

図-4.1.7 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)。

また、10月9日から10日の降雨では当該箇所にて湧水は確認されなかった。



写真-4.1.2 2022/9/25(崩落翌日)の斜面状況



写真-4.1.3
2022/9/27の湧水状況
(中央部)

写真-4.1.4
2022/10/1の湧水状況
(中央部)

【副測線 B-M ボーリング調査結果】

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-4.1.8に示し、柱状図とコア写真を次頁の図-4.1.8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-4.1.5 副測線 B-M 付近の斜面状況



No. 3 地下水位観測孔

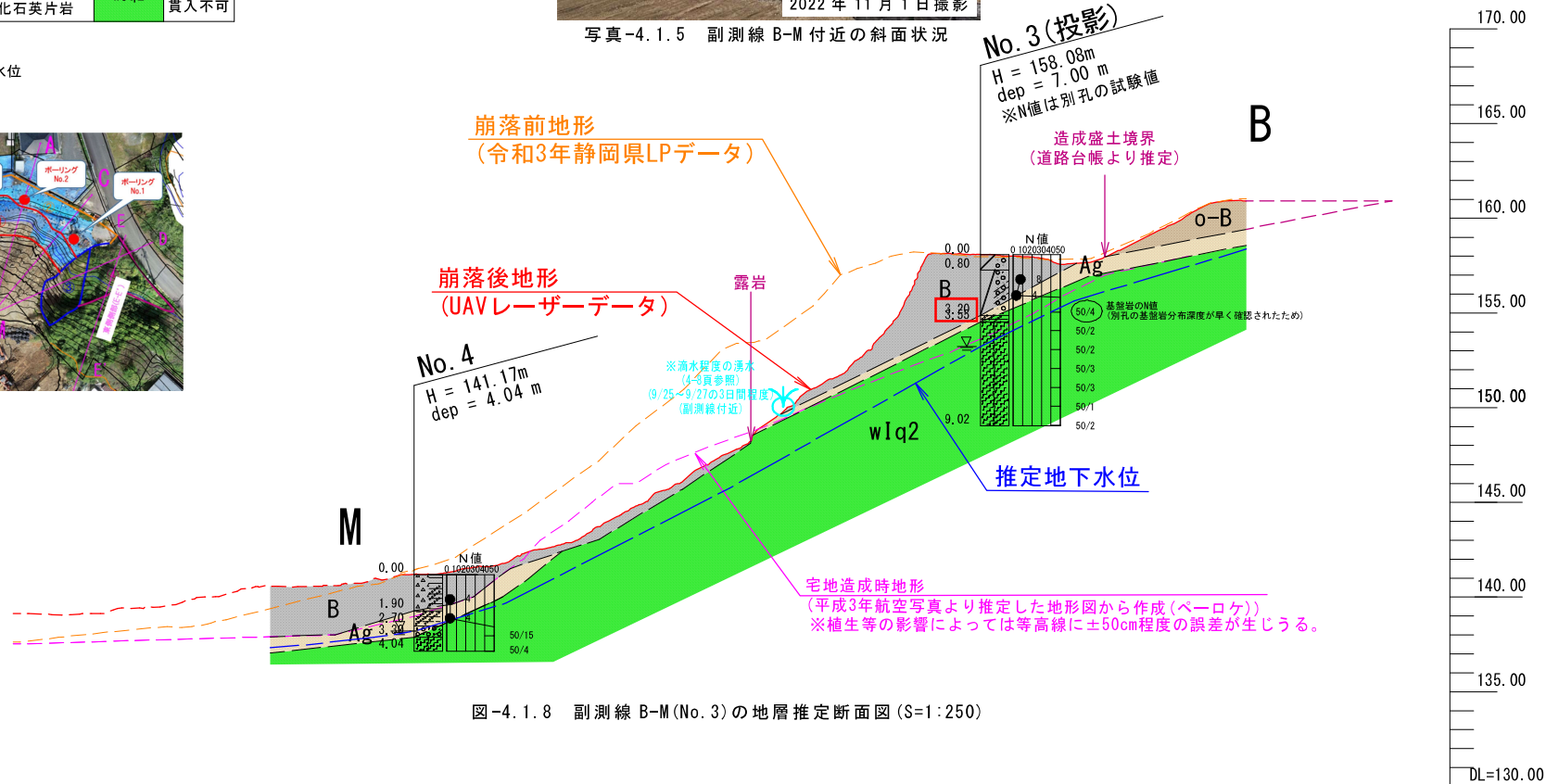
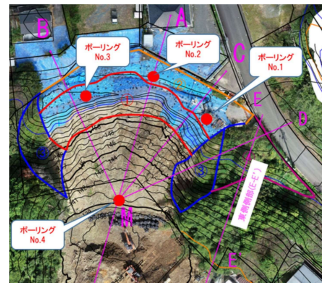
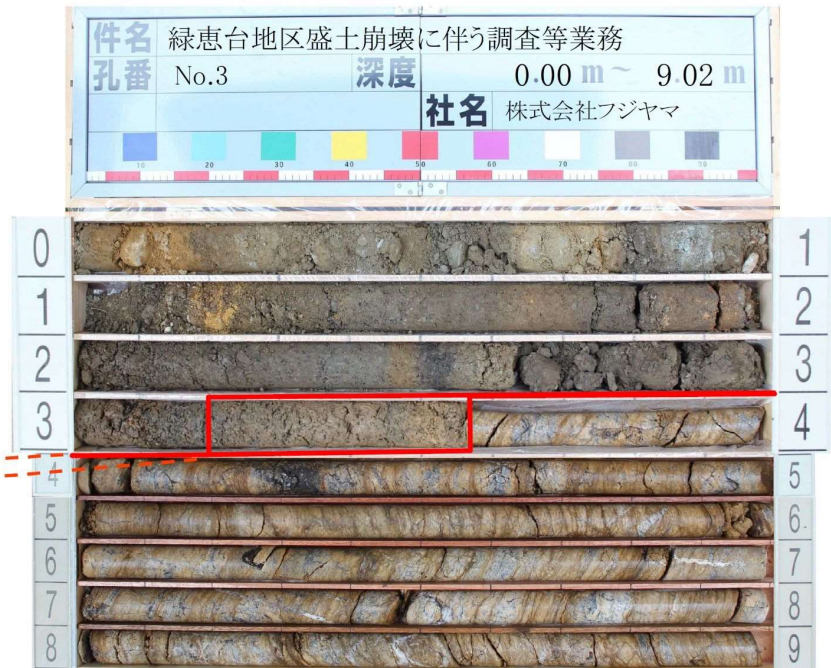
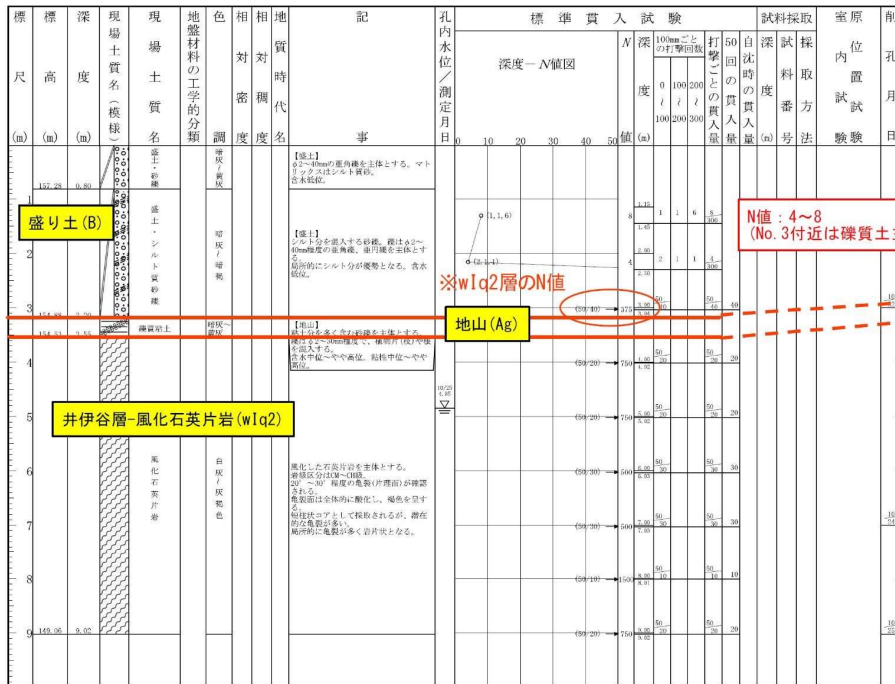


図-4.1.8 副測線 B-M (No. 3) の地層推定断面図 (S=1:250)

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地内	北緯	
発注機関	浜松市	調査期間	2022年 10月 22日 ~ 2022年 10月 24日	東経	
調査業者名	株式会社フジヤマ 電話 053-462-8803	主任者		調査代理人	
孔口標高	158.08m	角	180°	方位	東
総削孔長	9.00m	度	0°	位置	東
		地盤記号	YBM-05	試験機	YBM-05
		エンジン	NFD-10	ポンプ	CP-40



※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-4.1.9 No.1 地点のボーリング柱状図、コア写真

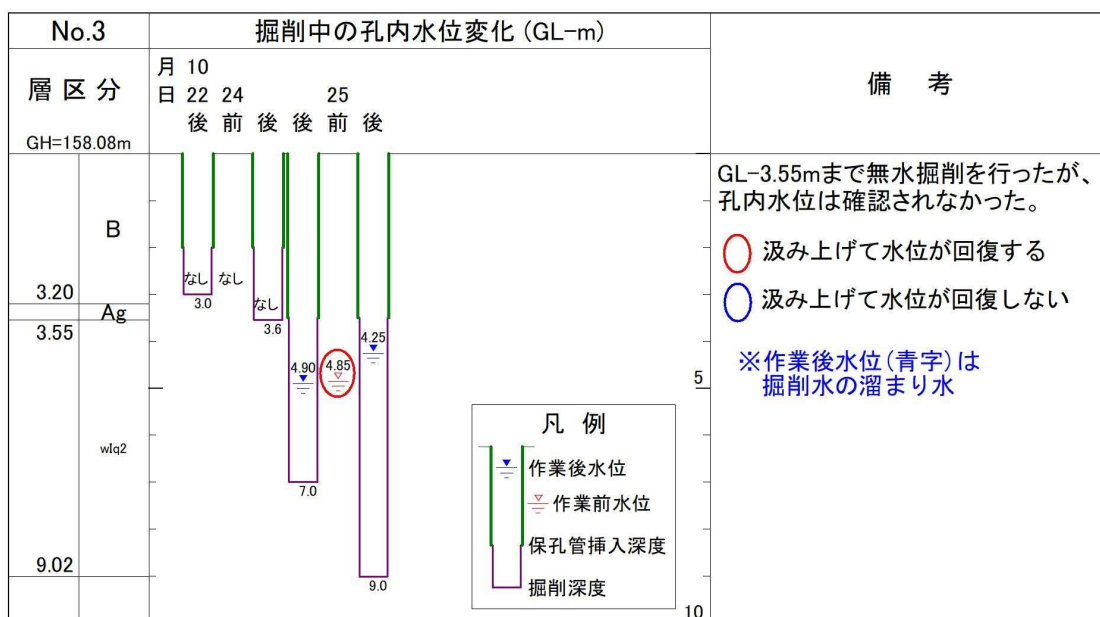


図-4.1.10 No.3 地点の掘削中の孔内水位変動図

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。

【副測線 C-M ボーリング調査結果】

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-4.1.11に示し、柱状図とコア写真を次頁の図-4.1.12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	w1q1	—
	井伊谷層 風化石英片岩	w1q2	136~ 貫入不可

— 地層境界
- - - 推定地下水位

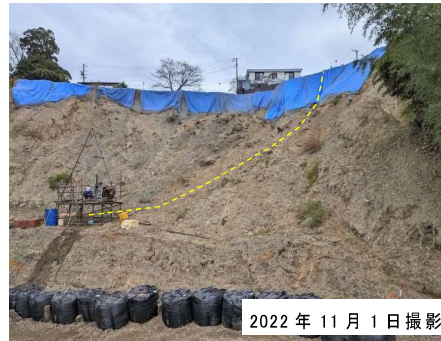
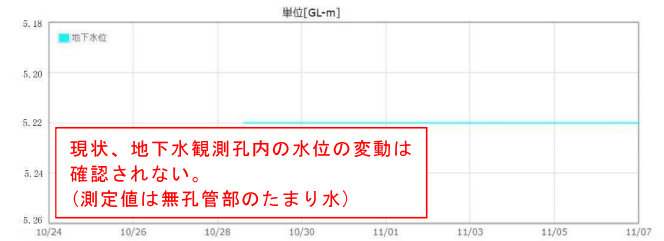


写真-4.1.6 副測線 C-M 付近の斜面状況



No.1 地下水位観測孔

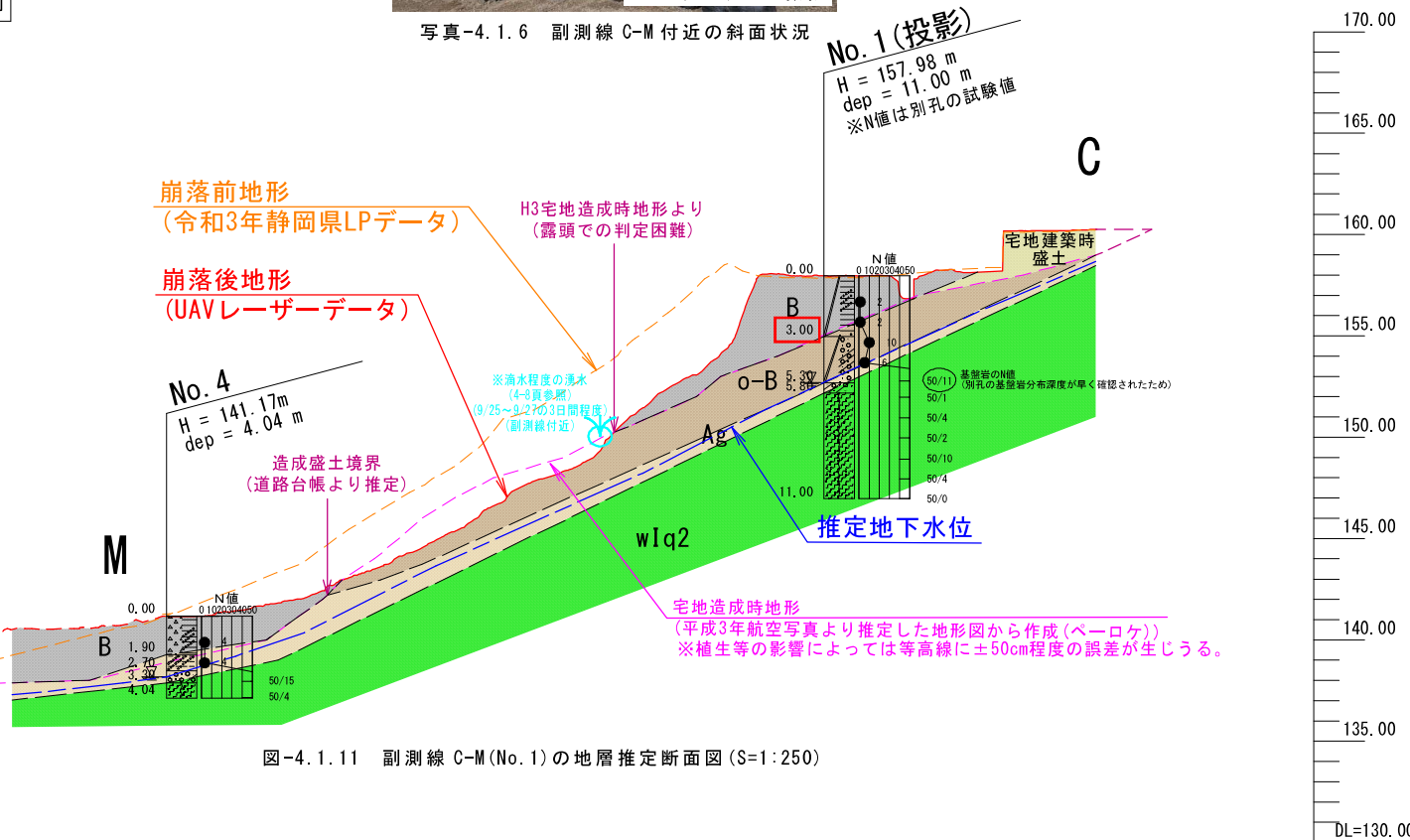
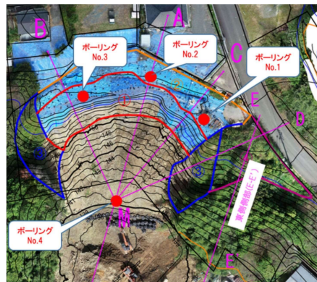
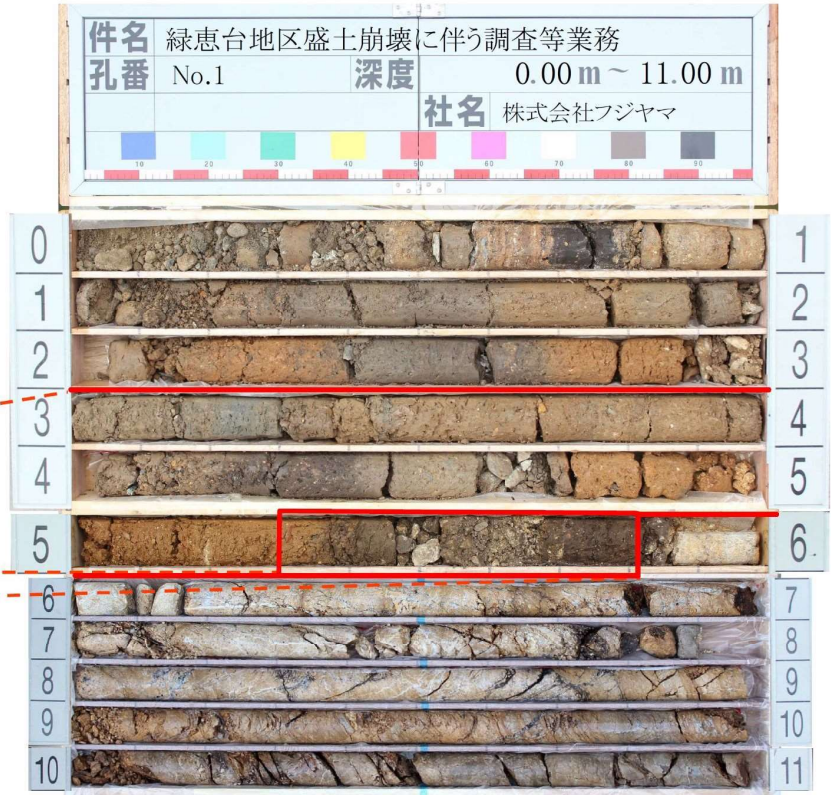
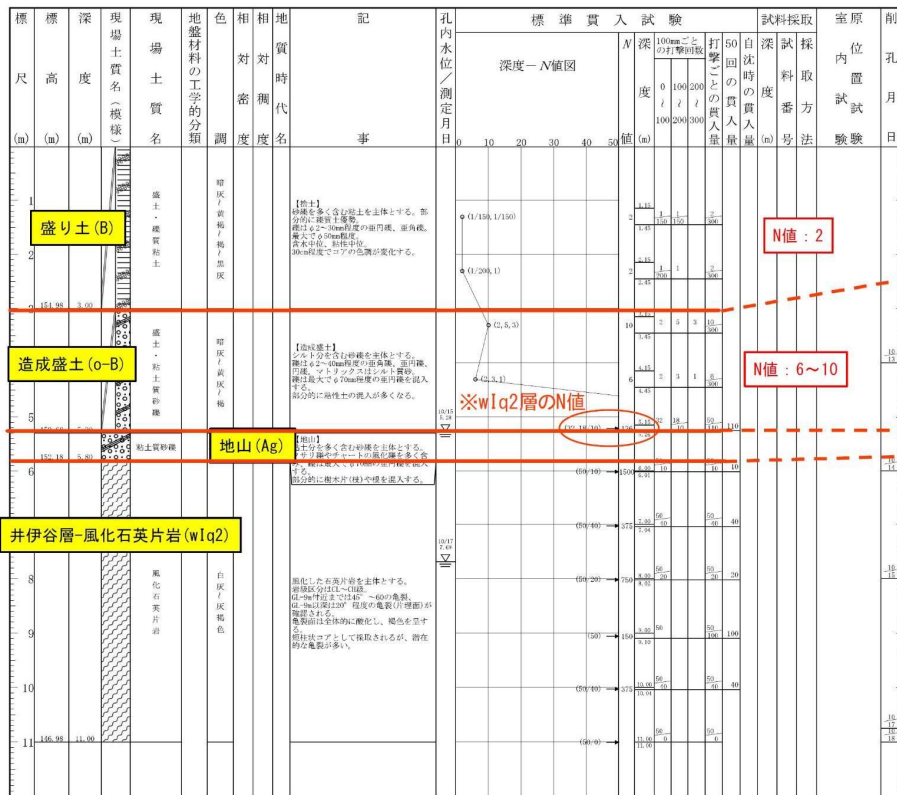


図-4.1.11 副測線 C-M (No.1) の地層推定断面図 (S=1:250)

前述したように、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。

ボーリング名	No.1	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 13日 ~ 2022年 10月 15日	東経	
調査業者名	株式会社フジヤマ 電話 053-462-8803	主任技師		業務代表人	
孔口標高	157.98m	角	180° ↑ 90° ↓	方位	北 東 南 西
総削孔長	11.00m	地盤勾配	距離 90°	使用機種	試機機 YBM-05 エンジン NFD-10
				ポンプ	CP-40



※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-4.1.12 No.1地点のボーリング柱状図、コア写真

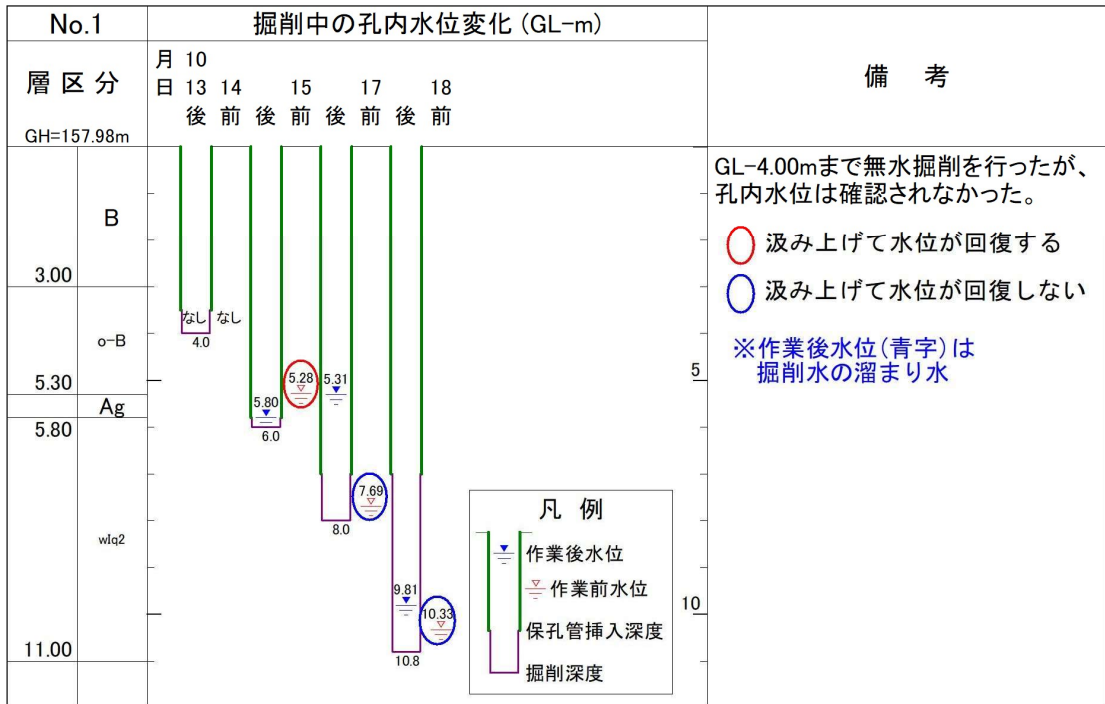


図-4.1.13 No.1地点の掘削中の孔内水位変動図

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。

【東側側部 E-E' 地層推定断面図】

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

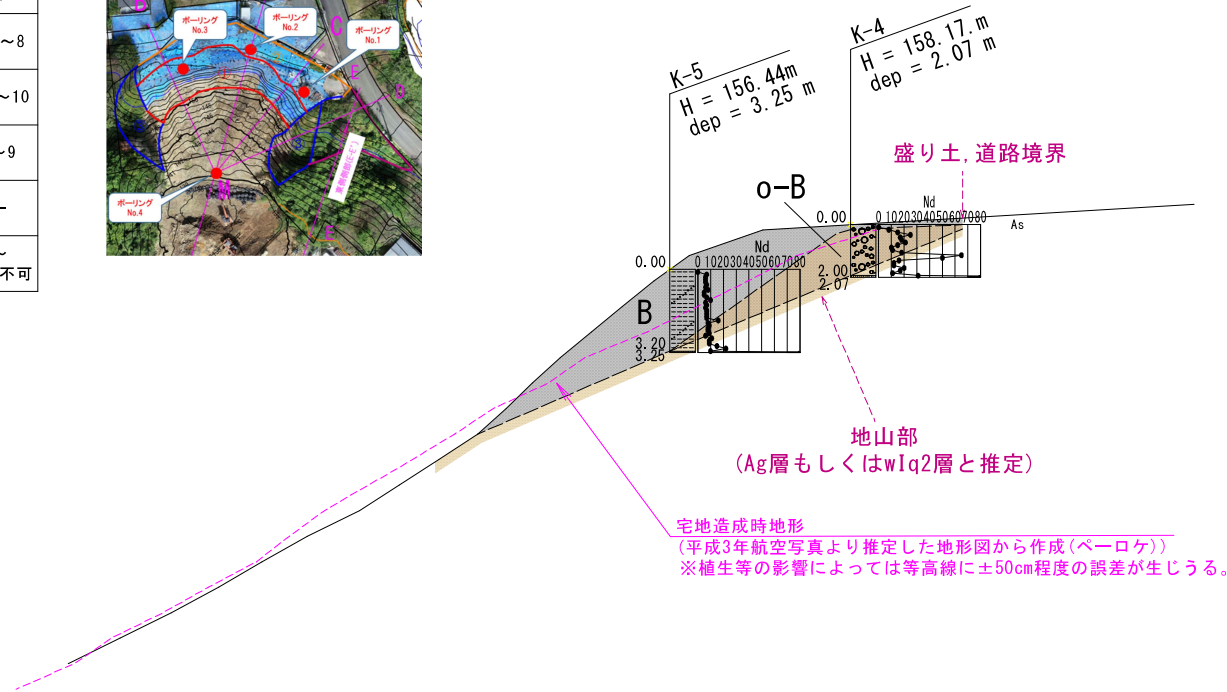
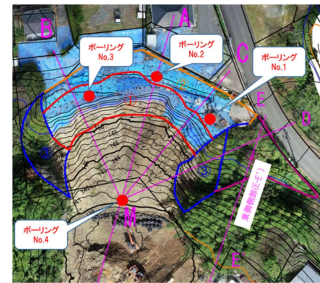


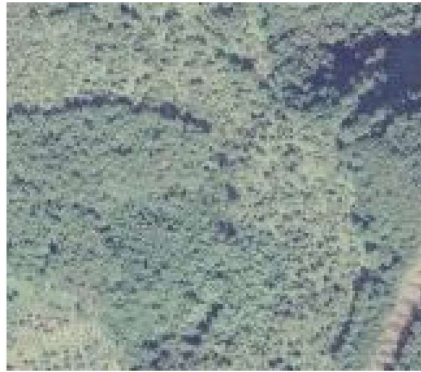
図-4.1.14 東側側部(E-E')の地層推定断面図(S=1:250)

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

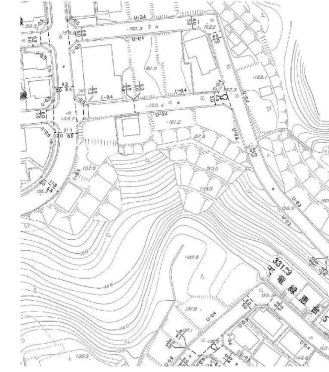
昭和 58 年以降の空中写真により、崩落が生じた斜面周辺の地形の変遷を示す



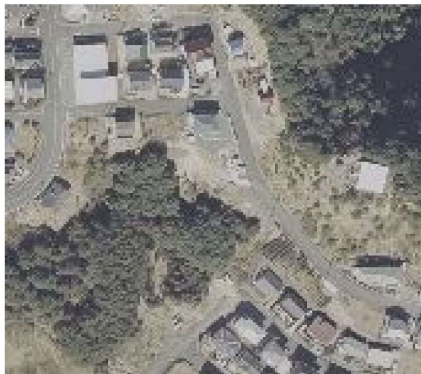
昭和58年（1983年）



平成2年（1990年）



道路台帳(平成2年に近い地形)



平成17年（2005年）



平成27年（2015年）



令和2年（2020年）

※国土地理院地図から引用

写真-5.1.1 崩落斜面周辺の地形の変遷

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。

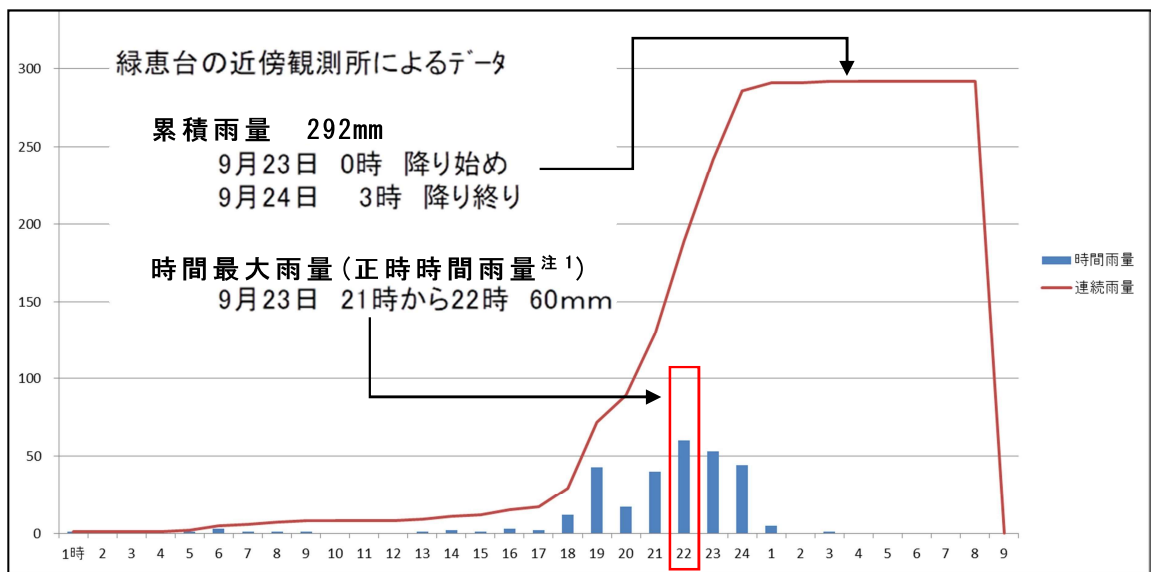


図-5.1.2 9月23～24日にかけての降雨量

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

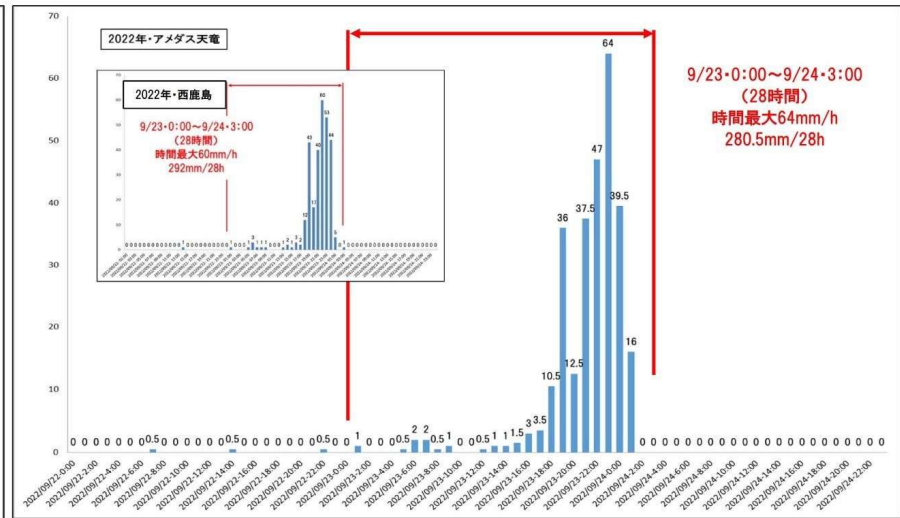
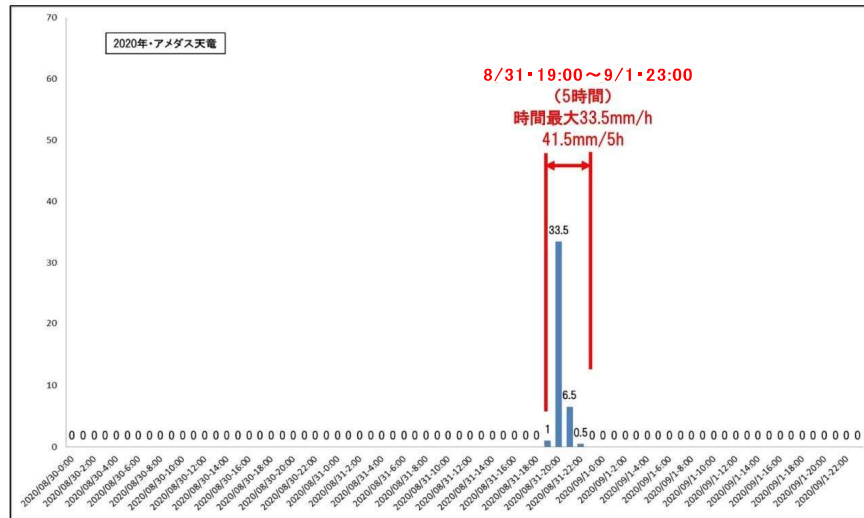
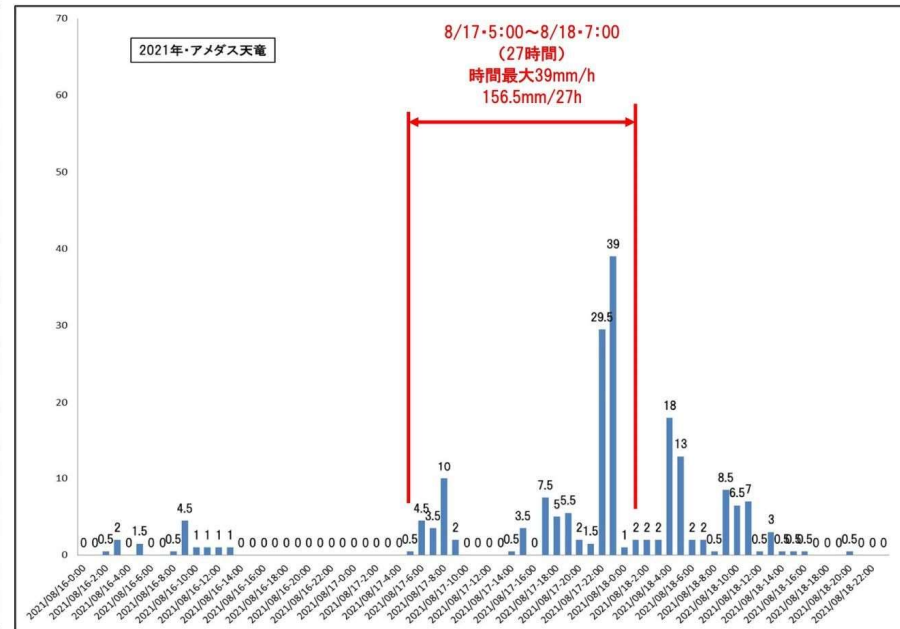
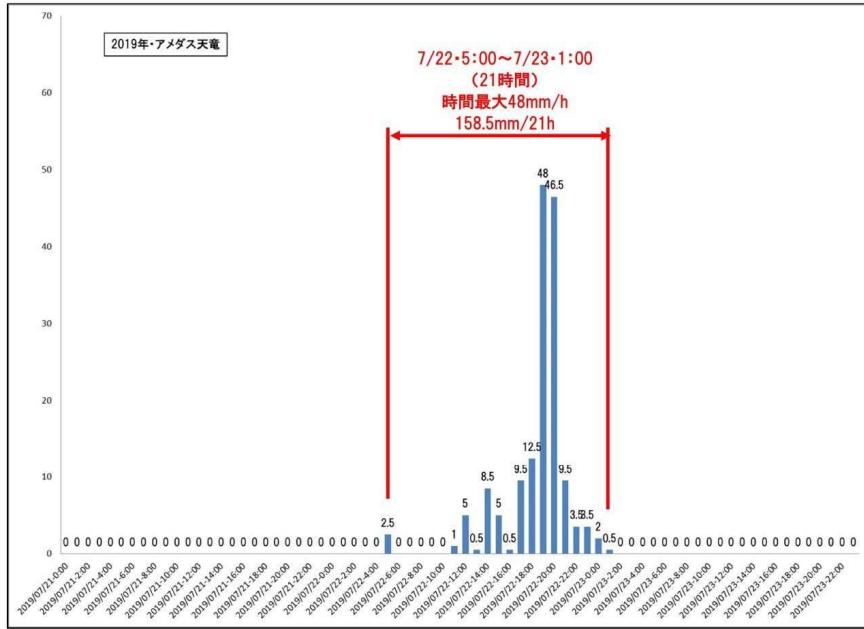


図-5.1.3 アメダス天竜観測所・時間雨量（2019年～2022年）の比較

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 $8,100\text{m}^3$ 。

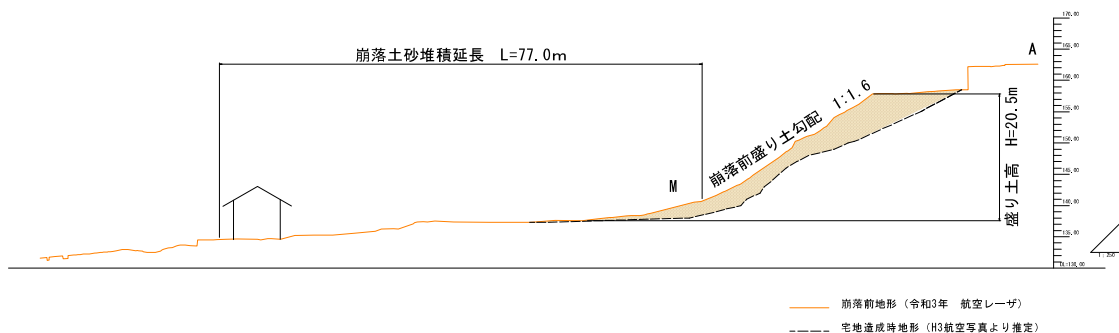


図-5.2.2 崩落前断面図

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-5.1.2参照)。
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-5.1.2参照)。
- ・アメダス天竜観測所において、2022年9月23日の日降水量と日最大1時間降水量は、1976年観測開始以降で最も大きな値を示している(日降水量：264.5mm、日最大1時間降水量：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) ダンプトラックや重機が往復し盛り土上端部は締め固められた可能性はあるが、斜面上の盛り土は盛りこぼされて緩い状態にあったと推定される。
- 4) 盛り土には排水施設がないものと推定され、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)。

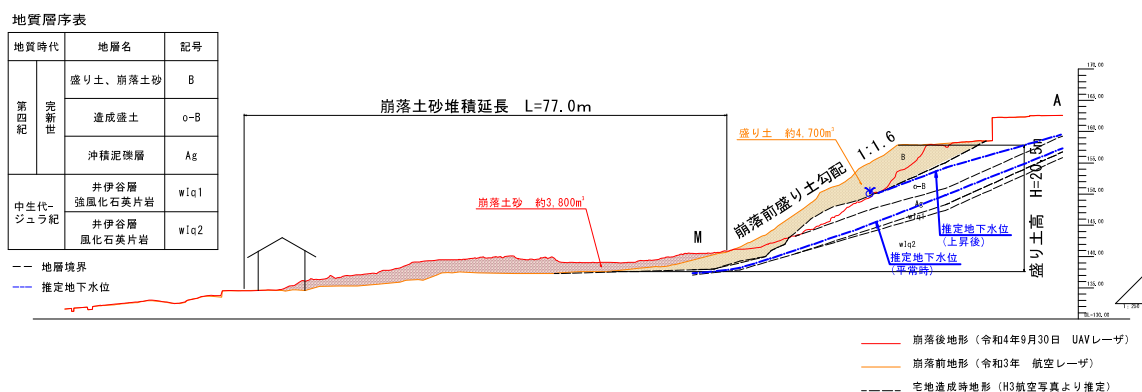


図-5.2.3 崩落後断面図

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

地質階序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土	B
	造成盛土	o-B
	沖積礫層	Ag
中生代・ジュラ紀	井伊砂層	w1q1
	濃嵐化石炭片層	Ag
	風化石炭片層	w1q2

--- 地層境界
 --- 推定地下水位

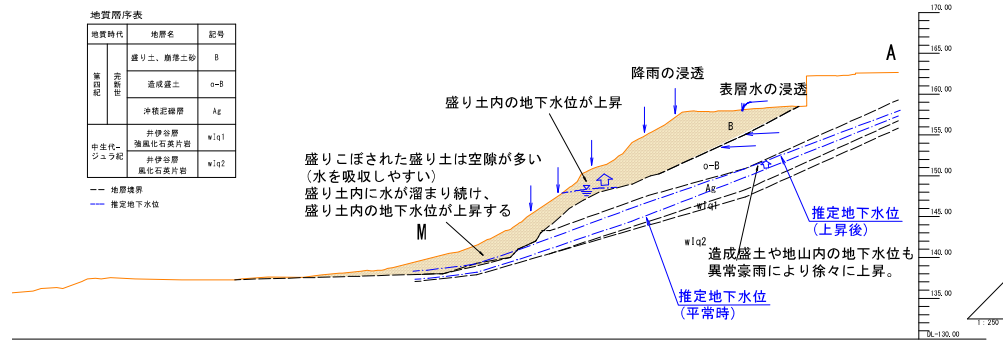


図-5.2.4 崩落前推定断面図

- ・盛り土は空隙が多く、水を吸収・貯留しやすい状態であり、排水施設もなかったものと推定される。
- ・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。
- ・飽和状態になり、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、

②崩落直前

地質階序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土、薄層土砂	B
	造成盛土	o-B
	沖積礫層	Ag
中生代・ジュラ紀	井伊砂層	w1q1
	濃嵐化石炭片層	Ag
	風化石炭片層	w1q2

--- 地層境界
 --- 推定地下水位

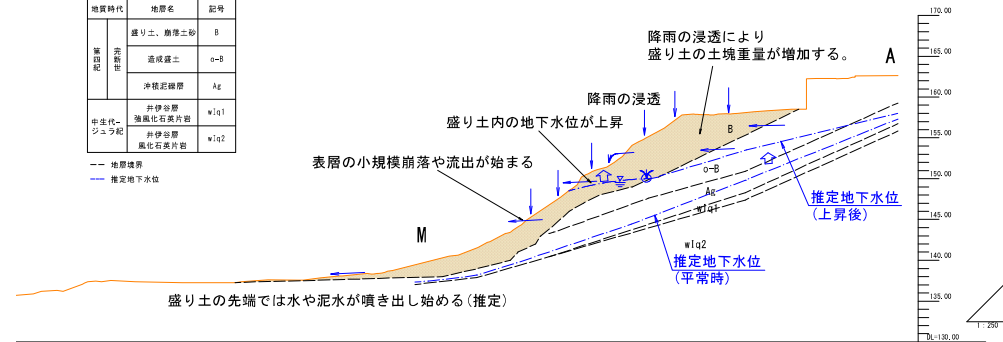


図-5.2.5 崩落直前推定断面図

③崩落後

地質階序表		
地質時代	地層名	記号
第四紀	盛り土、薄層土砂	B
	造成盛土	o-B
	沖積礫層	Ag
中生代・ジュラ紀	井伊砂層	w1q1
	濃嵐化石炭片層	Ag
	風化石炭片層	w1q2

--- 地層境界
 --- 推定地下水位

- 崩落後地形 (令和4年9月30日 UAVレーザ)
- 崩落前地形 (令和3年 航空レーザ)
- 宅地造成時地形 (H3航空写真より推定)

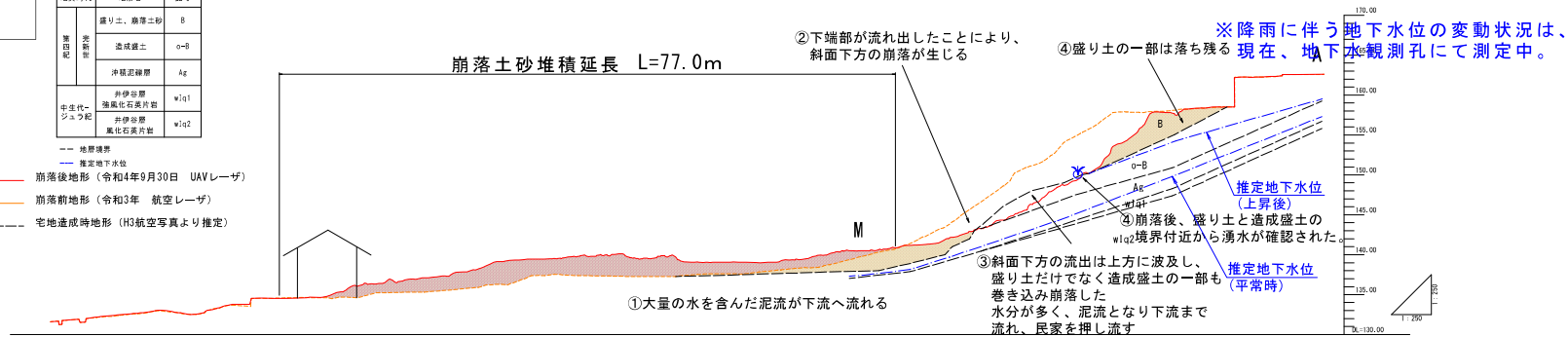


図-5.2.6 崩落後推定断面図

6. 応急対策

更に崩落する可能性のある土砂に対して、崩落した土砂を撤去するとともに、以下に示す大型土のう築堤工と沈砂池を応急対策として講じた。

6-1 大型土のう築堤工

更に崩落する可能性のある土砂が、周辺の人家や道路への流出することを防止するために、大型土のう（H=3.0m）を配置した。

土のうの高さは、更に崩落する可能性のある土砂が築堤工背面に捕捉できる程度の高さ（3段）とし、断面については「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル（（一財）土木研究センター）を基に、以下の外力が作用した際に安定する条件を確認して決定した。

- ・ 堆砂圧
- ・ 静水圧
- ・ 流体力+静水圧



写真-6.1.1 大型土のう築堤工完成状況（全景）

（2022年11月7日撮影）



写真-6.1.2

①大型土のう築堤工（上流部）

（2022年11月7日撮影）



写真-6.1.3

②大型土のう築堤工（中流部）

（2022年11月7日撮影）



写真-6.1.4

③大型土のう築堤工（下流部）

（2022年11月7日撮影）