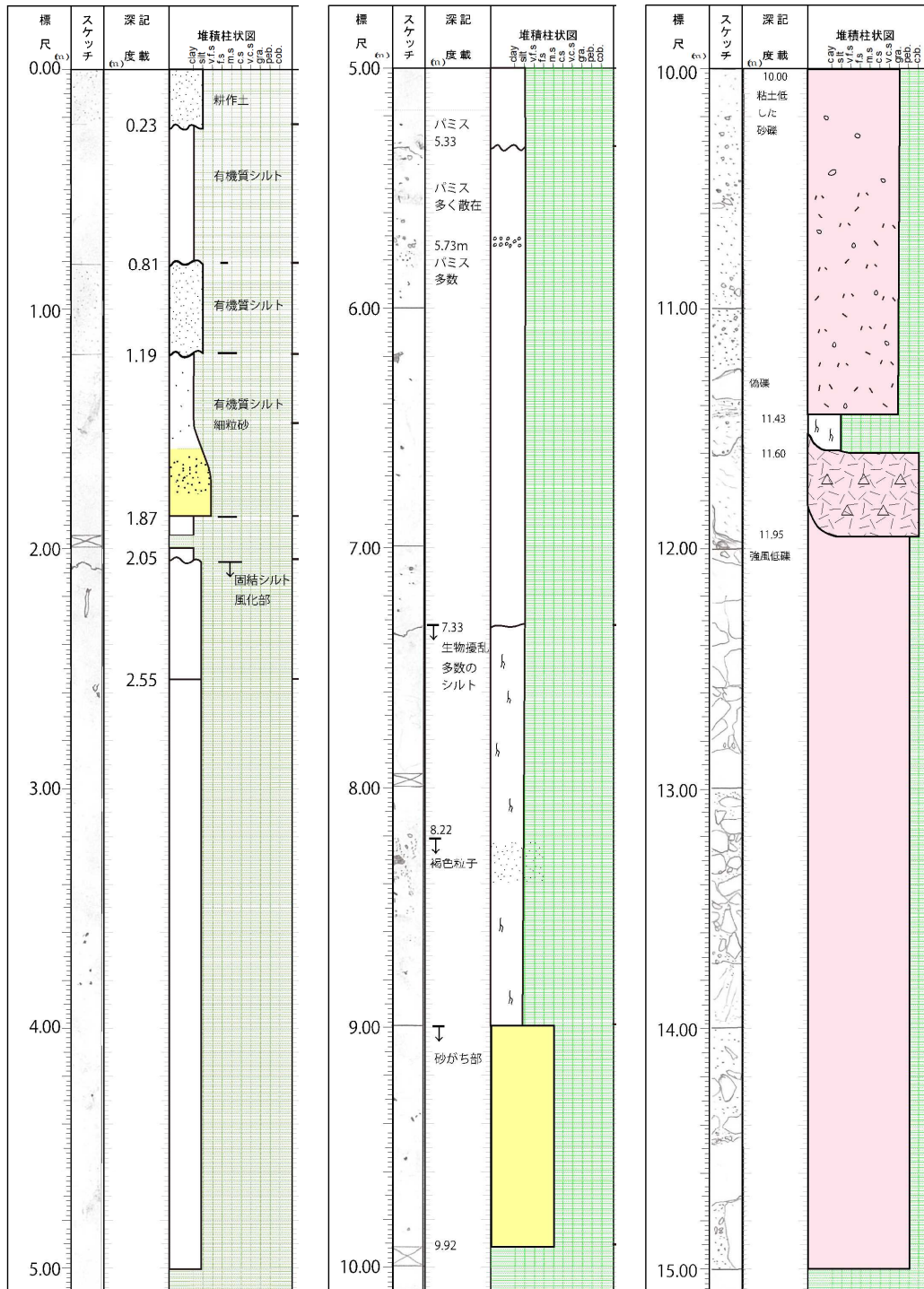
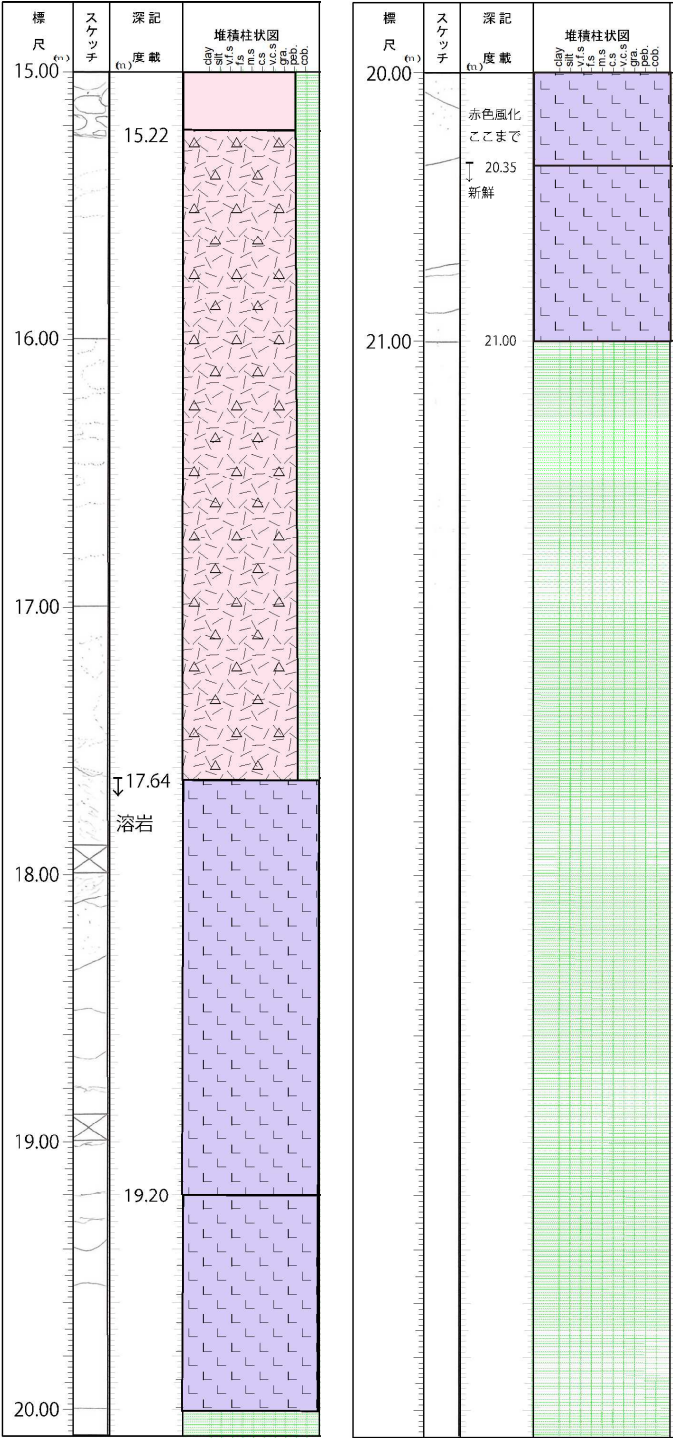


(2) MO1-18

①ボーリングコア記載

ボーリングコアは 1/20 で記載を行い、添付資料に取りまとめて示す。





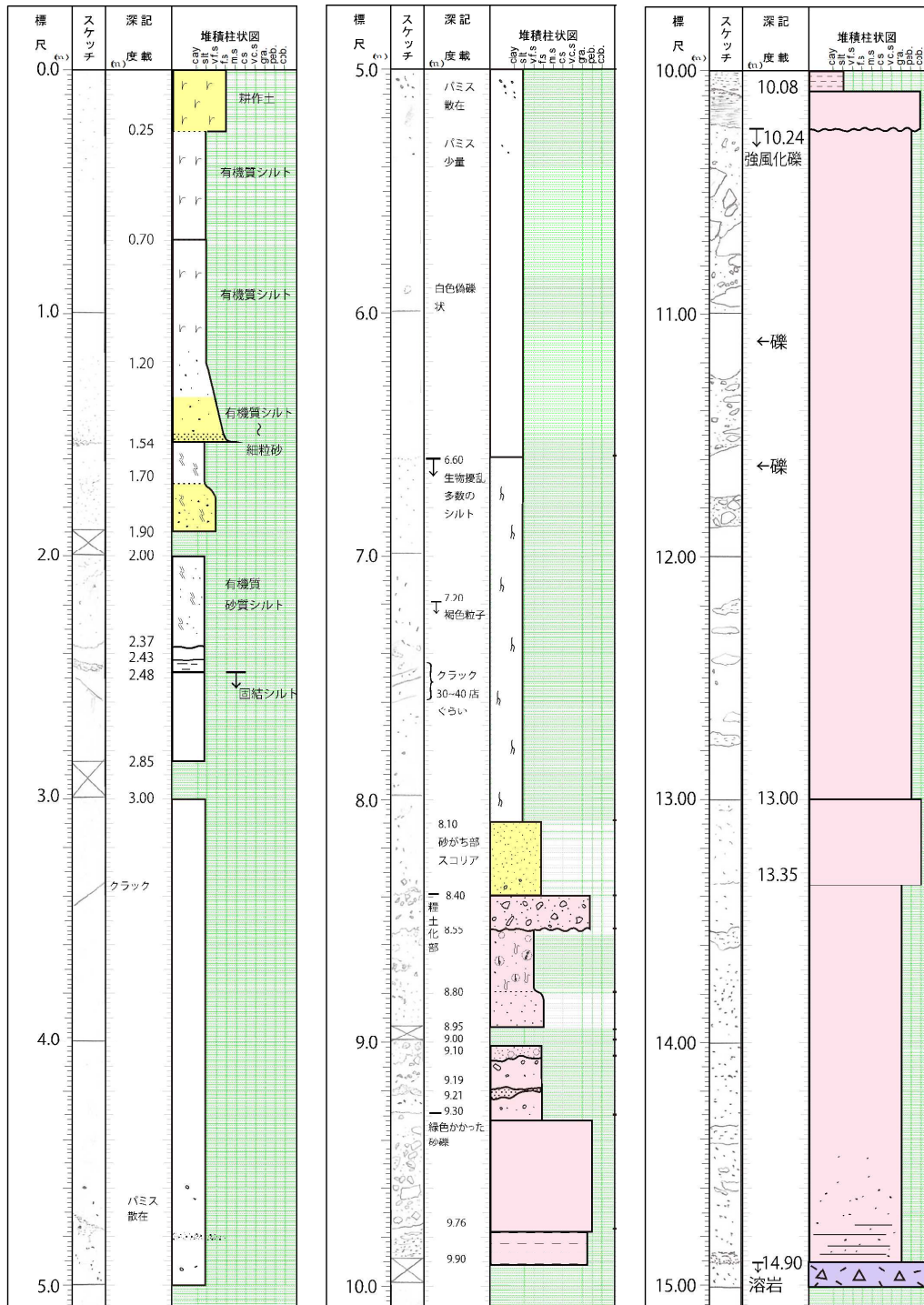
②ボーリングコア写真

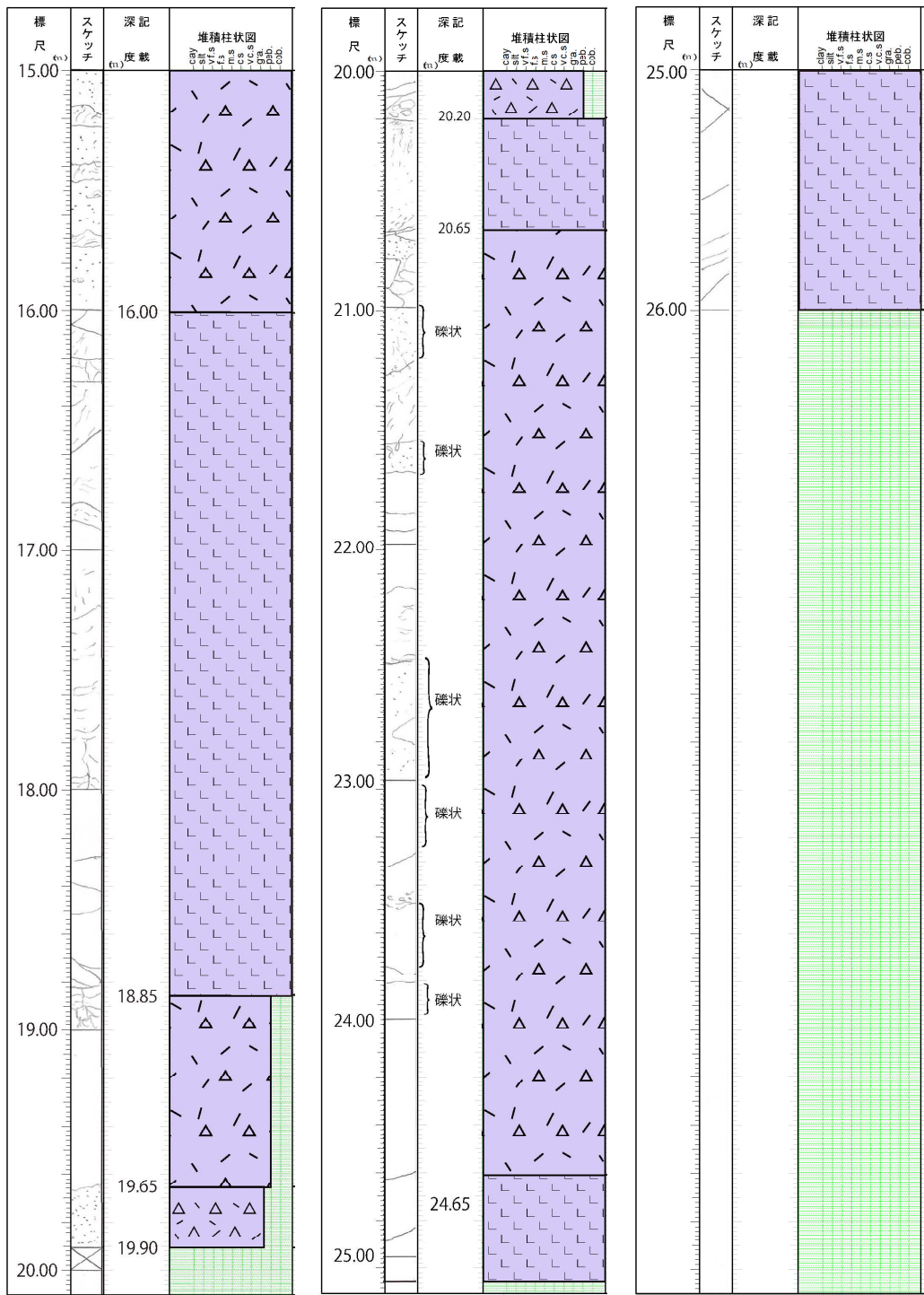


(3) MO1-42

① ボーリングコア記載

ボーリングコアは 1/20 で記載を行い、添付資料に取りまとめて示す。





②ボーリングコア写真



2.3.2.4. ボーリングコア対比による地質構造の検討

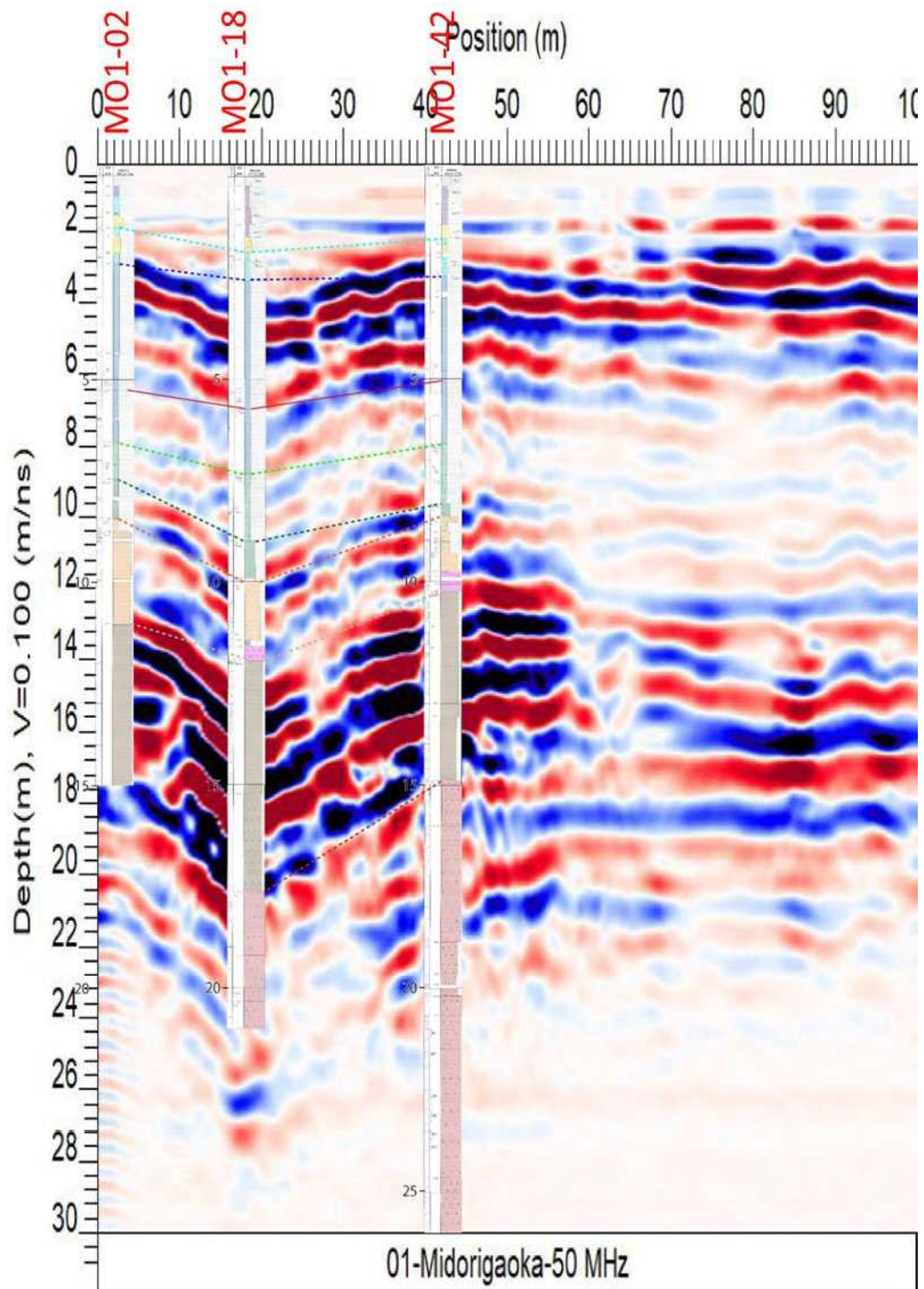


図 2.3.4 ボーリングコア対比図（緑ヶ丘地区）

2.3.3. 福原地区

2.3.3.1. 調査目的・位置

(1) 調査目的

福原地区においては過年度事業（パスコ, 2023）において GPR 探査および 3 本のボーリング調査が実施されている。このボーリング調査では断層を挟んだ両側で山地斜面の傾斜部を識別し、横ずれ移動量を捉えることが目的であった。しかし、想定よりも横ずれ量が大きかったため傾斜変換点を捉えることができず、横ずれ量を推定できていない。そこで、本事業では、隣接した田圃において追加ボーリング調査を実施し、傾斜変換点を識別するとともに、横ずれ量を推定することとした。横ずれ量推定の概念図を図 2.3.5 に示す。

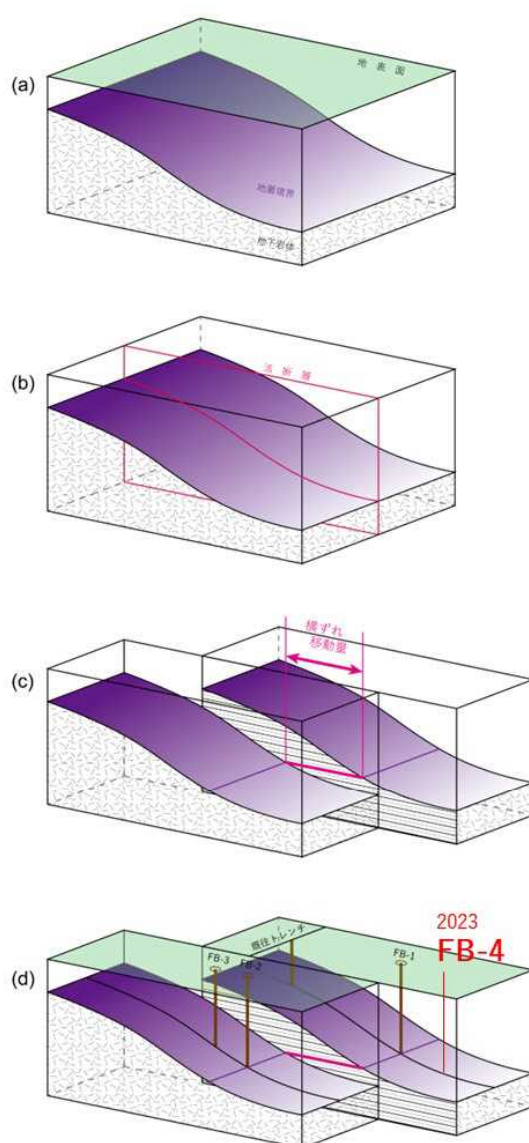


図 2.3.5 横ずれ量推定の概念

(2) 調査位置

ボーリング調査位置は、過年度事業（パスコ, 2023）においてボーリング調査を行った耕作地の 1 段下の耕作地において、GPR 測線に平行に移動した位置（FB-4）にて実施した。FB-4 は FB-1 から南西側に 10m の位置にあたり、標高差は 0.5m である（図 2.3.6）。

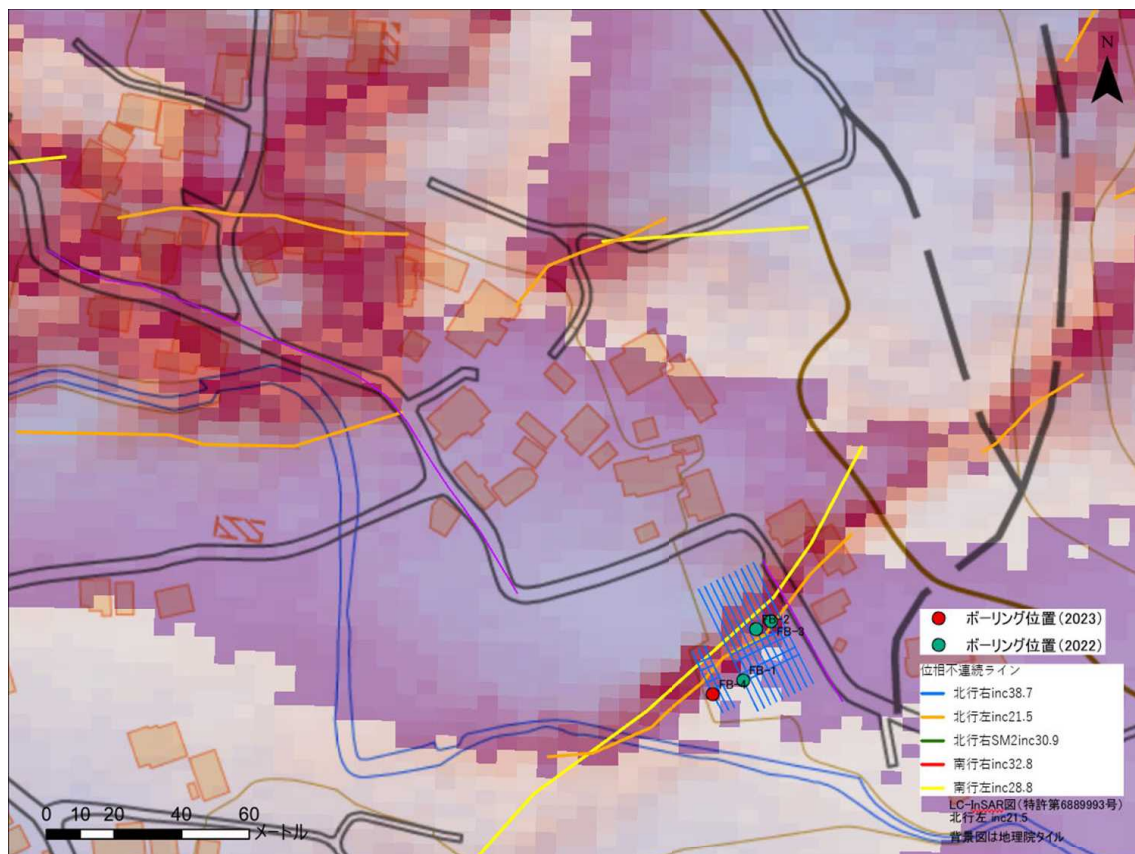


図 2.3.6 ボーリング調査位置（福原地区）

2.3.3.2. 調査計画

ボーリング調査は、追加で実施した GPR 探査測線上かつ FB-1 から鉛直投影となる位置に計画した。掘進深度は傾斜が始まっていることを想定して 10～20m 程度×1 本（φ86mm、オールコア）で計画した。GPR 測線位置図を図 2.3.7 に、調査計画図を図 2.3.8 に示す。



図 2.3.7 測線位置図（福原地区）（再掲）

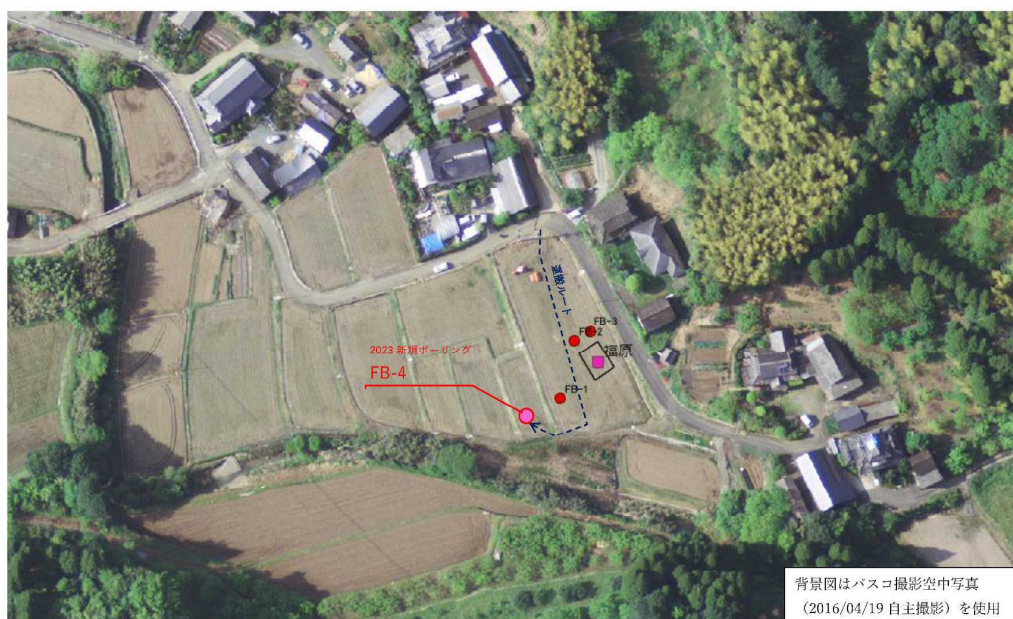


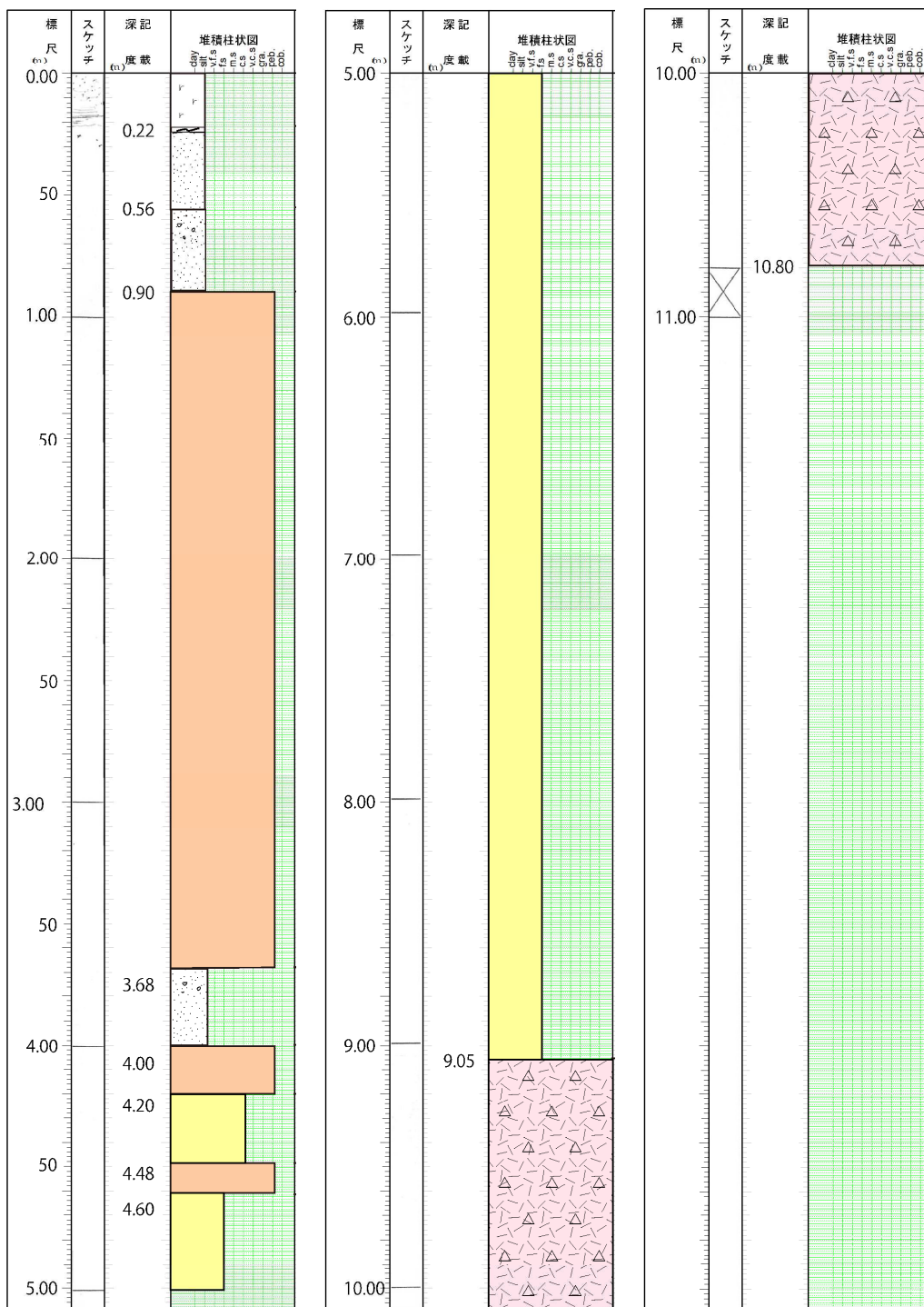
図 2.3.8 調査計画図（福原地区）

2.3.3.3. 調査結果

(1) FB-4

① ボーリングコア記載

ボーリングコアは 1/20 で記載を行い、添付資料に取りまとめて示す。



②ボーリングコア写真



2.3.3.4. ボーリングコア対比による地質構造の検討

(1) 砂礫層の再解釈

ボーリングコア対比を実施するにあたり、FB-4 の記載と併せて既往ボーリングコア（FB-1～3）の再確認を行い、砂礫層の構成物から堆積環境の再解釈を行った。再確認の結果、図 2.3.9 に示した Aso-1～2 の火山岩類および先阿蘇溶岩・同溶結凝灰岩からなる砂礫（黄色枠部：上位の砂礫）と、御船層群と考えられる堆積岩礫等の多様な礫種からなる砂礫（赤枠部：下位の砂礫）に区分できていることが分かった。阿蘇および先阿蘇火山岩類は木山川流域に広く分布し、御船層群は福原地区の南東側に広く分布している。したがって、上位の砂礫は木山川（本流）が供給した堆積物、下位の砂礫は畑中川（支川）が供給した堆積物と考えられる（図 2.3.10）。

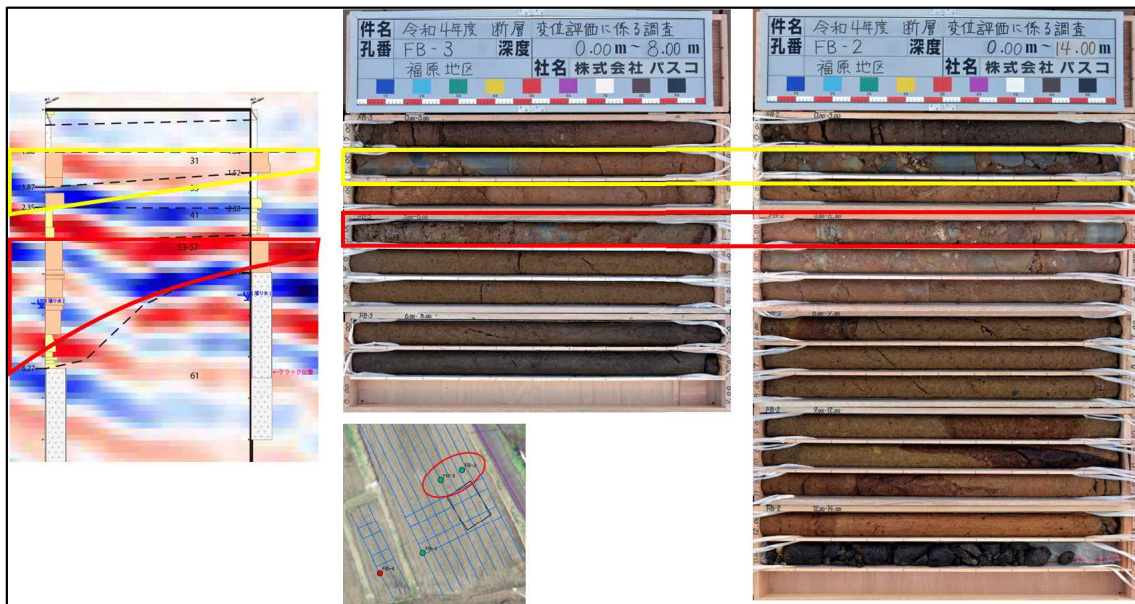


図 2.3.9 砂礫層の再解釈

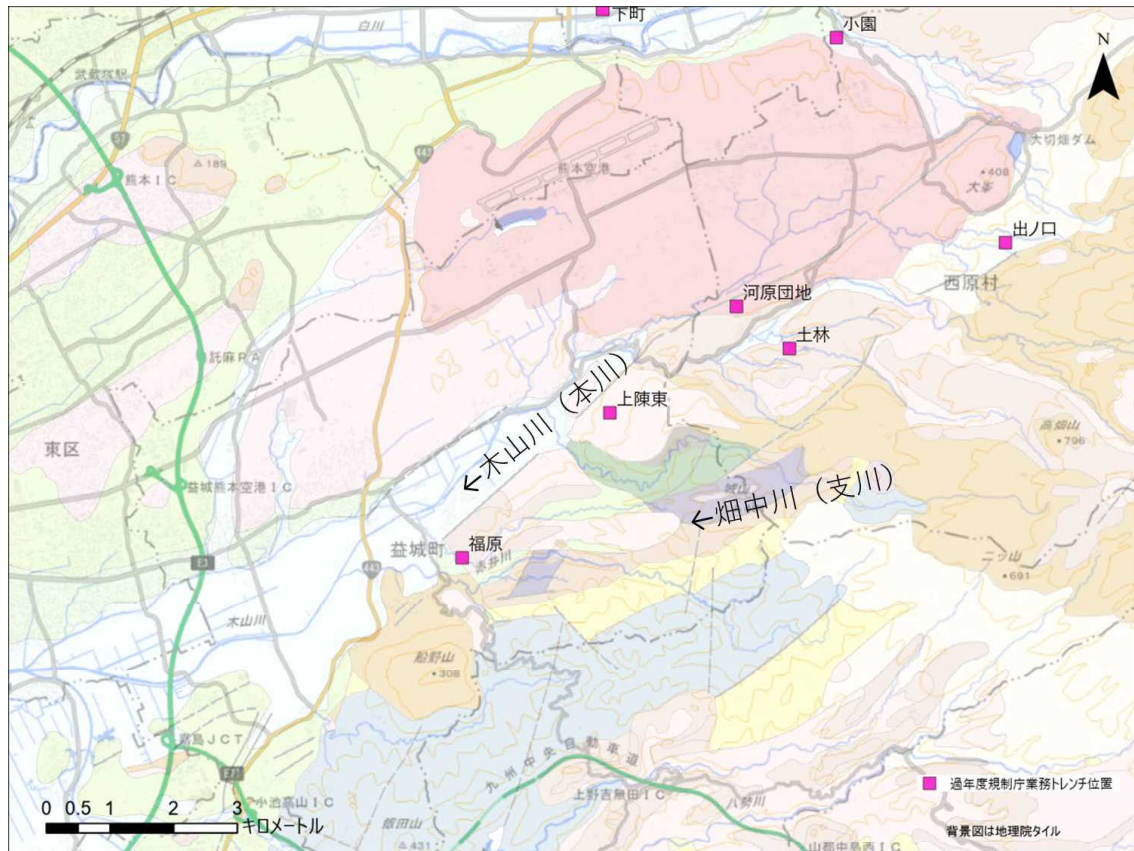


図 2.3.10 福原地区に堆積物を供給した河川（木山川：本川、畑中川：支川）

(2) 横ずれ量の推定

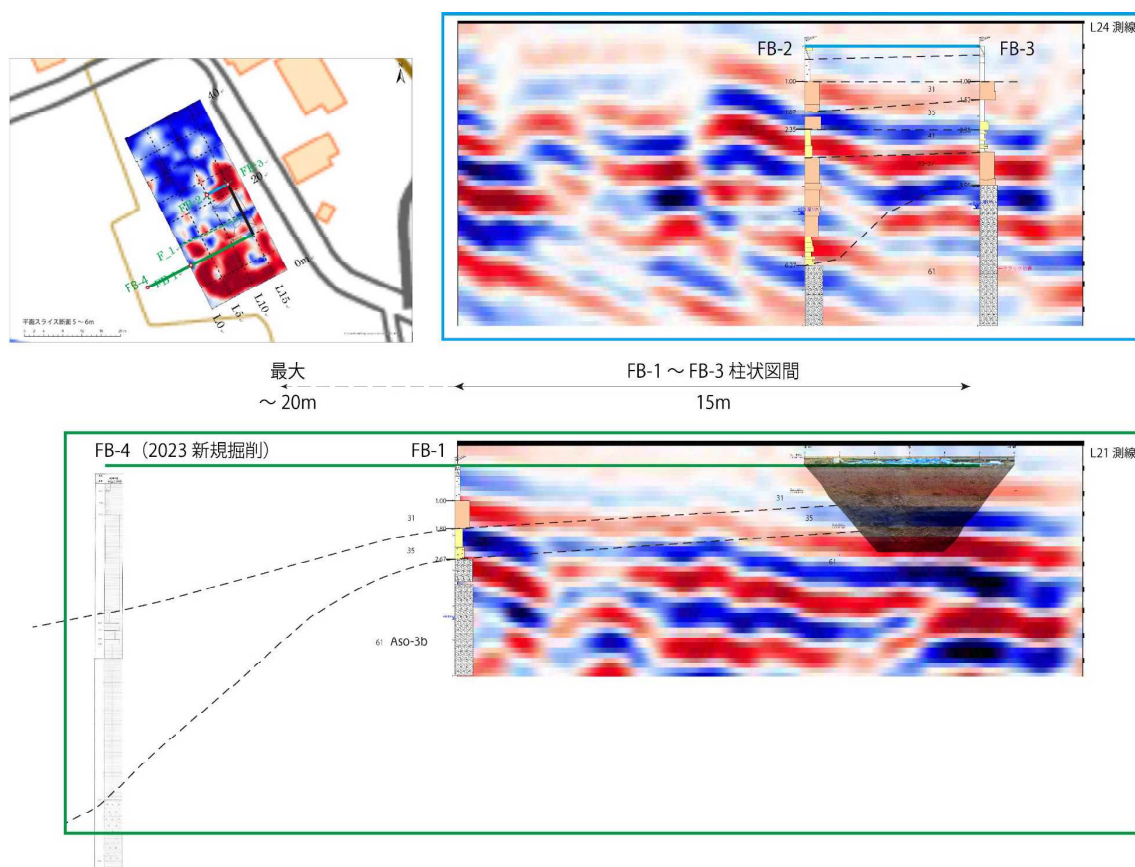


図 2.3.11 ボーリングコア対比図 (GPR L24, L21 測線) (福原地区)

2.3.4. ボーリング調査による地質構造の検討結果

ボーリング調査は過年度事業（構造計画研究所 2018, パスコ 2022, 2023）においてトレンチ調査及びボーリング調査を行った位置の近傍 2 箇所で行った。熊本県菊池郡大津町緑ヶ丘地区は同県阿蘇郡西原村小園地区から連続する位相不連続ラインの南西約 1km 地点にあたり、GPR 探査により位相不連続ライン上で確認された反射面の凹地状の構造の地質構造を明らかにすることを目的として実施した。同県上益城郡益城町福原地区は、過年度事業（パスコ, 2023）においてボーリング調査を行った地点である。火砕流堆積物（61 層）の横ずれ変位量が想定よりも大きく変位量を確認できなかったため、追加調査として実施した。

緑ヶ丘地区では、位相不連続ラインを横断して実施した GPR 探査測線の断面で、反射面が凹地状の構造を示していることから、凹地状構造の最深部及び凹地状構造を挟むようにボーリング調査（φ 86mm、オールコア、3 本）を実施した。確認された層序は、上位より耕作土、褐色～黒褐色ローム、褐色～黄褐色～明黄褐色ローム、にぶい橙色～浅黄橙色を呈す多様な礫種を含む強風化凝灰質礫および火山岩類である。凝灰質礫は異質岩片と軽石を多く含む岩相からなること及び角閃石が確認されることより、Aso-4A（産総研, 2023）に対比される。一部自破碎状を呈する溶岩は、赤色風化した針状の角閃石を含む層相及び調査位置の地形から大峯火山噴出物（高遊原溶岩）に対比される。これらの地層の層相をボーリング間で対比すると、GPR 探査で確認された凹地状構造の反射面の最深部で掘削した MO1-18 において最も深部に各層の境界が分布した。隣接するボーリングとの対比では、下位層ほど対比線の傾きが急傾斜となる。これは MO1-18 付近の相対的な沈降が累積していることを示している。2016 年熊本地震で位相不連続ラインとして確認された微小変位箇所では、高遊原溶岩噴出以降、断層活動による変位が繰返し生じていたと推測される。

福原地区では、過年度事業（パスコ, 2023）で実施された FB-1 ボーリング位置から南西側に 10m の位置において FB-4 ボーリング調査（φ 86mm、オールコア）を実施した。FB-4 は FB-1 を実施した耕作地の 1 段下の耕作地にあたり、標高差は 0.5m である。FB-4 を掘削した結果、孔口より GL-9.05m の深度からにぶい黄橙色を呈す強風化火山礫凝灰岩を確認した。FB-4 における火山礫凝灰岩上面と FB-1 にて確認された火山礫凝灰岩上面の高度差は 6.9m に達し、これらのボーリング間のどこかで傾斜が始まっているものと推測される。断層を挟み、その両側で火山礫凝灰岩上面の急傾斜部がずれているものと考えれば、少なくとも FB-3 と FB-1 との間の 15m 以上の右横ずれが想定され、FB-1 と FB-4 の間で火山礫凝灰岩の急傾斜部が始まっているとすれば最大で 20m 程度の右横ずれが推定される。この火山礫凝灰岩は黄褐色～黒褐色を呈すスコリア岩片を主体とする岩相からなり、Aso-3(B)火砕流堆積物（星住ほか, 2017；産総研, 2018）に対比される可能性が高い。Aso-3 の噴出年代を約 13 万年前（下山, 2001）とすると、火山礫凝灰岩の高まりの右横ずれ量が 15m～20m であることから、平均変位速度は 0.115～0.154m/1,000 年と見積もられる。

以上の結果より、位相不連続ラインで識別できるような微小な副断層変位も、Aso-3 あるいは Aso-4 火砕流の堆積以降、長期間に渡り累積的に活動を続けてきたことが分かった。

2.4. 表層付近の副断層の性状及び活動履歴の検討

2.4.1. トレンチ調査概要

SAR 衛星データ等から抽出した副断層をもとに、副断層トレンチ調査候補地点を下野地区及び河原団地地区の2箇所選定した。(図 2.4.1)。トレンチ調査では、壁面の詳細なスケッチ・記載を実施して、壁面の地質を記録した。あわせて、壁面を分割して撮影した写真をモザイクで組み合わせ、スケッチと同サイズで比較できるようにした。これにより、壁面の解釈を写真で検証することが可能となった。放射性炭素年代測定を実施し、年代制約の解釈を行った。事業の進捗にあわせて有識者を交えた検討会を実施することで、専門性の異なる複数の視点から副断層に係る知見の深化を図った。

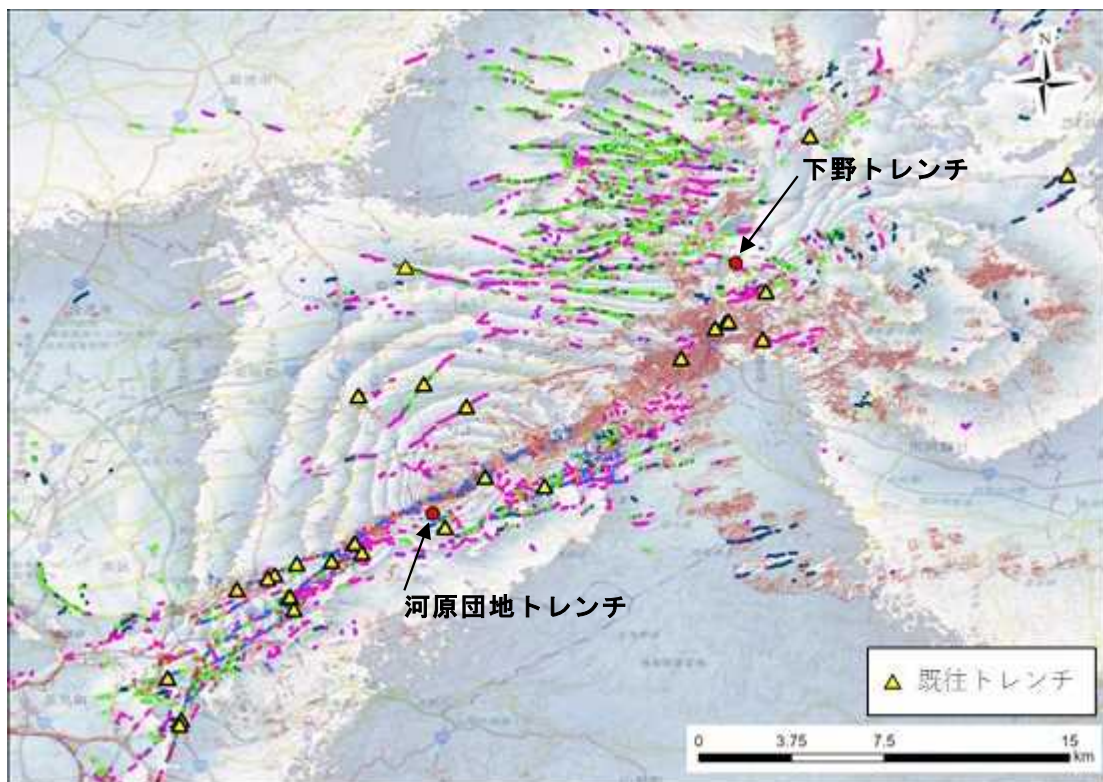


図 2.4.1 トレンチ位置図

(1) 数・規模および形状

①下野地区

トレンチの規模は、開口部の大きさを 8×24m、深さ 3.5m、法面の傾斜は 50～60° 程度とした。さらに、現地検討会後に、トレンチ西側にて開口部の大きさを 2×10m、深さ 1.5～2.0m、および開口部の大きさを 1×5m、深さ 1.0m の追加トレンチの掘削を 2 箇所で行った。

②河原団地地区

トレンチの規模は、開口部の大きさを 7×16m、深さ 3.0m、法面の傾斜は 50～60° 程度を予定とした。実際には、地質の露出状況を鑑み、深さ 4.5～5.0m まで掘削を実施した。

(2) 現地作業期間

①下野地区

トレンチ調査(現地作業)は 2023 年 10 月 16 日 (月) ～2023 年 12 月 26 日 (火) の約 2 カ月半で実施した。

②河原団地地区

トレンチ調査(現地作業)は 2023 年 11 月 29 日 (水) ～2024 年 2 月 2 日 (金) の約 2 カ月で実施した。

(3) 調査方法

トレンチ調査は以下に示す手順で実施した。トレンチ掘削状況については付属資料に取りまとめして示した。

①調査用地の境界設定

②調査用地の周辺の平面図の作成

③調査用地および進入路の整備

④トレンチの掘削

⑤トレンチ法面の整形

⑥整形した法面に 1.0m もしくは 0.5m メッシュグリッドの設置

⑦トレンチ壁面の詳細な観察、スケッチ及び写真撮影

⑧トレンチ平面図の作成

⑨クリノメーターなどを用いた面構造および線構造の測定

⑩各種試験用サンプルの採取

⑪トレンチ埋め戻しと用地の現状復旧

(4) 使用した機材

本調査で使用した機材を表 2.4.1 に示す。

表 2.4.1 使用機材一式

機 材	仕様・規格	数 量	単 位
バックホウ	0.45m ³	1	台
〃	0.4m ³	1	台
〃	0.2m ³	1	台
簡易トイレ		1	台
発電機		1	台
オートレベル		1	台
水中ポンプ		1	台
エアーコンプレッサー		1	台
杭・安全柵他		1	式

(5) 現地検討会

トレンチ掘削および整形が終了した段階で現地検討会を実施した。

現地検討会で委員より指摘のあった事項について追加調査および再検討を行い、業務成果に反映させた。

(6) その他

本調査では諸法令を遵守するとともに、法令や条例等による関連機関への手続き、ならびに調査用地の使用や借用のための交渉等については受託者側にて実施した。

2.4.2. 下野地区

2.4.2.1. トレンチ調査結果

(1) 調査位置

下野トレンチ調査は熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字下野（北緯 32 度 54 分 28 秒、東経 130 度 59 分 48 秒）において実施した（図 2.4.4・図 2.4.4）。

調査位置は LC-InSAR による位相不連続ライン上に設定し、想定される変位を直行して横断するように掘削を行った。現地検討会後には、断層とチャネル堆積物との関係性を明確にするために、当初掘削したトレンチ西側にて追加トレンチの掘削を 2 箇所を実施した。トレンチ地点において掘削前には表層部に変状は認められなかったが、トレンチ地点を通過する位相不連続ライン付近では、0.5cm 程度の左横ずれ変位が確認されている(図 2.4.3)。

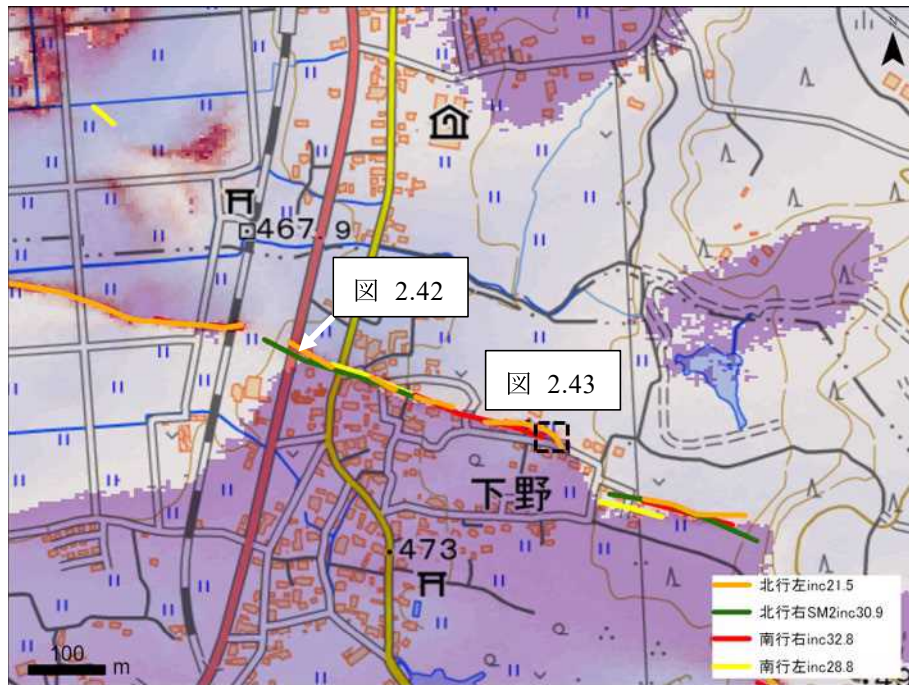


図 2.4.2 下野トレンチ位置(広域)



図 2.4.3 位相不連続ライン付近の左横ずれ変状

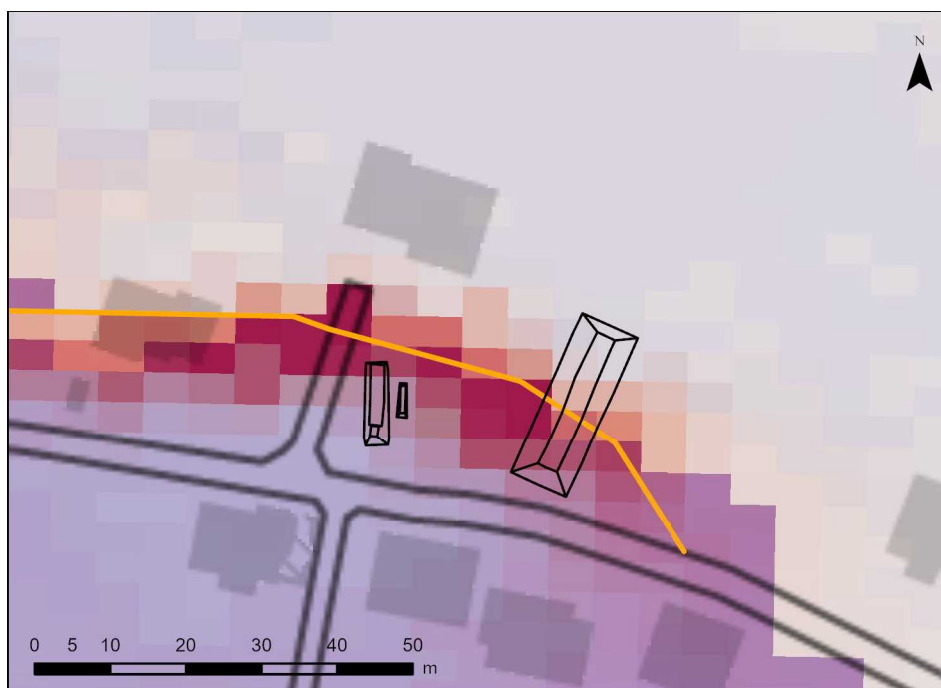


図 2.4.4 下野トレンチ位置図(詳細)

(2) 掘削結果

掘削範囲は、開口部の大きさを $8 \times 24\text{m}$ 、深さ 3.5m 、法面の傾斜は $50 \sim 60^\circ$ 程度とした(図 2.4.5)。さらに、現地検討会後に、当初掘削したトレンチ西側にて開口部の大きさを $2 \times 10\text{m}$ 、深さ $1.5 \sim 2.0\text{m}$ 、および開口部の大きさを $1 \times 5\text{m}$ 、深さ 1.0m の追加トレンチの掘削を2箇所で行った(図 2.4.6)。

トレンチ法面は機械掘削後に手作業による整形を行い、水平方向 1m 毎×鉛直方向 1m 毎のグリットを、鉛直方向- 3.5m には $1\text{m} \times 0.5\text{m}$ のグリッドを作成した。掘削を行ったトレンチ形状および高さの基準として、S面貫板上面について RTK-GPS 測量にて求めた。設置したグリットの標高については、鉛直- 1m 高からレベル測量にて計測した。計測結果を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 下野トレンチ測量成果

測定位置	標高(T.P.m)	測定方法	備考
鉛直方向 0.00m(S面)	475.750	RTK-GPS	貫板上面※1
鉛直方向-1.00m	474.750	レベル	
鉛直方向-2.00m	473.750	レベル	
鉛直方向-3.00m	472.750	レベル	
鉛直方向-3.50m	472.250	レベル	

※1：標高値は10秒間8Hz計測（合計80回）の平均値により求めた値



図 2.4.5 トレンチ全景



図 2.4.6 追加トレンチ（2箇所）全景

(3) モザイク写真

トレンチ法面の写真撮影は極力歪みが少なくなるように実施した。撮影した写真画像は画像の歪み等を補正したうえで鉛直面に投影したモザイク写真として作成した。

作成したモザイク写真を図 2.4.7～図 2.4.10 に示す。



図 2.4.7 W 面モザイク写真



図 2.4.8 E面モザイク写真

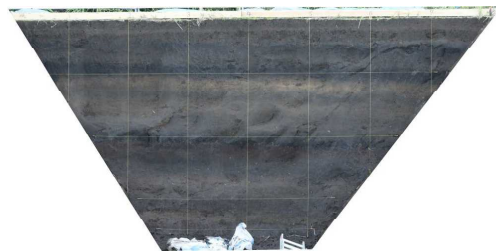


図 2.4.9 S面モザイク写真

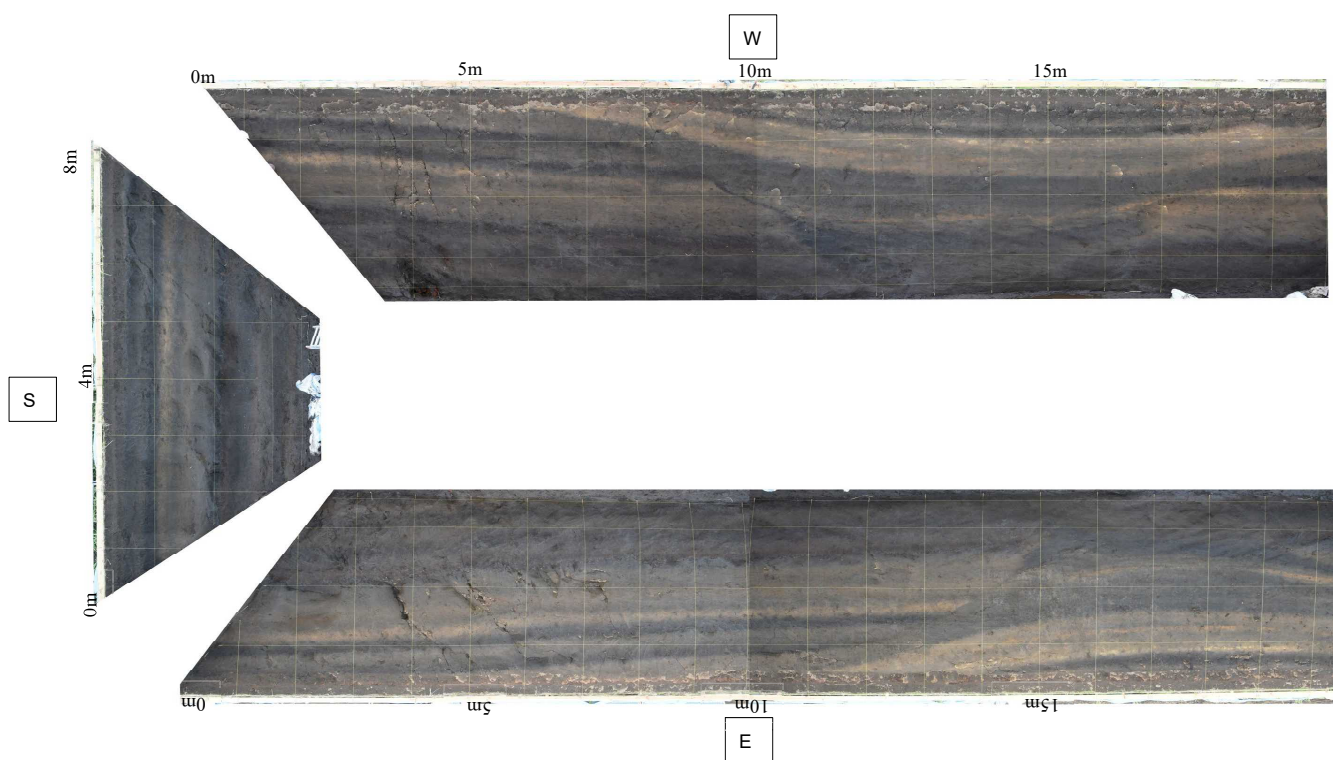


図 2.4.10 モザイク写真 全体図

(4) 法面スケッチ

法面スケッチは水平方向 1m×鉛直方向 1m の水系による格子線を基準とし、縮尺 1/20 鉛直面投影として作成した。作成したスケッチを元に、地質区分ごとに着色を行った。また、各地層の記載と併せて、試料採取位置の記録を行った。

法面スケッチを次ページより図 2.4.11～図 2.4.15 に示す。

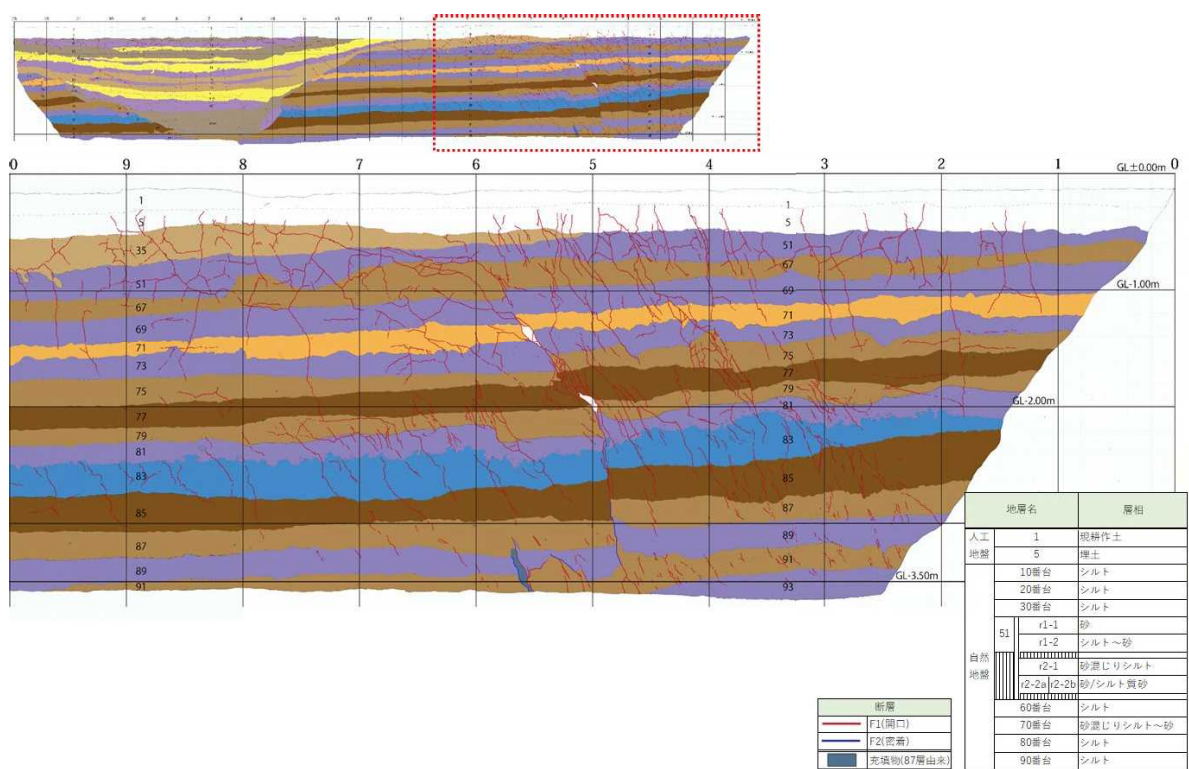


図 2.4.11 下野トレンチ E 面スケッチ(0~10m)

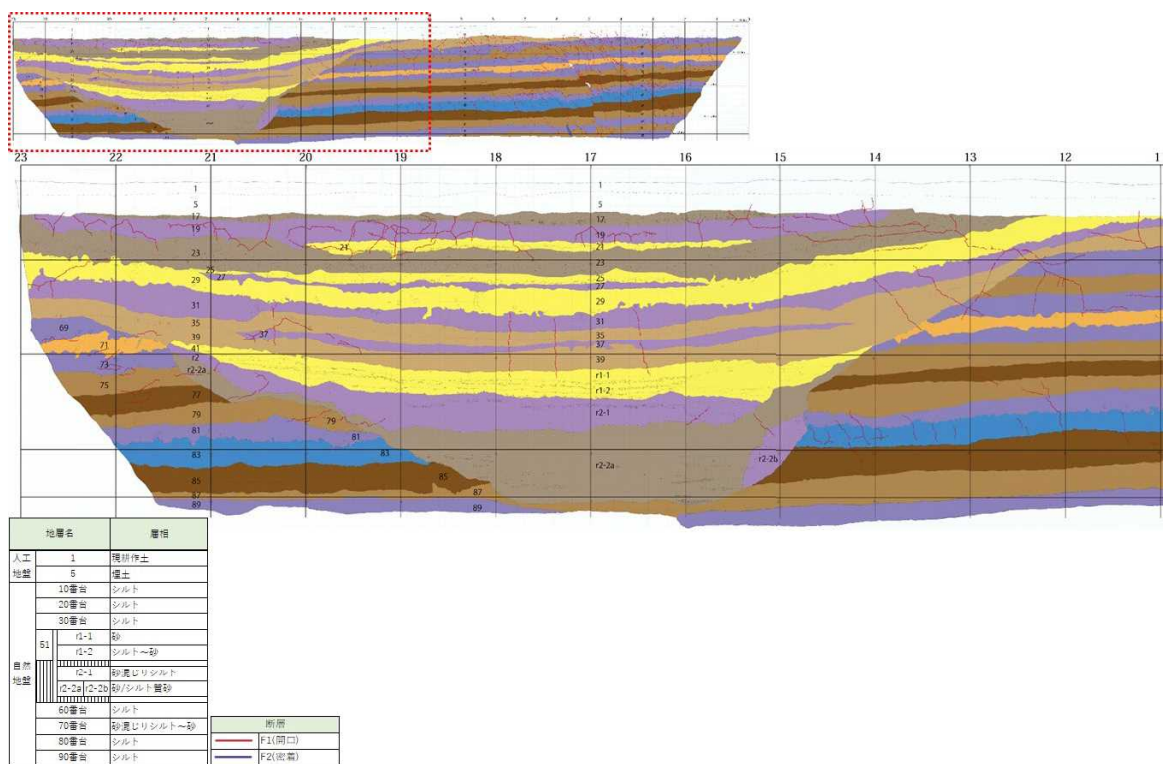


図 2.4.12 下野トレンチ E面スケッチ(10~23m)

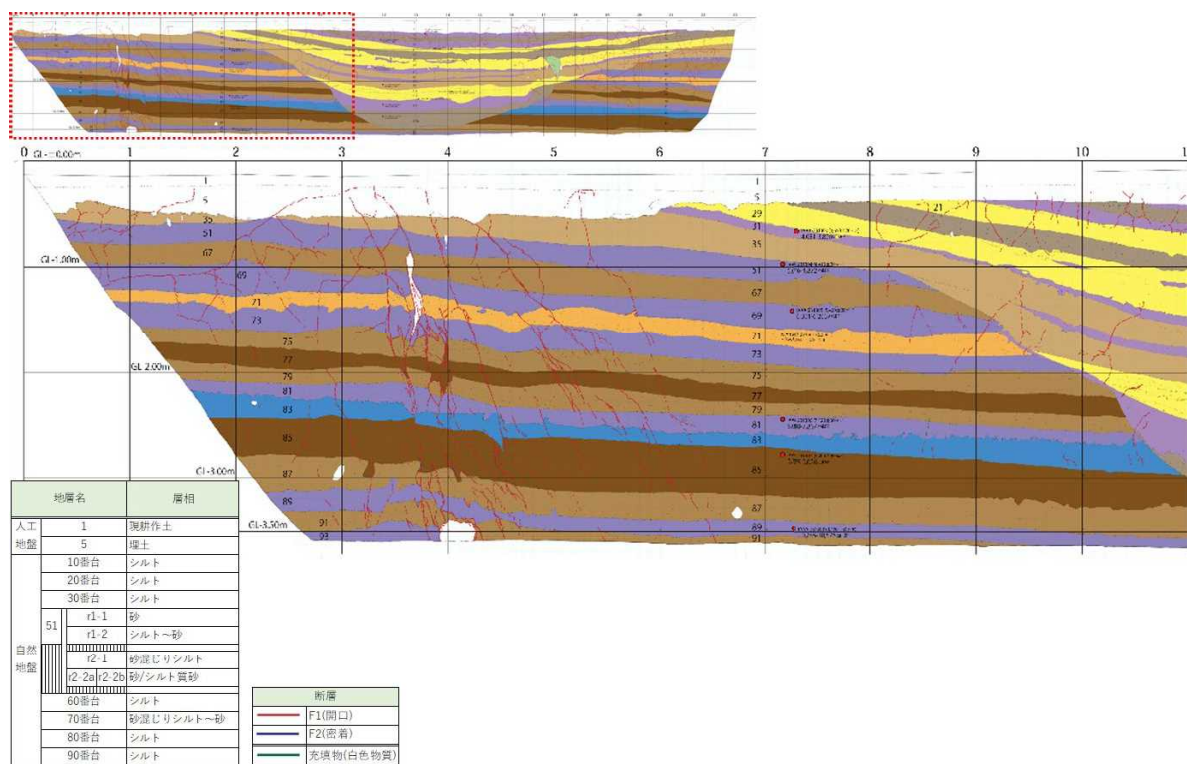


図 2.4.13 下野トレンチ W面スケッチ(0～11m)

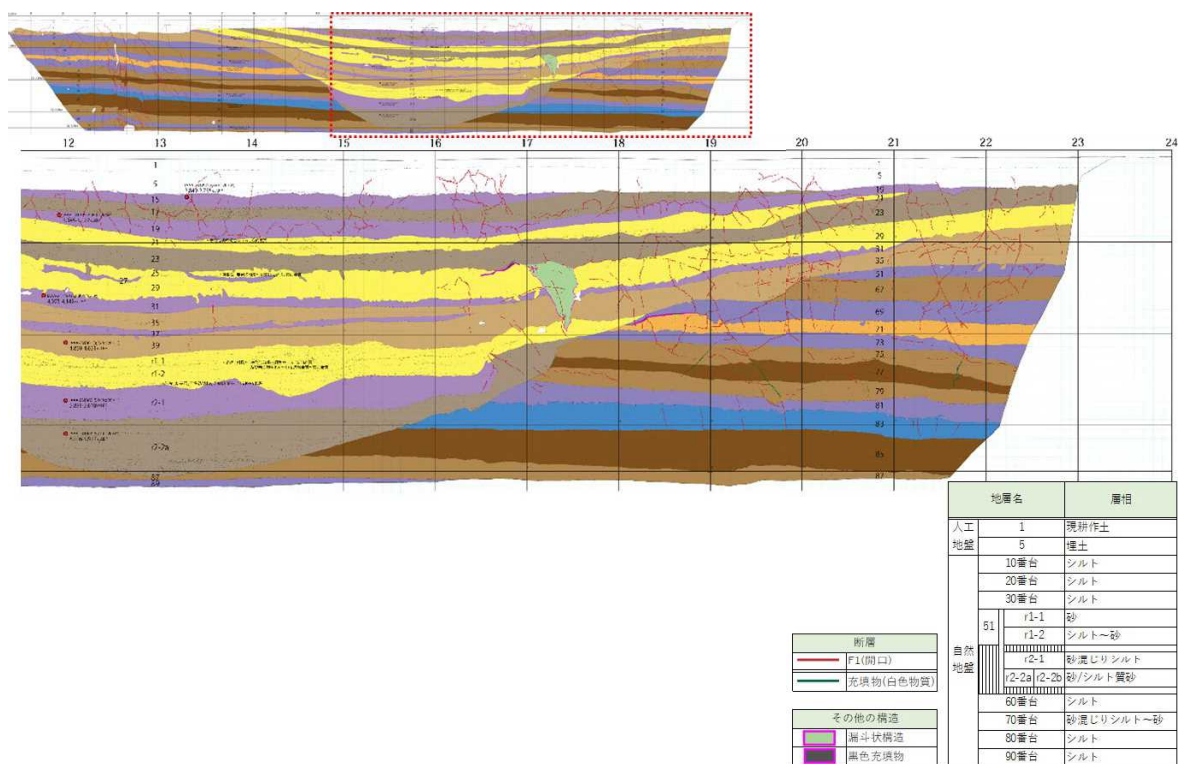


図 2.4.14 下野トレンチ W面スケッチ(11~24m)

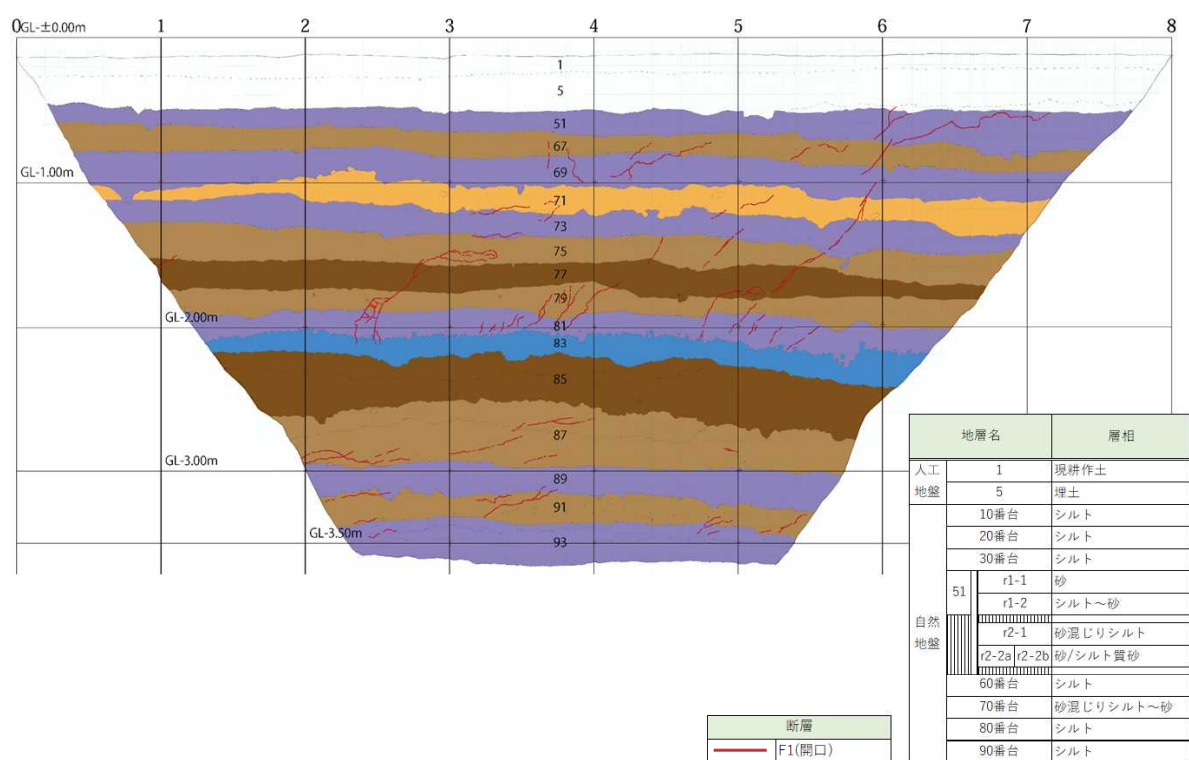


図 2.4.15 下野トレンチ S面スケッチ

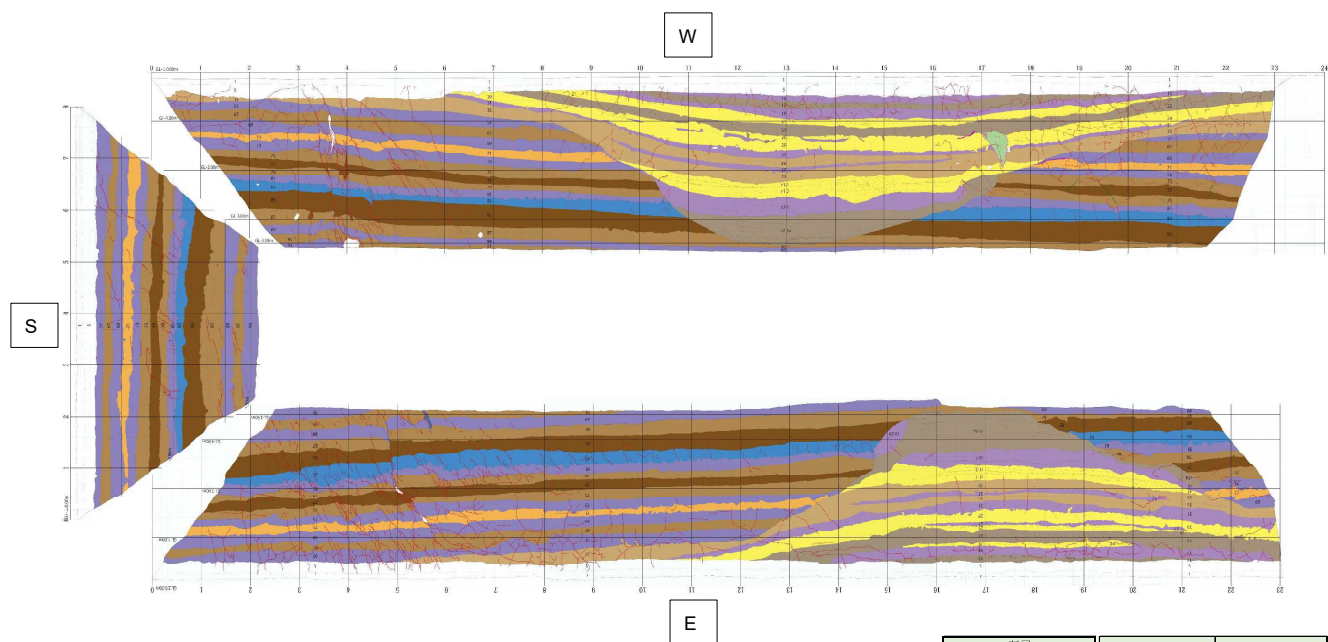


図 2.4.16 下野トレンチスケッチ全体図

断面		地層名	層相
F1(開口)	人工	1	掘削作土
	地盤	5	掘削土
F2(閉着)	地盤	10番台	シルト
	地盤	20番台	シルト
充填物(白色物質)	地盤	30番台	シルト
	地盤	51	r1-1 砂
その他の構造	地盤	r1-2	シルト～砂
	地盤	r2-1	砂混じりシルト
褶曲状構造	地盤	r2-2a	砂/シルト質砂
	地盤	r2-2b	砂/シルト質砂
黒色充填物	地盤	60番台	シルト
	地盤	70番台	砂混じりシルト～砂
	地盤	80番台	シルト
	地盤	90番台	シルト

(5) 地質概説

下野トレンチにおける地質層序表を表 2.4.3 に示す。トレンチ法面において観察された人為的な影響のある層は、現耕作土（1 層）及び埋土層（5 層）である。自然地盤は大きく 2 区分でき、シルト質ロームを主体としたやや北側に傾斜した水平成層（93～67 層及び 51 層）と、それ削剥するチャンネル充填堆積物（r2 層、r1 層及び 39～15 層）からなり、チャンネル充填堆積物の上部（35 層より上位）は水平成層の上位に整合的に重なる。51 層、r2 層及び r1 層については直接的な接触関係が確認されず、51 層と r2 層は放射性炭素年代値分析のみで分離される。

表 2.4.3 下野トレンチ内における地質層序

地層名		層相	火山灰	放射性炭素年代 calBP(2σ)
人工 地盤	1	現耕作土		
	5	埋土		
自然 地盤	15	シルト		2,849-2,755
	17	シルト	ローカル火山灰	
	19	シルト		3,345-3,172
	21	シルト	ローカル火山灰	
	23	シルト		
	25	シルト	ローカル火山灰	
	27	シルト		
	29	シルト		
	31	シルト		4,081-3,890 4,395-4,148
	35	シルト		
	37	シルト		
	39	シルト		4,850-4,651
	51	r1-1 砂	ローカル火山灰	5,046-4,872
		r1-2 シルト～砂	K-Ahリワーク	
		r2-1 砂混じりシルト		5,891-5,610
		r2-2a r2-2b 砂/シルト質砂		6,106-5,917
	67	シルト		
	69	シルト		6,301-6,203
	71	砂 K-Ah	K-Ah(7.3ka)	
	73	砂混じりシルト		
	75	砂混じりシルト		
	77	砂混じりシルト		
	79	砂混じりシルト		
	81	シルト		8,010-7,867
	83	シルト		
	85	シルト		9,275-9,026
	87	シルト		
	89	シルト		10,745-10,576
	91	シルト		
	93	シルト		

(6) 層序記載

【1層】 トレンチ掘削範囲表層に厚さ 20cm 程度で分布する。

黒褐色<7.5YR2/2>のシルトからなり、草根を多く含む。現耕作土である。

【5層】 トレンチ掘削範囲の GL-0.2~-0.3m に層厚 20~40cm 程度で分布する。

極暗褐色<7.5YR2/3>のシルトからなり、草根を多く含む。割れ目が多く、割れ目付近は赤褐色<5YR4/1>を呈す。部分的に黒色部がみられる。人工地盤（埋土）と推定され、やや締まった性状から田圃の床土と考えられる。

【15層】 W 面グリッド 10~18m に層厚 20cm 程度で分布する。

黒色<10YR1.7/1>の塊状のシルトからなる。壁面では乾燥すると亀甲状の割れ目が発達する。15層上面は埋土(5層)によって削剥される。

【17層】 E 面グリッド 15~22m、W 面グリッド 10~21m に層厚 20~30cm 程度で分布する。

やや淡色の黒色<10YR2/1>のシルトからなる。φ1~5mm 程度の赤褐色<2.5YR4/8>のスコリアが多量に散在し、17層の中央部でスコリア含有量が多く地層の上方及び下方に含有量が減少する。

【19層】 E 面グリッド 14~23m、W 面グリッド 9~22m に層厚 10~20cm 程度で分布する。

黒色<10YR1.7/1>のシルトからなる。スコリアが点在する。上位の 17層へは漸移的である。下位との境界は不明瞭、直線状である。

【21層】 E 面グリッド 15~20m、W 面グリッド 8~21m に層厚 5~30cm 程度で分布する。

暗オリーブ褐色<2.5YR3/3>のシルトからなる。粘土化した黄褐色の未発泡の火山岩片（スコリア）が層状に連続する。

【23層】 E 面グリッド 12~23m、W 面グリッド 7~23m に層厚 10~40cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>のシルトからなる。φ1~2mm で赤褐色<5YR4/6>のスコリアが多量に散在する。上位の 21層へは漸移的である。27層、25層及び 23層の境界は不規則形状をなし、明瞭でない。

【25層】 E 面グリッド 16~21m、W 面グリッド 9~15m に層厚 5~10cm 程度で分布する。

やや赤みを帯びた暗褐色<7.5YR3/4>のシルトからなる。遠目で法面を観察すると他の層準よりもやや赤みが強く見える。27層、25層及び 23層の境界は不規則形状をなし、明瞭でない。

【27層】 E 面グリッド 16~21m に層厚 5~10cm 程度で分布し、W 面グリッド 9~15m に層厚 5~10cm 程度で断続的に分布する。

暗オリーブ褐色<2.5YR3/3>のシルトからなる。27 層、25 層及び 23 層の境界は不規則形状をなし、明瞭でない。

【29 層】E 面グリッド 11～23m、W 面グリッド 6～23m に層厚 20cm 程度で分布する。

暗褐色<10YR3/3>の塊状シルトからなる。巣穴状の生痕が多数見られ、生痕には赤褐色を呈す厚さ 2mm の壁が確認される。上位の 27 層へは漸移的である。

【31 層】E 面グリッド 10～23m、W 面グリッド 6～22m に層厚 5～30cm 程度で分布する。層厚は E 面が W 面に比べ大きい。

黒褐色<10YR2/2>のシルトからなる。上位の 29 層との境界は不規則な凹凸に富む。この構造は生物擾乱と推定される。37 層、35 層及び 31 層境界は明瞭でない。

【35 層】E 面グリッド 5～23m、W 面グリッド 0～23m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>のシルトからなり、最上部は淡色となる。37 層、35 層及び 31 層境界は明瞭でない。

【37 層】E 面グリッド 14～21m、W 面グリッド 9～17m に層厚 5～10cm 程度で分布する。

極暗褐色<7.5YR2/3>のシルトからなる。火山灰偽礫が層状に連続する。37 層、35 層及び 31 層境界は明瞭でない。

【39 層】E 面グリッド 14～21m、W 面グリッド 9～17m に層厚 5～10cm 程度で分布する。

極暗褐色<7.5YR2/3>のシルトからなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。

【r1-1 層】E 面グリッド 14～22m、W 面グリッド 9～18m に層厚 5～10cm 程度で分布する。

黄色がかった赤褐色<5YR4/8>の極細粒砂及び黒褐色<5YR2/1>の極細粒砂が互層をなす。全体が火山灰質砂からなる。下位の r2-1 層を浸食して覆い明瞭な境界である。赤褐色を呈す部分はガラス質火山灰からなる。

【r1-2 層】E 面グリッド 14～22m、W 面グリッド 10～17m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

暗オリーブ灰色<2.5YR3/3>のシルト～極細粒砂からなり、シルト質優勢部と砂質優勢部とで互層状をなす。砂質優勢部は黄色がかった火山灰質砂で、壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。シルト優勢部は赤褐色を呈すシルト質火山灰が主体。下位の r2-1 層を浸食的に覆う。

【r2-1 層】E 面グリッド 15～22m、W 面グリッド 9～17m に層厚 5～30cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>の極細粒砂混じり塊状シルトからなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。

【r2-2a 層】E 面グリッド 14～22m、W 面グリッド 10～18m に層厚 30～50cm 程度で分布する。

にぶい黄褐色<10YR5/4～4/3>の細粒砂が主体である。中粒砂～粗粒砂を層状に多数含み、不均質で粒径幅が広く淘汰が悪い。φ1～5mm 程度のスコリアが点在する。φ5mm 程度の偽礫や暗灰色の層理、火山ガラスを含む。下位層を浸食して覆う。

【r2-2b 層】E 面グリッド 14～16m に層厚 30cm 程度で分布する。

暗褐色<10YR3/4>のシルト質極細粒砂からなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。r2-2b 層はチャンネル壁に沿って局所的に分布する。

【51 層】E 面グリッド 0～12m、W 面グリッド 0～9m 及び 20～23m、S 面グリッド 0～8m に層厚 10～30cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>の塊状シルトからなる。火山ガラスを少量含む。

【67 層】E 面グリッド 0～13m、W 面グリッド 0～9m 及び 19～23m、S 面グリッド 0～8m に層厚 10～30cm 程度で分布する。下位境界は断層により h=20cm 程度の段差を生じているが、上位境界は比較的平坦な形状をなす。

暗褐色<10YR3/3>の塊状シルトからなる。火山ガラスを少量含む。

【69 層】E 面グリッド 0～13m 及び 22～23m、W 面グリッド 0～9m 及び 18～23m、S 面グリッド 0～8m に層厚 10～30cm 程度で分布する。

黒色<10YR2/1>の塊状シルトからなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。空隙がやや多い。

【71 層】E 面グリッド 0～14m 及び 21～23m、W 面グリッド 0～10m 及び 18～23m、S 面グリッド 0～8m に層厚 5～20cm 程度で分布する。

にぶい黄褐色<10YR4/3>の塊状の極細粒砂～細粒砂からなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。φ1mm 程度のパミスが点在する。

【73 層】E 面グリッド 0～14m 及び 21～23m、W 面グリッド 0～10m 及び 17～23m、S 面グリッド 0～7m に層厚 5～20cm 程度で分布する。

暗オリーブ褐色<2.5YR3/3>の細粒砂混じりシルトからなる。壁面に日光が当たると火山ガラスが反射して目立つ。φ1mm 程度の白色岩片が多量に点在し、φ1～2mm 程度の黄色パミスが点在する。

【75 層】E 面グリッド 0～15m 及び 21～23m、W 面グリッド 1～11m 及び 17～23m、S 面グリッド 0～7m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

暗黄灰色<2.5YR4/2>の極細粒砂混じりシルトからなる。5～10mm 程度の白色で糸状の植物根を多量に含む。φ0.5～1mm 程度の黄色パミスをまれに含む。下位層に漸移する。79 層、77 層及び 75 層は僅かな色調の違いで区分した。

【77 層】E 面グリッド 1～15m 及び 21～23m、W 面グリッド 1～11m 及び 17～23m、S 面グリッド 1～7m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

灰黄褐色<10YR4/2>の極細粒砂混じりシルトからなり、火山ガラスを少量含む。上位及び下位との境界は不明瞭で漸移的に層相が変化する。79 層、77 層及び 75 層は僅かな色調の違いで区分した。

【79 層】E 面グリッド 1～15m 及び 19～23m、W 面グリッド 1～11m 及び 17～23m、S 面グリッド 1～7m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

暗黄灰色<10YR4/2>の極細粒砂混じりシルトからなり、火山ガラスを少量含む。5～10mm 程度の白色で糸状の植物根を多量に含む。明褐色のφ1～5mm 程度スコリアが点在する。上位層に漸移する。79 層、77 層及び 75 層は僅かな色調の違いで区分した。

【81 層】E 面グリッド 1～15m 及び 19～22m、W 面グリッド 1～11m 及び 16～23m、S 面グリッド 1～7m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

黒褐色<2.5YR3/1>の塊状シルトからなり、火山ガラスを含む。下位の 83 層とは凹凸に富んだ境界をなし、上位の 79 層には漸移的に層相が変化する。

【83 層】E 面グリッド 1～15m 及び 18～22m、W 面グリッド 1～11m 及び 15～23m、S 面グリッド 1～7m に層厚 10～30cm 程度で分布する。

極暗赤褐色<5YR2/3>の塊状シルトからなり、壁面を削剥するとやや粗い表面をなす。83 層上面は生物擾乱により不規則な凹凸をなし、3～20cm 程度の高低差がみられる。法面では地層全体がやや紫がかって見え、よく目立つため側方に追跡しやすい。

【85 層】E 面グリッド 1～16m 及び 18～22m、W 面グリッド 1～12m 及び 14～22m、S 面グリッド 1～6m に層厚 20～40cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>の塊状シルトからなる。最上部はやや淡色を呈す。

【87 層】E 面グリッド 1～22m、W 面グリッド 1～22m、S 面グリッド 1～6m に層厚 5～50cm 程度で全壁面の下部で連続して分布する。

黒褐色<10YR3/2>の塊状シルトからなる。空隙を多く含む。

【89 層】E 面グリッド 2～16m 及び 17～22m、W 面グリッド 2～16m、S 面グリッド 2～6m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

黒褐色<10YR2/2>の塊状シルトからなる。パミスをわずかに含む。

【91 層】E 面グリッド 2～10m、W 面グリッド 2～10m、S 面グリッド 2～6m に層厚 10～20cm 程度で分布する。

にぶい黄褐色＜10YR4/3＞の塊状シルトからなる。φ 1mm 程度のパミスが点在する。

【93 層】E 面グリッド 2～5m、W 面グリッド 2～4m、S 面グリッド 2～6m に分布する。

黒褐色＜10YR2/2＞の塊状シルトからなる。下野トレンチにおける最下層である。

(7) 断層記載

下野トレンチでは多くの断層および開口クラックが確認される。断層および開口クラックは、性状によって F1・F2 として区分した。また、断層に付随する充填物やその他の構造についても本項において記載する。なお、下野トレンチではトレンチ南角を基準に水平、鉛直に 1m で水系によりグリッド表示されている。壁面の位置を示す際にはグリッドで表現する。例えば、W 面の横方向のグリッドが地表面上の横板に 6m と表示された水系の上で、深度方向には 2 本目の水系と 3 本目の水系の中間に位置し、板上面から 2.5m の深度にある場合は、W (6.0, -2.5) のように表示する。

①F1

開口成分を含むクラック及び断層を F1 とし、スケッチ上では赤線で示した。W 面および E 面、S 面に分布し、W 面では 3～6m、E 面では 3～5m 付近に多く確認される。開口幅は 0.5～10cm 程度である。開口部には挟在物は分布しない。F1 のうち本項で記載する断層について、F1-1、F1-2、F1-3 とする。F1-1 は、E(4.8～7.0, -2.8～-0.8)の範囲で分布する断層で 10～20cm 程度の見かけ北落ちの変位を伴い、65 層までに変位を与える(図 2.4.17)。F1-2 は、E(5.2～6.0, -1.9～-2.8)の範囲で分布する断層で 10～20cm 程度の見かけ南落ちの変位を伴い、79 層までに変位を与える(図 2.4.18)。F1-3 は、W(3.0～3.8, -3.6～-0.4)の範囲で花卉構造を形成する断層群で、複雑な変形が認められる。10～20cm 程度の見かけ北落ちの変位がみられ、63 層まで変位を与える。開口クラックのうち、変位は認められないものは人工地盤(5 層)まで連続する(図 2.4.19)。

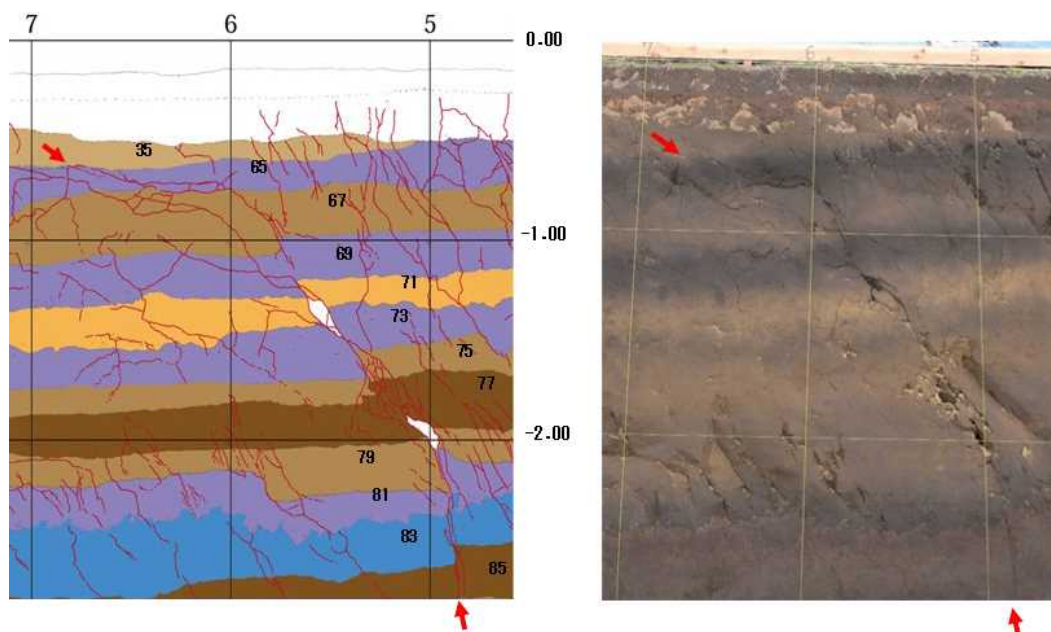


図 2.4.17 F1-1

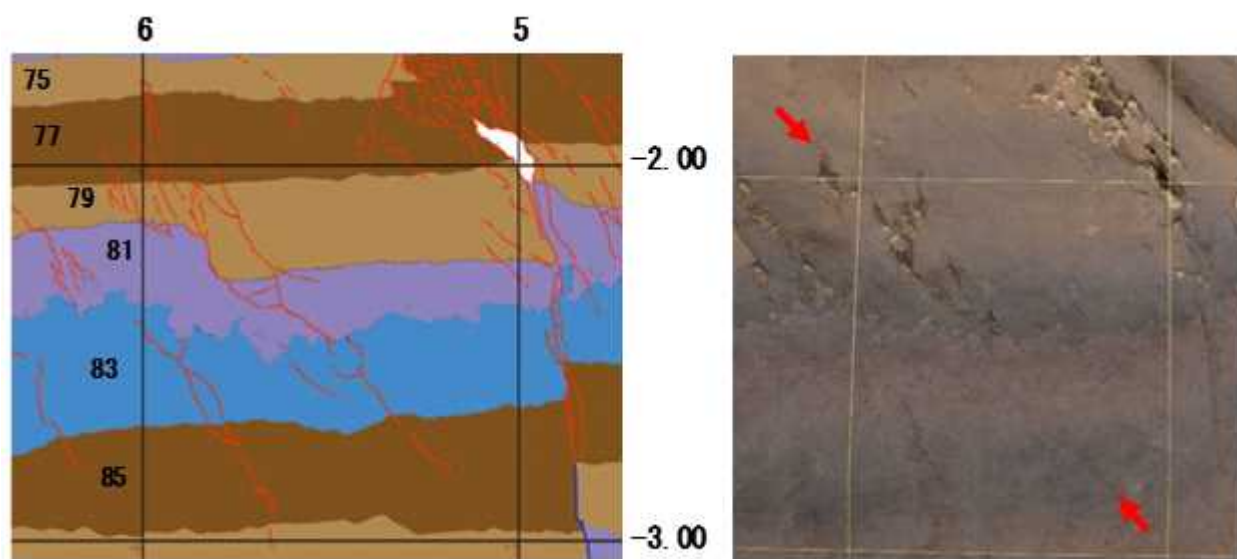


图 2.4.18 F1-2

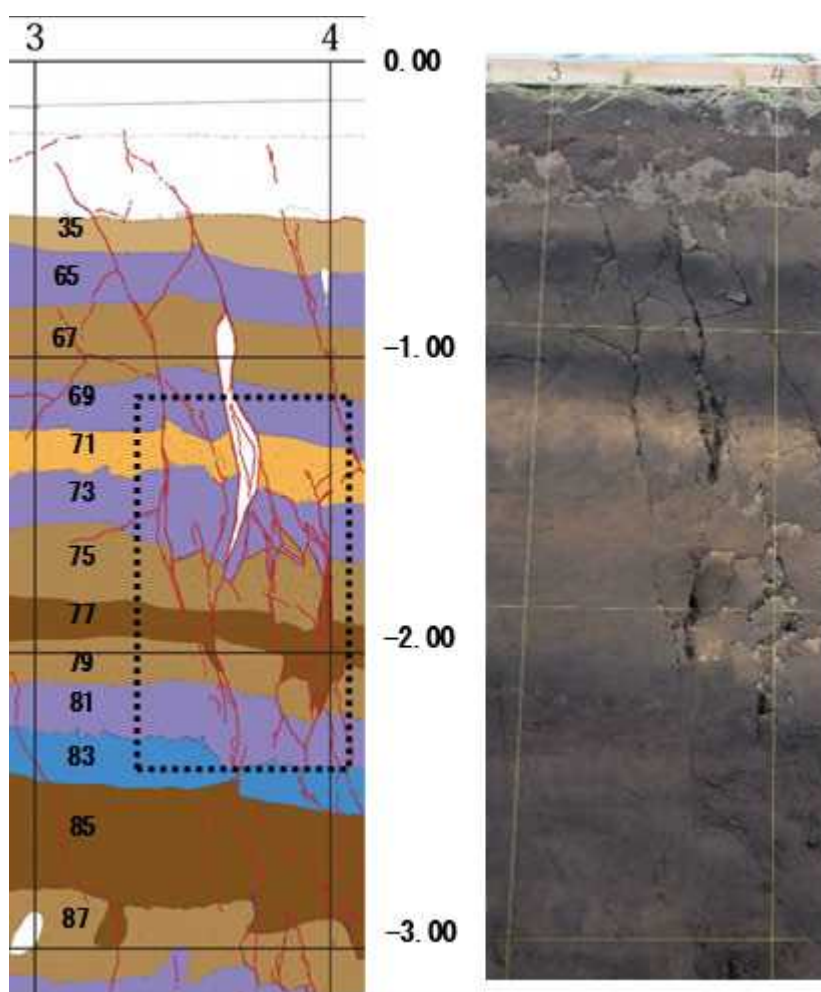


图 2.4.19 F1-3

②F2

剪断面が密着している断層を F2 とする。E(4.6～4.9, -3.6～-2.6)付近に範囲に分布し、85 層までが見かけ北落ち 10～20cm 程度の変位を受ける。断層の剪断面に沿って地層の引きずり構造が認められる(図 2.4.20)。当初掘削のトレンチでは F2 は 83 層より下位の層序にのみ分布しており、F2 の周辺には F1 が共存する。

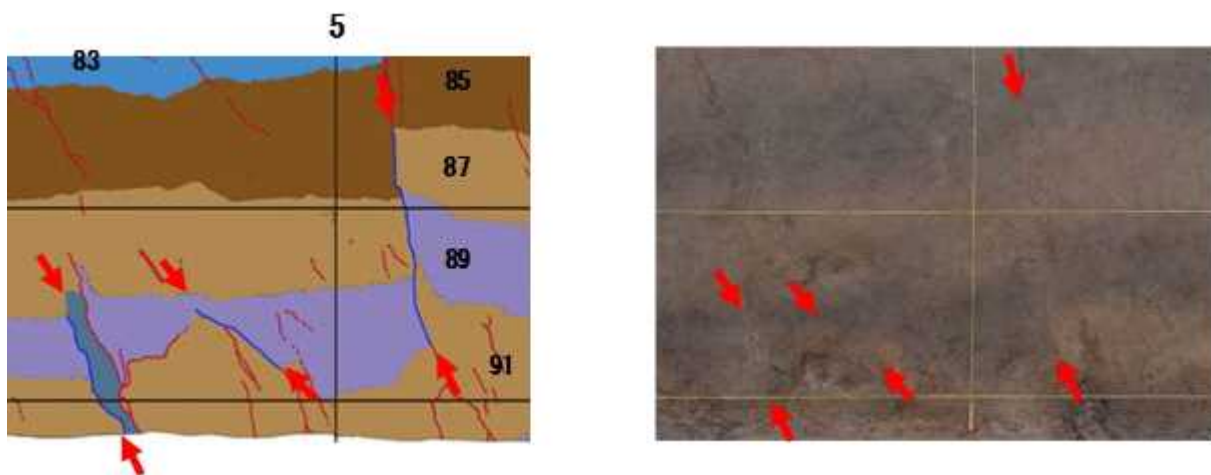


図 2.4.20 F2

③断層充填物

F2 の断層の一部には、剪断面の間隙に物質が充填する構造が認められる。充填物の構成物質は付近の地層由来と考えられるもの(図 2.4.21 : 87 層の例)や白色物質からなるものがある(図 2.4.22)。

白色充填物は不連続かつ直線的に連続する。同様の構造は同一層準の地層中にも多数存在するため、クラック中に入り込んだ植物根の可能性はある。

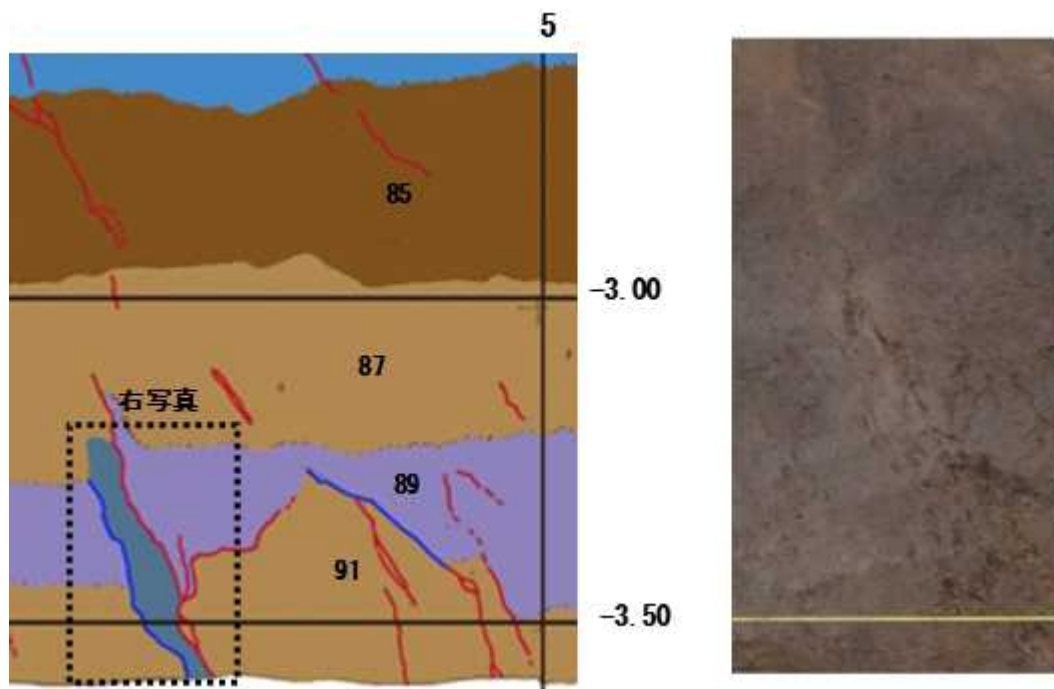


図 2.4.21 87 層由来の充填物(スケッチ内の暗青色塗色部)

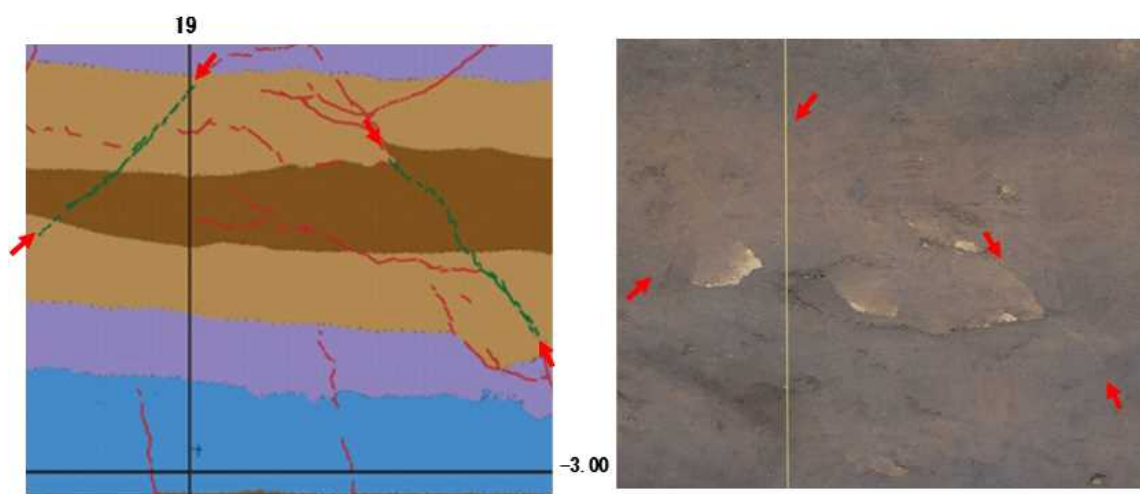


図 2.4.22 白色物質からなる充填物

④その他の構造

W(17.0～17.5, -1.2～-1.9)付近には漏斗状の構造がみられる(図 2.4.23)。漏斗状構造と周囲の地層とは密着したせん断面で接しており、構造の内部は周囲の地層の構成物と同質なものが充填する。この構造の延長方向には目立った変位や断層は認められない。せん断面は 23 層に覆われる。

W(16.5～17.0, -1.2～-1.3)および W(18.2～18.8, -1.8～-1.7)付近には黒色の充填物がみられる(図 2.4.24)。黒色の充填物は密着した面の間隙を充填しており、密着した面の姿勢は周囲の開口クラックとは調和的ではない。

それぞれ、断層活動に伴う剪断面と充填物であると考えられるものの、詳細は不明である。

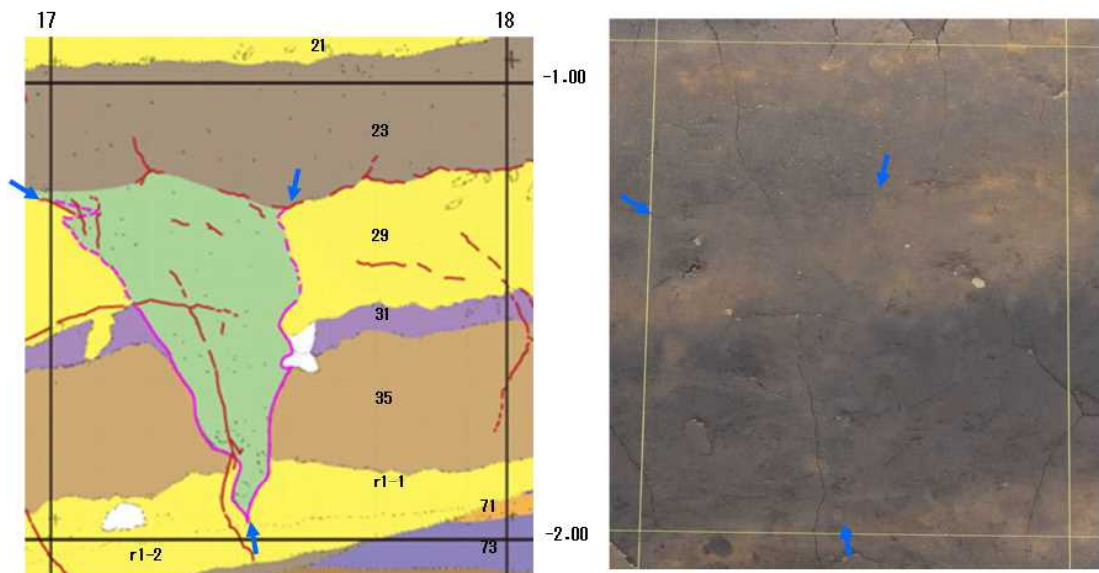


図 2.4.23 漏斗状構造

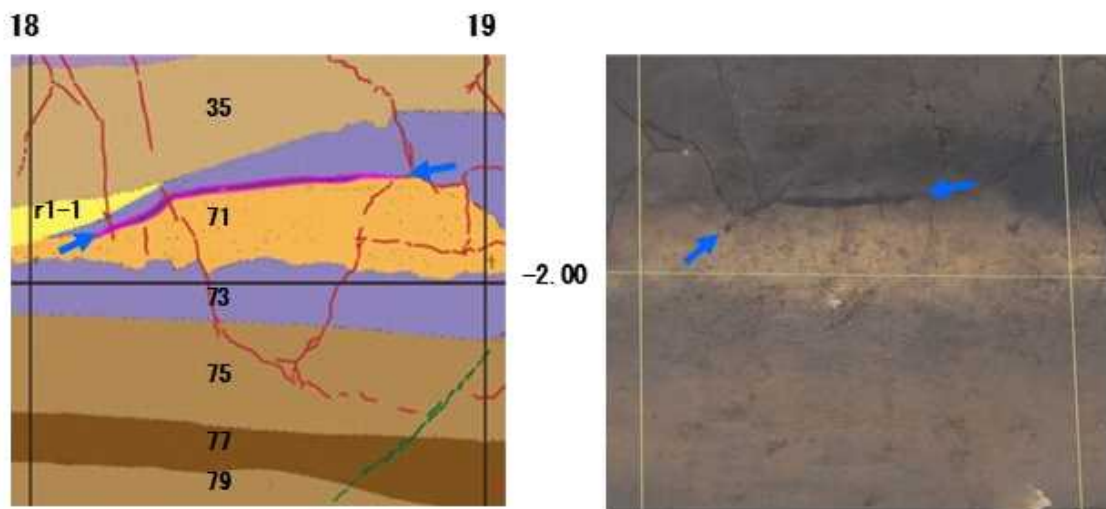


図 2.4.24 黒色の充填物

(8) 断層構造解析

下野トレンチでの F1 及び F2 断層について、断層面の走向方向からローズダイアグラム (図 2.4.25)、断層面の走向傾斜からシュミットネットによる下半球等積投影で構造解析を実施した (図 2.4.26、図 2.4.27)。

①F1

F1 は、走向が東北東-西南西方向から西北西-東南東方向(N70E~70W 程度)、傾斜は 70~90° 程度で南北に振れ、やや南に振れるものが多い。北西-南東方向(N50W~N60W 程度)のもの、北東-南西方向(N30E~N50E 程度)のもの、水平方向に近い断層もみられる。

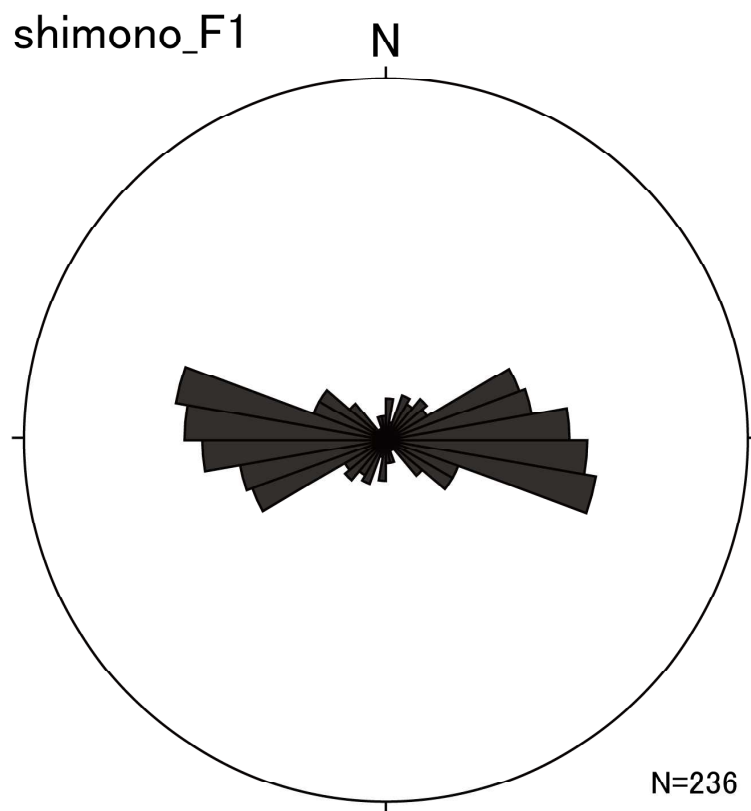


図 2.4.25 下野トレンチに分布する F1 の走向方向のローズダイアグラム

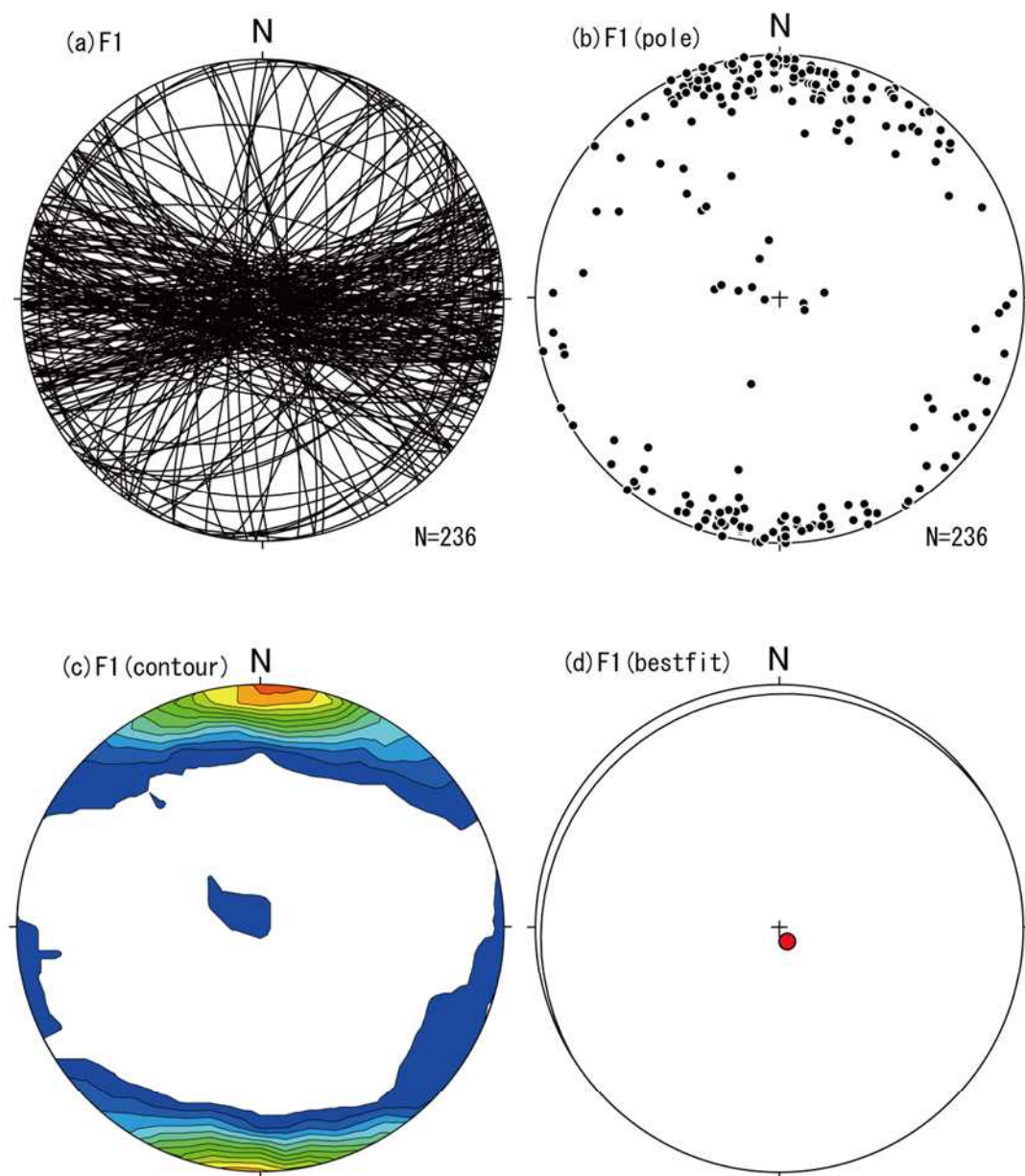


図 2.4.26 下野トレンチに分布する F1 の断層構造解析結果

(a):断層面の走向傾斜(下半球等積投影) (b):(a)の極 (c):(b)のコンターダイアグラム
(d):(b)からもとまる最適大円とその極。

②F2

F2 は、走向が東北東-西南西方向から西北西-東南東方向(N88E~70W 程度) (N70E~70W 程度)、傾斜は 80~90° 程度で南に振れものが 3 条、N49° E63° E の走向傾斜のものが 1 条みられた。F2 の断層面の姿勢は F1 のものと類似する。

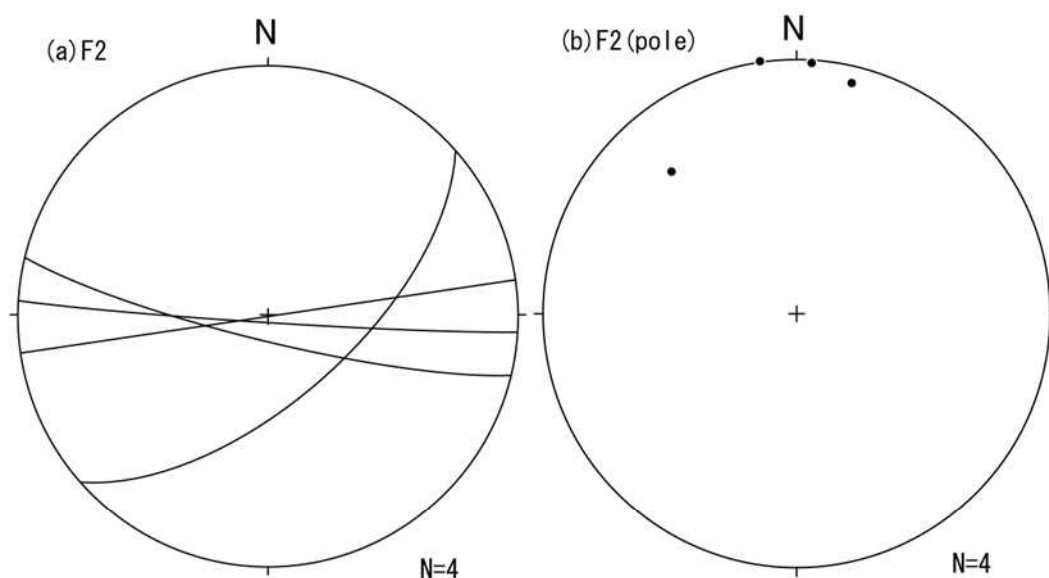


図 2.4.27 下野トレンチに分布する F2 の断層構造解析結果

(9) 年代測定

年代測定は AMS 法による放射性炭素年代測定を実施した。年代試料サンプリング位置を図 2.4.28～図 2.4.30 に、測定結果を表 2.4.4 に、暦年校正結果を表 2.4.5 及び図 2.4.31～図 2.4.32 に示す。

下野地区においてトレンチ壁面の地層は、ローム層（91 層～51 層）、チャネル埋積堆積物（r2～15 層）および人工地盤（1～5 層）である。地層の堆積年代は暦年補正（ 2σ ）の年代値で 89 層から 10,745～10,576cal BP、85 層から 9,275～9,026cal BP、81 層から 8,010～7,867cal BP、69 層から 6,301～6,203cal BP、r2-2a 層から 6,106～5,917cal BP、r2-1 層から 5,891～5,610cal BP、51 層から 5,046～4,872cal BP、39 層から 4,395～3,890cal BP、19 層から 3,345～3,172cal BP、15 層から 2,849～2,755cal BP の測定値が得られた。

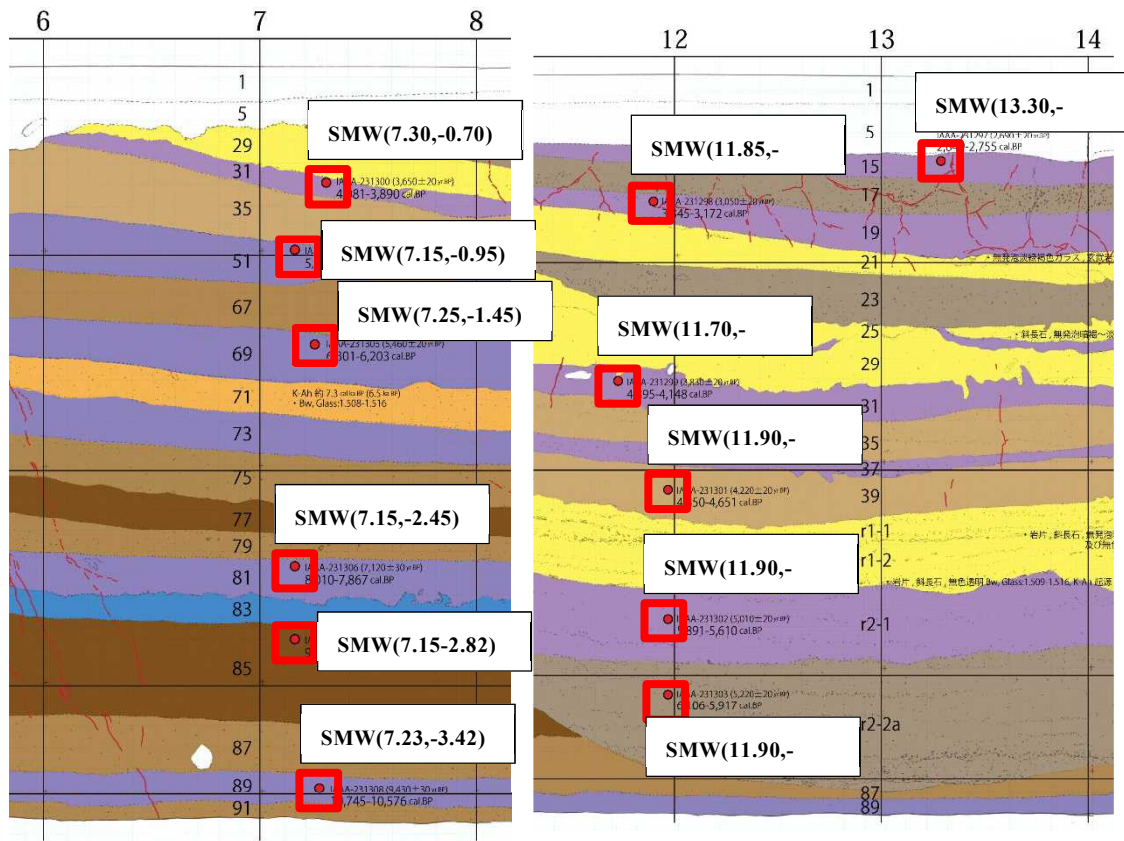


図 2.4.28 年代試料サンプリング位置

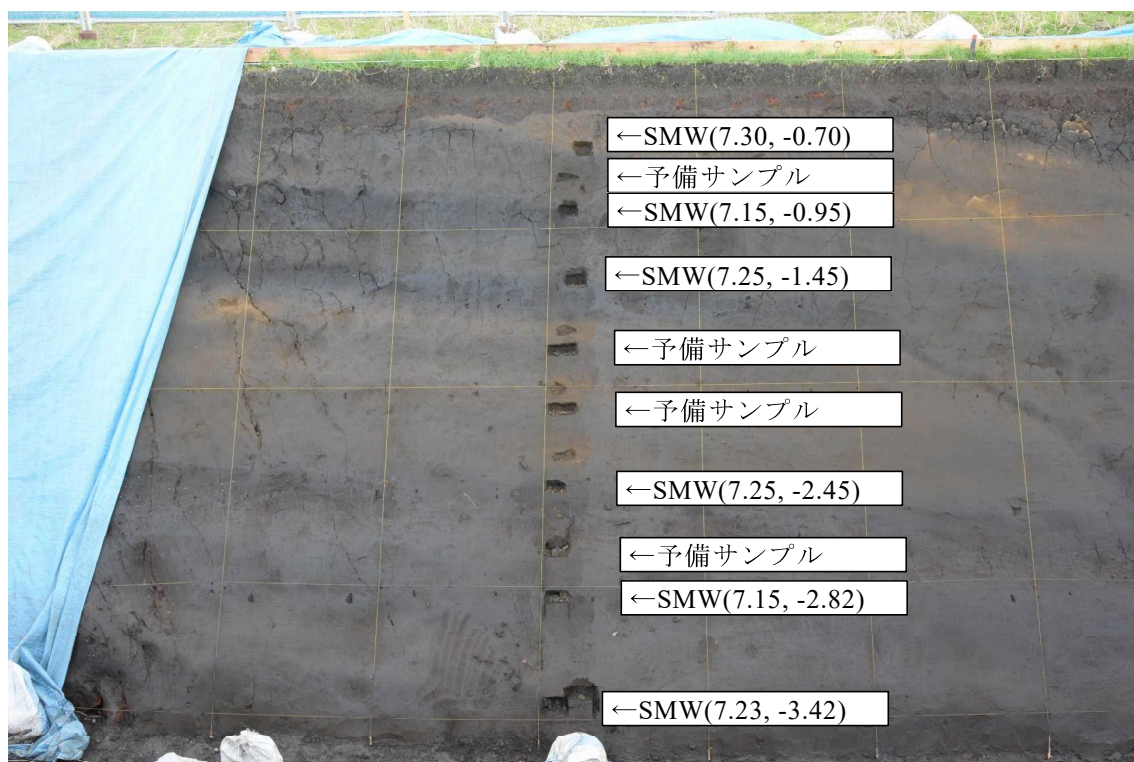


図 2.4.29 年代試料サンプリング位置（西面-測線 7m 付近）

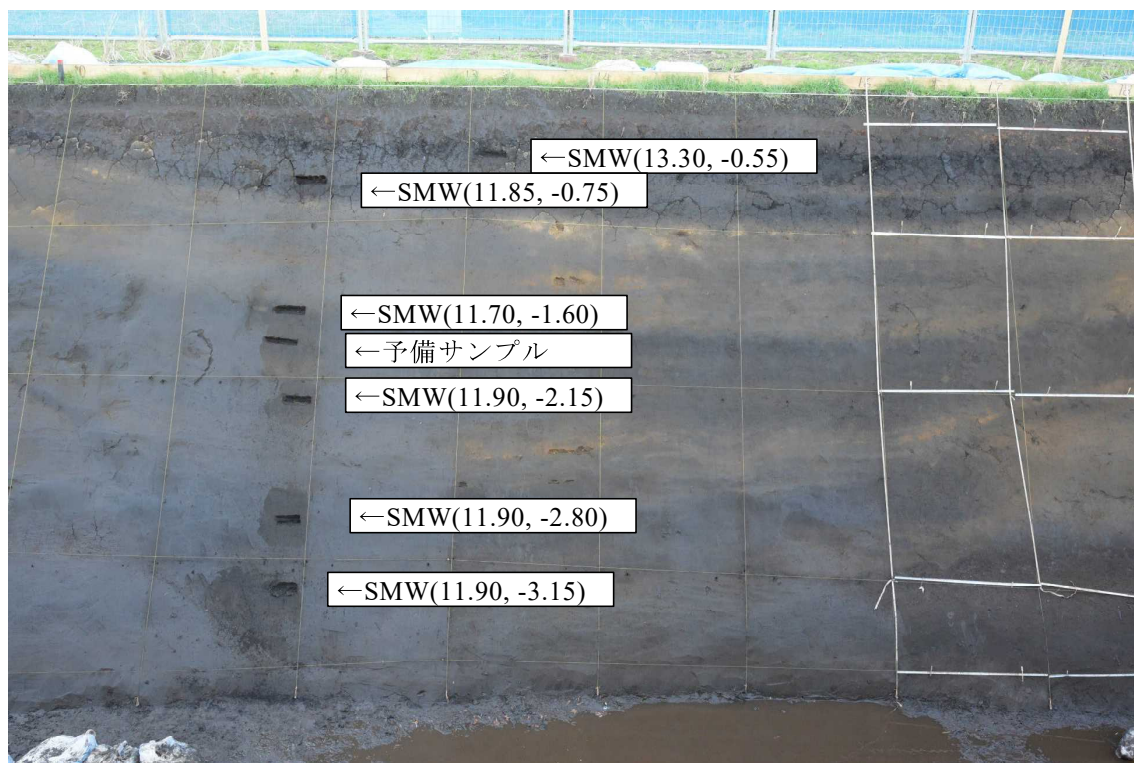


図 2.4.30 年代試料サンプリング位置（西面-測線 12m 付近）

表 2.4.4 下野トレンチ 放射性炭素年代測定結果

測定番号	試料名	試料 形態	処理 方法	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
					Libby Age (yrBP)	pMC (%)
IAAA-231297	SMW(13.30,-0.55)	土壌	HCl	-17.81 ± 0.29	2,690 ± 20	71.52 ± 0.19
IAAA-231298	SMW(11.85,-0.75)	土壌	HCl	-14.64 ± 0.26	3,050 ± 20	68.44 ± 0.19
IAAA-231299	SMW(11.70,-1.60)	土壌	HCl	-12.94 ± 0.23	3,830 ± 20	62.05 ± 0.18
IAAA-231300	SMW(7.30,-0.70)	土壌	HCl	-13.25 ± 0.29	3,650 ± 20	63.52 ± 0.17
IAAA-231301	SMW(11.90,-2.15)	土壌	HCl	-11.59 ± 0.29	4,220 ± 20	59.11 ± 0.17
IAAA-231302	SMW(11.90,-2.80)	土壌	HCl	-13.87 ± 0.29	5,010 ± 20	53.59 ± 0.16
IAAA-231303	SMW(11.90,-3.15)	土壌	HCl	-13.35 ± 0.29	5,220 ± 20	52.23 ± 0.15
IAAA-231304	SMW(7.15,-0.95)	土壌	HCl	-11.11 ± 0.27	4,410 ± 20	57.79 ± 0.16
IAAA-231305	SMW(7.25,-1.45)	土壌	HCl	-15.64 ± 0.25	5,460 ± 20	50.70 ± 0.16
IAAA-231306	SMW(7.15,-2.45)	土壌	HCl	-18.78 ± 0.28	7,120 ± 30	41.24 ± 0.14
IAAA-231307	SMW(7.15,-2.82)	土壌	HCl	-17.55 ± 0.24	8,200 ± 30	36.03 ± 0.12
IAAA-231308	SMW(7.23,-3.42)	土壌	HCl	-17.62 ± 0.28	9,430 ± 30	30.90 ± 0.11

表 2.4.5 下野トレンチ 暦年校正結果

測定番号	試料名	暦年校正用 (yrBP)	校正条件	1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
IAAA-231297	SMW(13.30,-0.55)	2,692 ± 20	OxCal v4.4 IntCal20	2842calBP - 2828calBP (17.3%) 2784calBP - 2758calBP (50.9%)	2849calBP - 2755calBP (95.4%)
IAAA-231298	SMW(11.85,-0.75)	3,045 ± 22	OxCal v4.4 IntCal20	3330calBP - 3292calBP (30.6%) 3258calBP - 3212calBP (37.7%)	3345calBP - 3282calBP (39.0%) 3275calBP - 3172calBP (56.4%)
IAAA-231299	SMW(11.70,-1.60)	3,833 ± 22	OxCal v4.4 IntCal20	4288calBP - 4273calBP (9.0%) 4250calBP - 4224calBP (19.3%) 4205calBP - 4155calBP (40.0%)	4395calBP - 4373calBP (2.0%) 4354calBP - 4327calBP (5.5%) 4299calBP - 4148calBP (87.9%)
IAAA-231300	SMW(7.30,-0.70)	3,645 ± 22	OxCal v4.4 IntCal20	4059calBP - 4053calBP (3.3%) 3984calBP - 3908calBP (65.0%)	4081calBP - 4036calBP (18.3%) 3998calBP - 3890calBP (77.2%)
IAAA-231301	SMW(11.90,-2.15)	4,223 ± 22	OxCal v4.4 IntCal20	4843calBP - 4820calBP (42.6%) 4749calBP - 4729calBP (25.6%)	4850calBP - 4808calBP (49.7%) 4755calBP - 4701calBP (38.8%) 4672calBP - 4651calBP (7.0%)
IAAA-231302	SMW(11.90,-2.80)	5,011 ± 23	OxCal v4.4 IntCal20	5857calBP - 5827calBP (20.6%) 5752calBP - 5710calBP (33.5%) 5688calBP - 5662calBP (14.2%)	5891calBP - 5815calBP (34.7%) 5760calBP - 5656calBP (59.8%) 5618calBP - 5610calBP (1.0%)
IAAA-231303	SMW(11.90,-3.15)	5,217 ± 23	OxCal v4.4 IntCal20	5993calBP - 5958calBP (45.8%) 5950calBP - 5932calBP (22.5%)	6106calBP - 6091calBP (4.1%) 6001calBP - 5917calBP (91.3%)
IAAA-231304	SMW(7.15,-0.95)	4,405 ± 22	OxCal v4.4 IntCal20	5037calBP - 5006calBP (23.2%) 4981calBP - 4959calBP (16.8%) 4932calBP - 4884calBP (28.3%)	5046calBP - 4872calBP (95.4%)
IAAA-231305	SMW(7.25,-1.45)	5,456 ± 24	OxCal v4.4 IntCal20	6292calBP - 6275calBP (31.4%) 6236calBP - 6215calBP (36.9%)	6301calBP - 6266calBP (43.1%) 6247calBP - 6203calBP (52.3%)
IAAA-231306	SMW(7.15,-2.45)	7,115 ± 27	OxCal v4.4 IntCal20	7970calBP - 7931calBP (54.3%) 7890calBP - 7876calBP (13.9%)	8010calBP - 7924calBP (72.9%) 7898calBP - 7867calBP (22.6%)
IAAA-231307	SMW(7.15,-2.82)	8,200 ± 27	OxCal v4.4 IntCal20	9260calBP - 9222calBP (15.8%) 9205calBP - 9176calBP (14.4%) 9142calBP - 9088calBP (27.2%) 9052calBP - 9031calBP (10.9%)	9275calBP - 9163calBP (44.1%) 9156calBP - 9026calBP (51.4%)
IAAA-231308	SMW(7.23,-3.42)	9,433 ± 29	OxCal v4.4 IntCal20	10701calBP - 10650calBP (40.9%) 10625calBP - 10589calBP (27.4%)	10745calBP - 10576calBP (95.4%)

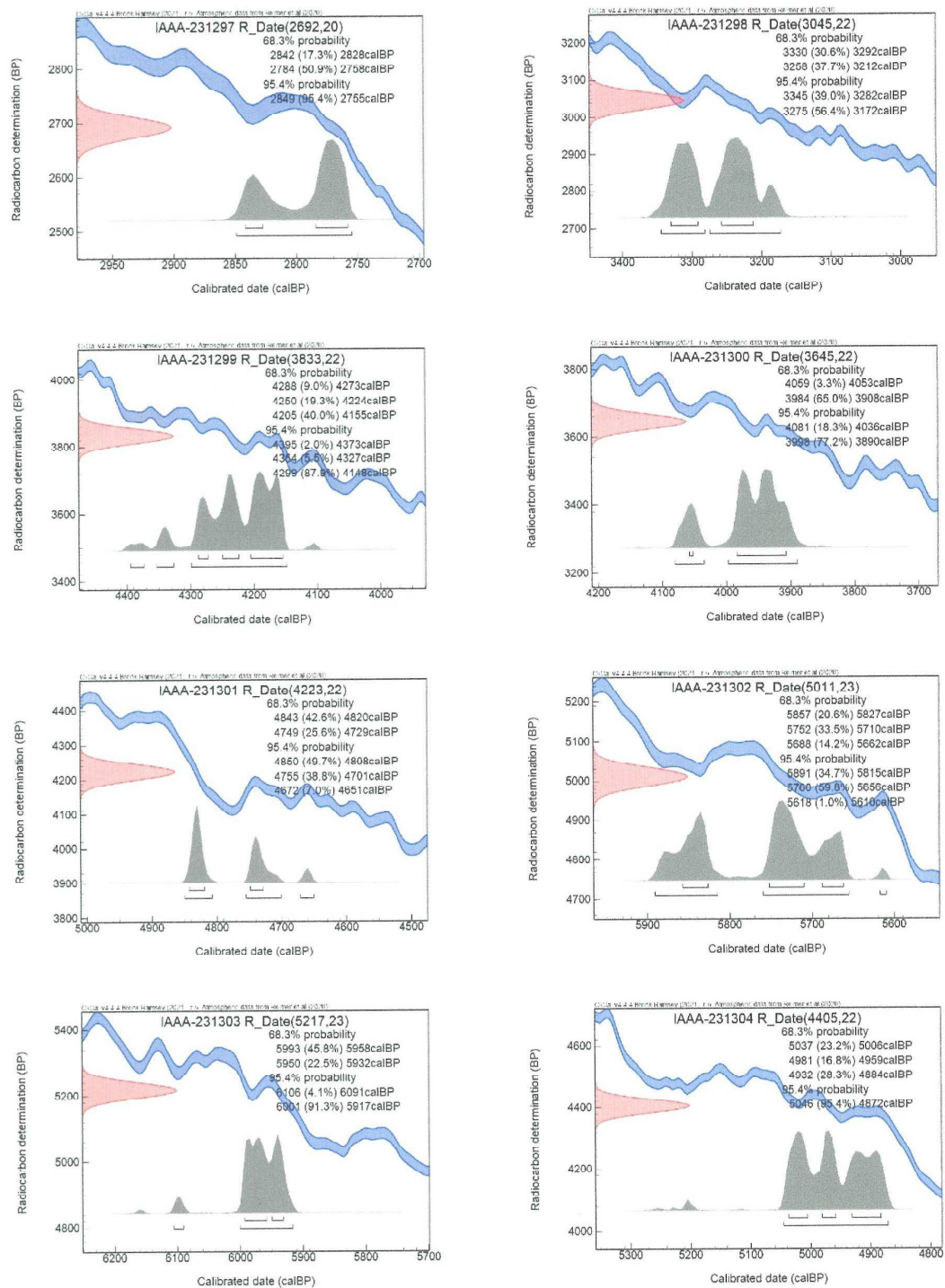


図 2.4.31 下野トレンチ 暦年較正年代グラフ(1)

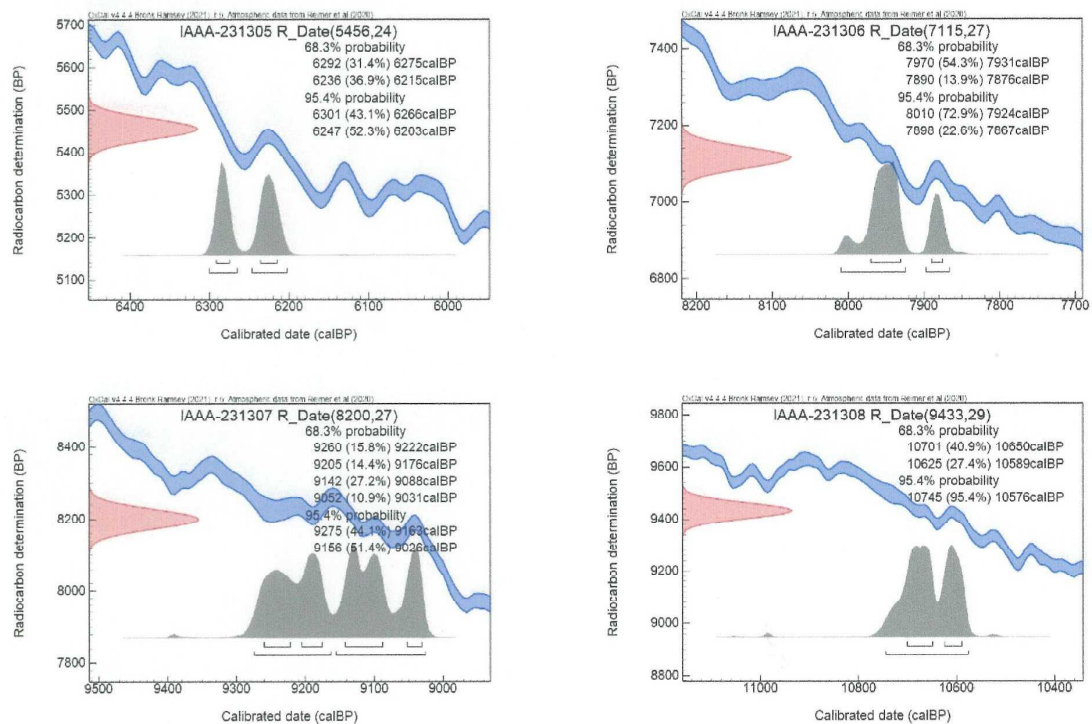


図 2.4.32 下野トレンチ 暦年較正年代グラフ(2)

(10) 火山灰分析

下野トレンチにおいて、火山灰が含まれている可能性のある層序についてサンプリングを行い、火山灰分析を実施した。サンプリング位置を図 2.4.33～図 2.4.37 に示す。

火山灰分析の結果、71 層は K-Ah 火山灰（約 7.3 cal ka BP；奥野, 2002）に対比された。チャンネル中よりサンプリングを行った 43 層については K-Ah 火山灰の再堆積の可能性が示唆され、41 層、25 層、21 層及び 17 層については対比可能な火山灰層の絞り込みができなかった。

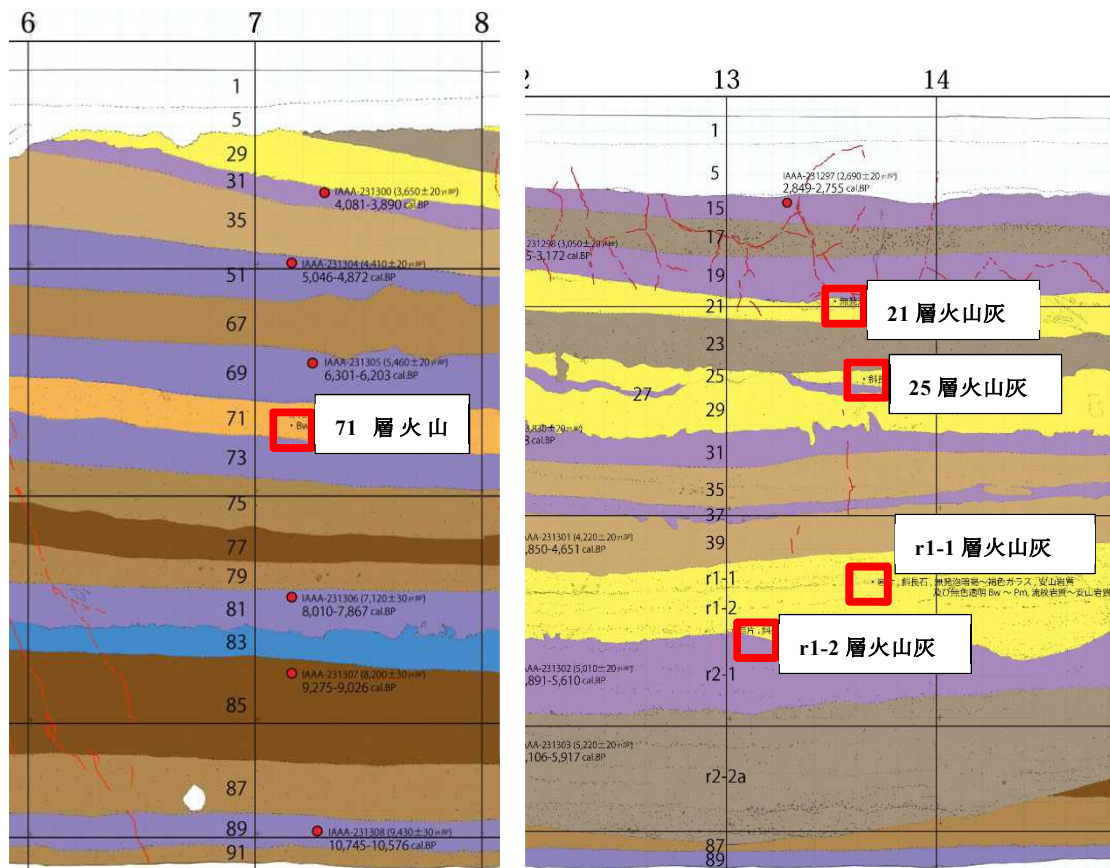


図 2.4.33 火山灰試料サンプリング位置

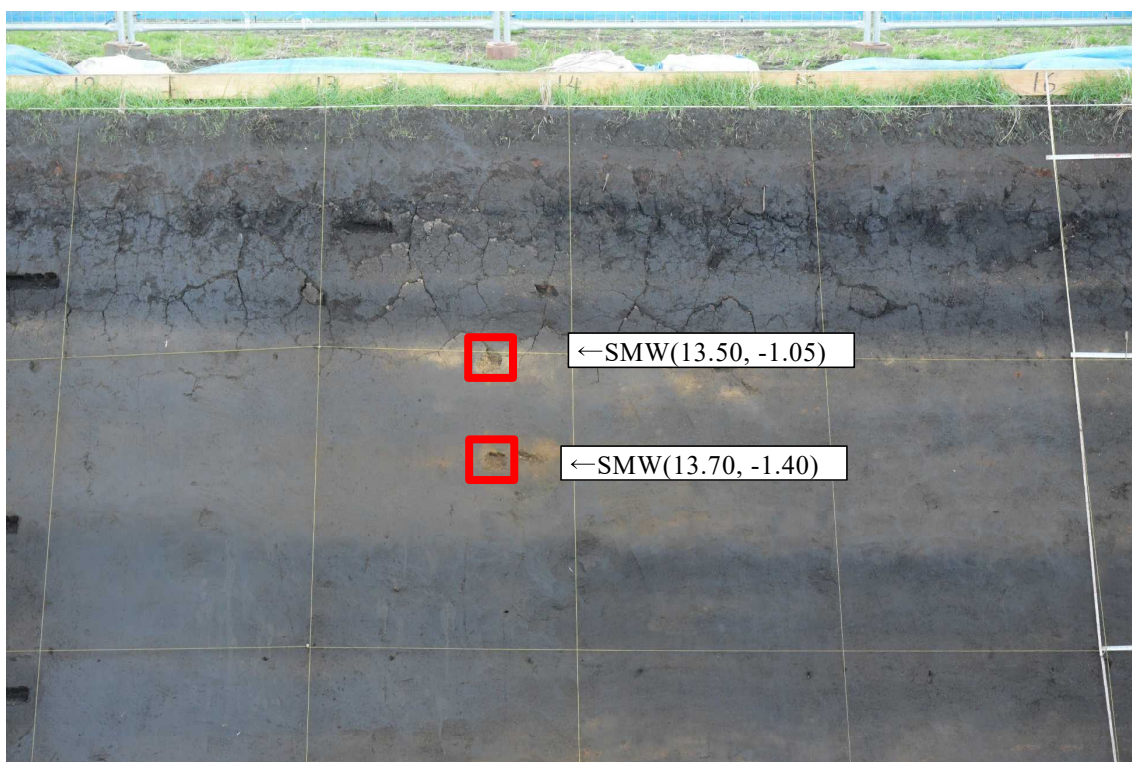


図 2.4.34 火山灰サンプリング位置（トレンチ 1、西側測線 13m 付近 1）

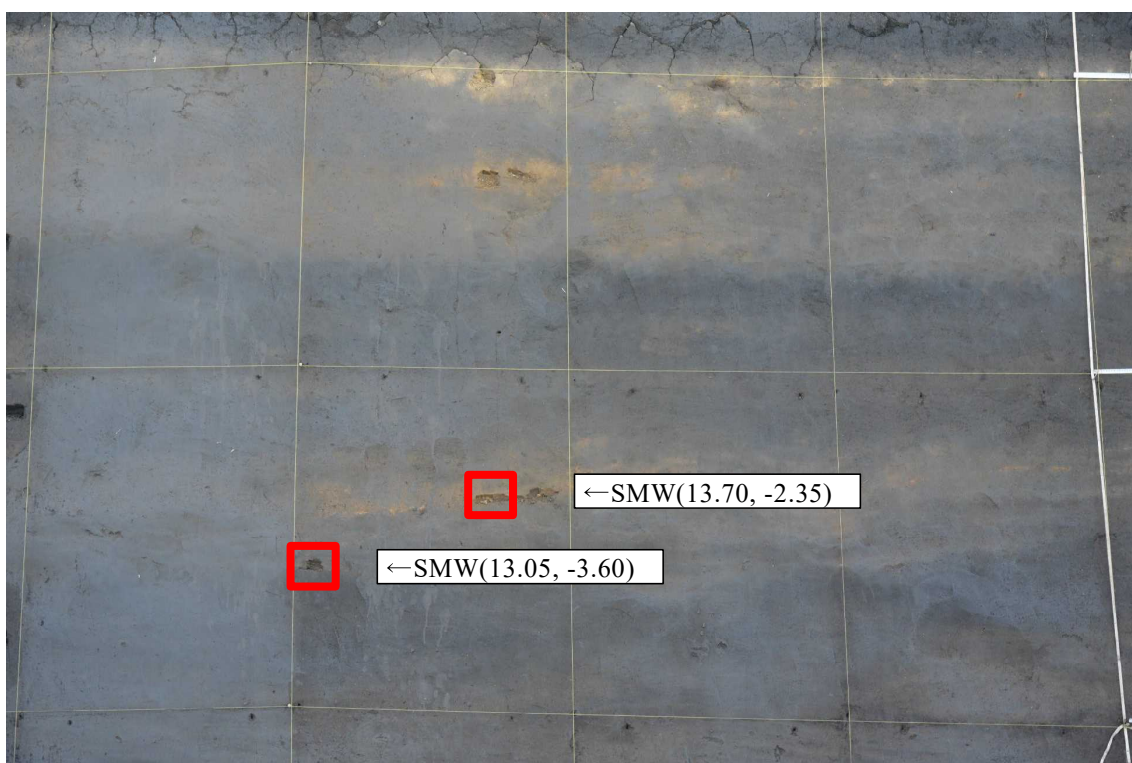


図 2.4.35 火山灰サンプリング位置（トレンチ 1、西側測線 13m 付近 2）

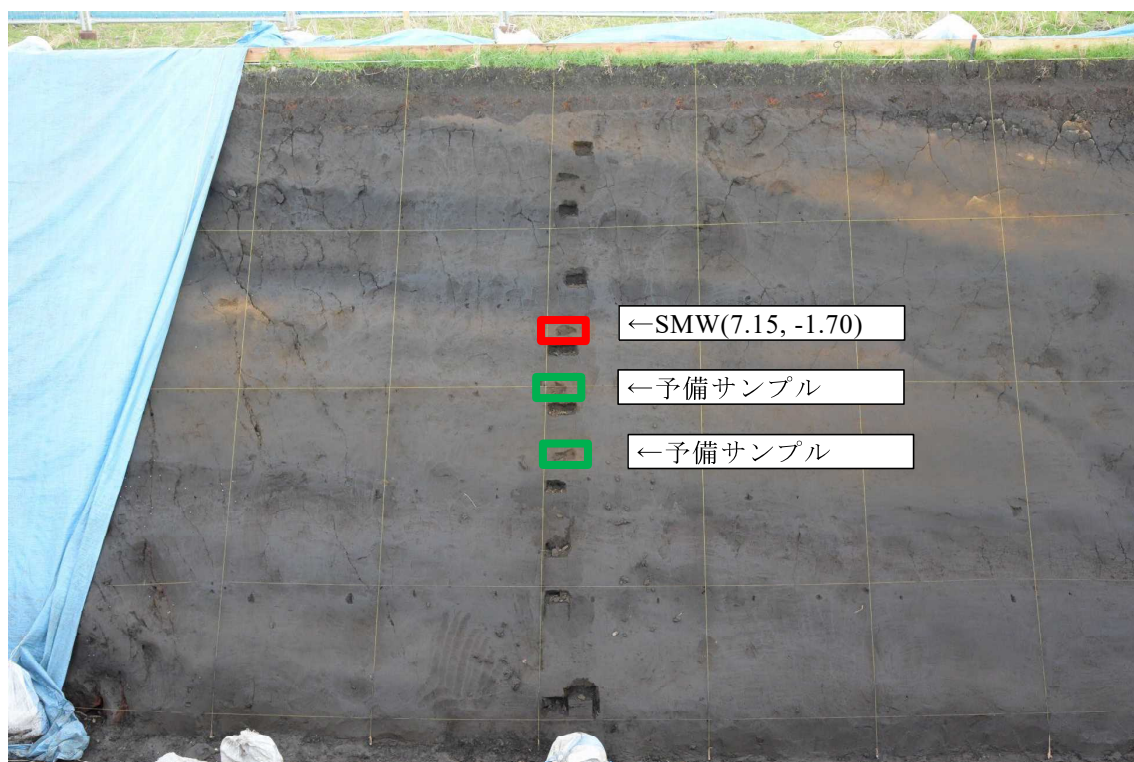


図 2.4.36 火山灰サンプリング位置（トレンチ 1、西側測線 7m 付近 1）



図 2.4.37 火山灰サンプリング位置（トレンチ 3、西側測線 4m 付近）

①17 層火山灰(パミス) SMN3W(4.15, -0.65)

暗褐色火山岩片を主体とし、斜長石を多く含む。無発泡淡緑褐色低発泡火山ガラスおよび暗褐色低発泡火山ガラスを少量含む。火山ガラスは色調からローカルな玄武岩質および安山岩質マグマの噴出物であると考えられる。重鉱物としては橄欖石を多く含み単斜輝石も含まれる。検鏡写真を図 2.4.38 に示す。

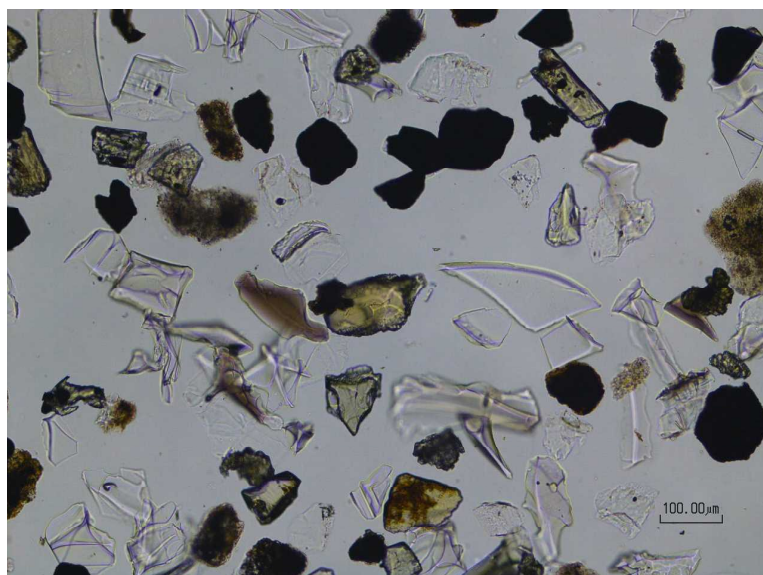


図 2.4.38 17 層火山灰(パミス) 検鏡写真

②21 層火山灰 W(13.50, -1.05)

岩片・風化粒および火山岩片を主体とし、無発泡淡緑褐色火山ガラスを少量含む。火山ガラスは色調からローカルな玄武岩質マグマの噴出物であると考えられる。検鏡写真を図 2.4.39 に示す。

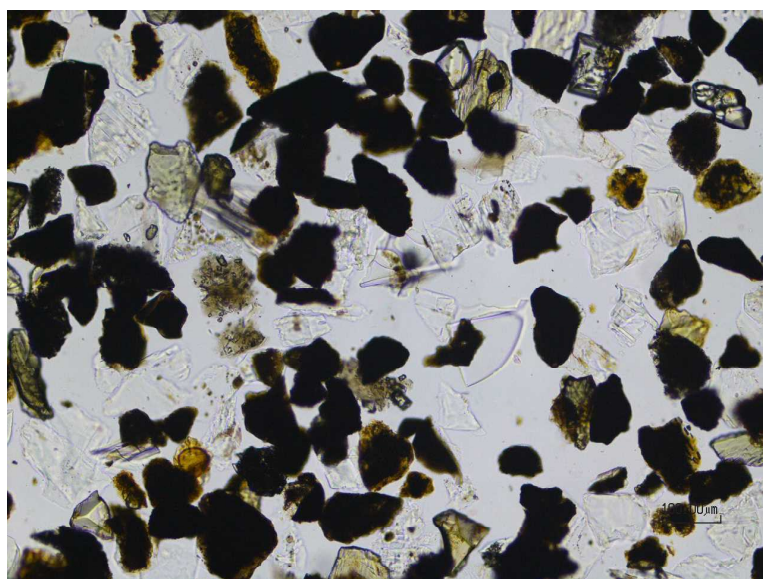


図 2.4.39 21 層火山灰 検鏡写真

③25 層火山灰 W(13.70, -1.40)

火山岩片を主体とし、斜長石を多く含む。無発泡暗褐色～淡褐色火山ガラスを少量含む。火山ガラスは色調からローカルな安山岩質マグマの噴出物であると考えられる。検鏡写真を図 2.4.40 に示す。

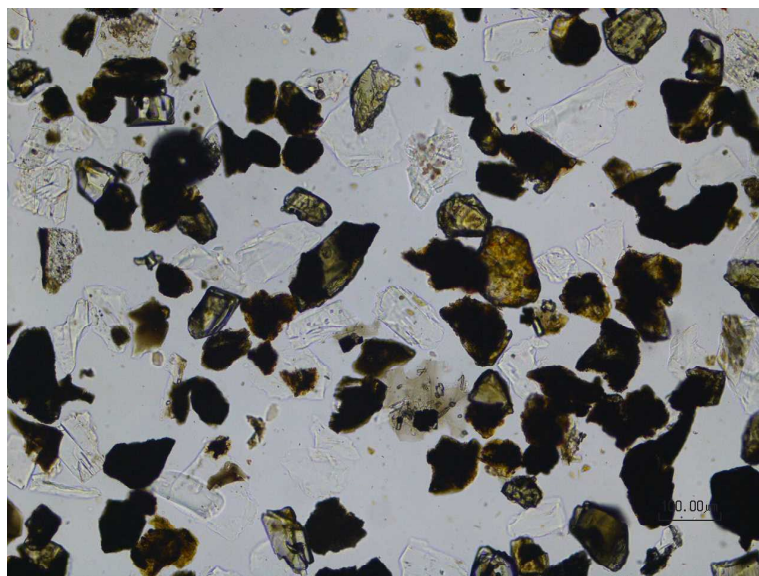


図 2.4.40 25 層火山灰 検鏡写真

④r1-1 層火山灰 W(13.70-2.35)

火山岩片を主体とし、斜長石を多く含む。無発泡暗褐色～褐色火山ガラスおよび無色透明バブルウォール～パミスタイプ火山ガラスを少量含む。無発泡暗褐色～褐色火山ガラスは色調からローカルな安山岩質マグマの噴出物であると考えられる。無色透明バブルウォール～パミスタイプ火山ガラスはやや広域に降灰した流紋岩質～安山岩質マグマの噴出物であると考えられる。検鏡写真を図 2.4.41 に示す。

なお、本層準は放射性年代測定結果をもとに地層名を変更しているため、巻末資料の火山灰分析結果のうち、41 層の火山灰分析値が r1-2 層の火山灰分析値に該当する。

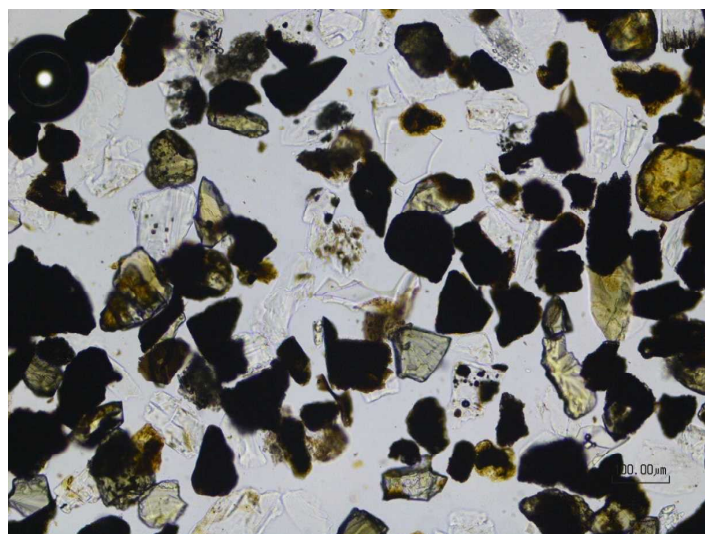


図 2.4.41 r1-1 層火山灰 検鏡写真

⑤r1-2 層火山灰 W(13.05, -3.60)

火山岩片を主体とし、斜長石を多く含む。無色透明バブルウォールタイプ火山ガラスをやや多く含む。この火山ガラスの屈折率は 1.509-1.516 であり、K-Ah テフラ起源と考えられる。検鏡写真を図 2.4.42 に示す。

なお、本層準は放射性年代測定結果をもとに地層名を変更しているため、巻末資料の火山灰分析結果のうち、43 層の火山灰分析値が r1-2 層の火山灰分析値に該当する。

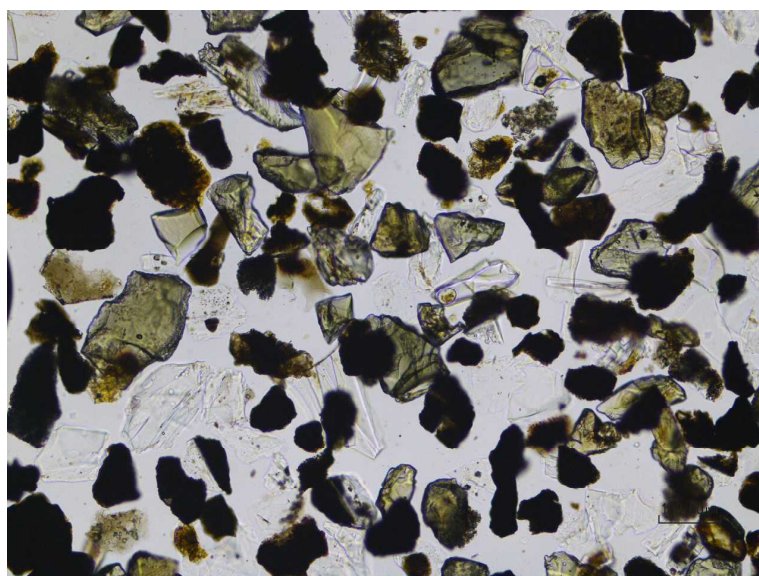


図 2.4.42 43 層火山灰 検鏡写真

⑥71 層火山灰 W(7.15-1.70)

バブルウォールタイプ火山ガラスを主体とする。この火山ガラスの屈折率は 1.508-1.516 であり、K-Ah テフラ起源と考えられる。検鏡写真を図 2.4.43 に示す。

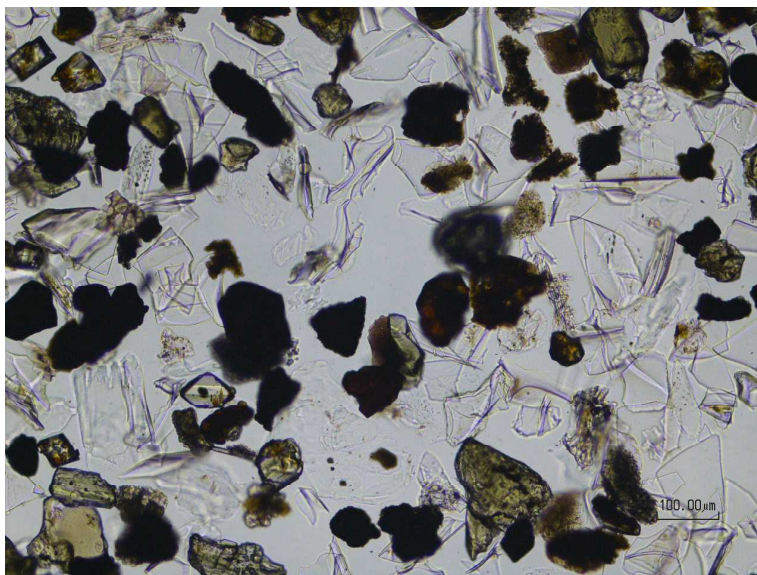


図 2.4.43 71 層火山灰 検鏡写真

⑦粒子組成分析結果

下野トレンチでサンプリングした火山灰について、粒子組成分析を実施した結果を表 2.4.6 に示す。

試料名	Vol canic Glass			Light Mineral	Heavy Mineral					Rock	V.Rock	Total	特記事項	火山ガラスの屈折率	テフラ名
	Bw	Pm	O	Ft/Qu	Opx	Cpx	Gho	Ol	Opq						
17層火山灰(バミス) W14,15-0,65	102	2	3	60	31	5	0	1	46	50	0	300		1.509-1.516	K-Ah
21層火山灰 W13,50-1,05	0	0	3	37	4	9	0	2	0	132	113	300	Oタイプガラスは淡緑褐色,V.Rockは暗褐色		
25層火山灰 W13,70-1,40	0	0	7	80	0	19	0	13	0	4	177	300	Oタイプガラスは暗褐色～淡褐色,V.Rockは暗褐色,Opx微量含む		
r1-1層火山灰 W13,70-2,35	1	0	3	93	2	30	0	7	0	6	158	300	Oタイプガラスは淡褐色～褐色,V.Rockは暗褐色,無色透明Bw～Pmタイプ火山ガラス少量含む		
r1-2層火山灰 W13,05-3,60	17	0	2	98	2	48	0	12	0	0	121	300	Oタイプガラスは褐色,V.Rockは暗褐色	1.509-1.516	K-Ah混在
71層火山灰 W7,15-1,70	136	0	0	46	6	48	0	8	0	0	56	300		1.508-1.516	K-Ah

Bw: バブルウオールタイプ
Pm: バミ スタイプ
O: 低発泡タイプ

Ft・Qu: 長石・石英
Opx: 斜方輝石 Cpx: 単斜輝石 Gho: 緑色普通角閃石 Ol: カンラン石
Opq: 不透明鉱物 Rock: 岩片・風化粒 V.Rock: 火山岩片

(11) 追加トレンチ調査

当初掘削のトレンチ（以下、「トレンチ1」と記す）実施後に、断層の伸張方向において追加掘削を実施し（図 2.4.44）、チャネル埋積堆積物と断層との関係について確認を実施した。追加掘削位置はトレンチ1の東側の耕作地端部とし、溝状にトレンチ2及びトレンチ3を掘削した（図 2.4.45）。

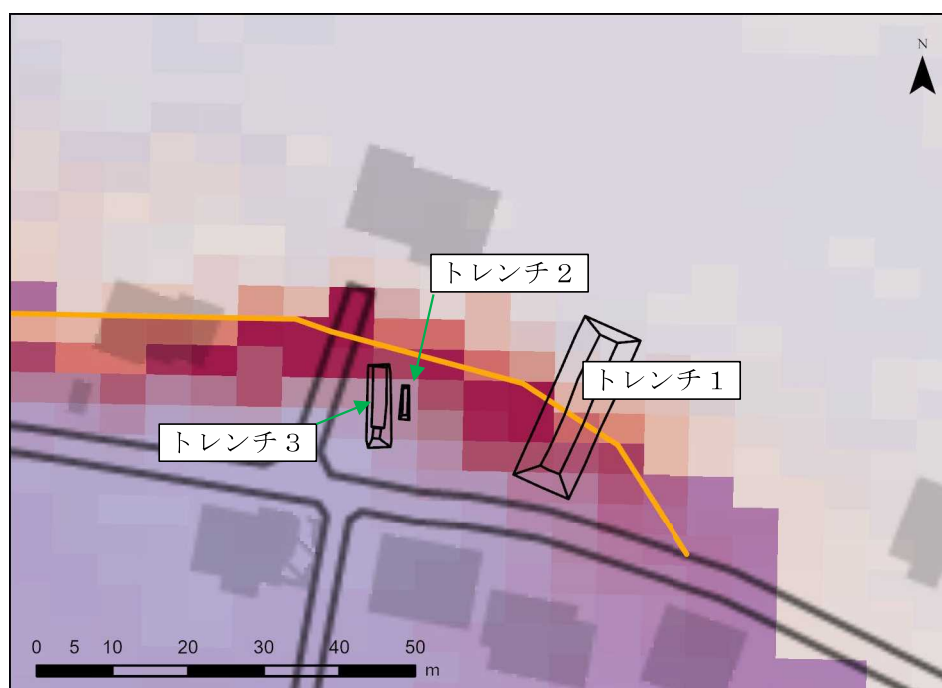


図 2.4.44 トレンチ位置（再掲）

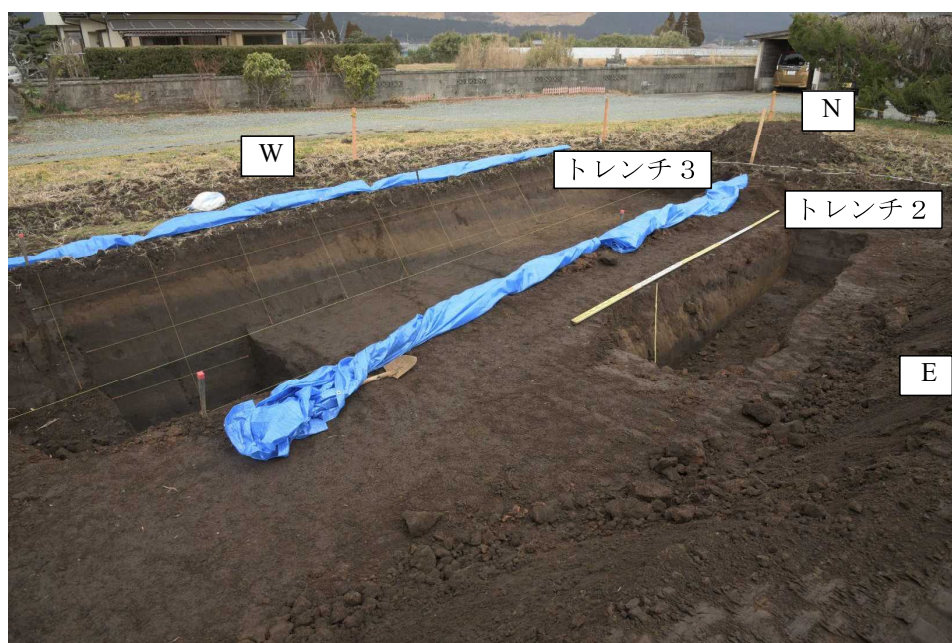


図 2.4.45 トレンチ掘削結果

トレンチ3では、トレンチ1で確認される自然地盤のうち、71層から21層が確認された(図 2.4.46)。ただし、21層は地層全体が人為的に攪乱されており、人工地盤とブロック状に入り混じった性状を成す。トレンチ2及び3には、開口成分をもつ断層(F1)及び密着した剪断面をもつ断層(F2)が分布する。F2は29層から23層を切断する(図 2.4.47)。21層は人為的に乱されているため、F2断層により21層がせん断されているか否かは判断できなかった。

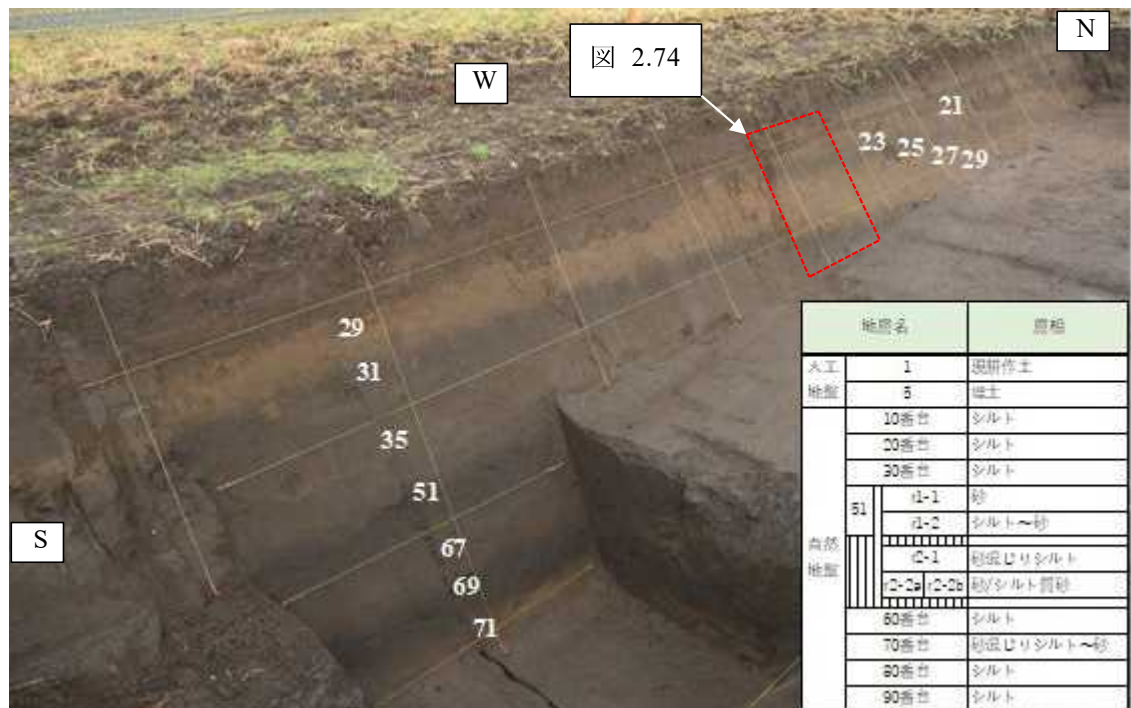


図 2.4.46 トレンチ3で確認される層序

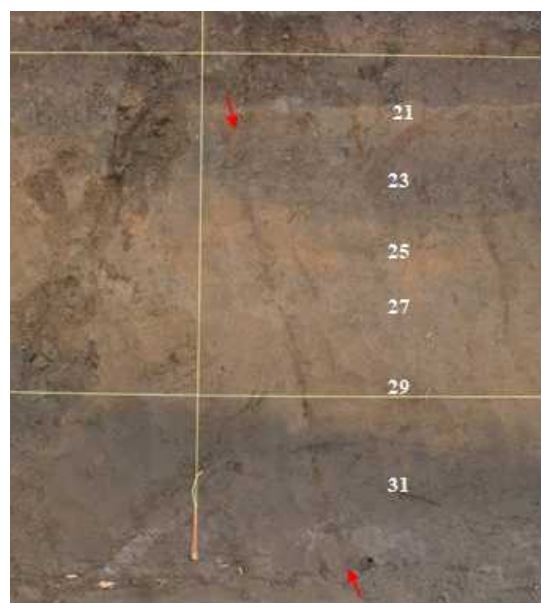


図 2.4.47 23層までを切断するF2

(12) 追加サンプリング

トレンチ 1 の埋戻し前に、火山灰分析用及び年代測定用の追加サンプリングを実施した。
サンプリング位置を図 2.4.48～図 2.4.53 に示す。

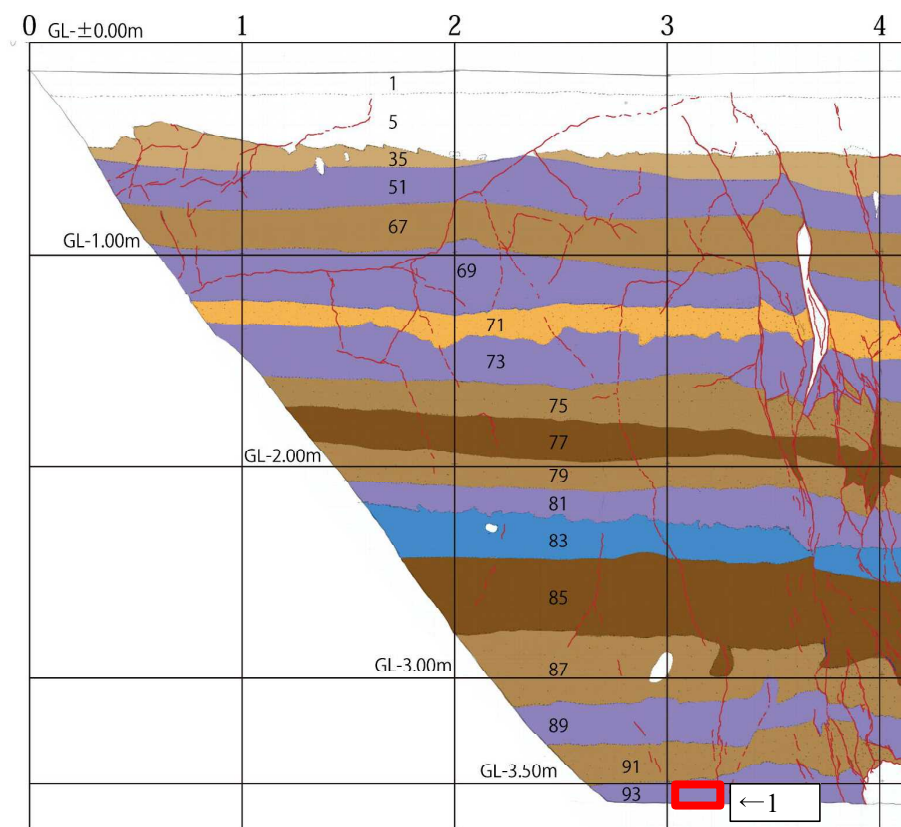


図 2.4.48 追加サンプリング位置 1



図 2.4.49 追加サンプリング位置写真 1

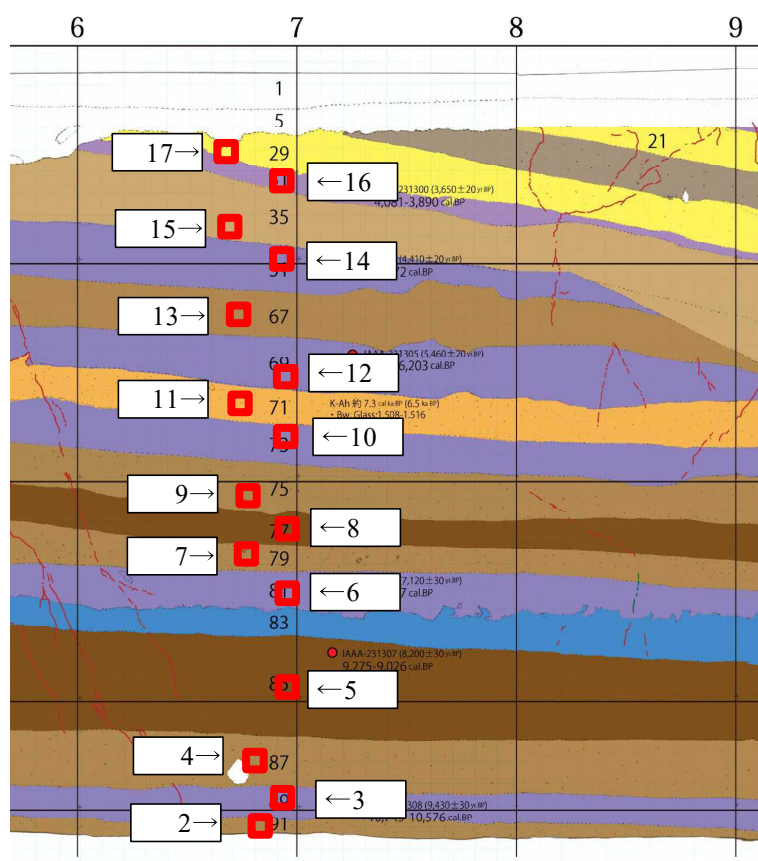


図 2.4.50 追加サンプリング位置 2～17

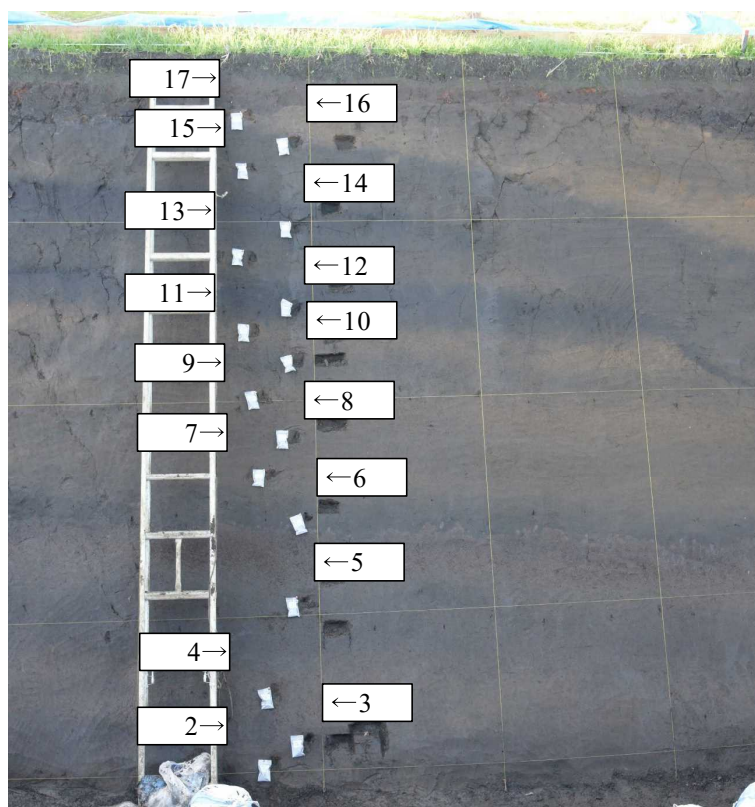


図 2.4.51 追加サンプリング位置写真 2～17

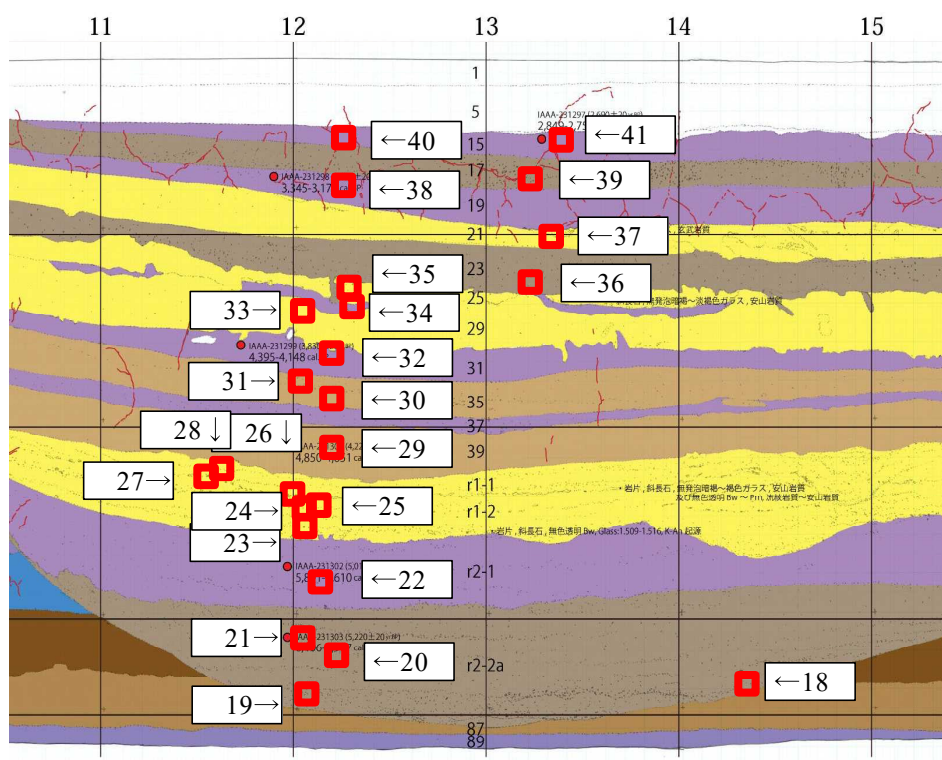


図 2.4.52 追加サンプリング位置 18～41

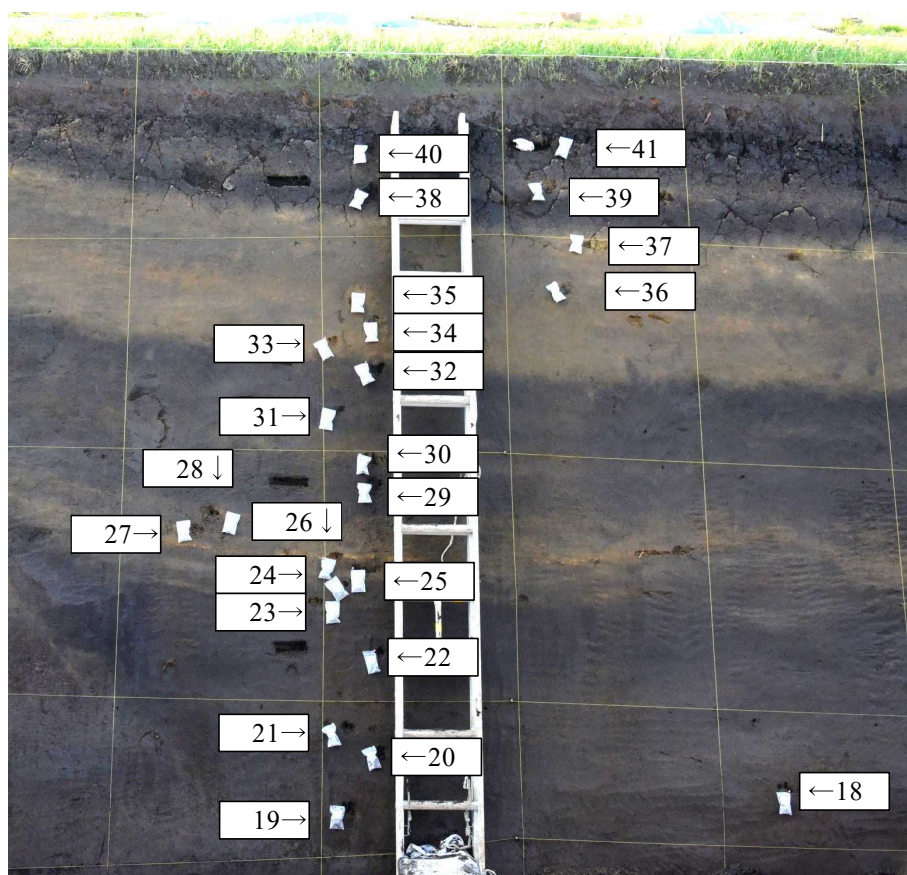


図 2.4.53 追加サンプリング位置写真 18～41

2.4.2.2. 考察

(1) 火山灰対比

火山灰分析の結果、71層は K-Ah 火山灰層（約 7.3 cal ka BP；奥野, 2002）に対比され、放射性炭素年代分析による 81 層の年代値（8,010-7,867 cal BP）及び 69 層の年代値（6,301-6,203 cal BP）からも支持される。一方で、チャネル充填堆積物より採取を行った火山灰層については、r1-2 層が K-Ah 火山灰層の再堆積である可能性が示唆された。

放射性年代分析からは、r1-1 層、25 層、21 層及び 17 層の火山灰層については r2-1 層の 5891 cal BP 以降、15 層の 2,755 cal BP 以前の火山灰層に対比される可能性がある。阿蘇地域における降下火山灰のうち、この年代幅に該当する火山灰は、阿蘇中央火口丘第 1 軽石（ACP-1）降下火山灰層（3.8～5.4 cal ka BP；平田ほか, 2020）、杵島岳スコリア（KsS）降下火山灰層（3.9～3.4 cal ka BP；平田ほか, 2020）、往生岳スコリア（OjS）降下火山灰層（3.5 ± 0.1 cal ka BP；平田ほか, 2020）、及び米塚スコリア降下火山灰層（3.0 ± 0.1 cal ka BP；平田ほか, 2020）である（図 2.4.54）。

チャネル堆積物中の放射性年代分析結果を考慮すると、r1-1 層（5,891-4,651 cal BP）は ACP-1、25 層及び 21 層は（4,395-3,172 cal BP）は ACP-1～KsS～OjS、17 層は米塚に対比される可能性があるものの、検鏡結果（火山ガラスの色・形状）及び粒度組成結果からこれ以上の検討は難しい。

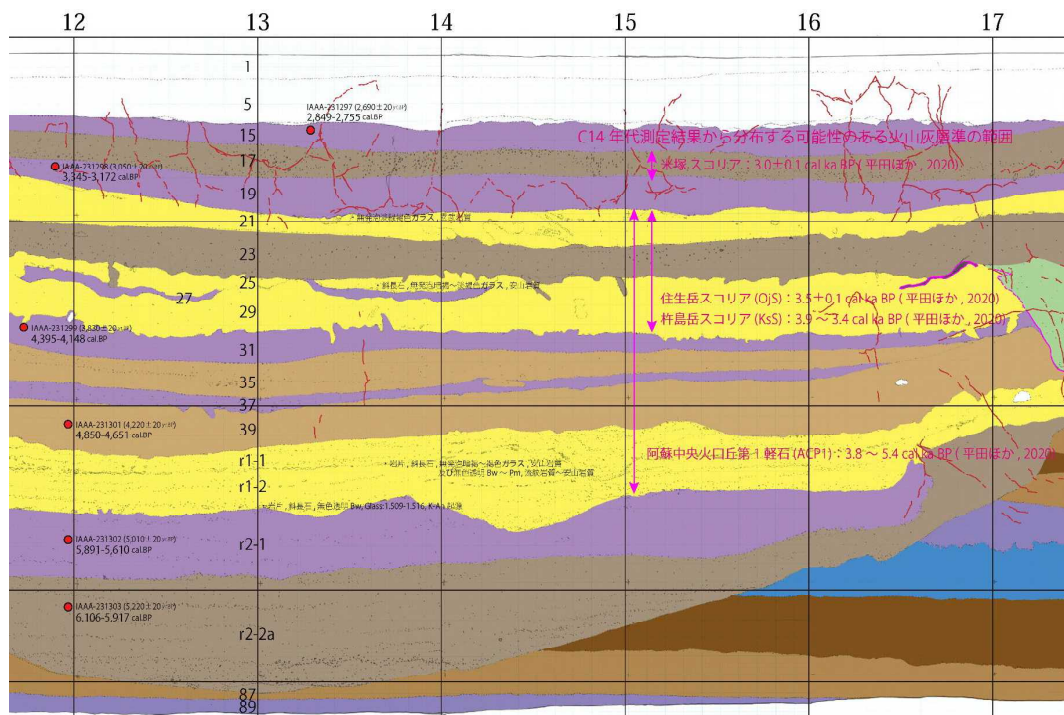


図 2.4.54 火山灰検討結果図

(2) 断層構造解析

下野トレンチ 1 に分布する断層は開口した F1 と密着した F2 に分類される。下野トレンチ 1 では F2 は 83 層より下位層序にのみに分布し、周囲には F1 が共存する。断層構造解析では、F2 の断層面の姿勢は F1 のものと類似していた。83 層より下位に分布する F1 の一部は、F2 の弱面を利用して開口させたものも含まれている可能性がある。

下野トレンチに分布する断層方向についてローズダイアグラムとしてまとめた。ここでは開口が認められた F1 のみをプロットしたが、この F1 には F2 の再活動を含んでいる可能性もある。F1 のローズダイアグラムに LC-InSAR による位相不連続ラインの方向を重ね、図 2.4.55 に示す。トレンチ地点での位相不連続ラインの方向に対して断層の走向方向が近似するもののほか、 $30\sim 45^\circ$ 程度で斜交する傾向がみられる。位相不連続ラインの方向を主剪断面とすると、斜交方向は左ずれ剪断時に形成されるリーデルシア面(R 面)の方向に類似しており、現地及び衛星解析で確認される左横ずれ変位とも整合的である。

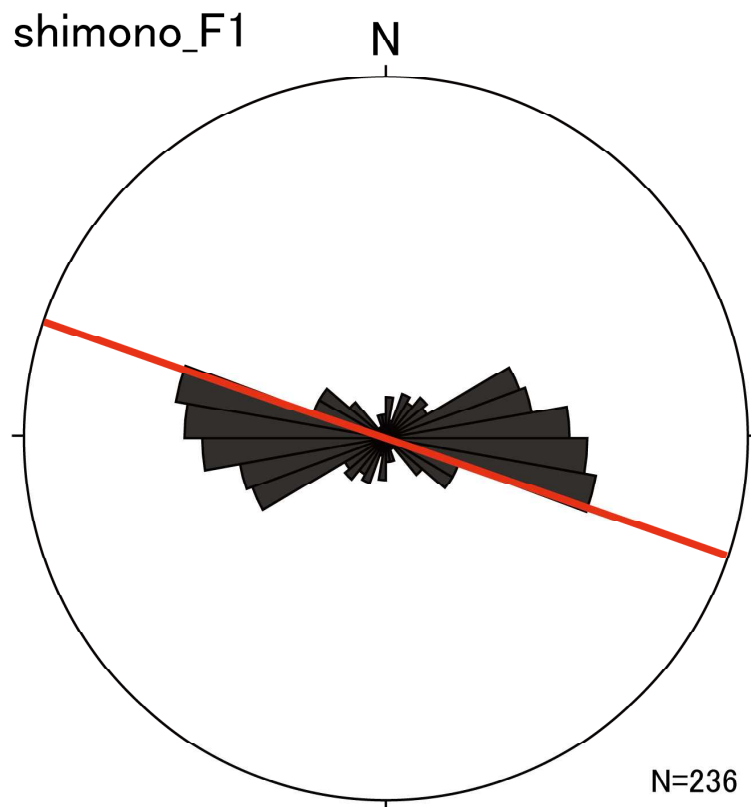


図 2.4.55 下野トレンチに分布する F1 の走向方向のローズダイアグラム
赤線は下野における LC-InSAR による位相不連続ラインの方向を示す。

(3) 断層活動履歴

識別された断層活動イベントは、2016 年熊本地震及び熊本地震に先行する少なくとも 2 回の活動として識別された。イベント I は下野トレンチ 1～3 で F1 断層として識別され、現耕作土の直下まで連続する開口亀裂であることから 2016 年熊本地震による活動イベントであると考えられる。イベント II は F2 断層として下野トレンチ 1 及び 3 で識別される。下野トレンチ 3 では 23 層堆積後、人工改変前の活動である。イベント III は下野トレンチ 1 で確認され、見かけの上下変位で 20cm 程度 93 層から 67 層の下面まで変位させているものの、67 層上面には上下変位を識別できない。そのため、イベント III は 67 層堆積後に発生し、67 層を変位させたのち侵食を受け 67 層上面が平坦となった後に 65 層以降の地層が堆積したものと考えられる。さらに、この断層活動イベントにより相対的な沈降域が発生したものと考えれば、r2 層の堆積開始はイベント III の直後と考えられる。地中レーダ探査の MSM-21～22 測線（トレンチ東西測線）で得られた測線位置 3～5m 付近の反射の不連続は、このイベント III による断層変位の深部延長を識別できたものと考えられる。

イベント発生年代は加速器質量分析法（AMS 法）によって得られた未校正の年代値（yr BP）を用いて暦年補正（cal BP）を行うことで年代値の絞り込みを実施した。未校正の年代値（yr BP）から暦年（cal BP）への校正には、OxCal 4.4（Bronk Ramsey, 2020）と IntCal 20 校正曲線（Reimer et al. 2020）を用いた。校正作業は OxCal Online ver 4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html> , Web interface build number:173, Last Updated:2024/8/3, © Christopher Bronk Ramsey 2024) にて実施した。地層を変位させるイベントの発生年代については、OxCal Online を用いてベイズ推定（Bronk Ramsey 2008, 2009）し、年代幅の絞り込みを行った。ベイズ推定にはイベントの発生順序のみを考慮した [Sequence] 堆積モデル、前後関係を伴わずグルーピングのみを行う [Phase] 制約条件、各イベントの事前確率がグループ存在期間で一定とする [Boundary] グループおよび異常値分析としてスチューデント t 分布で確率 5% を用いた [Outlier_Model (“General”, “t”), Outlier(0.05)] を使用した（Bronk Ramsey 2009）。導き出された暦年補正年代については 1 年ごとの推定精度を確保できていないため、10 年単位に丸めて年代を表示した。

OxCal v4.4.4 を用いた検討の結果、イベント II 発生年代（ 2σ ）は 3,900cal BP 以降と推定される。イベント III 発生年代（ 2σ ）は、67 層堆積後 51 層堆積前までの活動と考えると 6,230～4,980cal BP、67 層堆積後 r2 層堆積前までの活動と考えると 6,280～5,950cal BP と推定される（図 2.4.57）。67 層と 65 層の間に侵食に伴う時間間隙があり、かつ、断層活動イベント直後に r2 層の堆積が始まったと考えれば、6,280～5,950cal BP のイベント発生年代である可能性が高い。

表 2.4.7 総合模式柱状図：放射性炭素年代測定結果に示した赤字及び青地は対応するイベント年代の採用値。作成したモデルは図 2.4.56、推定したイベント年代は図 2.4.57 である。

地層名		火山灰	放射性炭素年代 calBP(2 σ)	イベント層準
人工 地盤	1			イベントⅠ
	5			2016熊本地震
自然 地盤	15		2,849-2,755	イベントⅡ 23層堆積後 人口改変前 (4,395以降) 3900calBP以降
	17	ローカル火山灰		
	19		3,345-3,172	
	21	ローカル火山灰		
	23			
	25	ローカル火山灰		6230-4980calBP
	27			
	29			
	31		4,081-3,890 4,395-4,148	
	35			
	37			イベントⅢ 67堆積後51堆積前 (6,301-4,872) あるいは 67堆積後r2堆積前 (6,301-5,917) 6280-5950calBP
	39		4,850-4,651	
	51	ローカル火山灰	5,046-4,872	
	r1-1			
	r1-2	K-Ahリワーク		
	r2-1		5,891-5,610	
	r2-2a r2-2b		6,106-5,917	
	67			
	69		6,301-6,203	
	71	K-Ah(7.3ka)		
	73			
	75			
	77			
	79			
	81		8,010-7,867	
	83			
	85		9,275-9,026	
	87			
	89		10,745-10,576	
	91			
	93			

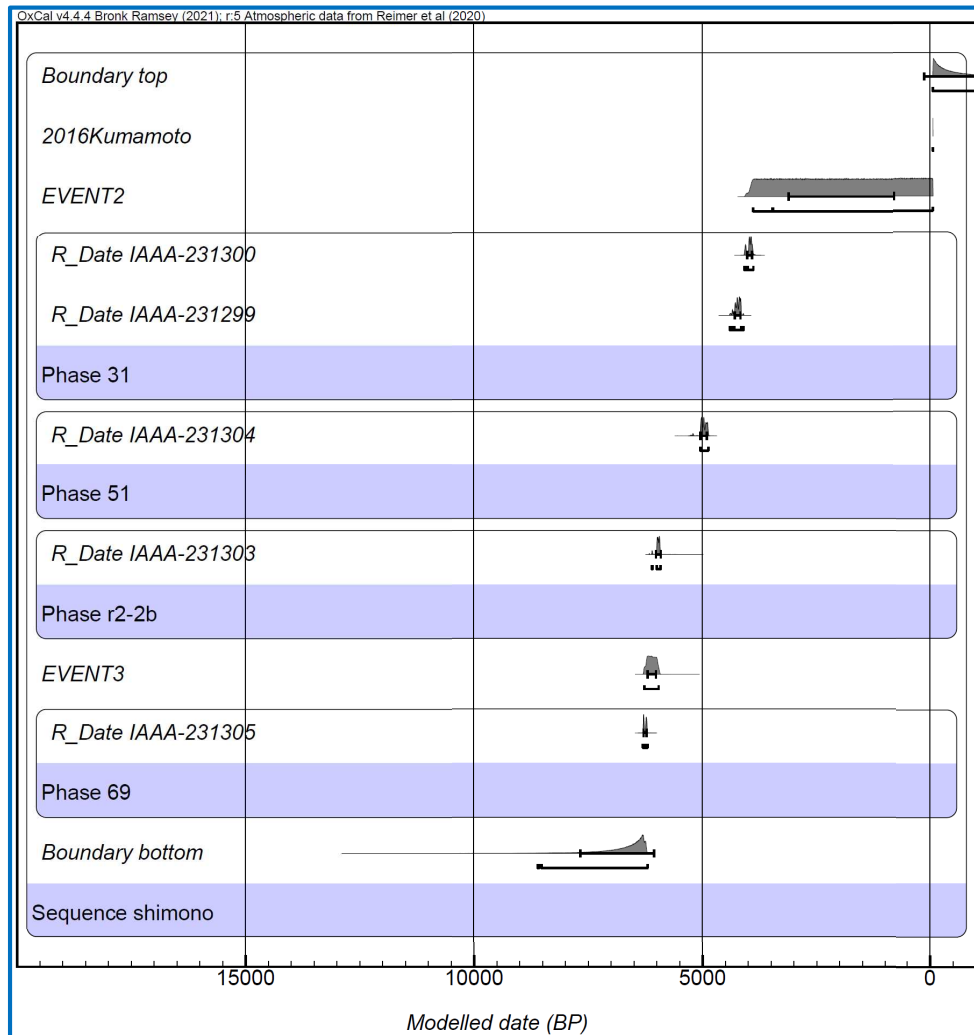


図 2.4.56 作成した OxCal モデル

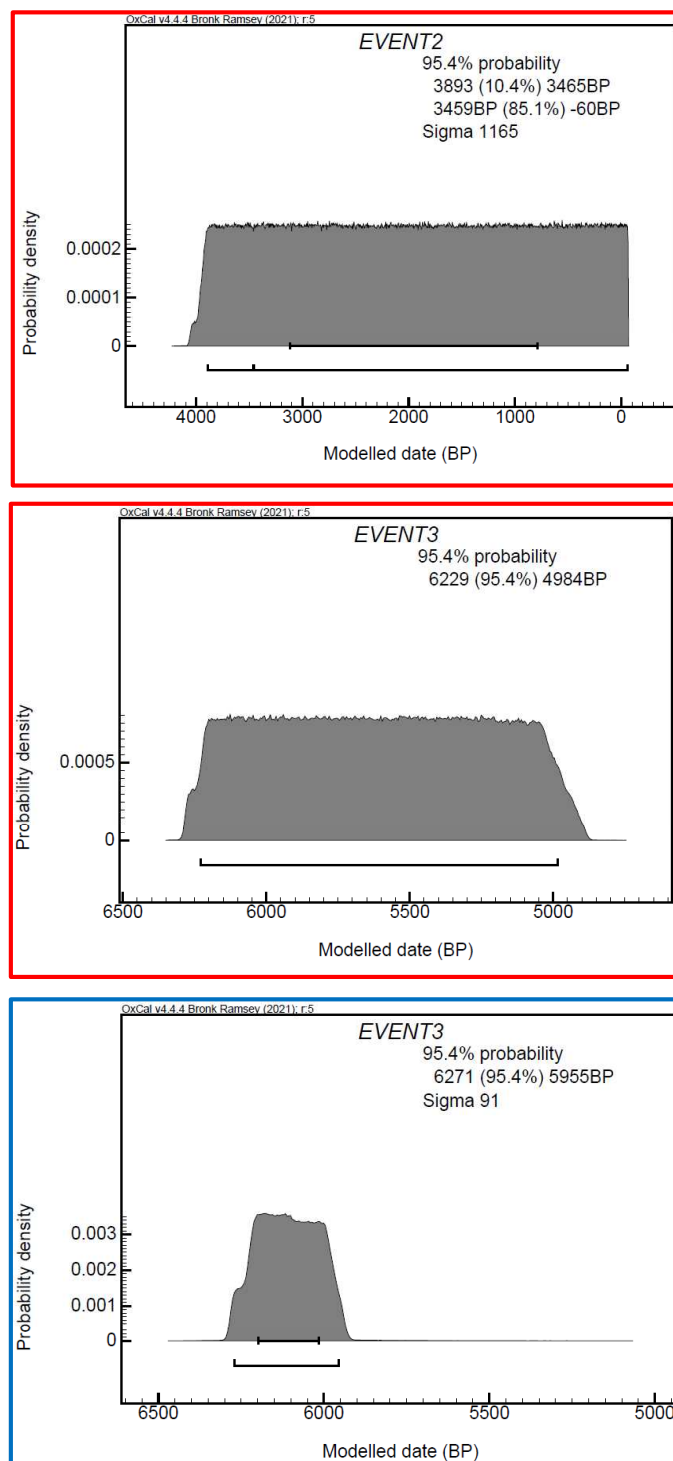


図 2.4.57 イベント年代推定結果

2.4.3. 河原団地地区

2.4.3.1. トレンチ調査結果

(1) 調査位置

河原団地トレンチ調査は熊本県阿蘇郡西原村大字河原団地（北緯 32 度 49 分 0 秒、東経 130 度 53 分 1 秒）において実施した（図 2.4.58）。

トレンチの掘削形状は、空中写真で確認された 2 系統の地表変状に対してそれぞれ直交して横断するように設定を行った。画像相関解析による変位トレースはこれらの地表変状のうち北側のトレースに判読線を引いている。トレンチ地点付近では、左横ずれで北側低下の地表変状がみられる(図 2.4.59)。



図 2.4.58 河原団地トレンチ位置図

上：画像マッチング結果（黒点線は変位位置トレース）

下：熊本地震後の空中写真（赤矢印は亀裂の位置）



図 2.4.59 トレンチ周辺の変位・変状

(2) 掘削結果

掘削範囲は、開口部の大きさを $7 \times 16\text{m}$ 、深さ $4.5 \sim 5.0\text{m}$ 、法面の傾斜は $50 \sim 60^\circ$ 程度とした(図 2.4.60)。トレンチの掘削形状は、空中写真で確認された2系統の地表変状に対してそれぞれ直行して横断するように設定を行った。そのため、トレンチ中央付近で掘削壁面を屈曲させている。画像相関解析による変位境界ラインはこれらの地表変状のうち北側のトレースにほぼ一致する。

トレンチ法面は機械掘削後に手作業による整形を行い、水平方向 1m 毎×鉛直方向 1m 毎のグリットを作成した。掘削を行ったトレンチ形状および高さの基準として、S 面貫板上面について RTK-GPS 測量にて求めた。設置したグリットの標高については、鉛直-1m 高からレベル測量にて計測した。計測結果を表 2.4.8 に示す。

表 2.4.8 河原団地トレンチ測量成果

測定位置	標高(T.P.m)	測定方法	備考
鉛直方向 0.00m(S 面)	197.615	RTK-GPS	貫板上面※1
鉛直方向-1.00m	196.615	レベル	
鉛直方向-2.00m	195.615	レベル	
鉛直方向-3.00m	194.615	レベル	
鉛直方向-4.00m	193.615	レベル	
鉛直方向-5.00m	192.615	レベル	

※1：標高値は 10 秒間 8Hz 計測（合計 80 回）の平均値により求めた値



図 2.4.60 トレンチ全景

(3) モザイク写真

トレンチ法面の写真撮影は極力歪みが少なくなるように実施した。撮影した写真画像は画像の歪み等を補正したうえで鉛直面に投影したモザイク写真を作成した。W 面及び E 面はトレンチが測線 8m 付近で屈曲するため、モザイク写真ではそれぞれ 2 つに分割している。

作成したモザイク写真を図 2.4.61～図 2.4.66 に示す。

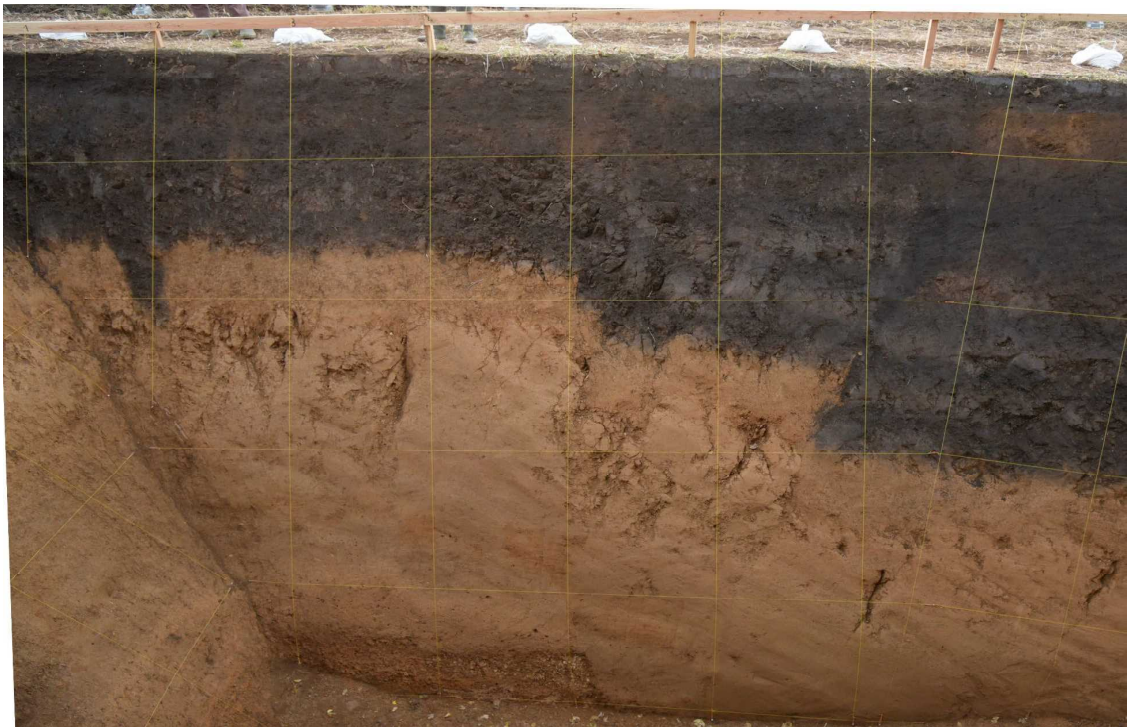


図 2.4.61 W面(0~8m)

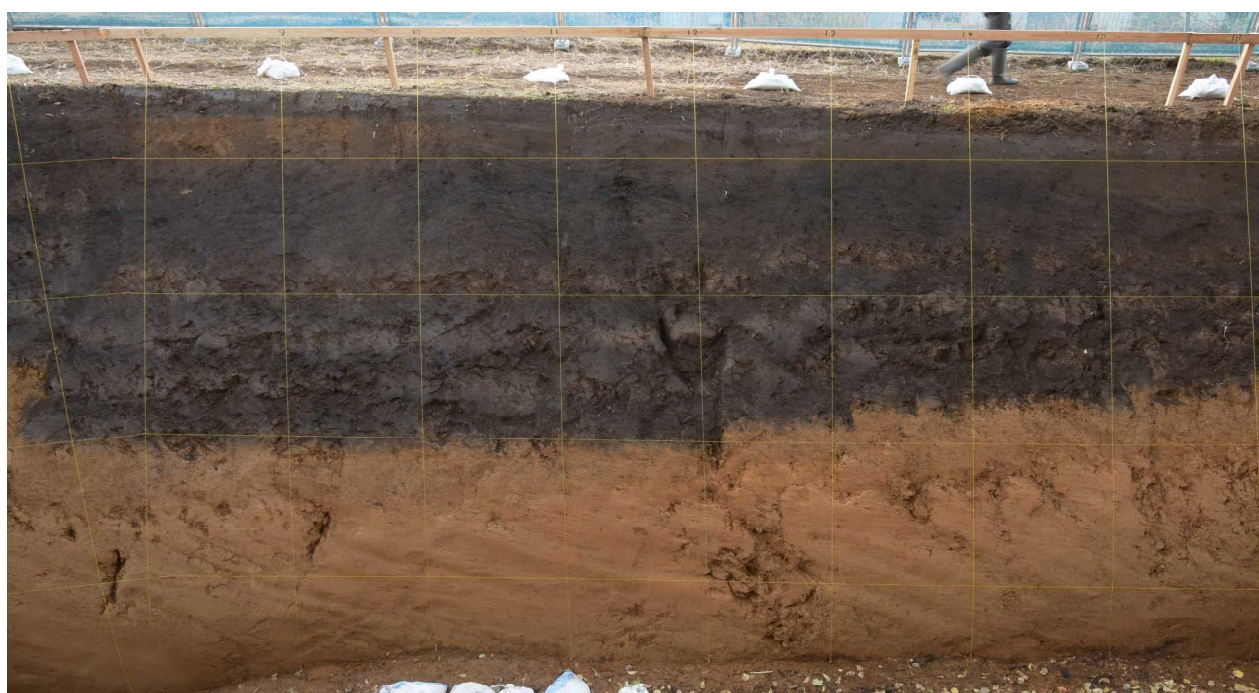


図 2.4.62 W面(8~16m)



図 2.4.63 E 面(0~8m)



图 2.4.64 E 面(8~14m)



图 2.4.65 S 面

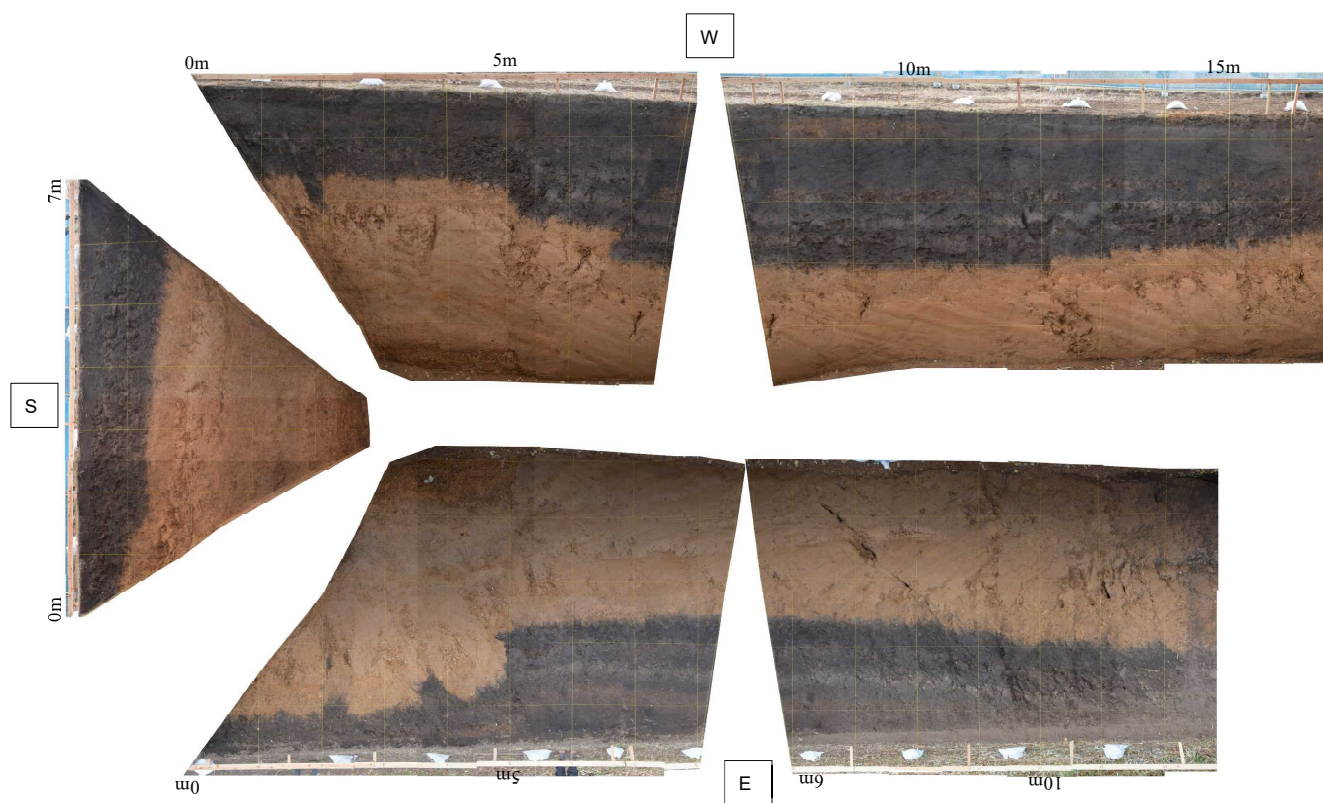


図 2.4.66 モザイク写真 全体図

(4) 法面スケッチ

法面スケッチは水平方向 1m×鉛直方向 1m の水系による格子線を基準とし、縮尺 1/20 鉛直面投影にて作成した。作成したスケッチを元に、地質区分ごとに着色を行った。また、各地層の記載と併せて、試料採取位置の記録を行った。

法面スケッチを次ページより図 2.4.67～図 2.4.71 に示す。

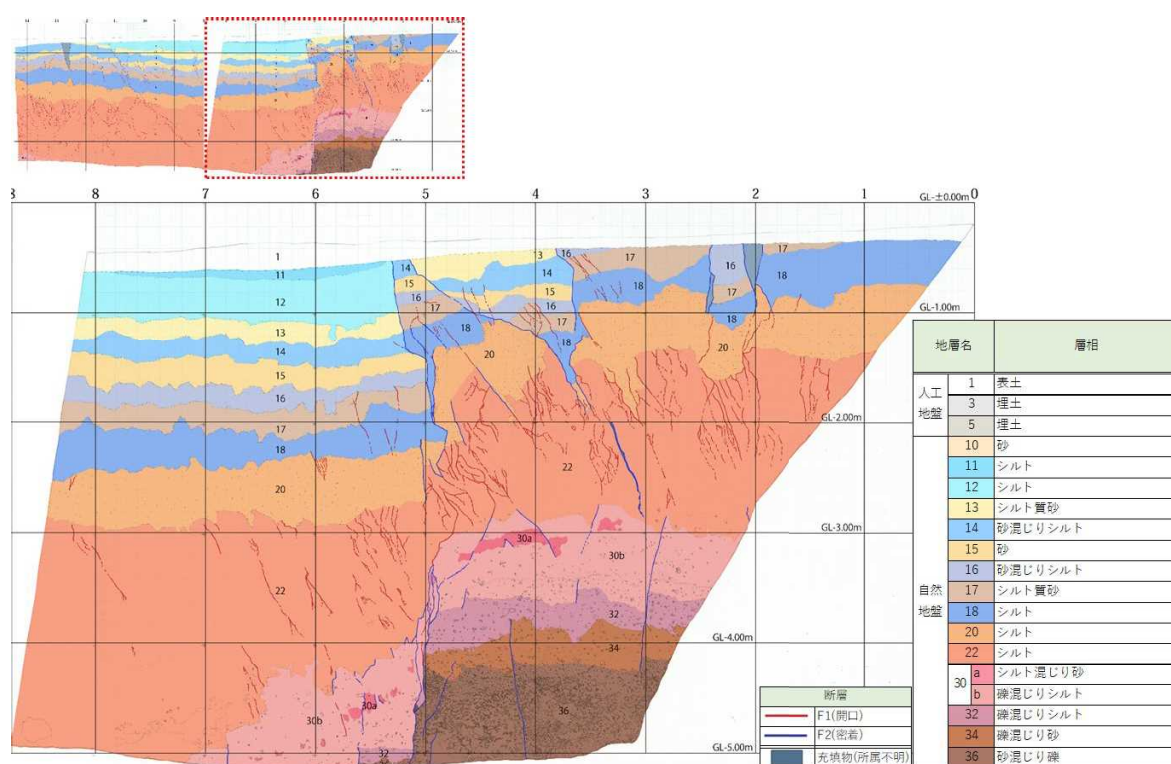


図 2.4.67 河原団地トレンチ E面スケッチ(0~8m)

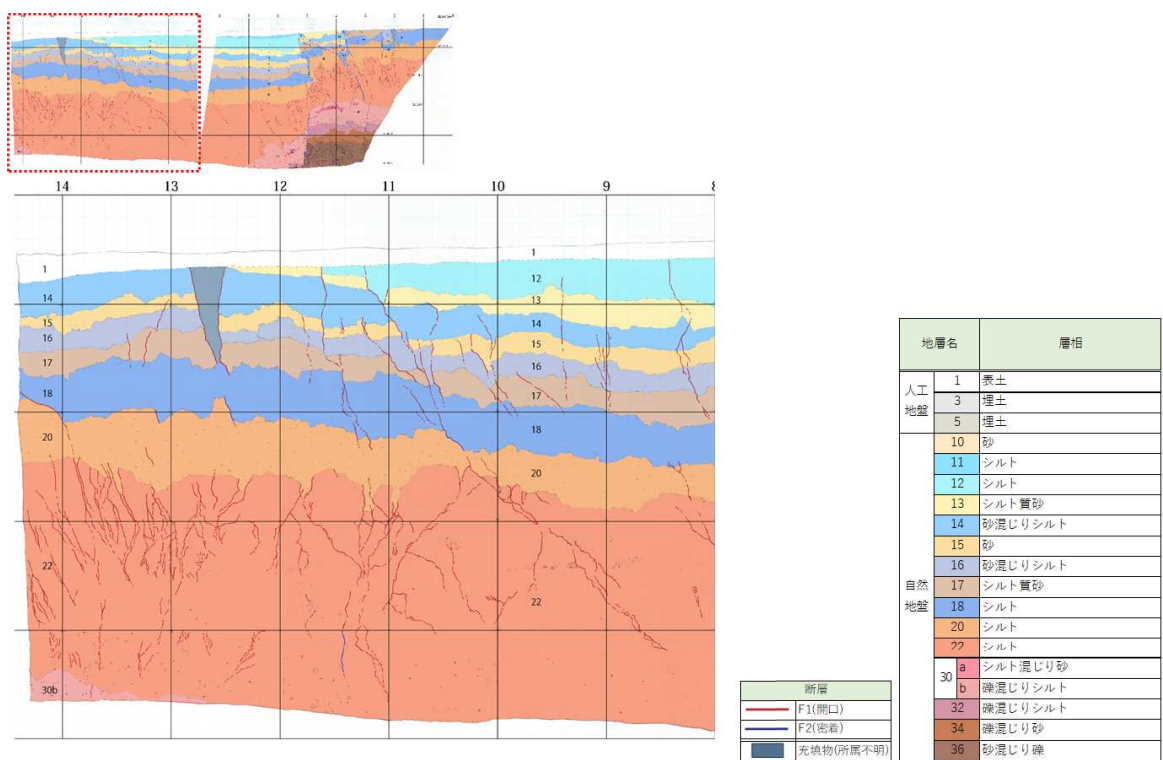


図 2.4.68 河原団地トレンチ E 面スケッチ(8~14m)

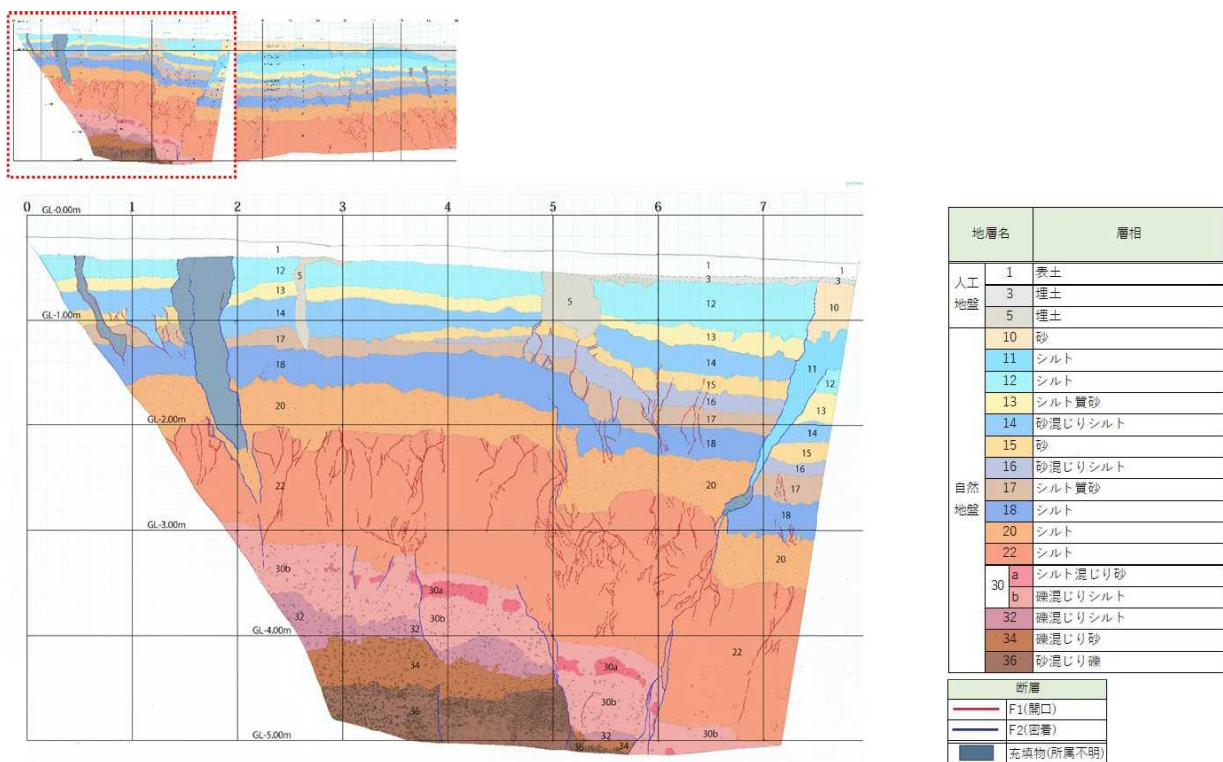
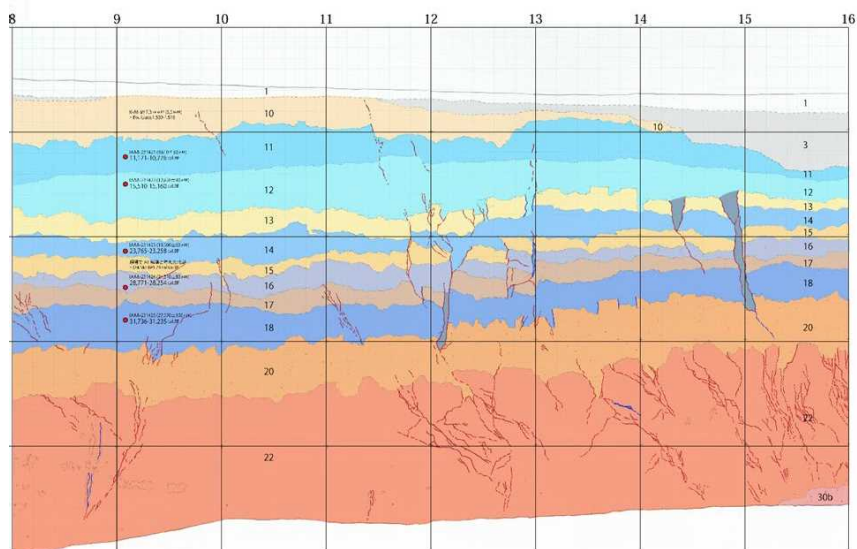
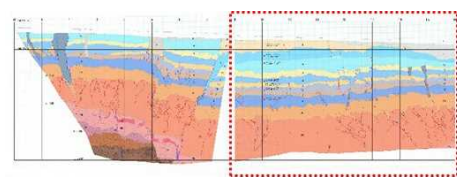


図 2.4.69 河原団地トレンチ W 面スケッチ(0~8m)



地層名	層相
人工地盤	1 表土
	3 埋土
	5 埋土
	10 砂
	11 シルト
自然地盤	12 シルト
	13 シルト質砂
	14 砂混じりシルト
	15 砂
	16 砂混じりシルト
	17 シルト質砂
	18 シルト
	20 シルト
	22 シルト
	30 a シルト混じり砂
	b 礫混じりシルト
	32 礫混じりシルト
	34 礫混じり砂
	36 砂混じり礫

断層
F1(開口)
F2(密着)
充填物(所属不明)

図 2.4.70 河原団地トレンチ W 面スケッチ(8~16m)

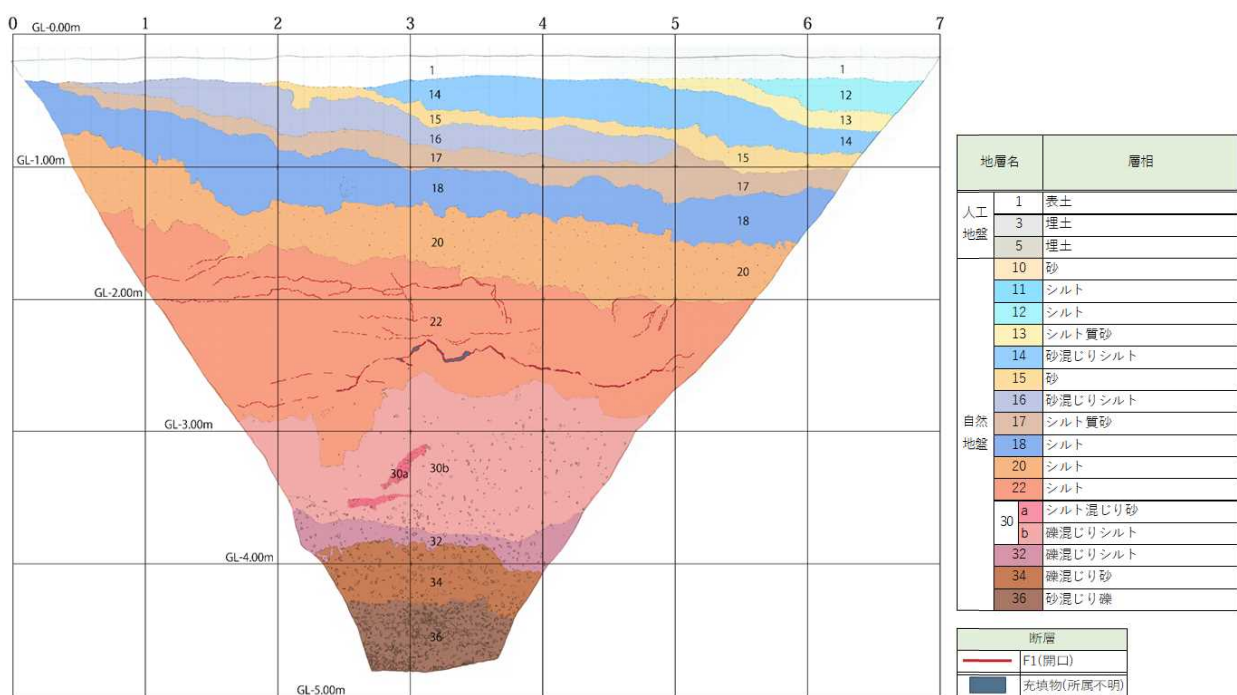


図 2.4.71 河原団地トレンチ S面スケッチ

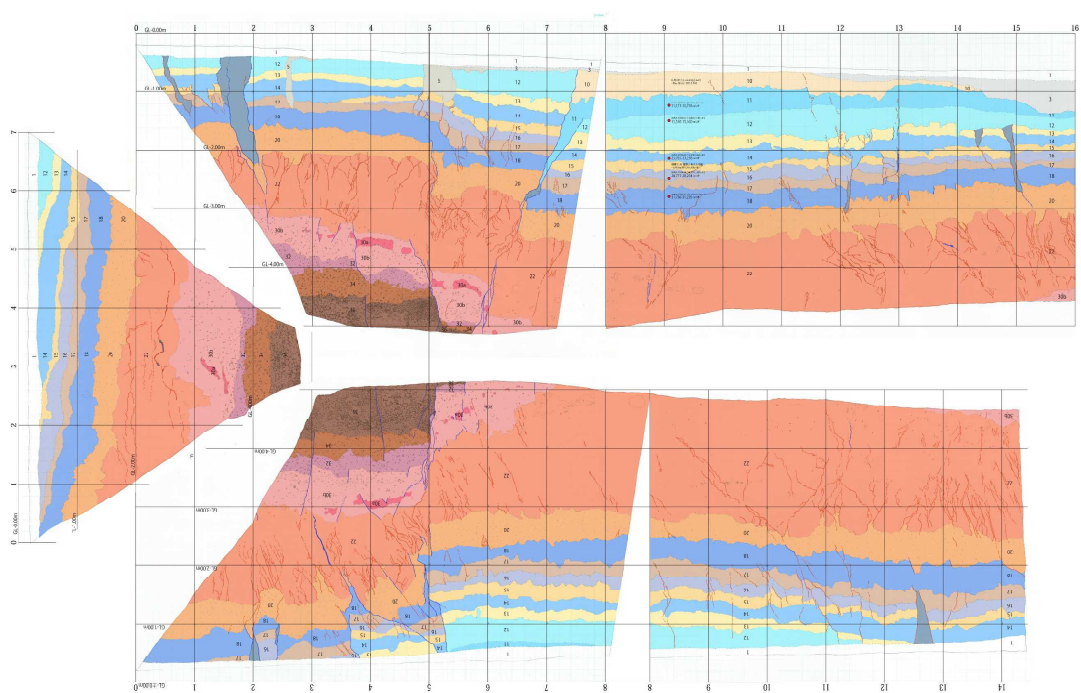


図 2.4.72 河原団地 スケッチ全体図

(5) 地質概説

河原団地トレンチにおける地質層序表を表 2.4.9 に示す。

トレンチ法面において観察された人為的な影響のある層は、表土(1層)及び埋土層(3層、5層)である。それより下位には、10～18層の黒色土壌や火山灰を含む層準、20層、22層のシルトから構成される層序、30～36層の礫を含む堆積物から構成される層序が分布する。

表 2.4.9 河原団地トレンチ内における地質層序

地層名		層相	火山灰	放射性炭素年代 calBP(2σ)
人工 地盤	1	表土		
	3	埋土		
	5	埋土		
自然 地盤	10	砂	K-Ah(7.3ka)	
	11	シルト		─ 11,171-10,776
	12	シルト		─ 15,510-15,160
	13	シルト質砂		
	14	砂混じりシルト		─ 23,765-23,258
	15	砂	AT ? (29ka)	
	16	砂混じりシルト		─ 28,771-28,254
	17	シルト質砂		
	18	シルト		─ 31,736-31,235
	20	シルト		
	22	シルト		
	30	a シルト混じり砂		
		b 礫混じりシルト		
	32	礫混じりシルト		
	34	礫混じり砂		
	36	砂混じり礫		

(6) 層序記載

【1層】 トレンチ掘削範囲表層に厚さ 10～30cm 程度で分布する。耕作土である。

【3層】 W面グリッド 5～9m および 11～16m に厚さ 5～50cm 程度で分布する。W面グリッド 14m～16m では層厚が厚く、20～50cm 程度である。

しまりの良い不均質な極細粒砂～細粒砂からなり、灰黄色<10YR4/2>を呈す。稀に 2～10mm 程度の亜角礫～円礫を含む。

下位層との境界は明瞭で凹凸に富んでおり、埋土層であると考えられる。

【5層】 W面グリッド 2～3m および 5～6m に厚さ 5～100cm 程度で分布する。W面グリッド 5～6m で3層に覆われる。

1～5cm 程度で下位層をブロック状に含み、基質は明褐色<7.5YR5/6>～明黄色<10YR6/6>の極細粒砂からなる。しまりは悪い。

下位層との境界は明瞭で凹凸に富んでおり分布形状が不規則であること、下位層をブロック状に含むことから埋土であると考えられる。

【10層】 W面グリッド 7～15m に厚さ 10～40cm 程度で分布する。

しまりの悪い極細粒砂からなり、ブロック状に明褐色<7.5YR5/6>～明黄色<10YR6/6>の部分が不均質に分布する。

上部は人工的に掘られ、人工地盤である1層、3層、5層に覆われている。トレンチ掘削箇所における自然地盤の最上位層である。下位層との境界はやや不明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【11層】 E面グリッド 5～8m に厚さ 5～10cm 程度で、W面グリッド 5～8m に厚さ 5～50cm 程度で分布する。W面グリッド 14～16m では上位層の2層に削剥され、層厚が著しく薄くなる。

しまりのやや悪いシルトからなり、黒色<5YR1.7/1>を呈す。

下位層との境界はやや不明瞭であり、漸移的である。

【12層】 E面グリッド 5～12m に厚さ 10～50cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 20～60cm 程度で、S面グリッド 5～7m に厚さ 5～20cm 程度で分布する。

しまりのやや悪いシルトからなり、黒褐色<7.5YR3/1>を呈す。

下位層との境界やや不明瞭で凹凸に富み、漸移である。局所的にクサビ状に下位の地層に入り込む構造がみられる。

【13層】 E面グリッド 4～14m に厚さ 10～20cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 10～30cm 程度で、S面グリッド 5～7m に厚さ 5～15cm 程度で分布する。

不均質なシルト質極細粒砂からなり、明黄褐色<10YR6/6>～灰黄褐色<10YR4/2>を呈す。明黄褐色を呈す箇所はしまりが良く、乾燥性の亀裂が発達する。

下位層との境界はやや明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【14 層】E 面グリッド 3～14m に厚さ 10～40cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 10～40cm 程度で、S 面グリッド 3～7m に厚さ 20～30cm 程度で分布する。

極細粒砂混じりシルトからなり、黒色<10YR2/1>を呈す。乾燥性の亀裂が発達する。しまりは悪い。

下位層との境界はやや不明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【15 層】E 面グリッド 4～14m に厚さ 10～40cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 10～30cm 程度で、S 面グリッド 2～7m に厚さ 10～20cm 程度で分布する。

不均質で淘汰の悪い中粒砂～粗粒砂からなり、黄褐色<10YR5/6>を呈す。φ2mm 以下の程度の灰白色<5Y8/1>～橙色<5YR6/8>のパミスを含む。

下位層との境界はやや明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【16 層】E 面グリッド 3～14m に厚さ 5～30cm 程度で、W面グリッド 4～16m に厚さ 5～30cm 程度で、S 面グリッド 0～5m に厚さ 5～30cm 程度で分布する。

極細粒砂混じりシルトからなり、黒色<10YR2/1>を呈す。部分的に乾燥性の亀裂が発達する箇所があり、しまりが悪い。

W面グリッド 4m 付近および S 面グリッド 5m 付近で上位の 15 層に覆われることでせん滅する。下位層との境界はやや明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【17 層】E 面グリッド 1～14m に厚さ 5～40cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 10～30cm 程度で、S 面グリッド 0～7m に厚さ 5～40cm 程度で分布する。

不均質なシルト質極細粒砂からなり、にぶい黄褐色<10YR4/3>～灰褐色<10YR4/2>が斑状に呈する。にぶい黄褐色の部分はしまりが良い。

下位層との境界はやや不明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【18 層】E 面グリッド 0～14m に厚さ 10～50cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 15～40cm 程度で、S 面グリッド 0～7m に厚さ 30～40cm 程度で分布する。

しまりの悪いシルトからなり、黒色<10YR2/1>を呈す。

下位との境界はやや明瞭で凹凸に富む。

【20 層】E 面グリッド 0～14m に厚さ 30～60cm 程度で、W面グリッド 0～16m に厚さ 30～50cm 程度で、S 面グリッド 0～7m に厚さ 40～50cm 程度で分布する。

しまりの悪いシルトからなり、黄橙色<10YR7/8>～明黄褐色<10YR6/8>を呈する。下位である 22 層との境界は明瞭であり、部分的に 22 層にクサビ状に 20 層が入り込む構造がみられる。

【22 層】E 面グリッド 1～14m に厚さ 80～240cm 以上で、W面グリッド 1～16m に厚さ 80～180cm 程度で、S 面グリッド 0～6m に厚さ 100～160cm 程度で分布する。E 面グリッド 7～12m および W面グリッド 8～15m では、下位層との境界は見られず層厚は不明である

しまりが著しく良い塊状シルトからなり、黄橙色<10YR7/8>～明黄褐色<10YR6/8>を呈する。φ2mm 程度の橙色のパミスやφ50～200mm 程度の灰白色パミスに稀に含む。下位との境界はやや明瞭で、やや凹凸に富む。

【30 層】30 層は 30a 層と 30b 層で構成される。30a 層と 30b 層とは、構成粒子や色調が明確に異なる。30b 層は、断続的ではあるが同時間面上に分布する。これらのことから、30a 層と 30b 層と区分した。

【30a 層】E 面グリッド 3～7m に厚さ 5～10cm 程度で、W面グリッド 3～6m に厚さ 5～20cm 程度で、S 面グリッド 2～3m に厚さ 5～20cm 程度で分布する。

不均質で淘汰の悪いシルト混じり極細粒砂基質からなり、暗赤色<5YR3/4>を呈する。φ2～10mm 程度の赤褐色<2.5YR4/8>のスコリアを含む。稀に細礫～中礫サイズの亜円礫～角礫を含み、礫種はパミス、スコリア、安山岩からなる。

【30b 層】E 面グリッド 2～7m および 13～14 に厚さ 60～80cm 程度で、W面グリッド 3～6m および 15～16m に厚さ 50～80cm 程度で、S 面グリッド 1～5m に厚さ 40～110cm 程度で分布する。E 面グリッド 5～7m および 12～14m、W面グリッド 6～7m および 15～16m では、下位層との境界は見られず層序は不明である。

礫混じりシルトからなり、淘汰は悪くしまりは良い。基質のシルトは 30a 層より上位は灰褐色<7.5YR6/2>、30a 層より下位はにぶい黄橙色<10YR7/4>を呈す。礫率 10%程度で礫を含み、細礫～中礫サイズの角礫～亜円礫が主体である。礫種は主にスコリア、パミスでクサリ礫状を呈す。上位ほど礫率および礫径が小さくなる。

下位層との境界はやや不明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【32 層】E 面グリッド 2～6m に厚さ 10～40cm 程度で、W面グリッド 2～6m に厚さ 10～40cm 程度で、S 面グリッド 2～4m に厚さ 10～30cm 程度で分布する。

淘汰の悪くしまりの良い礫混じりシルトからなり、基質のシルトはにぶい黄橙色<10YR6/4>を呈す。礫率 30%程度で礫を含み、細礫～中礫サイズの角礫～亜円礫が主体である。礫種は主にスコリア、パミスでクサリ礫状を呈す。

下位層との境界はやや不明瞭で凹凸に富み、漸移的である。

【34 層】E 面グリッド 3～5m に厚さ 15～40cm 程度で、W面グリッド 2～6m に厚さ 10～50cm 程度で、S 面グリッド 2～4m に厚さ 30～40cm 程度で分布する。

淘汰の悪い礫混じり極細粒砂～細粒砂からなり、基質はにぶい明褐色<7.5YR5/6>を呈す。礫率 30%程度で礫を含み、細礫～中礫サイズの亜角礫～亜円礫が主体である。礫種は主にスコリア、パミスでクサリ礫状を呈す。下位層である 36 層との境界付近にはクサリ礫状の灰白色<N8/>パミスが点在する。

下位層との境界は明瞭で、漸移的である。E 面グリッド 5～6m では 32 層が 36 層を直接覆っているため、34 層が見られない。

【36 層】E 面グリッド 3～6m に厚さ 80～90cm 程度で、W面グリッド 2～6m に厚さ 40～50cm 程度で、S 面グリッド 2～4m に厚さ 40～50cm 程度で分布する。下位層との境界は見られず、トレンチ掘削範囲における最下層となる。

淘汰のやや悪い極細粒砂混じり礫からなり、基質である極細粒砂は橙＜7.5YR6/8＞を呈す。礫率 80～90%程度の礫からなり、中礫～大礫サイズの角礫～亜角礫が主体である。礫種は主にスコリア、パミス、ガラス質の火山岩からなる。くさり礫状の灰白色＜N8/>パミスや明緑灰色＜5 G7/1＞スコリアが点在する。

(7) 断層記載

河原団地トレンチでは多くの断層および開口クラックが確認される。断層および開口クラックは、性状によって F1・F2 として区分した。なお、河原団地トレンチではトレンチ南東角を基準に水平、鉛直に 1m で水系によりグリッド表示されている。壁面の位置を示す際にはグリッドで表現する。例えば、W 面の横方向のグリッドが地表面上の横板に 6m と表示された水系の上で、深度方向には 2 本目の水系と 3 本目の水系の間に位置し、板上面から 2.5m の深度にある場合は、W (6.0, -2.5) のように表示する。

① F1

開口成分を含むクラック・断層を F1 とする。W 面および E 面、S 面に分布し、W 面では 8～16m、E 面では 5～14m 付近に多く確認される。とくに 22 層中に多く分布する。開口幅は 0.5～10cm 程度である。本項で記載する断層について、F1-1、F1-2 とする。F1-1 は、E (8.5～11.8, -4.2～-0.6) の範囲で分布する複数の断層であり、10～20cm 程度の見かけ南落ちの変位を伴い 12 層までに変位を与える(図 2.4.73)。F1-2 は、W(11.4～13.0, -0.7～-4.7) の範囲で分布する複数の断層であり、10cm 程度の見かけ上下変位を伴う花卉構造を形成しており、10 層まで変位を与える(図 2.4.74)。開口クラックは埋土などの人工地盤には認められない。

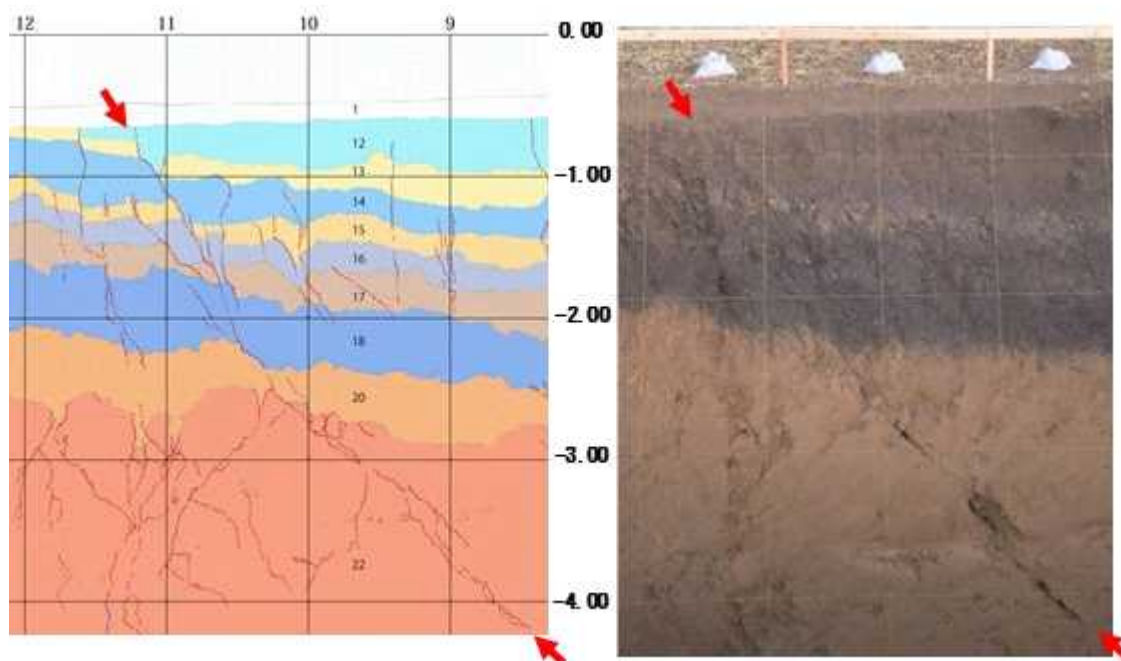


図 2.4.73 F1-1

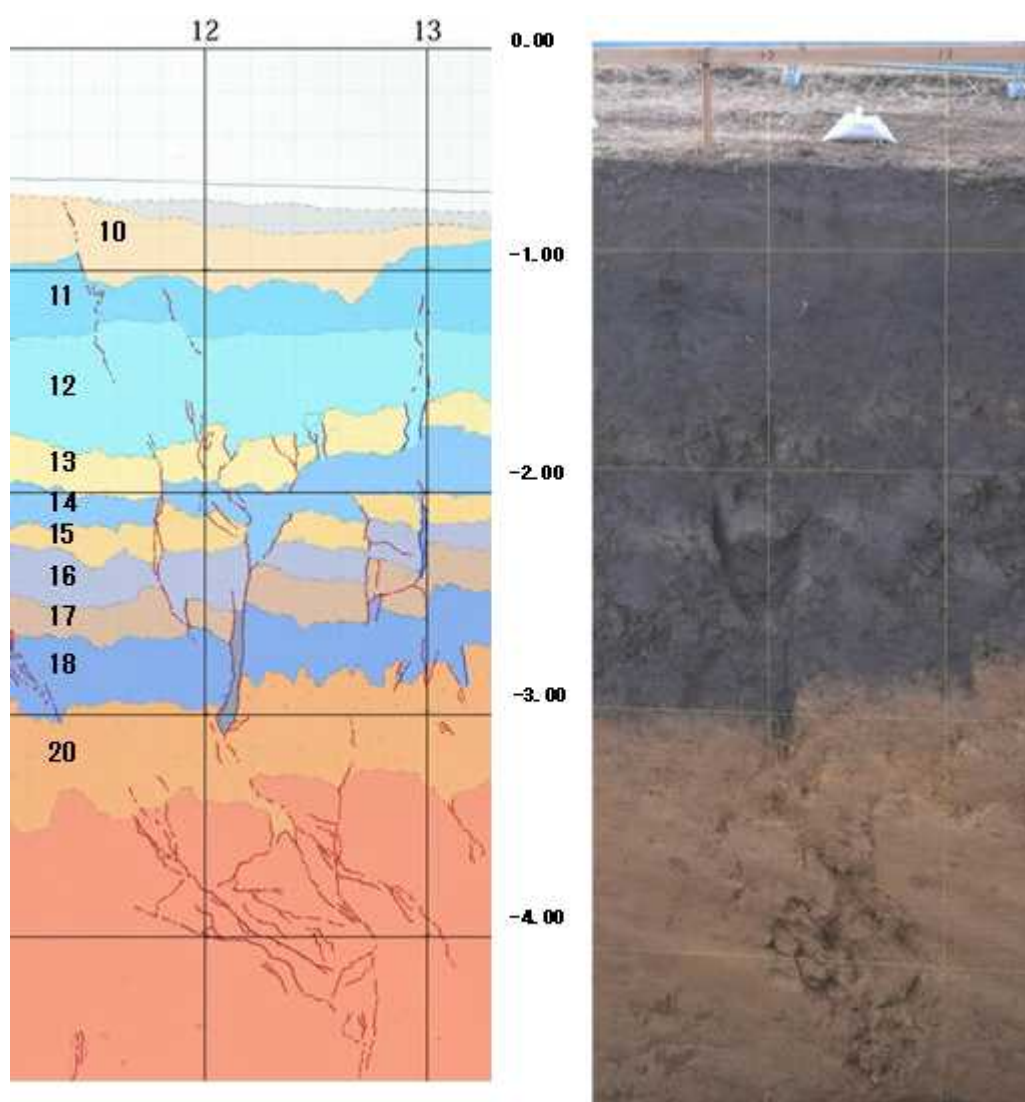


图 2.4.74 F1-2

②F2

剪断面が密着している断層を F2 とする。W 面および E 面に分布し、W 面では 0～8m、E 面では 0～6m 付近に多く確認される。本項で記載する断層を F2-1、F2-2、F2-3、F2-4、F2-5 とする。F2-1 は、E(5.0～5.3, -5.2～-0.4)の範囲で断続的に分布する断層であり、80～120cm 程度の見かけ北落ちの変位を伴い 12 層までに変位を与え、1 層の表土に覆われる。20 層と 18 層の境界で一旦途切れ、南側にステップして上方に連続する(図 2.4.75)。F2-2 は、E(3.5～5.2, -1.9～-0.3)の範囲で分布する複数の断層であり、10～30cm 程度の見かけの変位を伴う花卉構造を形成し、断層に挟まれる部分が見かけ下がっている。13 層まで変位を与え、1 層の表土に覆われる(図 2.4.76)。F2-3 は、W(5.9～7.6, -5.2～-0.6)の範囲で分布する断層で 60cm 程度の見かけ北落ちの変位を伴い、10 層までに変位を与える(図 2.4.77)。F2-4 は、W(5.1～5.2, -5.2～-1.8)の範囲で分布する断層で、10～50cm 程度の見かけ北落ちの変位を伴う。18 層までが剪断を伴う変位を受け、17～12 層までは剪断を伴わない撓み変形を受ける(図 2.4.78)。F2-5 は、W(3.2～3.9, -3.2～-5.0)の範囲で分布する断層で、10～20cm 程度の見かけ北落ちの変位を伴い、22 層までに変位を与える(図 2.4.79)。

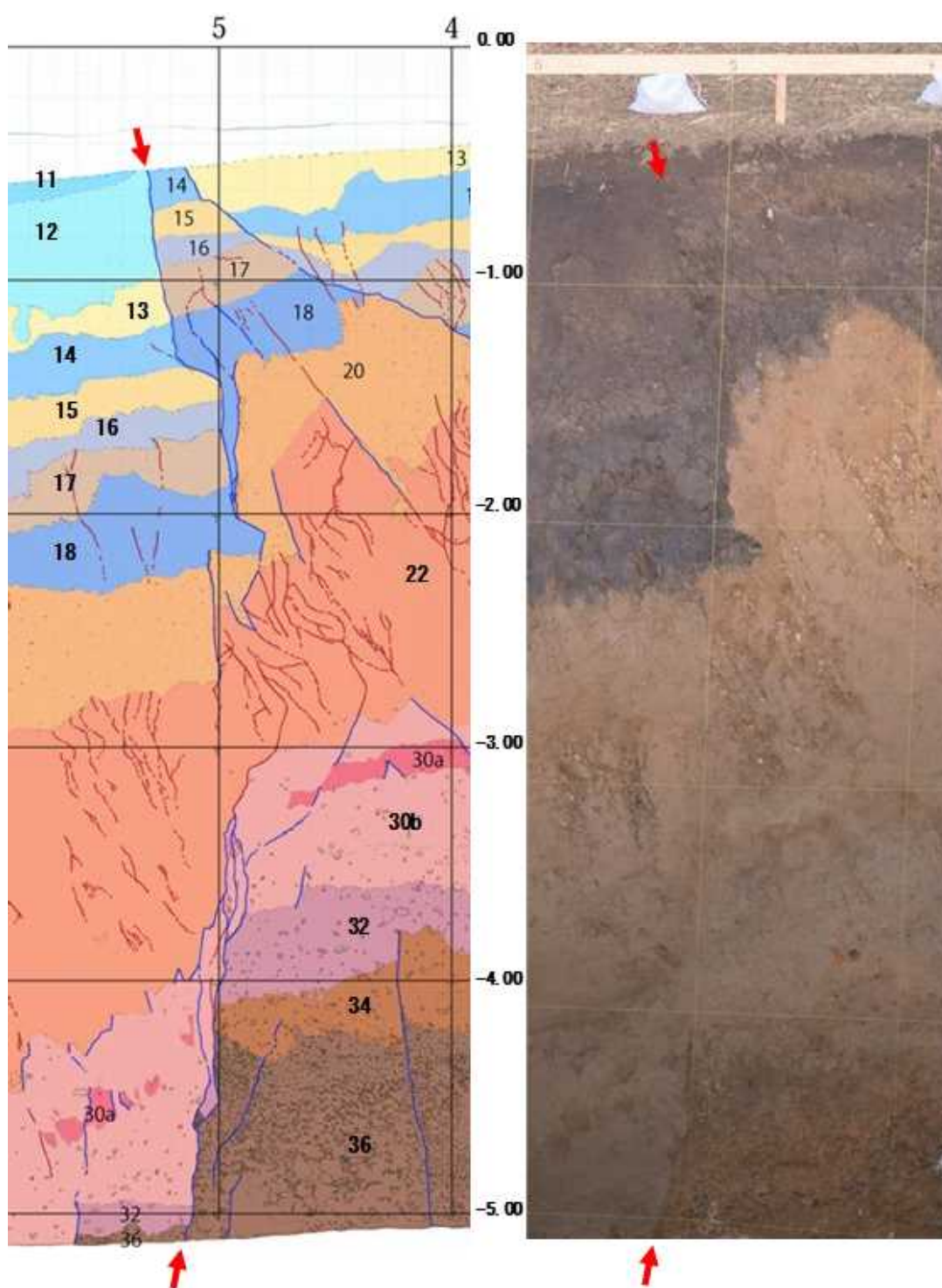


图 2.4.75 F2-1

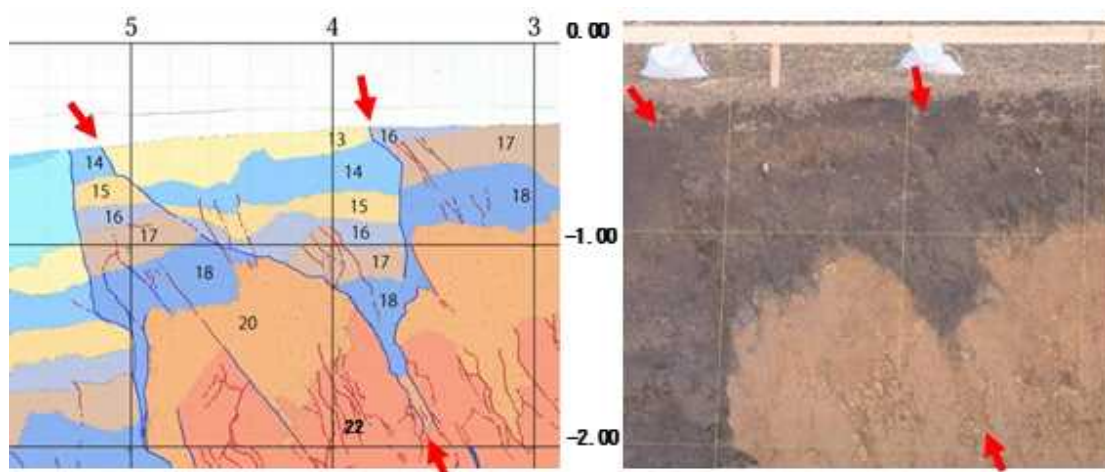


图 2.4.76 F2-2

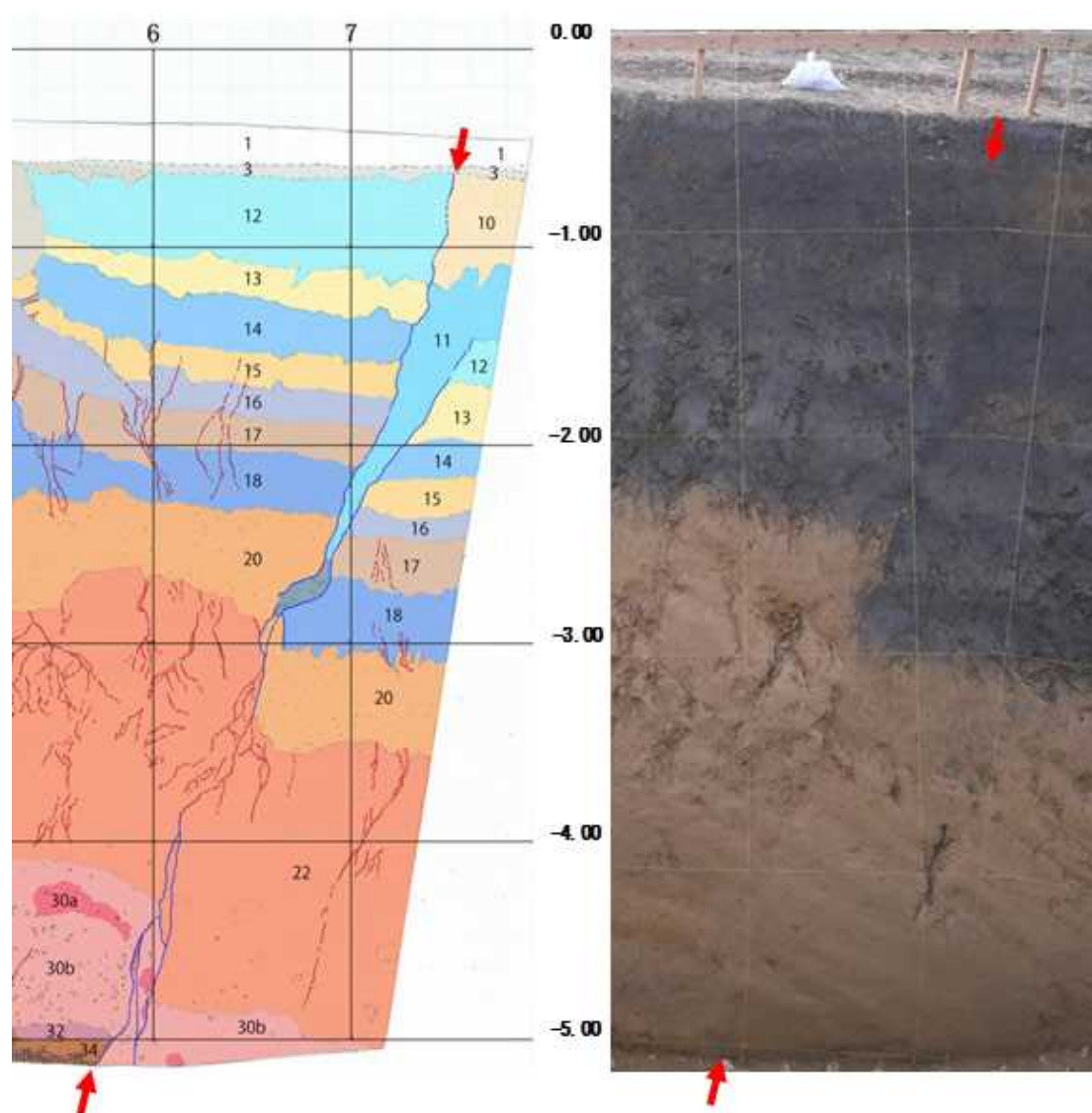


图 2.4.77 F2-3

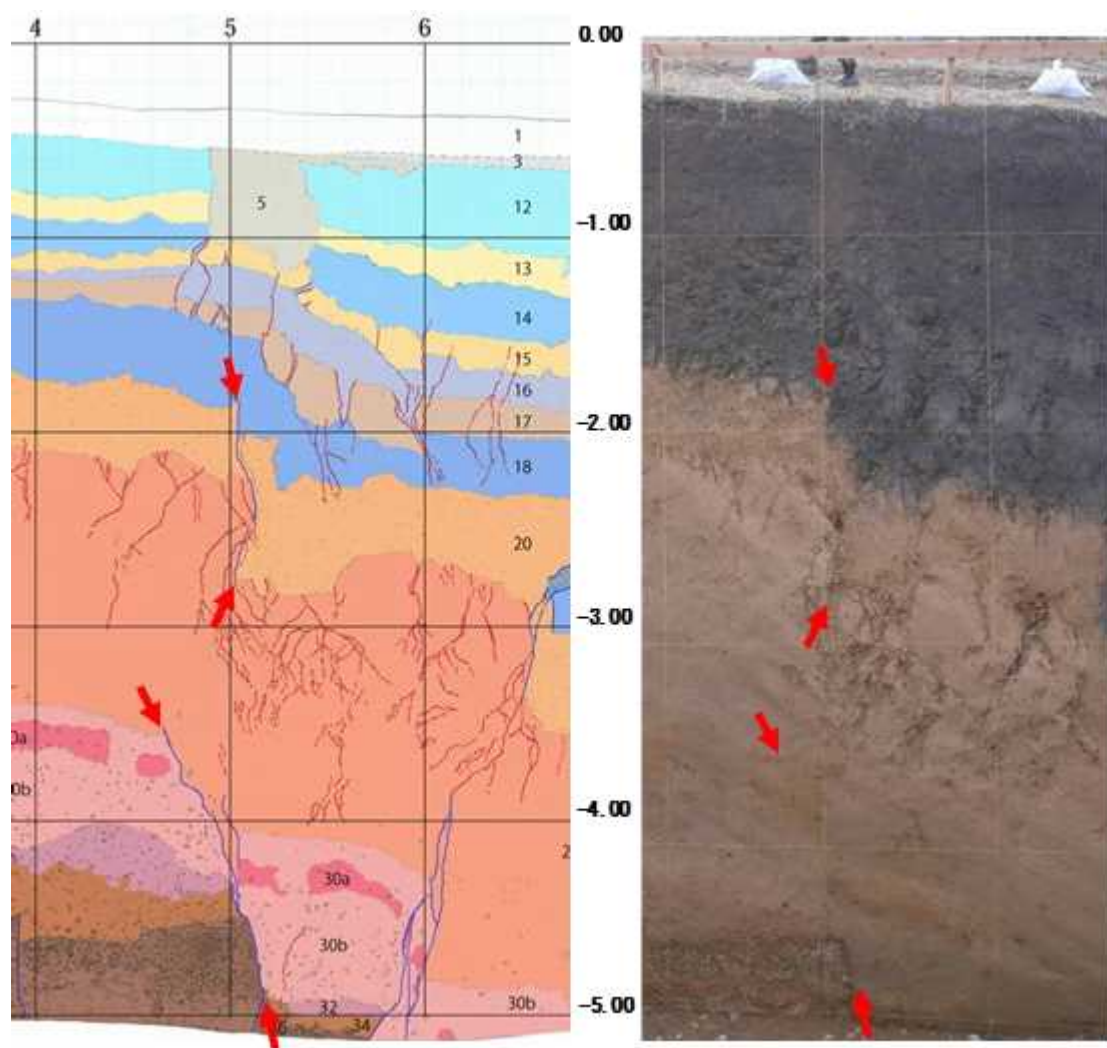


图 2.4.78 F2-4

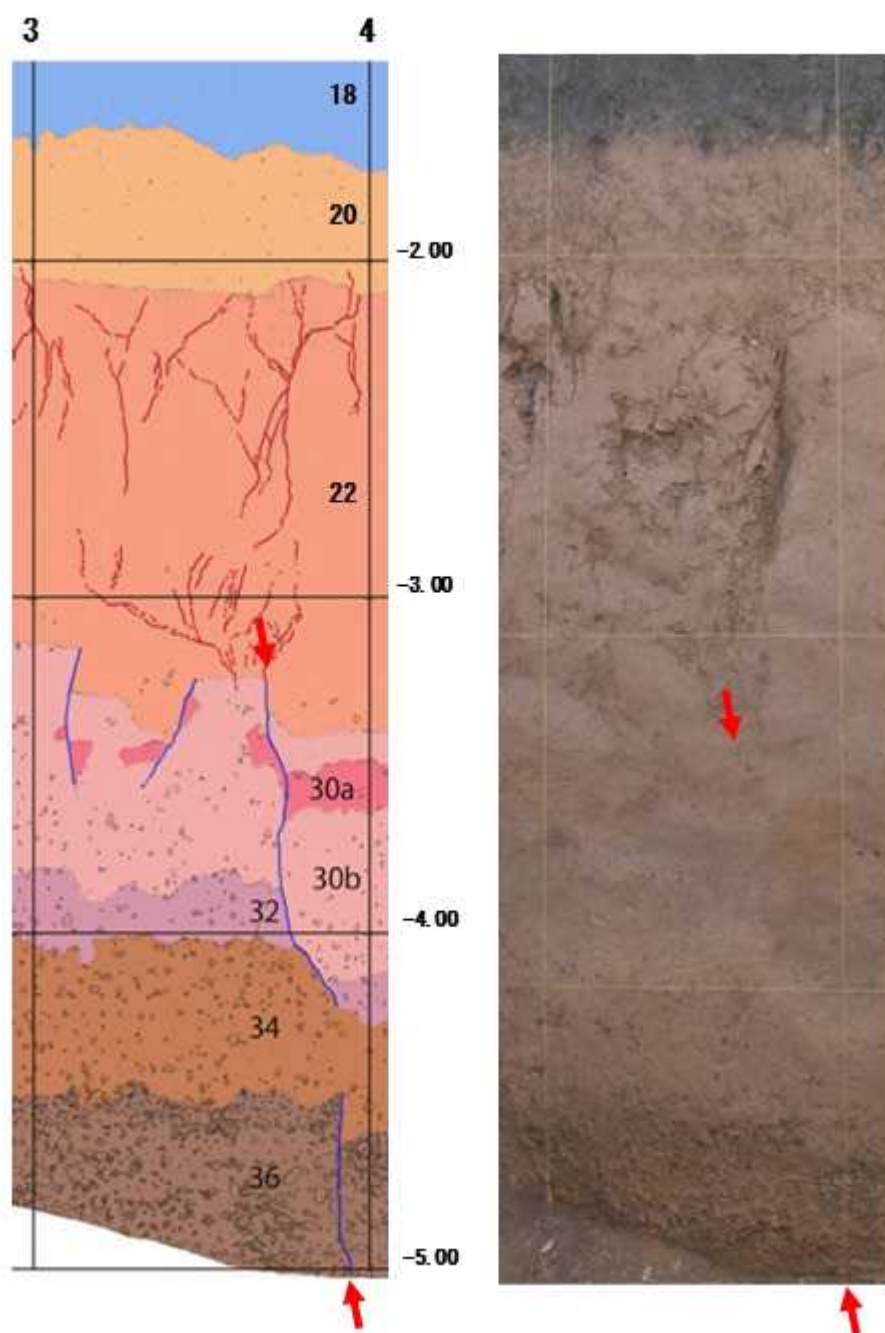


图 2.4.79 F2-5

③断層充填物

トレンチに分布する断層の一部には、剪断面の間隙や複数の断層によるクサビ状の構造に物質が充填する箇所が認められる。充填物の構成物質は11, 12, 14, 16, 18, 20層由来のものであると推定されるが識別は不可能である。W(1.5~2.1, -0.5~-2.8)に分布する充填物を伴うクサビ状構造はトレンチ内でも最大であり、下方延長には剪断面が密着した断層が認められる(図 2.4.80)。

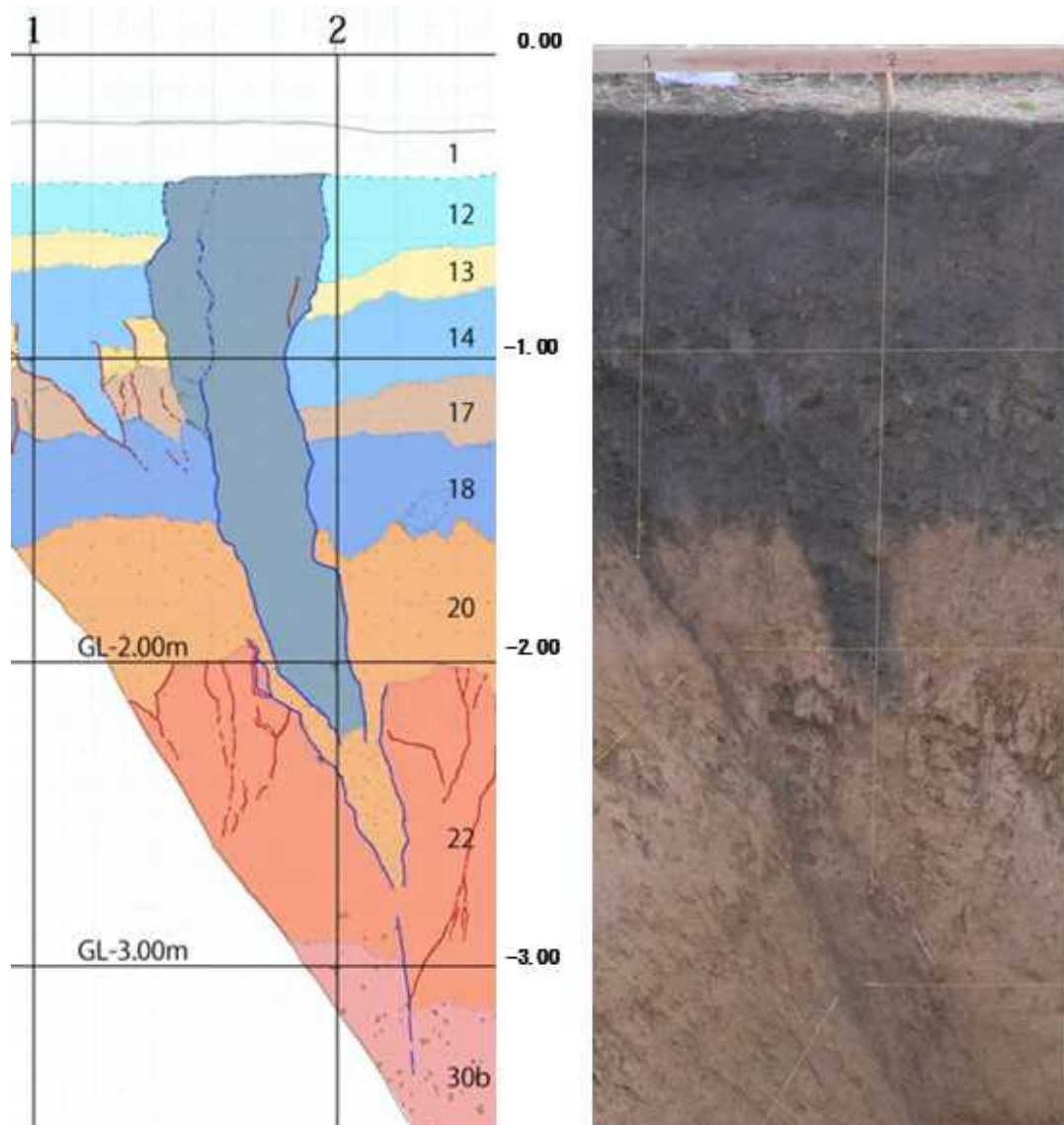


図 2.4.80 断層充填物（スケッチ内の暗青色塗色部）

④剪断センスを示す構造

河原団地トレンチにおいて、特に大きな変位を与える断層とその周辺には、右横ずれセンスとして読み取れる構造がいくつか存在する。図 2.4.81 に位置をしめす。

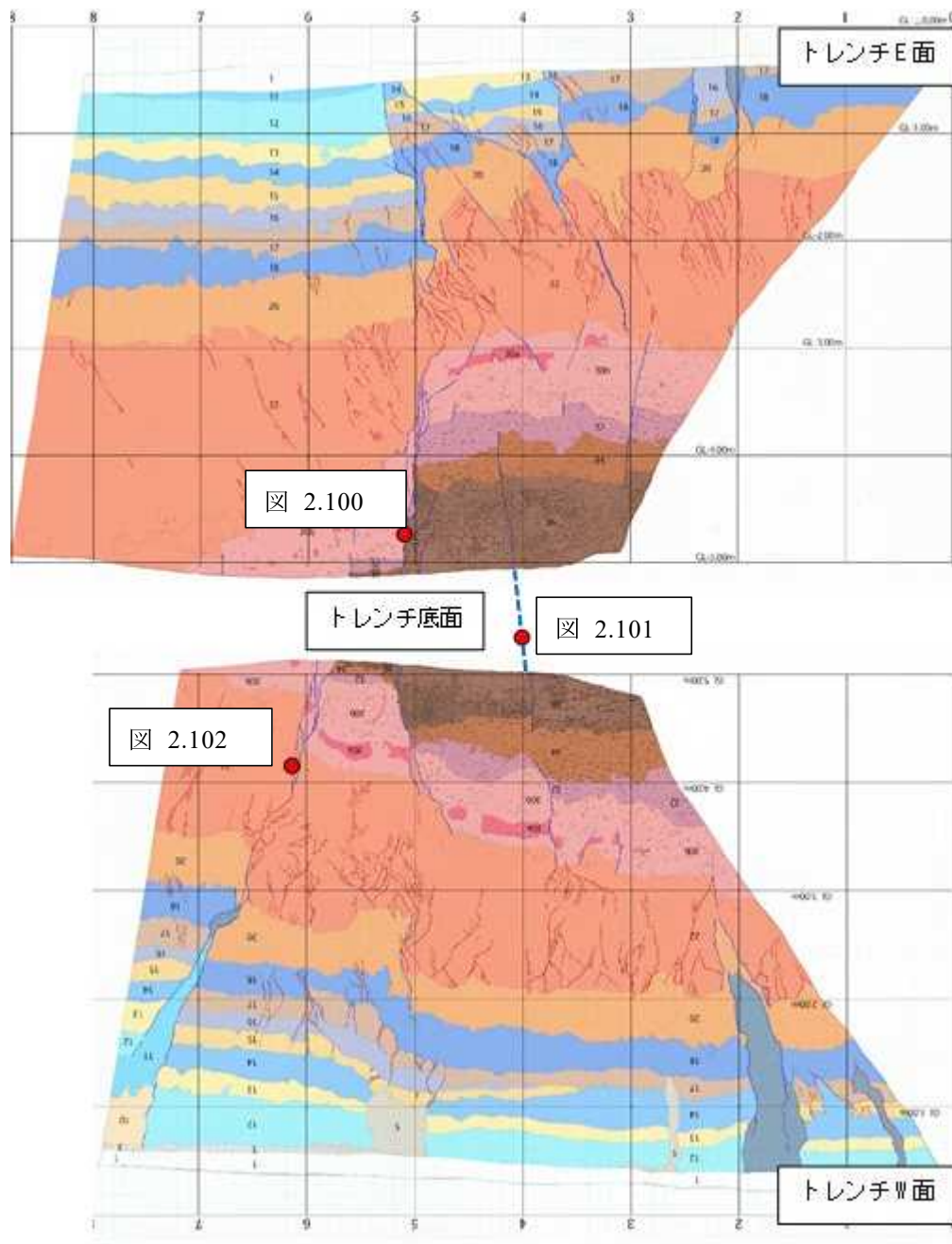


図 2.4.81 剪断構造位置図

図 2.4.82 では、 $N76^{\circ} E81^{\circ} W$ の断層面に対して、 $35^{\circ} W$ のレイク角のスリッケンラインが認められる。スリッケンラインに伴って直交方向にスリッケンステップが発達する。スリッケンステップは西側方向に低下していることから、この断層面での剪断センス右横ずれであると考えられる。



図 2.4.82 スリッケンライン(赤矢印)とスリッケンステップ(白矢印)

図 2.4.83 では、トレンチ底板に断層によって 36 層中の白色パミス質の堆積物が剪断を受け、右横ずれを示す剪断構造が認められる。



図 2.4.83 36 層中の剪断構造

図 2.4.84 では、トレンチ壁面を断層沿いに掘り込み、水平面での観察結果であるが、22 層の堆積物が剪断を受け、リーデルシア面(R 面)を伴う複合面構造が認められる。

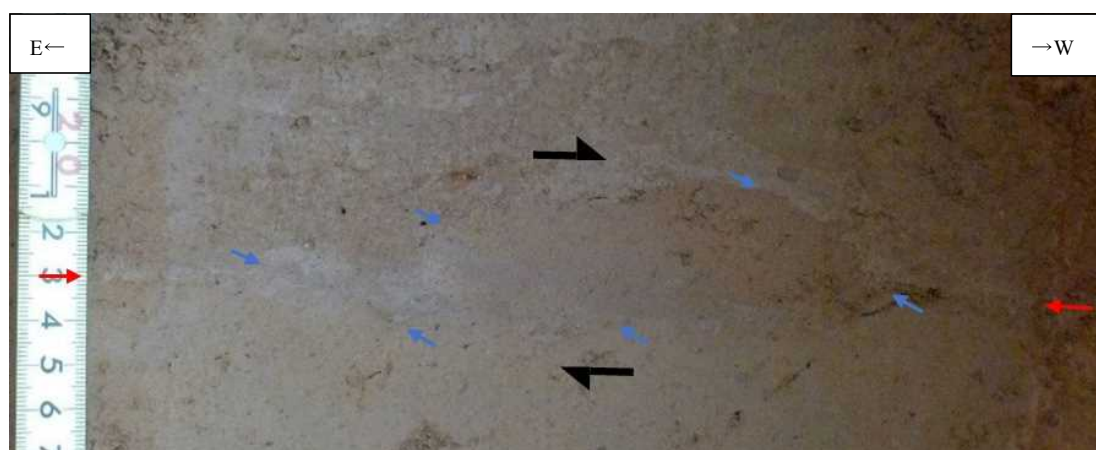


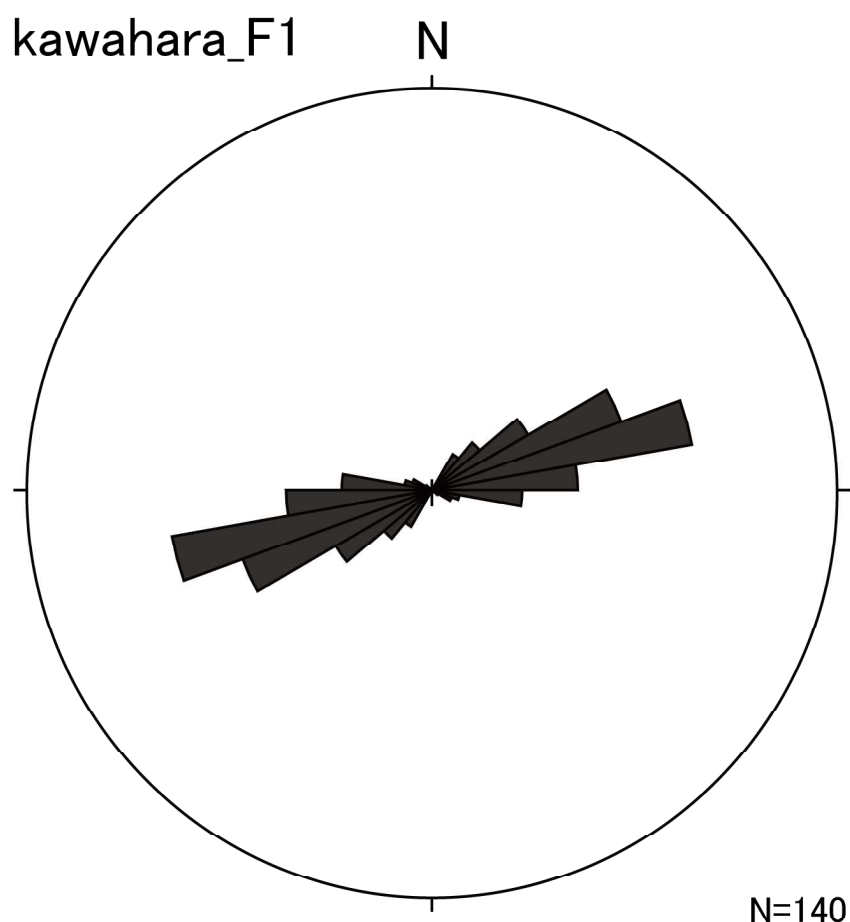
図 2.4.84 右ずれを示す複合面構造(赤矢印：主断層 青矢印：R 面)

(8) 断層構造解析

河原団地トレンチでの F1 及び F2 断層について、断層面の走向方向からローズダイアグラム、断層面の走向傾斜からシュミットネットによる下半球等積投影で構造解析を実施した。

① F1

F1 は、走向が東北東-西南西方向(N70E~80E 程度)、傾斜は 70~90° 程度で南北に振れ、やや南に振れたものが多い(図 2.4.85)、(図 2.4.86)。



N=140

図 2.4.85 河原団地トレンチに分布する F1 断層の走向方向のローズダイアグラム

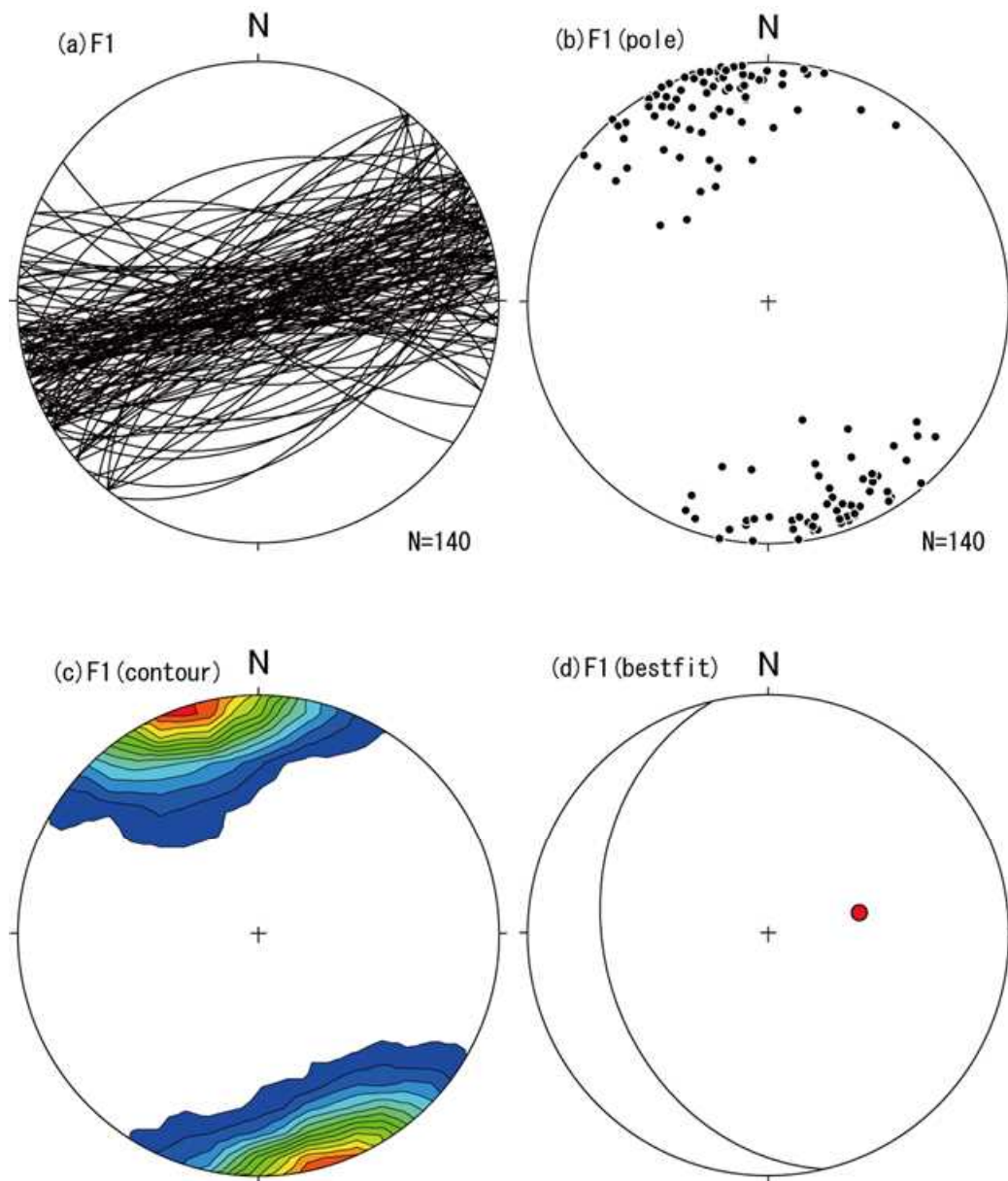


図 2.4.86 河原団地トレンチでの F1 の構造解析結果

(a):断層面の走向傾斜(下半球等積投影) (b):(a)の極 (c):(b)のコンターダイアグラム
(d):(b)からもとまる最適大円とその極。

②F2

F2 は、走向が東-西方向から東北東-西南西方向(N60E～80E 程度)、傾斜は 70～90° 程度で南北に振れ、南に振れたものが多い。東-西方向(N80E～N90 程度)のものもみられる。F2 は断層の傾斜角度が F1 に比べて緩いものが多い(図 2.4.87)、(図 2.4.88)。

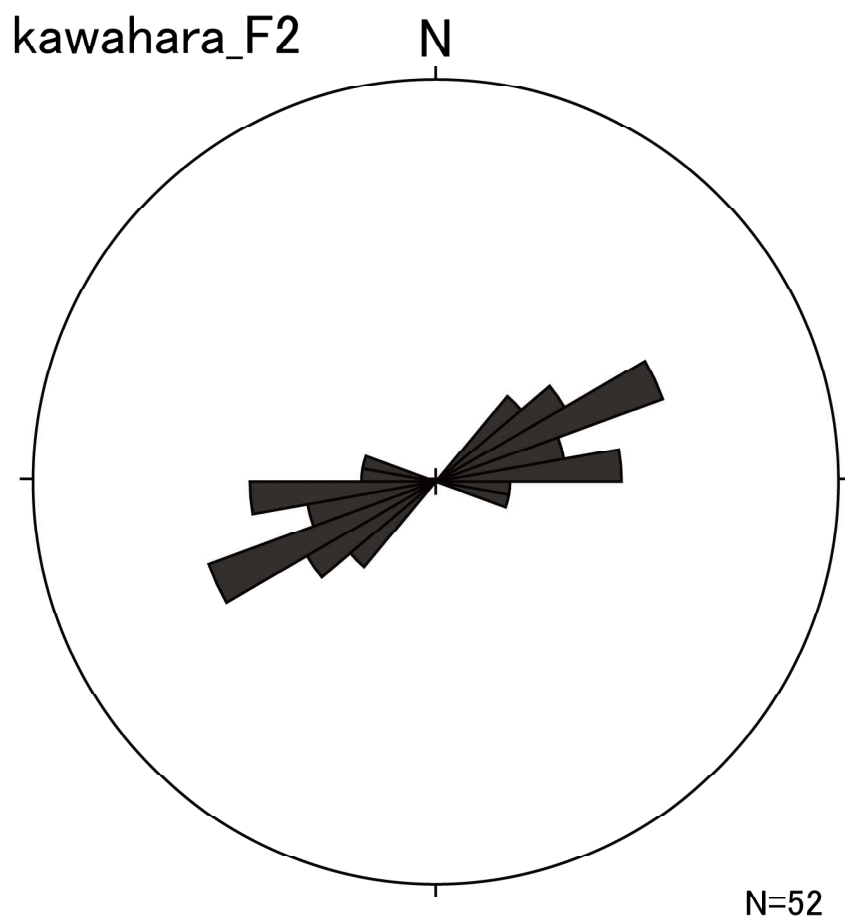


図 2.4.87 河原団地トレンチに分布する F2 断層の走向方向のローズダイアグラム

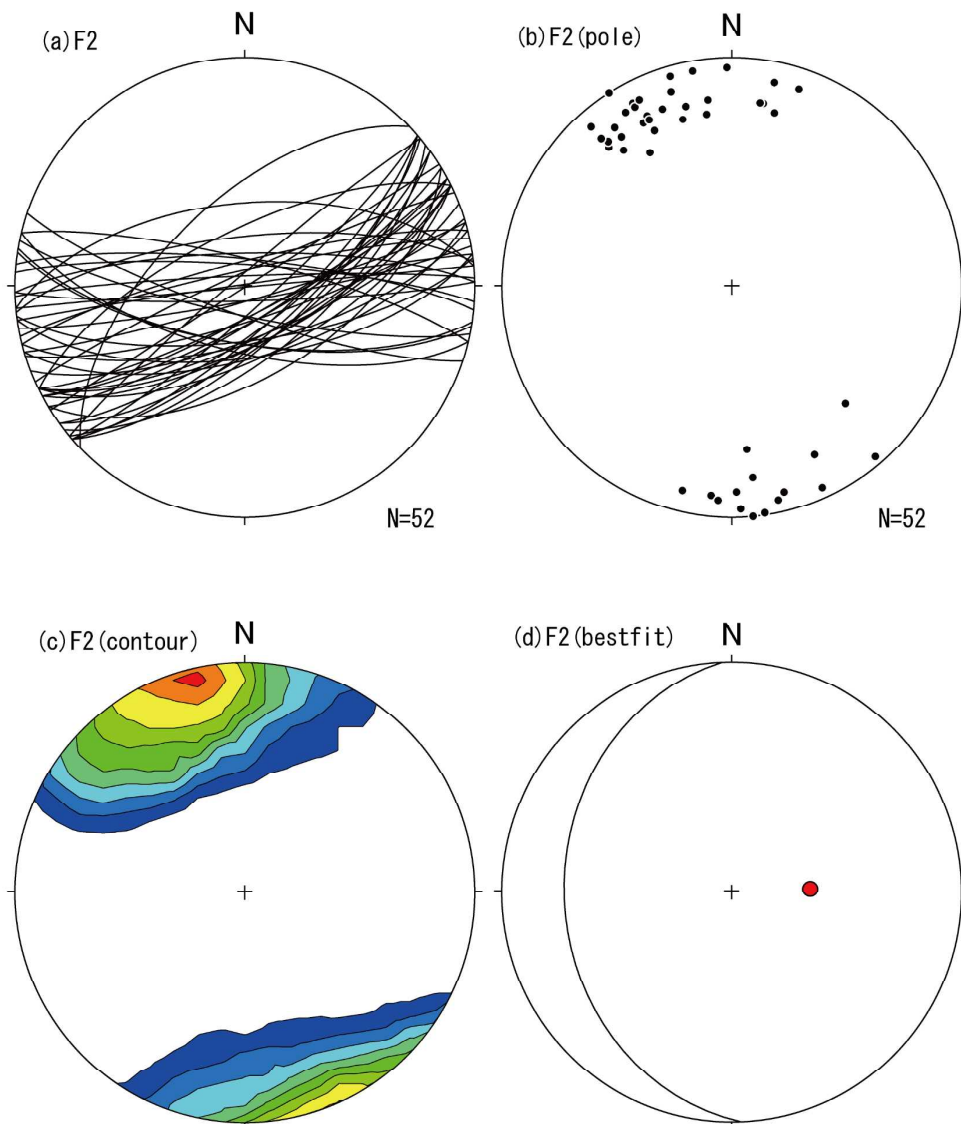


図 2.4.88 河原団地トレンチでの F2 の構造解析結果

(a):断層面の走向傾斜(下半球等積投影) (b):(a)の極 (c):(b)のコンターダイアグラム
 (d):(b)からとまる最適大円とその極。

(9) 年代測定

年代測定は AMS 法による放射性炭素年代測定を実施した。年代試料サンプリング位置を図 2.4.89 に、測定結果を表 2.4.10 に、暦年較正結果を表 2.4.11 及び図 2.4.90 に示す。

河原団地地区においてトレンチ壁面の地層は、降下スコリア堆積物（36 層）、ローム層（34～11 層）、人工地盤（4～0 層）および断層活動により生成された未分類層である。堆積年代は暦年補正 (2σ) の年代値で 18 層から 31,736～31,235cal BP、16 層から 28,771～28,254cal BP、14 層から 23,765～23,258cal BP、12 層から 15,510～15,160cal BP、11 層から 11,171～10,776cal BP の測定値が得られた。

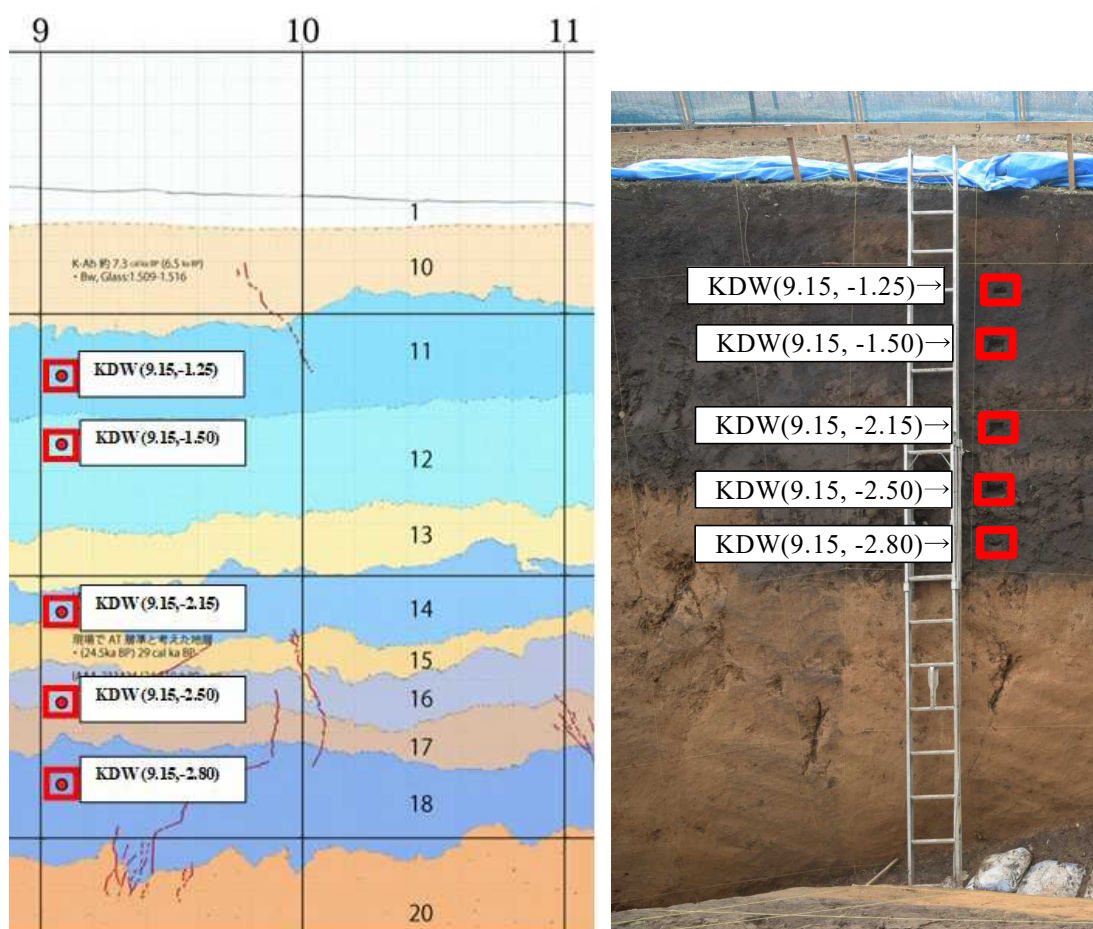


図 2.4.89 年代試料サンプリング位置

表 2.4.10 河原団地トレンチ 放射性炭素年代測定結果

測定番号	試料名	試料 形態	処理 方法	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
					Libby Age (yrBP)	pMC (%)
IAAA-231421	KDW (9.15,-1.25)	土壌	HCl	-22.85 ± 0.18	9,610 ± 30	30.22 ± 0.13
IAAA-231422	KDW (9.15,-1.50)	土壌	HCl	-22.14 ± 0.22	12,820 ± 40	20.26 ± 0.10
IAAA-231423	KDW (9.15,-2.15)	土壌	HCl	-18.76 ± 0.19	19,500 ± 60	8.83 ± 0.07
IAAA-231424	KDW (9.15,-2.50)	土壌	HCl	-15.73 ± 0.26	24,310 ± 80	4.85 ± 0.05
IAAA-231425	KDW (9.15,-2.80)	土壌	HCl	-17.28 ± 0.18	27,570 ± 100	3.23 ± 0.04

表 2.4.11 河原団地トレンチ 暦年校正結果

測定番号	試料名	暦年校正用 (yrBP)	校正条件	1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
IAAA-231421	KDW (9.15,-1.25)	9,612 ± 33	OxCal v4.4 IntCal20	11107calBP - 11067calBP (13.4%) 11027calBP - 11008calBP (5.5%) 10961calBP - 10867calBP (32.6%) 10853calBP - 10800calBP (16.8%)	11171calBP - 11059calBP (26.3%) 11047calBP - 10996calBP (10.5%) 10974calBP - 10776calBP (58.6%)
IAAA-231422	KDW (9.15,-1.50)	12,824 ± 39	OxCal v4.4 IntCal20	15385calBP - 15212calBP (68.3%)	15510calBP - 15160calBP (95.4%)
IAAA-231423	KDW (9.15,-2.15)	19,495 ± 60	OxCal v4.4 IntCal20	23736calBP - 23677calBP (12.8%) 23618calBP - 23490calBP (28.1%) 23470calBP - 23351calBP (27.4%)	23765calBP - 23258calBP (95.4%)
IAAA-231424	KDW (9.15,-2.50)	24,305 ± 82	OxCal v4.4 IntCal20	28702calBP - 28445calBP (68.3%)	28771calBP - 28254calBP (95.4%)
IAAA-231425	KDW (9.15,-2.80)	27,574 ± 104	OxCal v4.4 IntCal20	31625calBP - 31333calBP (68.3%)	31736calBP - 31235calBP (95.4%)

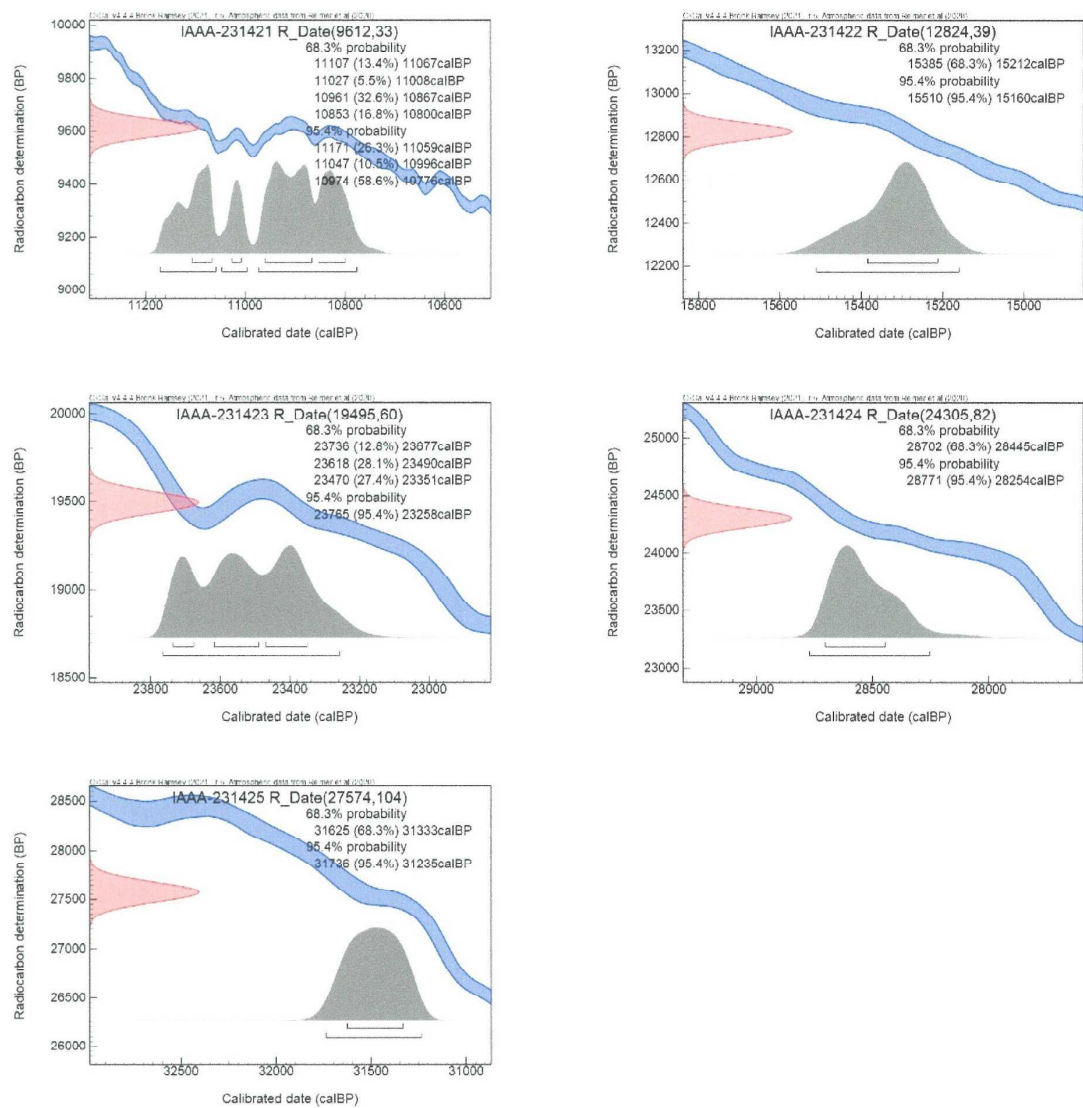


図 2.4.90 河原団地トレンチ 暦年較正年代グラフ

(10) 火山灰分析

河原団地トレンチにおいて、火山灰が含まれている可能性のある層序についてサンプリングを実施し、火山灰分析を実施した。サンプリング位置は図 2.4.91 である。

火山灰分析結果より 10 層は K-Ah 火山灰（約 7.3cal ka BP；奥野, 2002）に対比された。

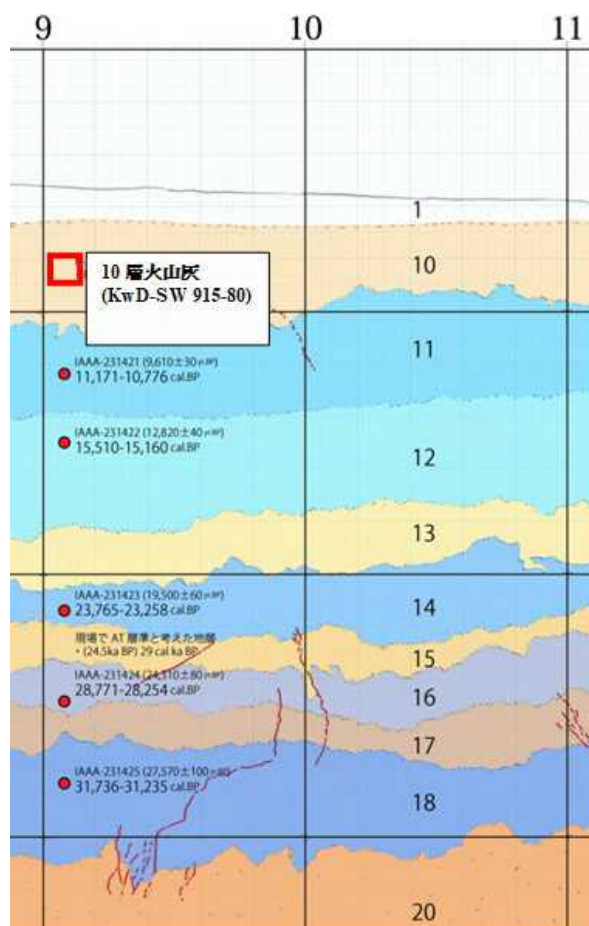


図 2.4.91 火山灰試料サンプリング位置

①10 層火山灰(KwD-SW 915-80)

本試料はバブルウォールタイプ火山ガラスおよび斜長石を主体とする．この火山ガラスの屈折率は 1.509-1.516 であり，K-Ah テフラ起源と考えられる．検鏡写真を図 2.4.92 に示す。

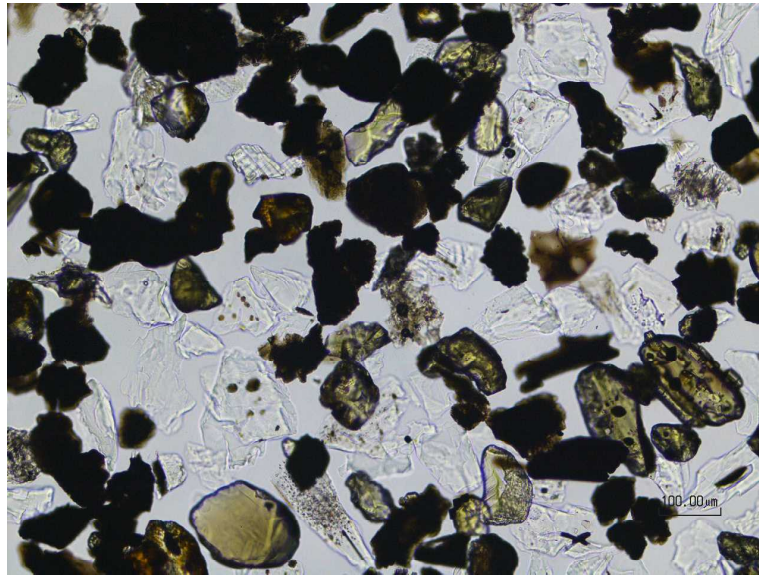


図 2.4.92 10 層火山灰 検鏡写真

②粒子組成分析結果

河原団地トレンチでサンプリングした火山灰について、粒子組成分析を実施した結果を表 2.4.12 にまとめる。

表 2.4.12 粒子組成分析結果

試料名	Volcanic Glass			Light Mineral	Heavy Mineral					Rock	V. Rock	Total	特記事項	火山ガラスの屈折率	テフラ名
	Bw	Pm	0	Fl/Qu	Opx	Cpx	Gho	Ol	Opq						
KwD-S W 915-180	102	2	3	60	31	5	0	1	46	50	0	300		1.509-1.516	K-Ah

Bw : バブルウォールタイプ

Fl・Qu : 長石・石英

Pm : バミスタイプ

Opx : 斜方輝石 Cpx : 単斜輝石 Gho : 緑色普通角閃石 Ol : カンラン石

0 : 低発泡タイプ

Opq : 不透明鉱物 Rock : 岩片・風化粒 V. Rock : 火山岩片

(11) 追加サンプリング

トレンチの埋戻し前に追加サンプリングを実施した。サンプリング位置を図 2.4.93～図 2.4.98 に示す。

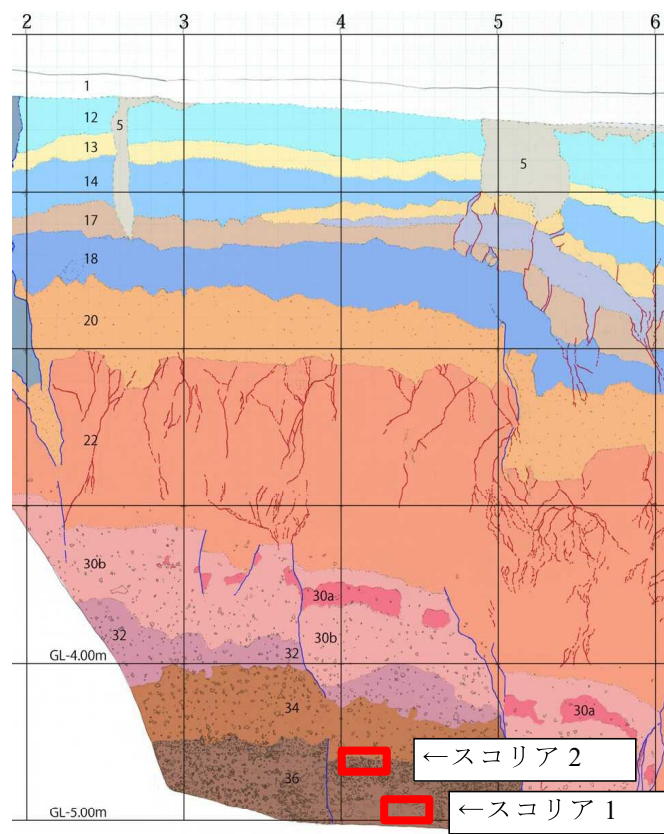


図 2.4.93 追加サンプリング位置：最下部スコリア

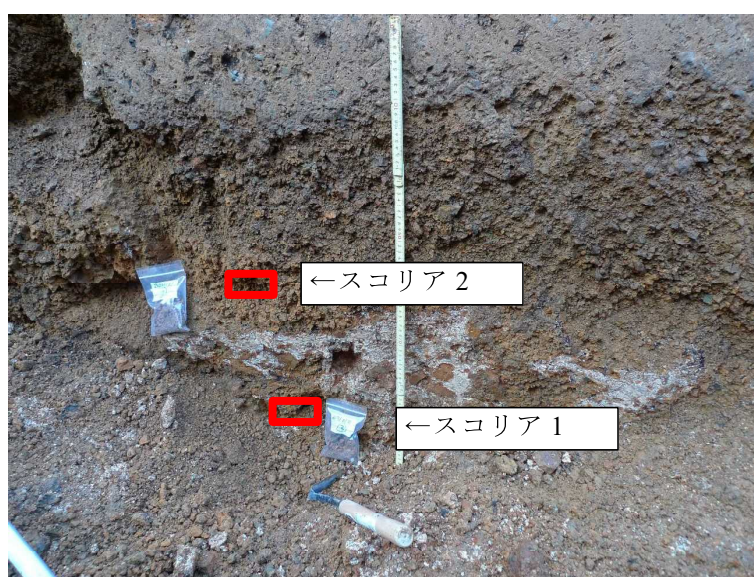


図 2.4.94 追加サンプリング位置写真：最下部スコリア

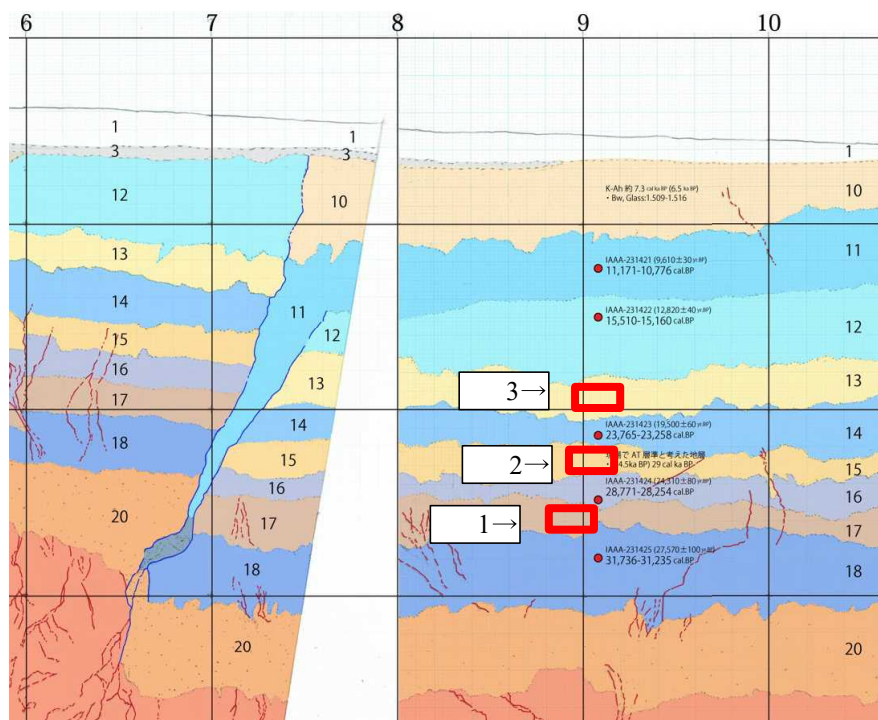


図 2.4.95 追加サンプリング位置 1～3：サンプリング番号 2 は AT 層準と想定される位置



図 2.4.96 追加サンプリング位置写真 1～3

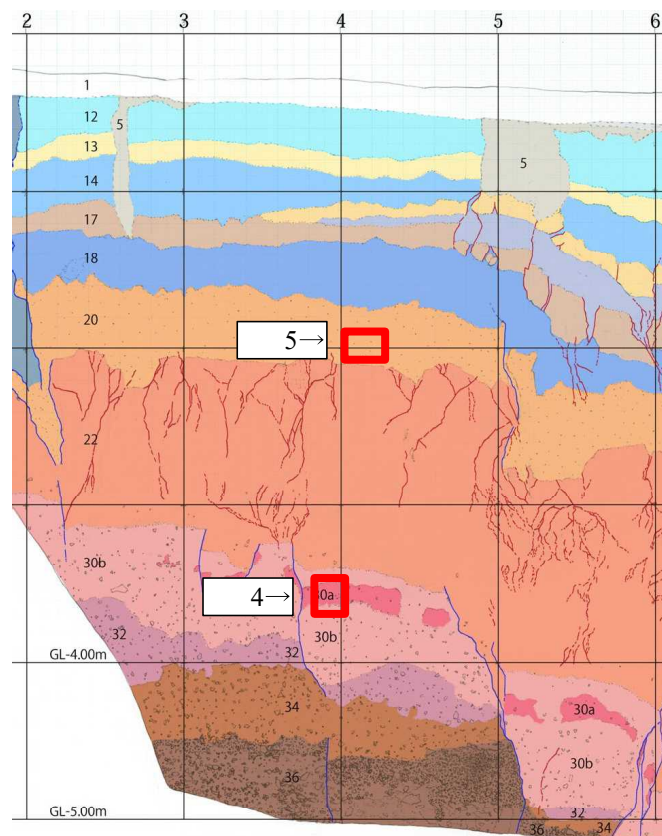


図 2.4.97 追加サンプリング位置 4～5

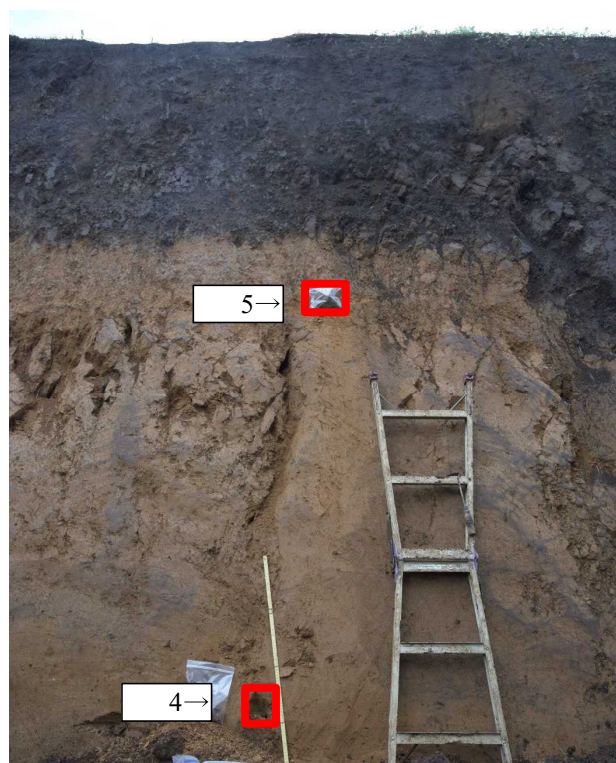


図 2.4.98 追加サンプリング位置写真 4～5

(12) 埋蔵文化財

① 試掘調査

トレンチ調査に先立ち、埋蔵文化財調査を実施した。調査は西原村教育委員会及び熊本県教育庁教育総務局文化課文化財調査班監督のもと実施された。調査位置を図 2.4.99 に、試掘結果を図 2.4.100～図 2.4.101 に示す。試掘調査の結果、埋蔵文化財等は確認されなかったため、活断層トレンチ調査の実施が許可された。



図 2.4.99 試掘調査位置



図 2.4.100 試掘 1 掘削面（東面）：埋蔵文化財は確認されない。黒色土壌には多数の亀裂が確認された。



図 2.4.101 試掘 2 掘削面（東面）：埋蔵文化財は確認されない。黒色土壌には断層の可能性がある 20cm 程度の見かけの落差が確認された。

②出土物

トレンチ調査実施中（2023/12/8）に、調査地地表にて土器片が確認された（図 2.4.102）。産出層準は不明である。この土器片について試掘調査を実施した熊本県教育庁教育総務局文化課文化財調査班に確認を行ったところ、縄文土器ではあるものの、詳細は不明との見解であった。

なお、産出した土器片は西原村教育委員会に提出した。



図 2.4.102 土器裏表の拡大図：図の赤線は 5cm

2.4.3.2. 考察

(1) 火山灰対比

火山灰分析結果より 10 層は K-Ah 火山灰（約 7.3cal ka BP；奥野, 2002）に対比された。15 層については、14 層が 23,765-23,258 cal BP かつ 16 層が 28,771-28,254 cal BP であること、15 層に火山ガラスを多く含むことから、AT 火山灰（約 29 cal ka BP；奥野, 2002）に対比されるものと推察される。

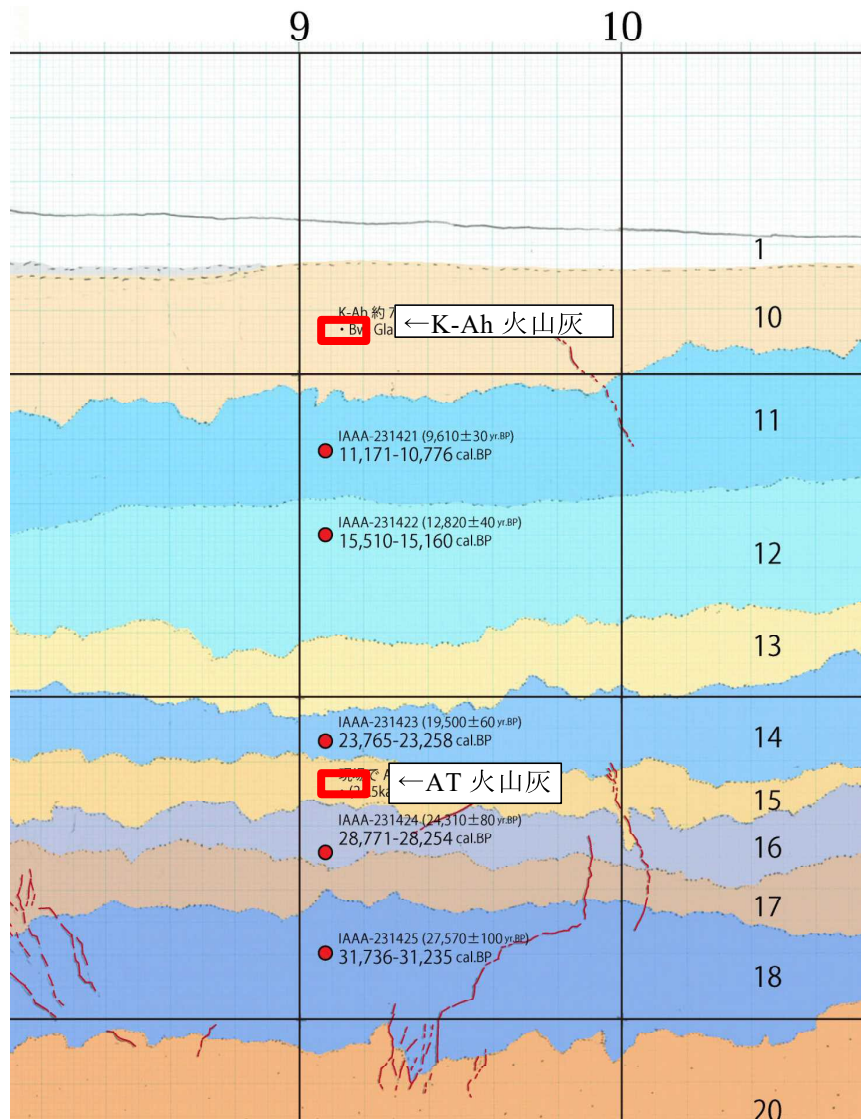


図 2.4.103 火山灰対比結果

(3) 断層構造解析

河原団地トレンチに分布する断層の走向方向について、ローズダイアグラムとしてまとめたものにトレンチ地点での画像相関解析による変位境界ラインの方向を重ねたものを示す(図 2.4.104)。

①F1

画像相関解析による変位境界ライン方向に対して断層の走向方向が $30\sim 45^\circ$ 程度で斜交する傾向がみられる。これは左ずれ剪断時に形成されるリーデルシア面(R 面)に性状が類似しており、現地及び画像相関解析で確認される左横ずれ変位とも整合性である。

よって、トレンチに分布する F1 断層は左横ずれによる剪断変位によって形成されたものであると考えられる。

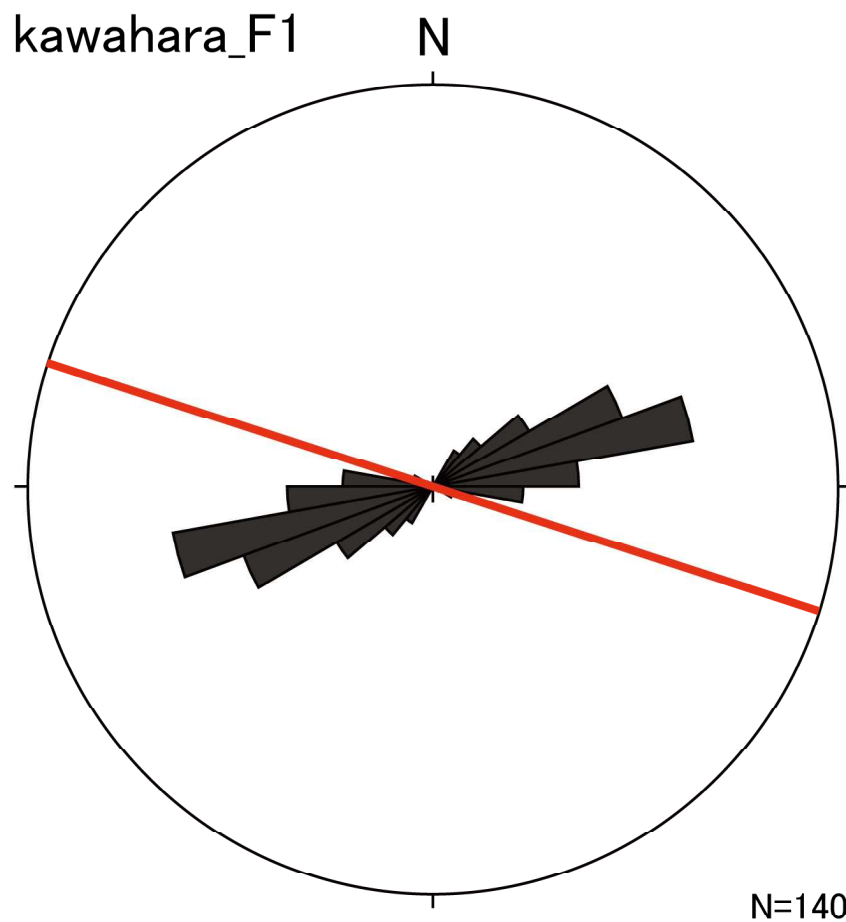


図 2.4.104 河原団地トレンチに分布する F1 断層の走向方向のローズダイアグラム
赤線は河原団地における空中写真の画像相関解析による変位境界ラインの方向を示す。

②F2

画像相関解析による変位境界ラインの方向に対して断層の走向方向が $30\sim 50^\circ$ 程度で斜交する傾向がみられる。これは F1 とほぼ同様の傾向で左横ずれを示唆する。一方で、トレンチでは F2 では右横ずれを示すスリッケンステップや引きずり、複合剪断面構造成分が確認されており、変位境界ラインと断層方向から推定される左横ずれ変位とは一致しない。この理由については不明である。

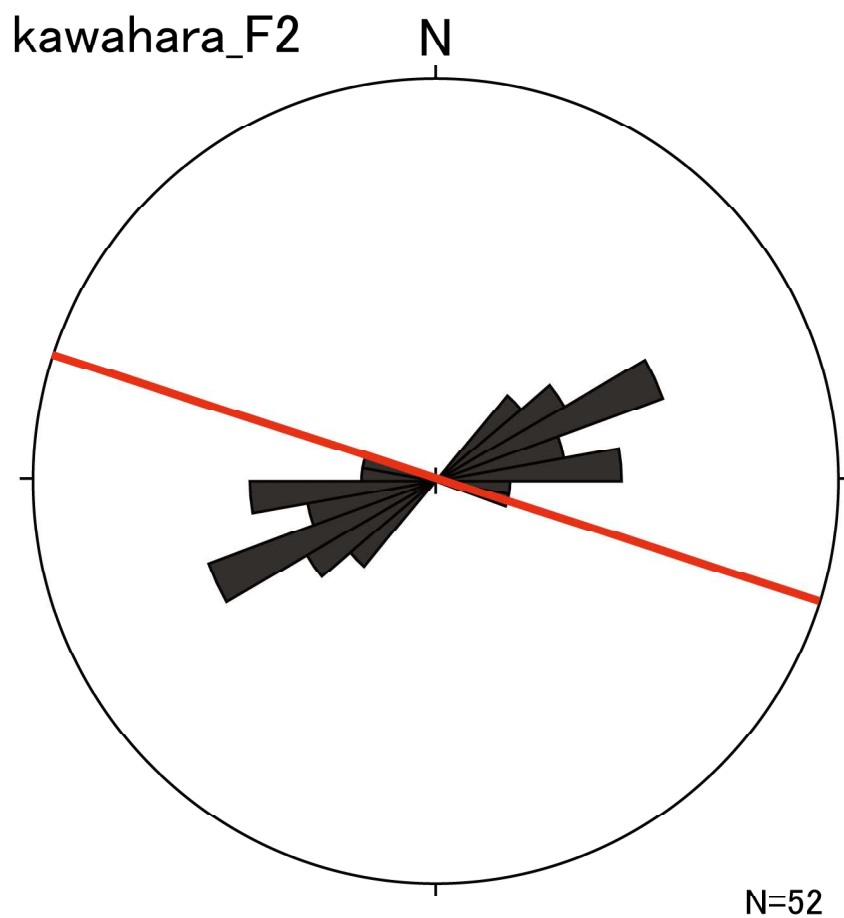


図 2.4.105 河原団地トレンチに分布する F2 断層の走向方向のローズダイアグラム
赤線は河原団地における空中写真の画像相関解析による変位境界ラインの方向を示す。

(4) 断層活動履歴

識別された断層活動イベントは、2016 年熊本地震及び熊本地震に先行する少なくとも 2 回の活動として識別された（表 2.4.13）。イベント I は現耕作土の直下まで開口亀裂が連続することから 2016 年熊本地震と考えられる。イベント II は 10 層堆積後、人工改変前の活動である。イベント II 発生年代は K-Ah 火山灰より 7.3 cal ka BP 以降と推定される。イベント III は 22 層堆積後、20 層堆積前の活動である。

イベント発生年代は加速器質量分析法（AMS 法）によって得られた未校正の年代値（yr BP）を用いて暦年補正（cal BP）を行うことで年代値の絞り込みを実施した。暦年校正は下野地区での実施方法と同様の手法を取り、校正作業は OxCal Online ver 4.4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html> , Web interface build number:173, Last Updated:2024/8/3, © Christopher Bronk Ramsey 2024) にて実施した。地層を変位させるイベントの発生年代については、OxCal Online を用いてベイズ推定（Bronk Ramsey 2008, 2009）し、年代幅の絞り込みを行った。ベイズ推定にはイベントの発生順序のみを考慮した [Sequence] 堆積モデル、前後関係を伴わずグルーピングのみを行う [Phase] 制約条件、各イベントの事前確率がグループ存在期間で一定とする [Boundary] グループおよび異常値分析としてスチューデント t 分布で確率 5% を用いた [Outlier_Model (“General”, “t”), Outlier(0.05)] を使用した（Bronk Ramsey 2009）。導き出された暦年補正年代については 1 年ごとの推定精度を確保できていないため、10 年単位に丸めて年代を表示した。

OxCal v4.4.4 を用いた検討の結果、イベント III 発生年代（ 2σ ）は 31,280cal BP 以前と推定される（表 2.4.13）。断層による地層の引きずり方向より、イベント III は右横ずれ運動によるもの、イベント II は左横ずれ運動によるものと推定される。

表 2.4.13 総合模式柱状図：暦年較正で作成したモデルは図 2.4.106、推定したイベント年代は図 2.4.107 である。

地層名		火山灰	放射性炭素年代 calBP(2 σ)	イベント層準
人工 地盤	1			← イベントⅠ 2016熊本地震
	3			
	5			
自然 地盤	10	K-Ah(7.3ka)		← イベントⅡ 10層堆積後 人口改変前 (7,300以降)
	11		11,171-10,776	
	12		15,510-15,160	
	13			
	14		23,765-23,258	
	15	AT ? (29ka)		← イベントⅢ 22層堆積後 20層堆積前 (31,736以前) 31,280calBP以前
	16		28,771-28,254	
	17			
	18		31,736-31,235	
	20			
	22			
	30	a		
		b		
	32			
	34			
	36			

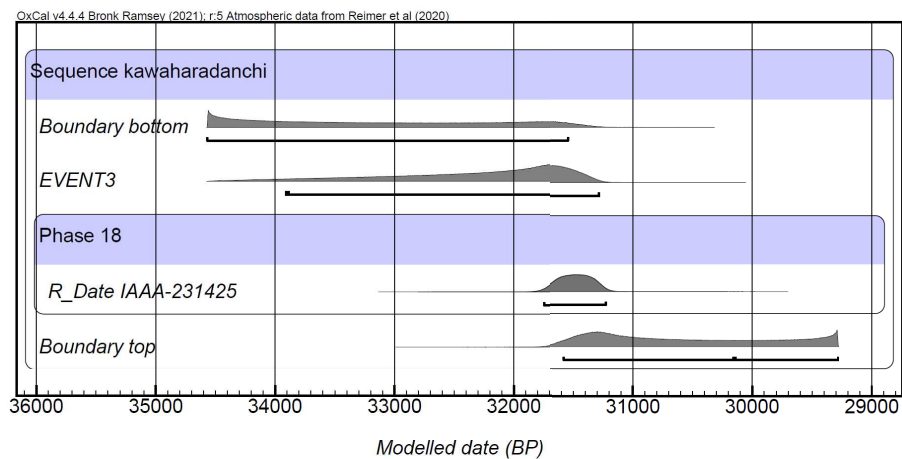


図 2.4.106 作成した OxCal のモデル

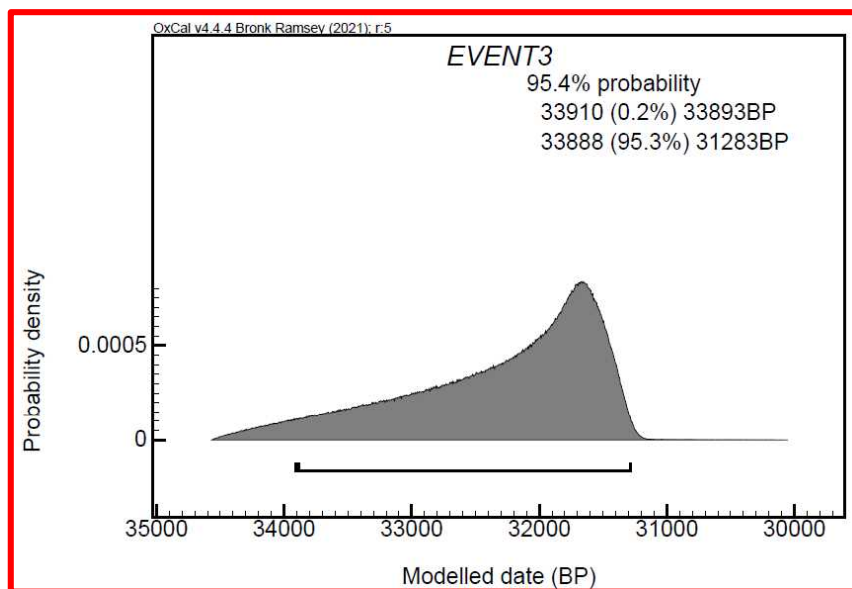


図 2.4.107 イベント年代の推定結果

2.4.4. 表層付近の副断層の性状及び活動履歴の検討結果

地中レーダ探査断面の解析結果および既存ボーリング資料から地下構造を検討した結果、副断層トレンチ調査地点として熊本県阿蘇郡南阿蘇村下野地区および阿蘇郡西原村河原団地地区を選定した。

下野地区においてトレンチ壁面の地層は、ローム層（91 層～51 層）、チャネル埋積堆積物（r2～15 層）および人工地盤（1～5 層）である。地層の堆積年代は暦年補正（ 2σ ）の年代値で 89 層から 10,745～10,576cal BP、85 層から 9,275～9,026cal BP、81 層から 8,010～7,867cal BP、69 層から 6,301～6,203cal BP、r2-2a 層から 6,106～5,917cal BP、r2-1 層から 5,891～5,610cal BP、51 層から 5,046～4,872cal BP、39 層から 4,395～3,890cal BP、19 層から 3,345～3,172cal BP、15 層から 2,849～2,755cal BP の測定値が得られた。71 層は火山灰分析結果より K-Ah 火山灰（約 7.3 cal ka BP；奥野, 2002）に対比された。識別された断層活動イベントは、2016 年熊本地震及び熊本地震に先行する少なくとも 2 回の活動として識別された。イベント I は下野トレンチ 1～3 で確認され、現耕作土の直下まで連続する開口亀裂であることから 2016 年熊本地震による活動イベントであると考えられる。イベント II は下野トレンチ 1 及び 3 で確認される。下野トレンチ 3 では 23 層堆積後、人工改変前の活動である。イベント II 発生年代（ 2σ ）は OxCal v4.4.4 を用いた検討結果より 3,900cal BP 以降と推定される。イベント III は下野トレンチ 1 で確認され、見かけの上下変位で 20cm 程度 93 層から 67 層の下面まで変位させているものの、67 層上面には上下変位を識別できない。そのため、イベント III は 67 層堆積後に発生し、67 層を変位させたのち侵食を受け 67 層上面が平坦となった後に 65 層以降の地層が堆積したものと考えられる。さらに、この断層活動イベントにより相対的な沈降域が発生したものと考えれば、r2 層の堆積開始はイベント III の直後と考えられる。したがって、イベント III 発生年代（ 2σ ）は OxCal v4.4.4 を用いた検討結果より、67 層堆積後 51 層堆積前までの活動と考えると 6,230～4,980cal BP、67 層堆積後 r2 層堆積前までの活動と考えると 6,280～5,950cal BP と推定される。67 層と 65 層の間に侵食に伴う時間間隙があり、かつ、断層活動イベント直後に r2 層の堆積が始まったと考えれば、6,280～5,950cal BP のイベント発生年代である可能性が高い。地中レーダ探査の MSM-21～22 測線（トレンチ東西測線）で得られた測線位置 3～5m 付近の反射の不連続は、このイベント III による断層変位の深部延長を識別できたものと考えられる。

河原団地地区においてトレンチ壁面の地層は、降下スコリア堆積物（36 層）、ローム層（34～11 層）、人工地盤（4～0 層）および断層活動により生成された未分類層である。堆積年代は暦年補正（ 2σ ）の年代値で 18 層から 31,736～31,235cal BP、16 層から 28,771～28,254cal BP、14 層から 23,765～23,258cal BP、12 層から 15,510～15,160cal BP、11 層から 11,171～10,776cal BP の測定値が得られた。10 層は火山灰分析結果より K-Ah 火山灰（約 7.3cal ka BP；奥野, 2002）に対比された。また、15 層は上下位の堆積年代および火山ガラスを多く含む層相より、AT 火山灰（約 29 cal ka BP；奥野, 2002）と推察される。識別された断層活動イベントは、2016 年熊本地震及び熊本地震に先行する少なくとも 2 回の活動として識別された。イベント I は現耕作土の直下まで開口亀裂が連続することから 2016 年熊本地震と考えられる。イベント II は 10 層堆積後、人工改変前の活動である。イベント II 発生年代は K-Ah 火山灰より 7.3 cal ka BP 以降と推定される。イベント III は 22 層堆積後、20 層堆積前の活動である。イベント III 発生年代（ 2σ ）は OxCal v4.4.4 を用いた検討結果より 31,280cal

BP 以前と推定される。断層による地層の引きずり方向より、イベント III は右横ずれ運動によるもの、イベント II は左横ずれ運動によるものと推定される。地中レーダ探査の MKW-24~25 測線で得られた反射断面のうち、測線位置 13~17m 付近で確認された反射の不連続はこれらのイベントによる断層変位を識別した可能性があるが、双曲線状の反射や多重反射により明瞭でない。

2016 年熊本地震発生以後、布田川断層（布田川区間）では多くのトレンチ調査が実施され、過年度事業（パスコ 2023）においてイベントダイアグラムに取りまとめられている（表 2.4.14、図 2.4.108）。下野トレンチのイベント活動年代はイベント II が 3,900cal BP 以降、イベント III が 6,280~5,950cal BP である。下野トレンチのイベント III は沢津野トレンチ（6,800~5,800cal BP のイベント；岡村ほか, 2018）や黒川トレンチ（K-Ah~ACP-1 のイベント；遠田ほか, 2019）などのトレンチで確認されたイベント時期と対応しており、これらの主断層の断層活動イベントと同時期に活動した副断層の断層活動イベントの可能性はある。下野トレンチのイベント II については活動時期が絞り込めていないものの、沢津野トレンチ（1,800~1,300cal BP のイベント；岡村ほか, 2018）、黒川トレンチ（2,132~1,900cal BP のイベント；遠田ほか, 2019）および布田トレンチ（4,310~2,940cal BP、2,150~1,460cal BP；Ishimura et al., 2022）で確認された主断層の断層活動イベントと同時期に活動した副断層の断層活動イベントの可能性はある。

河原団地トレンチのイベント活動年代はイベント II が K-Ah 以降、イベント III が 31,280cal BP 以前である。河原団地トレンチのイベント II はイベント発生年代を絞り込めていないため、多くのトレンチサイトにおけるイベント発生年代と時期が重なるものの、同時期に活動した主断層の断層活動イベントと副断層の断層活動イベントの対応関係は不明である。河原団地トレンチのイベント III は 36 層から 22 層までを変形させているものの 20 層よりも上位の地層を変形させていないことによりイベント II と分離できる。イベント III の活動年代は布田川断層-布田川区間の既往研究で報告されている断層活動イベントよりも優位に古く、他のトレンチサイトの断層活動イベントとの対応関係は不明である。

過年度事業及び本事業において、2016 年熊本地震で発生した副断層位置でのトレンチ調査を実施した結果、副断層で確認された断層活動イベントは、既往研究で報告された布田川断層本体での主断層の断層活動イベントと同時期に活動したと解釈可能なイベントが多い。しかしながら、副断層の活動イベントとして確認された時期に、布田川断層本体の断層活動イベントが確認されないケースや、布田川断層本体では活動イベントがあるにもかかわらず、副断層では断層活動イベントが確認されないケースも存在している。今後、布田川断層本体の過去の断層活動イベントの規模を明らかにした上で、副断層で発生する断層活動イベントの規模について検討していく必要がある。

表 2.4.14 本事業及び過年度事業における調査内容一覧

調査地区			2023年度 調査目的	現地調査（実施年度）				2023年度 成果
				GPR 2次元	GPR 3次元	ボーリング 調査	トレンチ 調査	
阿蘇カルデラ 内	下野		阿蘇カルデラ内の 副断層の断層活動 履歴	本事業	2023	—	本事業	・2016年熊本地震では開口クラックとわずかな変位のみ ・地震活動は2016を含め累積3回 ・変動地形の可能性がある高まりを識別
布田川断層 遠方 NW-SE走向	平川馬場		断層構造の把握	本事業	2023	—	2023	・GPR探査により断層位置を推定した
布田川断層 遠方 E-W走向	下町		—	2022	—	—	2021	—
布田川断層 遠方 NE-SW走向	陣内 周辺	陣内	断層を介した両側の 基盤構造の高低 差の把握	2022 本事業	—	—	2020	・GPR探査による断層構造の詳細 については識別できなかった
		岩坂	断層構造の把握	本事業	—	—	—	・GPR探査による断層構造の詳細 については識別できなかった
	小園 周辺	小園	—	2022	—	2023	2022	・コア再解釈により層序見直し
		緑ヶ丘	断層構造の把握	本事業	—		—	・柱状図対比により複数回の断層 変位の累積性を確認
出ノ口断層 近傍	出ノ口		—	2022	—	—	2022	—
	士林		—	2022	—	—	2018	—
布田川断層 近傍	河原団地		布田川断層・出ノ 口断層間の副断層 の断層活動履歴	—	本事業 2箇所	—	本事業	・2016年熊本地震では左横ずれ、 上下変位20cm程度 ・地震活動は2016を含め累積3回
	上陳東		—	2022	—	—	2021	—
	福原		火砕流碎屑物堆積 以降の累積横ずれ 量の推定	2022	2023 本事業	2023 本事業	2018	・横ずれ変位量は15～20m ・コア再解釈により層序見直し

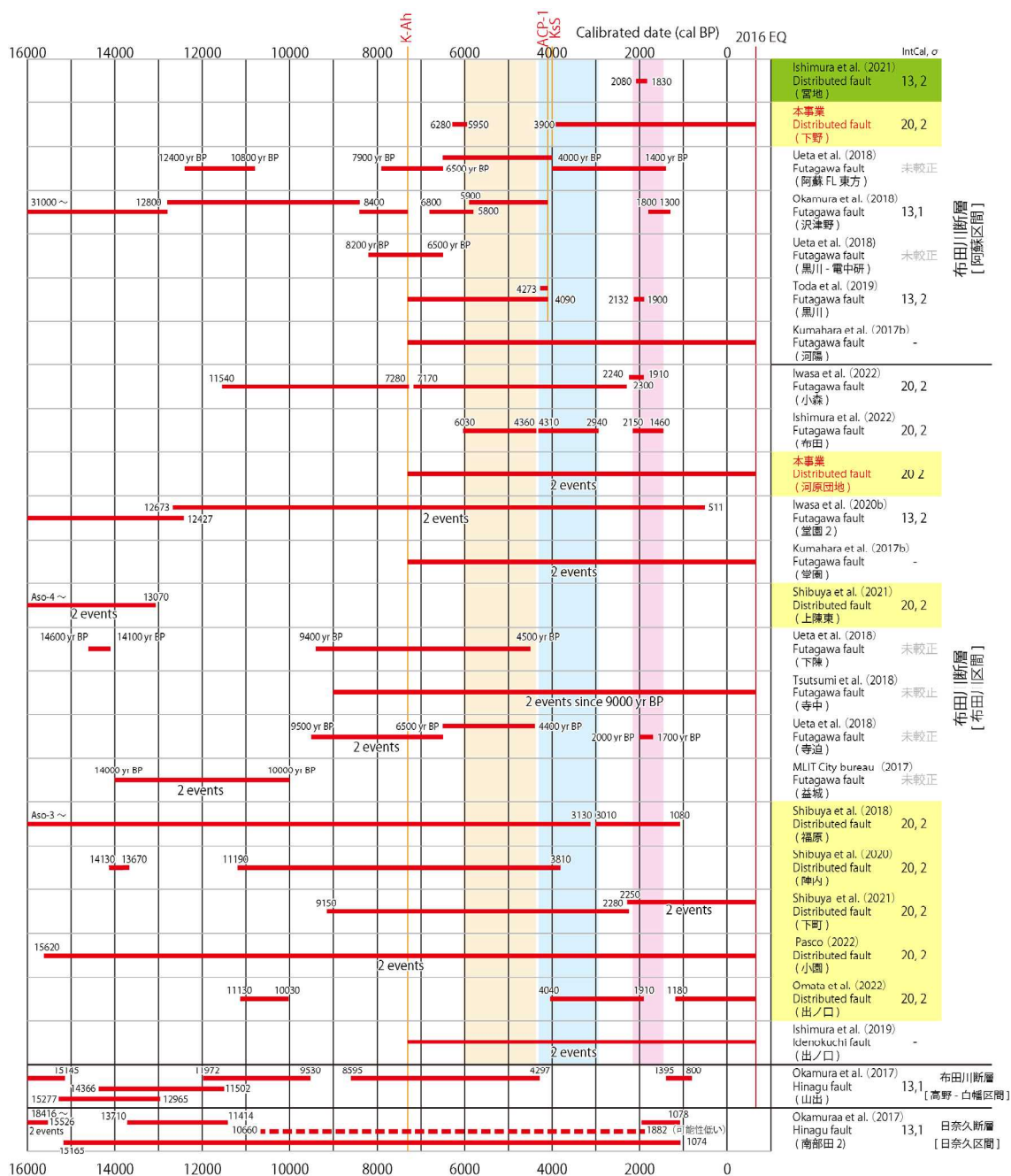


図 2.4.108 イベントダイアグラム（右端黄色着色は本事業及び過年度事業における副断層の調査結果、右端黄緑着色は他機関における副断層の調査結果、イベント背景の橙色・水色・桃色の各着色は布田川断層（布田川区間）における布田でのイベント年代）

2.5. 参考文献

- 1) Antoine Solène L., Yann Klinger, Arthur Delorme, Kang Wang, Roland Bürgmann, and Ryan D. Gold (2021) Diffuse Deformation and Surface Faulting Distribution from Submetric Image Correlation along the 2019 Ridgecrest, California, Ruptures, BSSA, 111, 5, 2275-2302.
- 2) Antonie S. L., Y. Klinger, A. Delorme, R. D. Gold (2022) Off-Fault Deformation in Regions of Complex Fault Geometries: The 2013, Mw7.7, Baluchistan Rupture (Pakistan), JGR Solid Earth, Volume127, Issue11.
- 3) Bronk Ramsey C. (2008) Deposition models for chronological records. Quaternary Science Reviews 27(1-2):42-60.
- 4) Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51, 337-360.
- 5) 物理探査学会 (2000) 物理探査適用の手引き, 311p. 物理探査学会物理探査要領作成委員会.
- 6) 物理探査学会 (2008) 新版 物理探査適用の手引き, 539p. 物理探査学会物理探査要領作成委員会.
- 7) DuRoss, B. C., Gold, D. R., Dawson, E. T., Katherine, M. S., Katherine, K. J., Sinan, A. O., et al. (2020) Surface displacement distributions for the July 2019 Ridgecrest, California, earthquake ruptures. Bulletin of the Seismological Society of America, 110(4), 1400-1418.
- 8) Fujiwara Satoshi, Nishimura Takuya, Murakami Makoto, Nakagawa Hiroyuki, and Tobita Mikio (2000) 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 27, 14, 2049-2052.
- 9) 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づく手フラの識別, 地質学雑誌, 101, p123-133.
- 10) 古澤 明 (2003) 洞爺火山灰降下以降の岩手火山のテフラの識別, 地質学雑誌, 109, p1-19.
- 11) 石村大輔・堤 浩之・高橋直也・小田龍平・松風 潤・金田平太郎・小林幹也・熊原康博・小林 淳・市原季彦 (2019) 熊本県西原村、出ノ口断層における古地震調査, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会講演予稿集, SSS15-16
- 12) Ishimura Daisuke, Hiroyuki Tsutsumi, Shinji Toda, Yo Fukushima, Yasuhiro Kumahara, Naoya Takahashi, Toshihiko Ichihara and Keita Takada (2021) Repeated triggered ruptures on a distributed secondary fault system: an example from the 2016 Kumamoto earthquake, southwest Japan, Earth, Planets and Space 73:39
- 13) Ishimura Daisuke, Iwasa Yoshiya, Takahashi Naoya, Tadokoro Ryuji and Oda Ryuhei (2022) Paleoseismic events and shallow subsurface structure of the central part of the Futagawa fault, which generated the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Geomorphology, 414, 108387.
- 14) 岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・中田 高 (2020) 熊本県益城町堂園地区における 2016 年熊本地震の地表地震断層の詳細な分布と共役断層の活動履歴, 活断層研究 52, P1-8
- 15) 岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・石村大輔・細矢卓志 (2022) 熊本県西原村小森におけるトレンチ掘削調査に基づく布田川断層帯の活動履歴, 活断層研究 56, P47-58

- 16) 構造計画研究所(2018)「断層変位評価に係る知見の整備」平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 17) 構造計画研究所(2019)「断層変位評価に係る知見の整備」平成 30 年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 18) 構造計画研究所(2020)「断層変位評価に係る知見の整備」令和元年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 19) 国土交通省都市局(2017)熊本地震から益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する報告書 最終報告
- 20) 熊原康博・岡田真介・楳原京子・金田平太郎・後藤秀昭・堤 浩之(2017) 1:25,000 活断層図「熊本(改訂版)」,国土地理院.
- 21) 熊原康博・鳥居真之・中田 高・後藤秀昭・岩佐佳哉・鈴木康弘・渡辺満久・遠田晋次・高橋直也・奥野 充(2017) 益城町堂園及び南阿蘇村河陽のトレンチ掘削調査に基づく布田川一日奈久断層帯北東部の活動履歴(予報), 日本活断層学会 2017 年秋季学術大会講演予稿集, O-1
- 22) Lawrence B. Conyers and Dean Goodman (1997) Ground-Penetrating Radar An Introduction for Archaeologists, 232p Altamira Press.
- 23) 町田 洋・新井房夫(2003) 新編火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕, 336p. 東京大学出版会.
- 24) 文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学(2018) 平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査 平成 29 年度成果報告書
- 25) Morishita Yu and Kobayashi Tomokazu (2022) Three-dimensional deformation and its uncertainty derived by integrating multiple SAR data analysis methods, Earth, Planets and Space, 74:16
- 26) 奥野 充(2019)最近 10 万年間の広域テフラと火山層序に関する年代研究, 地質学雑誌, 125, p41-53.
- 27) 小俣雅志・郡谷順英・三五大輔・渋谷典幸・谷口薫(2017a) LC-InSAR 解析によって抽出される平成 28 年熊本地震の微小な地表変状, 日本活断層学会 2017 年秋季学術大会講演予稿集
- 28) 小俣雅志・渋谷典幸・杉本 惇・森 良樹(2022) 熊本地震の地表地震断層主要部から離れた位置に分布する微小変位とその特徴, 日本活断層学会 2022 年秋季学術大会講演予稿集, O-11
- 29) 小俣 雅志・三五 大輔・郡谷 順英・谷口 薫(2017b) 平成 28 年(2016 年)熊本地震において新たな干渉 SAR 解析によって見出された地表変状, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 SSS12-11
- 30) パスコ(2021)「断層変位評価に係る調査」, 令和 2 年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 31) パスコ(2022)「断層変位評価に係る調査」, 令和 3 年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 32) パスコ(2023)「断層変位評価に係る調査」, 令和 4 年度原子力規制庁委託成果報告書.
- 33) Paula, R. J., A. N. E. William, B. Edouard, B. Alex, G. Paul, B. R. Christopher, B. Martin, C. Hai, L. R. Edwards, F. Michael, G. M. Pieter, G. P. Thomas, H. Irka, H. J. Timothy, H. G. Alan, H. A. Konrad, K. Bernd, M. W. Sturt, M. Raimund, P. G. Jonathan, P. Charlotte, P.

- Johannes, R. W. Ron, R. A. David, E. M. Scott, S. R. John, T. M. S. Christian, W. Lukas, A. Florian, B. Ulf, C. Manuela, F. M. Simon, F-S. Alexandra, F. Ronny, K. Peter, K. Sabrina, M. Fusa, O. Jesper, R. Frederick, M. Sakamoto, S. Adam, and T. Sahra (2020), The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP), Radiocarbon 62, 4, pp.725-757
- 34) Sensors & Software Inc. (2011) Sensors & Software Inc. EKKO_Project LineView & Interpretation Modules User's Guide.
- 35) Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y. et al. Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. Earth Planets Space 68, 191 (2016).
- 36) 渋谷典幸・小俣雅志・森 良樹・井上直人・北田奈緒子・登柳正夫・高浜 勉 (2018) 布田川断層帯の地表地震断層主部から離れた位置における活断層活動履歴, 日本地質学会第 125 年学術大会講演要旨集, R15-P-9
- 37) 渋谷典幸・小俣雅志・森 良樹・井上直人・北田奈緒子・登柳正夫・高浜 勉 (2020) 布田川断層帯の地表地震断層主部から離れた位置でのトレンチ調査および活断層活動履歴, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 講演要旨集, SSS16-P09
- 38) 渋谷典幸・小俣雅志・渡邊和輝・杉本 惇・足達健人・高玉秀之 (2021) 熊本地震の主断層トレースから離れた位置で生じた微小変位箇所における活断層トレンチ調査結果—大津町下町トレンチ, 益城町上陳東トレンチ—, 日本活断層学会 2021 年秋季学術大会講演予稿集, O-10
- 39) Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D. F. Suigetsu 2006 Project Members, 2013, Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. Quat. Sci. Rev., 67, 121–137.
- 40) 杉本 惇・高玉秀之・足達健人・渋谷典幸・小俣雅志 (2021) 光学画像相関解析を用いた 2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の詳細マッピング. 2021 年度日本活断層学会発表講演集, O-9
- 41) Stuiver, M., & Polach, H. A. (1977). Discussion: Reporting of ^{14}C data. Radiocarbon, 19(3), 355-363.
- 42) 鈴木康弘・石村大輔・熊木洋太・熊原康博・千田 昇・中田 高・中埜貴元 (2017) 1:25,000 活断層図「阿蘇」, 国土地理院.
- 43) 遠田晋次・鳥井真之・奥野 充・今野明咲香・小野大輝・高橋直也 (2019) 熊本地震地表地震断層の阿蘇カルデラ内の完新世活動履歴—南阿蘇村黒川地区トレンチ調査一, 活断層研究, 51, 13-25, 2019
- 44) 堤 浩之・遠田 晋次・後藤 秀昭・熊原 康博・石村 大輔・五味 雅宏・高橋 直也・谷口 薫・小俣 雅志・郡谷 順英・浅野 公之・岩田 知孝 (2018) 熊本県益城町寺中における 2016 年熊本地震断層のトレンチ調査, 活断層研究 49, P.31-39

- 45) 上田 圭一・宮脇 理一郎・家村 克敏・横山 俊高・宮脇 明子 (2017) 2016 年熊本地震時に出現した 2 系統の地表地震断層群の活動履歴：益城町寺迫および下陳における都連著調査結果 (序報) 日本地質学会第 124 年学術大会講演要旨, p253.
- 46) 上田 圭一・宮脇 理一郎・家村 克敏・横山 俊高・宮脇 明子 (2018) 2016 年熊本地震時に出現した 2 系統の地表地震断層群の活動履歴：益城町および南阿蘇村におけるトレンチ調査 (序報) 日本地球科学連合 2018 年大会 S-SS08
- 47) Xu, X., David, S. T. and Smith, K. B. (2020) Coseismic displacements and surface fractures from Sentinel-1 InSAR: 2019 Ridgecrest earthquakes. *Seismological Research Letters*, 91(4), 1979-1985.

2.6. Appendix

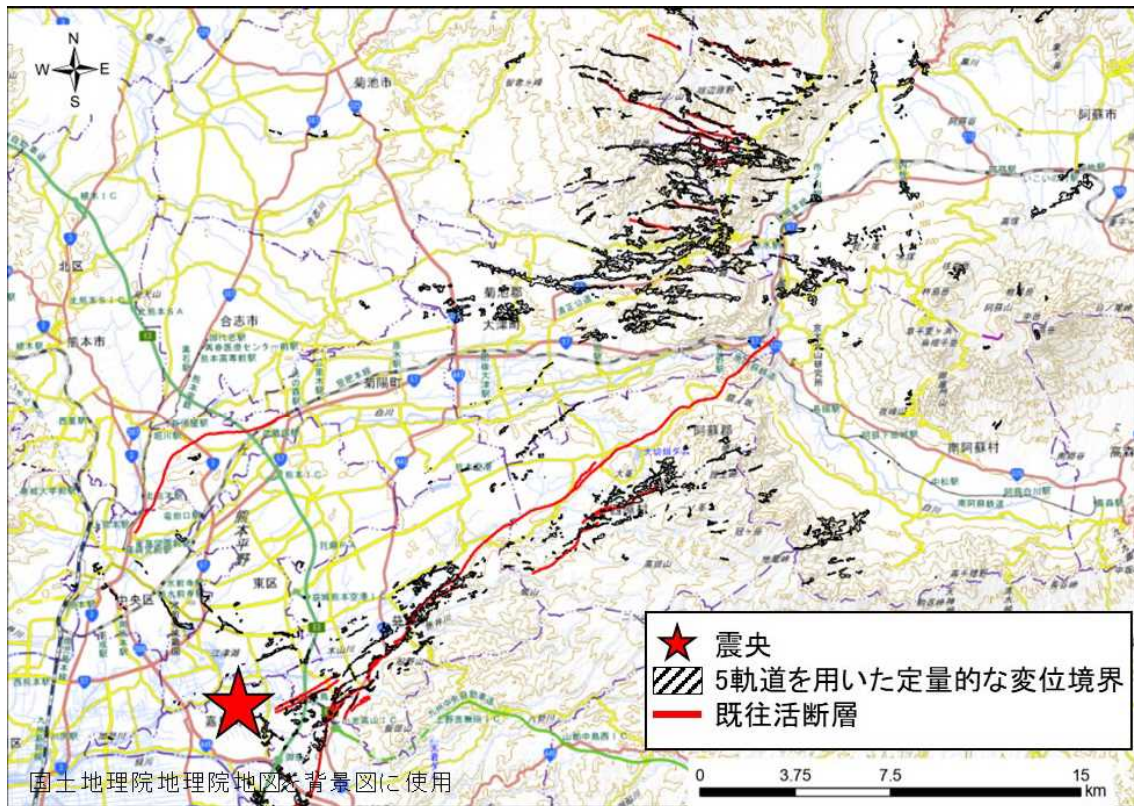


図 2.6.1 5軌道を用いた定量的な変位境界分布図（既往活断層を重ね合わせ）

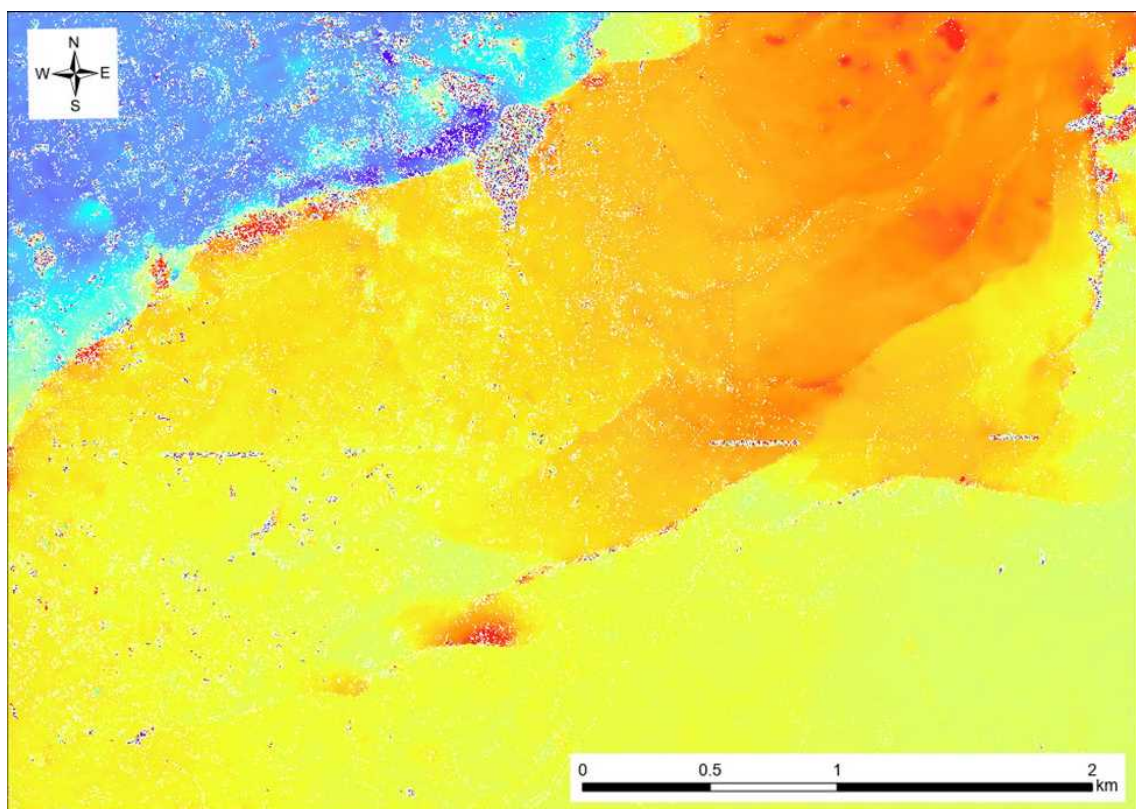


図 2.6.2 画像相関解析変位量画像

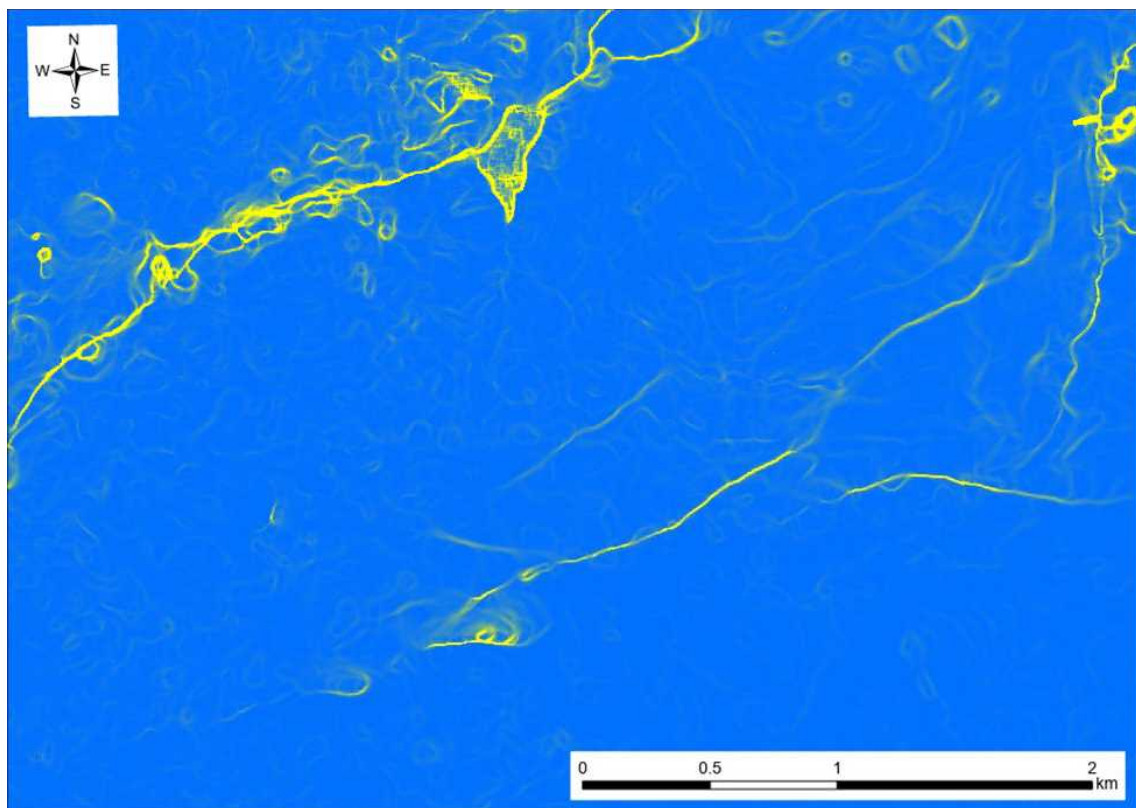


図 2.6.3 画像相関解析から得られたひずみ分布

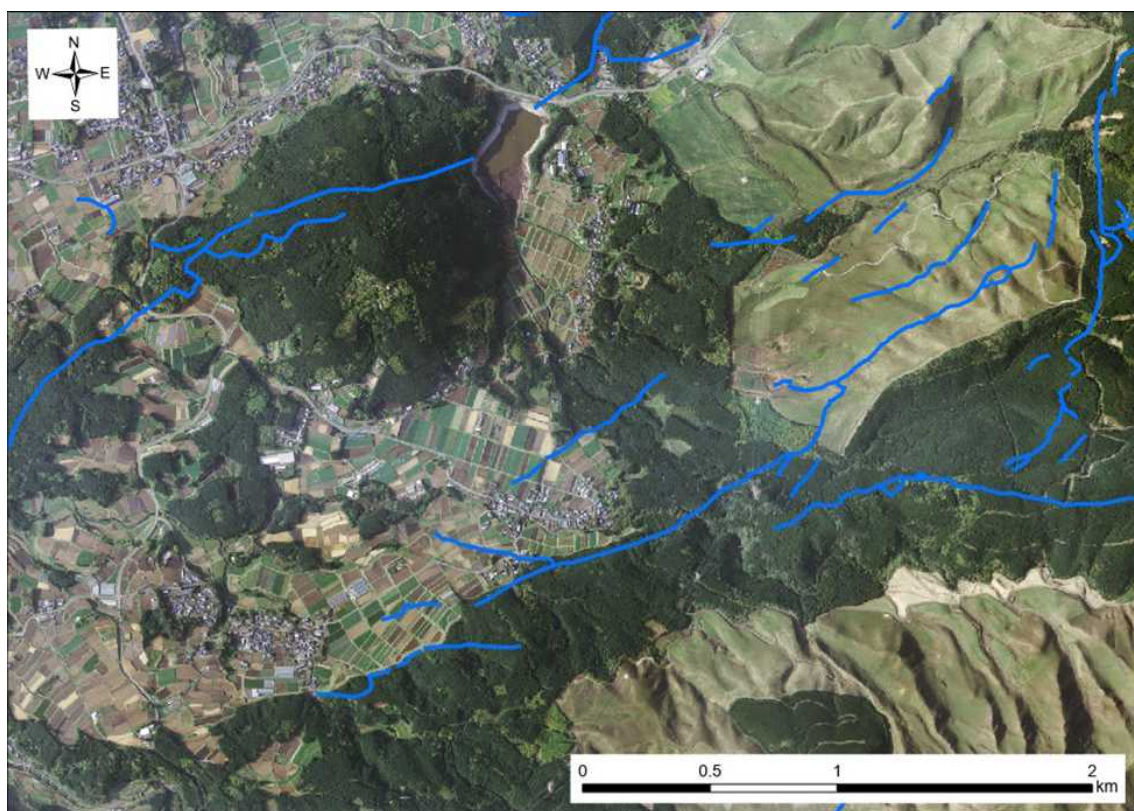


図 2.6.4 画像相関解析ひずみ分布を参考に作成した変位分布

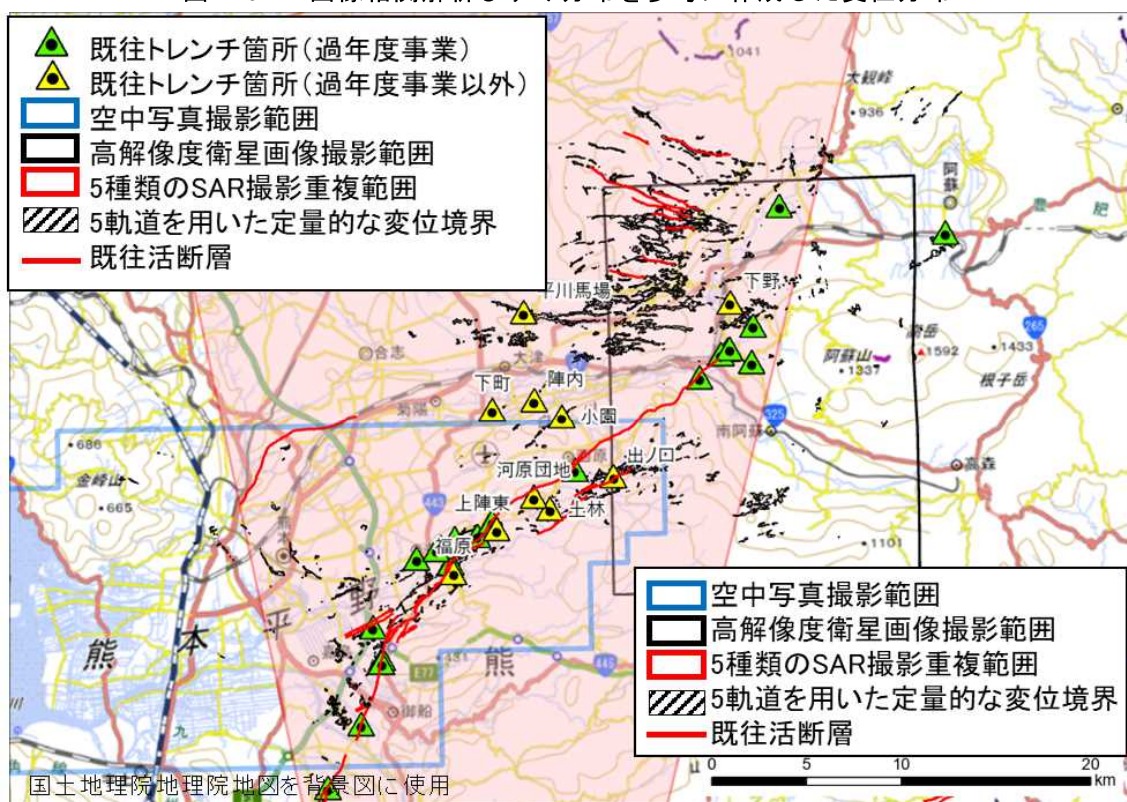


図 2.6.5 これまでの検討で得られた成果の分布図と過年度事業（2017～2022）と本事業で実施したトレンチ調査箇所（既往活断層を重ね合わせ）

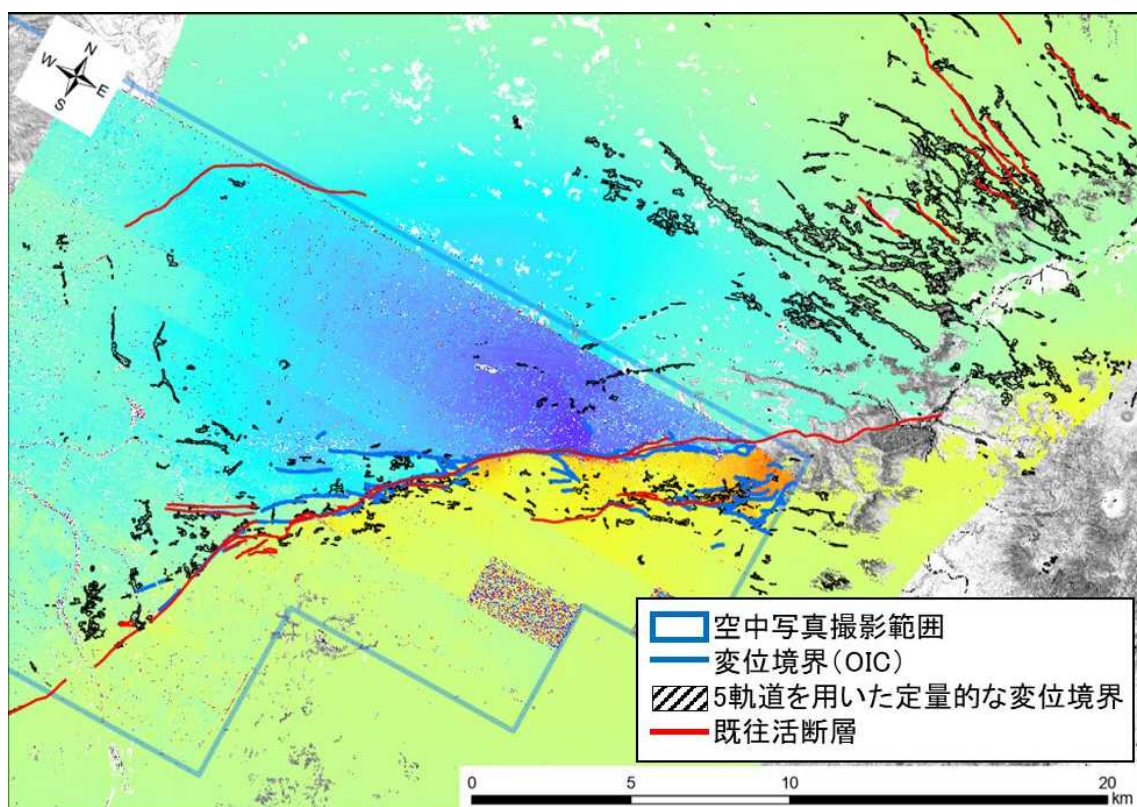


図 2.6.6 これまでの成果を重ねた図（既往活断層を重ね合わせ）

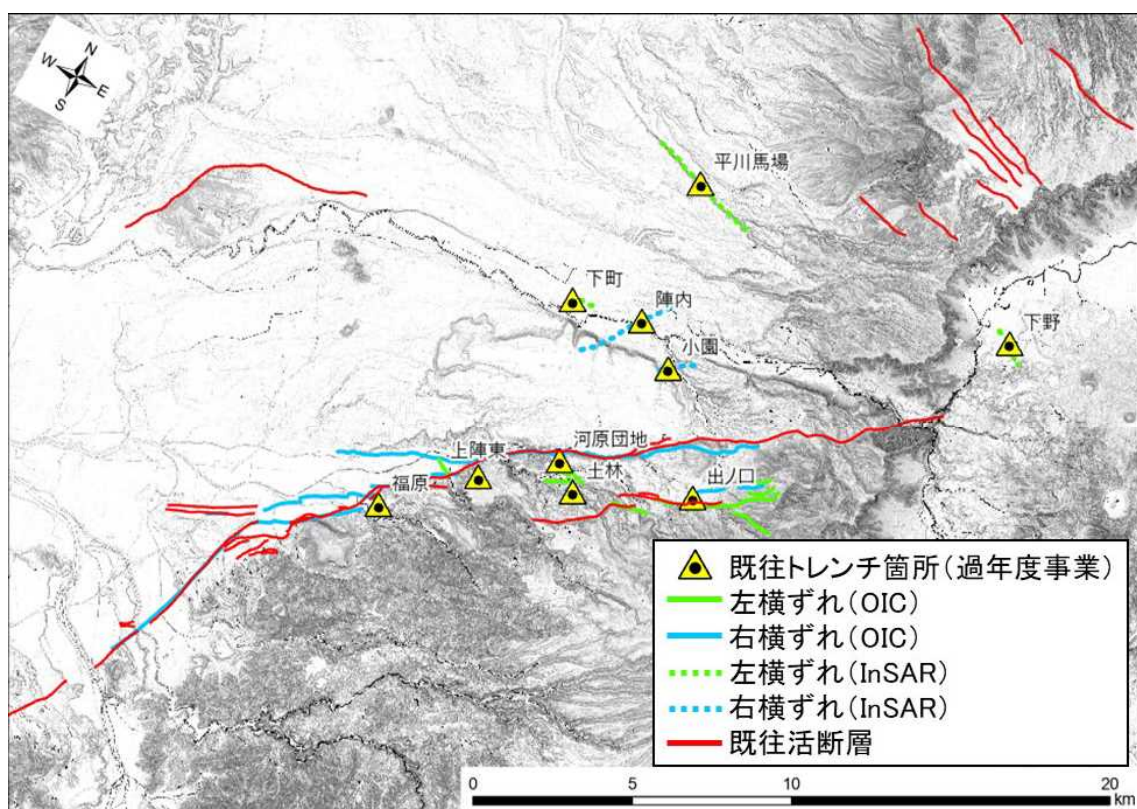


図 2.6.7 選定した変位量境界分布図（既往活断層を重ね合わせ）

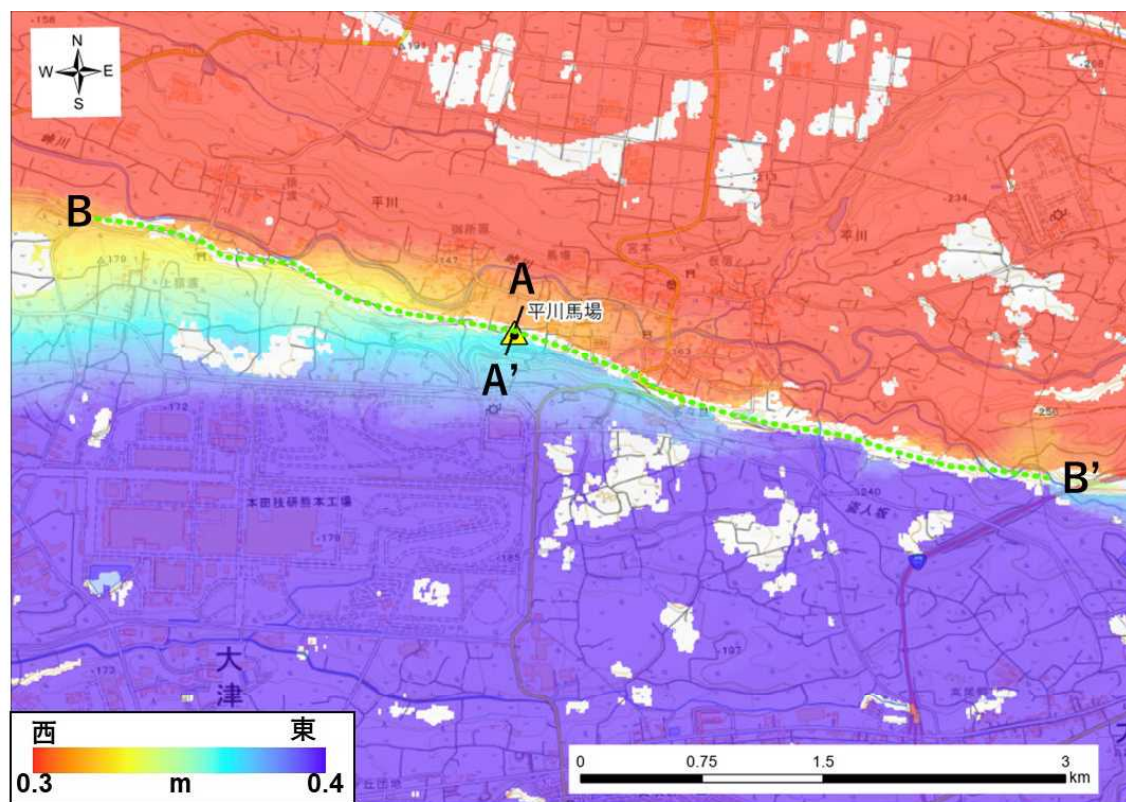


図 2.6.8 平川馬場トレンチ周辺の変位量

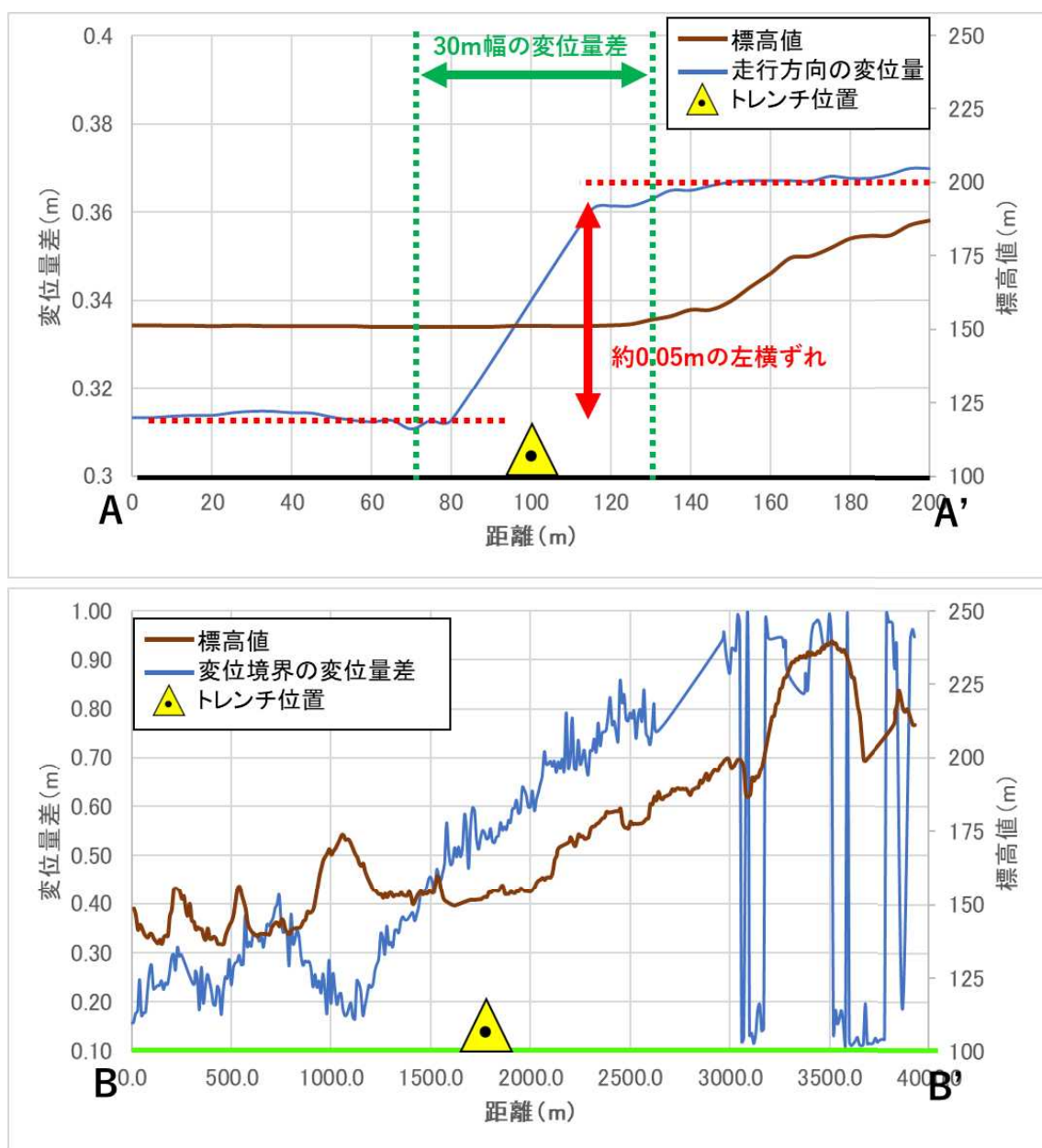


図 2.6.9 平川馬場トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

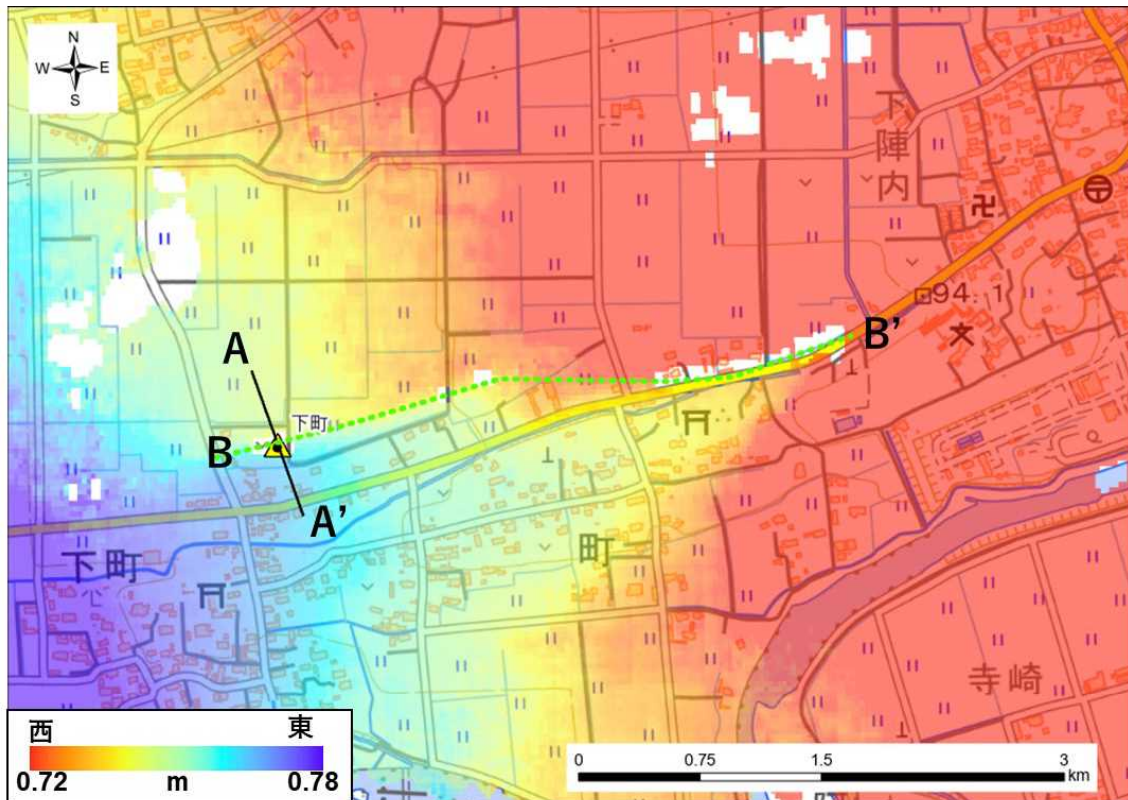


図 2.6.10 下町トレンチ周辺の変位量

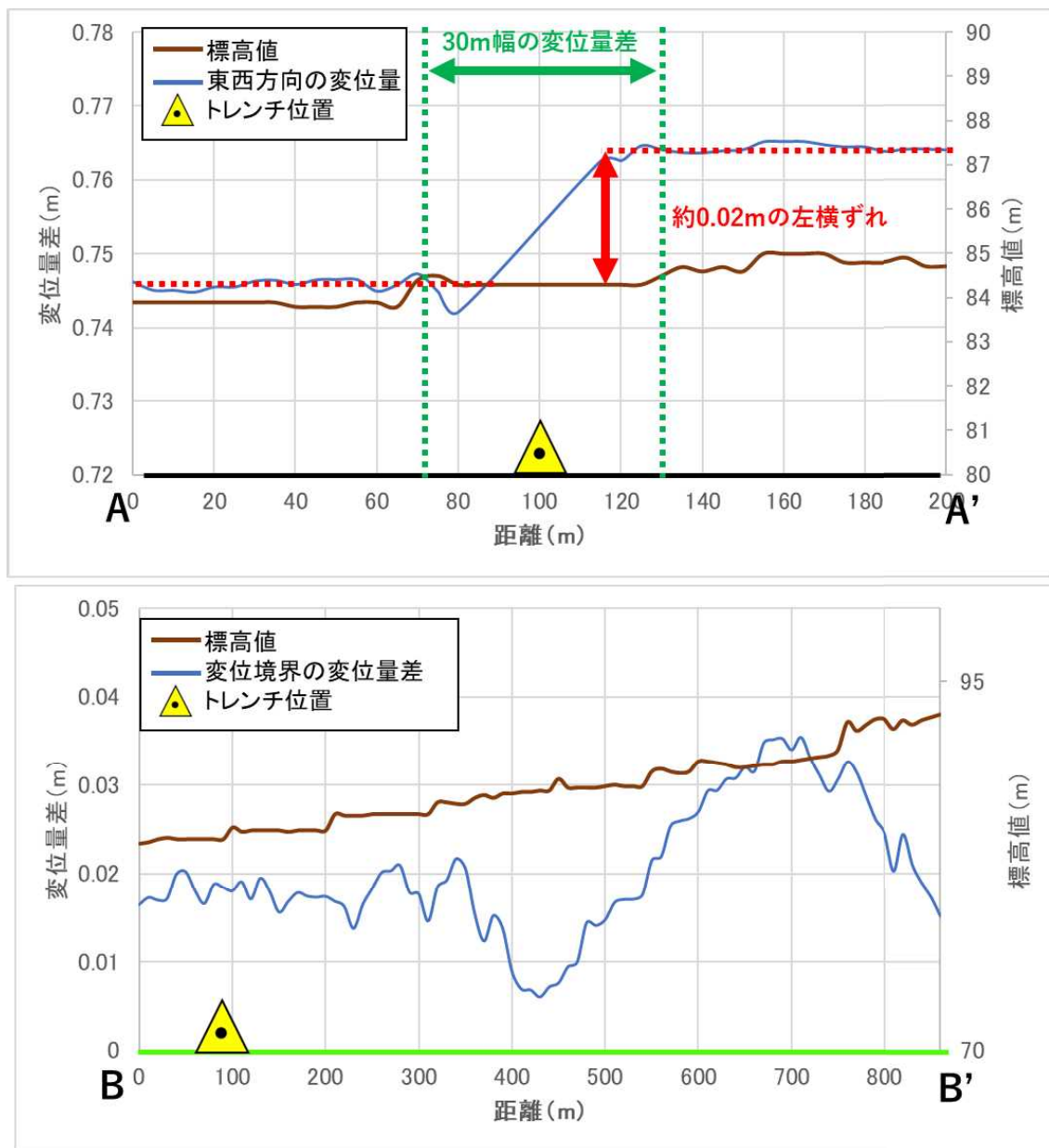


図 2.6.11 下町トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

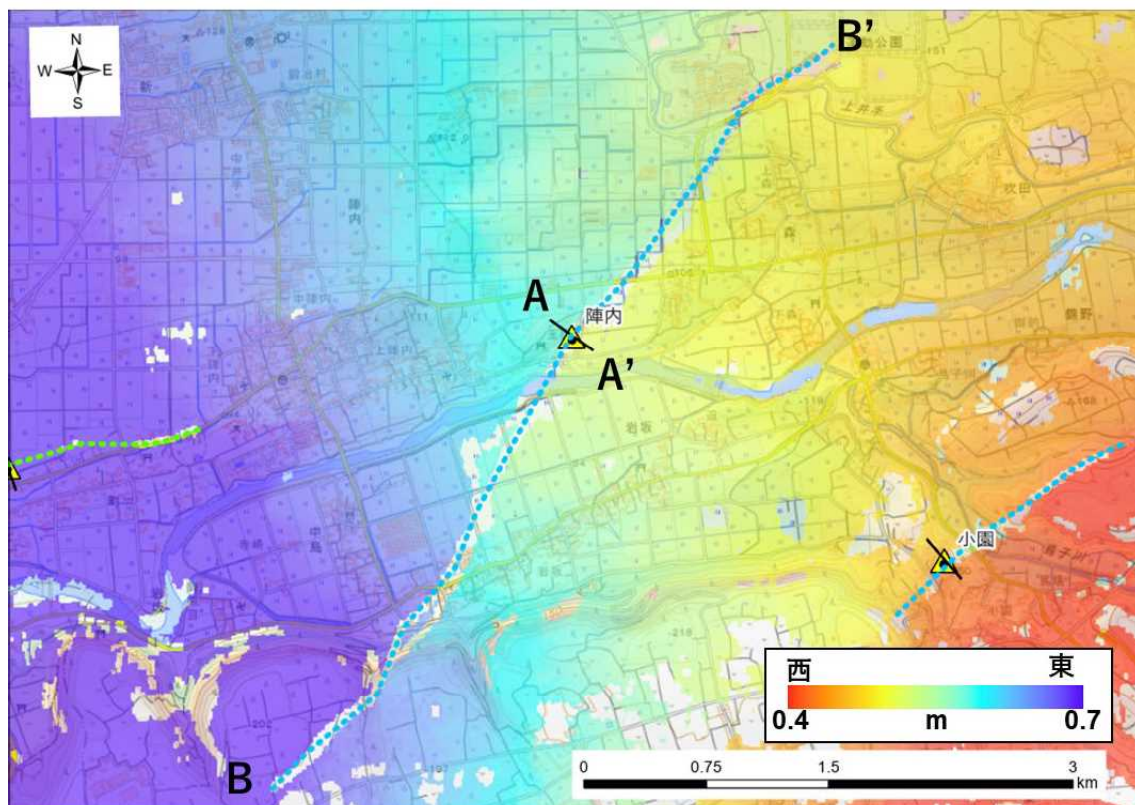


図 2.6.12 陣内トレンチ周辺の変位量

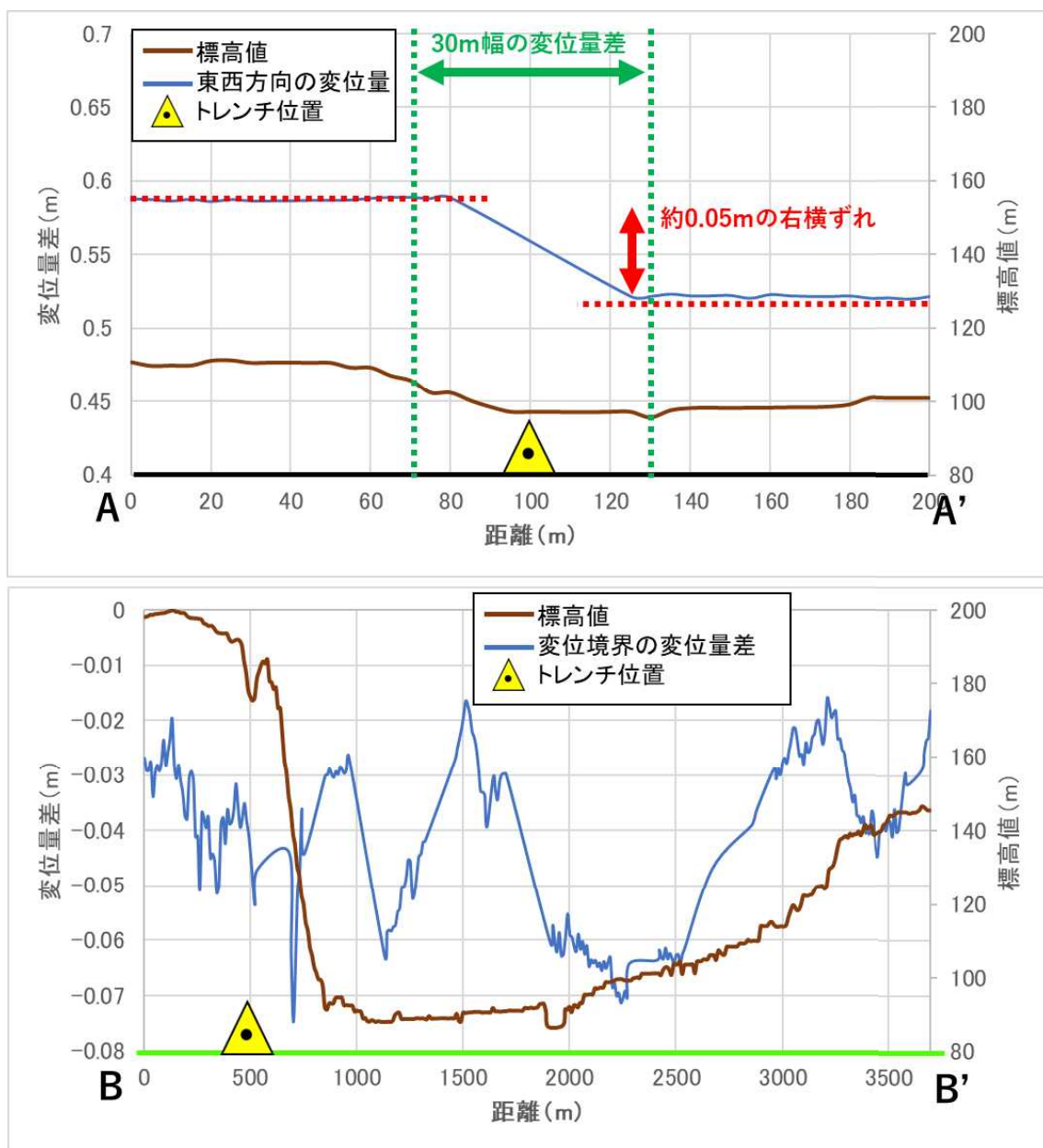


図 2.6.13 陣内トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

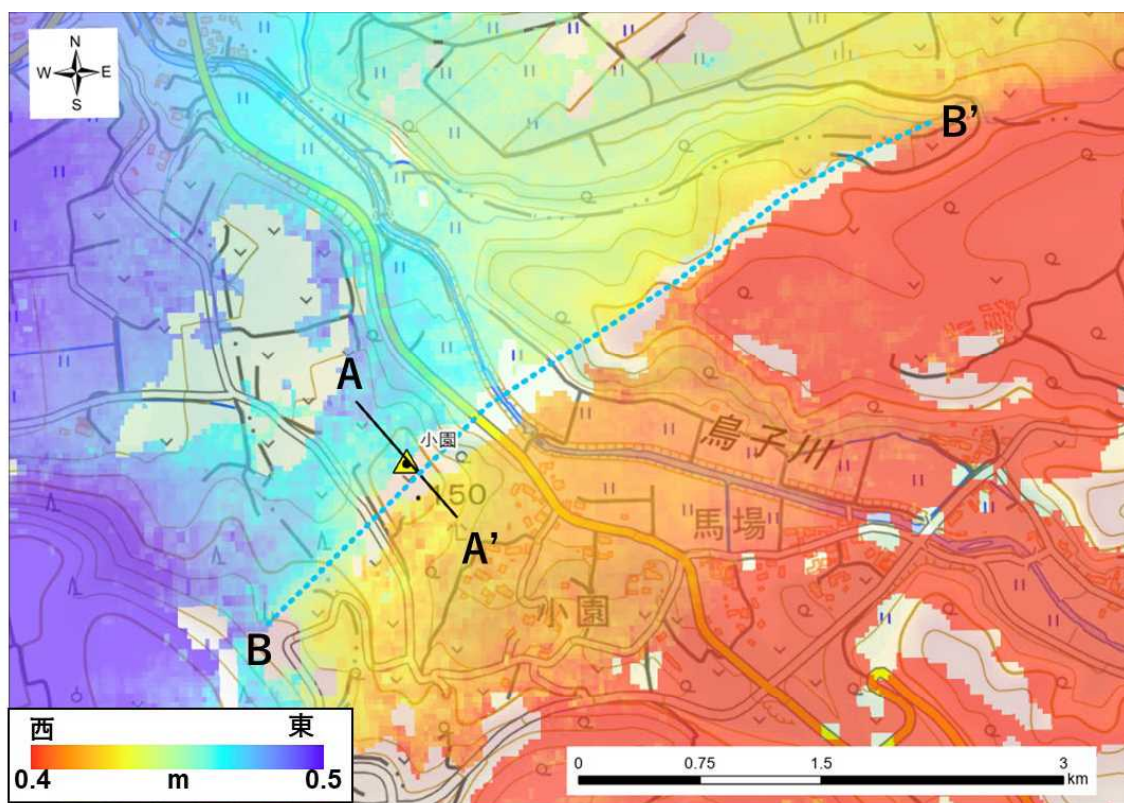


図 2.6.14 小園トレンチ周辺の変位量

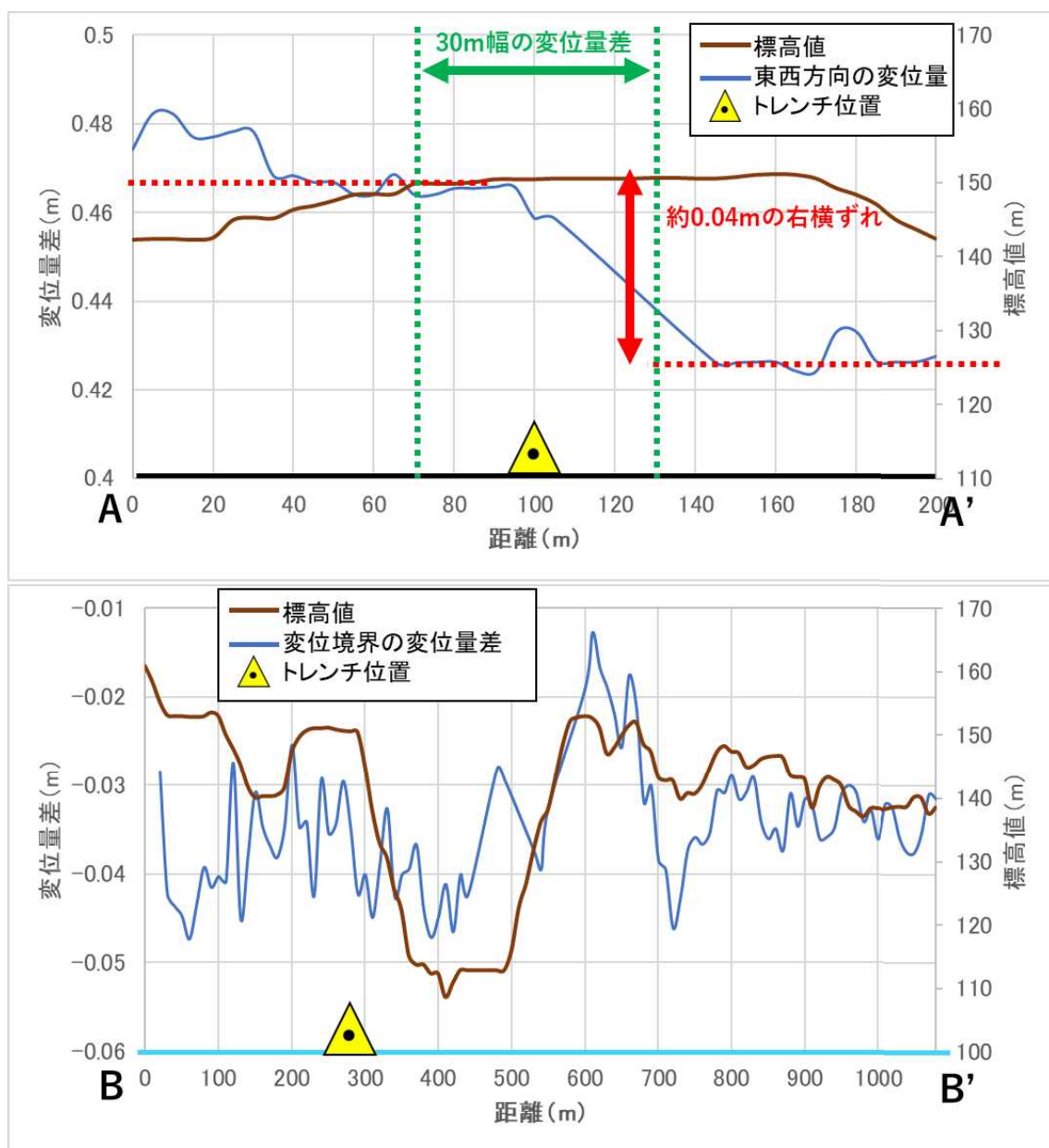


図 2.6.15 小園トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

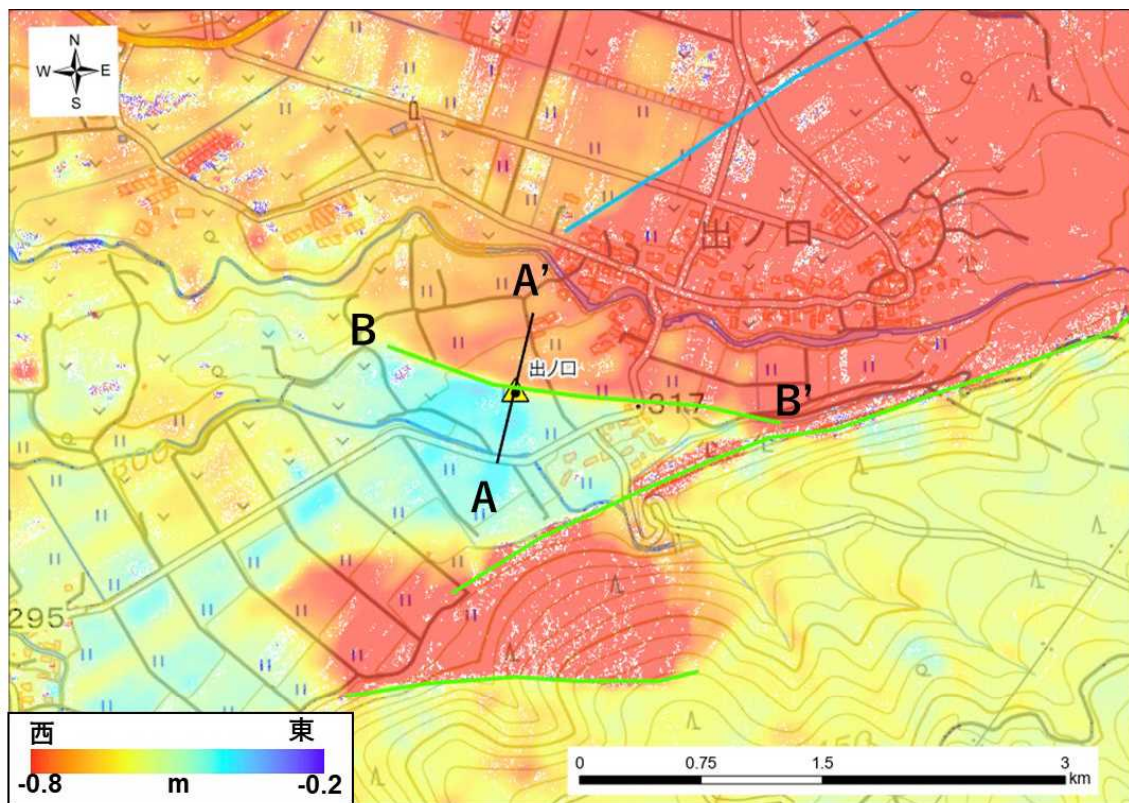


図 2.6.16 出ノ口トレンチ周辺の変位量

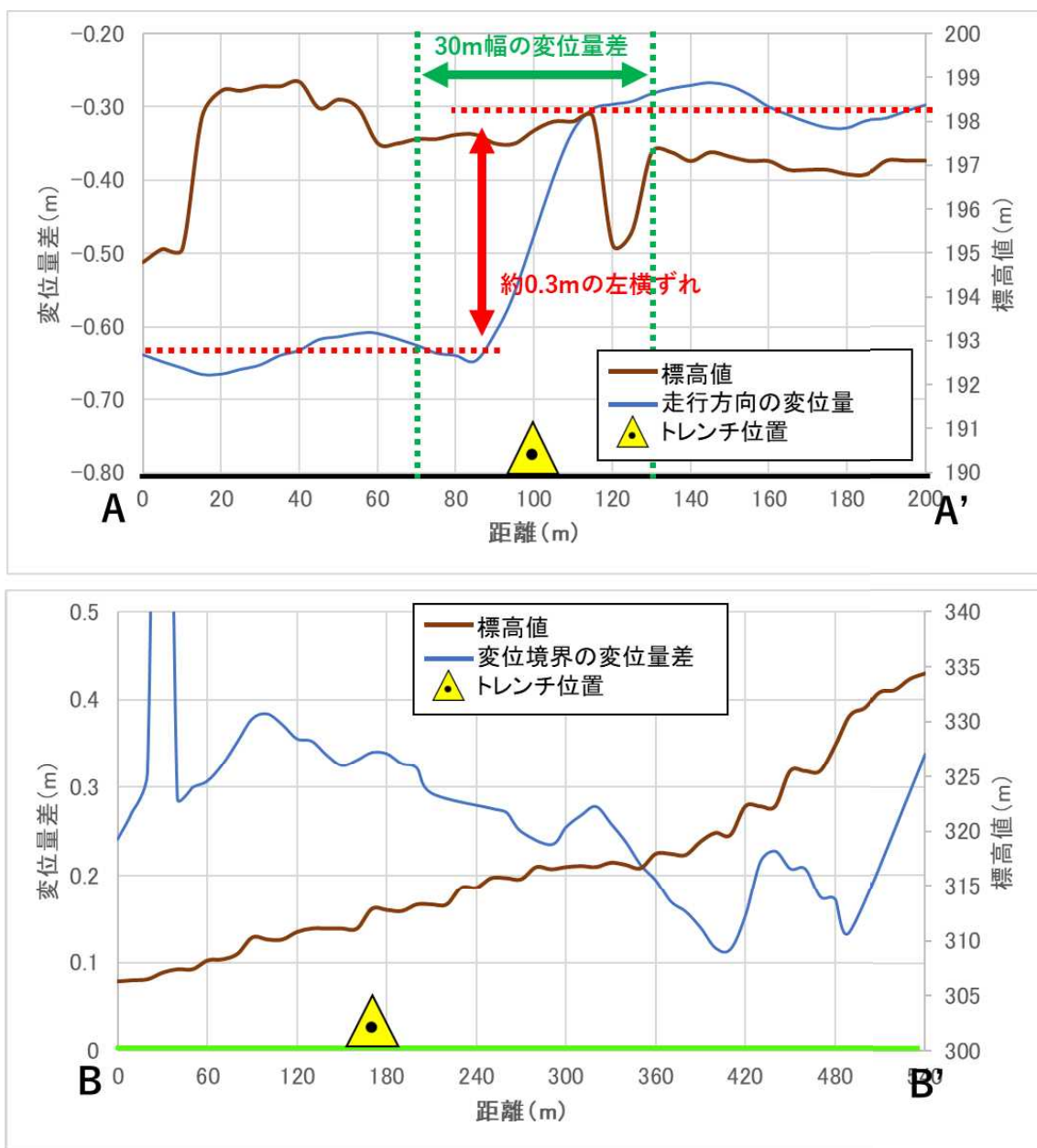


図 2.6.17 出ノロトレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

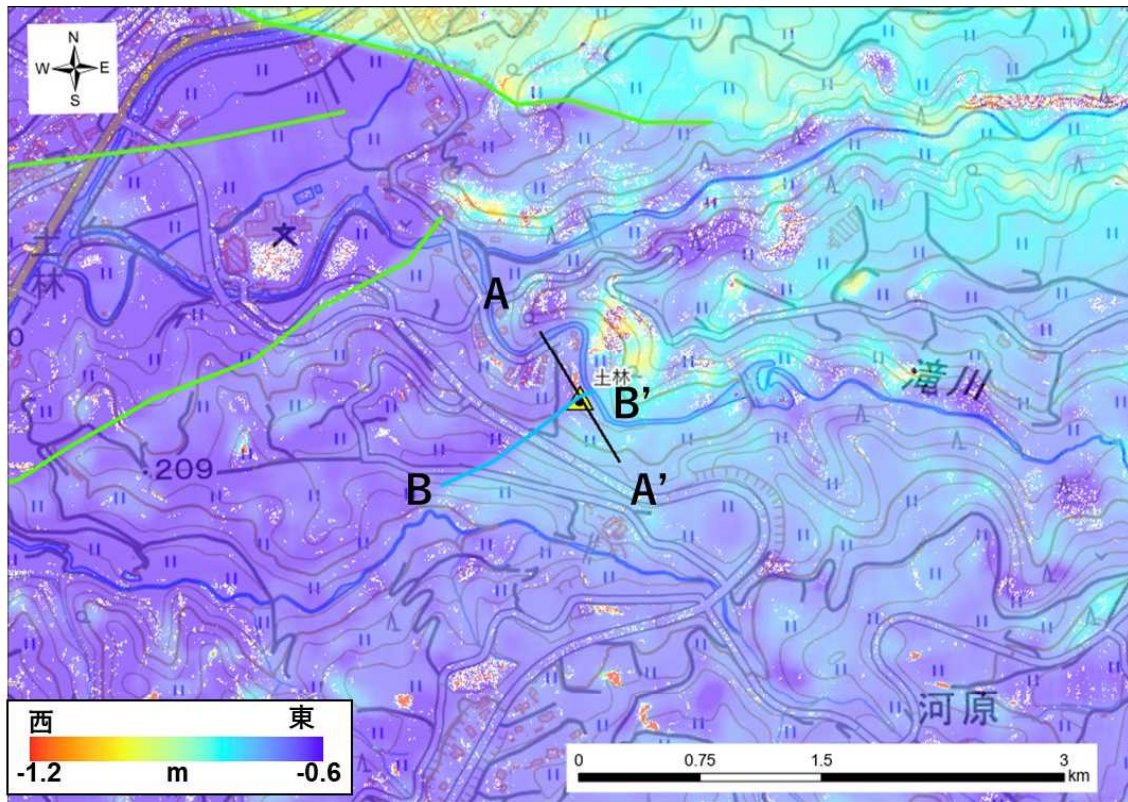


図 2.6.18 土林トレンチ周辺の変位量

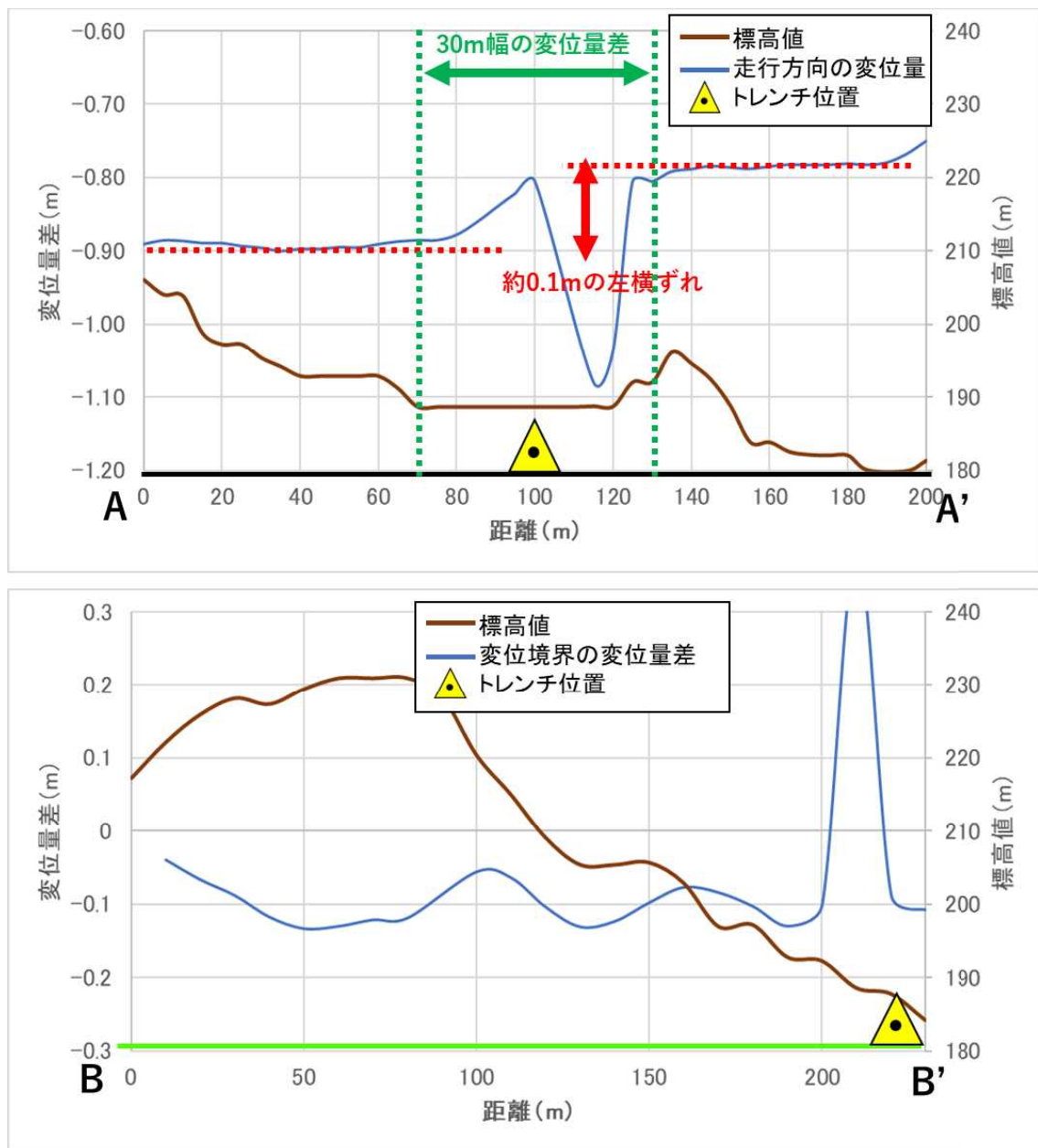


図 2.6.19 土林トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

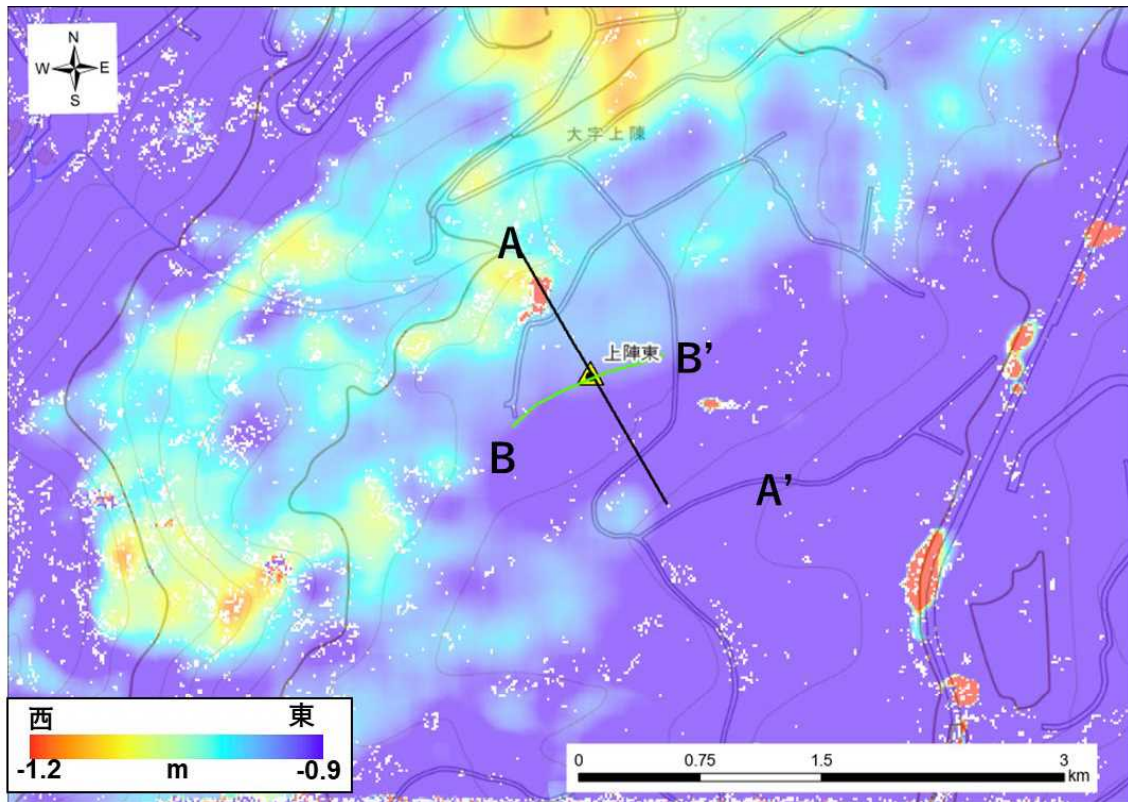


図 2.6.20 上陣東トレンチ周辺の変位量

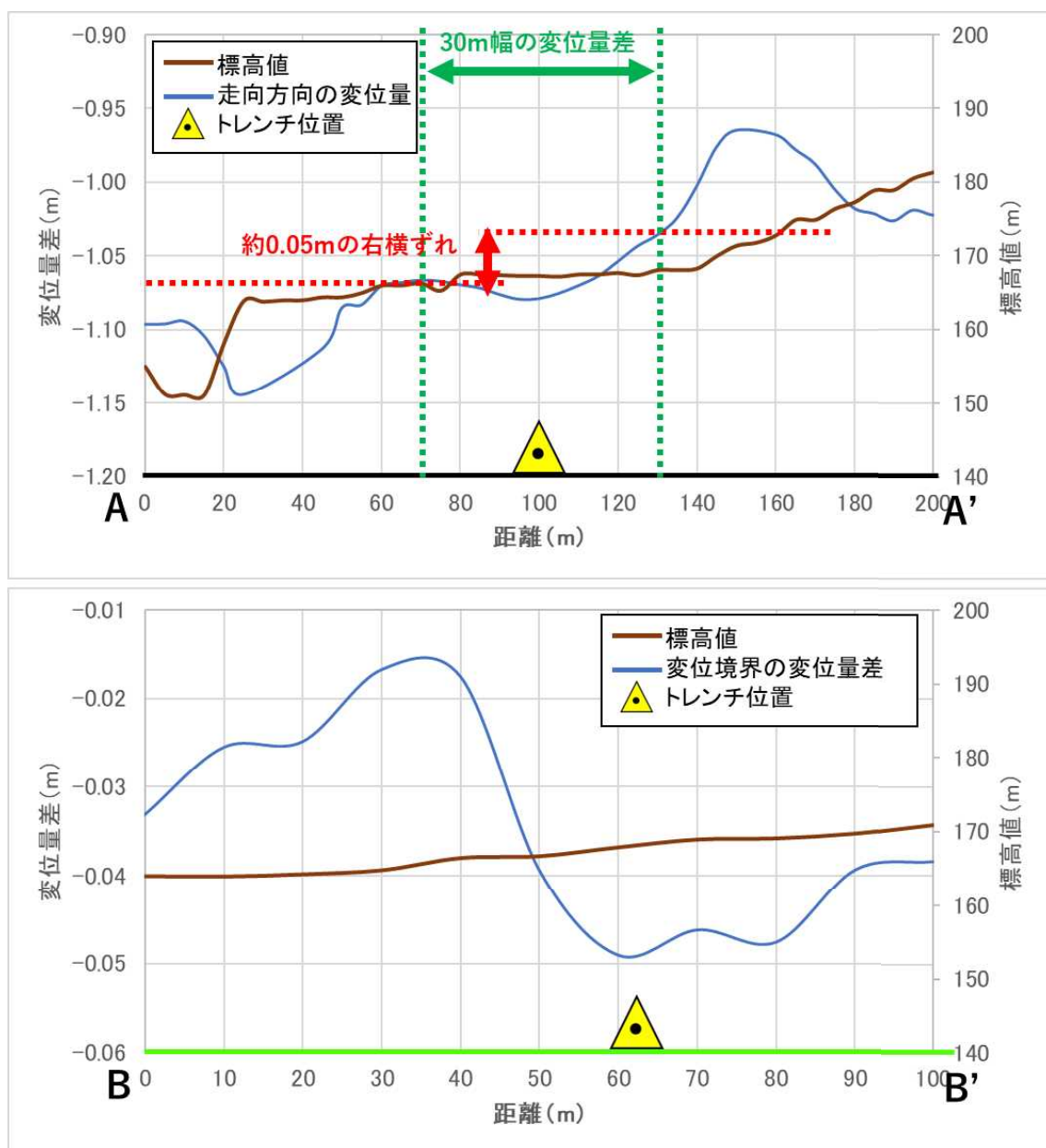


図 2.6.21 上陣東トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

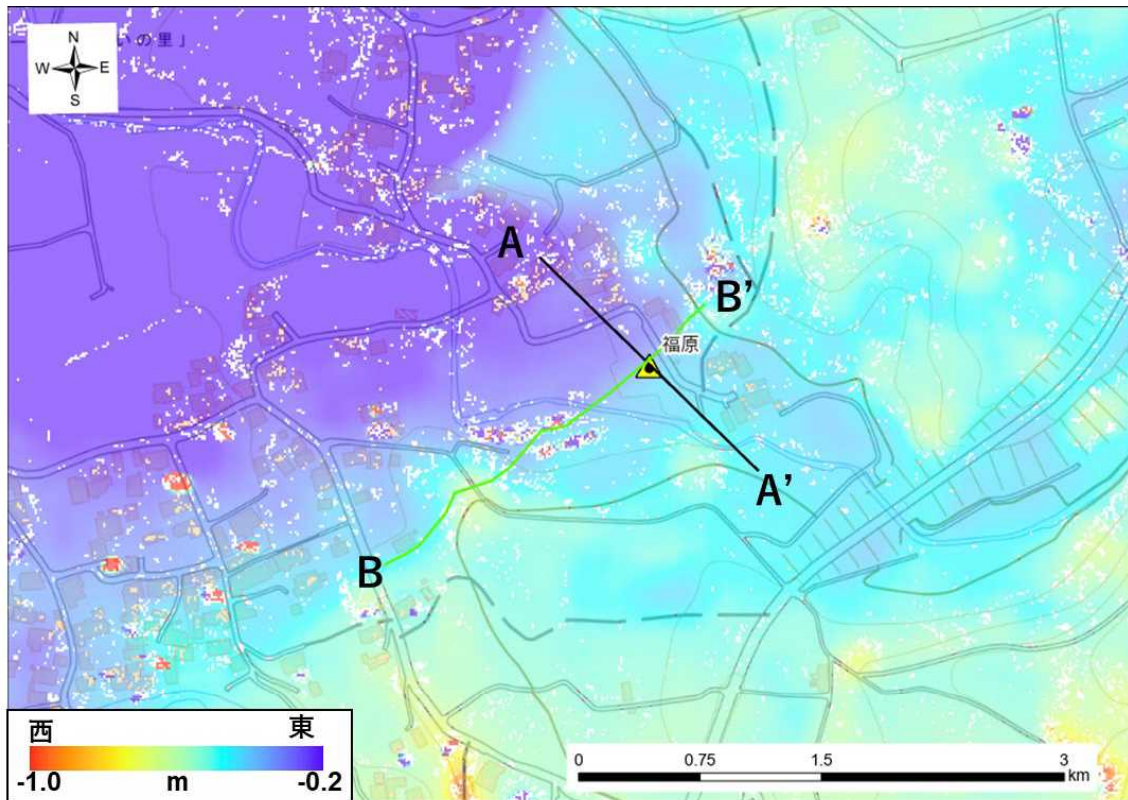


図 2.6.22 福原トレンチ周辺の変位量

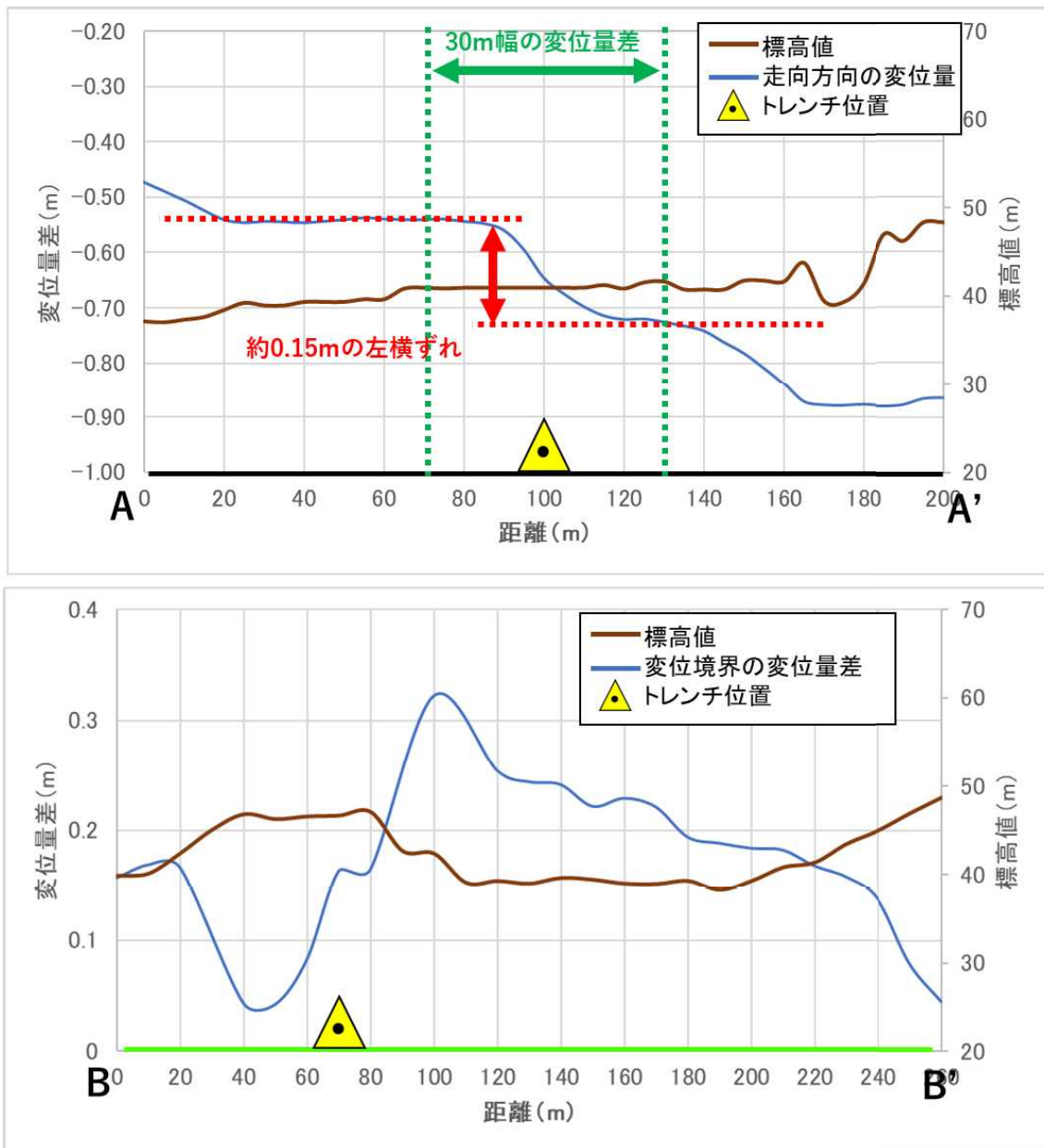


図 2.6.23 福原トレンチの横断方向断面図（上）と縦断方向断面図（下）

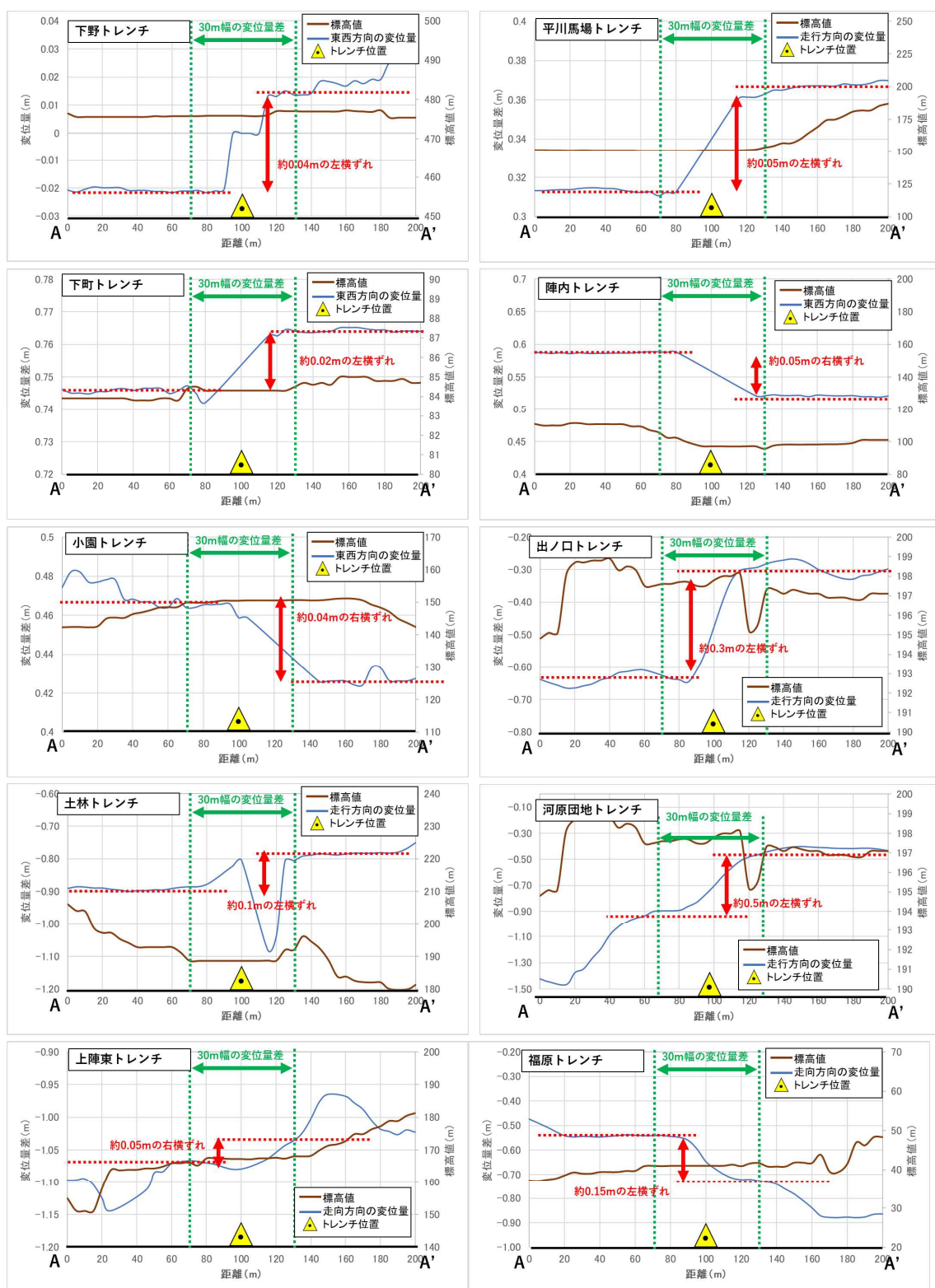


図 2.6.24 過年度事業で実施したトレンチ 10 箇所の縦断方向断面図