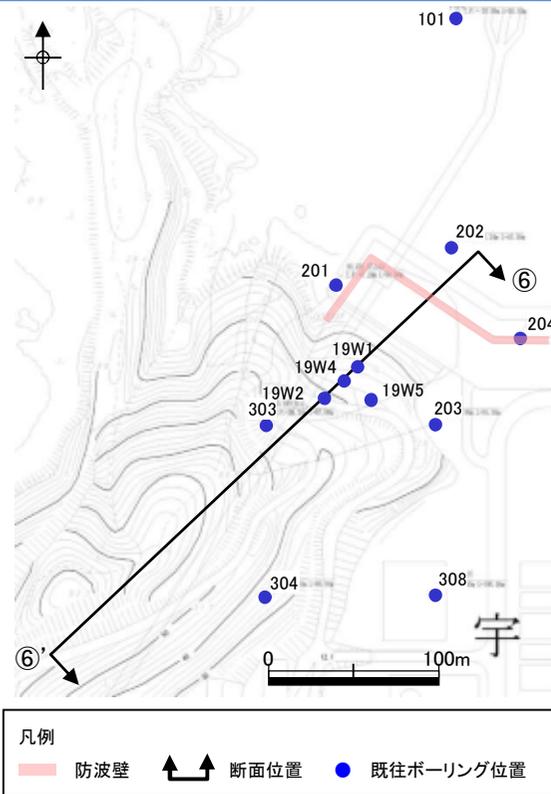
防波壁(東端部)の層理面の性状・連続性について(3/3)



海岸露頭写真(2019年4月23日)

・頁岩/凝灰岩の層理面は密着している。

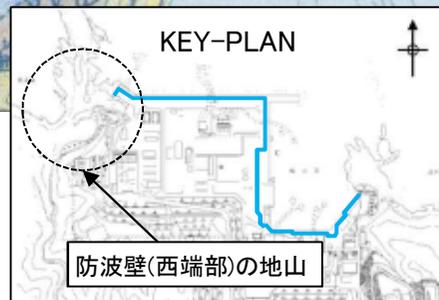
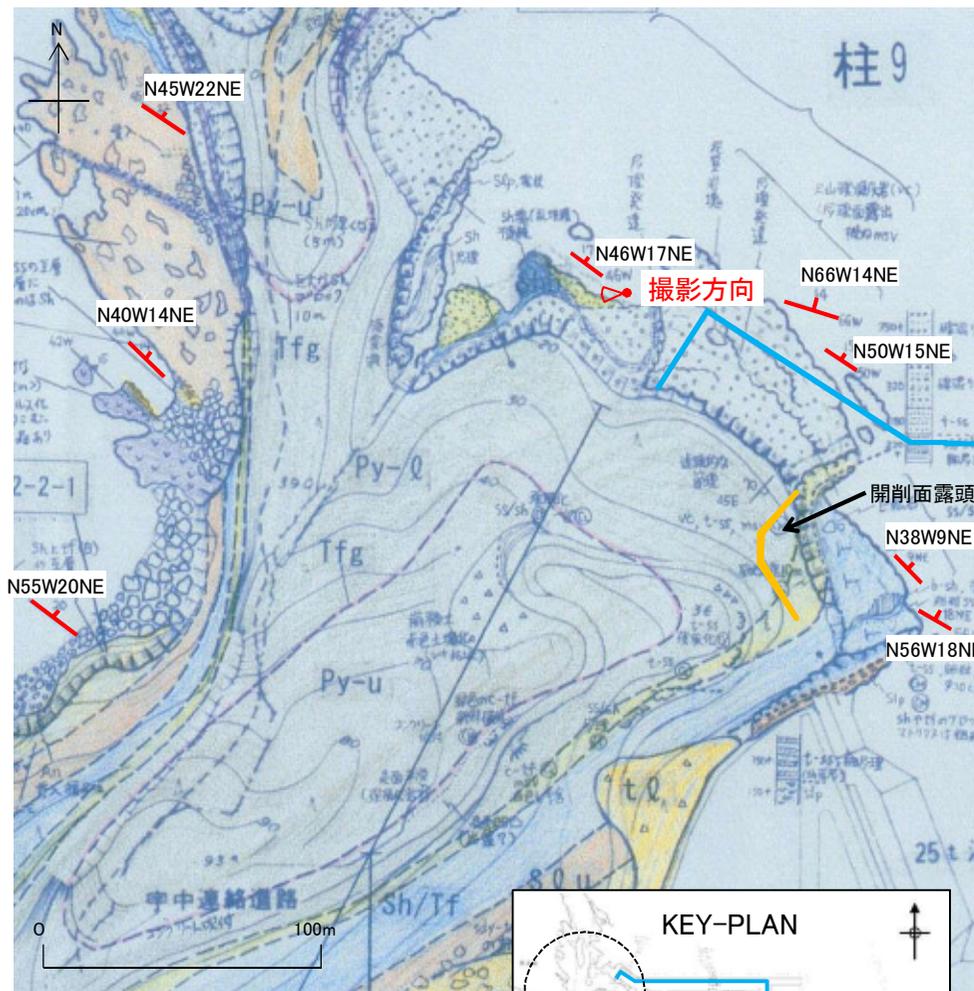
防波壁(西端部)の層理面の性状・連続性について(1/3)



※当該地質断面図は、コメントNo. 1～3を踏まえ、後段のコメント回答No. 15～19の回答時に更新する。

- ・防波壁(西端部)の地山の地質は、凝灰岩・凝灰角礫岩を主体とし、頁岩及びこれらの互層から構成される。
- ・当該地山の地質は、概ね西北西—東南東の走向を示し、北に約 10° ～ 20° 傾斜しており、その方向に層理面が発達する。
- ・ボーリング調査結果を踏まえ、斜面部において層理沿いの弱層の可能性のある劣化部及びシームを抽出した結果、No.303及びNo.202に劣化部及びシームが認められないことを確認している。(右上図参照)
- ・19W1, 19W2, 19W4において確認された局所的に岩級の低い凝灰岩については、性状及び連続性を検討した結果、割れ目が密集する箇所もあるが、防波壁(西端部)の広範囲に連続するものではないと考えられる。(詳細はコメントNo. 3を参照)

防波壁(西端部)の層理面の性状・連続性について(2/3)



ルートマップ(平成8年調査)



海岸露頭写真(2019年10月25日撮影)



海岸露頭 拡大写真(2019年10月25日撮影)

・防波壁(西端部)の地山には、概ねNNE-SSW系の層理面が認められるが、密着しており、層理面沿いの弱層は認められない。

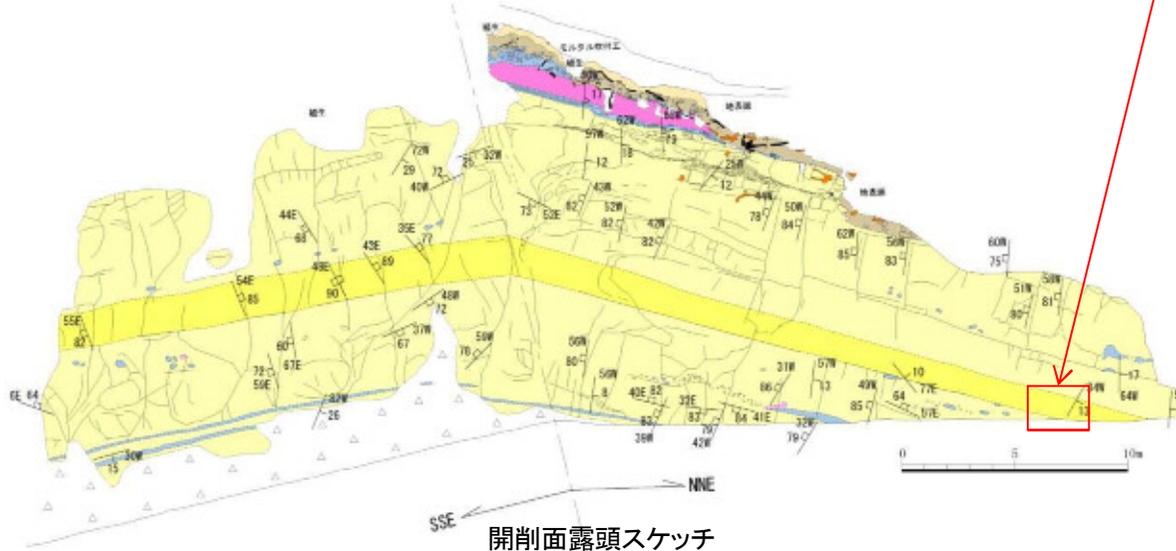
防波壁(西端部)の層理面の性状・連続性について(3/3)



開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)



開削面露頭 拡大写真(2019年10月25日撮影)



開削面露頭スケッチ

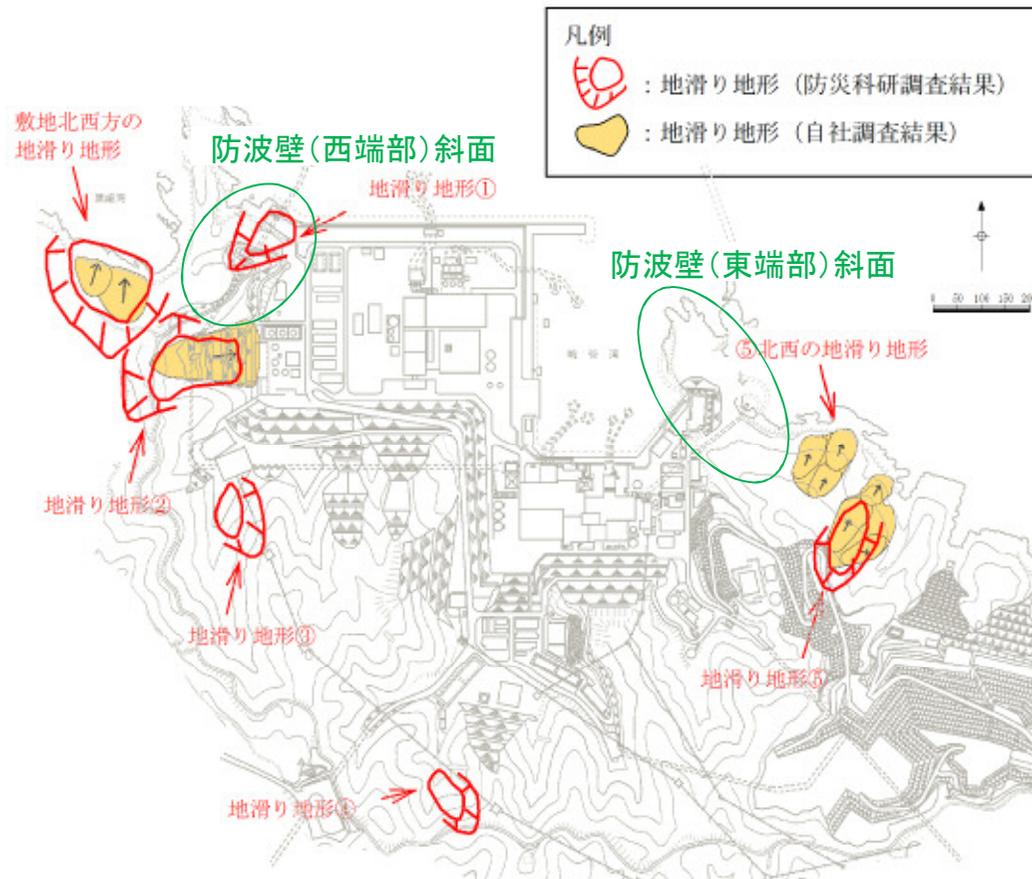
凡例									
	土砂		ドロマイト		土質境界・岩相境界		層理面の走向・傾斜		岩
	粘性土		火山凝灰岩		岩相境界(推定)		貫入面の走向・傾斜		脱水分解途中の樹木・樹根
	礫質土		凝灰岩		割れ目		割れ目の走向・傾斜		生育中の樹木・樹根
			凝灰質頁岩						
			黑色頁岩						

・層理面は密着しており、これに沿う弱層は認められない。

・ボーリングコアや開削面露頭において確認された局所的に岩級の低い凝灰岩については、性状及び連続性を検討した結果、割れ目が密集する箇所もあるが、広範囲に連続するものではないと考えられる。(詳細はコメントNo. 3を参照)

④地滑り面

敷地の地滑り地形の抽出



島根原子力発電所周辺の地滑り地形分布図

- ・文献調査の結果、独立行政法人防災科学技術研究所(以下、「防災科研」)が作成した地すべり地形分布図(平成17年、清水ほか(2005))では、防波壁(西端部)の地山に地滑り地形が抽出されている。
- ・防災科研調査結果の地滑り地形①付近において確認された礫質土及び粘性土については、過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから、防波壁周辺斜面の安定性確保のため、撤去することとする。(詳細はコメントNo. 1を参照)

まとめ

①破砕部, 断層

- ・敷地の地質調査の結果, 連続する破砕部や断層は認められない。

②節理面

- ・露頭調査の結果, 防波壁端部の地山には, NNE-SSW系もしくはWNW-ESE系の節理が認められるが, いずれも高角であり, 連続性は低く, 密着している。

③層理面(層理面沿いの弱層やシームを含む)

- ・防波壁端部の地山の地質は, 概ね西北西-東南東の走向を示し, 北に約 10° ~ 20° 傾斜しており, その方向に層理面が発達する。
- ・ボーリング調査結果を踏まえ, 斜面部において層理沿いの弱層の可能性のある劣化部及びシームを抽出した結果, いずれも連続性がないことを確認した。なお, 地質断面図について, シーム層準とシームの違いが分かるように適正化している。
- ・露頭調査の結果, 層理面は密着しており, これに沿う弱層は認められない。

④地滑り面

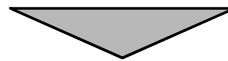
- ・防災科研調査結果の地滑り地形①付近において確認された礫質土及び粘性土については, 過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから, 防波壁周辺斜面の安定性確保のため, 撤去することとする。

以上のことから, 防波壁端部の斜面において, 安定性上考慮する必要のある弱層の有無を検討した結果, 「①破砕部, 断層」, 「②節理面」, 「③層理面」に関連する弱層は認められない。

また, 「④地滑り面」に関連して, 防災科研調査結果の地滑り地形①付近において確認された礫質土及び粘性土については, 過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから, 防波壁周辺斜面の安定性確保のため, 撤去することとする。

審査会合・現地調査における指摘事項(No.12・13)

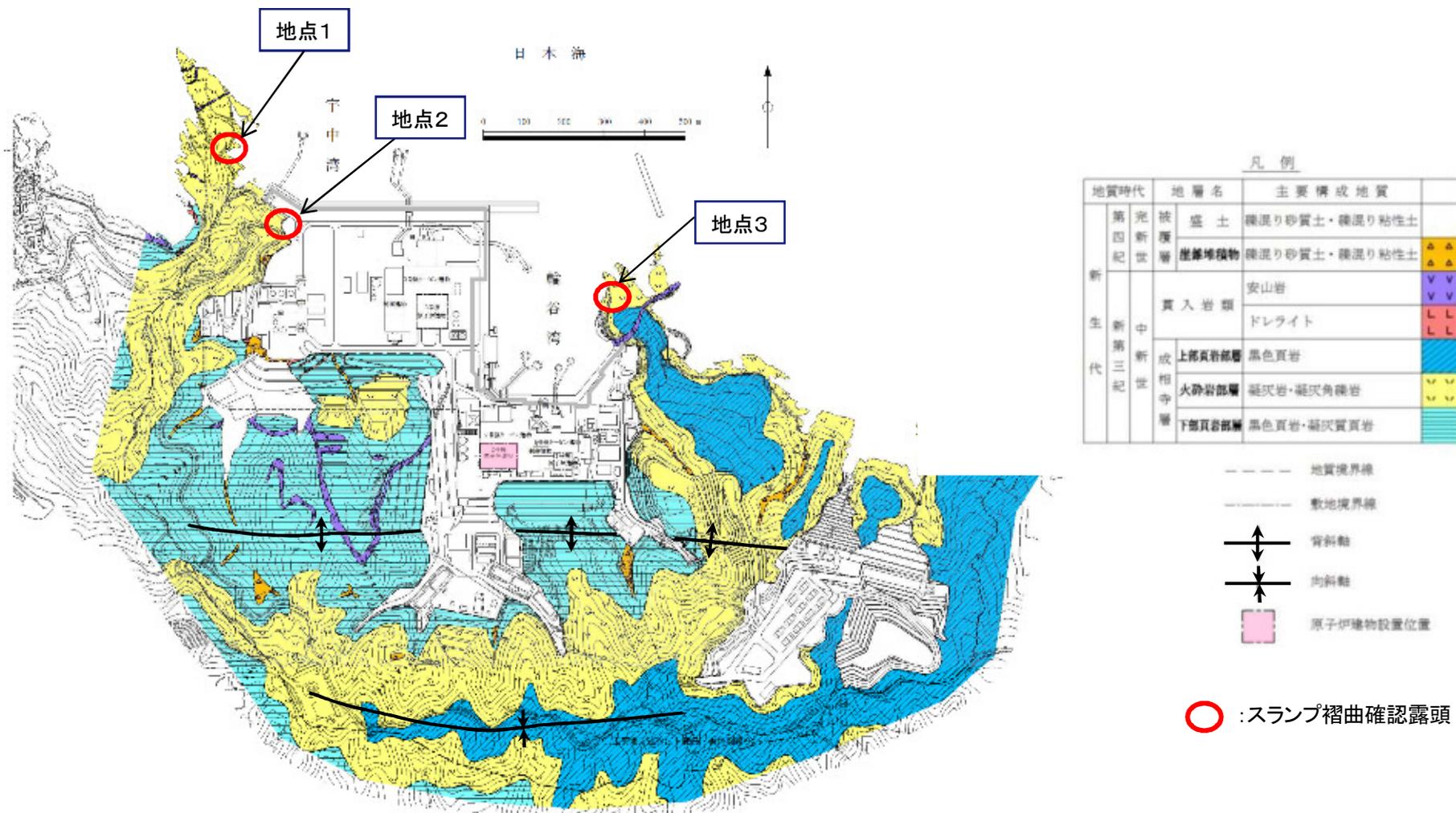
No.	コメント要旨	審査会合等	頁
12	防波壁の西端部及び東端部の露頭においてスランプ褶曲が認められることから、分布する層準について整理すること。	令和元年9月20日 現地調査	121～130
13	2号原子炉建物西側背後斜面に確認された過褶曲構造については、追加観察結果を資料化すること。	令和元年9月20日 現地調査	



回答方針

- ・敷地内で確認されたスランプ褶曲について、分布する層準を整理する。
- ・2号原子炉建物西側背後斜面に確認された過褶曲構造については、追加観察結果を資料化する。

No. 12・13 スランプ褶曲の分布層準
 スランプ褶曲確認露頭位置図

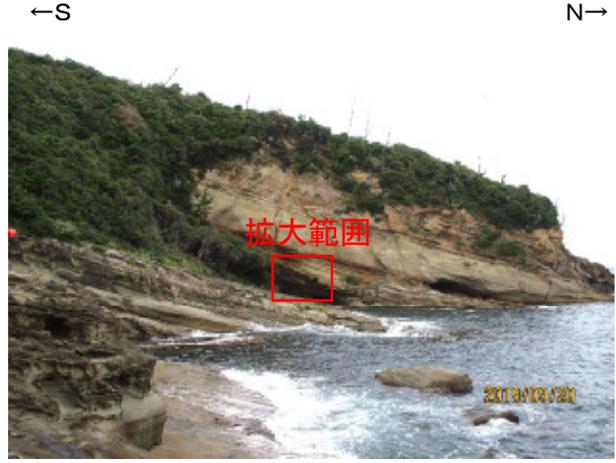
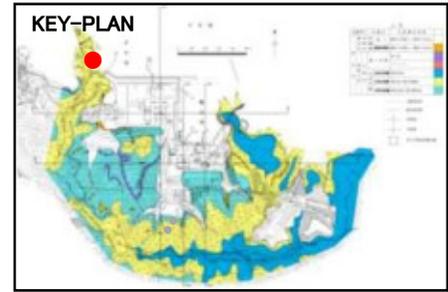


露頭で確認されたスランプ褶曲は、凝灰岩及び凝灰角礫岩を主体とする火砕岩部層中に認められる。

No. 12・13 スランプ褶曲の分布層準
スランプ褶曲の露頭状況(地点1)



海岸露頭写真(2019年10月9日撮影)



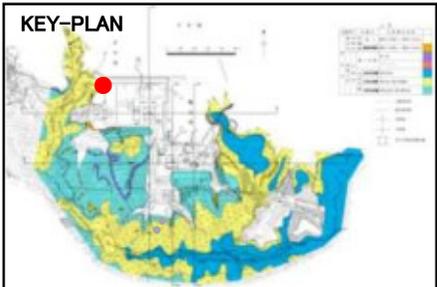
海岸露頭全景(2019年9月20日撮影)

スランプ褶曲が認められる範囲

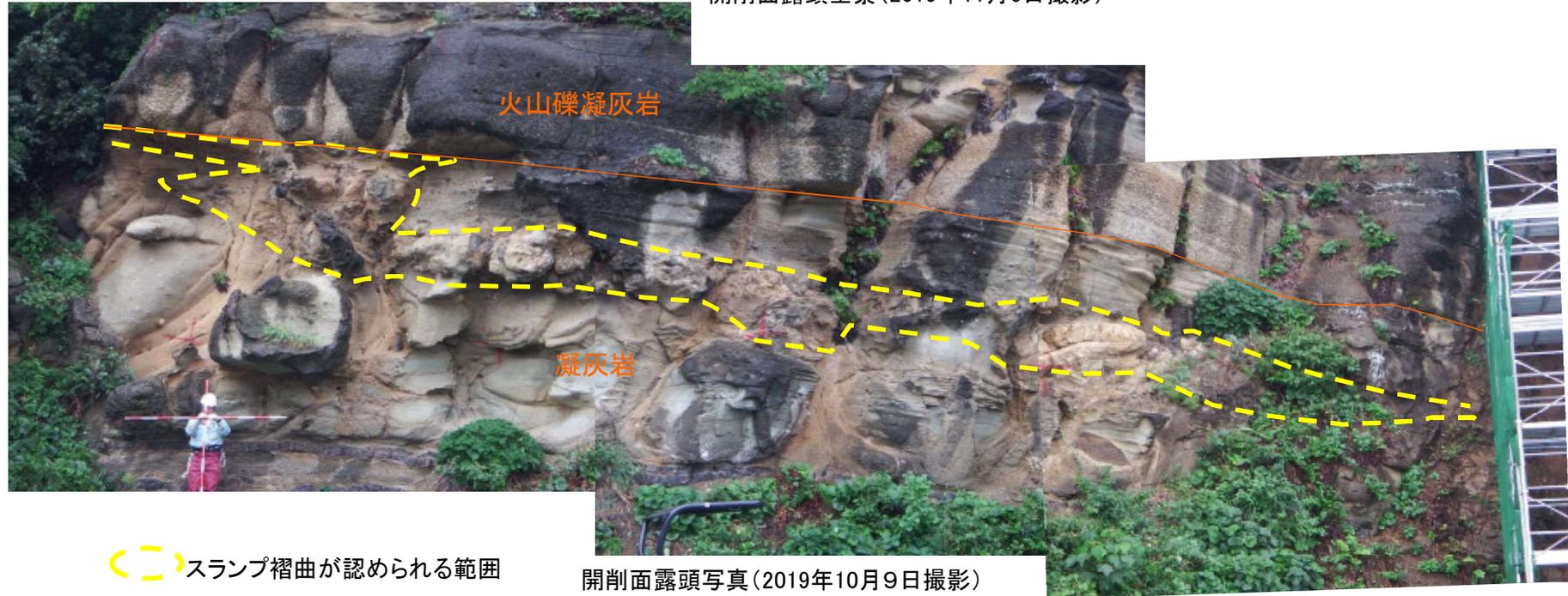
岩相境界

火山礫凝灰岩中にスランプ褶曲が認められるが、上位の火山礫凝灰岩及び下位の黑色頁岩には、褶曲構造は認められない。

No. 12・13 スランプ褶曲の分布層準
スランプ褶曲の露頭状況(地点2)



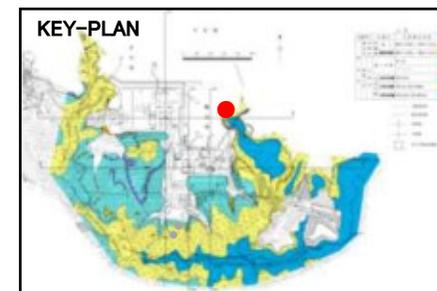
開削面露頭全景(2019年11月6日撮影)



開削面露頭写真(2019年10月9日撮影)

凝灰岩中にスランプ褶曲が認められるが、上位の火山礫凝灰岩及び下位の凝灰岩には、褶曲構造は認められない。

No. 12・13 スランプ褶曲の分布層準
スランプ褶曲の露頭状況(地点3)

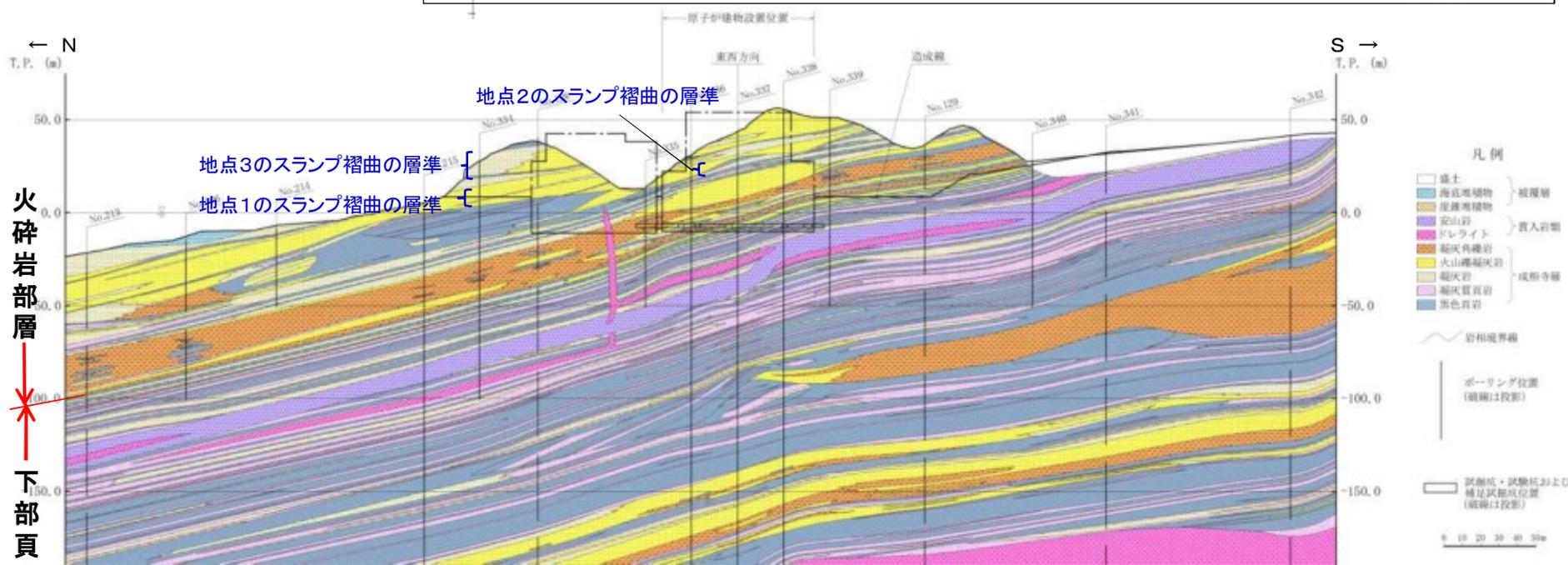
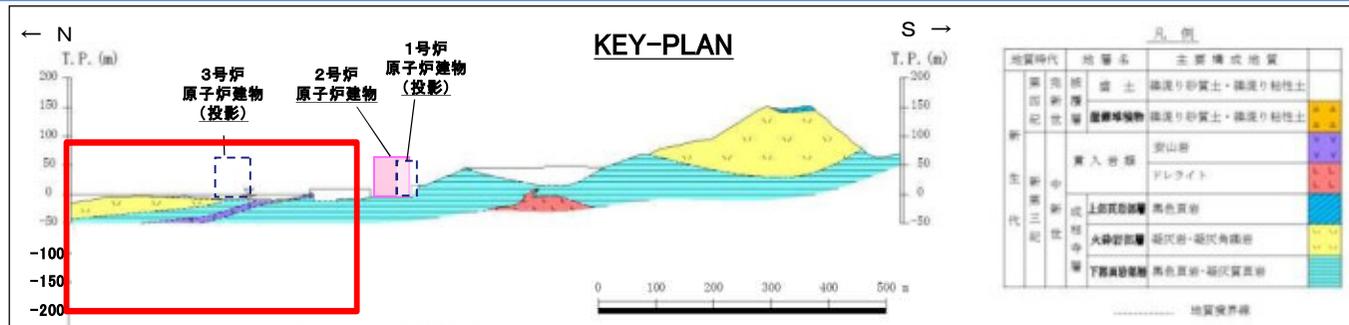


開削面露頭写真(2019年10月9日撮影)

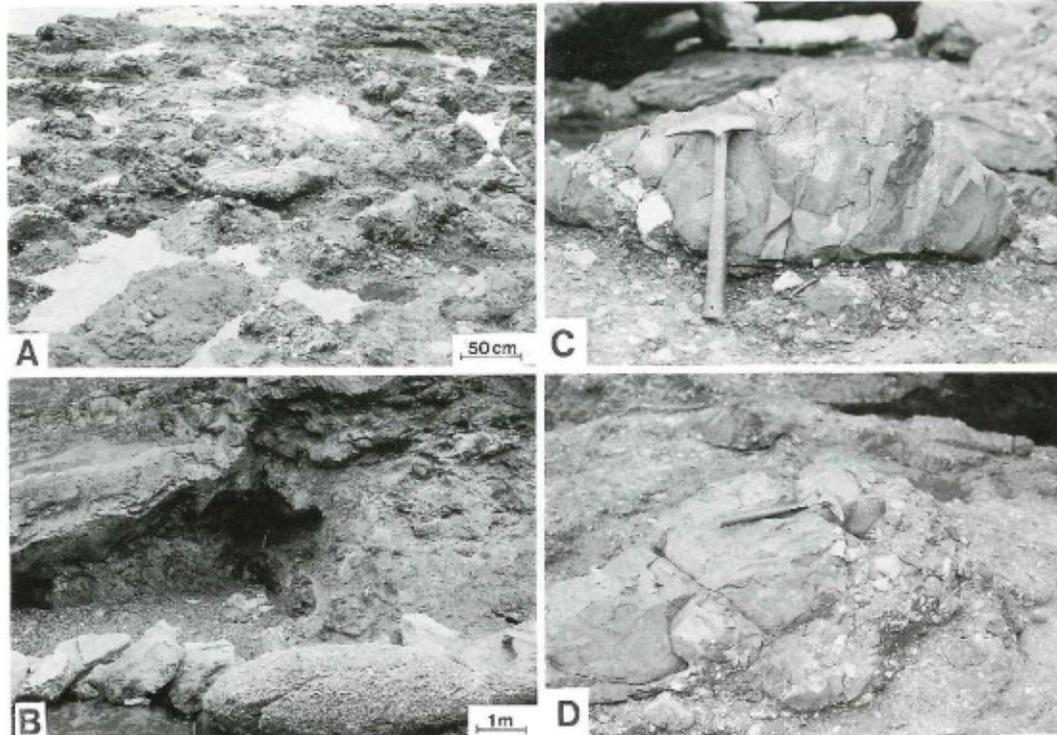
— 岩相境界

黒色頁岩中にスランプ褶曲が認められるが、上位及び下位の火山礫凝灰岩には、褶曲構造は認められない。

No. 12・13 スランプ褶曲の分布層準
 スランプ褶曲の分布する層準



- ・露頭で確認されたスランプ褶曲は、凝灰岩及び凝灰角礫岩を主体とする火砕岩部層中に認められる。
- ・これらは、いずれも新第三紀中新世の海底地すべりにより形成されたものであり、上位及び下位の地層に褶曲の影響は及んでいない。
- ・露頭で確認した層準以外にも、敷地には、複数のスランプ褶曲が存在すると考えられる。



A: スランプで千切れた泥岩岩塊。その長軸は一定方向に並ぶ傾向がある。B: 地滑り堆積物中のスランプ褶曲(地すべり岩塊を主とする堆積物の上面とその左側に見ることができる)。C: 泥岩岩塊、一部が割れてその中に基質の細かい岩片が入り込んでいる。D: 泥岩岩塊、表面に基質の岩片がへばりついている。

鹿野・中野(1986)に一部加筆

成相寺層の海底地すべり堆積物(片句東方の露頭の東岸)



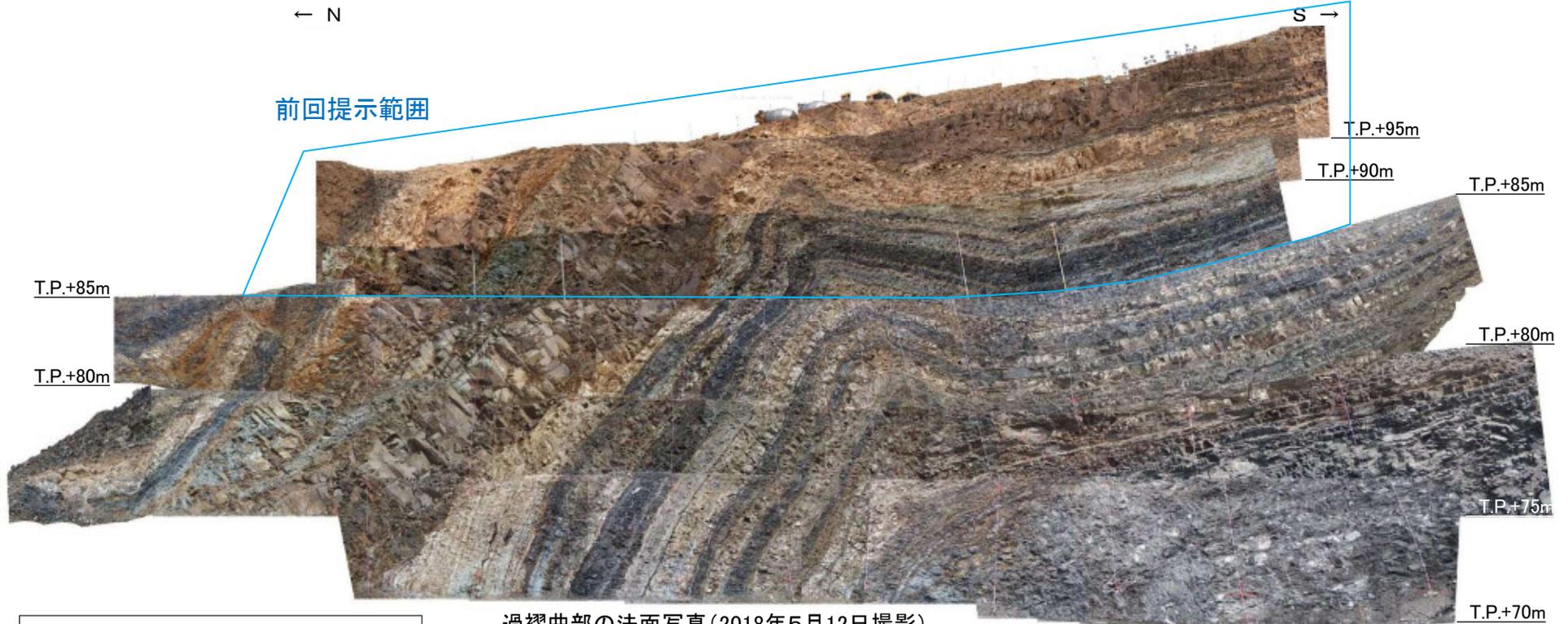
出典: 地理院地図(国土地理院HP)に一部加筆



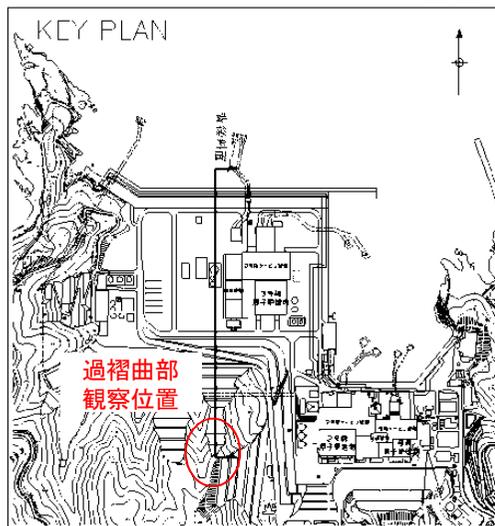
成相寺層のスランプ褶曲(手結の露頭)

- ・鹿野・中野(1986)⁽³³⁾によると、成相寺層中の火砕岩・泥質岩は、噴火や地震のたびに、あるいは重力により不安定になり、沈下・再堆積したとされている。
- ・鹿野・中野(1986)によると、敷地近傍の片句付近の海岸において、泥岩の地すべり堆積物中に、泥岩シートのスランプ褶曲が認められるとされている。
- ・敷地近傍の露頭踏査の結果、手結付近の海岸露頭において、黒色頁岩を主体としたスランプ褶曲が認められる。スランプ褶曲は、波長が不規則であること、流動的であること、及び放射状の節理等が認められないことから、未固結時の変形であると考えられる。

過褶曲部の法面写真

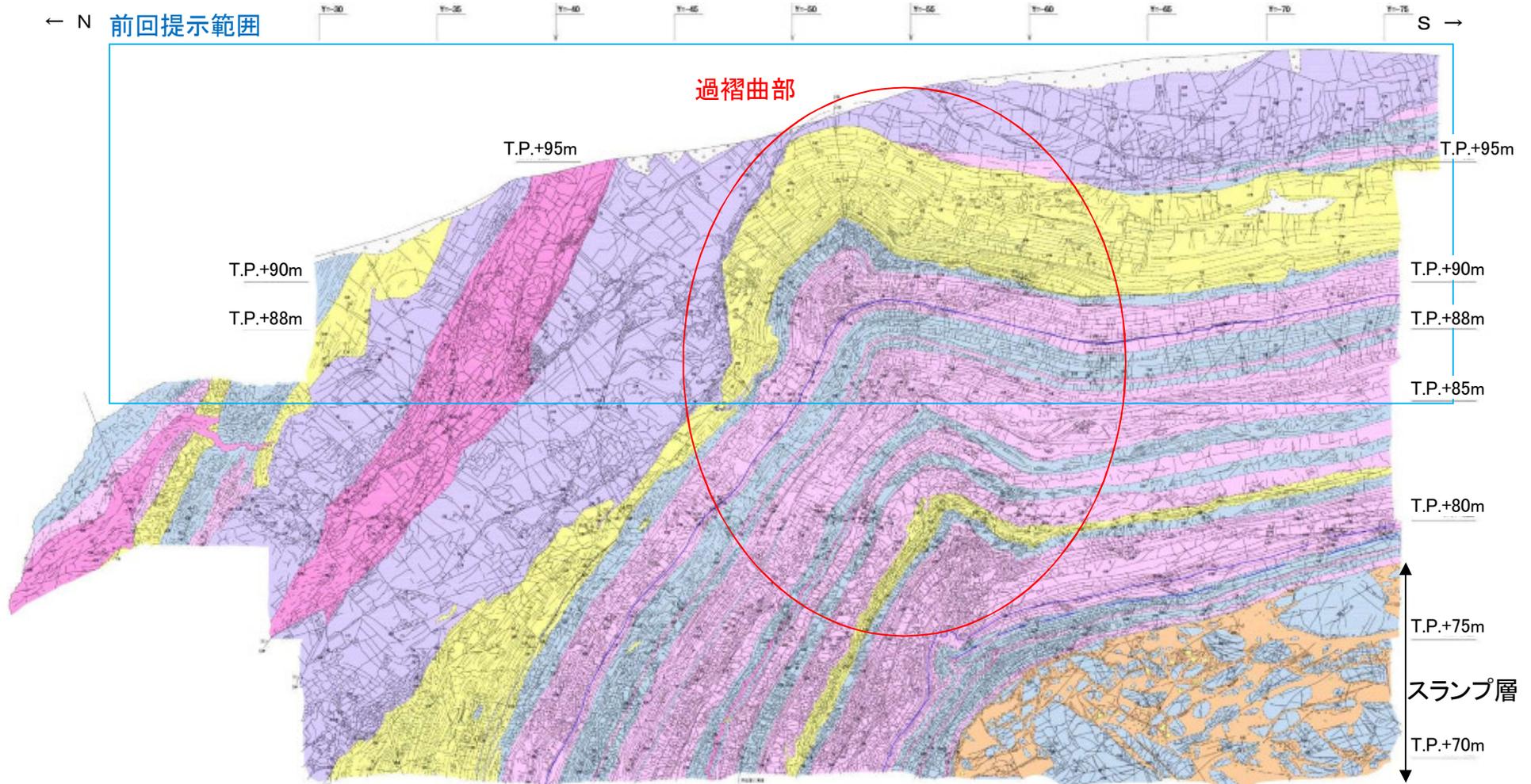


過褶曲部の法面写真(2018年5月12日撮影)



- ・過褶曲構造については、第318回審査会合(平成28年1月15日)において、青枠の範囲を示し、その成因は海底地すべり等のスランプ性のもので、深部に断層がないことを説明し、「概ね必要な検討がなされている」と評価されている。
- ・その後も、上記の確認のため、敷地造成工事の進捗に合わせて法面観察・スケッチを行い、連続写真及び地質観察スケッチを作成した。
- ・過褶曲の下位の地層は深部ほど緩やかな傾斜を示し、深部まで続く断層は認められないことから、断層起因による構造ではないことを確認した。

過褶曲部の地質観察スケッチ



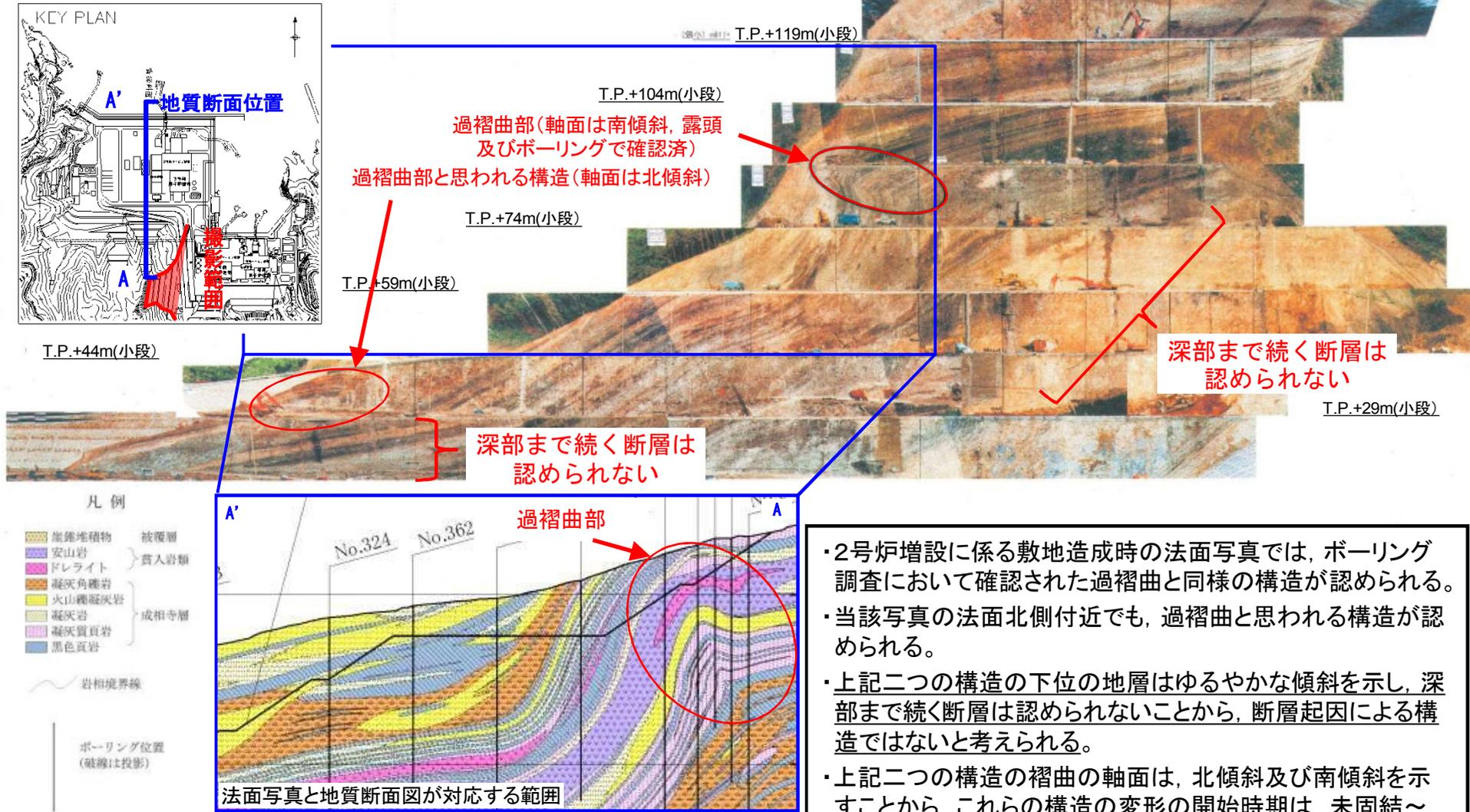
凡例			
	掘削ブツ		地質境界線
	安山岩		層理面
	ドレライト		割れ目
	凝灰角礫岩		シーム
	火山礫凝灰岩		層理面の走向・傾斜
	凝灰質頁岩		割れ目の走向・傾斜
	黒色頁岩		貫入面の走向・傾斜
			シーム、せん断面等の走向・傾斜 (条線方向)

・深部まで続く断層は認められない。
 ・スランプ層上面では、地層は緩やかな傾斜を示す。



(参考) 過褶曲部の法面写真(2号炉建設時)

2号炉増設時に各法面毎に撮影した写真を接合した。なお、撮影時期、撮影位置等の撮影状況が法面毎に異なるため、写真に記載された座標位置が整合するように画像処理を行うとともに、地質断面図との対比のため、画像を反転した。



過褶曲部(軸面は南傾斜, 露頭及びボーリングで確認済)
過褶曲部と思われる構造(軸面は北傾斜)

深部まで続く断層は認められない

深部まで続く断層は認められない

- ・2号炉増設に係る敷地造成時の法面写真では、ボーリング調査において確認された過褶曲と同様の構造が認められる。
- ・当該写真の法面北側付近でも、過褶曲と思われる構造が認められる。
- ・上記二つの構造の下位の地層はゆるやかな傾斜を示し、深部まで続く断層は認められないことから、断層起因による構造ではないと考えられる。
- ・上記二つの構造の褶曲の軸面は、北傾斜及び南傾斜を示すことから、これらの構造の変形の開始時期は、未固結～半固結時と考えられる。

法面写真と地質断面図が対応する範囲

参考文献

- (1) 清水文健・井口隆・大八木規夫(2005):5万分の1地すべり地形分布図 第26集「浜田・大社」図集, 地滑り地形分布図 惠曇, 防災科学技術研究所研究資料第285号, 防災科学技術研究所
- (2) 鈴木隆介(2000):建設技術者のための地形図読図入門, 第3巻段丘・丘陵・山地, 古今書院, p.751-776, p.811-848
- (3) 周藤賢治・小山内康人(2002):岩石学概論・上 記載岩石学 ー岩石学のための情報収集マニュアルー, 共立出版, p.23
- (4) 黒田吉益・諏訪兼位(1983):偏光顕微鏡と岩石鉱物[第2版], 共立出版株式会社, p.234
- (5) 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一(2005):簡易貫入試験を用いた崩壊恐れのある層厚推定に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第261号
- (6) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧599-2012, 東京大学出版会
- (7) 阿部真郎・林一成(2011):近年の大規模地震に伴う地すべりの運動形態と地形・地質的発生の場, 日本地すべり学会誌, 48巻, p.52-61
- (8) 佐々木克芳(1997):昭和59年長野県西部地震災害 ーよみがえる御岳ー, 砂防学会誌, Vol.49, No.5, p.57-59
- (9) 長野県土木部:昭和59年(1984年)長野県西部地震 土砂災害
<https://www.pref.nagano.lg.jp/sabo/manabu/documents/dosyajirei-p-000700.pdf>
- (10) (社)土木学会・地盤工学会合同宮城県沖の地震調査団(2003):2003年5月26日に発生した宮城県沖の地震 被害調査報告
- (11) (社)砂防学会(2018):平成30年北海道胆振東部地震土砂災害緊急調査団 第一次調査団 調査報告
- (12) 阿部真郎・高橋明久(1997):東北地方・グリーンタフ地域における地震発生時の地すべり挙動ー主として秋田県, 陸羽地震・仙北地震での検証ー, 応用地質, 第38巻, 第5号, p.265-279
- (13) 阿部真郎, 高橋明久, 荻田茂, 小松順一, 森屋洋, 吉松弘行(2006):新第三紀層分布域における地震の震度と地すべりの地形・地質的特徴, 日本地すべり学会誌, Vol.43, No.3, p.155-162
- (14) (社)新潟県地質調査業協会技術委員会(2005):新潟県中越大震災の被害の特徴と復興への課題, 地質と調査'05第2号(通巻第104号), (社)全国地質調査業協会連合会
- (15) 大八木規夫・内山庄一郎・井口隆(2008):「2004年新潟県中越地震による斜面変動分布図」の解説, 防災科学技術研究所研究資料, 第317号, p.1-37
- (16) 齊藤華苗・横山俊治・大八木規夫・井口隆・藤田勝代(2007):2004年新潟県中越地震で発生した横渡地すべり(No.101)の素因と運動像, 中四国応用地質学会
- (17) 土木学会・地盤工学会(2007):2007年能登半島地震被害調査報告書

参考文献

- (18) 小荒井衛・佐藤浩(2008):平成19年(2007年)新潟県中越沖地震による斜面崩壊, 地質学雑誌, Vol.114, No.1, I - II
- (19) 丸山清輝・千田容嗣・ハスバートル・藤澤和範・石井靖雄(2010):2008年岩手・宮城内陸地震により発生した地すべりの特徴, 土木技術資料52-2
- (20) 国土技術政策総合研究所・(独)土木研究所・(独)建築研究所(2008):大規模地すべり 荒砥沢ダム周辺で発生した大規模な地すべりの状況,「平成20年岩手・宮城内陸地震」調査報告会
- (21) 野崎保(2008):新潟県中越沖地震による初生的岩盤地すべりと層面すべり, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.1, p72-77
- (22) 井口隆・大八木規夫・内山庄一郎・清水文健(2010):2008年岩手・宮城内陸地震で起きた地すべり災害の地形的背景, 防災科学技術研究所主催災害調査, 第43号, p1-10
- (23) 山科真一・山崎勉・橋本純・笠井忠宏・我妻智浩・渋谷研一(2009):岩手・宮城内陸地震で発生した荒砥沢地すべり, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.5, p42-47
- (24) 田近淳(2009):1994年北海道東方沖地震による色丹島の地すべり, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.6, p.29-32
- (25) 横田修一郎(2001):鳥取県西部地震による山間部の地盤変状と斜面崩壊の調査, 鳥取県西部地震災害調査報告書, p35-50
- (26) 島根大学鳥取県西部地震災害調査団(2001):鳥取県西部地震災害調査報告書
- (27) 水山高久・松村和樹・平松晋也・海堀正博・土屋智・恩田裕一・寺田秀樹(2001):平成13年3月24日の芸予地震による土砂災害, 砂防学会誌, Vol.54, No.1, p.98-99
- (28) 内田勉・山田正雄・森正一・藤井優・久保田哲也(2002):鳥取県西部地震による落石・岩盤崩壊の発生状況と復旧対策事例, 日本地すべり学会誌, Vol.39, No.1, p.128-136
- (29) 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧[第2版], (財)東京大学出版会
- (30) 地震調査研究推進本部:平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr_sanriku-ok3/p01.htm
- (31) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ:各地の津波浸水高と遡上高
<http://www.coastal.jp/ttjt/index.php?plugin=attach&refer=FrontPage&openfile=survey.jpg>
- (32) 岡二三生・吉田信之・甲斐誠士・飛田哲男・肥後陽介・鳥居宣之・鏡原聖史・中西典明・木本小百合・山川優樹・東瀬康孝・渦岡良介・京谷孝史(2012):東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 地盤工学ジャーナル, Vol7, No.1, p.37-55
- (33) 鹿野和彦・中野俊(1986):恵曇地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所