

落合地すべり 排水トンネルの 事前探査と掘進地質について

(株)村尾地研 ○小川司 野坂 徹
新谷崇 田縁陽一

1. 落合地すべりと探査の概要

落合地すべりは、志賀高原北西部、千曲川水系夜間瀬川支流の横湯川源流域に位置する広大な地すべり地（標高 1100～1700m）である。冠頭部より東方は、第四紀火山が連なる風光明媚な高原地帯（信濃川水系中津川支流の雑魚川源流域）であるが、地すべり地付近は溪流沿いに急崖、崩壊地形が連続する荒々しい景観を呈している。

周辺に分布する地質は、志賀高原の基盤を構成する新第三紀中新世の火山岩類（いわゆるグリーンタフ、志賀緑色火山岩類とひん岩などの貫入岩類）であり、これらは熱水変質作用により著しく粘土化した部分を伴っている。また、地すべり地内には古期の地すべりが形成した堰止め湖の堆積物も分布している。

落合地すべりは縦断方向約 2.5km の大規模地すべり（A～I ブロック）であるが、主要な調査と対策工は、活動性が大きい地すべり地の南縁部（A～D ブロック）で行われてきた。本報告の弾性波および電気探査（測線長 300m）は、排水トンネルが計画された B ブロック中央付近で実施したものである。

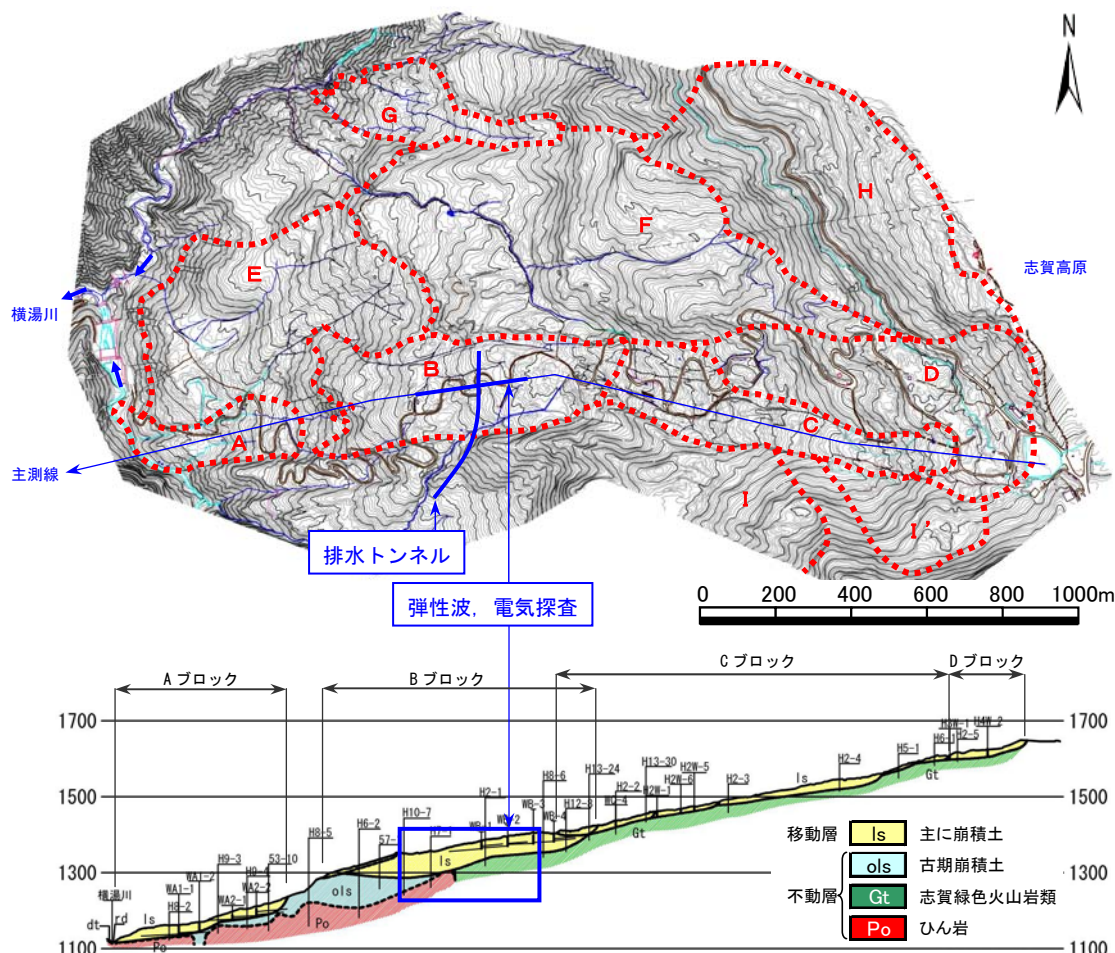


図1 落合地すべりと探査の概要

2. Bブロックの地質状況

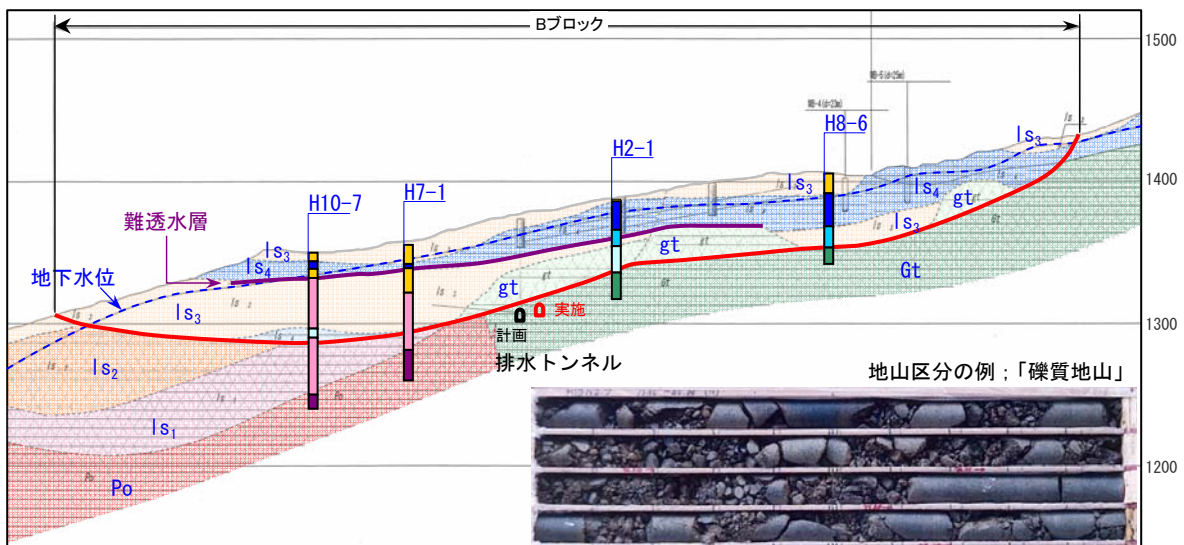
①既往の地質区分

Bブロックの地すべりは、粘性土や礫質土からなる崩積土層（ls1～ls4）と緑色火山岩類起源の崩積土層（gt）に区分されている。基盤は、トンネル計画位置付近より斜面上方側が緑色火山岩類、斜面下方側がひん岩であり、すべり面は緑色火山岩類分布域では岩盤上面に一致し、ひん岩分布域では地すべり土塊中にある（下位のls1, 2が上位のls3, 4に削剥された形）。また、地すべり土塊内の地下水位は、粘性土層ls4下面を境界とする多段水位であり、排水トンネルは、下段の地下水を排水するために計画されたものである。

②探査結果解釈に際しての地山区分

探査結果の解釈に際して、測線上の既往調査ボーリング4孔のコア写真を確認し、写真から明瞭に読み取れる3要素（風化程度、変質程度、礫含有状況）から、各孔の地山を、表層の崩積土、粘土質地山1～3、礫質地山、岩盤（ひん岩、緑色火山岩類）に区分した。

粘土質地山は斜面上方側、礫質地山は斜面下方側で厚く分布する。粘土質地山のうち、概ね既往ls4に相当する強粘土化地山は、測線全長にわたり分布しているが、斜面の上方と下方では分布厚さに大きな差異がある。また、基盤岩の緑色火山岩類およびひん岩は、いずれも塊状岩盤と亀裂質岩盤からなる。



落合地すべりBブロックの地質区分

時代	地質	記号	層相および特徴
第四紀 完新世 ～ 更新世	地すべり土塊	ls4	各種安山岩や基盤起源礫を含む粘土化の進んだ礫混じり粘性土。
		ls3	主に安山岩起源の礫を含む礫質土。基質は締まっている。
		ls2	基盤岩起源の礫の他に安山岩起源の礫も少量含む礫混じり粘性土。基質は締まっている。
		ls1	緑色火山岩類やひん岩起源の礫を含む礫質土～礫混じり粘性土。基質は締まっており、粘性土中にはせん断面が確認されることがある。
		gt	主に緑色火山岩類起源の岩塊や礫からなる。表層は風化や二次崩壊により粘土化したところあり
	湖成堆積物	la	半固結状のシルト層や砂・シルト互層からなる。
第三紀 中新世	ひん岩	Po	節理の発達した塊状の岩盤。新鮮部は淡緑～青灰色を帯び、斑晶が目立つ。変質部は乳白色を帯び、黄鉄鉱が晶出していることが多い。
	緑色火山岩類	Gt	いわゆるグリーンタフに属する緑色を帯びた火砕岩からなる。一部に安山岩溶岩も含む。

風化、変質、礫含有量の3要素に着目した地山区分

地質	性状	柱状図	層相および特徴
地すべり土塊	崩積土	黄色	強風化。硬質角礫多量に含有。緩み大。
	粘土質 (変質粘土)	青	強粘土化。礫は少量含有。
		赤	風化、弱～強粘土化。礫は少量含有。
礫質	紫	硬質角礫を極めて多量に含有。	
岩盤	ひん岩	緑	ひん岩。硬質塊状～亀裂質岩盤。粘土化変質部あり
	緑色火山岩類	紫	緑色火山岩類。硬質塊状～亀裂質岩盤。

図2 Bブロックの地質断面と地山区分

3. 探査結果

①弾性波探査結果

従来法による速度層解析では、第三速度層の分布深度がごく浅く（深度 10m 以浅）、探査範囲の全長にわたり浅深度に分布する強粘土化地山 1s4 の影響（解析上のブラインド層）が想定された。屈折トモグラフィー解析では、1s4 の上面と下面深度付近に速度コンターの屈曲位置が連続していることが確認される。また、深部の 2.1km/sec 以上の速度層分布深度は斜面上方～探査範囲中央付近で大きく（30～40m 程度）、探査範囲中央付近から斜面下方に向かい次第に小さく（30～5m 程度）になっており、これは、粘土質地山の厚さが斜面上方で大きく、斜面下方で小さいことを反映している。

②電気探査結果

大局的比抵抗分布は、斜面上方で低比抵抗、斜面下方で高比抵抗であり、地すべり土塊（上方が粘土質、下方が礫質）と基盤岩（上方が緑色火山岩類、下方がひん岩）の性状を反映している。低比抵抗域は、斜面上方と下方の浅部に 2 箇所存在し、前者は 1s4 の厚層分布範囲に、後者は沢の測線横断箇所に対応している。高比抵抗域は、斜面上方測線端部の地表付近と斜面下方の深部に 2 箇所存在し、前者は表層の崩積土層 1s3 が厚く分布する凸型地形部（緩みや大きな転石群などの影響）に、後者は礫質地山～ひん岩の分布範囲に対応している（高比抵抗域の上面は、地山区分とほぼ一致する位置に、シャープなコントラストを示している。また、側面は、ひん岩と緑色火山岩類の地質境界付近にあり、この境界は川側に傾斜し、ひん岩の方が緑色火山岩類より高比抵抗であることを示している）。

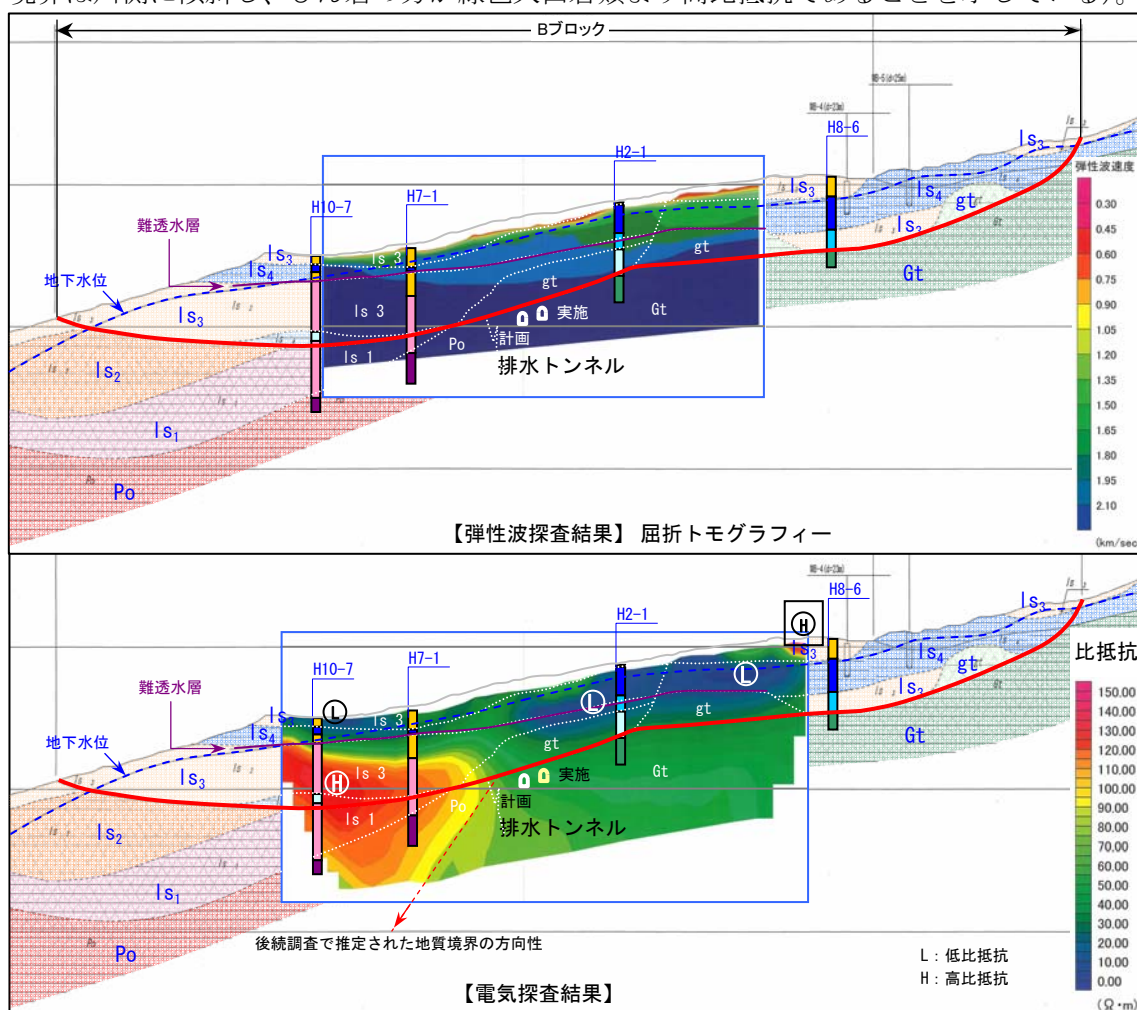


図 3 探査結果

以上のように、B ブロックの物理探査では弾性波探査より電気探査の方が有効であり、また、探査結果の解析においては、礫含有量等に着目した地山区分を用いることにより、明快な解釈を得ることができた。

4. 排水トンネル掘進時の地山状況

排水トンネルは、線形を山側に移動し、ひん岩と緑色火山岩類の地質境界（厚い粘土化変質帯を伴う）から充分離れた位置で掘削された。トンネル（L=385m）は、地すべり地外のBブロック南縁の尾根地形部（約200m区間）でひん岩分布域から緑色火山岩類分布域に入り、地すべり地内（約185m区間）では、両者の地質境界と概ね並走する方向に、緑色火山岩類を掘進する形である。

トンネル掘削は、坑口部の未固結層区間（約60m、崩積土と湖成堆積物が分布）で切羽安定性が恒常的に悪く、注入式鏡ボルト等の補助工法を併用しつつ掘進したが、岩盤区間では、施工上問題となる程度の湧水や地圧に遭遇することなく掘り進み、順調に予定地点に到達した。また、トンネル坑内の2箇所を実施した集水ボーリング工（52孔×60m）により、0.5t/min程度の地下水を坑外に排水することが可能となった（この排水量は、排水の対象とした帯水層の規模と透水性や、既往排水施設からの排水量等を考慮すると、十分な量であると考えられる）。

熱水変質の影響を強く受けた岩盤では、切羽の押し出しや、少量の湧水によっても切羽の不安定化が起こりやすい。当該排水トンネルが順調に掘進できた理由としては、土被りの大きさが適度な小断面トンネルであること、および、変質帯から充分な離隔をとったことに加えて、切羽を緩ませることなく短期間で掘りきった施工に因ると考えられる。



写真1 緑色火山岩類(探査測線との交点付近)

変質が著しい。原岩の組織残すが全体として白色呈する。



写真2 排水トンネル坑口部全景

※これらの写真は、北信建設事務所の承諾を得て、施工者の榎岡谷組よりご提供頂いたものである。

【質問事項】

「排水トンネルの調査と解析で留意すべき事項、既往の排水トンネルで発生した排水トンネル固有の問題事例があれば教えて下さい」

<参考資料等>

(社) 斜面防災対策技術協会 HP : 「個別地すべりの紹介」

<http://www.jisuberi-kyokai.or.jp/kobetu/nagano/otiai/otiai.html>