

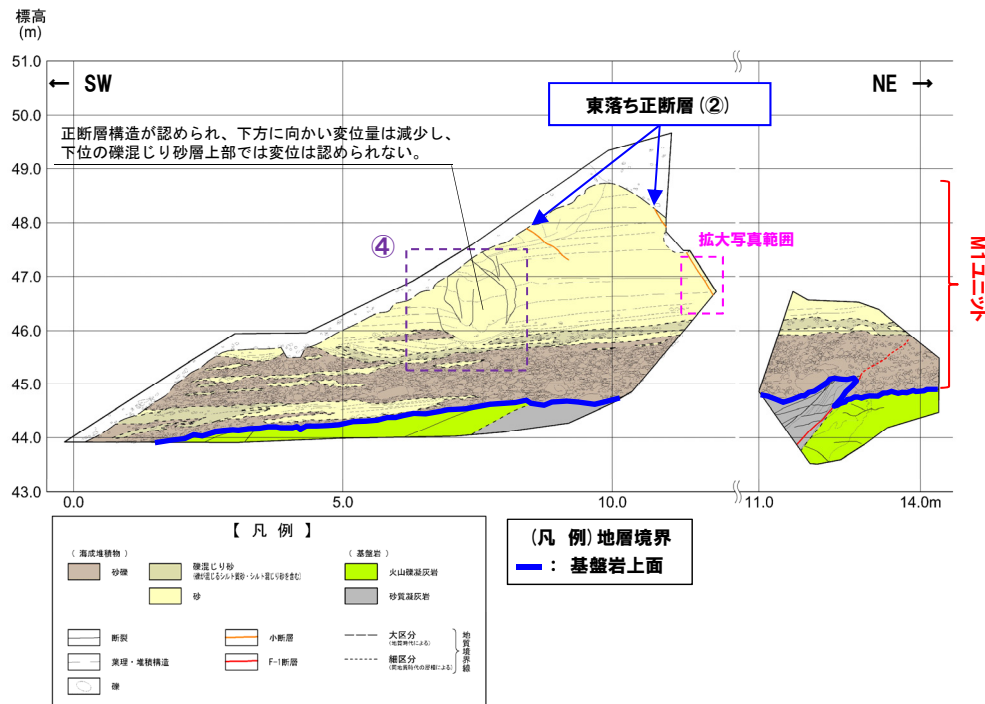
## (2)開削調査箇所(南側)

### ①F-1断層とその上位に認められる小断層の関連性(4/7)

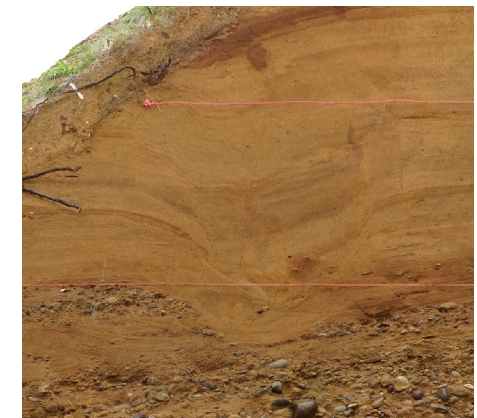
一部修正 (R2/4/16審査会合)

(前頁からの続き)

- 小断層はF-1断層の上盤側に発達し、南側壁面においても同様のものが認められることを踏まえると、撓曲構造の形成に起因する副次的なものと考えられる。
- これらのことから、小断層は、F-1断層に関連するものと判断される。



開削調査箇所(南側) 北側壁面スケッチ



- なお、F-1断層の上盤側に認められる正断層構造を形成する断裂群(上図④の範囲)は、砂層中のみに認められ、以下のとおり、露頭下方から系統性をもって連続する状況ではないことから、地震等の何らかの外的作用による砂層の側方移動に伴い、形成されたものと推定される。
  - ・下方に向かい変位量が減少する。
  - ・下位の礫混じり砂層上部では変位が認められない。

## (2)開削調査箇所(南側)

## ①F-1断層とその上位に認められる小断層の関連性(5/7)

一部修正(H31/2/22審査会合)

○F-1断層と小断層は連続しないが、両断層の関連性を検討するため、断層模型実験に関する文献である上田・谷(1999)「基盤の断層変位に伴う第四紀層及び地表の変形状況の検討(その2)-正断層, 逆断層模型実験-」をレビューした。

## 【研究目的】

○基盤の正, 逆断層変位に伴う第四紀層(特に砂礫層)及び地表の変形状況が、基盤の断層型, 断層傾斜角, 断層変位量, 第四紀層の層厚等の違いにより、どのように変化するかを断層模型実験により解明する。

## 【研究概要】

○高さ2m, 幅0.4mの土槽を用い, 上記条件を変えて変形状況の解析を実施。  
○また, 地震断層と対比し, 縦ずれ断層の発達過程, 形状の特徴, 断層型による地盤表面到達位置の違い, 断層型と地盤表面出現時の変位量との関係等について検討を実施。

## 【模型実験結果】

○未固結層の基底面に逆断層変位が生じた場合, 未固結層中では剪断層※が形成され, 剪断層は下部から未固結層上部へ向って成長する。  
○剪断層は底盤の断層傾斜角が $45^{\circ}$  ~  $90^{\circ}$  の場合, 上に凸の曲線状となり, 底盤の断層より低角度で成長する。  
○その後, 基盤の断層変位をまかなうように, 底盤の断層の延長方向に新たな高角度の剪断層が発生する。

※地盤の破壊において発生するすべり面は, 実際には地盤を構成する粒子の大きさの20倍程度の厚さを有し, 歪みが周囲よりも極端に集中した帯状の層である。この層を剪断層という。

## 【次頁実験仕様】

地盤材料: 豊浦標準砂

・比重( $G_s$ ): 2.635・50%粒径( $D_{50}$ ): 0.17mm・密度( $\rho_d$ ): 1.60g/cm<sup>3</sup>・間隙比( $e$ ): 0.64

土槽の幅×長さ: 400mm×1,550mm

層厚: 400mm

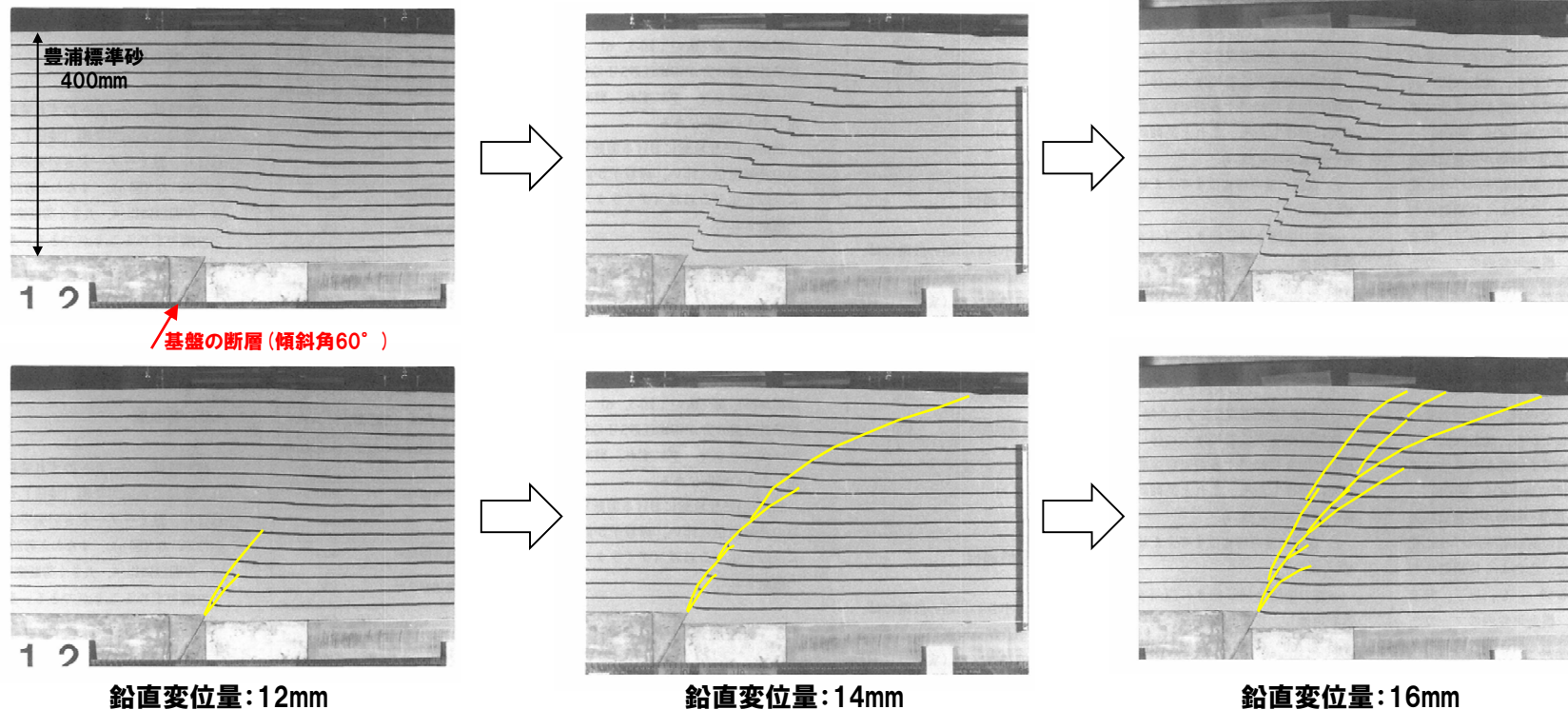
断層傾斜角( $\alpha$ ):  $60^{\circ}$ 

変位方向: 逆断層変位

## (2)開削調査箇所(南側)

## ①F-1断層とその上位に認められる小断層の関連性(6/7)

一部修正(H31/2/22審査会合)



逆断層模型実験結果(断層傾斜角:60°の例)(上田・谷(1999)に加筆)

○第四紀層の基底面に逆断層変位が生じた場合、第四紀層中の断層は雁行配列し、基盤の断層変位をまかなうように同一な変位方向の断層が互いにラップして発達する。

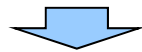
○開削調査箇所(南側)に認められる小断層のうち、西上がり逆断層センスのものは、F-1断層の延長方向に雁行状に発達しており、上田・谷(1999)の逆断層模型実験結果と調和的である。

## (2)開削調査箇所(南側)

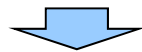
## ①F-1断層とその上位に認められる小断層の関連性(7/7)

一部修正(H31/2/22審査会合)

- 逆断層付近に認められる地質構造を確認するため、加藤(2010)「地震と活断層の科学(普及版)」をレビューした。
- 地震逆断層の例としては、陸羽地震の千屋断層があげられるとされている。
- その模式断面(図2.43)では、主断層である逆断層の上盤側に地形的な高まり(バルジ)がみられ、副次的な正断層群が発達しているとされている。
- これは、Friedmanほか(1976)が石灰岩と砂岩の人工的な薄互層試料を封圧下で変形させた実験結果(図2.44)とよく一致し、千屋断層の地下応力状態や、深部での断層面の高角化なども同様であろうと推定される(両者の異なる点は、千屋断層における共役な副次的逆断層の存在であるが、これは実験条件を変えれば生じうると考えられる。)とされている。



- 逆断層の上盤側には、断層変位に伴う地形的な高まり(バルジ)及び撓曲構造が認められ、これらに起因する小断層が発達する。



- 開削調査箇所(南側)に認められる小断層のうち、東上がり逆断層センス及び東落ち正断層センスのものは、F-1断層の上盤側において、西上りの撓曲構造の直上に発達していることから、加藤(2010)を踏まえると、撓曲構造の形成に起因する副次的なものと考えられる。

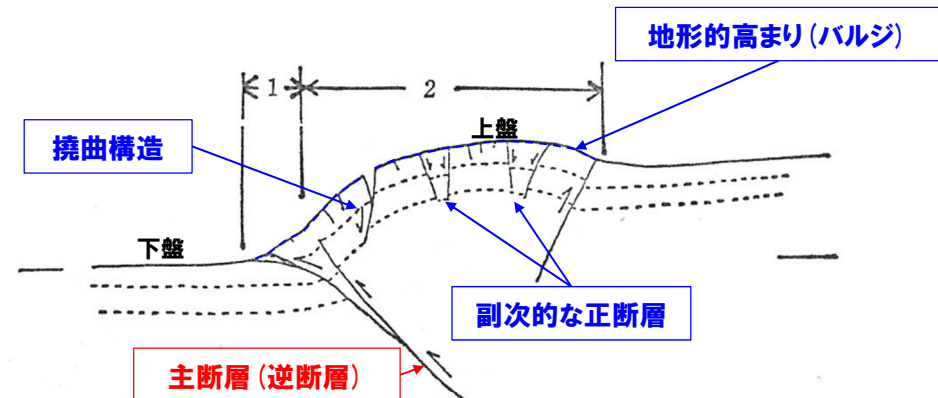


図 2.43 陸羽地震の地震断層をモデルとした逆断層の模式断面図(松田ほか, 1980)

1: 短縮部, 2: 表層の伸張部.

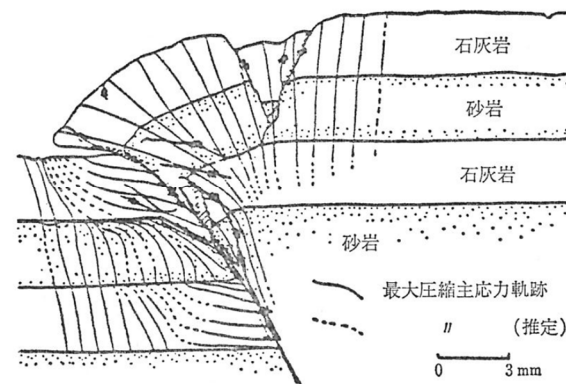


図 2.44 faulted drape fold の実験結果の一例(Friedman, et al., 1976)

65°の角度で切断した砂岩を封圧1 kbで、 $10^{-4}$  cm/s の速度で軸方向から押し、切断面に沿って0.63 cm すべらせたときの、上盤層(被覆層)の破壊様式と応力像。

余白

## (2)開削調査箇所(南側)

## ②F-1断層と小断層の累積性(1/9)

一部修正(R1/11/7審査会合)

- F-1断層及び小断層の変位・変形の累積性について確認するため、南側壁面※1における見かけ鉛直変位・変形量を計測した。
- 見かけ鉛直変位・変形量は、断層を挟んだ砂層中の葉理の上面等を計測基準面とし、その高度差を計測した。
- M1ユニットの砂層中に認められる数条の小断層については、露頭の広範囲に分布しており、見かけ鉛直変位・変形量の計測基準面の設定が難しいことから、各小断層の見かけ鉛直変位量を計測した。
- 上記の見かけ鉛直変位・変形量及び見かけ鉛直変位量の計測箇所の状況について、次頁～P485に示す。
- なお、小断層の一部は、砂層中において消滅しているが、その状況についても、P486に示す。

## &lt;計測結果(次頁参照)&gt;

見かけ鉛直変位・変形量

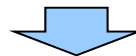
- 基盤岩上面(a) : 約33cm
- M1ユニット下部の礫混じり砂層の上面(b) : 計約29cm (約21cm + 約8cm)

見かけ鉛直変位量

- M1ユニットの砂層中の葉理のスレ※2(c) : 計約19.5～22.5cm  
(①約3cm, ②約3cm, ③約3cm, ④約3～4cm, ⑤約7.5～9.5cm)

- 基盤岩上面に認められるF-1断層の見かけ鉛直変位・変形量及びM1ユニット下部の礫混じり砂層の上面における見かけ鉛直変位・変形量は同程度である。
- M1ユニットの砂層中の小断層の見かけ鉛直変位量の総和(約19.5～22.5cm)は、下方のF-1断層及び小断層の見かけ鉛直変位・変形量(約29～33cm)と比較して小さいものの、M1ユニット下部の砂礫層には撓曲構造が認められることを踏まえると、M1ユニットの砂層も変形を受けているものと考えられることから、鉛直変位・変形量としては、下方の見かけ鉛直変位・変形量と大きな差はないものと考えられる。
- なお、M1ユニットの砂層における変形の検討については、P488～P489参照。

※1 北側壁面は、改変により一部消失しており、小断層の連続を確認できないことから、見かけ鉛直変位・変形量の計測は実施していない。  
 ※2 小断層のうち、西上がり逆断層の見かけ鉛直変位量を記載。

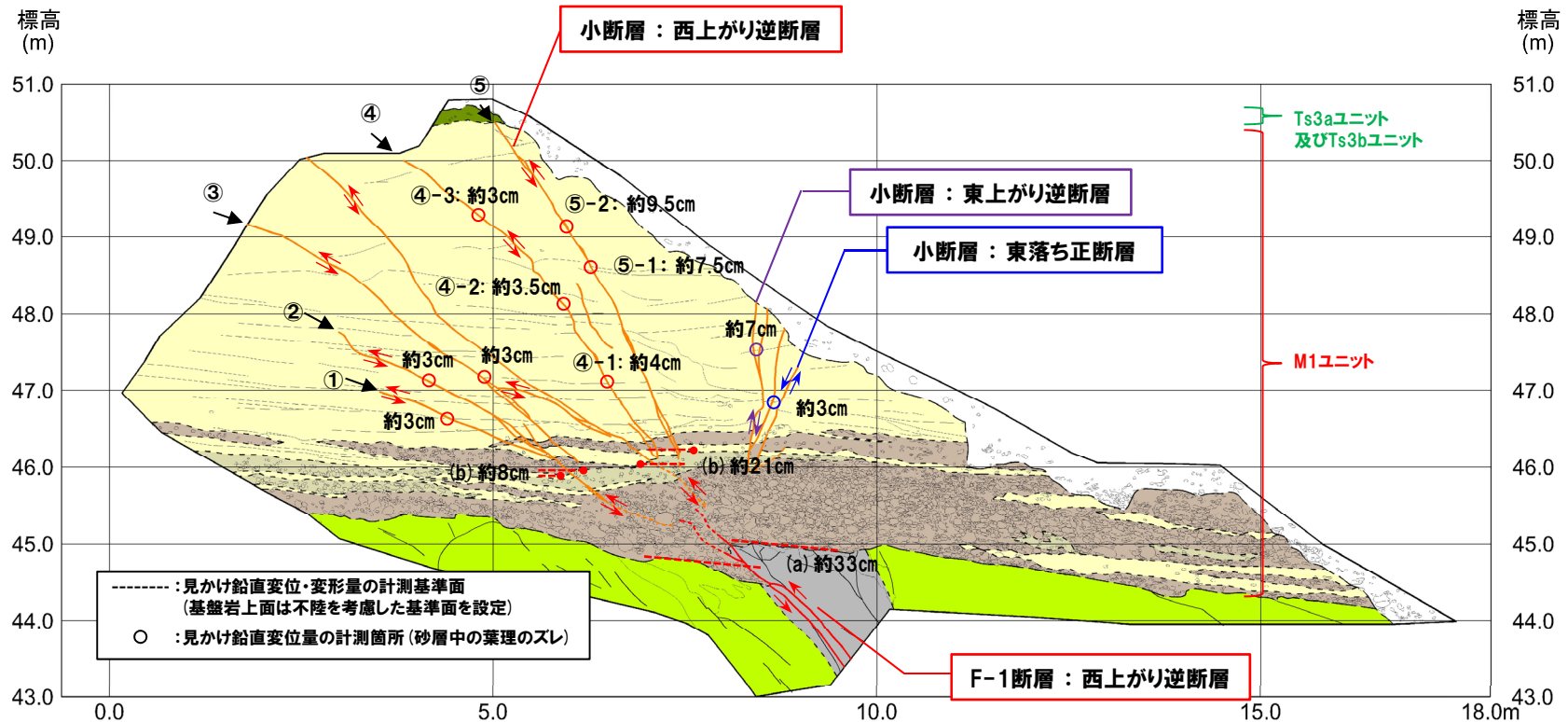
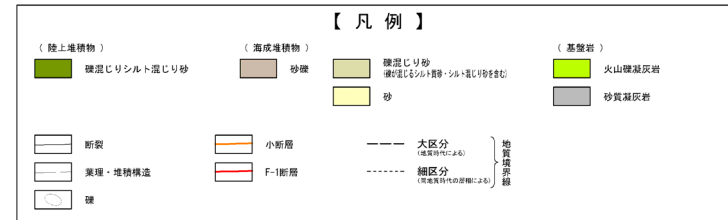


- 小断層は、F-1断層に関連することを踏まえると、F-1断層及び小断層に変位・変形量の累積は認められないものと判断される。

(2)開削調査箇所(南側)

②F-1断層と小断層の累積性(2/9)

一部修正(R1/11/7審査会合)

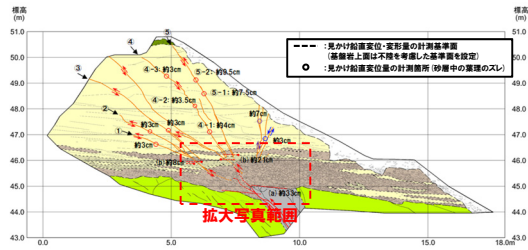


開削調査箇所(南側)南側壁面 スケッチ

# (2)開削調査箇所(南側)

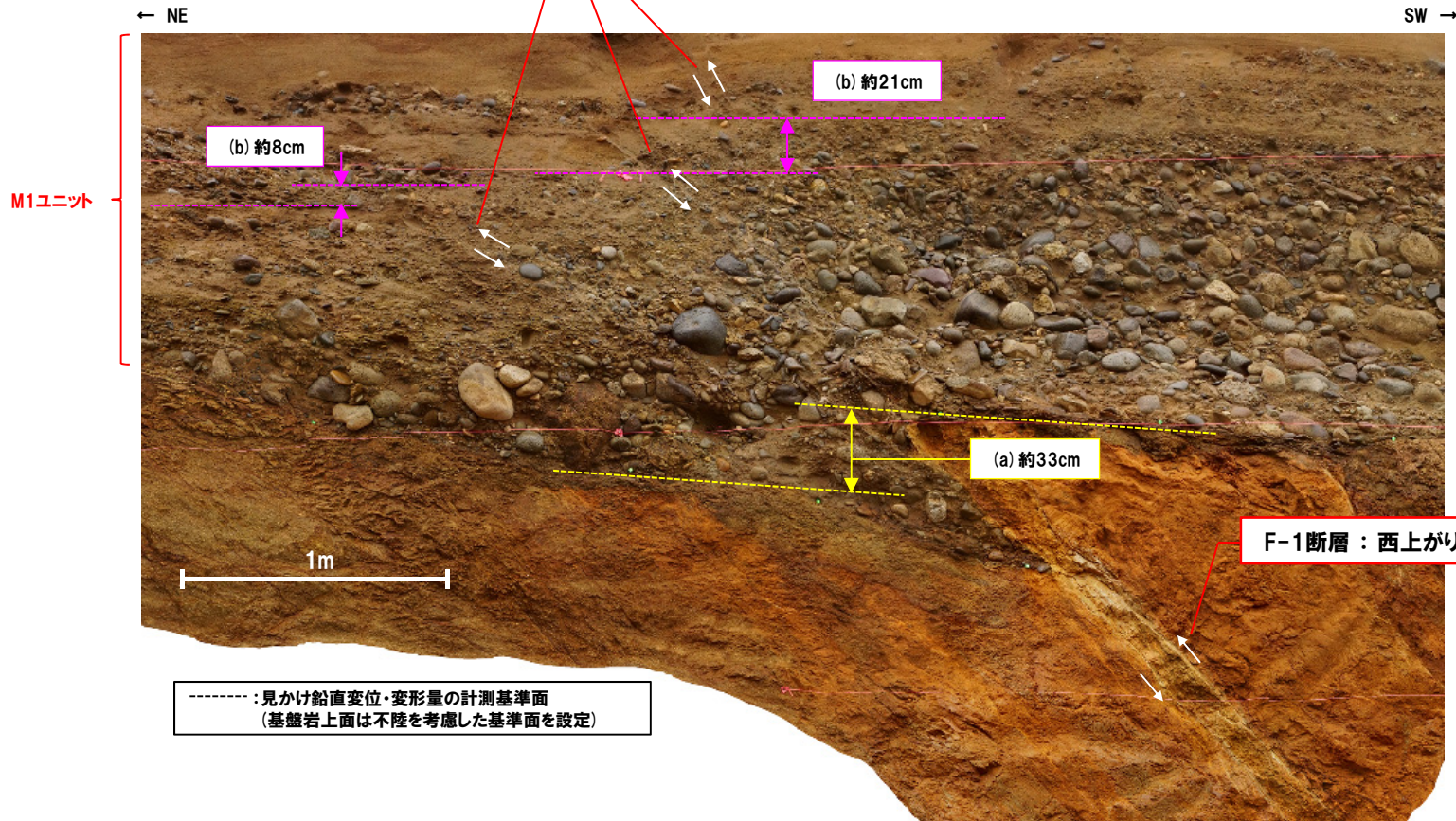
## ②F-1断層と小断層の累積性 (3/9)

一部修正 (R1/11/7審査会合)



位置図

小断層：西上がり逆断層



開削調査箇所(南側) 南側壁面 拡大写真(見かけ鉛直変位・変形量計測箇所)

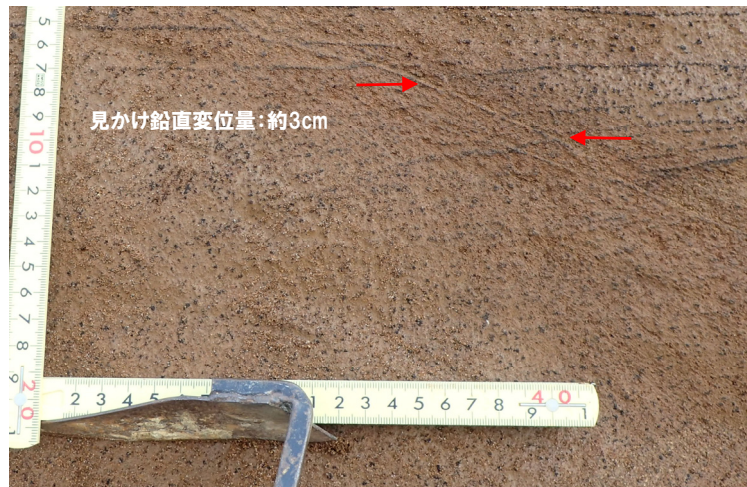
F-1断層



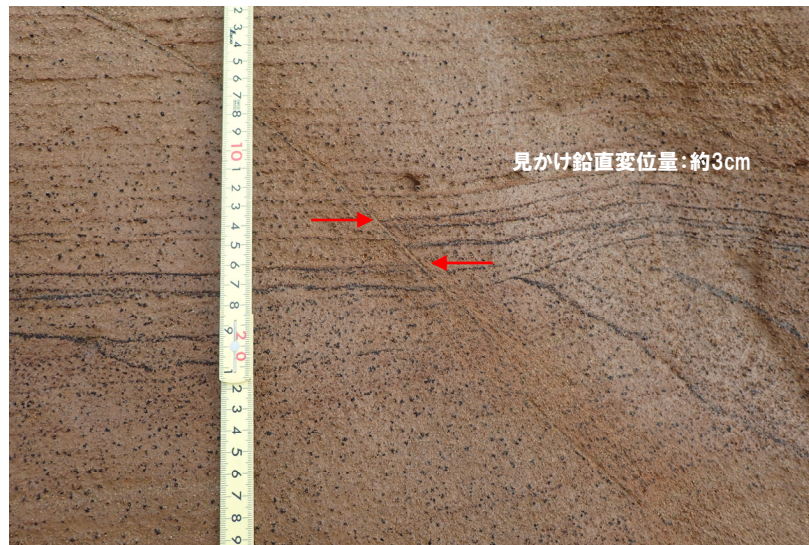
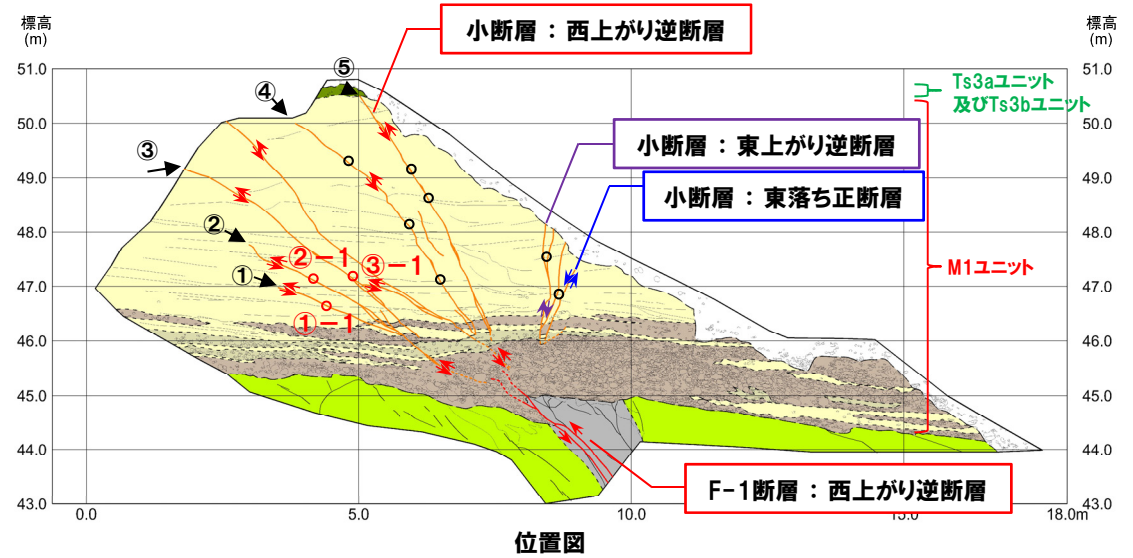
# (2)開削調査箇所(南側)

## ②F-1断層と小断層の累積性(4/9)

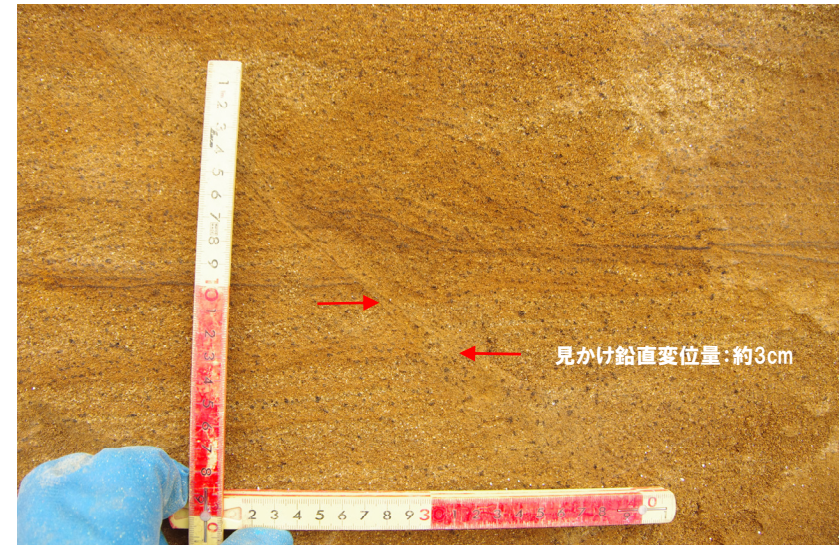
一部修正(R2/4/16審査会合)



①-1 見かけ鉛直変位量計測箇所



②-1 見かけ鉛直変位量計測箇所

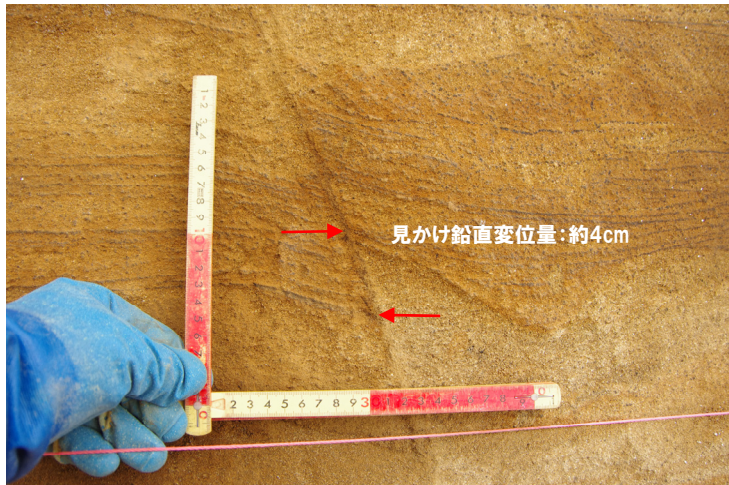


③-1 見かけ鉛直変位量計測箇所

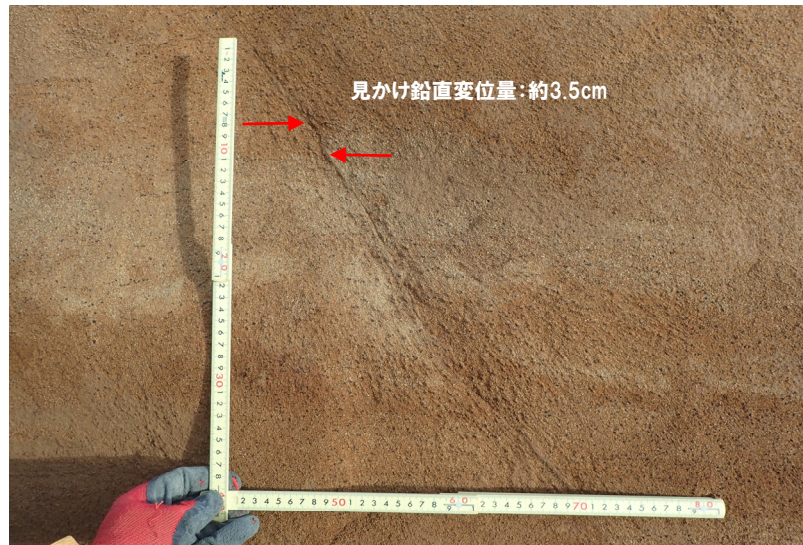
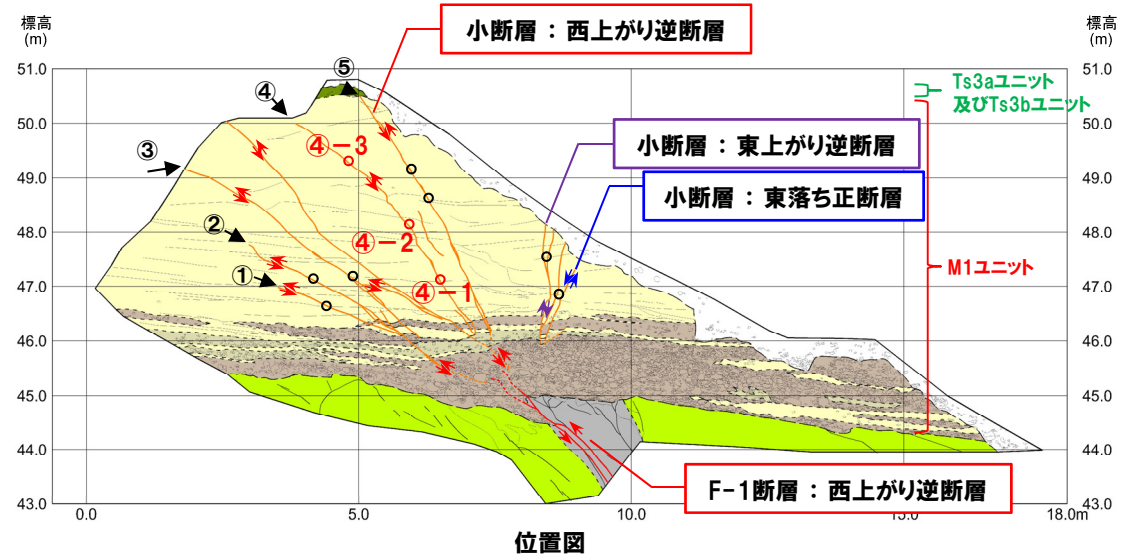
(2)開削調査箇所(南側)

②F-1断層と小断層の累積性 (5/9)

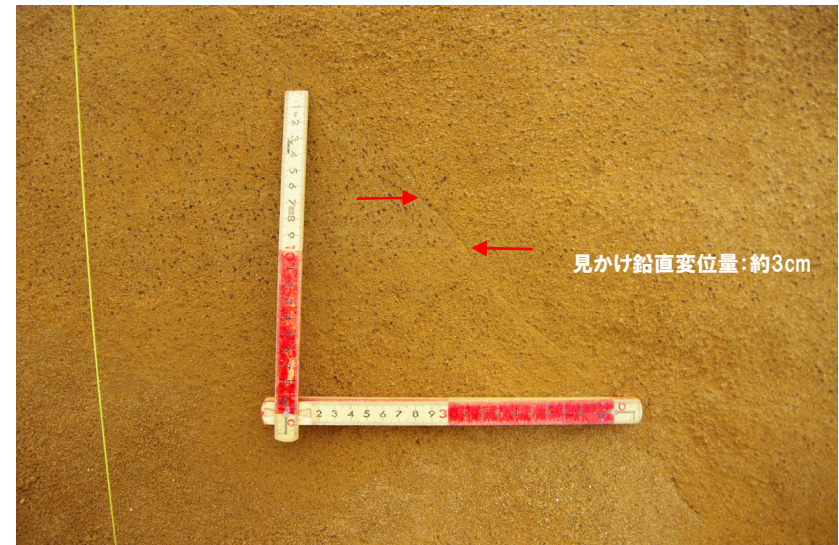
一部修正 (R2/4/16審査会合)



④-1 見かけ鉛直変位量計測箇所



④-2 見かけ鉛直変位量計測箇所

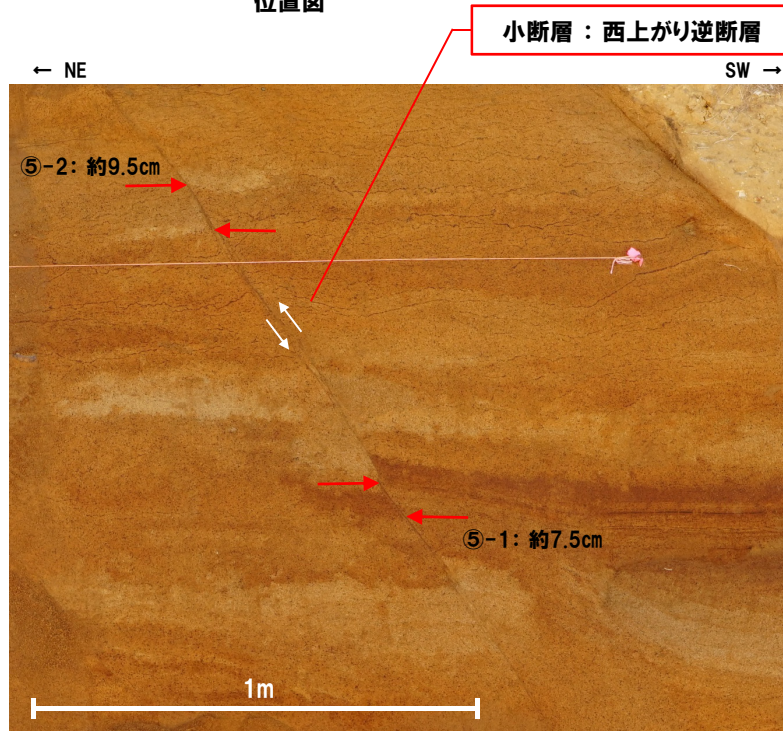
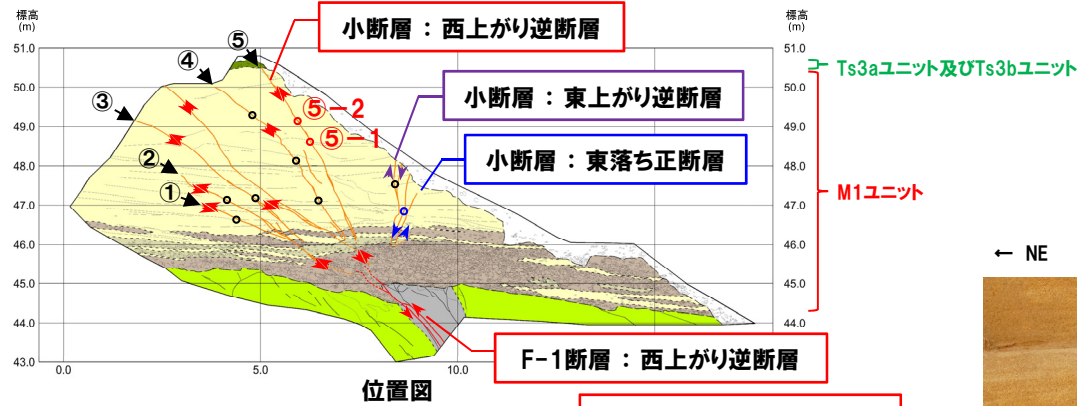


④-3 見かけ鉛直変位量計測箇所

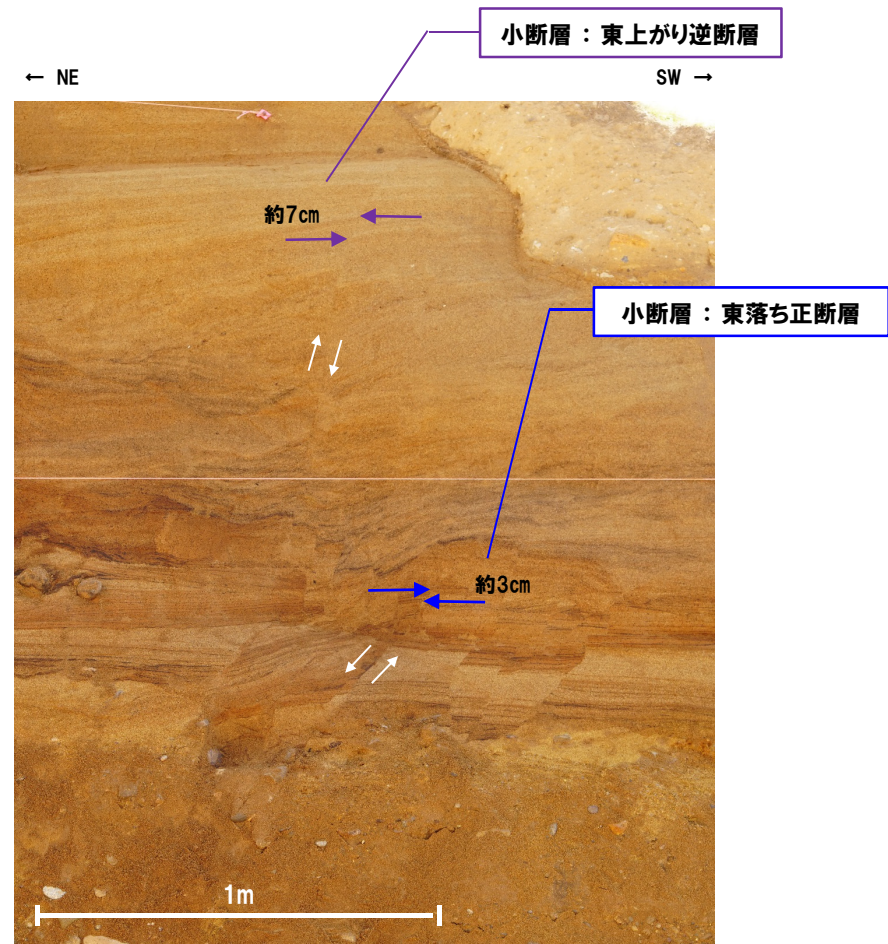
# (2)開削調査箇所(南側)

## ②F-1断層と小断層の累積性 (6/9)

一部修正 (R1/11/7審査会合)



⑤ 見かけ鉛直変位量計測箇所

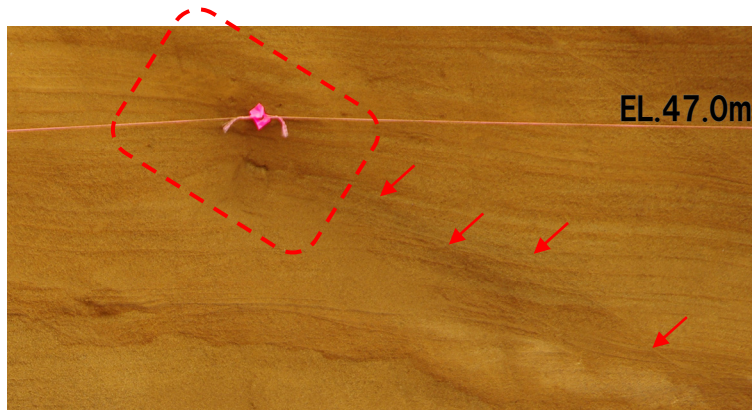


東上がり逆断層及び東落ち正断層センスの小断層 見かけ鉛直変位量計測箇所

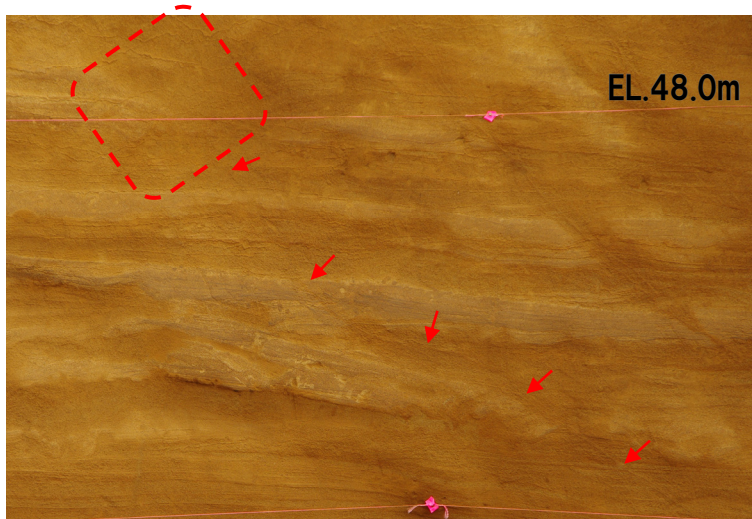
# (2)開削調査箇所(南側)

## ②F-1断層と小断層の累積性 (7/9)

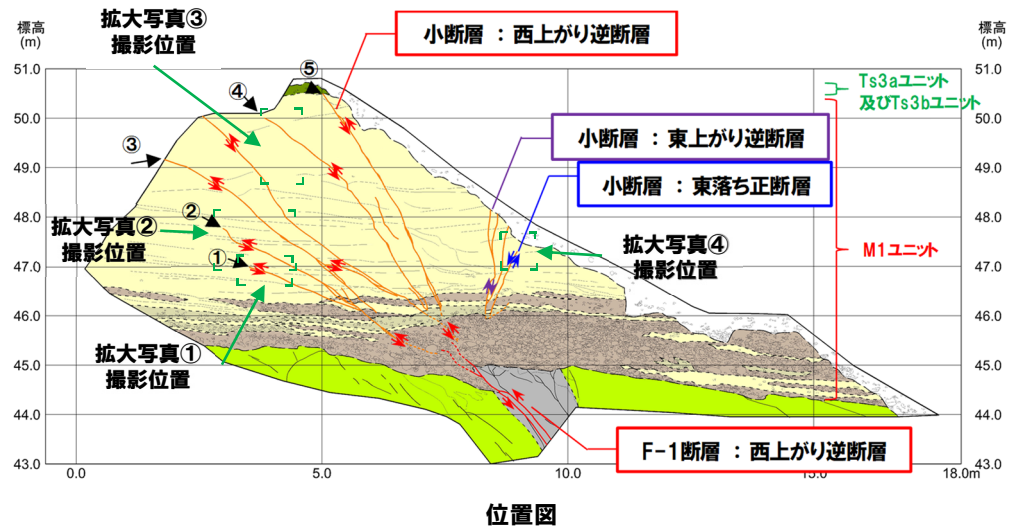
一部修正 (R2/4/16審査会合)



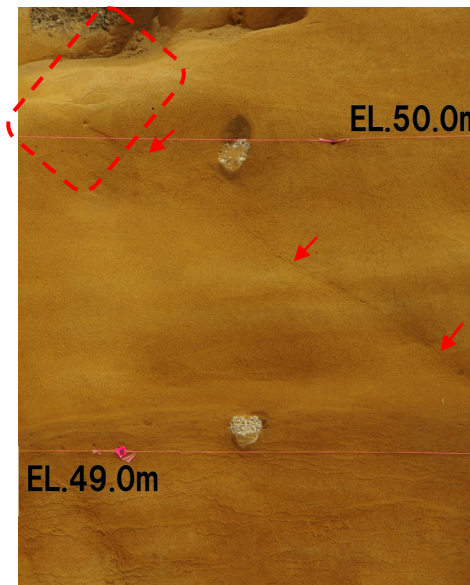
拡大写真① (①小断層延長部)



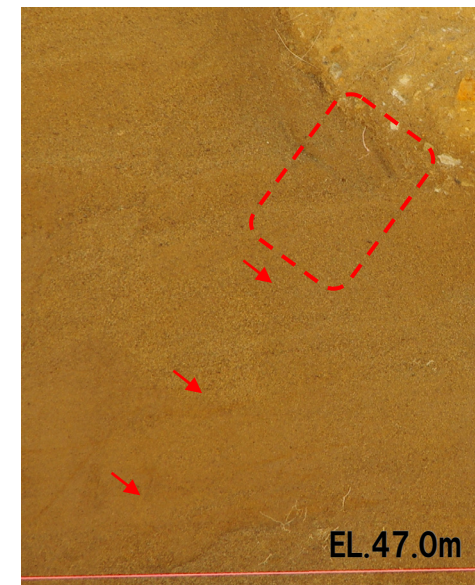
拡大写真② (②小断層延長部)



位置図



拡大写真③ (④小断層延長部)



拡大写真④ (東落ち正断層センスの小断層延長部)

- 凡例
- ← : 小断層
  - - - : 小断層消滅箇所

余白

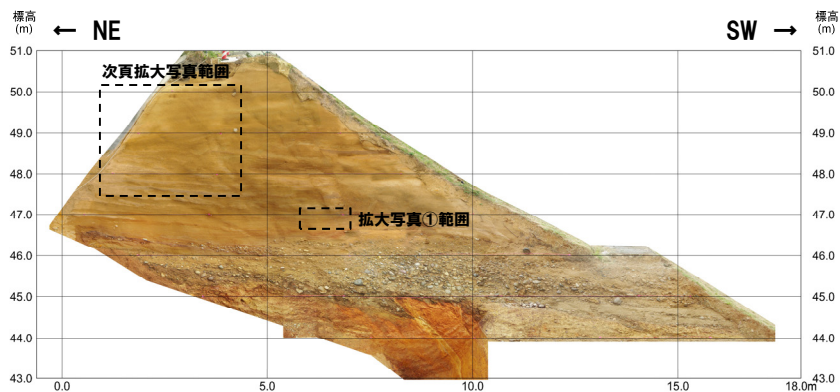
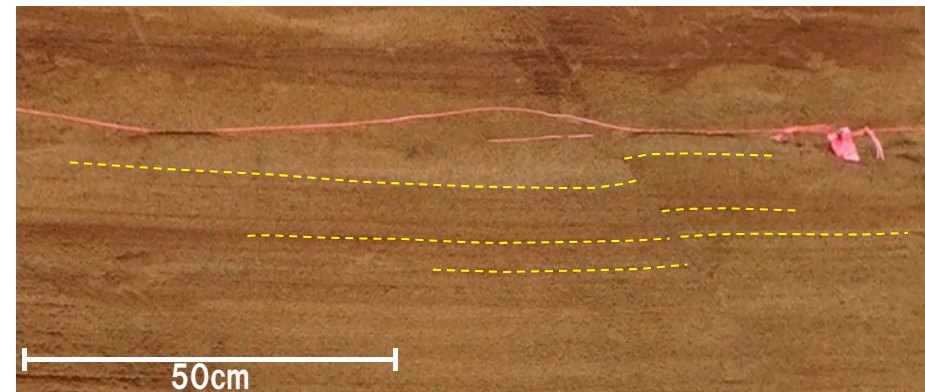
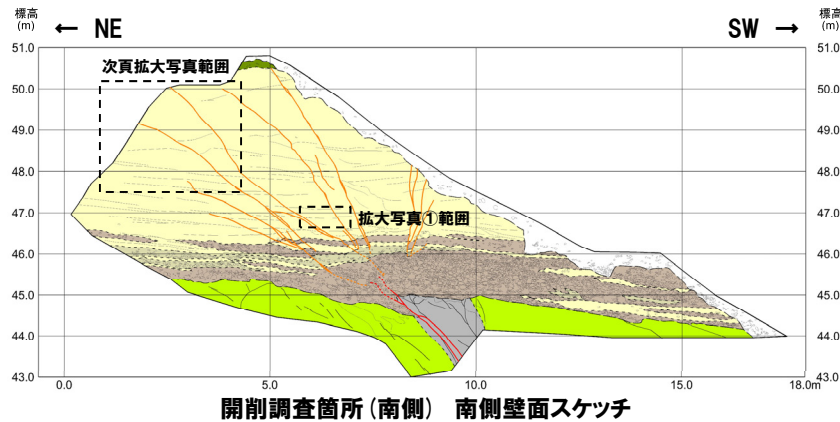
(2)開削調査箇所(南側)

②F-1断層と小断層の累積性(8/9)

一部修正(R2/4/16審査会合)

【M1ユニットの砂層における変形の検討】

- M1ユニットの砂層中には、小断層による変位だけでなく、変形を受けている可能性が示唆される葉理が認められる(拡大写真①参照)。
- また、標高約49mの砂層中には、撓曲様の葉理(葉理(b))が認められる(次頁拡大写真参照)。
- 葉理(a)は、下位の葉理と平行であり、直線的であるため、変形を受けていないと考えられる。
- 葉理(b)は、葉理(a)に比べ、傾斜が変化する。
- 葉理(b)については、露頭下方からの系統性が認められないことから、堆積構造と考えられるが、小断層が当該箇所付近を通るため、変形を受けている可能性も示唆される。



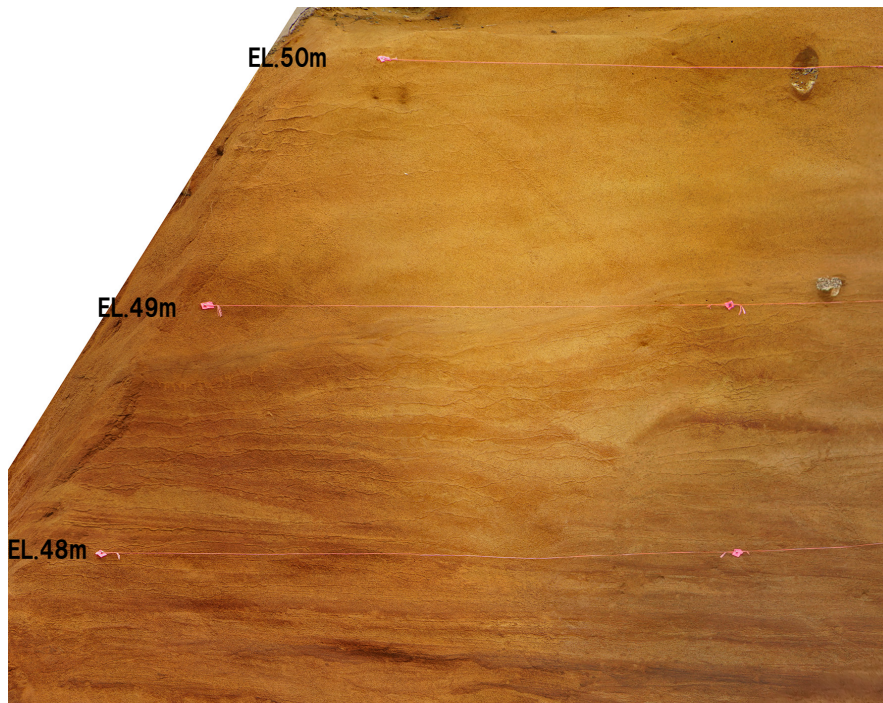
開削調査箇所(南側) 南側壁面写真

拡大写真①(解釈線なし)

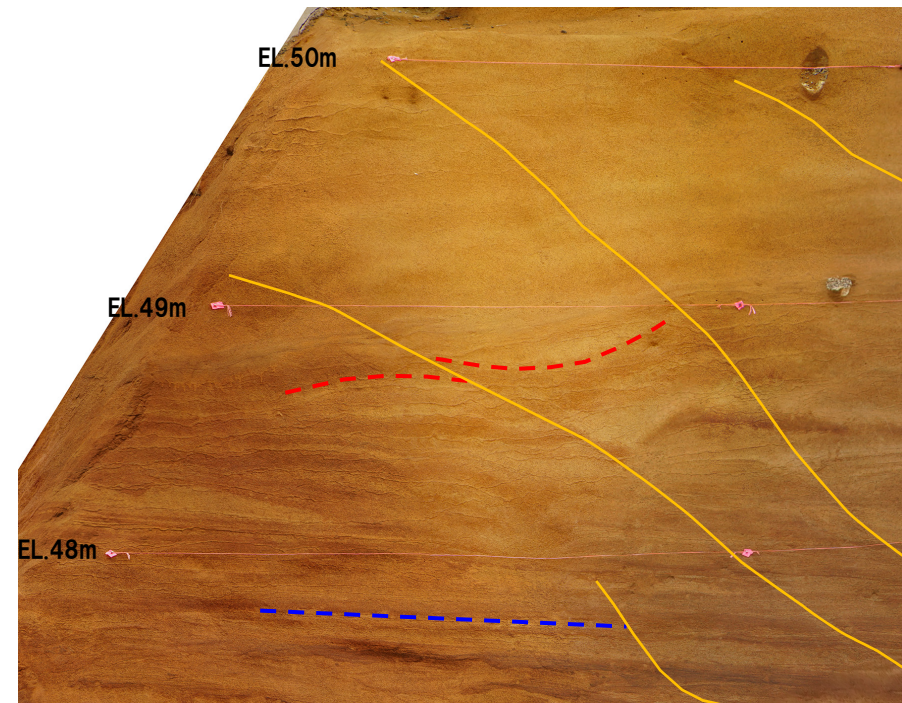
## (2)開削調査箇所(南側)

## ②F-1断層と小断層の累積性(9/9)

一部修正(R2/4/16審査会合)



開削調査箇所(南側)南側壁面 拡大写真(解釈線なし)



— : 小断層

- - - : 変形を受けていない葉理 (a)

- - - : 撓曲様の葉理 (b)

開削調査箇所(南側)南側壁面 拡大写真(解釈線あり)

## (2)開削調査箇所(南側)

## ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(1/6)-

一部修正(R2/8/7審査会合)

## 【検討方針】

- 上田・谷(1999)によると、未固結層の基底面に逆断層変位が生じた場合、未固結層中に形成される剪断層は、下部から上部へ向って成長するが、まず底盤の断層より低角度で成長し、その後、底盤の断層変位をまかなうように、底盤の断層の延長方向に新たに高角度のものが発生するとされている(P476~P477参照)。
- このため、最も高角度で上方まで延長が認められる西上がり逆断層の上端付近において、はぎとり転写試料を用いた地質構造の観察及びブロック試料を用いた研磨片観察により、小断層上端部とTs3a及びTs3bユニットとの関係を明確にする。
- 加えて、ブロック試料を用いたX線CT画像観察により、小断層とTs3a及びTs3bユニットの関係を奥行き方向に確認する。
- 開削調査箇所(南側)で実施した小断層上端付近における各種観察項目は、下表のとおり。

開削調査箇所(南側)で実施した小断層上端付近における各種観察項目

調査範囲	観察項目			備考
	はぎとり転写 試料観察	研磨片観察	X線CT画像観察	
南側壁面	○ (P496~P499参照)	○ (P508~P513参照)	○ (P514~P515及び 補足説明資料1.2章参照)	○はぎとり転写試料については、以下の順に作成。 ・はぎとり転写試料1 ・はぎとり転写試料2
海側壁面	○ (P500~P507参照)	-	-	○海側壁面において、南側壁面に認められるF-1断層に関連する小断層の走向方向の連続が認められることから、当該小断層(小断層(a))の観察を実施。

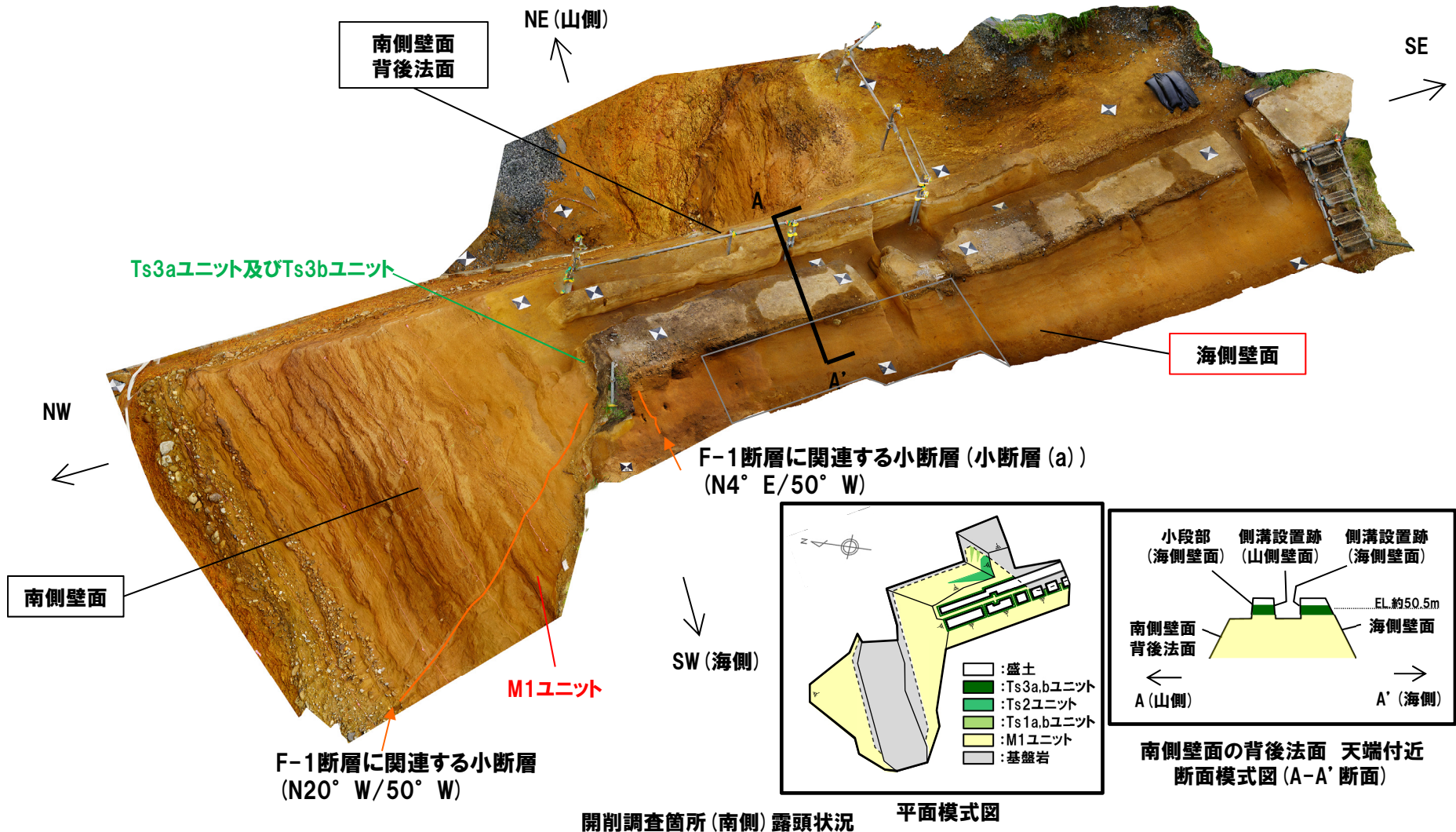
(P492へ続く)



### (2)開削調査箇所(南側)

#### ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(2/6)-

一部修正(R2/8/7審査会合)



## (2)開削調査箇所(南側)

### ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(3/6)-

一部修正(R2/8/7審査会合)

(P490からの続き)

#### 【検討結果】

#### (1) はぎとり転写試料を用いた地質構造の観察結果

(南側壁面はぎとり転写試料1及び2) (P496～P499参照)

○本はぎとり転写試料において、以下の状況を確認した。

- ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3bユニットの基底面直下まで剪断面が連続する。
- ・小断層に見かけ鉛直変位量の減衰は認められない。
- ・Ts3bユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3bユニット中に、剪断面は認められない。

(海側壁面はぎとり転写試料) (P500～P507参照)

○本はぎとり転写試料において、以下の状況を確認した。

- ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3bユニットの基底面直下まで剪断面が連続する。
- ・小断層に見かけ鉛直変位量の減衰は認められない。
- ・Ts3bユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3bユニット中に、剪断面は認められない。

#### (2) ブロック試料を用いた研磨片観察結果(南側壁面) (P508～P513参照)

○本研磨片において、以下の状況を確認した。

- ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3aユニットの基底面直下まで剪断面が連続する。
- ・Ts3aユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3aユニット中に、剪断面は認められない。

○ブロック試料を用いたX線CT画像観察の結果は、以下の状況が認められることから、研磨片観察の結果と調和的である(P514～P515参照)。

- ・Ts3aユニット中に、剪断面は認められない。
- ・Ts3aユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。

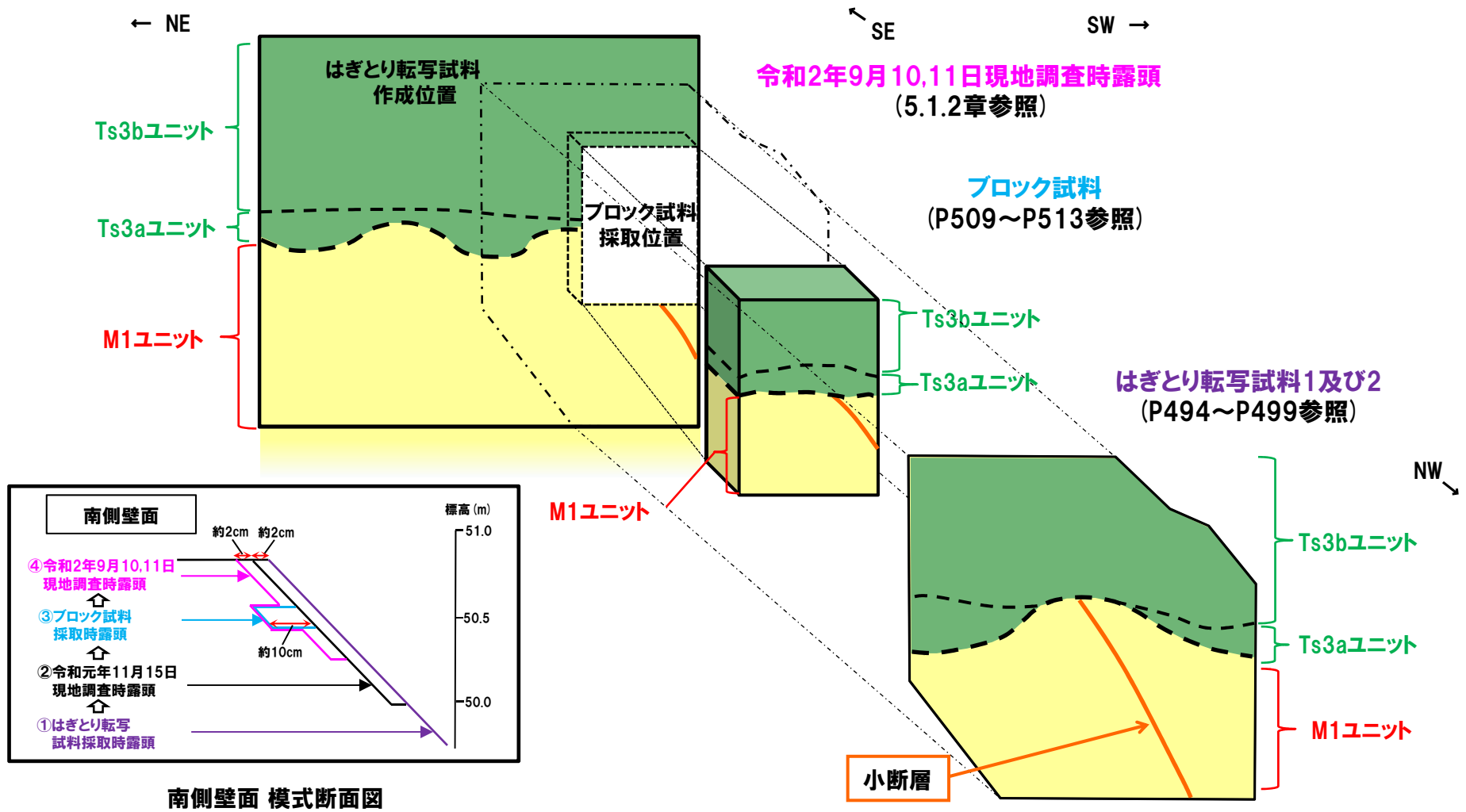
○複数断面において、同様の状況を確認した(詳細は、補足説明資料1.2章参照)。

(P494へ続く)

### (2)開削調査箇所(南側)

#### ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(4/6)-

一部修正 (R2/8/7審査会合)



南側壁面 模式断面図

開削調査箇所(南側) 南側壁面におけるはぎとり転写試料及びブロック試料作成位置図

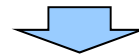
## (2)開削調査箇所(南側)

## ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(5/6) -

一部修正(R2/8/7審査会合)

(P492からの続き)

- はぎとり転写試料及び研磨片観察の結果、以下の状況が認められる。
  - ・F-1断層に関連する小断層は、M1ユニットに変位・変形を与えており、Ts3a及びTs3bユニットの基底面直下まで減衰することなく連続する。
  - ・F-1断層に関連する小断層は、Ts3a及びTs3bユニットに変位・変形を与えていない。
- はぎとり転写試料においては、F-1断層に関連する小断層の上端部は、Ts3bユニットによって侵食されている。
- 一方で、研磨片試料においては、F-1断層に関連する小断層の上端部は、Ts3aユニットによって侵食されている。
- F-1断層に関連する小断層上端部付近では、以下の状況が認められる。
  - ・はぎとり転写試料における小断層の上端の南西側及び北東側において、Ts3aユニットが認められる。
  - ・壁面奥側に位置する研磨片試料において、Ts3aユニットが認められる。
  - ・Ts3aユニットは、南側壁面の背後法面天端付近において連続して分布している(5.1.2章参照)。
- これらのことから、M1ユニットの上位には、Ts3aユニットが分布しており、F-1断層に関連する小断層は、Ts3aユニットによって侵食され、その後Ts3bユニットが、M1ユニット及びTs3aユニットを侵食したものと判断される。

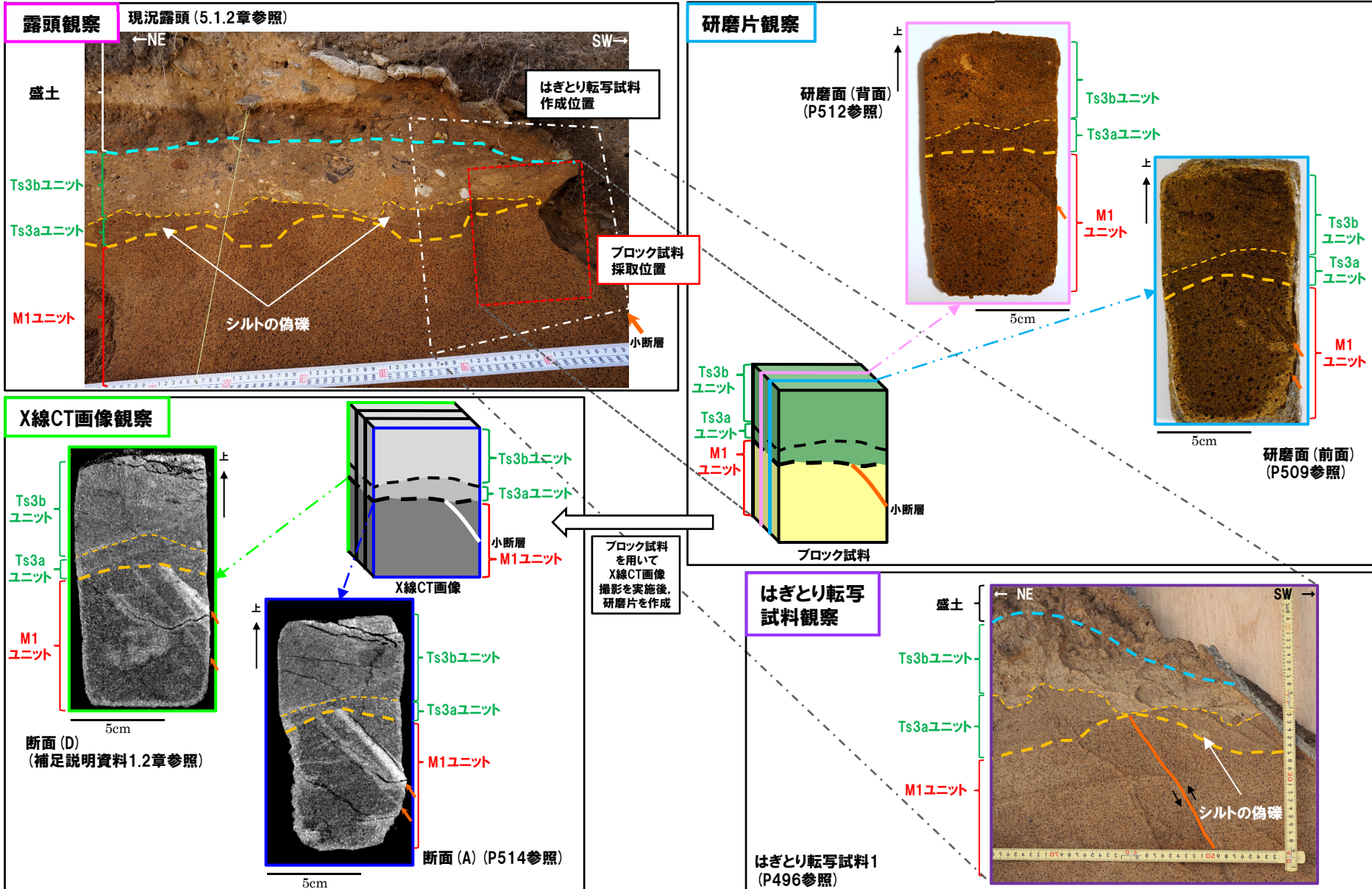


- 小断層の上端部は、以下の状況から、Ts3aユニット及びTs3bユニットに侵食されている。
  - ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3aユニット及びTs3bユニットの基底面直下まで減衰することなく連続する。
  - ・小断層は、Ts3aユニット及びTs3bユニットに変位・変形を与えていない。
  - ・M1ユニットの上面は、Ts3aユニット及びTs3bユニットに侵食されている。

# (2)開削調査箇所(南側)

## ③小断層上端付近の詳細観察-検討方針及び検討結果(6/6)-

一部修正 (R2/8/7審査会合)



## (2)開削調査箇所(南側)

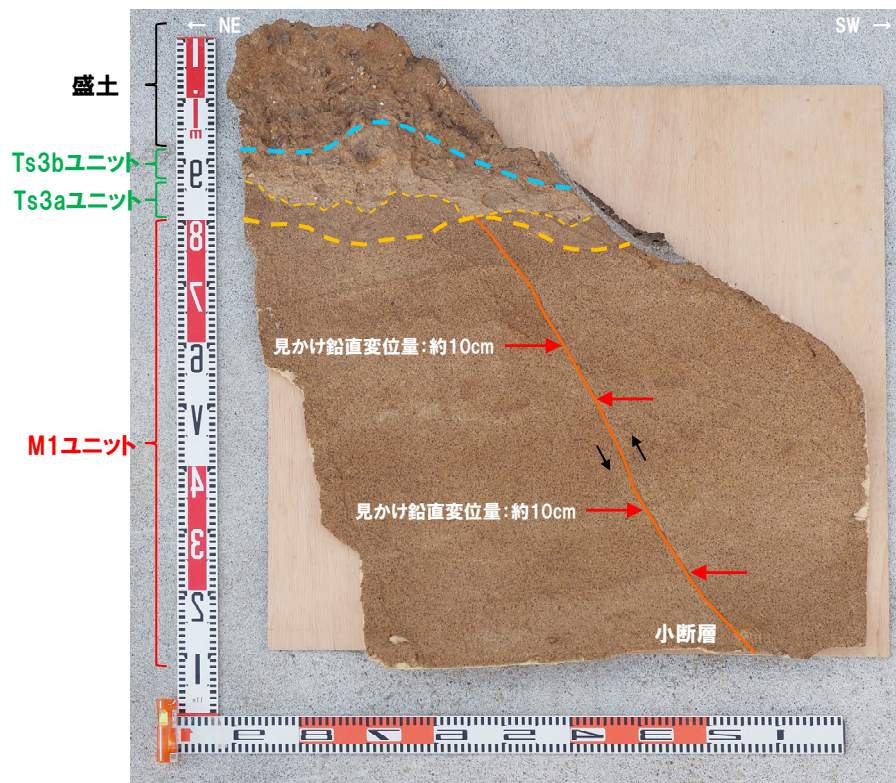
## ③-1 小断層上端付近の詳細観察-南側壁面はぎとり転写試料(1/4)-

一部修正 (R2/4/16審査会合)

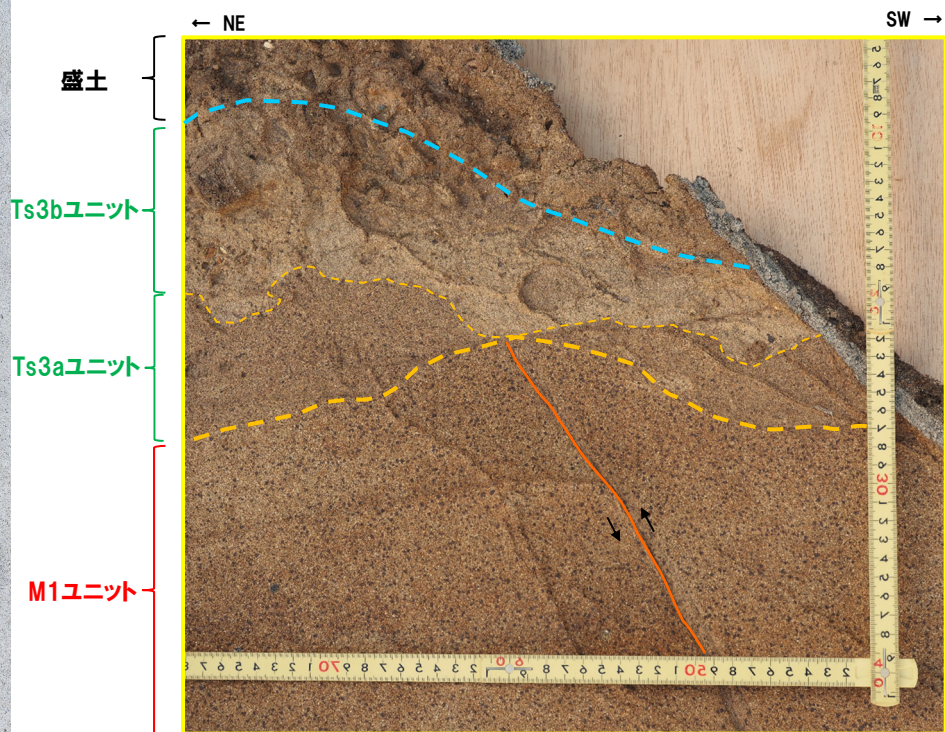
## (南側壁面はぎとり転写試料1)

○本はぎとり転写試料において、以下の状況を確認した。

- ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3bユニットの基底面直下まで剪断面が連続する。
- ・小断層に見かけ鉛直変位量の減衰は認められない。
- ・Ts3bユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3bユニット中に、剪断面は認められない。



はぎとり転写試料1 写真(左右反転)(解釈線あり)



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線あり)

## (2)開削調査箇所(南側)

③-1 小断層上端付近の詳細観察-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)



はぎとり転写試料1 写真(左右反転)(解釈線なし)



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線なし)

## (2)開削調査箇所(南側)

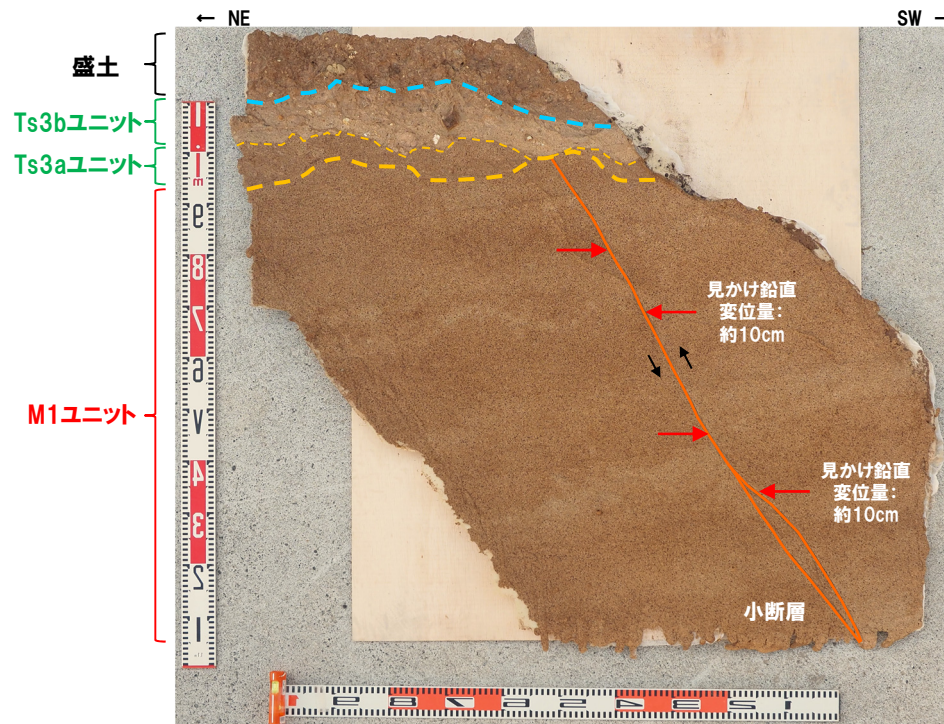
## ③-1 小断層上端付近の詳細観察-南側壁面はぎとり転写試料(3/4) -

一部修正 (R2/4/16審査会合)

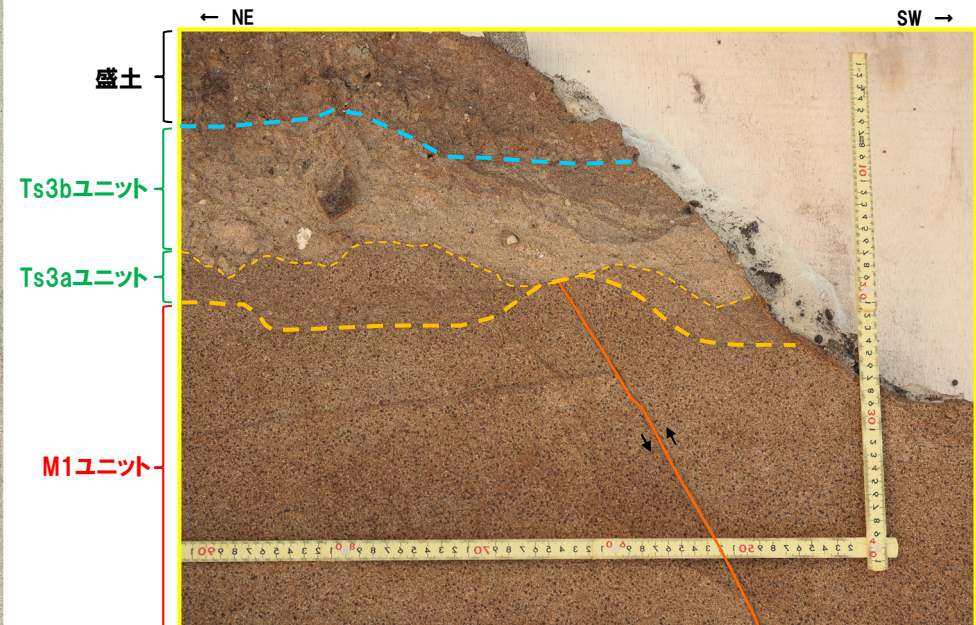
## (南側壁面はぎとり転写試料2)

○本はぎとり転写試料において、以下の状況を確認した。

- ・小断層は、M1ユニットに変位を与えており、Ts3bユニットの基底面直下まで剪断面が連続する。
- ・小断層に見かけ鉛直変位量の減衰は認められない。
- ・Ts3bユニットの基底面に、小断層による変位は認められない。
- ・Ts3bユニット中に、剪断面は認められない。



はぎとり転写試料2 写真(左右反転)(解釈線あり)



小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線あり)



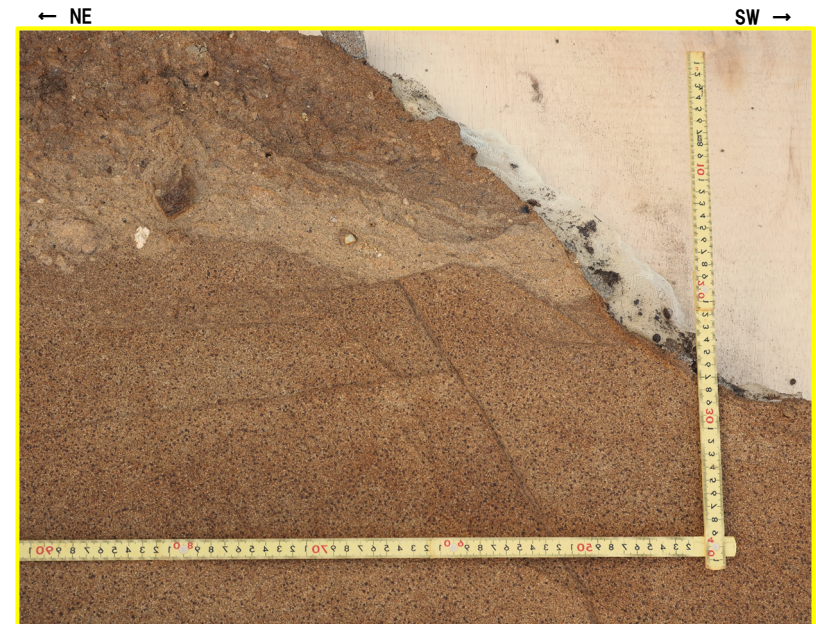
## (2)開削調査箇所(南側)

③-1 小断層上端付近の詳細観察-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2 写真(左右反転)(解釈線なし)



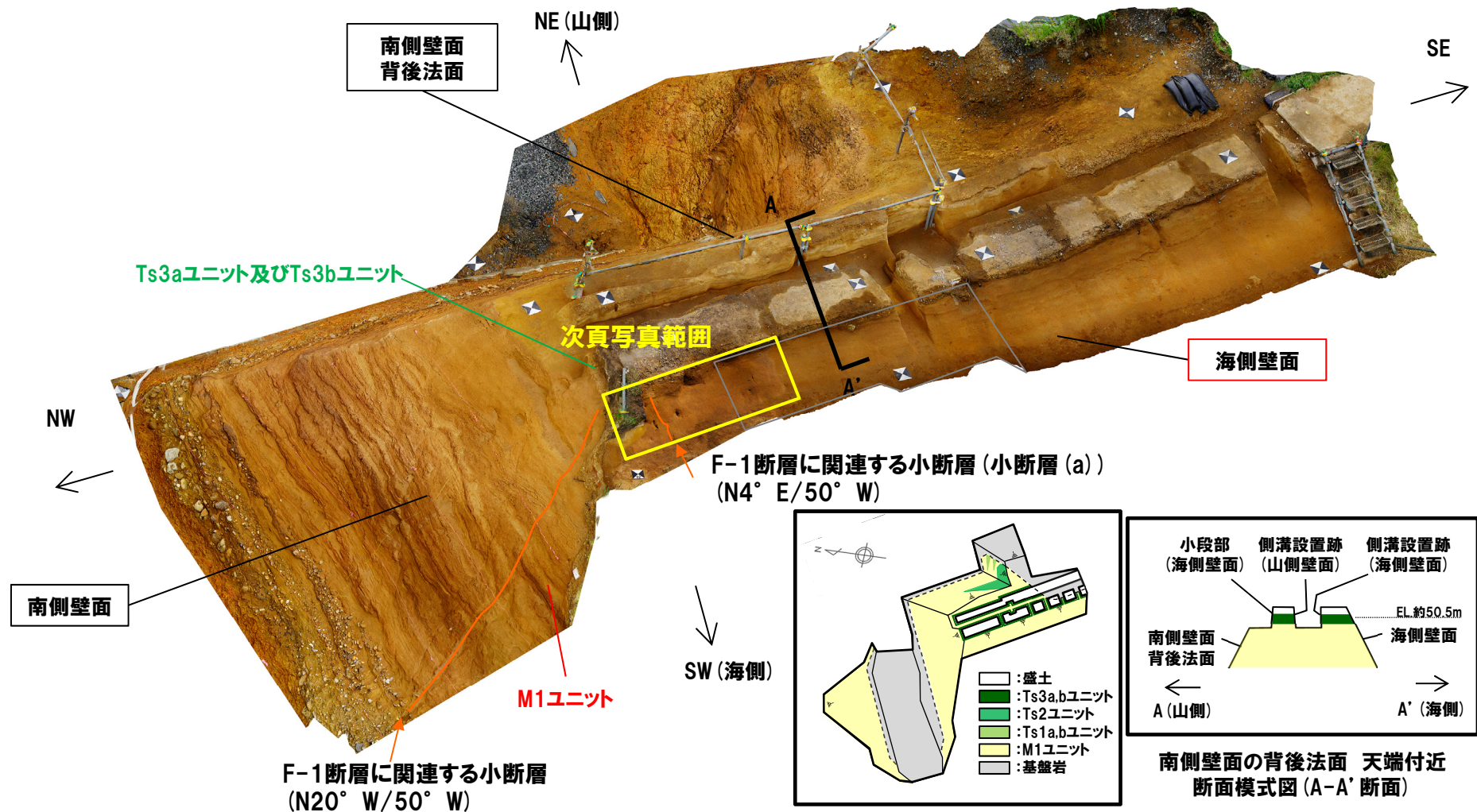
小断層上端付近 拡大写真(左右反転)(解釈線なし)

### (2)開削調査箇所(南側)

#### ③-2 小断層上端付近の詳細観察-海側壁面はぎとり転写試料(1/7) -

一部修正 (R2/8/7審査会合)

○海側壁面において、南側壁面に認められるF-1断層に関連する小断層の走向方向の連続が認められることから、当該小断層(小断層(a))の上端付近については、はぎとり転写試料を用いて詳細観察を実施した。

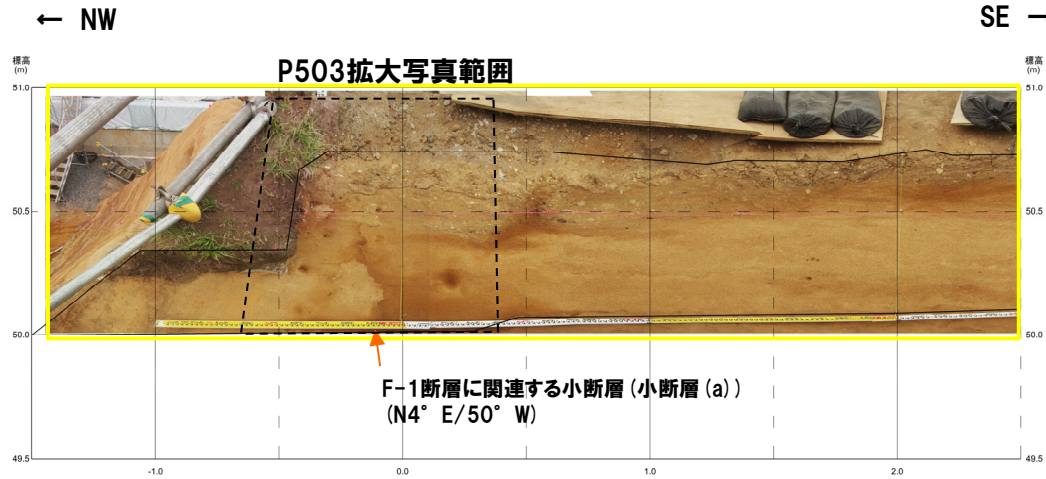


開削調査箇所(南側)露頭状況 平面模式図

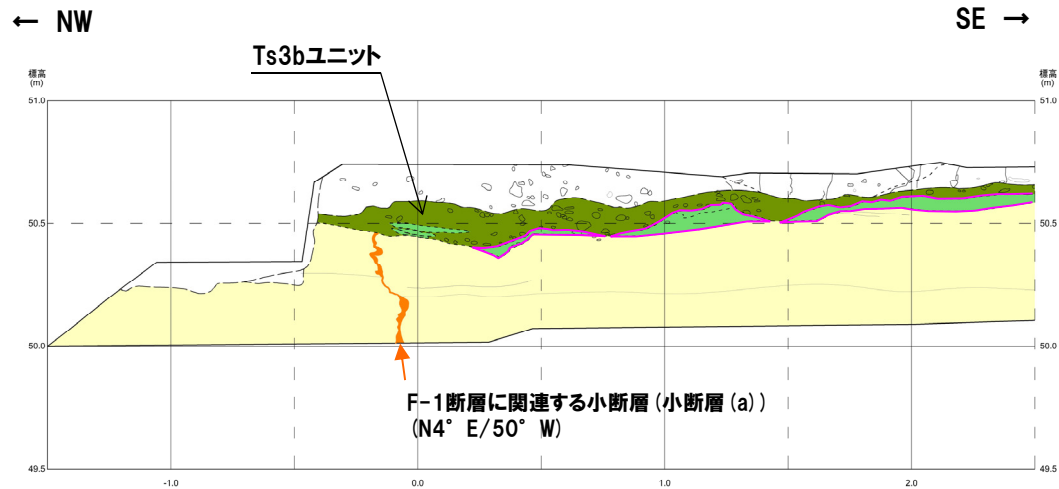
# (2)開削調査箇所(南側)

③-2 小断層上端付近の詳細観察-海側壁面はぎとり転写試料(2/7) -

一部修正 (R2/8/7審査会合)



開削調査箇所(南側)海側壁面写真



開削調査箇所(南側)海側壁面スケッチ

(凡例)  
 : Ts3aユニット

【凡例】			
(陸上堆積物)	(海成堆積物)	断層	地層境界線
<ul style="list-style-type: none"> <li>礫混じりシルト混じり砂</li> <li>シルト混じり砂礫・礫混じりシルト質砂</li> <li>シルト混じり砂</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂</li> <li>基盤岩</li> <li>火山礫凝灰岩</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乗埋・堆積構造</li> <li>礫</li> <li>小断層</li> </ul>	
盛土		--- 大区分 (地質年代による)	}
		- - - 細区分 (地質年代の層相による)	

余白