

電源開発株式会社
大間原子力発電所

第四系に見られる変状の成因と評価について

平成18年12月
原子力発電安全審査課

目 次

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1. 検討目的 | 1 |
| 2. シームとその活動性 | 1 |
| 3. 第四系中の変状 | 2 |
| 3.1 変状の性状について | 2 |
| 3.2 変状の分布についての追加調査 | 3 |
| 4. 変状の成因 | 5 |
| 4.1 岩盤の性状 | 5 |
| 4.2 変状の鉛直変位寮と強風化部・段丘堆積物の厚さ との相関性 | 6 |
| 5. 変状に関する評価 | 8 |

1. 検討目的

申請者は、第四系に見られる変状については、これまで阿蘇 4 火山灰の層準に変位を与えていないとして耐震設計上、問題となるものではないと評価していた。今般、耐震設計審査指針が改訂され、活断層の評価基準が「後期更新世の活動が否定できないもの」になったものの、申請者は追加調査結果も踏まえて変状の評価に変更はないとしている。

2. シームとその活動性

大間地点のシームは、易国間層の細粒凝灰岩層または大間層の酸性凝灰岩層に挟在し、連続性の認められるものが易国間層に 11 枚、大間層には 1 枚存在する。それらの分布を図-1 の地質水平断面図、図-2 の地質鉛直断面図(X-X')に示す。このうち、シーム S-9 (以下「S-9」という。他のシームも同様。) 以深のシームは図-2 の鉛直断面図に示すように、敷地の北側に分布する断層によって切られていると推定され、S-8, S-7 については試掘坑調査で実際に確認したとしている。

また、S-10 については、申請者は図-1 に示すように原子炉建屋北西方約 400m の位置で f-2 断層に切られていると推定しており、確認のために当該位置の海底面で Ts-4 トレンチを掘削した結果、図-3 及び図-4 に示すように S-10 が f-2 断層に切られていることを確認したとしている。したがって、S-10 には f-2 断層形成以後の活動性はないと判断されるとしている。

なお、最上位の S-11 については、M₂ 面段丘堆積物に覆われており、S-11 の延長上の段丘堆積物に変位・変形を与えていないことを確認したとしている。

以上のことから、申請者は S-1～S-11 は耐震設計上、問題となるものではないとしている。

3. 第四系中の変状

3.1 変状の性状について

申請者は、陸域においてシーム S-10 と M₃ 面段丘堆積物（以下、「段丘堆積物」という。）との関係を Ts-1 トレンチ、Ts-2 トレンチ及び Ts-3 トレンチで詳細に調査している（以下、各トレンチを「Ts-1」、「Ts-2」、「Ts-3」という。前述の「Ts-4 トレンチ」についても同様。）。それらのトレンチ地質展開図と展開写真を図-5～図-10 に示す。これらのトレンチでは新第三紀の易国間層と第四系が分布し、第四系については段丘堆積物、ローム層が表-1 のように粒径や層相によりそれぞれ 3 層に区分されている。

Ts-1 と Ts-3 ではシームのほぼ延長上の段丘堆積物中に不明瞭な不連続面と堆積構造の乱れが認められ、申請者はこれらを「変状」と称している。

変状は、Ts-1 については図-5 及び図-6、Ts-3 については図-7 及び図-8 に示すように段丘堆積物中に認められ、段丘堆積物の上面を变形させているが、その上位のローム層 a はその上面の凹凸を埋めるように堆積しており、ローム層 a に変状は及んでいないとしている。

また、図-5 のように段丘堆積物 C には潮汐の影響を示唆する堆積構造が認められ、さらにローム層 a には淡水性のケイソウ化石が産出することから、これらの地層の間には堆積環境の大きな変化があったとしている。

なお、上位のローム層 b の下部には阿蘇 4 火山灰が認められ、その上位には銭亀女那川火山灰が認められるとしている。

変状の見掛けの鉛直変位量(以下「鉛直変位量」という。)は、Ts-1では図-5に示すように段丘堆積物 A と同 B の境界で平均約 45cm, 同 B と同 C の境界で平均約 35cm, 同 C とローム層 a の境界で平均約 40cm であり, Ts-3では図-7のように段丘堆積物 A と同 B で約 30cm, 同 B と同 C で約 25cm であることから, 鉛直変位量に累積的变化は認められないとしている。さらに, Ts-2では図-9のように変状は認められないとしている。

以上のことから, 変状の分布は, Ts-1の東側のTs-2と西側の海底部でのTs-4までの間に限定され, 局所的であるとしている。

3.2 変状の分布についての追加調査

前述のように, 申請者は第四系の変状は局所的であるとしていることから, その分布範囲を確認することを目的として Ts-3 の西側法面を追加掘削し, 変状と鉛直変位量の追跡調査を行っている。

図-11に追加調査の位置図を示す。追加調査は2段階にわたって実施しており, Ts-3の当初の西側法面の北側半分について西方に追加掘削を約8m実施した後, さらに北西方向に向けて約9m掘削している。

追加調査による8m西方法面とその約9m北西方の法面(以下「17m西方法面」という。)のスケッチを図-12に, その画像を図-13に示す。図-12及び図-13に示すように, 8m西方法面では変状はやや不明瞭になり, 鉛直変位量は約14cmとなっている。さらに17m西方法面では変状そのものが不明瞭であり, 鉛直変位量も2ヶ所の読み取りでそれぞれ約9cmと約3cm, 平均で約6cmと小さくなっているとしている。

申請者は追加調査の途中の法面についても鉛直変位量を測定しており,

Ts-2 の東壁を基点とした西方向への鉛直変位量の変化を図-14 に示す。図-14 に示すように、Ts-2 では鉛直変位は認められないが、Ts-1 付近で最大となり、さらに西方では徐々に小さくなって 17m 西方法面の直前では約 2cm になるとしている。このようなことから変状は Ts-1 付近に局所的なものと考えられ、主として地表付近に見られるものとしている。

4. 変状の成因

前述の結果から申請者は変状の成因について次のような検討を行っている。

4.1 岩盤の性状

上述のように Ts-1 と Ts-2 の両トレンチは、変状の有無において対照的であるが、申請者は両トレンチの S-10 の上位の岩盤についても、その風化の程度に対照的な差異があるとしている。図-15 に Ts-1 及び Ts-2 の東壁の岩盤で格子状に実施した針貫入試験の結果を示す。また、比較のために風化の進んでいない新鮮な岩盤を対象として補足調査坑内の同層準の岩盤で実施した試験結果を図-16 に示す。それらの結果と Ts-3 で補足的に実施した試験結果とを合わせた針貫入勾配の頻度分布を図-17 に示す。

図-17 に示すように、S-10 の上盤側では変状の認められる Ts-1 及び Ts-3 の岩盤性状は、針貫入勾配が 2.0N/mm 未満の部分が大半を占め、非常に軟質になっているのに対して、変状の認められない Ts-2 では 2.0N/mm 以上の部分が大半であり、硬質であるとしている。また、針貫入試験と同じ岩盤で得られた試料についてメチレンブルー吸着量測定によって分析した粘土鉱物含有率も図-17 に示す。変状の認められる Ts-1 及び Ts-3 の上盤側の粘土鉱物含有率はそれぞれ 22% と 26% を呈するのに対し、変状の認められない Ts-2 では 13% と差異がある。なお、X 線分析の結果によれば、風化岩盤に含まれている粘土鉱物はスメクタイトであるとしている。

以上のことから、申請者は軟質な部分は風化が進んでいると判断し、針貫入勾配で 2.0N/mm 未満の部分を「強風化部」と定義している。

強風化部の範囲を把握するため、申請者はトレンチ付近でボーリング調

査を実施し、そのコアについて針貫入試験を行うと共に、Ts-3の追加調査の法面でも針貫入試験を行って強風化部を特定している。Ts-1、Ts-2及びTs-3の各トレンチ沿いの強風化部の鉛直分布を図-18に、平面分布を図-19に示す。図-19には上述の変状の鉛直変位量分布図を付している。申請者は図-19によれば、強風化部の厚い部分での鉛直変位量は大きく、薄い部分での鉛直変位量は小さい傾向が認められるとし、鉛直変位量と強風化部とは密接な関係が示唆されるとしている。

また、申請者は段丘堆積物の厚さについても同様に調査しており、その平面分布を図-20に示す。図-20によれば、段丘堆積物の薄い部分での鉛直変位量は大きく、厚い部分では小さくなる関係が示唆されるとしている。

4.2 変状の鉛直変位量と強風化部・段丘堆積物の厚さとの相関性

上述のように、鉛直変位量と強風化部の厚さ・段丘堆積物の厚さとは相関性が示唆されることから、申請者は図-21に示す方法で強風化部と段丘堆積物の平均的な厚さを図-19及び図-20から求め、表-2に示すような鉛直変位量と強風化部・段丘堆積物の厚さに関するデータを得ている。

表-2に基づく「鉛直変位量と強風化部の厚さ」の相関性、及び「鉛直変位量と段丘堆積物の厚さ」の相関性を検討した結果を図-22に示す。図-22によると、それぞれの相関係数として前者では0.84、後者では-0.60が得られ、鉛直変位量は強風化部の厚さに比例し、上載層である段丘堆積物の厚さに反比例する結果が得られたとしている。さらに、強風化部の厚さと段丘堆積物の厚さを説明変数とし、鉛直変位量を被説明変数とする重回帰分析を行った結果、図-23に示すように、相関係数(R)が0.90となり、重回

帰分析の場合に得られる決定係数(R^2)が 0.81 となる結果が得られたとしている。一般に決定係数については、0.80 以上で「かなりよい精度」とされていることを踏まえ、申請者は、変状の成因について次のように説明している。

すなわち、「トレンチ付近の変状は、風化の進んだ岩盤の近傍で、かつ上載層の薄い所で発生していると判断されることから、その成因としては海水準の変動に伴う地下水位の変化によって S-10 上位の岩盤の風化が進むと同時に粘土鉱物が増加し、その粘土鉱物の吸水膨張による膨張圧力が上載圧より大きくなった状態で何らかのトリガーが働いて変状が形成された可能性が高い。そのようなトリガーとしては、地震動等が考えられる。」としている。なお、そのような変状をもたらす海水準の変動は近い将来再度発生することは考えにくいとしている。

5. 変状に関する評価

申請者は、変状は局所的であること、及びその成因については風化岩盤中に含まれる粘土鉱物が吸水膨張し、その膨張圧力が上載圧より大きくなった状態で地震動等のトリガーが加わることによって生じた可能性が高いとしている。

以上のことから、変状についても耐震設計上、問題となるものではないとしていることは妥当と判断した。

凡例

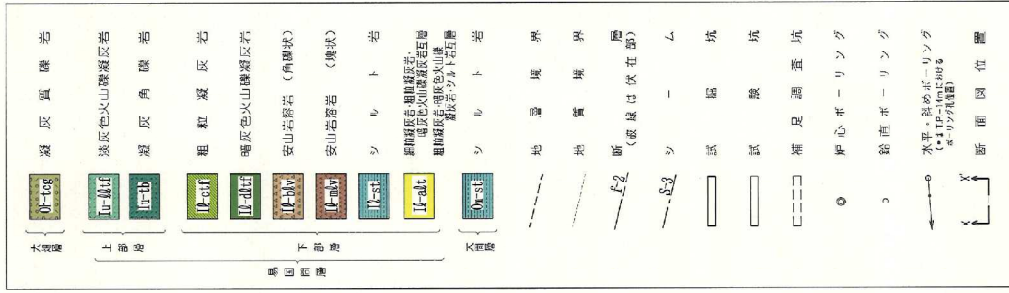
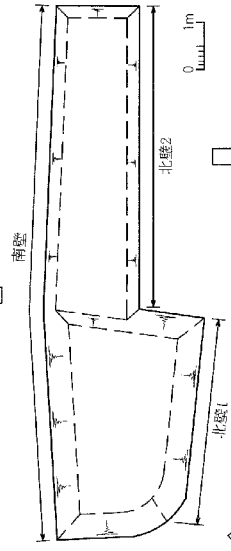


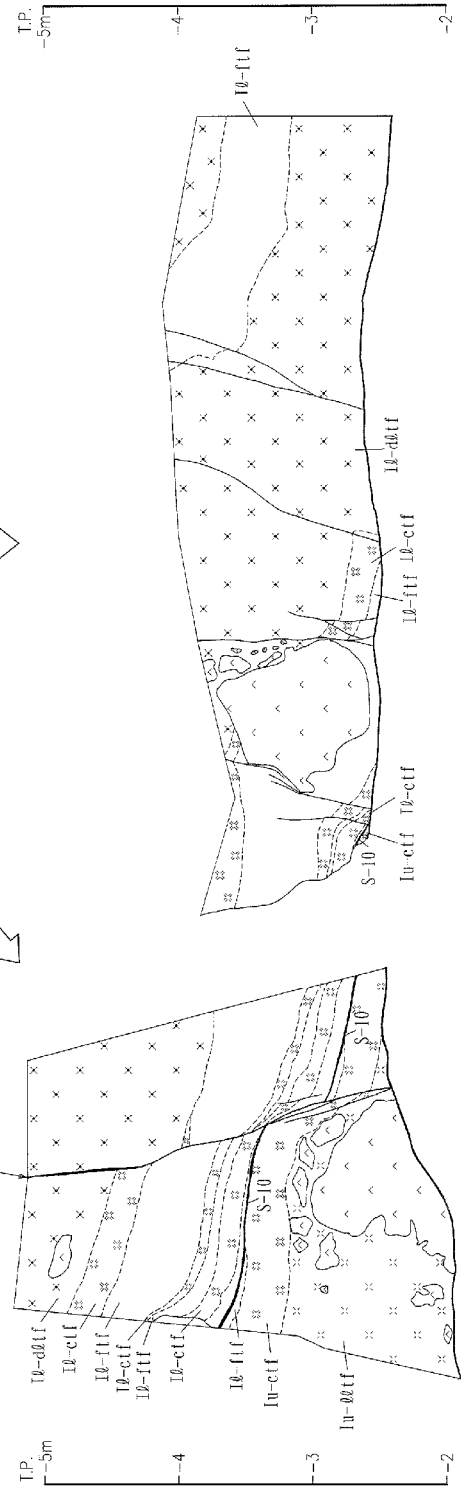
図-1 地質水平断面図 (T.P.-14m)

南壁

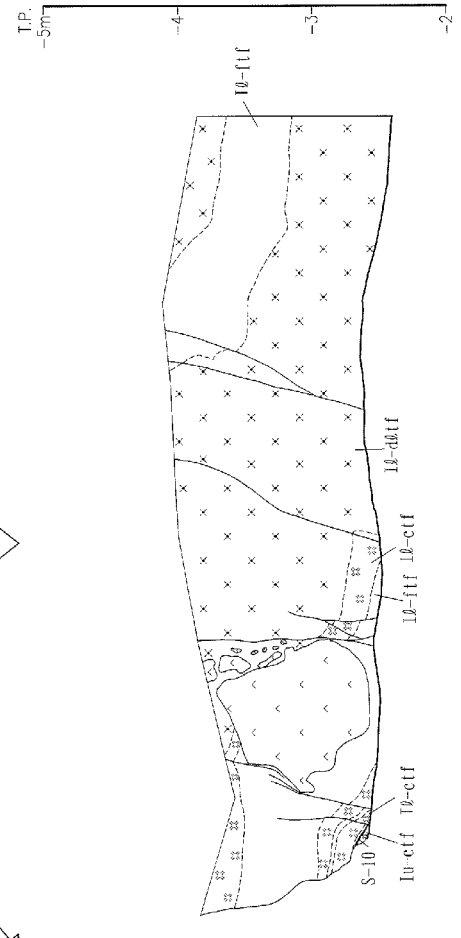


f-2断面: N32°E/76°S

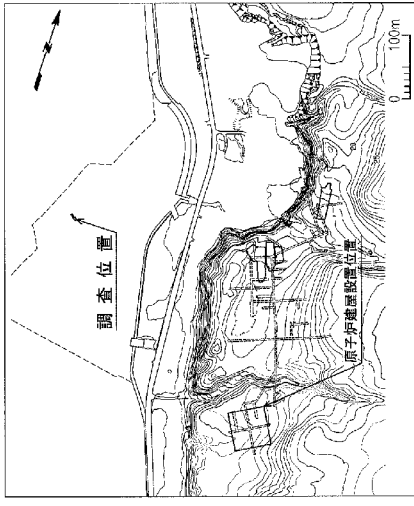
北壁1



北壁2



位置図



凡例

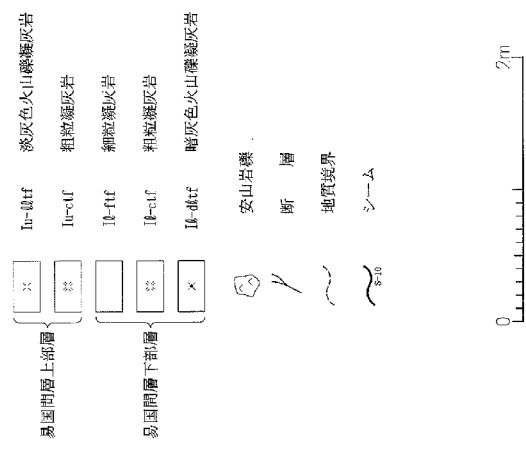
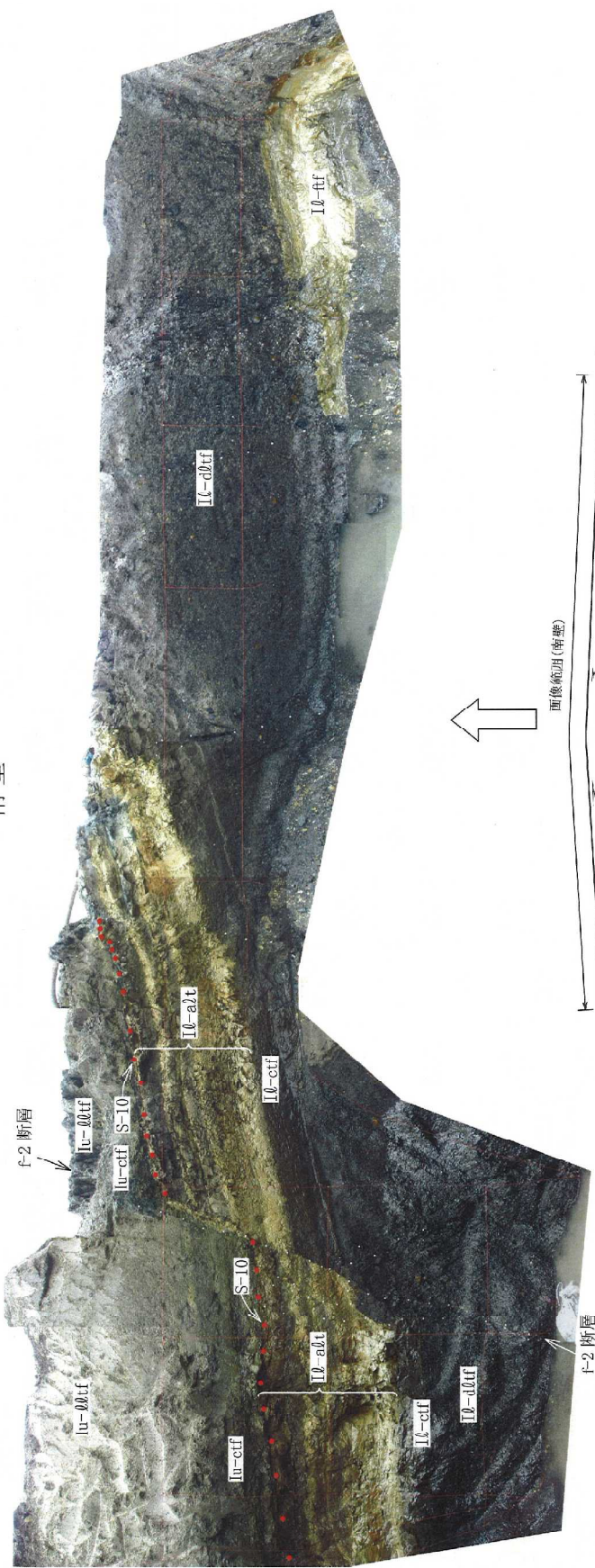
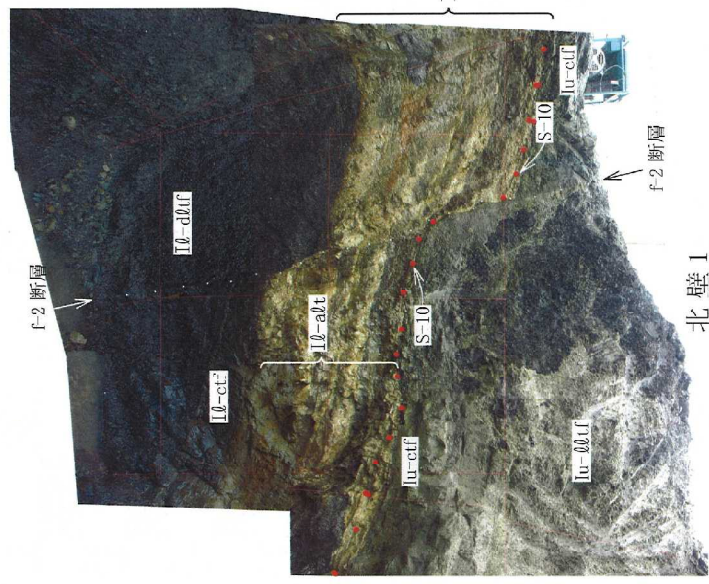
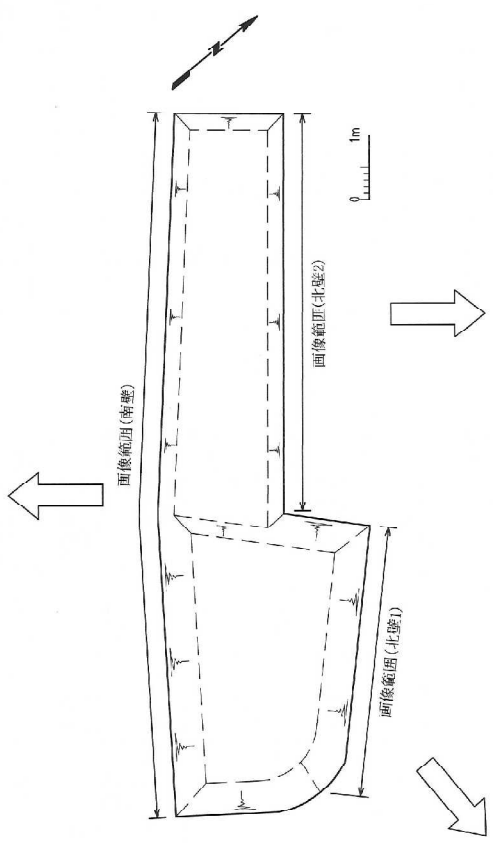


図-3 Ts-4トレンチ地質展開図
11

南壁



- 凡例
- 淡灰色火山礫凝灰岩 lu-00tf
 - 粗粒凝灰岩 lu-ctf
 - 細粒凝灰岩/粗粒凝灰岩互層 lu-a0t
 - 粗粒凝灰岩 lu-c0t
 - 細粒凝灰岩 lu-ttf
 - 暗灰色火山礫凝灰岩 lu-d0t
 - シース S-10 位置
- 易国間層上部層
- 易国間層下部層



0 1m

北壁 1

北壁 2

図-4 Ts-4 トレンチ展開画像

西壁



→ N

S ←



東壁



北壁

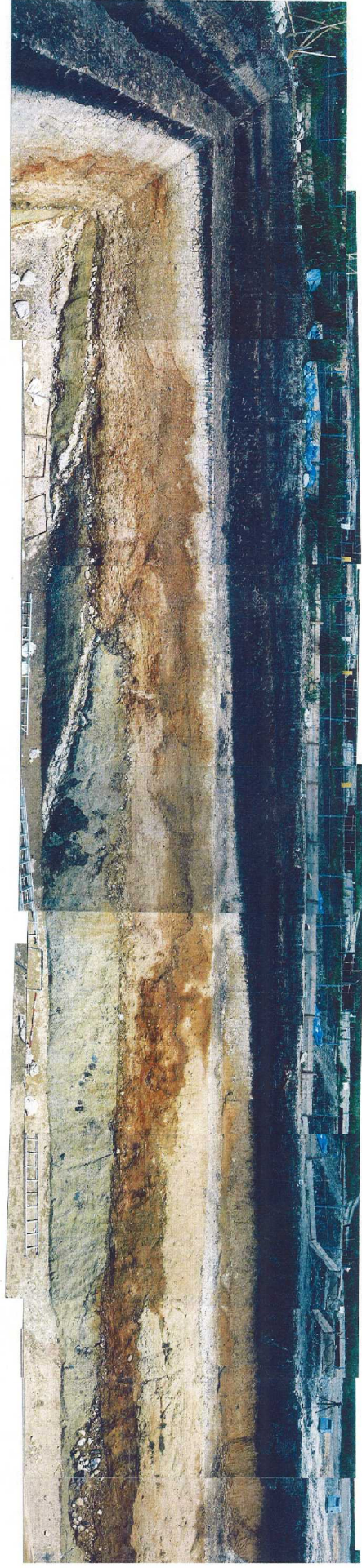
西壁

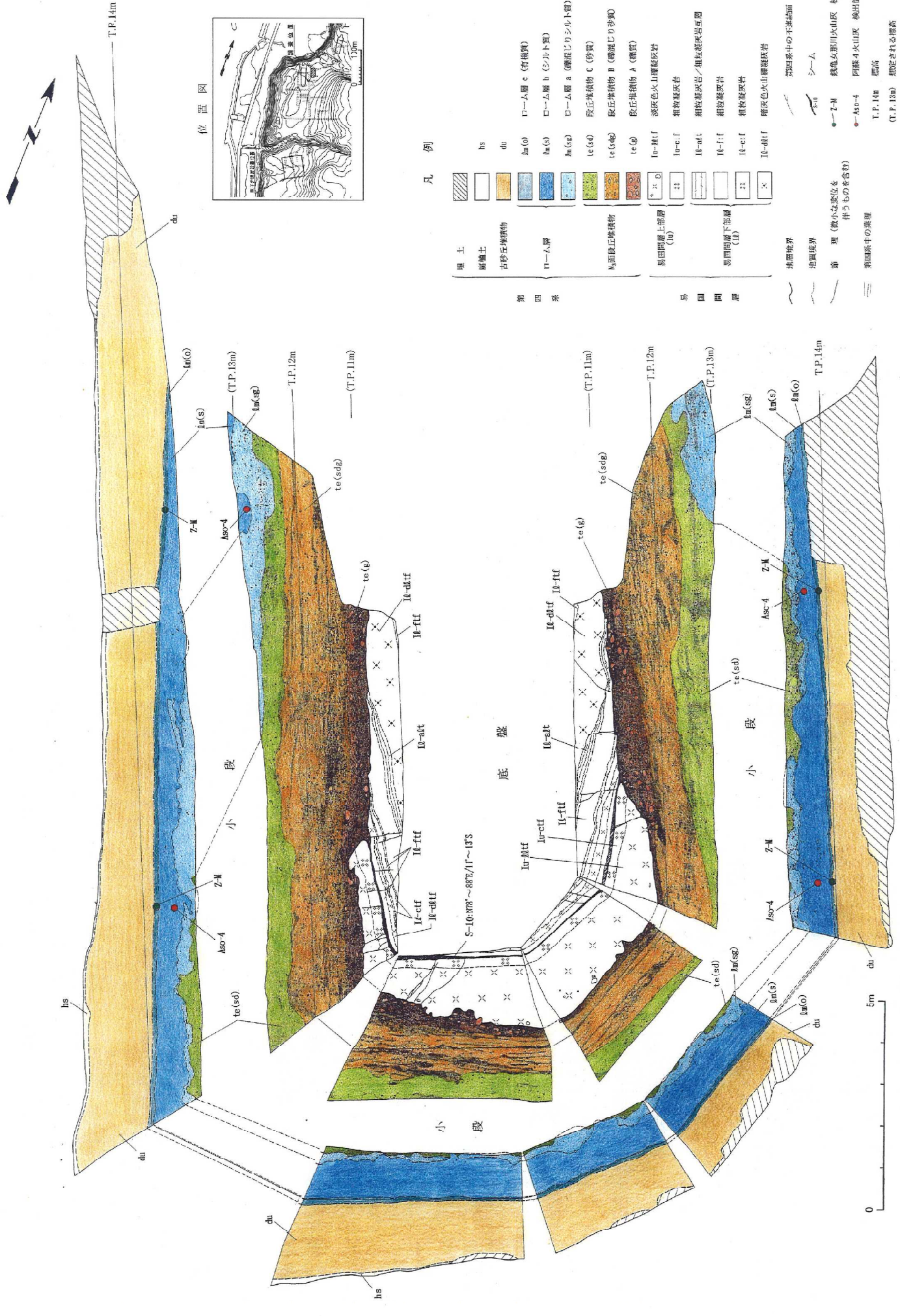


S ←

→ N

東壁





凡例

| | |
|--|---------------------|
| | 埋土 |
| | 腐植土 |
| | 古砂丘堆積物 |
| | ローム層 |
| | 段丘堆積物 C (砂質) |
| | 段丘堆積物 B (礫混じり砂質) |
| | 段丘堆積物 A (礫質) |
| | 易固間層上部層 (H) |
| | 易固間層下部層 (H) |
| | 地層境界 |
| | 地質境界 |
| | 第一埋 (微小な突出を伴うものを含む) |
| | 第四系中の境界面 |
| | シーム |
| | Z-II 鏡亀山系川火山灰 鏡出箇所 |
| | Aso-4 阿蘇4火山灰 鏡出箇所 |
| | T.P. 14m 標高 |
| | (T.P. 13m) 指定される標高 |

図-9 Ts-2トレンチ地質展開図
17

西壁



→ N

S ←

東壁



南壁



表-1 Ts-1 ~ Ts-3 トレンチ付近における第四系の区分

| 地 層 | | 記号 | 構 成 物 | 特 徴 | 推定堆積環境 |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| 腐 植 土 | | hs | 草根混じりの有機質で黒褐色の粘土からなる。 | 現地地形面にほぼ平行に堆積する。 | 陸 上 沼 々 氾 濫 原 |
| 古砂丘堆積物 | | du | 粘土質細粒砂からなる。 | 現地地形面にほぼ平行に堆積する。 | |
| ローム層 | ローム層 c (有機質) | l _m (o) | 有機質で暗褐色の粘土からなる。 | 現地地形面にほぼ平行に堆積する。ローム層bとの境界付近に銭亀女那川火山灰層(Z-M)を挟在する。 | |
| | ローム層 b (シルト質) | l _m (s) | 灰色～灰白色シルトからなる。 | 一部に褐色の植物片を含む。現地地形面にほぼ平行に堆積する。下部に阿蘇4火山灰(Aso-4)を挟在する。 | |
| | ローム層 a (礫混じりシルト質) | l _m (sg) | 灰色～灰白色シルトを主体とした礫混じりの堆積物からなる。 | 上方に向かって粗粒化する。段丘堆積物(砂質)の上面の高低差を埋めるように堆積する。最下部に淡水性ケイソウ化石を含む。 | |
| M ₃ 面 段丘堆積物 | 段丘堆積物 C (砂質) | te(sd) | 淘汰の悪い砂質な堆積物からなり、シルトの薄層を挟在する。 | 全体に無層理であるが、一部に潮汐流の影響によって形成された堆積構造(ヘリンボーン構造)が認められる。 | |
| | 段丘堆積物 B (礫混じり砂質) | te(sdg) | 円磨度の高い礫(径1~5cm)を含む砂礫層と淘汰の良い砂層からなる。 | 海側へ緩く傾斜する平行葉理が発達する。 | 海 浜 |
| | 段丘堆積物 A (礫質) | te(g) | 円磨度の高い礫(径5~20cm, 最大50cm)を含む砂礫層からなる。 | 上方へ向かって細粒化する。 | |

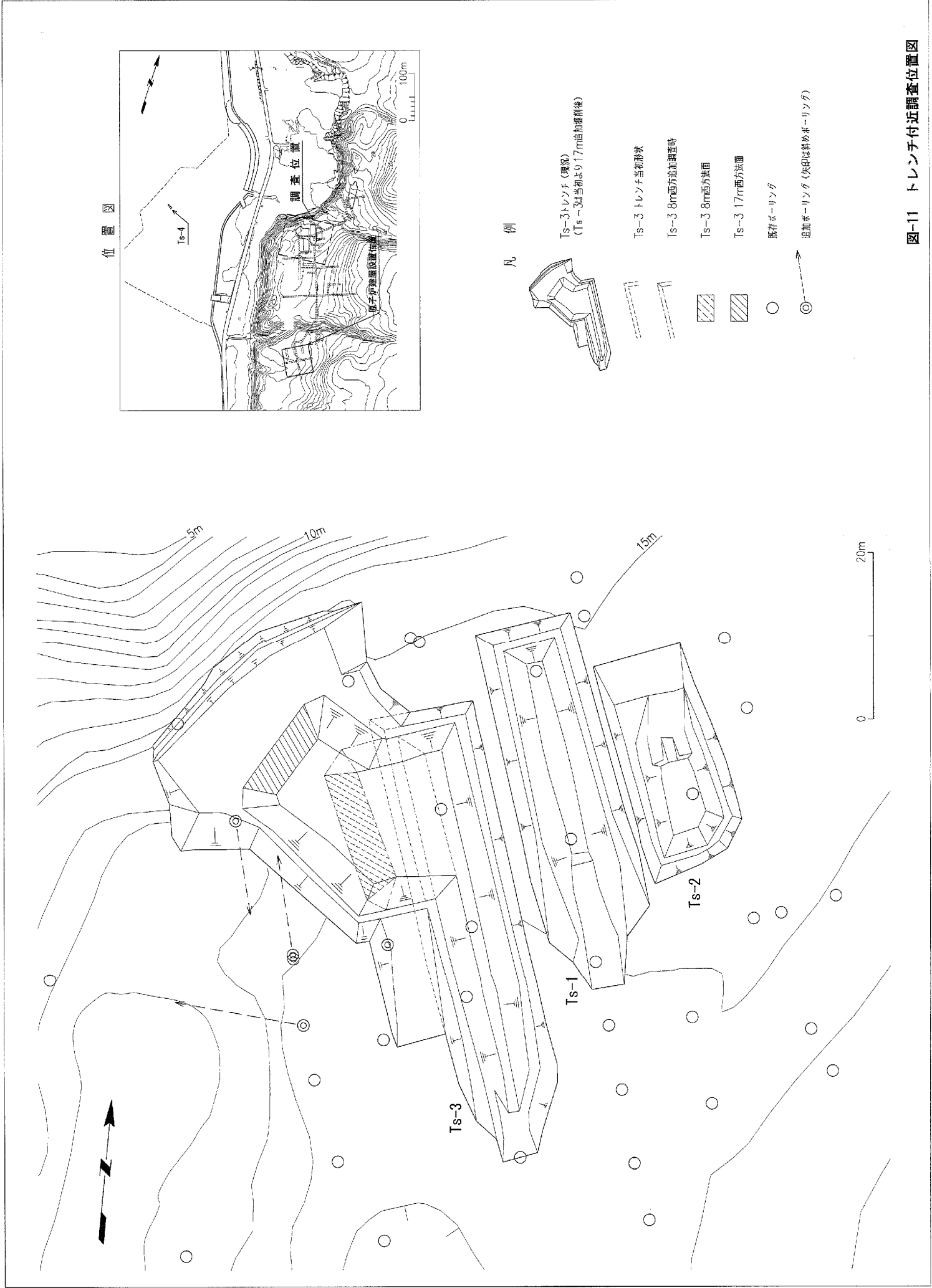
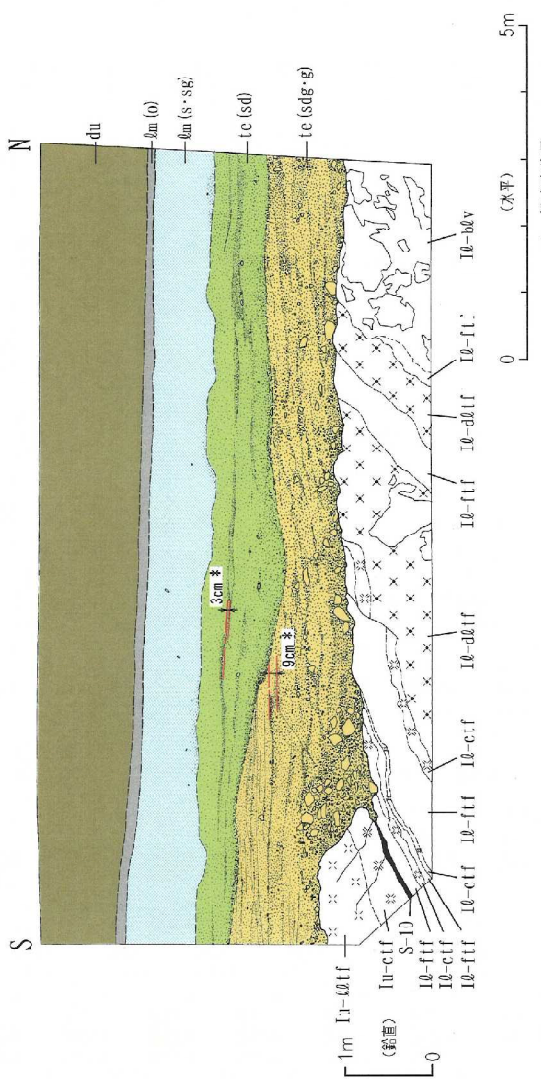
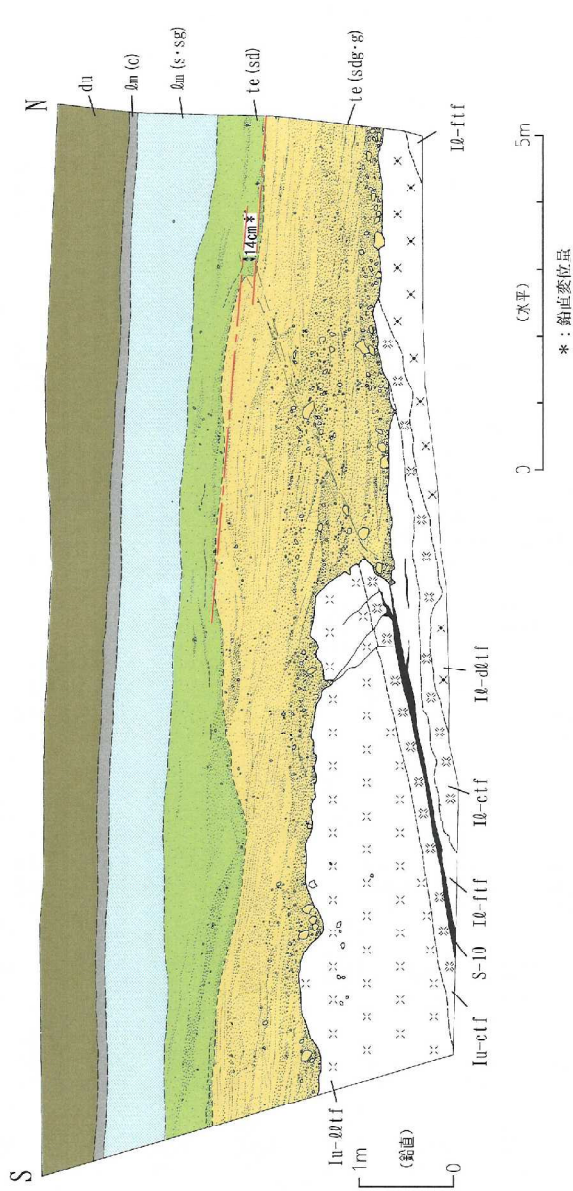


図-11 トレンチ付近調査位置図

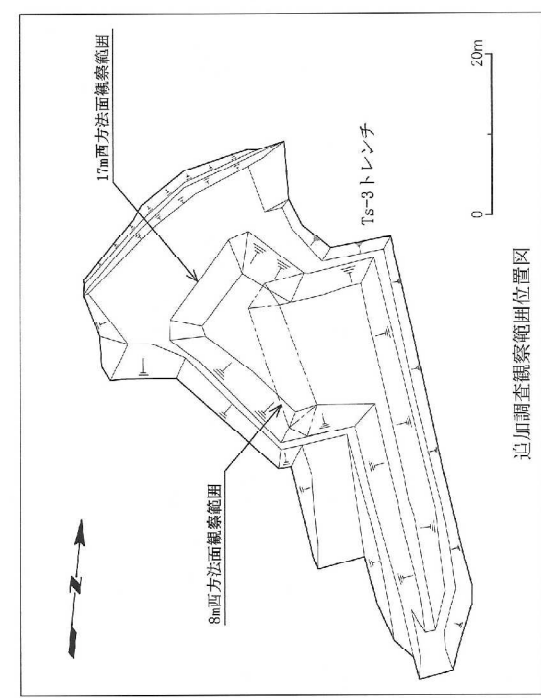
| 凡 例 | |
|-----------|--------------------------|
| du | 古砂丘堆積物 |
| dm(c) | ローム層 a (有機質) |
| dm(s-sg) | ローム層 b-c (シルト質・礫混じりシルト質) |
| te(sc) | 段丘堆積物 C (砂質) |
| te(sdg-g) | 段丘堆積物 A-B (礫混じり砂質・礫質) |
| Iu-dtf | 淡灰色火山礫凝灰岩 |
| Iu-ctf | 粗粒凝灰岩 |
| Ie-ftf | 細粒凝灰岩 |
| Ie-ctf | 粗粒凝灰岩 |
| Ie-dtf | 暗灰色火山礫凝灰岩 |
| Ie-wv | 安山岩溶岩 (角礫状) |
| ~~~~~ | 地層境界 |
| ----- | 地質境界 |
| ~~~~~ | 節理 (微小な変化を伴うものを含む) |
| | 第四系中の袋理 |
| ~~~~~ | 第四系中の不明瞭な不連続面 |
| S-B | シーム |




Ts-3トレンチ17m西方法面のスケッチ



Ts-3トレンチ8m西方法面のスケッチ



追加調査観察範囲位置図

凡例

 シームS-10
 不連続面の位置

0 5m



17m西方法面画像

* 不連続面は不明瞭

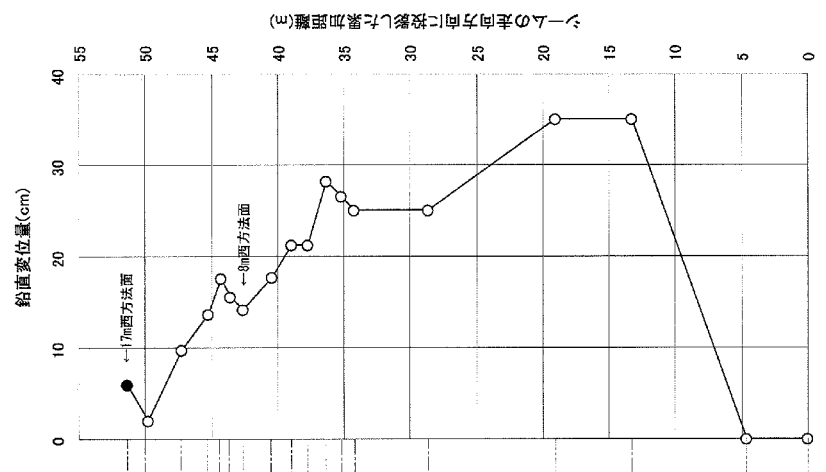


8m西方法面画像

* 不連続面は比較的明瞭

凡 例

- 段丘堆積物Bと同心の境界の変位量読み取り位置
- 上記以外の堆積構造の変位量読み取り位置
- つながる点は同一法面上の読み取り位置 (鉛直変位量は2点の平均値)



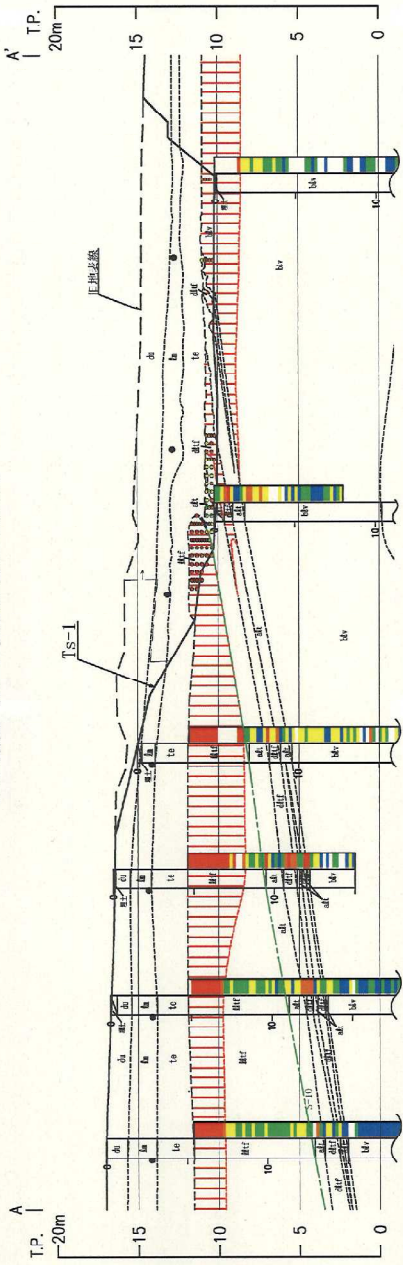
(E) 断面図に添った断面に於ける鉛直変位量の分布



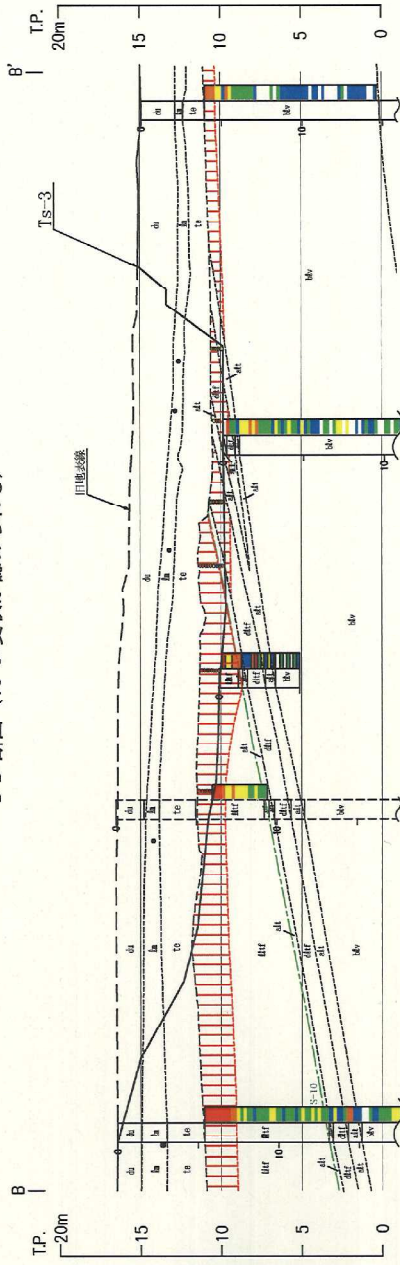
鉛直変位量分布図

図-14 変状の鉛直変位量分布図

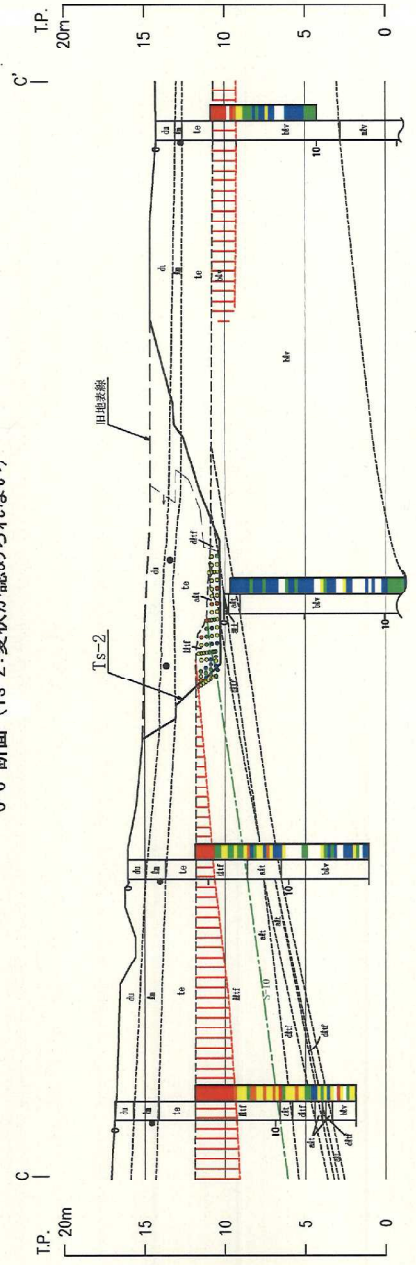
A-A' 断面 (Ts-1: 変状が認められる)



B-B' 断面 (Ts-3: 変状が認められる)



C-C' 断面 (Ts-2: 変状が認められない)

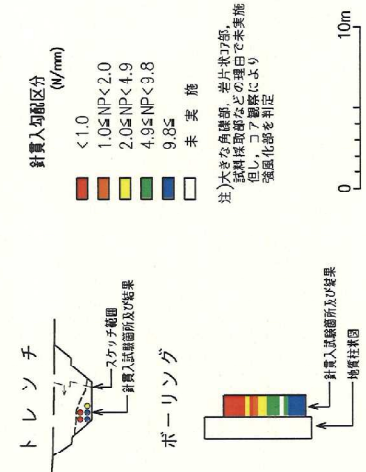


凡 例

| | |
|-------------------------|----|
| 古砂丘堆積物 (砂礫土を含む) | di |
| 沖積物 | ts |
| 丘陵堆積物 | mr |
| 淡灰色火山礫凝灰岩 | br |
| 暗灰色火山礫凝灰岩 | dr |
| 安山岩溶岩 (角礫状) | tr |
| 安山岩溶岩 (塊状) | pr |
| 細粒凝灰岩 粗粒凝灰岩、暗灰色火山礫凝灰岩互層 | gr |

新世系 (di, ts, mr)
 第四系 (br, dr, tr, pr, gr)

| | |
|------------|-----------|
| 強風化部 | ■ |
| 地層境界 | - - - |
| 地質境界 | - · - · - |
| 強風化部境界 | - · - · - |
| S-10 | — |
| 阿蘇山火山灰噴出箇所 | ● |
| 断面図位置 | ↑ |



断面位置図

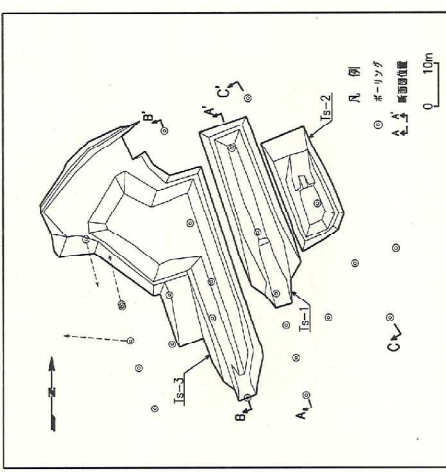
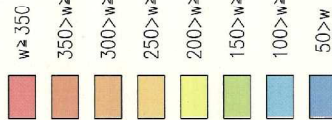


図-18 トレンチ沿い断面図 (強風化部の厚さ分布)

凡例

強風化部の厚さ分布図

強風化部の厚さ (w:cm)

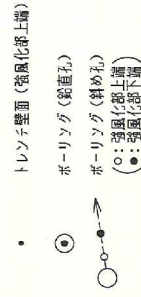


150 厚さコンター (cm)

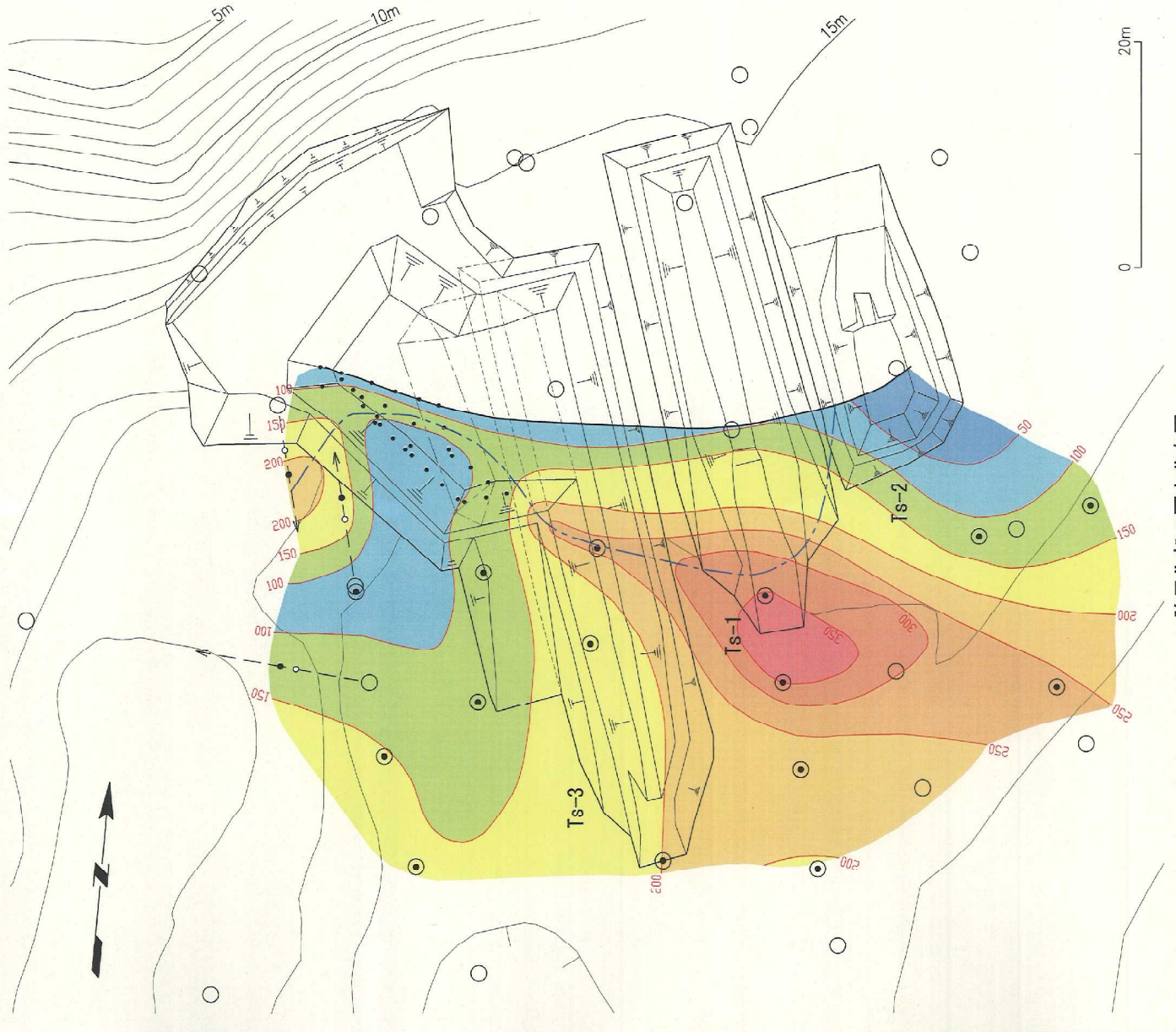
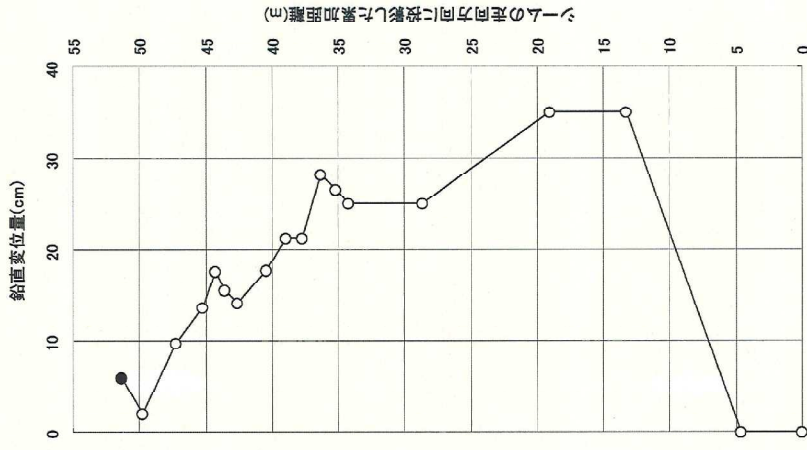
ソーラS-10と段丘基礎の表線

強風化部基礎面とS-10との表線

強風化部の厚さ測定箇所



鉛直変位量分布図



強風化部の厚さ分布図

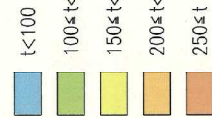
鉛直変位量分布図

図-19 トレンチ付近の強風化部厚さと変状の変位量

凡例

段丘堆積物の厚さ分布図

段丘堆積物の厚さ (t:cm)



100 厚さコンター (cm)

ツームS-10と
段丘基盤面の交線

ツームS-10と段丘基盤面の交線

強風化基盤面とS-10との交線

段丘堆積物の厚さ測定箇所

● トレンチ壁面 (段丘堆積物下層)

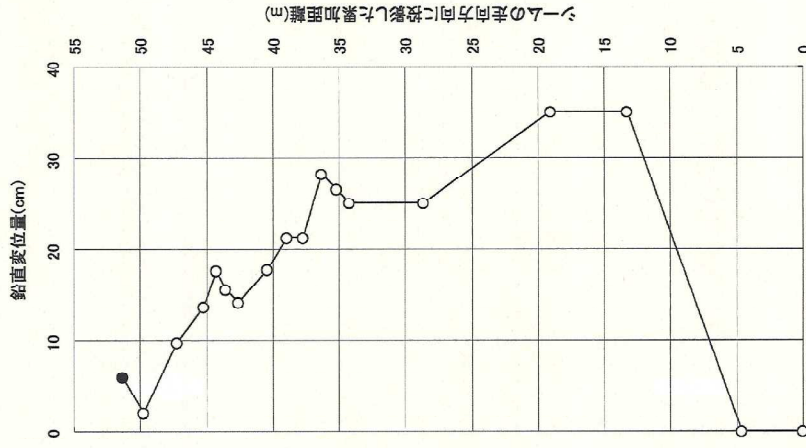
○ ボーリング (鉛直孔)

○ (○: 段丘堆積物上層
●: 段丘堆積物下層)

鉛直変位量分布図

○ 段丘堆積物Bと同Cの境界の変位量

● 上記以外の堆積層の変位量



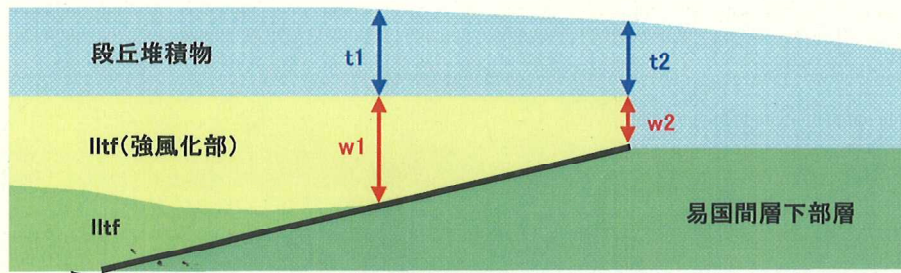
(左) 断面図 (右) 鉛直変位量分布図



段丘堆積物の厚さ分布図

鉛直変位量分布図

図-20 トレンチ付近の段丘堆積物の厚さと変位量



シーム S-10 lltf : 易国間層上部層の淡灰色火山礫凝灰岩

段丘堆積物の平均厚さはw1, w2の直上での読み取りの平均。

$$T = (t1+t2)/2$$

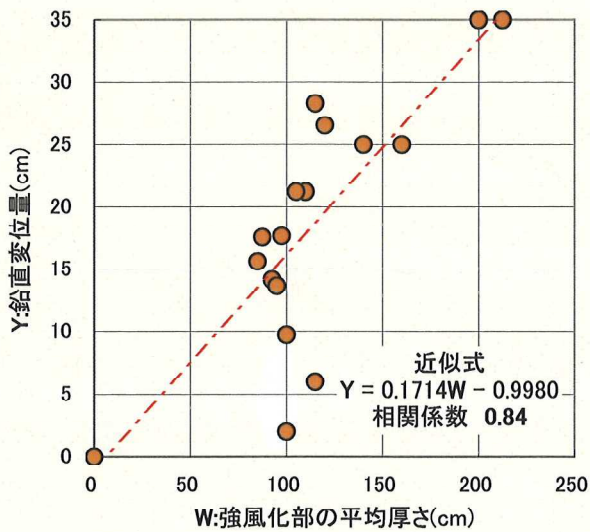
強風化部の平均厚さ $W = (w1+w2)/2$

w1の厚さは、強風化部の基底面とS-10の交点で読み取り。

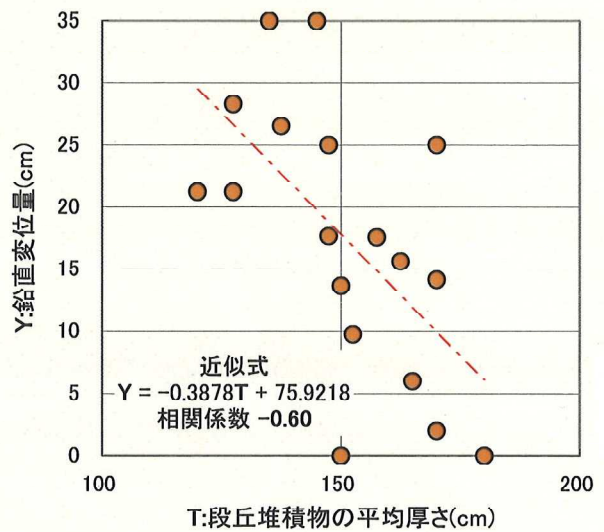
図-21 強風化部と段丘堆積物の厚さの読み取り結果

表-2 変状の変位量, 強風化部・段丘堆積物の厚さの読み取り結果

| No. | 変状の鉛直変位量 (cm) | 強風化部の平均厚さ(W) (cm) | 段丘堆積物の平均厚さ(T) (cm) | 備考 | 掘削 | |
|-----|---------------|-------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 0.0 | 0 | 150 | Ts-2東壁面 | Ts-1,2,3トレンチ 当初の調査 | |
| 2 | 0.0 | 0 | 180 | Ts-2西壁面 | | |
| 3 | 35.0 | 213 | 135 | Ts-1東壁面 | | |
| 4 | 35.0 | 200 | 145 | Ts-1西壁面 | | |
| 5 | 25.0 | 160 | 170 | Ts-3東壁面 | | |
| 6 | 25.0 | 140 | 148 | Ts-3西壁面(当初) | | |
| 7 | 26.5 | 120 | 138 | Ts-3西壁面(1.0m追掘) | Ts-3 追加掘削 (西方) | |
| 8 | 28.3 | 115 | 128 | Ts-3西壁面(2.0m追掘) | | |
| 9 | 21.2 | 110 | 120 | Ts-3西壁面(3.5m追掘) | | |
| 10 | 21.2 | 105 | 128 | Ts-3西壁面(5.0m追掘) | | |
| 11 | 17.7 | 98 | 148 | Ts-3西壁面(6.5m追掘) | | |
| 12 | 14.1 | 93 | 170 | Ts-3(8m西方法面) | | |
| 13 | 15.6 | 85 | 163 | 1回目 | 各追加掘削の側方への 掘削長は、1~2m程度 | Ts-3 追加掘削 (北西方) |
| 14 | 17.6 | 88 | 158 | 2回目 | | |
| 15 | 13.7 | 95 | 150 | 3回目 | | |
| 16 | 9.8 | 100 | 153 | 4回目 | | |
| 17 | 2.0 | 100 | 170 | 5回目 | | |
| 18 | 6.0 | 115 | 165 | 6回目(17m西方法面) | | |



鉛直変位量と強風化部の厚さの関係



鉛直変位量と段丘堆積物の厚さの関係

図-22 変状の鉛直変位量と強風化部・段丘堆積物の厚さの相関性

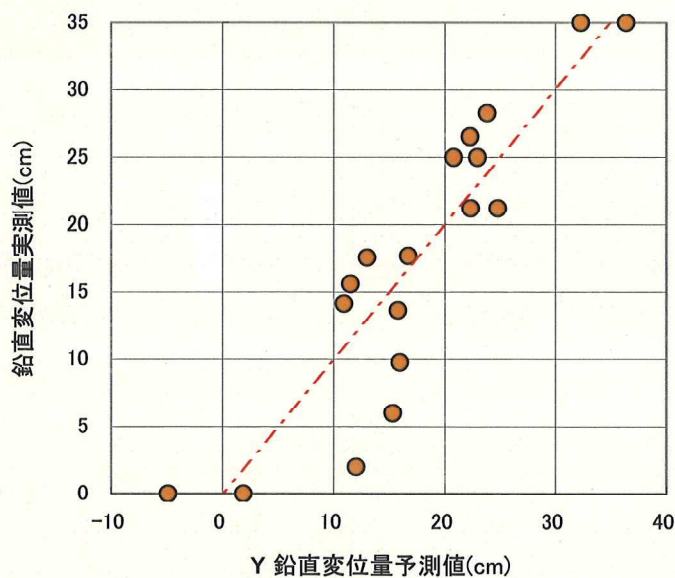


図-23 重回帰分析による変状の鉛直変位量の予測値と実測値の関係