おぼっぷがわ
覚生川における工事現場内事故技術検討会

報　告　書

平成 28 年 3 月

おぼっぷがわ
覚生川における工事現場内事故技術検討会

目　次

はじめに

1.　事故の概要 ･･･ 1
2.　工事の概要 ･･･ 3
3.　技術検討会 ･･･ 5
　3.1 検討会の構成 ･･･ 5
　3.2 検討会の開催日程 ･･･ 5
　3.3 検討会規約 ･･･ 6
　3.4 検討会の実施内容 ･･･ 7
4.　調査結果 ･･･ 9
　4.1 地形・地質 ･･･ 9
　4.2 気象・地象 ･･･ 12
　4.3 落とし込み土の状況 ･･･ 12
　4.4 水理状況 ･･･ 15
　4.5 災害発生範囲 ･･･ 19
5.　検討結果 ･･･ 20
　5.1 調査結果から確認・想定された事項 ･･･ 20
　5.2 想定される崩壊プロセス ･･･ 24
　5.3 考察 ･･･ 28
6.　検討会からの提言～再発防止に向けて～ ･･･････････････････････････････････････ 31

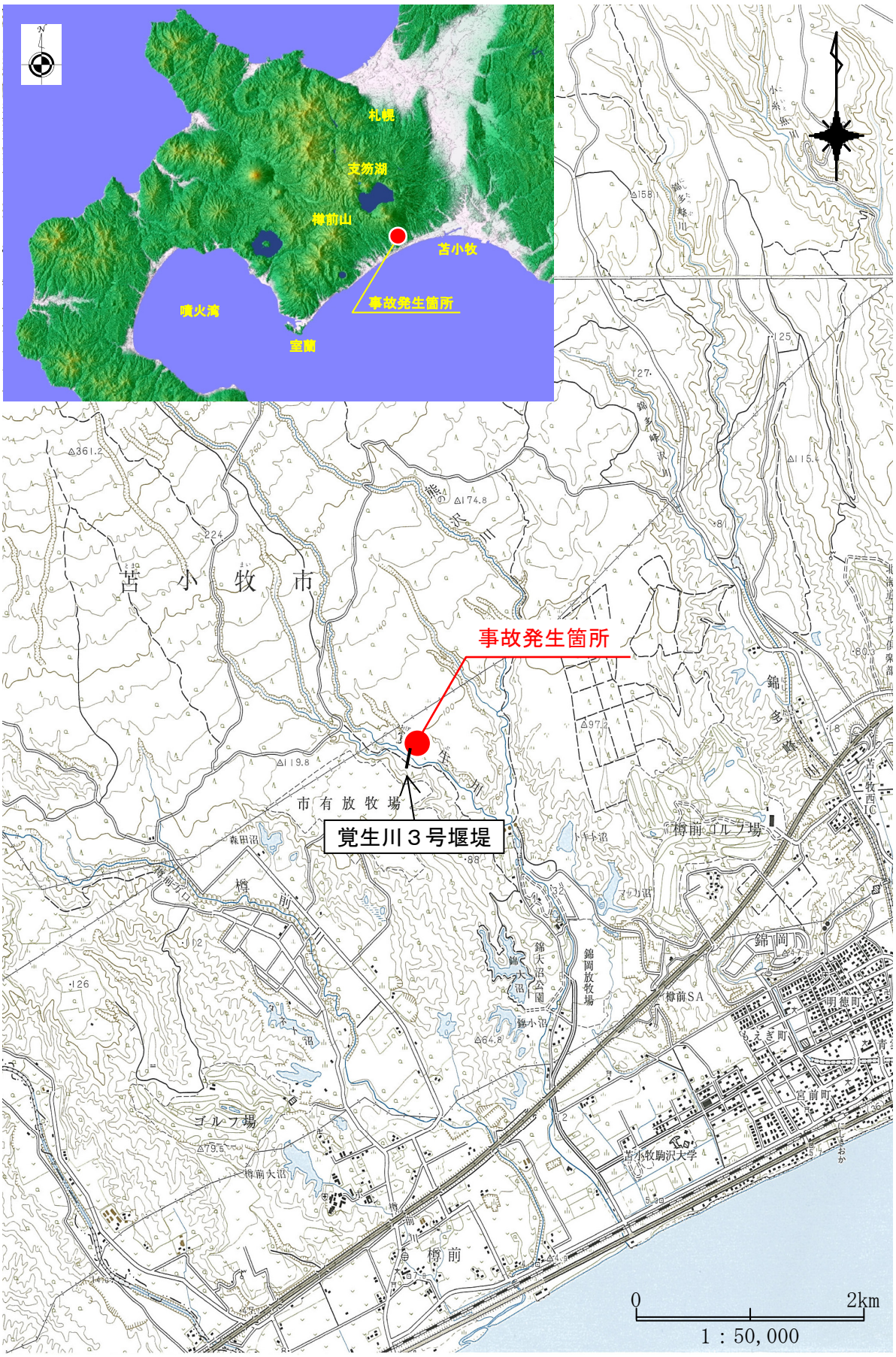
【参考資料】 ･･･ 32
室内土質試験一覧 ･･･ 33
ボーリング柱状図・コア写真 ･･･ 34
トレンチ調査結果 ･･･ 38
滑落土砂等調査結果 ･･･ 39

はじめに

平成 28 年年始の作業開始から間もない 1 月 7 日 13 時 55 分頃、『樽前山火山砂防工事の内覚生川工事用道路整備外工事』の現場でバックホウを運転していたオペレーターの尊い命が土砂の崩落によって失われた。ご本人のご冥福をお祈りし、残されたご遺族に心からお悔やみを申し上げます。

当検討会は、事故発生に至る現象の解明、及び現場に残る土砂によって二次災害を発生させない対応について、現地の調査や採取試料の分析、解析などに基づいて詳細に検討し、ここにその結果について報告する。

詳細は本文に述べるが、土質、地下水、気象条件、年末年始の休工期間など、様々な事柄の条件が相互に関係して崩落事故が発生したものと考えられ、予め事故の発生を予見することは困難であったと判断した。また、事故発生箇所周辺は、再度不安定化することもあり得ることから、工事再開時における二次災害の発生を防止し、さらには今後の工事の安全を確保するために、本報告書の活用を期待する。


札幌
支笏湖
樽前山
苫小牧
事故発生箇所
噴火湾
室蘭
苫小牧市
事故発生箇所
覚生川３号堰堤
市有放牧場
樽前ゴルフ場
錦多峰
錦岡
樽前SA
苫小牧駒沢大学
ゴルフ場
樽前
0
2km
1：50,000

事故発生箇所

1. 事故の概要

樽前山火山砂防事業の工事用道路造成のため、平成 27 年 10 月から現地で開始していた「樽前山火山砂防工事の内　覚生川工事用道路整備外工事」において、平成 28 年 1 月 7 日 13 時 55 分頃、工事用道路造成中に落とし込み土の崩落が発生し、バックホウ 1 台とダンプトラック 1 台が土砂に巻き込まれる事故が発生した。この事故で、バックホウのオペレーターが土砂に埋もれ死亡した。なお、ダンプトラックの運転手は自力で脱出し無事であった。

崩落規模は幅約 25m、長さ約 30m、厚さ約 4m、崩落土量は約 2,900m^3 であった。

被災したダンプトラックの運転手の証言によると、事故当日、落とし込み土の末端部で作業を行っていたバックホウは、土砂の末端部を斜面に向かい左側から掘削を始め、順次右側に掘削を進めていた。バックホウによる掘削は、昼時間を挟み 14 時前には右側の尾根近くまでバケットが届く位置に至り、バックで進入したダンプトラックがバックホウから 2m 程度の場所に停車し、土砂を積み込もうとしたときに、突然、土砂に流されたとのことであった。

崩落箇所の施工前、施工中、崩落後の状況を写真-1.1 に示した。

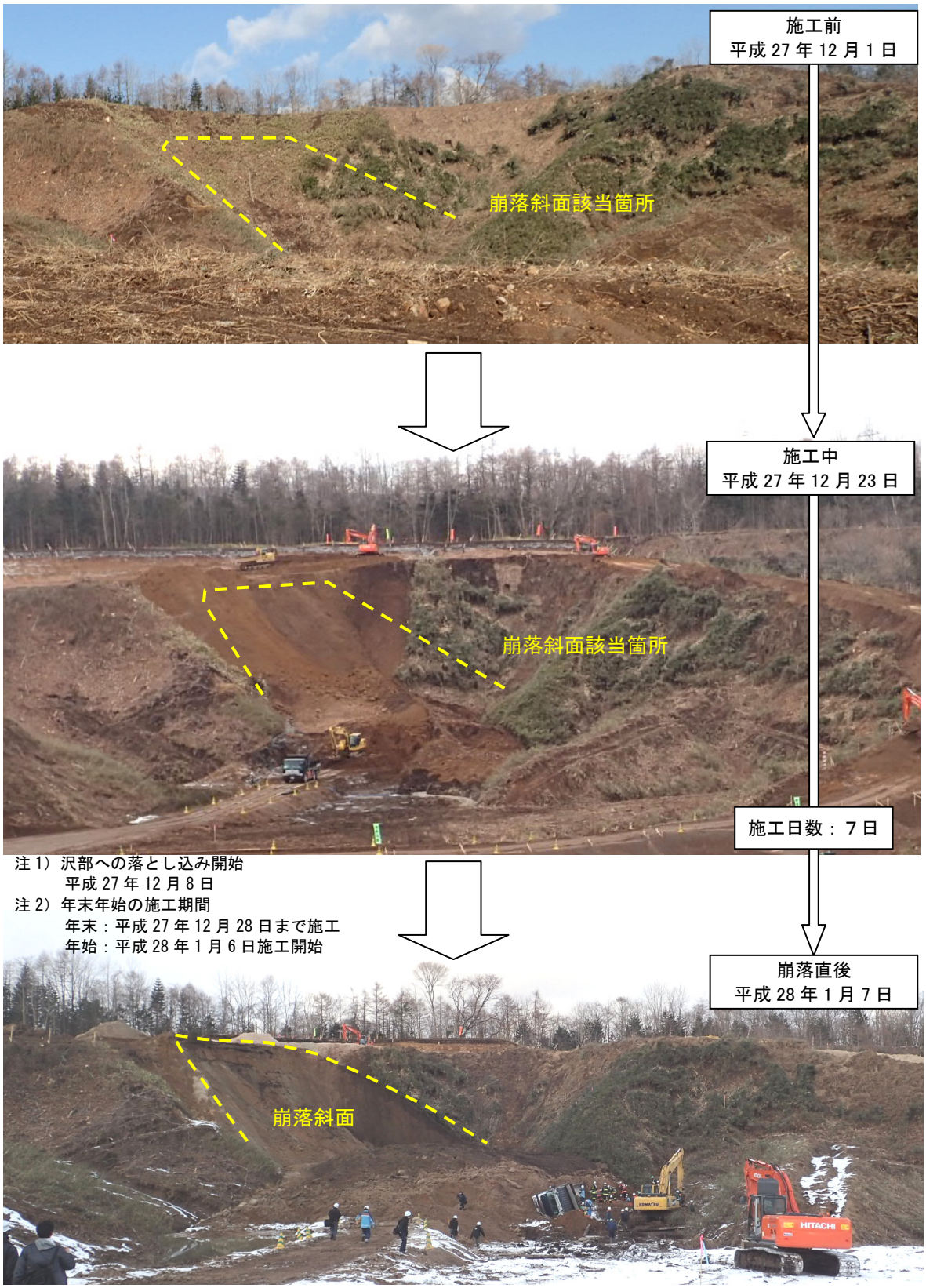


写真-1.1　崩落箇所の斜面状況

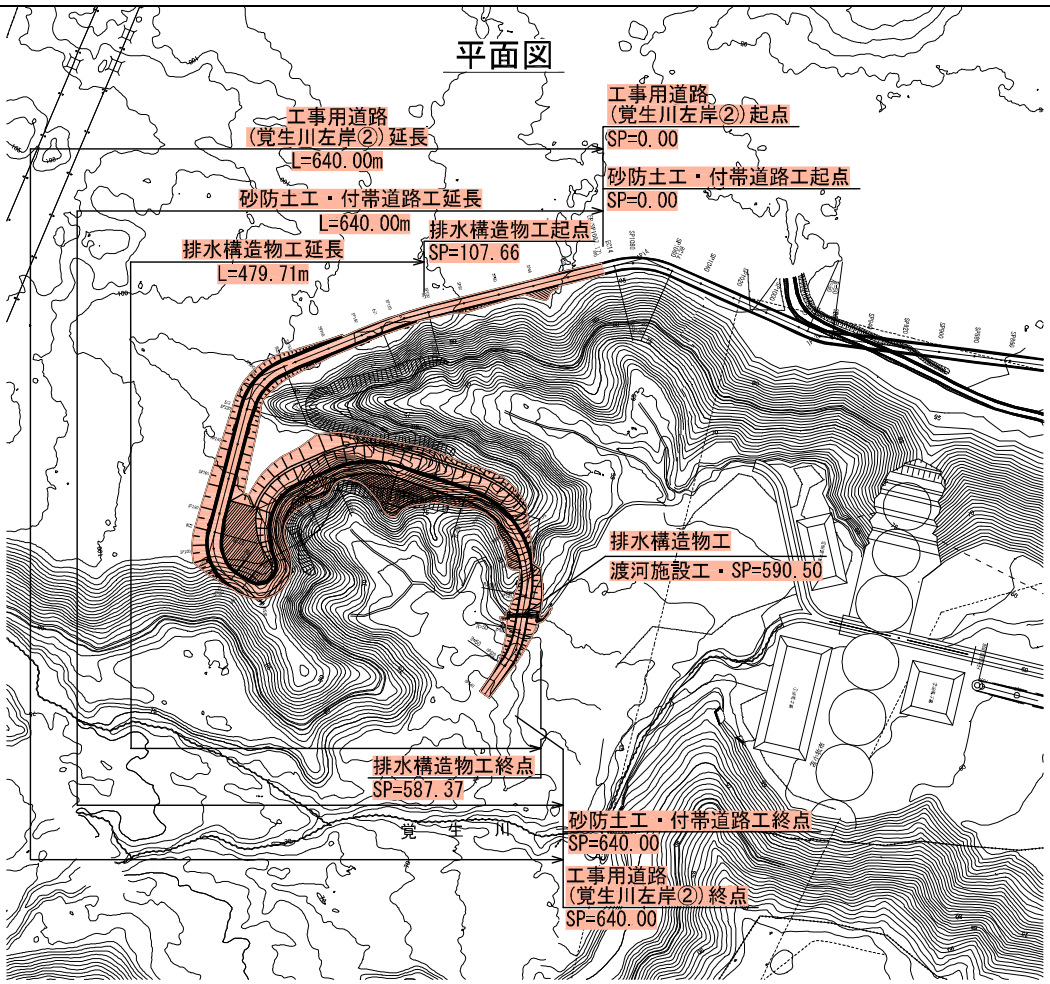
2. 工事の概要

樽前山南麓の覚生川において、火山泥流対策の砂防堰堤の建設を進めている。

本工事は、図-2.1に示すとおり、砂防堰堤建設のための工事用道路を造成していた。

【工事概要】

施工延長		L=640.00m
砂防土工	掘削	V=55,800m^3
	盛土	V=1,170m^3
付帯道路工	道路側溝	L=654.1m
	路盤工	A=4,360m^2



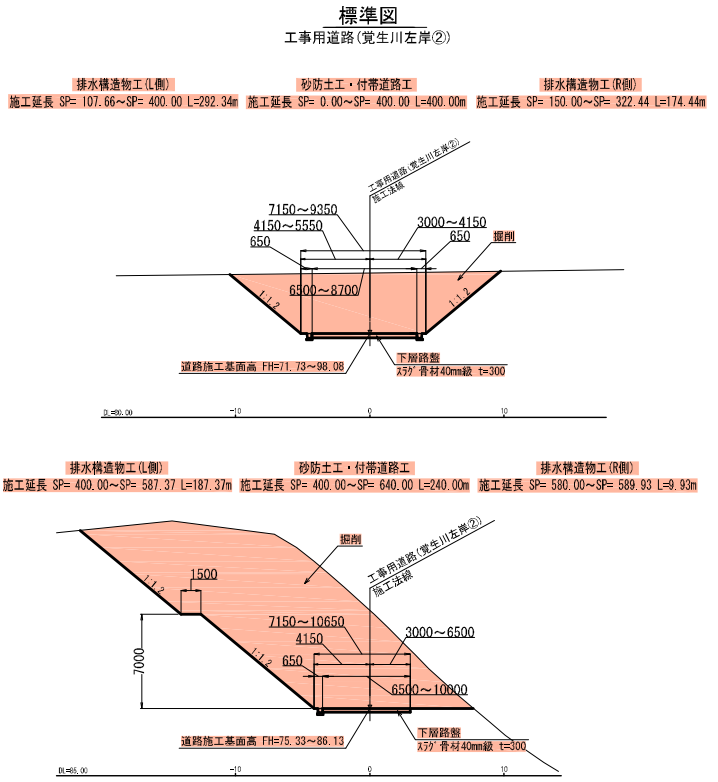


図-2.1　工事平面図・標準図

3. 技術検討会

本事故に対して、「覚生川における工事現場内事故技術検討会」が設置された。

3.1 検討会の構成

検討会の構成は、下記のとおりである。

委員長	かにえ　しゅんじ 蟹江　俊仁	北海道大学大学院　教授
委　員	おさない　のぶとも 小山内　信智	北海道大学大学院　特任教授
委　員	こはた　ゆきひろ 木幡　行宏	室蘭工業大学大学院　教授
委　員	いとう　よしひこ 伊東　佳彦	国立研究開発法人　土木研究所 寒地土木研究所　地質研究監

3.2 検討会の開催日程

検討会は、下記の日程で開催された。

検討会	開催日	備考
第 1 回検討会 (現地調査を 3 回に分割開催)	平成 28 年 1 月 12 日	伊東委員
	平成 28 年 1 月 18 日	木幡委員
	平成 28 年 1 月 19 日	蟹江委員長、小山内委員
第 2 回検討会	平成 28 年 2 月 11 日	
第 3 回検討会	平成 28 年 3 月 17 日	

3.3 検討会規約

覚生川（おぼっぷがわ）における工事現場内事故技術検討会

規　約

（目的）

第１条　今般発生した、覚生川工事用道路施工に関わる被災について、その原因究明、工事再開時における二次災害発生防止を検討し、その結果を室蘭開発建設部長に報告することを目的とする。

（構成）

第２条　検討会は別紙の委員長及び委員を持って構成する。

一　委員長は、室蘭開発建設部長が委任する。

二　委員は、委員長の意見を基に室蘭開発建設部長が委任する。

（検討会の招集）

第３条　検討会の招集は委員長が行う。

（事務局）

第４条　検討会の事務局は室蘭開発建設部に置く。

（その他）

第５条　この規約に定めるもののほか、検討会の設置に関し必要な事項は、委員長が別に定める。

3.4 検討会の実施内容

今回の事故の原因究明および、二次災害の発生防止のための対応方針を決定するために実施した調査･検討の概要は以下のとおりである。調査位置は写真-3.1、調査項目は表-3.1 に示した。

(1) 現況調査

測量、現地踏査、トレンチ地山確認、気象状況の整理、施工状況確認、水文調査

(2) 地質調査

機械ボーリング、各種孔内試験、ピット掘削、室内土質試験等

(3) 斜面崩落原因究明検討

地質総合解析および斜面安定検討

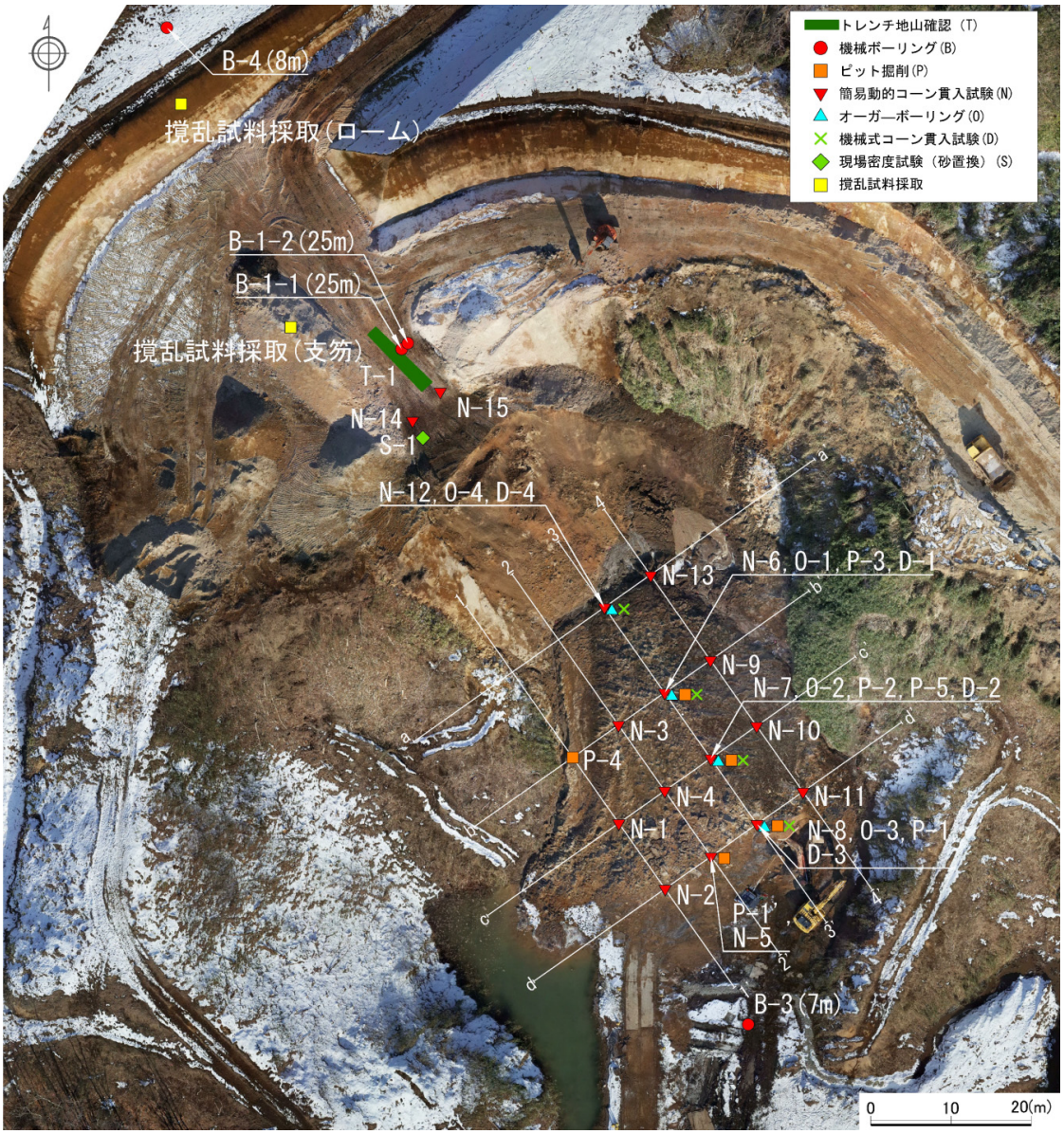


写真-3.1　調査位置図

表-3.1　調査項目一覧

工種	数量	調査の目的
(1)現地調査		
①測量	1 式	崩落後の現況把握
②現地踏査	1 式	崩落状況、周辺地形及び地質、湧水地点等の確認
③トレンチ地山確認	1 箇所	落とし込み土と地山境界の確認
④気象状況の整理(降雨・地震)	1 式(1 年間)	崩落誘因の推定に用いる基礎資料整理
⑤施工状況確認	1 式	施工方法、施工状況の確認 （掘削・運搬状況等）
⑥水文調査(流量観測・水質分析)	流量：7 箇所 水質：8 箇所	崩落箇所周辺の地下水状況把握 （水収支と周辺地山湧水点確認）
(2)地質調査		
①機械ボーリング		
機械ボーリング	65m(4 本)	地質構成の把握
標準貫入試験	57 回	N 値の把握(B-1-2、B-3)
現場透水試験	4 箇所	地山の透水性の把握(B-1-2)
室内土質試験	1 式	地山の土質特性の把握(B-1-2、B-3)
②滑落土砂等調査		
ピット掘削	5 箇所	滑落土砂の堆積状況把握
簡易動的コーン貫入試験	95.5m (15 本)	滑落土砂の深度方向の強度把握
機械式コーン貫入試験	24.7m (4 本)	滑落土砂の深度方向の強度把握
オーガーボーリング	12.2m (4 本)	滑落土砂の深度方向の物性把握
現場密度試験（砂置換）	1 箇所	落とし込み土の密度把握
室内土質試験	1 式	落とし込み土、滑落土砂の土質特性の把握 （試料採取、物理・力学試験（三軸））
(3)斜面崩落原因究明調査		
①地質総合解析	1 式	崩落原因を究明するための基礎資料の整理
②斜面安定検討	1 式	崩落原因の究明

4. 調査結果

崩落要因を検討する上で重要となる地形・地質、落とし込み土の状況、水理状況、気象・地象条件、災害発生範囲等について以下に示す。

4.1 地形・地質

事故発生箇所周辺は樽前山の南東山麓に位置し、山麓斜面は緩い傾斜をなして広がり、覚生川等に開析されている（図-4.1）。事故が発生したのは、山麓面と覚生川によって形成された沖積原の間にある比高差 30m 程度の斜面である。後述するように、崩壊は自然地山を巻き込んだり、自然地山と落とし込み土の境界部ではなく、落とし込み土内部で発生している。

事故発生箇所の地質は、約 4 万年前の支笏カルデラ形成時に噴出・堆積したスコリア流堆積物、降下火砕堆積物、および軽石流堆積物等が主体である。これらの地層は水平に堆積しており、その上位に時代未詳のロームや完新世の樽前降下火砕堆積物等が、斜面の地形なりに分布している。いずれも未固結～半固結の粗しょうな堆積物である。

崩落地周辺の構成地質を把握することを目的に、切土法面観察ならびにボーリング調査の詳細コア観察を行い、これらの結果を基に調査地周辺のテフラ層序を検討した。支笏・風不死・樽前火山活動史および調査周辺のテフラ層序は、表-4.1、表-4.2 に示すとおりである。また、調査地周辺の柱状対比図は、図-4.2 に示すとおりである。

- 調査地周辺は上部より樽前降下火砕堆積物（Ta）、時代未詳ローム層（Lm）、支笏噴出物上部層（Sp-u）、支笏軽石流堆積物（Spfl）、支笏降下火砕堆積物（Spfa）、支笏スコリア流堆積物（Ssfl）からなる。
- 調査地周辺の構成地質は 22 層に細区分され、これらの各層は踏査結果により、ほぼ水平方向に整然と分布していることが確認される。

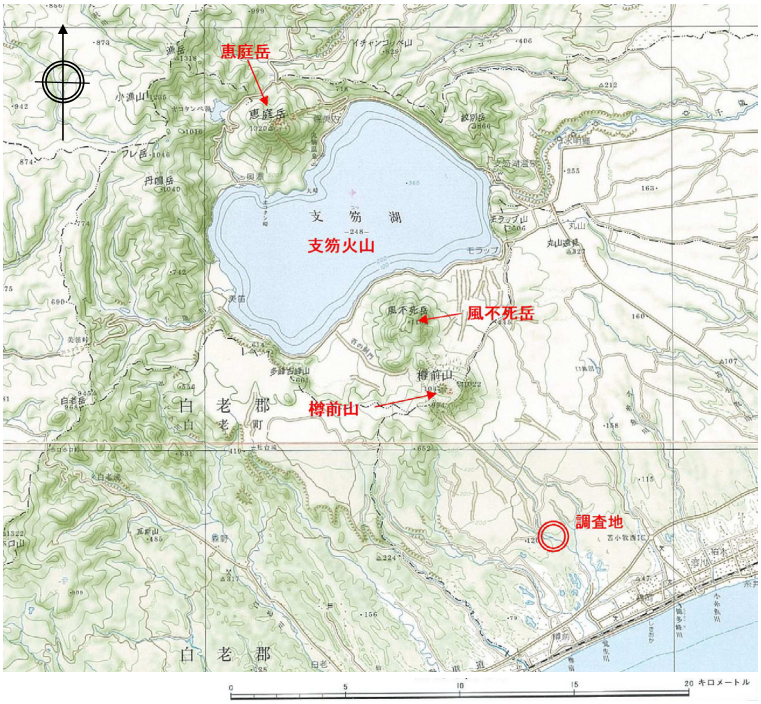


図-4.1　調査地周辺の火山分布図

表-4.1　支笏・風不死・恵庭・樽前火山活動史

時代	火山	主な火山噴出物	活動年代
現世	樽前山	溶岩円頂丘（旧・新） 中央火口丘噴出物	1874年，1909年 1804～1817年，1867年
		（山頂カルデラ形成） Ta-a 降下軽石・軽石流 ←①	1739年
		Ta-b 降下軽石・軽石流 ←②	1667年
	③黒ボク→		590±130(GaK-1595) 1640±90(GaK-733)
		Ta-c_1 降下軽石 ←④ Ta-c_2 降下スコリア	
	⑤黒ボク→		3230±80(N-3012) 6900±115(N-3018)
	恵庭岳	Ta-d_1 降下スコリア Ta-d_2 降下軽石 ←⑥	
			−8940±160(Gak-2208)
更新世	風不死岳	溶岩流（火山錐形成）	−13100±1200(Gak-3261)
		En-a 降下軽石	15000±400(Gak-2370) 21450±750(G-4346)
		nEn-b 降下軽石	
		En-c 降下軽石	
		風不死岳噴出物	
	⑦⑧→		−28850 +1800 −1400 (Gak-4357)
	支笏火山	（支笏カルデラ形成） Spfl-1 軽石流 -2 〃（一部溶結） -3 〃 ←⑨⑩⑪⑫⑬⑭	
		Spfa-1 降下軽石	30400 +3400 −2400 (Gak-1932)
		Spfa-2 降下軽石	32200±2000(Gak-714)
		Spfa-3 降下軽石 ←⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑	
		Spfa-4 降下軽石	
		Spfa-5 降下軽石	
		Spfa-6 降下軽石	
		Ssfa 降下スコリア ←㉒	
		（低位段丘砂礫層）	（マンモス臼歯化石）

表-4.2　調査地周辺のテフラ層序

時代	地層	層相	番号	記号	記事
現世	樽前降下火砕堆積物（Ta）	降下軽石層	①	Ta-a	最大径3cm程度の灰白～黄灰白色の軽石を多く含む表土。軽石は比較的淘汰が良く同質物である。植物根含む。
		火山灰シルト	②	Ta-b	茶褐～黄褐色の火山灰質シルト。径1cm未満の灰～黄白色の軽石を含む。植物根含む。
		黒ボク	③	Kb	暗黒色の黒ボク。下位層とは漸移的である。植物根含む。
		ローム	④	Ta-c	黄褐色のローム。径1cm未満の黄褐色の軽石を含む。
		黒ボク	⑤	Kb	暗黒色の黒ボク。下位層とは漸移的である。
—	時代未詳（Ta-d? En?）	ローム	⑥	Lm	塊状な黄褐色ローム。炭化木片を含む。
更新世	支笏噴出物上部層	火山礫	⑦	Sp-u	φ1～3cm程度の軽石および類質岩片からなる火山礫層。淘汰が良く円磨度が高い。
		火山灰質砂	⑧		ラミナが発達する火山灰質砂。φ2cm程度の軽石が点在する。
	支笏軽石流堆積物（Spfl）	Ⅰ 軽石流堆積物Ⅰ（上部赤色酸化部）	⑨	Spfl-Ⅰ	繊維状構造をもつ軽石を含む軽石流堆積物。基質は火山灰からなる。火砕流上面の赤色酸化を呈する。淘汰悪い。軽石のほか、安山岩～デイサイト質の同質岩片、類質岩片を含む。
		Ⅱ 軽石流堆積物Ⅱ（塊状部）	⑩	Spfl-Ⅱ	黄褐～黄灰色の軽石流堆積物。繊維状構造を持つ最大径5cm程度の黄白色軽石を含む。基質は火山灰からなる。基質に富む。
		Ⅲ 軽石流堆積物Ⅲ（礫質部）	⑪	Spfl-Ⅲ	安山岩～デイサイト質の石質岩片を多く含む軽石流堆積物。石質岩片は最大径2cm程度で褐色風化しているものと新鮮なものが混在する。含まれる軽石や基質は塊状部と同質のものからなる。基質分と礫分の比は同等程度。
		Ⅳ 軽石流堆積物Ⅳ（下部赤色酸化部）	⑫	Spfl-Ⅳ	安山岩～デイサイト質の火山礫を多く含む層準で、全体に赤色酸化する。
		Ⅴ 軽石流堆積物Ⅴ（下部赤色酸化部（一部））	⑬	Spfl-Ⅴ	黄褐色の軽石流堆積物。塊状部と同質なものから構成される。基質に富む。
			⑭		淡ピンク色の軽石流堆積物。塊状部と同質なものから構成される。火砕流下面の赤色酸化を呈する。基質に富む。
	支笏降下火砕堆積物（Spfa）	白色軽石	⑮	Spfa-Ⅰ	最大径1cm、平均径5mm程度の白色軽石からなる降下軽石層。
		白色軽石～火山灰質砂・シルト互層	⑯	Spfa-alt Ⅰ	淡褐色の火山灰質砂・シルトと白色軽石の互層。 a) 淡褐色火山灰質シルト5cm b) 粗砂～細礫サイズ白色軽石3cm c) 淡褐色火山灰質シルト19cm d) 最大径1cm程度の白色軽石20cm e) 灰白色の火山灰質シルト25cm f) 褐色の火山灰砂35cm
		白色軽石	⑰	Spfa-Ⅱ	最大径2cm、平均径粗砂～細礫サイズ程度の白色軽石からなる降下軽石層。淘汰良い。
		火山灰質シルト～黄褐色軽石互層	⑱	Spfa-alt Ⅱ	黄褐色の火山灰質シルトと、最大径1cm程度の黄褐色軽石との互層。 ・黄褐色火山灰質シルト50cm ・黄褐色軽石35cm ・黄褐色火山灰質シルト20cm
		礫混じり火山灰質シルト	⑲	Spfa-silt	黄褐色の礫混じり火山灰質シルト。礫は最大径5cm程度の安山岩～デイサイト質亜円礫と、最大径1cm程度の軽石からなる。全体的に不均質で塊状である。基質は火山灰質シルト。基質に富む。
		軽石～火山灰質シルト互層	⑳	Spfa-alt Ⅲ	最大径1cm、平均径粗砂～細礫サイズ程度の黄褐色軽石と黄褐色の火山灰質シルトの互層。粗砂程度のスコリアを含む。上部55cm程度はシルト分が少ない。
		黄白～黄褐色軽石	㉑	Spfa-Ⅲ-a	最大径3cm、平均径5mm程度の黄白～黄褐色の軽石からなる降下軽石層。上部がやや褐色化する。
		黄白～黄褐色軽石		Spfa-Ⅲ-b	最大径2cm、平均径0.5～1cm程度の黄白～黄褐色の軽石からなる降下軽石層。
	支笏スコリア流堆積物（Ssfl）	スコリア流堆積物	㉒	Ssfl	上部に赤色酸化を伴う暗灰色のスコリア流堆積物。最大径3cm程度の安山岩質のスコリアを含む。基質は火山灰砂からなる。全体的に半固結する。基質に富む。

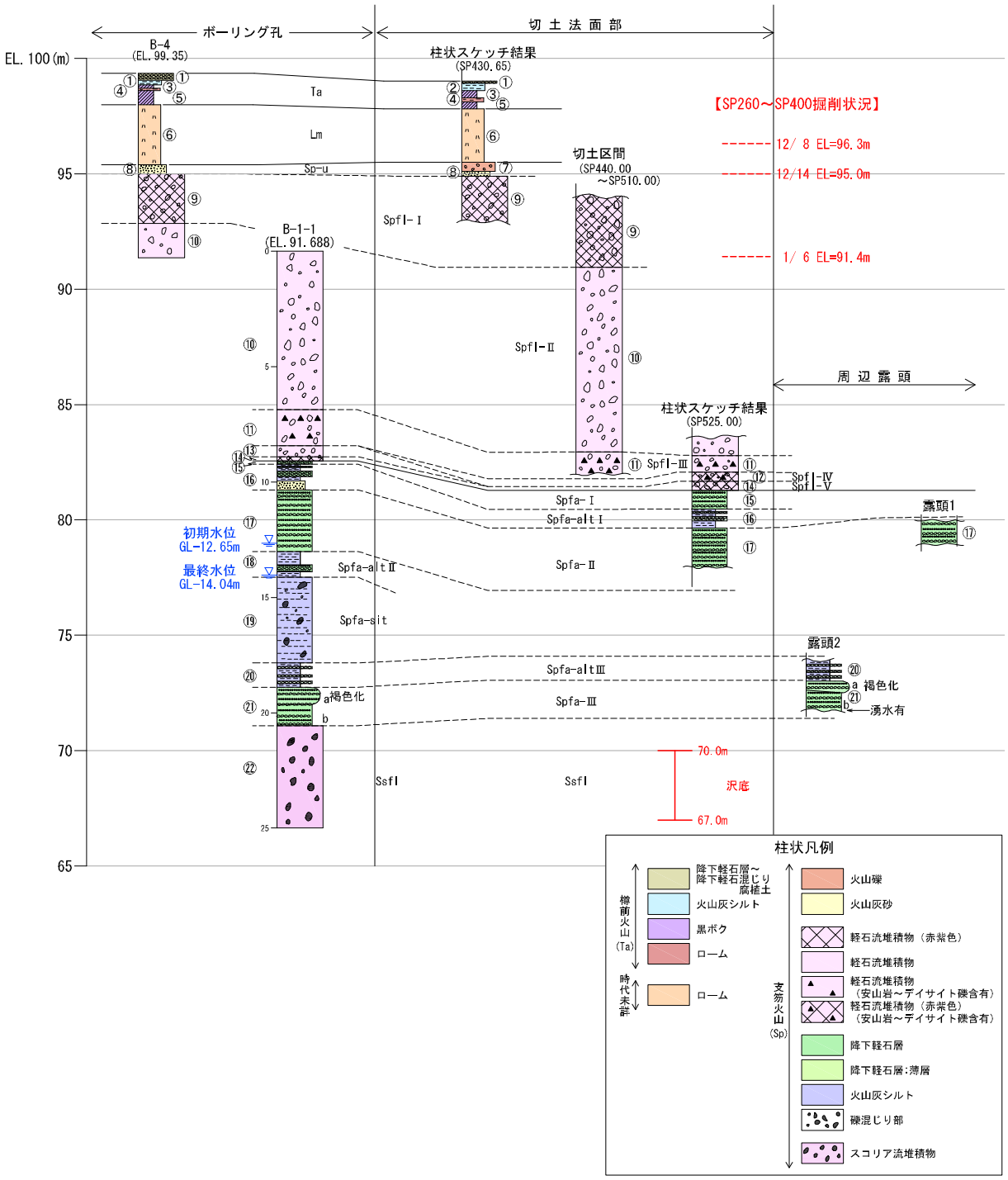


図-4.2　調査地周辺柱状対比図

4.2 気象・地象

近隣の苫小牧や白老の気温は、図-4.3 に示すとおり、平成 27 年 12 月 26 日から 29 日にかけては最高気温がマイナスになる真冬日であった。その後、事故が発生するまでの平成 28 年 1 月 7 日にかけては、最低気温と平均気温（1 月 2 日を除く）はマイナスではあるが、最高気温がプラスに転じ（1 月 5 日を除く）、特に平成 28 年 1 月 2 日は最高気温が 6℃まで上がり降雨を伴った。

このため、斜面や落とし込み土表層の間隙水の凍結や降霜によって、その内部の水分が滞留しやすい条件であったとともに、斜面内部には、降雨や融解により一定量の水の供給も進んでいたと考えられる。

なお、今回の崩落に関係するような地震は確認されていない。

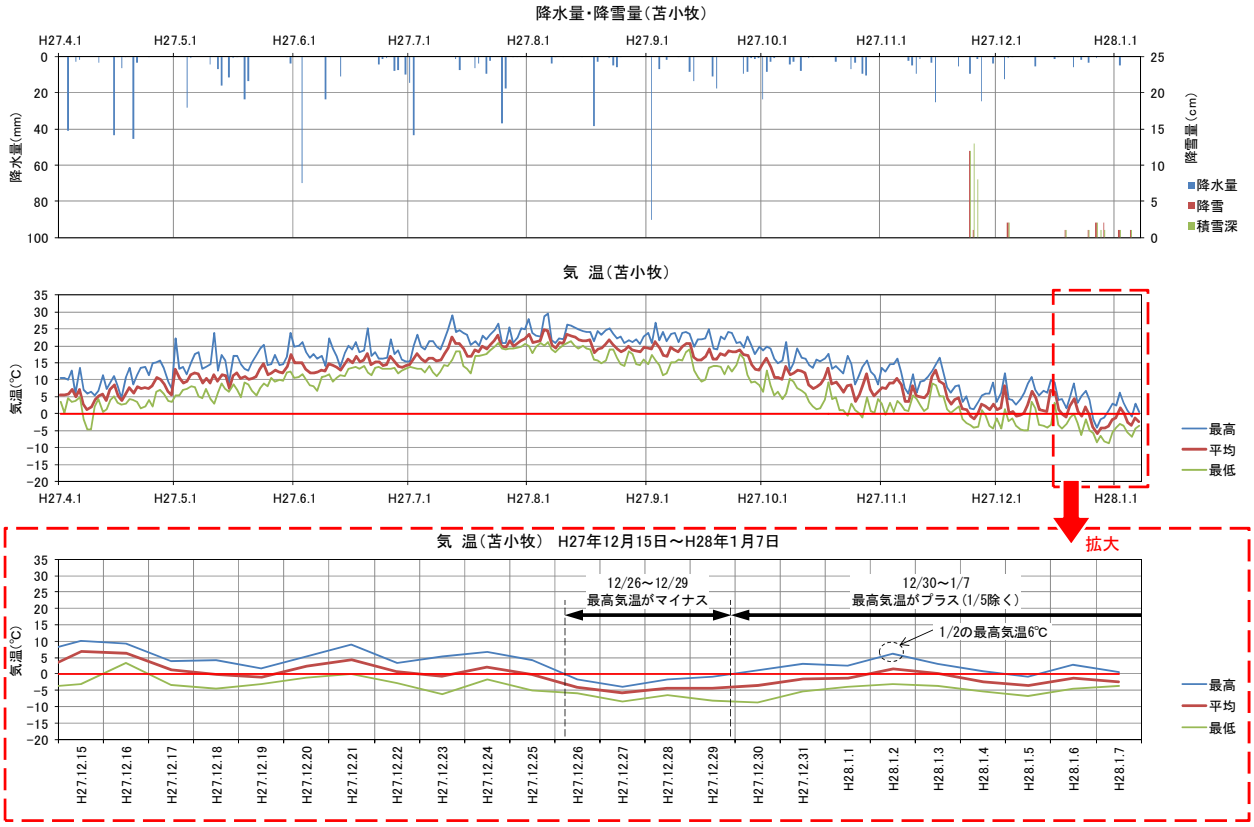


図-4.3　苫小牧気象観測所の気象状況

4.3 落とし込み土の状況

当該工事では、火山麓台地から沖積原に下る工事用道路を造成しており、台地部から尾根斜面に向けたヘアピン状カーブ付近で崩落事故が発生している。事故が発生した箇所では、上部の台地部表層から順次掘削を進め、掘削土砂を沢地に落とし込み、上部作業と時間を変えて落とし込んだ土砂を下部より掘削・運搬していた。なお、事故箇所よりも低い尾根部分の掘削土砂は、落とし込みを行わず、掘削土を直接積み込み、運搬・搬出していた。

沢地の底部は浅い窪地や不陸があったため、土砂の落とし込み作業に先立って暗渠排水をＹ字状に施し、作業用に盛土して造成した進入道路と同程度の高さに整地していた。

土砂の崩落直前の形状は不明であるが、その地形を再現することが崩落要因の推定には重要であった。崩落要因を推定するため、崩落した土砂、落とし込んだ土量を踏まえ、崩落直前の地形を再現した結果、落とし込み土量は、図-4.4 に示すとおり、約 22,000m³ と想定され、このうち崩落土量は約 2,900m³ と推定された。斜面には、掘削土砂の落とし込みによって地山の地層の上下が逆転した状態で、土砂が勾配を持って順次堆積しており、崩落は斜面に堆積した落とし込み土の内部で発生している。崩落面は板状を呈し、両側岸に残された落とし込み土の断面は、面的な広がりを想起させる明瞭な層状模様を見せている。

また、崩落前の地形は、SP385 測線を基に斜面勾配を変化させ、滑落土砂量と崩落前土砂量の土量バランスを考慮した結果、同等量となるには斜面勾配 30°が相当する。

崩落後に沢底に堆積している土砂は、地質調査等の結果から色調や強度、土質構成が異なる上下 2 層に分かれており（図-4.5）、上層の土砂の表面が列をなした波状になっている。上層が今回崩落した土砂、下層は今回の崩落に寄与しなかった落とし込み土と考えられるとともに、上層の土砂が下層の土砂の上面を流れたと想定され、上層と下層の土砂が一体となって移動したとは考えにくい。また、崩落土砂の斜面側は凹み、下流に向かってやや盛り上がっており、高速で崩落した土砂が跳ね上がったことが想定される。

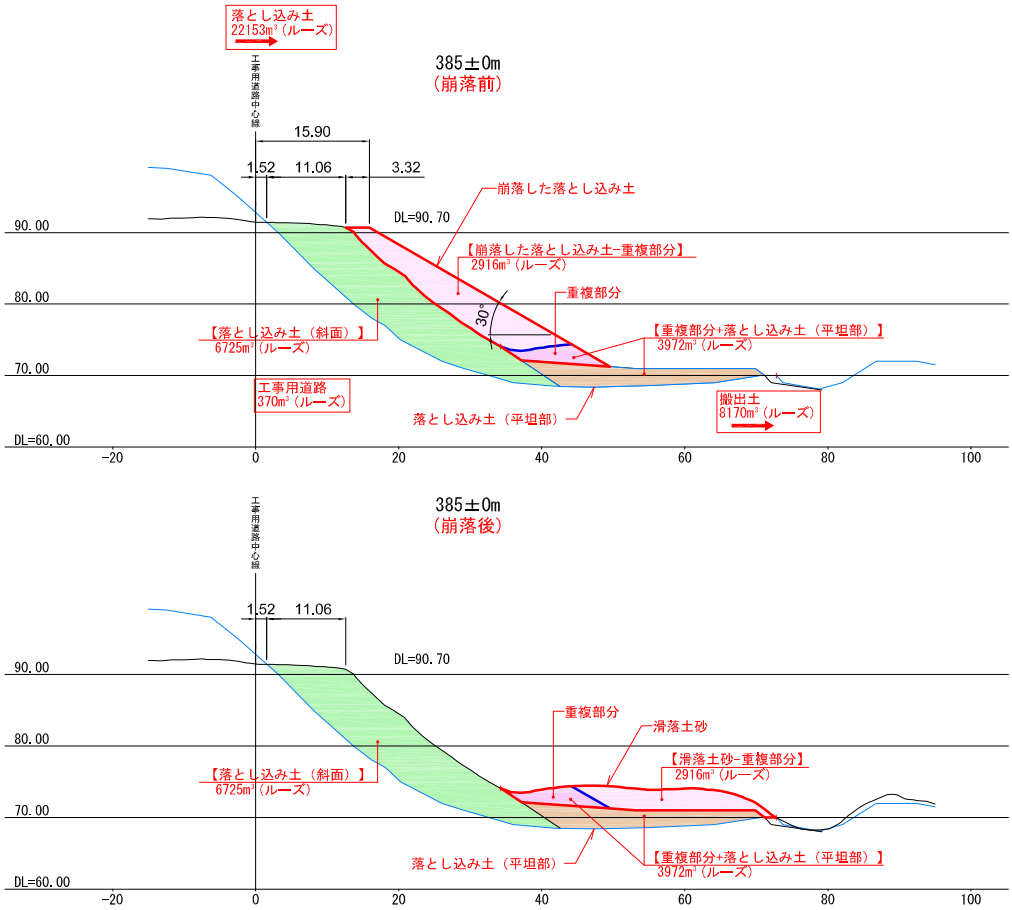


図-4.4　崩落前の地形の再現結果（断面図）

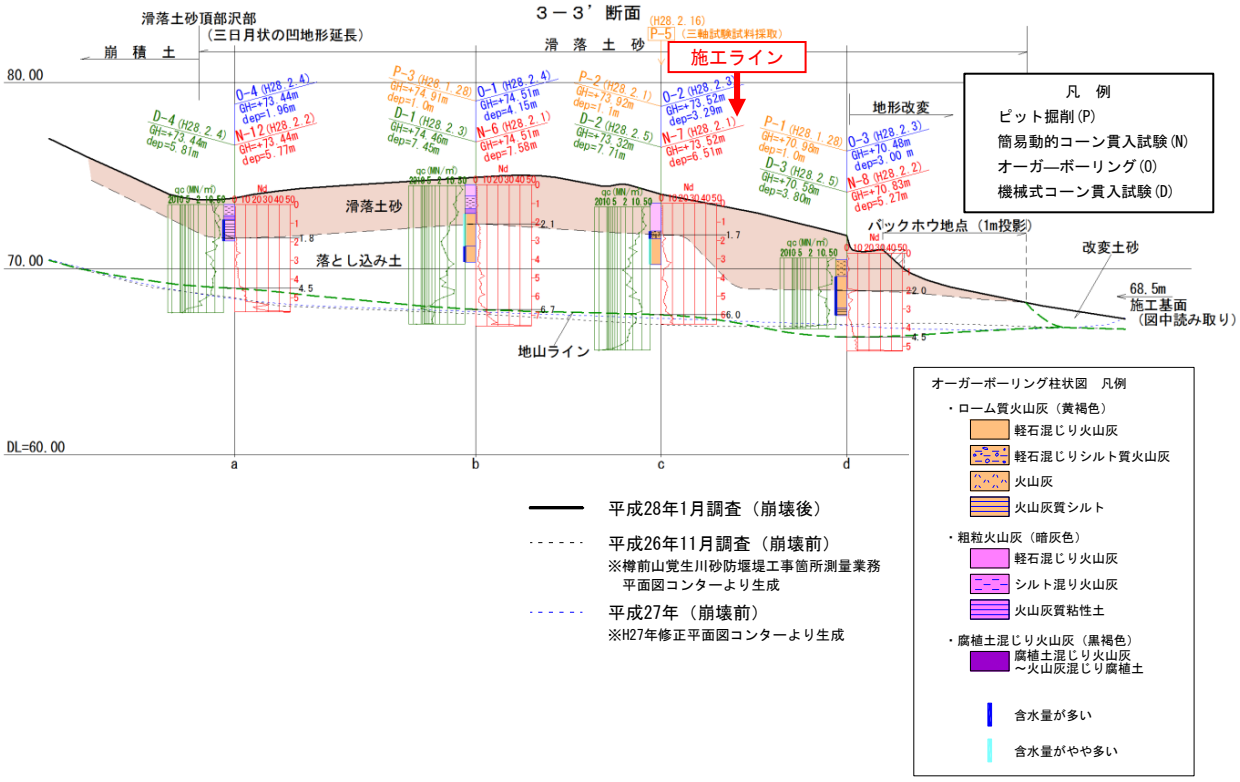


図-4.5　沢底に堆積している土砂の断面図

4.4 水理状況

崩落直後、滑落土砂の斜面側の凹みには水溜まりが形成され（写真-4.1)、目測で毎分 100 リットル程度の湧水が確認できた（平成 28 年 1 月 8 日確認)。湧水箇所は、明瞭な水みちを形成しており、位置は滑落土砂の斜面側の東端に近く、標高は 76m 付近である。なお、この湧水は 20 日後（平成 28 年 1 月 27 日）には、図-4.6 に示すとおり、毎分 20 リットルに減少している。また、事故発生後の調査で、崩落斜面西側の地山で同程度の標高からしたたり出るような湧水が確認されている。

これらのことから、標高 76m 付近に分布していた地下水は、落とし込み土によりせき止められた形になっており、崩落土砂には相当量の水を供給していたような状況にあったことが推察される。

また、隣接する東側の沢において湧水点の確認を行った（平成 28 年 2 月 16 日）結果、湧水点は崩落地と同様に標高 65m 付近と標高 76m 付近で現われ、いずれも浸み出し～流下程度であることが確認された（図-4.7、写真-4.2)。

写真-4.1　水溜り形成状況（平成 28 年 1 月 9 日撮影）

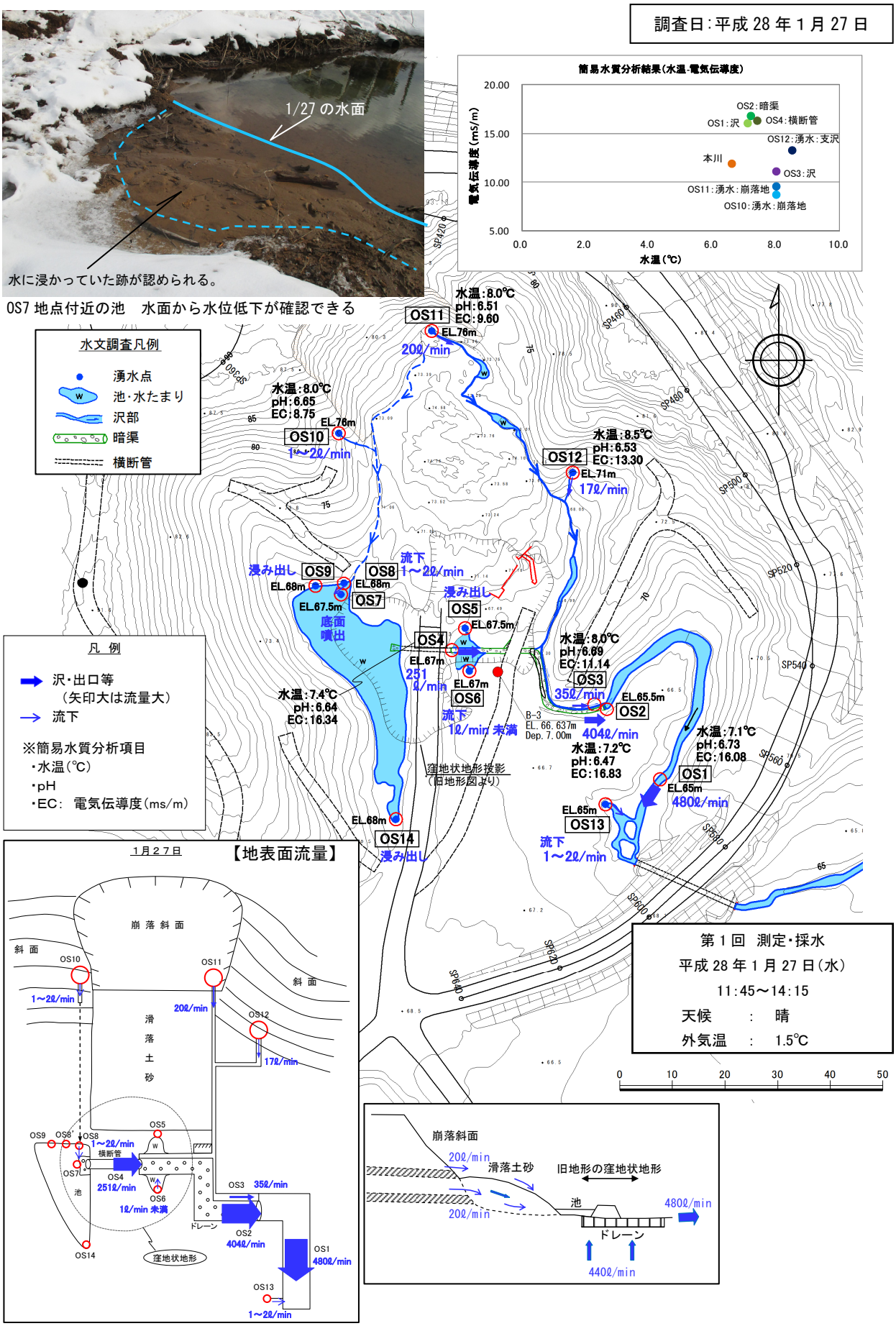

調査日：平成 28 年 1 月 27 日
1/27 の水面
水に浸かっていた跡が認められる。
OS7 地点付近の池　水面から水位低下が確認できる
簡易水質分析結果（水温-電気伝導度）
電気伝導度（mS/m）
水温（℃）
OS2：暗渠
OS1：沢
OS4：横断管
OS12：湧水：支沢
本川
OS3：沢
OS11：湧水：崩落地
OS10：湧水：崩落地
水文調査凡例
湧水点
池・水たまり
沢部
暗渠
横断管
凡　例
沢・出口等
（矢印大は流量大）
流下
※簡易水質分析項目
・水温（℃）
・pH
・EC：　電気伝導度（ms/m）
OS11 水温：8.0℃ pH：6.51 EC：9.60 EL.76m 20ℓ/min
OS10 水温：8.0℃ pH：6.65 EC：8.75 EL.76m 1～2ℓ/min
OS12 水温：8.5℃ pH：6.53 EC：13.30 EL.71m 17ℓ/min
OS9 浸み出し EL.68m
OS8 EL.68m 流下 1～2ℓ/min
OS7 EL.67.5m 底面噴出
OS5 浸み出し EL.67.5m
OS4 EL.67m 251ℓ/min
OS6 EL.67m 流下 1ℓ/min 未満
OS3 水温：8.0℃ pH：6.69 EC：11.14 35ℓ/min
OS2 EL.65.5m 404ℓ/min
水温：7.4℃ pH：6.64 EC：16.34
B-3 EL. 66. 637m Dep. 7. 00m
水温：7.2℃ pH：6.47 EC：16.83
窪地状地形投影（旧地形図より）
OS1 水温：7.1℃ pH：6.73 EC：16.08 EL.65m 480ℓ/min
OS13 EL.65m 流下 1～2ℓ/min
OS14 EL.68m 浸み出し
第 1 回　測定・採水
平成 28 年 1 月 27 日（水）
11：45～14：15
天候　：　晴
外気温　：　1.5℃
0 10 20 30 40 50
1月27日
【地表面流量】
崩落斜面
斜面
滑落土砂
1～2ℓ/min
20ℓ/min
17ℓ/min
横断管
251ℓ/min
1ℓ/min 未満
35ℓ/min
404ℓ/min
480ℓ/min
池
ドレーン
窪地状地形
440ℓ/min

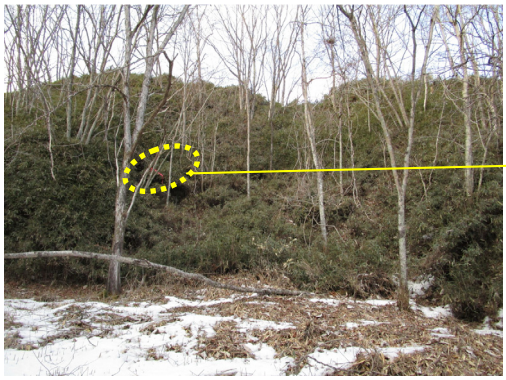
図-4.6　流量観測結果

調査日:平成 28 年 2 月 16 日

図-4.7　東側の沢の湧水状況

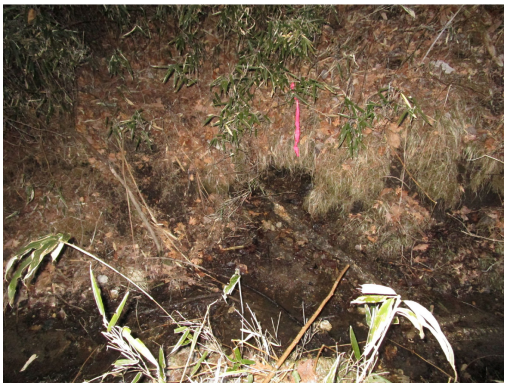
調査日:平成 28 年 2 月 16 日

湧水 1
沢の左岸側斜面上部、比較的硬質なシルト層の上部から浸み出しが認められる。



湧水 2
沢の左岸側斜面中腹、比較的硬質なシルト層の上部から浸み出しが認められる。

湧水 3
左岸側斜面の端部に浸み出しが認められる。水温 5.5℃と比較的高い。

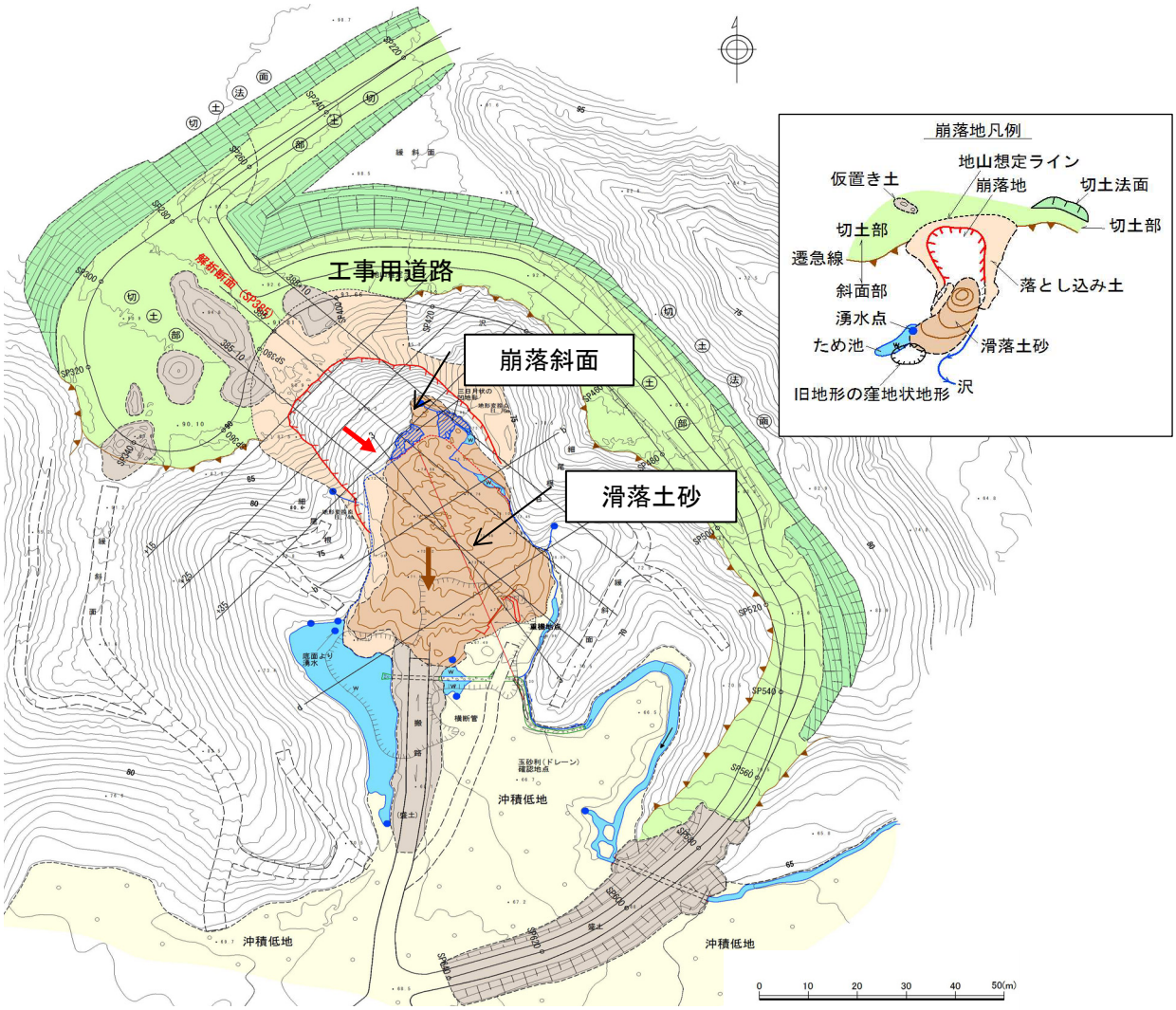


湧水 4
沢下流部で左岸側斜面端部より湧水する。水温 8.8℃と高い。

写真-4.2　東側の沢の湧水状況

4.5 災害発生範囲

通常、自然斜面に土砂を落とし込んだ場合、自然斜面と落とし込み土の境界に不連続面ができることから、水の影響を受けやすく、この面での崩落が発生しやすい。しかし、今回の崩落は、測量など表-3.1で示した詳細な調査の結果、落とし込みにより堆積した土砂の内部に崩落面が存在することが確認された（図-4.8）。



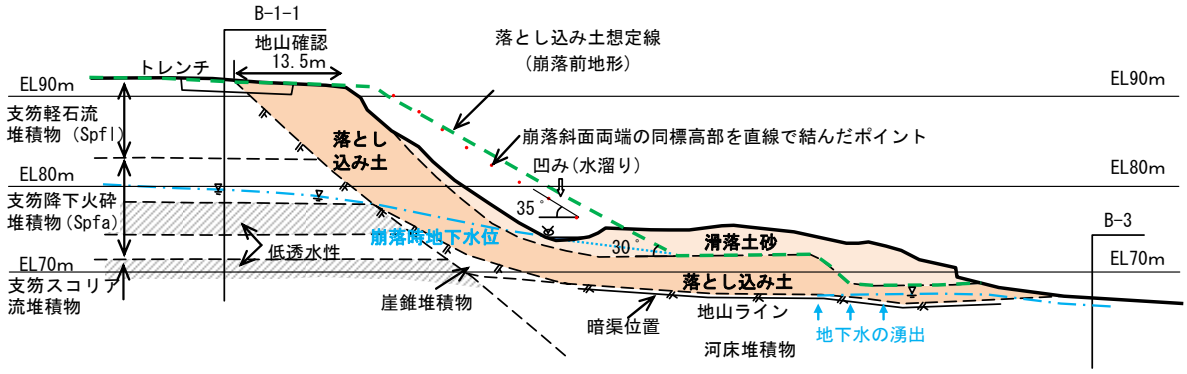


図-4.8　崩落斜面の模式断面図

5. 検討結果

5.1 調査結果から確認・想定された事項

調査結果は、次のようにまとめることができる。

①事故後に崩落した斜面背後の地山で掘削したボーリングデータによると、沢地の底部から 10m 程度高い標高 79m 付近に地下水を含む層が存在しているが、事故発生前には沢地形の斜面を水が流れている状況は確認されていなかった。また、沢地の底部には、地表付近に地下水面が存在しており、工事施工箇所周辺には上下二層の地下水面が存在していた（図-5.1）。

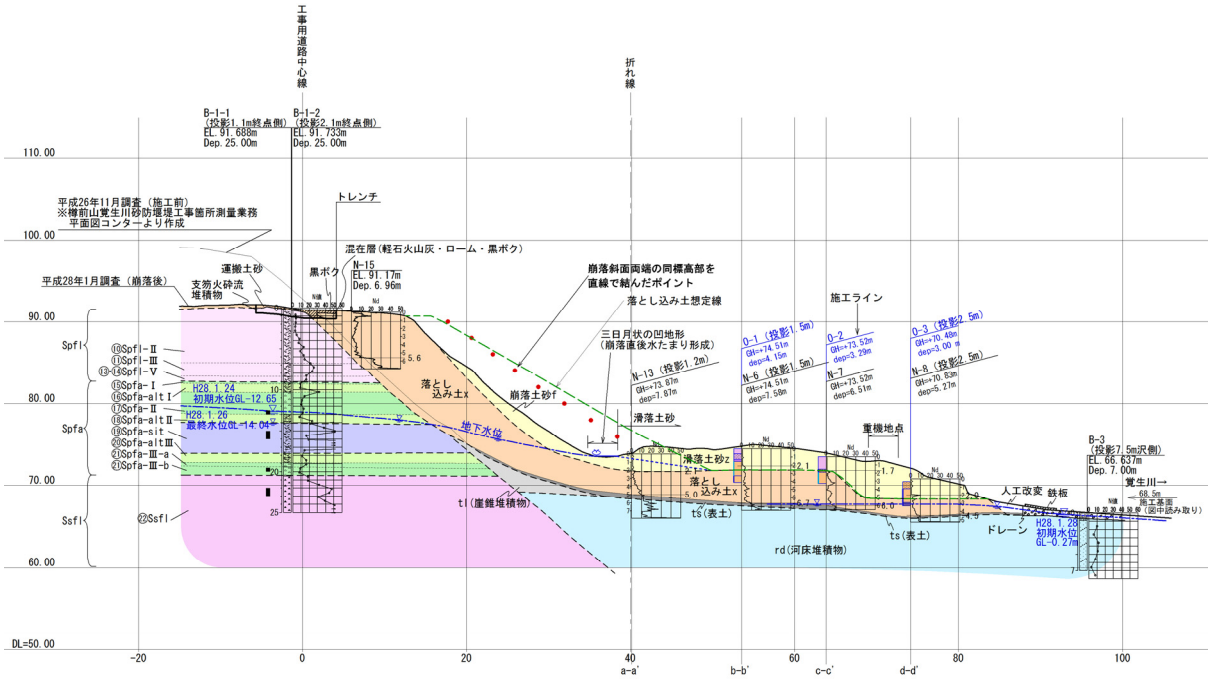


図-5.1　崩落地の地下水状況

②斜面には、上部から順次掘削土砂が落とし込まれ、まず表土や黒ボクが堆積し、その後、樽前層やローム、さらに支笏層（支笏火山を起源とする地層）の軽石層が堆積した（図-5.2）。崩落後、滑落土砂の斜面側付近には湧水が見られるようになり、崩落直後には水溜まりが形成され、水溜まりの中とその周辺は泥濘化して極めてゆるい状態となっていた。

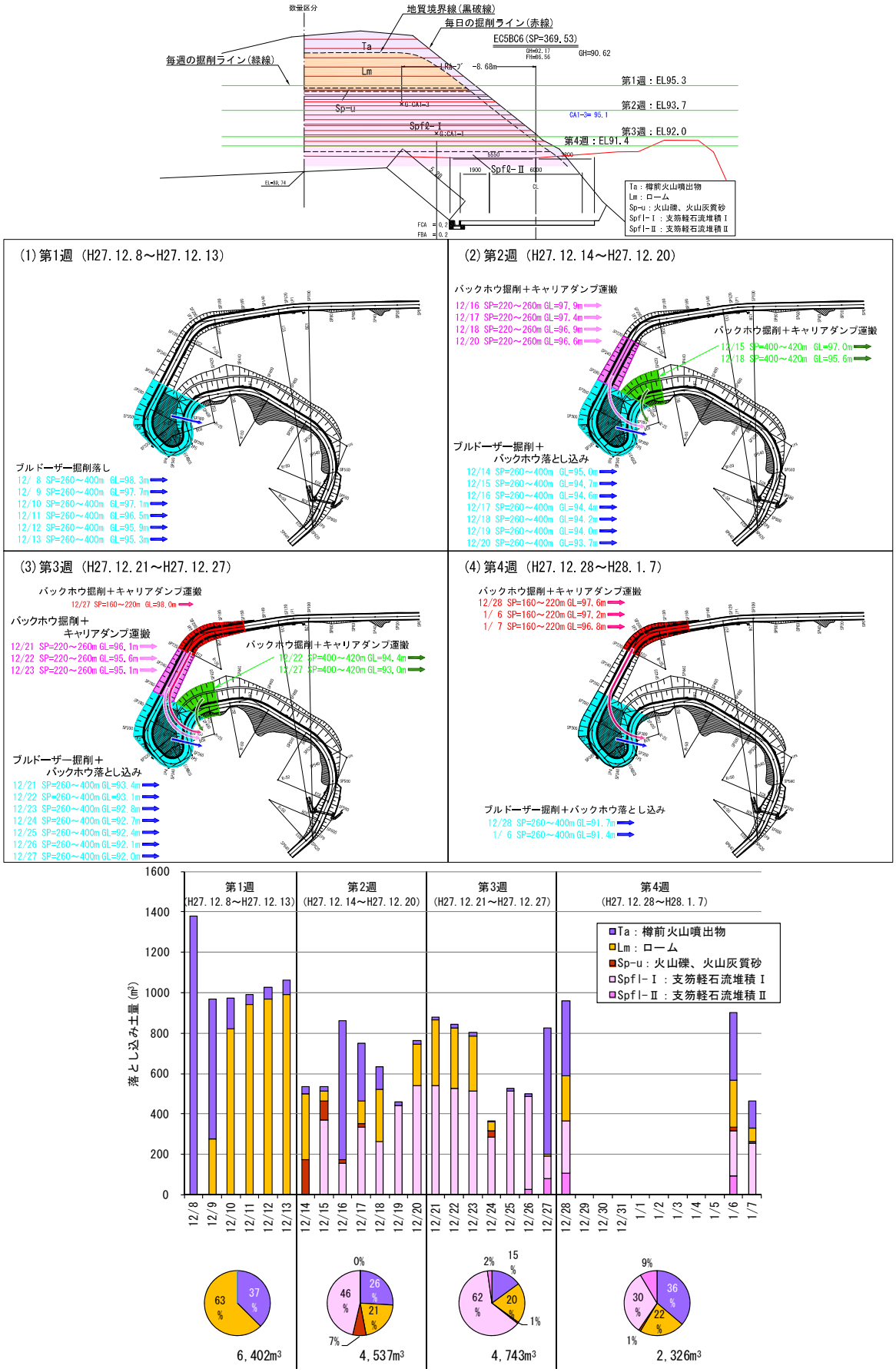
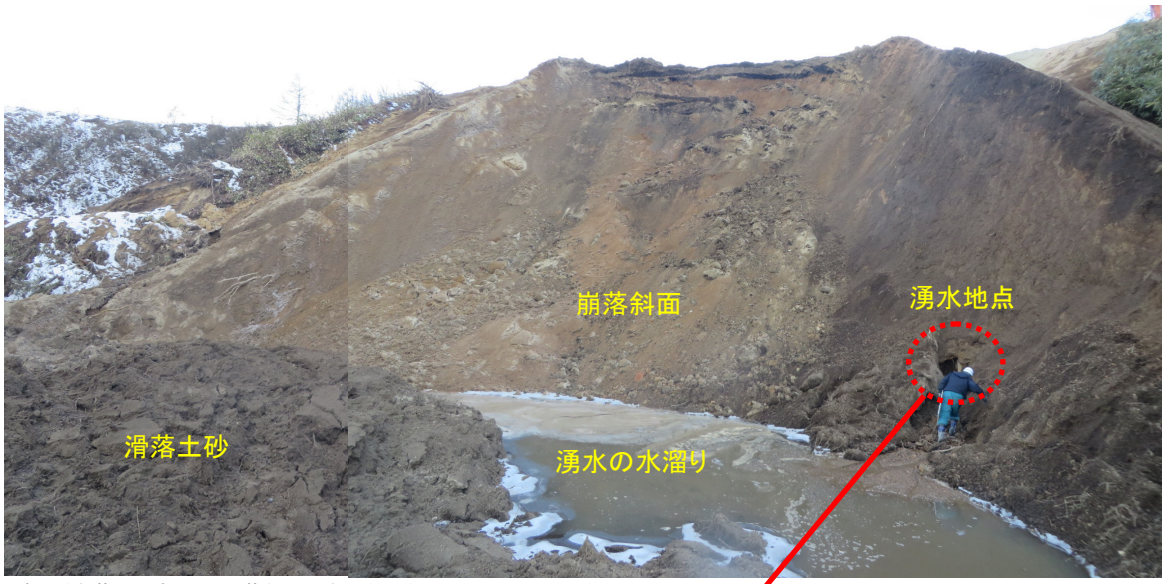


図-5.2　各週における落とし込み土の土量と地質構成割合

③標高 76m 付近には、事故前には確認できなかった明瞭な水みちが確認できる（写真-5.1）。



全景（崩落地下部から滑落斜面を望む）　(H28.1.9PM13.30 頃)
崩落斜面の下部は窪みとなり、湧水による水溜りが形成されている。

崩落斜面下部の湧水（標高 76m 付近）
崩落斜面下部から湧水が認められる。約 100 リットル/分

写真-5.1　標高 76m 付近の湧水

④滑落土砂の斜面側は凹み、やや下流に向かって盛り上がっていることから、土砂の跳ね上げが想定される（図-5.1）。

⑤崩落後の沢底に堆積した滑落土砂の表面は、牡蠣殻状に堆積しており、支笏層に富む軽石混じりの土砂が列をなした波状に形成されている（写真-5.2）。

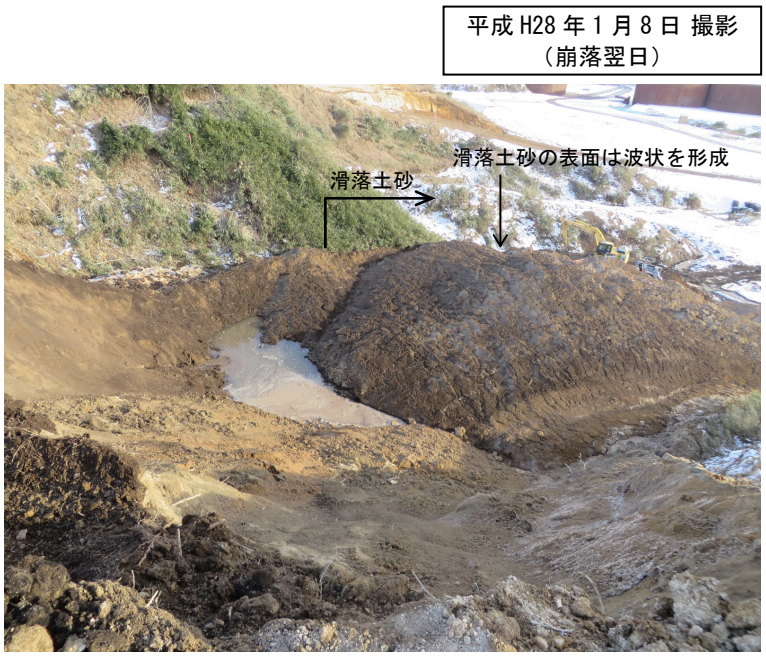


写真-5.2　崩落土砂の表面形状

⑥地質調査から、崩落後の沢底に堆積した土砂は、強度や土質構成が異なる 2 層に分かれていると推察される（図-5.1）。

5.2 想定される崩壊プロセス

崩落プロセスは幾つか考えることができるが、調査結果から以下のように推察し、絞り込みを行った。

(1) 想定ケース 1

第 1 のケースとして、崩落した土砂と沢底に堆積した土砂が一体となって円弧状に移動するプロセスを考えるならば、標高 76m 付近及び沢底の地下水が落とし込み土内に供給され、土砂の含水比が高くなり、その結果、せん断強度の低下による弱部が発生し、末端で掘削した位置までの土砂の幅が円弧すべりをしたと考えることになる。

この場合は、崩壊の前駆段階で末端の掘削箇所で土砂のはらみ出しなどが発生しやすいはずであるが、聞き取り調査ではそれは認められなかった。この場合のすべり安全率（落とし込み土内に水位が作用した場合）は、図-5.3 に示すとおり 1.39 であった。

(2) 想定ケース 2

第 2 のケースは、沢底に堆積した土砂の末端部分を掘削したことにより、沢底に堆積している土砂の重量バランスが崩れ、不安定化し移動した結果、崩落が発生したという考え方である。

地下水の影響がなければ、斜面近傍で掘削を行なわない限り安息角で堆積している斜面の土砂は崩落しないと考えられることから、沢底に存在する地下水の影響が想定される。

落とし込みにより沢底に堆積した土砂が、沢底の浅い地下水を吸い上げ、堆積土砂の底面に流動化しやすい弱部を形成し、せん断強度が低下したことにより移動し崩落に結びついたと考えることになる。

この場合、堆積土の底部に含水比が高い層が見られるはずであるが、作業員の聞き取りによると、堆積土の掘削、運搬作業等において特に水気が多く作業に影響が及ぶような状態になってはいなかったとのことであり、また、堆積した土砂は空隙率が大きく、毛細管現象によって沢底の地下水の影響が堆積土に及んでいたことは考えにくい。

なお、バランスを崩すぎりぎりの状態であるために、地下水を吸い上げていた層が堆積土砂の内部にとどまっていたことも考えられる。ただし、この考え方に基づく地下水を想定し、崩落前の斜面の堆積層を再現した条件で安定解析を行った結果では、図-5.4 に示すとおり、堆積した土砂が十分飽和していなければ安全率は 1.0 を割り込まなかった（落とし込み土内に水位が作用した場合)。

(3) 想定ケース 3

第 3 のケースは、標高 76m 付近に位置する地下水が作用し、その標高以下の堆積土のせん断強度が低下し崩落が発生したという考え方である。

斜面に堆積した土砂のうち、樽前層下部はロームで粘着力が比較的強いが、その上に堆積した支笏層は粘着力が低く、水分を含むと特に強度が低下することが土質試験により確かめられている。このため、斜面下部に多く堆積している比較的透水性の低いローム層の影響を

受けて、支笏層主体の土砂の下部に達した水みちから供給された地下水により、斜面下部の標高 76m 近傍の土砂の強度が低下し、変形もしくはせん断破壊（すべり）が発生し、この部分から上部の土砂が崩落したという考え方である。第 2 のケースと同様に、崩落前の斜面の堆積層を再現した条件で安定解析を行ったところ、図-5.5 に示すとおり、地下水が標高 76m 付近に存在すると安全率が 0.99 と 1.0 を割り込んだ(落とし込み土内に水位が作用した場合)。

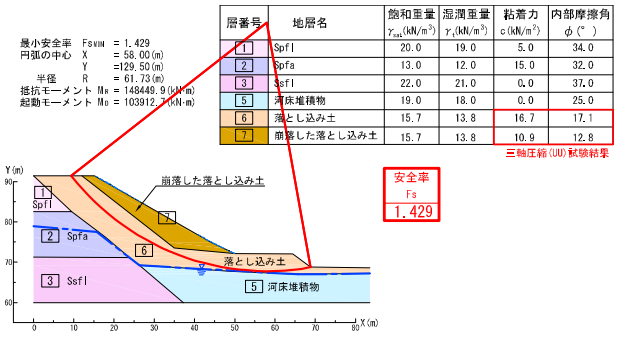
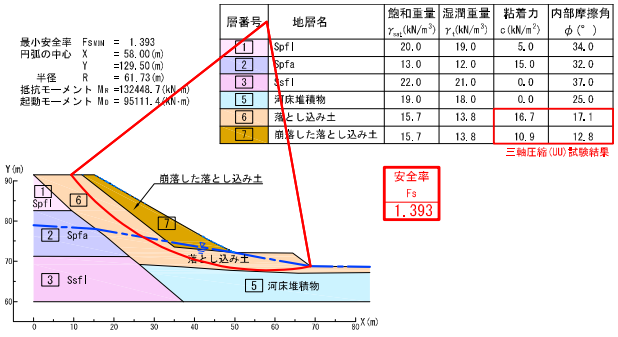
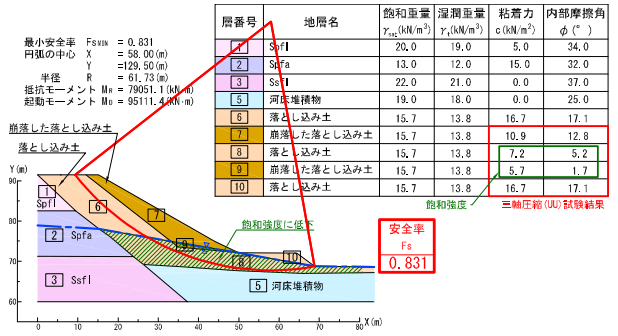
【ケース 1】すべり面が円弧で末端まで及ぶ場合（円弧すべり）			
ケース	解析条件	解析結果	解析結果図
1-1	・落とし込み土内に水位はない場合（すべり面は円弧）	・崩落直前の安全率は 1 を上回る。（計算条件下での Fs=1.429）	
1-2	・落とし込み土内に水位が作用した場合（すべり面は円弧）	・地下水の作用に伴い安全率は 3%低下する。（計算条件下での Fs=1.393）	
1-3 【参考】	・水位下で飽和強度を見込んだ場合（すべり面は円弧）	・安全率は大きく低下し、1-1 に比べて 42%、1-2 に比べて 40%低下する。（計算条件下での Fs=0.831）	

図-5.3　想定されるすべり安全率（想定ケース 1）

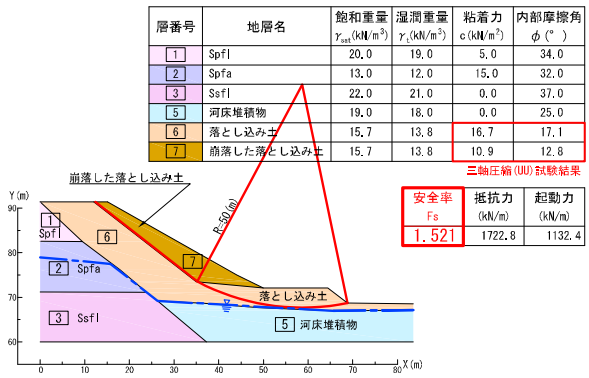
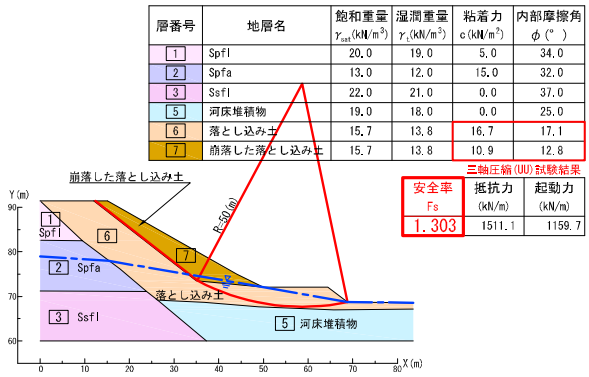
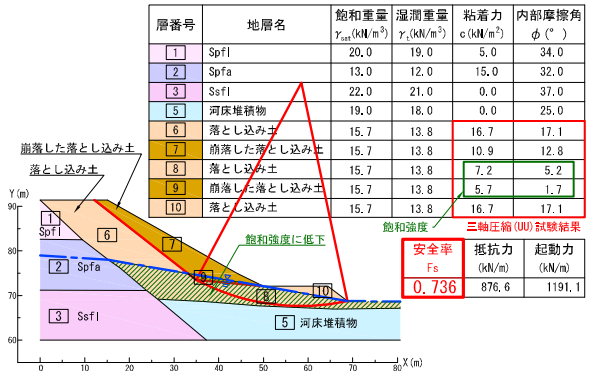
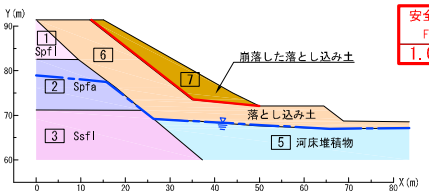
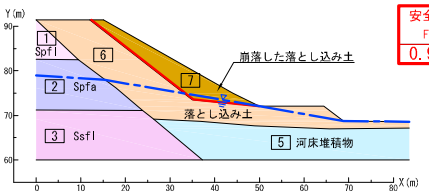
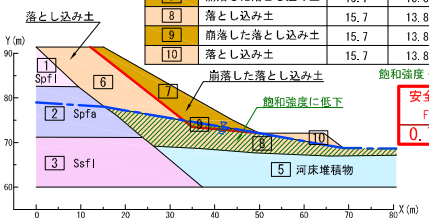
【ケース 2】すべり面が複合すべりで末端まで及ぶ場合（直線＋円弧すべり）			
ケース	解析条件	解析結果	解析結果図
2-1	・落とし込み土内に水位はない場合（すべり面は直線＋円弧）	・崩落直前の安全率は 1 を上回る。 （計算条件下での Fs=1.521）	
2-2	・落とし込み土内に水位が作用した場合（すべり面は直線＋円弧）	・地下水の作用に伴い安全率は 14%低下する。 （計算条件下での Fs=1.303）	
2-3 【参考】	・水位下で飽和強度を見込んだ場合（すべり面は直線＋円弧）	・安全率は大きく低下し、2-1 に比べて 52%、2-2 に比べて 44%低下する。 （計算条件下での Fs=0.736）	

図-5.4　想定されるすべり安全率（想定ケース 2）

<table>
<tr><th colspan="4">【ケース 3】すべり面が直線の場合（直線すべり）</th></tr>
<tr><th>ケース</th><th>解析条件</th><th>解析結果</th><th>解析結果図</th></tr>
<tr><td>3-1</td><td>・落とし込み土内に水位はない場合（すべり面は直線）</td><td>・崩落直前の安全率は 1 を僅かに上回る程度。（計算条件下での Fs=1.021）
・ケース 2-1 に比べて安全率は低い（直線すべりのみの方が安全率は低い）。</td><td>
<table>
<tr><th>層番号</th><th>地層名</th><th>飽和重量 γ_{sat}(kN/m^3)</th><th>湿潤重量 γ_t(kN/m^3)</th><th>粘着力 c(kN/m^2)</th><th>内部摩擦角 ϕ(°)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Spfl</td><td>20.0</td><td>19.0</td><td>5.0</td><td>34.0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Spfa</td><td>13.0</td><td>12.0</td><td>15.0</td><td>32.0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Ssfl</td><td>22.0</td><td>21.0</td><td>0.0</td><td>37.0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>河床堆積物</td><td>19.0</td><td>18.0</td><td>0.0</td><td>25.0</td></tr>
<tr><td>6</td><td>落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>16.7</td><td>17.1</td></tr>
<tr><td>7</td><td>崩落した落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>10.9</td><td>12.8</td></tr>
</table>
三軸圧縮(UU)試験結果


<table>
<tr><th>安全率 Fs</th><th>抵抗力 (kN/m)</th><th>起動力 (kN/m)</th></tr>
<tr><td>1.021</td><td>840.7</td><td>823.7</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>3-2</td><td>・落とし込み土内に水位が作用した場合（すべり面は直線）</td><td>・地下水の作用に伴い安全率が低下し、1 を下回る（計算条件下での Fs=0.999）。
・地下水の作用に伴い安全率は 2%低下する。
・ケース 2-2 に比べて安全率は低い（直線すべりのみの方が安全率は低い）。</td><td>
<table>
<tr><th>層番号</th><th>地層名</th><th>飽和重量 γ_{sat}(kN/m^3)</th><th>湿潤重量 γ_t(kN/m^3)</th><th>粘着力 c(kN/m^2)</th><th>内部摩擦角 ϕ(°)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Spfl</td><td>20.0</td><td>19.0</td><td>5.0</td><td>34.0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Spfa</td><td>13.0</td><td>12.0</td><td>15.0</td><td>32.0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Ssfl</td><td>22.0</td><td>21.0</td><td>0.0</td><td>37.0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>河床堆積物</td><td>19.0</td><td>18.0</td><td>0.0</td><td>25.0</td></tr>
<tr><td>6</td><td>落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>16.7</td><td>17.1</td></tr>
<tr><td>7</td><td>崩落した落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>10.9</td><td>12.8</td></tr>
</table>
三軸圧縮(UU)試験結果


<table>
<tr><th>安全率 Fs</th><th>抵抗力 (kN/m)</th><th>起動力 (kN/m)</th></tr>
<tr><td>0.999</td><td>825.2</td><td>826.2</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>3-3
【参考】</td><td>・水位下で飽和強度を見込んだ場合（すべり面は直線）</td><td>・安全率は大きく低下し、3-1 に比べて 30%、3-2 に比べて 28%低下する。（計算条件下での Fs=0.718）</td><td>
<table>
<tr><th>層番号</th><th>地層名</th><th>飽和重量 γ_{sat}(kN/m^3)</th><th>湿潤重量 γ_t(kN/m^3)</th><th>粘着力 c(kN/m^2)</th><th>内部摩擦角 ϕ(°)</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Spfl</td><td>20.0</td><td>19.0</td><td>5.0</td><td>34.0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Spfa</td><td>13.0</td><td>12.0</td><td>15.0</td><td>32.0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Ssfl</td><td>22.0</td><td>21.0</td><td>0.0</td><td>37.0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>河床堆積物</td><td>19.0</td><td>18.0</td><td>0.0</td><td>25.0</td></tr>
<tr><td>6</td><td>落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>16.7</td><td>17.1</td></tr>
<tr><td>7</td><td>崩落した落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>10.9</td><td>12.8</td></tr>
<tr><td>8</td><td>落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>7.2</td><td>5.2</td></tr>
<tr><td>9</td><td>崩落した落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>5.7</td><td>1.7</td></tr>
<tr><td>10</td><td>落とし込み土</td><td>15.7</td><td>13.8</td><td>16.7</td><td>17.1</td></tr>
</table>
飽和強度
三軸圧縮(UU)試験結果


<table>
<tr><th>安全率 Fs</th><th>抵抗力 (kN/m)</th><th>起動力 (kN/m)</th></tr>
<tr><td>0.718</td><td>609.3</td><td>848.3</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

図-5.5　想定されるすべり安全率（想定ケース 3）

5.3 考察

(1) 崩落の原因

想定される崩落プロセスを「5.2 想定される崩落プロセス」で示した。崩落面が向いている方向と崩落し堆積した滑落土砂の方向が曲がっていること、牡蠣殻状を呈する沢底に堆積した土砂は滑落土砂とその下の落とし込み土との 2 層をなしていることなどから、ケース 1 のようにすべり面が円弧で末端まで及ぶケースは考えにくい。

また、ケース 2 のようにすべり面が直線と円弧の複合で末端まで及ぶケースも前述のとおり、作業員への聞き取りなどから考えにくい。

牡蠣殻状を呈する沢底の形状から、ケース 3 のように堆積層脚部が崩壊したことで、その上部の土層は勢いよく崩落し、沢底に堆積していた土砂の上に跳ね上げ、堆積していた土砂の一部を巻き込んで沖積原に押し出したと考えられる。

事故後の現地調査、各種試験結果等を踏まえ、可能性のある複数の崩落のプロセスについて検討した結果、今回事故を引き起こした崩落現象は、標高 76～79m 付近に地下水面を持つ地山地下水が斜面に落とし込んだ土砂によって流出口を閉塞されて地下水位が上昇するとともに、落とし込んだ土砂には相当量の水が供給されて強度が低下し、土砂の一部が不安定化したためと考えられる。その結果、斜面堆積層脚部が崩壊したことで、上部の土層が崩落し、沢底に堆積していた土砂の上に跳ね上げ、これらの土砂の一部を巻き込んでバックホウなどの作業現場まで押し出したと考えられる。

(2) 予知予測の可能性

現地では、沢底部からの地下水については、予め暗渠排水を設けて排水を行なったが、崩落に影響があった可能性が考えられる標高 76m 付近の地下水については、東側の細尾根の背後の沢においても明瞭な湧出は確認できず、相当量の地下水の供給を事前に想定することは困難であったと考えられる。

また、掘削作業を行なうバックホウのオペレーターは、作業前に投入箇所周辺の亀裂や段差が無いことを確認しながら作業を行い、自らの危険回避を図っており、沢底に堆積した土砂も水分を含むような扱いにくいものでは無かったことから、現地での施工作業中に崩落につながる現象を予見することは困難であったと考えられる。

(3) 二次災害防止に向けた当該箇所の土砂搬出

1) 土砂搬出方法

今後、沢底に堆積している土砂を除去する際に土質や空隙、含水状況などを観察し、詳しい崩落プロセスを明らかにすることで、当該箇所と同様な条件の箇所における施工上の留意点を把握する上で貴重な情報とすることができる。

大別すると、斜面上に残存している土砂と、沢内に分布している土砂の搬出に分けて考える必要がある。まず、地下水の影響を受け不安定化するリスクが高い標高 76m 付近より上部の斜面上に残存している土砂の処理を斜面上方から先行して実施し、安定した状態を確認する。その後、標高 76m 付近以下に残存する斜面上の土砂と沢底の土砂を、沢側から取り除く

ことになる（図-5.6）。

また、沢内の土砂搬出を行う際、周辺地山からの地下水による影響を極力排除するため、地山斜面下部から当該土砂の外へ、直接、水処理を行う水路掘削を行っておくことが望ましい。

底部からの地下水については、あらかじめ設置した暗渠排水や搬出路（道路盛土）の西側の湧水、下流側の沢水の各流量変化を把握できるよう簡易な装置を設置して安全監視に利用することが望ましい。

2）施工上の留意点

主な施工上の留意点を以下に示す。

斜面や沢内には不安定化するリスクのある土砂が分布していることから、特に以下の点に注意する。

①斜面の上部作業は、地山ラインを確認し、それよりも谷側には立ち入らない。

②斜面上、沢底に堆積している落とし込み土（平坦部）と滑落土砂の掘削は、作業の安全性に配慮し、堆積厚が小さい箇所から行う。

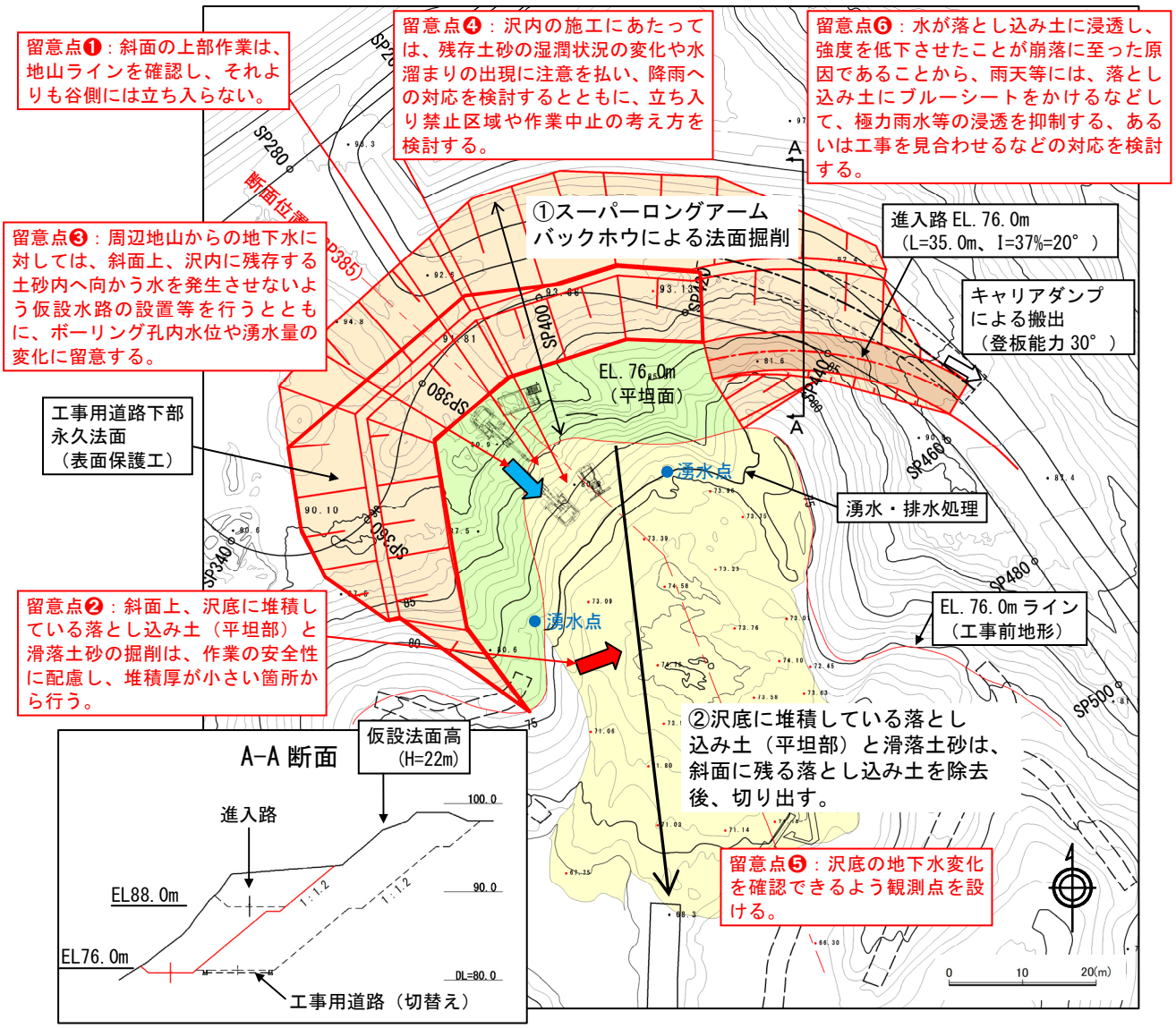
また、水が落とし込み土に浸透し、強度を低下させたことが崩落の大きな要因と考えられることから、特に以下の点に注意する。

③周辺地山からの地下水に対しては、斜面上、沢内に残存する土砂内へ向かう水を発生させないよう仮排水路の設置等を行うとともに、ボーリング孔内水位や湧水量の変化に留意する。

④沢内での施工にあたっては、残存土砂の湿潤状況の変化や水溜まりの出現に注意を払い、降雨への対応を検討するとともに、立ち入り禁止区域や作業中止の考え方を検討する。

⑤沢底の地下水変化を確認できるよう観測点を設ける。

⑥水が落とし込み土に浸透し、強度を低下させたことが崩落に至った原因であることから、雨天等には、落とし込み土にブルーシートをかけるなどして、極力雨水等の浸透を抑制する、あるいは工事を見合わせるなどの対応を検討する。



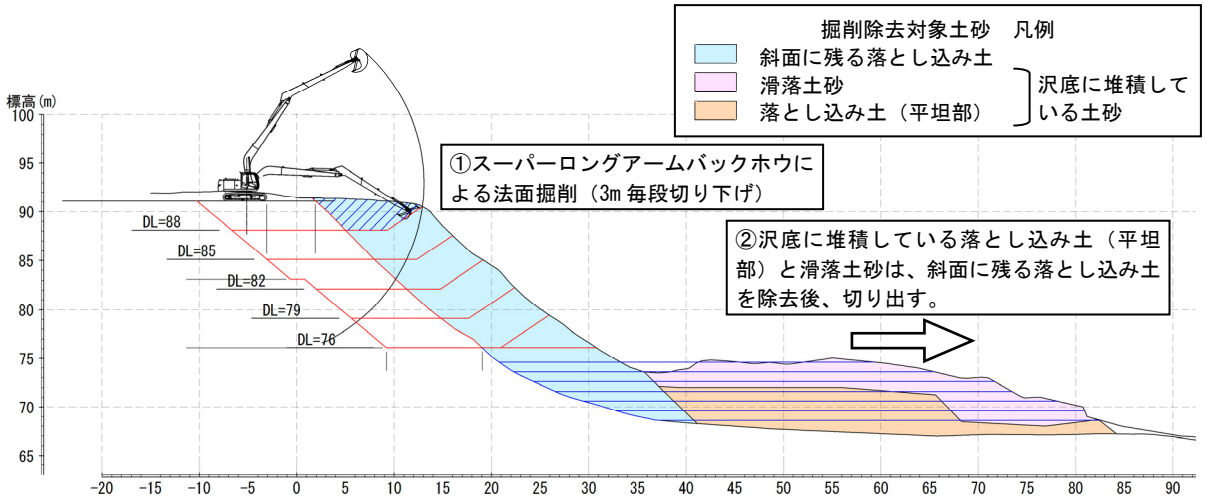


図-5. 6　二次災害防止に向けた当該箇所の土砂撤去方法

6. 検討会からの提言～再発防止に向けて～

今回と同様の事故が二度と起こらないこと、併せて建設産業が健全で安全な産業として社会資本の整備と維持管理を続けてゆくことを祈念し、再発防止に向けて以下のとおり提言する。

当該地域は、噴火時代が異なる支笏火山、恵庭岳、風不死岳、および樽前山からの火砕流や火山灰などが地層を形成している。

火山麓を掘削すると、軽石や火山灰が変成した未熟土、軽石、火山灰が表出すること、また、これらの土砂は含水量の変動や、練り返すことによって性状が変化することなどの特徴を有していることを理解する必要がある。また、火山麓を形成する地質状況から、地下水面が複数存在する可能性がある。したがって、施工箇所においては、各地層の把握と影響する地下水面の存在を把握する必要がある。

予め、掘削土や掘削土の混合物がどのような性質を持つかは想定しにくく、今回のように当初想定し得なかった地下水の影響をも考慮しなければならない場合には、さらに難しいものとなる。そこで、施工中の監視、観察は安全対策を講じる上で重要であるといえ、施工中は、従来から行われている地山チェックリストによるチェックに加え、降水や融雪などの気象条件の変化、周辺斜面や斜面下部の湧水や湿潤状態の変化などにも注意を払い、総合的に判断するチェックリストなどを準備するべきである。

長期の休暇などによって工事を中断した場合には、降水や気温変化によって状況が変化している可能性もある。施工再開の際には、中断前に担当した技術者やオペレーターが再開時に現場に変化がないかを確認し、また、工事中にオペレーターなどが異変を感じたときには管理技術者に異変を報告し、管理技術者は予断なく施工箇所を確認し、作業の安全性を向上すべきである。

今後は、技術の発展や、崩壊土砂や落とし込み土砂のさらに詳しい状況の解明がなされるまで、樽前山の砂防事業では今回のような落差が大きい個所での掘削土砂の落とし込みと、落とし込み土の下部からの搬出作業は避けるべきである。

なお、施工に当たっては、地山の位置が明らかになるように施工上の工夫を徹底し、近年技術が発達してきた UAV データによる監視、ICT 施工の積極的な取り組み、より安全で安心な施工と質の高い工事成果を期待したい。

不幸な事故を教訓にしながら、今回の経験を将来の工事の安全性向上につなげるため、今回得られた知見、及び今後の調査により得られる知見を北海道開発局に限らず、今後、樽前山周辺の火山地域で行われる工事において参考とするように望むものである。

【参考資料】

【室内土質試験結果一覧】

項目	試料名	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	間隙比 e	飽和度 Sr (%)	含水比 w_n(%)	粒度特性 含有率(%) 礫分	砂分	シルト分	粘土分	最大粒径 D_{max} (mm)	コンシステンシー特性 液性限界 w_L(%)	塑性限界 w_P(%)	塑性指数 Ip	地盤材料の工学的分類 分類名	分類記号	締固め試験 最適含水比 w_{opt} (%)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	三軸圧縮試験 試験条件	粘着力(kN/m^2) c_u	c_{cu}	c'	内部摩擦角(°) ϕ_u	ϕ_{cu}	ϕ'
機械ボーリング	B-1-2 (2.0～2.5m)	–	–	2.785	–	–	24.5	24.2	55.4	12.2	8.2	26.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (4.5～5.0m)	–	–	2.740	–	–	13.6	51.7	38.5	6.8	3.0	26.5	–			火山灰質土まじり砂質礫	(GS-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (6.0～6.5m)	–	–	2.640	–	–	27.1	40.0	44.2	11.3	4.5	37.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (7.5～8.0m)	–	–	2.570	–	–	20.8	60.7	25.3	11.6	2.4	26.5	–			火山灰質土まじり砂質礫	(GS-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (8.5～9.0m)	–	–	2.470	–	–	53.2	31.6	42.2	20.5	5.7	19	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (10.5～11.0m)	–	–	2.647	–	–	49.2	64.4	32.5		3.1	19	–			分級された砂質礫	(GPS)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (12.5～13.0m)	–	–	2.623	–	–	64.5	60.8	36.3		2.9	19	–			分級された砂質礫	(GPS)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (13.5～14.0m)	–	–	2.809	–	–	46.7	26.4	51.7	16.2	5.7	26.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (15.0～15.5m)	–	–	2.751	–	–	22.3	52.9	33.7	10.1	3.3	37.5	–			火山灰質土まじり砂質礫	(GS-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (16.0～16.5m)	–	–	2.757	–	–	17.9	34.3	41.3	18.1	6.3	26.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (19.0～19.5m)	–	–	2.624	–	–	68.4	26.9	46.8	20.6	5.7	19	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (19.5～20.0m)	–	–	2.758	–	–	83.5	25.1	63.7	9.0	2.2	19	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-1-2 (22.0～22.5m)	–	–	2.855	–	–	22.4	15.5	63.6	14.4	6.5	19	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (1.0～1.5m)	–	–	2.672	–	–	43.5	34.4	57.7		7.9	37.5	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (2.0～2.5m)	–	–	2.746	–	–	32.9	22.4	68.0	6.5	3.1	37.5	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (3.0～3.5m)	–	–	2.745	–	–	27.0	27.5	61.0	7.8	3.7	26.5	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (4.0～4.5m)	–	–	2.814	–	–	20.0	15.0	73.2	8.5	3.3	19	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (5.0～5.5m)	–	–	2.777	–	–	28.6	7.9	84.0		8.1	19	–			火山灰質土礫まじり砂	(S-VG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (6.0～6.5m)	–	–	2.688	–	–	36.7	41.3	48.0	7.0	3.7	37.5	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	B-3 (7.0～7.5m)	–	–	2.651	–	–	43.7	37.3	48.6	10.7	3.4	26.5	–			火山灰質土まじり礫質砂	(SG-V)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ピット	P-1 P-1-1	1.523	1.100	2.741	1.543	73.2	41.2	17.1	54.0	19.4	9.5	26.5	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P-1 P-1-2	1.538	1.083																	–	–	–	–	–	–	–
	P-1 P-1-3	1.505	1.052																	–	–	–	–	–	–	–
	P-1' P-1'-1	1.391	0.994	2.627	1.619	63.8	39.3	29.6	53.4	13.4	3.6	37.5	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P-1' P-1'-2	1.399	1.015																	–	–	–	–	–	–	–
	P-1' P-1'-3	1.404	1.001																	–	–	–	–	–	–	–
	P-2 P-2-1	1.223	0.831	2.661	2.202	56.9	47.1	33.5	49.5	9.1	7.9	19	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P-2 P-2-2	1.217	0.869	2.656	2.056	51.7	40.0													–	–	–	–	–	–	–
	P-2 P-2-3	1.211	0.907	2.681	1.956	45.9	33.5													–	–	–	–	–	–	–
	P-3 P-3-1	1.479	1.115	2.780	1.467	63.3	33.4	14.9	54.3	18.7	12.1	19	60.5	48.0	12.5	礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P-3 P-3-2	1.508	1.119																	–	–	–	–	–	–	–
	P-3 P-3-3	1.525	1.148																	–	–	–	–	–	–	–
	P-4	–	–	2.738	–	–	56.8	15.3	49.4	26.1	9.2	37.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	35.6	1.245	UU Dc=83% w=41.5% 不飽和	16.7	–	–	17.1	–	–
																				UU Dc=83% w=41.5% 飽和	7.2	–	–	5.2	–	–
																				$\overline{CU}$ Dc=83% w=41.5%	–	9.0	4.8	–	9.5	25.0
	P-5	–	–	2.750	–	–	43.3	15.7	54.0	21.1	9.2	37.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	29.2	1.352	UU Dc=80% w=38.0% 不飽和	10.9	–	–	12.8	–	–
																				UU Dc=80% w=38.0% 飽和	5.7	–	–	1.7	–	–
																				$\overline{CU}$ Dc=80% w=38.0%	–	3.7	1.7	–	11.6	27.3
オーガーボーリング	O-1 (0.00～0.60m)	–	–	2.708	–	–	35.6	21.0	56.8	16.2	6.0	19	65.4	49.2	16.2	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-1 (0.60～1.30m)	–	–	2.771	–	–	32.9	16.0	55.8	21.2	7.0	19	58.4	41.3	17.1	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-1 (1.30～1.55m)	–	–	2.594	–	–	63.5	19.0	48.6	25.6	6.8	19	117.3	74.8	42.5	有機質礫質砂	(SOG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-1 (2.00～3.00m)	–	–	2.670	–	–	44.3	19.4	62.1	14.5	4.0	26.5	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-1 (3.30～4.15m)	–	–	2.704	–	–	50.4	21.2	58.7	12.7	7.4	19	61.1	53.2	7.9	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-2 (0.00～1.0m)	–	–	2.703	–	–	35.4	20.8	60.7	12.6	5.9	19	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-2 (1.50～1.90m)	–	–	2.749	–	–	43.7	18.1	50.9	20.9	10.1	26.5	77.5	55.0	22.5	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-2 (2.00～3.00m)	–	–	2.683	–	–	42.2	21.1	57.5	17.6	3.8	19	72.8	53.1	19.7	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-3 (0.00～0.90m)	–	–	2.730	–	–	45.8	12.8	58.9	20.0	8.3	19	73.5	53.1	20.4	礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-3 (1.00～2.00m)	–	–	2.690	–	–	50.6	22.2	58.3	14.8	4.7	19	NP			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-3 (2.60～3.00m)	–	–	2.664	–	–	62.9	12.5	49.6	27.7	10.2	19	72.8	52.6	20.2	礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-4 (0.00～0.60m)	–	–	2.738	–	–	40.8	16.4	50.9	22.1	10.6	19	76.4	54.4	22.0	火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-4 (0.60～0.80m)	–	–	2.684	–	–	61.5	13.7	45.4	28.0	12.9	19	102.3	68.4	33.9	礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	O-4 (1.00～2.00m)	–	–	2.742	–	–	50.4	12.1	52.5	24.4	11.0	19	78.2	55.1	23.1	礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
現場密度試験	S-1-1	1.309	0.903	2.675	1.962	62.6	45.9	14.9	60.1	18.5	6.5	26.5	–			礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	S-1-2	1.351	0.923	2.671	1.894	65.2	46.2	16.4	60.9	16.3	6.4	37.5	–			火山灰質礫質砂	(SVG)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	S-1-3	1.384	0.904	2.680	1.965	72.4	53.1	14.0	61.2	19.6	5.2	37.5	–			礫まじり火山灰質砂	(SV-G)	–	–	–	–	–	–	–	–	–
撹乱試料	支笏火山灰(Spfl)	–	–	2.676	–	–	30.9	73.1	20.4	3.9	2.6	75	–			火山灰質土まじり砂質礫	(GS-V)	35.7	1.174	–	–	–	–	–	–	–
	ローム(Lm)	–	–	2.696	–	–	95.3	0.4	23.6	41.7	34.3	9.5	135.7	77.7	58.0	砂質火山灰質粘性土(Ⅱ型)	(VH_2S)	62.5	0.835	–	–	–	–	–	–	–

【ボーリング柱状図・コア写真】

B-1-1

孔口標高：91.67m

標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記事
1～6	84.87	6.80	6.80		軽石流堆積物	黄褐灰～黄灰	ごく緩い～緩い		0.0～6.8m　黄褐～黄灰色の軽石流堆積物(spf1)。 最大径φ5cm、平均径φ0.5～1.0cm程度の繊維状構造をもつ黄白色軽石を含む基質支持。 基質は火山灰砂からなる。 0.0～1.7m　基質はややシルト分に富む。 それ以深は砂分が多くなる。 全体的にやや緩い。
7～8	83.27	1.60	8.40		火山礫混じり軽石流堆積物	黄褐～褐	緩い～中ぐらい		6.8～8.4m　安山岩～デイサイト質の石質岩片を多く含む黄褐色の軽石流堆積物(spf1)。 石質岩片は平均径φ2cm程度で、褐色に風化しているものと新鮮なものが混在する。含まれる軽石や基質は上位の軽石流堆積物と同様である。 全体的にやや緩い。
9	82.57	0.70	9.10		軽石流堆積物	黄褐淡～ピンク	緩い中ぐらい		8.4～9.1m　黄褐～淡ピンク色の軽石流堆積物(spf1)。 最大径φ4cmの繊維状構造を持つ黄白色軽石を含む。 基質は火山灰砂からなる。 8.5m以深淡ピンク色(火砕流下底面赤色酸化)。
10～13	81.37	1.20	10.30		降下軽石火山灰質シルト互層	白～褐	緩い～中ぐらい		9.1～10.3m　降下軽石層と火山灰シルト、砂の互層。 全体的にやや緩い。 9.1～9.23m　最大径φ1cm、平均径φ5mm程度の白色軽石からなる降下軽石層。 9.23～9.28m　軽石を含む淡褐色火山灰質シルト。 9.28～9.31m　粗砂～細礫サイズの白色軽石からなる降下軽石層。 9.31～9.56m　淡褐色の火山灰質シルト。 9.50～9.70m　最大径φ1cmの白色軽石からなる降下軽石層。 9.70～9.95m　灰白色の火山灰質シルト。 下部1cm程度赤褐色を呈す。 9.95～10.3m　褐色の火山灰質砂。
13～14	78.67	2.70	13.00						
	78.17	0.50	13.50						
	77.82	0.35	13.85						
	77.62	0.20	14.05						
14～15					降下軽石層	褐灰～白	緩い中ぐらい		10.3～13.0m　最大径φ2cmの白色軽石からなる降下軽石層。 淘汰良い。 10.3～11.0m　やや褐色化。緩い。
15～17	73.92	3.70	17.75		火山灰砂混じりシルト	黄褐	緩い～中ぐらい		13.0～13.5m　黄褐色の火山灰質砂混じりシルト。 含水高く緩い。
17～18	73.37	0.55	18.30		降下軽石	黄褐	緩い中ぐらい		13.5～13.85m　最大径φ1cm程度の黄褐色軽石からなる降下軽石層。緩い。
18～19	72.77	0.60	18.90						
19～20	72.27	0.50	19.40		火山灰砂混じりシルト	黄褐	緩い～中ぐらい		13.85～14.05m　黄褐色の火山灰砂混じりシルト、ややしまる。
20～21	71.15	1.12	20.52		礫混じり火山灰質シルト	黄褐	中ぐらい		14.05～17.75m　黄褐色の火山灰質礫混じりシルト。 礫は安山岩～デイサイト質で最大径φ5cm程度、最大径φ1cm程度の軽石を含む。 全体的に不均質で塊状である。 基質は黄褐色の火山灰質シルト。 基質支持。全体的にしまっている(泥流堆積物？)。
21～23	66.67	4.48	25.00		降下軽石火山灰質砂互層	黄灰	緩い～中ぐらい		17.75～18.3m　降下軽石層と火山灰質砂の互層。 軽石は黄褐色で粗砂～細礫サイズのものからなる。 火山灰は、灰～暗灰色でややスコリア質。上部5cm程度は赤褐色を呈す。ややしまる。
23～24					降下軽石火山灰質シルト互層	黄褐	緩い～中ぐらい		18.3～18.9m　降下軽石層と火山灰シルトの互層。 軽石は黄褐色で粗砂サイズのものからなる。 火山灰質シルトは黄褐色を呈す。
24～26					降下軽石層	黄褐	緩い中ぐらい		18.9～19.4m　降下軽石層。 最大径φ3cm、平均径φ5mm程度の黄白色軽石からなる。上部やや褐色化。
26～28					降下軽石層	黄灰～黄褐	緩い中ぐらい		19.4～20.52m　降下軽石層。 最大径φ2cm、平均径φ0.5～1cm程度の黄白～黄褐色の軽石からなる。 上部2cm火山灰質。 19.4～20.0m　黄灰色。 20.0～20.4m　黄褐色。
28～32					スコリア流堆積物	黄褐～暗紫～暗灰	中ぐらい		20.52～25.0m　上部に赤色酸化を伴うスコリア流堆積物。 最大径φ3cm程度のスコリアを含む。 基質は火山灰質砂～シルト。基質支持。 礫は全体に角がとれている。 全体的に固くしまる(溶結？)。 20.52～20.7m　黄褐色(風化)。 20.7～22.0m　赤色酸化し暗紫色。 22.0～25.0m　暗灰色。

孔内水位(m)／測定月日

標準貫入試験

深度 (m)	10cmごとの打撃回数 0～10	10～20	20～30	打撃回数／貫入量(cm)	N値
0.65	2	1	1	4	
1.00	19	8	8	35	3
1.45	16	7	7	30	4
1.90	16	8	8	32	4
2.45	1	1	1	30	3
2.90	2	1	1	31	3
3.45	13	7	12	32	5
3.90	3	2	2	30	8
4.45	4	4	5	30	7
4.90	3	3	3	30	13
5.45	4	4	5	30	9
5.90	4	5	5	30	13
6.45	7	6	8	30	14
6.90	8	8	9	30	21
7.45	8	8	7	30	25
7.90	6	5	5	30	23
8.45	6	5	5	30	16
8.90	3	3	3	30	16
9.45	3	3	3	30	9
9.90	11	12	8	30	9
10.45	4	5	5	30	31
10.90	4	3	4	30	14
11.45	3	3	4	30	11
11.90	4	5	4	30	10
12.45	4	4	4	30	13
12.90	2	3	3	30	12
13.45	6	8	9	30	8
13.90	10	4	7	30	23
14.95	9	13	15	30	21
14.75	13	25	12	30	37
14.95	8	5	5	30	56
15.42 15.72	7	6	6	30	16
15.95				19	
16.25	50			50	19
16.51	50			50	167
16.65	8			8	188
16.74					
17.23	4	5	5	14	
				30	14
17.53 17.95	4	3	4	11	
18.25	5	6	5	30	11
18.75	5	5	6	30	16
19.25	3	3	3	30	16
19.45 19.75	2	3	3	30	9
19.95 20.25	6	7	5	30	8
20.75	6	6	6	30	18
21.25	7	8	16	30	18
21.75	15	16	15	30	31
22.25	14	15	14	30	46
22.75	8	9	13	30	43
23.25	9	13	16	30	30
23.75	16	16	17	30	38
24.25	20	21	9	30	49
24.75	22	20	8	30	58
24.96			5	25	60

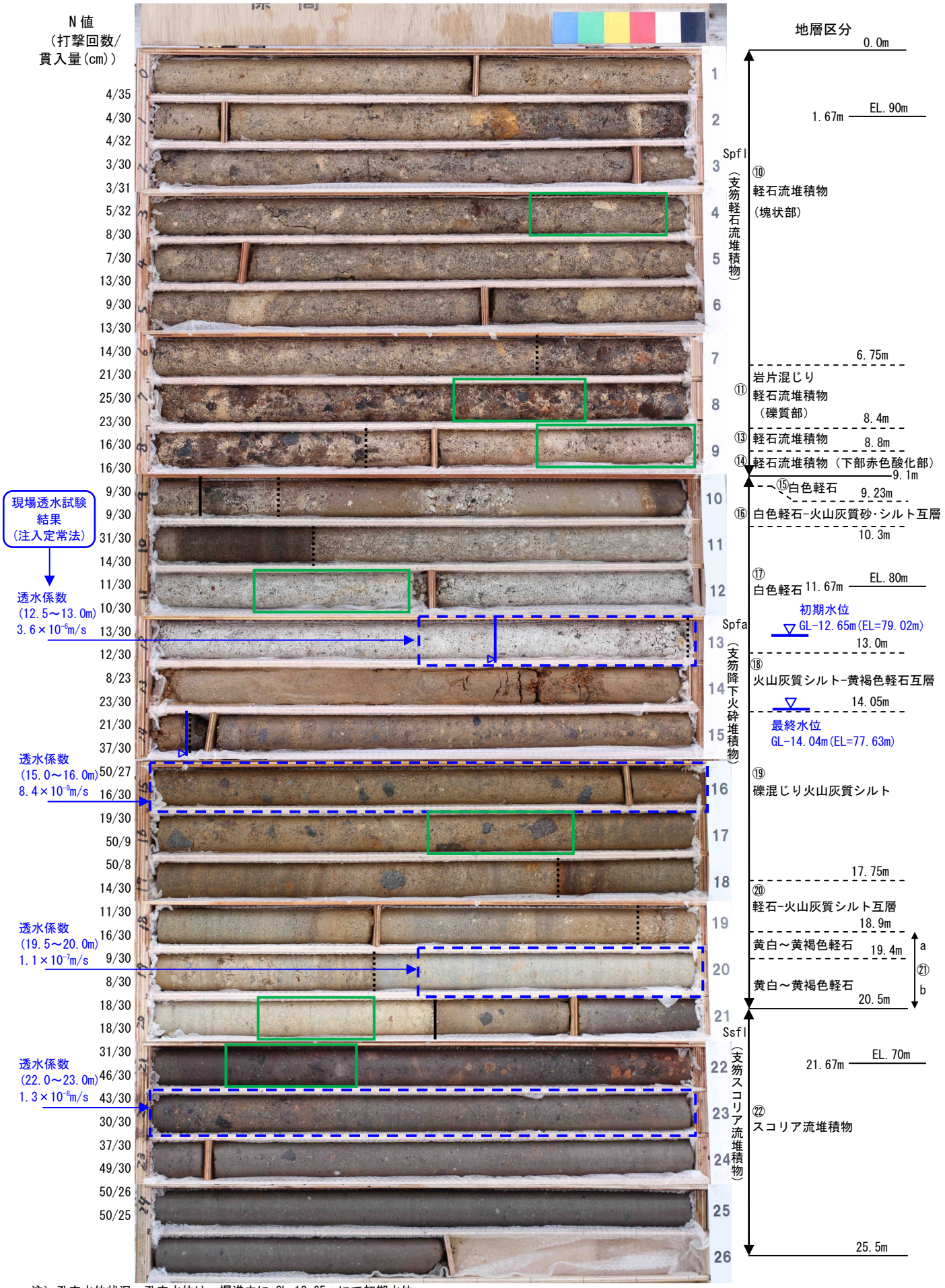
原位置試験

深度 (m)	試験名および結果
12.50	現場透水試験 k=3.6×10-6m/s
13.00	
15.00	現場透水試験 k=8.4×10-9m/s
16.00	
19.50	現場透水試験 k=1.1×10-7m/s
20.00	
22.00	現場透水試験 k=1.3×10-8m/s
23.00	

試料採取

深度 (m)	試料番号	採取方法

B-1-1 孔
H=91.67m　Dep=25m



注）孔内水位状況：孔内水位は、掘進中に GL-12.65m にて初期水位が確認された。
最終水位は、掘進終了後にケーシングを抜管後、GL-14.04m にて確認された。

ボーリングコア接写写真部

B-3

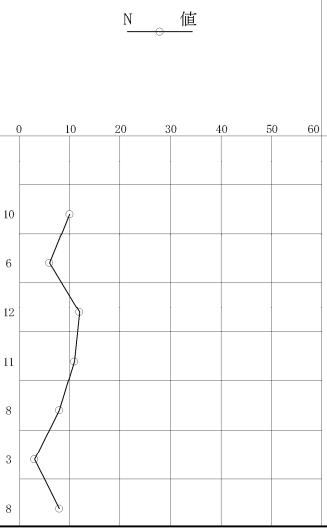
孔口標高：66.64m

標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記事
	66.34	0.30	0.30		腐植土	黒～黒褐	緩い		0.0～0.3m　植物多く含む腐植土。
	66.09	0.25	0.55						
1	65.74	0.35	0.90		火山灰質シルト	黄褐	緩い		0.3～0.55m　最大径φ10cm程度混じる。黄褐色。火山灰シルト。上部ほど細粒化。
2					シルト混じり砂礫	暗褐	緩い		0.55～0.9m　最大径φ10cm程度の白色軽石を含む暗灰色のシルト混じり砂礫。
3					礫混じり砂	暗灰	緩い～中くらい		0.9～7.0m　礫混じり砂。最大径φ1cm程度以下の軽石、デイサイト礫を含む、中～粗砂からなる。砂はスコリア、斜長石などの鉱物からなる。3.0m付近に植物片含む。
4									
5									
6									
7	59.64	6.10	7.00						

孔内水位(m)／測定月日

標準貫入試験

深度 (m)	10cmごとの打撃回数 0～10	10～20	20～30	打撃回数／貫入量(cm)	N値
1.45	4	3	3	10/30	10
1.75～2.45	2	3	1	6/30	6
2.75～3.45	4	4	4	12/30	12
3.75～4.45	4	3	4	11/30	11
4.75～5.45	3	2	3	8/30	8
5.75～6.45	1	1	1	3/30	3
6.75～7.45	2	2	4	8/30	8
7.75					



原位置試験

深度 (m)	試験名および結果

試料採取

深度 (m)	試料番号	採取方法

B-3 孔
GH=66.64m　Dep=7m

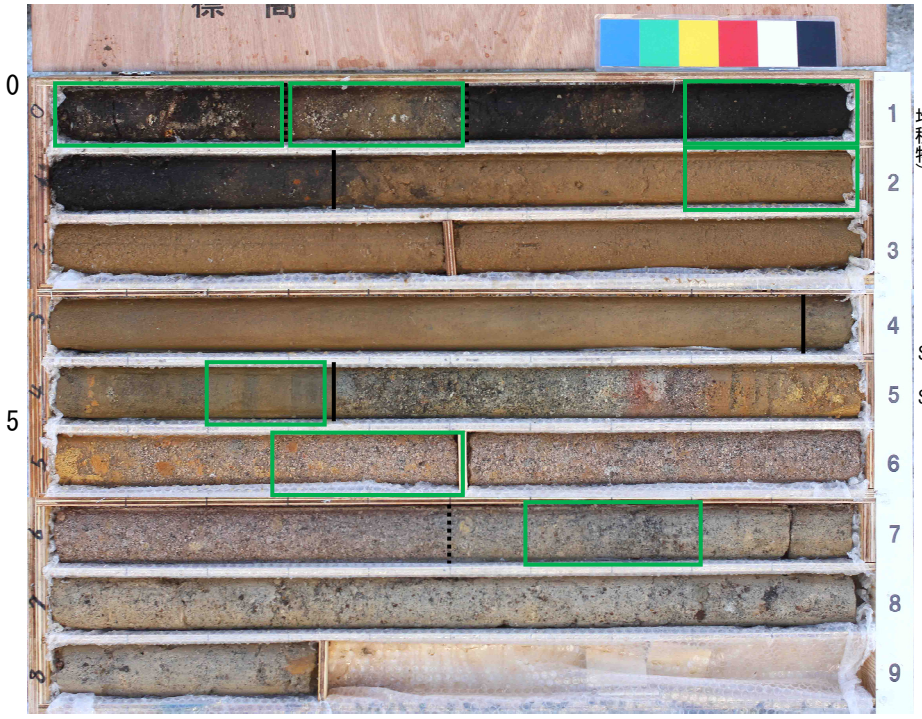
B-4

孔口標高：99.35m

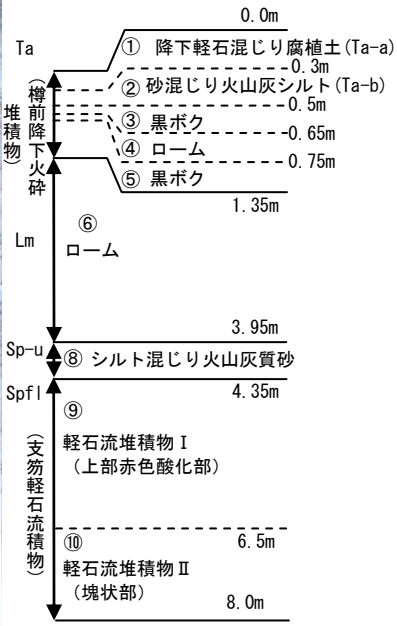
標尺 (m)	標高 (m)	層厚 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記事
	99.05	0.30	0.30		腐植土	黒～暗褐		軟らかい	0.0～0.3m　生木を含む腐植土。
	98.85	0.20	0.50						最大径φ1cm程度の黄灰色軽石を含む。
1	98.00	0.85	1.35		シルト混じり火山灰質砂	黄褐	緩い		0.3～0.5m　最大径φ1cm程度の白色軽石を含むシルト混じり火山灰質砂。 0.3～0.35m　中～粗砂主体。 0.35～0.45m　シルト分を多く含む。 0.45～0.5m　細粒主体。
2									
3					黒ボク	黒～暗褐		軟らかい	0.5～1.35m　植物根を含む塊状な黒ボク。 下位のローム層とは漸移的である。 下部10cm間には、最大径φ1cm程度の赤褐色軽石が散る。
4	95.40	2.60	3.95						
	95.00	0.40	4.35		ローム	黄褐		軟らかい	1.35～3.95m　塊状な黄褐色ローム。 火山灰質砂が散る。
	94.65	0.35	4.70		シルト混じり火山灰質砂	黄褐	緩い		3.95～4.35m　シルト混じり火山灰質砂。 3.95～4.2m　中粒砂主体。 4.05m　最大径φ1cmの黄褐色軽石を含む。 4.2～4.35m　細粒砂主体。黄褐色と暗黄褐色が互層する。
5									
6	92.85	1.80	6.50						
7	92.35	0.50	7.00		軽石流堆積物	黄灰	緩い～中位		4.35～7.0m　最大径φ6cm程度の繊維状構造をもつ軽石を含む軽石流堆積物。 基質は粗砂サイズの火山灰質砂からなる。 基質維持。 4.35～4.7m　黄灰色。
8									
9					軽石流堆積物	淡灰～黄褐	緩い～中位		4.7～6.5m　淡赤灰色(火砕流上部赤色酸化部)。 4.8～5.1m　黄褐色軽石が濃集する。
					軽石流堆積物	黄灰	緩い～中位		6.5～7.0m　黄灰色。

孔内水位(m)／測定月日	標準貫入試験 深度(m)	10cmごとの打撃回数 0～10	10～20	20～30	打撃回数／貫入量(cm)	N値 0 10 20 30 40 50 60	原位置試験 深度(m)	試験名および結果	試料採取 深度(m)	試料番号	採取方法

B-4 孔
H=99.35m　Dep=8.0m



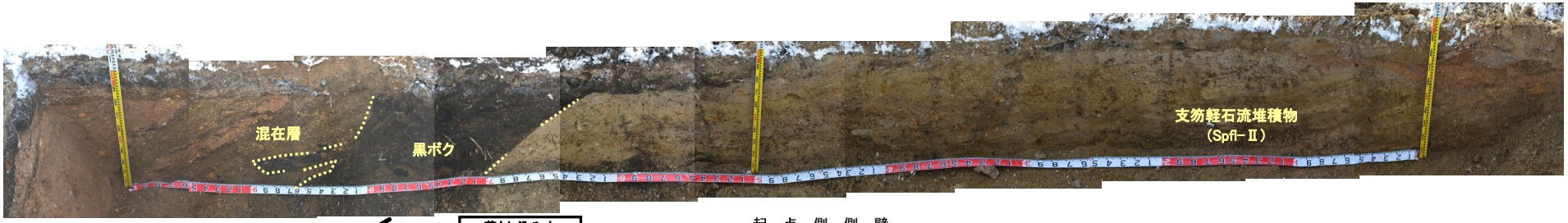
地層区分



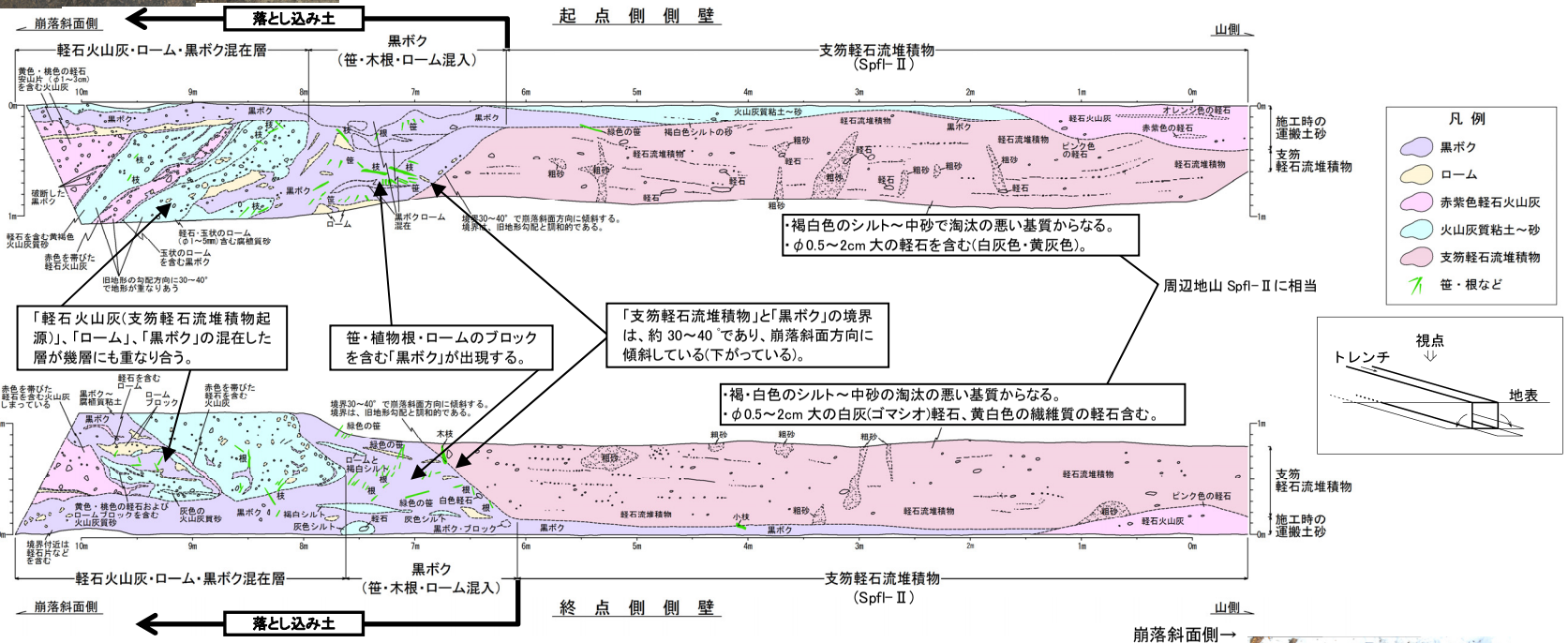
ボーリングコア接写写真部

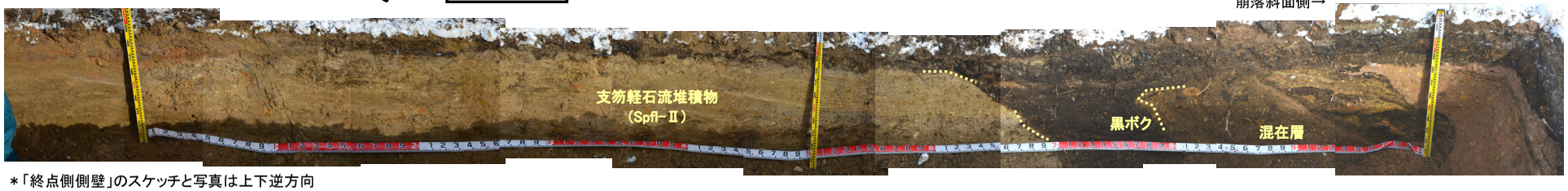
【トレンチ調査結果】

・トレンチの山側に、地山の「支笏軽石流堆積物」が出現し、崩落斜面側には、笹・植物根・ロームのブロックを含む「黒ボク」、軽石火山灰(支笏軽石流堆積物起源)・ローム・黒ボクの「混在層」が分布する。周辺地山(切土法面)には、混在層やロームブロックを伴う黒ボクは出現しない。
・「支笏軽石流堆積物」と「黒ボク」の境界は、旧地形線と調和的に約 30～40° であるため、「黒ボク」から崩落斜面側は「落とし込み土」の可能性が高い。



←崩落斜面側





＊「終点側側壁」のスケッチと写真は上下逆方向

トレンチ調査結果

【滑落土砂等調査結果(1)】

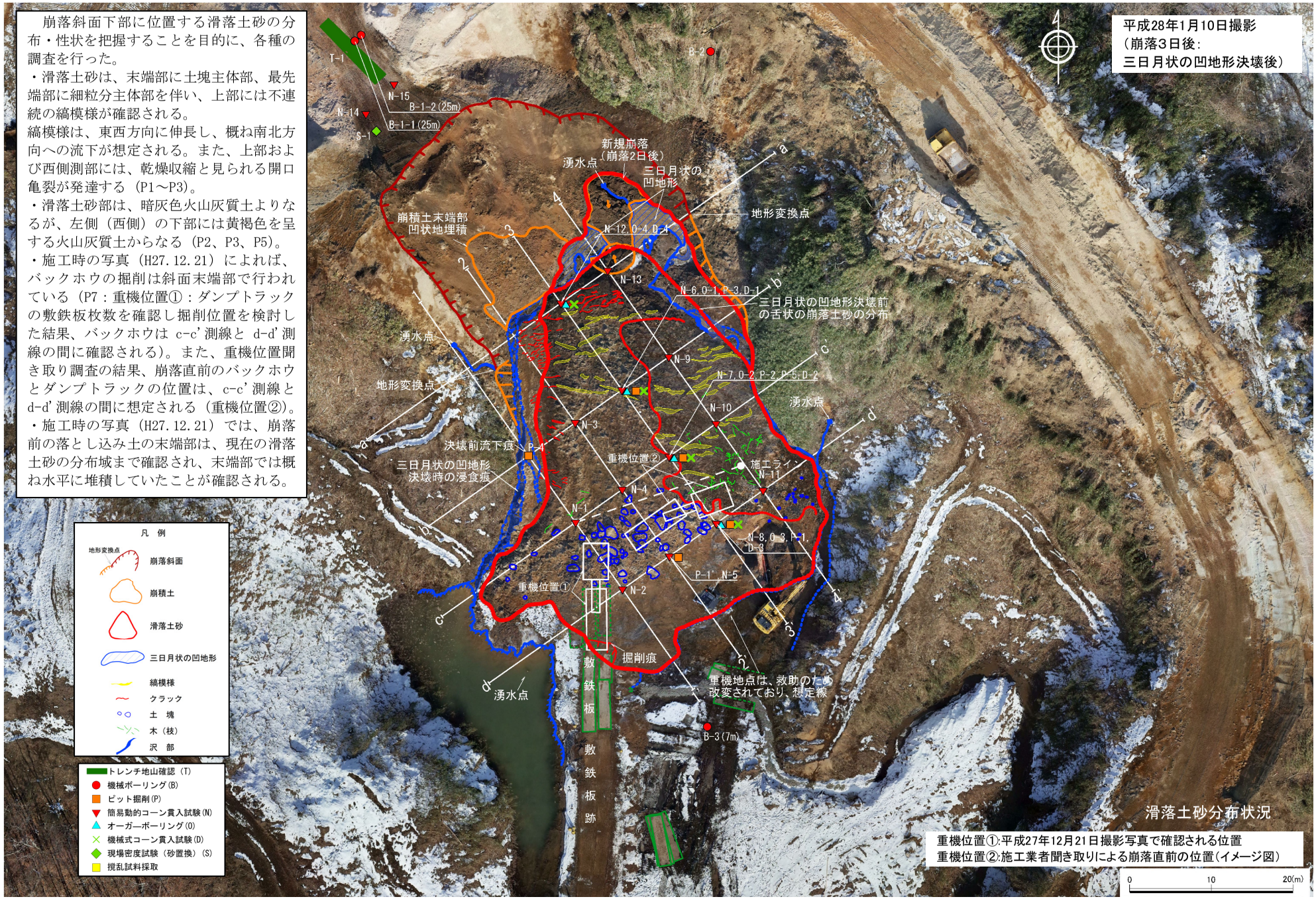
崩落斜面下部に位置する滑落土砂の分布・性状を把握することを目的に、各種の調査を行った。

・滑落土砂は、末端部に土塊主体部、最先端部に細粒分主体部を伴い、上部には不連続の縞模様が確認される。
縞模様は、東西方向に伸長し、概ね南北方向への流下が想定される。また、上部および西側測部には、乾燥収縮と見られる開口亀裂が発達する（P1～P3）。

・滑落土砂部は、暗灰色火山灰質土よりなるが、左側（西側）の下部には黄褐色を呈する火山灰質土からなる（P2、P3、P5）。

・施工時の写真（H27.12.21）によれば、バックホウの掘削は斜面末端部で行われている（P7：重機位置①：ダンプトラックの敷鉄板枚数を確認し掘削位置を検討した結果、バックホウは c-c'測線と d-d'測線の間に確認される）。また、重機位置聞き取り調査の結果、崩落直前のバックホウとダンプトラックの位置は、c-c'測線と d-d'測線の間に想定される（重機位置②）。

・施工時の写真（H27.12.21）では、崩落前の落とし込み土の末端部は、現在の滑落土砂の分布域まで確認され、末端部では概ね水平に堆積していたことが確認される。



【滑落土砂等調査結果(2)】

・ピット堀りおよびオーガーボーリングの結果、最先端部は黄褐色を呈するローム質火山灰からなる。その上流部では、上部が暗灰色の粗粒火山灰からなり、下部が黄褐色のローム質火山灰よりなる。三日月状の凹地形では高含水で、孔壁が自立しないほど脆弱となっている。また、西側の下部の黄褐色を呈する火山灰質土の分布域では、ローム混じりの黒ボクやローム質火山灰が概ね水平方向に重なっている（写真番号 P1：P-4）。

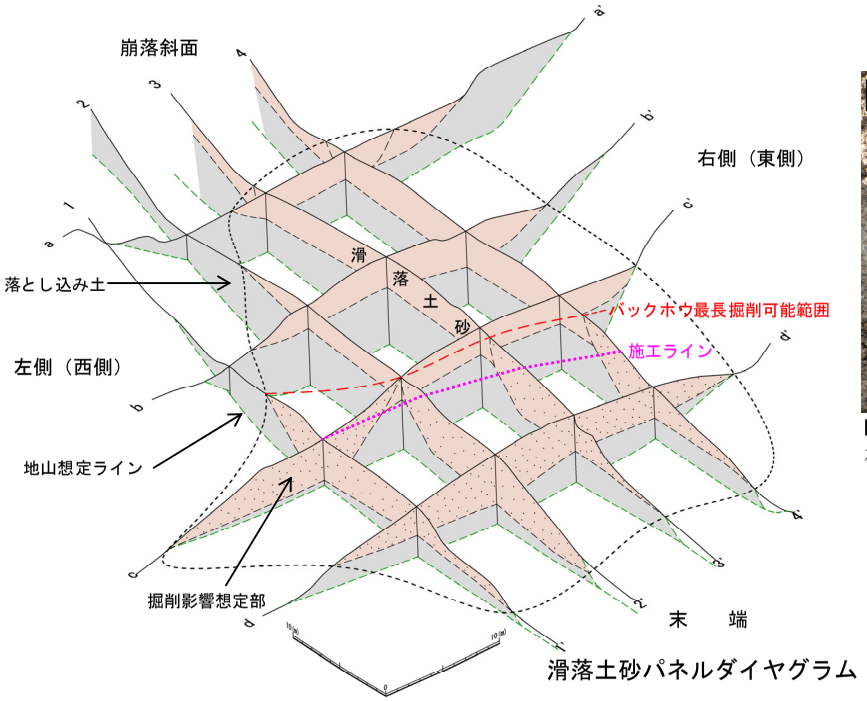
・簡易動的コーン貫入試験の結果、上部には Nd 値が 1 となる低打撃回数部が分布し、上部の暗灰色を呈する粗粒火山灰質土の分布域と整合し、滑落土砂と判断される。

・低打撃回数部の下部は、Nd 値が 2～10、黄褐色ロームを主に分布し、落とし込み土と判断される。Nd 値 10 以上の部分は施工前の地山線と概ね一致している。

⇒簡易動的コーン貫入試験における上部の Nd 値 1 のゾーン（低打撃回数部）に着目し、各断面において滑落土砂の三次元的な分布を把握した。

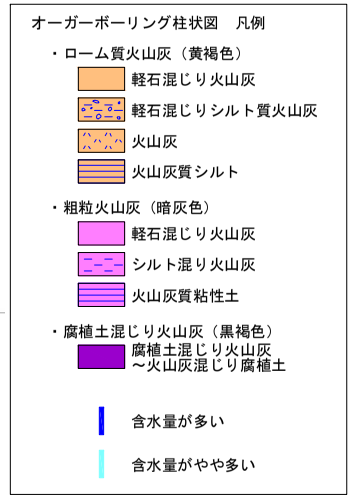
・落とし込み土の末端部では、施工基面（鉄板敷高：68.5m）とほぼ同標高より上部に厚さ最大 5m の滑落土砂が分布する。

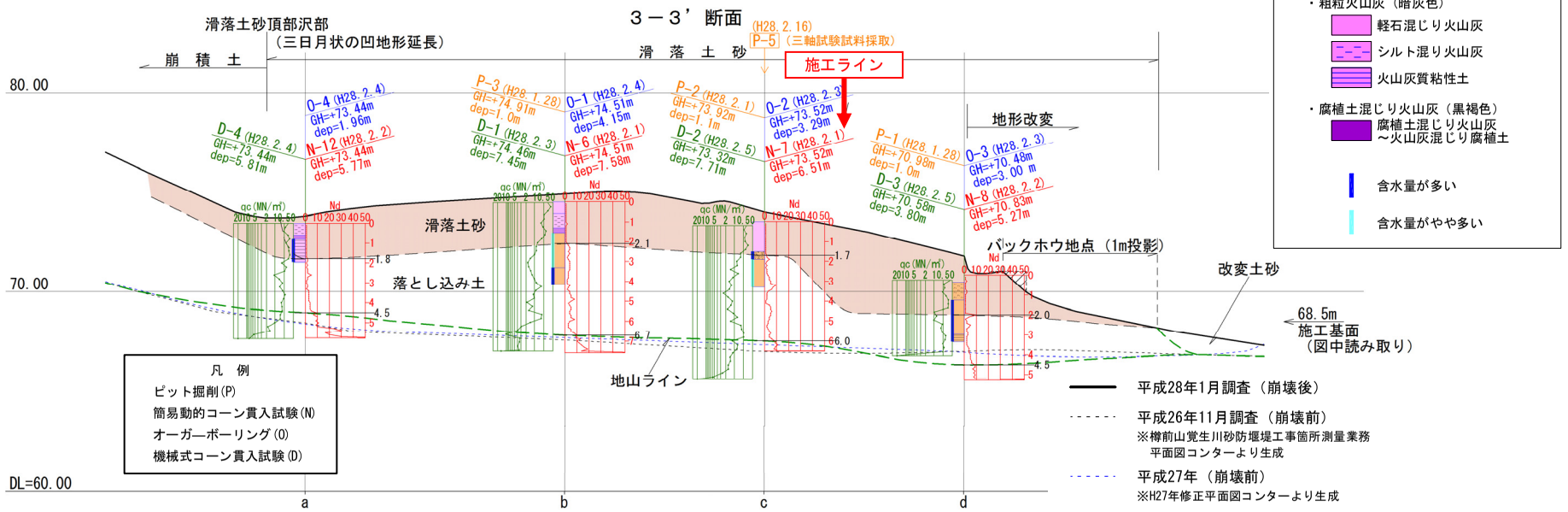
・施工ラインより上流部では、概ね厚さ約 3m でほぼ水平に滑落土砂が分布する。



滑落土砂パネルダイヤグラム

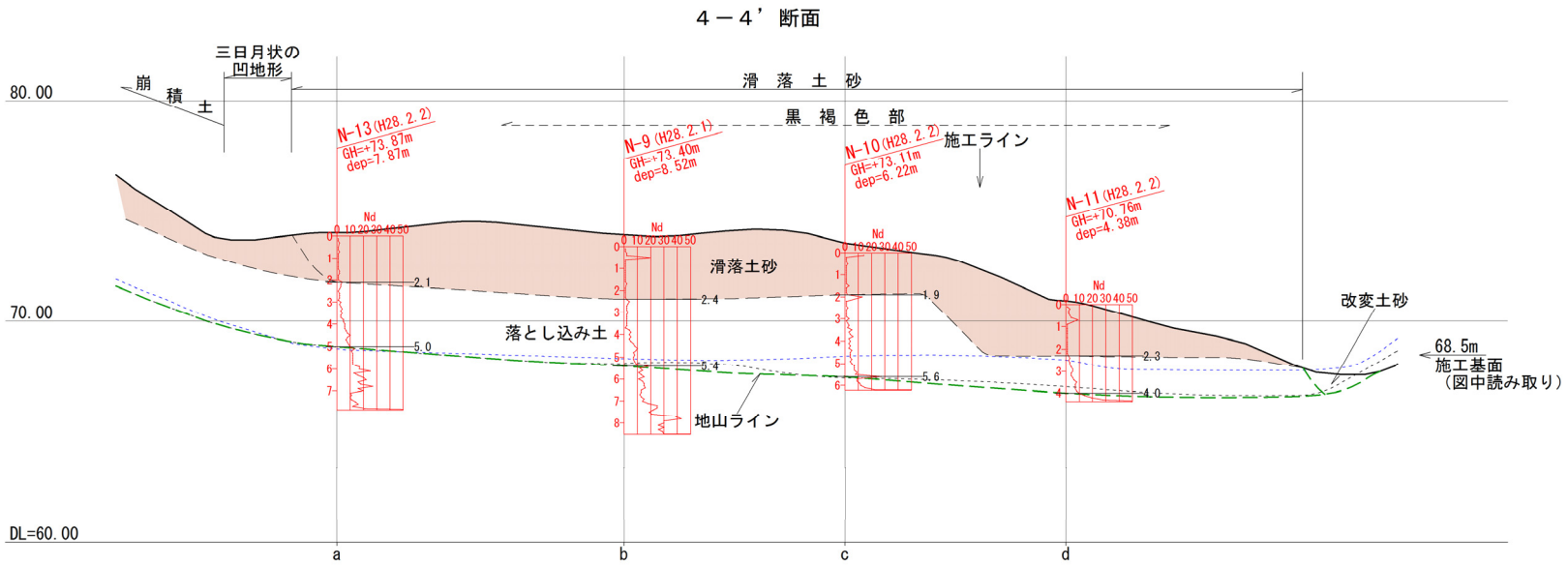
P1　ピット掘り結果（P-4）
左側（西側）下部での掘削結果：
ローム混じりの黒ボクやローム質火山灰よりなる

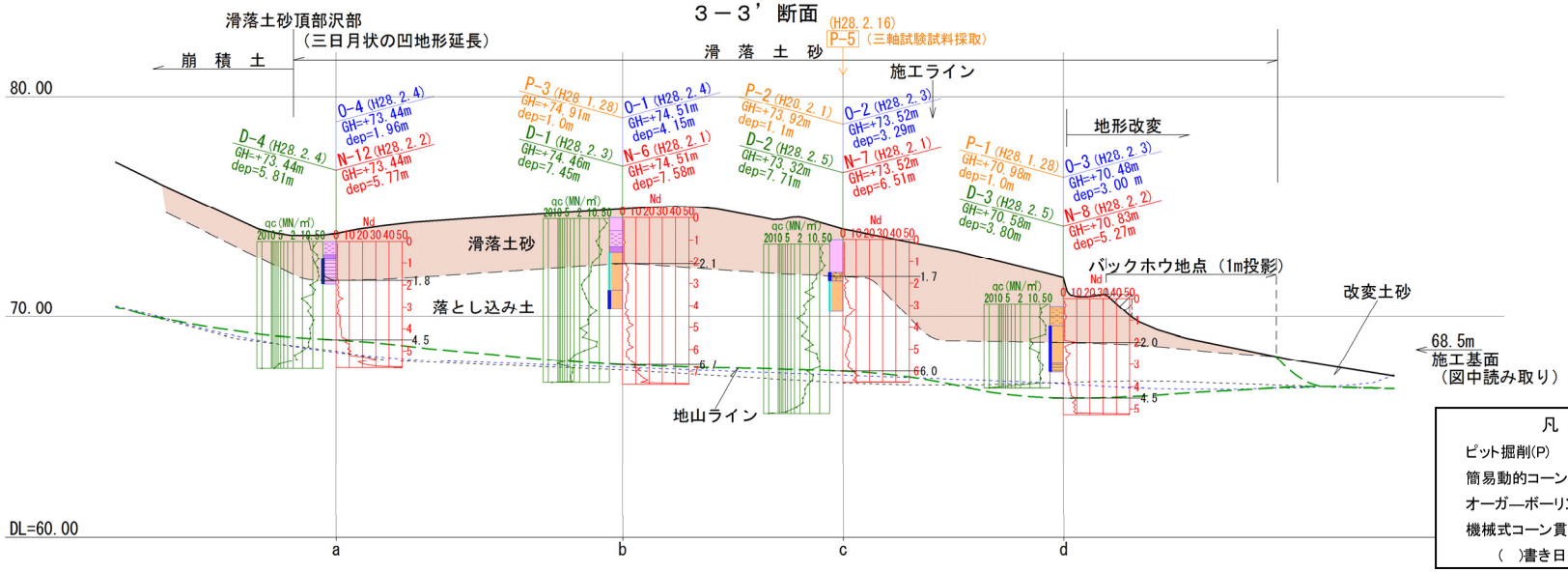


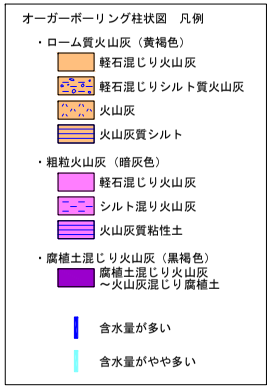


滑落土砂等調査結果（主測線：3-3’断面）

【滑落土砂等調査結果(3)】







平成28年1月調査（崩壊後）

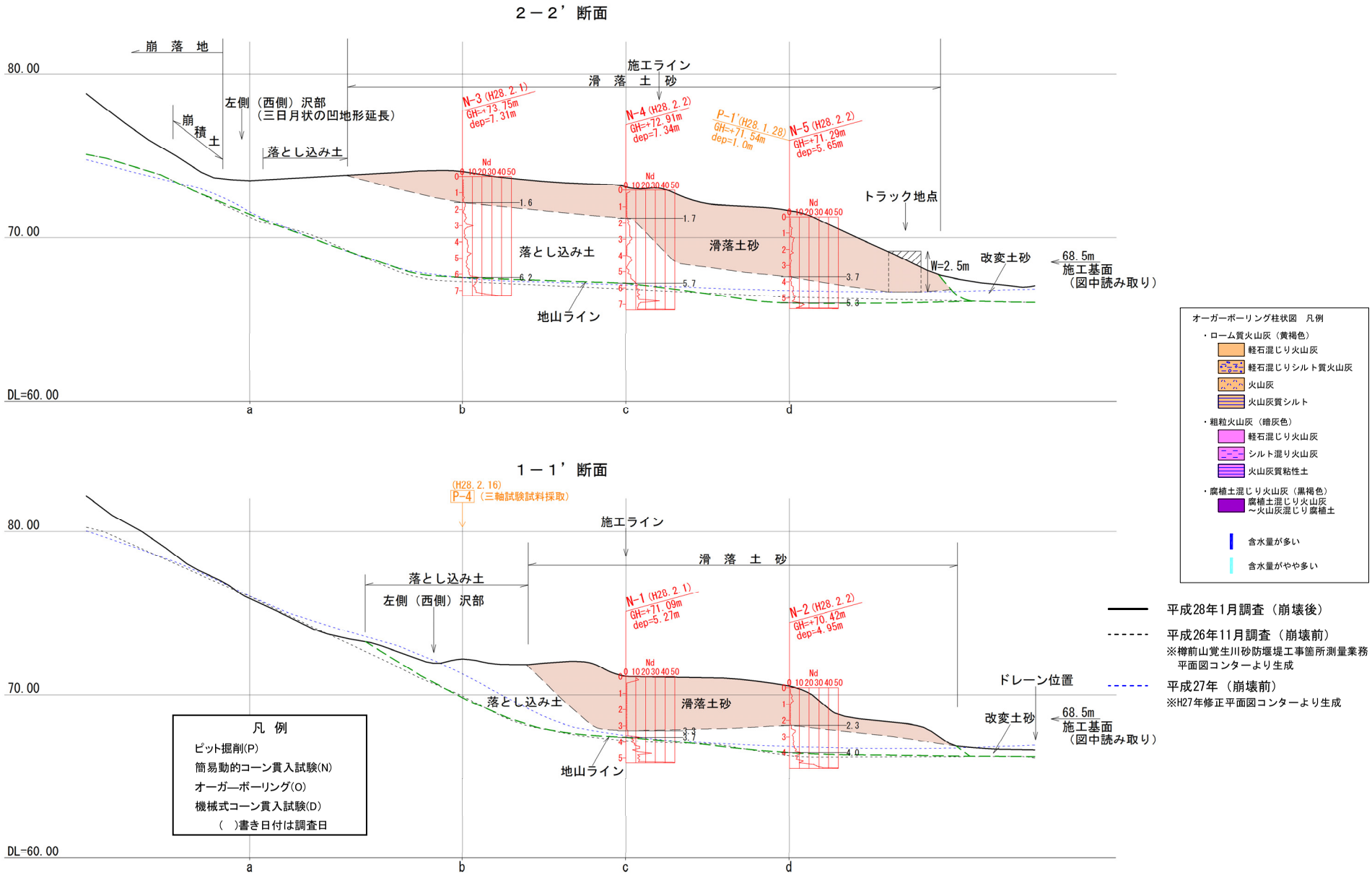
平成26年11月調査（崩壊前）
※樽前山覚生川砂防堰堤工事箇所測量業務
平面図コンターより生成

平成27年（崩壊前）
※H27年修正平面図コンターより生成

凡　例
ピット掘削(P)
簡易動的コーン貫入試験(N)
オーガ―ボーリング(O)
機械式コーン貫入試験(D)
（　）書き日付は調査日

滑落土砂断面図(1/2)

【滑落土砂等調査結果(4)】



滑落土砂断面図(2/2)