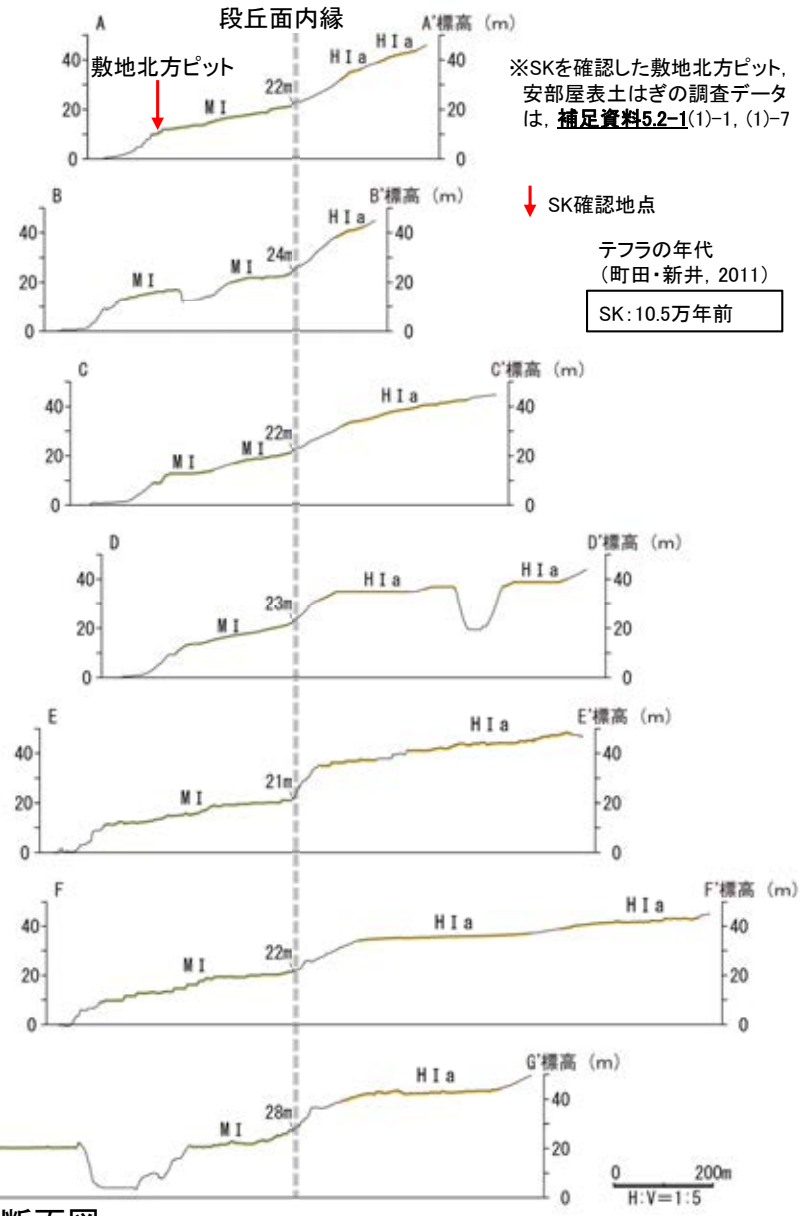
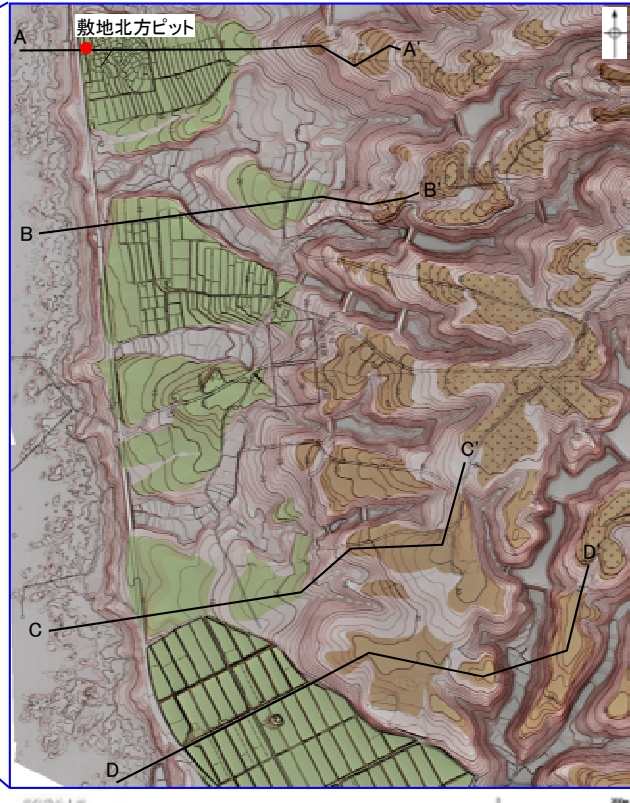
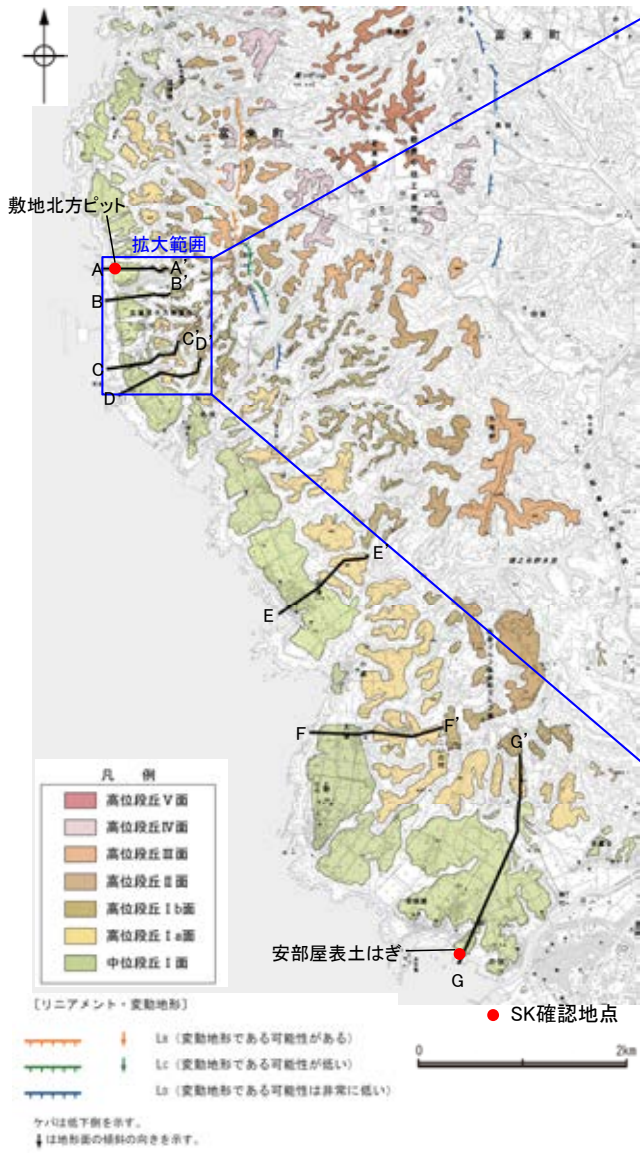


5.2(1) 能登半島南西岸の海成段丘面と堆積物の年代評価の考え方 -海成段丘面の分布②-

- 敷地を含む能登半島南西岸には、海成段丘面(中位段丘 I 面, 高位段丘 I a面)が広く分布している。
- 中位段丘 I 面の段丘面内縁は、海岸線に沿って標高22m程度で連続する。
- 中位段丘 I 面の前縁において被覆層である赤褐色土壌の下部にSK(10.5万年前)が確認された※。



※SKを確認した敷地北方ピット、安部屋表土はぎの調査データは、[補足資料5.2-1\(1\)-1, \(1\)-7](#)

↓ SK確認地点

テフラの年代
(町田・新井, 2011)

SK: 10.5万年前

地形断面の測線及び調査地点位置図

地形断面図

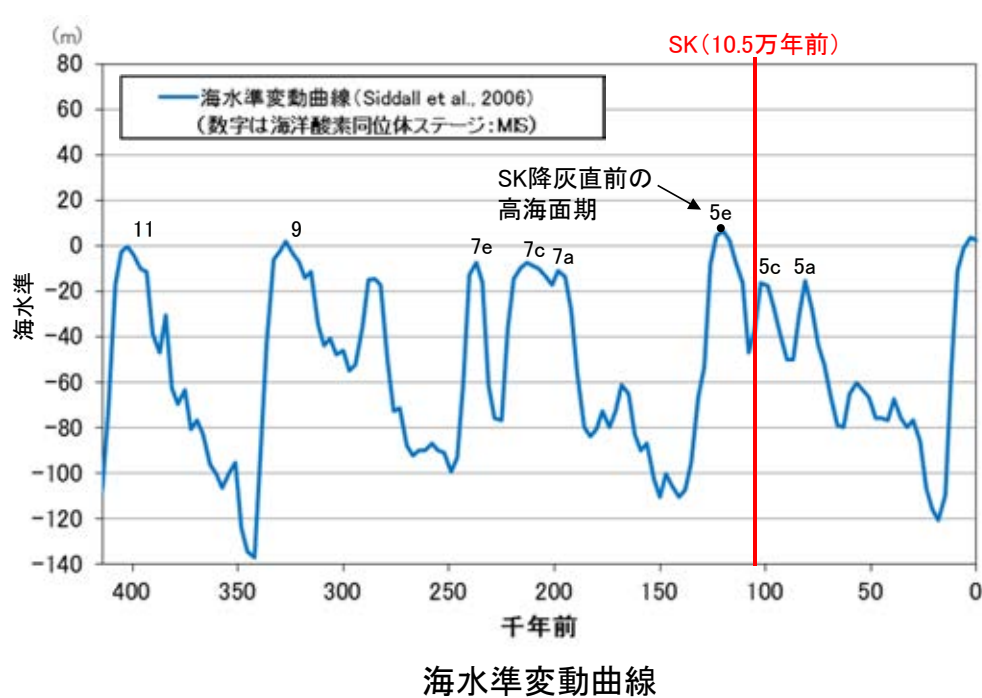
・地形断面図は、航空レーザ計測及び地形変化前の空中写真測量により作成した数値標高モデル(DEM)を用いて作成した。

5.2(1)能登半島南西岸の海成段丘面と堆積物の年代評価の考え方 - 海洋酸素同位体ステージ(MIS)との対比 -

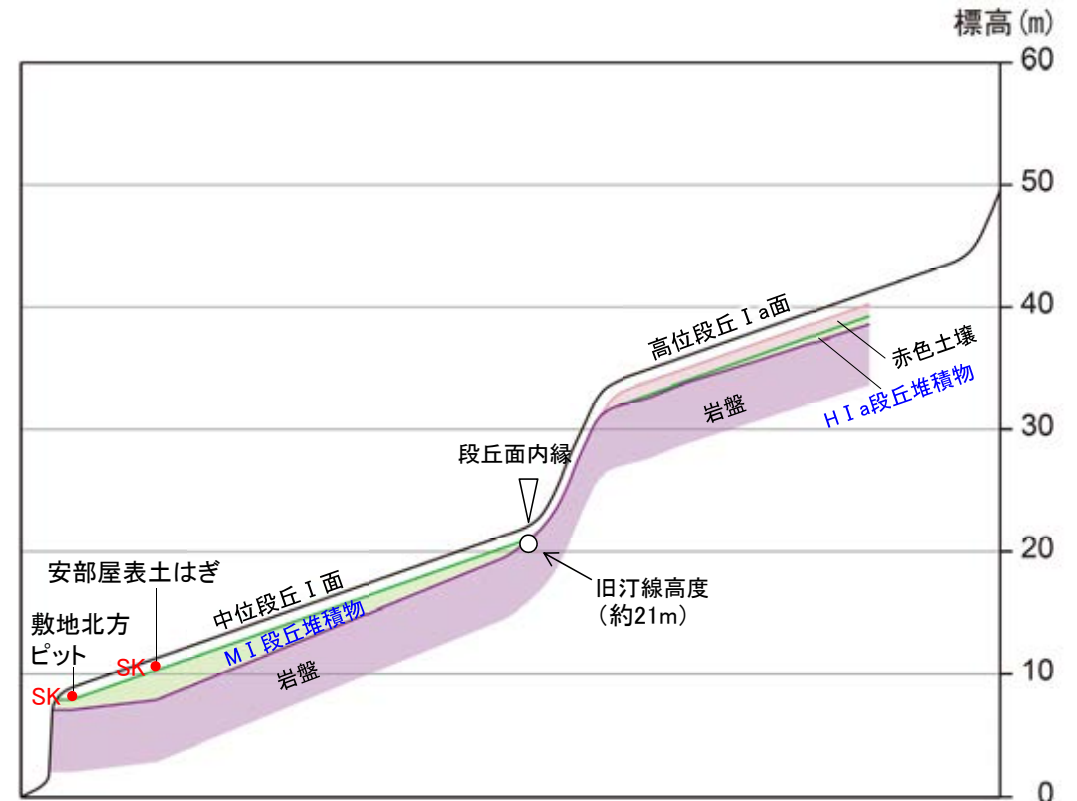
- 中位段丘 I 面の前縁において被覆層である赤褐色土壌の下部にSK(10.5万年前)が確認されたことから、中位段丘 I 面はSK降灰直前の高海面期であるMIS5e(約12~13万年前)に形成されたと判断した。
- 高位段丘 I a面は、MIS5eの旧汀線高度より高い標高に分布することから、約12~13万年前より古い高海面期に形成されたと判断した。
- これらの海成段丘面を構成する堆積物のうち、海成堆積物と認定できたものは、段丘面の形成時に堆積したと考えられることから、約12~13万年前以前に堆積したと判断した。

中位段丘 I 面を構成する海成堆積物(M I 段丘堆積物)
⇒中位段丘 I 面の形成時(約12~13万年前)に堆積したと推定できる。

高位段丘 I a面を構成する海成堆積物(H I a段丘堆積物)
⇒高位段丘 I a面の形成時(約12~13万年前より古い高海面期)に堆積したと推定できる。



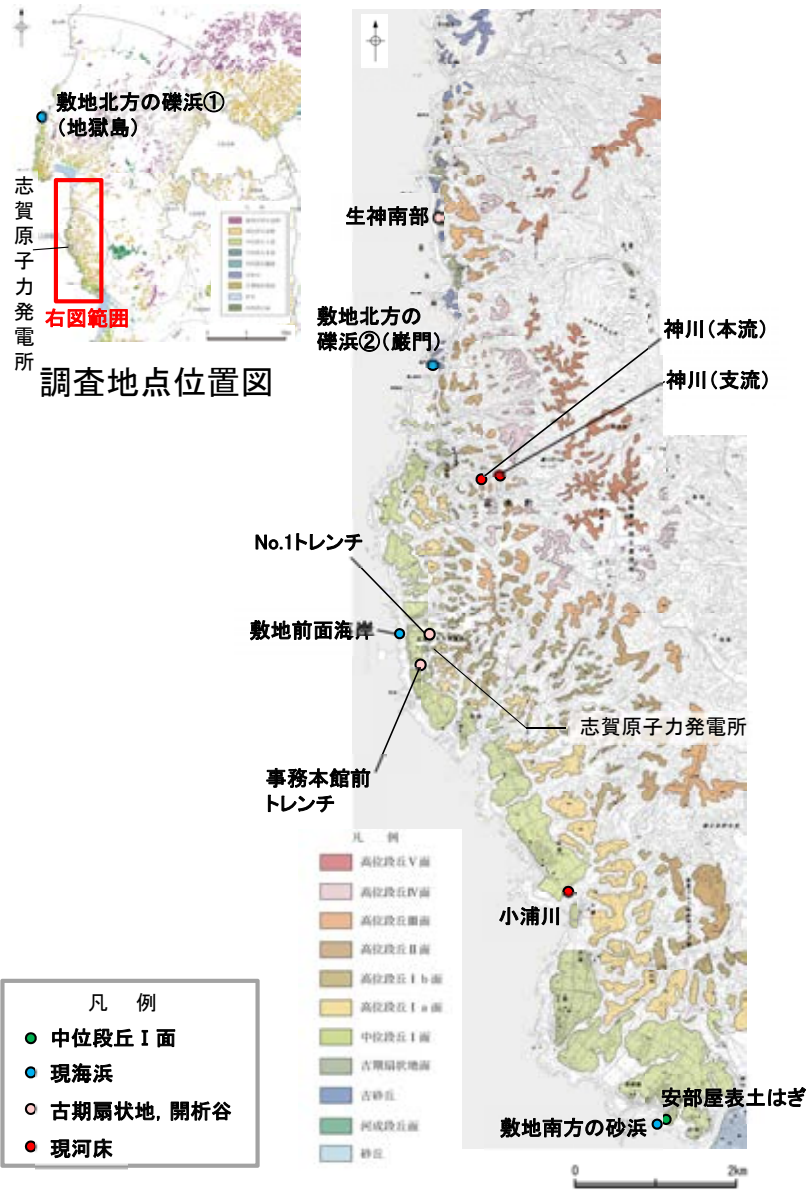
テフラの年代
(町田・新井, 2011)
SK: 10.5万年前



※SKを確認した敷地北方ピット, 安部屋表土はぎの調査データは、補足資料5.2-1(1)-1, (1)-7

5.2(2) 海成堆積物の特徴 — 調査地点 —

○本地域における海成堆積物の認定を行うための調査として、本地域における海成堆積物と陸成堆積物の違いを把握するため、下図に示す調査地点で採取した堆積物について、礫の形状、礫種、砂粒子の鉱物組成、その他の産状について露頭観察により確認し、それぞれ比較を行った。



調査地点位置図

調査地点位置図(拡大)

【調査地点】

海成堆積物 (中位段丘 I 面, 現海浜)	陸成堆積物 (古期扇状地, 開析谷, 現河床)
安部屋表土はぎ 敷地北方の礫浜 敷地前面海岸 敷地南方の砂浜	生神南部 事務本館前トレンチ No.1トレンチ 神川(本流, 支流) 小浦川

各調査地点の露頭調査データは補足資料5.2-1(1)-1 ~ (1)-6

5.2(2)海成堆積物の特徴 — 露頭観察結果 —

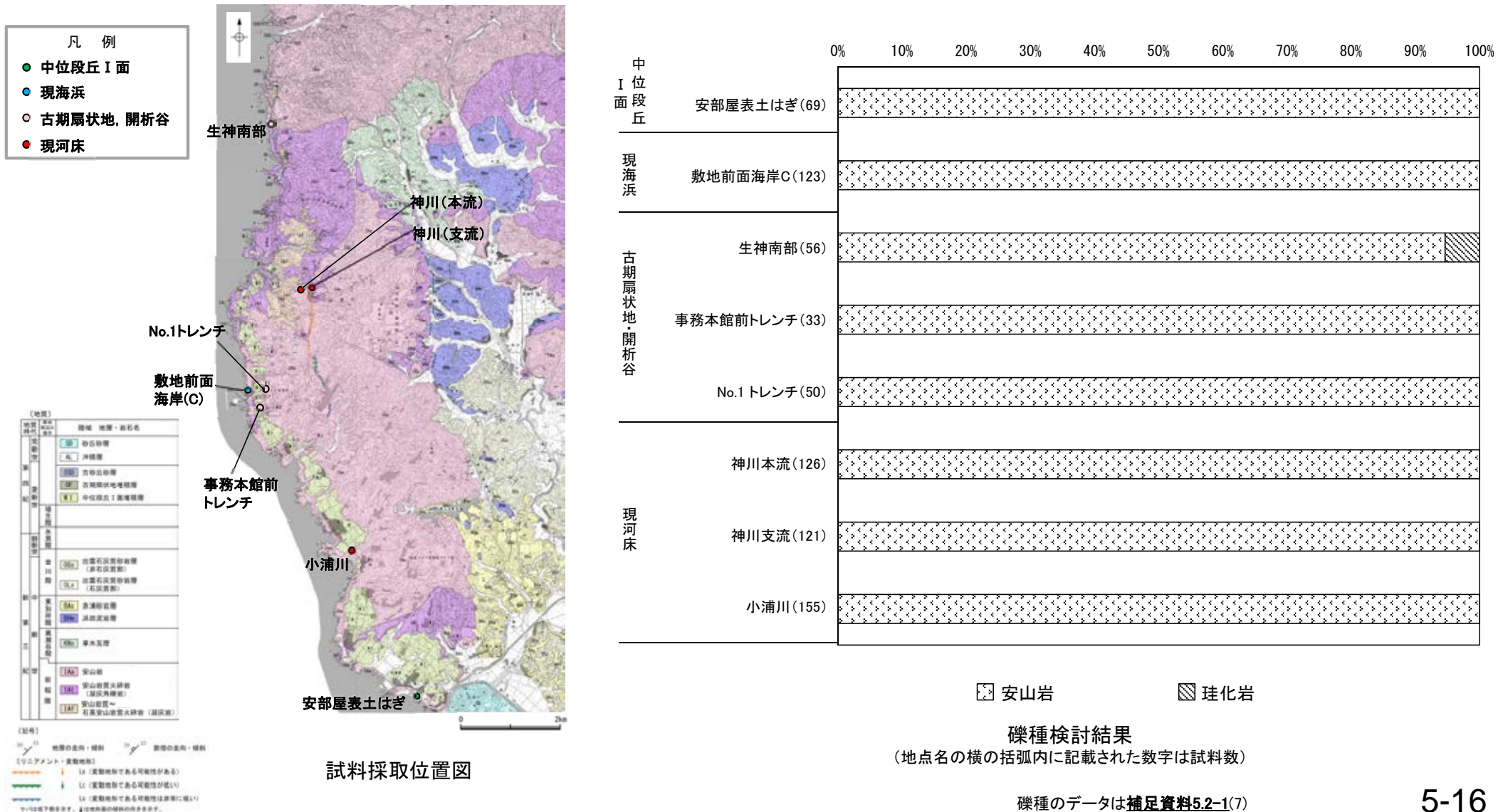
- 各調査地点での露頭観察の結果、海成堆積物は、陸成堆積物と含まれる礫の種類はほぼ同じであるが、陸成堆積物に比べて礫の円磨が進んでいることが確認された。また、海成堆積物には、その他の産状として、層理が認められる、粒径0.1～0.2mm主体の石英粒子を含む等の特徴が認められた。
- 露頭観察結果によれば、海成堆積物と陸成堆積物には下表に示すような違いが認められるが、敷地内断層において上載地層法による評価を行うにあたり、海成堆積物と陸成堆積物の違いをより明確にするため、次頁以降において、礫種構成、礫の形状、砂粒子の鉱物組成について、定量的な評価を試みた。

	調査地点		礫の種類	礫の形状				その他の産状
				円礫	亜円礫	亜角礫	角礫	
海成堆積物	中位段丘 I面	安部屋表土はぎ	安山岩主体	← 亜円～円礫 →				<ul style="list-style-type: none"> ・層理が認められる。 ・穿孔貝の穿孔痕が認められる。 ・粒径0.1～0.2mm主体の石英粒子を含む。
		敷地北方の礫浜 (地獄島, 巖門)	安山岩主体	← 円～亜角礫 →				<ul style="list-style-type: none"> ・扁平な礫が海側に傾斜した覆瓦状構造(インブ리케이션)が認められる。
	現海浜	敷地前面海岸	安山岩主体	← 亜円～亜角礫主体で円礫も混じる →				
		敷地南方の砂浜						<ul style="list-style-type: none"> ・層理が認められる。 ・貝殻片を含む。 ・粒径0.1～0.2mm主体の石英粒子を含む。
陸成堆積物	古期 扇状地	生神南部	安山岩主体	← 角～亜円礫主体で一部に円礫を含む →				<ul style="list-style-type: none"> ・扁平な礫が陸側に傾斜した覆瓦状構造(インブ리케이션)が認められる。
		開析谷	事務本館前 トレンチ	安山岩主体	← 亜円～亜角礫 →				・堆積物中に約6千年前の^{14}C年代値を示す木片を含む。
	No.1トレンチ		安山岩主体	← 角～亜円礫 →				<ul style="list-style-type: none"> ・堆積物中に年代の異なる火山灰が混在している。
	現河床	神川(本流)	安山岩主体	← 角～亜角礫 →				
		神川(支流)	安山岩主体	← 角礫 →				
		小浦川	安山岩主体	← 角礫 →				

5.2(2)海成堆積物の特徴 —礫種構成の定量的な評価—

- 敷地周辺の海成堆積物(現海浜, 中位段丘 I 面)及び陸成堆積物(現河床, 開析谷, 古期扇状地)について, 礫種構成を確認した。
- その結果, いずれの調査地点においても, 礫種はほとんどが安山岩からなり, 違いは認められなかった。
- このことは, いずれの堆積環境においても, 礫が本地域に広く分布する安山岩から供給されていることを示唆する。

○礫種構成を, 海成堆積物の認定の根拠に用いない。



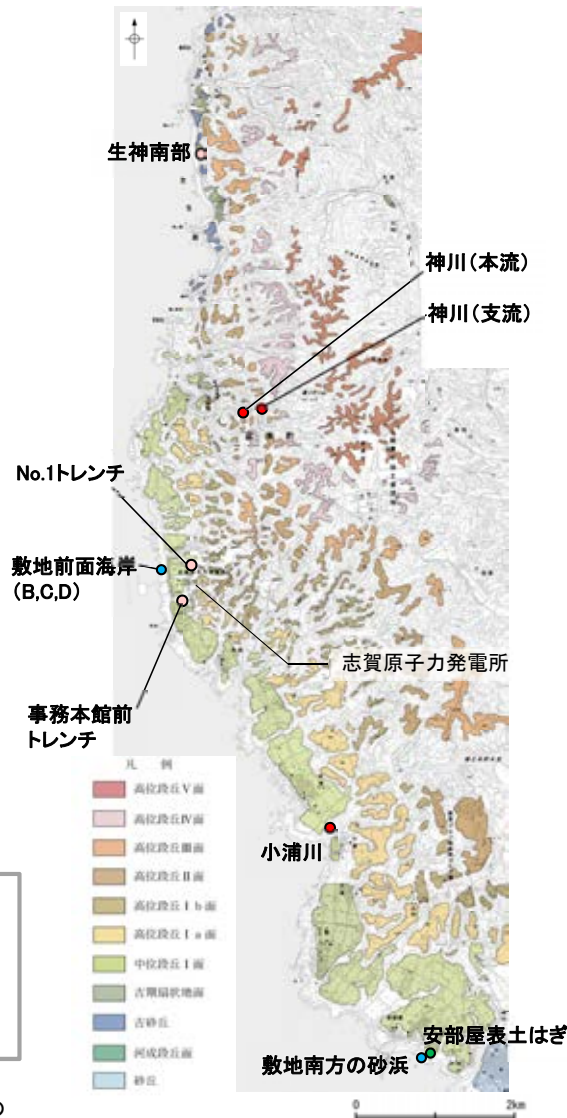
5.2(2)海成堆積物の特徴 — 礫の形状の定量的な評価(1/2) —

○礫の形状の肉眼観察結果により、本地域の海成堆積物の礫は、陸成堆積物の礫に比べて円磨が進んでいる傾向がみられた。

○石渡ほか(2019)は、海岸礫は河川礫よりも円くて扁平であることを、解析ソフトImageJ※によって計測した真円度Circularity(=4π×面積/(周囲長)²)及び楕円近似の短径長径比(b/a, c/a)により明らかにした。石渡ほか(2019)は、「海岸礫の方が河川礫よりも円くて扁平だということは、我々の計測でも明確に示され、…(中略)…これは河川と海岸における侵食・運搬の営力の違い(一方向の水流による転動に対して波浪による前後反復滑動)が礫形の違いに反映していることを示唆する」と述べている。

○これを参考にして、本地域の海成堆積物と陸成堆積物について、礫の真円度、楕円近似の中間径長径比(b/a), 短径長径比(c/a)の計測を行った(次頁)。

※ ImageJ (<http://imagej.nih.gov/ij/>)



敷地前面海岸地点B,C,Dの3箇所では礫を採取した。

試料採取位置図

【礫の形状の定量的な指標による評価】

礫の真円度、楕円近似の中間径長径比、短径長径比を指標として用いて、検証を行った。

検討の流れ

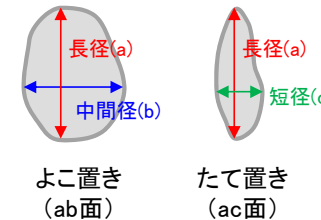
礫採取



(写真) 礫採取箇所

(採取方法)
風化による形状への影響が大きい径5cm未満の礫を除き、1平方メートル内の表層付近に分布する礫を採取した。露頭・トレンチにおいては、礫の風化により、元の形状のまま採取が困難な箇所については、試料数を確保するため、幅を2m程度まで広げて採取した。

写真撮影
(ab面・ac面)



(撮影方法)
ab面…a軸とb軸の長さが分かるようによこ置きにして撮影。
ac面…a軸とc軸の長さが分かるようにたて置きにして撮影。

ImageJによる
形状解析

真円度(Circularity) = $4\pi \cdot \text{面積} / (\text{周囲長})^2$
楕円近似の中間径長径比(よこ置き) = b/a
楕円近似の短径長径比(たて置き) = c/a

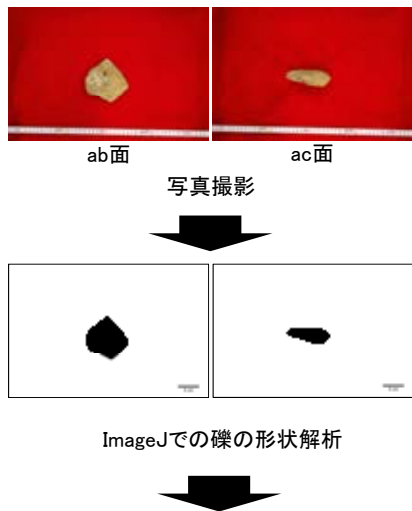
5.2(2)海成堆積物の特徴 — 礫の形状の定量的な評価(2/2) —

- 本地域の海成堆積物と陸成堆積物の礫の形状の計測を行った結果、本地域の海成堆積物の礫の平均真円度(ab面)は0.77以上、陸成堆積物の礫の平均真円度(ab面)は0.77未満であり、違いが認められた。
- 一方、平均中間径長径比(b/a)及び平均短径長径比(c/a)には、海成堆積物と陸成堆積物でほとんど違いは認められなかった。
- このことは、本地域の海浜堆積物の礫は周辺に分布する別所岳安山岩類安山岩から供給されたものであること(P.5-16)、また、本地域の海岸は主として露出した岩石からなる海岸であるため、典型的な礫浜に比べて波浪による前後反復滑動が生じにくい環境であったことにより、礫の扁平さに明確な差が出なかったものと考えられる。

- 礫の真円度を、海成堆積物の認定の根拠に用いる。
- 礫の中間径長径比、短径長径比を、海成堆積物の認定の根拠に用いない。

侵食・運搬作用を受けにくいと考えられる径の大きな礫の影響も考慮し、同程度の礫の大きさで比較した結果を補足資料5.2-1(8)に示す。

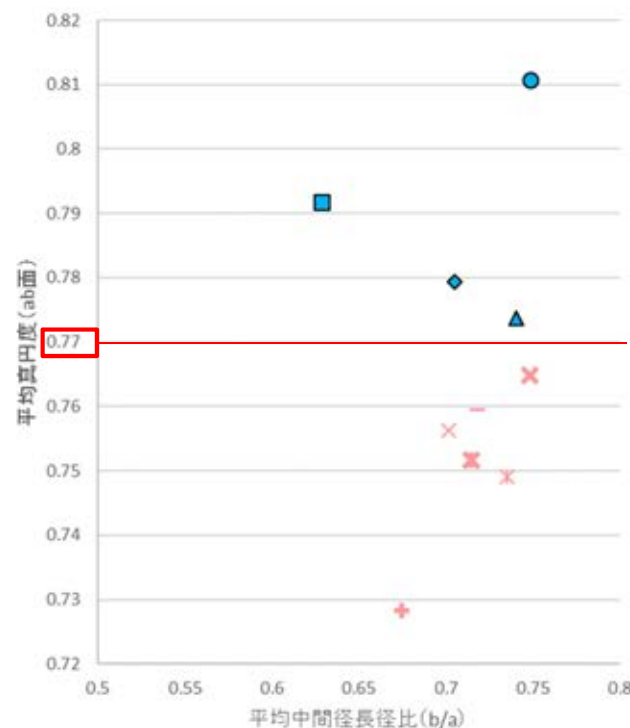
【解析の流れ】



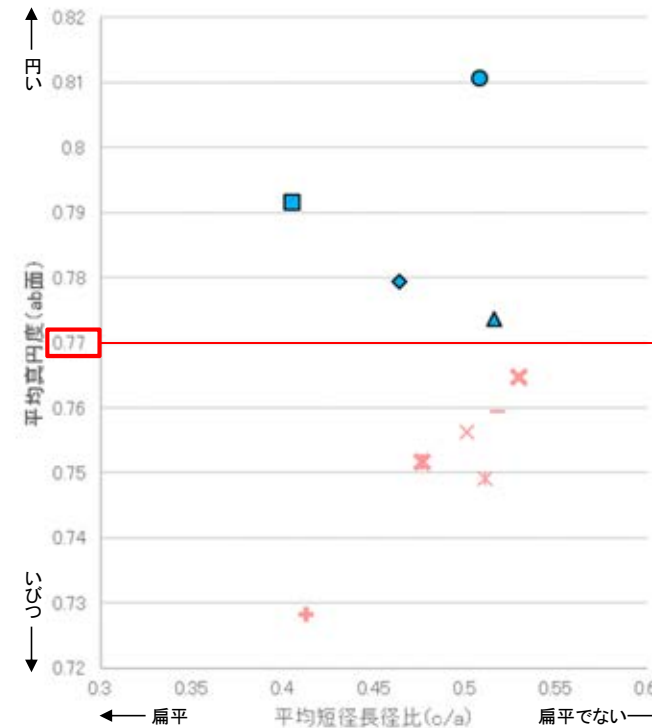
ab面の真円度の値と、ab面、ac面における楕円近似の短径長径比を測定。ただし、風化による形状への影響が大きい径5cm未満の礫を除くため、ab面における長径(a)と中間径(b)の平均値、ac面における長径(a)と短径(c)の平均値のいずれかが5cm未満の礫については、計算に含めない。

礫の形状の計測データは補足資料5.2-1(7)

【礫の形状の計測結果】



平均真円度(ab面)と平均中間径長径比(b/a)の関係図
(ab面の二次元的な形状を表す)



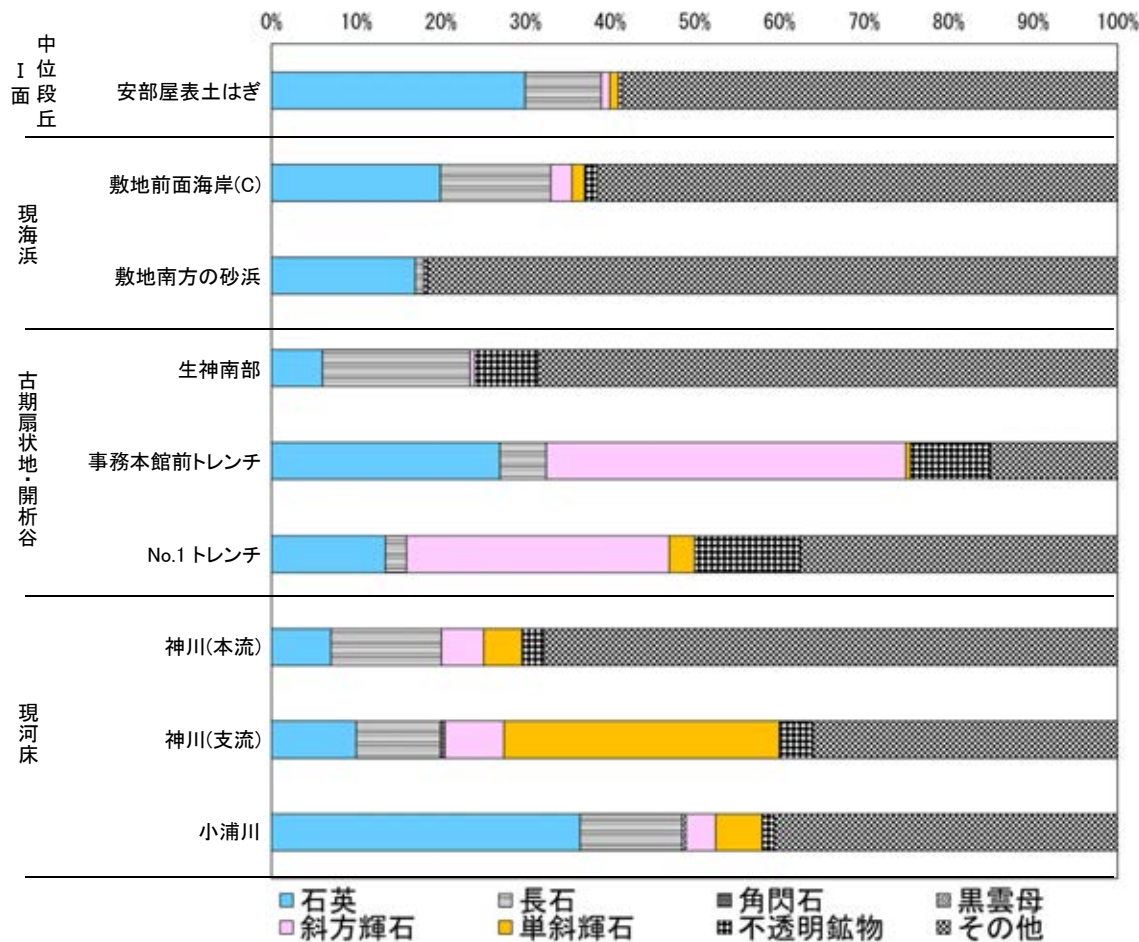
平均真円度(ab面)と平均短径長径比(c/a)の関係図
(三次元的な形状を表す)

- 凡例
(括弧内の数字は試料数)
- 中部段丘I面
 - 安部屋表土はぎ(21)
 - 現海浜
 - ▲ 敷地前面海岸B(122)
 - ◆ 敷地前面海岸C(111)
 - 敷地前面海岸D(115)
 - 古期扇状地
 - 生神南部(48)
 - 開析谷
 - × 事務本館前トレンチ(24)
 - × No.1トレンチ(34)
 - 現河床
 - × 神川本流(81)
 - × 神川支流(96)
 - ◆ 小蒲川(132)

5.2(2)海成堆積物の特徴 —砂粒子の鉱物組成の定量的な評価—

- 砂粒子の実体顕微鏡観察及びXRD分析の結果、海成堆積物(現海浜, 中位段丘 I 面)には石英が含まれるが、陸成堆積物(現河床, 開析谷, 古期扇状地)に比べて輝石類が少ない傾向がみられる。
- このことは、本地域の海成堆積物には、陸域に広く分布する安山岩由来の粒子よりも、海域の沿岸流により供給された粒子を多く含むことに起因すると考えられる(補足資料5.2-1(6))。
- しかしながら、陸成堆積物にも石英が多く含まれる箇所がみられた(事務本館前トレンチ, 小浦川)。
- これら陸成堆積物に含まれる石英粒子は、後背地の海成段丘面に分布する堆積物から供給されたものと考えられる。

○海成堆積物の砂粒子の鉱物組成は、石英が多く輝石類が少ない傾向が見られるものの、陸成堆積物には、後背地の海成堆積物から供給された砂粒子が混在している可能性があるため、砂粒子の鉱物組成を海成堆積物の認定の根拠に用いない。



実体顕微鏡観察に基づく鉱物組成 (n=200)

地点	検出鉱物										
	石英	クリストバライト	カリ長石	斜長石	角閃石	輝石類	雲母鉱物	7A型ハロイサイト	ギブサイト	磁赤鉄鉱	赤鉄鉱
安部屋表土はぎ	◎		+	△		+					
敷地前面海岸(C)	○			○		+					±
敷地南方の砂浜	◎		+	△	±						
生神南部	○	+	△	±			±				±
事務本館前トレンチ	◎			+		+		±	±		±
No.1トレンチ	△	△		+		+		+		±	±
神川(本流)	△			△		△		+			±
神川(支流)	△			△		△		±			±
小浦川	◎		△	△		△	±				±

量比

◎: 多量(>5,000cps), ○: 中量(2,500~5,000cps), △: 少量(500~2,500cps),
+: 微量(250~500cps), ±: きわめて微量(<250cps).

実体顕微鏡観察を行った試料と同一の試料におけるXRD分析結果

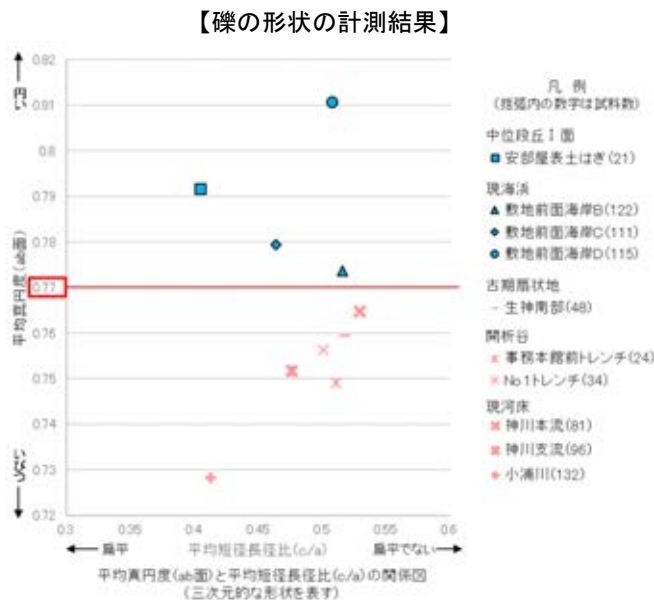
実体顕微鏡観察写真及びXRD分析チャートは補足資料5.2-1(1)
P.5.2-1-8, 14, 16, 20, 25, 30, 34, 35, 37

5.2(2) 海成堆積物の特徴 一定量的な評価

- 本地域の海成堆積物と陸成堆積物について、礫種構成、礫の形状、砂粒子の鉱物組成を定量的に分析し、比較を行った。
- 礫種構成については、いずれの調査地点においても、礫種はほとんどが安山岩からなり、違いは認められなかった。
- 礫の形状については、礫の平均真円度には違いが認められた(海成堆積物は0.77以上、陸成堆積物は0.77未満)が、平均短径長径比には、違いは認められなかった。
- 砂粒子の鉱物組成については、海成堆積物は陸成堆積物に比べて石英が多く含まれ、輝石類が少ない傾向がみられるものの、陸成堆積物にも石英が多く含まれる箇所がみられた。

- 礫の真円度を、本地域の海成堆積物の認定の根拠として用いる。
- 礫種構成、礫の短径長径比、砂粒子の鉱物組成は、海成堆積物の認定の根拠に用いない。

	調査地点		礫種構成	礫の形状		砂粒子の鉱物組成
				平均真円度 (ab面)	平均短径長径比 (c/a)	
海成堆積物	中位段丘 I 面	安部屋表土はぎ	安山岩100%	0.792	0.405	石英30%, 輝石類2%
	現海浜	敷地前面海岸(B)	—	0.774	0.516	—
		敷地前面海岸(C)	安山岩100%	0.779	0.464	石英20%, 輝石類4%
		敷地前面海岸(D)	—	0.811	0.508	—
		敷地南方の砂浜	—	—	—	石英17%, 輝石類0%
陸成堆積物	古期扇状地	生神南部	安山岩95%, 珪化岩5%	0.760	0.518	石英6%, 輝石類1%
	開析谷	事務本館前トレンチ	安山岩100%	0.749	0.511	石英27%, 輝石類44%
		No.1トレンチ	安山岩100%	0.756	0.501	石英14%, 輝石類34%
	現河床	神川(本流)	安山岩100%	0.765	0.530	石英7%, 輝石類10%
		神川(支流)	安山岩100%	0.752	0.477	石英10%, 輝石類40%
		小浦川	安山岩100%	0.728	0.413	石英37%, 輝石類9%



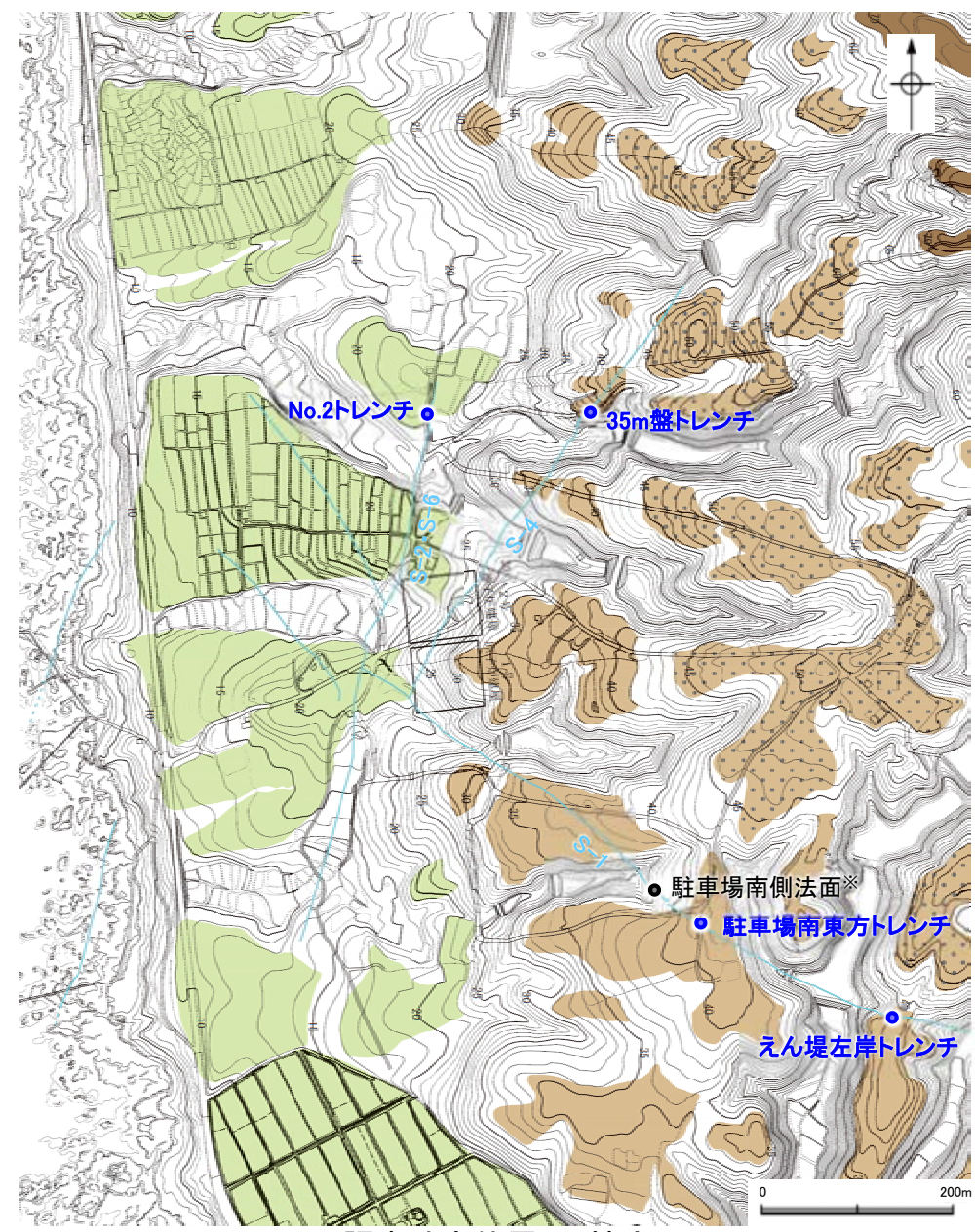
—: 定量的な分析を実施していない

5.2(3) 敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定

○海成段丘面を構成する堆積物のうち、S-1, S-2・S-6, S-4の直上(下図の青丸箇所)に分布する堆積物について、本地域の海成堆積物及び陸成堆積物と比較することにより、海成堆積物かどうかの確認を行った。

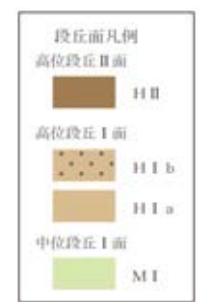


位置図



調査地点位置図(拡大)

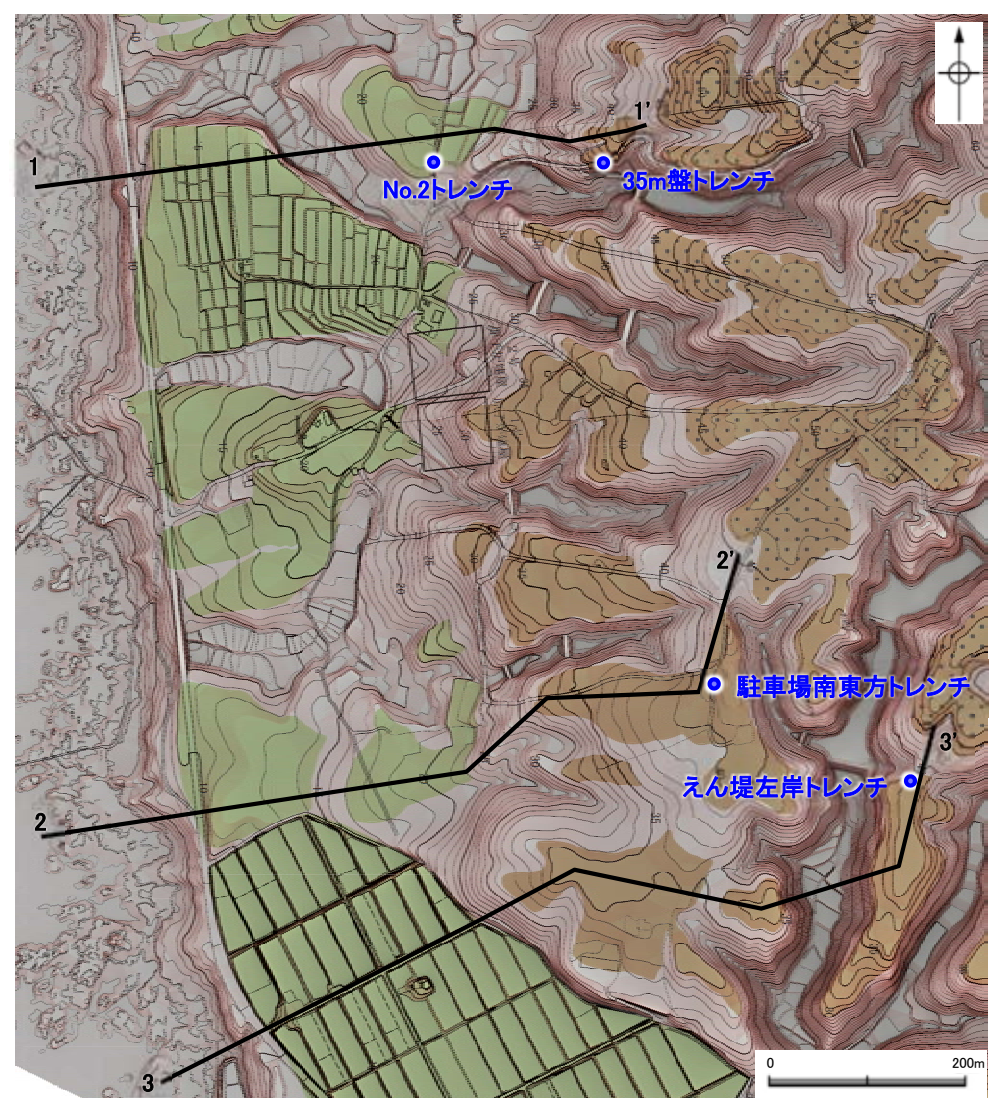
※駐車場南側法面の堆積物については、高位段丘Ia面の縁辺斜面に位置することから、古期斜面堆積物であると判断した(補足資料5.2-1(1)-12)。



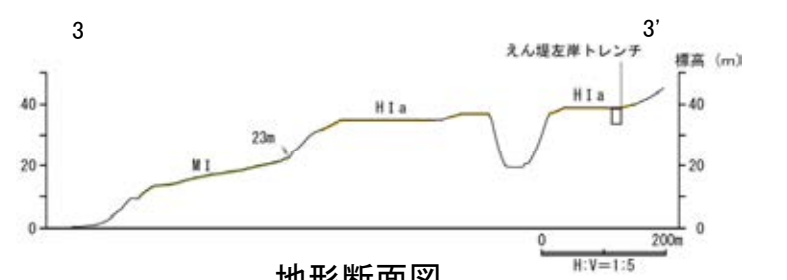
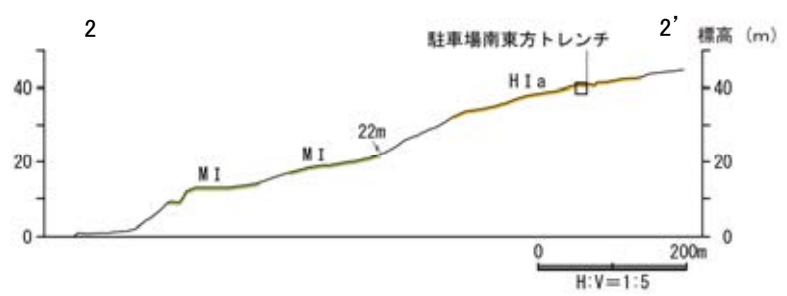
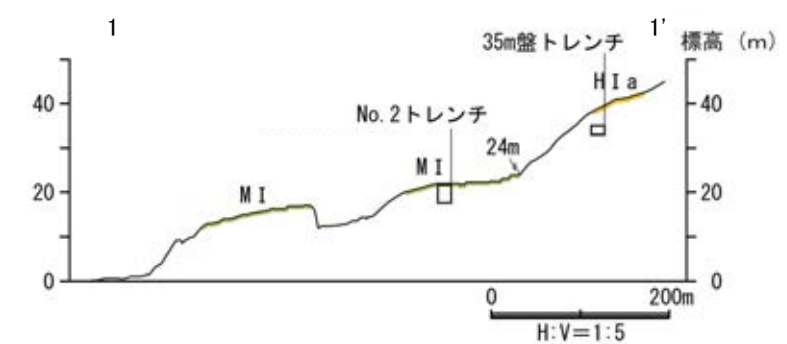
— 評価対象断層
(地表に投影)

5.2(3)敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定 ー分布の特徴ー

○No.2トレンチ, 35m盤トレンチ, 駐車場南東方トレンチ及びえん堤左岸トレンチの堆積物は, 海成段丘面(中位段丘 I 面及び高位段丘 I a面)の岩盤直上に分布している砂礫層であり, 段丘面形成後の侵食等の痕跡は見られない。



調査位置図



地形断面図

5.2(3)敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定 ー 露頭観察結果 ー

- 礫の形状の肉眼観察の結果, No.2トレンチ, 35m盤トレンチ, 駐車場南東方トレンチの堆積物の礫は, 陸成堆積物に比べて, 円磨が進んでいることが確認された。
- このことを定量的な指標により確認するため, これら3箇所から採取した礫について, P.5-17と同じ手法により, 礫のab面, ac面を対象として, 解析ソフトImageJによる三次元的な礫形状の計測を行った(次頁)。
- 一方, えん堤左岸トレンチの堆積物の礫については, 肉眼観察の結果, 陸成堆積物との明確な差異が認められなかった。また, 礫径が小さく風化が進み, トレンチ壁面からの採取が困難であり, 追加掘削したえん堤左岸トレンチ(追加部)においても同様の状況であった。よって, えん堤左岸トレンチ(追加部)の壁面の写真を用いて礫をトレースし, 礫の中間径(b)と短径(c)が等しいと仮定して, 二次元的に礫の形状の計測を行った。

調査地点		礫の形状				その他の産状	
		円礫	亜円礫	亜角礫	角礫		
高位段丘 I a面	中位段丘 I 面 No.2トレンチ	⇐ 亜円～亜角礫 ⇒				・層理が認められる。	
	35m盤トレンチ	⇐ 亜円～亜角礫主体で円礫も混じる ⇒					
	駐車場南東方トレンチ	⇐ 亜円～円礫 ⇒				・扁平な礫が海側に傾斜した覆瓦状構造(インブリケーション)が認められる。	
	えん堤左岸トレンチ(追加部含む)	⇐ 亜角～亜円礫 ⇒					
海成堆積物	中位段丘 I 面 安部屋表土はぎ	⇐ 亜円～円礫 ⇒				・層理が認められる。 ・穿孔貝の穿孔痕が認められる。	
	現海浜	敷地北方の礫浜	⇐ 円～亜角礫 ⇒				・扁平な礫が海側に傾斜した覆瓦状構造(インブリケーション)が認められる。
		敷地前面海岸	⇐ 亜円～亜角礫主体で円礫も混じる ⇒				
		敷地南方の砂浜	⇐ 亜角～亜円礫 ⇒				・層理が認められる。 ・貝殻片を含む。
陸成堆積物	古期扇状地 生神南部	⇐ 角～亜円礫主体で一部に円礫を含む ⇒				・扁平な礫が陸側に傾斜した覆瓦状構造(インブリケーション)が認められる。	
	開析谷	事務本館前トレンチ	⇐ 亜円～亜角礫 ⇒				・堆積物中に約6千年前の ¹⁴ C年代値を示す木片を含む。
		No.1トレンチ	⇐ 角～亜円礫 ⇒				・堆積物中に年代の異なる火山灰が混在している。
	現河床	神川(本流)	⇐ 角～亜角礫 ⇒				
		神川(支流)	⇐ 角礫 ⇒				
		小浦川	⇐ 角礫 ⇒				

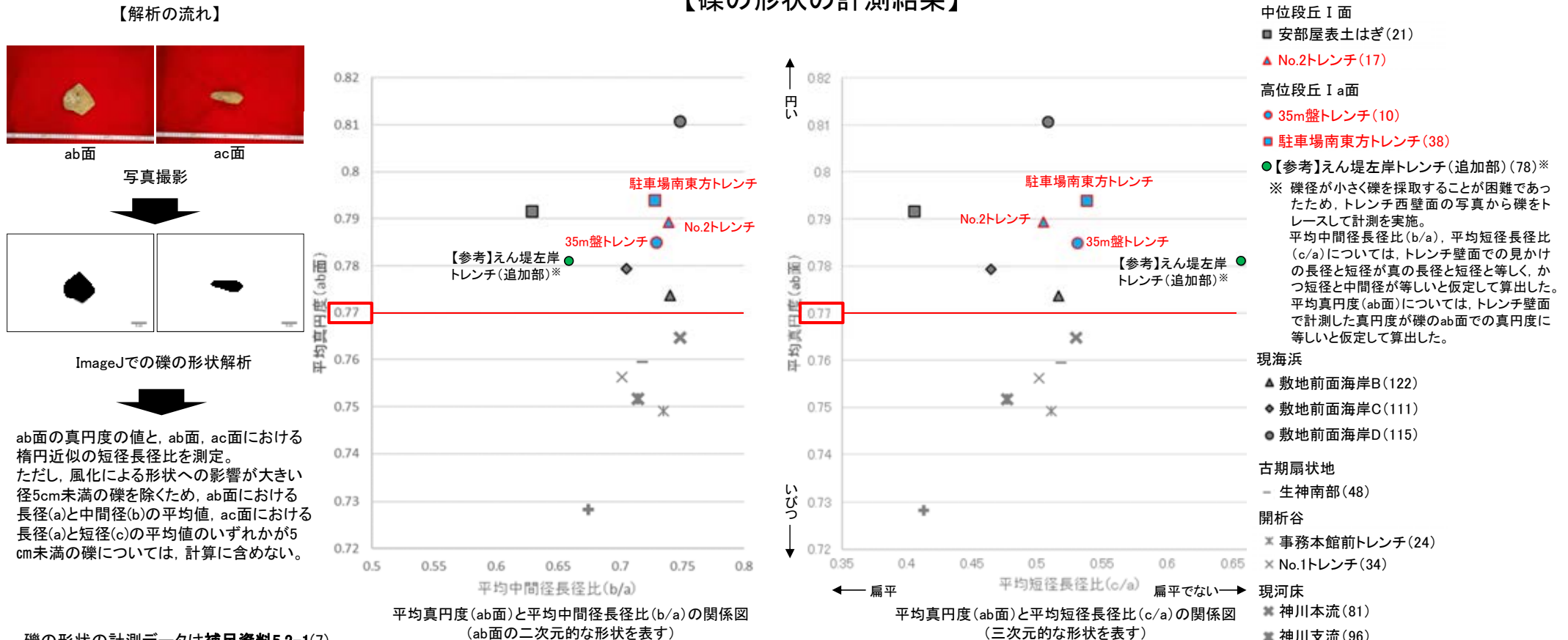
No.2トレンチ, 35m盤トレンチ, 駐車場南東方トレンチ及びえん堤左岸トレンチの地質調査データは補足資料5.2-1(1)-8~11

5.2(3) 敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定 — 礫の形状の定量的な評価 —

- 解析ソフトImageJによる計測の結果、No.2トレンチ、35m盤トレンチ、駐車場南東方トレンチの堆積物の礫の平均真円度は0.77以上であり、本地域の海成堆積物と同程度に円磨が進んでいることが確認された。
- なお、えん堤左岸トレンチ(追加部)において、トレンチ壁面の写真から二次元的に計測を行った結果、抽出された礫の見かけの長径と短径の平均値は1試料を除きすべて5cm未満であった。それらを用いた計測の結果、礫の平均真円度は約0.78であり、0.77を上回るものの、他の地点の堆積物と同じ条件で比較できないことから、えん堤左岸トレンチの堆積物については、海成堆積物として扱わないこととした。

○したがって、No.2トレンチ、35m盤トレンチ、駐車場南東方トレンチの堆積物は、海成堆積物であると判断した。

【礫の形状の計測結果】

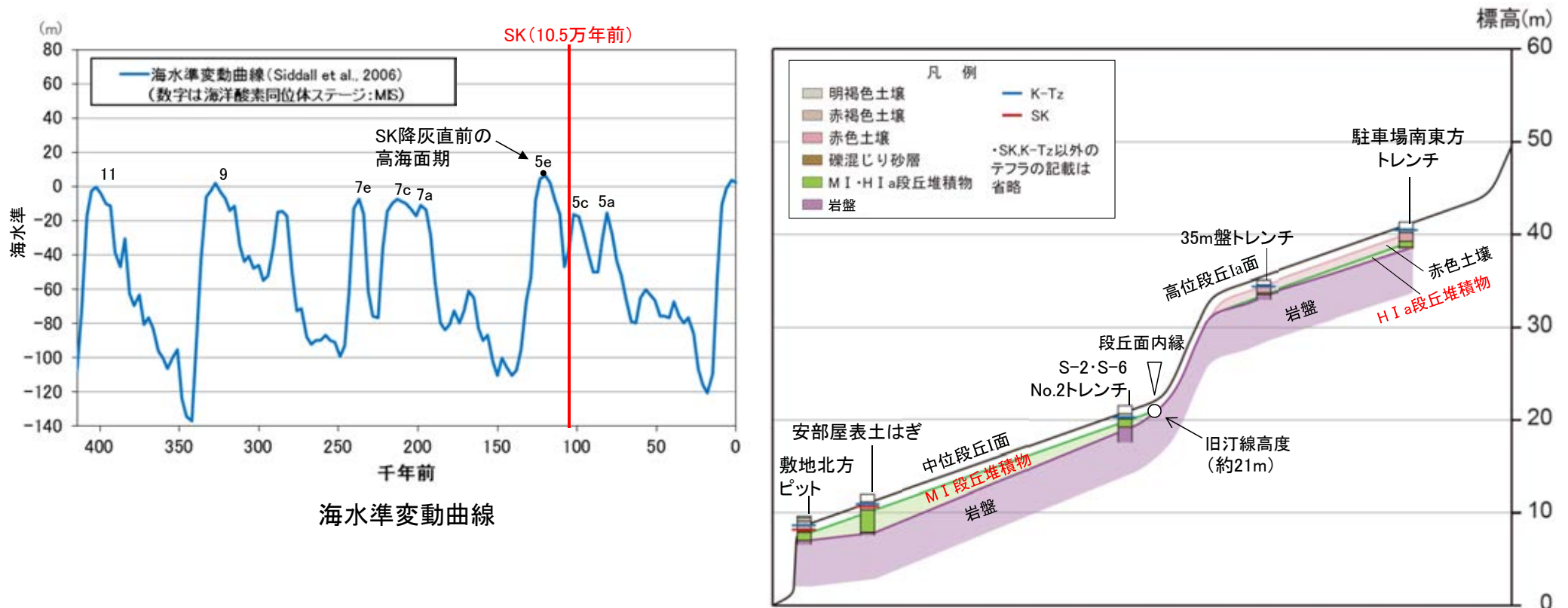


5.2(4) 堆積物の年代評価 —MI・HI a段丘堆積物—

○No.2トレンチの堆積物は、中位段丘 I 面を構成する海成堆積物(MI 段丘堆積物)であり、段丘面前縁において被覆層である赤褐色土壌の下部にSK(10.5万年前)が確認されたことから、SK降灰直前の高海面期であるMIS5e(約12~13万年前)に堆積したと判断できる。

○35m盤トレンチ及び駐車場南東方トレンチの堆積物は、高位段丘 I a面を構成する海成堆積物(HI a段丘堆積物)であり、MIS5eの旧汀線高度より高い標高に分布することから、約12~13万年前より古い高海面期に堆積したと判断できる*。

* 能登半島南西岸において推定される具体的な隆起速度を用いた検討結果は補足資料5.2-1(4)



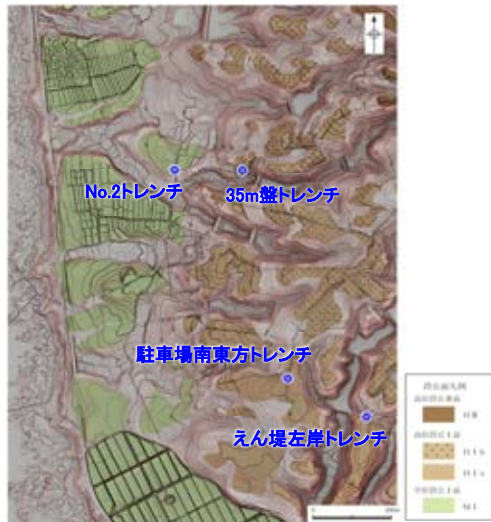
テフラの年代
(町田・新井, 2011)

K-Tz: 9.5万年前
SK: 10.5万年前

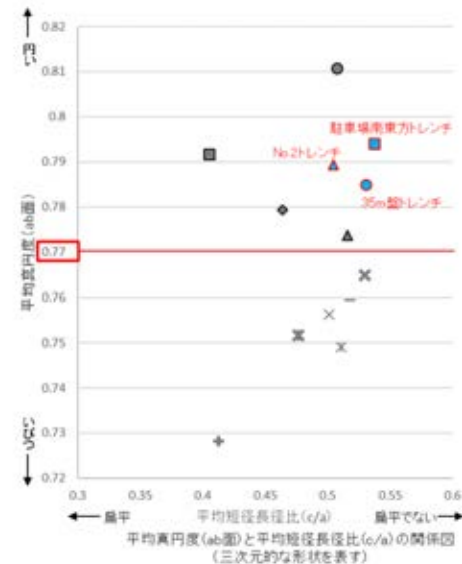
中位段丘 I 面, 高位段丘 I a面の模式断面図

5.2 上載地層法に用いる地層 ーまとめー

- No.2トレンチの堆積物は、中位段丘 I 面を構成する海成堆積物(M I 段丘堆積物)であり、MIS5e(約12~13万年前)に堆積したと判断した。
- 35m盤トレンチ及び駐車場南東方トレンチの堆積物は、高位段丘 I a面を構成する海成堆積物(H I a段丘堆積物)であり、約12~13万年前より古い高海面期に堆積したと判断した。
- したがって、No.2トレンチ、駐車場南東方トレンチ及び35m盤トレンチにおける、断層の直上に分布する堆積物は、約12~13万年前以前に堆積したものである。



位置図



- 凡例
(括弧内の数字は試料数)
- 中位段丘 I 面
 - 安部屋表土はぎ(21)
 - ▲ No.2トレンチ(17)
 - 高位段丘 I a 面
 - 35m盤トレンチ(10)
 - 駐車場南東方トレンチ(38)
 - 観測地点
 - ▲ 敷地前面海岸B(122)
 - ◆ 敷地前面海岸C(111)
 - 敷地前面海岸D(115)
 - 古崩落状地
 - 生神南部(48)
 - 開析谷
 - × 事務所前トレンチ(24)
 - × No.1トレンチ(34)
 - 観測河川
 - ※ 神川本流(81)
 - ※ 神川支流(96)
 - 小満川(132)

	No.2トレンチ (補足資料5.2-1(1)-8)	35m盤トレンチ (補足資料5.2-1(1)-9)	駐車場南東方トレンチ (補足資料5.2-1(1)-10)	えん堤左岸トレンチ (補足資料5.2-1(1)-11)
堆積物の分布の特徴	中位段丘 I 面の岩盤直上に分布する	高位段丘 I a面の岩盤直上に分布する		
礫の肉眼観察結果	礫の円磨が進んでいる			礫の円磨が進んでいない
礫の平均真円度	0.77以上 (本地域の海成堆積物と同程度)			—
海成堆積物の認定結果	海成堆積物であると判断			海成堆積物の特徴が認められない

堆積年代の評価	MIS5e(約12~13万年前)に堆積したM I 段丘堆積物	MIS5e(約12~13万年前)より古い高海面期に堆積したH I a段丘堆積物	MISとの対比による年代評価はできない
断層の直上に分布する堆積物は、約12~13万年前以前に堆積したものである。			

なお、35m盤トレンチの堆積物については、トレンチ周辺の地形や堆積物の分布状況について検討を行い、上載地層としての妥当性の確認を行った(補足資料5.6-1(1)-6)。

5.3 鋳物脈法に用いる変質鋳物と最新面

5.3(1) 評価に用いる変質鉱物

概要	.....	5-29
(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細	.....	5-31
(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価	.....	5-40
(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定	.....	5-41
(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ	.....	5-45
(1-5) 碎屑岩脈の形成年代評価	.....	5-49
(1-6) 評価に用いる変質鉱物	.....	5-50

5.3(1) 評価に用いる変質鉱物 ー概要ー

■ 鉱物脈法による活動性評価

・鉱物脈法は、「鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析する」*手法である。敷地においては、変質鉱物からなる鉱物脈が破砕部中や母岩の割れ目に沿って認められる(P.5-31, 5-32, 5-39)。よって、断層活動(最新面)と変質鉱物等との関係から、断層の最新活動年代を評価する。

5.3(1-1): 敷地で確認される変質鉱物の詳細

・粘土状破砕部中には、変質鉱物として粘土鉱物のスメクタイトが共通して認められる(2章)。この粘土鉱物は、粘土分を濃集したXRD分析による結晶構造及びEPMA分析による化学組成を踏まえると、数十%のイライトが混合するイライト/スメクタイト混合層(以下、I/S混合層)である。さらに、CEC分析、XAFS分析、HRTEM観察による結果は、これらの粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。

・また、粘土鉱物以外の白色鉱物については、XRD分析及び薄片観察を実施した結果、オパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。

5.3(1-2): 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価

・「約12~13万年前以降の敷地の地温分布」と「変質鉱物の生成温度の最低値」を比較し、約12~13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。

・約12~13万年前以降の敷地の地温分布は、敷地の温度検層結果及び敷地周辺の地温分布や能登半島の火成活動に関する文献調査の結果から、現在の敷地の地温分布と同程度であると評価した。文献に基づく変質鉱物の生成温度の最低値は、約12~13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高い。よって、約12~13万年前以降の敷地の地温分布では、敷地の変質鉱物は、その確認標高で生成せず、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は約12~13万年前以降に生成したものではない。

5.3(1-3): 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定

・5.3(1-2)を踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。

・敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。つまり、生成環境は、「①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成」もしくは「②熱水(地温勾配以上の高温)による生成」である。

①について、I/S混合層が敷地周辺の別所岳安山岩類中にも広く認められることから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと考えられること、及び粘土状破砕部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑岩脈が地下深部の高封圧下で形成したと考えられることを踏まえ、敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。

②について、敷地の斜長石には曹長石化が認められないことから、敷地は少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる。よって、敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。

・生成環境に関する検討結果を踏まえ、生成年代を推定した。地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定すると、変質鉱物の生成温度が約50℃以上であることから、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水により生成した場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

5.3(1-4): 変質鉱物の生成年代評価のまとめ

・5.3(1-2)及び5.3(1-3)を踏まえ、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した。なお、変質鉱物と第四系との関係やI/S混合層のK-Ar年代値等についても、この生成年代評価と整合する。

5.3(1-5): 碎屑岩脈の形成年代評価

・S-1の粘土状破砕部中には碎屑岩脈が認められ、この碎屑岩脈について薄片観察を実施した。その結果、碎屑岩脈は、未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆されることから、地下深部の高封圧下で形成したと判断した。一方で、この確認標高は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下にあり、高封圧下で形成する碎屑岩脈は形成しないと判断した。よって、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した。

5.3(1-6): 評価に用いる変質鉱物

・少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等)、少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈を用いて鉱物脈法による活動性評価を行う。

※敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド、P.13, 4.1.2.3解説(5)

【鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物】

■5.3(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 (P.5-31~5-39)

<粘土鉱物>

- ・XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造
- ・EPMA分析による化学組成
- ⇒粘土鉱物(スメクタイト)は、I/S混合層である。

I/S混合層であることを支持する。

- ・CEC分析
- ・XAFS分析
- ・HRTEM観察

<白色鉱物>

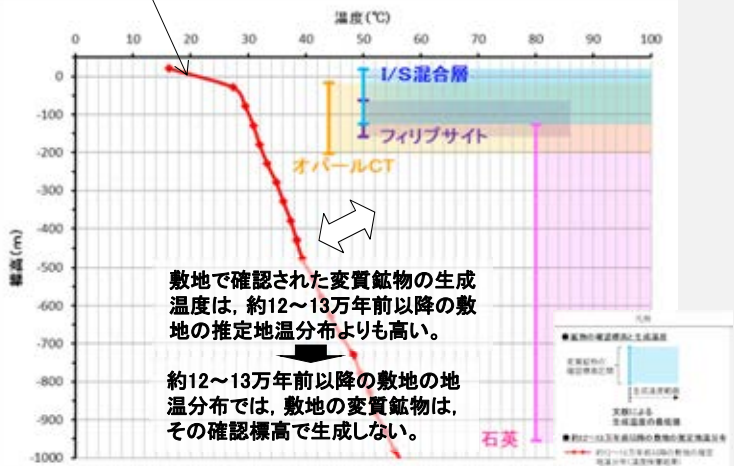
- ・XRD分析, 薄片観察
- ⇒粘土鉱物以外の白色鉱物は、オパールCT及びフィリップサイトである。

■5.3(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 (P.5-40)

○「約12~13万年前以降の敷地の地温分布」と「変質鉱物の生成温度の最低値」を比較し、約12~13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。

- ・温度検層, 文献調査(敷地周辺の地温分布, 能登半島の火成活動)

約12~13万年前以降の敷地の地温分布は、現在と同程度である。



敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、約12~13万年前以降に生成したものではない。

■5.3(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 (P.5-41~5-44)

○5.3(1-2)を踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。

- ・敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。

【①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成】

- ・敷地周辺の変質に関する調査
- ⇒I/S混合層が敷地周辺の別所岳安山岩類中にも広く認められることから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと考えられる。

- ・砕屑岩脈
- ⇒砕屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成したと考えられる。

<生成環境の検討>

敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。

<生成年代の推定>

敷地の変質鉱物の地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定し、約6Ma以前と推定した。

【②熱水(地温勾配以上の高温)による生成】

- ・斜長石の曹長石化検討
- ⇒敷地の斜長石には、曹長石化が認められない。

<生成環境の検討>

・敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていない。⇒敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。

<生成年代の推定>

なお、熱水により生成した場合、敷地の変質鉱物の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

■5.3(1-5) 砕屑岩脈の形成年代評価 (P.5-49)

<砕屑岩脈>

- ・薄片観察
- ・地形図
- ⇒砕屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成した。
- ⇒確認標高は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下であり、高封圧下で形成する砕屑岩脈は形成しない。

砕屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

■5.3(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ (P.5-45~5-48)

敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

生成年代評価と整合する。

- ・変質鉱物と第四系との関係, K-Ar年代値(I/S混合層), U-Pb年代値(オパールCT), 生成温度・期間に関する文献調査

<生成環境に関する追加検討>

- ・能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係
- ・新第三紀堆積岩における変質状況の確認

■5.3(1-6) 評価に用いる変質鉱物 (P.5-50)

少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等), 少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した砕屑岩脈を用いて鉱物脈法による活動性評価を行う。

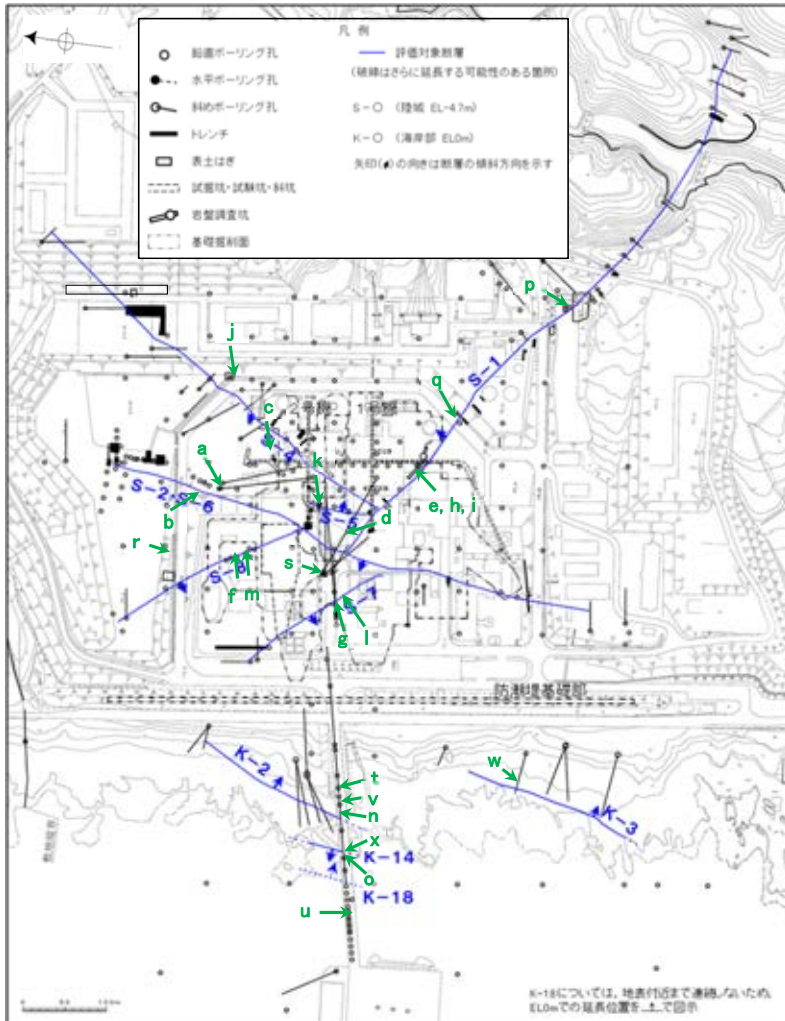
5.3(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 —粘土鉱物(I/S混合層)—

○ボーリングコア観察等の結果、破碎部中には粘土鉱物が認められることから、全ての評価対象断層の粘土状破碎部中の粘土鉱物を対象として、XRD分析(粘土分濃集)※及びEPMA分析を実施した。また、母岩の割れ目に沿っても粘土鉱物が認められることから、これらの粘土鉱物についても同様に分析を実施した。

○分析の結果、これらの粘土鉱物は、I/S混合層であることを確認した。

【XRD分析(粘土分濃集)】

※XRD分析(粘土分濃集)の実施にあたって行う試料調整の作業手順については補足資料5.3-2(2) P.5.3-2-4



粘土鉱物(XRD分析(粘土分濃集)試料)

試料採取位置図

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.3-2(1) P.5.3-2-3, 5~11

【破碎部(S-1)】

破碎部中に褐色の粘土鉱物が認められる
(深度) 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 (m)



破碎部中に粘土鉱物が認められる事例 (試料e. 岩盤調査坑 No.27孔 深度0.25m付近)

【非破碎部】

母岩中の割れ目に沿って褐色の粘土鉱物脈が認められる
(深度) 81.44 81.64 81.84 82.04 82.24 82.44 (m)

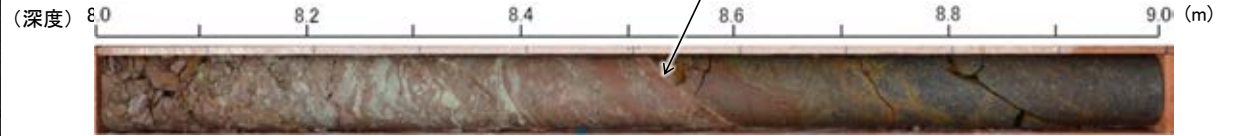


母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料d. H-6.5-2孔 深度81.90m付近)

試料採取箇所									
採取位置 (左位置図)			深度	標高	採取位置 (左位置図)			深度	標高
a	S-2・S-6	E-8.5+5"孔	9.30m	EL 11.82m	m	S-8	F-6.80-2孔	18.69m	EL -5.83m
b		E-8.4'孔	31.70m	EL -10.61m	n	K-2	H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
c	S-4	F-9.3-4孔	66.40m	EL -45.82m	o	K-14	H- -0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
d	非破碎部	H-6.5-2孔	81.90m	EL -59.10m	p	非破碎部	M-12.5"孔	55.55m	EL -27.25m
e	S-1	岩盤調査坑 No.27孔	0.25m	EL -16.45m	q		K-10.8SW-1孔	49.80m	EL -18.88m
f	S-8	F-6.82-6孔	17.08m	EL -1.97m	r		E-6.2孔	137.45m	EL -123.37m
g	S-7	H-5.5-2孔	19.33m	EL -3.75m	s		H-6.5'孔	47.70m	EL -24.19m
h	S-1	岩盤調査坑No.7-1孔	0.30m	EL -17.05m	t		H-1.1-80孔	43.45m	EL -36.01m
i		岩盤調査坑No.16付近 (底盘面)	(底盘面)	EL -17.90m	u		H- -1.80孔	48.30m	EL -44.66m
j	S-4	E-11.1SE-6孔	1.50m	EL 19.91m	v	K-2	H-1.1孔	103.77m	EL -96.99m
k	S-5	R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m	w	K-3	M-2.2孔	48.74m	EL -31.45m
l	S-7	H-5.64-2孔	9.53m	EL 2.84m	x	K-18	H-0.2-75孔	116.75m	EL -108.04m

【EPMA分析】

【破砕部(S-2・S-6)】

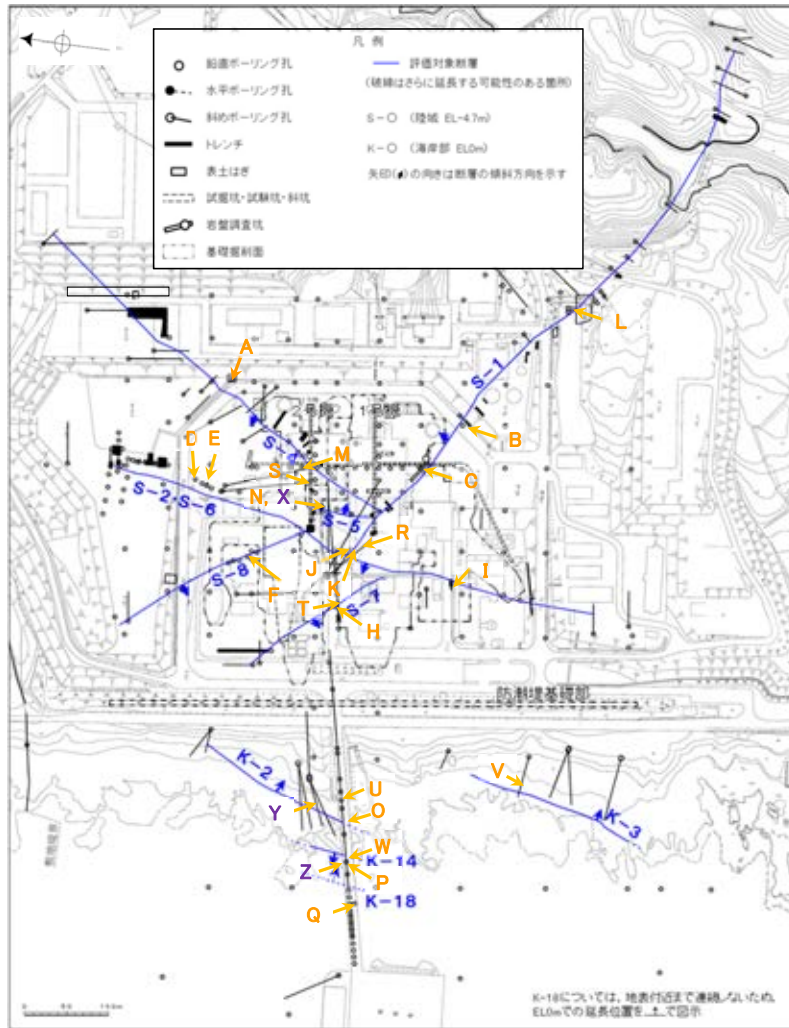


破砕部中に粘土鉱物が認められる事例 (試料D, E-8.5-2孔 深度8.55m付近)

【非破砕部】



母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料R, H-6.5-2孔 深度81.80m付近)



粘土鉱物(EPMA分析試料)

試料採取位置図

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.3-2(1) P5.3-2-12~21

試料採取箇所									
採取位置 (左位置図)		深度	標高	採取位置 (左位置図)		深度	標高		
A	S-4	E-11.1SE-2孔	1.65m	EL 19.72m	O	K-2	H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
B	S-1	K-10.3SW孔	27.81m	EL -6.17m	P	K-14	H- -0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
C		岩盤調査坑No.25切羽 (切羽面)	EL -17.60m	Q	H' - -1.3孔		125.58m	EL -121.91m	
D	S-2・S-6	E-8.5-2孔	8.55m	EL 12.66m	R	非破砕部	H-6.5-2孔	81.80m	EL -59.02m
E		F-8.5' 孔	8.50m	EL 12.63m	S	S-4	E-8.50''孔	111.95m	EL -39.83m
F	S-8	F-6.75孔	26.85m	EL -15.76m	T	S-7	H-5.4-1E孔	24.16m	EL 4.80m
H	S-7	H-5.7' 孔	14.35m	EL -3.26m	U	K-2	H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
I	S-2・S-6	K-6.2-2孔	30.94m	EL -19.45m	V	K-3	M-2.2孔	48.74m	EL -31.45m
J	S-1	H-6.5-2孔	70.70m	EL -49.50m	W	K-18	H-0.2-75孔	116.75m	EL -108.04m
K		H-6.6-1孔	57.25m	EL -37.95m	X	S-5	R-8.1-1-2孔	23.46m	EL -12.38m
L		M-12.5'' 孔	49.96m	EL -21.66m	Y	K-2	G-1.5-80孔	77.82m	EL -72.12m
M	S-4	E-8.60孔	104.68m	EL -35.91m	Z	K-18	H-0.2-60孔	84.35m	EL -68.32m
N	S-5	R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m					

紫字:第1073回審査会合以降の追加分析箇所

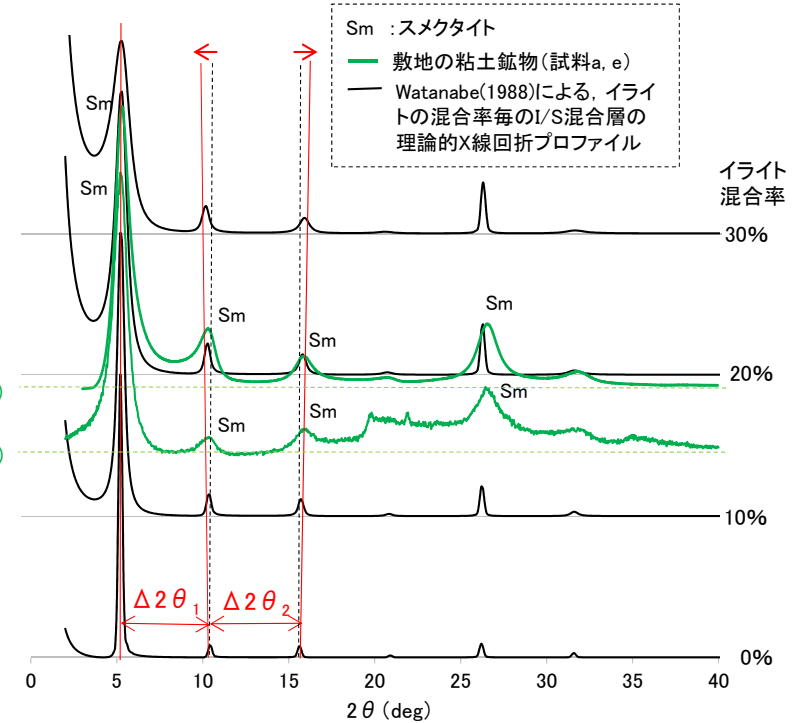
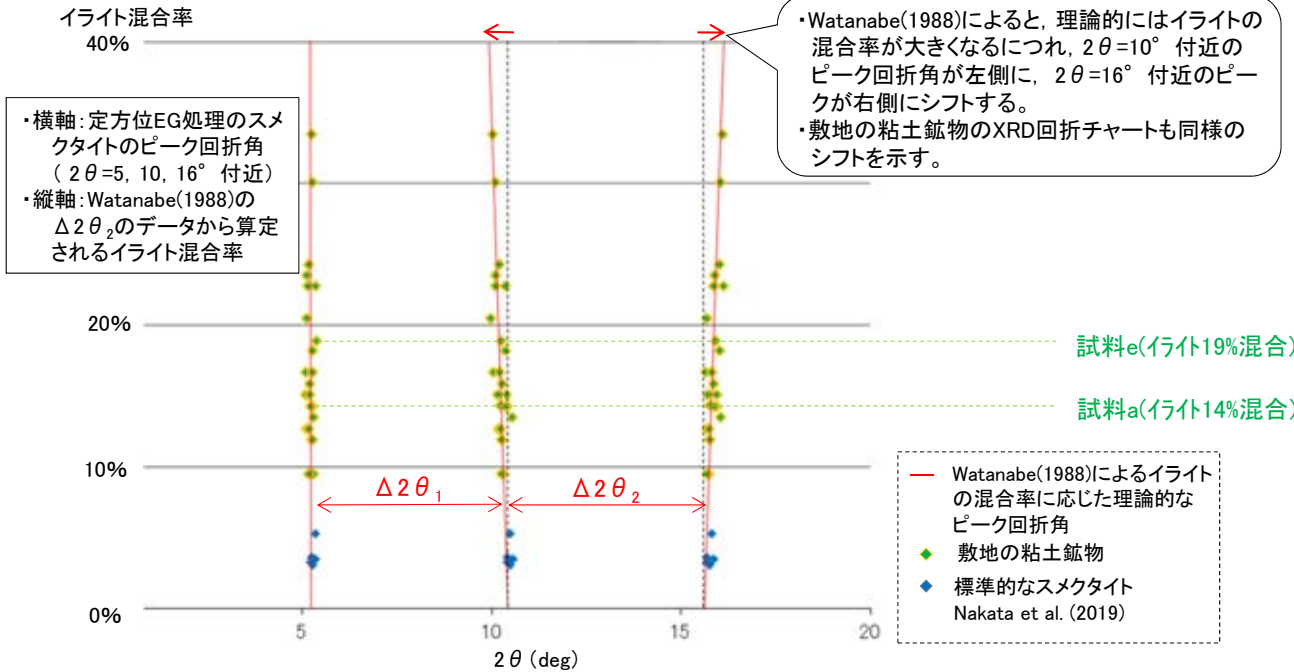
・ボーリングコア観察等の結果、破砕部中には粘土鉱物が認められることから、全ての評価対象断層の粘土状破砕部中の粘土鉱物を対象として、XRD分析(粘土分濃集)及びEPMA分析を実施した。また、母岩の割れ目に沿っても粘土鉱物が認められることから、これらの粘土鉱物についても同様に分析を実施した。

・分析の結果、これらの粘土鉱物は、I/S混合層であることを確認した。

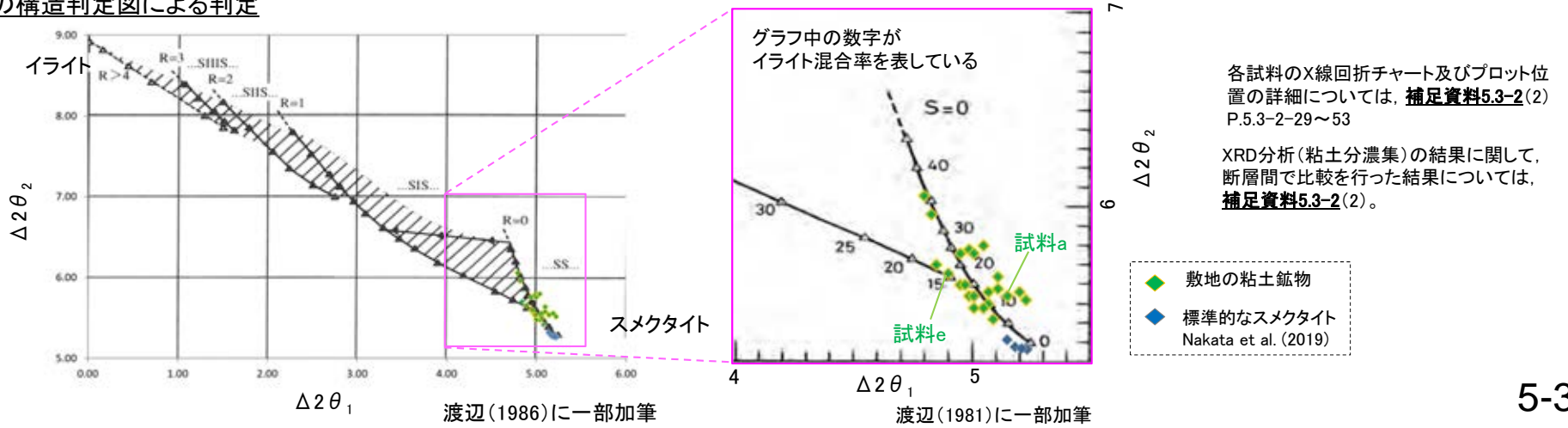
5.3(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 –XRD分析(粘土分濃集)–

- 敷地で認められた粘土鉱物について、XRD分析(粘土分濃集)を実施した。
- 敷地の粘土鉱物のピーク回折角は、Watanabe(1988)によるI/S混合層の理論的なピーク回折角のシフトと同様のシフトが認められた(【1】左図)。また、敷地の粘土鉱物のうち、より明瞭な粘土鉱物のピークを持つ試料a及び試料eの回折チャートについて、I/S混合層の理論的プロファイルと類似していることを確認した(【1】右図)。
- 同様の理論に基づき作成された渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図に敷地の粘土鉱物の結果をプロットした結果、イライトの混合率は10~35%を示す(【2】図)。

【1】I/S混合層の理論的なピーク回折角との比較



【2】I/S混合層の構造判定図による判定

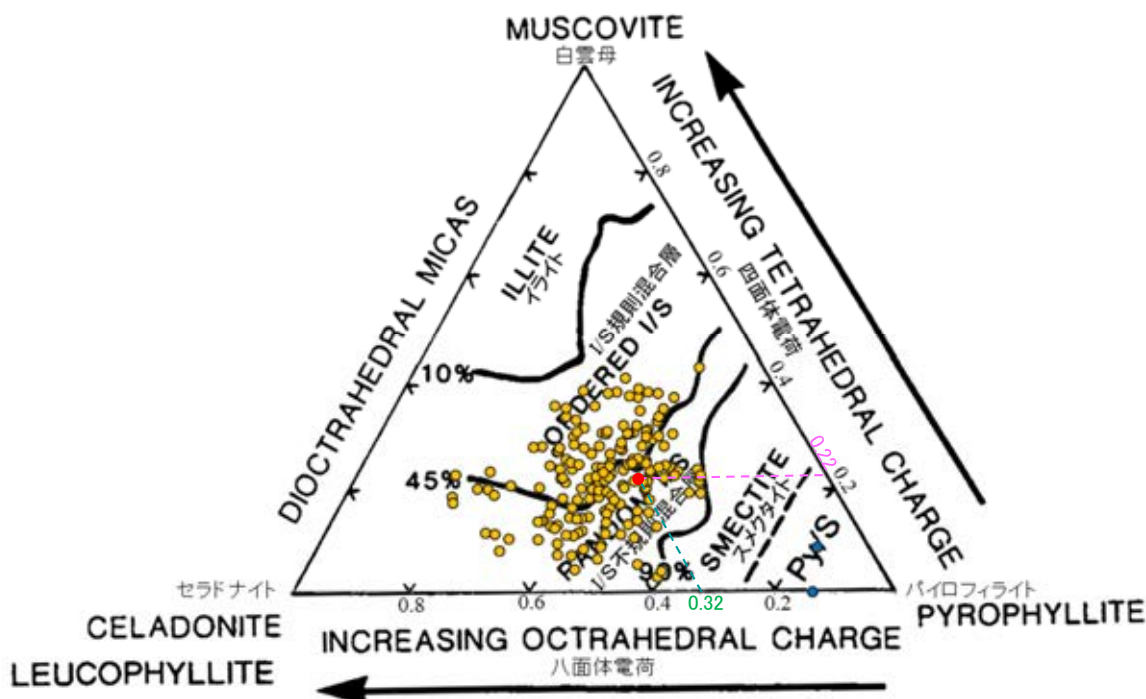


5.3(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – EPMA分析 –

- さらに、EPMA分析による化学組成の観点から、粘土鉱物について、鉱物の詳細確認を行った。
- EPMAの定量分析結果に基づき、敷地の粘土鉱物の組成式を算出した。組成式算出に用いる分析値については、粘土鉱物への二次的な変質等の影響や基準に基づく分析値の確認により、分析値が不純物等の影響を受けていないことを確認した値を用いている※1。
- 2八面体型の粘土鉱物※2の化学組成を示した三角ダイアグラム(左下図, Srodon et al. (1984))によると、敷地の粘土鉱物の分析値はいずれも「I/S混合層」に分類される。以下、この検討を三角ダイアグラム検討とする。

※1: 三角ダイアグラム検討に用いるEPMA分析値の確認結果については、[補足資料5.3-2\(3\)](#)P.5.3-2-91~92
 ※2: 敷地の粘土鉱物の八面体シート構造の検討結果については、[補足資料5.3-2\(2\)](#)P.5.3-2-54~56

○XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果及びEPMA分析による化学組成の検討結果により、敷地の粘土鉱物は結晶構造中にイライト層が数十%混合した「I/S混合層」であると判断した。



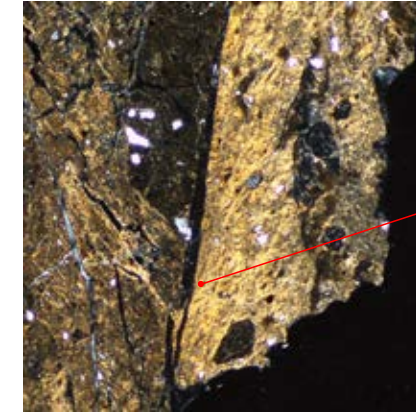
● 分析値(敷地の粘土鉱物)
 ● 標準的なスメクタイト(日本粘土学会編(2009)のWyoming試料の化学組成値を用いて作成)
 ● プロット例(試料D)

2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の化学組成 (Srodon et al. (1984))に一部加筆)

EPMA分析結果に基づき算出した四面体電荷0.22及び八面体電荷0.32をSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラム上にプロットした。

その他試料のEPMA分析結果については、[補足資料5.3-2\(3\)](#)。
 EPMA分析の結果に関して、断層間で比較を行った結果については、[補足資料5.3-2\(3\)](#)。

<EPMA分析結果の例 (試料D)>



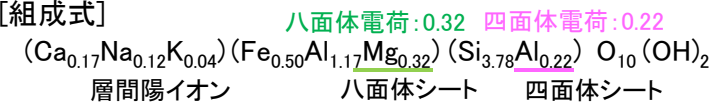
分析位置
 分析位置については、[補足資料5.3-2\(3\)](#)
 P.5.3-2-68

[EPMA分析値 (%)] *分析値(FeO)からの換算値

SiO ₂	50.02
TiO ₂	0.34
Al ₂ O ₃	15.57
TFe ₂ O ₃ *	8.73
MnO	0.01
MgO	2.82
CaO	2.09
Na ₂ O	0.81
K ₂ O	0.38
total	80.76

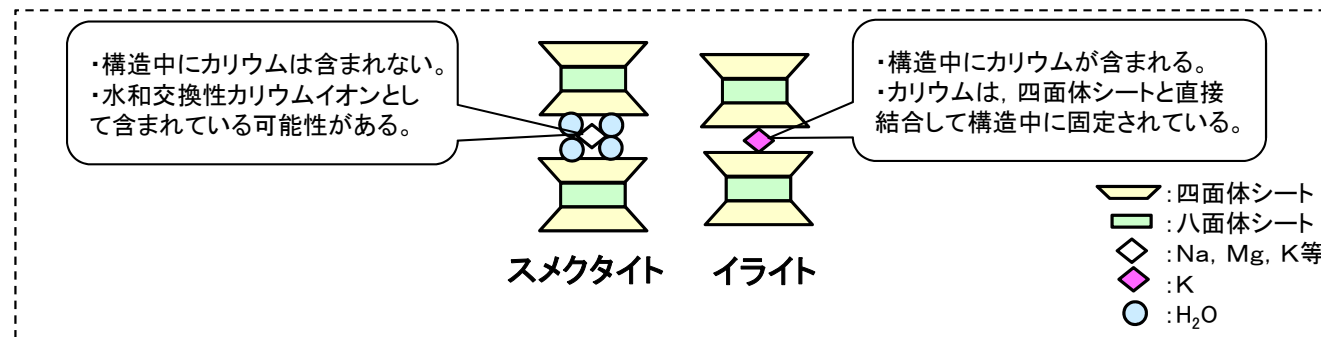
<組成式の算出方法(白水(2010)を参考に算出)>
 ・EPMA分析値から各酸化物の分子比を算出し、O原子(負電荷)を22と仮定して各元素の陽イオン数を算出。
 ・求めた陽イオン数のうち、AlはSiとの合計が4になるまで四面体に配分し、MgはFe及び残りのAlの合計が2になるまで八面体に配分した。

[組成式]



5.3(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 –CEC分析, XAFS分析, HRTEM観察–

○I/S混合層中に含まれるカリウムの存在状態を確認する目的で、敷地の粘土鉱物を用いてCEC分析, XAFS分析, HRTEM観察を実施した。
○分析の結果、敷地の粘土鉱物にはカリウムが固定されたイライトの構造が含まれることを確認した。このことは、敷地の粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。



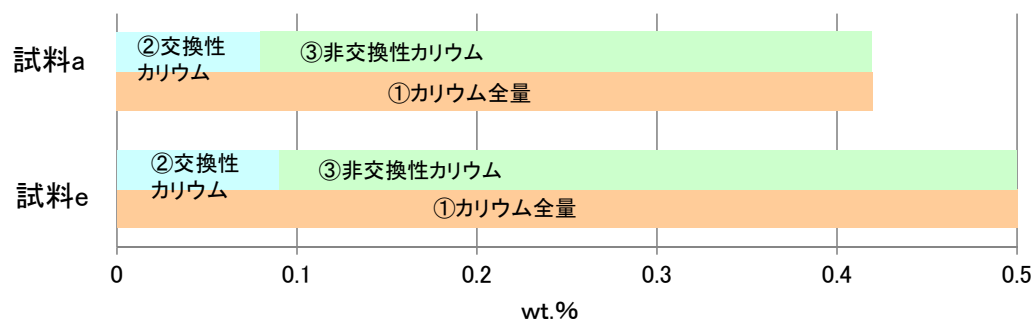
スメクタイトとイライトの構造とその特徴 (吉村(2001)を基に作成)

分析名	CEC分析 (Cation Exchange Capacity, 交換性陽イオン分析)	XAFS分析 (X-ray Absorption Fine Structure, X線吸収微細構造)	HRTEM観察 (High-Resolution Transmission Electron Microscope, 高分解能透過電子顕微鏡)
分析手法の概要	・試料中に含まれる交換性の陽イオンを交換溶液によって浸出させ、そのイオン量を測定する手法	・物質によるX線の吸収を測定することによって、特定元素周辺の構造を推定する手法	・高分解能の電子顕微鏡によって、粘土鉱物の積層構造を観察する手法
分析の目的	・スメクタイトでは、構造中にカリウムを含まず、層間の水和交換性カリウムイオンとしてしか含まれない。一方で、イライトでは構造中に固定されるとされている。 ⇒粘土鉱物中の交換性カリウムと固定されたカリウムの量を分析することによって、イライト構造の存在を確認する。	・スメクタイト中では、カリウムが水和交換性イオンとして存在する。一方で、イライト中では、カリウムが四面体シートと直接結合するとされ、両者ではカリウム原子周りの分子構造が異なる。 ⇒粘土鉱物中に含まれるカリウム原子周りの分子構造から、イライトと似た構造の存在を確認する。	・スメクタイトとイライトでは、単位層の間隔が異なる。 ⇒粘土鉱物の積層構造(単位層の間隔)を観察することによって、イライト構造の存在を確認する。
結果概要	・交換性カリウム含有量を定量した結果、カリウム全含有量に比べて十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていると判断される。(次頁, 宇波ほか(2019a, b))	・敷地の粘土鉱物のXAFS分析の結果、カリウム原子周りの構造を表すEXAFS関数及び構造関数がイライト標準試料の関数と類似する。(次々頁, 宇波ほか(2019a, b))	・HRTEM観察の結果、一連の積層構造中にスメクタイトの単位層とイライトの単位層が確認されることから、敷地の粘土鉱物はI/S混合層である。(P.5-38, 東京大学小暮研究室ほかによる観察結果)
検討の結果、敷地の粘土鉱物には、カリウムが固定されたイライトの構造が含まれ、I/S混合層であることを支持する。			

【CEC分析, 宇波ほか(2019a, b)】

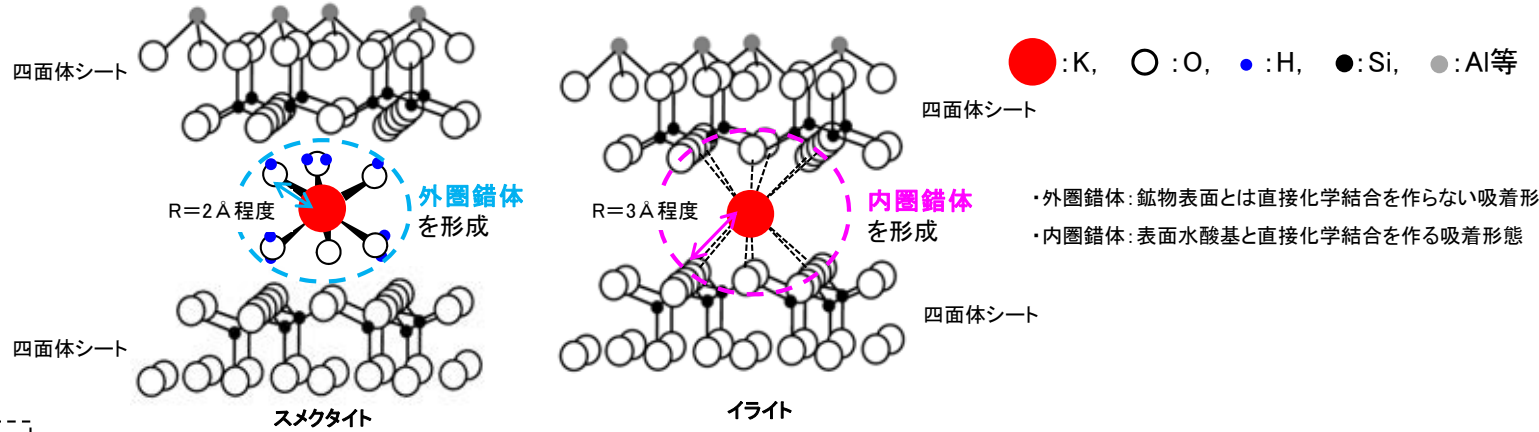
試料名	① カリウム全量 (wt.%) 湿式化学分析 ・定量法: 炎光分光法	② 交換性カリウム (wt.%) CEC分析 ・交換溶液: 塩化ストロンチウム溶液 ・定量法: ICP発光分光分析	③ 非交換性カリウム (wt.%) ①-②
試料a(E-8.5+5”孔)	0.42	0.08	0.34
試料e(岩盤調査坑No.27孔)	0.50	0.09	0.41

その他の分析試料の結果を含む詳細については
補足資料5.3-2(4) P.5.3-2-95~98

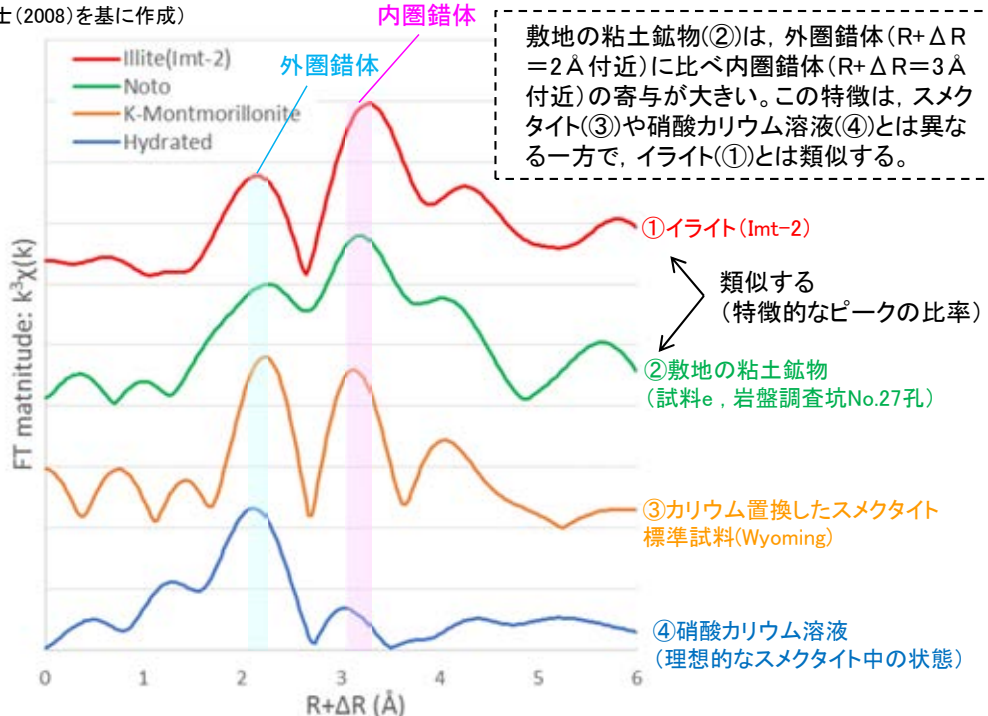
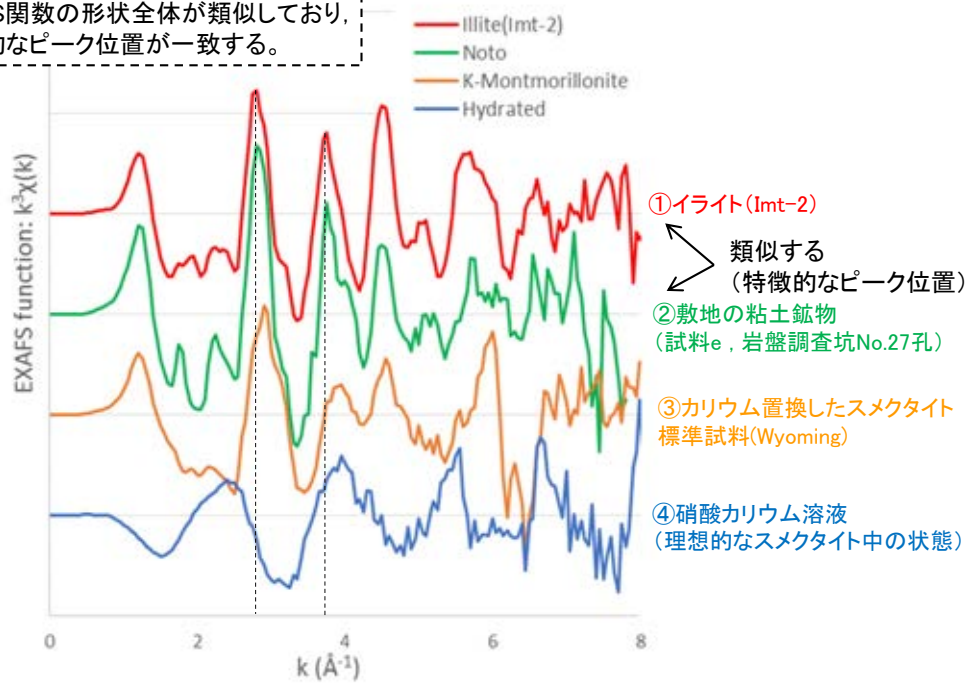


・敷地の粘土鉱物を対象として、CEC分析によって交換性のカリウム含有量を定量した結果、湿式化学分析によるカリウム全量の定量結果(0.42~0.50wt.%)に比べて、交換性カリウムの含有量(0.08~0.09wt.%)が十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていることから、敷地の粘土鉱物にはイライトのようにカリウムが固定された構造が含まれる。

【XAFS分析, 宇波ほか(2019a, b)】



敷地の粘土鉱物(②)は、イライト(①)とEXAFS関数の形状全体が類似しており、特徴的なピーク位置が一致する。



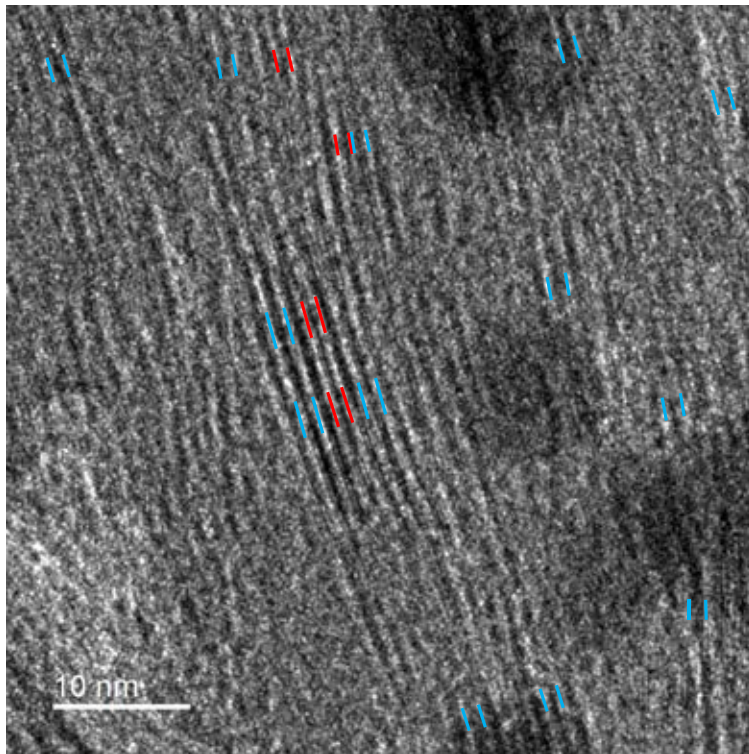
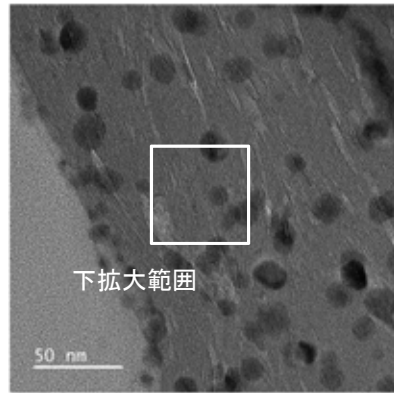
敷地の粘土鉱物(②)は、外圏錯体 ($R+\Delta R=2\text{Å}$ 付近) に比べ内圏錯体 ($R+\Delta R=3\text{Å}$ 付近) の寄与が大きい。この特徴は、スメクタイト(③)や硝酸カリウム溶液(④)とは異なる一方で、イライト(①)とは類似する。

宇波ほか(2019a, b)に一部加筆
分析の詳細については補足資料5.3-2(4)P.5.3-2-99

・敷地の粘土鉱物を対象にXAFS分析を実施し、粘土鉱物に吸着されたカリウム原子周りの構造を推定した。
・XAFSから得られたEXAFS関数及び動径構造関数について、イライトの標準試料(Imt-2)、カリウム水和イオン(硝酸カリウム溶液)との関数と比較することによって、カリウム原子周りの構造を推定した結果、敷地の粘土鉱物(試料e)の関数はイライトの関数と類似する。

宇波謙介・福士圭介・高橋嘉夫・板谷徹丸・丹羽正和(2019a): 能登半島西岸域の中新世安山岩中に認められる変質鉱物中のカリウムの存在状態とK-Ar年代の意義, 2019年度 地球化学会年会, 3P19.
宇波謙介・福士圭介・高橋嘉夫・丹羽正和(2019b): 能登半島西岸域の中新世安山岩中に認められる粘土鉱物中のカリウムの存在状態, 第63回粘土科学討論会, P11.

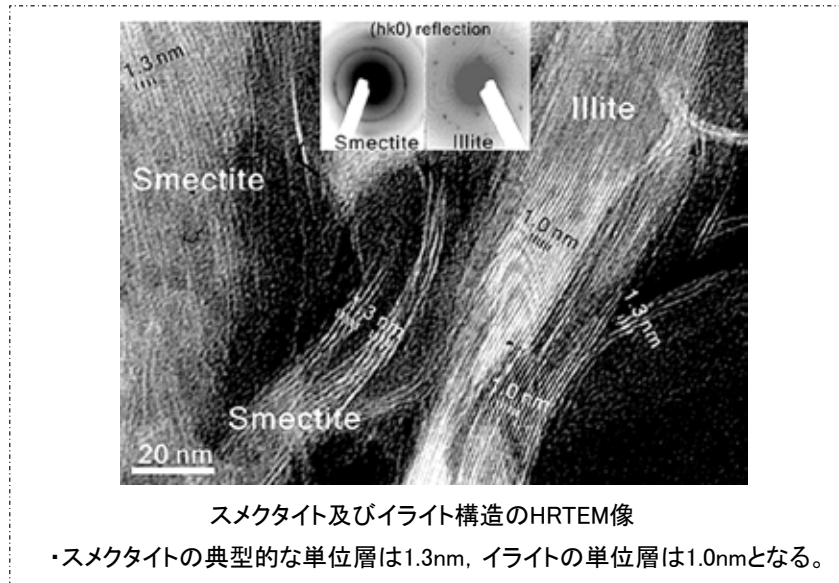
【HRTEM観察】



- 凡例
- 測定箇所
- 1.0nm
 - 1.3nm

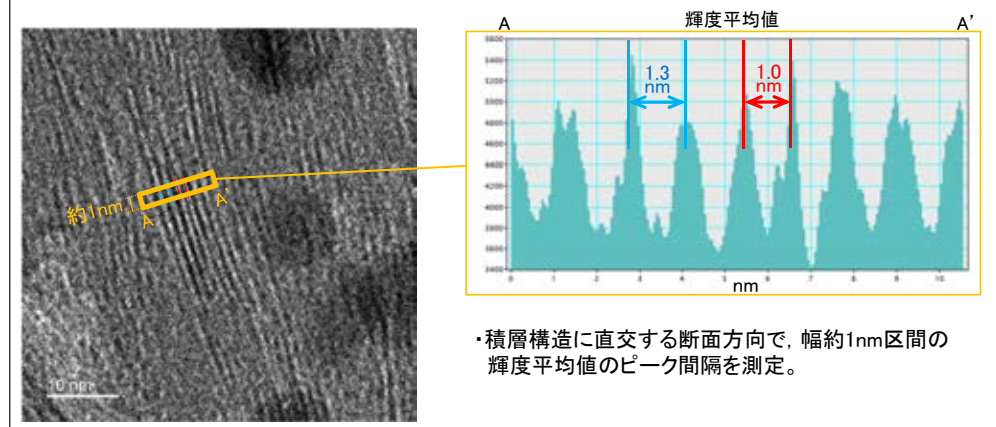
敷地の粘土鉱物(試料e)のHRTEM観察結果

■I/S混合層のHRTEM観察に関する知見(Kim et al., 2004)



■単位層の測定方法

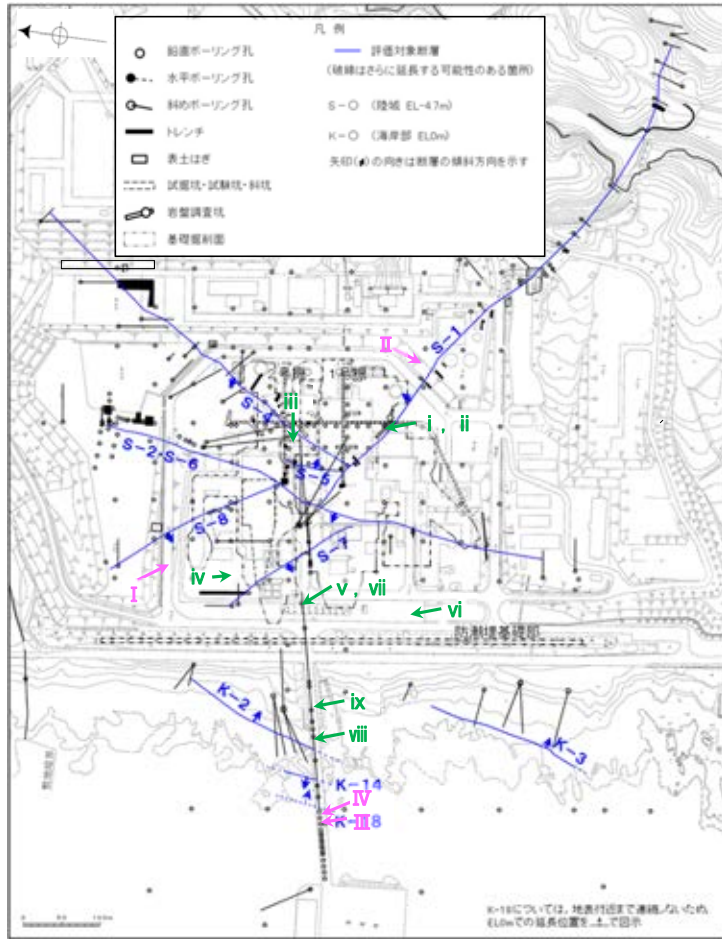
- ・電子顕微鏡で撮影したHRTEM像で画像解析を実施し, 明瞭なコントラストが認められる積層構造中の単位層の間隔を測定した。



・敷地の粘土鉱物を対象にHRTEM観察(観察装置: JEM-ARM200F)を実施した結果, 明瞭な積層構造を確認し, 一連の積層構造中にスメクタイトの単位層(1.3nm)とイライトの単位層(1.0nm)が確認されることから, この粘土鉱物はI/S混合層である。

5.3(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 — 白色鉱物 —

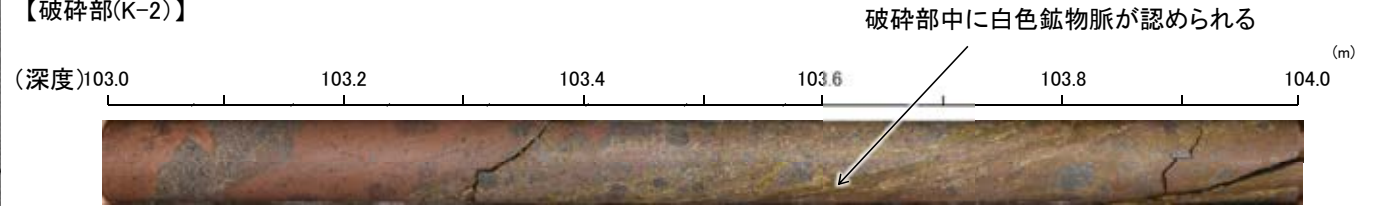
○粘土鉱物以外に評価に用いる変質鉱物について検討するため、粘土鉱物以外の変質鉱物について調査し、ボーリングコア観察等を実施した。
○その結果、破砕部中や母岩の割れ目に沿って、白色鉱物が認められ、これらの白色鉱物を対象として、XRD分析及び薄片観察を実施し、これらの白色鉱物がオパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。



試料採取位置図

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す。
- ・その他の試料については補足資料5.3-2(1)P5.3-2-22~27

【破砕部(K-2)】



破砕部中に白色鉱物(オパールCT)の鉱物脈が認められる事例 (試料viii. H-1.1孔 深度103.62m付近)

【非破砕部】



母岩中の割れ目に沿って白色鉱物(フィリップサイト)の鉱物脈が認められる事例 (試料II. J-10.8SW-1孔 深度86.18m付近)

白色鉱物(オパールCT)確認箇所			
試料採取位置(左位置図)		深度	標高
i	非破砕部 岩盤調査坑No.30切羽 (切羽面)		EL -15.56m
ii	S-1 KR-13孔	2.47m	EL -16.75m
iii	H-6.4孔	112.95m	EL -68.78m
	F-4.9孔	136.57m	EL -125.44m
v	非破砕部 R-4.5孔	68.63m	EL -57.56m
vi	K-4.2孔	80.63m	EL -69.36m
vii	R-4.5孔	71.10m	EL -60.03m
viii	K-2 H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
ix	非破砕部 H-1.5-95孔	176.71m	EL -168.01m

白色鉱物(フィリップサイト)確認箇所			
試料採取位置(左位置図)		深度	標高
I	S-2・S-6 E-5.7孔	170.73m	EL -158.08m
II	非破砕部 J-10.8SW-1孔	86.18m	EL -62.11m
III	K-14 H' - -1.3孔	125.58m	EL -121.91m
IV	非破砕部 H- -1.0孔	126.88m	EL -123.22m

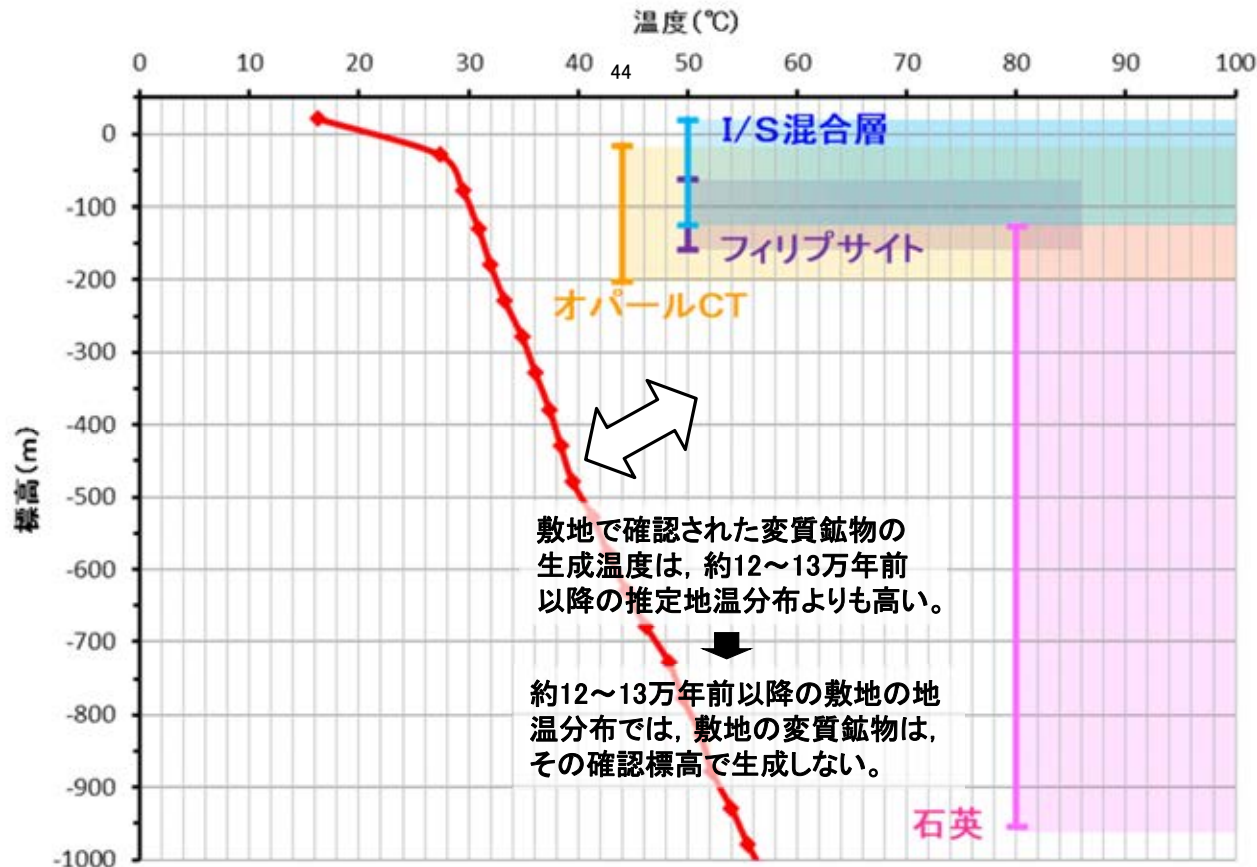
- ・白色鉱物(オパールCT)のXRD分析結果及び薄片観察結果については補足資料5.3-2(5)
- ・白色鉱物(フィリップサイト)のXRD分析結果及び薄片観察結果については補足資料5.3-2(6)

5.3(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 —概要—

- 約12～13万年前以降の敷地の地温分布と変質鉱物の生成温度の最低値を比較し、約12～13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。
- 約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布については、敷地周辺の地温分布や能登半島の火成活動に関する文献調査結果を踏まえると、現在の敷地の地温分布と同程度であると考えられることから、現在の敷地の温度検層結果を用いた(補足資料5.3-2(8)P.5.3-2-137)。
- 変質鉱物の生成温度の最低値については、文献による生成温度を用いた(補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-132)。
- 敷地深部の調査結果も含めた検討の結果、敷地で確認される変質鉱物の生成温度は、約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高く、約12～13万年前以降の敷地の地温分布では、敷地の変質鉱物は、その確認標高で生成しない。

○よって、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、約12～13万年前以降に生成したものではない。

【約12～13万年前以降の敷地の地温分布と変質鉱物の確認標高・生成温度の関係】

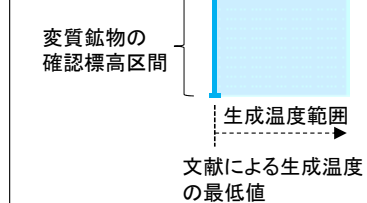


■左図の標高に関する考え方

・敷地には、約12～13万年前以前に形成された中位段丘面及び高位段丘面が分布しており、約12～13万年前以降、地形に大きな変化はない。よって、変質鉱物の地表からの深度は、約12～13万年前以降同程度と考えられることから、変質鉱物の確認標高の標高補正は行っていない。

凡例

●鉱物の確認標高と生成温度 (詳細は、補足資料5.3-2(7) P.5.3-2-132)



●約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布

—◆— 約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布 (D-8.6孔温度検層結果, 補足資料5.3-2(8) P.5.3-2-137)

・敷地深部で認められる変質鉱物についての調査結果は補足資料5.3-2(13)

5.3(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 一概要一

○変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価(5.3(1-2))において、敷地の変質鉱物が、約12~13万年前以降に生成したものではないと評価したことを踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。

【生成環境に関する分析結果及び考察】

○高温環境下での変質の有無を確認するために、敷地の斜長石の曹長石化の検討(EPMA分析)を行った結果、いずれの斜長石にも曹長石化が認められなかった。よって、敷地は斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる(P.5-43)。なお、敷地内で認められるI/S混合層や石英等の変質鉱物は、曹長石化する温度よりも低い温度でも生成することから(補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-133)、曹長石化が認められない程度の温度環境下であっても、敷地の変質鉱物は生成し得る。

○変質の広がりを確認するために、敷地周辺の変質に関する調査を行った結果、敷地周辺で認められた粘土鉱物は敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(P.5-44)。敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地内に限って分布するものではなく、敷地周辺の別所岳安山岩類中にも広く分布することから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと判断した。

○S-1の粘土状破碎部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑物(碎屑岩脈)の薄片観察によると、未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆されること等から、碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成したと判断した(P.5-49)。

【生成環境の検討】

○敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。つまり、生成環境は、「①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成」もしくは「②熱水(地温勾配以上の高温)による生成」である。分析結果を踏まえ、生成環境を検討した。

<①地下深部で生成した場合>

・I/S混合層が敷地周辺の別所岳安山岩類中にも広く認められること及び粘土状破碎部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑岩脈が地下深部の高封圧下で形成したと考えられることを踏まえ、敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。

<②熱水により生成した場合>

・敷地のいずれの斜長石にも曹長石化が認められないことから、敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる。
・よって、敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。

【生成年代の推定】

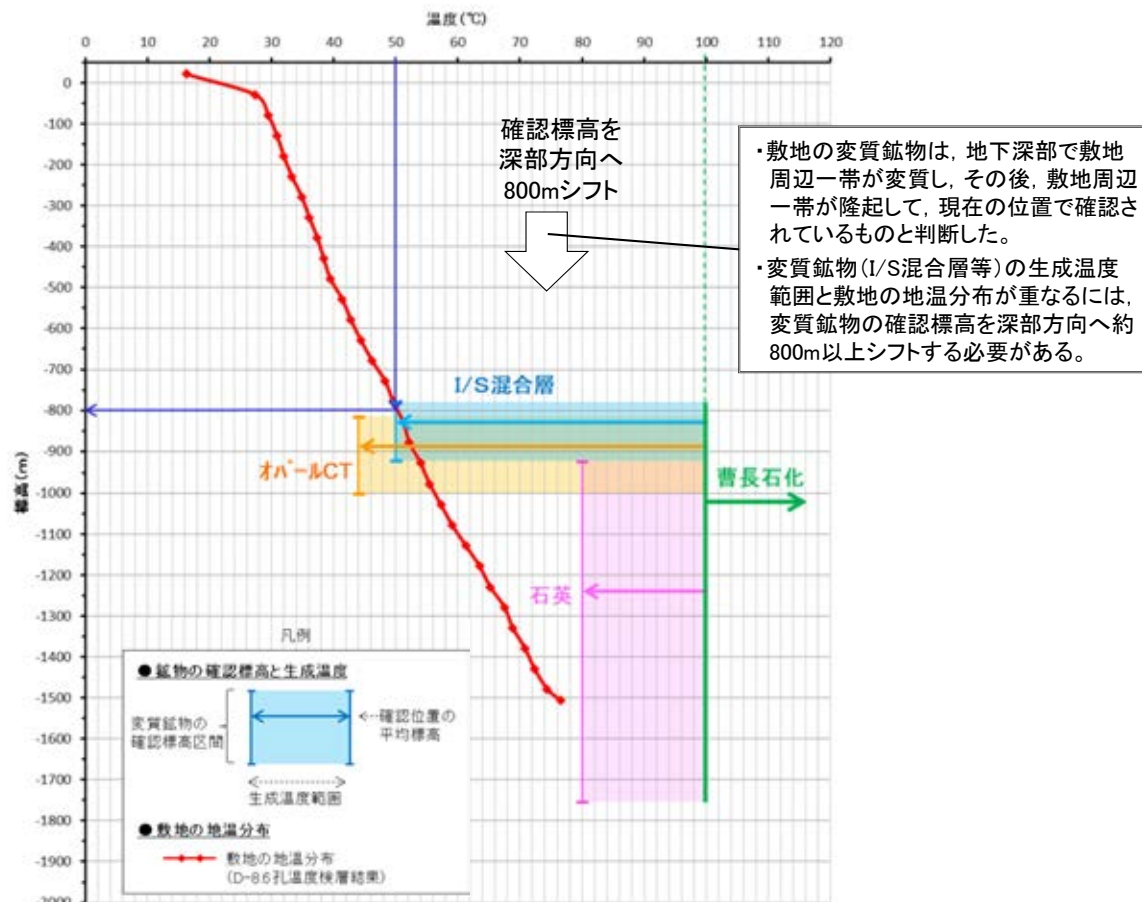
○変質鉱物の生成環境の検討結果を踏まえ、それぞれの生成環境における生成年代の推定を行った(次頁)。

○地下深部での生成年代は、隆起速度を用いて推定した。変質鉱物の生成温度は約50°C以上であることから(補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-133)、敷地の地温分布を用いると、地温が50°C以上となる深度800m以深で生成し、地表付近まで隆起したこととなる。隆起速度をMIS5e以降の速度(0.13m/千年)と仮定し、生成年代を約6Ma以前と推定した。

○なお、曹長石化しない程度の熱水により生成した場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

○以上より、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、地下深部で生成した可能性が高いと判断し、地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定すると、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて変質鉱物が生成した可能性は否定できず、その場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

【①地下深部で生成した場合の推定生成年代】



・敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して、現在の位置で確認されているものと判断した。

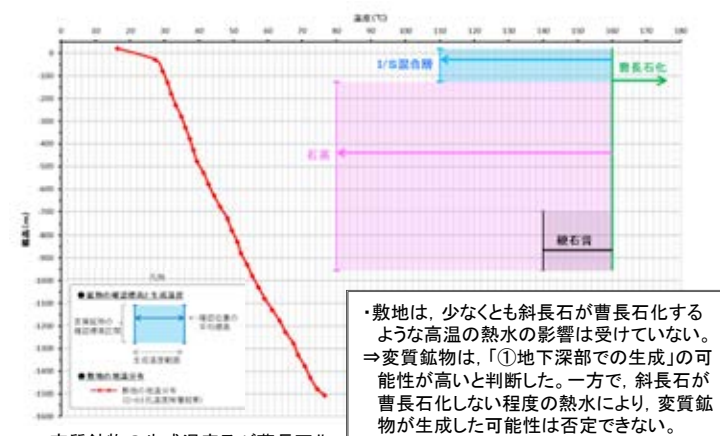
・変質鉱物(I/S混合層等)の生成温度範囲と敷地の地温分布が重なるには、変質鉱物の確認標高を深部方向へ約800m以上シフトする必要がある。

生成年代の推定方法
生成温度50°C以上 ⇒ 生成深度800m以深
標高差800m ÷ 隆起速度0.13m/千年※ = 600万年

※MIS5e以降の隆起速度(根拠の詳細は、補足資料5.2-1(4)P.5.2-1-108)

変質鉱物の生成温度及び曹長石化の温度は、地下深部での生成温度に関する知見(吉村,2001)による(詳細は補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-133)

【②熱水により生成した場合の推定生成年代】



・敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響は受けていない。

⇒変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水により、変質鉱物が生成した可能性は否定できない。

変質鉱物の生成温度及び曹長石化の温度は、熱水による生成温度に関する知見(井上,2003)による(詳細は補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-133)



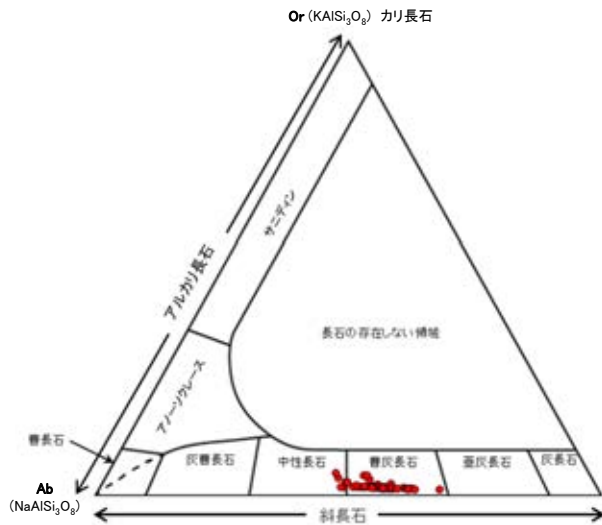
能登半島で最後に火成活動が認められたのは黒崎火山岩類形成時の9Maである(上図□)

5.3(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 - 斜長石の曹長石化検討 -

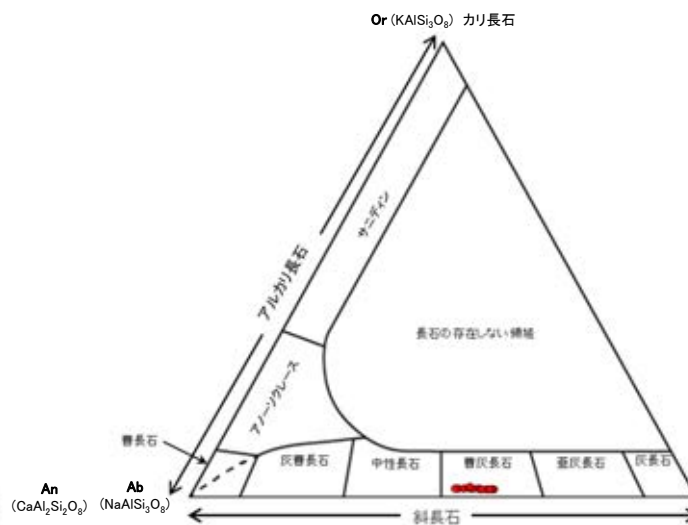
○EPMA分析により、敷地のEL12.66m～EL-945.90mまでの間の斜長石を対象として、曹長石化の検討を行った結果、いずれの斜長石も概ね曹灰長石～亜灰長石を示し、曹長石化は認められない。
○よって、敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる※。

※敷地内で認められるI/S混合層や石英等の変質鉱物は、曹長石化する温度よりも低い温度でも生成することから(補足資料5.3-2(7) P.5.3-2-133)、曹長石化が認められない程度の温度環境下であっても、敷地の変質鉱物は生成し得る。

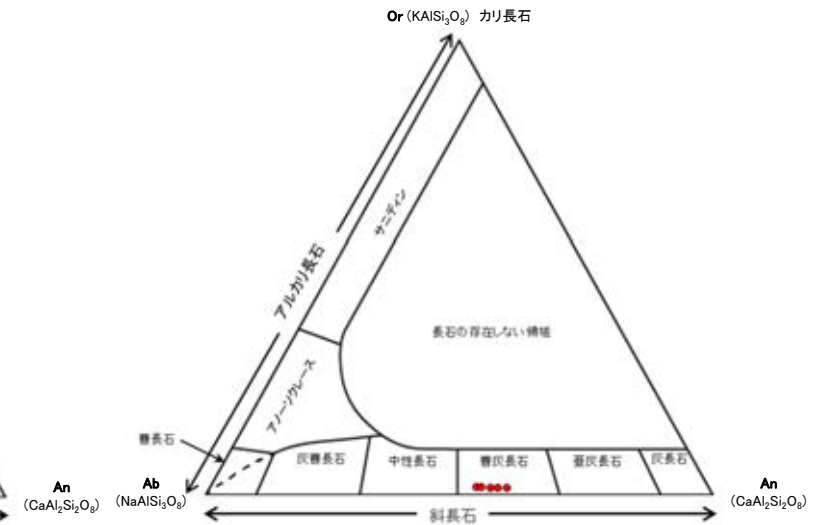
固結した破碎部中(E-8.5-2孔, EL12.66m)



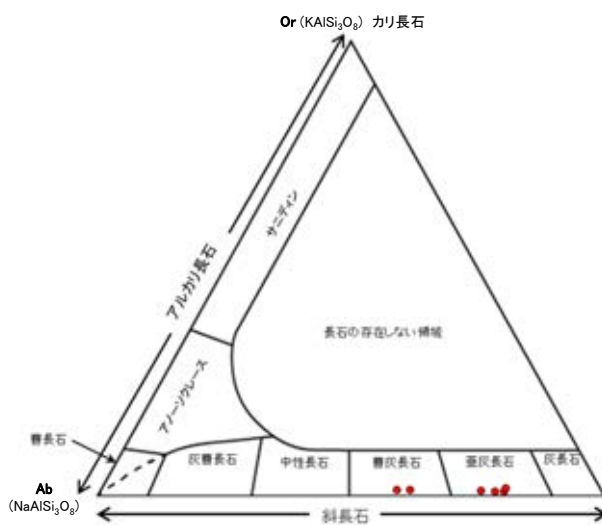
粘土状破碎部中(E-8.5-2孔, EL12.66m)



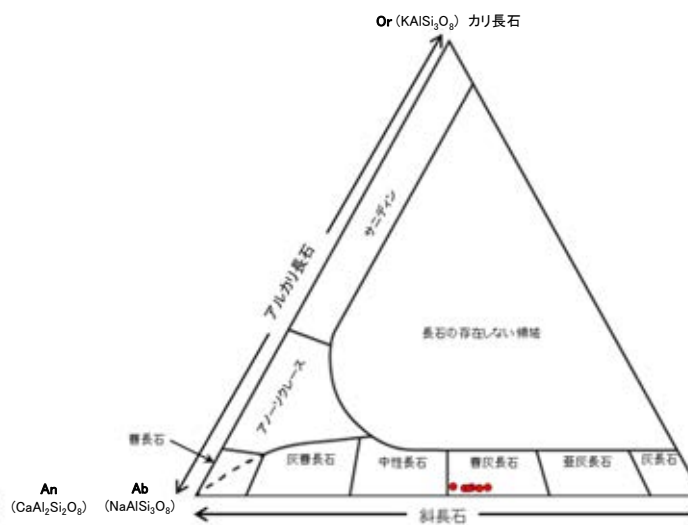
破碎部近傍の安山岩中(L-6'孔, EL-11.97m)



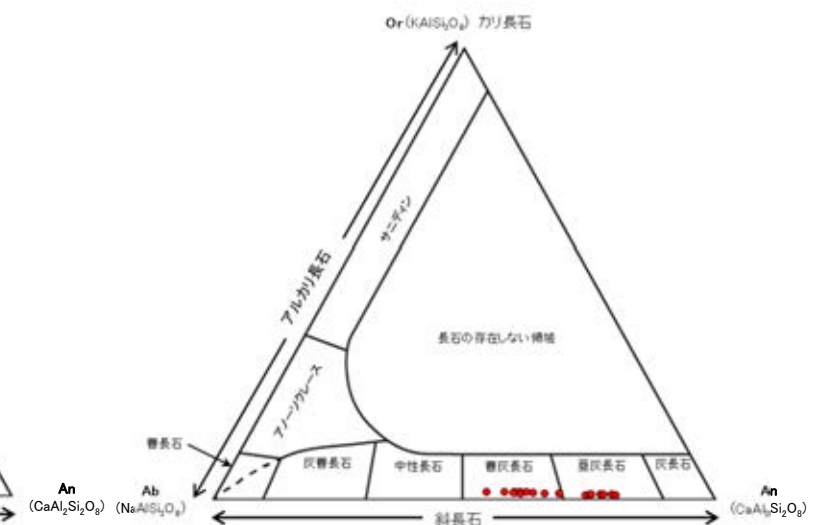
白色変質部付近(K-13.6孔, EL-422.50m)



白色変質部付近(K-13.6孔, EL-507.10m)



白色変質部付近(K-13.6孔, EL-945.90m)



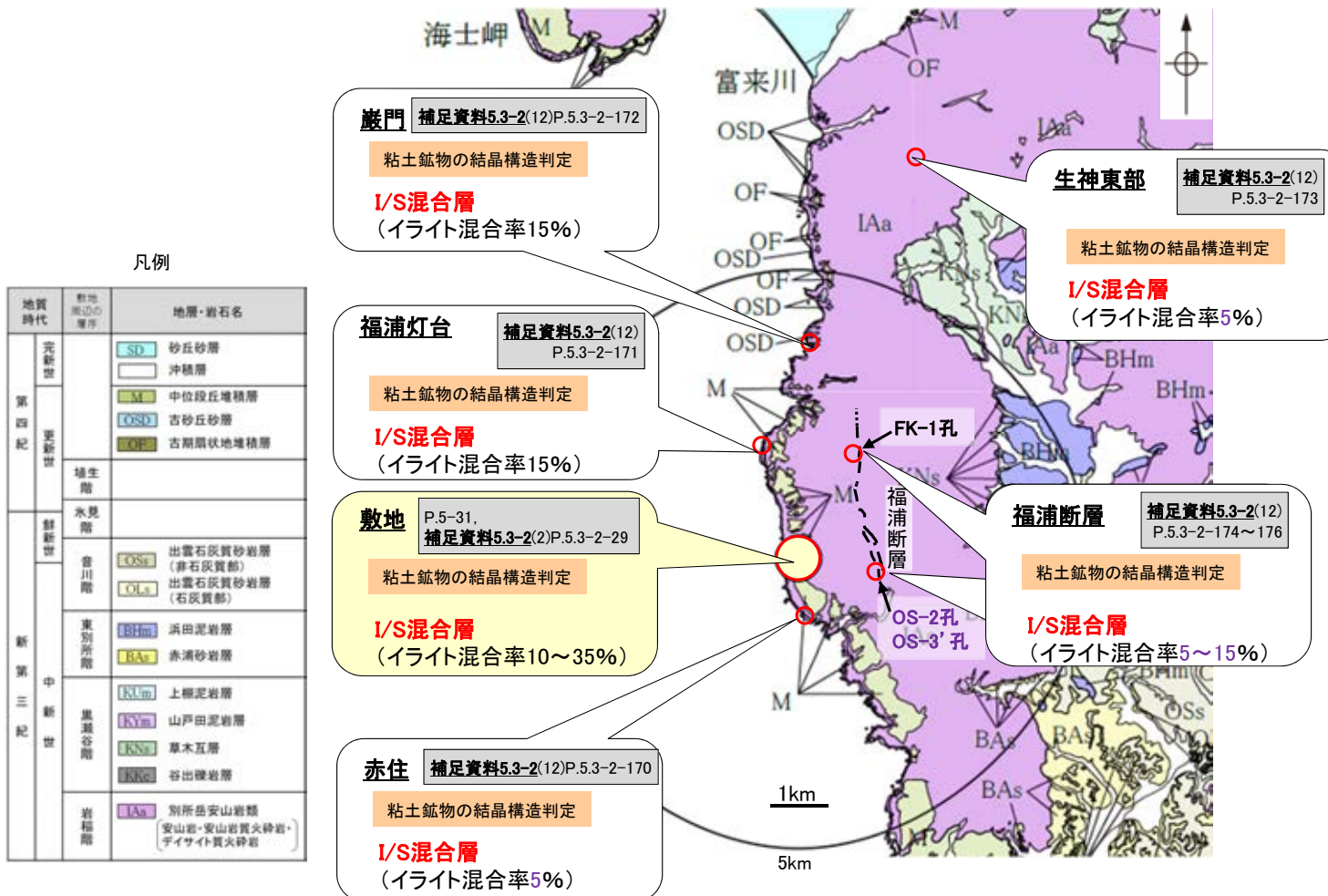
上図は、黒田・諏訪(1983)を基に作成した。各分析試料の詳細は補足資料5.3-2(9)P.5.3-2-143～145

○敷地周辺の赤住、福浦灯台、巖門、生神東部及び福浦断層で認められる粘土鉱物を対象として、粘土鉱物のXRD分析による結晶構造判定を行った結果、これらの敷地周辺で確認される粘土鉱物は、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(補足資料5.3-2(12) P.5.3-2-169)。

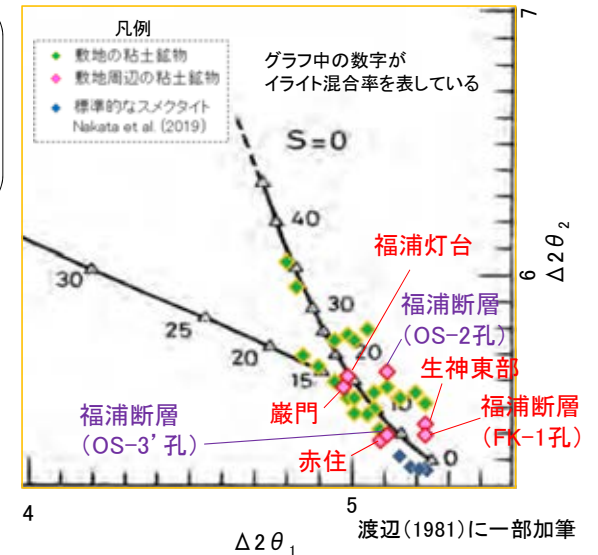
○よって、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地内に限って分布するものではなく、敷地周辺の別所岳安山岩類中にも広く分布することから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと判断した。

※局所的な変質状況に関する調査結果は、補足資料5.3-2(12) 紫字: 第1073回審査会合以降に追加・変更した箇所

<敷地周辺の別所岳安山岩類で確認される変質鉱物*>



<粘土鉱物の結晶構造判定結果>



5.3(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ

- 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価の結果、敷地の変質鉱物は、約12~13万年前以降に生成したものではない(P.5-40)。
- 生成環境を踏まえた生成年代の推定の結果、敷地の変質鉱物は、地下深部で生成した可能性が高いと判断し、地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定し、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて変質鉱物が生成した可能性は否定できず、その場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した(P.5-41)。

<生成環境に関する追加検討>

【能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係】

- ・能登半島周辺の地質構造について文献調査を実施した結果、敷地周辺一帯は中期中新世以前に沈降し、中期中新世以降に隆起する環境を経たものとされており、敷地の変質鉱物が地下深部で生成し、その後隆起して現在の位置で確認されているものと判断したと整合する(次頁)。

【新第三紀堆積岩における変質状況の確認】

- ・敷地周辺一帯が同じような環境下で変質を被ったと判断したことについて、敷地周辺の別所岳安山岩類に加え、その周辺の新第三紀堆積岩の変質状況を調査した結果、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層が分布することを確認した(次々頁)。

○よって、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない※1。

※1: 変質鉱物と第四系との関係やI/S混合層のK-Ar年代値等についても、この年代評価と整合する。

紫字: 第1073回審査会合以降に追加した箇所

【敷地の変質鉱物と第四系との関係】

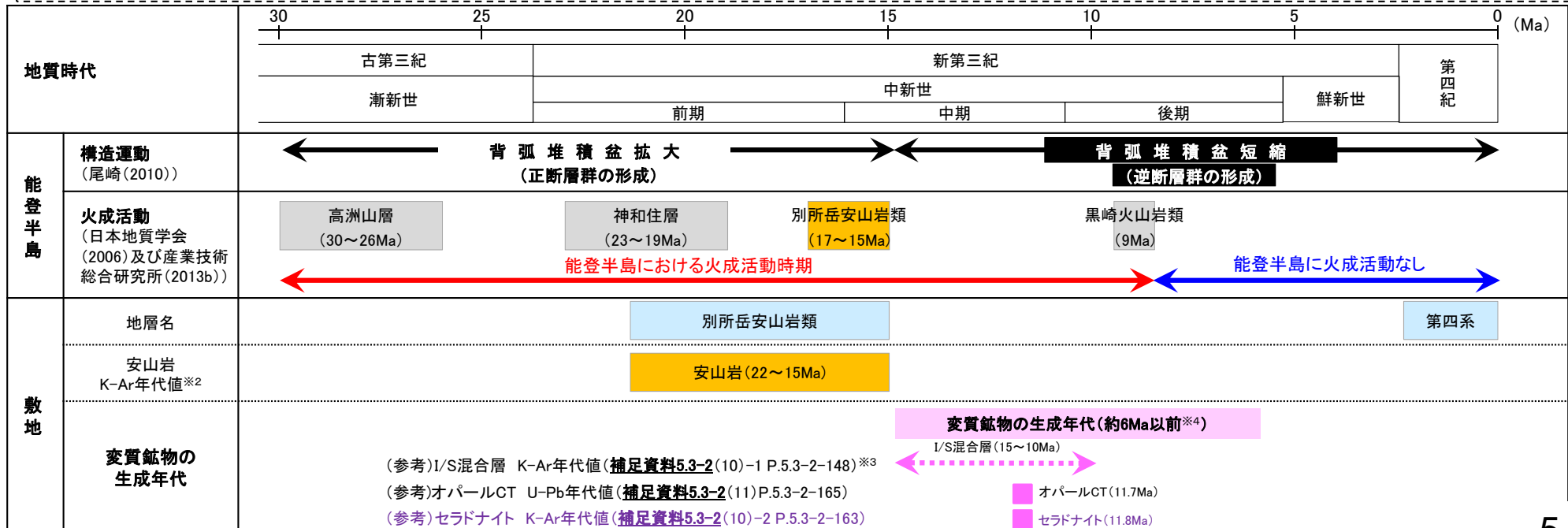
- ・敷地の変質鉱物と第四系の関係を検討した結果、I/S混合層を生成させた変質は、別所岳安山岩類中に深部から地表付近まで連続的に確認されるが、少なくとも第四系には及んでいないと判断した(P.5-48)。

【K-Ar年代値(I/S混合層), U-Pb年代値(オパールCT), K-Ar年代値(セラドナイト)】

- ・敷地で認められたI/S混合層のK-Ar年代値は15~10Maを示し(補足資料5.3-2(10)-1 P.5.3-2-148), オパールCTのU-Pb年代値は11.7Maを示す(補足資料5.3-2(11)P.5.3-2-165)。
- ・敷地近傍で認められたセラドナイトのK-Ar年代値は11.8Maを示す(補足資料5.3-2(10)-2 P.5.3-2-163)。

【生成温度・期間に関する文献調査】

- ・文献によると、I/S混合層は約50°Cでは、100万年でも生成せず、オパールCTが約50°Cで生成する場合、数十万年の期間を要するとされる(補足資料5.3-2(7)P.5.3-2-134, 135)。

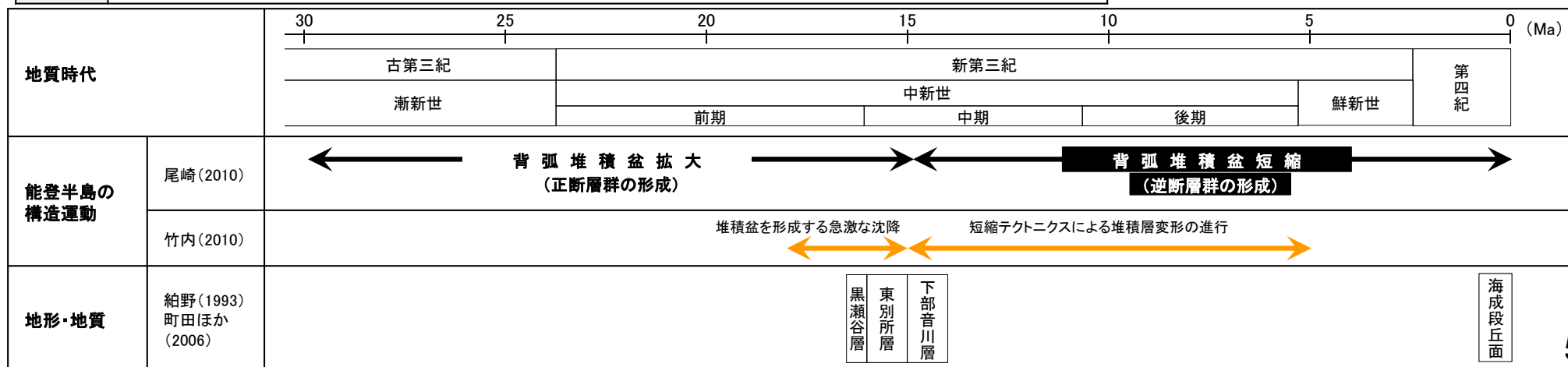
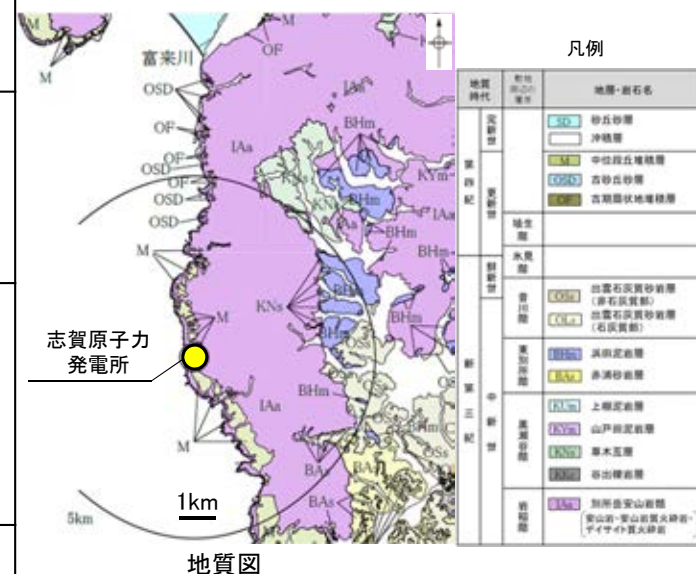


※2: 補足資料5.3-1(2), ※3: 信頼性確認は、補足資料5.3-2(10), ※4: 5.3.1(1-3)生成環境を踏まえて推定した生成年代

【能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係】

- 敷地の変質鉱物の生成環境に関する評価と既往知見との関係を確認するため、別所岳安山岩類形成以降(前期～中期中新世)における能登半島周辺の地質構造について整理した。
- 尾崎(2010)によれば、能登半島において中期中新世以前に背弧堆積盆拡大が起こり、中期中新世以降に背弧堆積盆短縮に伴う隆起が生じたとされている。
- 竹内(2010)によれば、能登半島周辺では18～15Maに堆積盆を形成する急激な沈降が生じ、15～5Maに短縮テクトニクスによる堆積層変形が進行したとされている。
- 紘野(1993)によれば、能登半島において黒瀬谷期(16.5～16Ma)には浅海環境であり、東別所期(16～15Ma)に海域が急速に拡大し半深海の深さとなり、下部音川期(15～14Ma)に隆起が生じ、陸域が増大したとされている。
- 町田ほか(2006)によれば、能登半島には多数の海成段丘面が存在し、第四紀中・後期における隆起を示しており、段丘面の最高高度は標高400mに達する。
- 以上を踏まえると、敷地周辺一帯は中期中新世以前に沈降し、中期中新世以降に隆起する環境を経たものとされており、敷地の変質鉱物が地下深部で生成し、その後隆起して現在の位置で確認されているものと判断したことと整合する。

尾崎(2010)	<ul style="list-style-type: none"> ・本地域の漸新統～下部中新統には日本海拡大時の伸張場で形成されたと考えられる北東-南西方向の正断層がよく発達する。 ・中部～上部中新統には非対称な褶曲を伴う東北東-西南西～東西方向の逆断層がよく発達し、少なくとも後期中新世には短縮場となり、後期中新世末以降、現在の能登半島北部は広範囲に隆起する。 ・能登半島の構造運動について図で示しており、この図によると、中期中新世以前に背弧堆積盆拡大に伴う正断層群の形成、中期中新世以降に背弧堆積盆短縮に伴う逆断層群の形成が示されている。
竹内(2010)	<p>堆積盆形成期(18～15Ma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・北陸地方ではこの期間に3,000mに達する急激な沈降により堆積盆を形成した。 ・これらの堆積盆地は、加賀・富山など現在の海岸沖積平野とほぼ同じ場所に位置する。 ・なかでも能登半島と中央高地に挟まれた加賀-富山平野の先新生代基盤岩の深度は少なくとも2,000m～3,000mである。 <p>堆積盆分化と堆積層変形の進行(15～5Ma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短縮テクトニクスによる変形集中帯としては、北陸地方では、能登半島北部(奥能登)の若山川断層帯や半島基部にある宝達山北断層帯が該当する。
紘野(1993)	<p>黒瀬谷期(16.5～16Ma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・富山県八尾地区の黒瀬谷層(700～900m)を模式とする時期で、石川県内では、能登北部の東印内層などによって代表される。八尾動物群とよばれる熱帯～亜熱帯の内湾～浅海環境を示す貝類や、大型有孔虫の<i>Operculina</i>、<i>Miogyopsina</i>が含まれる。 <p>東別所期(16～15Ma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・富山県南部の東別所層(800m)を模式とする時期で、石川県内では、能登北部の赤神層、能登南部の浜田層、金沢地区の朝ヶ屋層、加賀南部の細坪層などによって代表される。この時期には、海域が急速に拡大して半深海の深さとなり、均質無層理の泥岩層が広く堆積した。 <p>下部音川期(15～14Ma)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・富山県南部の下部音川層(400m)を模式とする。東別所期のあと、南側(飛騨山地側)の後背地が急速に隆起し、能登南部・北部では陸域が増大し、海域は浅くなって、砂礫質・砂質の堆積物が多くなる。
町田ほか(2006)	<ul style="list-style-type: none"> ・能登半島には多数の海成段丘面が存在し、第四紀中・後期における隆起を示しており、段丘面の最高高度は標高400mに達する。

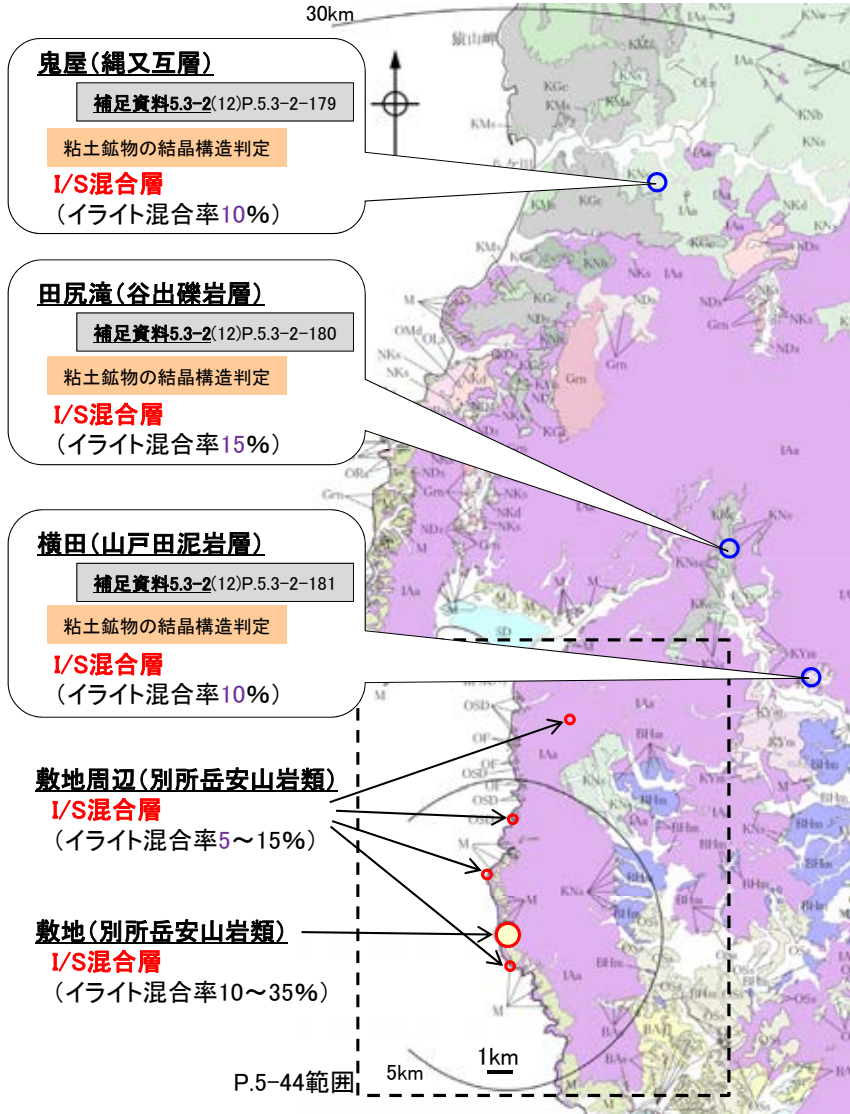


【新第三紀堆積岩における変質状況の確認】

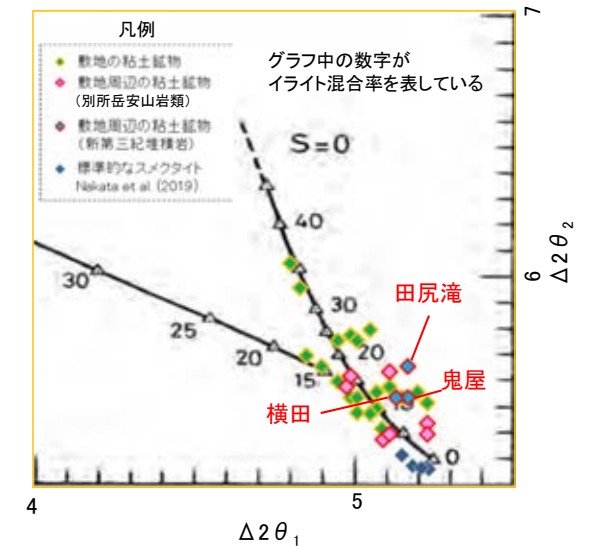
- 敷地周辺一帯が同じような環境下で変質を被ったと判断したことについて、敷地周辺の別所岳安山岩類に加え、その周辺の新第三紀堆積岩の変質状況を調査した。
- 敷地周辺の新第三紀堆積岩(黒瀬谷階の縄又互層, 谷出礫岩層, 山戸田泥岩層)中の粘土鉱物を対象として, XRD分析による結晶構造判定を行った結果, これらの敷地周辺で確認される粘土鉱物は, 敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(補足資料5.3-2(12)P.5.3-2-178)。

紫字: 第1073回審査会合以降に追加・変更した箇所

＜敷地周辺で確認される変質鉱物＞



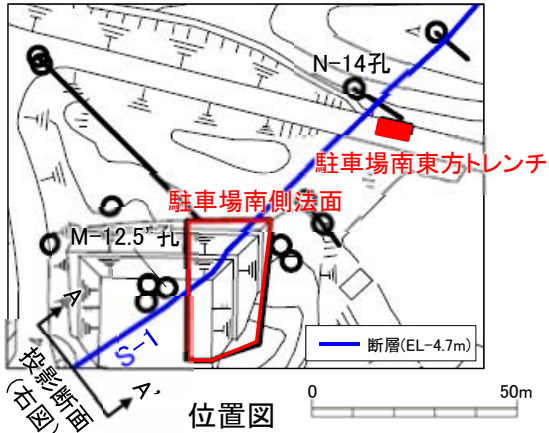
＜粘土鉱物の結晶構造判定結果＞



凡例	
地質時代	地層・岩石名
第四紀	<ul style="list-style-type: none"> SD 砂丘砂層 沖積層 M 中位段丘堆積層 OSD 古砂丘砂層 古栗原状地堆積層 DF 河成段丘堆積層
第三紀	<ul style="list-style-type: none"> ORa 別所岳安山岩 OMa 前浜泥岩層 OSa 七尾石灰質砂岩層・田雲石灰質砂岩層 (非石灰質部) OLA 前波石灰質砂岩層・関野森石灰質砂岩層・七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層・安代原石灰質砂岩層(石灰質部) BHm 浜田泥岩層 BAa 赤浦砂岩層 BNa 笠師保泥岩層 KMa 東印内互層・皆月砂岩泥岩層 KGa 道下礫岩層 KUa 上礫泥岩層 KYa 山戸田泥岩層 KNa 縄又互層・草木互層・柳出礫層 KRa 溶結凝灰岩 KYa 後山砂岩層 KNa 玄武岩 KGa 谷出礫岩層 IAa 別所岳安山岩類 安山岩・安山岩質火砕岩・高洲山安山岩類 岩・右美安山岩質火砕岩及び右美安山岩 NKa 石英安山岩・溶結凝灰岩 NKa 大角間層 NDa 大塚寺砂岩層 Grn 花崗岩・片麻岩
古第三紀	
先第三紀	

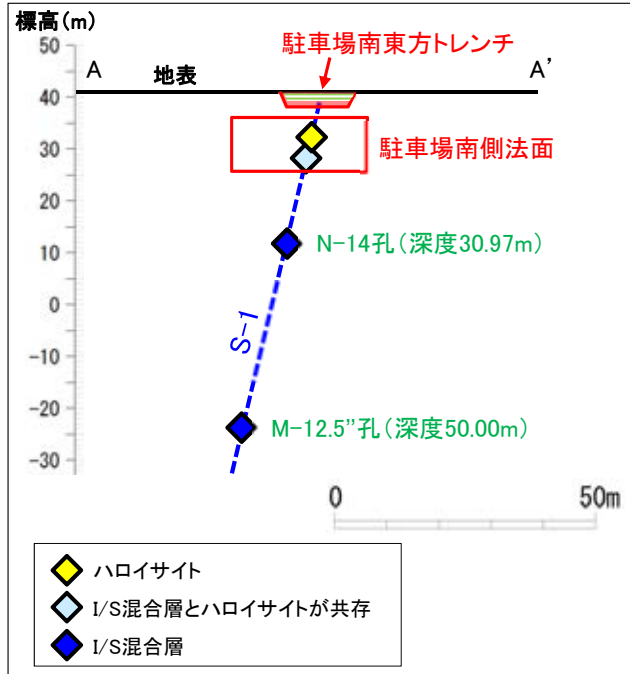
【敷地の変質鉱物と第四系との関係】

- 破砕部中や割れ目に沿って変質鉱物(I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイト)を確認したことから、これらの鉱物を生成させた変質が第四系に及んでいるかを確認するため、破砕部及びその他の割れ目について調査を行った。
- 駐車場南側法面～駐車場南東方トレンチでは、粘土状破砕部が別所岳安山岩類中に深部から連続的に認められるが、第四系(H I a段丘堆積物)には認められない。
- この粘土状破砕部を対象としてXRD分析を実施した結果、ボーリング孔(M-12.5' 孔, N-14孔)では変質鉱物であるI/S混合層が認められ、駐車場南側法面下部ではI/S混合層とハロイサイトが共存し、地表付近ではI/S混合層は認められず主に風化変質鉱物であるハロイサイトが認められた。
- このことから、地表付近の粘土状破砕部は、段丘面形成以降の風化によりハロイサイト主体となり、I/S混合層が検出されなくなったものと判断した。
- さらに、別所岳安山岩類中に認められる白色脈(ハロイサイト脈)が別所岳安山岩類の上面で削剥され、上位の第四系に覆われており、第四系には認められないことを複数箇所を確認している(補足資料5.3-2(14) P.5.3-2-207)。このことから、この白色脈の形成時期は第四系の堆積時期よりも古いと判断した。なお、この白色脈は、地表付近では風化変質が進んでいるものの、風化変質前はI/S混合層であった可能性がある。
- 以上を踏まえ、I/S混合層を生成させた変質は、別所岳安山岩類中に深部から地表付近まで連続的に確認されるが、少なくとも第四系には及んでいないと判断した。



XRD分析結果

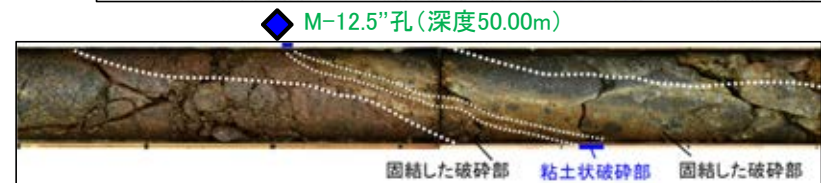
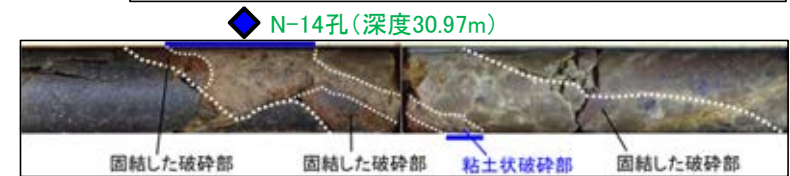
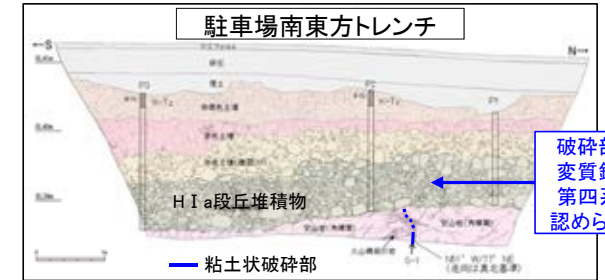
試料採取位置	標高	検出鉱物						
		石英	クリストバライト	斜長石	7Å型ハロイサイト	雲母鉱物	スメクタイト※	赤鉄鉱	針鉄鉱
駐車場南側法面-上	EL 32m	+	+	△	△	△	+	+
駐車場南側法面-下	EL 27m	±	±	±	±	△	±	±
N-14孔	EL 12m	±	○	△	△	±		
M-12.5'孔	EL -24m			△	±	±	+	+



A-A' 投影断面図
(H:V=1:1)

※XRD分析により確認された敷地の粘土鉱物(スメクタイト)は、I/S混合層であることを確認している(P.5-31)。

試料採取位置、分析試料写真及びXRD回折チャートは補足資料5.3-2(14)-2



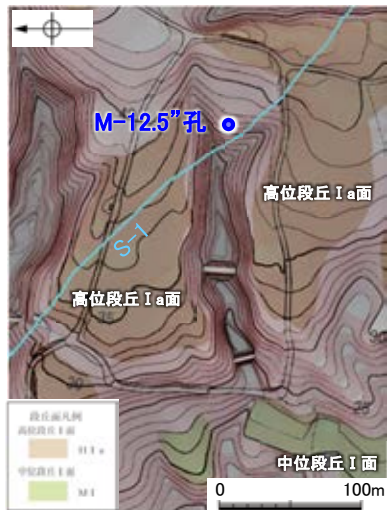
量比
○: 中量(2,500~5,000cps), △: 少量(500~2,500cps),
+: 微量(250~500cps), ±: きわめて微量(<250cps)

5.3(1-5) 碎屑岩脈の形成年代評価

- OM-12.5”孔の深度50.00m(EL-21.70m)付近のS-1において、固結した角礫状破碎部と構成鉱物の種類等が類似する碎屑物が、粘土状破碎部全体を横断している。この碎屑物を「碎屑岩脈※」と呼ぶ(詳細は**補足資料5.4-2(1)-3** P.5.4-2-38, 39)。
- 薄片を詳細に観察すると、碎屑岩脈は複雑に枝分かかれし、内部に流動状の構造が認められることから、碎屑岩脈は未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆される。さらに、周辺の粘土鉱物中に引きずり等の構造が認められないことから、粘土鉱物は碎屑岩脈の貫入当時は軟質ではなかったと考えられ、現在と異なる環境下にあったことが示唆される。これらのことを踏まえ、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で形成したと判断した(薄片拡大写真)。
- 本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(約12~13万年前より古い高海面期, P.5-25)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成され、その後の地形に大きな変化はない(発電所建設前の旧地形図)。碎屑岩脈の確認標高は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下にあった。この低封圧下では、高封圧下で形成する碎屑岩脈は形成しないと判断した。

○以上より、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

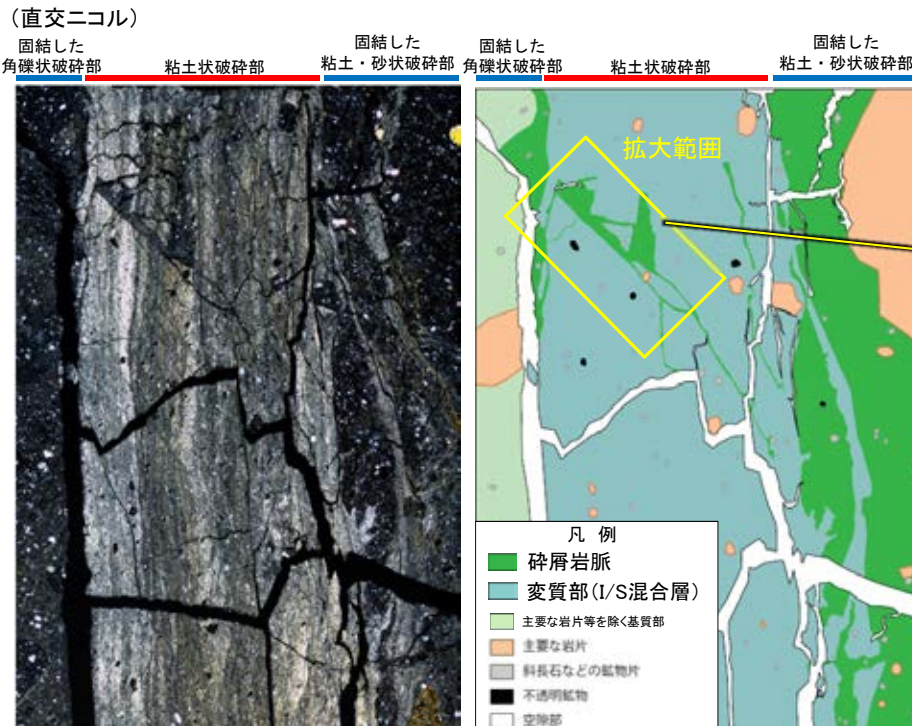
※碎屑岩脈の硬軟に関する定量的な確認結果はP.5-60~5-62



発電所建設前の旧地形図

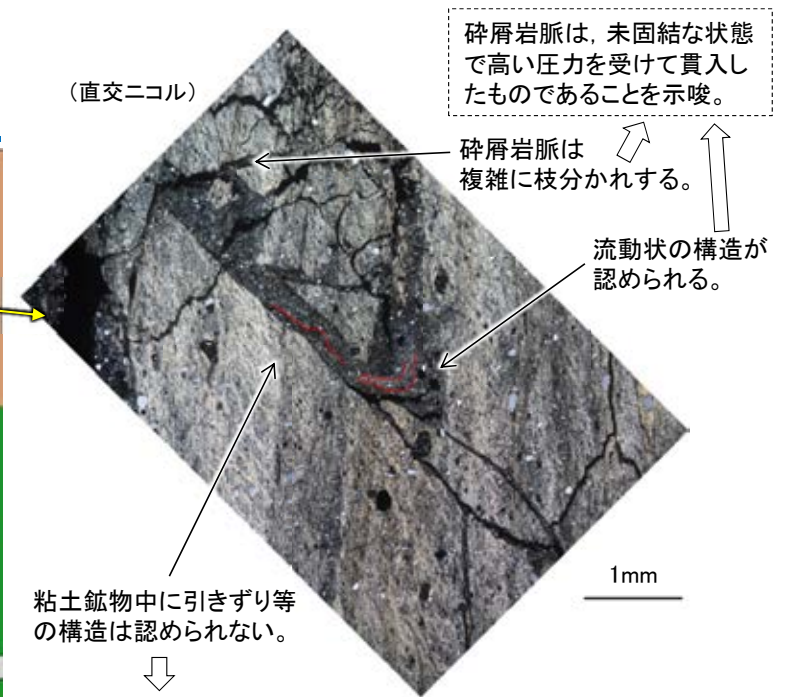
M-12.5”孔は高位段丘 I a面を開析する谷に位置する。

本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(P.5-25)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成された。



M-12.5”孔 薄片写真 1mm

スケッチ 1mm



粘土鉱物は、碎屑岩脈の貫入当時は軟質ではなかったと考えられ、現在とは異なる環境下にあったことを示唆。

薄片拡大写真(流動状の構造を加筆)

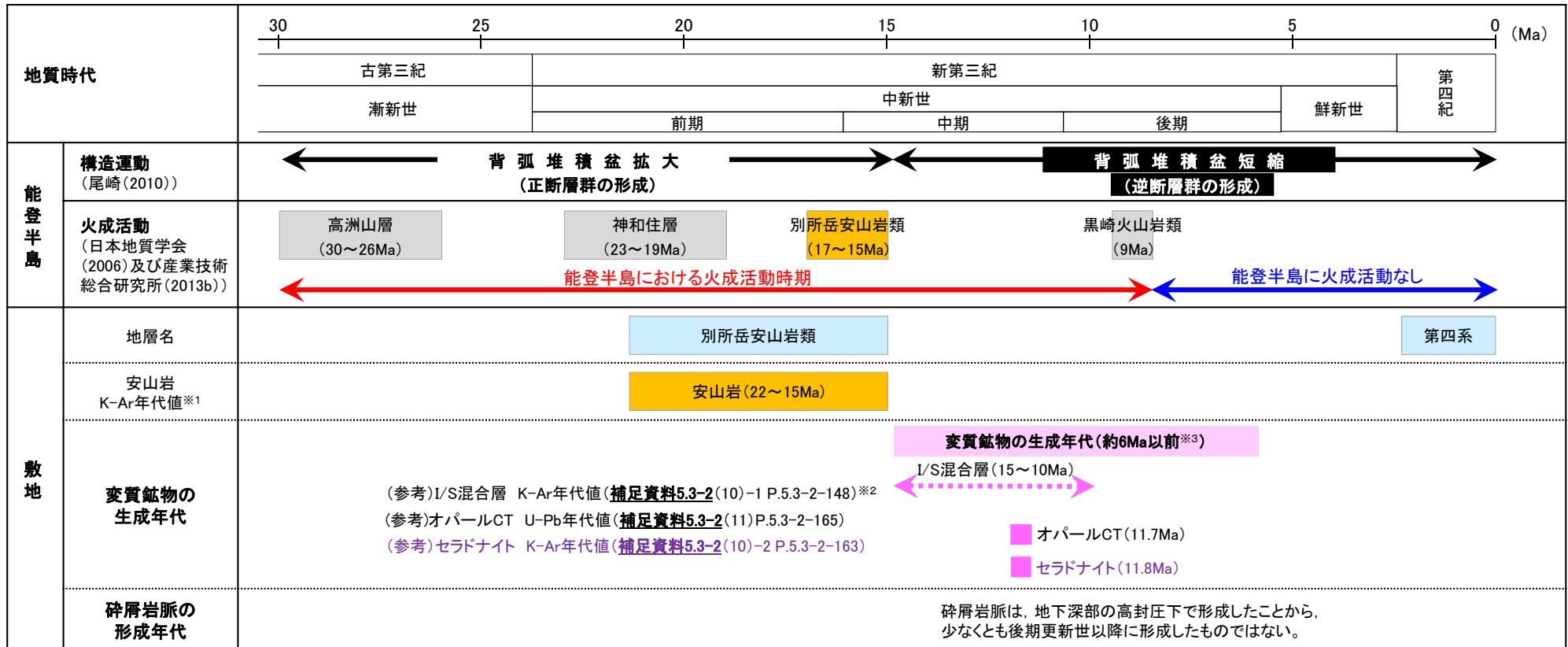
5.3(1-6) 評価に用いる変質鉱物

○変質鉱物の生成年代及び碎屑岩脈の形成年代の評価結果に基づき、鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物を整理した。

<変質鉱物の生成年代評価(P.5-45)>
変質鉱物は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

<碎屑岩脈の形成年代評価(P.5-49)>
碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等)及び
少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈を用いて、鉱物脈法による活動性評価を行う。



※1:補足資料5.3-1(2), ※2:信頼性確認は、補足資料5.3-2(10), ※3:5.3(1-3)生成環境を踏まえて推定した生成年代

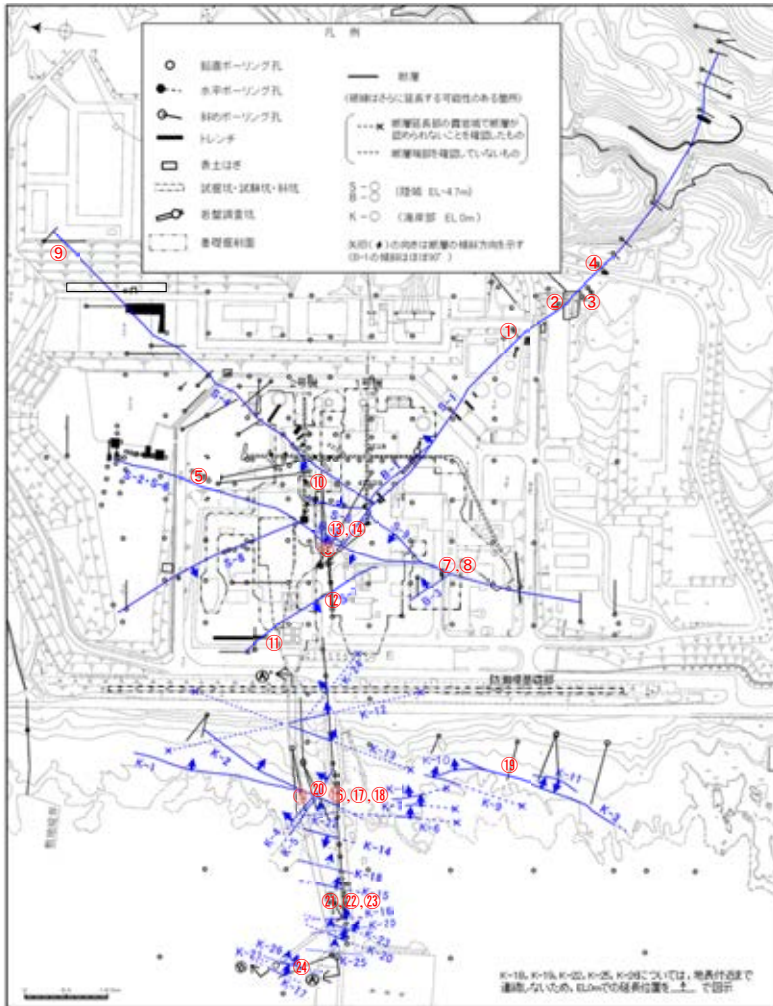
・後述の薄片観察等の観察事実を踏まえて整理した、破砕部と変質鉱物の形成プロセスについては補足資料5.3-2(6)

5.3(2) 破碎部中の鉱物脈

5.3(2) 破碎部中の鉱物脈

- 断層と鉱物脈との関係を確認するためにボーリングコア観察及び露頭調査を実施した。
- ボーリングコア観察の結果、破碎部中に鉱物脈を確認した。鉱物脈は固結した破碎部及び粘土状破碎部に認められ、それらに変位、変形は認められない。
- 露頭調査については、敷地内の既存トレンチの観察を行ったが、風化変質等の影響が著しく、破碎部中に鉱物脈は認められなかった。

○以上より、破碎部中のI/S混合層等の鉱物脈に変位・変形が認められないことから、破碎部の形成は鉱物脈の生成以前と判断される。
○このことは、後述する微視的観察(5.5.1～5.5.10項)において、最新面を横断する粘土鉱物(I/S混合層)等に変位・変形が認められないことと整合する。



試料①⑦(白色)

平面図

試料①⑦(オリーブ色), ⑬

試料①, ③, ⑤, ⑮

XRD分析 測定諸元
装置 理学電機製 MultiFlex
Target: Cu(K α)
Monochromator: Graphite 反射
Voltage: 40kV
Current: 40mA
Detector: SC
Calculation: Jade 6.5
Divergence Slit: 1°
Scattering Slit: 1°
Receiving Slit: 0.3mm
Scanning Speed: 2°/min
Scanning Mode: 連続法
Sampling Range: 0.02°
Scanning Range: 2~41°

XRD分析 測定諸元
装置 Rigaku RINT2500V
Target: Cu(K α)
Voltage: 40kV
Detector: SC
Divergence Slit: 0.5°
Voltage: 40kV
Step size: 0.02°

XRD分析 測定諸元
装置 PANalytical X'Pert Pro
Target: Cu(K α)
Voltage: 40kV
Detector: PC
Divergence Slit: 15mm
Voltage: 40kV
Receiving Slit: 0.20mm
Step size: 0.02°

破碎部中に認められた鉱物脈※1

鉱物脈が認められた位置	深度	標高	記事	変質鉱物		
①	L-12.2	41.93m	EL-10.97m	41.52～41.93mに灰白色～灰オリーブ色の鉱物脈あり。	I/S混合層※2	
②	M-12.5	63.43m	EL-35.33m	63.31～63.66mにオリーブ色の鉱物脈あり。	—	
③	N-13'	23.39m	EL15.13m	23.69～23.94mに灰白～オリーブ褐色の鉱物脈あり。	I/S混合層※2	
④	N-14	30.97m	EL11.78m	31.00～31.50mに灰白～オリーブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑤	E-8.6	11.70m	EL9.41m	12.02～12.21mにオリーブ黄色の鉱物脈あり。	I/S混合層※2	
⑥	H-6.5'	34.55m	EL-13.41m	34.46～34.48mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑦	K-6.3	20.61m	EL-9.48m	20.30～20.46mにオリーブ黄色の鉱物脈あり。	—	
⑧	K-6.2-2	30.94m	EL-19.44m	31.31～31.34mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑨	A-14.5S	57.49m	EL8.85m	57.41～57.43mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑩	H-6.4	94.65m	EL-55.84m	94.56～94.60mにオリーブ黄色の鉱物脈あり。	—	
⑪	F-4.6	29.70m	EL-18.60	29.66～29.68mにオリーブ色の鉱物脈あり。	—	
⑫	H-5.7	13.20m	EL-0.55m	13.14～13.40mに浅黄色の鉱物脈あり。	—	
⑬	H-5.4-4E	87.56m	EL-11.60m	87.54～87.56mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑭	H-6.5	46.32m	EL-29.88m	46.30～46.37mにオリーブ黄色・灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑮	G-1.9-27	47.81m	EL-17.82m	47.68～47.77mにオリーブ色の鉱物脈あり。	I/S混合層※2	
⑯	H-0.9-75	36.51m	EL-29.00m	36.27～36.47mにオリーブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑰	K-2	H-1.1	103.77m	EL-96.99m	103.36～106.29mにオリーブ色・白色の鉱物脈あり。	I/S混合層, オパールCT
⑱	H-1.3-88	139.30m 141.57m	EL-131.95m EL-134.21m	139.32～139.50mに浅黄色の鉱物脈あり。 141.44～142.00mにオリーブ～オリーブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑲	K-3	M-2.2	48.83m	EL-31.52m	48.72～48.84mにオリーブ色の鉱物脈あり。	I/S混合層
⑳	K-5	G-1.5-35	40.06m	EL-18.49m	40.16～41.43mに明褐色～オリーブ色の鉱物脈あり。	—
㉑	H- -1.86	36.28m	EL-32.64m	36.18～36.49mに褐～黄褐色の鉱物脈あり。	—	
㉒	K-16	H- -1.80	43.35m	EL-39.71m	43.07～43.80mに褐色・オリーブ色の鉱物脈あり。	—
㉓	H- -1.7	57.55m	EL-53.91m	57.21～57.78mに灰白色・オリーブ色・褐色の鉱物脈あり。	—	
㉔	K-17	H- -3.0-55	78.23m	EL-60.44m	78.14～78.23mに灰白色の鉱物脈あり。	—

※1: ボーリングコア観察の結果、破碎部中に認められた鉱物脈とボーリングコアに認められる変質の状況(次頁)について柱状図に加筆した(データ集1)。

※2: XRD分析により、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められており、同一断層の別孔で実施したXRD分析(粘土分濃集)の結果を踏まえ、これらの変質鉱物はI/S混合層であると判断した。

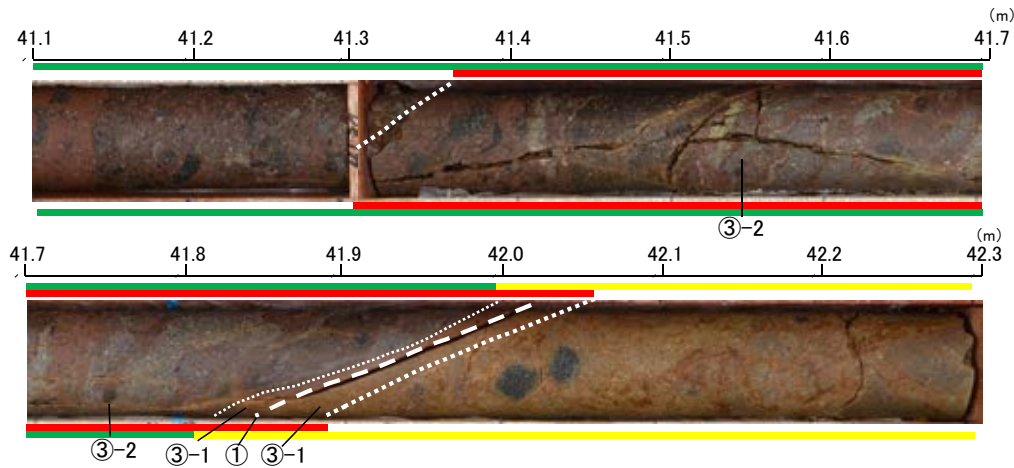
—: XRD分析未実施

【ボーリングコアに認められる変質の状況】

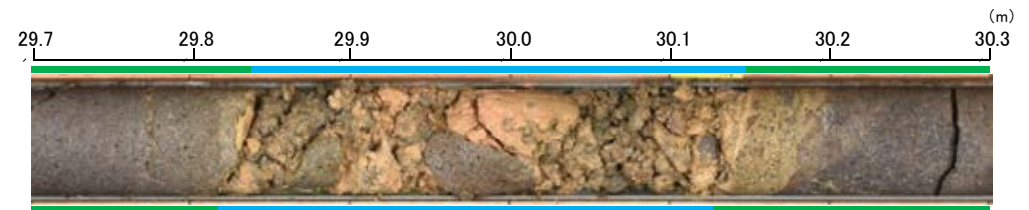
- ボーリングコア観察の結果、熱水変質によるものと考えられる変質の状況が認められた。
 ○変質区分を、以下の3区分とし、柱状図に変質、強い変質が認められた区間を柱状図に記載した(データ集1)。
- ・非変質, 弱く変質: 原岩組織の判別が可能であり, 変質部分が50%未満。
 - ・変質: 原岩組織の判別が可能であり, 変質部分が50%以上。
 - ・強く変質: 原岩組織が不明。

凡例

①	粘土状破碎部
③-1	固結した粘土・砂状破碎部
③-2	固結した角礫状破碎部



変質している区間の例(L-12.2孔)

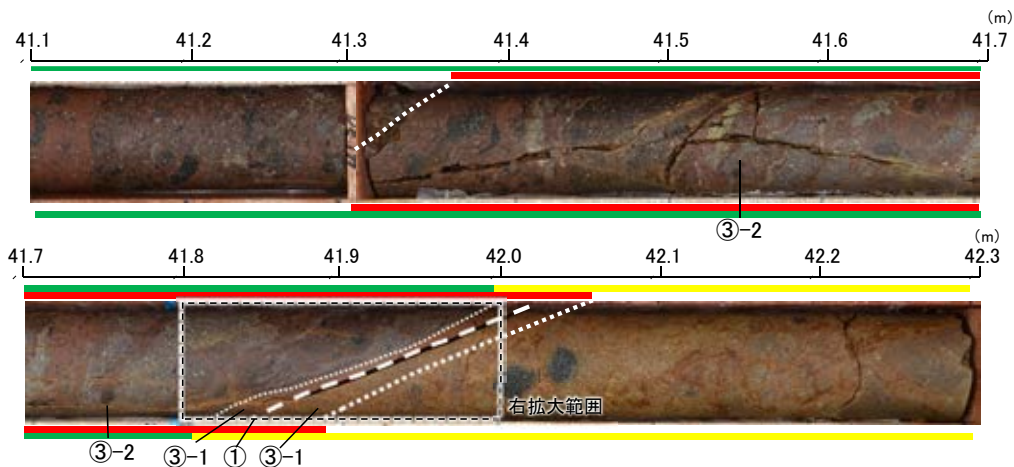


強く変質している区間の例(H-1.1-87孔)

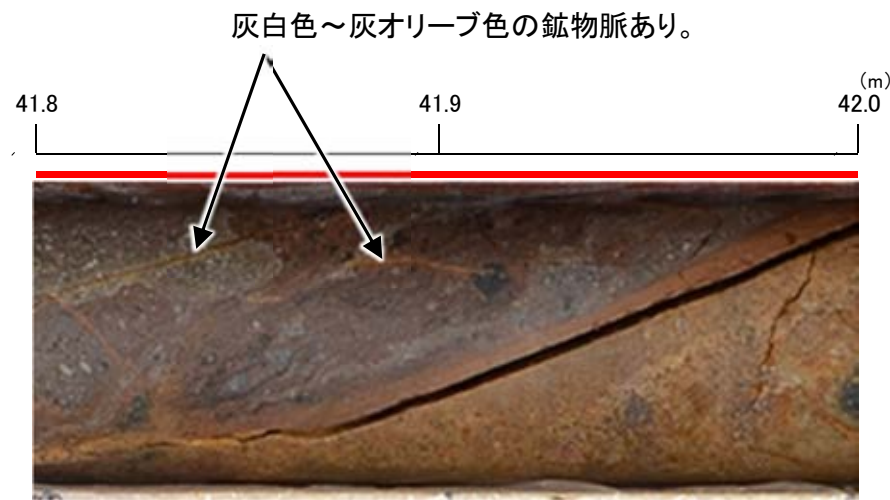
- 変質している区間(非変質, 弱く変質)
- 変質している区間(変質)
- 変質している区間(強く変質)

【破碎部中に認められた鉱物脈の例(S-1)】

- 凡例
- ① 粘土状破碎部
 - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
 - ③-2 固結した角礫状破碎部
 - 変質している区間(非変質, 弱く変質)
 - 変質している区間(変質)

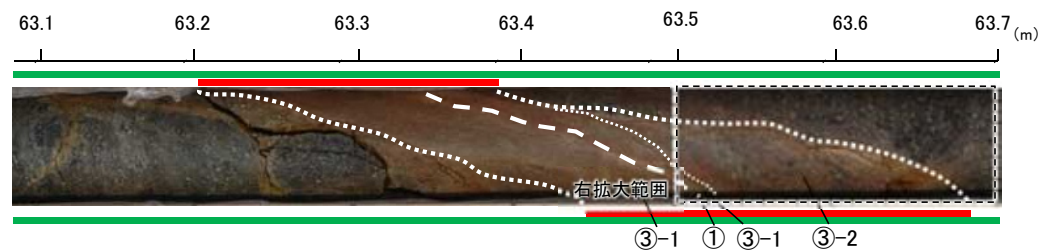


S-1写真(L-12.2孔)

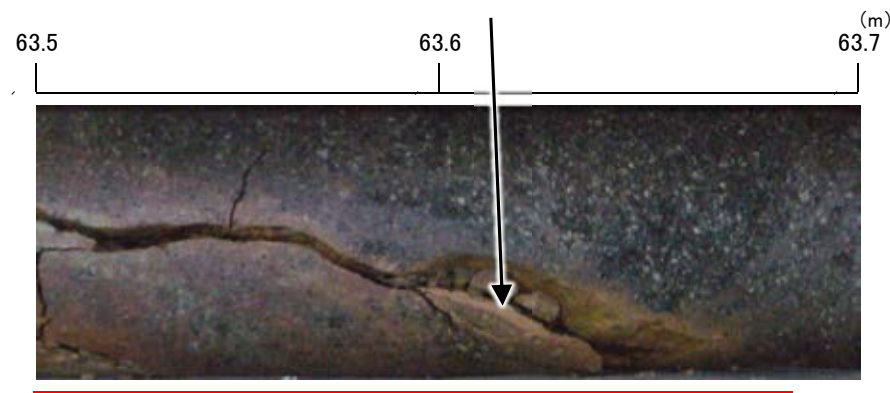


拡大写真(L-12.2孔 41.8~42.0m)

灰白色～灰オリーブ色の鉱物脈あり。



S-1写真(M-12.5孔)



拡大写真(M-12.5孔 63.5~63.7m)

オリーブ色の鉱物脈あり。

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 最新面の認定の考え方 —

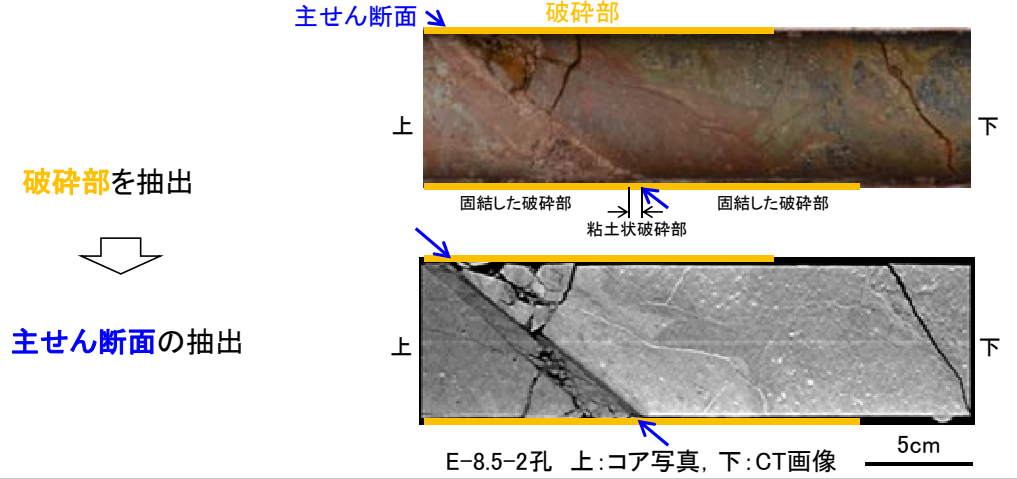
○鉱物脈法による活動性評価にあたっては、断層の最新活動時期を表す最新面を適切に認定し、変質鉱物との接触関係を確認することが重要となる。
○この最新面の認定にあたっては、まず巨視的観察により破碎部から主せん断面を抽出する。その上で、主せん断面を薄片による微視的観察により観察して最新ゾーンを抽出し、最新ゾーン中で抽出した全てのY面の中から最新面を認定する。

志賀原子力発電所における用語

観察手法	用語	特徴
露頭観察 ボーリングコア観察 研磨片観察 CT画像観察	破碎部	断層活動による変形構造が認められる部分。ある幅を持ち、固結・未固結の程度、粒度とその割合から分類され、粘土状や角礫状等からなる。
	主せん断面	破碎部中において、細粒化が進んでおり、最も直線性・連続性がよい断層面。
薄片観察	最新ゾーン	巨視的観察で主せん断面として抽出した箇所で作成した薄片観察の結果、他の構造に切られない最も細粒化しているゾーン。
	Y面	最新ゾーン中における、直線性・連続性がよい面(断続的であっても抽出する)。
	最新面	Y面(面1, 2, ...)のうち、最も直線性・連続性がよく、他の面に切られることのない面。

最新面の認定手順

巨視的観察(露頭観察・ボーリングコア観察・研磨片観察・CT画像観察)



破碎部を抽出

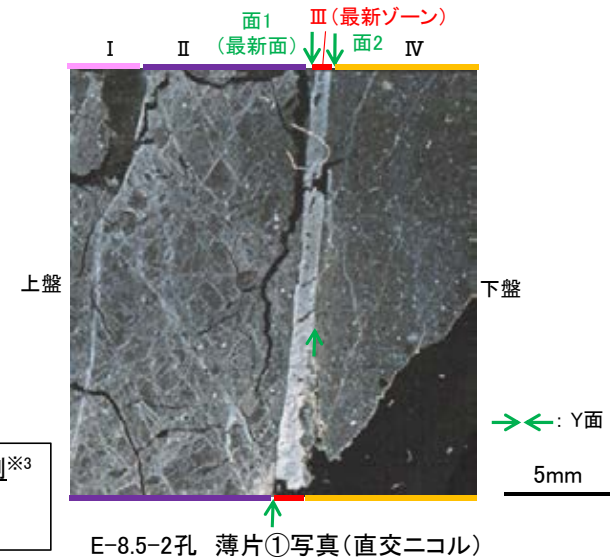
主せん断面の抽出

微視的観察(薄片観察)

最新ゾーンを抽出

Y面を抽出

最新面の認定*1, 2



分帯とコア観察における破碎部区分との対応例*3
 ・分帯Ⅲ(最新ゾーン) ... 粘土状破碎部
 ・分帯Ⅰ, 分帯Ⅱ, 分帯Ⅳ ... 固結した破碎部

*1: 直線性・連続性の優劣を付けるのが困難な複数の面を抽出した場合、最新面1, 2, ...と記載し、全てについて変質鉱物との関係を確認する。

*2: 最新面については、ボーリング孔毎で、確認したもののから順に名称(最新面1等)を付している。

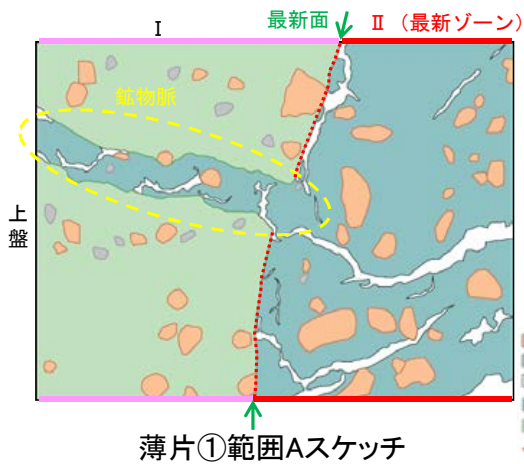
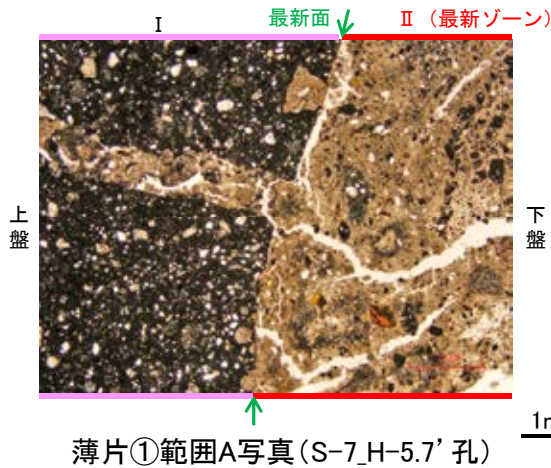
*3: 巨視的観察から微視的観察に進むにあたり、コア観察における破碎部区分と薄片観察における分帯との対応を確認する。

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 一切り合い関係の考え方

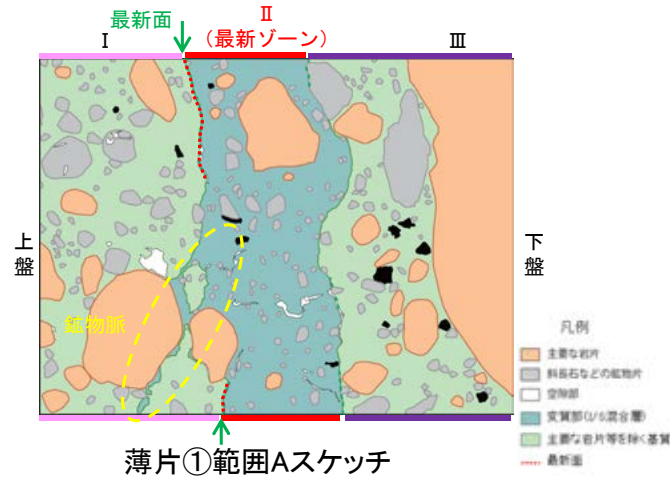
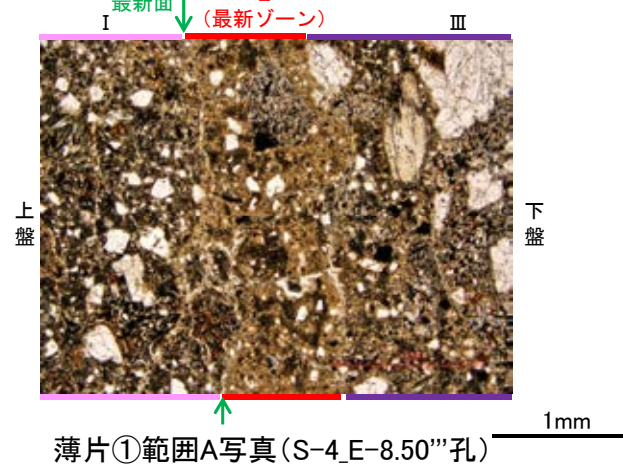
- 鉱物脈法による活動性評価にあたっては、最新面と鉱物脈(変質鉱物等)との切り合い関係が明確な箇所での評価を行うことが重要である。
- 鉱物脈が最新面を明瞭に横断しているもの(左写真, 中央写真)については、最新面と鉱物脈との切り合い関係を用いて活動性評価を行う。
- 一方、面が全体的に不明瞭で、面の周辺にも変位・変形が認められないなど、最新面を明確に認定できないもの(右写真)については、最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと鉱物脈との関係を用いて活動性評価を行う。

最新面と鉱物脈との切り合い関係が明確な例

(単ニコル)



(単ニコル)

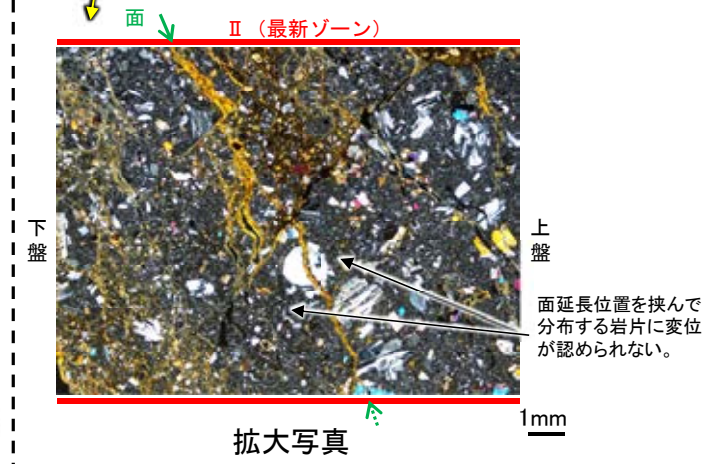
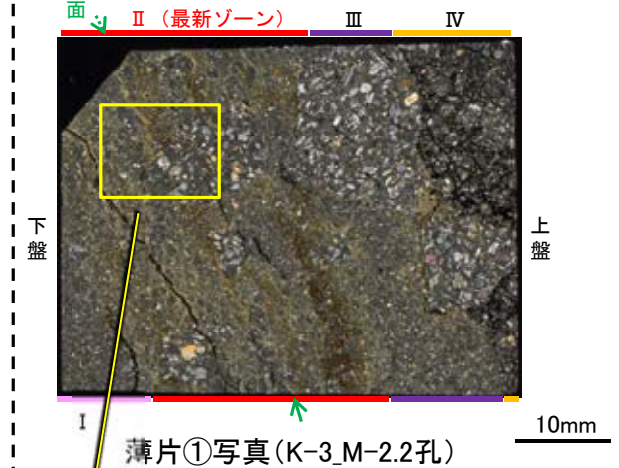


鉱物脈が最新面を明瞭に横断している。
⇒最新面と鉱物脈との切り合い関係を用いて活動性評価を行う。

紫字: 第1073回審査会合以降の変更箇所

最新面と鉱物脈との切り合い関係が不明確な例

(直交ニコル)

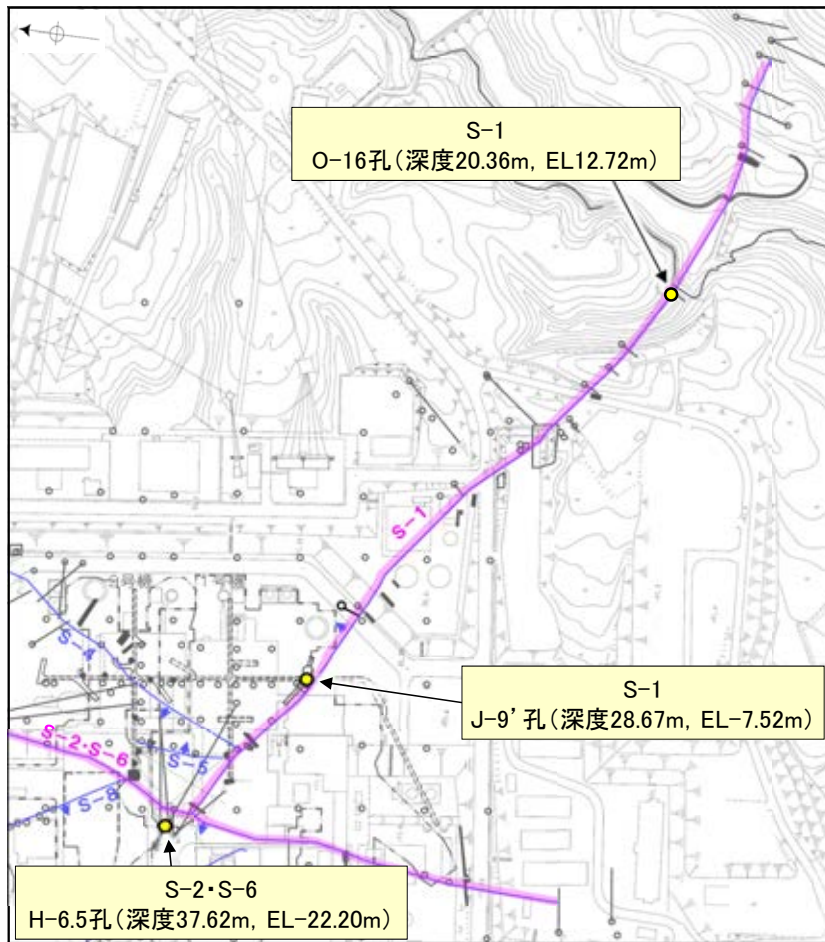


面が全体的に不明瞭で、面の周辺にも変位・変形が認められないなど、最新面を明確に認定できない。
⇒最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと鉱物脈との関係を用いて活動性評価を行う。

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 ー 破砕部の硬軟 ー

○破砕部の硬軟の程度を定量的に確認するために、粘土状破砕部及び固結した破砕部で針貫入試験を実施した。
○その結果、粘土状破砕部では2～3N/mm、固結した破砕部では46～71N/mmの針貫入勾配を示し、粘土状破砕部と固結した破砕部の硬軟の程度は明らかに異なり、固結した破砕部は周辺の母岩と同程度の硬さを有することが確認できた。

針貫入試験結果



調査位置図

断層名	孔名	粘土状破砕部		
		測点番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
S-1	O-16孔	a	3	3
		b	2	
		c	2	
S-2・S-6	H-6.5孔	d	3	3
		e	2	

*1: 粘土状破砕部と固結した破砕部の針貫入試験実施位置の詳細については次頁

断層名	孔名	固結した破砕部		
		測点番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
S-1	O-16孔	f	50	46
		g	50	
		h	50	
	J-9' 孔	i	33	63
		j	50	
k		50		
S-2・S-6	H-6.5孔	l	100	71
		m	50	
		n	33	
		o	100	
		p	100	
	q	50		

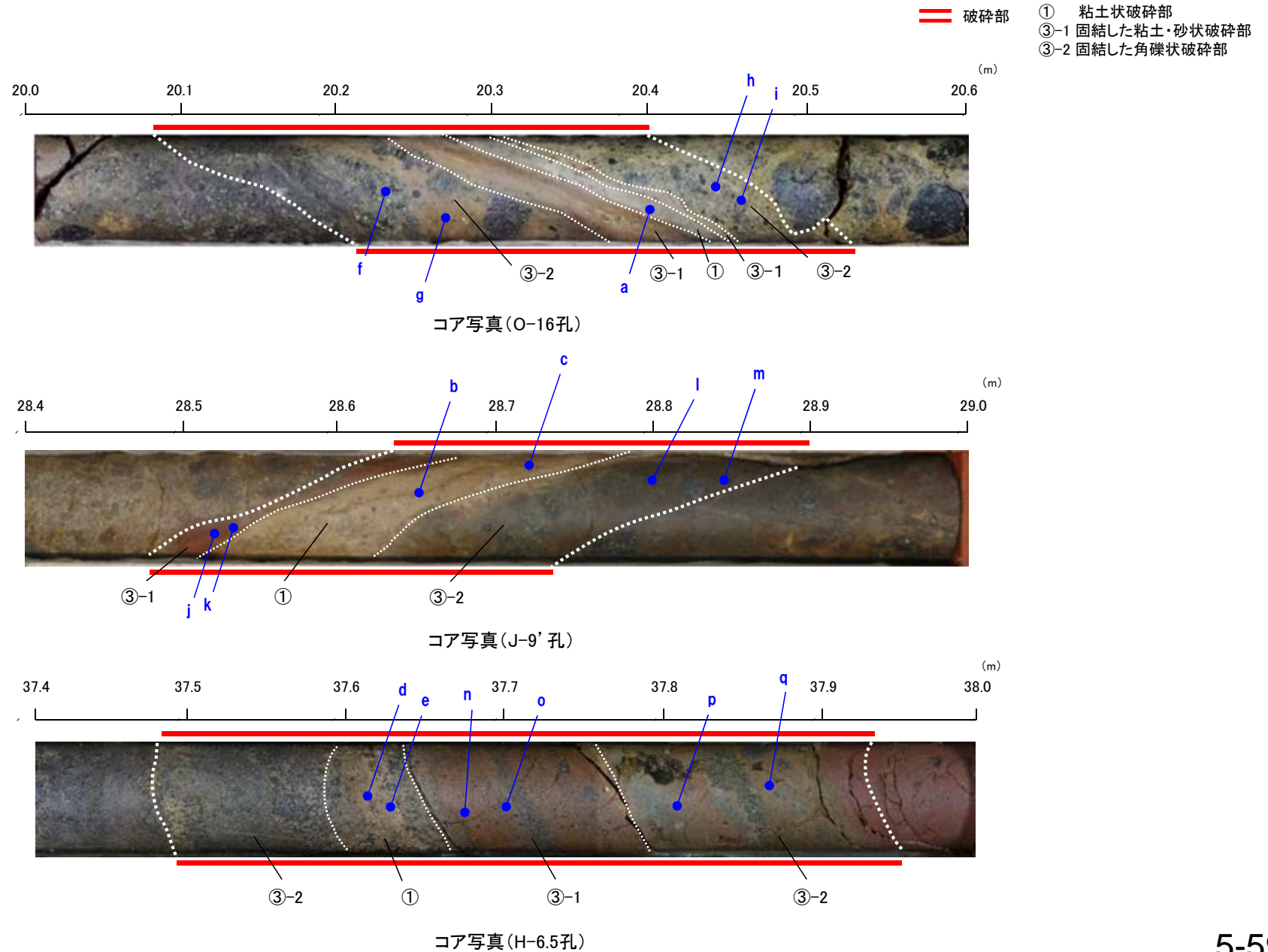
(参考)母岩の針貫入勾配平均値 (N/mm)		
凝灰角礫岩	安山岩(角礫質)	安山岩(均質)
46	63	100

*2: 母岩の針貫入試験結果の詳細については補足資料2.2-2

【針貫入試験の測定方法】
 ・粘土状破砕部及び固結した破砕部に針を貫入し、その貫入長さ及び貫入荷重を測定して、その関係から針貫入勾配を求める試験である。
 ・試験にあたり、粘土状破砕部に対して2点程度、固結した破砕部に対して4点程度の計測を行い、その平均値をその破砕部における針貫入勾配値*とした。
 ・なお測定は、できるだけ平滑な箇所を対象に実施した。
 ※貫入深さ1mm未満で貫入荷重100Nに達した計測値は針貫入勾配を100N/mmとして算出

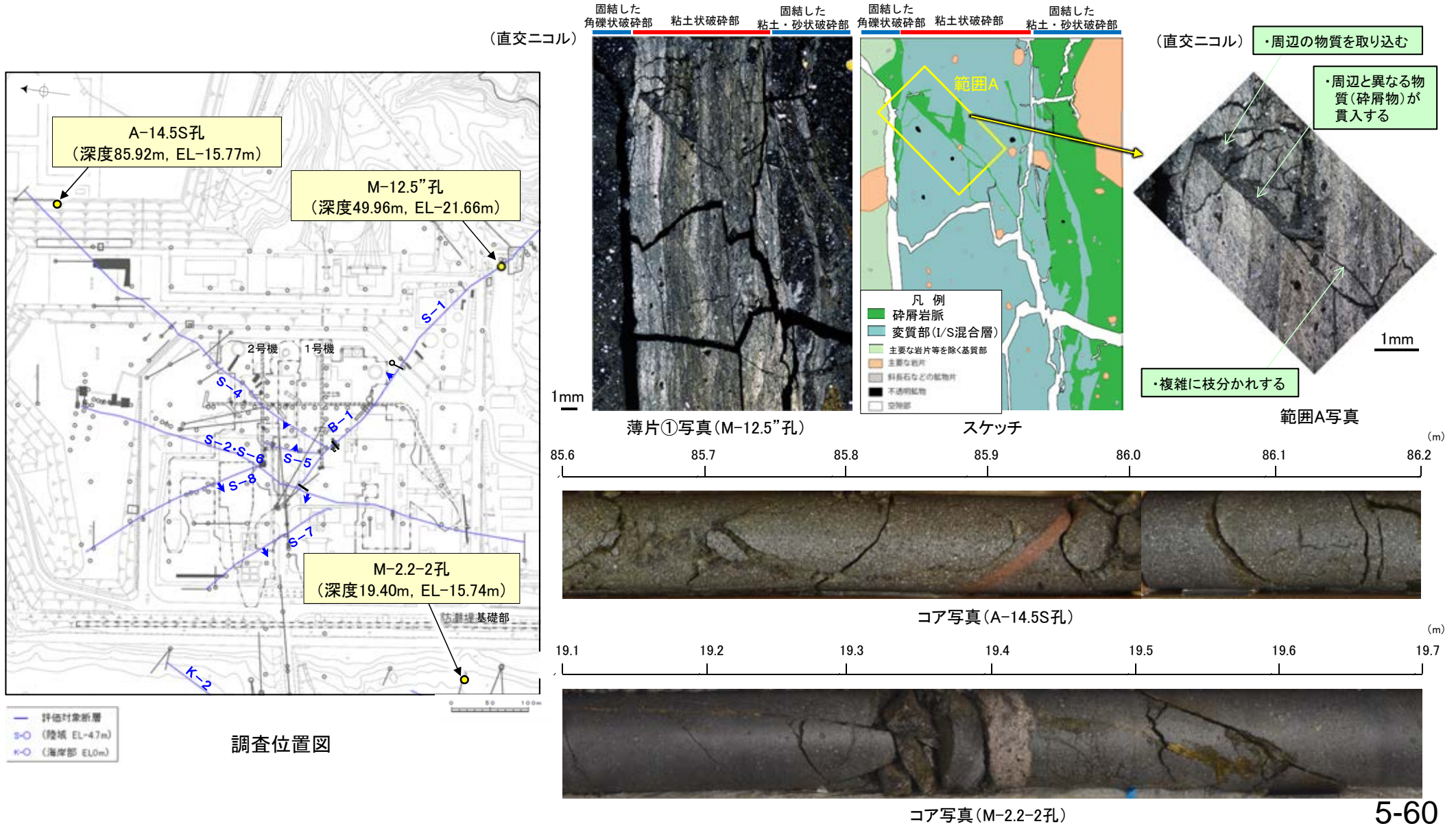
【針貫入試験実施位置】

○粘土状破碎部及び固結した破碎部における針貫入試験実施位置を以下に示す。



5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 碎屑岩脈の硬軟 —

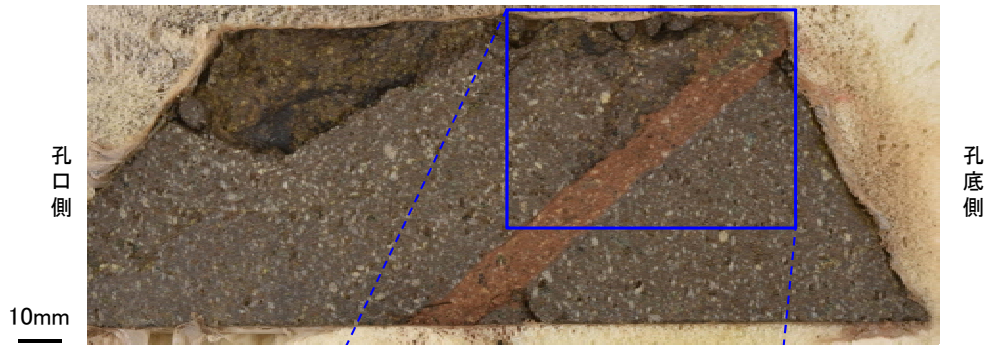
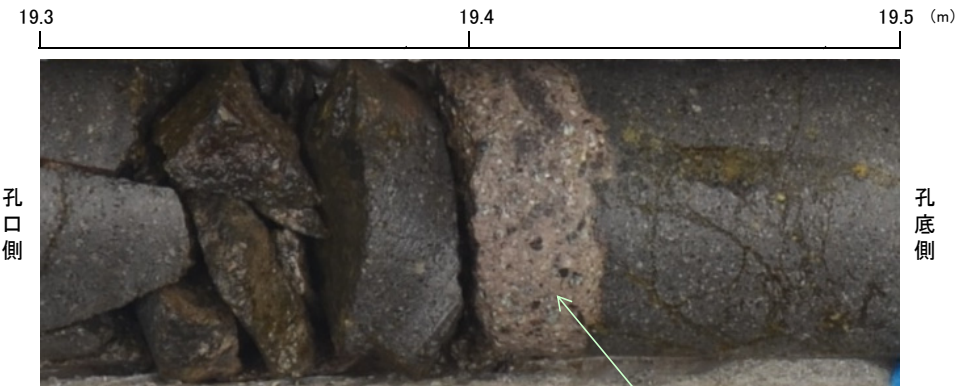
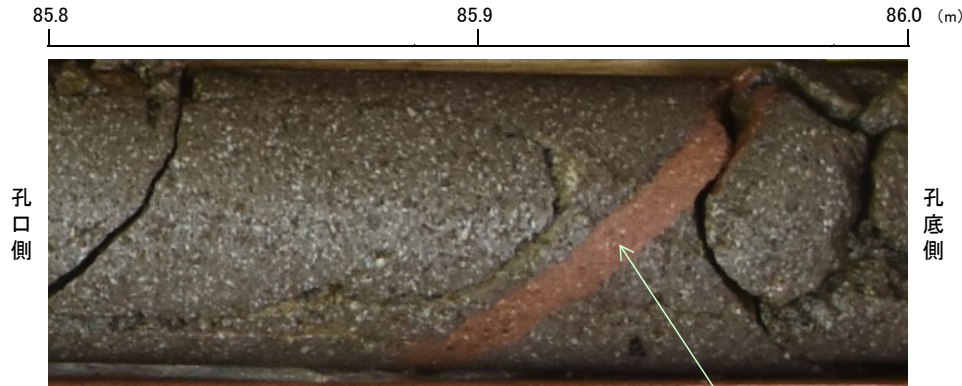
OM-12.5”孔のS-1で認められる碎屑岩脈の硬軟の程度を定量的に確認するために、碎屑岩脈で針貫入試験を実施した。
 OM-12.5”孔の碎屑岩脈は、薄片作成や分析を優先したため針貫入試験を実施できないことから、M-12.5”孔と同じく、周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入しているA-14.5S孔及びM-2.2-2孔の碎屑岩脈において、針貫入試験を実施した。なお、これらの碎屑岩脈は周辺の物質を取り込み、母岩に入り込んでおり、このことはM-12.5”孔の碎屑岩脈が周辺の物質を取り込み、複雑に枝分かれする特徴と類似している(本頁、次頁)。
 OA-14.5S孔及びM-2.2-2孔の碎屑岩脈において針貫入試験を実施した結果、碎屑岩脈は固結した破砕部や母岩と同程度の硬さを有することが確認できた(次々頁)。
 O以上より、M-12.5”孔のS-1で認められる碎屑岩脈についても、固結した破砕部や母岩と同程度に硬いと判断した。



【A-14.5S孔及びM-2.2-2孔における碎屑岩脈の詳細観察結果】

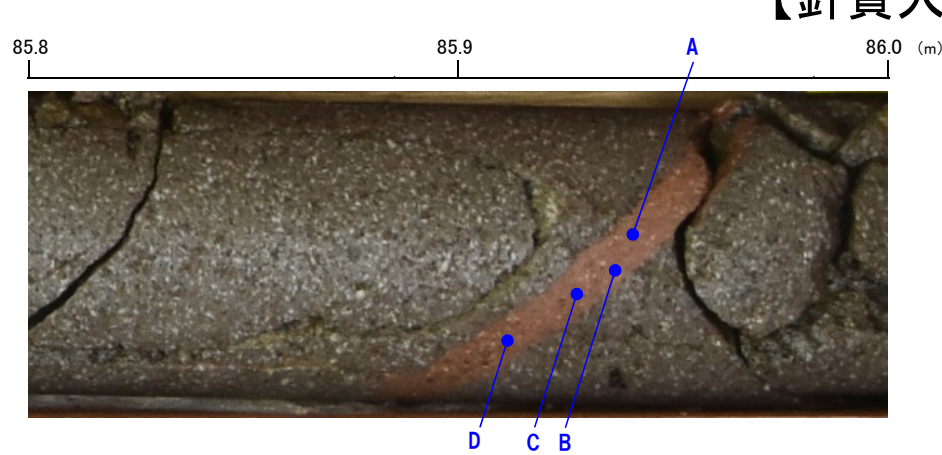
A-14.5S孔

M-2.2-2孔

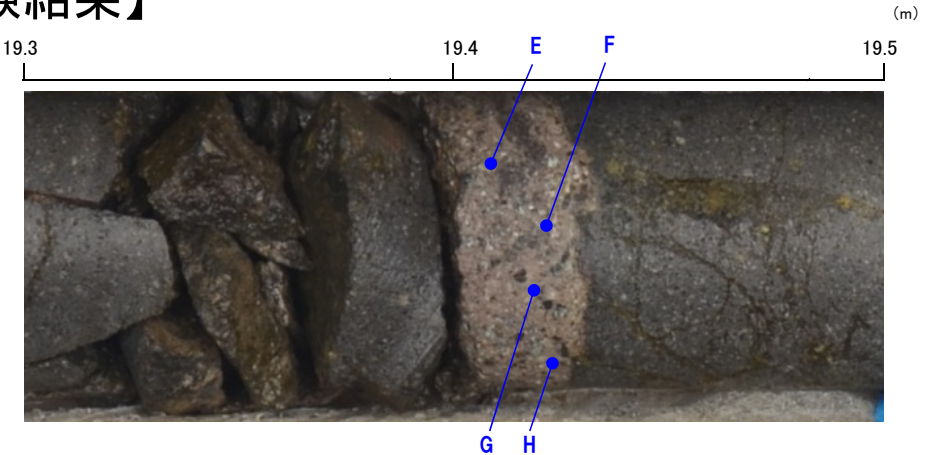


・周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入しているA-14.5S孔及びM-2.2-2孔の碎屑岩脈は周辺の物質を取り込み、母岩に入り込んでいる。

【針貫入試験結果】



針貫入試験実施位置(A-14.5S孔)



針貫入試験実施位置(M-2.2-2孔)

A-14.5S(3の3)		G L = 58.64m		L = 105.0m					
標高	深	柱状	地質	色	コア採取率 (%)	最大コア長	RQD (%)	岩盤区分	記 事
(m)	(m)	(m)	図名	調	原形	(%)	(%)		
80	-11.87	86.30	安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	42	87	88	Bb	80.90~81.00 黄色層を含む。
	-11.90	81.40	暗赤褐色		38	79			
	-12.81	82.30	安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	34	58			
			暗赤褐色		34	68			
			安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	3	8		Ba	81.97~82.00 黄緑色の結核角閃岩の碎屑岩脈あり。
			暗赤褐色		13	13			87.09~87.15 黄褐色に比べ軟質。
			暗赤褐色		18	20			
	-13.44	83.00	暗赤褐色		25	34			

柱状図

*柱状図の詳細はデータ集1

M-2.2-2(3の1)		G L = 3.01m		L = 100.0m					
標高	深	柱状	地質	色	コア採取率 (%)	最大コア長	RQD (%)	岩盤区分	記 事
(m)	(m)	(m)	図名	調	原形	(%)	(%)		
15	-11.88	15.15	安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	43	89			
			暗赤褐色		55	100			
			安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	31	66			
			暗赤褐色		31	83			
			安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	20	65		Ba	19.40~19.42 黄緑色の結核角閃岩の碎屑岩脈あり。
			暗赤褐色		30	88			
			安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	42	83			
			暗赤褐色		34	95			
			安山岩(角閃岩)	暗赤褐色	81	100			
			暗赤褐色		68	88			

柱状図

針貫入試験結果

孔名	碎屑岩脈		
	測点番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
A-14.5S孔	A	50	50
	B	50	
	C	50	
	D	50	
M-2.2-2孔	E	50	75
	F	50	
	G	100	
	H	100	

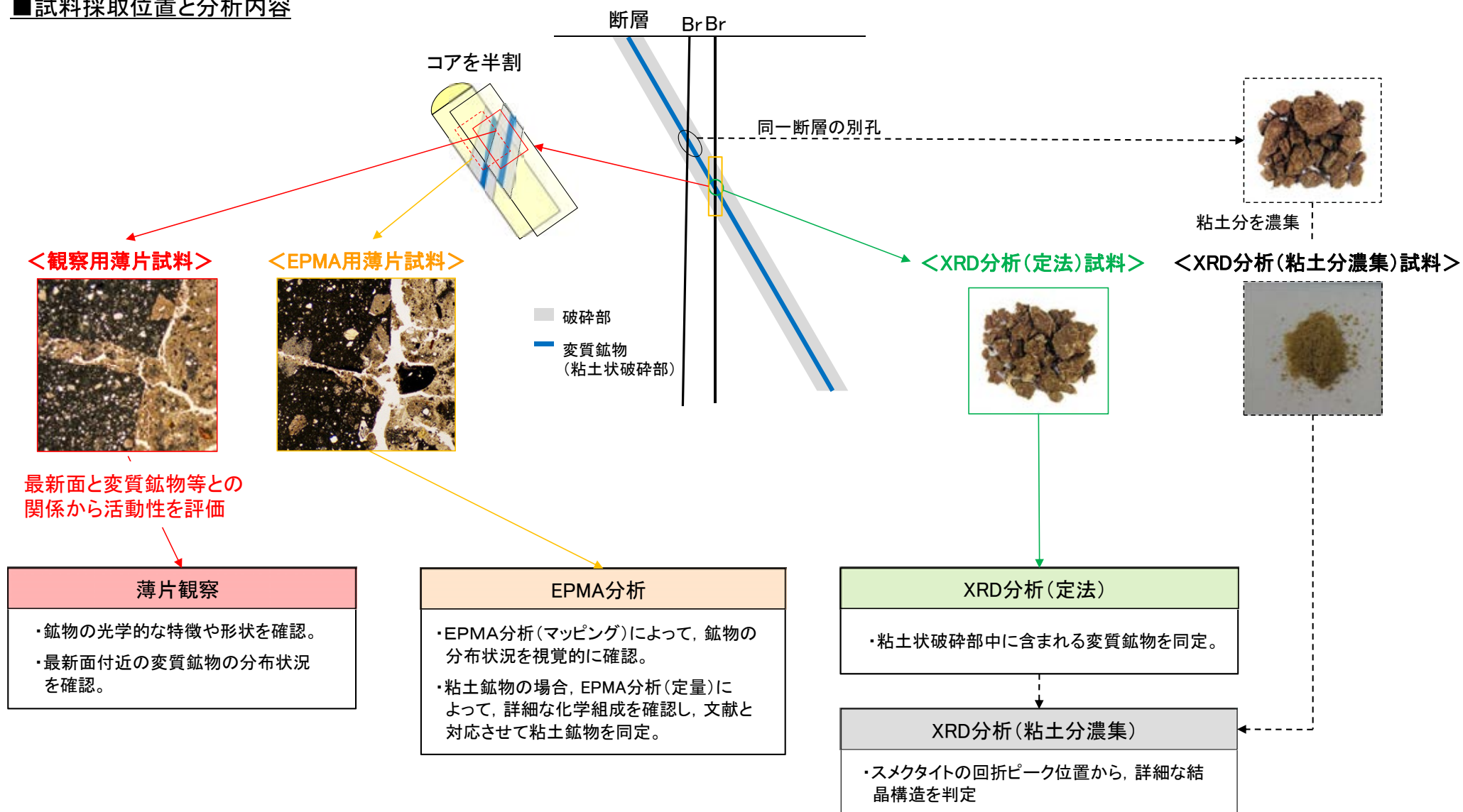
・敷地内で認められる碎屑岩脈において針貫入試験を実施した結果, 50~75N/mmの針貫入勾配を示し, 固結した破碎部の針貫入勾配は46~71N/mm, 母岩の針貫入勾配は46~100N/mmを示す(P.5-58)ことから, 碎屑岩脈は固結した破碎部や母岩と同程度の硬さを有することが確認できた。

【針貫入試験の測定方法】
 ・碎屑岩脈に針を貫入し, その貫入長さと同貫入荷重を測定して, その関係から針貫入勾配を求める試験である。
 ・試験にあたり, 碎屑岩脈に対して4点程度の計測を行い, その平均値をその碎屑岩脈における針貫入勾配値※とした。
 ・なお測定は, できるだけ平滑な箇所を基質を対象に実施した。
 ※: 貫入深さ1mm未満で貫入荷重100Nに達した計測値は針貫入勾配を100N/mmとして算出

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 試料採取位置と分析内容 —

- 鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物の同定にあたっては、評価を実施する薄片試料を作成したコア試料の同一破砕部を対象として、薄片観察, EPMA分析, XRD分析(定法)を実施し、評価を行う。
- 「XRD分析(定法)」の結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる場合には, 同一断層の別孔の破砕部において実施した「XRD分析(粘土分濃集)」によって詳細な結晶構造を判定する。

■ 試料採取位置と分析内容

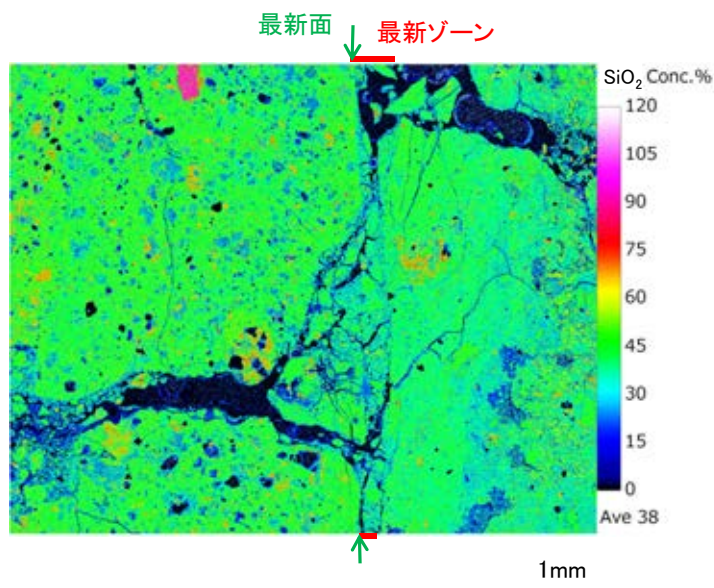


5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 変質鉱物のEPMA分析 —

○EPMA分析(マッピング)は、評価に用いる変質鉱物の分布状況を視覚的に確認することを目的に実施する。分析試料は、活動性評価に用いる薄片試料作成時の残りの試料から作成したEPMA用薄片試料を用いる。

○EPMA分析(定量)は、XRD分析等で同定した鉱物を化学組成の観点から確認することを目的に実施する。その際、EPMAのビーム照射影響範囲(径約 $1\mu\text{m}$)に測定対象鉱物以外の鉱物が入らないよう最大限留意しながら分析位置を選定し、各試料5箇所以上で実施する。

EPMA分析(マッピング)の例
(K-14, H- -0.3-80孔)

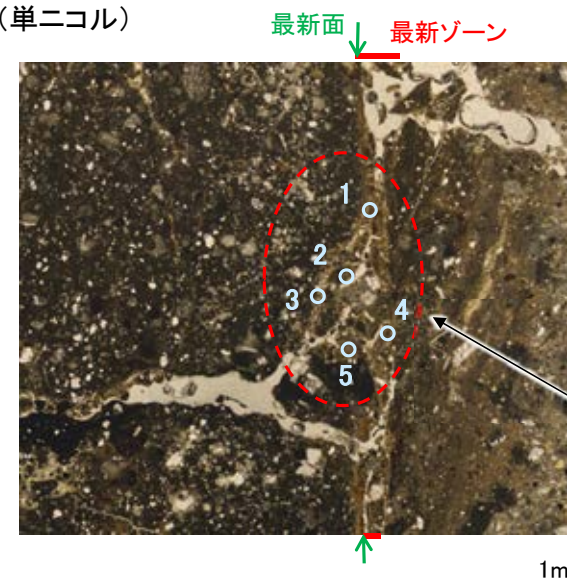


EPMA(マッピング) SiO₂

H- -0.3-80孔の分析結果(マッピング)の詳細については、
[補足資料5.12-1\(1\)-1](#) P.5.12-1-4

EPMA分析(定量)の分析位置の例
(K-14, H- -0.3-80孔)

(単ニコル)



最新ゾーン中及び最新面付近に分布する変質鉱物を対象として、分析位置を設定する。

○ 分析位置

H- -0.3-80孔の分析結果(定量)の詳細については、
[補足資料5.3-2\(3\)](#) P.5.3-2-85

5.3(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 注入現象の検討 —

- 鉱物脈法による活動性評価において、粘土鉱物が脈状に分布し最新面が不連続になっている形状が確認される箇所については、最新面が注入現象により不連続になったものではないことを確認する必要がある。
- 注入脈の特徴として、Rowe et al.(2012)によるカリフォルニアの事例では弓状構造が認められ、関西電力株式会社(2016)による阿寺断層の事例では粒子の配列が認められるとされており、このことを踏まえると、注入する側(当サイトでの粘土状破碎部)の内部における弓状構造や粒子の配列の有無を確認することで、注入現象の有無を判断することができると考えられる。
- そこで、鉱物脈法の適用にあたり、粘土鉱物が脈状に分布している箇所においては、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡の有無を確認することで、評価箇所における注入現象の有無を判断する。

注入の痕跡が認められない事例※1

※1: 詳細についてはP.5-252

(単ニコル)

上 最新ゾーン ↓ 最新面

上盤

粘土鉱物が脈状に分布し最新面が不連続になっている形状

(直交ニコル)

最新ゾーン ↓ 最新面

上盤

下盤

上 最新ゾーン ↓ 最新面

下

凡例

- 主要な岩片
- 斜長石などの鉱物片
- 不透明鉱物
- 空隙部
- 変質部 (I/S混合層)
- 主要な岩片等を除く基質部
- 最新面

薄片①範囲Aスケッチ

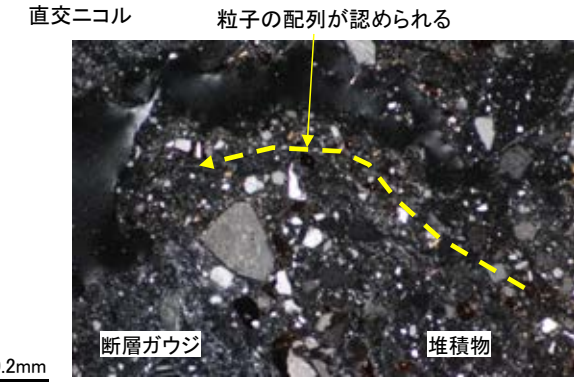
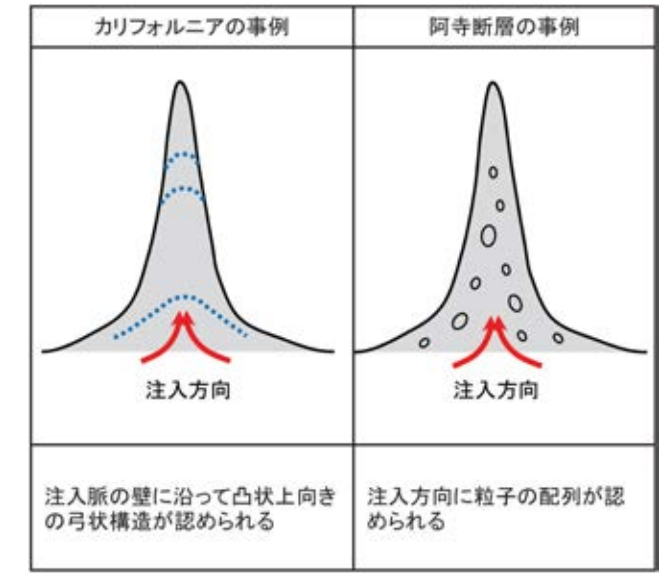
弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。

薄片①範囲A写真 (K-14_H- -0.3-80孔)

1mm

注入の痕跡が認められる事例(関西電力株式会社, 2016)※2

※2: 詳細については補足資料5.3-3(4)



薄片写真(阿寺断層の事例)

余白

5.4 S-1の活動性評価

5.4.1 上載地層法による活動性評価(S-1)

5.4.1 上載地層法による活動性評価(S-1) — 評価地点 —

■上載地層法による評価地点

- S-1が分布する岩盤の直上に、約12~13万年前以前に堆積した地層であるH I a段丘堆積物が確認できることから、駐車場南東方トレンチにおいて、評価を行った。
- 有識者会合時の評価データ(えん堤左岸トレンチ, 駐車場南側法面, 旧A・Bトレンチ, 掘削法面)も用いて、評価を行った。

評価地点	記載頁
駐車場南東方トレンチ	P.5-70~5-75 補足資料5.4-1(1)
えん堤左岸トレンチ	参考資料5.4-1(1)
駐車場南側法面	参考資料5.4-1(2)
旧A・Bトレンチ	参考資料5.4-1(3)
掘削法面	参考資料5.4-1(4)

青色網掛け: 断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり、地層の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータ(主たる根拠)

□ 上載地層法に関する調査箇所
(断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり、地層の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータを着色)



位置図

5.4.1 S-1 (1) 駐車場南東方トレンチ ー評価結果ー

【有識者会合時の当社評価】

OS-1の活動性評価を行うため、高位段丘 I a面を判読した位置において、トレンチ調査(駐車場南東方トレンチ)を実施した。
 ○駐車場南東方トレンチにおいて、幅5~10cmの固結した破砕部及びフィルム状の粘土状破砕部からなるS-1を確認。
 ○岩盤の安山岩(角礫質)の上位には、下位からH I a段丘堆積物(1)~(3)、赤色土壌(礫混じり)、赤色土壌、赤褐色土壌が分布する。
 ○S-1は岩盤直上のH I a段丘堆積物に変位・変形を与えていない。

【有識者の評価】

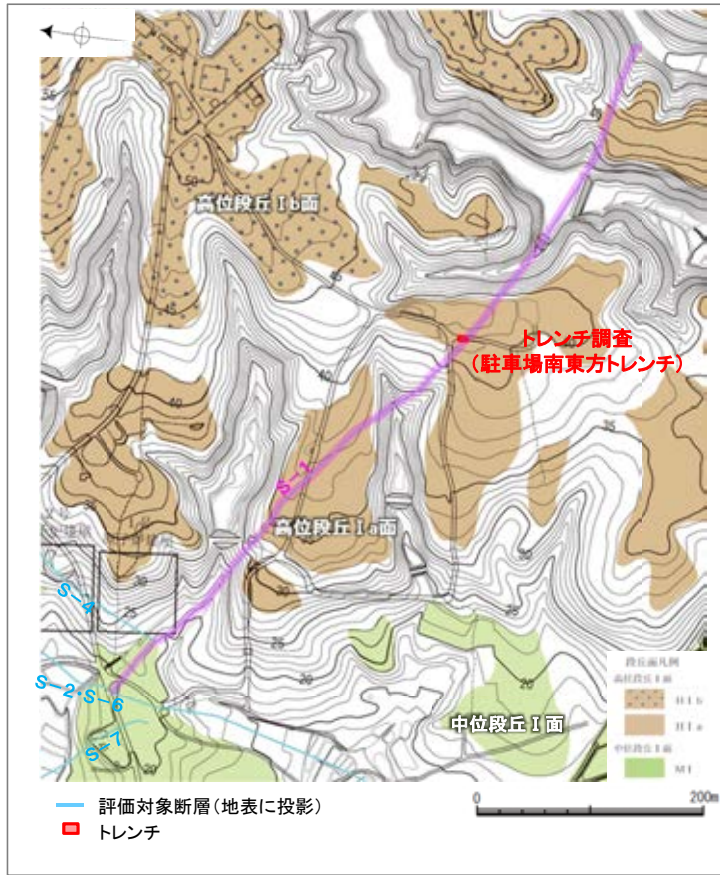
OS-1は少なくとも高位段丘 I 面堆積物に変位・変形を与えておらず、後期更新世以降には活動していないと考えられる。

【有識者会合以降の追加検討】

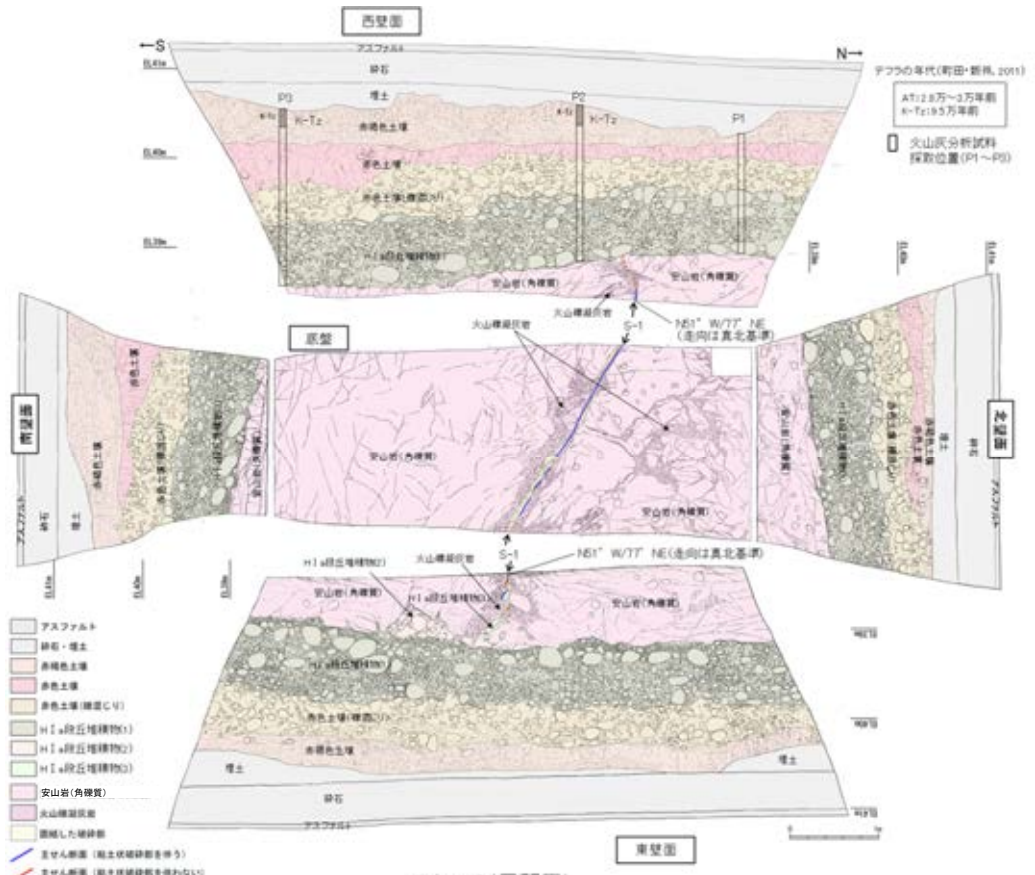
○岩盤直上の堆積物は、礫の平均真円度による評価に基づき認定される海成堆積物(M I 段丘堆積物)であり、MIS5e(約12~13万年前)に堆積したものである(P.5-24)。

【現在の当社評価】

○以上のことを踏まえると、駐車場南東方トレンチにおいて、S-1は岩盤直上の堆積物に変位・変形を与えていないことから、S-1の最新活動は、H I a段丘堆積物の堆積以前である。



断層及び調査位置図(基図は旧地形の段丘面分布図)



スケッチ(展開図)

5.4.1 S-1 (1) 駐車場南東方トレンチ -S-1と上載地層の関係-

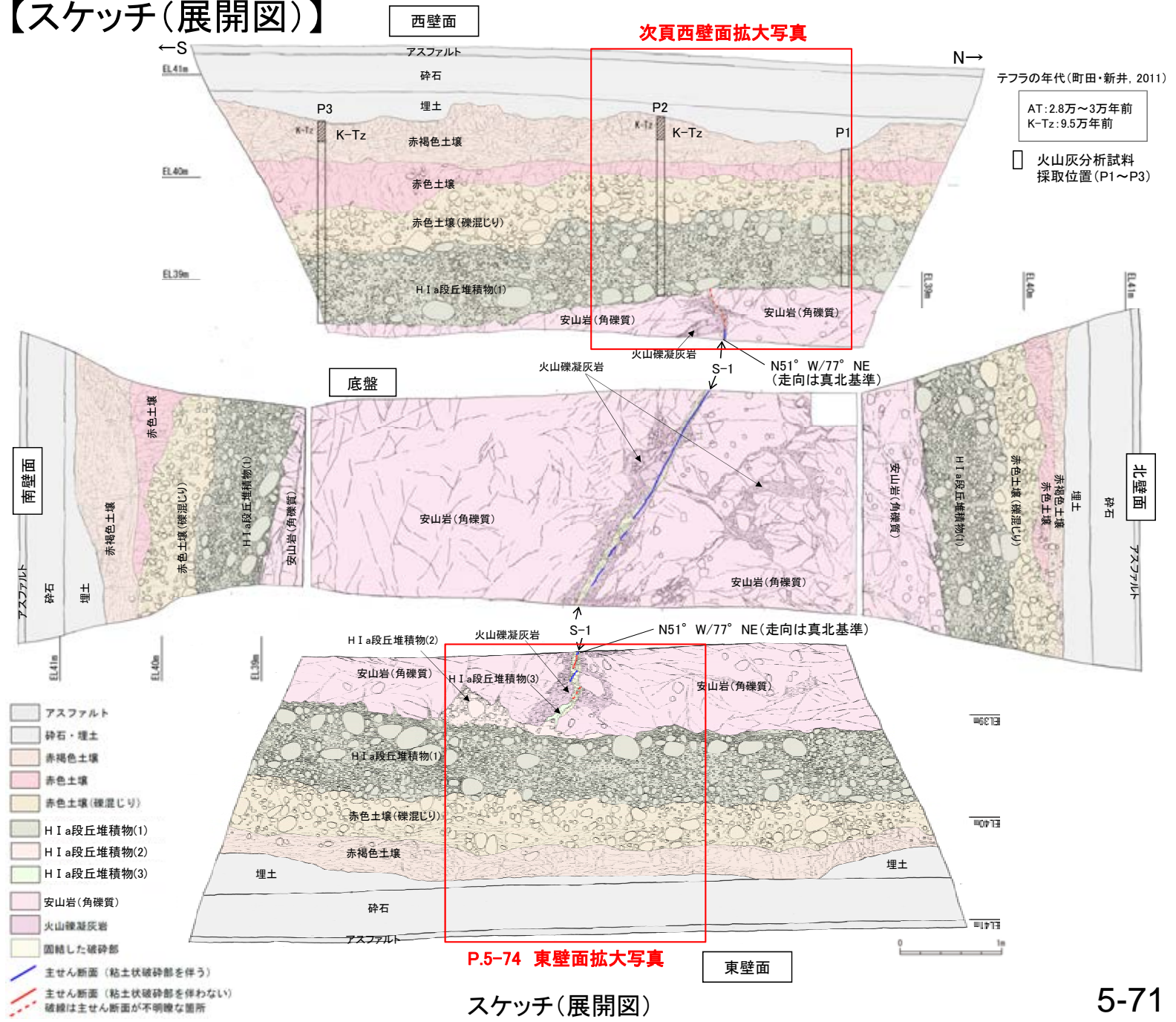
○上載地層との関係を詳細に観察した結果、S-1は岩盤直上のH I a段丘堆積物に変位・変形を与えていない(次頁~P.5-75)。

- 赤褐色土壌**
 - ・色調5YR4/6~2.5YR4/6(赤褐色部), 7.5YR5/8(淡色部)。
 - ・水平方向のトラ斑あり。赤褐色部と淡色部の割合は同程度。
- 赤色土壌**
 - ・色調5YR4/6~2.5YR4/8(赤色部), 7.5YR5/8(淡色部)。
 - ・トラ斑あり。赤色部が卓越し、淡色部は少ない。
- 赤色土壌(礫混じり)**
 - ・基質は砂混じりシルト質粘土。
 - ・色調5YR4/6(赤色部), 7.5YR5/8(淡色部)。
 - ・主に上部にトラ斑あり。
 - ・径3~25cmの安山岩亜円~円礫を20~30%含む。
 - ・径10cm以下の礫は砂粒子とともにくさり礫化し、軟質であり、それ以上の礫は半くさり礫である。
- H I a段丘堆積物(1)**
 - ・砂礫層からなり、基質は中~粗粒砂であり、砂粒子の間隙をシルト~粘土分が充填する。
 - ・径2~10cmの安山岩亜円~円礫を50~70%含む、最大40cmの礫が混じる。
 - ・礫は全体に円磨されており、硬質である。
 - ・基質の砂粒子は、一部の礫とともにくさり礫化し、軟質である。
 - ・南壁面において、礫の長軸は西側に傾斜し、西側からの水流を反映するインプリケーションを示す。
- H I a段丘堆積物(2)**
 - ・砂礫層からなり、基質はシルト質細~中粒砂である。
 - ・径2~5cmの安山岩亜円~円礫を30~50%含む、最大15cmの礫が混じる。
 - ・礫のほとんどは砂粒子とともにくさり礫化し、軟質である。
- H I a段丘堆積物(3)**
 - ・シルト質細~中粒砂からなる。
- S-1**
 - ・S-1は、走向・傾斜N51° W/77° NE(走向は真北基準)で、幅5~10cmの固結した破砕部及びフィルム状の灰褐色~褐色を呈する粘土状破砕部からなり、別所岳安山岩類の岩盤の上面まで認められる。
 - ・S-1は、岩盤直上のH I a段丘堆積物に変位・変形を与えていない。

・岩盤と堆積物の境界に関する調査結果については **補足資料5.4-1(1)-1**

- 遊離酸化鉄分析・火山灰分析結果**
 - ・赤色土壌について実施した遊離酸化鉄分析の結果、能登半島の赤色土壌の分布範囲に含まれている。
(補足資料5.2-1(3) P.5.2-1-106)
 - ・火山灰分析の結果、P2, P3において、赤褐色土壌の上部からK-Tzが認められる。

【スケッチ(展開図)】



S-1 駐車場南東方トレンチ

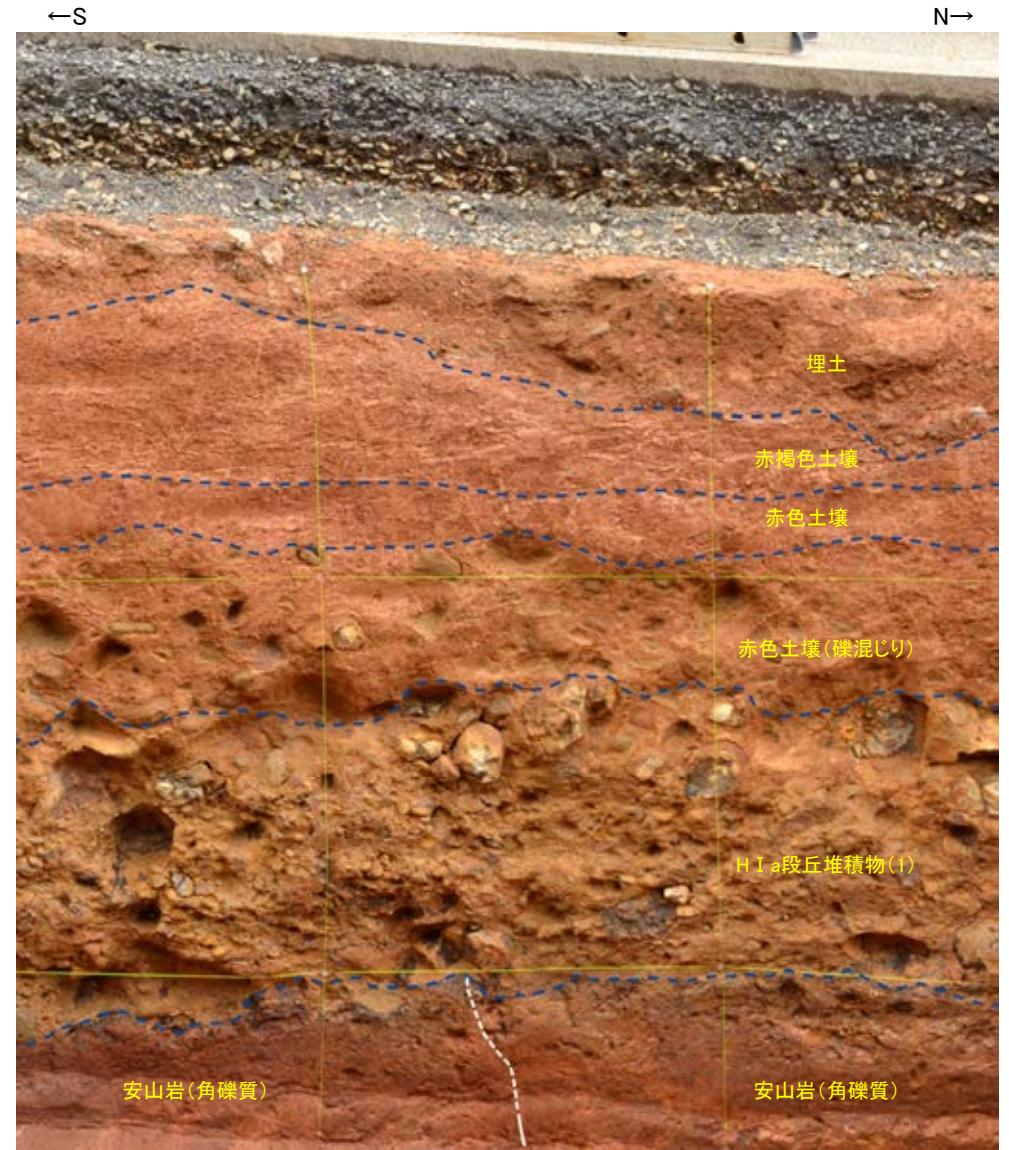
【西壁面拡大写真】



次頁拡大写真



西壁面拡大写真(2013年撮影)



西壁面拡大写真(S-1等を加筆)

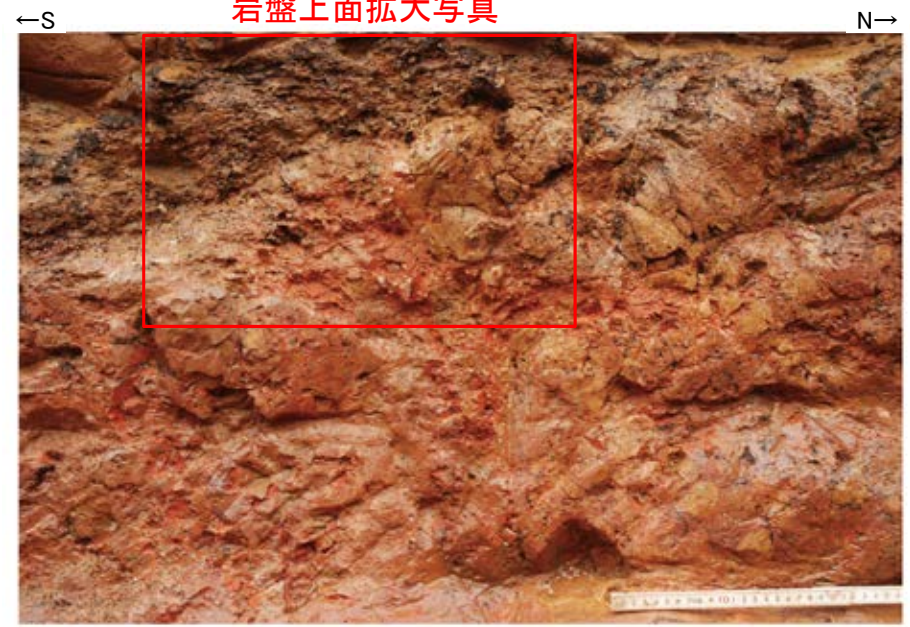
— 主せん断面
 - - - 不明瞭な主せん断面

・S-1は岩盤直上のH I a段丘堆積物(1)に変位・変形を与えていない。

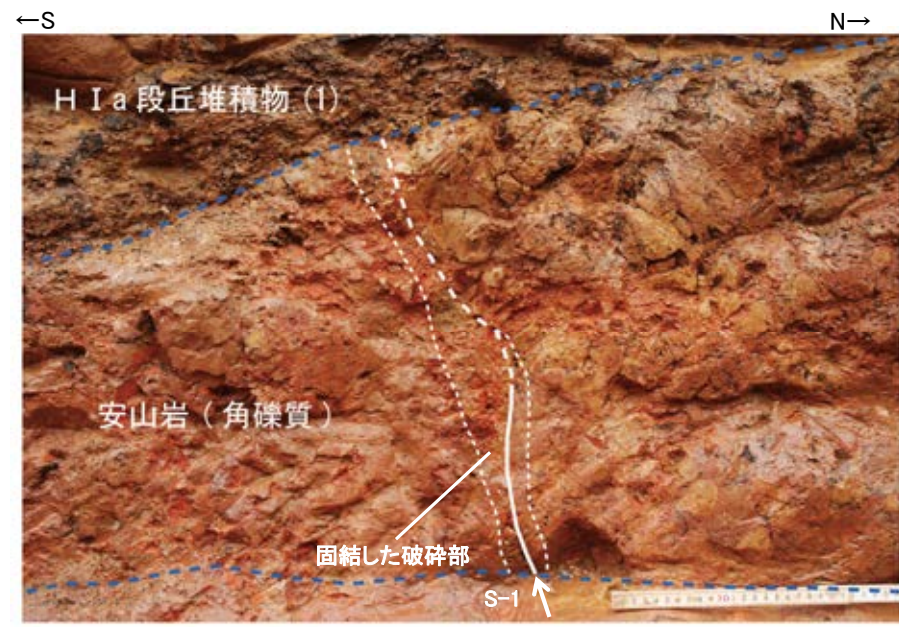
S-1 駐車場南東方トレンチ

【西壁面 断層上部拡大写真】

岩盤上面拡大写真



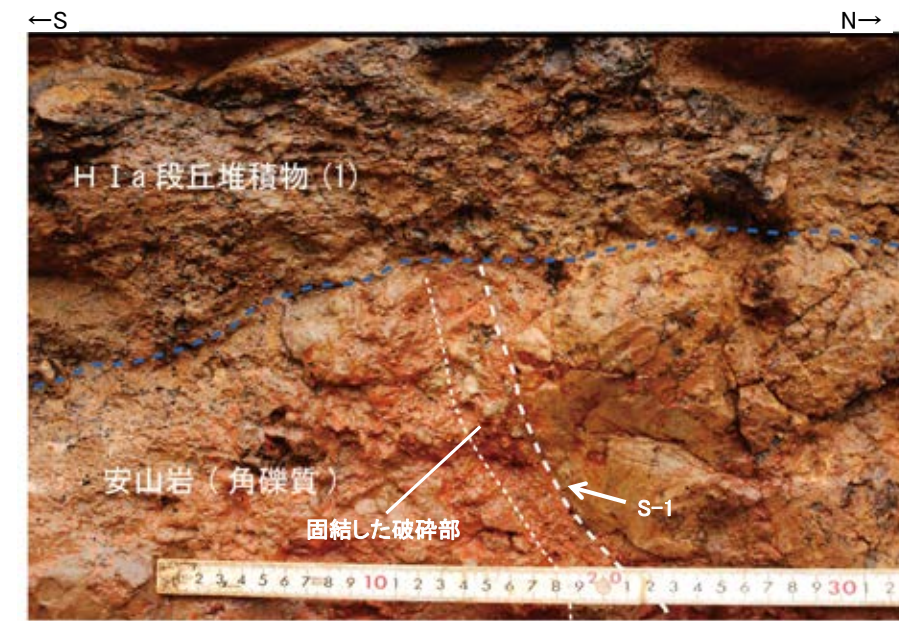
拡大写真(2022年4月撮影)



拡大写真(S-1等を加筆)



岩盤上面拡大写真(2022年4月撮影)



岩盤上面拡大写真(S-1等を加筆)

・S-1の主せん断面は、固結した破碎部を伴いながら、岩盤上面まで達しており、岩盤直上のH I a 段丘堆積物(1)に変位・変形を与えていない。

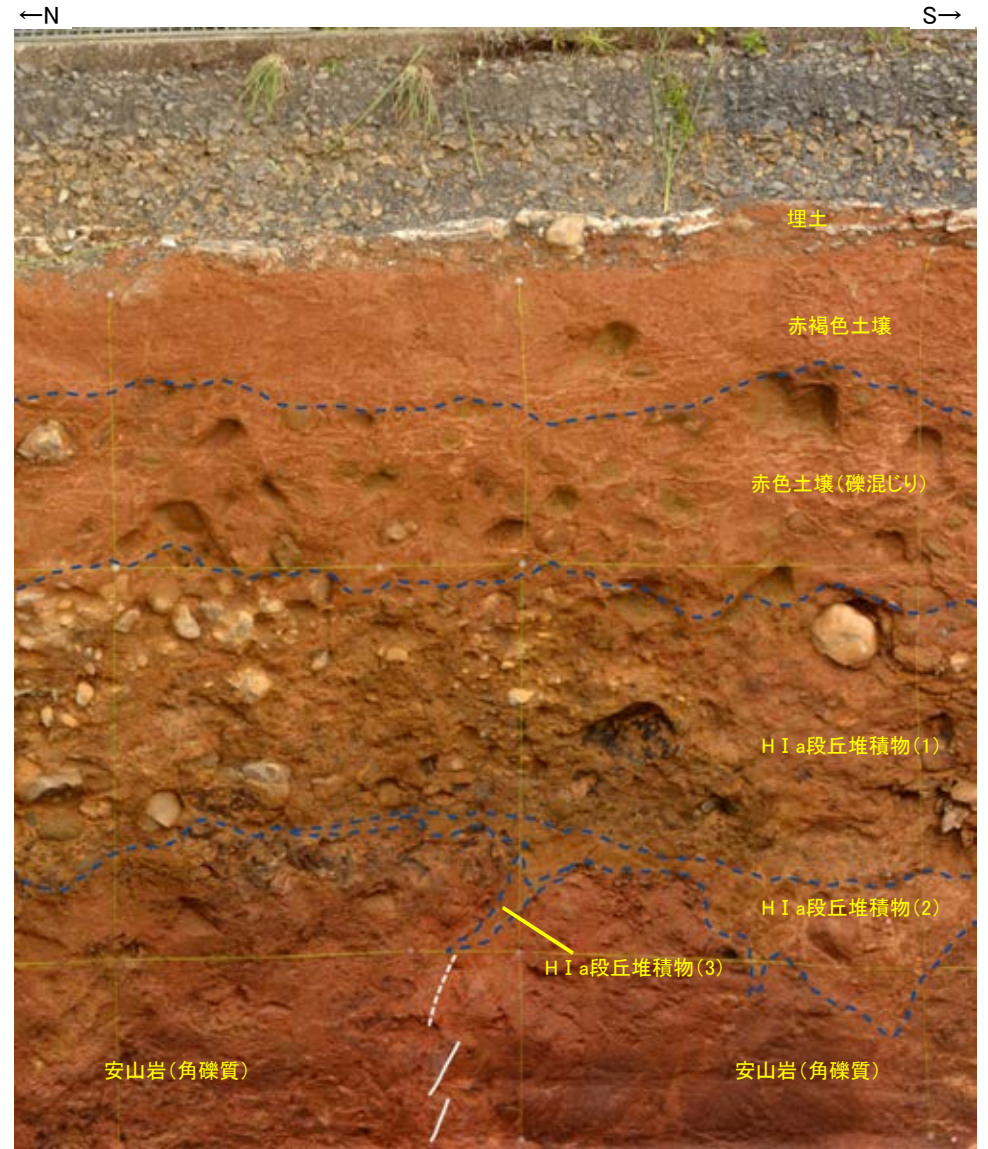
S-1 駐車場南東方トレンチ

【東壁面拡大写真】



次頁拡大写真

東壁面拡大写真(2013年撮影)



— 主せん断面
- - - 不明瞭な主せん断面

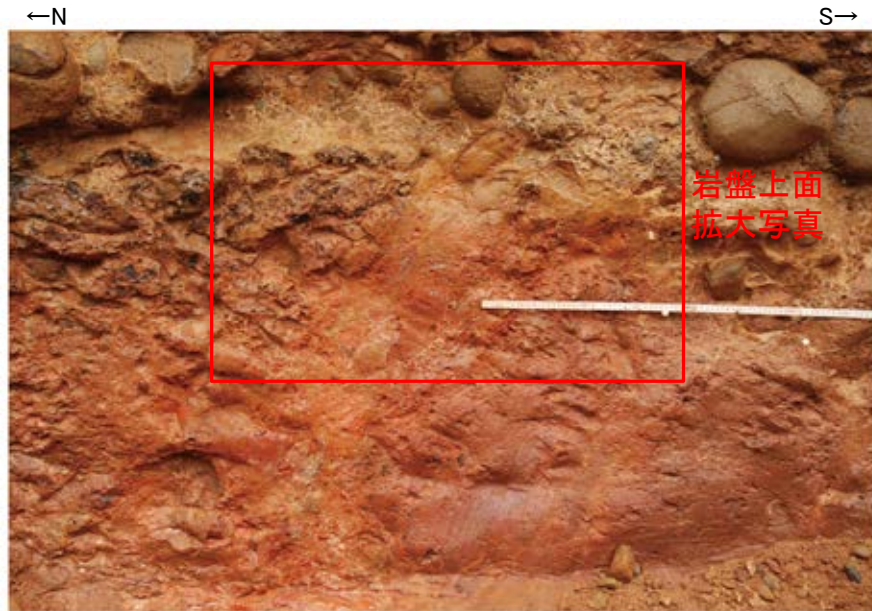
S-1

東壁面拡大写真(S-1等を加筆)

・S-1は上位のH I a段丘堆積物(1)(2)に変位・変形を与えていない。

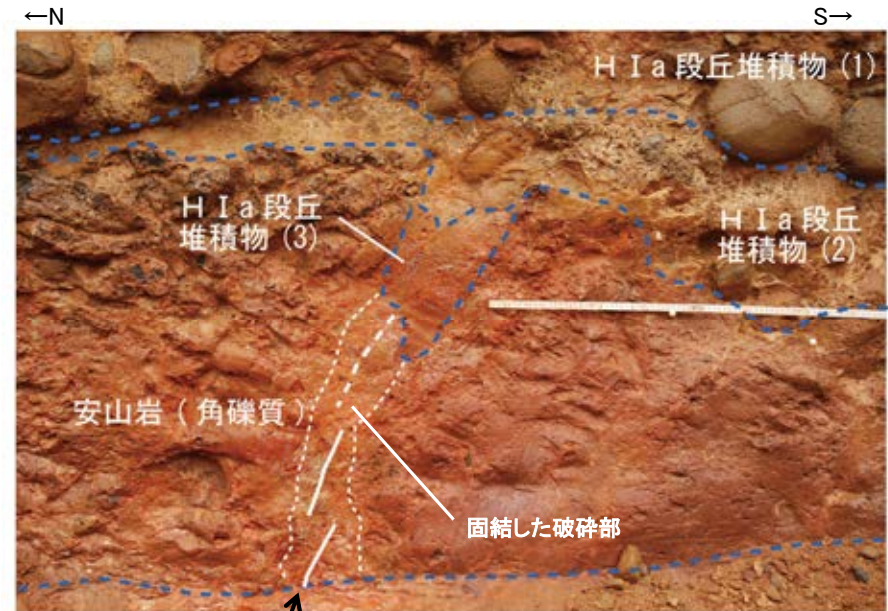
S-1 駐車場南東方トレンチ

【東壁面 断層上部拡大写真】



岩盤上面
拡大写真

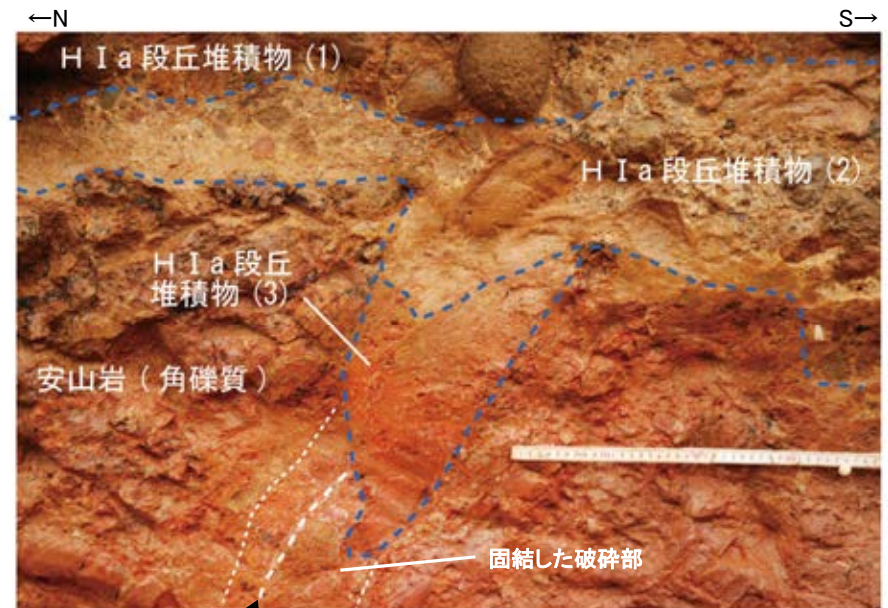
拡大写真(2022年4月撮影)



S-1 拡大写真(S-1等を加筆)



岩盤上面拡大写真(2022年4月撮影)



S-1 岩盤上面拡大写真(S-1等を加筆)

・S-1の主せん断面は、固結した破碎部を伴いながら、岩盤上面まで達しており、上位のH I a段丘堆積物(1)(2)に変位・変形を与えていない。

・S-1付近でウェッジ状に分布するH I a段丘堆積物(3)の粒子配列に関する調査結果については、[補足資料5.4-1\(1\)-2](#)

5.4.2 鉍物脈法による活動性評価(S-1)

5.4.2 鉱物脈法による活動性評価(S-1) ー評価地点ー

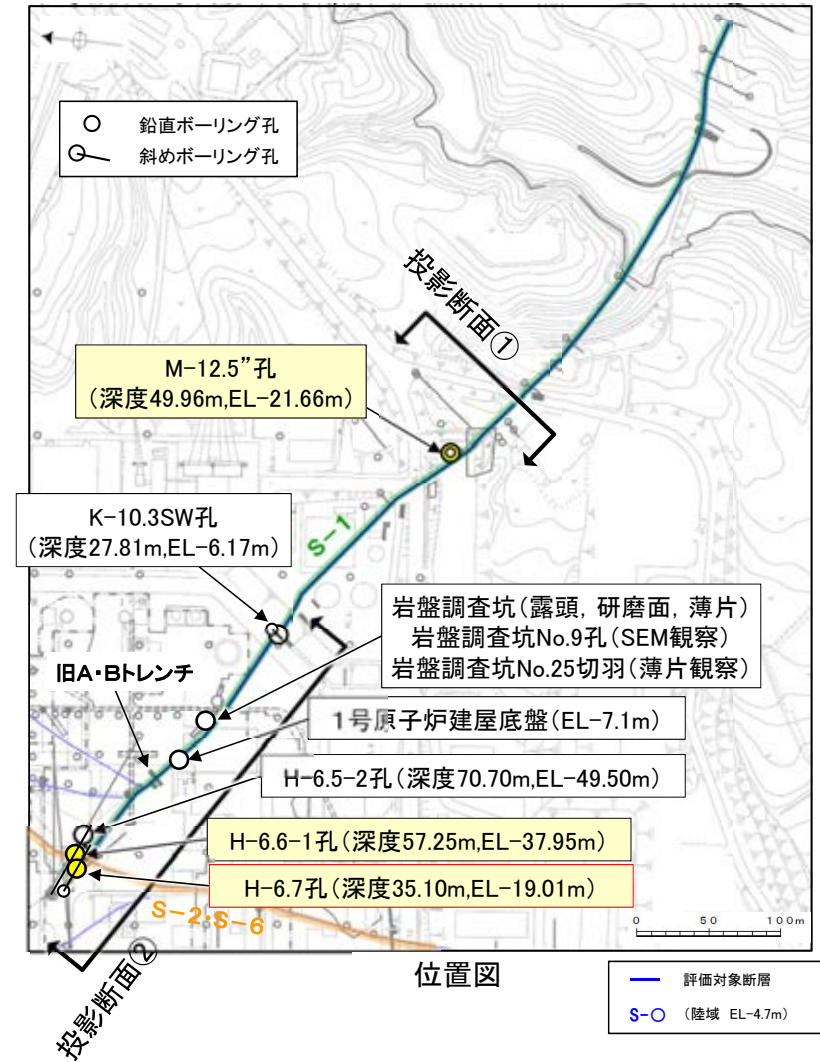
■ 鉱物脈法による評価地点

- 2地点(H-6.7孔, H-6.6-1孔)において, S-1の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物であるI/S混合層が認められたことから, 断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。
- M-12.5”孔において, S-1の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈が認められたことから, 断層活動(最新面)と碎屑岩脈との関係による評価を行った。
- 有識者会合時の評価データ(1号原子炉建屋底盤(露頭観察)及び岩盤調査坑(露頭, 研磨面, 薄片)), 有識者会合以降の評価データ(No.25切羽(薄片観察), H-6.5-2孔, K-10.3SW孔, 岩盤調査坑No.9孔(SEM観察))も用いて, 評価を行った。

○ 鉱物脈法に関する調査箇所
(断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり, 鉱物脈の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータを着色)

評価地点			記載頁
孔名	薄片名	確認範囲	
H-6.7孔 (深度35.10m, EL-19.01m)	薄片①	範囲A	P.5-79~5-92 補足資料5.4-2(1)-1
		範囲B	
	薄片②	範囲A	
		範囲B	
H-6.6-1孔 (深度57.25m, EL-37.95m)	薄片①	範囲A	P.5-93~5-95 補足資料5.4-2(1)-2
		範囲B	
M-12.5”孔 (深度49.96m, EL-21.66m)	薄片①	範囲A	P.5-96~5-98 補足資料5.4-2(1)-3
		範囲B	
岩盤調査坑No.25切羽(薄片観察) (EL-17.60m※)	薄片①	範囲A	参考資料5.4-2(1)-1
H-6.5-2孔 (深度70.70m, EL-49.50m)	薄片①	範囲A	参考資料5.4-2(1)-2
		範囲B	
K-10.3SW孔 (深度27.81m, EL-6.17m)	薄片①	範囲A	参考資料5.4-2(1)-3
		範囲B	
1号原子炉建屋底盤(露頭観察) (EL-7.1m)			参考資料5.4-2(2)-1
岩盤調査坑(露頭, 研磨面, 薄片) (EL-18m)			参考資料5.4-2(2)-2
岩盤調査坑No.9孔(SEM観察) (深度0.20m, EL-18.38m)			参考資料5.4-2(3)

※: 試料採取位置(補足資料5.3-2(1) P.5.3-2-12, 13)の標高に修正



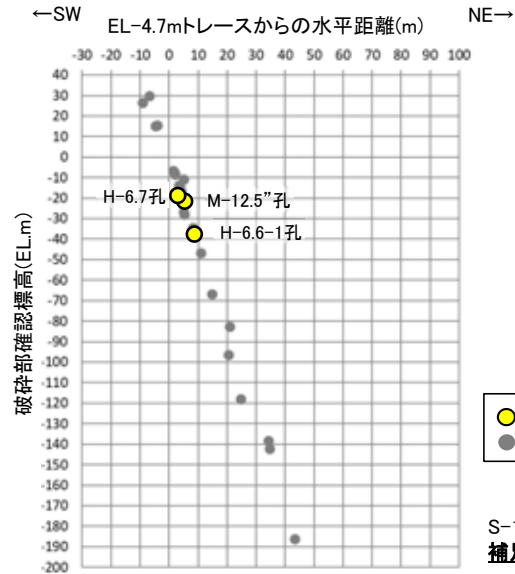
黄色網掛け: 断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり, 鉱物脈の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータ(主たる根拠)

黄色網掛け: 鉱物脈法による評価において, S-1の中で最新面と鉱物脈との切り合い関係が最も明確であると評価したデータ

青字: 有識者会合時の評価データ

紫字: 第1073回審査会合以降の変更箇所

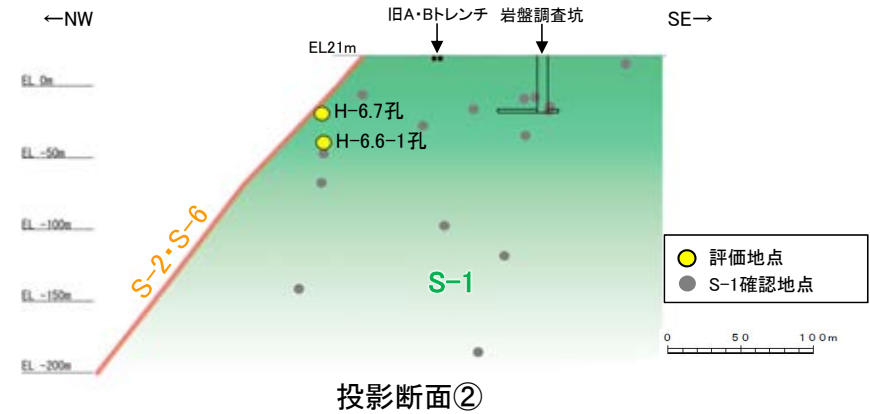
【断面図】



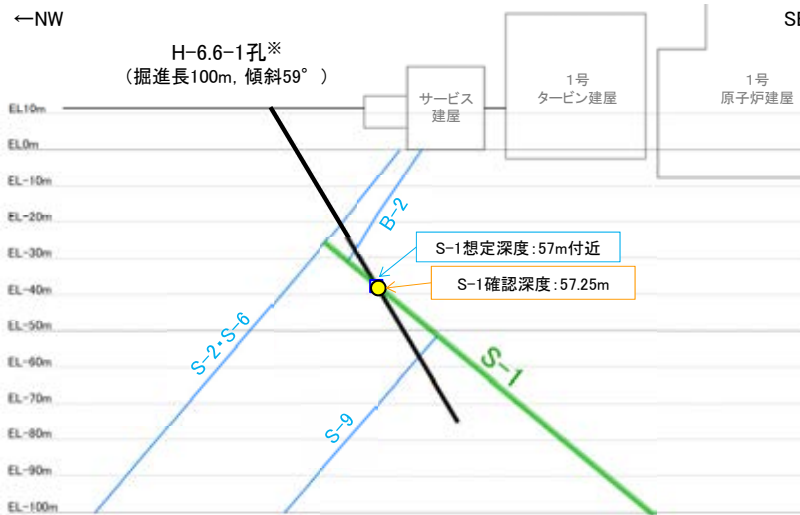
投影断面①

● 評価地点
● S-1確認地点

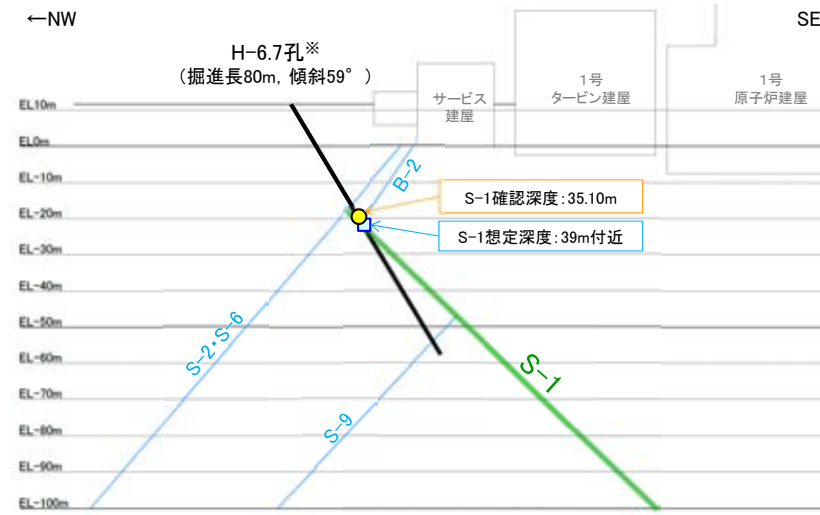
S-1確認地点のデータは、
補足資料2.4-1 P.2.4-1-14~23



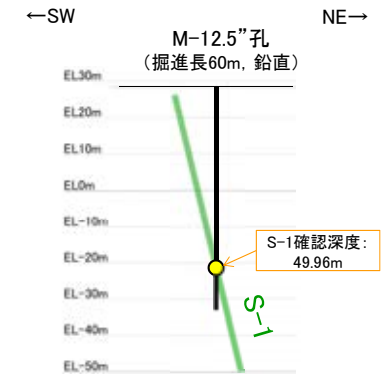
投影断面②



H-6.6-1孔断面図
(掘進方向, H:V=1:1)



H-6.7孔断面図
(掘進方向, H:V=1:1)



M-12.5"孔断面図
(断層直交方向, H:V=1:1)

凡例
● 評価地点
■ S-1想定位置
これらの図の断層線は、周辺の露頭やボーリングでの出現位置を基に描いている。

H-6.6-1孔, H-6.7孔, K-10.3SW孔, H-6.5-2孔のS-1想定深度付近のコア写真は、補足資料5.3-3(3)
M-12.5"孔のボーリング柱状図, コア写真, BHTVは、データ集1.2.3

※ 鉱物脈法による評価のために実施したボーリング

・S-1確認地点の投影断面図及び鉱物脈法による評価を行ったボーリング孔(H-6.7孔, H-6.6-1孔, M-12.5"孔)の断面図を示す。

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔 ー評価結果ー

【最新面の認定】

○H-6.7孔の深度35.10m付近で認められるS-1において、巨視的観察及び微視的観察を実施し、最新ゾーンの上盤側及び下盤側の境界にそれぞれ最新面1、最新面2を認定した(P.5-80~5-83, 5-88, 5-89)。

【鉱物の同定】

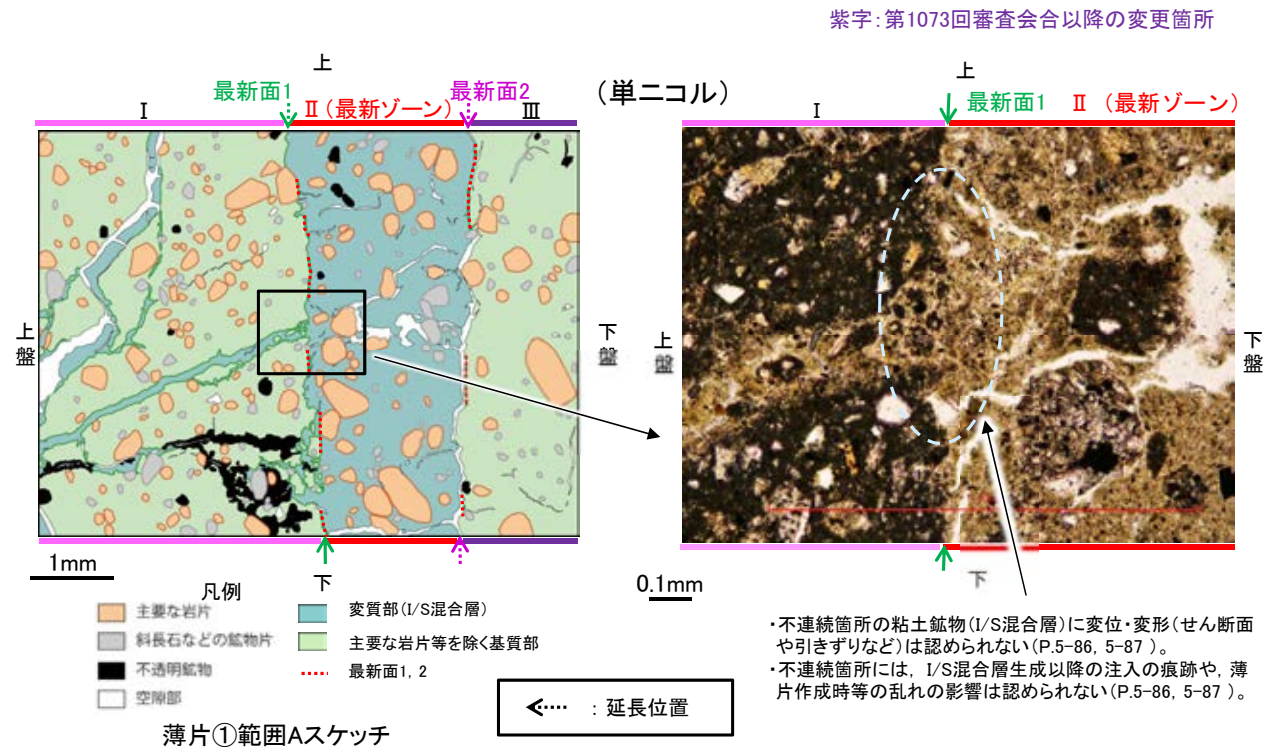
○微視的観察により確認した粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断した(P.5-84, **補足資料5.4-2(1)-2** P.5.4-2-20)。

【変質鉱物の分布と最新面との関係】

○EPMA分析(マッピング)や薄片観察により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーン及びその周辺に分布している(P.5-85, 5-90, **補足資料5.4-2(1)-2** P.5.4-2-21, 22)。

○薄片①の範囲A及び薄片②の範囲A, Bにおいて、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1, 2を横断して分布し、最新面1, 2が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない※1(P.5-86, 5-87, 5-91, 5-92, **補足資料5.4-2(1)-1** P.5.4-2-9, 10)。

○以上のことを踏まえると、S-1の最新活動は、I/S混合層の生成以前である。

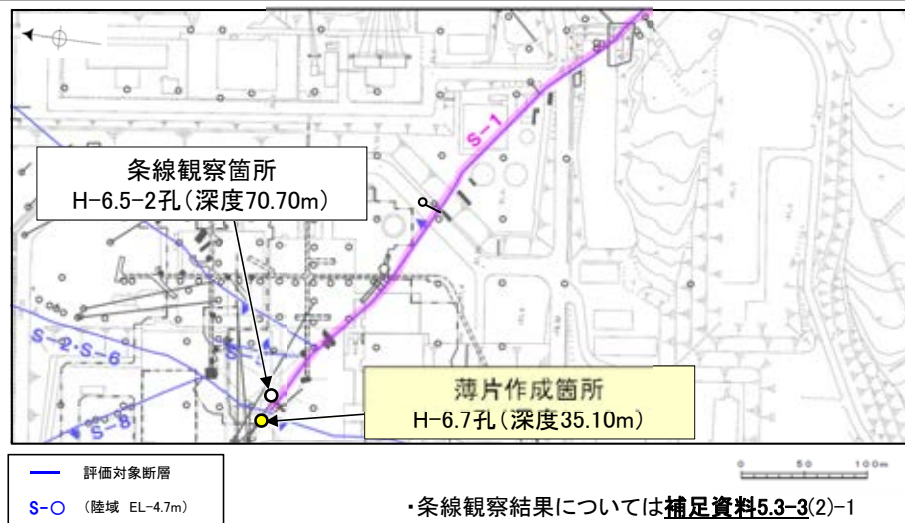


※1: 薄片①の範囲Bについては、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面2付近に分布し、最新面2が不連続になるものの、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面2を明瞭に横断しておらず、最新面2と粘土鉱物(I/S混合層)との切り合い関係が不明確である(**補足資料5.4-2(1)-1** P.5.4-2-6)。

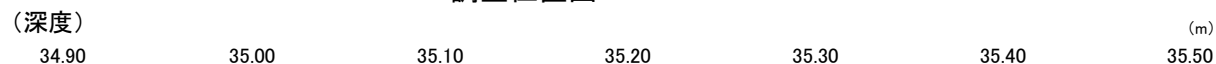
※2: 試料採取位置(**補足資料5.3-2(1)** P.5.3-2-7)の深度に修正

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔 ー最新面の認定(巨視的観察)ー

- H-6.7孔の深度35.10m付近で認められるS-1において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。
- 隣接孔(H-6.5-2孔)の主せん断面における条線観察の結果、66° Rの条線方向が確認されたことから、H-6.7孔において、66° Rで薄片を2枚作成した(ブロック写真)。



調査位置図

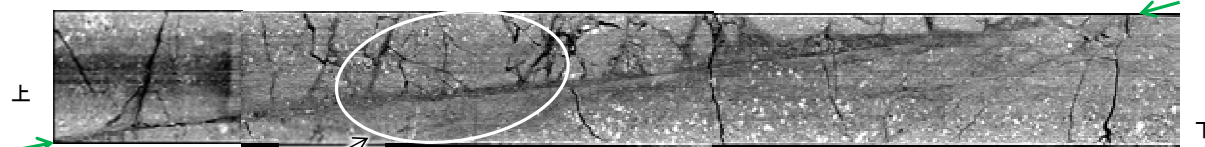


走向傾斜:N58° W/75° NE 主せん断面



ボーリングコア写真(H-6.7孔)

主せん断面



CT画像(H-6.7孔)



※図示した箇所で作成した薄片①を作成し、そこから3mm程度
削り込んだ位置で薄片②を作成した

ブロック写真

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔① —最新面の認定(微視的観察)—

- 薄片①で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 上盤側よりⅠ～Ⅲに分帯した。
- そのうち, 最も細粒化している分帯Ⅱを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯Ⅰとの境界に, 面1(緑矢印)が認められる。面1は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯Ⅲとの境界に, 面2(紫矢印)が認められる。面2は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーン中に認められるY面は面1, 面2のみであり, 面1, 面2は同程度の直線性・連続性を有することから, 面1を最新面1, 面2を最新面2とし, それぞれについて変質鉱物との関係を確認する。

【解釈線なし】



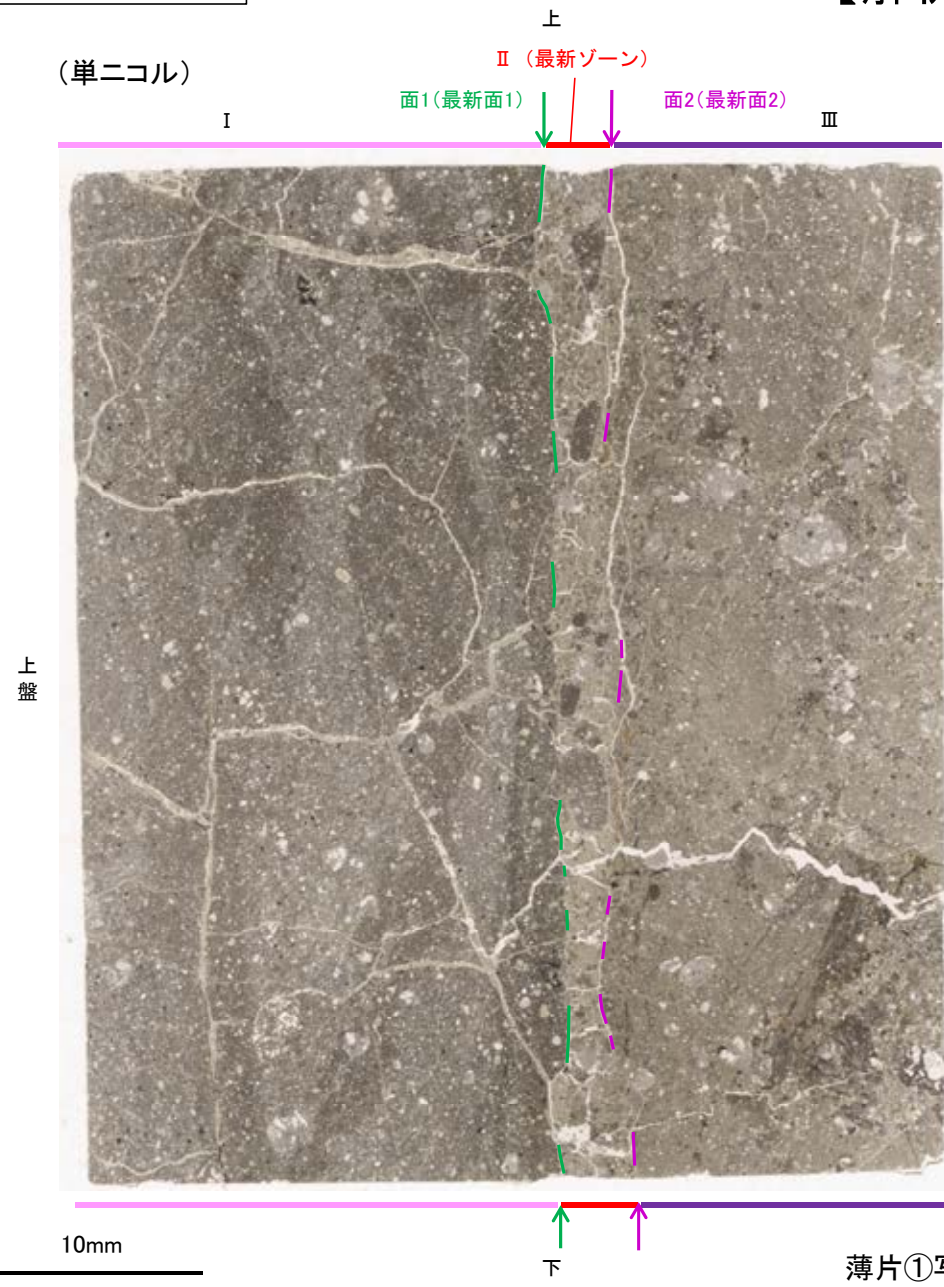
分帯とコア観察における破碎部区分との対応

- ・分帯Ⅱ(最新ゾーン)・・・粘土状破碎部
- ・分帯Ⅰ, 分帯Ⅲ・・・固結した破碎部

- I : 単ニコルで褐灰～暗褐灰色, 直交ニコルで暗灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれている。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。割れ目に粘土鉱物が生成している。
- II (最新ゾーン) : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する, 粘土鉱物を含む細粒物からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。
- III : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれており, 径13mmの岩片も含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。

S-1_H-6.7孔①

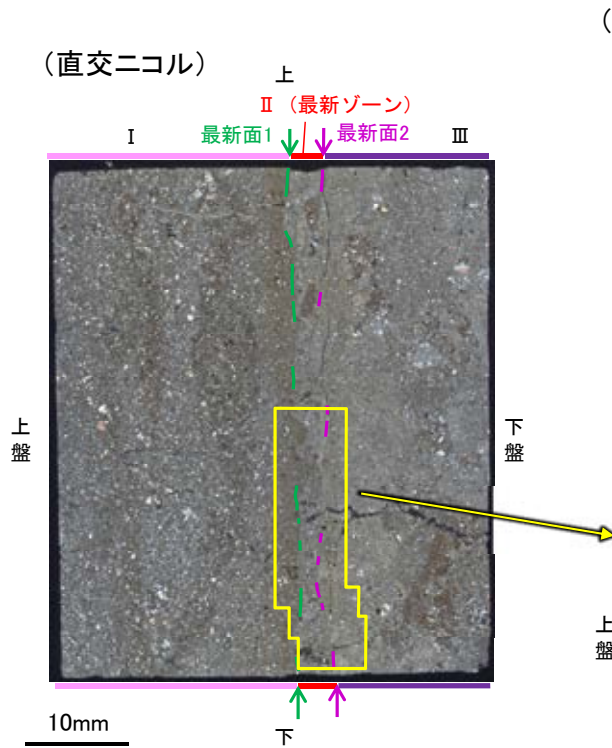
【解釈線あり】



・最新ゾーンと分帯 I との境界に、面1(緑矢印)が認められる。面1は全体的に不明瞭だが、最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
・最新ゾーンと分帯 III との境界に、面2(紫矢印)が認められる。面2は全体的に不明瞭だが、最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。

S-1_H-6.7孔①

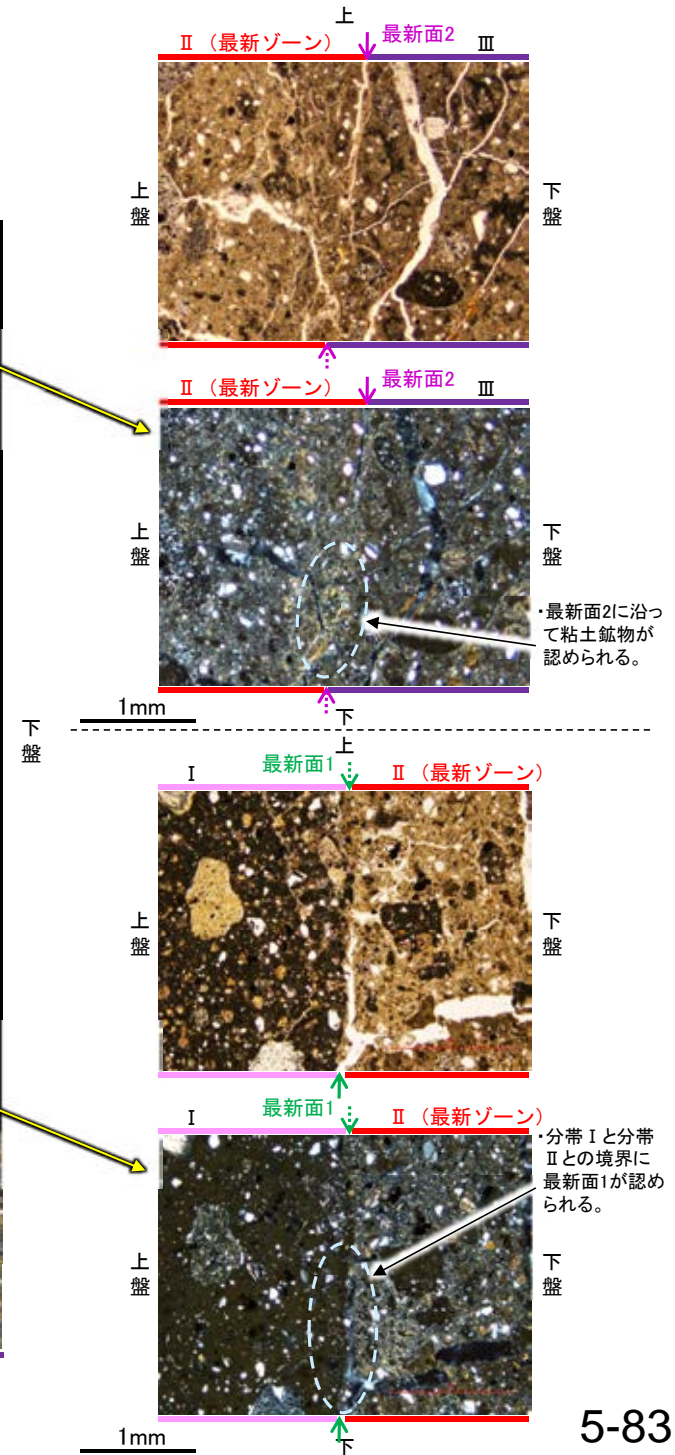
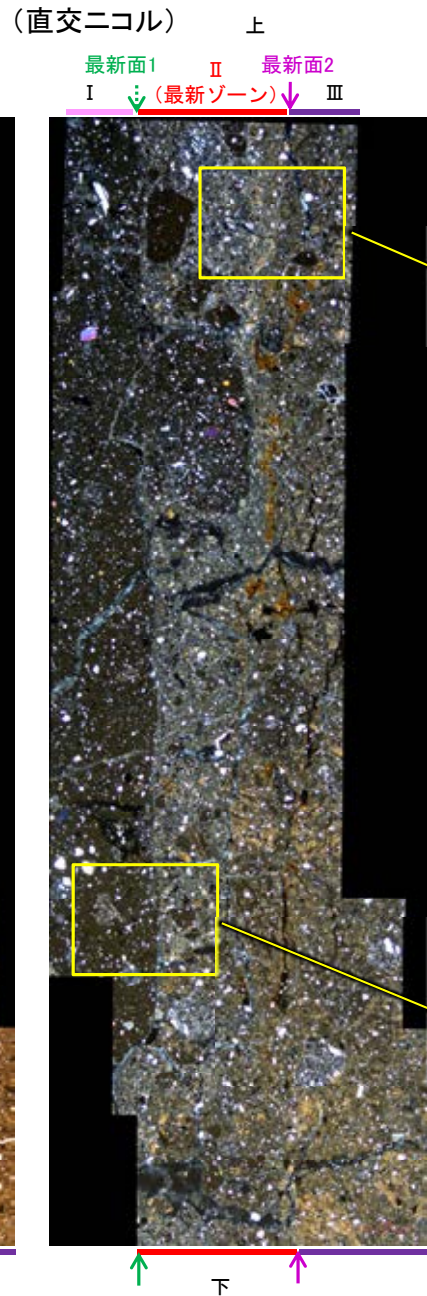
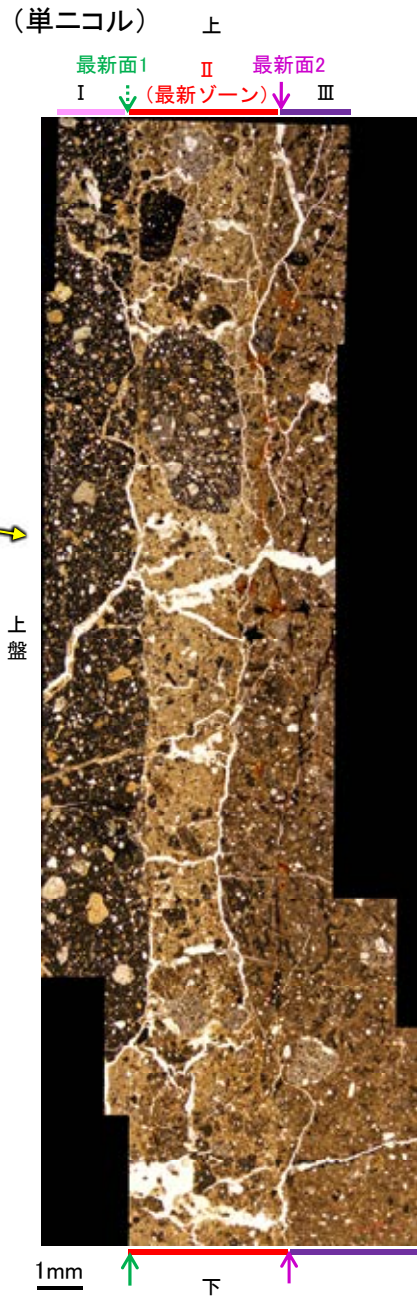
【最新面の詳細観察】



薄片①写真(H-6.7_66R)

・最新面1, 2は全体的に不明瞭だが、最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。

←… : 延長位置



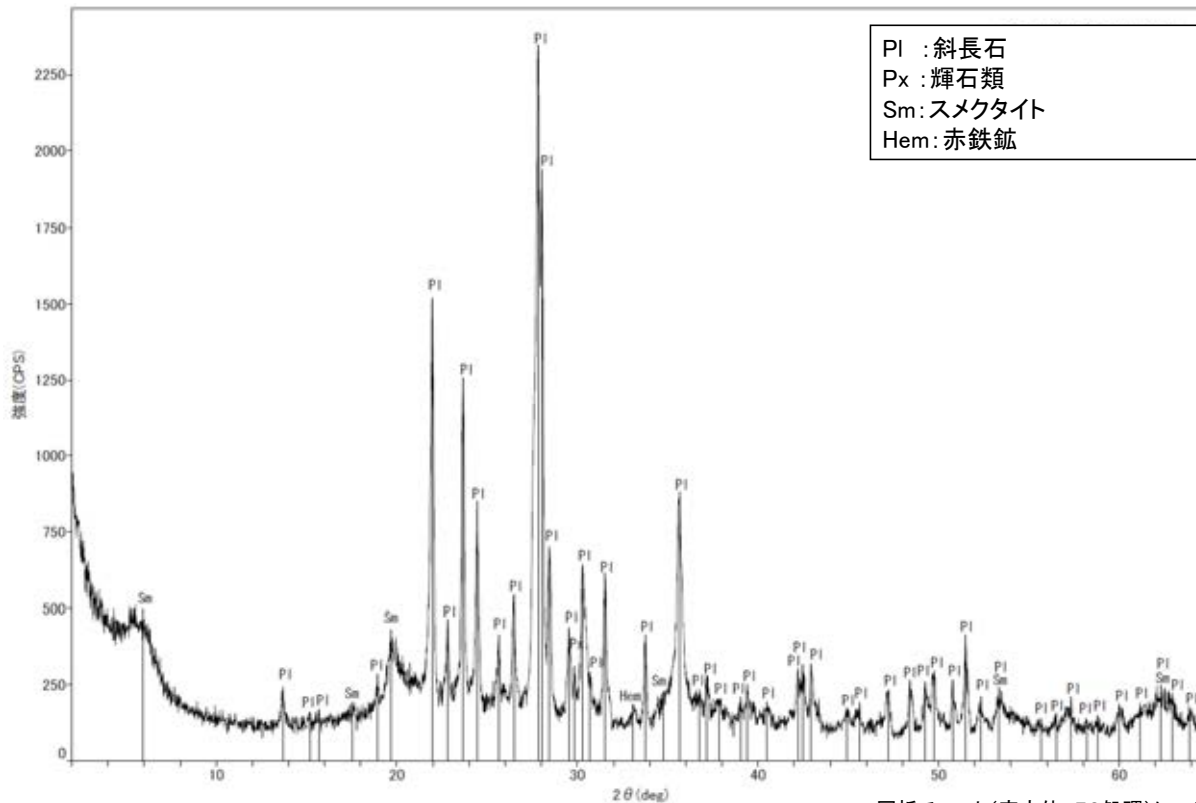
5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔① – 鉱物の同定(XRD分析, EPMA分析) –

- 最新ゾーン付近でXRD分析を実施した結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために, 同一断層の別孔(岩盤調査坑No.27孔, No.7-1孔, No.16付近)の破碎部においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果, I/S混合層と判定した。
- また, 隣接孔(H-6.6-1孔)で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討※において, 最新ゾーンやその周辺でI/S混合層を確認している。

※H-6.6-1孔で実施したEPMA分析(定量)の詳細は補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-20



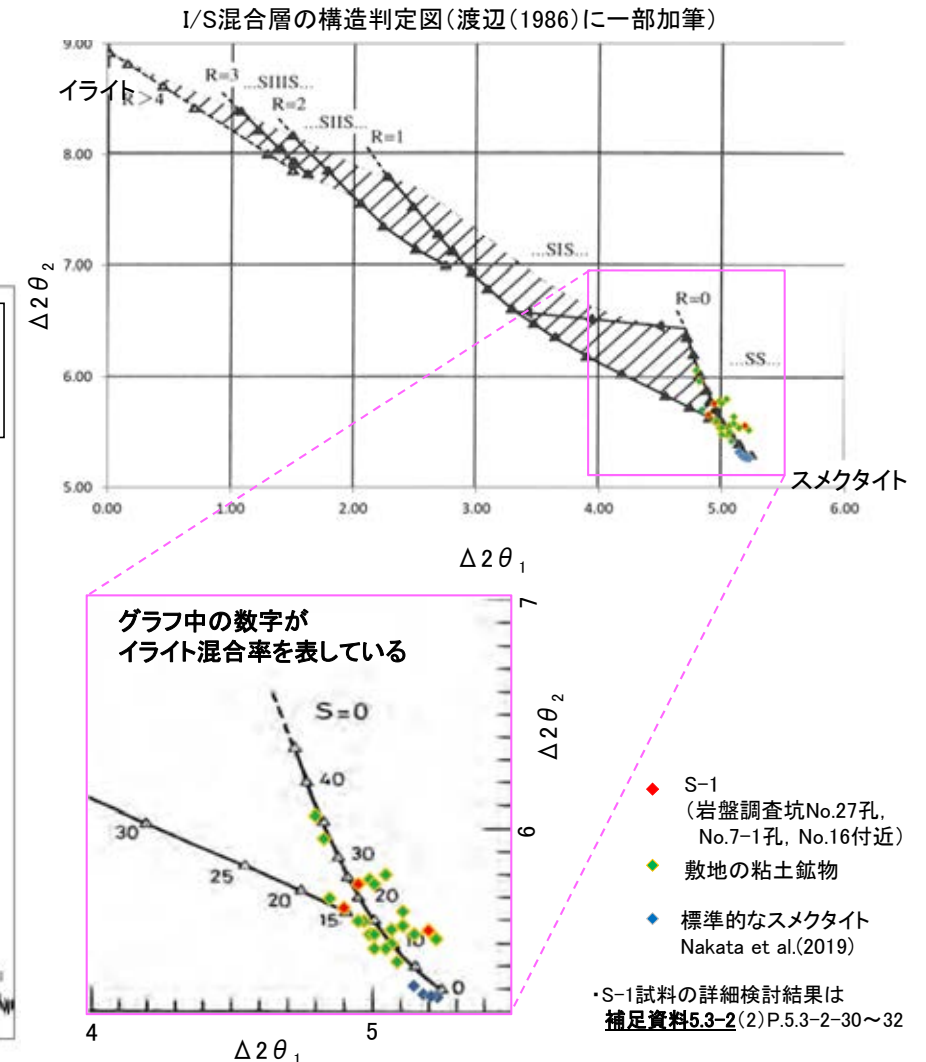
XRD分析試料採取位置(H-6.7孔_35.10m付近)



Pl : 斜長石
Px : 輝石類
Sm : スメクタイト
Hem : 赤鉄鉱

回折チャート(不定方位)_H-6.7孔

・回折チャート(定方位, EG処理)については, 補足資料5.3-3(1) P.5.3-3-9



I/S混合層の構造判定図(渡辺(1986)に一部加筆)

グラフ中の数字が
イライト混合率を表している

- ◆ S-1 (岩盤調査坑No.27孔, No.7-1孔, No.16付近)
- ◆ 敷地の粘土鉱物
- ◆ 標準的なスメクタイト Nakata et al.(2019)

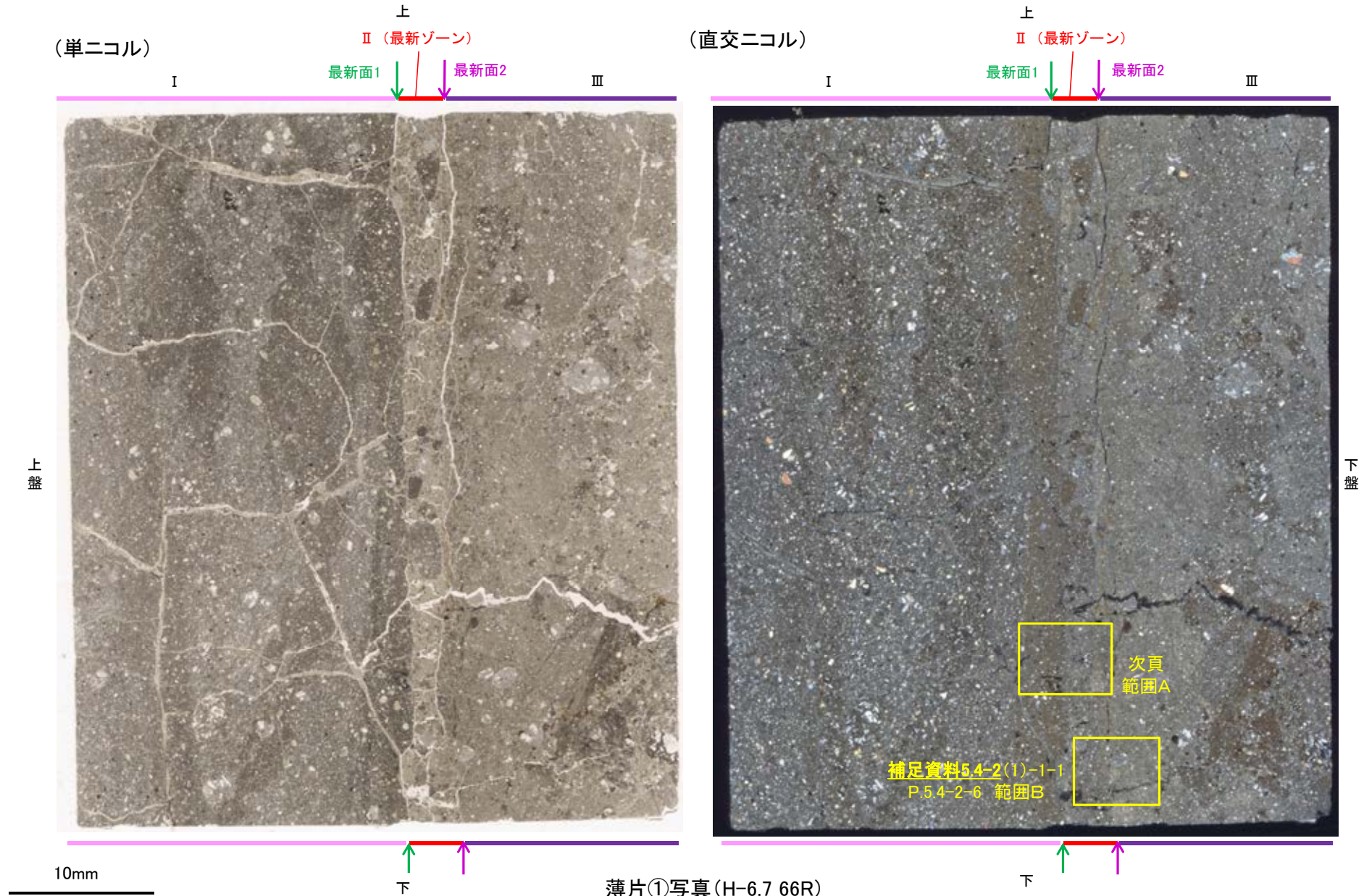
・S-1試料の詳細検討結果は 補足資料5.3-2(2) P.5.3-2-30~32

I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981)に一部加筆)

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔① ー変質鉱物の分布(薄片観察)ー

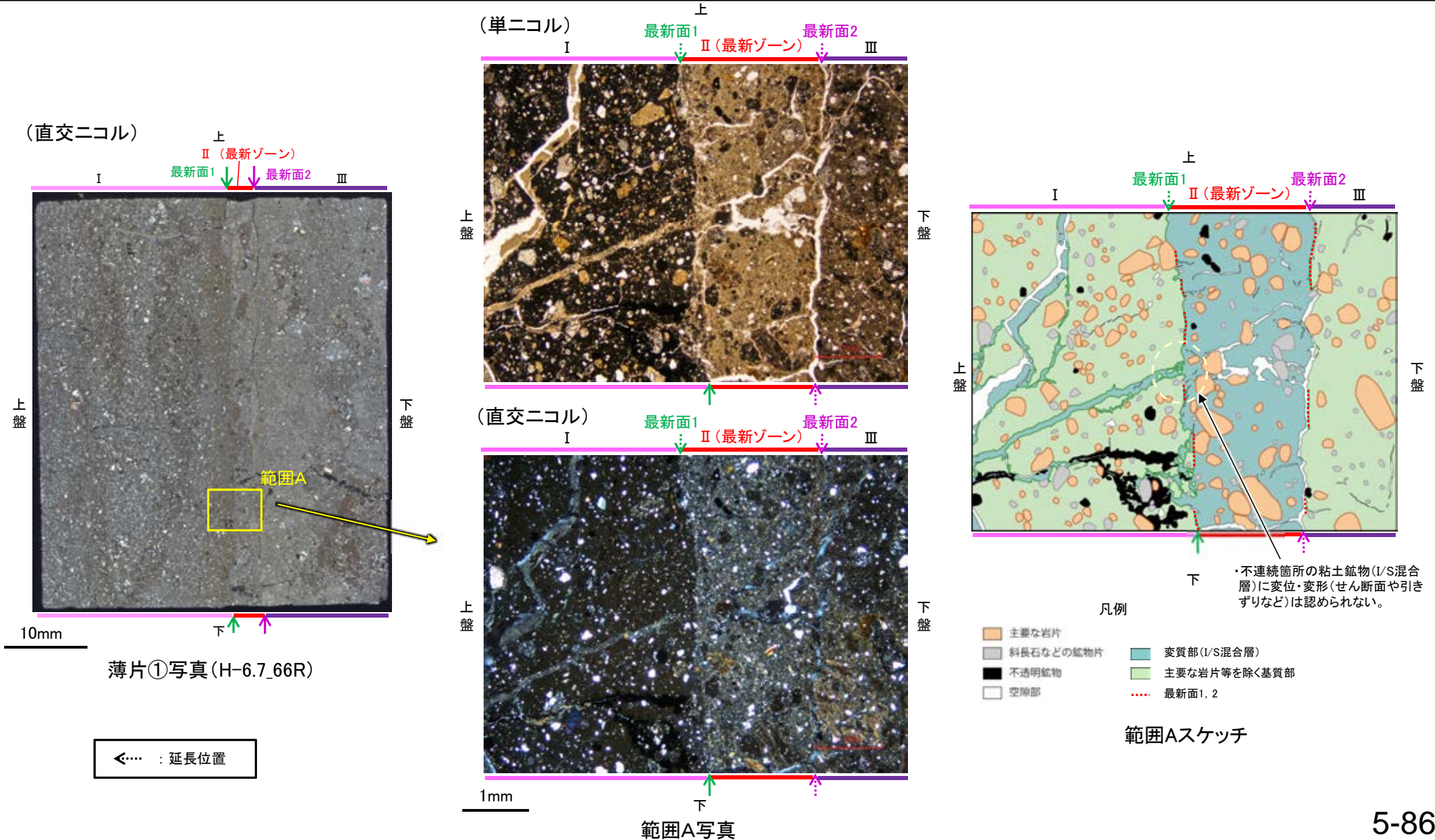
- 薄片①で実施した薄片観察や、隣接孔(H-6.6-1孔)のEPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察※により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーンやその周辺に分布している。
- この粘土鉱物(I/S混合層)と最新面との関係を確認する。

※H-6.6-1孔で実施したEPMA分析(マッピング)の詳細は補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-21,22



5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔① —最新面とI/S混合層との関係(範囲A)—

- 薄片①の範囲Aにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1を横断して分布し、最新面1が不連続になっており、不連続箇所
の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないこと
から、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。



S-1_H-6.7孔①

【詳細観察(範囲A)】

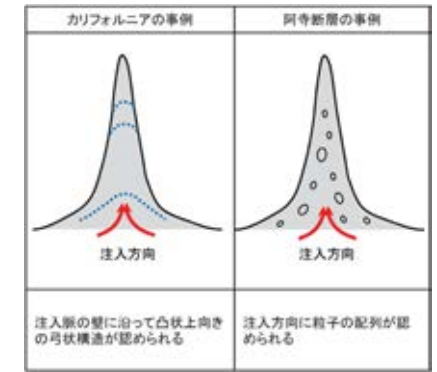
・薄片①の範囲Aにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1を横断して分布し、最新面1が不連続になっており、不連続箇所(不連続箇所)の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。

・なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。

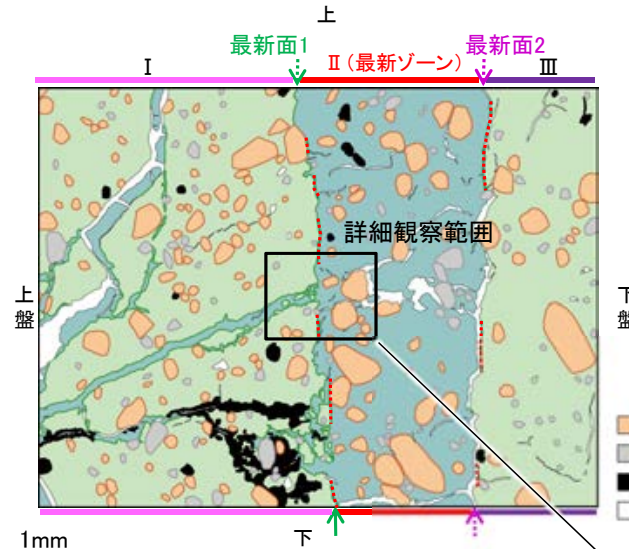
・さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1が不連続になる箇所(不連続箇所)の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。

・不連続箇所(不連続箇所)の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない。

・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。

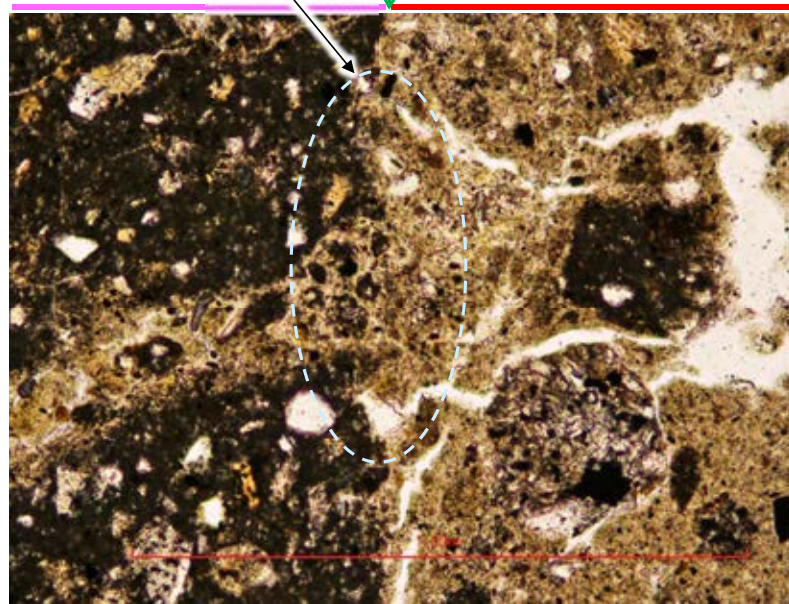


注入現象の事例
(関西電力株式会社, 2016)

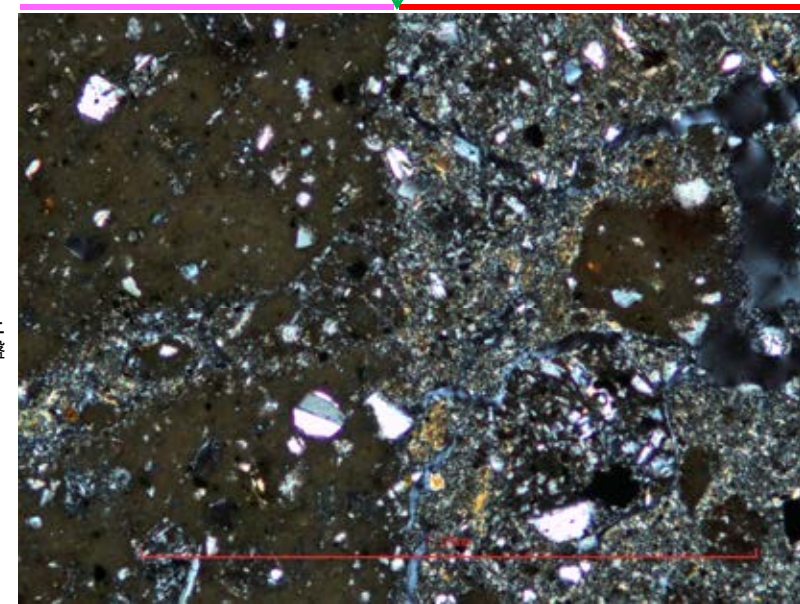


範囲Aスケッチ

(単ニコル)



(直交ニコル)

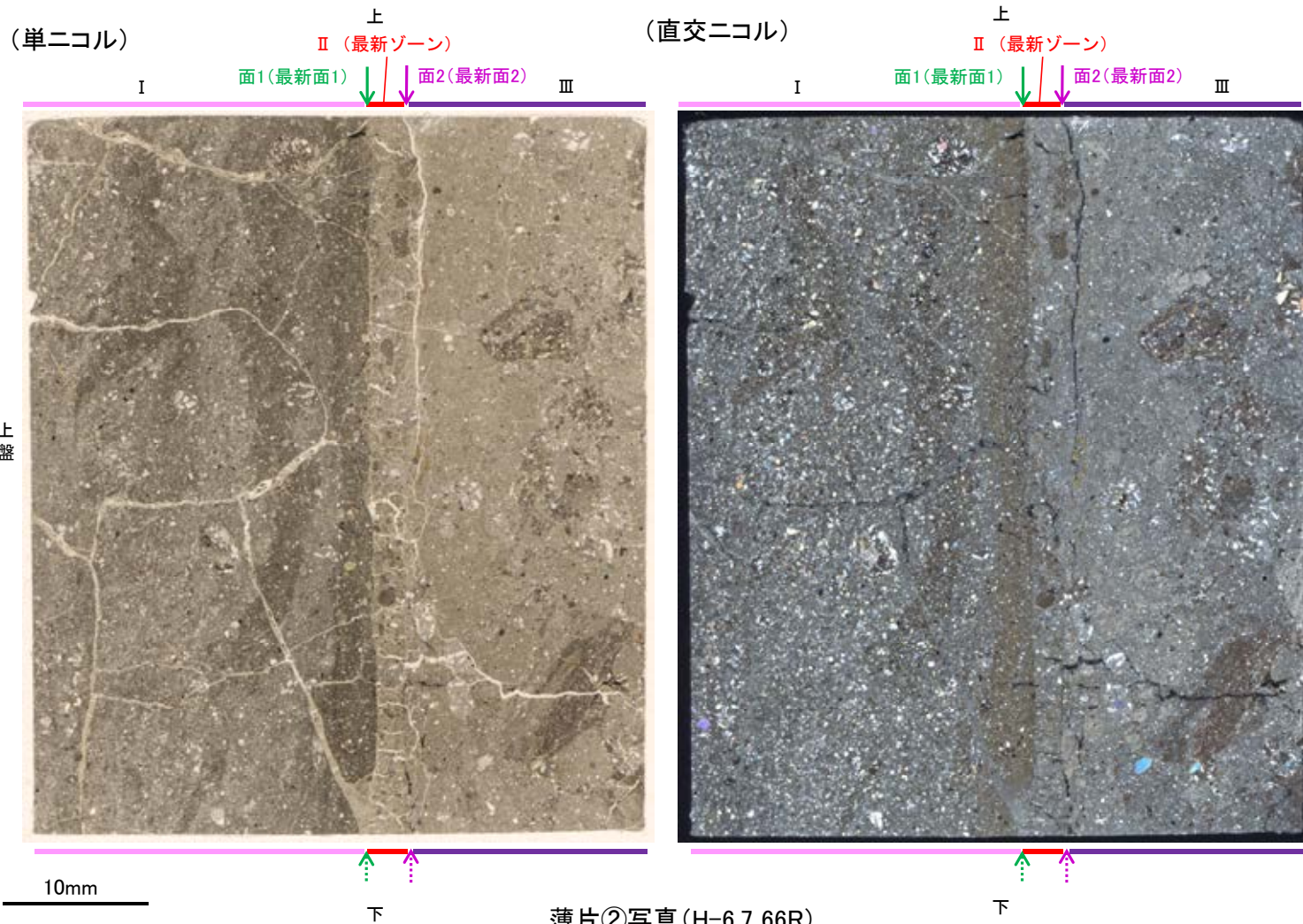


詳細観察範囲写真

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔② ー最新面の認定(微視的観察)ー

- 薄片②で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 上盤側よりⅠ～Ⅲに分帯した。
- そのうち, 最も細粒化している分帯Ⅱを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯Ⅰとの境界に, 面1(緑矢印)が認められる。面1は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯Ⅲとの境界に, 面2(紫矢印)が認められる。面2は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーン中に認められるY面は面1, 面2のみであり, 面1, 面2は同程度の直線性・連続性を有することから, 面1を最新面1, 面2を最新面2とし, それぞれについて変質鉱物との関係を確認する。

【解釈線なし】



分帯とコア観察における破碎部区分との対応
 ・分帯Ⅱ(最新ゾーン)・・・粘土状破碎部
 ・分帯Ⅰ, 分帯Ⅲ・・・固結した破碎部

- I : 単ニコルで褐灰～暗褐灰色, 直交ニコルで暗灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれている。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。割れ目に粘土鉱物が生成している。
- II (最新ゾーン) : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する。粘土鉱物を含む細粒物からなる。径3mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。
- III : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれており, 径14mmの岩片も含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。

←… : 延長位置

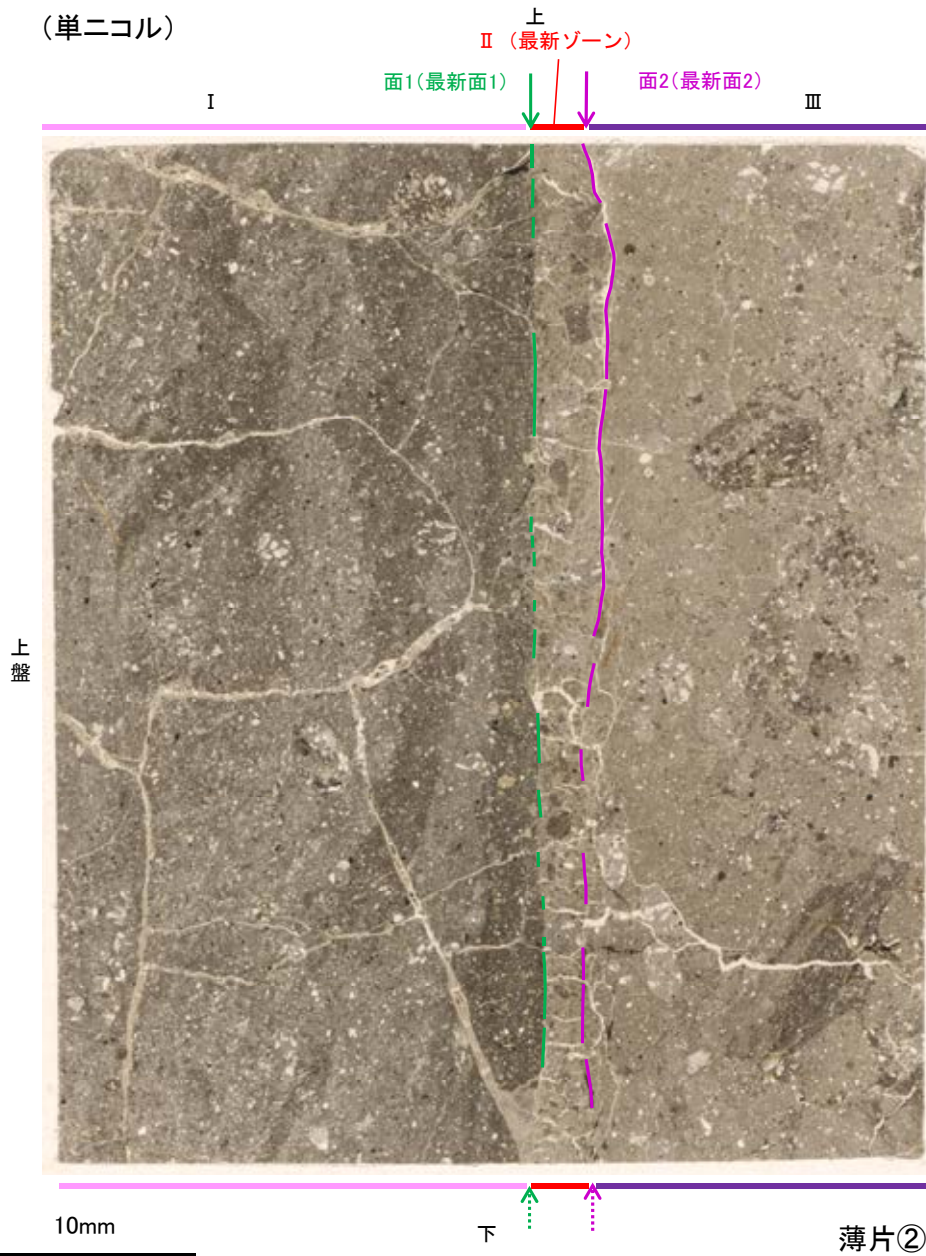
薄片②写真(H-6.7_66R)

S-1_H-6.7孔②

【解釈線あり】

(単ニコル)

(直交ニコル)



薄片②写真(H-6.7_66R)

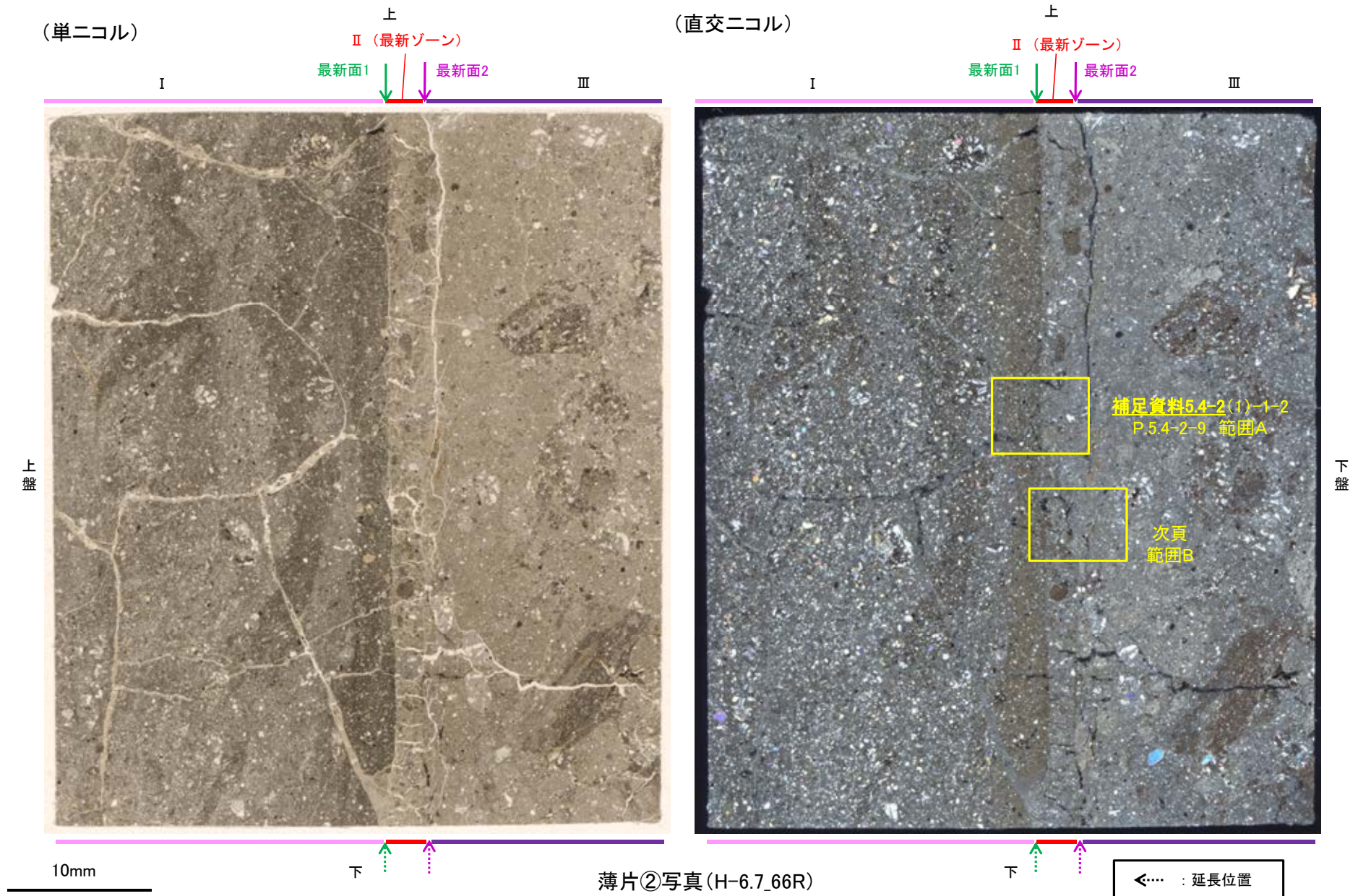
←… : 延長位置

- ・最新ゾーンと分帯 I との境界に、面1(緑矢印)が認められる。面1は全体的に不明瞭だが、最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- ・最新ゾーンと分帯 III との境界に、面2(紫矢印)が認められる。面2は全体的に不明瞭だが、最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。

5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔② –変質鉱物の分布(薄片観察)–

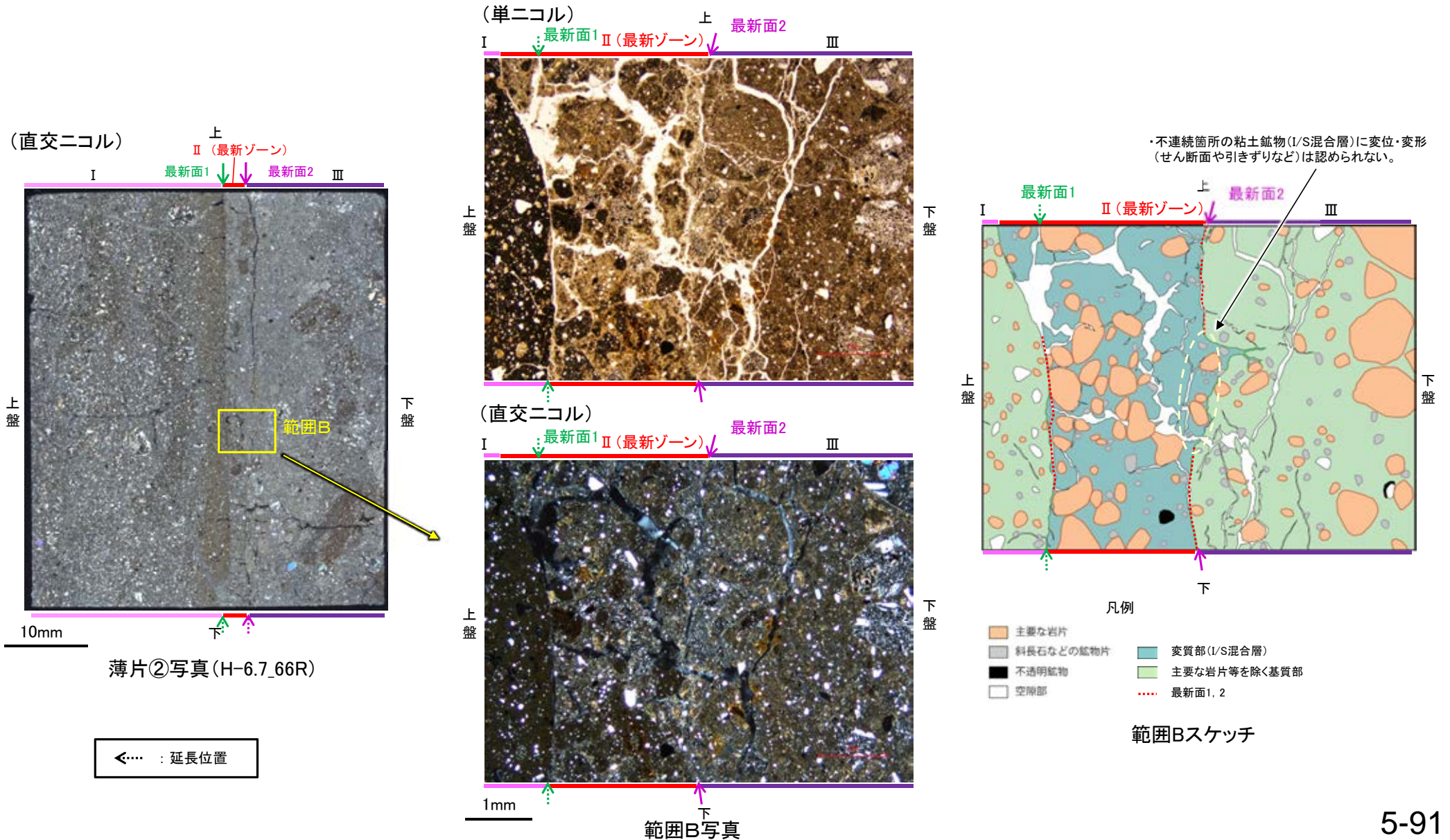
- 薄片②で実施した薄片観察や、隣接孔(H-6.6-1孔)のEPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察※により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーンやその周辺に分布している。
- この粘土鉱物(I/S混合層)と最新面との関係を確認する。

※H-6.6-1孔で実施したEPMA分析(マッピング)の詳細は補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-21,22



5.4.2 S-1 (1) H-6.7孔② –最新面とI/S混合層との関係(範囲B)–

- 薄片②の範囲Bにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面2を横断して分布し、最新面2が不連続になっており、不連続箇所
の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないこ
とから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。

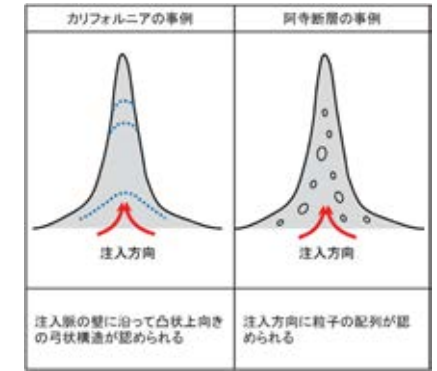


S-1_H-6.7孔②

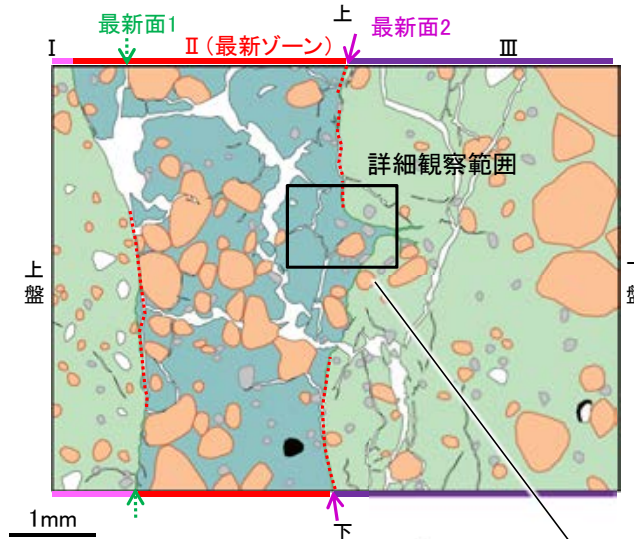
【詳細観察(範囲B)】

- ・薄片②の範囲Bにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面2を横断して分布し、最新面2が不連続になっており、不連続箇所(粘土鉱物(I/S混合層))に変位・変形は認められない。
- ・なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。
- ・さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2が不連続になる箇所(粘土鉱物(I/S混合層))の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。

- ・不連続箇所(粘土鉱物(I/S混合層))に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない。
- ・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。



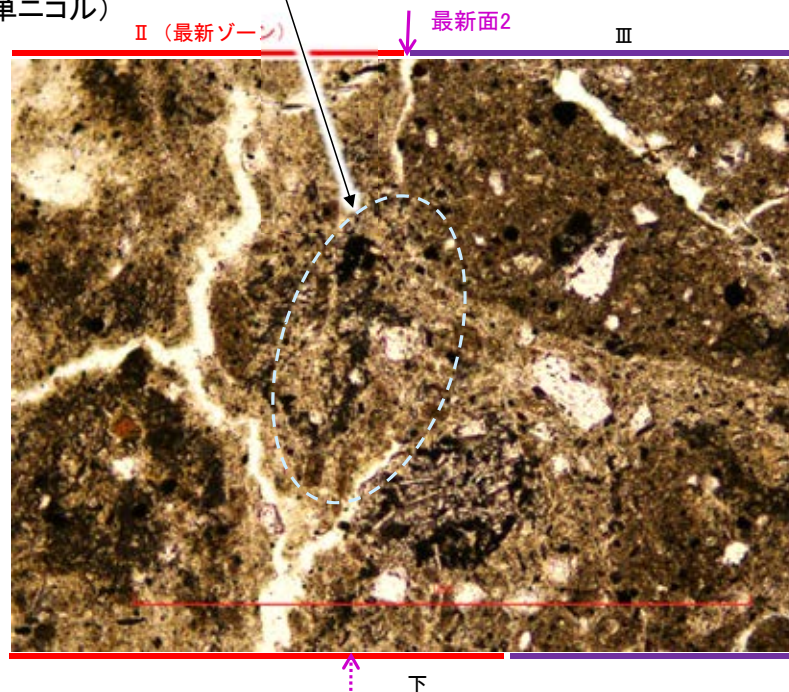
注入現象の事例
(関西電力株式会社, 2016)



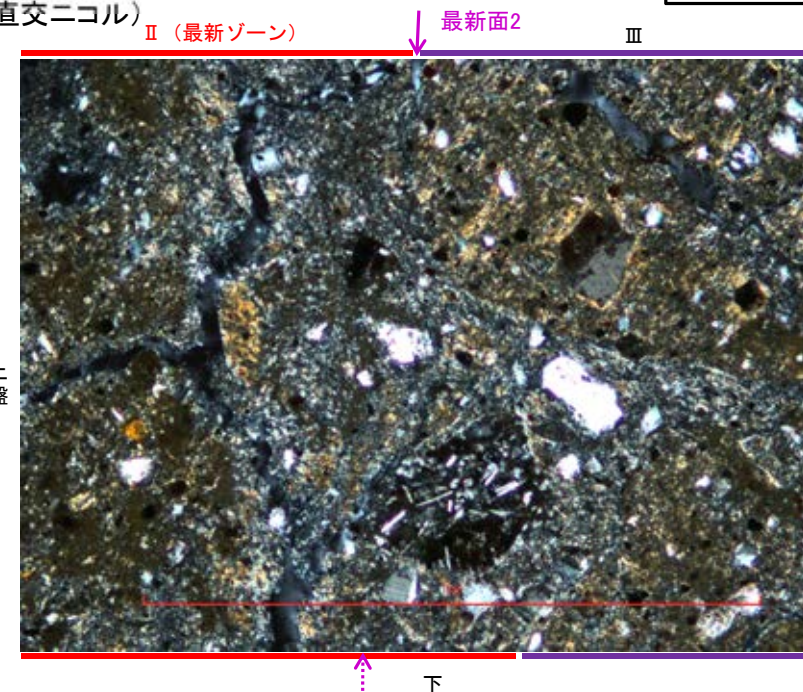
- 凡例
- 主要な岩片 (Main rock fragments)
 - 変質部(I/S混合層) (Metamorphic zone (I/S mixed layer))
 - 斜長石などの鉱物片 (Mineral fragments such as plagioclase)
 - 主要な岩片等を除く基質部 (Matrix part excluding main rock fragments)
 - 不透明鉱物 (Opaque minerals)
 - 空隙部 (Void part)
 - ⋯ 最新面1, 2 (Latest surface 1, 2)

←⋯ : 延長位置 (Extension position)

(単ニコル) (Single nicol)



範囲Bスケッチ (直交ニコル) (Range B sketch (Ortho-nicol))



詳細観察範囲写真 (Detailed observation area photograph)

5.4.2 S-1 (2) H-6.6-1孔 ー評価結果ー

【最新面の認定】

○H-6.6-1孔の深度57.20m付近で認められるS-1において、巨視的観察及び微視的観察を実施し、最新ゾーンの下盤側及び上盤側の境界にそれぞれ最新面1、最新面2を認定した(補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-15~18)。

【鉱物の同定】

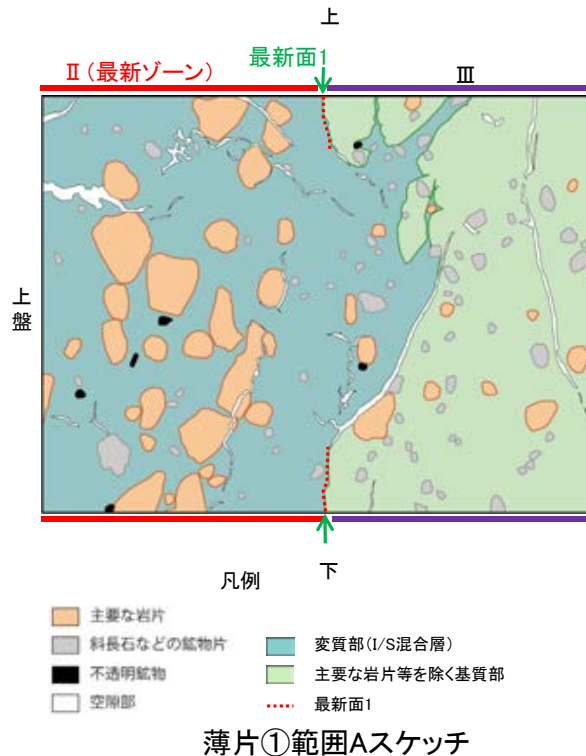
○微視的観察により確認した粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断した(補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-19, 20)。

【変質鉱物の分布と最新面との関係】

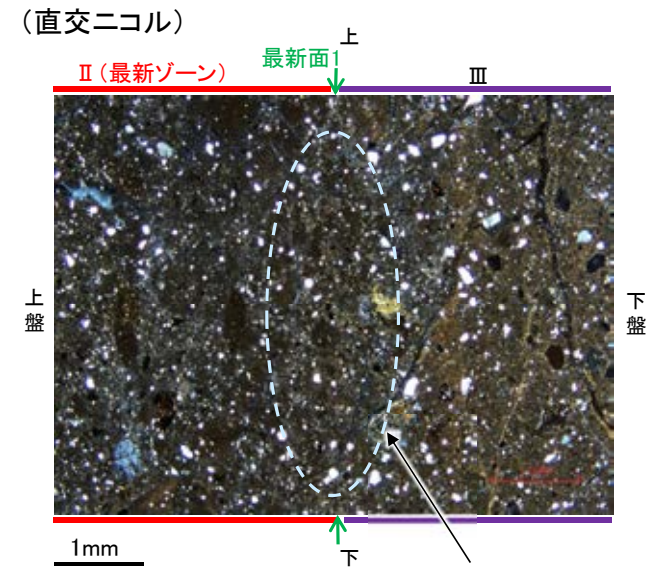
○EPMA分析(マッピング)や薄片観察により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーン及びその周辺に分布している(補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-21~23)。

○薄片①の範囲A、Bにおいて、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1、2を横断して分布し、最新面1、2が不連続になっており、不連続箇所(粘土鉱物(I/S混合層))に変位・変形は認められない(P.5-94, 5-95)。

○以上のことを踏まえると、S-1の最新活動は、I/S混合層の生成以前である。



薄片①範囲Aスケッチ



・不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない(P.5-94)。
・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない(P.5-94)。

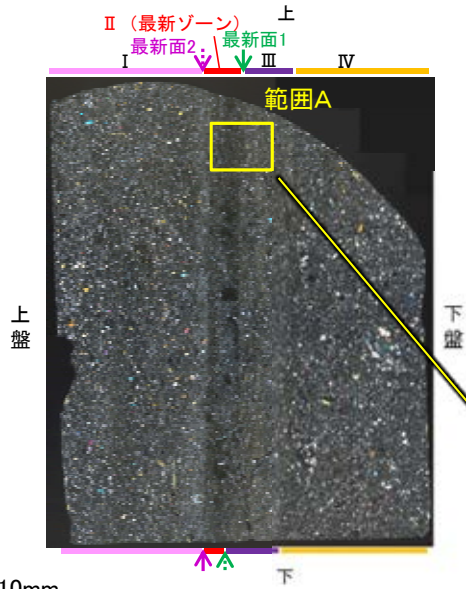
薄片①範囲A写真

紫字: 第1073回審査会合以降の変更箇所

5.4.2 S-1 (2) H-6.6-1孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲A)ー

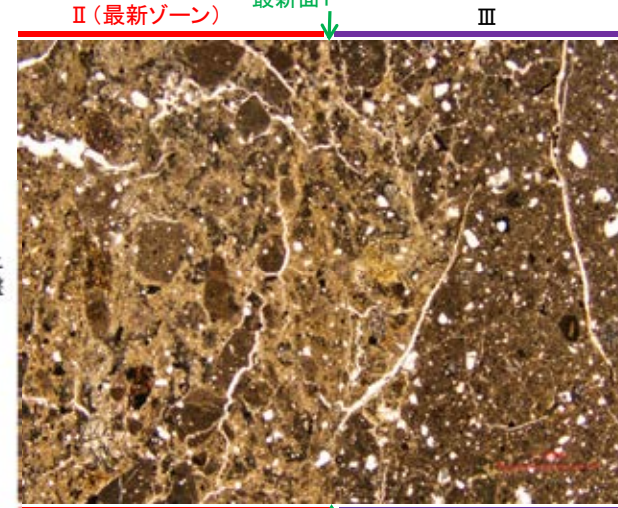
- 範囲Aにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1を横断して分布し、最新面1が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。

(直交ニコル)

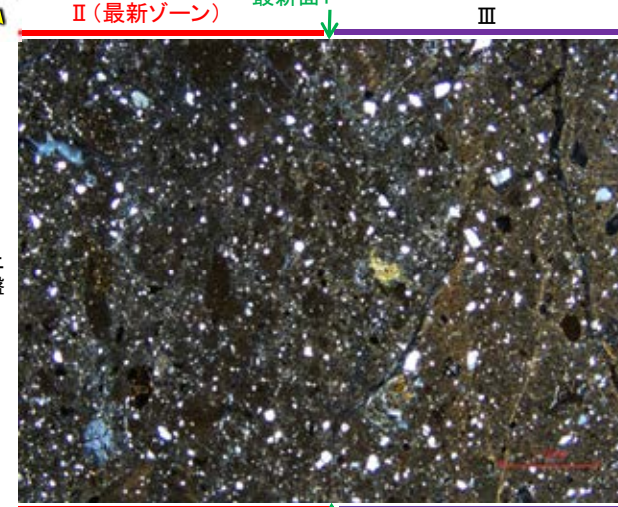


薄片①写真(H-6.6-1_71R)

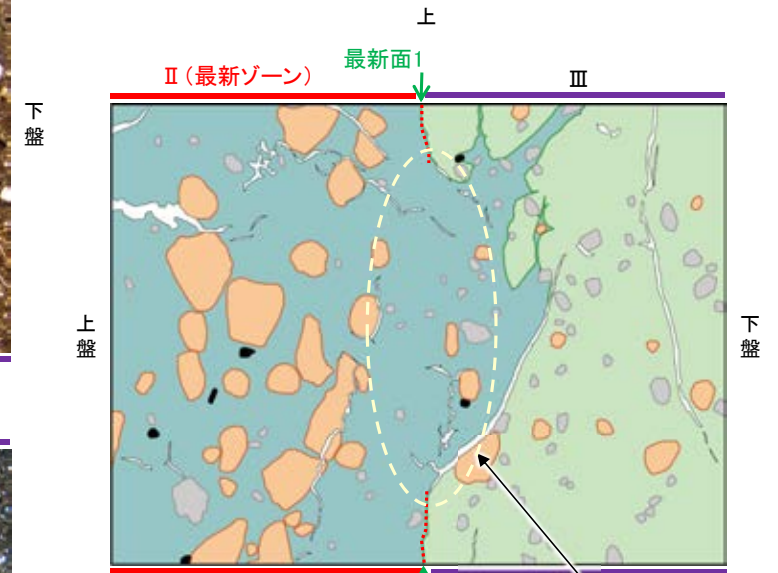
(単ニコル)



(直交ニコル)



範囲A写真

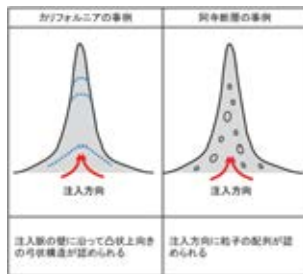


- ・不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない。
- ・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。

- 凡例
- 主要な岩片
 - 斜長石などの鉱物片
 - 不透明鉱物
 - 空隙部
 - 変質部(I/S混合層)
 - 主要な岩片等を除く基質部
 - 最新面1

範囲Aスケッチ

←..... : 延長位置

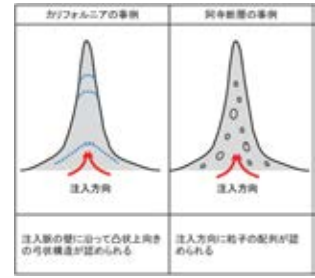
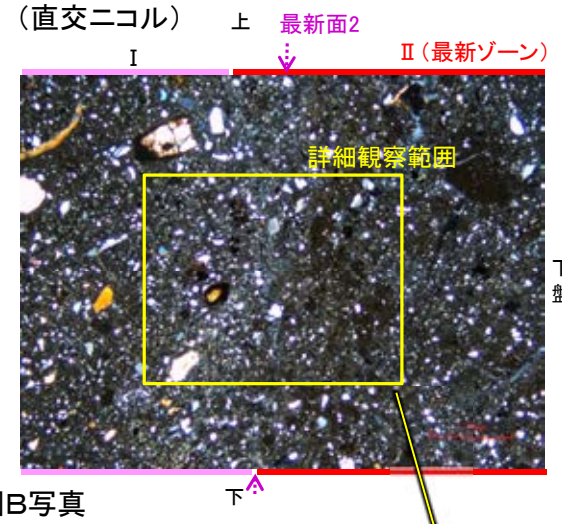
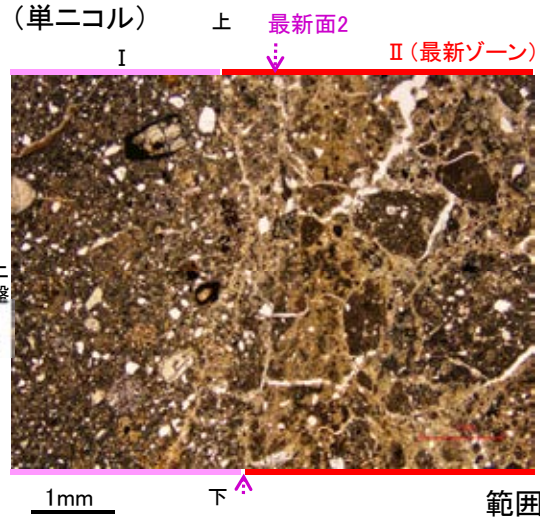
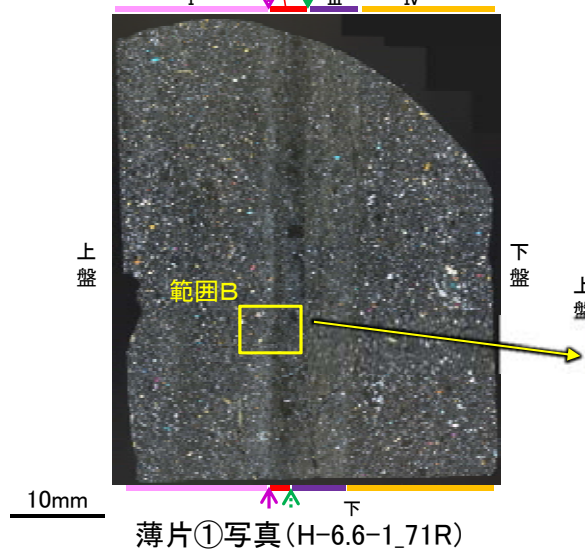


注入現象の事例
(関西電力株式会社, 2016)

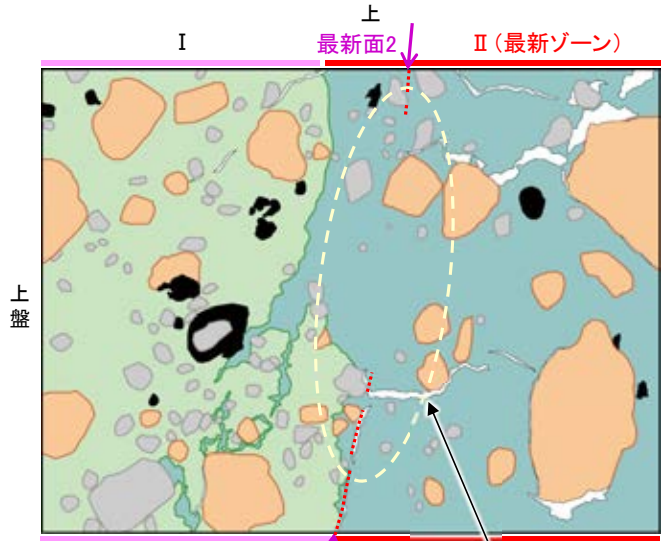
5.4.2 S-1 (2) H-6.6-1孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲B)ー

○範囲Bにおいて詳細に観察した結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面2を横断して分布し、最新面2が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
 ○なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。
 ○さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。

(直交ニコル) II (最新ゾーン) 最新面1 最新面2 III IV
 I ←…… : 延長位置

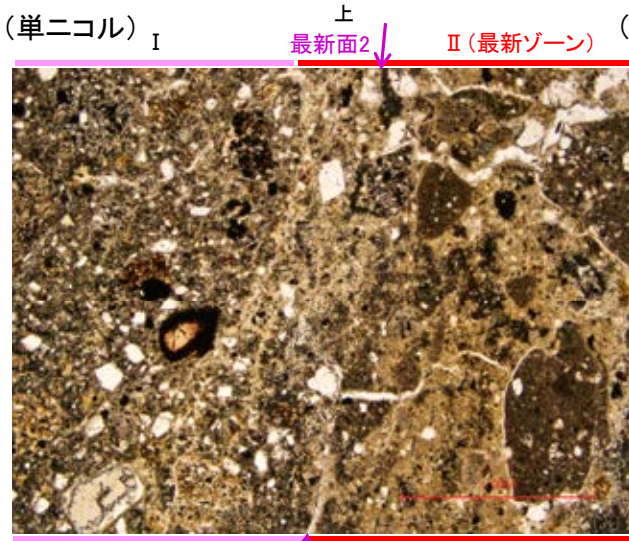


注入現象の事例
(関西電力株式会社, 2016)



- 主要な鉱片
- 変質部(I/S混合層)
- 料石石などの鉱物片
- 不透明鉱物
- 空隙部
- 主要な岩片等を除く基質部
- 最新面2

・不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない。
 ・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。



・範囲Bの上部において、最新ゾーンと分帯 I との境界は不明瞭であり、境界の下盤側に分布する直線的な面構造を最新面とした。
 ・ステージ回転写真は補足資料5.4-2(1)-2 P.5.4-2-27

5.4.2 S-1 (3) M-12.5”孔 — 評価結果 —

【最新面の認定】

○M-12.5”孔の深度50.00m付近で認められるS-1において、巨視的観察及び微視的観察を実施し、最新ゾーンの上盤側及び下盤側の境界にそれぞれ最新面1、最新面2を認定した(補足資料5.4-2(1)-3 P.5.4-2-30~32)。

【鉱物の同定】

○微視的観察により確認した粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断した(補足資料5.4-2(1)-3 P.5.4-2-33, 34)。

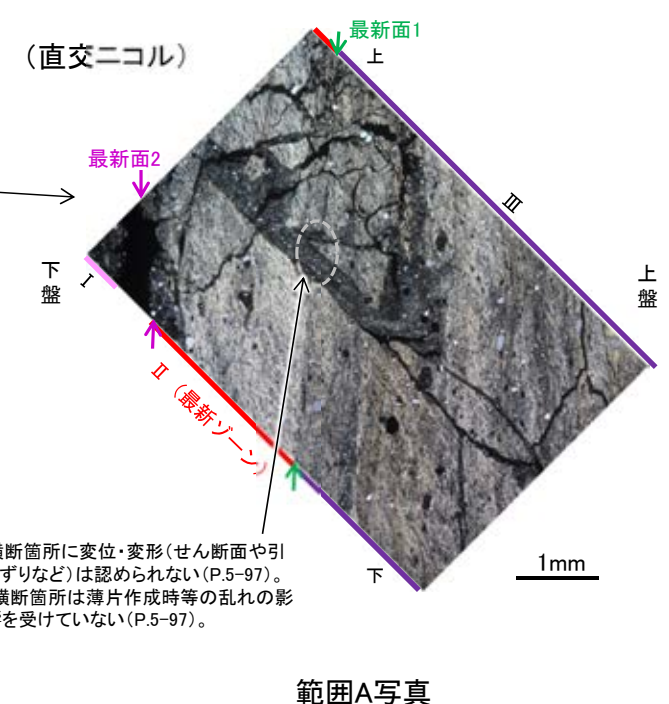
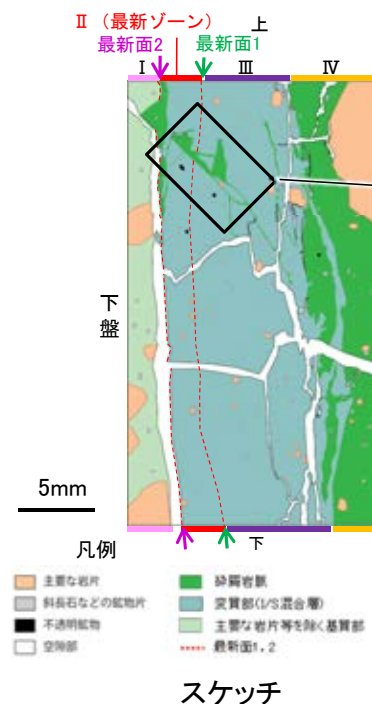
【変質鉱物等の分布と最新面との関係】

○EPMA分析(マッピング)や薄片観察により、粘土鉱物(I/S混合層)及び碎屑岩脈の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーン及びその周辺に分布し、碎屑岩脈はI/S混合層を含む最新ゾーン全体を横断するように分布している(補足資料5.4-2(1)-3 P.5.4-2-35, 36)。

○薄片①の範囲A、Bにおいて、碎屑岩脈が最新面1、2及び最新ゾーン全体を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められない(P.5-97, 5-98)。

○以上のことを踏まえると、S-1の最新活動は、碎屑岩脈の形成以前である。

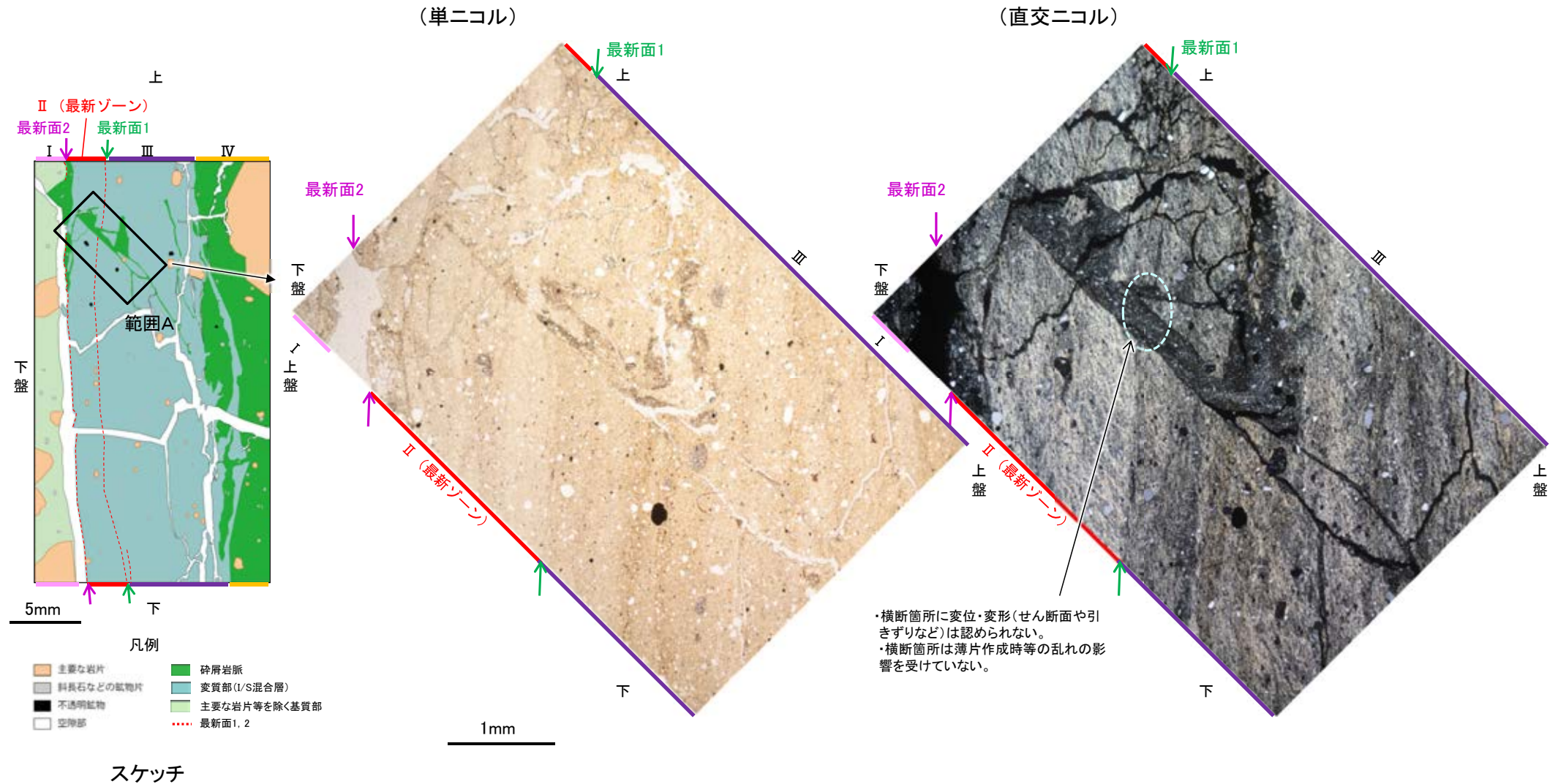
紫字: 第1073回審査会合以降の変更箇所



※: 試料採取位置(補足資料5.3-2(1) P.5.3-2-7)の深度に修正

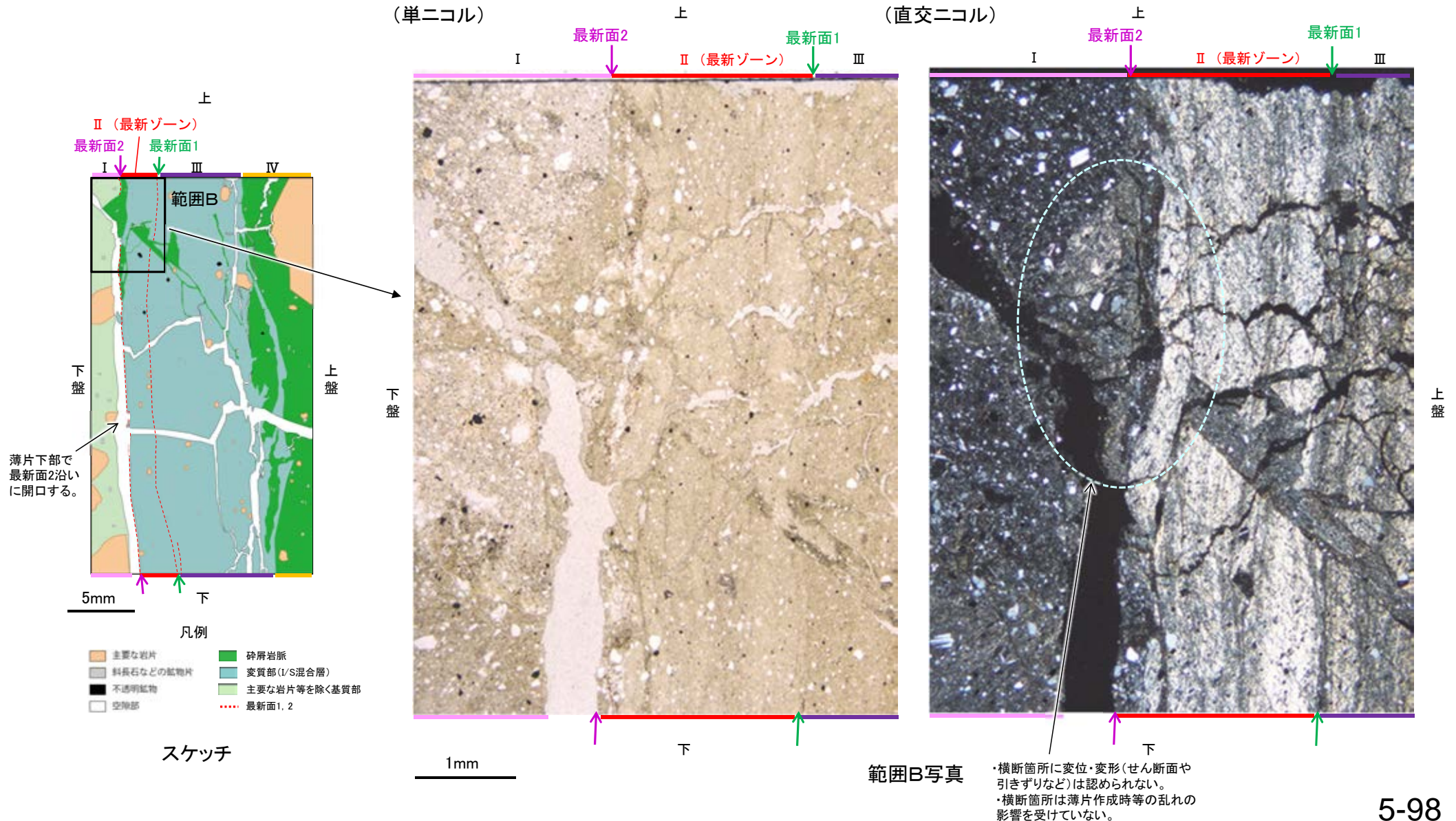
5.4.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー最新面と碎屑岩脈との関係(範囲A)ー

○範囲Aにおいて詳細に観察した結果、碎屑岩脈が最新面1を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められない。
 ○なお、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1を横断する碎屑岩脈の構造に影響を与えていないことから、横断箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。



5.4.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー最新面と碎屑岩脈との関係(範囲B)ー

- 範囲Bにおいて詳細に観察した結果、碎屑岩脈が最新面2を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められない。
- なお、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2を横断する碎屑岩脈の構造に影響を与えていないことから、横断箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断した。
- また、最新面2の上盤側には割れ目が認められるものの、碎屑岩脈がこの割れ目を充填しており、碎屑岩脈に変位・変形は認められないことから、この割れ目は碎屑岩脈形成以降に生じたものではない(補足資料5.4-2(1)-3 P.5.4-2-41)。



5.5 S-2・S-6の活動性評価

5.5.1 上載地層法による活動性評価(S-2・S-6)

5.5.1 上載地層法による活動性評価(S-2・S-6) ー評価地点ー

■上載地層法による評価地点

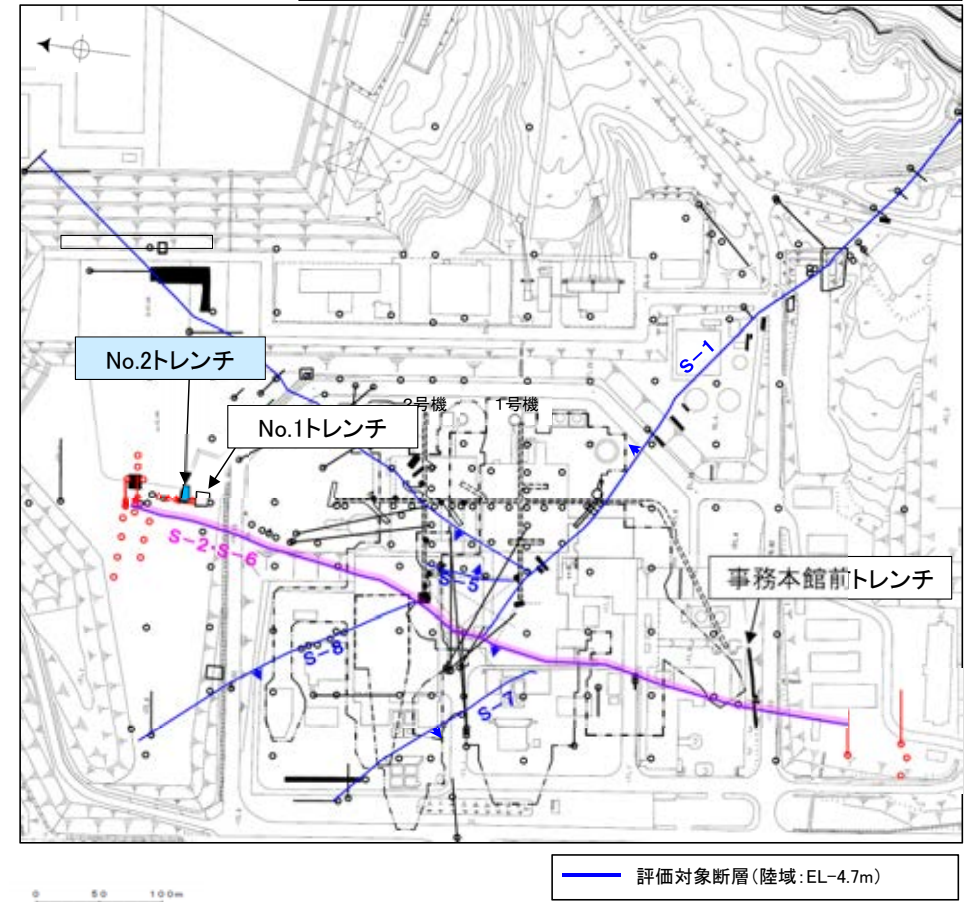
- S-2・S-6が分布する岩盤の直上に、約12～13万年前に堆積した地層であるM I 段丘堆積物が確認できることから、No.2トレンチにおいて、評価を行った。
- S-2・S-6の地下延長部の断層の活動による地表付近の変形の有無を確認するために、S-2・S-6周辺の地形及び岩盤上面高度分布の確認等を行った。
- 有識者会合時の評価データ(No.1トレンチ, 事務本館前トレンチ)も用いて、評価を行った。

評価地点	記載頁
No.2トレンチ	P.5-102～5-109
(補足1)S-2・S-6周辺の地形及び岩盤上面高度分布	<u>補足資料5.5-1</u> (1)
(補足2)「凸状地形」に関する検討	<u>補足資料5.5-1</u> (2)
No.1トレンチ	<u>参考資料5.5-1</u> (2)
事務本館前トレンチ	<u>参考資料5.5-1</u> (3)

青色網掛け: 断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり、地層の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータ(主たる根拠)

□ 上載地層法に関する調査箇所
(断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり、地層の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータを着色)

○ 有識者会合以降に追加した地形確認ボーリング孔



位置図

5.5.1 S-2・S-6 (1) No.2トレンチ ー評価結果ー

【有識者会合時の当社評価】

- S-2・S-6の活動性評価を行うため、中位段丘 I 面を判読した位置において、トレンチ調査(No.2トレンチ)を実施した。
- No.2トレンチにおいて、幅5～40cmの固結した破砕部及び幅フィルム状～2mmの粘土状破砕部からなるS-2・S-6を確認。
- 岩盤の安山岩(均質)及び安山岩(角礫質)の上位には、下位からM I 段丘堆積物、赤褐色土壌が分布する。
- S-2・S-6は岩盤直上のM I 段丘堆積物に変位・変形を与えていない。

【有識者の評価】

- No.2トレンチではS-2・S-6に沿う明瞭な変位は認められないが、MIS5eの海成堆積物中の層理面が山側(東側)に向かって緩やかに傾斜している状況が認められた。・・・(A)
- S-2・S-6付近では、地形、岩盤上面高度とともに、S-2・S-6通過位置の海側(西側)の方が高く、山側(東側)が低い傾向が認められる。・・・(B)
- ⇒ S-2・S-6は、後期更新世以降に左横ずれ成分を持つ西側隆起の逆断層として活動した可能性がある。この際、S-2・S-6の地下延長部の断層が活動し、地表付近の新第三系及び上部更新統に変形を及ぼしたものと判断する。

【有識者会合以降の追加検討】

礫の形状の定量的な分析

- No.2トレンチの岩盤直上に分布する中位段丘 I 面を構成する堆積物は、礫の平均真円度による評価に基づき認定される海成堆積物(M I 段丘堆積物)であり、MIS5e(約12～13万年前)に堆積したものである(P.5-26)。

層理の傾斜等のデータ分析(上記Aに対する検討)

- M I 段丘堆積物の山側(東側)への傾斜の有無についてより定量的に分析するために、トレンチ両面のM I 段丘堆積物中に認められる層理について、有識者会合以降に測定データを25データ追加し、層理の傾斜と断層との関係を確認することにより、S-2・S-6の断層活動による影響について検討を行った。その結果、層理の傾斜角は、北面・南面のそれぞれにおいて、断層からの距離に関係なくばらつきが認められる。また、断層の直近で急傾斜となる傾向や、断層から離れるにしたがって緩傾斜となるような傾向は認められない(P.5-108)。また、No.2トレンチ南北両面においてM I 段丘堆積物中の礫等の長軸の角度分布を確認した結果、礫等の長軸が一樣に山側(東側)に傾斜する傾向は認められない(補足資料5.5-1(1)-4)。
- したがって、No.2トレンチのM I 段丘堆積物に、S-2・S-6の断層活動による変形を示唆する傾向は認められない。

S-2・S-6周辺の地形及び岩盤上面高度分布(上記Bに対する検討)

- S-2・S-6の海側(西側)の地形及び岩盤上面が山側に傾くのは、エリア5の局所的な範囲に限られ、その他のエリアでは山側への傾きは認められず、S-2・S-6に沿った全線で海側(西側)の地形及び岩盤上面の系統的な山側への傾きはない(補足資料5.5-1(2))。
- よって、S-2・S-6周辺の地形、岩盤上面高度に、S-2・S-6の断層活動による変形は認められない。

「凸状地形」に関する検討(上記Bに対する検討)

- エリア5において、S-2・S-6の北方に西側が高い「凸状地形」が認められたことから、3本のボーリング調査を実施した結果、いずれのボーリングコアにも深部に西側を隆起させるような断層は認められない。また、「凸状地形」が最も顕著に表れているNo.3トレンチ地点において、断層は確認されない(補足資料5.5-1(3))。
- 「凸状地形」の頂部付近には、相対的に堅硬である安山岩(均質)が周辺よりもやや優勢に分布していることから、「凸状地形」は、波蝕台形成時における岩盤上面の起伏を反映した局所的なものと推定される(補足資料5.5-1(3))

S-2・S-6及びその周辺の岩盤中のせん断面における鉱物脈法による評価(補足資料5.5-1(5))

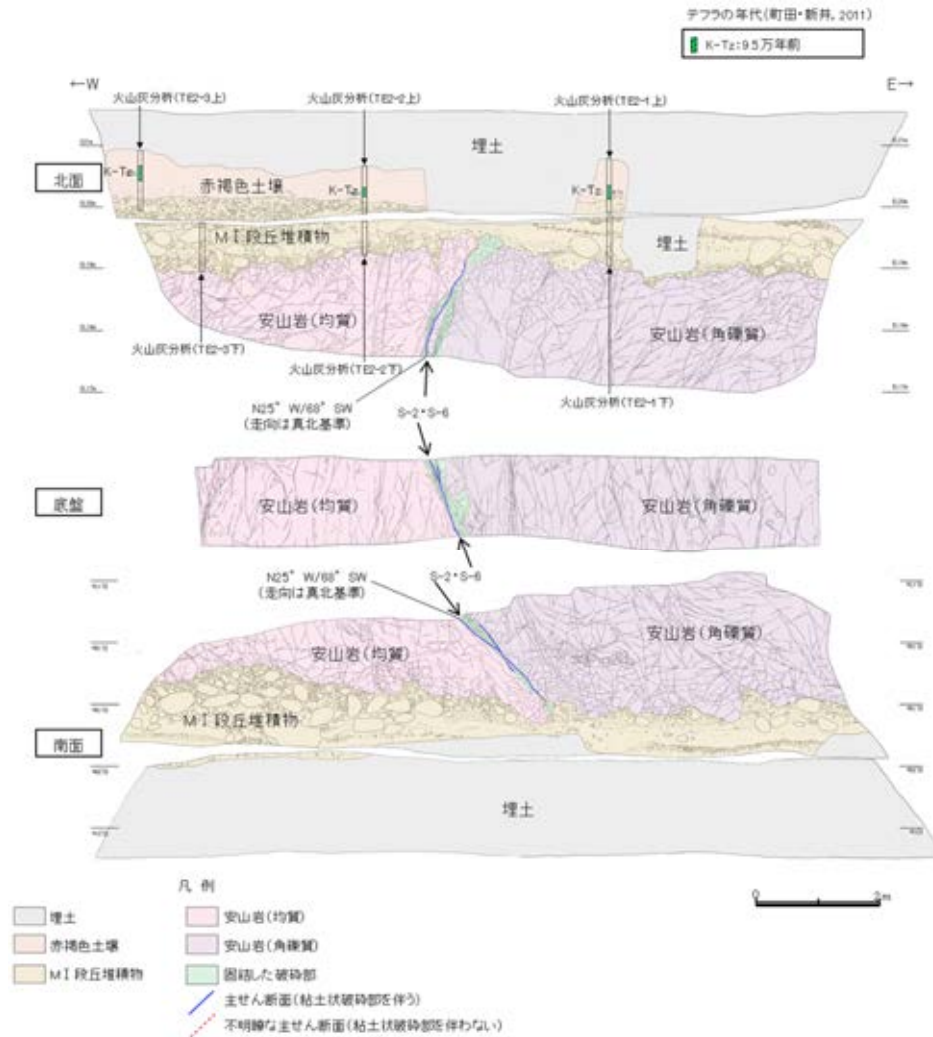
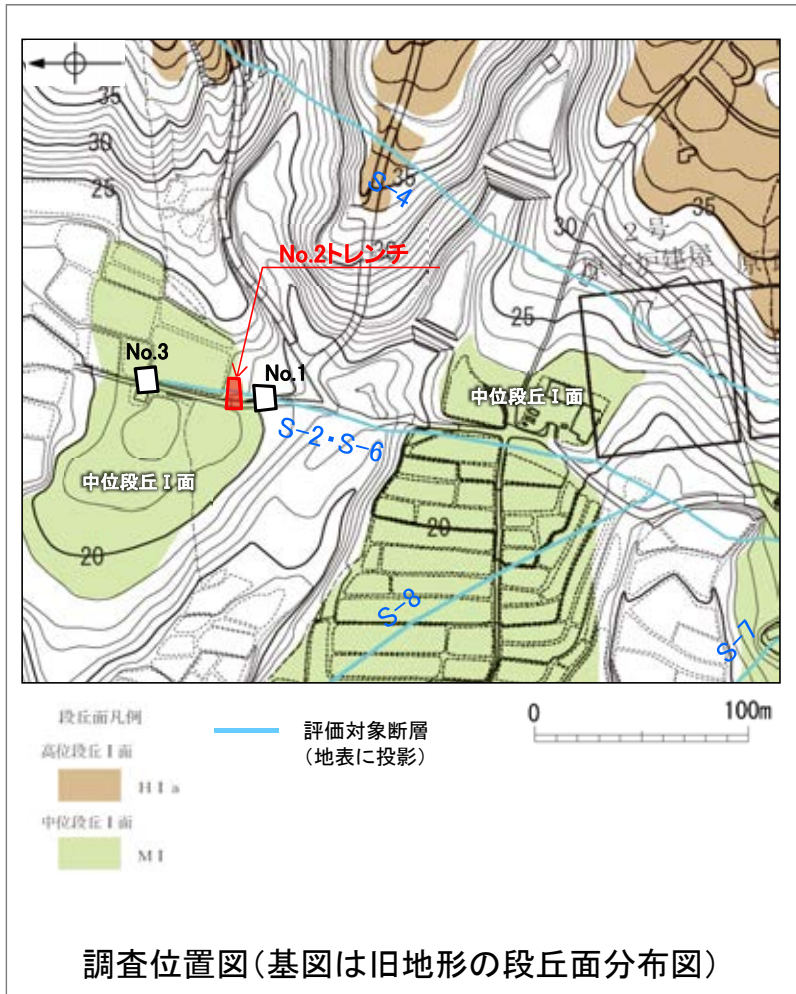
- 有識者会合は、S-2・S-6の地下延長部の断層が活動し、海側(西側)隆起の変形を及ぼした場合に、S-2・S-6下盤側直近(S-1の北西部)でS-1の動きを促進する局所的な応力変化が生じている。また、その場合、S-2・S-6及び上盤側の岩盤中のせん断面(S-7, S-8)にも、薄片観察(微視的観察)により微小な変位が認められると考えられる。
- S-2・S-6及び下盤側直近のS-1北西部、上盤側のS-7, S-8を対象に、鉱物脈法による評価を実施した結果、S-2・S-6及び下盤側直近のS-1北西部、上盤側のS-7, S-8の最新面を横断する粘土鉱物(I/S混合層)に、変位・変形は認められない。

【現在の当社評価】

- 以上のことを踏まえると、S-2・S-6の最新活動は、M I 段丘堆積物の堆積以前であり、S-2・S-6の地下延長部の断層が後期更新世以降に活動し、地表付近に変形を及ぼしたことはない。

【No.2トレンチ 観察結果】

- S-2・S-6の活動性評価を行うため、中位段丘I面を判読した位置において、トレンチ調査(No.2トレンチ)を実施した。
- No.2トレンチにおいて、幅5~40cmの固結した破碎部及び幅フィルム状~2mmの粘土状破碎部からなるS-2・S-6を確認。
- 岩盤の安山岩(均質)及び安山岩(角礫質)の上位には、下位からM I 段丘堆積物、赤褐色土壌が分布する。
- S-2・S-6は岩盤直上のM I 段丘堆積物に変位・変形を与えていない。



No.2トレンチスケッチ(展開図)

5.5.1 S-2・S-6 (1) No.2トレンチ -S-2・S-6と上載地層との関係-

○上載地層との関係を詳細に観察した結果, S-2・S-6は岩盤直上のM I 段丘堆積物に変位・変形を与えていない(次頁, 次々頁)。

赤褐色土壌

- ・色調5YR4/8及び7.5YR5/6, ごく一部でトラ斑が認められる。
- ・シルト質粘土からなる。よく締まっており, 中程度の垂角塊状土壌構造が認められる。

M I 段丘堆積物

- ・砂礫層からなり, 色調は7.5YR5/8~10YR5/8で, 基質はシルト質中~粗粒砂であり, 径5~20cmの安山岩垂円~垂角礫を25~50%含む。また, 最大80cmの礫がわずかに混じる。上部20~40cm間では, 比較的小さな径(2~8cm程度)の礫を40~60%含む。径5cm以下の礫はくさり礫化が進む。
- ・よく締まっており, 強い指圧でわずかに跡が残る。一部で白色細粒物(ギブサイト)が認められる。
- ・径数mm~10cm以下の礫等からなる層理が複数認められる。

S-2・S-6

- ・西側の安山岩(均質)と東側の安山岩(角礫質)の境界に位置する。
- ・走向・傾斜N25° W/68° SW(走向は真北基準)で, 幅5~40cmの固結した破砕部及び幅フィルム状~2mmの明褐色~明褐色を呈する粘土状破砕部からなる。
- ・S-2・S-6は岩盤直上のM I 段丘堆積物に変位・変形を与えていない。

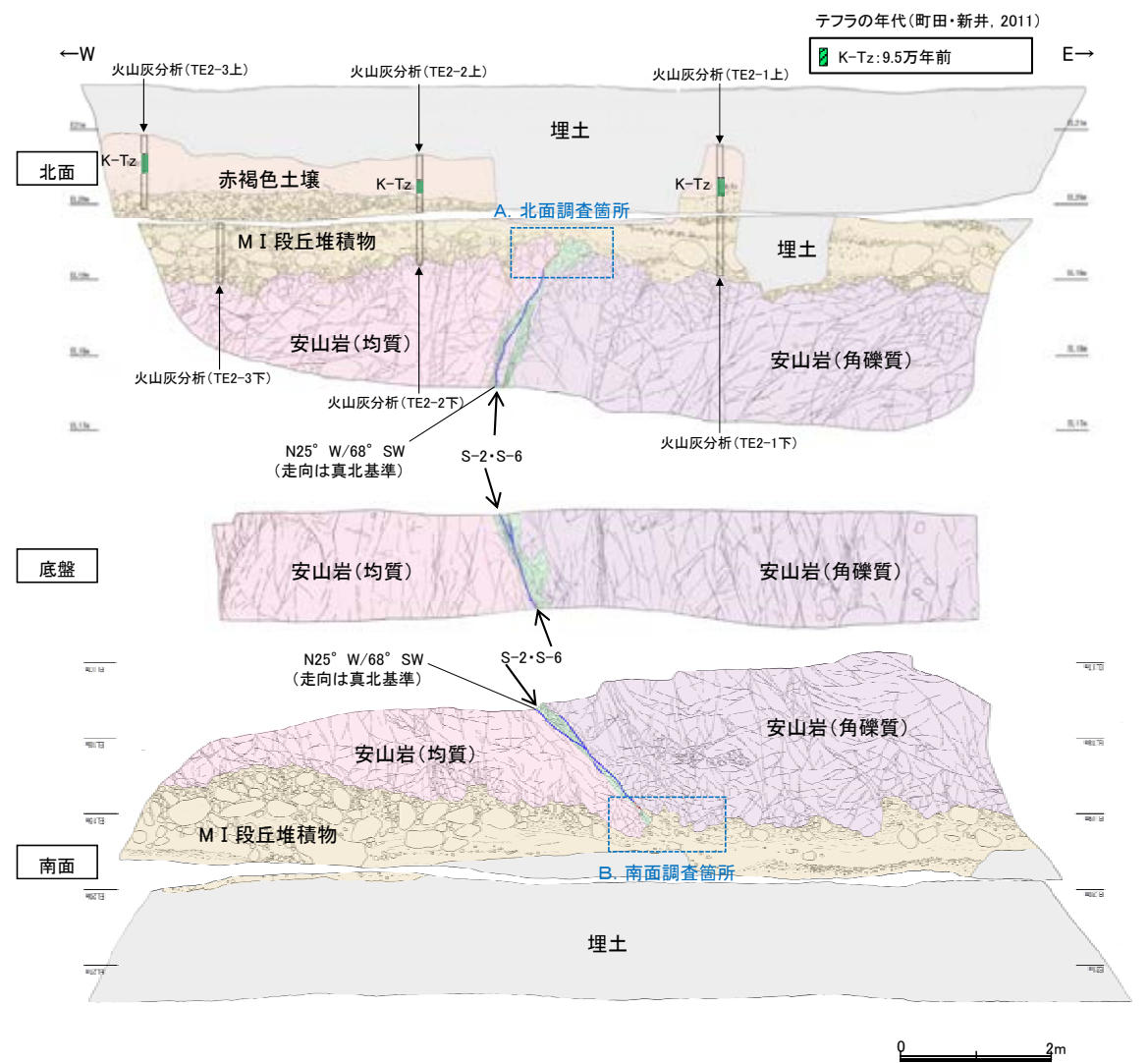
【火山灰分析結果】

- ・赤褐色土壌中から, K-Tz(9.5万年前)が認められる。

・岩盤と堆積物の境界に関する調査結果については**補足資料5.5-1(1)-1**

・S-2・S-6周辺の割れ目に関する調査結果については**補足資料5.5-1(1)-2**

- 凡例
- 埋土
 - 赤褐色土壌
 - M I 段丘堆積物
 - 安山岩(均質)
 - 安山岩(角礫質)
 - 固結した破砕部
 - 主せん断面(粘土状破砕部を伴う)
 - 不明瞭な主せん断面(粘土状破砕部を伴わない)



No.2トレンチスケッチ(展開図)

S-2・S-6 No.2トレンチ

【北面拡大写真】



A.北面調査箇所

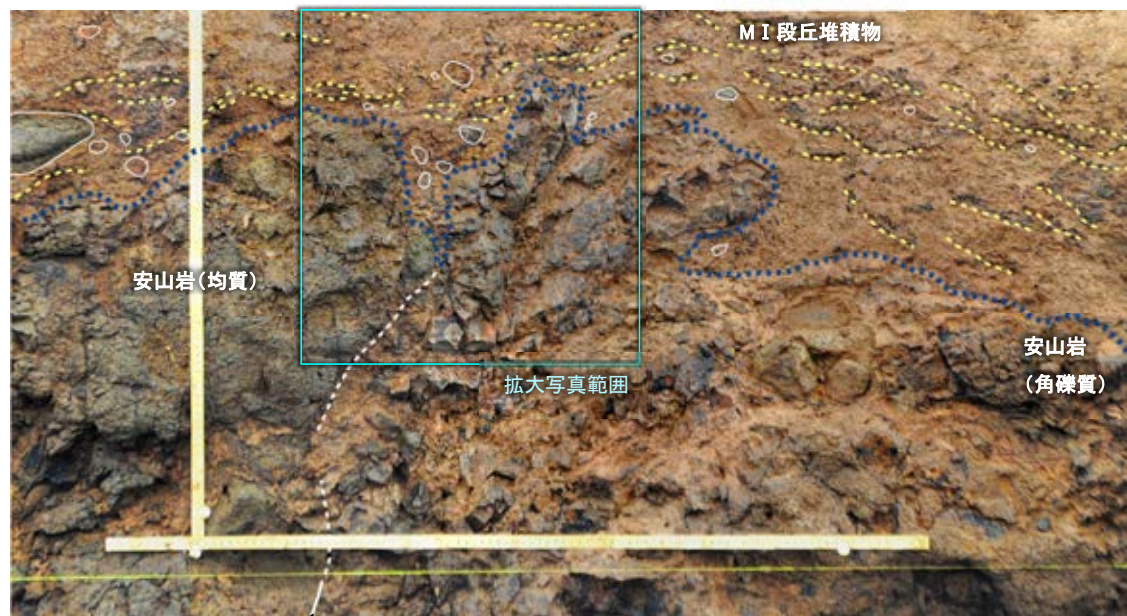


S-2・S-6

0 10cm

S-2・S-6上部付近拡大写真

- 礫
- 堆積構造
- 岩盤上面
- 主せん断面
- 不明瞭な主せん断面



S-2・S-6

A.北面調査箇所(礫, 構造等を加筆)

0 20cm

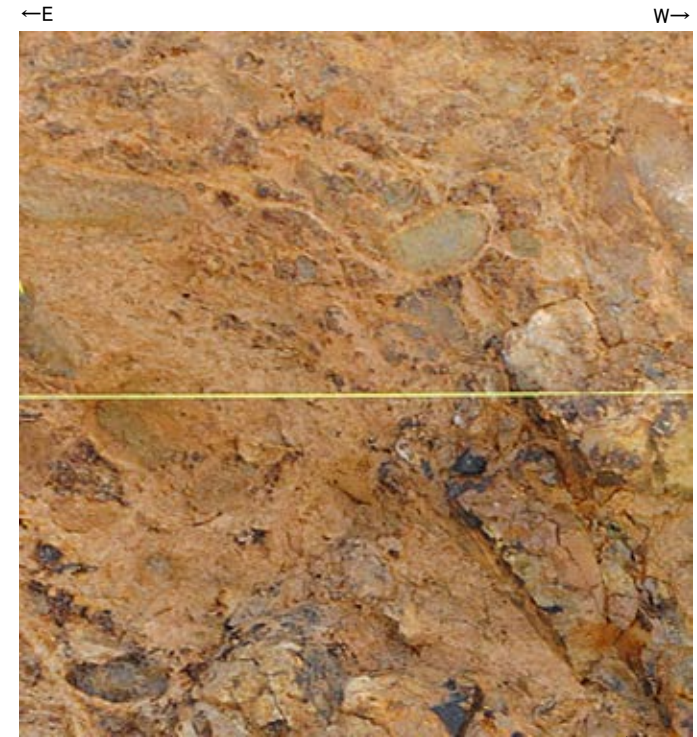
- ・S-2・S-6付近の岩盤上面(図中青点線)の凹部には, M I 段丘堆積物が入り込むように堆積している。
- ・凹部を挟んで両側のM I 段丘堆積物の基底は, ほぼ同じ高さである。
- ・S-2・S-6直上のM I 段丘堆積物中には, せん断面は認められない。
- ・S-2・S-6上方のM I 段丘堆積物中には, 堆積構造(図中黄点線)が認められ, この堆積構造に乱れは認められない。

S-2・S-6 No.2トレンチ

【南面拡大写真】



B. 南面調査箇所

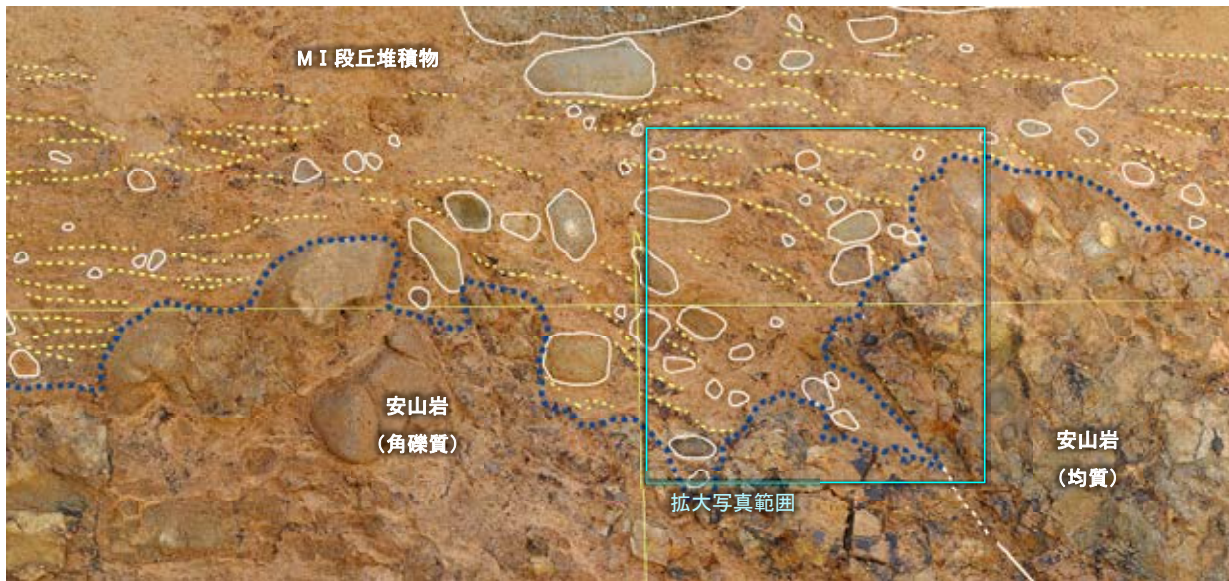


0 10cm

S-2・S-6

S-2・S-6上部付近拡大写真

- 礫
- 堆積構造
- 岩盤上面
- 主せん断面
- 不明瞭な主せん断面



0 20cm

S-2・S-6

拡大写真範囲

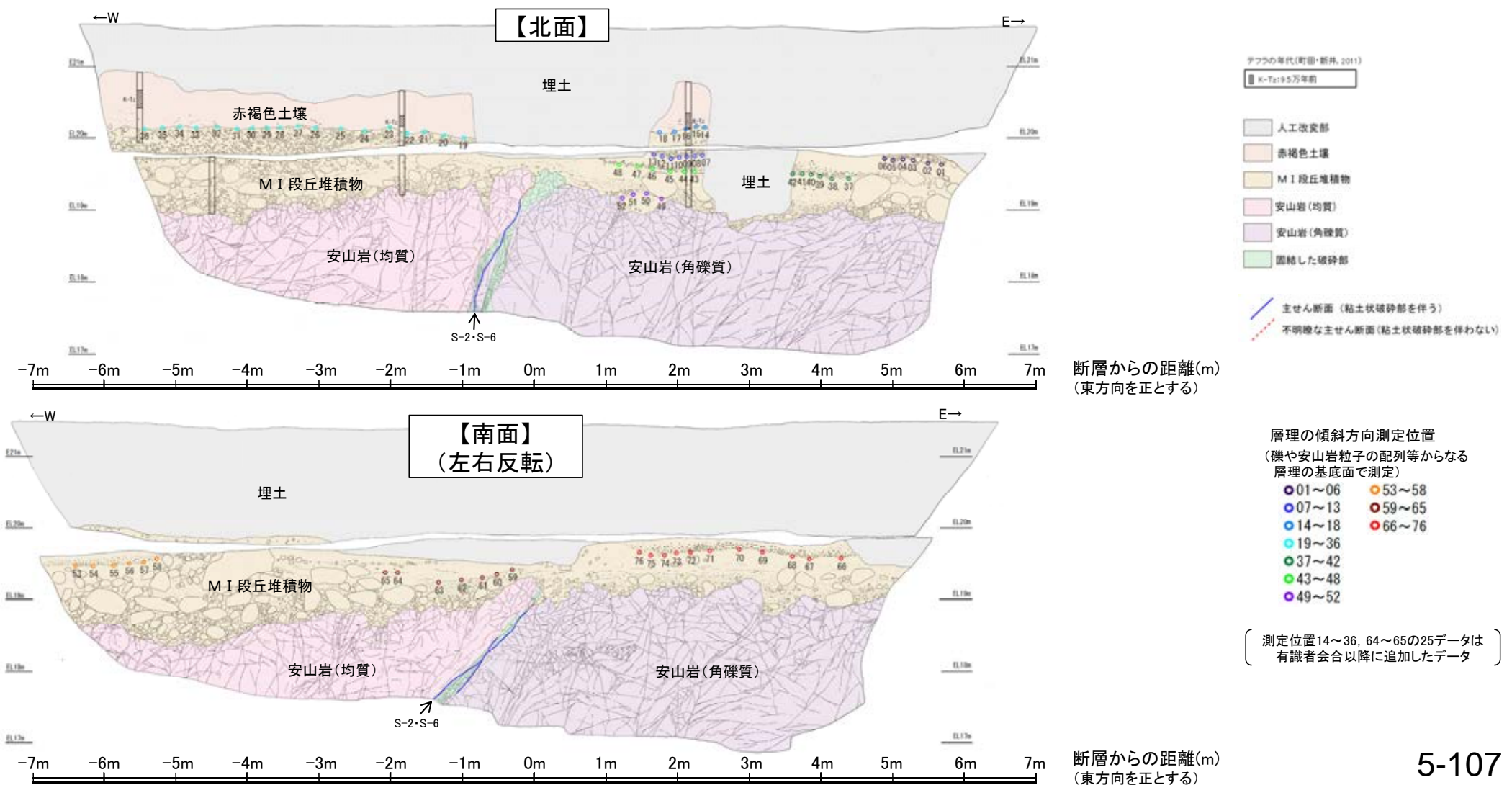
- ・ S-2・S-6付近の岩盤上面(図中青点線)の凹部には, MI 段丘堆積物が入り込むように堆積している。
- ・ 凹部を挟んで両側のMI 段丘堆積物の基底は, ほぼ同じ高さである。
- ・ S-2・S-6直上のMI 段丘堆積物中には, せん断面は認められない。
- ・ S-2・S-6上方のMI 段丘堆積物中の凹部には, 西側の岩盤面に対してアバットする堆積構造(図中黄点線)が認められ, この堆積構造に乱れは認められない。

B. 南面調査箇所(礫, 構造等を加筆)

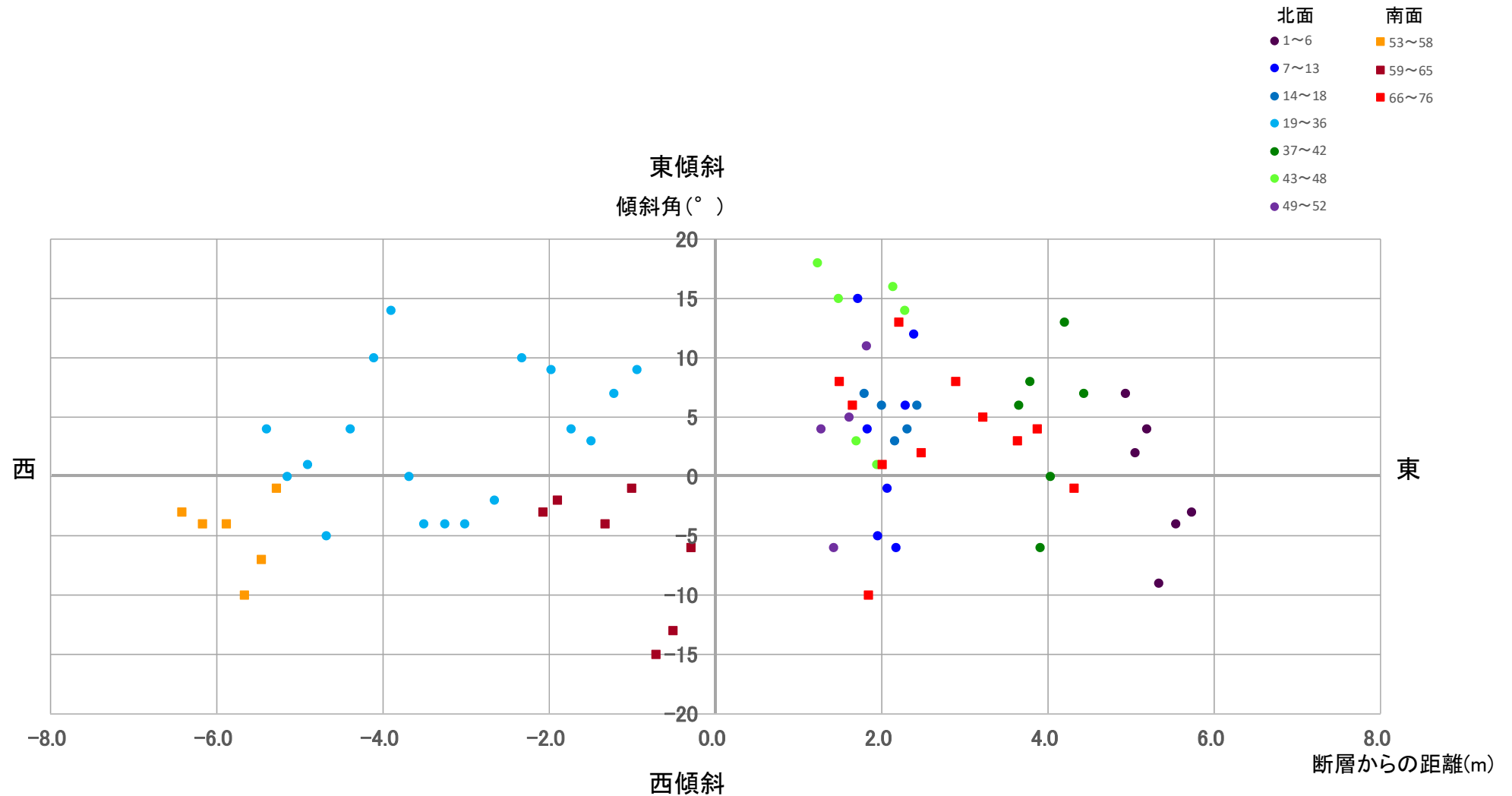
5.5.1 S-2・S-6 (1) No.2トレンチ 一層理の傾斜等のデータ分析

- 有識者会合は、No.2トレンチのM I 段丘堆積物が山側(東側)に傾斜すると評価している。
- M I 段丘堆積物の山側(東側)への傾斜の有無についてより定量的に分析するために、トレンチ両面のM I 段丘堆積物中に認められる層理について、有識者会合以降に測定データを25データ追加し、層理の傾斜と断層との関係を確認することにより、S-2・S-6の断層活動による影響について検討を行った。
- その結果、層理の傾斜角は、北面・南面のそれぞれにおいて、断層からの距離に関係なくばらつきが認められる。また、断層の直近で急傾斜となる傾向や、断層から離れるにしたがって緩傾斜となるような傾向は認められない(次頁)。
- 層理の一部(測定位置37~48)では東傾斜の傾向が認められるものの、トレンチ全体の層理の傾斜方向を三次元的にみると、北面、南面とも全体的に南傾斜が卓越しており、系統的に東西のどちらか一方に傾斜する傾向は認められない。トレンチ周辺の岩盤上面高度は南側に行くにしたがって低くなることから、この層理の南傾斜はM I 段丘堆積物の堆積時の岩盤上面の傾斜を反映したものであると考えられる(次々頁)。
- No.2トレンチ南北両面において、M I 段丘堆積物中の礫等の長軸が一様に山側(東側)に傾斜する傾向は認められない(補足資料5.5-1(1)-4)。

○以上のことから、No.2トレンチのM I 段丘堆積物に、S-2・S-6の断層活動による変形を示唆する傾向は認められない。

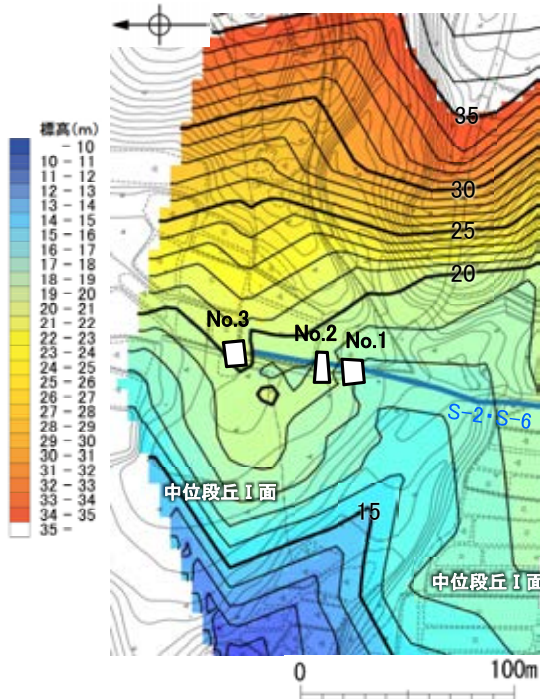


【層理の傾斜角と断層からの距離の関係】



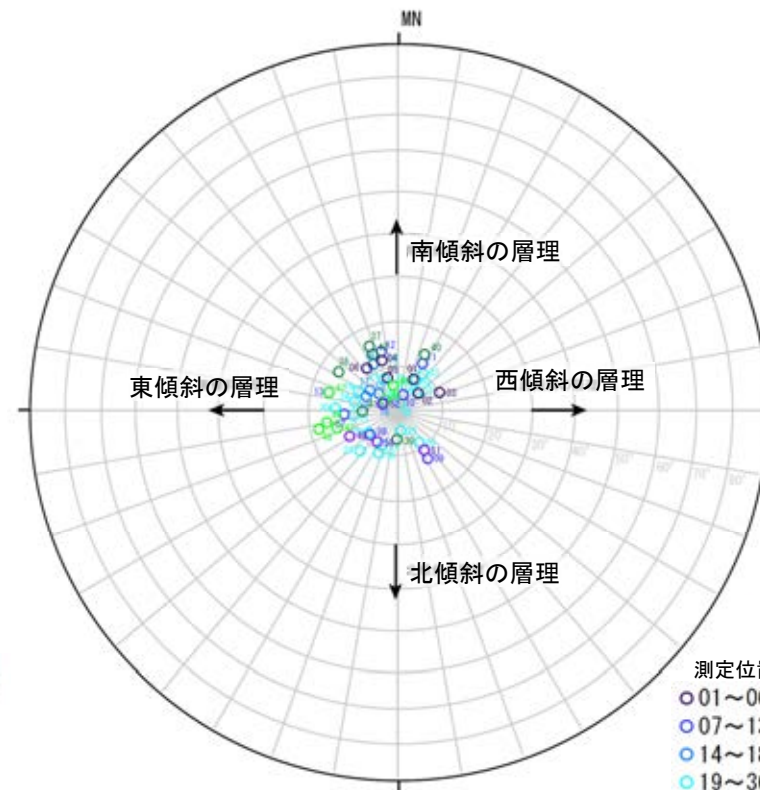
・層理の傾斜角は、北面・南面のそれぞれにおいて、断層からの距離に関係なくばらつきが認められる。
 ・また、断層の直近で急傾斜となる傾向や、断層から離れるにしたがって緩傾斜となるような傾向は認められない。

【層理の傾斜方向(北面・南面)】



・トレンチ周辺の岩盤上面高度は、南側にいくにしたがって低くなる。

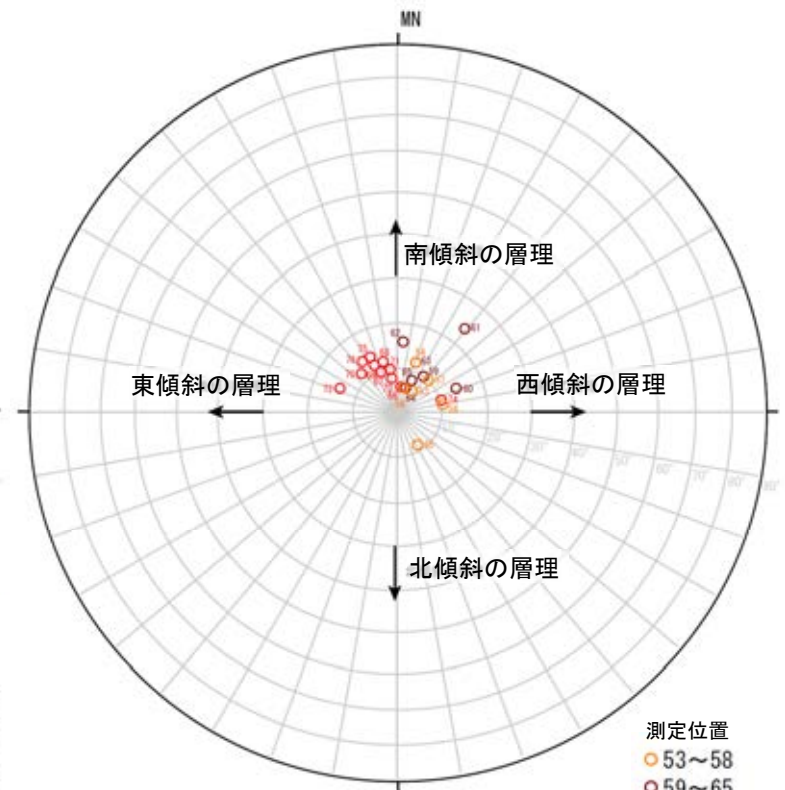
トレンチ周辺の
岩盤上面標高段彩図



シュミットネット 下半球投影
(北面 層理の走向・傾斜を基に作成)

測定位置
○01～06
○07～13
○14～18
○19～36
○37～42
○43～48
○49～52

測定位置14～36は
有識者会合以降に
追加したデータ



シュミットネット 下半球投影
(南面 層理の走向・傾斜を基に作成)

測定位置
○53～58
○59～65
○66～76

測定位置64～65は
有識者会合以降に
追加したデータ

- ・層理の一部(測定位置37～48)では東傾斜の傾向が認められるものの、トレンチ全体の層理の傾斜方向を三次元的にみると、北面、南面とも全体的に南傾斜が卓越しており、系統的に東西のどちらか一方に傾斜する傾向は認められない。
- ・岩盤上面標高段彩図(左図)によれば、トレンチ周辺の岩盤上面高度は南側にいくにしたがって低くなることから、この層理の南傾斜はM I 段丘堆積物の堆積時の岩盤上面の傾斜を反映したものであると考えられる。

5.5.2 鉍物脈法による活動性評価(S-2・S-6)

5.5.2 鉱物脈法による活動性評価(S-2・S-6) ー評価地点ー

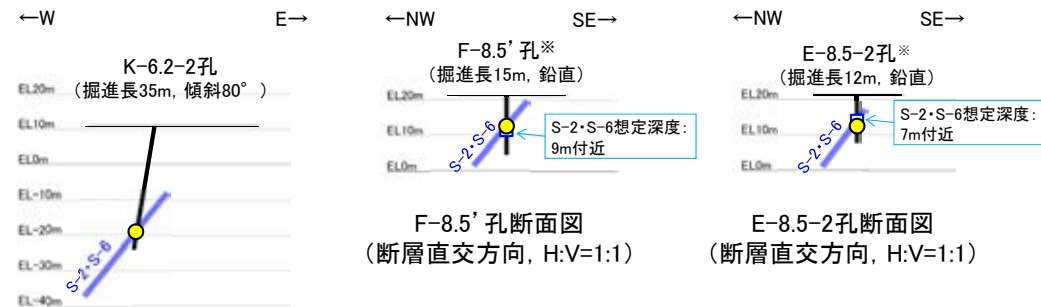
■ 鉱物脈法による評価地点

- 2地点(F-8.5' 孔, K-6.2-2孔)において, S-2・S-6の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物であるI/S混合層が認められたことから, 断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。
- また, その他の調査地点(E-8.5-2孔, E-8.33' 孔)も用いて, 評価を行った。

評価地点			記載頁
孔名	薄片名	確認範囲	
F-8.5' 孔 (深度8.50m,EL12.63m)	薄片①	範囲A	P.5-112~5-121 補足資料5.5-2(1)-1
K-6.2-2孔 (深度30.94m,EL-19.45m)	薄片①	範囲A	P.5-122~5-125 補足資料5.5-2(1)-2
E-8.5-2孔 (深度8.55m,EL12.66m)	薄片①	範囲A	参考資料5.5-2(1)-1
		範囲B	
E-8.33' 孔 (SEM観察) (深度15.70m,EL7.59m)			参考資料5.5-2(2)

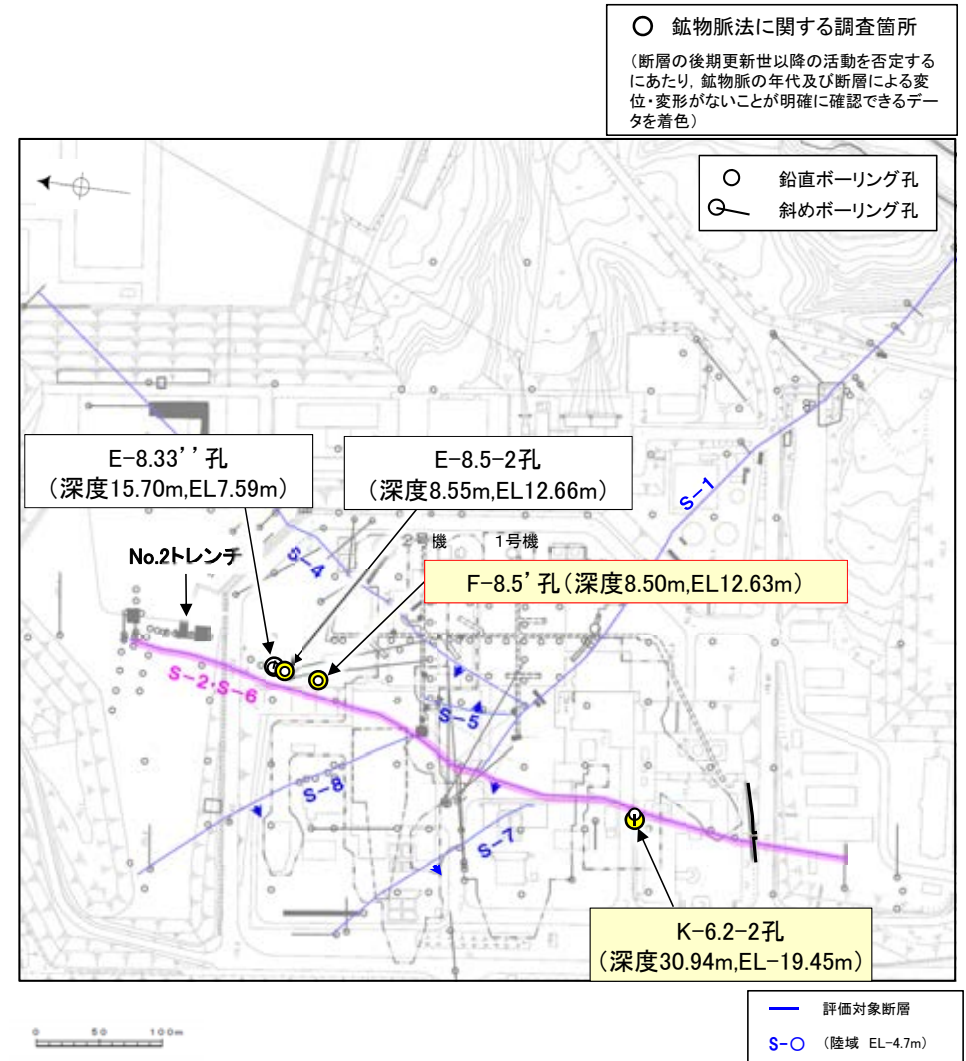
黄色網掛け :断層の後期更新世以降の活動を否定するにあたり, 鉱物脈の年代及び断層による変位・変形がないことが明確に確認できるデータ(主たる根拠)

黄色網掛け : 鉱物脈法による評価において, S-2・S-6の中で最新面と鉱物脈との切り合い関係が最も明確であると評価したデータ



K-6.2-2孔断面図
(掘進方向, H:V=1:1)

これらの図の断層線は, 周辺の露頭やボーリングでの出現位置を基に描いている。



位置図

- 凡例
- 評価地点
 - S-2・S-6想定位置

※ 鉱物脈法による評価のために実施したボーリング

K-6.2-2孔のボーリング柱状図, コア写真, BHTVは, データ集1, 2, 3
F-8.5' 孔, E-8.5-2孔, E-8.33' のS-2・S-6想定深度付近のコア写真は, 補足資料5.3-3(3)

5.5.2 S-2・S-6 (1) F-8.5' 孔 — 評価結果 —

【最新面の認定】

○F-8.5' 孔の深度8.50m付近で認められるS-2・S-6において、巨視的観察及び微視的観察を実施し、最新ゾーンの下盤側の境界に最新面を認定した(P.5-113～5-116)。

【鉱物の同定】

○微視的観察により確認した粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断した(P.5-117, 5-118)。

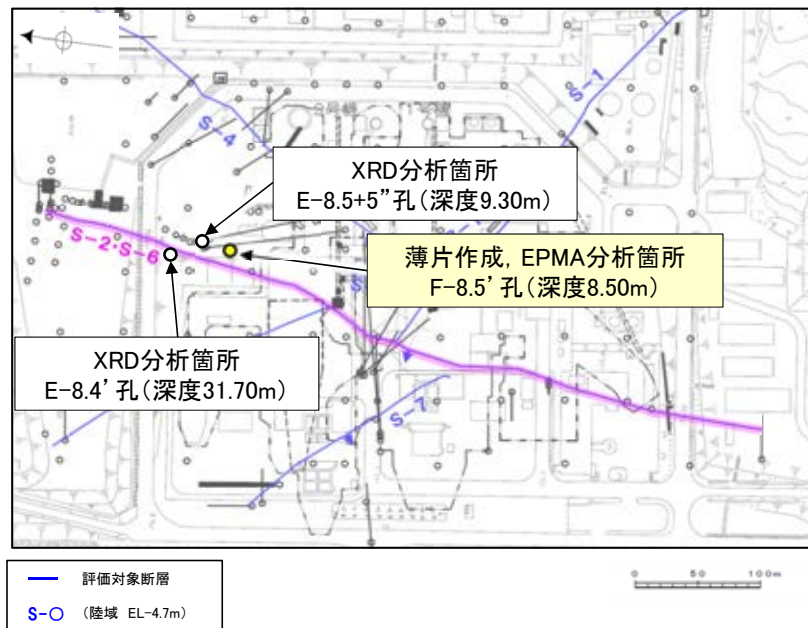
【変質鉱物の分布と最新面との関係】

○EPMA分析(マッピング)や薄片観察により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーン及びその周辺に分布している(P.5-119, 補足資料5.5-2(1)-1 P.5.5-2-4)。

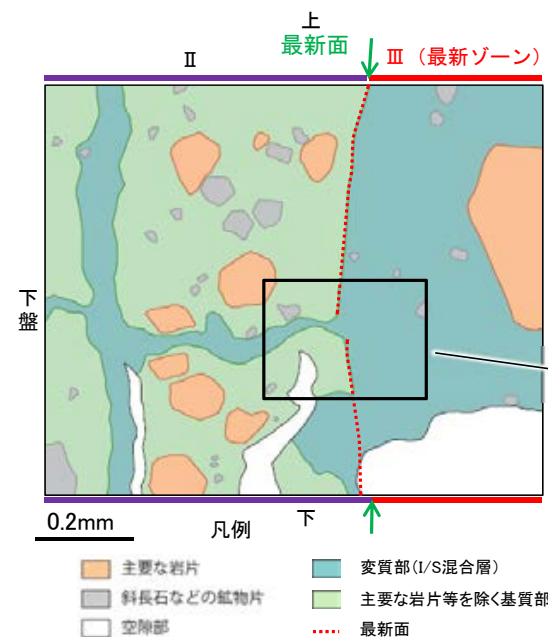
○薄片①の範囲Aにおいて、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を横断して分布し、最新面が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。また、この不連続箇所において、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を遮るように高角度で分布し、この粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない(P.5-120, 5-121)。

○以上のことを踏まえると、S-2・S-6の最新活動は、I/S混合層の生成以前である。

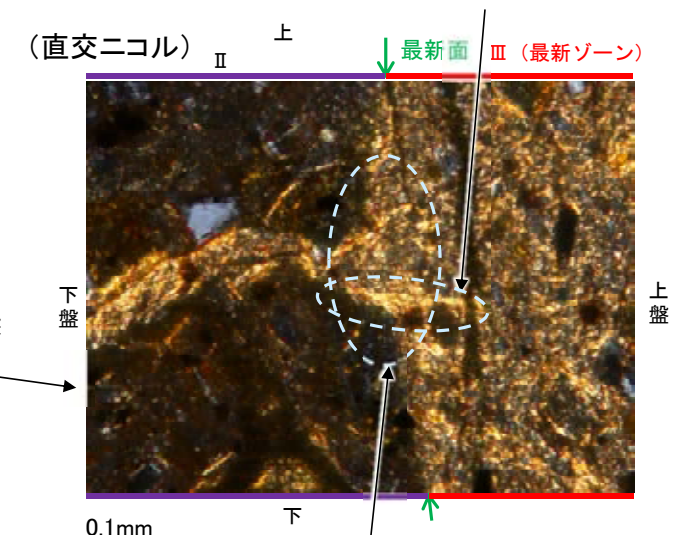
紫字: 第1073回審査会合以降の変更箇所



調査位置図



薄片①範囲Aスケッチ



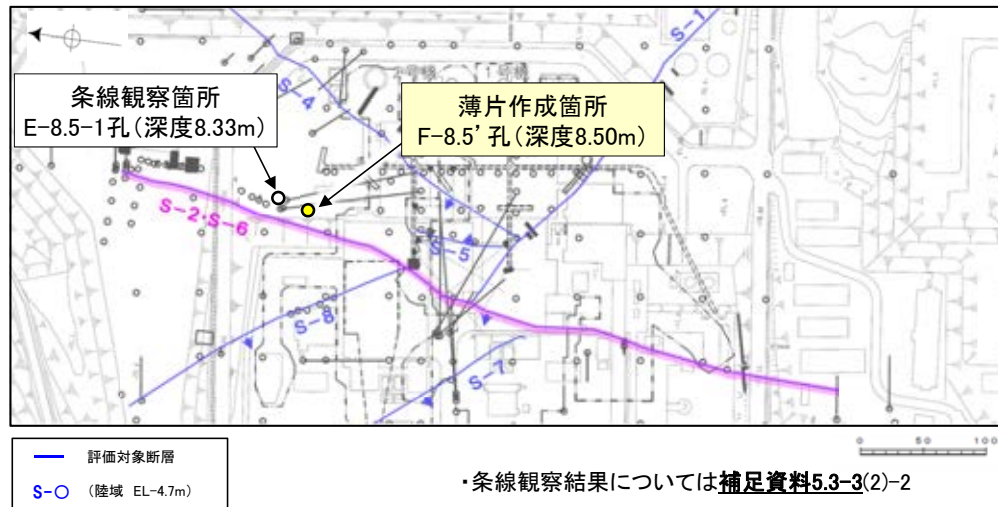
・粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を遮るように高角度で分布し、この粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない(P.5-120, 5-121)。

・不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形(せん断面や引きずりなど)は認められない(P.5-120, 5-121)。
・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない(P.5-120, 5-121)。

詳細観察範囲写真

5.5.2 S-2・S-6 (1) F-8.5' 孔 —最新面の認定(巨視的観察)—

- F-8.5' 孔の深度8.50m付近で認められるS-2・S-6において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。
- 隣接孔(E-8.5-1孔)の主せん断面における条線観察の結果、140° Rの条線方向が確認されたことから、F-8.5' 孔において、140° Rで薄片を作成した(ブロック写真)。



調査位置図

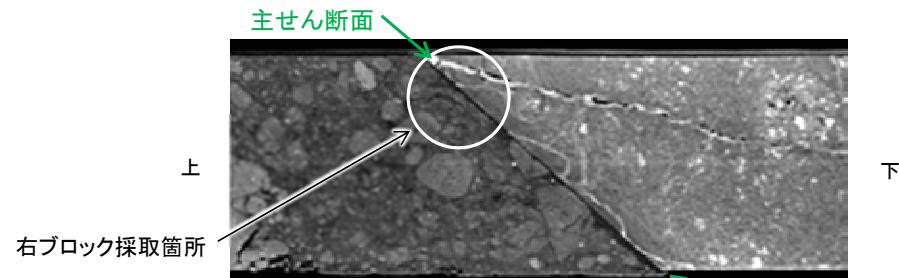
(深度) 8.40 8.50 8.60 (m)

走向傾斜: N5° E/51° NW

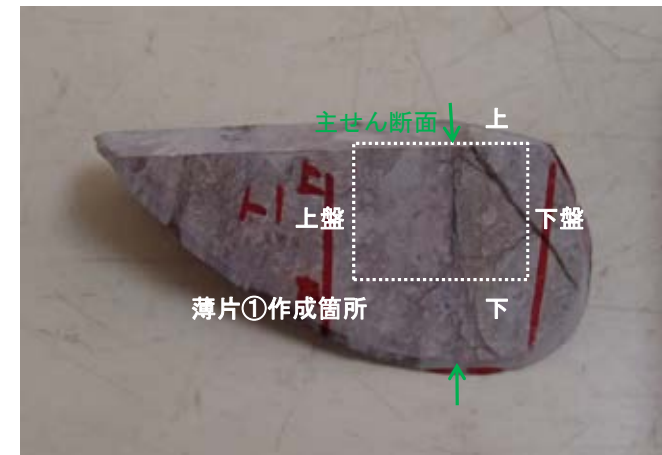
- 粘土状破砕部
- 角礫状破砕部



ボーリングコア写真(F-8.5' 孔)



CT画像(F-8.5' 孔)



1cm

ブロック写真

5.5.2 S-2・S-6 (1) F-8.5' 孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

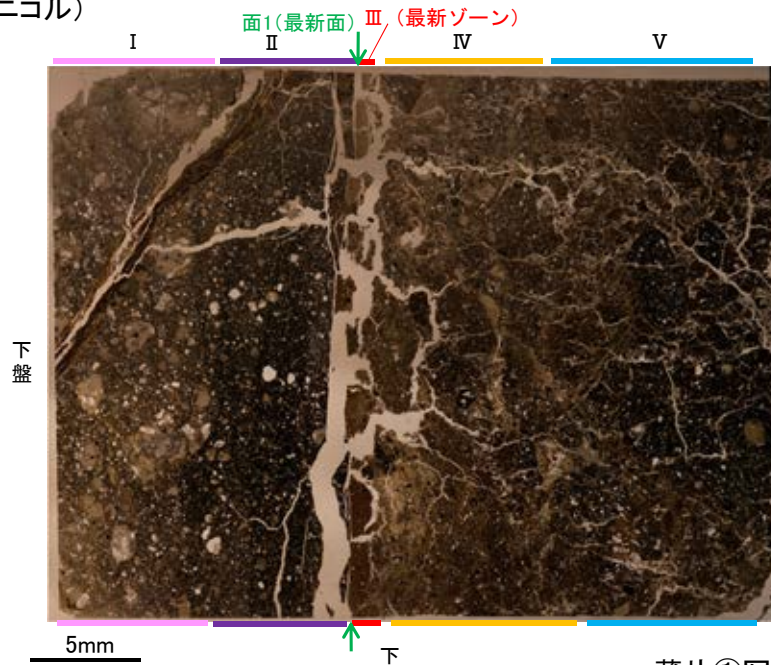
- 微視的観察(薄片観察)の結果、色調や礫径などから、下盤側よりⅠ～Ⅴに分帯した。
- そのうち、最も細粒化している分帯Ⅲを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯Ⅱとの境界に、面Ⅰが認められる。面Ⅰは薄片上部では一部不連続になるが、薄片中央～下部では直線性・連続性がよく、全体として最新ゾーンの中では比較的直線性・連続性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯Ⅳとの境界は、不明瞭で漸移的であり、せん断面は認められない*。
- 最新ゾーン中に認められるY面は面Ⅰのみであることから、面Ⅰを最新面と認定し、変質鉱物との関係を確認する。

※最新ゾーンと分帯Ⅳとの境界についての詳細は次々頁

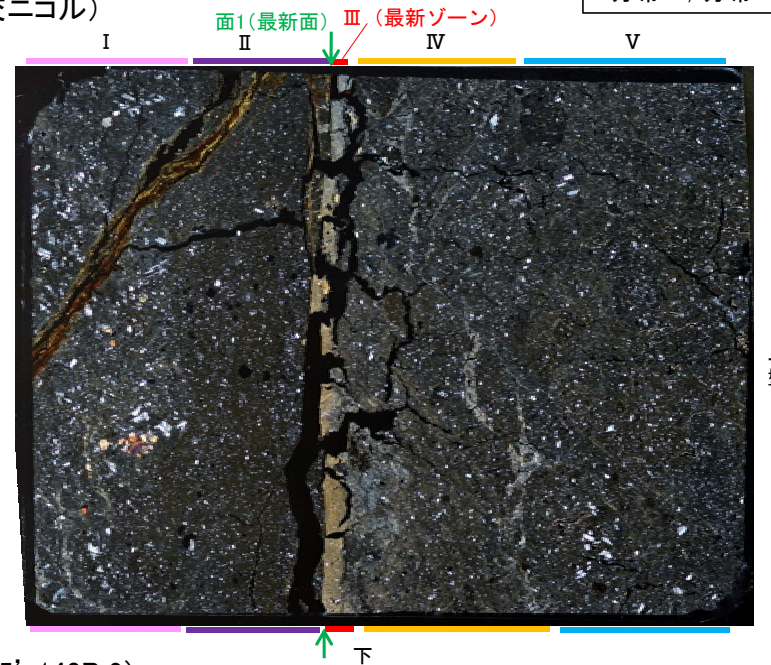
【解釈線なし】

分帯とコア観察における破碎区分との対応
 ・分帯Ⅲ(最新ゾーン)・・・粘土状破碎部
 ・分帯Ⅳ, 分帯Ⅴ・・・角礫状破碎部

(単ニコル)



(直交ニコル)

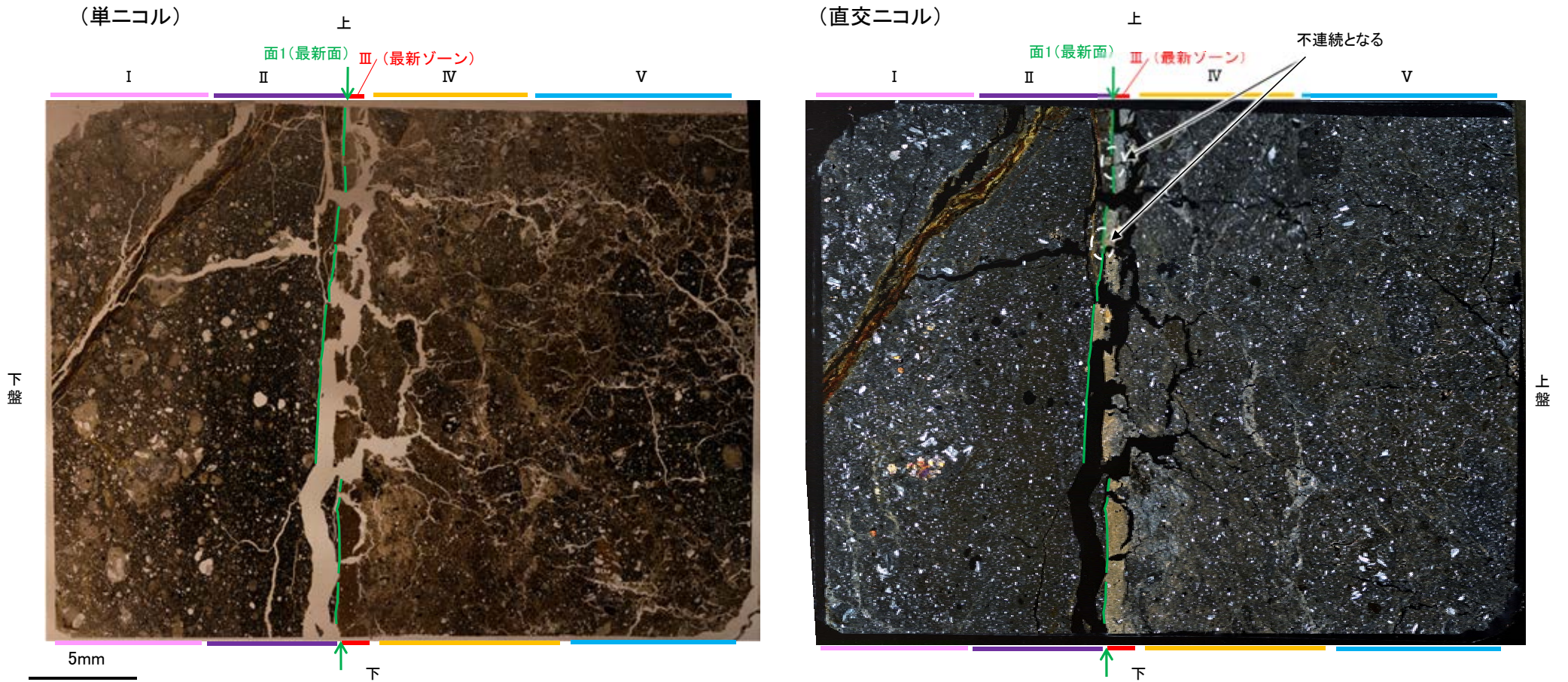


薄片①写真(F-8.5'_140R_2)

- Ⅰ: 単ニコルで褐灰～灰色、直交ニコルで灰色の干渉色を呈する火山礫凝灰岩からなる。径5mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片、鉱物片は垂角～垂円形である。基質中や割れ目、岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。
- Ⅱ: 単ニコルで褐灰～暗灰色、直交ニコルで灰色の干渉色を呈する細粒凝灰岩からなる。径1mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片は垂角～垂円形、鉱物片は角～垂円形である。割れ目や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。
- Ⅲ(最新ゾーン): 単ニコルで褐灰色、直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する、粘土鉱物を含む細粒物からなる。径0.3mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片、鉱物片は垂角～垂円形である。基質中に粘土鉱物が生成している。
- Ⅳ: 単ニコルで褐灰～灰色、直交ニコルで褐灰～灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片は垂角～垂円形、鉱物片は角～垂角形である。基質中や割れ目、岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。
- Ⅴ: 単ニコルで褐灰～暗灰色、直交ニコルで褐灰～灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径5mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片、鉱物片は角～垂角形である。基質中や割れ目、岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。

S-2・S-6_F-8.5' 孔

【解釈線あり】



薄片①写真(F-8.5'_140R_2)

- ・最新ゾーンと分帯Ⅱとの境界に、面1が認められる。面1は薄片上部では一部不連続になるが、薄片中央～下部では直線性・連続性がよく、全体として最新ゾーンの中では比較的直線性・連続性がよい面である。
- ・最新ゾーンと分帯Ⅳとの境界は、不明瞭で漸移的であり、せん断面は認められない。