

【参考資料】

工 天竜区緑恵台土砂崩落原因
調査報告書（案）

天竜区緑恵台土砂崩落原因調査報告書
(案)

浜 松 市

令和4年11月15日

天竜区緑恵台土砂崩落原因究明調査報告書（案）

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. 調査計画（ボーリング結果・地層推定断面図等）	4-1
・調査計画	4-1
・地質層序	4-2
・主測線 A-M ボーリング調査結果	4-3
・副測線 B-M ボーリング調査結果	4-9
・副測線 C-M ボーリング調査結果	4-12
・東側側部 E-E' 地層推定断面図	4-15
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
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 総括	7-15

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)。

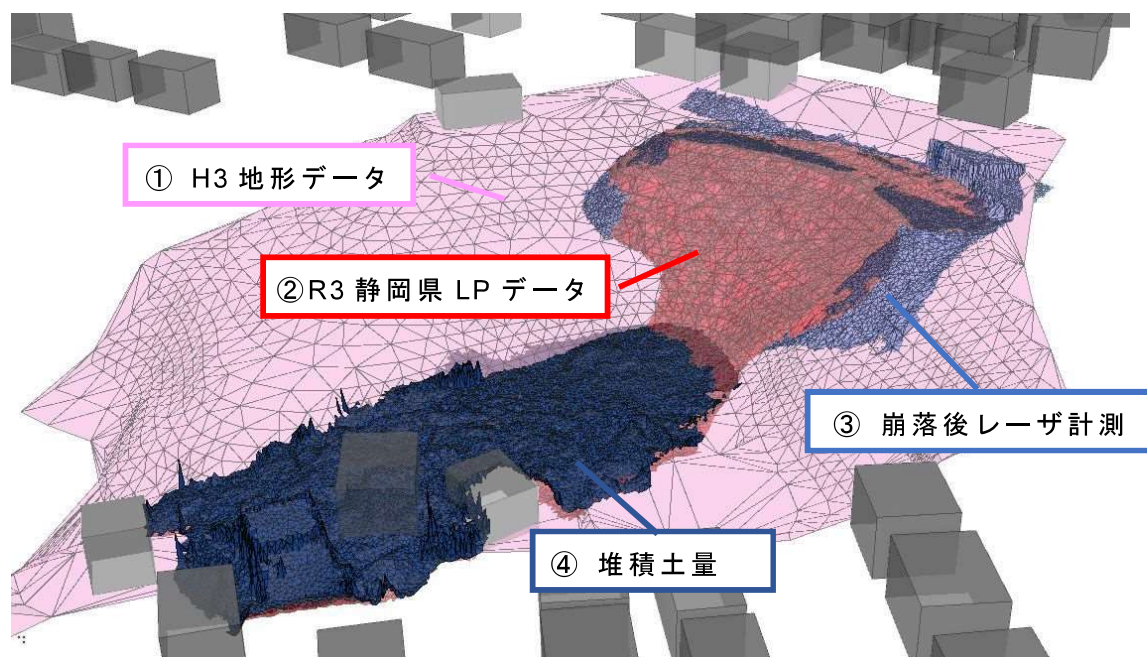


図-2.1.1 点群データより作成した TIN (不整三角形網)

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

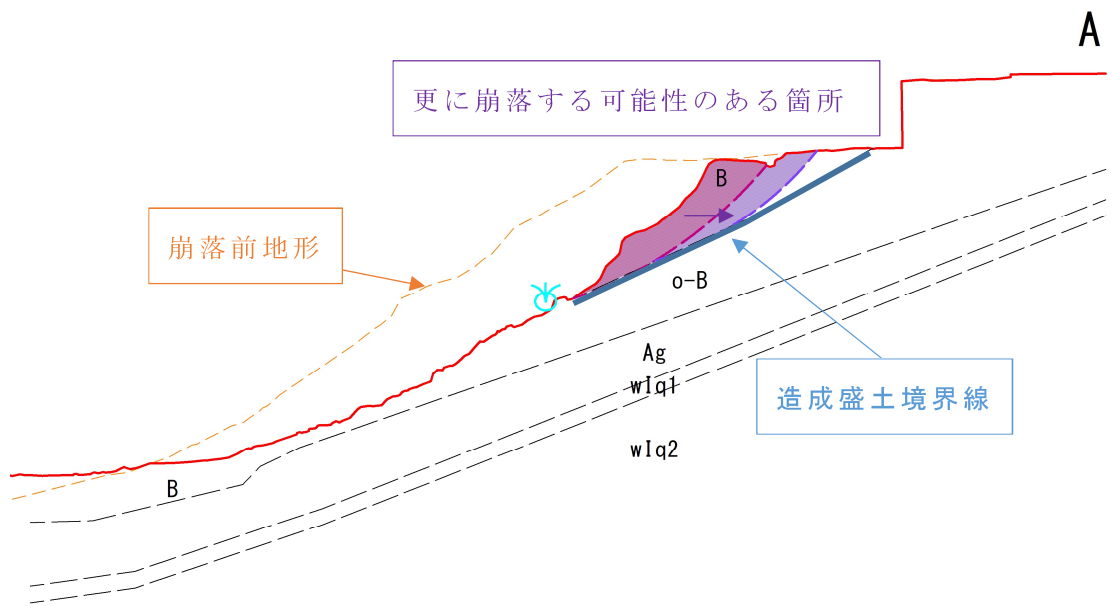


図-2.2.2 残存する土砂の崩落モデル

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)。

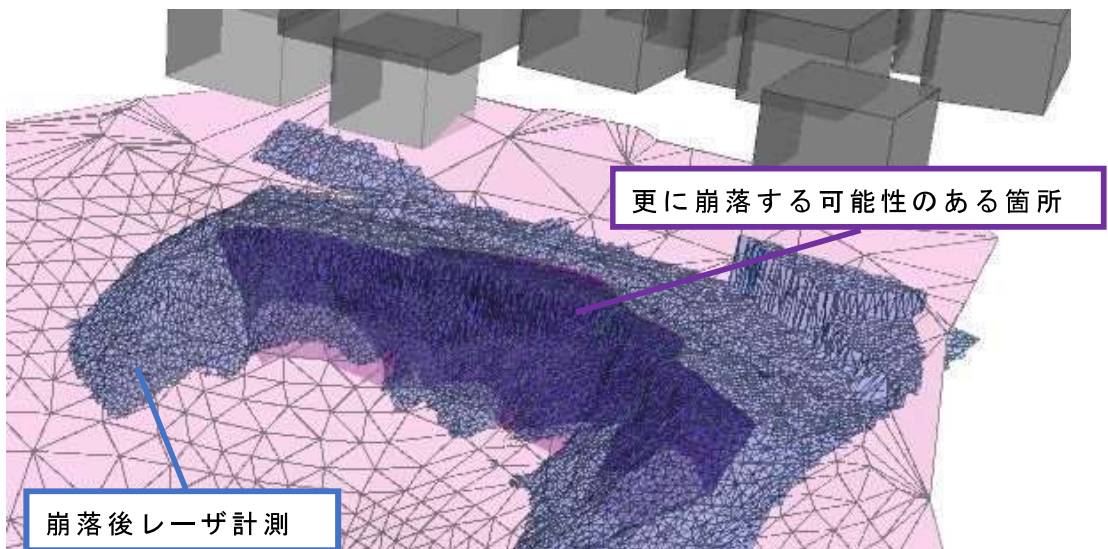


図-2.2.3 更に崩落する可能性のある土量の算出モデル

また、崩落土量 3,400m³に対して実測値の堆積土量が 3,800m³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

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

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 2,000m³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 2,000m³の堆積範囲を推定した(図-2.3.1 参照)。

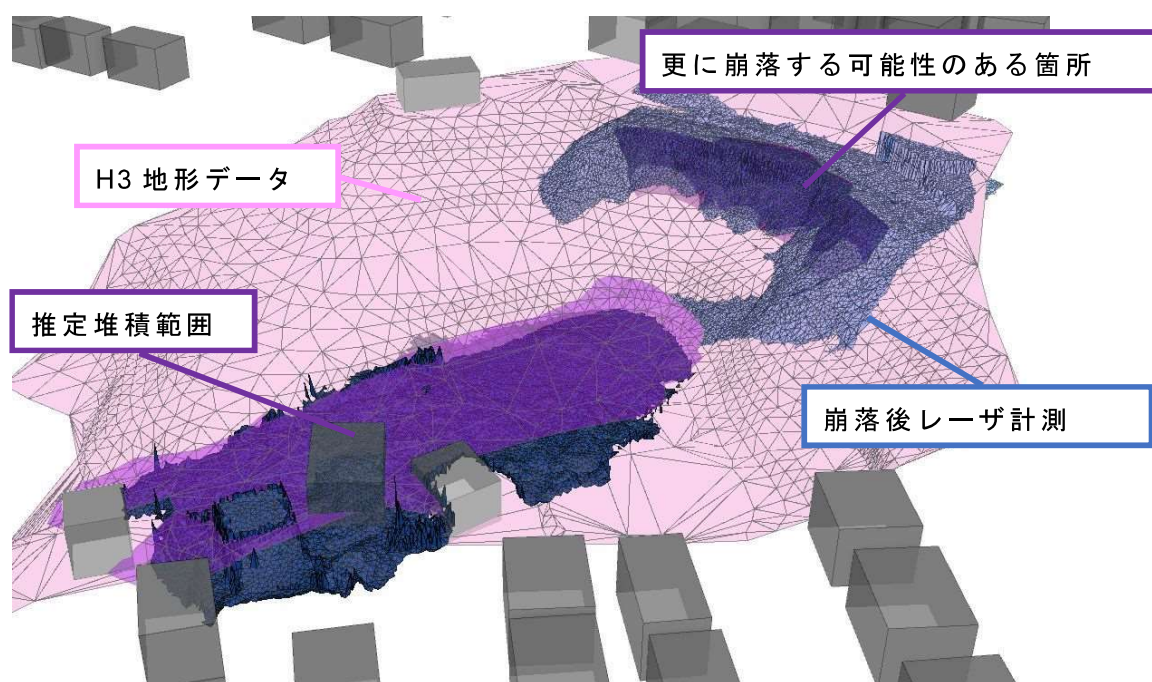


図-2.3.1 落ち残った盛り土のうち更に崩落する可能性のある土砂の堆積範囲

「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)。

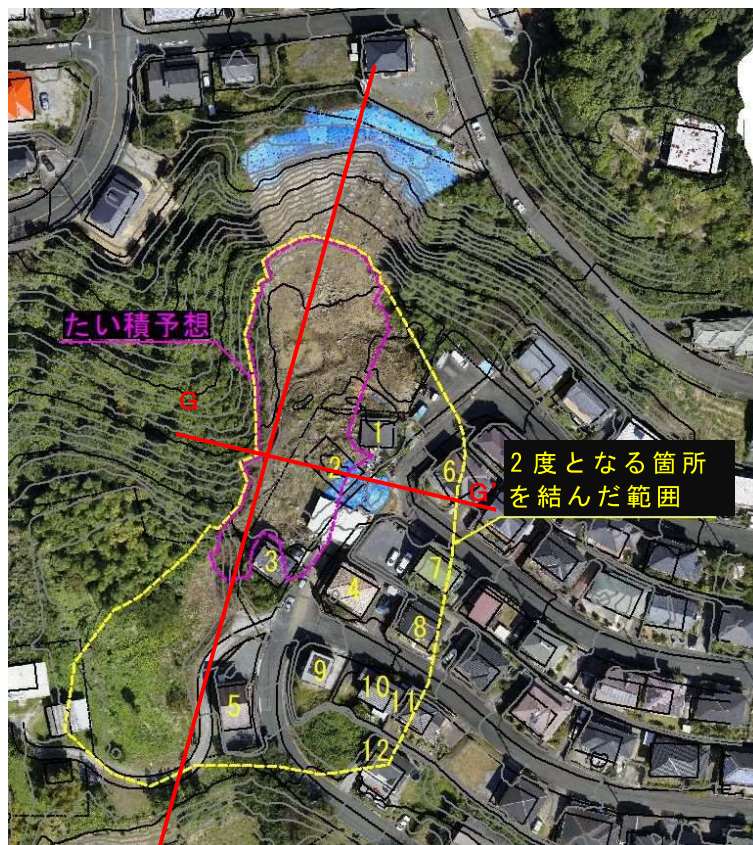


図-2.3.2 堆積範囲及び現地形の傾斜が2度となる箇所を抽出し結んだ範囲
(2022年9月26日撮影)

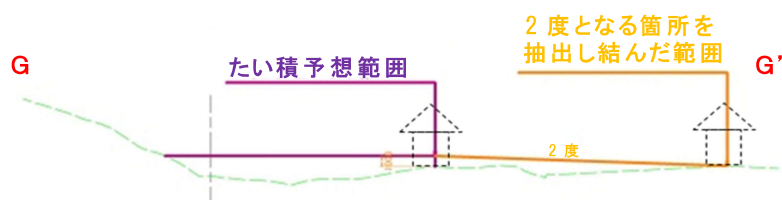


図-2.3.3 堆積範囲及び現地形の傾斜が2度となる箇所を抽出し結んだ範囲
(横断図)

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)。

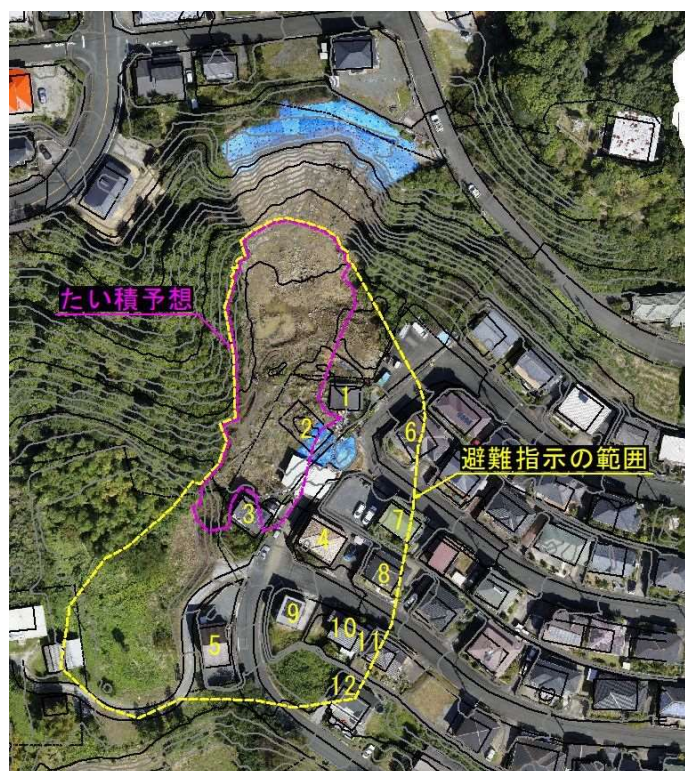


図-3.1.1 避難指示範囲（平面図）

(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)。

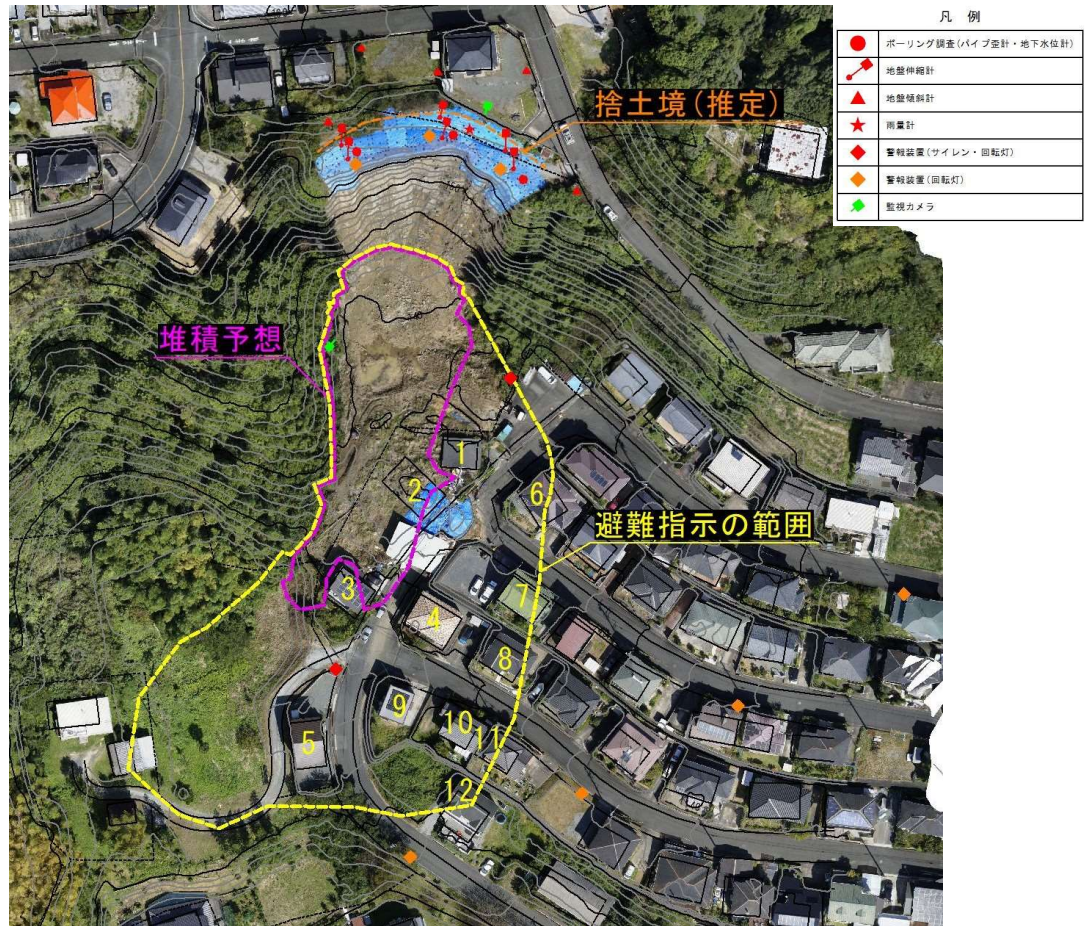


図-3.2.1 警戒監視体制 (2022年9月26日撮影)



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年災害手帳

(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。

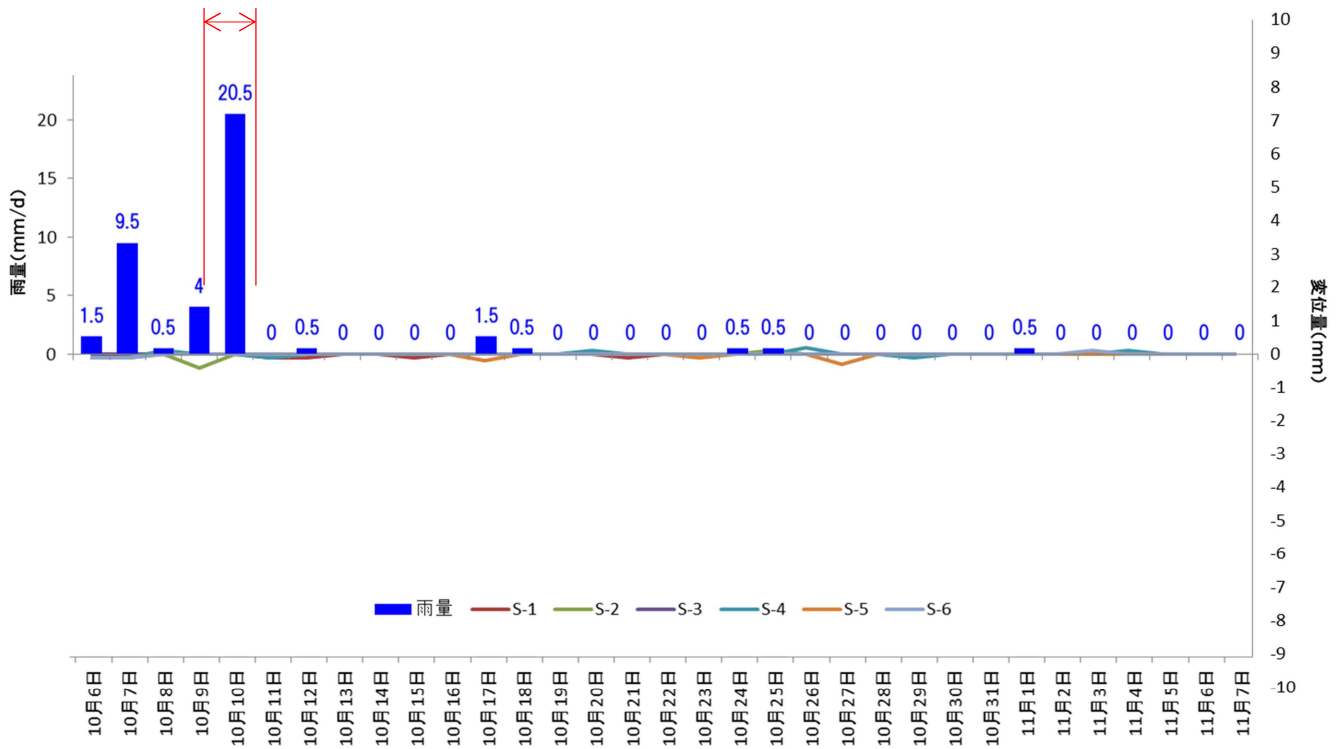
- 1)雨量計で0mm/h(降雨なし)を1時間観測
- 2)地盤伸縮計計で0mm/h(変動なし)を3時間観測

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. 調査計画 (ボーリング結果、地層推定断面図等)

【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。

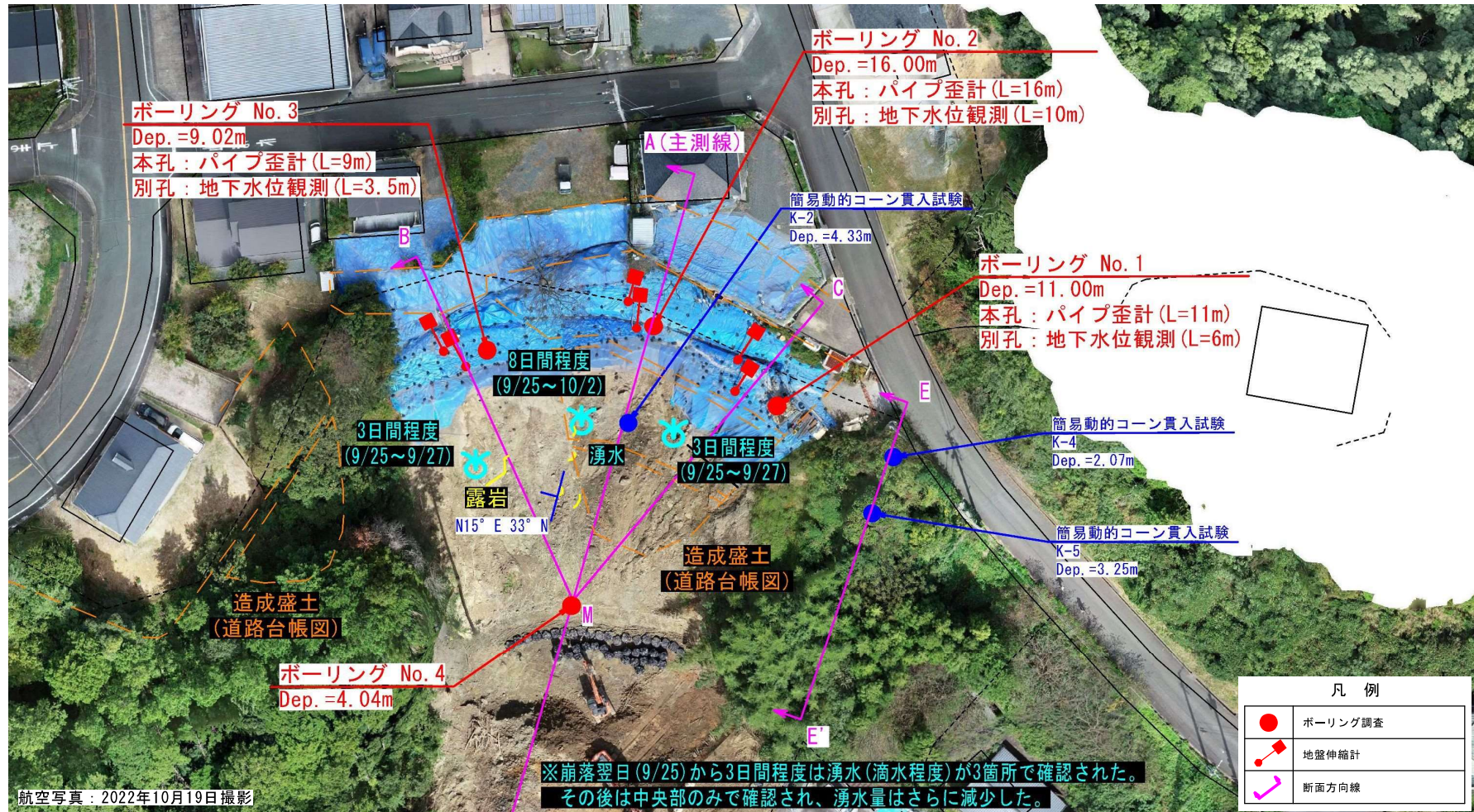


図-4.1.1 調査位置平面図 (S=1:1,000)

【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-4.1.1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-4.1.1 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OL~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。亀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。

【主測線 A-M ボーリング調査結果】

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-4.1.3参照)。地層推定断面図を図-4.1.2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-4.1.3～図-4.1.5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	wIq1	—
	井伊谷層 風化石英片岩	wIq2	115~ 貫入不可

--- 地層境界
- - - 推定地下水位

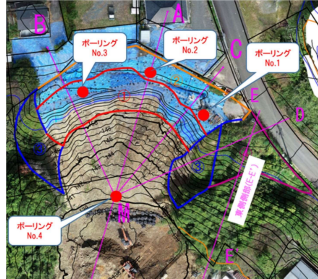


写真-4.1.1 主測線付近の斜面状況



現状、地下水観測孔の水位は、GL-7.6~8.3m付近に確認されている。

No.2 地下水位観測孔

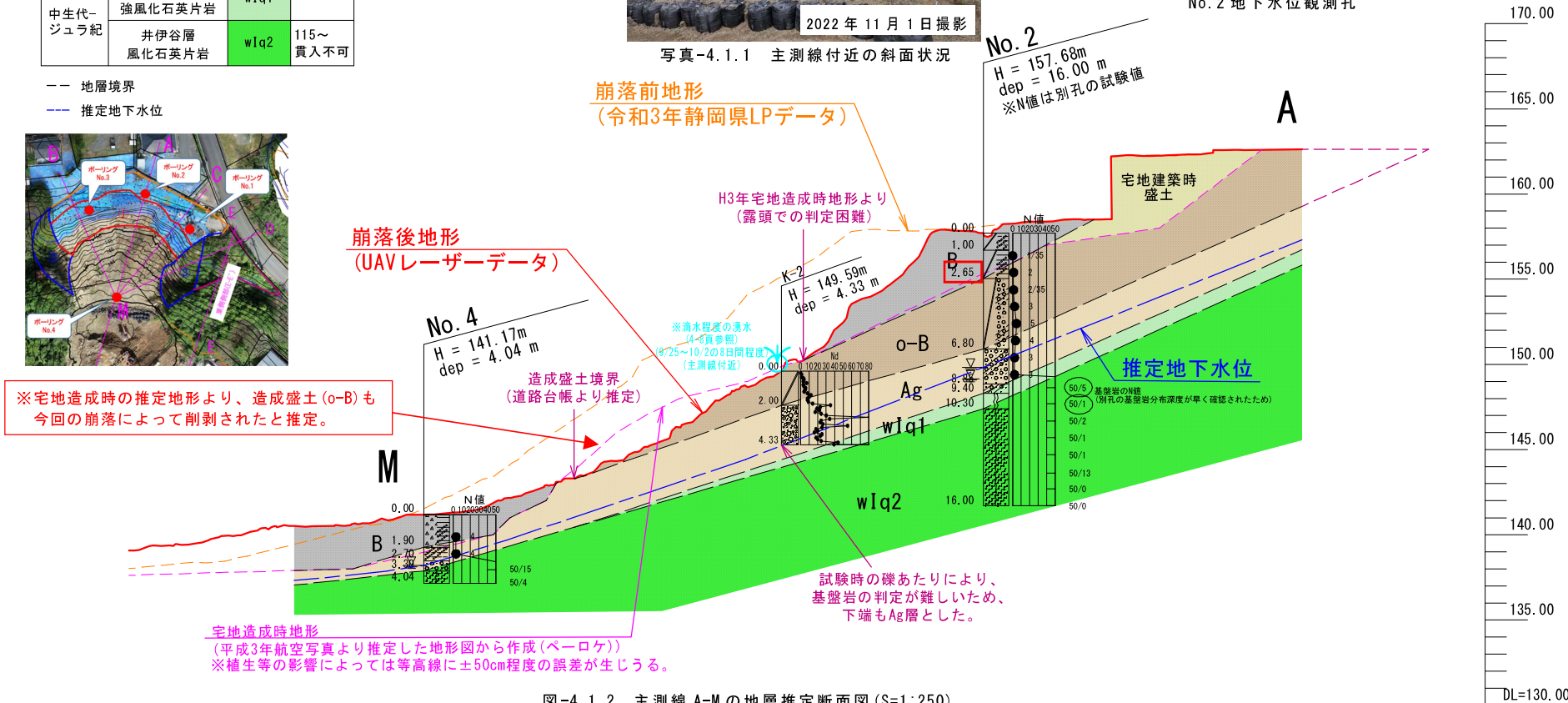


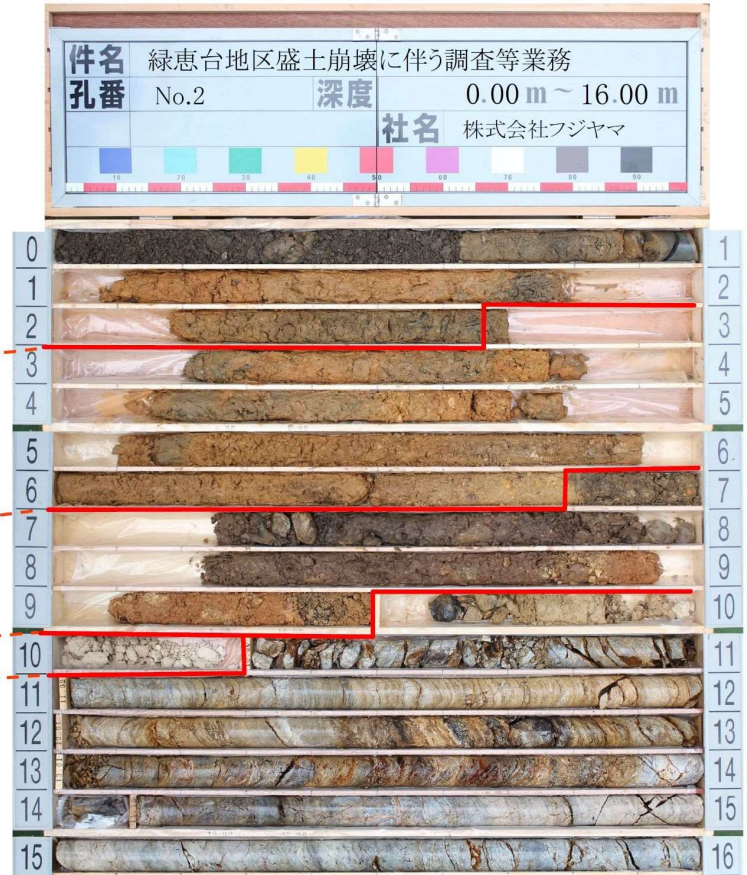
図-4.1.2 主測線 A-Mの地層推定断面図 (S=1:250)

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-4.1.3参照)。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。

ボーリング名	No.2	調査位置	静岡県浜松市天竜区緑恵台地内	北緯	34° 51' 58.56"
発注機関	浜松市	調査期間	2022年10月8日 ~ 2022年10月11日	東経	137° 47' 55.23"
調査業者名	株式会社フジヤマ 電話 053-462-8803	主任者	菅代 大入	調査責任者	
孔口標高	H=157.68m	方位	北を0°とする 方位角	コア規定者	
総掘孔長	16.00m	角度	上下 90° 左右 0°	ボーリング機	CF40
試験機	KR-50	ポンプ	CF40		
エンジン	TP-70				

標準深 度 (m)	現場土質名 (m)	地盤材料の工学的分類	色相対称 調密度	相対密 度	地質時代 名	記 事	孔内水位 測定月日	標準貫入試験					深試験 深さ (m)	採取 方法 (n)	室内 位置 試験	削 孔 日
								N	深 度 (m)	100mmごとの 打撃回数	50回の貫入 深さ (m)	自注時の貫入 深さ (m)				
0	盛り土(B)	盛土 シルト 質土 シルト 質土	褐色 黄褐色	中密 中密	現代	【盛土】 GL-0.00m以下で盛土。質土 GL-0.40~1.00mまで砂と粘土 質土の混合層はコア採取可能。 【盛土】 砂質土を多く含む盛土を主体とする。部 分には粘質土層も認められる。 線は0.1~0.20mm程度の層厚。部内 に砂質土を多く含む盛土と砂質土 質土が交互に層状に認められる。 質土は断面に連続的に認め られる。樹木片(枝)を混入す る。削孔時には、樹木片(枝)を混入す る。	0	0.9	1	1	1	1	0.9	N値: 0.9~2		
2	造成盛土(o-B)	盛土 シルト 質土 シルト 質土	褐色 黄褐色	中密 中密	現代	【造成盛土】 砂質土を多く含む盛土を主体とする。 線は0.1~0.20mm程度の層厚。部内 に砂質土を多く含む盛土と砂質土 質土が交互に層状に認められる。 質土は断面に連続的に認め られる。樹木片(枝)を混入す る。削孔時には、樹木片(枝)を混入す る。	0	1.7	2	2	2	1.7	N値: 1.7~5 盛土(B)よりやややくなる。			
6	地山(Ag)	地山 シルト 質土 シルト 質土	褐色 黄褐色	中密 中密	現代	【地山】 砂質土を多く含む盛土を主体とする。 線は0.1~0.20mm程度の層厚。部内 に砂質土を多く含む盛土と砂質土 質土が交互に層状に認められる。 質土は断面に連続的に認め られる。樹木片(枝)を混入す る。削孔時には、樹木片(枝)を混入す る。	0	1.1	1	1	1	1.1				
10	井伊谷層-強風化石英片岩(wIq1)	基盤岩 石英片岩	灰色 黄褐色	中密 中密	現代	【基盤岩】 褐色の粘土を多く含む砂質土を主体とする。 線は0.1~0.20mm程度の層厚。部内 に砂質土を多く含む盛土と砂質土 質土が交互に層状に認められる。 質土は断面に連続的に認め られる。樹木片(枝)を混入す る。削孔時には、樹木片(枝)を混入す る。	0	10	10	10	10	10	※wIq2層のN値			
14	井伊谷層-風化石英片岩(wIq2)	基盤岩 石英片岩	灰色 黄褐色	中密 中密	現代	【基盤岩】 褐色の粘土を多く含む砂質土を主体とする。 線は0.1~0.20mm程度の層厚。部内 に砂質土を多く含む盛土と砂質土 質土が交互に層状に認められる。 質土は断面に連続的に認め られる。樹木片(枝)を混入す る。削孔時には、樹木片(枝)を混入す る。	0	10	10	10	10	10				



※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-4.1.3 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。

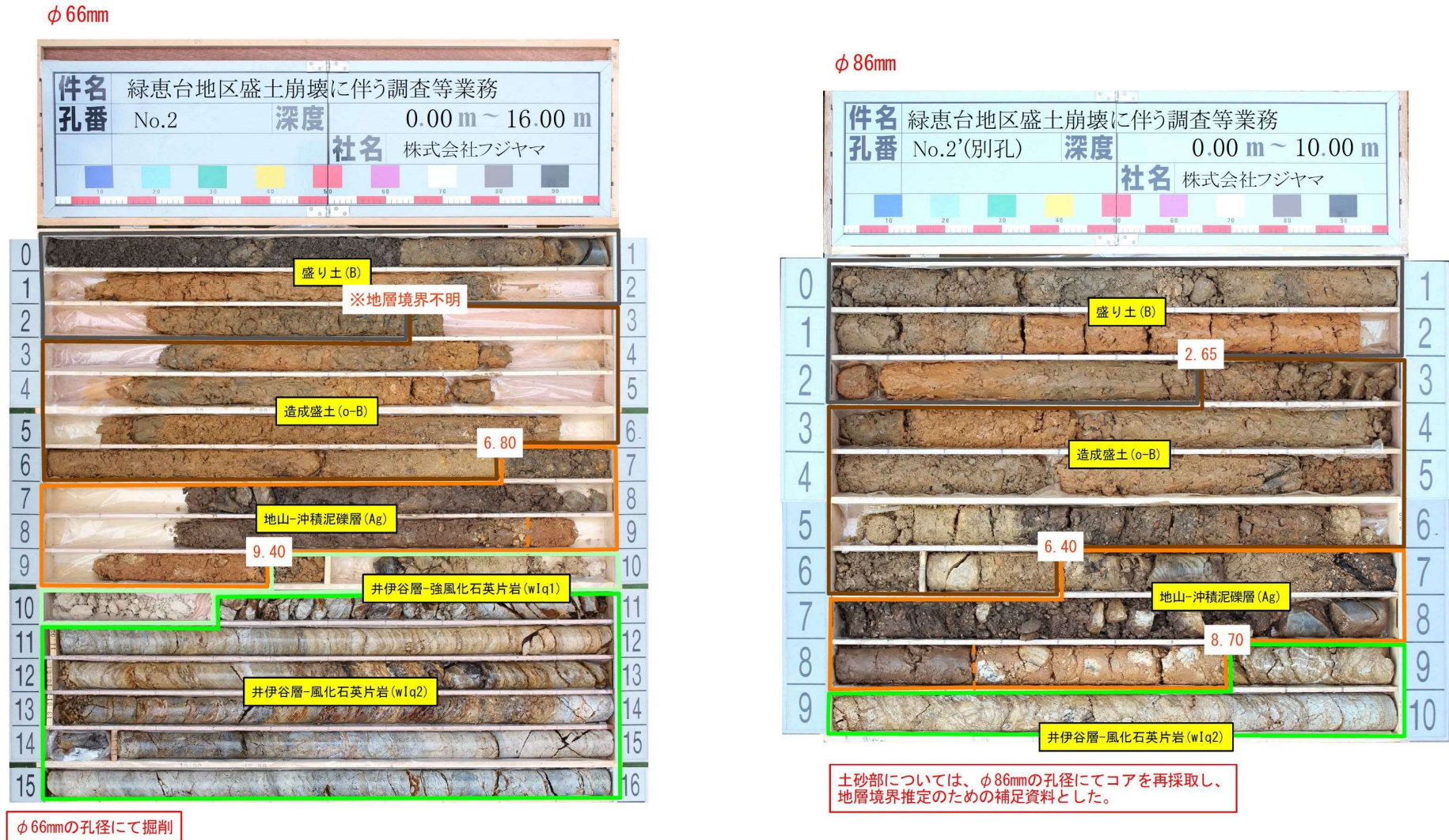


図-4.1.4 No.2の比較コア写真(本孔($\phi 66$),別孔($\phi 86$))

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。

ボーリング名	No.4		調査位置	静岡県浜松市天竜区緑恵台地内		北緯	
発注機関	浜松市		調査期間	2022年10月31日～2022年11月1日		東経	
調査業者名	株式会社フジヤマ 電話 053-462-8803		主任技術者	業務代理人	コピア	ボーリング責任者	
孔口標高	H=141.17m	角	180°	方位	北0°	地盤勾配	水深0°
総削孔長	4.00m	度	0°	方位	90°	地盤勾配	方位
試験機	YIM-05		ポンプ	CP-40		エンジン	NFD-10

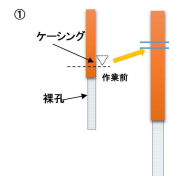
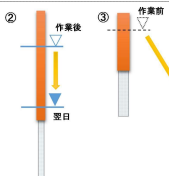
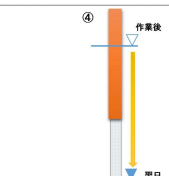
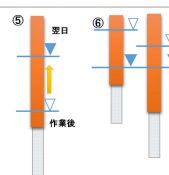
標尺	深高度	現場土質名(概略)	地盤材料の工学的分類	色相対	相対密度	地質時代	記号	標準貫入試験		試料採取	密原	削孔
								深度-N値図	N値			
0	0.00	崩落土、崩落土砂(B)	崩落土、崩落土砂	茶褐色				1.1	4	N値: 4		1
1	1.00	地山(Ag)	地山	茶褐色				1.1	4	N値: 4		2
2	2.00	井伊谷層-風化石英片岩(w1q2)	風化石英片岩	白灰-灰褐色				1.1	9	N値: 9 (3回(10cm)を30cmあたりに換算)		3
3	3.00							1.1	9			4



図-4.1.5 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-4.1.2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-4.1.2 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 →透水(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落下している。		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(土木研究所他)」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-4.1.6 と図-4.1.7 に示す。

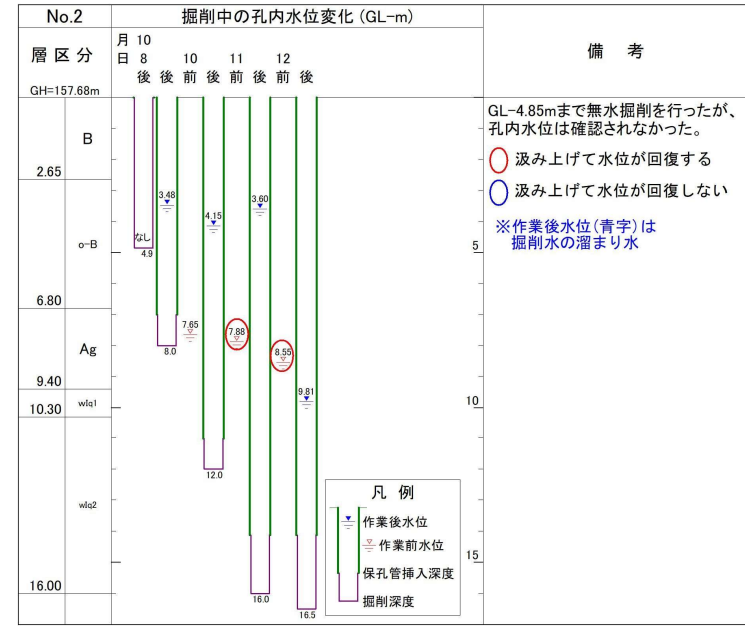


図-4.1.6 No. 2 地点の掘削中の孔内水位変動図

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。