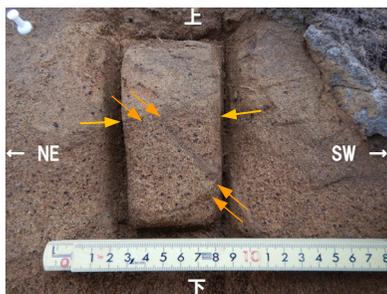


#### ③-2 小断層上端付近の既往評価の整理-ブロック試料(2/2)-



開削調査箇所(南側)南側壁面  
小断層上端付近 拡大写真



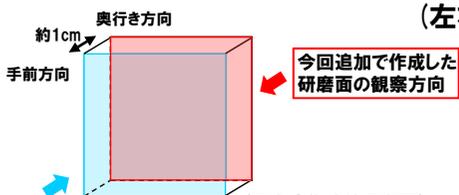
ブロック試料 採取時状況写真



傾斜方向研磨片  
(左右反転, 解釈線なし)



傾斜方向研磨片拡大写真(左右反転, 解釈線なし)



R2.4.16審査会合にて提示した  
研磨面の観察方向(P259参照)

### 3.2 小断層の影響範囲に関する検討(開削調査箇所(南側))

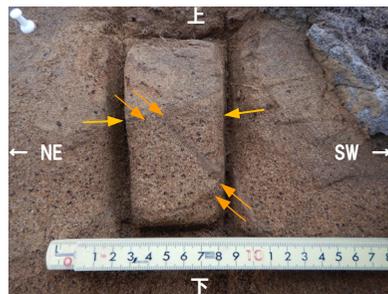
(参考) 小断層上端付近の詳細観察(南側壁面) -ブロック試料(1/2) -

一部修正 (R2/4/16審査会合)

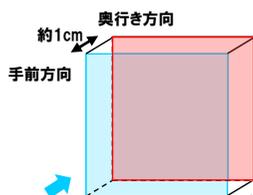
R2.4.16審査会合において提示した研磨面



開削調査箇所(南側)南側壁面  
小断層上端付近 拡大写真



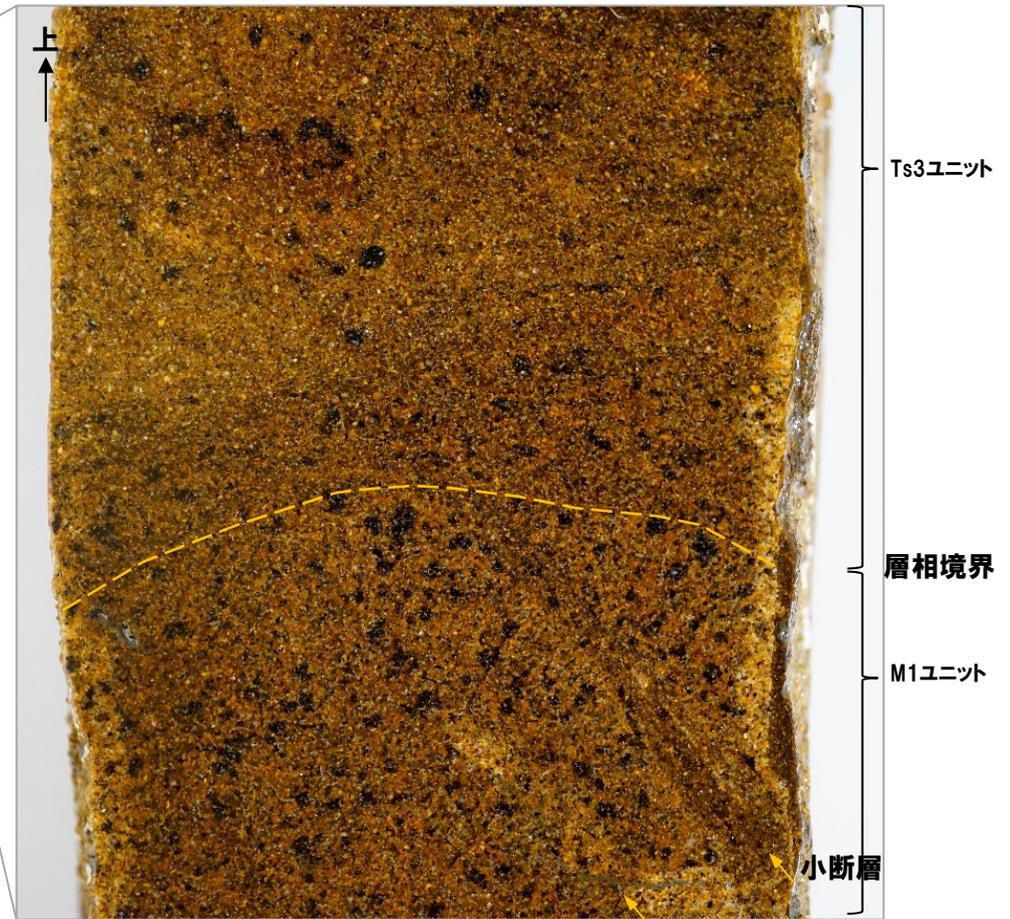
ブロック試料 採取時状況写真



R2.4.16審査会合にて提示した  
研磨面の観察方向



傾斜方向研磨片  
(解釈線あり) 5cm

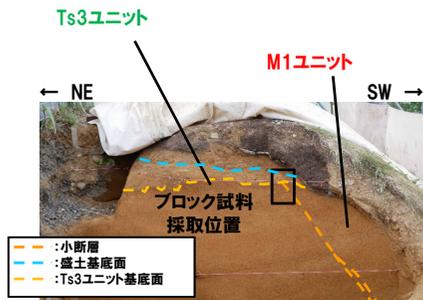


傾斜方向研磨片拡大写真  
(解釈線あり) 5cm

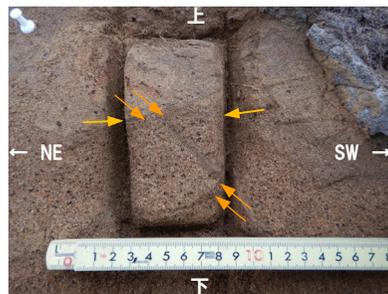
(参考) 小断層上端付近の詳細観察(南側壁面) - ブロック試料 (2/2) -

一部修正 (R2/4/16審査会合)

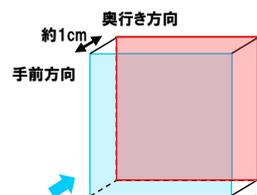
R2.4.16審査会合において提示した研磨面



開削調査箇所(南側)南側壁面  
小断層上端付近 拡大写真



ブロック試料 採取時状況写真



R2.4.16審査会合にて提示した  
研磨面の観察方向



傾斜方向研磨片 5cm  
(解釈線なし)



傾斜方向研磨片拡大写真  
(解釈線なし)

5cm

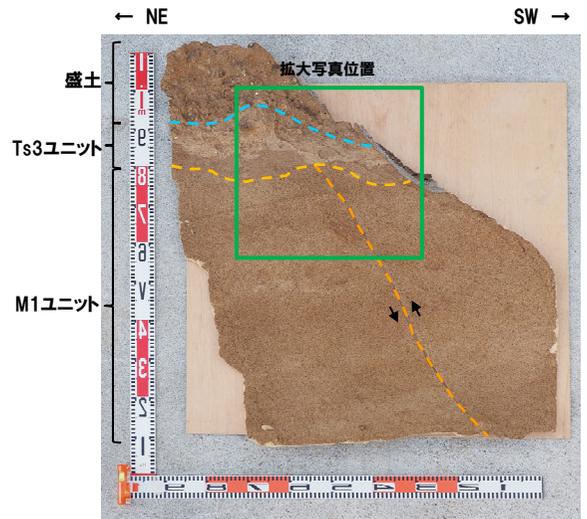
## ③-3 小断層上端付近の既往評価の整理-南側壁面はぎとり転写試料(1/4)-

一部修正(R2/4/16審査会合)

(南側壁面はぎとり転写試料※)

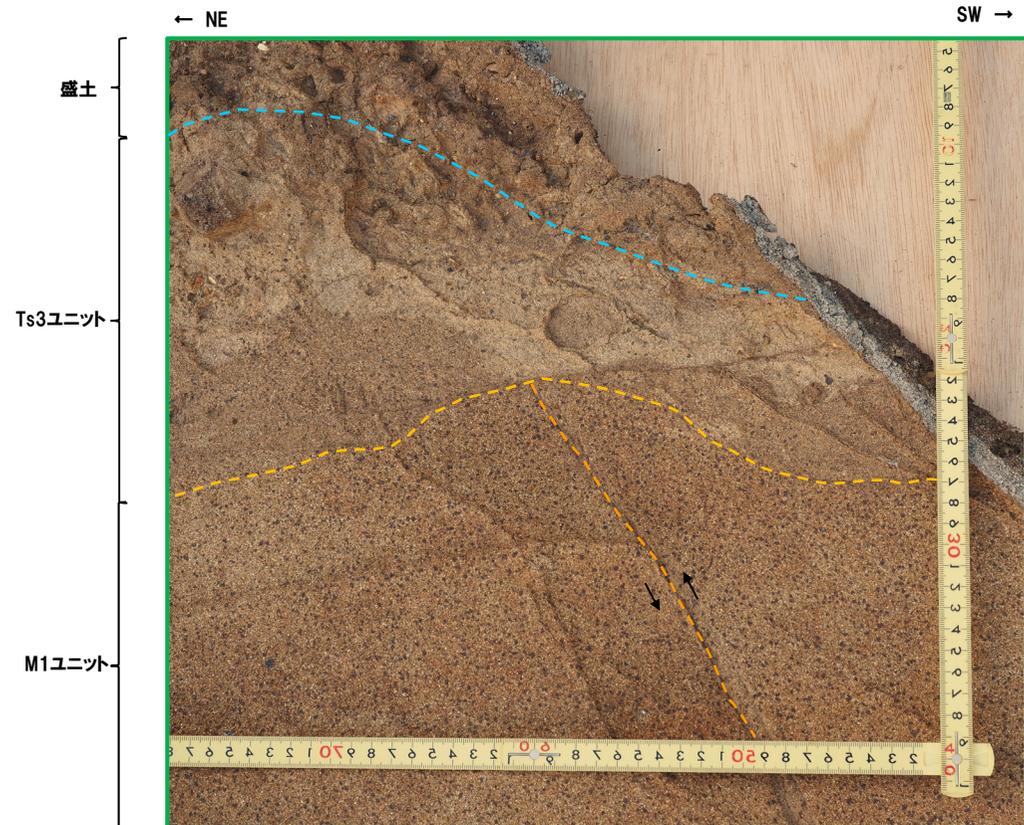
○本はぎとり転写試料において、小断層は以下の状況が確認されることから、Ts3ユニットに変位・変形を与えていないと判断される。

- ・小断層は、Ts3ユニットの基底面直下まで変位を与えている。
- ・Ts3ユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3ユニット中に、剪断面は認められない。

南側壁面はぎとり転写試料※ 写真(左右反転)  
(解釈線あり)

※R1.11.15現地調査において提示したもの。

- : 小断層
- : 盛土基底面
- : Ts3ユニット基底面



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線あり)

③-3 小断層上端付近の既往評価の整理-南側壁面はぎとり転写試料(2/4)-

一部修正(R2/4/16審査会合)



南側壁面はぎとり転写試料※ 写真(左右反転)  
(解釈線なし)

※R1.11.15現地調査において提示したもの。



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線なし)

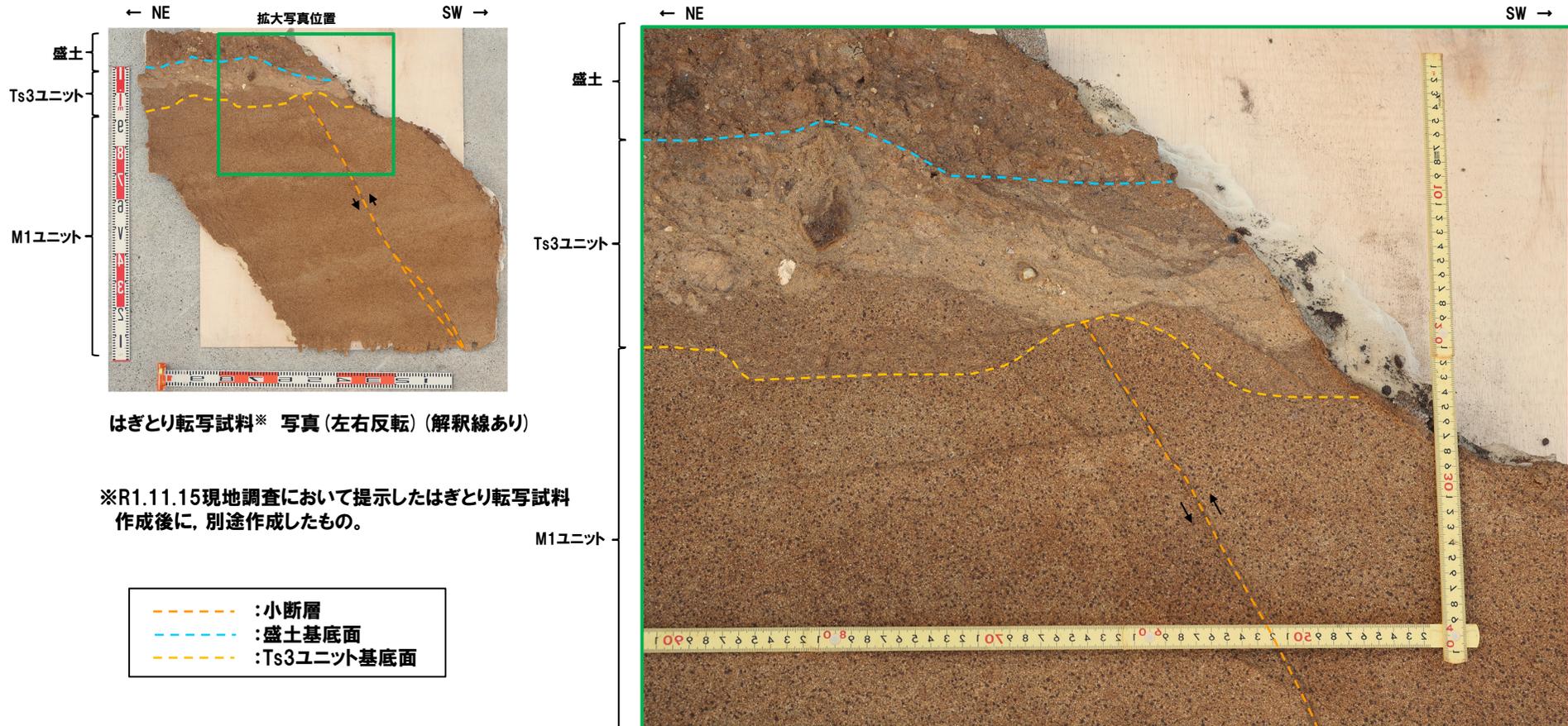
## ③-3 小断層上端付近の既往評価の整理-南側壁面はぎとり転写試料(3/4)-

一部修正(R2/4/16審査会合)

(南側壁面はぎとり転写試料※)

○本はぎとり転写試料において、小断層は以下の状況が確認されることから、Ts3ユニットに変位・変形を与えていないと判断される。

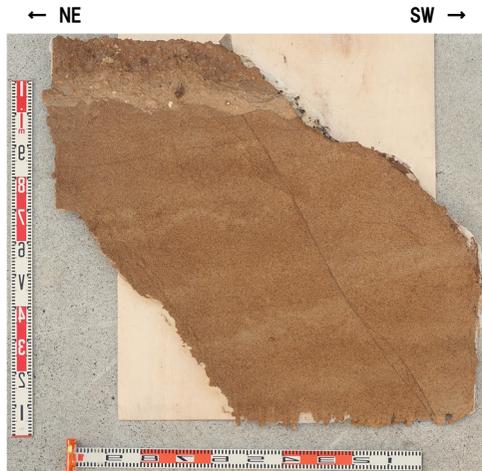
- ・小断層は、Ts3ユニットの基底面直下まで変位を与えている。
- ・Ts3ユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3ユニット中に、剪断面は認められない。



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線あり)

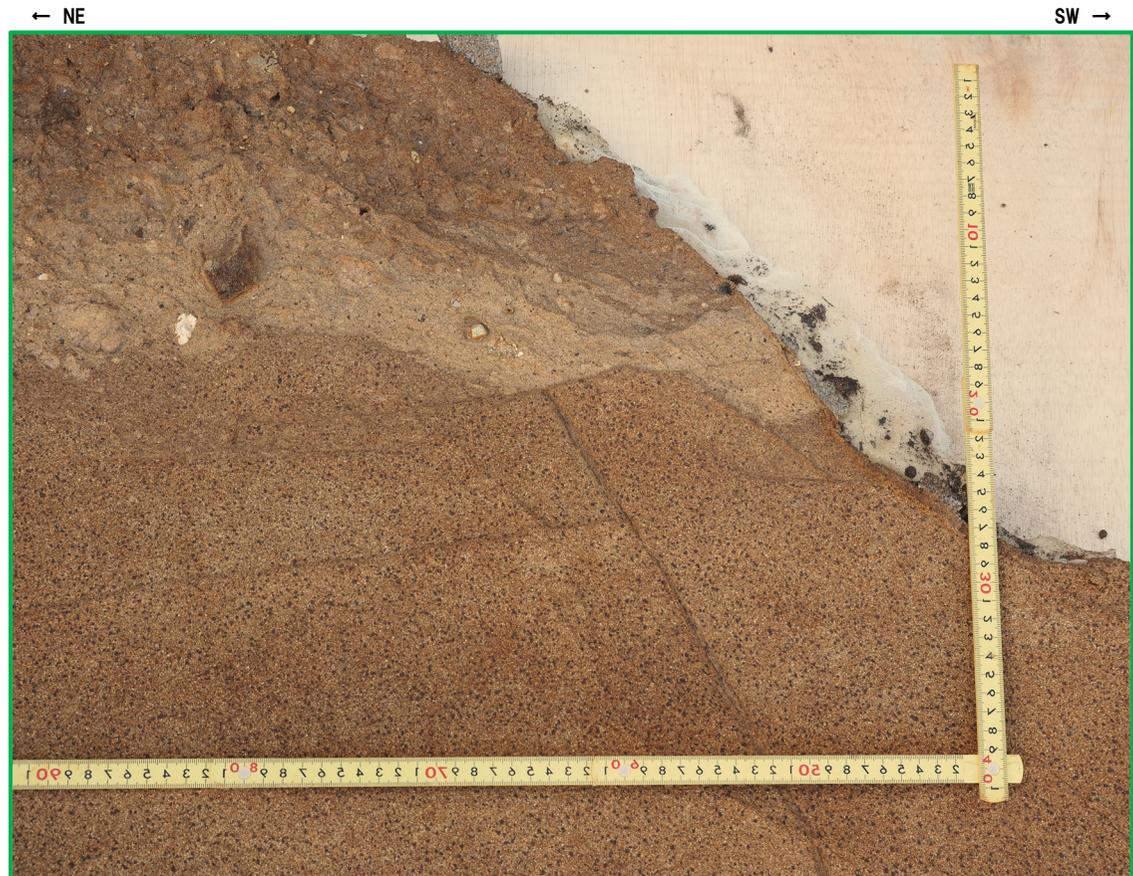
## ③-3 小断層上端付近の既往評価の整理-南側壁面はぎとり転写試料(4/4)-

一部修正(R2/4/16審査会合)



はぎとり転写試料※ 写真(左右反転)(解釈線なし)

※R1.11.15現地調査において提示したはぎとり転写試料  
作成後に、別途作成したもの。



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線なし)

余白

#### **4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価**

## 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

指摘No	指摘の趣旨	今回の検討方法	記載箇所	検討結果
No.1	○海成堆積物 (M1ユニット及びM3ユニット) のユニット区分の妥当性	・火山灰分析	2.1章	○屈折率測定及び主成分分析の結果, M1ユニット及びM3ユニットには明瞭な差異が認められないことから, 当社がこれらの海成堆積物を一連の海水準上昇に伴う堆積物と評価していることと調和的である。 ○M1ユニット及びM3ユニットのユニット境界付近における堆積環境の変化と, 斜方輝石の含有量の傾向の変化は調和的である。
No.2~No.8	○斜面堆積物 (Ts3ユニット) の妥当性 ・海成堆積物や盛土との性状比較 ・他の斜面堆積物との性状比較 ・Ts3ユニットの分布範囲	・露頭観察 ・はぎとり転写試料観察 ・薄片観察 ・礫種・礫の形状調査 ・火山灰分析 ・硬度測定	2.2章	○開削調査箇所 (南側) 南側壁面の背後法面の各堆積物及び盛土の層相確認を行い, その特徴を整理した。 ○各堆積物及び盛土の特徴に基づき, 詳細スケッチを作成した。 ○また, 地層区分の妥当性を確認するため, 各種観察・分析・測定を実施した。 ○各種観察・分析・測定の結果, 各地層区分は妥当であることを確認した。 ○南側壁面に認められるTs3ユニットについて, 南側壁面の背後法面からの連続性を確認した。
No.9	○小断層の上端付近に関するデータ拡充 (開削調査箇所 (北側))	・露頭観察 ・はぎとり転写試料観察	3章	○北側壁面及び南側壁面ともに奥行き方向に掘削を行い詳細観察を実施した結果, F-1断層に関連する小断層は, Tf2ユニットに変位・変形を与えていないと判断される。 ○加えて, 開削調査箇所 (南側) では, 海側壁面においてF-1断層に関連する小断層の走向方向の連続が新たに確認された。 ○このため, 当該箇所における詳細観察結果等も踏まえ, 改めて, F-1断層に関連する小断層は, Ts3ユニットに変位・変形を与えていないものと評価した。

## 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

指摘No	指摘の趣旨	今回の検討方法	記載箇所	検討結果
No.10	○地層区分ケース2におけるF-1断層の活動性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地層区分の検討</li> <li>・F-1断層の活動性評価</li> </ul>	4章	<ul style="list-style-type: none"> <li>○F-1断層開削調査箇所付近に分布する既往評価の岩内層の再区分について、改めて実施した。</li> <li>○改めて検討した地層区分(ケース1~3)に基づいた上載地層法により、F-1断層の活動性評価を実施した。</li> </ul>
No.11	○上載地層の周水河作用の影響の有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文献レビュー</li> <li>・露頭観察</li> <li>・はざとり転写試料観察</li> </ul>	5章	○開削調査箇所(北側)に認められる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)は、周水河作用の影響を受けていないと判断される。
No.12	○F-4断層に関する資料記載の充実	・既往データに基づく検討	6章	○第四紀層中の主な層相境界等をトレースした。
No.13	○F-11断層に関する資料記載の充実	・既往データに基づく検討		○F-11断層開削調査箇所付近に位置する調査箇所について、それぞれのスケッチ及び柱状図から代表柱状図を作成し、断面図を用いて整理した。
No.14	○斜面堆積物(Ts3ユニット)の呼称の変遷整理	・変遷理由の記載	7章	○Ts2ユニット及びTs3ユニットも含め、Ts3ユニットの呼称の変遷を整理した。
No.15	○斜面堆積物(Ts2ユニット及びTs1ユニット)の分布範囲に関する現地調査時からの変更理由の整理	・変更理由の記載		○Ts2ユニット及びTs1ユニットの分布範囲が変更及び追加となった箇所を図示した上で、その理由を示した。
No.16	○ボーリングコア写真とポアホールテレビ画像の深度対応関係の整理	・深度対応表の作成		○掘削長が比較的長く、計測深度に10cm以上の差異が認められるR1敷地-6~8ボーリングの深度対応表を作成した。

## 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

### ①-1 検討内容 (1/2)

【R2.4.16審査会合における指摘事項No.10】

○既往の岩内層をHm3段丘堆積物に地層区分した場合(ケース2)についても、F-1断層の活動性評価に加えること。

【検討内容】

○R2.4.16審査会合における指摘を踏まえ、F-1断層開削調査箇所付近に分布する既往評価の岩内層の再区分について、改めて実施する。

○既往評価の岩内層の再区分は、これまでどおりH31.2.22審査会合において説明した以下の3ケースの検討結果を基本とした上で、開削調査箇所(北側・南側)の結果も踏まえ実施する(詳細は、参考資料P343～P387参照)。

(ケース1) F-1断層開削調査箇所における岩内層をMIS9以前の海成層に地層区分した場合

(ケース2) F-1断層開削調査箇所における岩内層をHm3段丘堆積物に地層区分した場合

(ケース3) 積丹半島西岸におけるHm3段丘をMIS9の海成段丘とした場合

○なお、各ケースの検討については、H30.5.11審査会合以降の指摘に基づき実施してきているものであり、次頁～P275に改めて検討経緯を整理している。

○改めて検討した地層区分に基づいた上載地層法により、F-1断層の活動性評価を実施する(P276～P279参照)。

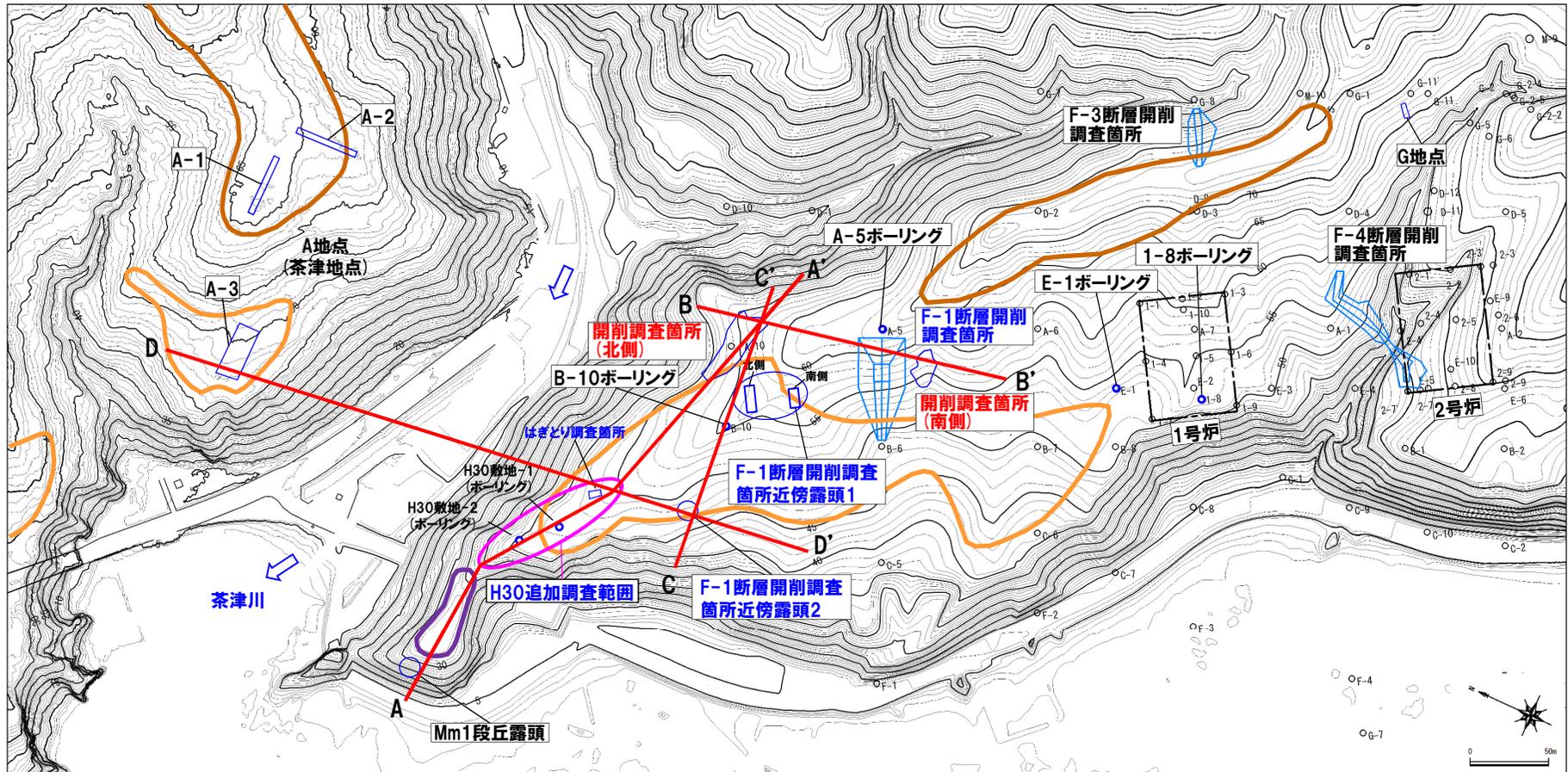
H31.2.22審査会合において説明したF-1断層開削調査箇所付近における地層区分に関する検討結果

項目		H30.5.11審査会合における説明	H31.2.22審査会合における説明				
			既往評価	ケース1		ケース2	ケース3
				【F-1断層開削調査箇所近傍露頭2及びH30追加調査範囲】	【F-1断層開削調査箇所からB-10ボーリングの範囲】		
地層区分	F-1断層開削調査箇所付近	河成の堆積物(中部更新統)	MIS7直後の河成の堆積物	MIS9直後の河成の堆積物	河成の堆積物(中部更新統)	MIS9直後の河成の堆積物	
		岩内層	Hm3段丘堆積物(MIS7)	MIS9以前の海成層	Hm3段丘堆積物(MIS7)	Hm3段丘堆積物(MIS9)	
	F-1断層開削調査箇所	Hm2段丘堆積物	MIS9直後の河成の堆積物		河成の堆積物(中部更新統)	MIS9直後の河成の堆積物	
		岩内層	MIS9以前の海成層		陸成層(風成砂) Hm3段丘堆積物(MIS7)	Hm3段丘堆積物(MIS9)	

# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ①-1 検討内容 (2/2)

一部修正 (H30/8/31審査会合)



調査位置図 (変更前の地形)

当図は、国土地理院1976年撮影の空中写真を  
使用した空中写真図化により作成 (1mコンター)

調査箇所		現況	調査箇所		現況
F-4断層開削調査箇所		×	A地点	○	【凡例】
F-1断層開削調査箇所		×	G地点	○	
F-1断層開削調査箇所近傍露頭1		○	F-3断層開削調査箇所	×	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Mm1段丘面</p> <p>Hm3段丘面</p> <p>Hm2段丘面</p> </div> <div> <p>断面線</p> <p>原子炉建屋設置位置</p> <p>鉛直ボーリング</p> </div> </div>
F-1断層開削調査箇所近傍露頭2		×	Mm1段丘露頭	×	
H30追加調査範囲		○			
開削調査箇所 (北側)		●			
開削調査箇所 (南側)		●			

● 現存 (H31.2.22審査会合後の追加調査箇所)  
○ 現存  
× 変更に伴い消失

### ①-2 地層区分に関する検討経緯 (1/2)

○F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分(ケース1~ケース3)に関する検討経緯を以下に示す。

#### (ケース1)

○ケース1は、以下の指摘を踏まえ地層区分を実施したものである。

##### 【H30.5.11審査会合における指摘】

- F-1断層開削調査箇所付近に分布する岩内層は、Hm3段丘堆積物とした方が合理的であると考えられることから、以下の観点を踏まえ、Hm3段丘堆積物に区分した場合に矛盾があるかどうか検討すること。矛盾がある場合には、どのような解釈がより合理的であるかを検討すること。
  - ・積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なることから、敷地の段丘認定に当たっては、積丹半島西岸の段丘対比を基本とすることが適切である。
  - ・泊地域周辺は高位段丘面の保存が悪いことから、敷地の地層区分に当たっては、段丘堆積物の上面標高だけではなく、基盤岩の上面標高を考慮して行う必要がある。

##### 【検討結果の概要】

- F-1断層開削調査箇所近傍露頭2及びH30追加調査範囲に認められる(仮)Hm3段丘堆積物※1は、積丹半島西岸における海成段丘(Hm3段丘)との整合性の確認項目に対していずれも整合的であることから、Hm3段丘堆積物に区分される。
- 一方、F-1断層開削調査箇所からB-10ボーリングの範囲に認められる(仮)Hm3段丘堆積物は、堆積物の上面標高が積丹半島西岸におけるMIS7の旧汀線高度(約48m)より高く、上位にMIS9直後の河成の堆積物が分布する状況を踏まえると、MIS9以前の海成層に区分されることは合理的であると考えられるが、積丹半島西岸のうち当該範囲にのみMIS9以前の海成層が分布する特異な状況となる。

※1 F-1断層開削調査箇所付近に認められる海成堆積物(既往評価における岩内層)は、Hm3段丘堆積物への地層区分を基本とすることから、「(仮)Hm3段丘堆積物」と表記している。

#### (ケース2)

○H30.8.31審査会合において、ケース1の検討結果を説明した際に以下の指摘を受けたことから、ケース2の地層区分を実施したものである。

##### 【H30.8.31審査会合における指摘】

- F-1断層開削調査箇所における既往の岩内層については、当該箇所付近の地質データを踏まえたうえで、Hm3段丘堆積物に区分される可能性を改めて検討すること。

##### 【検討結果の概要】

- F-1断層開削調査箇所と同様な地形・地質状況である汀線方向のボーリング調査結果(E-1及び1-8ボーリング※2)に基づけば、MIS7の旧汀線高度(約48m)付近において、層相にわずかな差異が認められることから、Hm3段丘堆積物と陸成層に区分される可能性がある。
- このため、F-1断層開削調査箇所における(仮)Hm3段丘堆積物は、露頭観察結果から不整合を示唆する特徴は認められないものの、当該箇所の地質データは露頭観察結果のみであることから、Hm3段丘堆積物の上面標高を整合させるためにMIS7の旧汀線高度(約48m)より下位をHm3段丘堆積物に、上位を陸成層(風成砂)に区分した。

※2 当該ボーリング調査は、1.2号炉調査時のものであり、主に基礎地盤の地質構造の把握及び安定性検討の基礎資料を取得する目的で実施したものである。

(次頁に続く)

## ①-2 地層区分に関する検討経緯 (2/2)

(前頁の続き)

## (ケース3)

○同じくH30.8.31審査会合において、ケース1の検討結果を説明した際に以下の指摘を受けたことから、ケース3の地層区分を実施したものである。

## 【H30.5.11審査会合における指摘】

○文献における各ステージの海水準の範囲や積丹半島西岸における隆起速度を考慮し、Hm3段丘がMIS7の海成段丘ではなく、MIS9の海成段丘となる可能性についても検討すること。

## 【検討結果の概要】

- 小池・町田編(2001)によれば、東北日本弧北部日本海側(内弧)においては、MIS5eの海成段丘の一段上位にMIS9の海成段丘が分布する状況は認められない。
- 積丹半島西岸における海成段丘の特徴の整理に基づけば、MIS5eの海成段丘の一段上位にMIS7の海成段丘、その一段上位にMIS9の海成段丘が分布する場合、隆起速度は0.20m/千年程度となる。
- しかし、積丹半島西岸における隆起速度が0.15m/千年程度かつMIS7の海水準が文献における下限側の値の場合、MIS7時に形成された海成段丘は、MIS5eの海進時に海水で覆われ、MIS5eの海成段丘に更新される可能性がある。
- このとき、積丹半島西岸におけるHm3段丘はMIS9の海成段丘、Hm2段丘はMIS11の海成段丘となる可能性が考えられる。
- 上記条件において、F-1断層開削調査箇所付近に分布する(仮)Hm3段丘堆積物は、Hm3段丘堆積物(MIS9)に地層区分され得る。

## 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

### ②-1 地層区分に関する検討結果

#### 【検討結果】

○開削調査箇所（北側・南側）における調査結果を踏まえた、各ケースにおける地層区分の結果を本頁～P275に示す（詳細は、参考資料P343～P387参照）。

（ケース1）F-1断層開削調査箇所における岩内層をMIS9以前の海成層に地層区分した場合

（ケース2）F-1断層開削調査箇所における岩内層をHm3段丘堆積物に地層区分した場合

（ケース3）積丹半島西岸におけるHm3段丘をMIS9の海成段丘とした場合

○改めて検討した地層区分（ケース1～ケース3）に基づいた上載地層法により、F-1断層の活動性評価を実施する（P276～P279参照）。

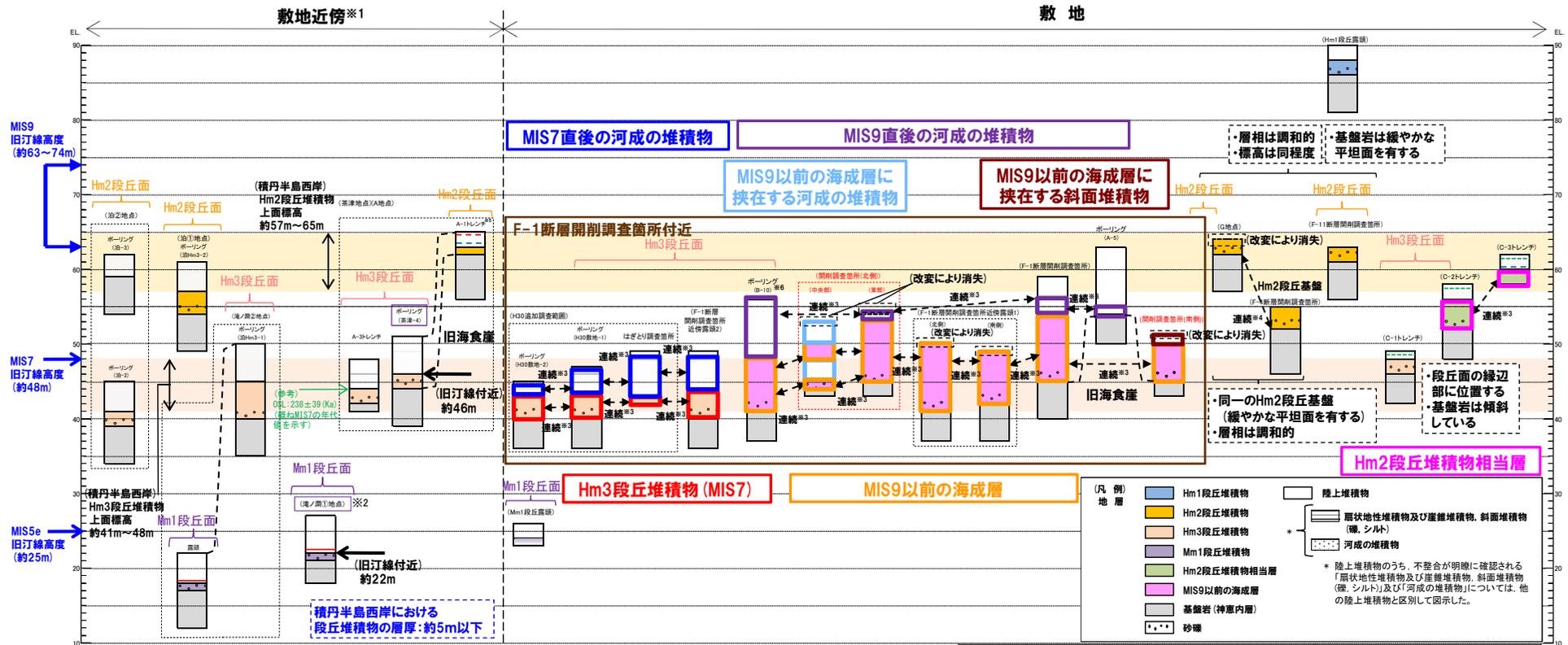
#### F-1断層開削調査箇所付近における地層区分に関する検討結果

項目		H30.5.11審査会合 における説明	開削調査箇所（北側・南側）における調査結果を踏まえた地層区分			
			ケース1		ケース2	ケース3
		既往評価	F-1断層開削調査箇所近傍 露頭2及びH30追加調査範囲	F-1断層開削調査箇所近傍露頭1, 開削調査箇所（北側・南側）及び F-1断層開削調査箇所		
地層 区分	F-1断層 開削調査 箇所付近	河成の堆積物 (中部更新統)	MIS7直後の 河成の堆積物	MIS9直後の 河成の堆積物	MIS7直後の河成の堆積物	MIS9直後の河成の堆積物
		岩内層	Hm3段丘堆積物 (MIS7)	MIS9以前の海成層	Hm3段丘堆積物 (MIS7)	Hm3段丘堆積物 (MIS9)
	F-1断層 開削調査 箇所	Hm2段丘堆積物	MIS9直後の河成の堆積物		MIS7直後の河成の堆積物	MIS9直後の河成の堆積物
		岩内層	MIS9以前の海成層		Hm3段丘堆積物 (MIS7)	Hm3段丘堆積物 (MIS9)
評価		○Hm3段丘堆積物は、積丹半島西岸における海成段丘 (Hm3段丘) との整合性の確認項目に対していずれも整合的。	○MIS9以前の海成層は、堆積物の上面標高がMIS7の旧汀線高度 (約48m) より高く、上位にMIS9直後の河成の堆積物が分布する状況を踏まえると、本地層区分は合理的であると考えられるが、積丹半島西岸のうち当該範囲にのみMIS9以前の海成層が分布する特異な状況。	○Hm3段丘堆積物は、積丹半島西岸における海成段丘 (Hm3段丘) との整合性確認項目に対して、「地形」及び「基盤岩の上面標高」の観点において整合的。 ○一方、F-1断層開削調査箇所近傍露頭1、開削調査箇所（北側・南側）においては、MIS7の旧汀線高度 (約48m) 以上の標高 (約50～53m) までHm3段丘堆積物が認められ、整合的ではない。	○Hm3段丘堆積物は、積丹半島西岸における海成段丘 (Hm3段丘) との整合性確認項目に対して、「地形」、「基盤岩の上面標高」及び「隆起速度」の観点において整合的。 ○一方、「段丘堆積物の上面標高」の観点においては、積丹半島西岸のうちF-1断層開削調査箇所付近のみ高く、旧海食崖をHm3段丘堆積物が埋めることとなり、岩石海岸における段丘堆積物としては特異な状況。	

# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ②-2 (ケース1) におけるF-1断層開削調査箇所付近の地層区分-総合柱状図-

再掲 (R2/4/16審査会合)



- ※1 積丹半島西岸では、図示した調査箇所以外においても段丘調査を実施している。ここでは、敷地に近接するMm1段丘(滝ノ洞①地点)及び高位段丘(茶津地点(A地点)、滝ノ洞②地点、泊①地点及び泊②地点)について代表的に図示した。
- ※2 洞爺火山灰については、当該地点のMm1段丘堆積物の上位に確認されたことを便宜的に図示した。
- ※3 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の地層であると判断されることを示す。
- ※4 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の段丘基盤であると判断されることを示す。
- ※5 茶津地点(Hm2段丘)においては、A-2トレンチにおいても段丘調査を実施しているが、A-1トレンチと距離が近接しており、基盤岩及び段丘堆積物の上面標高が同様であることから、A-1トレンチを代表的に図示した。
- ※6 開削調査箇所(北側)の結果を踏まえると、MIS9直後の河成の堆積物に地層区分した範囲には、MIS9以前の海成層に挟在する河成の堆積物も含まれる可能性が考えられる。

(凡例) 火山灰

- Toya(降灰層準)
- - - Toya, Spfa-1混在
- 対象火山灰, Toya, Spfa-1混在
- 対象火山灰

(凡例) その他

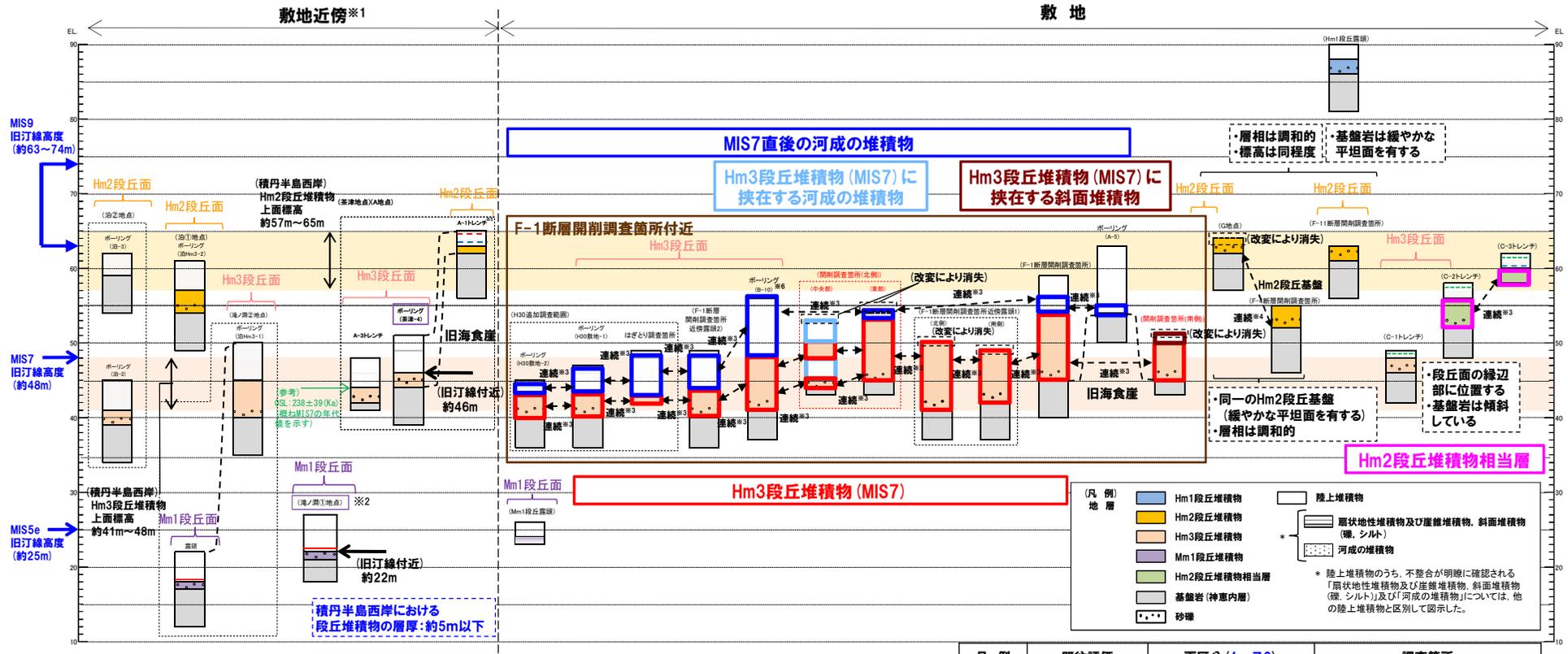
- 群列ボーリングにより、旧汀線付近で段丘堆積物を確認した箇所

### 積丹半島西岸における総合柱状図 (ケース1)

凡例	既往評価	再区分(ケース1)	調査箇所
[Red Box]	岩内層	Hm3段丘堆積物 (MIS7)	F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 H30追加調査範囲
[Orange Box]	岩内層	MIS9以前の海成層	F-1断層開削調査箇所 F-1断層開削調査箇所近傍露頭1 B-10ボーリング 開削調査箇所(北側) 開削調査箇所(南側)
[Pink Box]	岩内層	Hm2段丘堆積物相当層	C-2及びC-3トレンチ
[Purple Box]	岩内層 Hm2段丘堆積物 河成の堆積物	MIS9直後の河成の堆積物	A-5ボーリング F-1断層開削調査箇所 B-10ボーリング 開削調査箇所(北側)
[Blue Box]	河成の堆積物	MIS7直後の河成の堆積物	F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 H30追加調査範囲
[Light Blue Box]	-	MIS9以前の海成層に挟在する河成の堆積物	開削調査箇所(北側)
[Dark Blue Box]	-	MIS9以前の海成層に挟在する斜面堆積物	開削調査箇所(南側)

# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ②-3 (ケース2) におけるF-1断層開削調査箇所付近の地層区分-総合柱状図-



- ※1 積丹半島西岸では、図示した調査箇所以外においても段丘調査を実施している。ここでは、敷地に近接するMm1段丘(滝ノ淵①地点)及び高位段丘(茶津地点(A地点)、滝ノ淵②地点、泊①地点及び泊②地点)について代表的に図示した。
- ※2 洞爺火山灰については、当該地点のMm1段丘堆積物の上位に確認されたことを便宜的に図示した。
- ※3 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の地層であると判断されることを示す。
- ※4 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の段丘基盤であると判断されることを示す。
- ※5 茶津地点(Hm2段丘)においては、A-2トレンチにおいても段丘調査を実施しているが、A-1トレンチと距離が近接しており、基盤岩及び段丘堆積物の上面標高が同様であることから、A-1トレンチを代表的に図示した。
- ※6 開削調査箇所(北側)の結果を踏まえると、MIS7直後の河成の堆積物に地層区分した範囲には、Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する河成の堆積物も含まれる可能性が考えられる。

(凡例) 堆積物

- Toya(降灰層準)
- Toya, Spfa-1混在
- 対象火山灰, Toya, Spfa-1混在
- 対象火山灰

(凡例) その他

- 群列ボーリングにより、旧江線付近で段丘堆積物を確認した箇所

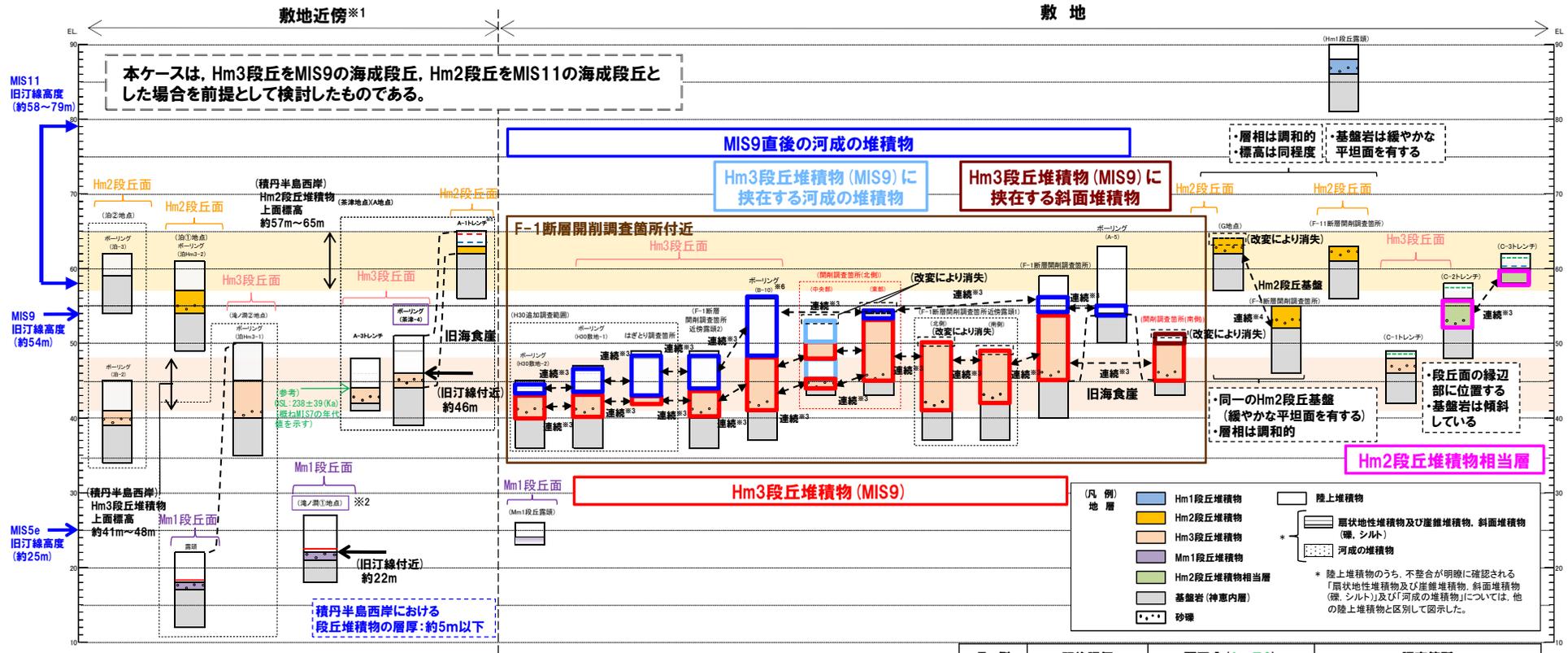
積丹半島西岸における総合柱状図(ケース2)

凡例	既往評価	再区分(ケース2)	調査箇所
[Red Box]	岩内層	Hm3段丘堆積物(MIS7)	F-1断層開削調査箇所 F-1断層開削調査箇所近傍露頭1 F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 B-10ボーリング
[Pink Box]	岩内層	Hm2段丘堆積物相当層	H30追加調査範囲 開削調査箇所(北側) 開削調査箇所(南側)
[Blue Box]	岩内層 Hm2段丘堆積物 河成の堆積物	MIS7直後の河成の堆積物	C-2及びC-3トレンチ A-5ボーリング F-1断層開削調査箇所 F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 B-10ボーリング
[Light Blue Box]	-	Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する河成の堆積物	H30追加調査範囲 開削調査箇所(北側)
[Dark Blue Box]	-	Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する斜面堆積物	開削調査箇所(南側)

# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ②-4 (ケース3) におけるF-1断層開削調査箇所付近の地層区分-総合柱状図-

再掲 (R2/4/16審査会合)



- ※1 積丹半島西岸では、図示した調査箇所以外においても段丘調査を実施している。ここでは、敷地に近接するMm1段丘(滝ノ淵①地点)及び高位段丘(茶津地点(A地点)、滝ノ淵②地点、泊①地点及び泊②地点)について代表的に図示した。
- ※2 洞爺火山灰については、当該地点のMm1段丘堆積物の上位に確認されたことを便宜的に図示した。
- ※3 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の地層であると判断されることを示す。
- ※4 各調査箇所の位置関係が近接していること及び地質調査結果から、同一の段丘基盤であると判断されることを示す。
- ※5 茶津地点(Hm2段丘)においては、A-2トレンチにおいても段丘調査を実施しているが、A-1トレンチと距離が近接しており、基盤岩及び段丘堆積物の上面標高が同様であることから、A-1トレンチを代表的に図示した。
- ※6 開削調査箇所(北側)の結果を踏まえると、MIS9直後の河成の堆積物に地層区分した範囲には、Hm3段丘堆積物(MIS9)に挟在する河成の堆積物も含まれる可能性が考えられる。



積丹半島西岸における総合柱状図 (ケース3)

凡例	既往評価	再区分 (ケース3)	調査箇所
[Red box]	岩内層	Hm3段丘堆積物 (MIS9)	F-1断層開削調査箇所 F-1断層開削調査箇所近傍露頭1 F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 B-10ボーリング
[Pink box]	岩内層	Hm2段丘堆積物相当層	C-2及びC-3トレンチ
[Blue box]	岩内層 Hm2段丘堆積物 河成の堆積物	MIS9直後の河成の堆積物	A-5ボーリング F-1断層開削調査箇所 F-1断層開削調査箇所近傍露頭2 B-10ボーリング H30追加調査範囲 開削調査箇所(北側)
[Light blue box]	-	Hm3段丘堆積物 (MIS9) に挟在する河成の堆積物	開削調査箇所(北側)
[Red box]	-	Hm3段丘堆積物 (MIS9) に挟在する斜面堆積物	開削調査箇所(南側)

## ③F-1断層の活動性評価に関する検討結果(1/4)

一部修正 (R2/4/16審査会合)

## 【検討結果】

○改めて検討した地層区分(ケース1～ケース3)に基づいた上載地層法により、F-1断層の活動性評価を実施した。

## (ケース1)

- F-1断層に関連する小断層は、開削調査箇所(北側・南側)及びF-1断層開削調査箇所において、MIS9以前の海成層のうちM1ユニットに変位・変形を与えている。
- 小断層は、開削調査箇所(北側)において、MIS9以前の海成層に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)に、開削調査箇所(南側)において、MIS9以前の海成層に挟在する斜面堆積物(Ts3ユニット)に変位・変形を与えていない。
- 以上より、小断層は、複数の調査箇所において、MIS9以前の海成層のうちM1ユニットに変位・変形を与えているが、MIS9以前の海成層に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)及び斜面堆積物(Ts3ユニット)には変位・変形を与えていないことから、F-1断層の最新活動は、M1ユニット堆積中若しくは堆積終了後～Tf2ユニット及びTs3ユニット堆積前であり、それ以降の活動は認められない。

## (ケース2)

- F-1断層に関連する小断層は、開削調査箇所(北側・南側)及びF-1断層開削調査箇所において、Hm3段丘堆積物(MIS7)のうちM1ユニットに変位・変形を与えている。
- 小断層は、開削調査箇所(北側)において、Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)に、開削調査箇所(南側)において、Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する斜面堆積物(Ts3ユニット)に変位・変形を与えていない。
- 以上より、小断層は、複数の調査箇所において、Hm3段丘堆積物(MIS7)のうちM1ユニットに変位・変形を与えているが、Hm3段丘堆積物(MIS7)に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)及び斜面堆積物(Ts3ユニット)には変位・変形を与えていないことから、F-1断層の最新活動は、M1ユニット堆積中若しくは堆積終了後～Tf2ユニット及びTs3ユニット堆積前であり、それ以降の活動は認められない。

## (ケース3)

- F-1断層に関連する小断層は、開削調査箇所(北側・南側)及びF-1断層開削調査箇所において、Hm3段丘堆積物(MIS9)のうちM1ユニットに変位・変形を与えている。
- 小断層は、開削調査箇所(北側)において、Hm3段丘堆積物(MIS9)に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)に、開削調査箇所(南側)において、Hm3段丘堆積物(MIS9)に挟在する斜面堆積物(Ts3ユニット)に変位・変形を与えていない。
- 以上より、小断層は、複数の調査箇所において、Hm3段丘堆積物(MIS9)のうちM1ユニットに変位・変形を与えているが、Hm3段丘堆積物(MIS9)に挟在する河成の堆積物(Tf2ユニット)及び斜面堆積物(Ts3ユニット)には変位・変形を与えていないことから、F-1断層の最新活動は、M1ユニット堆積中若しくは堆積終了後～Tf2ユニット及びTs3ユニット堆積前であり、それ以降の活動は認められない。

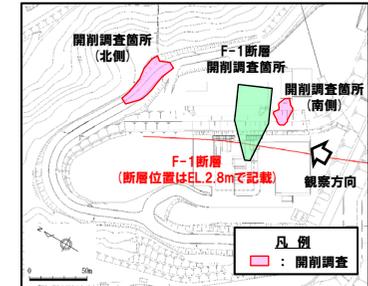
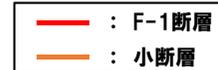


○いずれのケースにおいても、F-1断層は、後期更新世以降の活動は認められないことから、将来活動する可能性のある断層等ではないと評価される。

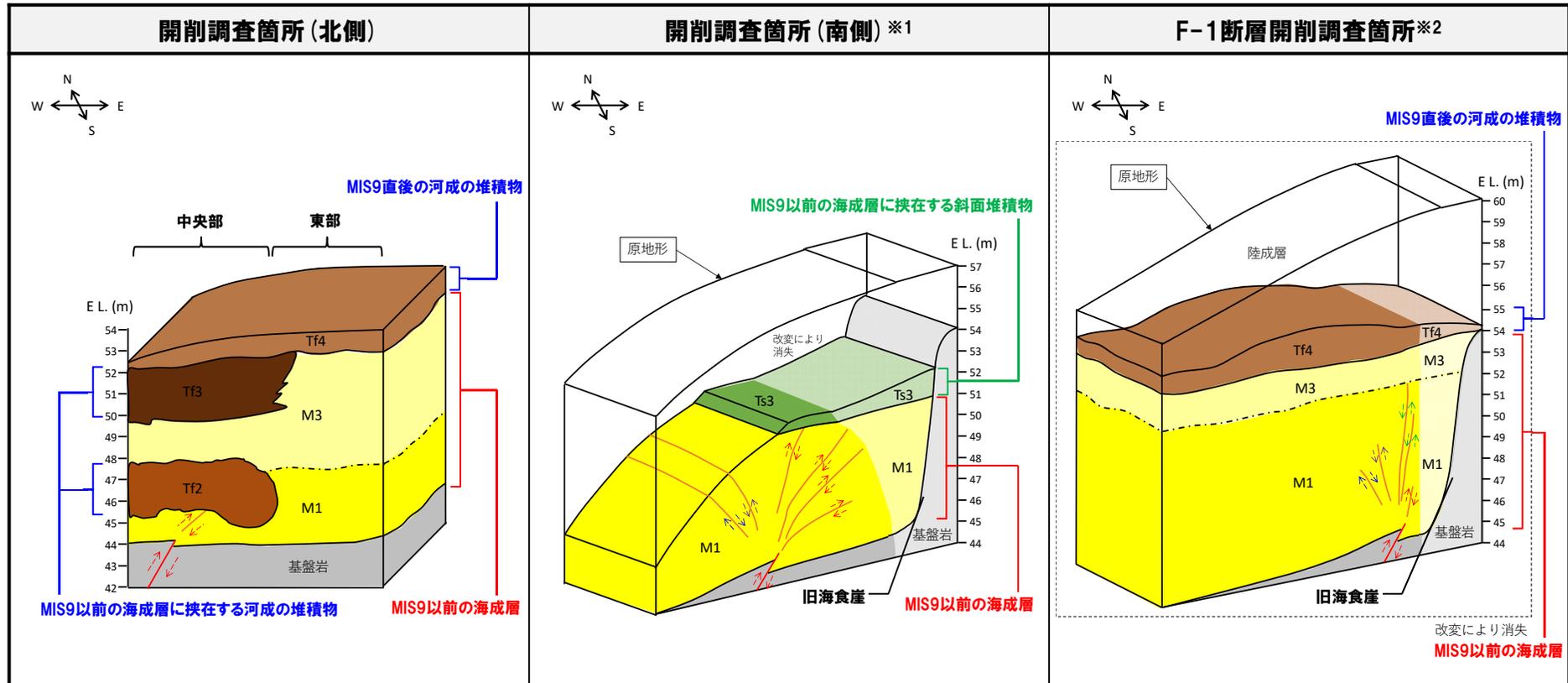
# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ③F-1断層の活動性評価に関する検討結果 (2/4)

再掲 (R2/4/16審査会合)

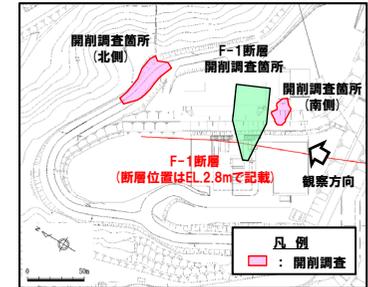


開削調査箇所 (北側・南側) 及びF-1断層開削調査箇所における活動性評価のイメージ図 (ケース1) 調査位置図

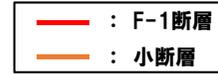


※1 基盤岩, M1ユニット及びTs3ユニットのうち, 薄着色範囲については, 南側壁面の背後法面の調査結果等に基づく推定範囲。  
 ※2 基盤岩, M1ユニット, M3ユニット及びTf4ユニットのうち, 薄着色範囲については, 本調査箇所の背後 (山側) で実施したA-5ボーリング (1,2号炉調査) の調査結果に基づく推定範囲。

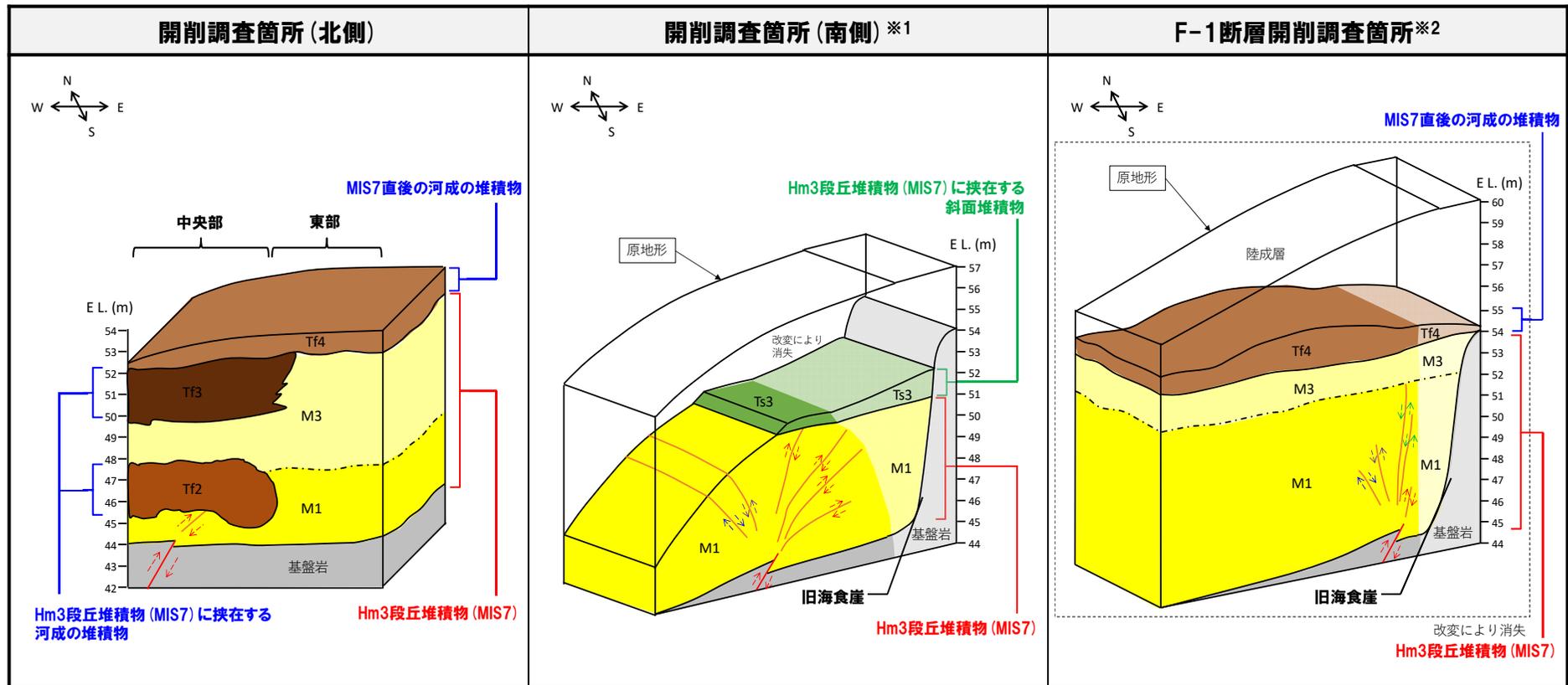
## ③F-1断層の活動性評価に関する検討結果 (3/4)



調査位置図



開削調査箇所 (北側・南側) 及びF-1断層開削調査箇所における活動性評価のイメージ図 (ケース2)



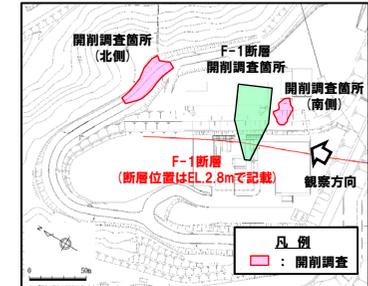
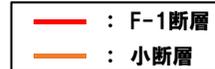
※1 基盤岩, M1ユニット及びTs3ユニットのうち, 薄着色範囲については, 南側壁面の背後法面の調査結果等に基づく推定範囲。

※2 基盤岩, M1ユニット, M3ユニット及びTf4ユニットのうち, 薄着色範囲については, 本調査箇所の背後 (山側) で実施したA-5ボーリング (1,2号炉調査) の調査結果に基づく推定範囲。

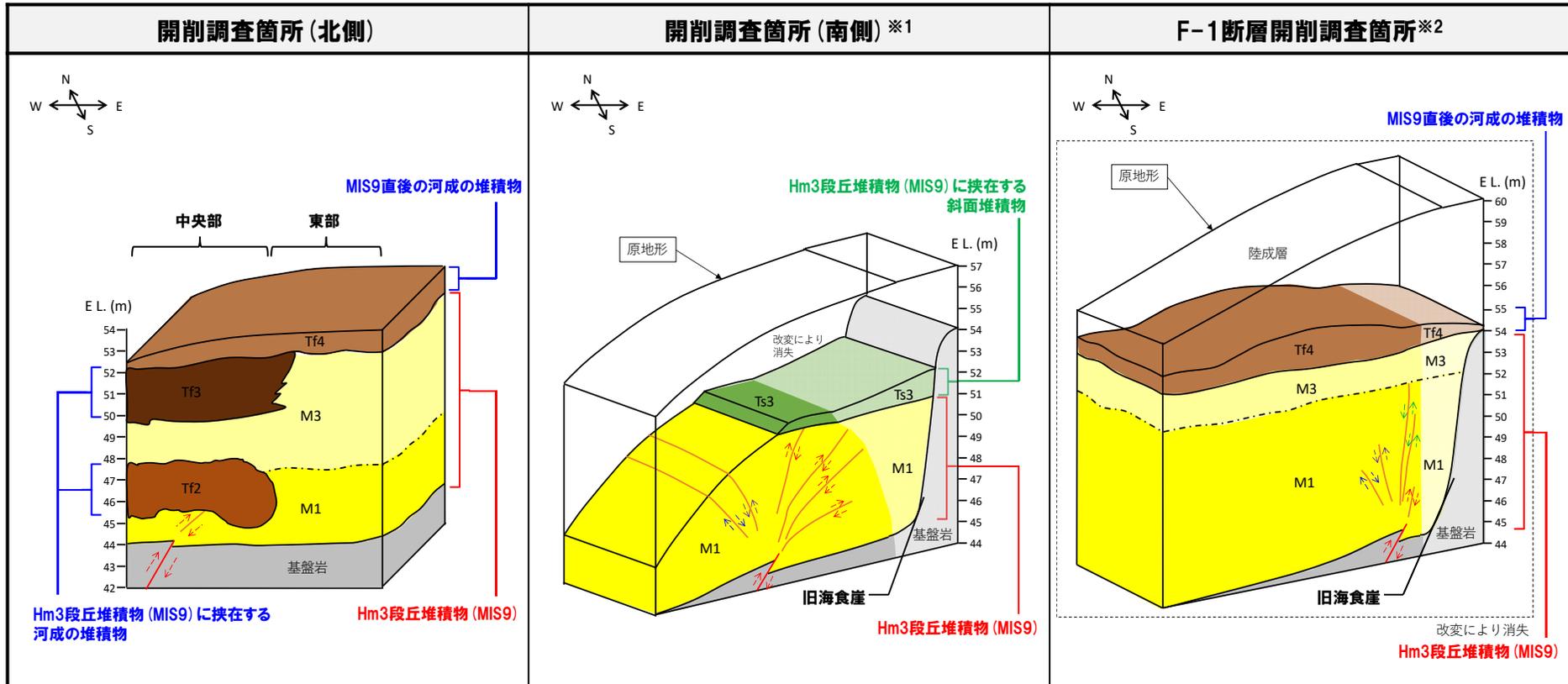
# 4. F-1断層開削調査箇所付近に分布する堆積物の地層区分 及びF-1断層の活動性評価

## ③F-1断層の活動性評価に関する検討結果 (4/4)

再掲 (R2/4/16審査会合)



開削調査箇所 (北側・南側) 及びF-1断層開削調査箇所における活動性評価のイメージ図 (ケース3) 調査位置図



※1 基盤岩, M1ユニット及びTs3ユニットのうち、薄着色範囲については、南側壁面の背後法面の調査結果等に基づく推定範囲。  
 ※2 基盤岩, M1ユニット, M3ユニット及びTf4ユニットのうち、薄着色範囲については、本調査箇所の背後 (山側) で実施したA-5ボーリング (1,2号炉調査) の調査結果に基づく推定範囲。

余白

## 5. 周氷河作用の影響に関する検討

## 5. 周氷河作用の影響に関する検討

指摘No	指摘の趣旨	今回の検討方法	記載箇所	検討結果
No.1	○海成堆積物 (M1ユニット及びM3ユニット) のユニット区分の妥当性	・火山灰分析	2.1章	○屈折率測定及び主成分分析の結果, M1ユニット及びM3ユニットには明瞭な差異が認められないことから, 当社がこれらの海成堆積物を一連の海水準上昇に伴う堆積物と評価していることと調和的である。 ○M1ユニット及びM3ユニットのユニット境界付近における堆積環境の変化と, 斜方輝石の含有量の傾向の変化は調和的である。
No.2~No.8	○斜面堆積物 (Ts3ユニット) の妥当性 ・海成堆積物や盛土との性状比較 ・他の斜面堆積物との性状比較 ・Ts3ユニットの分布範囲	・露頭観察 ・はぎとり転写試料観察 ・薄片観察 ・礫種・礫の形状調査 ・火山灰分析 ・硬度測定	2.2章	○開削調査箇所 (南側) 南側壁面の背後法面の各堆積物及び盛土の層相確認を行い, その特徴を整理した。 ○各堆積物及び盛土の特徴に基づき, 詳細スケッチを作成した。 ○また, 地層区分の妥当性を確認するため, 各種観察・分析・測定を実施した。 ○各種観察・分析・測定の結果, 各地層区分は妥当であることを確認した。 ○南側壁面に認められるTs3ユニットについて, 南側壁面の背後法面からの連続性を確認した。
No.9	○小断層の上端付近に関するデータ拡充 (開削調査箇所 (北側))	・露頭観察 ・はぎとり転写試料観察	3章	○北側壁面及び南側壁面ともに奥行き方向に掘削を行い詳細観察を実施した結果, F-1断層に関連する小断層は, Tf2ユニットに変位・変形を与えていないと判断される。 ○加えて, 開削調査箇所 (南側) では, 海側壁面においてF-1断層に関連する小断層の走向方向の連続が新たに確認された。 ○このため, 当該箇所における詳細観察結果等も踏まえ, 改めて, F-1断層に関連する小断層は, Ts3ユニットに変位・変形を与えていないものと評価した。

## 5. 周氷河作用の影響に関する検討

指摘No	指摘の趣旨	今回の検討方法	記載箇所	検討結果
No.10	○地層区分ケース2におけるF-1断層の活動性評価	・地層区分の検討 ・F-1断層の活動性評価	4章	○F-1断層開削調査箇所付近に分布する既往評価の岩内層の再区分について、改めて実施した。 ○改めて検討した地層区分(ケース1~3)に基づいた上載地層法により、F-1断層の活動性評価を実施した。
No.11	○上載地層の周氷河作用の影響の有無	・文献レビュー ・露頭観察 ・はざとり転写試料観察	5章	○開削調査箇所(北側)に認められる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。
No.12	○F-4断層に関する資料記載の充実	・既往データに基づく検討	6章	○第四紀層中の主な層相境界等をトレースした。
No.13	○F-11断層に関する資料記載の充実	・既往データに基づく検討		○F-11断層開削調査箇所付近に位置する調査箇所について、それぞれのスケッチ及び柱状図から代表柱状図を作成し、断面図を用いて整理した。
No.14	○斜面堆積物(Ts3ユニット)の呼称の変遷整理	・変遷理由の記載	7章	○Ts2ユニット及びTs3ユニットも含め、Ts3ユニットの呼称の変遷を整理した。
No.15	○斜面堆積物(Ts2ユニット及びTs1ユニット)の分布範囲に関する現地調査時からの変更理由の整理	・変更理由の記載		○Ts2ユニット及びTs1ユニットの分布範囲が変更及び追加となった箇所を図示した上で、その理由を示した。
No.16	○ボーリングコア写真とポアホールテレビ画像の深度対応関係の整理	・深度対応表の作成		○掘削長が比較的長く、計測深度に10cm以上の差異が認められるR1敷地-6~8ボーリングの深度対応表を作成した。

## ①指摘事項No.11に関する回答(1/3)

## 【R2.4.16審査会合における指摘事項No.11】

○開削調査箇所(北側)に認められる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)について、小野・斉藤(2019)「活断層研究51号」が指摘している周氷河作用の影響を受けたものか否かの見解を示すこと。

## 【文献による敷地の周氷河作用の影響に関する指摘の趣旨】

(活断層研究 51号 2019「北海道西部, 岩内平野の地形発達史- 泊原発の敷地内断層と関連して-」)

- 小野・斉藤(2019)では、F-1断層開削調査箇所において認められる堆積物の一部について、周氷河作用の影響を受けたものであると指摘している(文献の詳細についてはP286参照)。
- 当該文献では、敷地及びその周辺に分布する段丘面間の斜面での当社トレンチ調査における火山灰分析の結果、Toya, Spfa-1等が表土直下で混在している状況が認められることから、これらの堆積物は周氷河作用による擾乱を受けたものと推定している。
- さらに、F-1断層開削調査箇所が上述のトレンチ調査箇所と類似する地形に位置していることを以って、既往評価において当社がHm2段丘堆積物としていた地層及びその上位の火山灰質シルト層を含む層厚6m程度の地層(当該文献では「D層」と呼称、次頁図参照)についても、同様に周氷河作用による擾乱を受けた周氷河性斜面堆積物であると断定している。
- また、十勝平野の事例を引用し、Spfa-1が周氷河作用による擾乱を受けた時期がMIS2であることから、D層を含む敷地の周氷河性斜面堆積物の形成時期もMIS2であるとしている。

## 【検討方針】

- 当該文献ではF-1断層開削調査箇所に周氷河性斜面堆積物が分布すると指摘しているものの、F-1断層開削調査箇所は敷地の改変に伴い消失している状況である。
- 今回の周氷河作用の影響に関する検討においては、令和2年4月16日審査会合における上記指摘を踏まえ、F-1断層開削調査箇所付近に位置する開削調査箇所(北側)及び開削調査箇所(南側)のうち、それぞれF-1断層の活動性評価の上載地層となる河成の堆積物(Tf2ユニット)及び斜面堆積物(Ts3ユニット)を対象に以下の手順で実施する。
  - ①周氷河作用に関する文献レビューにより、周氷河作用の影響を受けた堆積物の特徴を確認するための観点について検討する。
  - ②Tf2ユニット及びTs3ユニットについて、①で検討した観点から周氷河作用の影響が認められるか否かの確認を行う。

(次頁へ続く)

F-1断層開削調査箇所付近の地層区分については、検討の結果(P9参照)、**ケース1**、**ケース2**及び**ケース3**の3ケースが考えられるが、本章では**ケース1**の場合について記載している。

# 5. 周氷河作用の影響に関する検討

## ①指摘事項No.11に関する回答 (2/3)

(前頁からの続き)

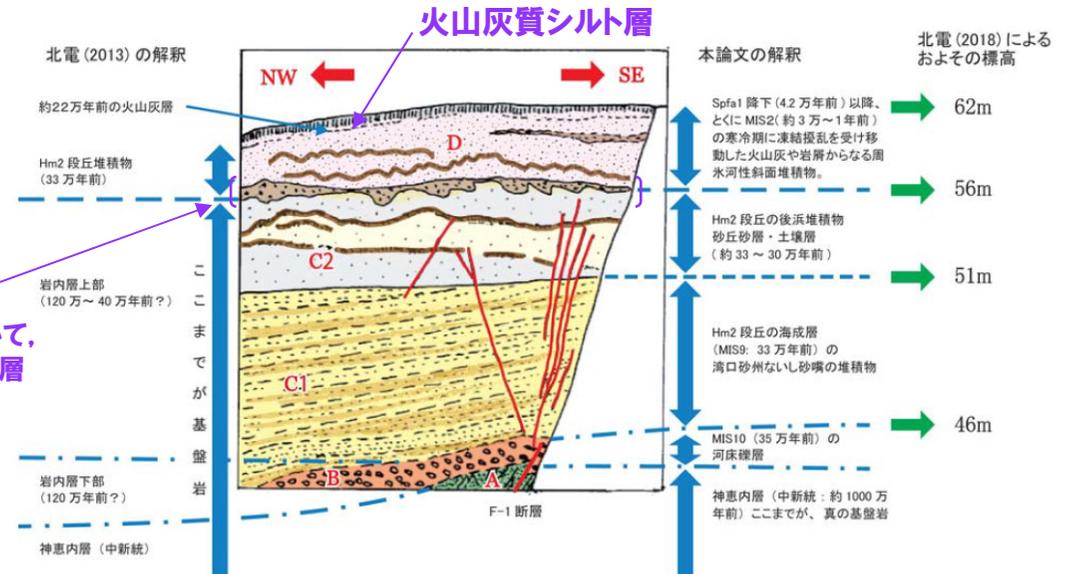
### 【検討, 確認結果】

- ①文献レビューの結果を踏まえた、周氷河作用の影響を受けた堆積物の特徴を確認するための観点についての検討結果は以下のとおり。
  - ・堆積時期の観点: 検討対象の地層の堆積時期(氷期かどうか)について確認する
  - ・活動層厚の観点: 敷地の位置する北海道における周氷河作用の影響を受ける深度は、地表から概ね2~3m程度となるものと考えられることから、検討対象層の深度について確認する
  - ・層相の観点 : 周氷河作用に伴うインポリューション, ソリフラクション等の影響を受けた場合、地層及びその内部の堆積構造は擾乱されると考えられることから、周氷河作用を示唆する擾乱の有無について確認する
- ②地質調査の結果、いずれの観点においてもTf2ユニット及びTs3ユニットに周氷河作用の影響を受けた堆積物の特徴は認められない。



- 開削調査箇所(北側)に認められる河成の堆積物(Tf2ユニット)は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。
- 開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

既往評価(H30.5.11審査会合)において、当社が、Hm2段丘堆積物としていた地層



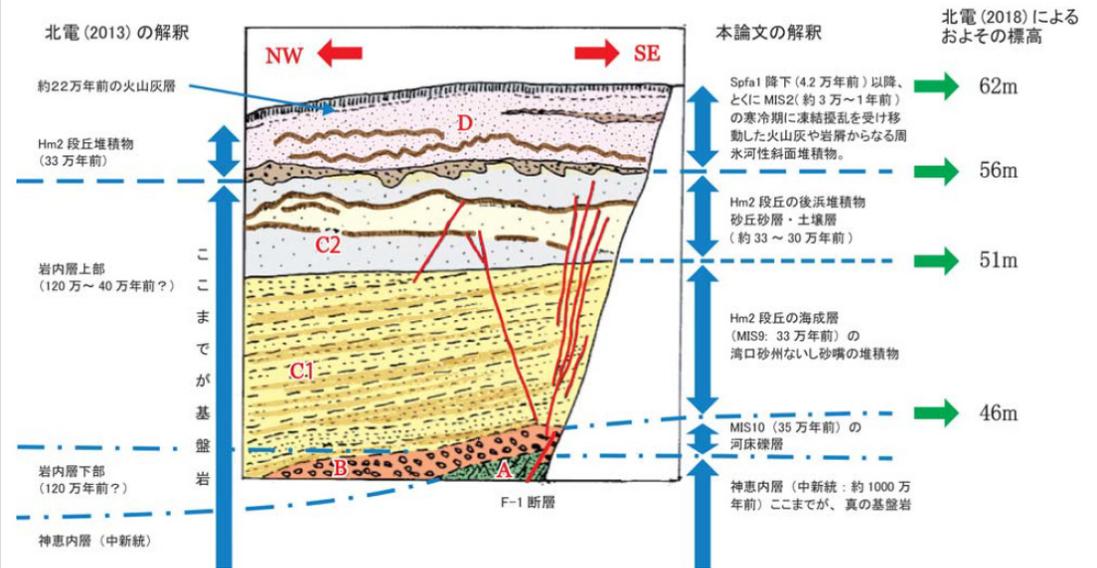
第16図 泊原発敷地内(第3図、第4図、④地点)の掘削断面の写真(北海道電力, 2013)のスケッチと本論文の解釈。スケッチのもとになった写真には歪があるため、実際の標高を右端に示す(本文参照)

F-1断層開削調査箇所における当社写真から作成したスケッチ  
小野・斉藤(2019)に加筆(紫字が当社による加筆)

## ①指摘事項No.11に関する回答(3/3)

○小野・斉藤(2019)では、敷地において認められる堆積物が受ける周氷河作用について、以下のように述べている。

- ・Hm3面は標高40～50mにあり、Hm2面との境界をなす段丘崖は、周氷河作用を受け、標高約60m付近から50m付近までゆるやかに下る斜面となっている
- ・北海道電力による掘削断面の写真をトレースし、北海道電力の解釈とそれに対する筆者らの解釈を入れたものを示す(右図参照)
- ・北海道電力による敷地内とその周辺(下図の掘削断面の近傍でHm1面からHm2面に移行する斜面、及びHm2面からHm3面に移行する斜面:掘削断面もこのような斜面に相当する)で数か所のトレンチ調査を行った結果、重要な結果が得られた
- ・すなわちそれらの斜面において、ニセコ起源と思われる約22万年前の火山灰層や、Toya及びSpfa-1が、いずれも純層ではなく火山灰粒子として、しかも本来の層位を大きく乱されたかたちで斜面堆積物中に散在していることが明らかになった
- ・この事実により、D層が周氷河性斜面堆積物であること、かつ斜面堆積物の移動期は、少なくともSpfa-1の降下後であることが確実にされた
- ・十勝平野においては、Spfa-1が強い凍結擾乱を受けてインポリューションを形成したり、本来の層位を大きく乱されたのは、最終氷期で最も寒冷・乾燥したMIS2であったことが明らかにされている
- ・MIS2の北海道は全域が不連続的永久凍土帯になっていたと考えられており、局所的に夏でも凍土が残り、表層は過飽和状態になって周氷河性ソリフラクションが活発に生じたと考えられている



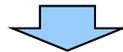
第16図 泊原発敷地内(第3図、第4図、A地点)の掘削断面の写真(北海道電力, 2013)のスケッチと本論文の解釈。スケッチのもとになった写真には歪があるため、実際の標高を右端に示す(本文参照)

### F-1断層開削調査箇所における当社写真から作成したスケッチ 小野・斉藤(2019)

## ②文献レビュー(鈴木, 2000)

一部修正(H29/12/8審査会合)

- 周氷河地域に関して、鈴木(2000)をレビューした。
- 鈴木(2000)においては、最終氷期における周氷河地域を右図のとおり示している。
- 鈴木(2000)では周氷河作用について以下のとおりとされている。
  - ・氷河に覆われていない寒冷地域では、地中水の凍結融解に伴って種々の物質移動が起こり、また、植生が乏しいため雨蝕と風蝕を受けやすい
  - ・そのような地域を周氷河地域と呼び、その地域に特有の地形過程を周氷河過程、それに起因する地形種を周氷河地形とそれぞれ総称する
  - ・地中水の凍結融解の繰り返しによって岩石が破碎されたり、岩塊や土が動かされたりする。その物質移動のことを凍結融解作用とよぶ
  - ・周氷河過程はこの凍結融解作用を根源とする地形過程である
  - ・凍土が融解すると、土が過剰水分で飽和され、粘性体となる
  - ・そのような状態の斜面表層物質が重力に従って斜面下方に緩慢に流動する
  - ・その移動は平均的には2~6cm/y、最大では50cm/y以上である
  - ・この現象をソリフラクションとよぶ。
  - ・ソリフラクションは集団移動の一種であるが、顕著な滑落崖を伴わず、緩傾斜の斜面を面的に削剥する点で、崩落、地すべり、土石流とは異なる
  - ・凍結融解を繰り返す表層部では、非固結物質が攪乱される
  - ・この表土の攪乱により諸種の超微地形種が形成され、周氷河現象と総称される



- 敷地の位置する積丹半島を含む北海道の大部分は、最終氷期には周氷河地域に属していることから、それ以前の氷期(例えばMIS6)においても、概ね同様な環境が推定される。
- 斜面表層の非固結物質は、氷期には攪乱されながら移動する(ソリフラクション)ものと考えられる。

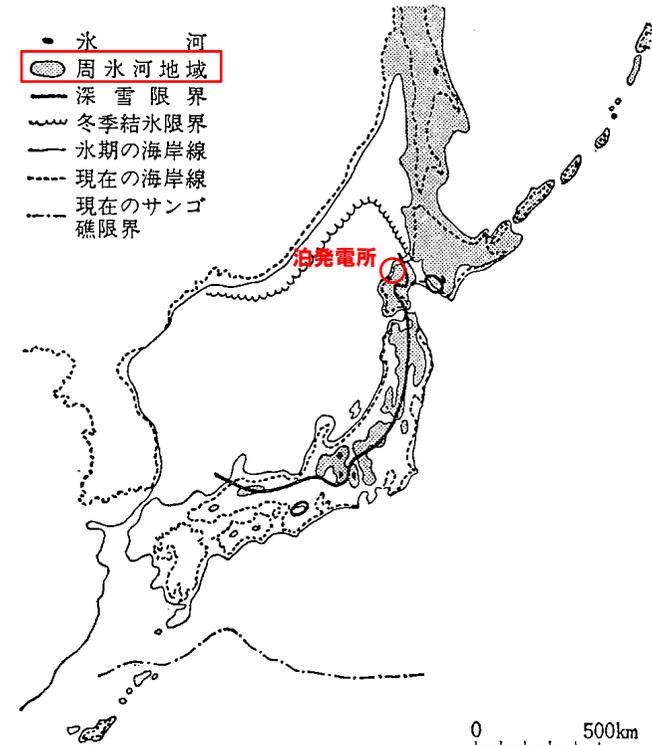


図 17.0.1 最終氷期の日本の気候地形図(貝塚, 1969)

鈴木(2000)に加筆

## ②文献レビュー(宮田, 1988)

- 周氷河作用について、宮田(1988)をレビューした。
- 宮田(1988)では周氷河作用について以下のとおりとされている。

## 【インボリューションの形態について】

- ・周氷河地域の堆積物の断面には、厚さ20cm~3m程度の、しばしば層内褶曲に似た、時には著しく不規則な変形構造がみられ、周氷河インボリューションあるいはクリオタベーションと呼ばれている
- ・インボリューションの形態はいずれも上下層の相互貫入であるが、上位層が粗粒な場合と下位層が粗粒な場合の両方が認められる
- ・右図は従来の文献及び著者の野外観察から、インボリューションの形態を堆積物の違いをもとに再分類したものである
- ・泥(粘土やシルト)及びローム層は粘着性があり透水性が悪いのに対し、砂や礫(軽石を含む)は粘着性がなく透水性がよい
- ・また、力学的な性質も大きな違いがあるため、それぞれの堆積物をF及びCの記号で表し、それらの上下組み合わせで区分した

## 【上位層の密度がより大きい場合のインボリューション形成要因について】

- ・密度逆転成層モデルでは、基本的には密度の逆転が必要条件であって、必ずしも周氷河環境は必要としていない
- ・しかし、野外で観察されるインボリューションが特定の層準に集中していること、同じ層準でもインボリューションの形成されている場所とそうでない場所とがあることから考えると、寒冷気候の影響があると考えた方が自然である
- ・即ち、寒冷気候環境下で堆積物の強度がとくに低下する条件があったことになる
- ・凍結時に下方から大量の間隙水を吸い上げ、析出氷として取り込んだ堆積物は、融解時に水で飽和する
- ・排水条件が悪いと高い含水状態が保たれ、間隙水圧が増加するために有効応力が減少する
- ・規則的な形態のインボリューションの少なくとも一部は、このような密度逆転成層モデルで説明できるといえる

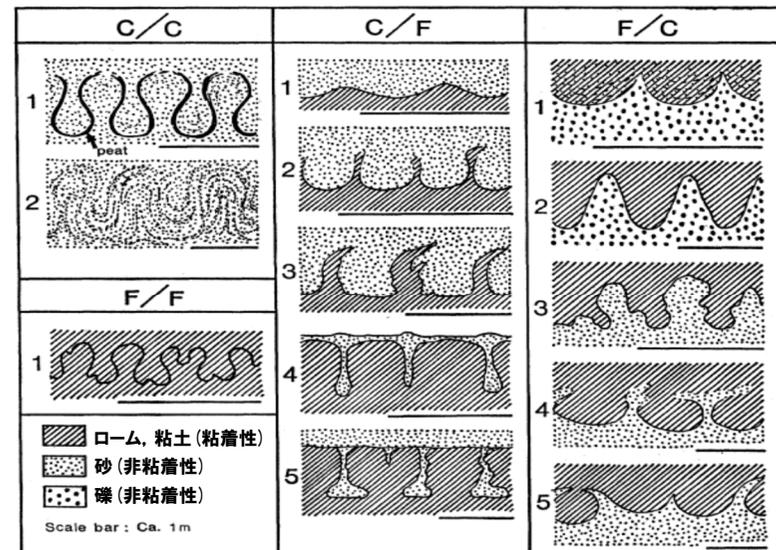


Fig. 2 Schematic figures of various deformation patterns of interface in a two-layer system.

## 「境界面の変形パターン概略図」

- ・細粒の堆積物(F)及び粗粒の堆積物(C)の上下組合せから、(上位/下位:C/C, F/F, C/F, F/C)4パターンに区分される。  
F:粘着性のあるもの(ローム, 粘土)  
C:粘着性のないもの(砂, 礫)

宮田(1988)に加筆

- インボリューションのような上下移動が生じる周氷河作用においては、上下位層の相互貫入が生じており、どちらの層においても擾乱が認められるものと考えられる。
- インボリューションの形成要因として、上位層の密度が大きい場合に、凍結時に吸い上げられた間隙水が融解時に飽和し、地盤の強度が低下することが考えられる。

# 5. 周氷河作用の影響に関する検討

## ②文献レビュー (松岡, 1992)

- 周氷河作用について、松岡 (1992) をレビューした。
- 松岡 (1992) では周氷河作用について以下のとおりとされている。
  - ・凍結融解に基づく地形変化は、凍結時に凍上や凍結破碎を受けた地盤が融解する際に起こる
  - ・裸地における年平均地表温度 $T_{ms}$ ・年平均気温 $T_{ma}$ と最大凍結・融解深度との関係を下図に示す
  - ・この図から、季節凍土地域 ( $T_{ms} \geq 0^\circ\text{C}$ ) では最大凍結深度が $T_{ms} \cdot T_{ma}$ の低下とともに増加し、永久凍土地域 ( $T_{ms} < 0^\circ\text{C}$ ) では最大融解深度 (活動層厚) が $T_{ms} \cdot T_{ma}$ の低下とともに減少するのがわかる
  - ・日周期性と年周期性の温度サイクルにおける凍結・融解深度とそれらが地形変化に及ぼす影響について下表にまとめた

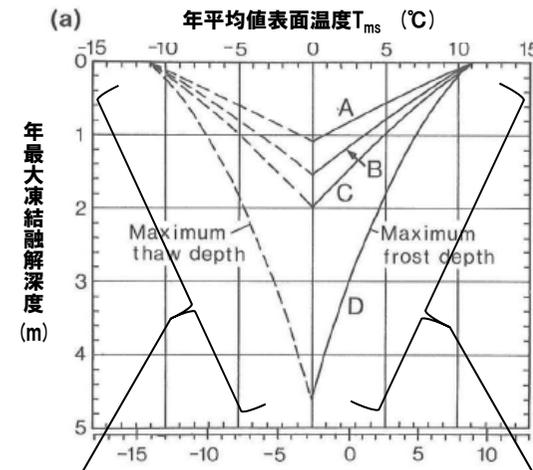


○裸地において堆積物が凍結融解作用の影響を受ける深度は、最大2m程度と考えられる。

第3表 日周期性と年周期性の凍結融解作用の比較

Table 3 Comparison between diurnal and seasonal frost action

凍結融解のタイプ	表層物質	凍結・融解深度	地形変化に及ぼす影響
日周期性	岩石	20~30cm (max 50cm)	凍結破碎速度, 最多礫径
	砂礫・土壌	5~10cm (max 20cm)	表層の移動速度, 小規模な構造土?
年周期性	岩石	<500cm (日本の場合)	最大礫径
	砂礫・土壌	<200cm (日本の場合)	下層の移動速度, 移動限界深度, 大規模な構造土?



永久凍土地域 ( $T_{ms} < 0^\circ\text{C}$ ) では最大融解深度 (活動層厚) が  $T_{ms}, T_{ma}$  の低下とともに減少  
 年平均気温  $T_{ma}$  ( $^\circ\text{C}$ )  
 季節凍土地域 ( $T_{ms} \geq 0^\circ\text{C}$ ) では最大凍結深度が  $T_{ms} \cdot T_{ma}$  の低下とともに増加

「年平均値表面温度 ( $T_{ms}$ )・年平均気温 ( $T_{ma}$ ) と年最大凍結融解深度との関係」

- ・地表面温度年変化の振幅が  $11^\circ\text{C}$  の場合のグラフを抜粋
- ・地盤の種類  
 A: 火山灰, B: 砂~シルト, C: 砂礫, D: 岩石

松岡 (1992) に加筆

## ②文献レビュー(三浦・平川, 1995)

- 周氷河作用について, 三浦・平川(1995)をレビューした。
- 三浦・平川(1995)では周氷河作用について以下のとおりとされている。
  - ・活動層厚は, 夏季の温度条件(融解積算温度)と構成物質の物性及び地表面の状態に支配される
  - ・調査地域(北海道北部(稚内)及び東部(根室))における構成物質(火山灰, シルト・砂, 砂礫)ごとの最大融解深度(活動層厚)を算出した(右表参照)
  - ・算出にあたり, 最終氷期最寒冷期の凍土環境として不連続的永久凍土帯南限付近と連続的永久凍土帯南限付近の2つを想定し, それぞれの一般的な年平均気温とされる $-3^{\circ}\text{C}$ と $-7^{\circ}\text{C}$ を採用した



- 最終氷期の北海道北部及び東部における活動層厚は, 層厚の大きい不連続的永久凍土帯南限付近としても概ね2~3m程度となるものと考えられる。

気温変化の温度指数(WI)と計算によって求めた活動層厚

地域および 気温変化様式 <sup>※</sup>	WI ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ )	年平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	振幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )	活動層厚 (cm)			実測値
				火山灰	シルト・砂	砂礫	
北海道北部(稚内)							
A	54.0	6.4	11.9	—	—	—	—
B	9.2	-3.0	11.9	110	156	200	—
B'	20.9	-3.0	15.8	124	177	227	—
C	0.8	-7.0	11.9	72	98	123	—
C'	18.6	-7.0	19.9	109	153	190	—
北海道東部(根室)							
A	45.3	5.9	10.5	—	—	—	—
B	4.9	-3.0	10.5	102	146	189	—
B'	21.4	-3.0	16.5	128	182	232	—
C	0.0	-7.0	10.5	63	89	112	—
C'	20.3	-7.0	20.9	113	157	197	—
ロングイヤービェン	1.4	-5.6	10.3	77	106	132	74-104 <sup>1)</sup>
大雪山	15.5	-3.8	15.4	117	167	214	120-180 <sup>2)</sup>
ヤクーツク	41.6	-10.3	30.9	64	86	108	150-200 <sup>3)</sup>
フェアバンクス	36.4	-3.3	21.1	99	142	182	30-600 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Bakkehoi and Bandis (1988), <sup>2)</sup> 福田・木下 (1974); Sone *et al.* (1988), <sup>3)</sup> Williams (1975)

## ※気温変化様式

## ・現在の気温変化

A:現在の月平均気温の年変化

## ・不連続的永久凍土帯南限付近を想定

B:現在の年変化を平行に移動して年平均気温を $-3^{\circ}\text{C}$ に調整

B':Bの年平均気温を変えないで夏季は $10^{\circ}\text{C}$ 超え, 冬季は $-20^{\circ}\text{C}$ 以下に調整

## ・連続的永久凍土帯南限付近

C:現在の年変化を平行に移動して年平均気温を $-7^{\circ}\text{C}$ に調整

C':Cの年平均気温を変えないで夏季は $10^{\circ}\text{C}$ 超え, 冬季は $-20^{\circ}\text{C}$ 以下に調整

三浦・平川(1995)に加筆

## ②文献レビュー 周氷河作用に関する文献レビューまとめ

## 【鈴木 (2000)】

- 敷地の位置する積丹半島を含む北海道の大部分は、最終氷期には周氷河地域に属していることから、それ以前の氷期（例えばMIS6）においても、概ね同様な環境が推定される。
- 斜面表層の非固結物質は、氷期には攪乱されながら移動する（ソリフラクション）ものと考えられる。

## 【宮田 (1988)】

- インボリューションのような上下移動が生じる周氷河作用においては、上下位層の相互貫入が生じており、どちらの層においても擾乱が認められるものと考えられる。
- インボリューションの形成要因として、上位層の密度が大きい場合に、凍結時に吸い上げられた間隙水が融解時に飽和し、地盤の強度が低下することが考えられる。

## 【松岡 (1992)】

- 裸地において堆積物が凍結融解作用の影響を受ける深度は、最大2m程度と考えられる。

## 【三浦・平川 (1995)】

- 最終氷期の北海道北部及び東部における活動層厚は、層厚の大きい不連続的永久凍土帯南限付近としても概ね2～3m程度となるものと考えられる。



- 文献レビューの結果を踏まえた、周氷河作用の影響を受けた堆積物の特徴を確認するための観点についての検討結果は以下のとおり。
  - ・堆積時期の観点：検討対象の地層の堆積時期（氷期かどうか）について確認する
  - ・活動層厚の観点：敷地の位置する北海道における周氷河作用の影響を受ける深度は、地表から概ね2～3m程度となるものと考えられることから、検討対象層の深度について確認する
  - ・層相の観点：周氷河作用に伴うインボリューション、ソリフラクション等の影響を受けた場合、地層及びその内部の堆積構造は擾乱されると考えられることから、周氷河作用を示唆する擾乱の有無について確認する

## 5. 周氷河作用の影響に関する検討

### ③開削調査箇所（北側）における検討（1/3）

○堆積時期及び活動層厚の観点並びに層相の観点において、開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）に周氷河作用の影響が認められるか否かの確認を行った。

#### 【堆積時期及び活動層厚の観点】

##### （地質調査の結果）

- 本調査箇所に認められるMIS9以前の海成層（M1ユニット及びM3ユニット）においては、明瞭な侵食面及び氷期の海退に伴う陸化を示唆する土壌化層が認められないこと等から、一連の海水準上昇に伴う堆積物である。
- Tf2ユニットの深度は、M3ユニットの上面から5～8m程度である。



##### （周氷河作用の影響）

- Tf2ユニットは、MIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。
- Tf2ユニットは、M3ユニット堆積以降の氷期においては、地表から少なくとも5～8m程度の深度に位置し、周氷河作用の影響を受ける概ね2～3m程度に位置していない。

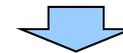


○開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

#### 【層相の観点】

##### （地質調査の結果）

- M1ユニットは、平行葉理が発達する（P294～P295①、②の範囲等）。
- Tf2ユニットには堆積時に下位のM1ユニットを侵食して取り込んだものと考えられる砂のブロックが存在し、一部のブロックにおいては葉理が認められる（P294～P295②の範囲）。



##### （周氷河作用の影響）

- M1ユニット及びTf2ユニットに、周氷河作用を示唆する擾乱は認められない。

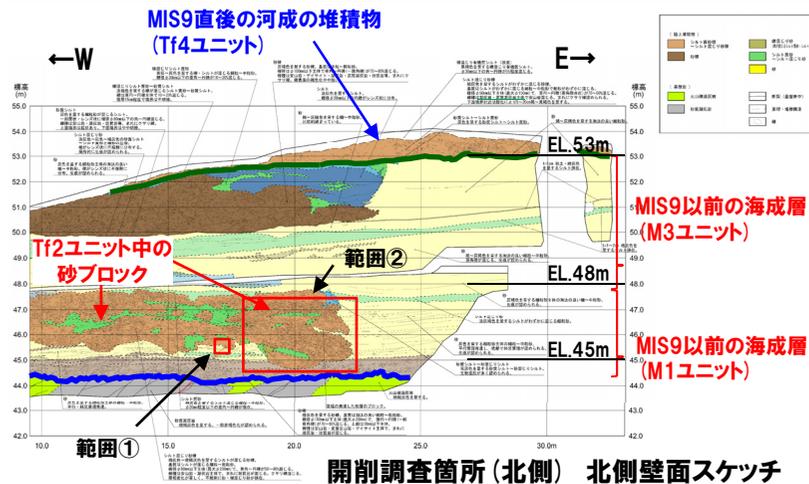


○開削調査箇所（北側）に認められる河成の堆積物（Tf2ユニット）は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

余白

# 5. 周氷河作用の影響に関する検討

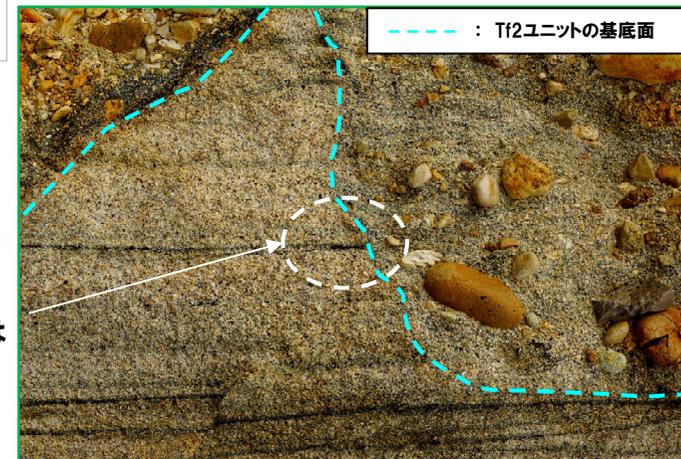
## ③開削調査箇所(北側)における検討(2/3)



開削調査箇所(北側) 北側壁面スケッチ

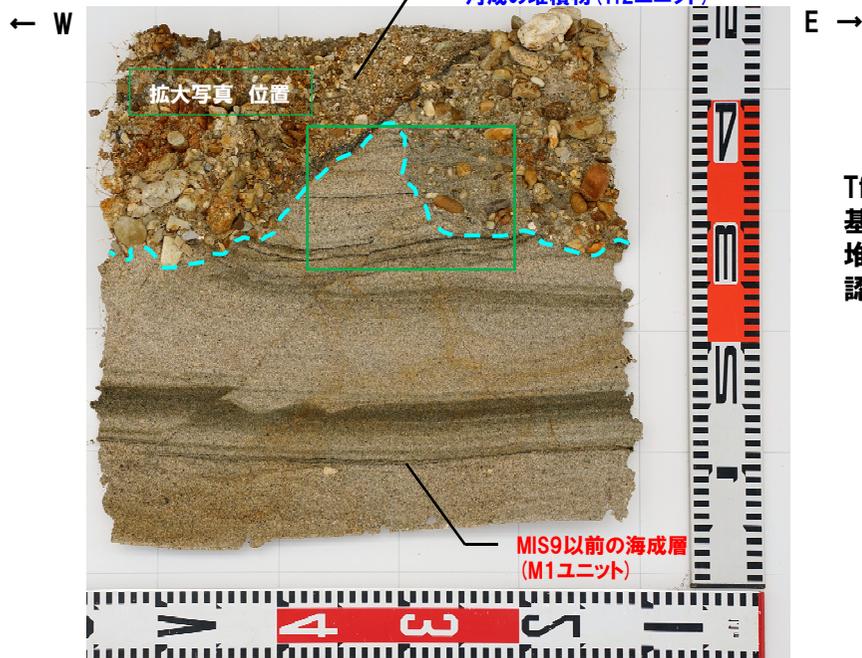


(凡例) 地層境界  
 緑線: 最上位の河成の堆積物下面  
 青線: 基盤岩上面

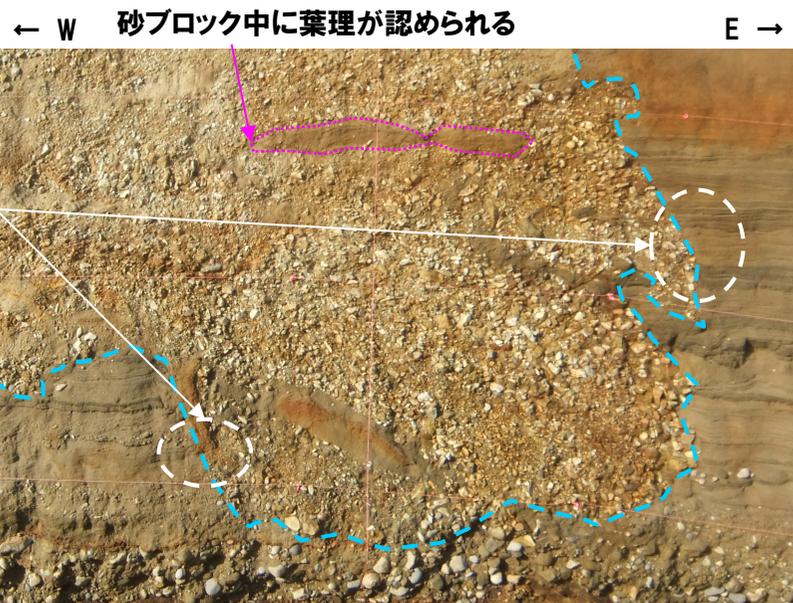


Tf2ユニットの基底面において堆積構造の擾乱は認められない

はぎとり転写試料 左下図緑枠拡大写真(左右反転)(解釈線あり)



範囲①拡大写真(はぎとり転写試料 写真(左右反転)(解釈線あり))



Tf2ユニットの基底面において堆積構造の擾乱は認められない

範囲②拡大写真(解釈線あり)

# 5. 周氷河作用の影響に関する検討

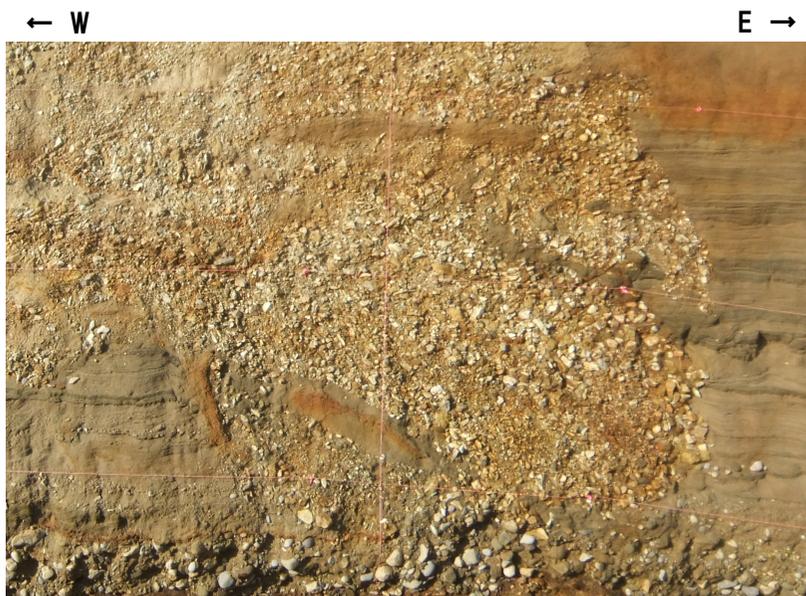
## ③開削調査箇所(北側)における検討(3/3)



はぎとり転写試料 左下図緑枠拡大写真(左右反転)(解釈線なし)



範囲①拡大写真(はぎとり転写試料 写真(左右反転)(解釈線なし))



範囲②拡大写真(解釈線なし)

## 5. 周氷河作用の影響に関する検討

### ④開削調査箇所(南側)における検討(1/3)

- 堆積時期の観点及び層相の観点において、開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)に周氷河作用の影響が認められるか否かの確認を行った。
- なお、本調査箇所はTs3ユニットを含む標高約51m以上の地層が消失していることから、活動層厚の観点における確認は行っていない。

#### 【堆積時期の観点】

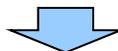
##### (地質調査の結果)

- F-1断層開削調査箇所及び本調査箇所における地層区分の検討より、本調査箇所においては、MIS9以前の海成層が一連の海水準上昇に伴う堆積物として標高54m程度まで分布していたものと推定される。



##### (周氷河作用の影響)

- Ts3ユニットは、MIS9以前の海成層に挟在することから、氷期の堆積物ではない。



#### 【層相の観点】

##### (地質調査の結果)

- M1ユニットにおいて葉理が認められる(P298~P299①の範囲)。
- Ts3ユニット及びM1ユニットの境界は、明瞭な侵食面が認められる(P298~P299②の範囲)。



##### (周氷河作用の影響)

- M1ユニット及びTs3ユニットの侵食面に、周氷河作用の影響を示唆する擾乱は認められない。

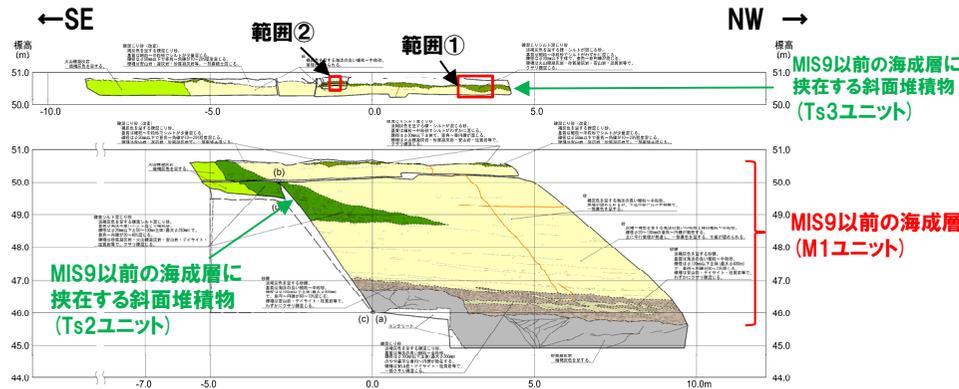


- 開削調査箇所(南側)に認められる斜面堆積物(Ts3ユニット)は、周氷河作用の影響を受けていないと判断される。

余白

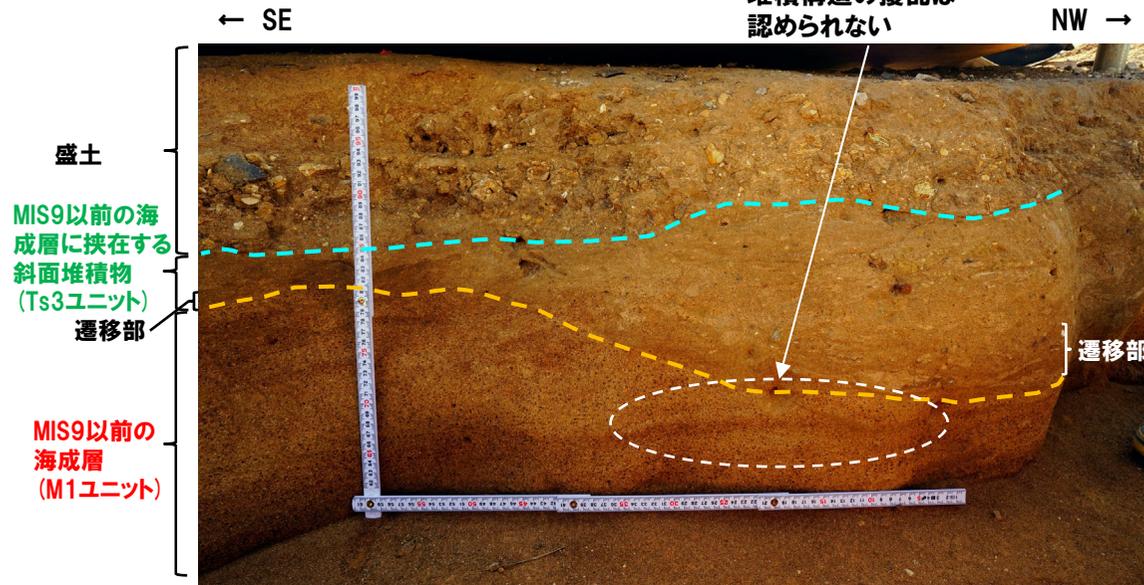
# 5. 周氷河作用の影響に関する検討

## ④開削調査箇所(南側)における検討(2/3)

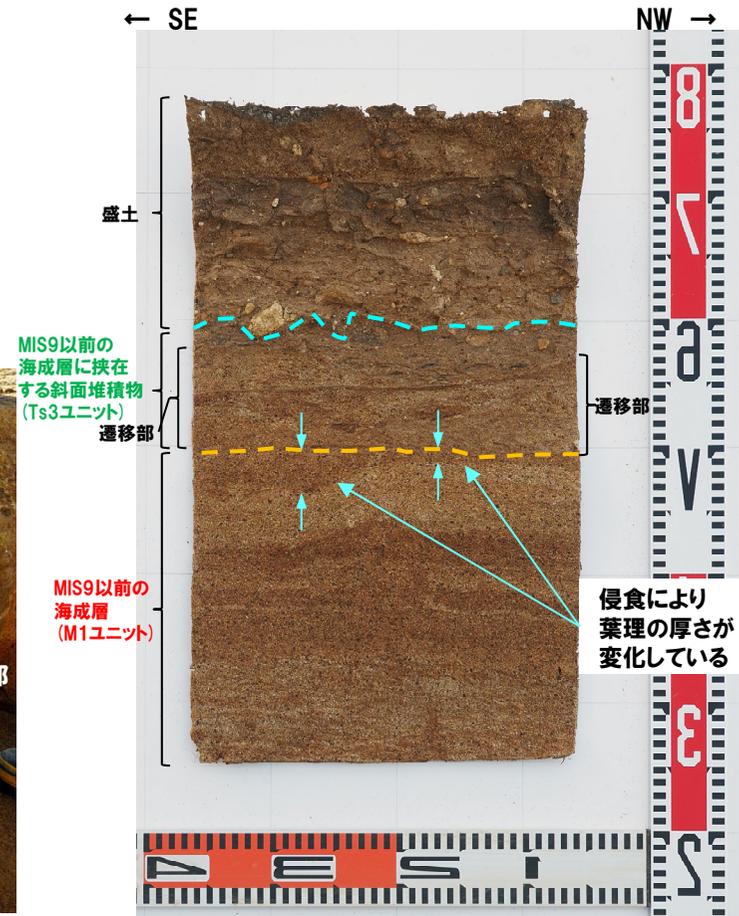
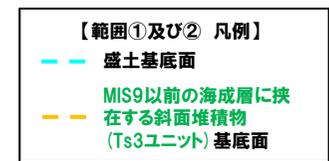
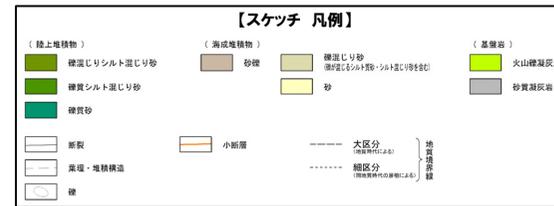


開削調査箇所(南側) 南側壁面の背後法面 壁面スケッチ (令和2年越冬後)

Ts3ユニットの 侵食面付近において 堆積構造の擾乱は 認められない



範囲①拡大写真(側溝設置跡 海側壁面(北側)(解釈線あり))



範囲②拡大写真(はぎとり転写試料 写真(左右反転)(解釈線あり))

## ④開削調査箇所(南側)における検討(3/3)



範囲①拡大写真(側溝設置跡 海側壁面(北側)(解釈線なし))



範囲②拡大写真(はぎとり転写試料 写真(左右反転)(解釈線なし))

余白