

天竜区緑恵台土砂崩落原因調査報告書
(案)

浜 松 市

令和 5 年 1 月 17 日

天竜区緑恵台土砂崩落原因究明調査報告書

1. 災害の概要	1-1
2. 発災前後の地形変化	2-1
2-1 土量の推定	2-1
2-2 更に崩落する可能性のある土量の推定	2-2
2-3 堆積範囲の推定	2-4
3. 警戒体制	3-1
3-1 避難指示エリアの設定	3-1
3-2 警戒監視体制	3-2
(1) 降雨	3-4
(2) 地震	3-4
(3) 警戒レベル3(避難)の解除基準	3-4
4. 調査結果	4-1
4-1 調査計画	4-1
4-2 地質層序	4-2
4-3 ボーリング調査結果	4-3
(1) 主測線 A-M	4-3
(2) 副測線 B-M	4-9
(3) 副測線 C-M	4-12
(4) 東側側部 E-E'	4-15
4-4 室内土質試験結果	4-16
(1) 物理特性	4-17
(2) 力学特性	4-21
5. 災害発生メカニズムの推定	5-1
5-1 災害発生の構造推定のための情報	5-1
(1) 盛り土の存在の経緯	5-1
(2) 自然条件	5-2
5-2 発生のメカニズムの推定、検証	5-6
(1) 素因、誘因	5-6
(2) 地質調査結果に基づく、崩壊発生機構の推定	5-8
6. 応急対策	6-1
6-1 大型土のう築堤工	6-1
6-2 沈砂池	6-3
6-3 今後の観測方法	6-5
7. 残存盛り土対策	7-1
7-1 盛り土除去	7-1

7-2 排水対策	7-14
7-3 斜面上部擁壁の安定性検討	7-27
8. 崩落原因の総括	8-1
8-1 各章ごとの総括	8-1
8-2 崩落発生原因の総括	8-3
8-3 留意点および今後の対応について	8-4

1. 災害の概要

台風 15 号の影響により浜松市天竜区緑恵台において、9 月 24 日未明、土砂崩れが発生し、住宅 3 軒が被害を受け、住民 3 人が負傷した。

今回の災害をもたらした降雨(降り始めとなる 9 月 23 日 0 時から降り終わりの 9 月 24 日 3 時まで)は、時間最大雨量 60mm/h[※]、累積雨量 292mm であり、特に時間 40mm/h 以上の激しい雨が 4 時間と短時間に連続して観測されるなど、近年稀にみる豪雨であった(5-2 頁参照)。



写真 1.1 被災状況 (令和 4 年 9 月 25 日撮影)

※時間最大雨量は正時間雨量 (毎時00分を起点とした雨量)

2. 発災前後の地形変化

2-1 土量の推定

点群データから盛り土量と崩落量を推定した(図-2.1.1 参照)。

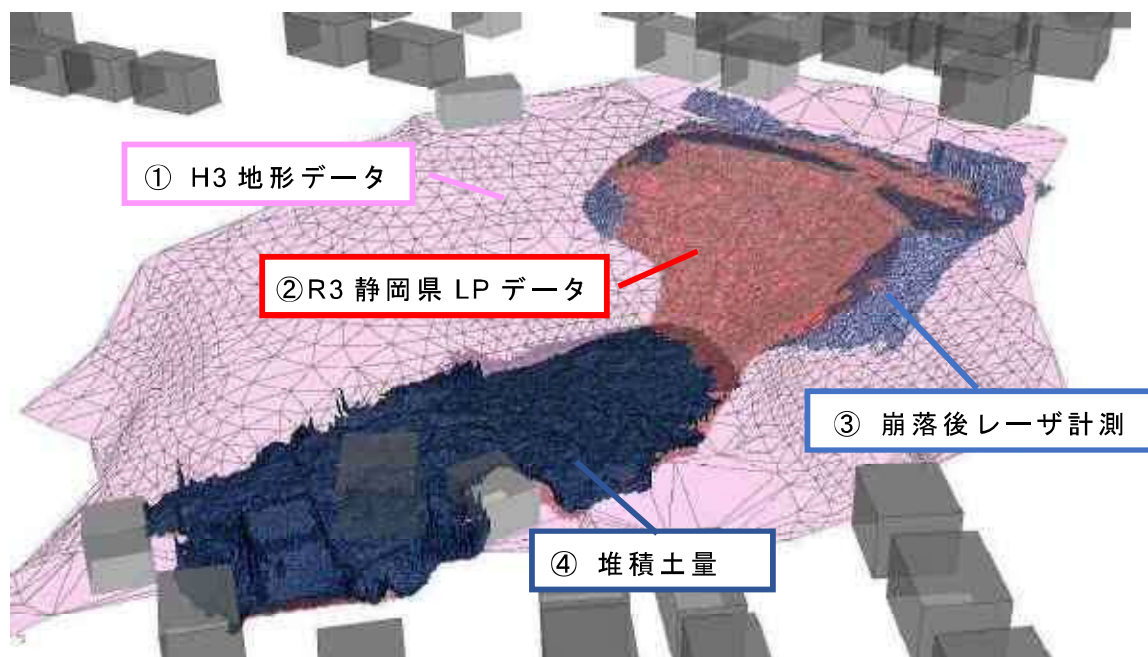


図-2.1.1 点群データより作成した TIN (不整三角形網)

盛り土量：②(令和 3 年静岡県 LP データ)-①(平成 3 年地形データ^{注 1})=8,100m³

崩落量：②(令和 3 年静岡県 LP データ)-③(令和 4 年 UAV 計測^{注 2})=3,400m³

上記より、落ち残った盛り土量：8,100-3,400=4,700m³

また、斜面下に堆積した崩落土量を UAV 計測より算出した。

堆積土量：④=3,800 m³^{注 2}

なお、報告書では、

1988 年(昭和 63 年)に完了した林地開発により造成された盛土を「造成盛土」

1991 年(平成 3 年)から 2022 年(令和 4 年)までに盛られた土を「盛り土」

と定義する。

注 1：平成 3 年 9 月 12 日に撮影

注 2：令和 4 年 9 月 30 日に計測

2-2 更に崩落する可能性のある土量の推定

今回の崩落は、後述する被災メカニズムの通り、1988年(昭和63年)の林地開発完了後に実施された盛り土が、異常降雨により不安定化し崩落したと推察される。現在約4,700m³の盛り土が斜面内に残存しており、それらの再流出による人的被害を防止するため、①早急な避難指示体制の整備、②応急対策を実施した。これらの対策の対象となる箇所は、更に崩落する可能性のある箇所とし、その範囲および土量を推定した。

(1) 対象範囲の設定

更に崩落する可能性のある箇所の範囲は、旧地形が集水地形を呈している、図-2.2.1に示す範囲のうち、今回の崩落により急崖^{注1}を成している範囲とした。



図-2.2.1 崩落前の地形図
(令和3年静岡県LPデータ)



写真-2.2.1 崩落後地形
(2022年9月25日撮影)

(2) 更に崩落する可能性のある土量の算出

今回の崩落が造成後の盛り土が主体であることを前提とし、また崩落の形状を踏まえ、残存する土砂の崩落モデルを作成した(図-2.2.2参照)。

崩落後の現況地形は急崖を成しており、造成後の地形データから急崖下端が盛り土と造成盛土の境界面であると推察された。このことから、急崖法尻を通過する円弧すべりおよびそれに付随して崩落の懸念がある範囲を推定し、これを更に崩落する可能性のある箇所とした。

注1：切り立った崖地、急傾斜を有する崖地

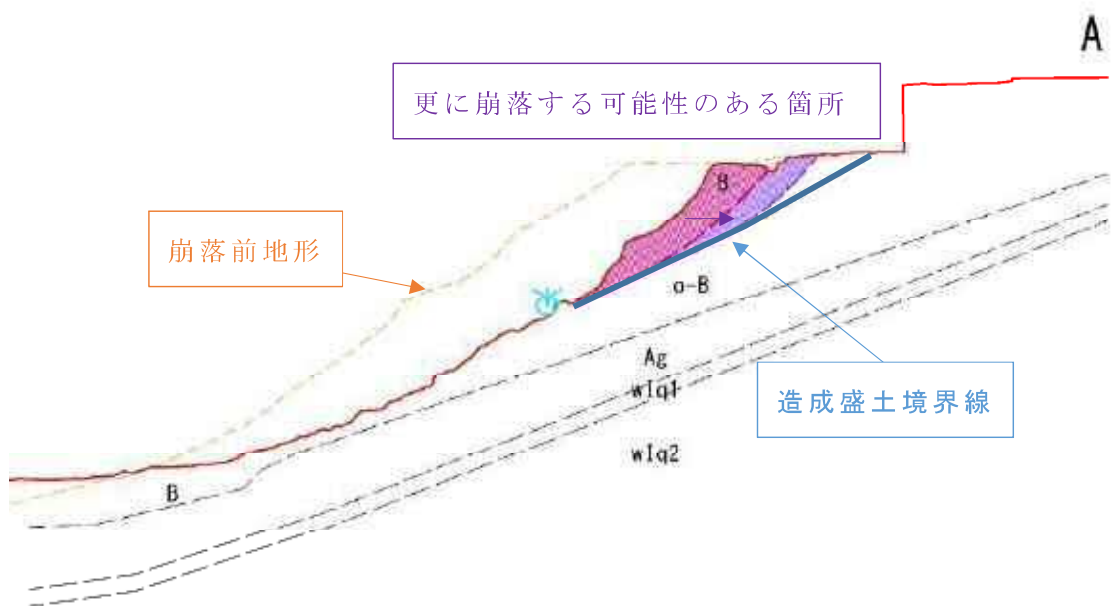


図-2.2.2 残存する土砂の崩落モデル

この断面をもとに点群による3次元モデルを作成した結果、対象となる土量は約1,600m³であることを確認した(図-2.2.3参照)。

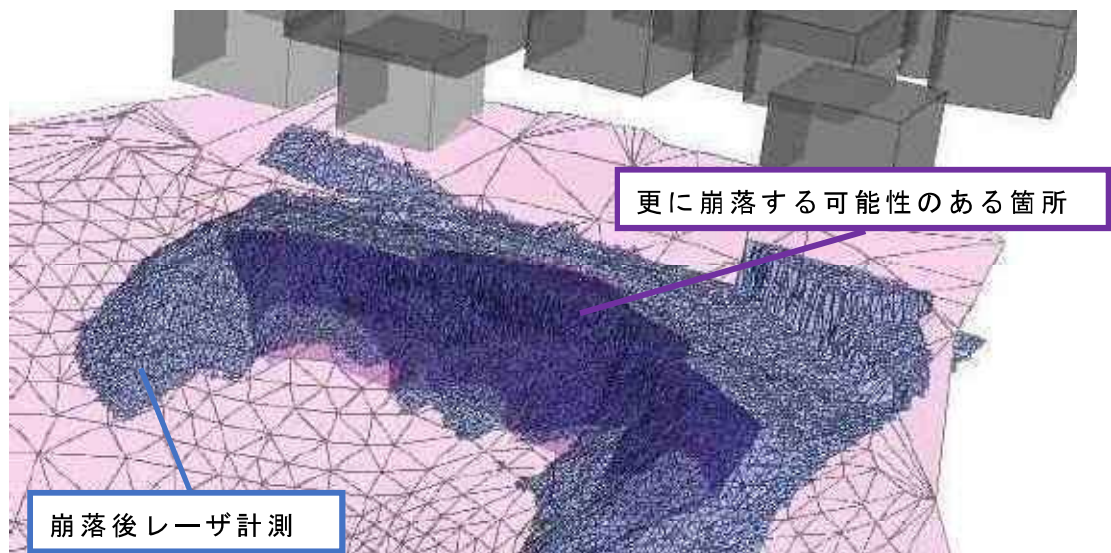


図-2.2.3 更に崩落する可能性のある土量の算出モデル

また、崩落土量 $3,400\text{m}^3$ に対して実測値の堆積土量が $3,800\text{m}^3$ であったことから、この値(土量の変化率 L =ほぐした土量【堆積土量】/地山の土量【崩落土量】)を用いて崩落による堆積土量を推定した。

崩落による堆積土量

$$1,600\text{m}^3 \times (3,800\text{m}^3 / 3,400\text{m}^3) = 1,788\text{m}^3 \approx 2,000\text{m}^3$$

以上より、避難指示体制の整備および応急対策の対象とする、更に崩落する可能性のある土量は約 $2,000\text{m}^3$ とした。

2-3 堆積範囲の推定

3次元モデルから崩落した土砂は斜面下方の現地形の底部を埋めるように堆積することが想定されるため、地形データから更に崩落する可能性のある土量約 $2,000\text{m}^3$ の堆積範囲を推定した(図-2.3.1 参照)。

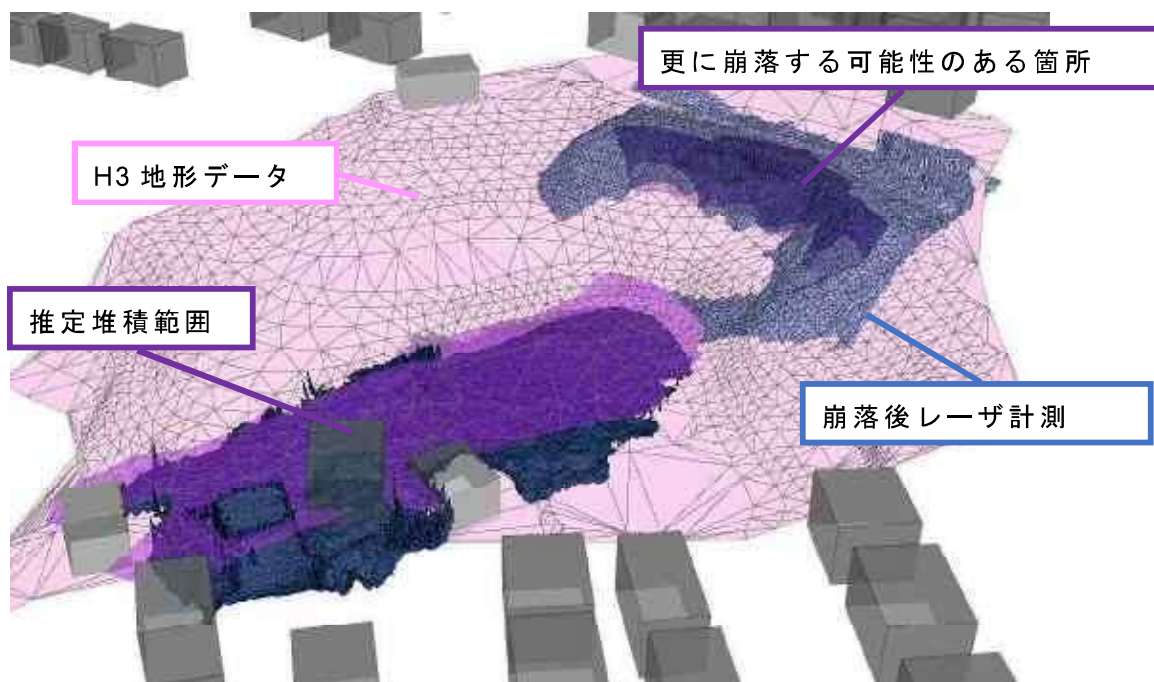


図-2.3.1 落ち残った盛り土のうち更に崩落する可能性のある土砂の堆積範囲

「土砂災害防止法施行令 第二条」によると土砂災害警戒区域は「土石流の発生のおそれのある溪流において、扇頂部から下流で勾配が2度以上の区域」とされ

ていることから、更に崩落する可能性のある土砂の堆積範囲よりも低い地点で現地形の傾斜が2度となる箇所を抽出し結んだ範囲を以下に示した(図-2.3.2、図-2.3.3 参照)。



図-2.3.2 堆積範囲及び現地形の傾斜が2度となる箇所を抽出し結んだ範囲
(2022年9月26日撮影)



図-2.3.3 堆積範囲及び現地形の傾斜が2度となる箇所を抽出し結んだ範囲
(横断面図)

3. 警戒体制

3-1 避難指示エリアの設定

次に発生する崩落が生じた場合、斜面下方の現地形の低部を埋めるように、0.5～1m程度の厚さで土砂が堆積すると想定される。土石流の停止角度は2度であることから、堆積範囲外郭で地形傾斜が2度となる地点を避難指示範囲として設定した(図-3.1.1参照)。



図-3.1.1 避難指示範囲（平面図）

（2022年9月26日撮影）

避難指示の対象となるのは、12世帯、26名(12軒)である。

3-2 警戒監視体制

2022年10月5日までに地盤伸縮計、雨量計、監視カメラを設置し、警戒を行っている(図-3.2.1、写真-3.2.1～写真-3.2.5参照)。

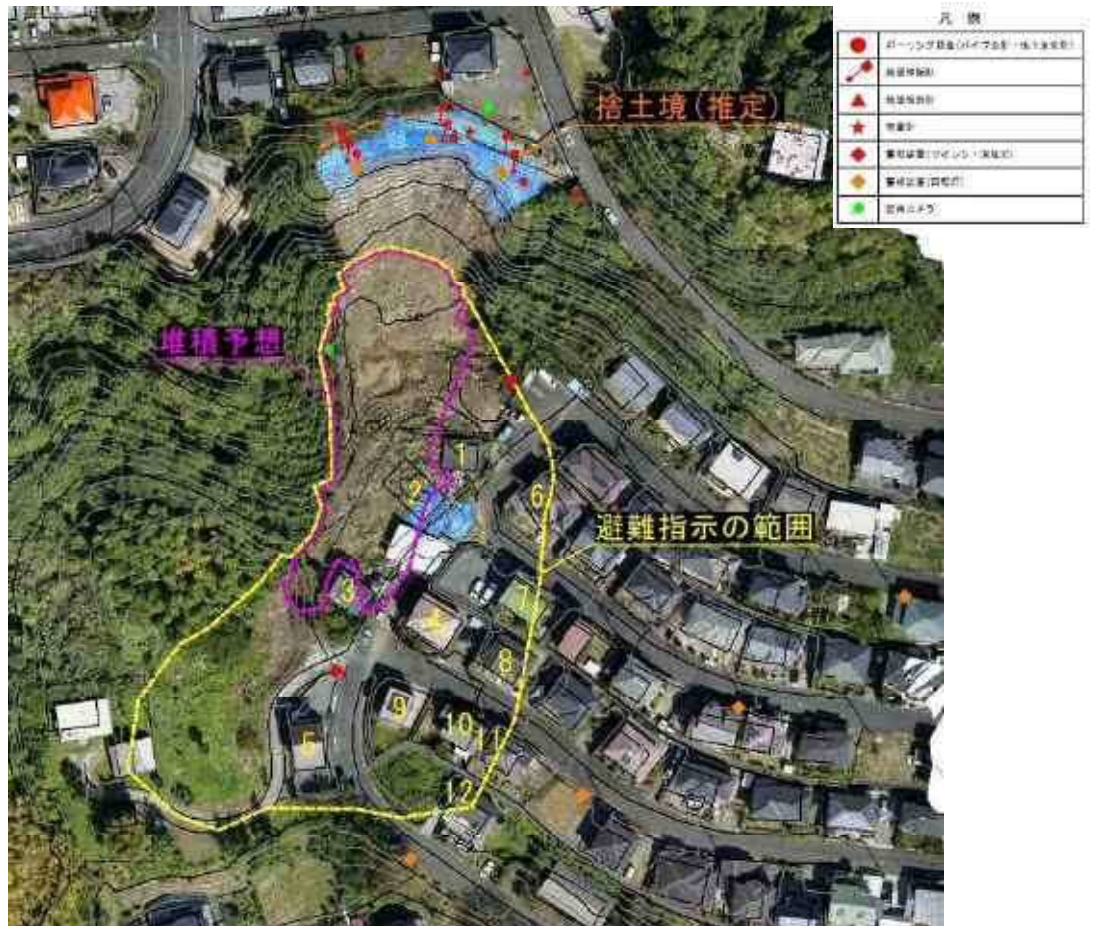


図-3.2.1 警戒監視体制 (2022年9月26日撮影)



写真-3.2.1

斜面上方の監視体制

(2022年10月6日撮影)



写真-3.2.2

斜面下方のサイレン、回転灯

(2022年10月6日撮影)



写真-3.2.3

斜面下方の回転灯、看板

(2022年10月9日撮影)



写真-3.2.4

斜面上方の監視カメラ

(Webで確認可能)

(2022年10月14日撮影)



写真-3.2.5

斜面下方の監視カメラ

(Webで確認可能)

(2022年10月14日撮影)

(1) 降雨

降雨に対しては地盤伸縮計と雨量計に管理値を設定し(表-3.2.1 参照)、登録メールやサイレン・回転灯により伝達する計画とした。

表-3.2.1 降雨に対する警戒監視体制

		⇒注意喚起 登録メール:職員	⇒避難所設置 登録メール:職員	住民避難 登録メール:住民、職員 サイレン、回転灯
	監視項目	警戒レベル1(注意)	警戒レベル2(準備)	警戒レベル3(避難)
管理値	地盤変動 (地盤伸縮計)	1mm/日	10mm/日	2mm/時を2時間連続観測 又は 4mm/時
	降水量 (雨量計)	—	10~20mm/時	20mm/時以上 又は 24時間累積80mm以上
参考値	地盤変動(パイプ歪計、地盤傾斜計) 地下水位(水位計)			

地盤伸縮計の出典:地すべり防止技術指針及び同解説
降水量の出典:令和4年災害手順

(2) 地震

浜松市災害対策準備室の気象警戒レベルより、震度4以上の地震を警戒レベル3(避難)とした。

(3) 警戒レベル3(避難)の解除基準

警戒レベル3(避難)の解除基準を以下に示す。

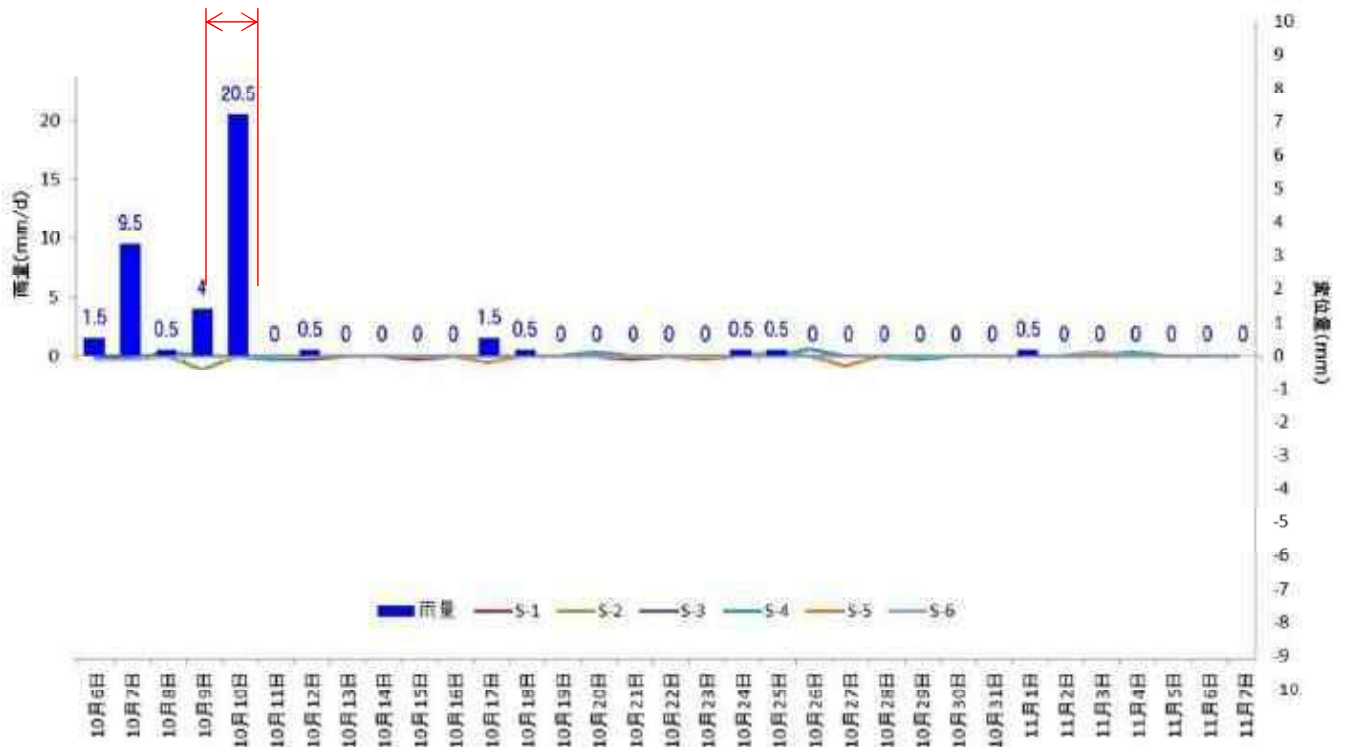
- 1)雨量計で0mm/h(降雨なし)を1時間観測
- 2)地盤伸縮計計で0mm/h(変動なし)を3時間観測

かつ、監視カメラで斜面に崩落が生じていないことを確認

【参考】雨量-伸縮計変位量

10月9日 12:00~10月10日 12:00 の24時間雨量 24.5mm

時間最大雨量 10月10日 10:00~11:00 9.5mm



4. 調査結果

4-1 調査計画

盛り土の層厚把握と土層確認を目的として、ボーリング調査を上部で3箇所(主測線、両袖の副測線)、下部で1箇所の計4箇所で行った。また、補足調査として、簡易動的コーン貫入試験をA-M測線で1箇所、E-E'測線で2箇所の計3箇所で行った。なお、上部のボーリング調査の本孔にはパイプ歪計を、別孔には水位観測孔と自記水位計を設置した。これらの経時観測により、更なる崩落や地すべりの予兆、降雨と地下水位の関係性を把握する。なお、地下水観測孔は、降雨と地下水位との関係性を把握するため、盛り土(B)、造成盛土(o-B)の地下水位を観測できる仕様とした。

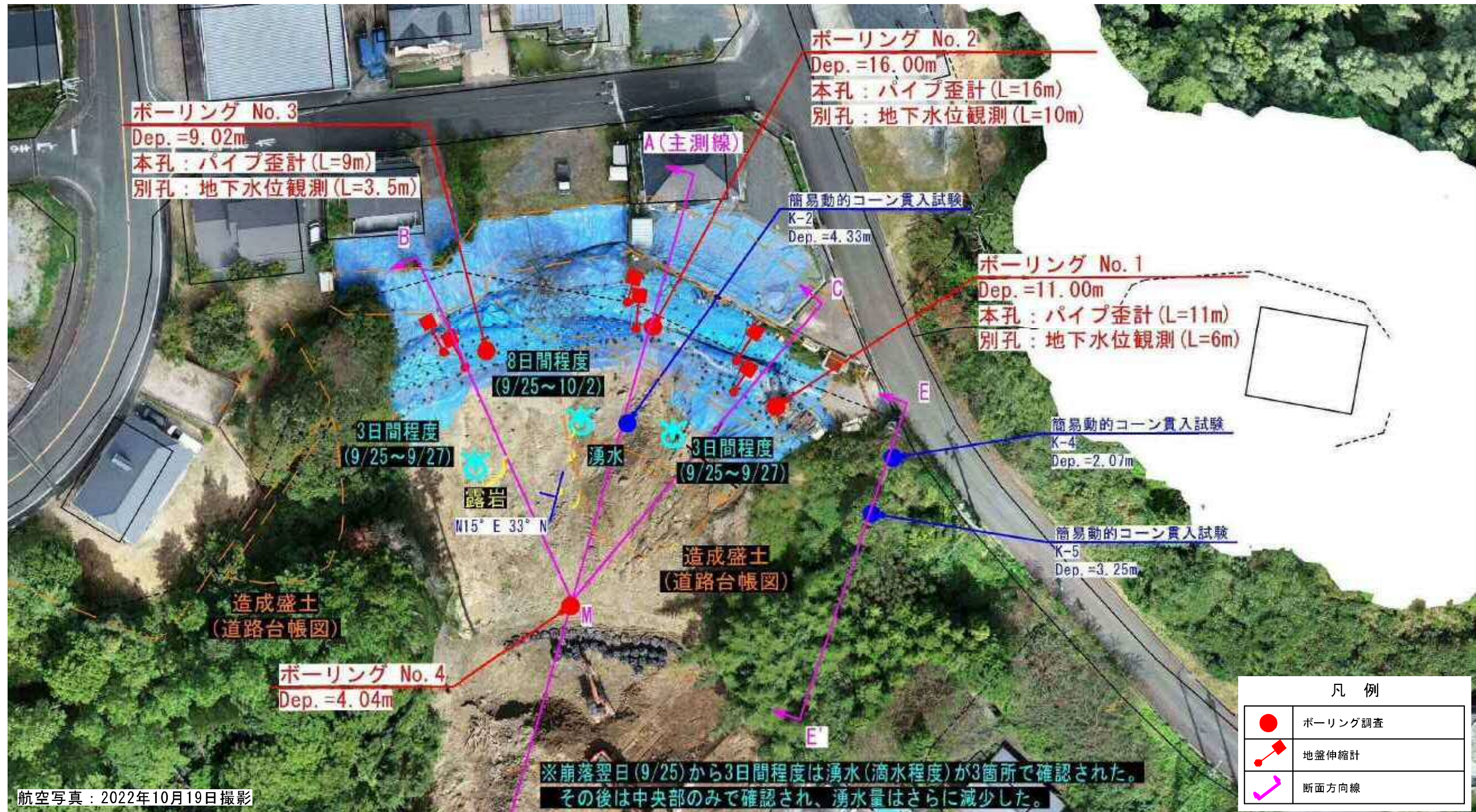


図-4.1.1 調査位置平面図(S=1:1,000)

4-2 地質層序

ボーリング調査結果および現地踏査結果より、当該地の地質層序を表-4.2.1のように区分した。この層序にもとづき地層推定断面図を作成した。

表-4.2.1 地質層序表

地質時代		地層名	記号	N値	内容
第四紀	完新世	盛り土、崩落土砂	B	0.9~8	比較的粘土分の多い層を盛り土と推定した。砂礫を多く含む粘土を主体とする。部分的に礫質土優勢。礫はφ2~30mm程度の亜角礫、亜円礫。含水中位~やや高位。粘性中位~高位。
		造成盛土	o-B	1.7~10	比較的砂礫分の多い層を造成盛土と推定した。シルト分を含む砂礫を主体とする。礫はφ2~30mm程度の亜角礫、亜円礫、円礫。マトリックスは砂質シルトまたはシルト質砂。No.2では、GL-2.65~5.00m付近まで含水が高く、下部にしたがって締まりがよくなる。
		沖積泥礫層	Ag	3~9	粘土を多く含む砂礫を主体とし、旧表土もしくは崩積土と推定した。褐色を示す層と茶褐色~暗褐色を示す層が混在する。茶褐色~暗褐色の層には樹木片(枝)や根、大きな礫を多く混入する。褐色の層にはチャート等の礫が混入し、部分的にクサリ礫も含む。
中生代-ジュラ紀		井伊谷層 強風化石英片岩	wIq1	—	石英片岩の岩片が所々に確認されるが基質部は風化し、砂質シルト状となる。
		井伊谷層 風化石英片岩	wIq2	136~ 貫入不可	風化した石英片岩を主体とする。岩級区分はGL~CH級。部分的に比較的新鮮な石英片岩や頁岩が確認される。亀裂面は全体的に酸化し、褐色を呈する。短柱状コアとして採取されるが、潜在的な亀裂が多い。

当該地には、上部から盛り土(B)、造成盛土(o-B)、沖積泥礫層(Ag)が確認され、沖積泥礫層(Ag)以深には基盤岩である井伊谷層の風化石英片岩(wIq1, wIq2)が確認された。

盛り土(B)と造成盛土(o-B)については、明瞭な境界は確認されないものの、盛り土(B)は比較的粘土分が多く、造成盛土(o-B)は比較的砂礫分の多い層であった。また、沖積泥礫層(Ag)は、旧表土もしくは崩積土と考えられ、粘土分を多く含む砂礫層を主体とする。

各ボーリング地点における盛り土(B)と造成盛土(o-B)の境界については、次頁以降に記載するボーリング調査結果で詳細に記述する。

4-3 ボーリング調査結果

(1) 主測線 A-M

No. 2 地点のボーリングコアの状況から、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の明瞭な境界は確認されないものの、①粘土分と礫分の比率、②N値、③平成3年の宅地造成時地形を踏まえて、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の地層境界はGL-2.65m付近と推定した(図-4.3.2参照)。地層推定断面図を図-4.3.1に示し、No.2地点とNo.4地点の柱状図とコア写真を次頁の図-4.3.2～図-4.3.4に示す。

地質層序表

地質時代	地層名	記号	N値(A-M)
第四紀 完新世	盛り土、崩落土砂	B	0.9~4
	造成盛土	o-B	1.7~5
	沖積泥礫層	Ag	3~9
中生代- ジュラ紀	井伊谷層 強風化石英片岩	wlq1	—
	井伊谷層 風化石英片岩	wlq2	115~ 貫入不可

-- 地層境界
--- 推定地下水位

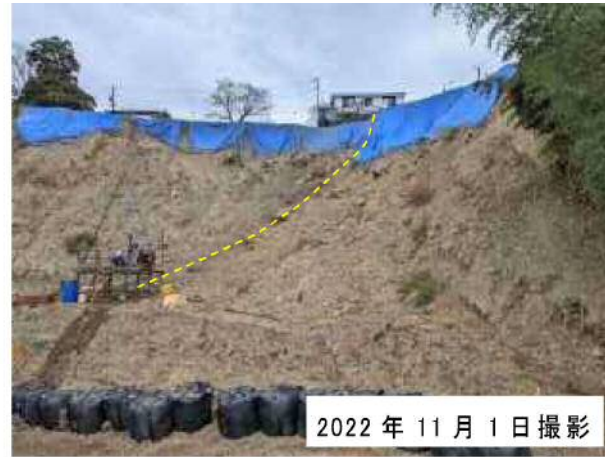


写真-4.3.1 主測線付近の斜面状況

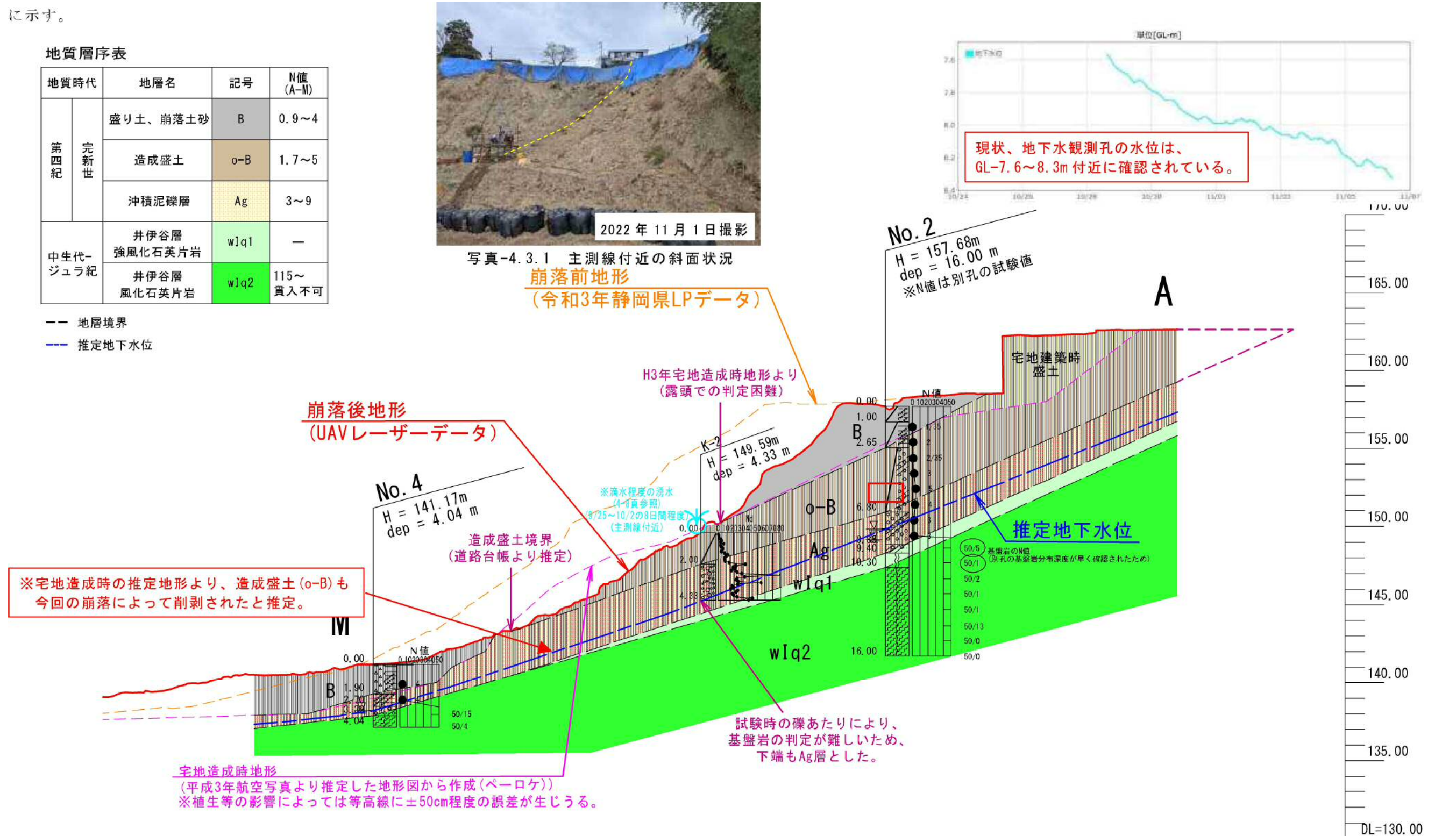
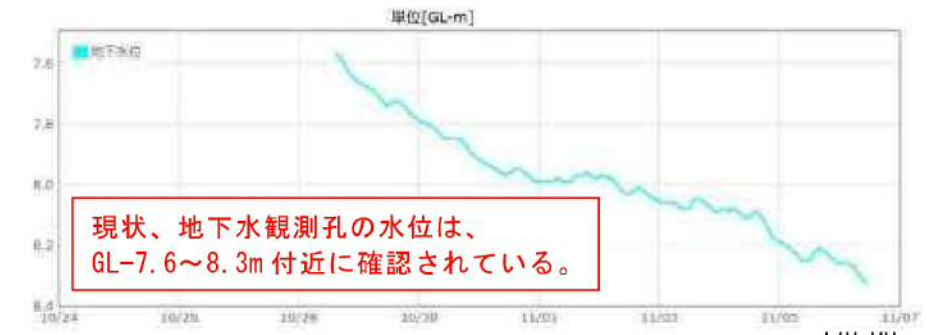
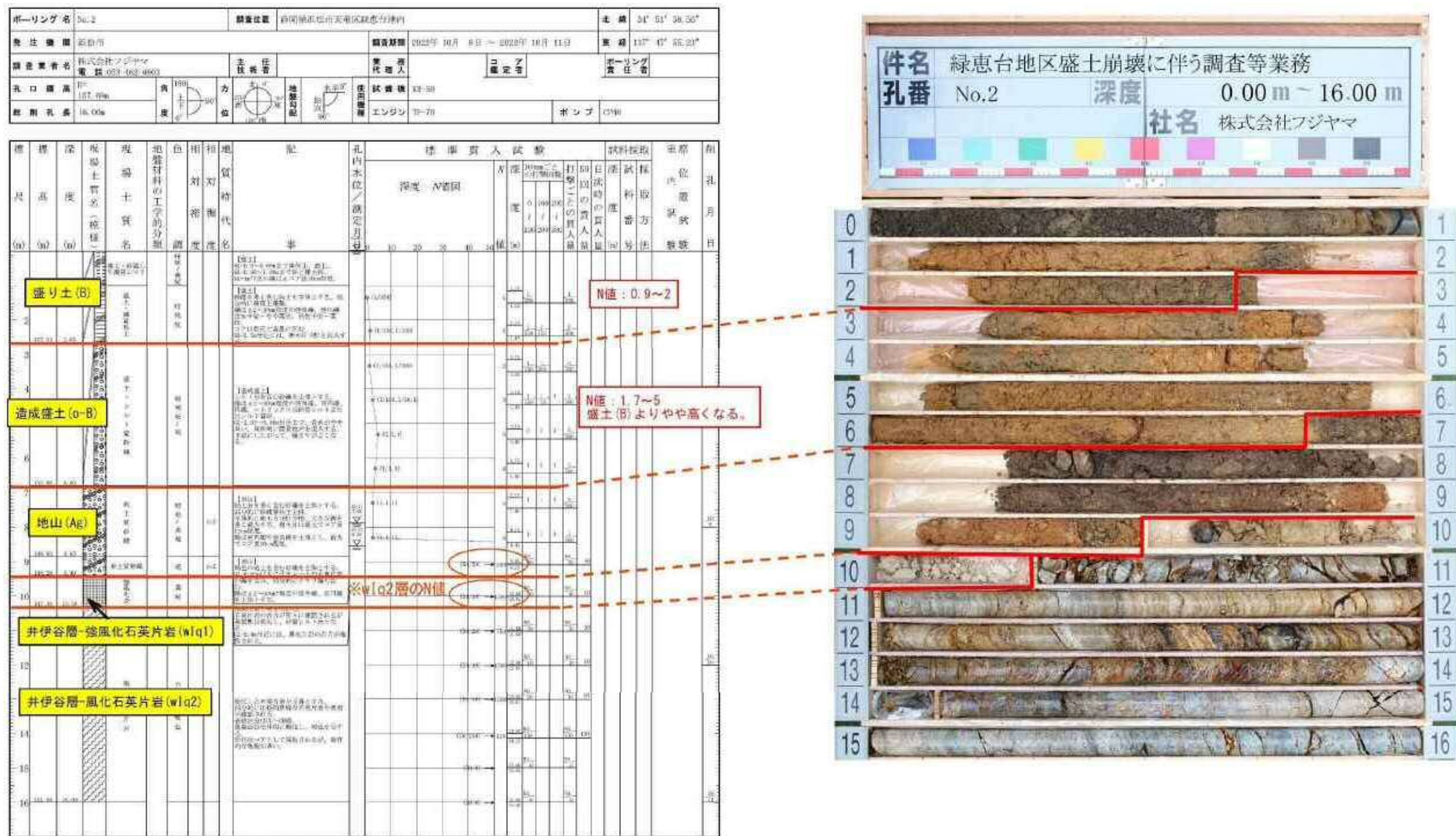


図-4.3.1 主測線 A-M の地層推定断面図 (S=1:250)

先述したように、No.2地点のボーリングコアの状況から、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の明瞭な境界は確認されないものの、①粘土分と礫分の比率、②N値、③平成3年の宅地造成時地形を踏まえて、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の地層境界はGL-2.65m付近と推定した(図-4.3.2参照)。盛り土(B)は比較的粘土分が多く、N値が0.9~2を示すのに対し、造成盛土(o-B)は比較的砂礫分が多く、N値は1.7~5を示す。

造成盛土(o-B)と地山(Ag)の地層境界は、造成盛土下端(GL-6.80m付近)がよく締固められていることや、地山(Ag)中には旧表土であった際に混入したと考えられる樹木片(枝)や根系があること等をもとに決定した。なお、今回の調査では、本孔でオールコアボーリングを実施し、別孔にて標準貫入試験を実施している。別孔は本孔から1m程度離隔を取った位置で掘削しているため、確認された地山(Ag)や基盤岩(wIq1, wIq2)のN値は不陸や谷筋の入り具合の影響により、本孔の深度(土層)と一致しない。



※N値は別孔の試験値であるため、地山(Ag)や基盤岩(wIq1, wIq2)の深度は不陸や谷筋の入り具合により、本孔の深度と一致しない。

図-4.3.2 No.2地点のボーリング柱状図、コア写真

No.2 地点については、先行して実施した $\phi 66\text{mm}$ のコア試料では盛り土(B)と造成盛土(o-B)の地層境界が不明瞭であったため、 $\phi 86\text{mm}$ (No.2'別孔)にて再度コア試料を採取し、地層境界推定のための補足資料とした。なお、先述したように、別孔で確認された地山(Ag)や基盤岩(wIq1, wIq2)の深度は不陸や谷筋の入り具合の影響により、本孔よりもやや浅い深度に確認されている。



図-4.3.3 No.2の比較コア写真(本孔($\phi 66$),別孔($\phi 86$))

No.4 地点のボーリングコアの状況から、盛り土(B) (盛り土もしくは崩落土砂)と地山(Ag)との地層境界は GL-1.90m 付近と考えられる(図-4.1.5 参照)。なお、調査位置平面図(図-4.1.1)に示した造成盛土の範囲(道路台帳図を参考)から、No.4 地点には造成盛土(o-B)が分布しないものと判断した。

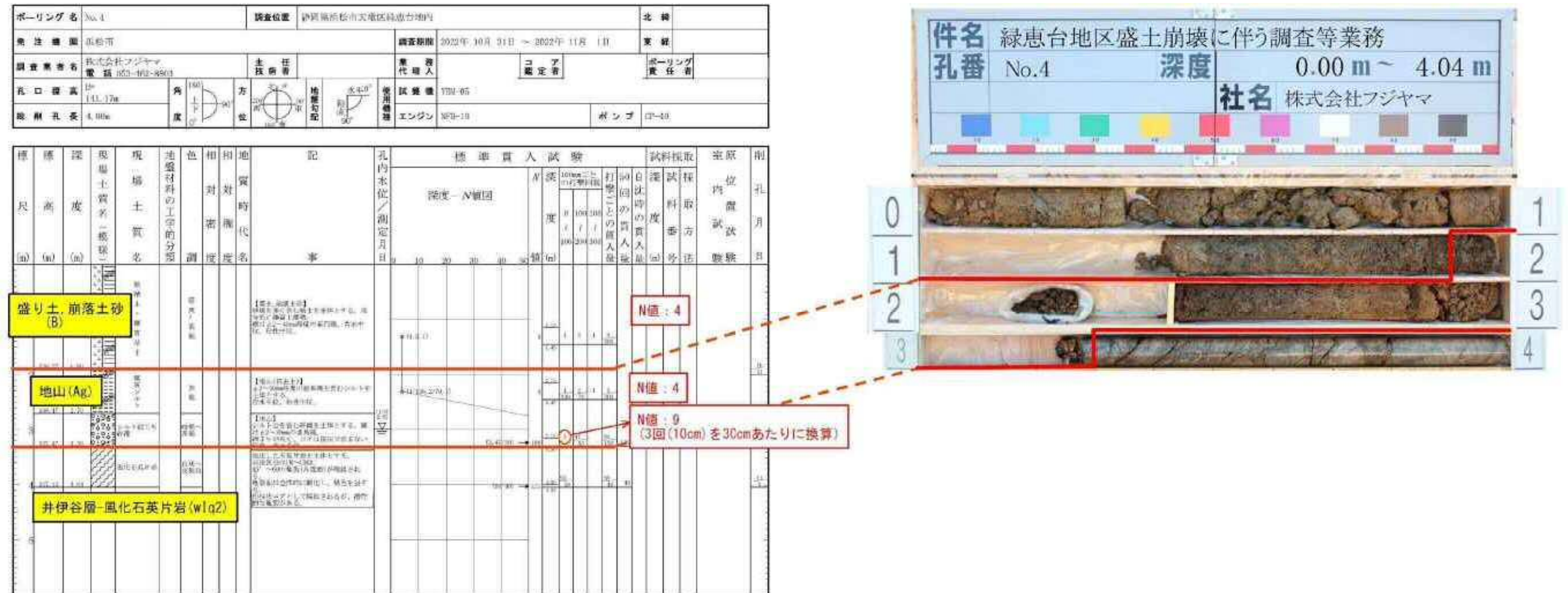


図-4.3.4 No.4 地点のボーリング柱状図、コア写真

ボーリング掘進中における孔内水位の測定にあたり、掘削当初は無水掘削を原則とし、初期水位(≒自然水位)の把握に努めた。その後、ケーシングの挿入や地山・岩盤の掘削時には送水掘削に切り替え、作業終了後には作業後水位を記録した。さらに翌朝には作業前水位を記録した後、孔内水位を低下させ孔内水位の回復状況を確認した。これらの計測水位と表-4.3.1の掘進中の裸孔区間における水理地質(地下水の有無や地盤の透水性)をもとに、地下水位を推定した。

表-4.3.1 孔内水位変化による水理地質区分の判定

孔内水位の状況	模式的概念図	判定分類	水位変化と判定
①作業前水位より作業後水位が上昇し、作業後水位と翌日水位がかわらない、ないしはわずかに低下している。		不透水層 あるいは 帯水層	◆水位が変化しない →変化なし (不透水層) □水位が上昇する →流入(帯水層) 翌日水位が水頭高となる。
②作業後水位に比べて、翌日水位が大きく低下している。 ③作業後水位に比べて、翌日水位の低下量は小さいが、作業前水位に比べて作業後水位が大きく低下している。		漏水層 あるいは 帯水層	◆水位が変化しない →漏水(漏水層) □水位が上昇する →流入(帯水層) 翌日水位が水頭高となる。
④作業後水位および、あるいは翌日水位がほぼ孔底まで低下している。		漏水層	全漏水
⑤作業後水位に比べて、翌日水位が上昇している。 ⑥①～③で数ステップ間にわたり翌日水位がほぼ一定となる。 翌日水位が水頭高となる。		帯水層	□水位が上昇する →流入(帯水層) ◆水位が変化せず、 ⑤は上昇量が非常に 小さい →変化なし (不透水層)

「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究(上木研究所他)」巻末 1-35 加筆

No.2 地点と No.4 地点における掘削中の孔内水位変動図を図-4.3.5 と図-4.3.6 に示す。

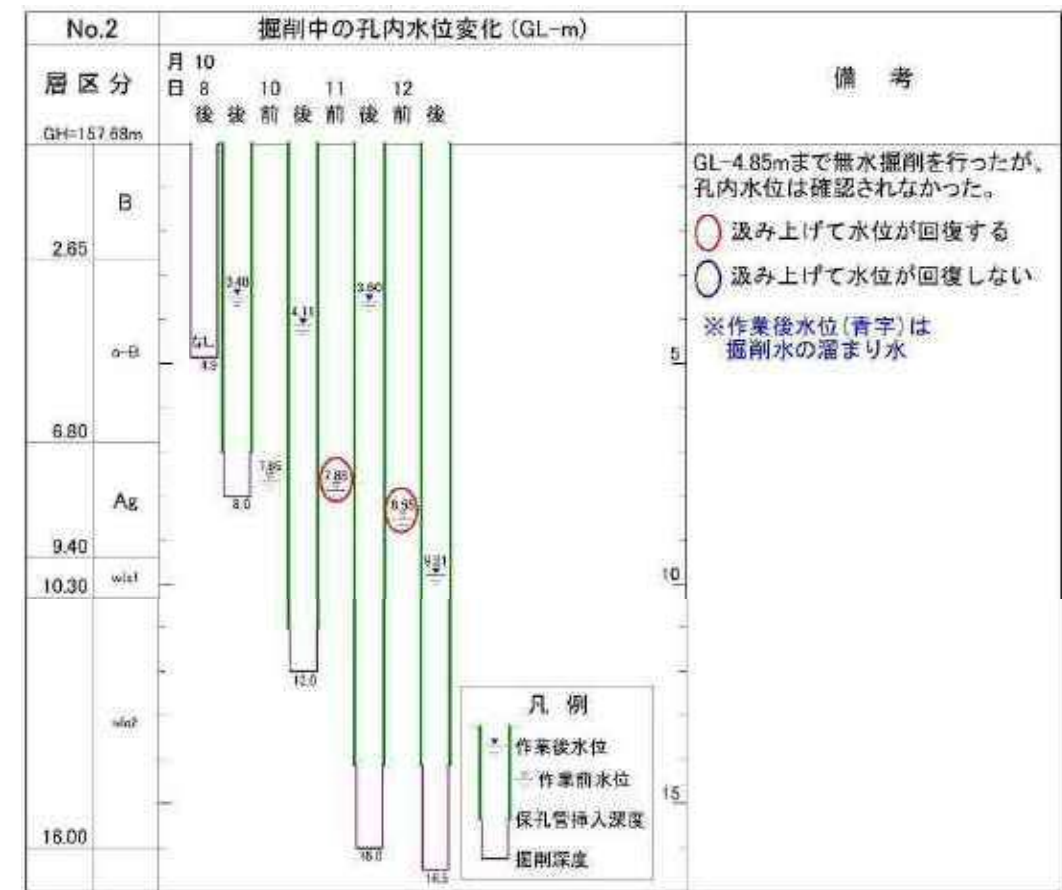


図-4.3.5 No.2 地点の掘削中の孔内水位変動図

No.2 地点では、GL-4.85m まで無水掘削を行ったが、初期水位は確認できなかったことから、地下水位は GL-4.85m 以深と考えられる。その後、送水掘削に切り替え、10月8日は GL-8.0m まで掘削し、作業後水位は GL-3.48m に確認された。翌々日の10月10日の作業前水位は GL-7.65m に確認された。孔内水位の汲み上げはできなかったが、2日後の水位であることから、比較的安定した水位であると考えられる。以降の孔内水位は、送水掘削を伴う岩盤内で確認された水位であるが、作業前水位は GL-8m 付近に確認されていた。

以上の孔内水位変動から、No.2 地点の地下水位を GL-7.65m と推定した。



図-4.3.6 No.4地点の掘削中の孔内水位変動図

No.4地点では、GL-3.00mまで無水掘削を行った際にGL-2.99mに初期水位を確認した。よって、No.4地点の地下水位をGL-2.99mと推定した。

なお、崩落斜面では、滴水(染み出し)程度の湧水が崩落翌日から3日間程度(9/25~9/27)にわたって3箇所を確認された(図-4.1.1参照)。その後は、中央部の1箇所からのみ湧水が確認され、湧水量は徐々に減少し、収束した(9/25~10/2の8日間程度)。



写真-4.3.2 2022/9/25(崩落翌日)の斜面状況



写真-4.3.3
2022/9/27の湧水状況
(中央部)



写真-4.3.4
2022/10/1の湧水状況
(中央部)

(2) 副測線 B-M

No. 3 地点のボーリングコアの状況から、盛り土(B)と地山(Ag)との地層境界はGL-3.20m付近と考えられる。なお、調査位置平面図(図-4.1.1)に示した造成盛土の範囲(道路台帳図を参考)から、No. 3 地点には造成盛土(o-B)が分布しないものと判断した。地層推定断面図を図-4.3.7に示し、柱状図とコア写真を次頁の図-4.3.8に示す。

地質層序表

地質時代	地層名	記号	N値 (B-M)
第四紀 完新世	盛り土、崩落土砂	B	4~8
	造成盛土	o-B	—
	沖積泥礫層	Ag	9
中生代- ジュラ紀	井伊谷層 強風化石英片岩	wIq1	—
	井伊谷層 風化石英片岩	wIq2	282~ 貫入不可

— 地層境界
— 推定地下水位



写真-4.3.5 副測線 B-M 付近の斜面状況

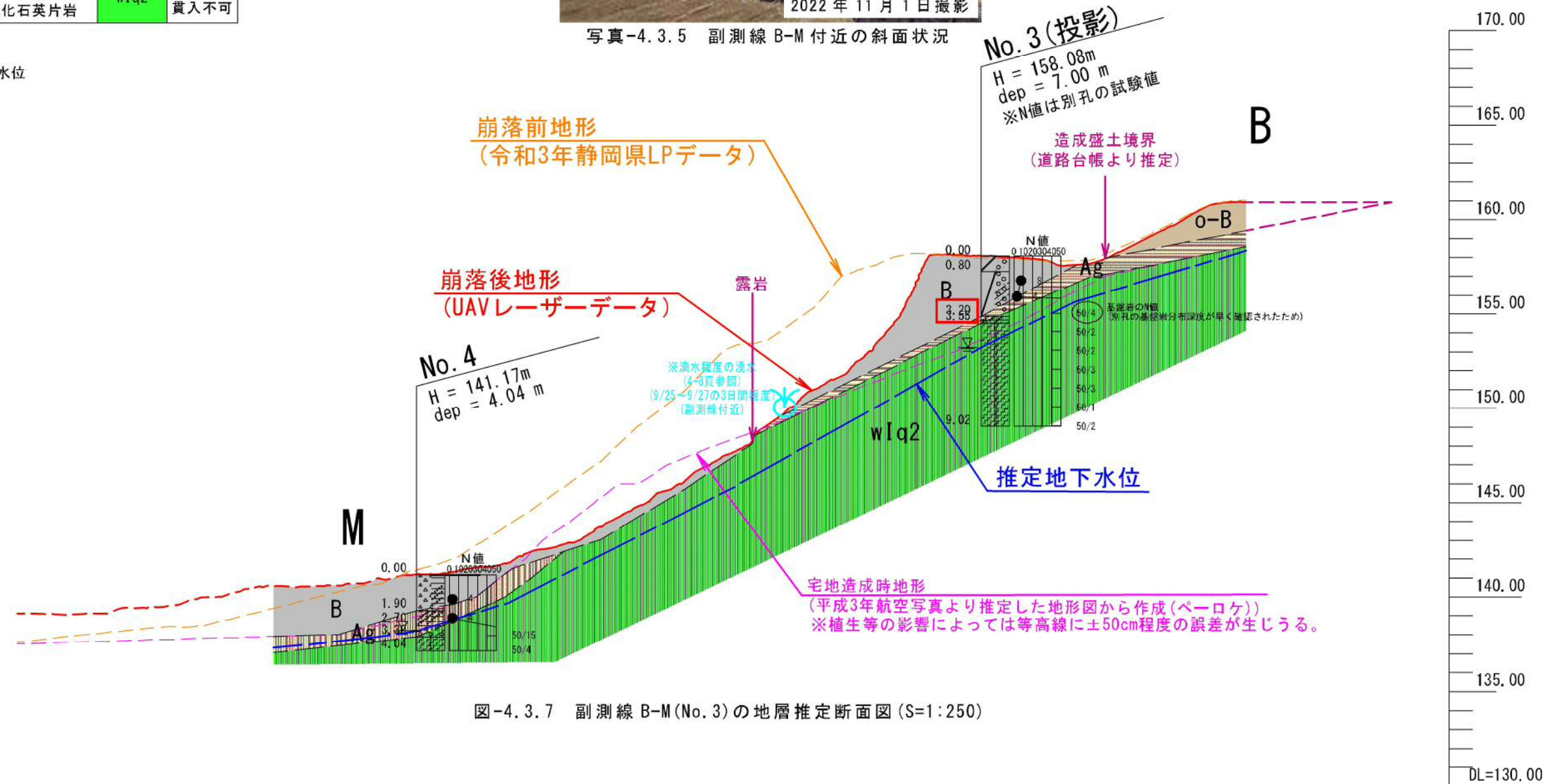
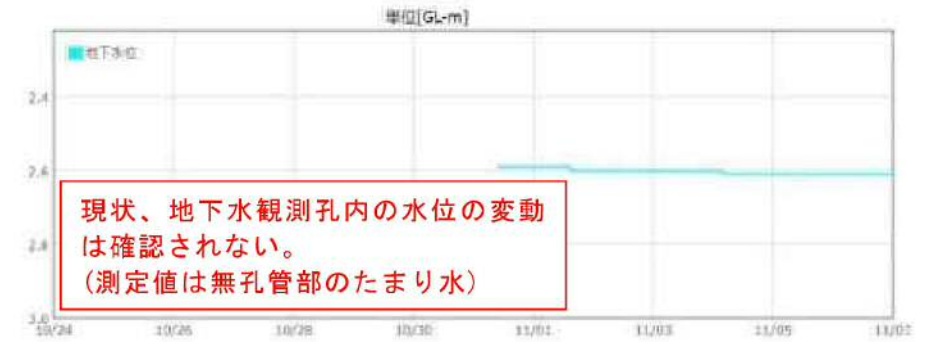


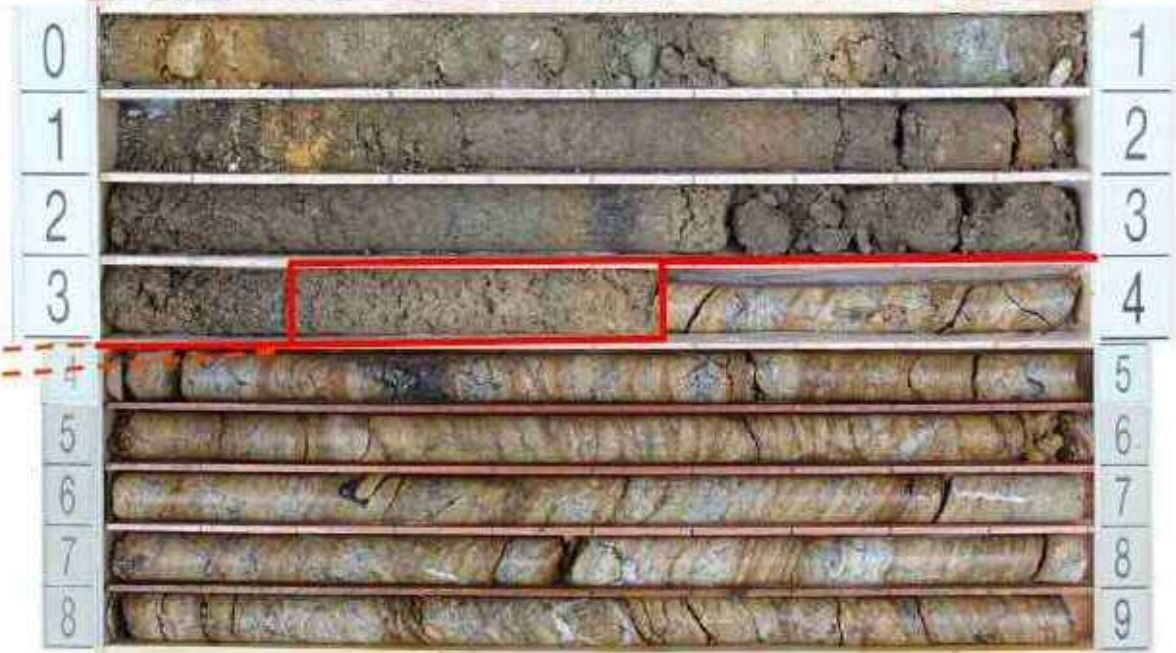
図-4.3.7 副測線 B-M (No. 3) の地層推定断面図 (S=1:250)

ボーリングコアの状況から、No.3 付近の盛り土(B)は亜円礫や亜角礫を含む砂礫を主体としており、地山(Ag)には旧表土であった際に混入したと考えられる木片(枝)や根系が確認されている。

ボーリング名	No.3	調査位置	静岡県浜松市天竜区緑恵台南内	北緯	
実施機関	浜松市	調査期間	2022年10月22日～2022年10月24日	東経	
調査業者	株式会社フジヤマ 電話 053-462-8803	主技師		委託者	
代理店		代表者		ボーリング責任者	
ボーリング責任者		コアダテ			
ボーリング機	YPM-05	エンジン	NTD-10	ポンプ	CP-40
ボーリング機		エンジン		ポンプ	

件名 緑恵台地区盛土崩壊に伴う調査等業務
 孔番 No.3 深度 0.00 m ~ 9.02 m
 社名 株式会社フジヤマ

標高	深さ	現場土質名(概称)	地盤材料の工学的分類	色	相対密度	相対含水量	地質時代	記号	標準貫入試験		試料採取	試料位置	削孔月日
									深度-N値	N値			
10.00	0.00	盛り土(B)	シルト質砂	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	0.00	1
10.00	1.00	盛り土(B)	シルト質砂	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	1.00	2
10.00	2.00	盛り土(B)	シルト質砂	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	2.00	3
10.00	3.00	盛り土(B)	シルト質砂	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	3.00	4
10.00	4.00	地山(Ag)	シルト質砂	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	4.00	5
10.00	5.00	井伊谷層-風化石英片岩(w1q2)	風化石英片岩	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	5.00	6
10.00	6.00	井伊谷層-風化石英片岩(w1q2)	風化石英片岩	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	6.00	7
10.00	7.00	井伊谷層-風化石英片岩(w1q2)	風化石英片岩	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	7.00	8
10.00	8.00	井伊谷層-風化石英片岩(w1q2)	風化石英片岩	黄褐色	100	20	Q1	Q1	0	100	100	8.00	9



※N値は別孔の試験値であるため、地山(Ag)や基盤岩(w1q1, w1q2)の深度は不陸や谷筋の入り具合により、本孔の深度と一致しない。

図-4.3.8 No.1地点のボーリング柱状図、コア写真

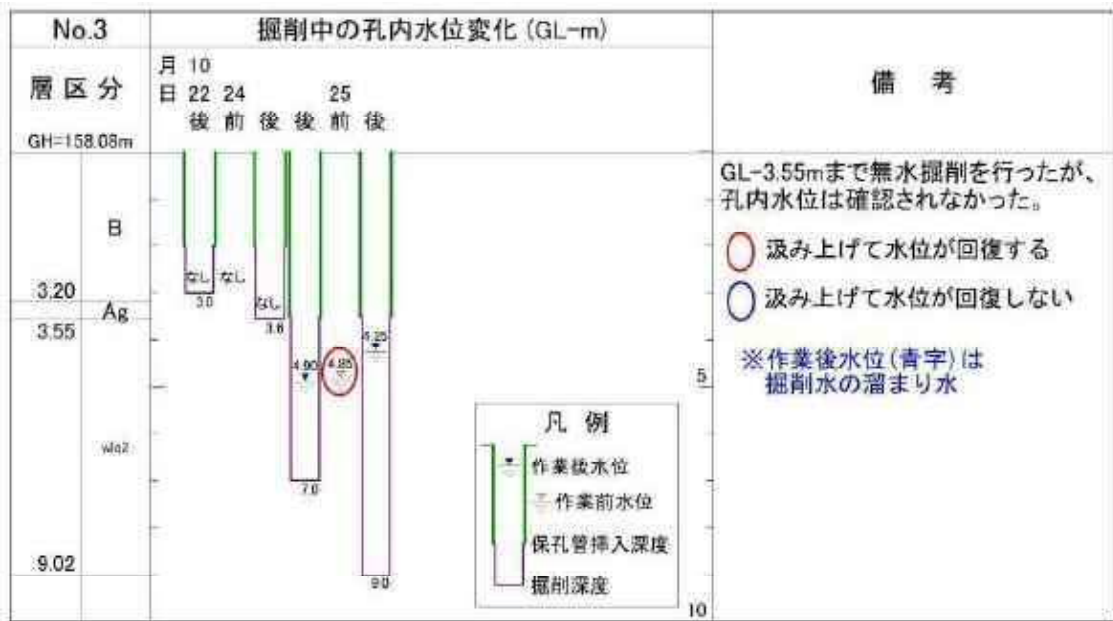


図-4.3.9 No.3地点の掘削中の孔内水位変動図

No.3地点では、GL-3.55mまで無水掘削を行ったが、初期水位は確認できなかったことから、地下水位はGL-3.55m以深と考えられる。その後、送水掘削に切り替え、10月24日はGL-7.0mまで掘削し、作業後水位はGL-4.90mに確認された。翌日の10月25日の作業前水位はGL-4.85mに確認され、孔内水の汲み上げ後に水位の回復が確認された。

以上の孔内水位変動から、No.3地点の地下水位をGL-4.85mと推定した。

(3) 副測線 C-M

No.1 地点のボーリングコアの状況から、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の明瞭な境界は確認されないものの、①粘土分と礫分の比率、②N値、③平成3年の宅地造成時地形を踏まえて、地層境界はGL-3.00m付近と推定した。地層推定断面図を図-4.3.10に示し、柱状図とコア写真を次頁の図-4.3.11に示す。

地質層序表

地質時代	地層名	記号	N値 (C-M)
第四紀 完新世	盛り土、崩落土砂	B	2~4
	造成盛土	o-B	6~10
	沖積泥礫層	Ag	3~9
中生代- ジュラ紀	井伊谷層 強風化石英片岩	wIq1	—
	井伊谷層 風化石英片岩	wIq2	136~ 貫入不可

-- 地層境界
— 推定地下水位



写真-4.3.6 副測線 C-M 付近の斜面状況

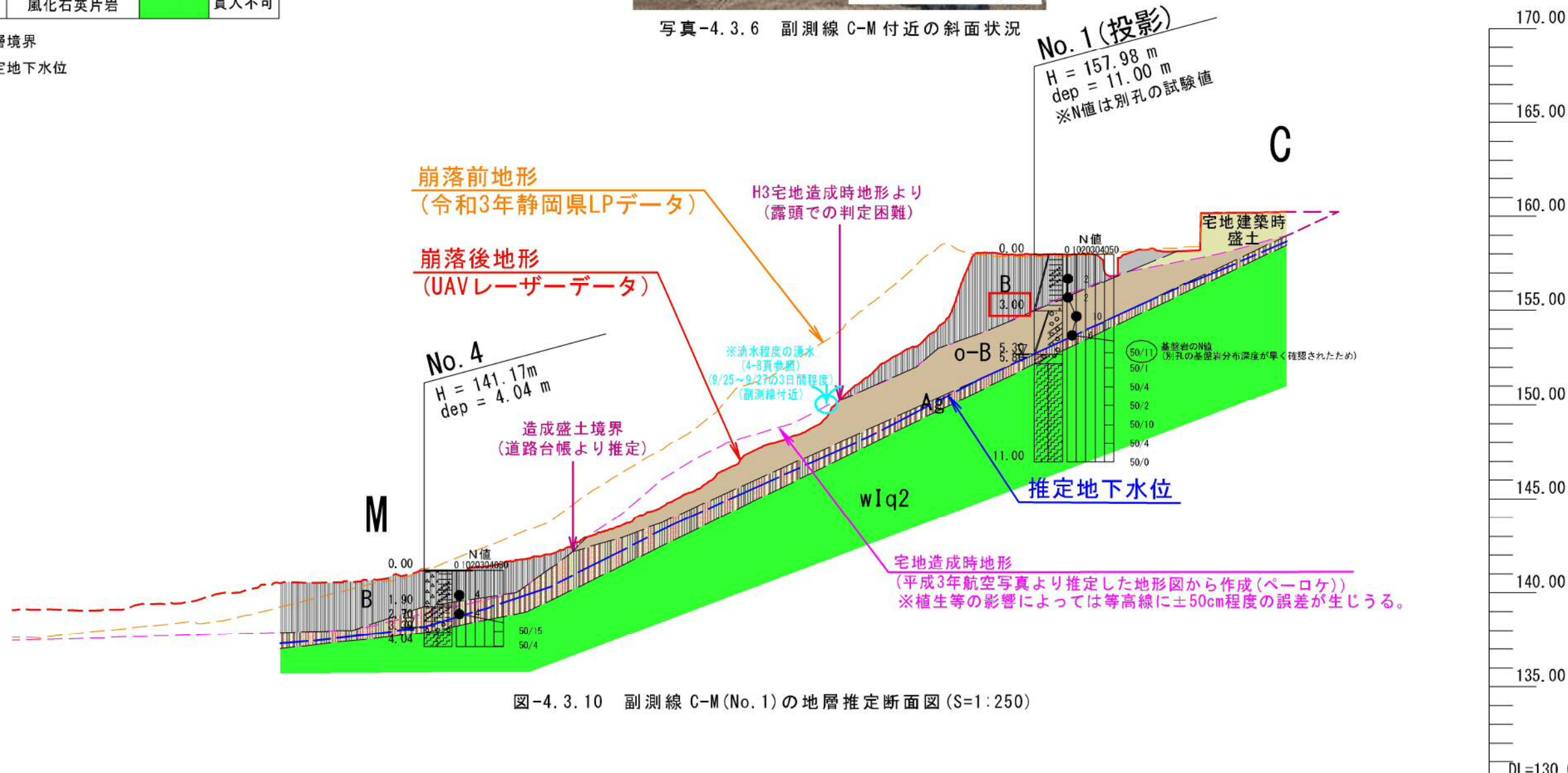
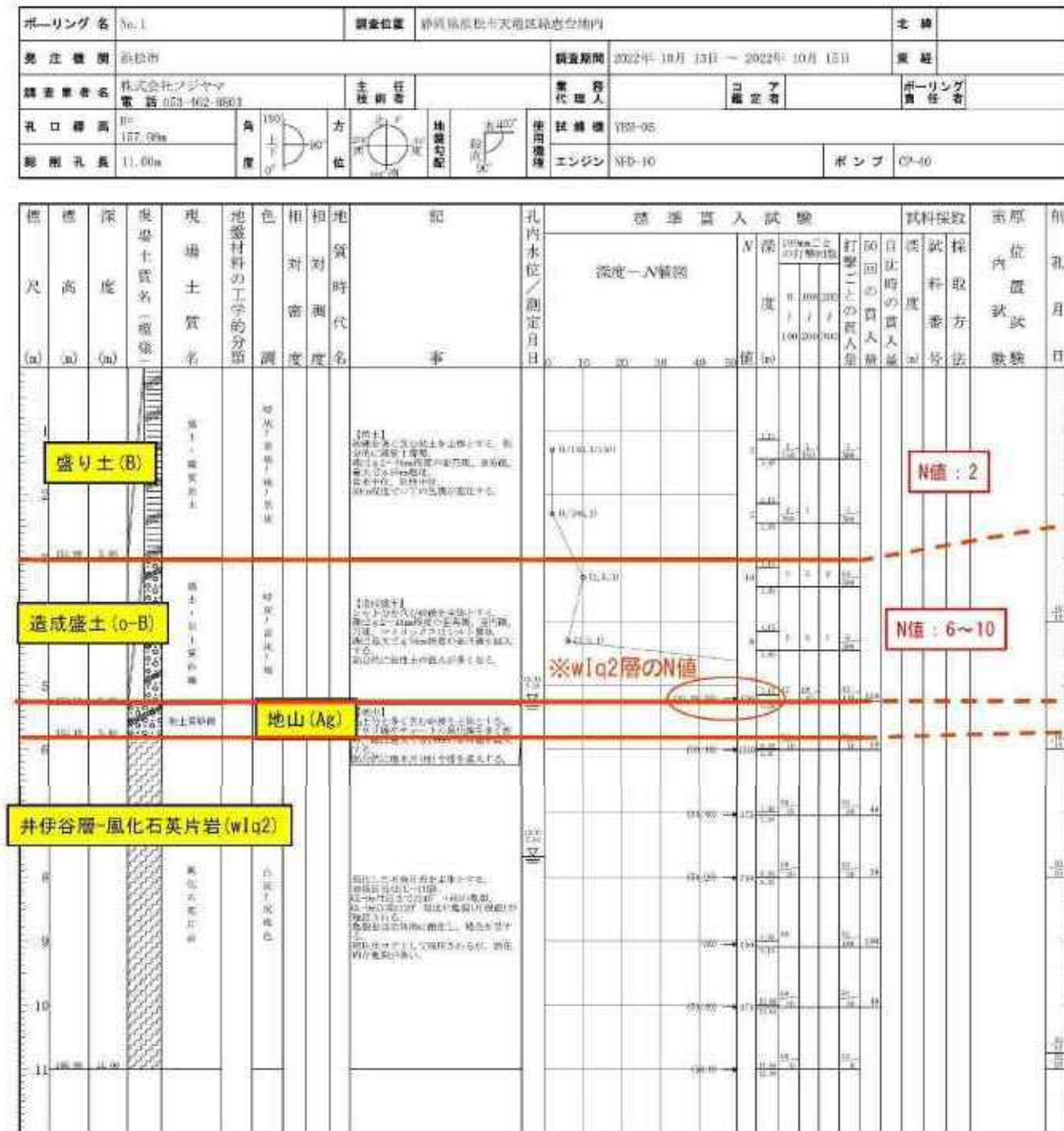


図-4.3.10 副測線 C-M (No.1) の地層推定断面図 (S=1:250)

先述したように、No.1地点のボーリングコアの状況からは、盛り土(B)と造成盛土(o-B)の明瞭な境界は確認されないものの、①粘土分と礫分の比率、②N値、③平成3年の宅地造成時地形を踏まえて、地層境界はGL-3.00m付近と推定した。盛り土(B)は比較的粘土分が多く、N値が2を示すのに対し、造成盛土(o-B)は比較的砂礫分が多く、N値は6~10を示す。造成盛土(o-B)と地山(Ag)の地層境界は、地山(Ag)中には旧表土であった際に混入したと考えられる木片(枝)や根系があること等をもとに決定した。



※N値は別孔の試験値であるため、地山(Ag)や基盤岩(w1q1, w1q2)の深度は不陸や谷筋の入り具合により、本孔の深度と一致しない。

図-4.3.11 No.1地点のボーリング柱状図、コア写真

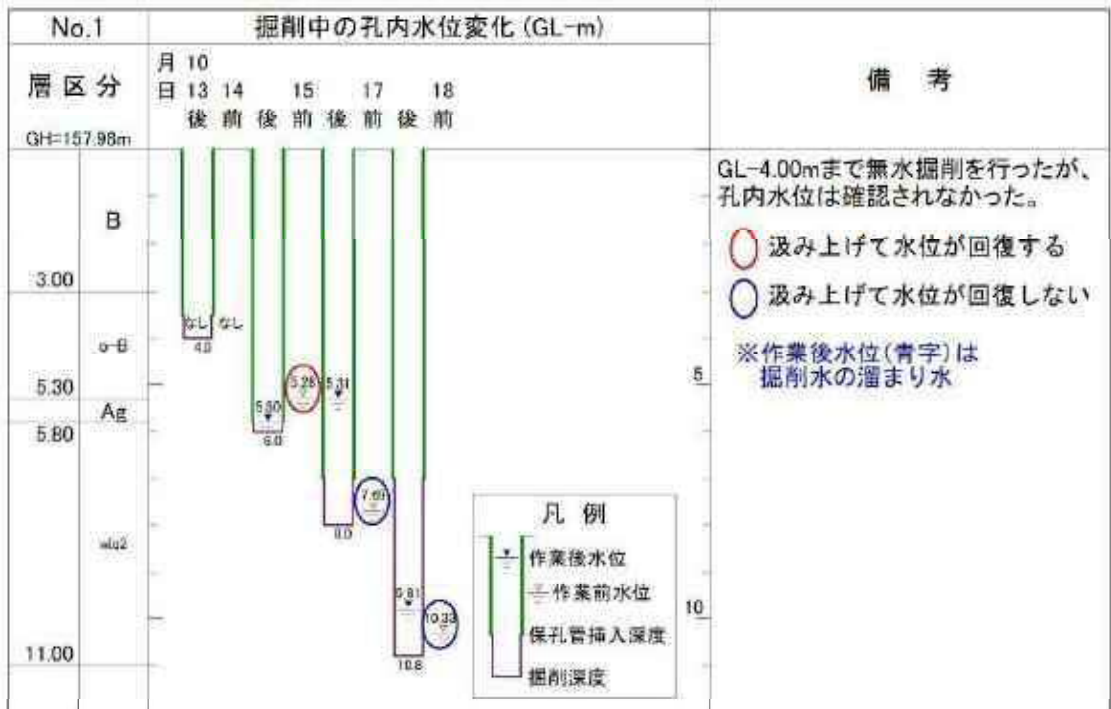


図-4.3.12 No.1地点の掘削中の孔内水位変動図

No.1地点では、GL-4.00mまで無水掘削を行ったが、初期水位は確認できなかったことから、地下水位はGL-4.00m以深と考えられる。その後、送水掘削に切り替え、10月14日はGL-6.0mまで掘削し、作業後水位はGL-5.80mに確認された。翌日の10月25日の作業前水位はGL-5.28mと上昇し、孔内水の汲み上げ後に水位の回復も確認された。以降の孔内水位は、送水掘削を伴う岩盤内で確認された水位であり、いずれの作業前水位も汲み上げ後の水位の回復は確認されない。

以上の孔内水位変動から、No.1地点の地下水位をGL-5.28mと推定した。

(4) 東側側部 E-E'

崩落斜面の東側側部(E-E')は耕作地として使用するため過去に盛り土がされており、現状、斜面の上部は40°程度の急勾配をなし、崩落の危険性がある。したがって、崩落斜面と同様に、盛り土(B)の層厚確認を目的として、斜面上部の平地部と法肩部の2箇所で簡易動的コーン貫入試験を実施した。調査の結果、法肩部には、部分的に層厚3m程度の緩い盛り土層が堆積しているものと考えられる。また、調査の結果と現地の地形状況から、盛り土(B)下部にはAg層もしくはwIq2層が分布していると推定した。

地質層序表

地質時代		地層名	記号	N値
第四紀	完新世	盛り土、崩落土砂	B	0.9~8
		造成盛土	o-B	1.7~10
		沖積泥礫層	Ag	3~9
中生代-ジュラ紀		井伊谷層 強風化石英片岩	wIq1	—
		井伊谷層 風化石英片岩	wIq2	136~ 貫入不可

— 地層境界
- - - 推定地下水位

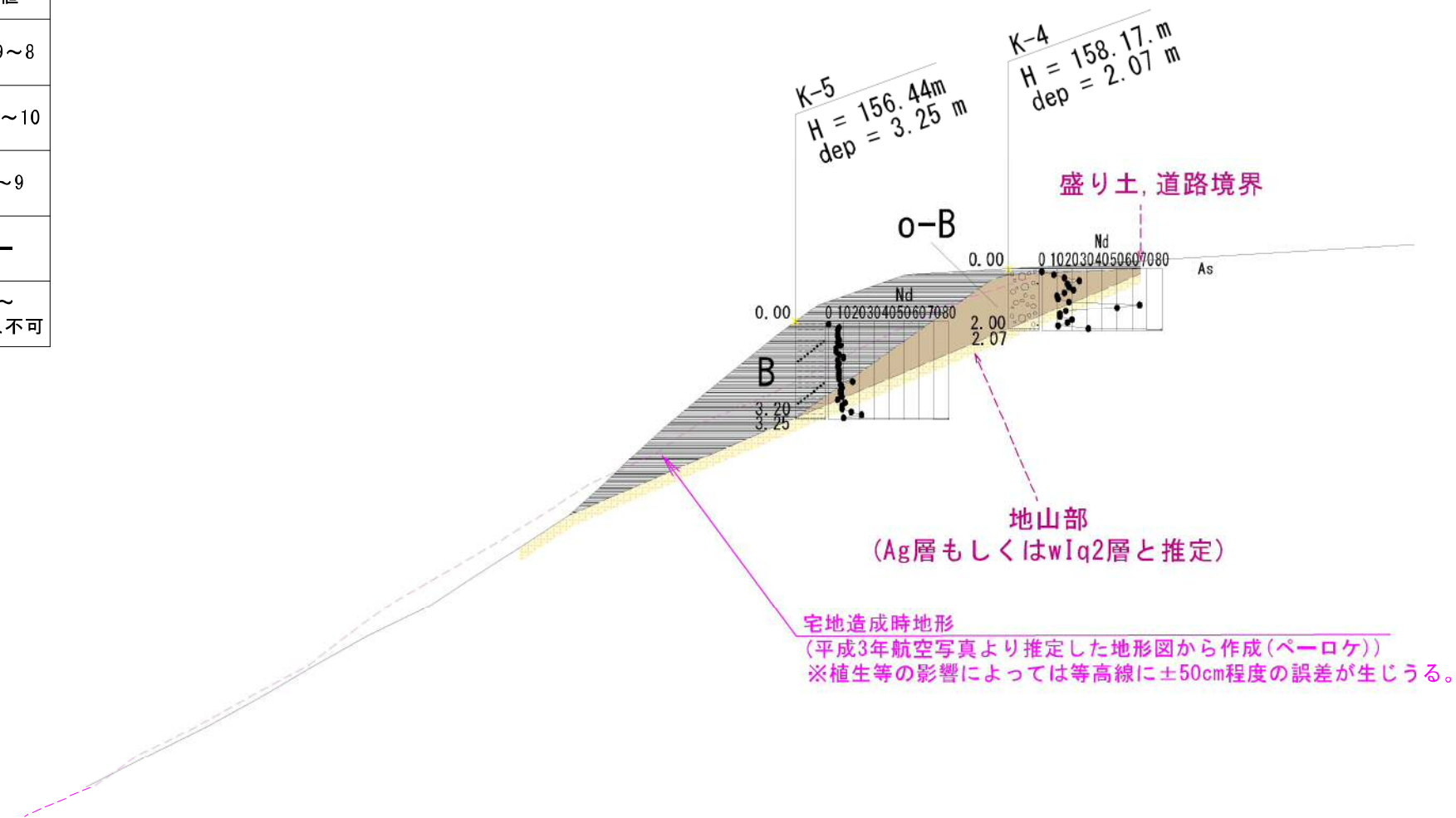


図-4.3.13 東側側部(E-E')の地層推定断面図(S=1:250)

4-4 室内土質試験結果

B層(盛り土)とo-B層(造成盛土)について、“7-1-2 盛り土除去後の斜面評価”で後述する斜面安定解析に用いる地盤定数の算出のため、室内土質試験を実施し、物理特性と力学特性を調査した。

当該地は集水地形を呈しており、その中央部である主測線付近は、先述したボーリング調査結果より基盤岩の分布深度が最も深く、危険側の断面となる。よって、室内土質試験で使用する試料は、図-4.4.1～図-4.4.2のようにB層(盛り土)は主測線 A-M 付近の崩落斜面から採取し、o-B層(造成盛土)は崩落斜面上での試料採取が困難であるため No.2 のボーリングコアを試験試料として使用する方針とした。なお、B層(盛り土)とo-B層(造成盛土)はいずれも不均質な土層であり、実施した土質試験もそれぞれ1試料のみであることから、試験結果の取扱いについては慎重に検討していく必要があると考える。



図-4.4.1 試料採取箇所

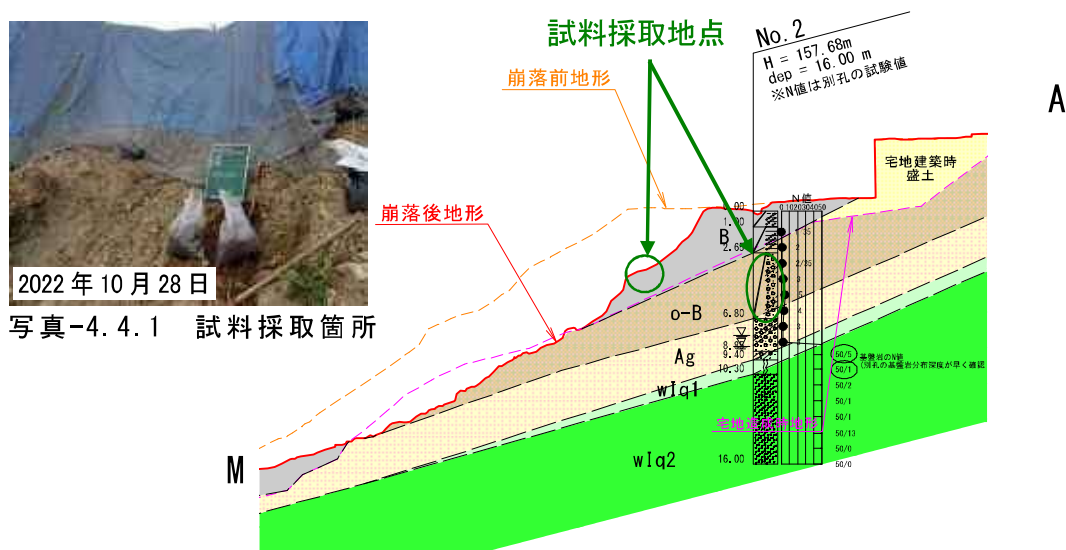


図-4.4.2 試料採取箇所(主測線 A-M)

(1) 物理特性

室内土質試験結果に基づく物性値を表-4.4.1に、粒径加積曲線図、三角座標および土質材料の工学的分類体系図を図-4.4.3～図-4.4.5に示す。

表-4.4.1 B層(盛り土), o-B層(造成盛土)の物性値

試料No.	土粒子の密度 (g/cm ³)	粒度			分類名 (分類記号)	液性限界 W _L (%)	塑性限界 W _p (%)	塑性指数 I _p	自然含水比 W _n (%)
		礫分 (%)	砂分 (%)	細粒分 (%)					
B層 (盛り土)	2.665	41.6	27.7	30.7	細粒分質砂質礫 (GFS)	39.9	21.1	18.8	15.6
o-B層 (造成盛土)	2.689	37.3	22.3	40.4	細粒分質砂質礫 (GFS)	46.8	22.4	24.4	19.6

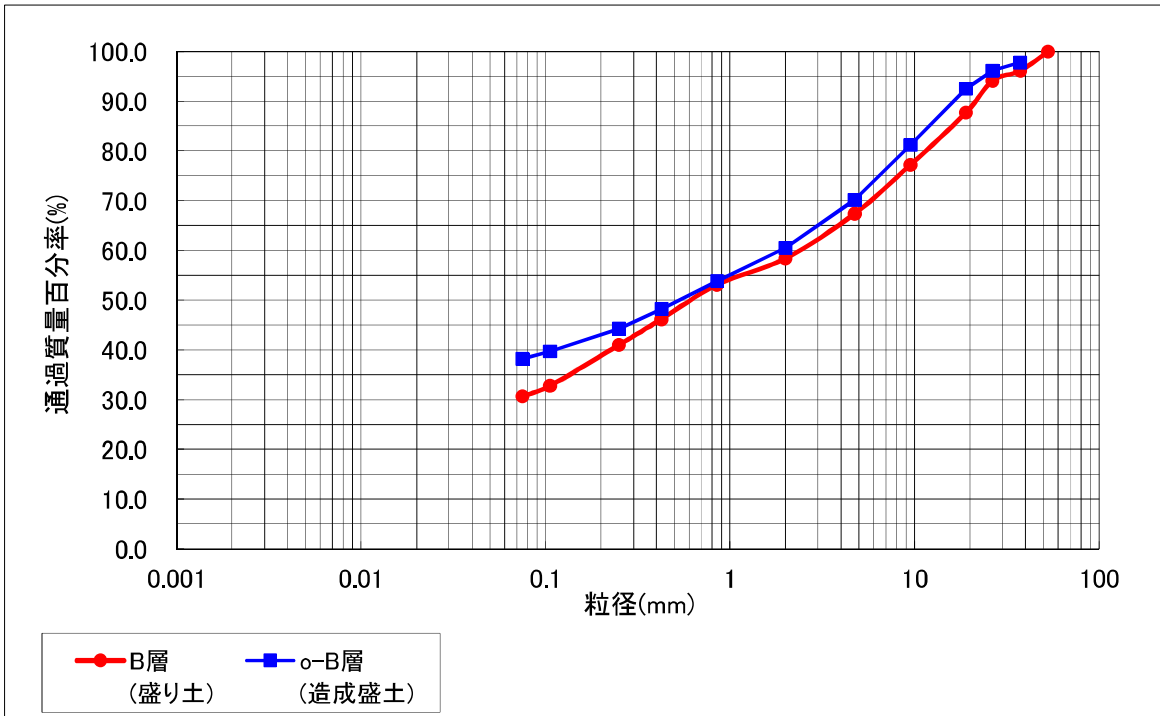


図-4.4.3 粒径加積曲線図

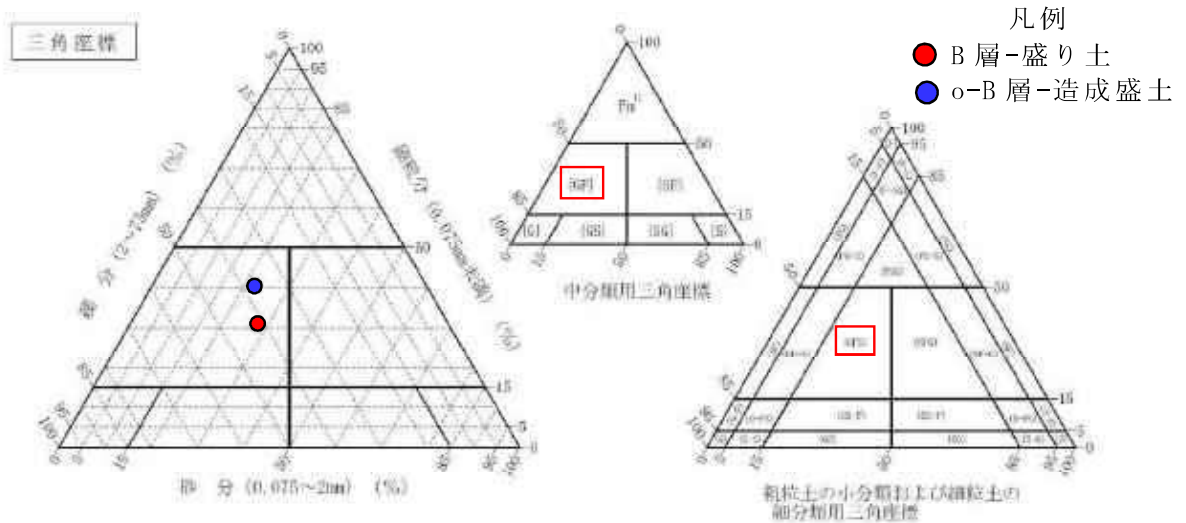
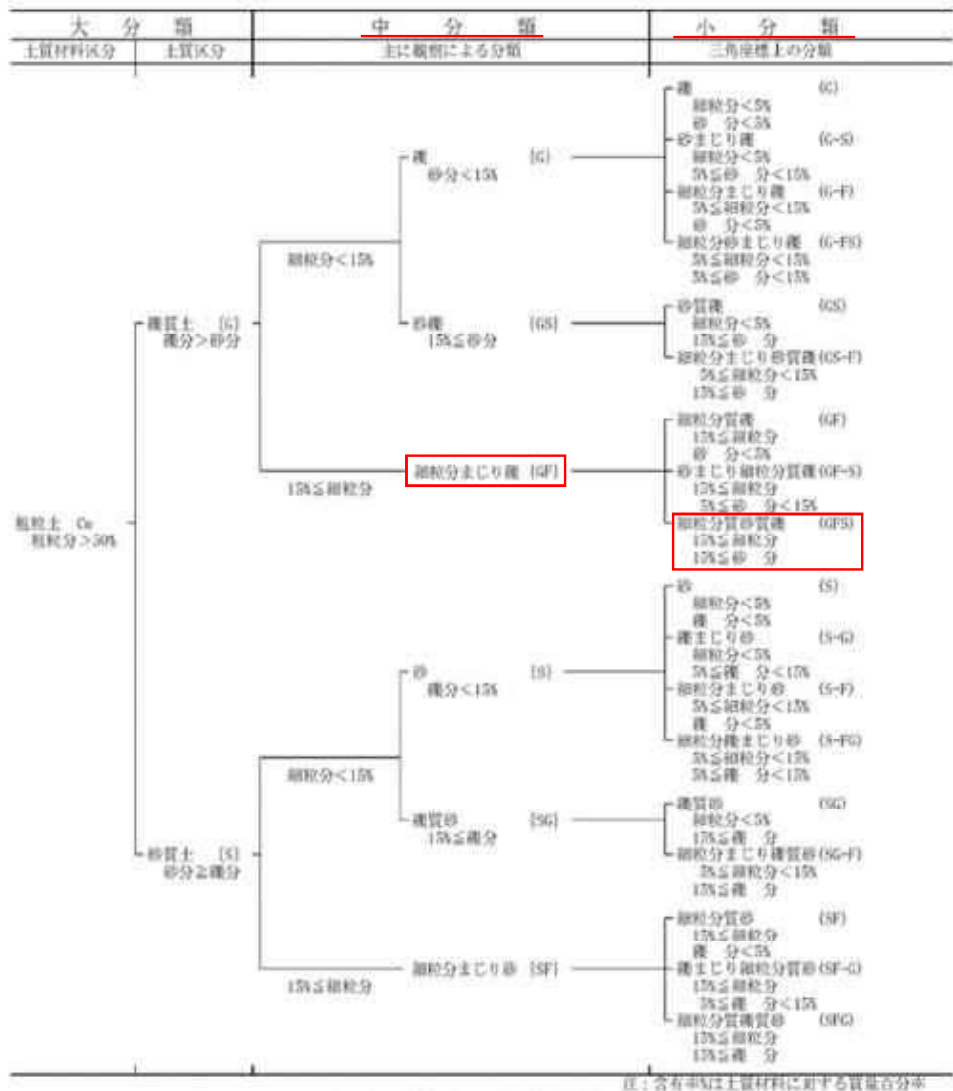


図-4.4.4 三角座標



(a) 粗粒土の工学的分類体系



(b) 主に細粒土の工学的分類体系

図-4.4.5 土質材料の工学的分類体系

(「地盤材料試験の方法と解説(地盤工学会)p.56」より)

図-4.4.3より、B層(盛り土)とo-B層(造成盛土)の粒径加積曲線は、比較的緩やかな曲線を描くことから、粒径幅の広い土であることがわかる。また、B層(盛り土)とo-B層(造成盛土)は、図-4.4.4と図-4.4.5よりいずれも細粒分質砂質礫(GFS)に分類され、比較的粘土分を多く混入する土層である。なお、表-4.4.2によると、B層(盛り土)とo-B層(造成盛土)は「第2a種」に区分される。

表-4.4.2 建設発生土の土質区分

区分 (国土交通省令) ^{※1}	細区分 ^{※2,3,4}	コーン 指数 qc ^{※5} kN/m ²	土質材料の工学的分類 ^{※6,7}		備考 ^{※8}		
			大分類	中分類 土質(記号)	含水比 (地山) w _c (%)	掘削 方法	
第1種建設発生土 (砂、礫及びこれらに準ずるもの)	第1種	—	粗質土	粗粒分まじり礫(GS)	—	*排水を考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、1ランク下の区分とする。	
			砂質土	砂(S) 細質砂(SG)	—		
	人工材料	改良土(Ⅱ)	—				
第2種建設発生土 (砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの)	第2a種	300 以上	粗質土	細粒分まじり礫(GFS)	—		*水中掘削等による場合は、1ランク下の区分とする。
	第2b種		砂質土	細粒分まじり砂(SF)	—		
	第2種改良土		人工材料	改良土(Ⅱ)	—		
第3種建設発生土 (通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの)	第3a種	400 以上	砂質土	細粒分まじり砂(SF)	—	*水中掘削等による場合は、1ランク下の区分とする。	
	第3b種		粘性土	シルト(BM)、粘土(CL)	40%程度以下		
	第3種改良土		火山灰質粘性土	火山灰質粘性土(Ⅳ)	—		
第4種建設発生土 (粘性土及びこれに準ずるもの(第3種建設発生土を除く))	第4a種	300 以上	砂質土	細粒分まじり砂(SF)	—		*水中掘削等による場合は、1ランク下の区分とする。
	第4b種		粘性土	シルト(BM)、粘土(CL)	40~60%程度		
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土(Ⅳ)	—		
	第4種改良土		有機質土	有機質土(Ⅲ)	40~60%程度		
泥土 ^{※9}	泥土a	200 未満	砂質土	細粒分まじり砂(SF)	—	*水中掘削等による場合は、1ランク下の区分とする。	
			粘性土	シルト(BM)、粘土(CL)	60%程度以上		
	泥土b		火山灰質粘性土	火山灰質粘性土(Ⅳ)	—		
			有機質土	有機質土(Ⅲ)	60%程度以上		
泥土c	—	高有機質土	高有機質土(Ⅳ)	—			

- ※1) 国土交通省令(建設発生土の処理等に関する事項を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令、平成13年3月25日 国土令30、建設業に關する事項を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令、平成13年3月25日 国土令46)において区分として第1種~第4種建設発生土が規定されている。
- ※2) この土質区分基準は工学的判別に基づく基準であり、発生土が産業廃棄物であるか否かを判断するものではない。
- ※3) 表中の第1種~第4種改良土は、土(泥土を含む)にセメントや石灰を混合し化学的安定処理したものである。例えば第3種改良土は、第4種建設発生土または泥土を安定処理し、コーン指数400kN/m²以上の性状に改良したものである。
- ※4) 含水比低下、粒径調整などの物理的な処理や高分子系や無機材料による水分の上への固定を主目的とした改良材による土質改良を行った場合は、改良土に分類されないため、処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。
- ※5) 所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーン penetrometer で測定したコーン指数(表3-4参照)。
- ※6) 前項(掘削)において発生土の区分を行う必要がある。コーン指数を求めるときに必要な試料を得られない場合には、土質材料の工学的分類体系(建設発生土学会)と参考値の含水比(地山)、掘削方法から概略の区分を推定し、掘削後所定の方法でコーン指数を測定して区分を決定する。
- ※7) 土質材料の工学的分類体系における最大粒径は75mmと定められているが、それ以上の粒径を含むものについても本基準を参照して区分し、適切に利用する。
- ※8) 砂及び礫と同等の品質が確保できているもの。
- ※9) ・港湾、河川等のしゅんせつに伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物ではない。(廃棄物の処理及び清掃に関する法律の施行について、昭和46年10月11日 環発43 厚生省通知)
・地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。(建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について、平成15年6月4日 環発第279 環境省通知)
・建設汚泥に該当するものについては、廃棄物処理法に定められた手続きにより利用が可能となり、その場合「建設汚泥処理土利用技術基準」(国交省令第50号、国交省令第137号、国交省令第41号、平成18年6月17日)を適用するものとする。

(「建設発生土利用技術マニュアル((一社)土木研究センター)p.105」より)

また、土粒子の密度は、表-4.4.1 のとおり B 層(盛り土)で $2.665(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、o-B 層(造成盛土)で $2.689(\text{g}/\text{cm}^3)$ と、表-4.4.3 の沖積砂質土の一般値の範囲内にある。

表-4.4.3 主な鉱物と土粒子の密度の例(嘉門・浅川に加筆修正)

鉱物名	密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	土質名	密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$
石英	2.6~2.7	豊浦砂	2.64
長石	2.5~2.8	<u>沖積砂質土</u>	<u>2.6~2.8</u>
雲母	2.7~3.2	沖積粘性土	2.50~2.75
角閃石	2.9~3.5	洪積砂質土	2.6~2.8
輝石	2.8~3.7	洪積粘性土	2.50~2.75
磁鉄鉱	5.1~5.2	泥炭(PEAT)	1.4~2.3
クロライト	2.6~3.0	関東ローム	2.7~3.0
イライト	2.6~2.7	まさ土	2.6~2.8
カオリナイト	2.5~2.7	しらす	1.8~2.4
モンモリロナイト	2.0~2.4	黒ぼく	2.3~2.6

B 層(盛り土)
o-B 層(造成盛土)

(「地盤材料試験の方法と解説(地盤工学会)」 p. 35)

以上のことから、B 層(盛り土)と o-B 層(造成盛土)は比較的類似した物理特性を示す。また、工学的分類のみに着目すると、斜面上に残る B 層(盛り土)と o-B 層(造成盛土)は表-4.4.2 の土質区分としては「第 2a 種」に区分される。

(2) 力学特性

力学特性の把握を目的とした三軸圧縮試験を実施し、モールの応力円と応力円に対する包絡線から、“7-1-2盛り土除去後の斜面評価”で後述する斜面安定解析に使用する C' （粘着力）及び ϕ' （せん断抵抗角）を設定した。

B層（盛り土）と o-B層（造成盛土）のいずれの供試体も、乱した試料をボーリングコアの平均湿潤密度に密度調整し、CU-bar 条件で三軸圧縮試験を実施した。供試体の密度調整のために測定した平均湿潤密度は、表-4.4.4～表-4.4.5 に示すとおり、B層は（盛り土） $\rho_t=1.98$ (g/cm³)、o-B層（造成盛土）は $\rho_t=2.05$ (g/cm³)である。

表-4.4.4 B層（盛り土）の湿潤密度の測定結果

地点名	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	平均値
深度	1.00～1.12m	1.12～1.23m	1.23～1.33m	1.33～1.43m	1.43～1.54m	1.54～1.65m	1.65～1.75m	1.75～1.90m		
湿潤密度 (g/cm ³)	2.009	2.135	2.065	1.897	1.937	1.891	1.950	1.978		1.983
単位体積重量 (kN/m ³)	19.71	20.94	20.25	18.60	18.99	18.55	19.13	19.40		19.45

表-4.4.5 o-B層（造成盛土）の湿潤密度の測定結果

地点名	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	No.2	平均値
深度	3.14～3.41m	5.30～5.36m	5.42～5.52m	5.52～5.63m	5.63～5.72m	5.72～5.91m	
湿潤密度 (g/cm ³)	2.027	2.045	2.056	2.056	2.042	2.093	2.053
単位体積重量 (kN/m ³)	19.88	20.06	20.16	20.16	20.03	20.52	20.13

三軸圧縮試験結果に基づく力学特性値を表-4.4.6に示し、モールの応力円と応力円に対する包絡線を図-4.4.6～図-4.4.7に示す。

表-4.4.6 力学特性値

試料No.	三軸圧縮試験(CU-bar)							
	供試体 No.	圧密応力 (kN/m ²)	圧縮強さ ($\sigma_a - \sigma_r$) _{max} (kN/m ²)	間隙水圧 u_f (kN/m ²)	有効軸方向応力 σ'_{af} (kN/m ²)	有効側方向応力 σ'_{rf} (kN/m ²)	粘着力 C' (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ' (°)
B層 (盛り土)	1	50	95.9	137.3	108.6	12.7	13.2	38.7
	2	100	153.2	171.2	182.0	28.8		
	3	150	202.9	205.2	247.7	44.8		
o-B層 (造成盛土)	1	50	124.8	132.7	142.1	17.3	14.9	39.4
	2	100	189.7	162.8	226.9	37.2		
	3	150	249.1	197.1	302.0	52.9		

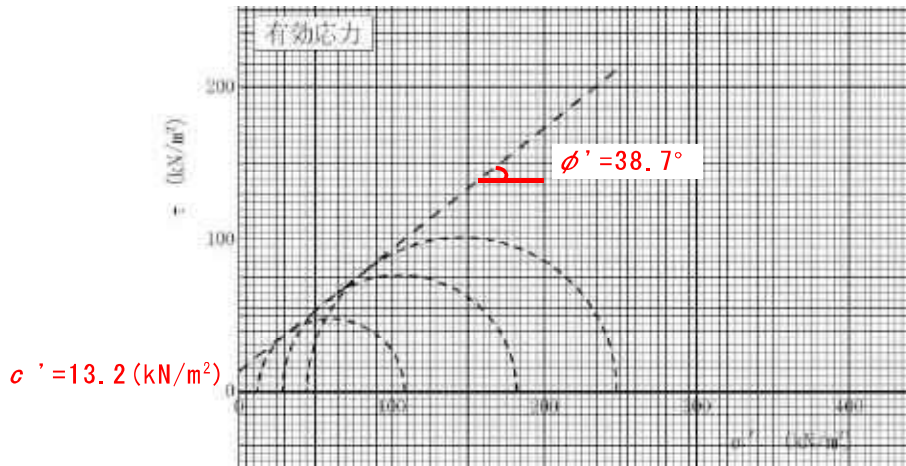


図-4.4.6 モールの応力円と応力円に対する包絡線(B層(盛り土))

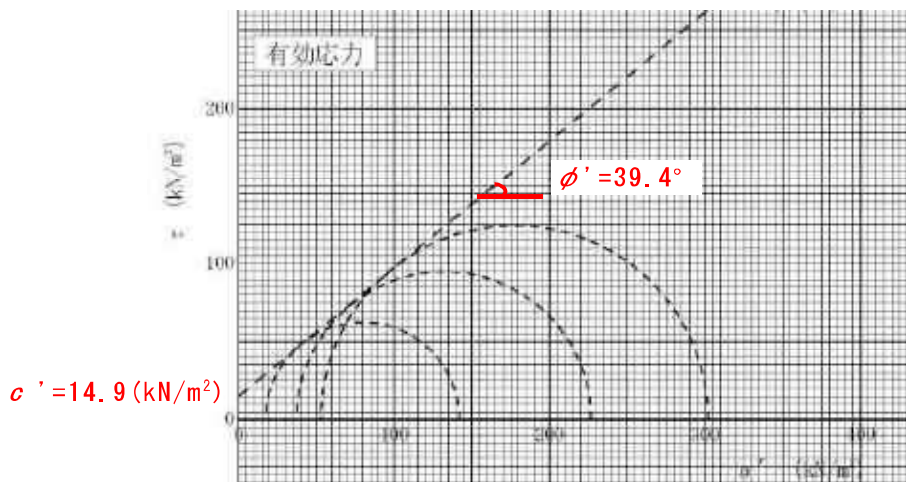


図-4.4.7 モールの応力円と応力円に対する包絡線(o-B層(造成盛土))

一般的にモールの応力円は、各供試体の圧密応力を起点として、圧縮強さ $((\sigma_a - \sigma_r)_{max})$ を直径とした円を描くことで作成される。なお、今回実施しているCU-bar試験(間隙水圧を測定)においては、表-4.4.6に記載した間隙水圧を考慮して求めた有効軸方向応力 (σ'_{af}) を起点として、有効側方向応力 (σ'_{rf}) を直径とした円を描くことで作成されている(図-4.4.6～図-4.4.7参照)。そして、3つのモール円に対する包絡線を描いた時の切片が c' (粘着力)、角度が ϕ' (せん断抵抗角)を示す。

試験の結果、表-4.4.6 のとおり B 層(盛り土)は粘着力 $c' = 13.2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$, せん断抵抗角 $\phi' = 38.7^\circ$ 、o-B 層(造成盛土)は $c' = 14.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$, せん断抵抗角 $\phi' = 39.4^\circ$ が得られた。得られた値と表-4.4.7 の「盛り土-礫および礫混じり砂」の仮定値を比較すると、粘着力は仮定値より大きな値を示し、せん断抵抗角は同等の値を示す。

表-4.4.7 設計時に用いる土質定数の仮定値

種類	状態	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	地盤工学会基準 ^{注2)}	
盛土	礫および礫 まじり砂	締め固めたもの	20	40	0	{G}
	砂	締め固めたもの	20	35	0	{S}
		粒径幅の広いもの の 分級されたもの	19	30	0	
	砂質土	締め固めたもの	19	25	30 以下	{S F}
	粘性土	締め固めたもの	18	15	50 以下	{M}, {C}
関東ローム	締め固めたもの	14	20	10 以下	{V}	
自然 地盤	礫	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	40	0	{G}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	35	0	
	礫まじり砂	密実なもの	21	40	0	{G}
		密実でないもの	19	35	0	
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
		密実でないものまたは分級されたもの	18	30	0	
	砂質土	密実なもの	19	30	30 以下	{S F}
		密実でないもの	17	25	0	
	粘性土	固いもの(指で強く押し多少へこむ) ^{注1)}	18	25	50 以下	{M}, {C}
		やや軟らかいもの(指の中程度の力で貫入) ^{注1)}	17	20	30 以下	
		軟らかいもの(指が容易に貫入) ^{注1)}	16	15	15 以下	
	粘土および シルト	固いもの(指で強く押し多少へこむ) ^{注1)}	17	20	50 以下	{M}, {C}
		やや軟らかいもの(指の中程度の力で貫入) ^{注1)}	16	15	30 以下	
関東ローム	軟らかいもの(指が容易に貫入) ^{注1)}	14	10	15 以下	{V}	
関東ローム		14	5(仮)	30 以下	{V}	

注1) : N値の目安は次のとおりである。

固いもの (N=8~15)、やや軟らかいもの (N=4~8)、軟らかいもの (N=2~4)

注2) ; 地盤工学会基準の記号は、およその目安である。

「道路土工 盛土工指針(平成22年度版)(日本道路協会)」 p.101

なお、表-4.4.7 の仮定値は、土質試験を行うことが困難な場合の参考値であり、粘着力は安全側に設定されている。

以上の室内土質試験結果を表-4.4.8に示す。なお、斜面安定解析の結果については“7. 残存盛り土対策”に記載する。

表-4.4.8 土質試験結果

試料番号		B層 (盛り土)	o-B層 (造成盛土)
粒度試験	礫分(2~75mm) (%)	41.6	37.3
	砂分(0.075~2mm) (%)	27.7	22.3
	シルト分(0.005~0.075mm) (%)	30.7	40.4
	粘土分(0.005mm未満) (%)		
	細粒分含有率 FC (%)	30.7	40.4
	最大粒径 (mm)	53	37.5
	均等係数 U_c	-	-
	曲率係数 U_c'	-	-
	D_{50} (mm)	0.6122	0.5317
	D_{20} (mm)	-	-
D_{10} (mm)	-	-	
コテン ンシ スI	液性限界 w_L (%)	39.9	46.8
	塑性限界 w_P (%)	21.1	22.4
	塑性指数 I_P	18.8	24.4
分類	分類記号	(GFS)	(GFS)
	地盤材料の分類名	細粒分質 砂質礫	細粒分質 砂質礫
自状態	土粒子の密度 (g/cm^3)	2.665	2.689
	自然含水比 w_n (%)	15.6	19.6
	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	1.98	2.05
	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	19.45	20.13
	間隙比 e	-	-
三軸	三軸試験条件	CU bar	CU bar
	粘着力 c' (kN/m^2)	13.2	14.9
	せん断抵抗角 ϕ' ($^\circ$)	38.7	39.4

5. 災害発生メカニズムの推定

5-1 災害発生の構造推定のための情報

(1) 盛り土の存在の経緯

昭和58年以降の空中写真により、崩落が生じた斜面周辺の地形の変遷を示す

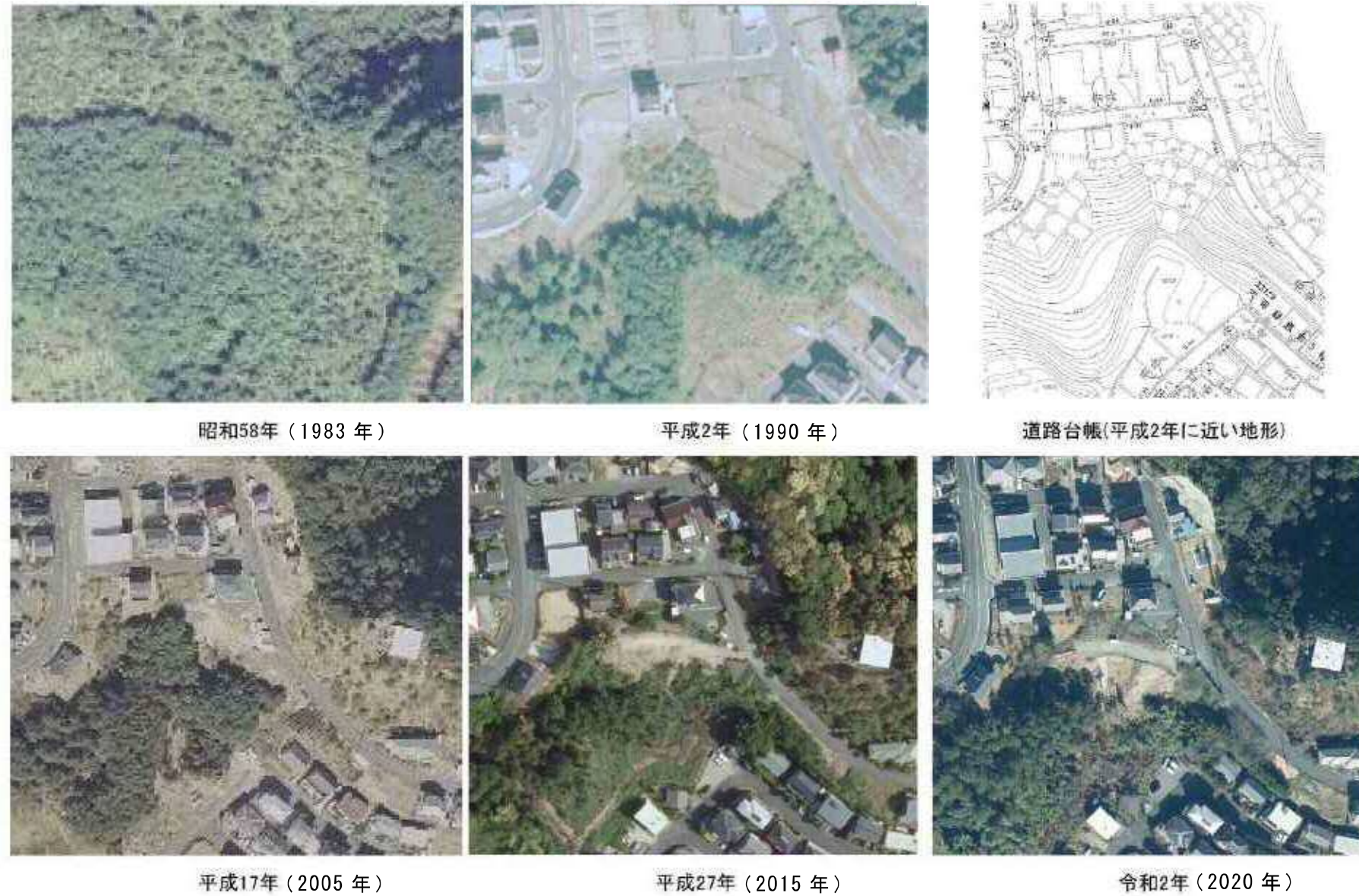


写真-5.1.1 崩落斜面周辺の地形の変遷

※国土地理院地図から引用

空中写真によると、平成2年頃住宅地が造成され平成17年頃まで顕著な地形の変化は確認されない。しかし、平成27年や令和2年の空中写真では、崩落地頭部に進入路らしきものが構築され、斜面には裸地が広がっていることから、斜面上に盛り土されていたと考えられる。

(2) 自然条件

緑恵台の近傍観測地点は静岡県が設置している「天竜観測所」(被災地からの直線距離・約 2km) 及び気象庁による「アメダス天竜観測所」(被災地からの直線距離・約 3km) がある。図 5.1.1 参照



図 5.1.1 緑恵台近傍の観測所位置図

天竜観測所では、時間最大雨量は2022年9月23～24日の60mm/hが最大であり、23日0時の降り始めから24日3時の降り終わりまでの累積雨量は292mmであった(図-5.1.2参照)。特に、21時から24時の4時間にかけて時間雨量40mm以上の激しい雨が降り続いた。

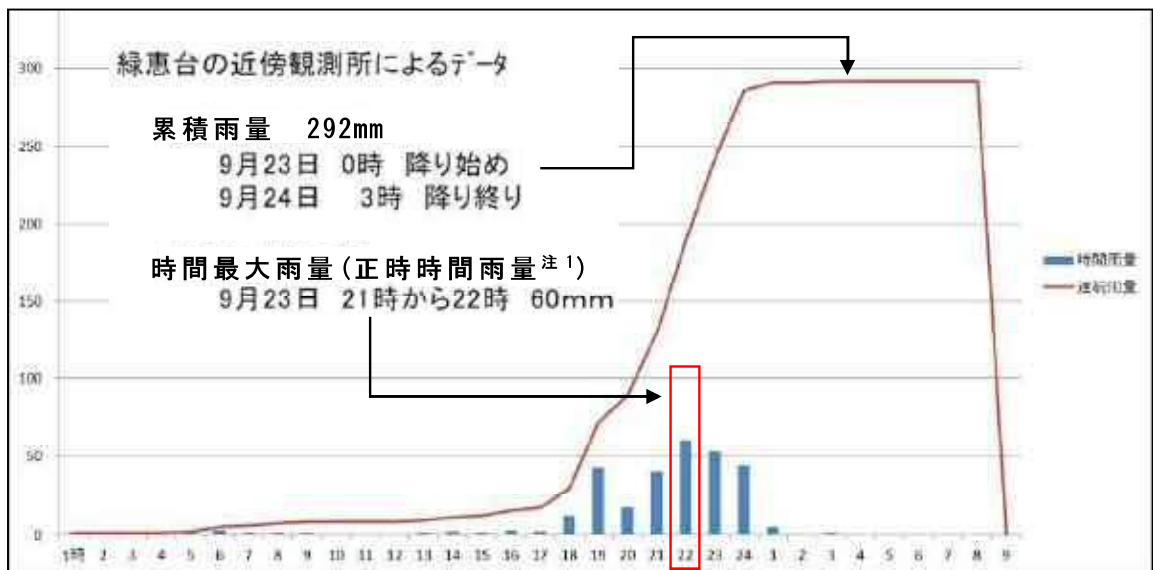


図-5.1.2 9月23～24日にかけての降雨量

データ取得可能なアメダス天竜観測所（被災地からの直線距離・約 3km）において、被災時の雨量と過去の雨量データとを比較するため、1976 年観測開始以降の各年における日降水量と日最大 1 時間降水量を表-5.1.1 に示す。

表-5.1.1 日降水量と日最大 1 時間降水量

年	降水量		年	降水量		年	降水量	
	日最大 (mm)	1時間最大 (mm)		日最大 (mm)	1時間最大 (mm)		日最大 (mm)	1時間最大 (mm)
1976	170	44	1988	179	50	2005	123	40
1977	111	41	1989	141	33	2006	122	60
1978	99	46	1990	164	70	2007	130	69
1979	177	30	1991	225	35	2008	(88.5)	(69.5)
1980	155	54	1992	103	34	2009	73	29
1981	125	42	1993	113	48	2010	132	29
1982	185	43	1994	129	65	2011	171	57
1983	243	48	1995	105	29	2012	148	64.5
1984	99	45	1996	145	33	2013	146	52
1985	98	30	1997	134	29	2014	147	60
1986	103	24	1998	134	60	2015	142.5	33
1987	137	43	1999	173	24	2016	90	55.5
			2000	125	59	2017	185	49.5
			2001	158	45	2018	173.5	46.5
			2002	97	33	2019	158	51
			2003	176	47	2020	154.5	34.5
			2004	136	75	2021	231.5	46
						2022	264.5	81.5

※最大日雨量 200mm 以上と時間雨量 70mm 以上を赤字で表記
 ※2003 年以降の時間雨量は正時間雨量ではない
 ※()内の値は参考値

1976 年の観測開始以降、2022 年の雨量が日降水量と日最大 1 時間降水量ともに最も大きな値を示しており、2022 年のデータはいずれも当該地の崩落が発生した 9 月 23 日に観測されたものである。

また、2019 年から 2022 年 9 月までの間、各年において時間最大雨量を観測した日の時間雨量(正時間雨量^{注1})を図-5.1.3 に示す。

比較した結果、2022 年 9 月 23～24 日の雨量は、降り始めから降り終わりまでの累積雨量が 280.5mm と最も多く、かつ時間最大雨量(正時間雨量^{注1})についても 64mm/h と 2019 年から 2022 年の最大値を記録している。また、30mm/h 以上の雨が 4 時間続くなど、短時間に激しい雨が集中して降ったことも特徴的である。

注 1：毎時 00 分を起点にした雨量

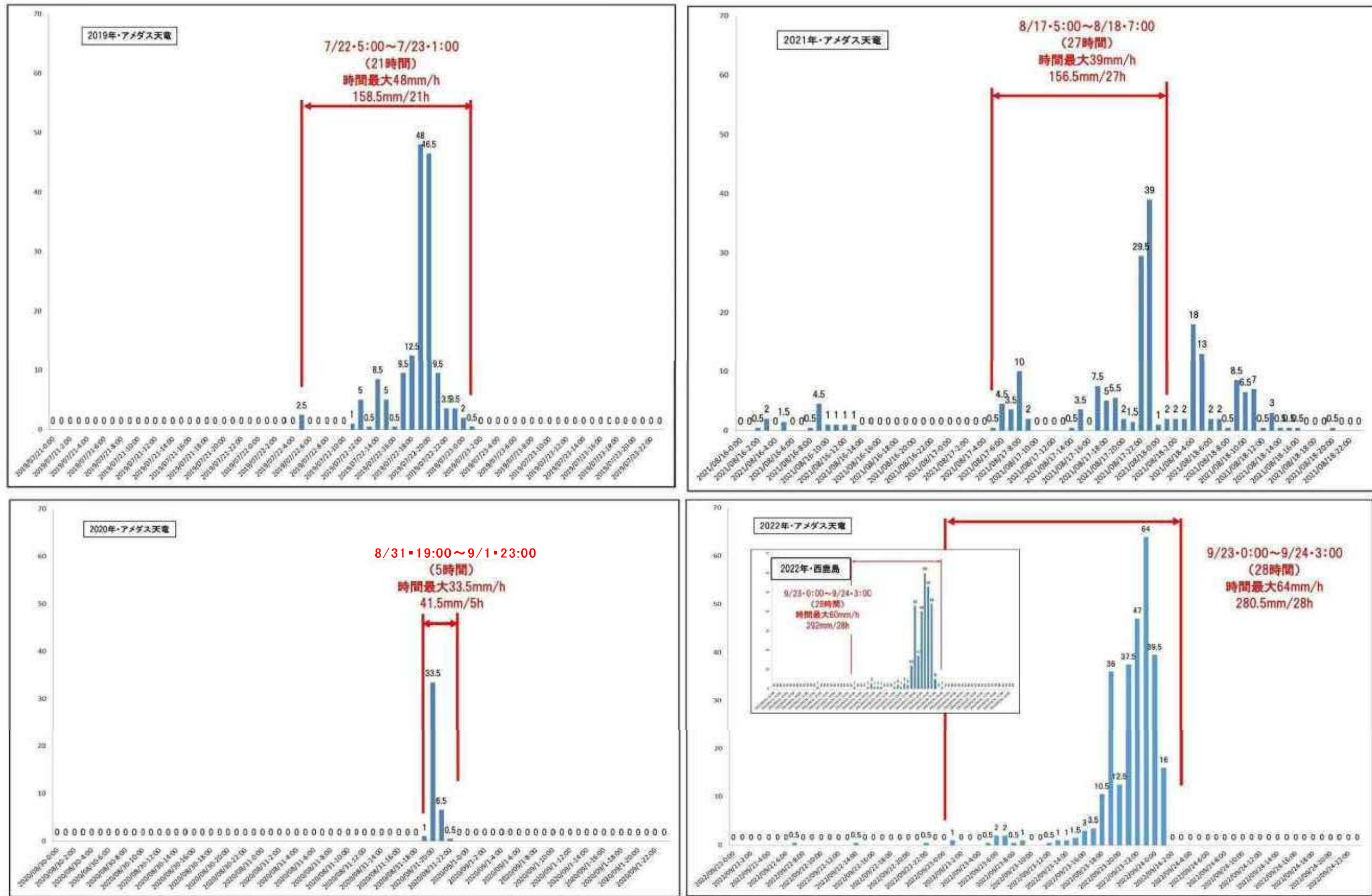


図-5.1.3 アメダス天竜観測所・時間雨量（2019年～2022年）の比較

この降雨後となる 24 日未明に土砂崩れが発生し、斜面下方の住宅 3 軒が被害を受けた(写真-5.1.2 参照)。

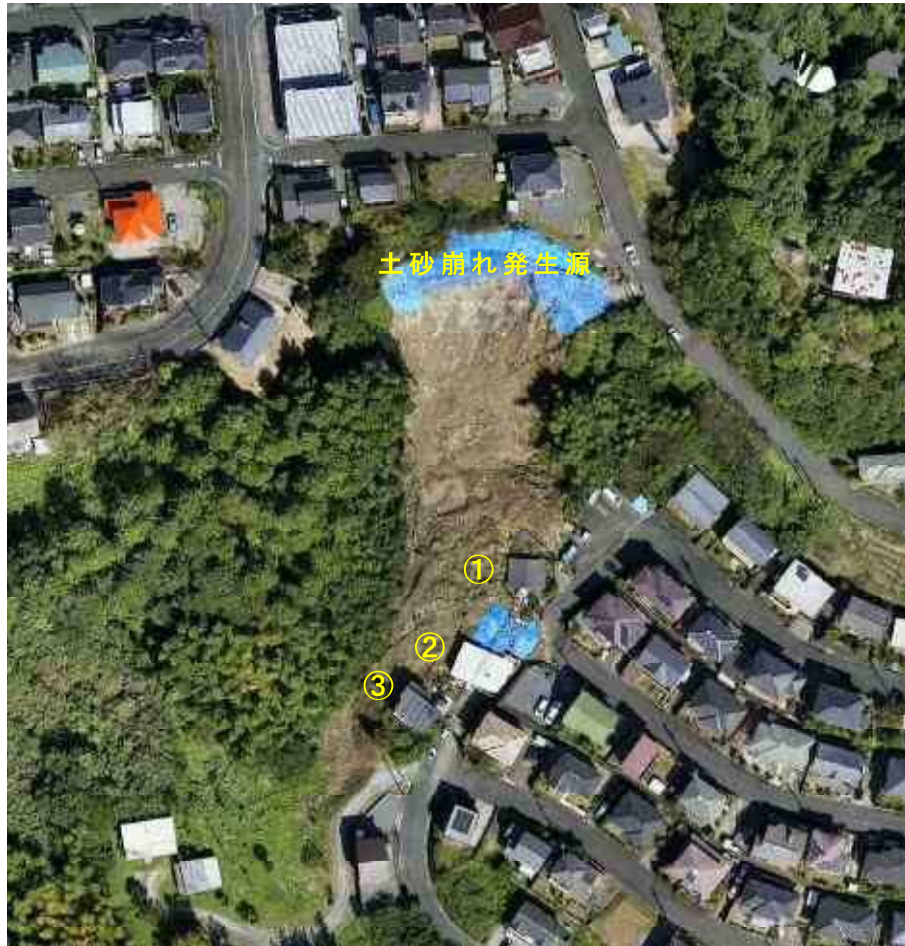


写真-5.1.2 崩落後の被害状況

(2022 年 9 月 26 日撮影)

5-2 発生メカニズムの推定、検証

(1) 素因、誘因

① 素因

【地形】

道路台帳(H2年頃(造成直後)の地形と推定)によると、土砂崩落発生場所は沢状地形を呈しており、雨水が集水しやすい地形であった(図-5.2.1参照)。



図-5.2.1 道路台帳図

【盛り土】

平成3年撮影の航空写真から推定した宅地造成時地形と令和3年の航空レーザで取得した崩落前地形を比較すると、高さ $H=20.5\text{m}$ 、勾配 $1:1.6$ で、宅地造成斜面に腹付けするような形で盛り土されている(図-5.2.2参照)。推定盛り土量は約 $8,100\text{m}^3$ 。

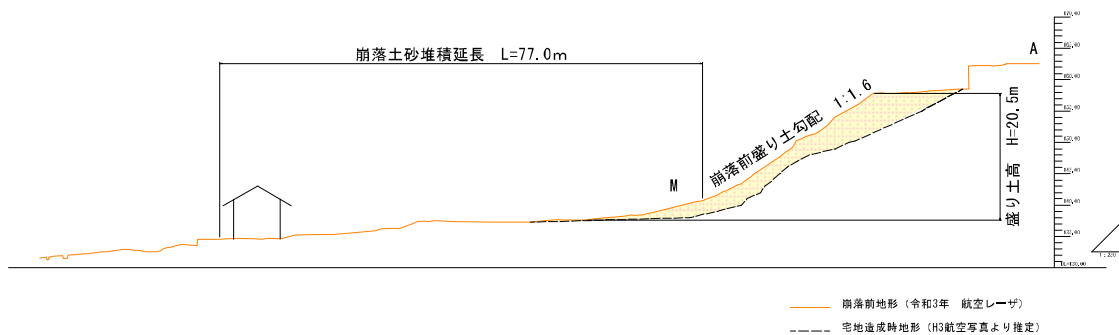


図-5.2.2 崩落前断面図

② 誘因

【雨量】

- ・静岡県が設置している観測所「天竜」における時間最大雨量(正時時間雨量^{注1})は2022年9月23～24日の60mm/hである(図-5.1.1参照)。
また、23日0時の降り始めから24日3時の降り終わりまでの累積降雨量は292mmである(図-5.1.1参照)。
- ・アメダス天竜観測所において、2022年9月23日の日雨量と時間最大雨量は、緑恵台団地の林地開発が終了した1988年以降で最も大きな値を示している(日雨量：264.5mm、時間最大雨量：81.5mm/h)(表-5.1.1参照)。

注1：毎時00分を起点にした雨量

(2)地質調査結果に基づく、崩壊発生機構の推定

- 1)降雨は地中に浸透する。
- 2)地形上、降った雨の大半は盛り土に集まる。
- 3)斜面上の盛り土は盛りこぼされて緩い状態にあった。
- 4)盛り土には排水施設がないものと考えられ、集水した水は緩い盛り土内にたまりやすい。
- 5)令和3年の航空レーザ測量による崩落前地形と令和4年9月30日のUAVレーザ測量による崩落後の地形を比較すると、崩落部分のほとんどが盛り土である。なお、崩落後に実施したボーリング調査結果からも、崩落部のほとんどが盛り土であることが裏付けられた(図-5.2.3 参照)。

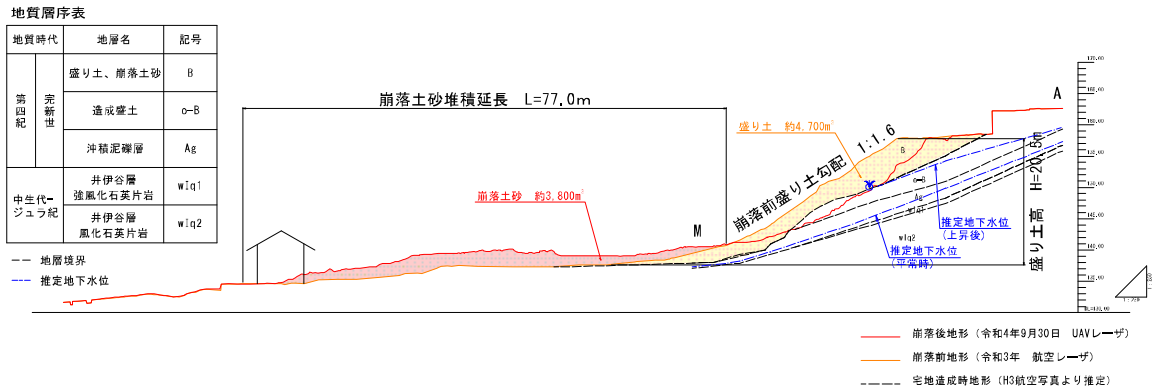


図-5.2.3 崩落後断面図

上記を基に推定した崩落過程を図-5.2.4～図-5.2.6に示す。

①崩落前

地質層序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土、崩落土砂	B
	造成盛土	o-B
	沖積泥礫層	Ag
中生代-ジュラ紀	井伊谷層 強風化石炭片岩	wIq1
	井伊谷層 風化石炭片岩	wIq2

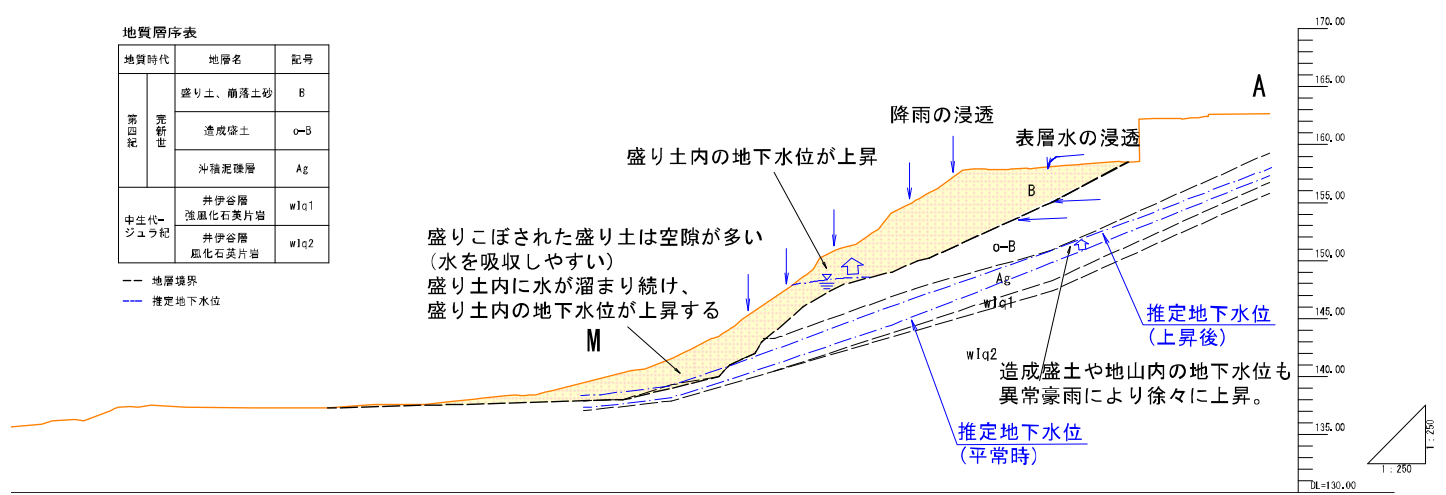


図-5.2.4 崩落前推定断面図

②崩落直前

地質層序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土、崩落土砂	B
	造成盛土	o-B
	沖積泥礫層	Ag
中生代-ジュラ紀	井伊谷層 強風化石炭片岩	wIq1
	井伊谷層 風化石炭片岩	wIq2

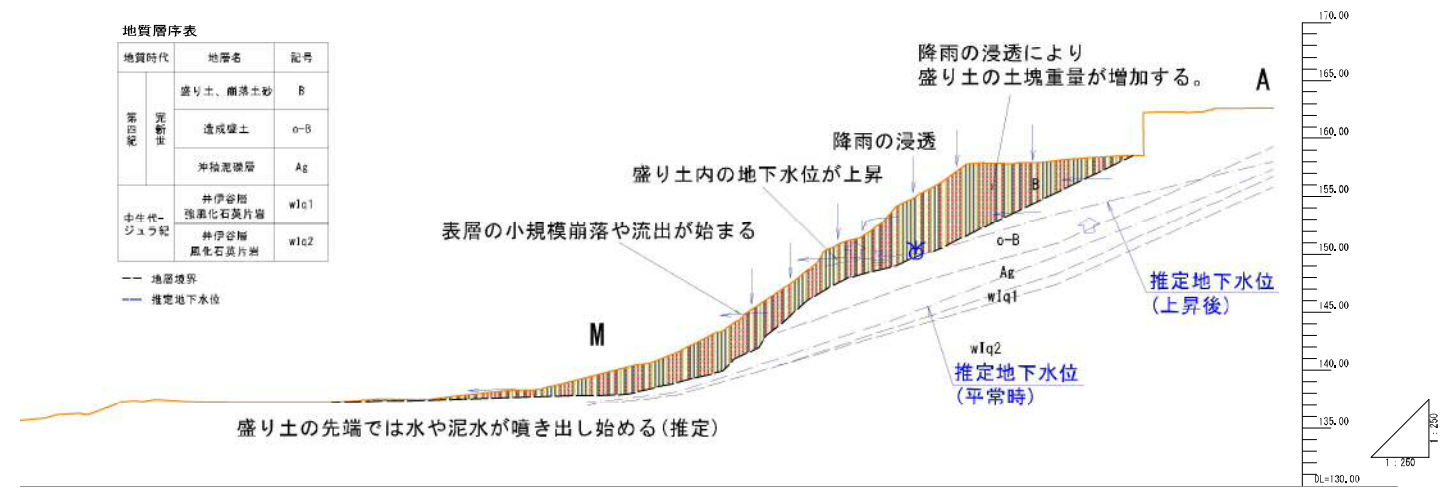


図-5.2.5 崩落直前推定断面図

- ・盛り土は空隙が多く、水を吸収・貯留しやすい状態であり、排水施設もないものと考えられる。
- ・台風 15 号の大雨により盛り土内の地下水位が上昇、盛り土土塊重量の増加が生じた。
- ・短時間での豪雨により、間隙水圧が上昇し、盛り土のせん断抵抗力が低下し、不安定な状態になる。
- ・せん断抵抗力を失った盛り土が崩落、流動性が高い状態であったため、下方の民家まで流下した。

③崩落後

地質層序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土、崩落土砂	B
	造成盛土	o-B
	沖積泥礫層	Ag
中生代-ジュラ紀	井伊谷層 強風化石炭片岩	wIq1
	井伊谷層 風化石炭片岩	wIq2

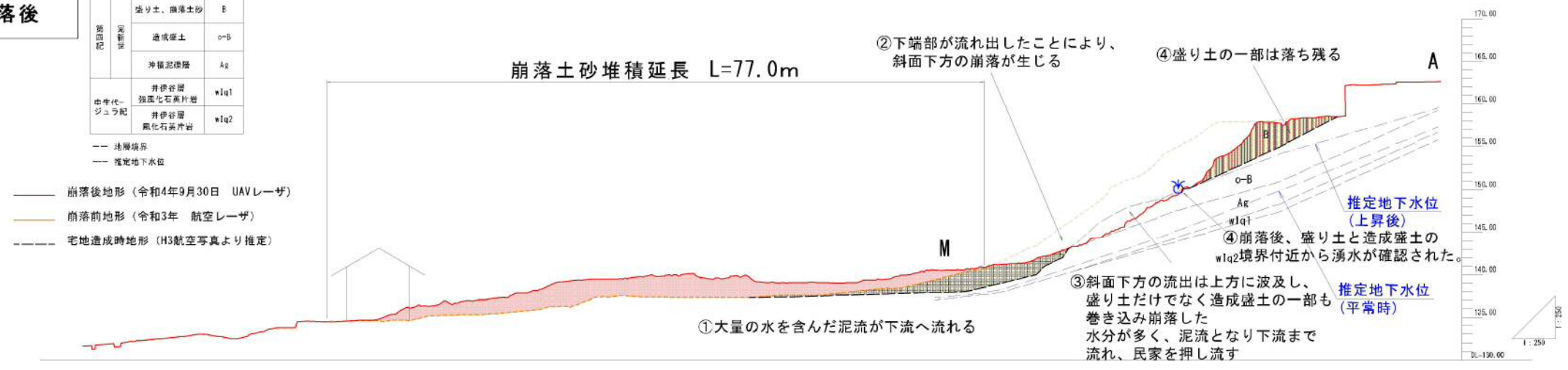


図-5.2.6 崩落後推定断面図

※降雨に伴う地下水位の変動状況は、現在、地下水観測孔にて測定中。