

第47回地すべりシンポジウム

新潟の地すべりに見られる 特異な現象

2019. 5.17

主 催 (公社) 日本地すべり学会新潟支部
共 催 (公社) 地盤工学会北陸支部
後 援 新 潟 県
(一社) 新潟県地質調査業協会
(一社) 斜面防災対策技術協会新潟支部
NPO法人新潟県地すべり防止工事士会

第47回地すべりシンポジウム

新潟の地すべりに見られる 特異な現象

2019. 5.17

主 催 (公社) 日本地すべり学会新潟支部
共 催 (公社) 地盤工学会北陸支部
後 援 新 潟 県
(一社) 新潟県地質調査業協会
(一社) 斜面防災対策技術協会新潟支部
NPO法人新潟県地すべり防止工事士会

目 次

巻頭言	1
(公社)日本地すべり学会 新潟支部長 渡部 直喜	
< 特別講演 >	
ネパールにおける低コスト砂防工法とその効果検証－20年間の変化－	2
日本工営株式会社 (前弘前大学) 檜垣 大助	
< 発 表 >	
年間数m移動する「青ぬけ地すべり」の活動と対策－蛇紋岩地帯の地すべり－	8
明治コンサルタント株式会社 高橋 路輝	
豪雨によって発生した高速流動性地すべり	14
株式会社村尾技建 本田 万葉香・五十嵐 敏幸	
日本海東縁における新第三系海成層の地すべりの素因	18
日本原子力研究開発機構 (前京都大学大学院理学研究科) 西山 成哲	
京都大学防災研究所 千木良 雅弘	
電力中央研究所 鈴木 浩一	
新潟大学災害・復興科学研究所 渡部 直喜	
堆積軟岩地域で発生したトップリング型地すべり	
－新潟県長岡市「2009年新山地すべり」の例－	24
株式会社日さく 佐藤 壽則・古谷 尊彦	
膨張性地山に起因する諸現象について	30
株式会社キタック 伊藤 克己・山岸 由佳・遠藤 雄治	
羽越河川国道事務所 徳橋 良幸	

巻 頭 言

(公社) 日本地すべり学会
新潟支部長 渡部 直喜

平成の時代は自然災害の多発した 30 年間でした。被害が発生した地震・火山活動に限っても、1990 年代は 1991 年雲仙普賢岳の火砕流災害に始まり、1993 年釧路沖地震、同年に渡島大島を襲った北海道南西沖地震、1995 年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、2000 年代になると 2000 年の三宅島の噴火、2004 年中越地震、2007 年中越沖地震、2008 年宮城・岩手内陸地震、2010 年代になっても 2011 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、2016 年熊本地震から昨年の北海道胆振東部地震まで、26 件もの災害が発生しています。これらに加えて台風・線状降水帯による豪雨災害が全国で頻発しており、新潟県でも 1998 年 8.4 水害、2004 年新潟・福島豪雨災害、2011 年新潟・福島豪雨災害が発生しています。

災害調査は地域の復旧・復興に直結するため、社会的ニーズも高く、調査で得られた知見・経験の蓄積は、その後の調査手法・対策技術の進展、緊急対応、警戒・避難体制の整備等に大きく貢献したと考えられます。一方、災害調査に注力したこの 30 年間は、学術的発展の視点に立てば、多くの未解決課題が保留されてきた停滞の期間と言えるかもしれません。地震や豪雨にともなう斜面災害の調査研究は、誘因が明確であるため、各種調査・観測に基づく地形、地質、土質、水文、植生等に関連する素因の解明が主眼となります。そして、これまでに数多くの研究成果が得られてきたことも確かです。しかしながら、誘因不明の斜面災害の発生機構や要因不明の特異な土砂移動現象については未だ解明に至っておりません。例えば、新潟県および周辺地域に限定しても 1911 年 8 月 8 日に発生した長野県小谷村の稗田山大崩壊、1961 年の晩秋期に活動を開始した松之山地すべり、土石流災害をもたらした 1996 年 12 月 6 日の新潟・長野県境蒲原沢源頭部の崩壊などが挙げられます。これらのほかにも現在活動中の福島県滝坂地すべり等、いくつかの代表的地すべりの初生地すべり発生時期・誘因は未解明です。さらに、いくつかの地すべりでは対策困難あるいは要因不明の特異な現象も知られています。誘因不明の斜面災害の発生機構や要因不明の特異な土砂移動現象の解明には大きな困難が予想されますが、学術的に重要な研究課題であり、防減災の観点からも果敢に挑戦する意義があります。

今回の新潟支部では、上述の背景を念頭に置き、「新潟の地すべりに見られる特異な現象」と題するシンポジウムを企画いたしました。実際、地すべり災害対策・復旧に向けた工程優先の観点から、要因解明を保留してきた「特異な現象」は少なくありません。本シンポジウムでは、「特異な現象」を洗い出し、要因解明につながる課題（新たな着想・アイデア、有効な調査・観測手法など）について整理・議論します。工期・予算上の制約あるいは成果主義の時代背景からこれまで敬遠され、未解決となっている重要研究課題への挑戦の第一歩となれば幸いです。

ネパールにおける低コスト砂防工法とその効果検証ー20 年間の変化

Evaluation of the effectiveness of the low-cost erosion control measures adopted in Nepal during the recent two decades

檜垣大助（前：弘前大学，現：日本工営株式会社）

Daisuke HIGAKI (Former: Hirosaki University, Present: Nippon Koei, Co. Ltd)

キーワード：砂防工法，低コスト，ガリー侵食，河岸侵食，地すべり

Keywords： Erosion control measure, Low-cost, Gully erosion, Bank erosion, Landslide

1. はじめに

低コスト砂防工法は、財源に乏しく限られた技術や地盤情報条件にある山岳発展途上国では、土砂災害減災に重要となる。ネパールは多雨・変動帯にあり、北海道の約2倍の国土面積に多民族が住み、氷雪気候から亜熱帯の平原まで多様な地理条件にある。さらに、近年は地震や地球温暖化に伴う氷河融解による激甚災害も起こっている。ここでは、ODAで施工した農地でのガリー侵食や地すべりに起因する河岸侵食に対する低コストな対策について、定性的だが約20年間の変化を追跡した結果から、発展途上国での低コスト砂防工法では、どのような現象に対応でき計画にどんな視点が必要かについて考える。

2. ガリー侵食対策

ネパールでは、ガリー侵食は農業や草地に利用

されている厚い風化層や未固結堆積物からなる斜面や段丘で毎年のように起こり、細粒土砂の下流への供給源にもなっている。JICA 治水砂防技術センタープロジェクト(DPTC プロジェクト)では、ネパール中間山地帯の標高500mのモデルサイト(ヌワコット郡ピパルタル)を設置して、主に1993-1999年にガリー侵食の進み方の観測調査といくつかの工法の試験施工を行った(DPTC, 1999; 図-1)。その後、弘前大学で施工箇所の変化調査を2016年度まで行い、対策の効果や課題について検討した。

ガリー頭部での継続観測の結果、侵食は、乾季のラテライト層の乾燥収縮によるキレツ形成と雨季の強度の強い降雨による土塊の崩落及びガリー底からの運搬で進むことが分かった(Higaki, et al. 2005)。乏しい財源では鉛直

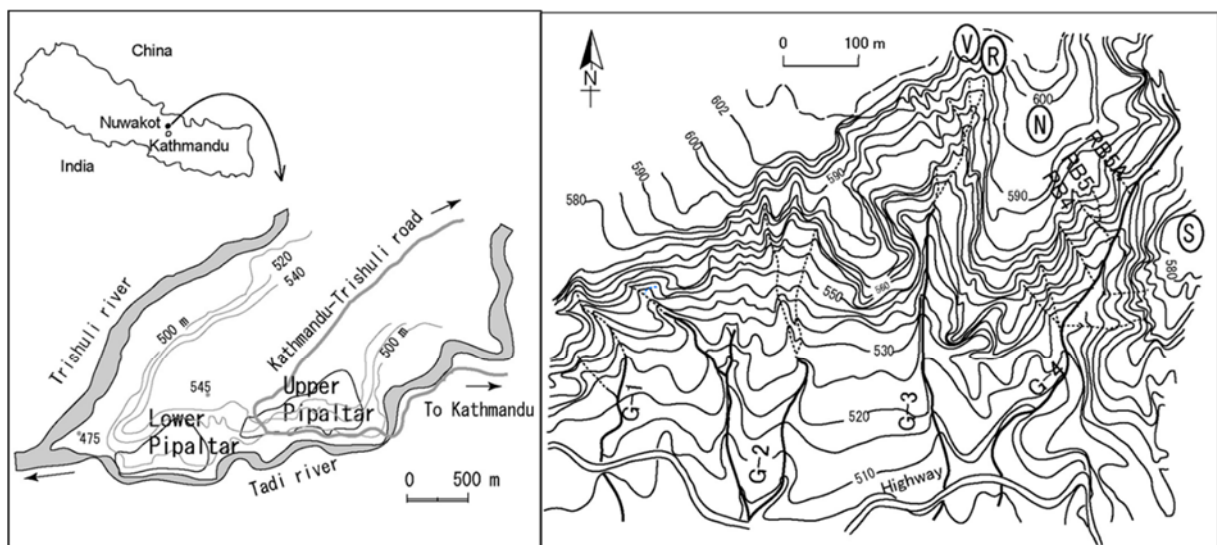


図-1 ガリー侵食対策試験施工箇所の位置（左）と地形（右：図中ガリーG-4 右支溪のRB4, 5, 5A が主な対象ガリー）

表-1 各ガリーの特徴と侵食観測測線本数、試験施工した手法

Gully name.	Vegetation*		Gradient	Length	No. of monitoring pegs	Countermeasures
	Gully bed	Gully head	degree	m		
G-1	grass and tree cover	partly shrub cover	34	55	9	plantation by DSCWM (1989-1991)
G-4 RB4	partly grass cover	partly grass cover	30	80	7	channel works and check dams (1994-1995)
G-4 RB5	rare	rare	30	80	5	check dams with bamboo plantation (1998)
G-4 RB5A	rare	rare	28	75	5	bamboo plantation (1997)
*Vegetation condition in Jan. 1994						

なガリー頭部の安定化は困難なので、ガリー底の安定化を進めるため、1995年頃からいずれも蛇籠による谷止工や低い砂防堰堤また、タケ植栽による対策を実施した。とくに、タケはすぐ成長し地元で入手できることや籠・建物補強など用途が多くあることと、蛇籠構造物より安価なのが特徴である。その後、蛇籠谷止工とタケ植栽の組み合わせも実施された。試験施工方法と実施ガリーの特徴を表-1に示す。

斜面全体に農地が広がり貧困な山村地帯での流域保全では、行政だけで土砂災害対策を実施するのは不可能なので住民参加のアプローチが重要とされる。DPTCプロジェクトでも裨益住民との話し合いを行い、ガリー侵食対策でのタケ植栽や有用草本の播種は住民参加で実

施された。

各ガリー頭部での雨季・乾季の侵食量推移を図-2に示す。タケ株100本（価格：当時8000円）を1997年に植えたガリーRB5Aでは、1998～2000年の侵食量はそれまでより大幅に減少した。図-3は、各ガリーの施工前（1994-97年）と施工中と後（1997-2003年）のガリー頭部位置に変化を示す。各期間の年間雨量では、後者の方が大きいが侵食量は大幅に減っている。同地区で1km離れた箇所では、ガリー底にDPTCが作った蛇籠砂防堰堤の堆砂地に有用草本ネピアグラスの種をJICAが購入、住民参加でそれを播いた。翌年種が実り、住民グループはそれを売ることによって現金収入を得た（桧垣、2000）。

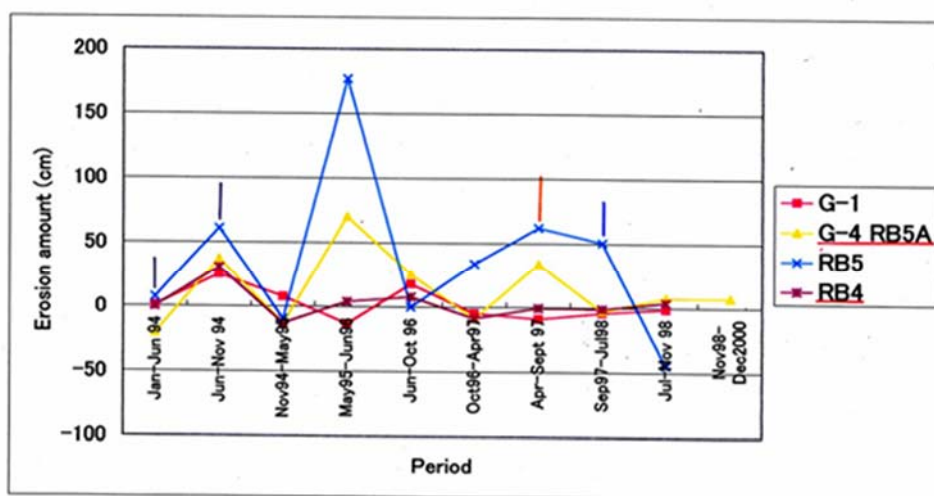


Fig.2 Gully head erosion(distance reduction) during each monitoring period
(- = distance expansion)

図-2 ガリー頭部での侵食量の推移（G-1, G-4 RB4, 5, 5A は図-1 の各ガリー）

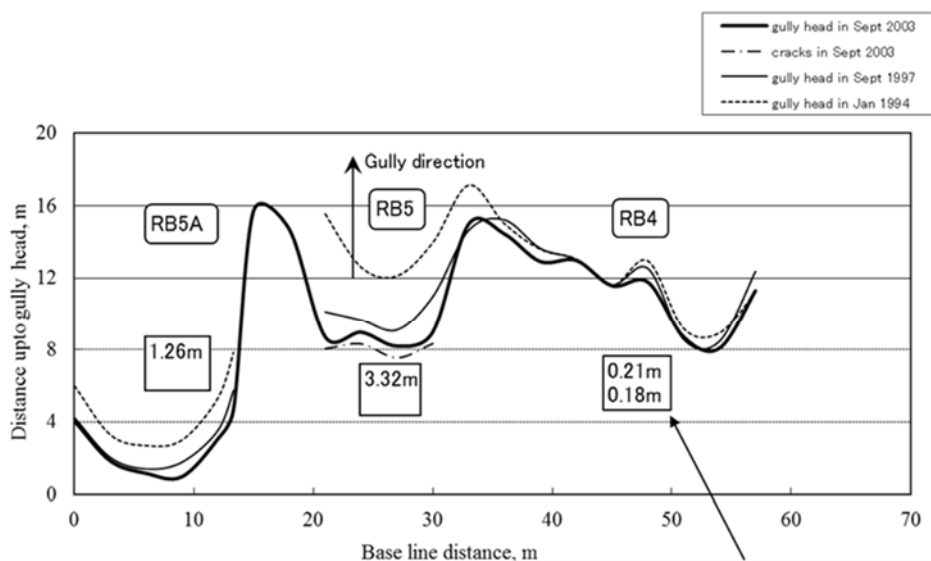


図-3 ガリー頭端線の平面的位置の変化（施工前と施工中及び施工後の違い）

以上の観測・対策や調査はプロジェクト終了後実施されなくなったので、その後は弘前大で数年に1回現地踏査を行い写真でガリー周辺の状況変化を見た。2011～2016年の調査では、ガリー侵食で荒廃していた斜面には緑が戻り、侵入した在来種が高さ15mにも育った。荒廃地は農地にも利用され、ICIMOD (International Center for Integrated Mountain Development) が推奨している斜面農地の造成手法である SALT(Sloping Agricultural Land Technology) (Partrap, T. and Watson, H. R., 1994) により階段農地に従来の作物であるヒエと新たに導入された換金作物マンゴーが植えられていた。

ガリー侵食は毎年のように少しずつ進む侵食作用である。一方、山間農業では土地・水・森

林が最も重要な自然資源である。低コスト工法は、地形変化のしかたを把握してその要所に施せばガリー侵食のように徐々に進む地形変化作用による土地荒廃を抑えることができる。そして、侵食防止を図り自然資源を回復させることで住民生活の基盤が確保される。

3. 地すべりに起因する河岸侵食の対策

ネパールの高ヒマラヤ地域にはしばしば最終氷期の氷河拡大に伴う巨礫を含む粘土層などからなる氷河性堆積物が分布しており（例えば Iwata, 1984）、河川侵食などで地すべりが発生する（Higaki, 2005）。同国西部ムスタン郡ツクチェ村は中国国境から流下するカリガンダキ川に沿った低位段丘上、海拔2600mに位置

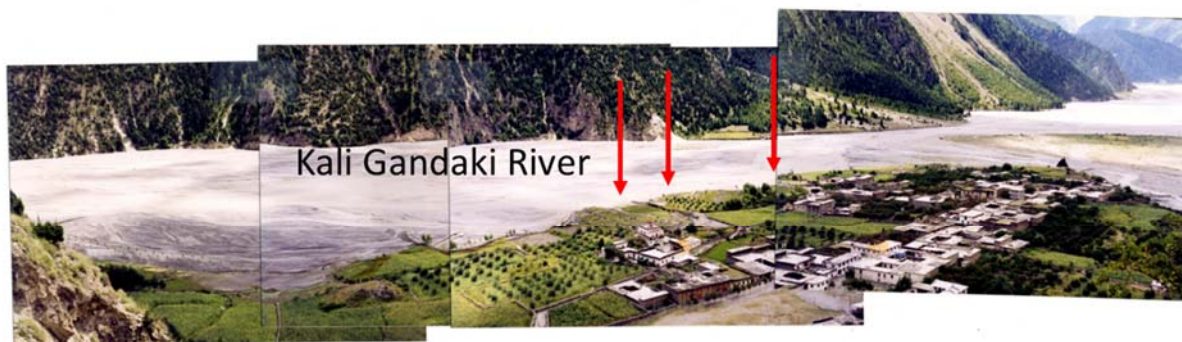


図-4 ツクチェ村のカリガンダキ川による河岸侵食の状況（→は地すべり箇所）

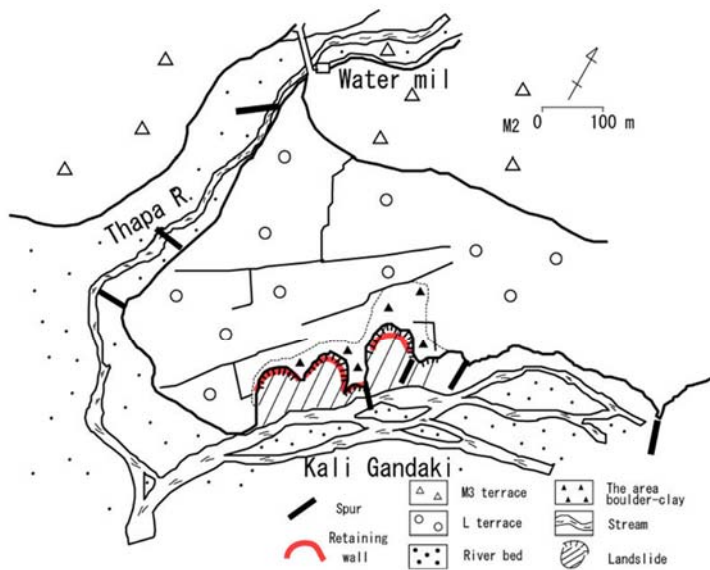


写真-1 地すべりによる河岸浸食の進行
(1997年3月)

図-5 ツクチェ村のカリガンダキ川に沿った地すべり地と
実施された地すべり対策

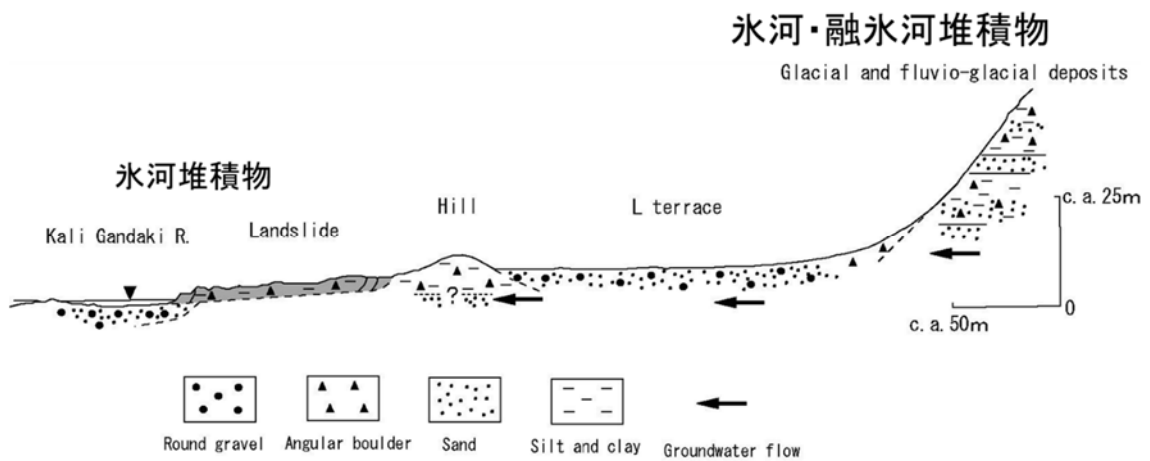


図-6 地すべり地周辺の地形断面と地質、地下水の流れ（概念図）

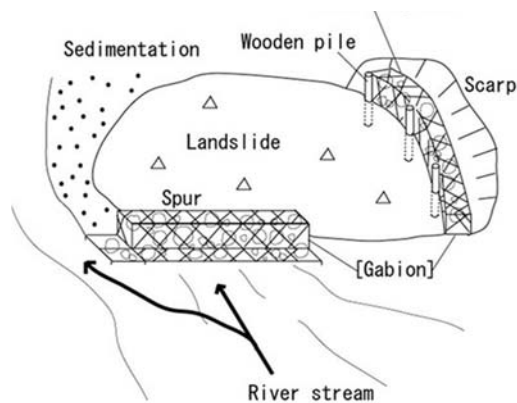


図-7 地すべり対策工の模式図

する。この村は同川の河岸侵食による土地流出が問題となっており、1997～98年に日本大使館草の根無償資金協力事業で地元の NPO ツクチェ村開発保存協会 (TVCODA) が河岸侵食対策を実施し、DPTC プロジェクトがその技術支援を行った。

当時、現地調査の結果、侵食の原因は河川侵食だけでなくそれに起因する氷河・融氷河性堆積物の地すべりが原因であることが分かった(図-1, 2)。地すべりは傾斜が 5° 以下と緩く、末端は河道に面しすべり面は雨季の河川水面より下にあることから地下水及び地表水排除は難しいため、地すべり対策として、1) 河川に沿って地すべり地上流側に蛇籠水制工を置き河川の流れが地すべり地にぶつかるのを抑え、水制下流側の流速が小さくなる部分で細粒土砂堆積による押さえ盛土効果を期待、2) 滑落崖(高さ 1-2.5m)の後退による地すべり地拡大を防ぐため、崖直下の移動体に木杭を挿入、を行うこととした(図-1)。施工は、この地域の河川灌漑事務所と DPTC の技術者の指導で TVCODA が行った。

施工から 7 年後の 2005 年 9 月には、地すべり末端は水制工下流側に堆積した洪水性の砂・シルトに覆われていた。滑落崖の後退も起こっていなかった。また、安定化した地すべりでは草地となりヤナギが植えられ馬の放牧地となっていた。2018 年 3 月来訪時には、一部の水制工は侵食による傾倒や鉄線が切れ栗石流出のあった部分は補修あるいは蛇籠護岸が追加されていたが、地すべり地は安定化していた。



写真-2 施工後 20 年の写真 1 の地すべり地(2018 年 3 月)

ツクチェ村付近のカリガンダキ川は河道幅が 300m 以上と非常に広く河床勾配も 1/100 以下で、かつ上流域は年間降水量が 500mm 以下の半乾燥気候であるため、出水時の河川水位が高くなりにくかった点で、脆弱な蛇籠水制工でも効果を発揮したとみられる。

現在では、観光都市ポカラからツクチェ村まで車道でも観光客も多く訪れるほか、リンゴ栽培も盛んで、今後の村の発展に河岸侵食対策施設の維持管理はさらに重要になっている。

4. 二事例に見る低コスト砂防工法の効果と計画・実施上の視点

以上のガリー侵食や河岸侵食では、斜面崩壊や土石流などに比べ、急激ではなく経年的に進行していく地形変化現象が災害をもたらすことが多い。このような現象では大きな外力は生じにくく小規模な対策工法でも、その場所の地形変化の起こり方(営力とその働く速さ)を捉え適所に実施すれば効果を発揮すると言える。一方で、住民も侵食の経過を知っていることから、住民と協働したプロジェクトが進みやすい。そして、初期にある程度の資金的・人的投入を行い、それによって住民に防災以外にも直接利益(ガリー侵食でのタケや屋根材になる草の種子、地すべりの安定化で放牧の場を創出)が得られると、住民自らが砂防工作物の破損への補修をすることも期待できる。このような取り組みは、土地資源の保全を通して環境・貧困問題の改善にも役立つと言える。

施工後約 20 年間のモニタリングで以上のようなことが分かったが、近年の気候変動で大規模に侵食が起こるケースも今後十分に想定される。発展途上国を主にさまざまな低コスト対策実施事例とその後の推移を見ていくことが必要であろう。

文献

DPTC, 1999, Final report on Udaypur model site, Water Induced Disaster Prevention Technical Centre, 41p.

Higaki, D., Karki, K. K. and C. S., 2005, Gautam: Soil erosion control measures on degraded sloping lands: A case study in Midlands of Nepal. Aquatic Ecosystem Health and Management 8(3), 243-250.

桧垣大助(2000): ネパールにおける低コスト工法について, SABO, 66, pp.25-30.

Partrap, T. and Watson, H. R. (1994) : Sloping Agricultural Land Technology (SALT), A regenerative option for sustainable mountain farming, ICIMOD Occasional Paper no. 23, 140 p. Kathmandu.

Iwata, S., 1984, Geomorphology of the Thakkola-Mukthinath region, Central Nepal and its late Quaternary history, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 19, pp.25-42.

年間数 m 移動する「青ぬけ地すべり」の活動と対策

－ 蛇紋岩地帯の地すべり －

Activity and countermeasures of the AONUKE landslide several meters a year

- Landslide at Serpentine Belt -

高橋路輝（明治コンサルタント株式会社）

Michiteru TAKAHASHI (Meiji Consultant Co., Ltd.)

キーワード：地すべり，調査，対策，地下水，蛇紋岩

1. はじめに

「青ぬけ地すべり」は新潟県糸魚川市小滝に位置する（図-1）。蛇紋岩分布域にあり、古くからその活動が知られている。昭和 61 年度の報告書¹⁾には、当時の聞き取り調査として「大正元年に一級河川姫川をせき止めた。」との記載がある。その後の移動杭観測では、年間 15m 以上の移動も記録されている。移動速度が非常に速いことなどから、抑制工（集水井や水路工）を主体とした対策が進められてきた。近年でも下部ブロックでは年間数 m の移動が認められる。

この「青ぬけ地すべり」について、地形地質、過去から近年の活動、対策工とその効果、地下水との関係について報告する。特に水位と地中伸縮計の観測結果を元に、秋から移動速度が速まり融雪期には緩慢となる活動、および臨界水位について、若干の考察を述べる。

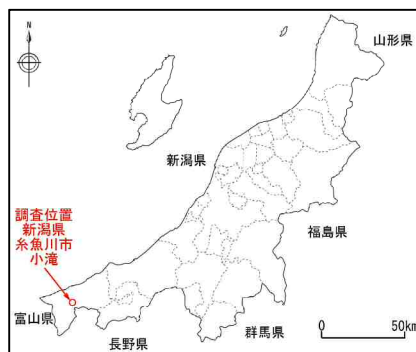


図-1 位置図

2. 地すべりの概要

2.1 指定地の概要

地すべり防止区域：「青ぬけ」 面積：70.79ha

告示：昭和 60 年 3 月 27 日

（土砂災害警戒区域にも指定されている）

2.2 地形、地質

調査地（図-2）は明星山（1188m）の東麓から一級河川姫川の左岸に至る斜面にあり、地すべりの末端は姫川に接している。周辺の山地は急峻であるが、地すべり地内は緩斜面となっている。

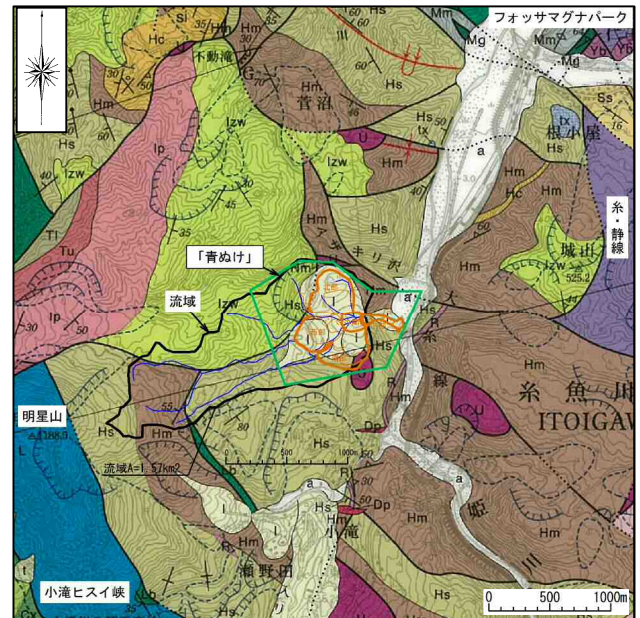
姫川の右岸（東側）には、糸魚川-静岡構造線（糸-静線）が南北方向に通過し、調査地周辺は複数の

断層に区切られた複雑な地質分布となっている。地すべり地内の基盤岩としては、蛇紋岩や古生層の泥岩などが分布する。地すべり堆積物は蛇紋岩起源の粘土を主体とし、基盤岩や古い段丘堆積物起源の砂礫を含んでいる。

2.3 地すべりブロック

青ぬけ地すべりは扇状に広がる上部ブロック群（北部、西部、南部）と中間ブロック、狭窄部以下の下部ブロックに分けられ、全体としてはボトルネック状の形態をなす（図-3、図-4）。全長約 900m、幅約 800m で、最上部は標高 300m 付近、最下部の姫川沿いは標高 105m 付近にある。

上部ブロック群の活動は比較的緩慢となっていることから、近年は下部ブロック（長さ約 350m、幅 40～90m 程度）を主体とした調査・対策が行われている。



地質凡例

第四紀 更新世-完新世	I	地すべり及び崩壊堆積物	I 岩層
古第三紀	Izw	石坂層	Izw 流紋岩溶結火山礫凝灰岩及び凝灰岩
白垩紀	Hs	姫川コンプレックス	Hs 砂岩及び泥岩互層
白垩紀	Hm		Hm 泥岩
石炭紀-白垩紀	L	青海コンプレックス	L 石灰岩
時代未詳	U	超苦鉄質岩	U 蛇紋岩及びびかんらん岩

図-2 調査地周辺の地質²⁾

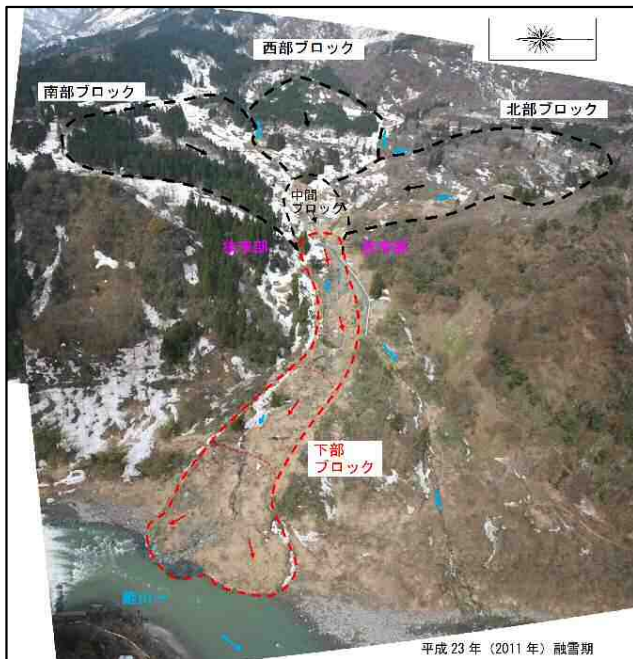


図-3 全景およびブロック区分³⁾

2.4 青ぬけ地すべりの形成過程³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

(1) 平成21年までの検討

平成7年(7.11水害)の際には、下部ブロックの末端が侵食され30～40m後退した。

平成21年までの移動杭観測では、中間ブロックに隆起があり、下部ブロックでは姫川に近づくほど速度が大きく、沈下する結果であった。このため侵食により失われた末端を補うため、背後から地すべり移動層の供給が行われたと考えた。これはいわゆる後退型地すべりであるが、平成21年には、下部ブロックの調査結果から地すべりの誘因について再考察された。

(2) 平成21年の調査と再考察

青ぬけ地すべりの末端部は姫川左岸の水衝部であるのに、流路は右岸に寄っている。その原因と地すべりの誘因について、平成21年以降は次のように考えている。

① 狭窄部から姫川に向かう扇型(扇状地状)の地形は、含水が多く流動的な地すべり移動層が末端で拡散したものと考えられ、地表水・地下水の影響が大きい。

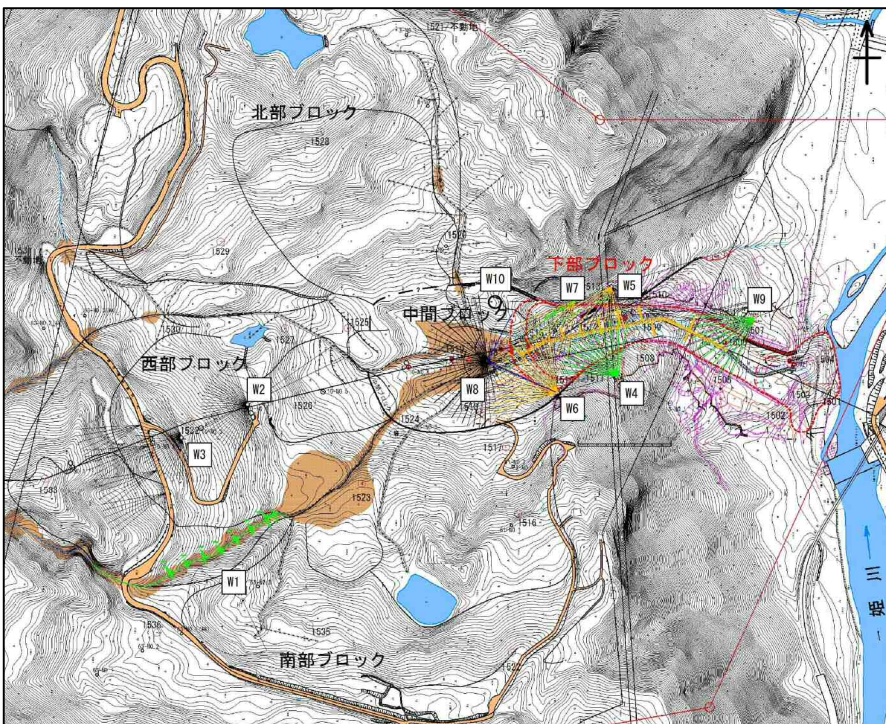
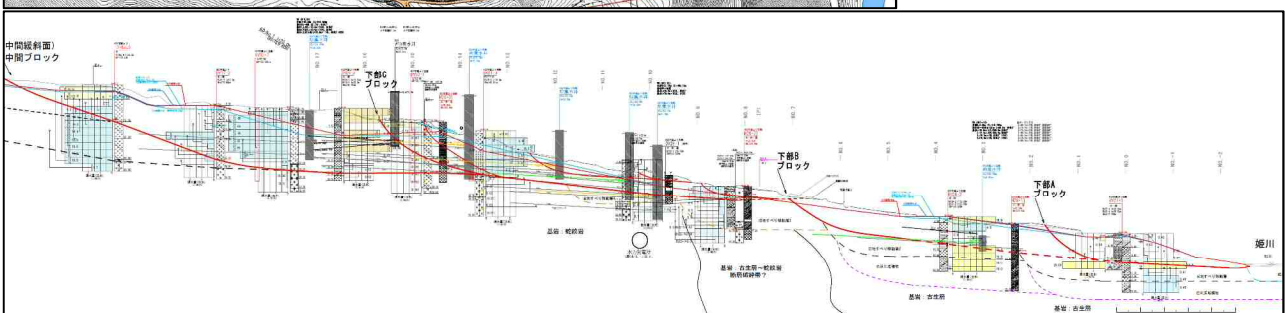


図-4 全体図³⁾

図-5 断面図³⁾

(中間～下部ブロック)



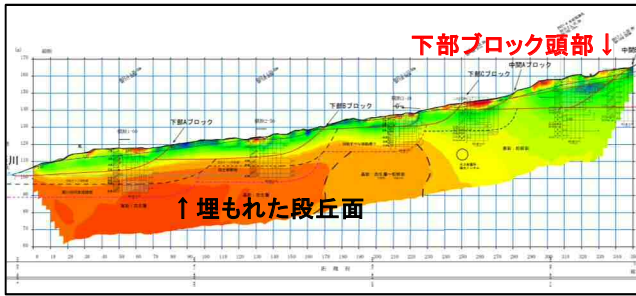


図-6 電気探査結果⁴⁾

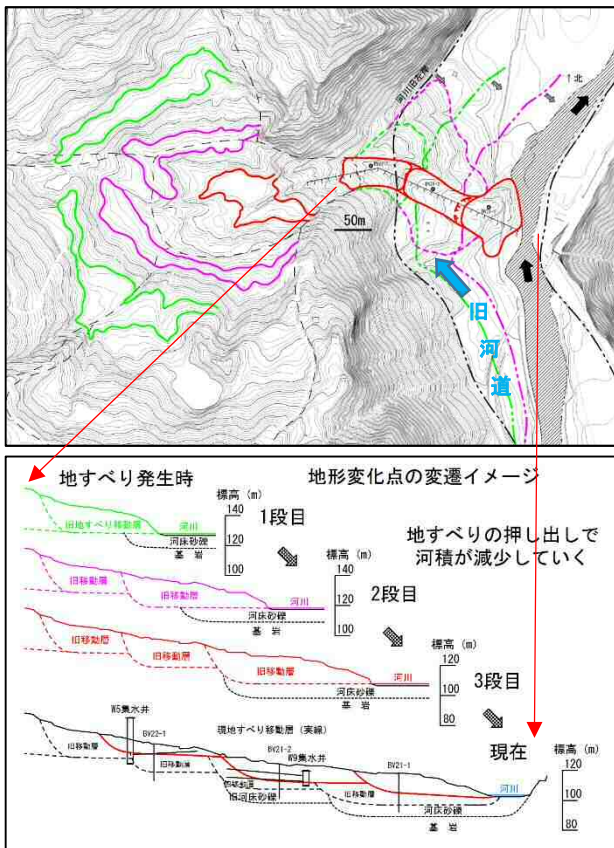


図-7 下部ブロックの形成過程推定図⁵⁾

②平成 21 年の比抵抗 2 次元電気探査⁴⁾では、ボーリング調査結果と合わせて、3 段の段差地形を見出した(図-6)。これらの段差の下位には砂礫層が分布することから、旧姫川による河岸段丘が形成されるごとに、姫川の流路は東へ移動し、発生した空間に地すべり移動層が押出したと考えられる(図-7)。なお、青ぬけ地すべりの上部～中間には同心円状の緩斜面が 3 段あり、それらは埋没した河岸段丘の形成と地すべり移動層の流出に伴って形成された可能性がある。狭窄部より上部の平坦面は順に小さくなるのに対して、末端の扇状地は大きくなっていることから、順に土砂供給の方が優勢となり、姫川が右岸(東)へ追いやられていったと考えられる。

(3) 平成 28 年以降の末端侵食

平成 28 年の豪雨以降は、下部ブロックの活動が活発であるのに、姫川付近は侵食が進んでいる。

これは下部ブロックの土塊の厚さが以前より減り、土量としては少ないこと、下部ブロックの末端部の速度は中間部よりは遅くなっているために、現段階では侵食の方が優勢となっているためと考えられる。

(4) 形成過程のまとめ

以上から、青ぬけ地すべりは、短期的には末端侵食が優勢で後退型の活動を示す時期もあるが、より長期的には、地表水・地下水の影響を主な誘因として、姫川の侵食を上回る土砂供給が繰り返されてきたものと考えられる。

3. 調査・観測

3.1 調査項目と位置

青ぬけ地すべりでは、ボーリング等多数の調査が実施されてきた。近年は、中間～下部ブロックについてボーリング孔での観測(孔内水位、地中伸縮計、パイプ歪計)と、青ぬけ地区全体について移動杭を行っている(図-4、図-8)。

3.2 地すべり活動と機器の破損・更新

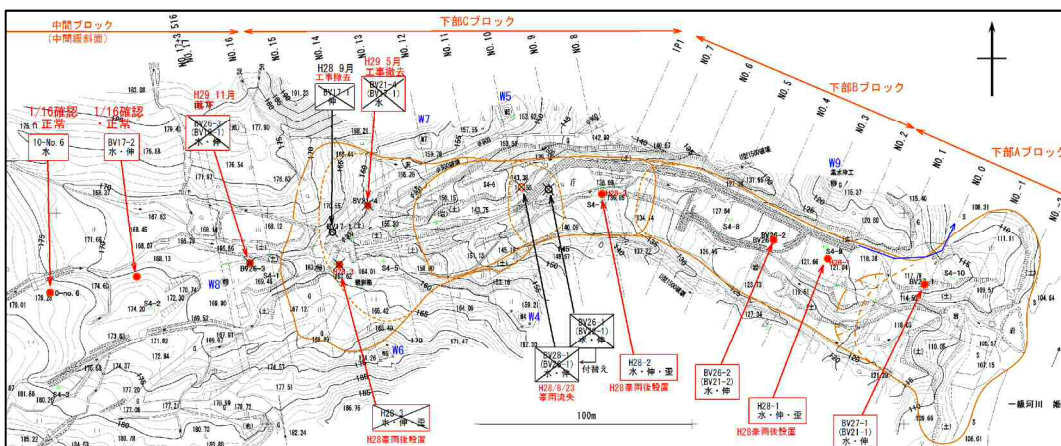


図-8 観測位置図³⁾⁷⁾

非常に速い地すべり速度によりパイプ歪計が数日～数ヶ月で断線してしまうため、設置直後にすべり面深度を確認し、断線後は地中伸縮計で変位を計測する方法を採ってきた。

また、平成 28 年の豪雨以降は、下部ブロックで特に早い移動が発生していたため、伸縮計のワイヤーを折り返して余長を確保した。

地すべりの移動がさらに累積すると伸縮計のワイヤーも切断され観測不能となるため、再設置を行った観測孔も多い。

4. 調査結果（地すべり活動）と対策の経緯

4.1 ボーリング結果

踏査やボーリング調査で確認された主な地質は次のとおりである。

(1) 地すべり崩積土

蛇紋岩を起源とする粘土を主体とするが、砂礫を多く含む部分もある。これは、上流側に分布する基盤岩の礫や旧姫川の段丘礫と考えられる。また、φ 数 m におよぶ岩塊（蛇紋岩、頁岩）を含むことがある。

(2) 旧河床堆積物

下部ブロックの姫川寄りでは、旧姫川の段丘堆積物もしくはほぼ現河床から連続する砂礫層が分布する。

(3) 蛇紋岩等

基岩は蛇紋岩を主体とする（写真-1）。塊状～破碎状で、粘土状を呈する部分もある。また、破碎部に変質した変成岩を伴う場合もある。



写真-1 コア写真 (H28-2 孔の蛇紋岩) 8)

4.2 上部ブロック群の活動と対策工

上部ブロック群では集水井 W1（昭和 63 年）、W2・W3（平成 13 年）が施工され、その頃に水路工も施工されている。

移動杭は平成 3 年から部分的に観測され、平成 15 年以降は継続的に観測されている。平成 16 年までは数 10cm～3.0m/年程度の移動量であったが、平成 21 年以降は数 cm～15cm/年程度に減じている。

4.3 中間～下部ブロックの活動と対策工

平成 15 年以降、W4～W10 の集水井が施工されてきた。平成 15～18 年に施工された集水井 W4～W7 は、地下水が集中する狭窄部から下部ブロックにかけて、地すべりの活動域外から地下水排除を行うものである。また、平成 19～20 年には中間ブロック内に W8 集水井と掘割水路が施工された。この効果は大きく、湿地状であった中間ブロックの水位が大きく低下した。

平成 15～19 年の移動杭観測では、中間ブロックの下部～下部ブロックは数 m～15m/年程度の変位であったが、平成 20～23 年には数 10cm～3.0m/年程度となった。

平成 22 年には下部ブロックの下端近くに W9 集水井が施工され、平成 25～27 年には上部ブロックから下部ブロックに至る溪流にふとん竈水路が施工された。この頃、中間ブロックの移動杭は 10～60cm/年程度、下部ブロックでは数 10cm～2.0m/年程度となっていた。工事期間中は、下部ブロック左岸のブロック外水路に渓流水を流していたことも地すべりの鈍化に寄与したと考えられる。

平成 28 年 8 月の豪雨では、土砂の供給と溪流沿いの侵食、

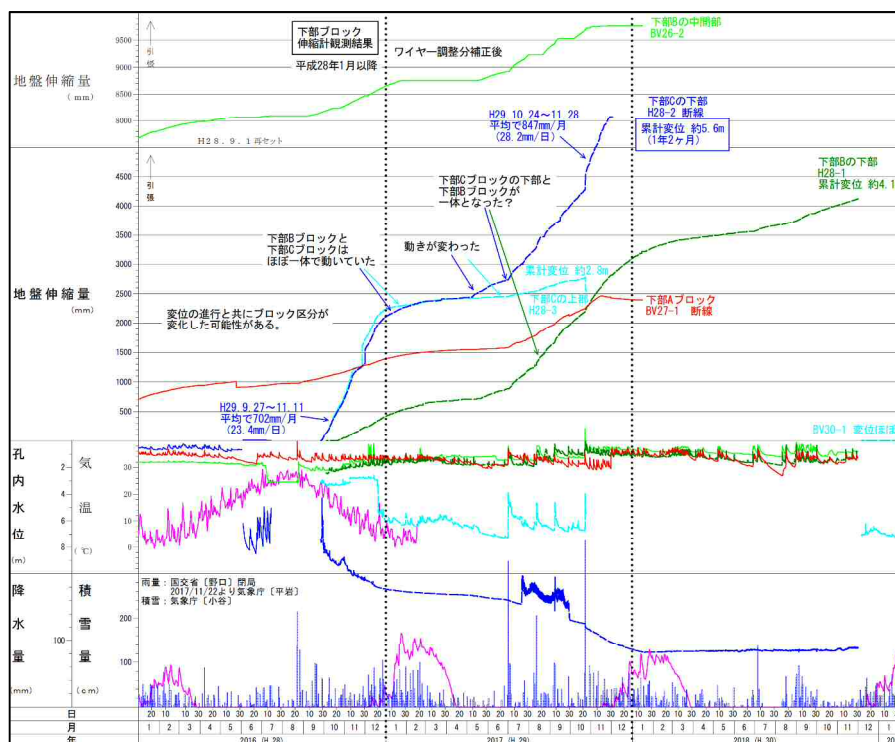


図-9 下部ブロックの地中伸縮計 (H28～H30 年) 3)

水路等の破損が発生し、地すべりが活発化した。平成 29 年にも豪雨があったが、平成 30 年には下部ブロックのふとん竈水路が復旧した。

4.4 平成 28 年以降の下部ブロックの活動

(1) 地中伸縮計の変位速度

平成 28 年 8 月の豪雨後には H28-1 孔～H28-3 孔を設置し観測を開始した(図-9)。下部ブロックの中間～上部に位置する H28-2 孔と H28-3 孔は特に変位速度が大きく、700～850mm/月程度を記録した。

平成 29 年度中に 2 箇所とも観測不能となったが、H28-2 は累計で約 5.6m (4.8m/年) となった。

(2) 下部ブロック内の小ブロック境界の変化

平成 28 年度には H28-2 孔と H28-3 孔は、ほぼ同じ速度で変位していた(図-9)。しかし、平成 29 年 5 月以降は H28-1 孔と H28-2 孔が同じような変位状況となった。さらに 10 月の豪雨以降 H28-2 孔は加速しワイヤーが切断した。

このことから、地すべりの活動とともにブロックの境界位置が変化しているものと考えられる。

例として BV21-2 孔では次のような傾向がある(図-11)。

- ・ 孔内水位は GL-0.5～2.5m 付近で変動。
- ・ 3～9 月頃に孔内水位が低い。
- ・ GL-2.0m 付近より高くなると活動再開。
- ・ GL-1.5m 付近より高くなると明瞭に活動。
- ・ 水位の下降期に入るとほぼ停止。

このような傾向は、他の孔でも認められた。伸縮計が動き始める水位にはバラつきがあるた

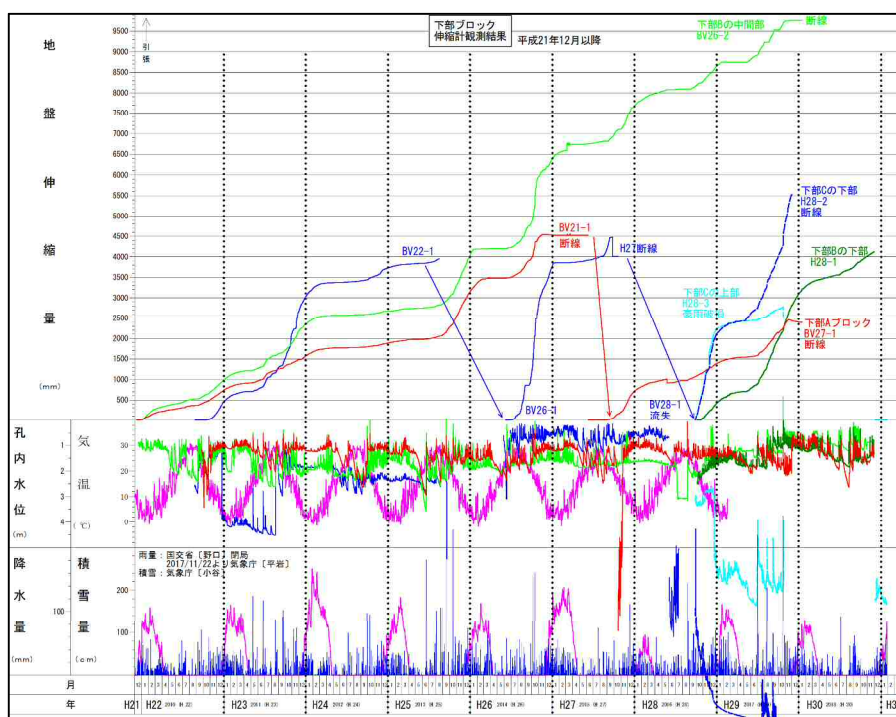


図-10 下部ブロックの地中伸縮計 (H21～H30 年) ³⁾

5. 考察

5.1 融雪期に鈍化する地すべり活動

下部ブロックの各観測孔では、例年秋から初冬にかけて地すべりが活発化し、春には鈍化する傾向がある(図-10)。特徴をまとめると次のようになる。

- ① 9 月頃から伸縮計の変位が加速し始める。
- ② 活動のピークは 10 月～12 月頃。
- ③ 1 月頃には減速し始める。
- ④ 融雪期の 4 月にはほぼ収束状態となる。

5.2 孔内水位と地中伸縮計 (臨界水位の検討)

下部ブロックの孔内水位と地中伸縮計の変位には、ある程度の相関が認められる。

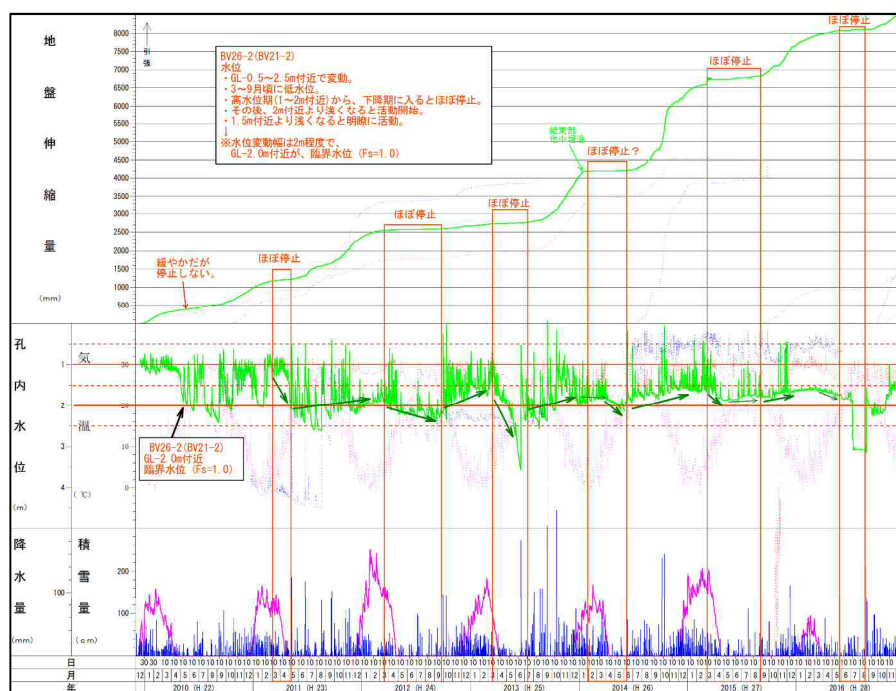


図-11 BV21-2 孔の地中伸縮計と孔内水位 (H22～H28 年) ⁷⁾

め、厳密には特定できないが、概ねの値として地すべりが動き始める水位（臨界水位）を把握できる。これは安全率 $F_s=1.0$ となる水位である。

なお、融雪期の水位が意外に低いこと、高水位期から水位の下降期に入ると活動が鈍化することが特徴である。

5.3 誘因の検討

融雪期に地すべり活動が鈍化することについて、平成 27 年度までは、積雪荷重や、気温の低下と粘土鉱物の強度低下などの原因を想定した⁸⁾。しかし、先に示したように、バラつきが大きいことを許容すれば、孔内水位との相関が強そうである。

このことから、孔内水位と降水量について検討した。月ごとの降水量（図-12）を見ると、融雪後の 4～6 月は降水量が少なく、7～9 月はやや多い。10 月頃からさらに増加し、12 月～1 月が降水量のピークである。

伸縮計の変位速度は 10 月～12 月頃がピークであり、降水量のピークとは完全には一致しない。そこで地下水との関係について、次のように考える。

- ・秋の降水量増加に伴い、地すべり活動が活発化。
- ・厳冬期は凍結により地下水の供給が減じるため地すべりが鈍化。
- ・融雪期には地表水、地下水の供給が増えるが、その年の最高水位には至らないため、地すべりが活動しない。

ただし、孔内水位のピークは 2 月前後であるにも関わらず、それより少し前から地すべり活動は鈍化し始めているため、複合的な要因があると考えられる。

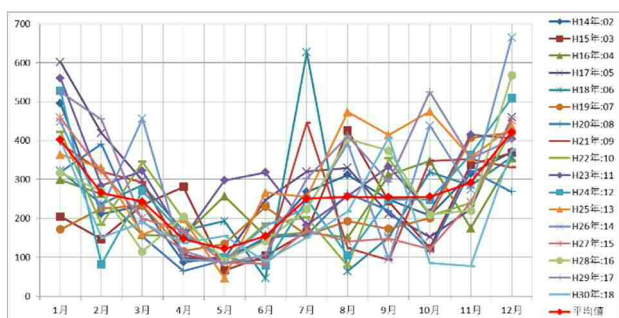


図-12 月ごとの降水量³⁾

（国交省：野口、H29 年 11 月以降は気象庁平岩）

5.4 地下水の起源

平成 14 年の調査では「湧水と沢水の平均が（中略）電気伝導度（ $\mu u/cm$ ）で沢水 $\lambda 20=84$ 、湧水 $\lambda 20=67$ であることから、比較的浅層の地下水が流動している⁹⁾」と考えた。豪雨を契機に地すべりが活発化することがあることから浅い地下水の影響があると考えられる。

一方、融雪の影響が小さいこと、流域が大きく

（ $1.6km^2$ ）、断層の発達した基岩であることから、深層の地下水も関与している可能性が考えられる。

5.5 今後の課題

青ぬけ地すべりは活動が活発で、特に下部ブロックでは年間数 m の移動も起きている。計画安全率（ $pF_s=1.1\sim 1.2$ ）に達するためには 3～5m 程度の水位低下が必要であるが、臨界水位（ $F_s=1.0$ ）と最高水位の差は $\Delta H=1.0\sim 1.5m$ 程度である。これを当面の目標として、地表水や地下水の排除を主体とした対策と観測を継続していく必要がある。

考察に述べたような地下水の起源が明確になれば、より効果的な地下水排除が行えると考えられる。

謝辞

新潟県土木部砂防課ならびに新潟県糸魚川地域振興局地域整備部河川・砂防課の皆様には、多大なるご支援を頂きましたことを感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 新潟県土木部糸魚川土木事務所(1986)：昭和 61 年度 青抜地すべり防止調査委託 報告書，p. 10
- 2) 長森ほか(2010)：5 万分の 1 地質図幅 小滝地域の地質，地質調査総合センター
- 3) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2019)：平成 29 年度（H30 実施）青ぬけ地区 防災安全（地すべり）ゼロ交付金 観測委託，p. 1-3, 3-12, 4-2
- 4) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2010)：平成 21 年度 青ぬけ地区 地すべり対策（治水）地質調査委託，p. 34
- 5) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2011)：平成 22 年度 青ぬけ地区 地すべり対策（治水）観測委託，pp. 16-20
- 6) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2016)：平成 26 年度（H27 実施）青ぬけ地区 防災・安全（地すべり対策）観測（2）委託，pp. 20-25
- 7) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2017)：平成 28 年度 青ぬけ地区 防災・安全（地すべり対策）観測委託，p. 4, 巻末
- 8) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2017)：平成 28 年度 青ぬけ地区 災害関連緊急調査 現地調査及び対策工法立案業務，p. 33
- 9) 新潟県糸魚川地域振興局地域整備部(2003)：平成 14 年度 青ぬけ地区地すべり観測委託，p. 10

豪雨によって発生した高速流動性地すべり

本田万葉香(株式会社 村尾技建)*,五十嵐敏幸(株式会社 村尾技建)

キーワード：地すべり,高速,流動性,豪雨

1. はじめに

一般に地すべりは比較的緩慢に運動し、移動土塊の到達距離は地すべり発生源斜面長あるいは最大 250m 程度とされている。しかし、2013 年 7 月 30 日、豪雨により湯の沢地区において発生した地すべりでは、高含水化した移動土塊が斜面を流下し、移動距離は地すべり発生源斜面長の約 1.6 倍に達した。また、移動速度が高速であったことも特徴的であり、移動土塊の移送堆積域に存在した家屋二棟が全壊、二棟が一部損壊すると言った甚大な被害をもたらした。

本稿では、湯の沢地すべりの発生状況を示すと共に、推定される地すべり機構および実施した対策工について紹介する。

2. 地すべり状況

被災ブロックの規模は幅 70m、長さ 130m、最大移動土塊厚 16m である。また、移動土塊の推定土砂量は約 28,000m³ である。このうち約 7,000m³ が下位の棚田上を流下し、主要地方道栃尾山古志線を越え、平坦な水田上で停止した。土砂の到達距離は 210m に達した(写真 2-1,図 2-1)。



写真 2-1 湯の沢地すべり発生当時の全景

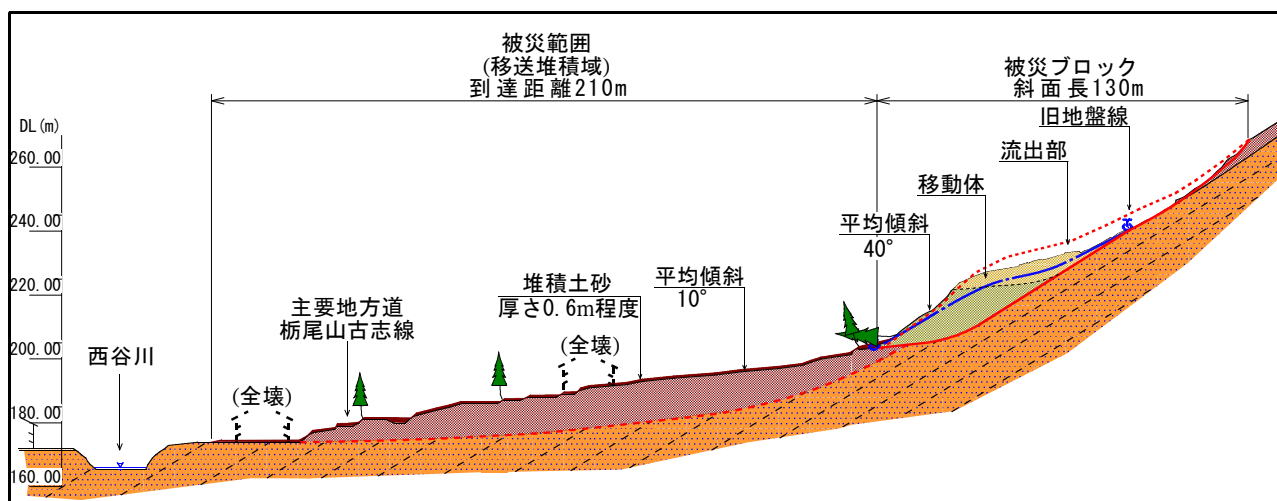


図 2-1.被災状況縦断面図

流出部の厚さは、崩壊前後の地形を比較すると 7m 程度であると推定されるが、流下した土砂は極めて高含水で泥土状を呈しており、0.6m 程度の厚さで移送堆積域に概ね一様に堆積した。ただし、水田の畦畔部等の斜面においては土砂の堆積は殆ど見られず、土砂が流れ落ち地表が露出した

状態にあった。また、被災ブロック直下では杉の倒木が見られるが、移送堆積域中間部から末端付近では、横断する様に存在する杉並木が無傷のまま残存しており、土砂が樹間をすり抜けた事を窺わせる状況にあった。

全壊家屋の破壊状況を見ると、屋根から下部が

大きく破損しているものの、家屋の位置は概ね保たれており、土砂が家屋を突き抜けた様相を呈していた(写真 2-2)。さらに、移送堆積域の屈曲部においては、杉並木根元の樹皮が剥がれ、跳躍した土砂により家屋二階の窓ガラスが破損した(写真 2-3)。

以上の現象や土砂の到達距離から、土砂は極めて高含水な状態となり、高速度で流下したものと



写真 2-2. 全壊家屋の状況



写真 2-3. 杉皮の剥がれと窓の損傷

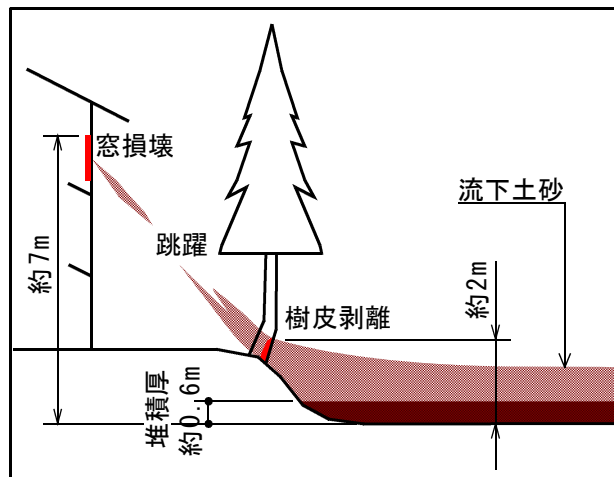


図 2-2. 屈曲部の土砂流下模式図

考えられる。また、杉樹皮の剥がれた位置から、屈曲部における流下土砂の厚さは、2m 程度であると推定される(図 2-2)。

3. 地すべり機構

3-1. 地形的特徴

活動前の被災ブロックは、やや凸状台地型地形を呈し、上半部斜面と背後斜面が傾斜 30° 、下半部斜面が傾斜 40° 程度の急斜面となる。被災ブロック下方は、やや凹状に窪んだ傾斜 10° 程度の緩斜面(潜在ブロック)となっており、棚田として耕作されている。また、被災ブロックの左側部付近には沢が存在し、移動土塊の移送堆積域の左側部を流下している(図 3-1)。

被災時には沢が増水した状態にあり、かつ、棚田も湛水した状態にあったと考えられる。

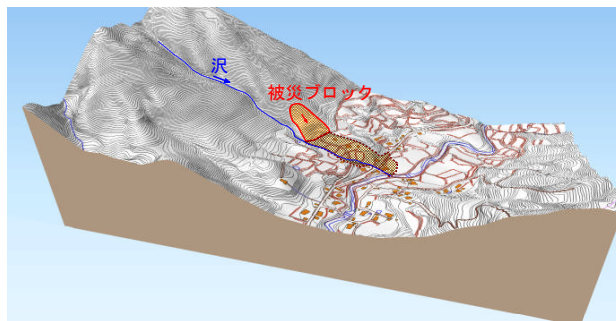


図 3-1. 被災ブロック周辺の地形
『1/2500DM：新潟県』を加工

3-2. 地質的特徴

地質的に見ると被災ブロックは、新第三紀層の砂岩層と泥岩層分布域の境界付近に位置している(図 3-2)。また、砂岩と泥岩層は、被災ブロックに対して約 30° の流れ盤となっている。

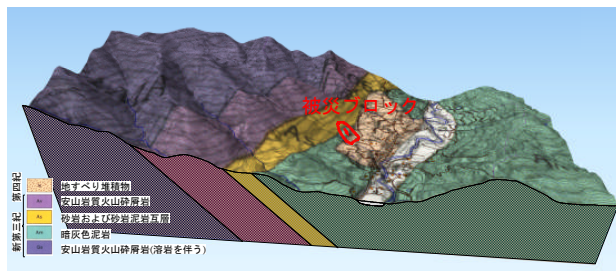


図 3-2. 被災ブロック周辺の表層地質図
『1:50,000 万地質図(長岡)
(国研)産業技術総合研究所』を加工

調査の結果、被災ブロックの移動層は、風化砂岩(移動層 b)とその上部を覆う岩片混じりシルト(移動層 a)から構成されていることが確認される。この内、風化砂岩は、概ね岩心まで風化し固結砂状を呈しているが、上位の岩片混じりシルト

に比べ十分硬く、地層境界は強度的な不連続面となっている。

一方、不動層は、層理面が発達する軟岩相当の砂岩である。被災ブロック上半部では、すべり面である砂岩層の層理面が概ね平滑な流れ盤となって露出し、風化により容易に細片化する性質が確認される。また、砂岩露頭から多くの地下水が滲出していたことや簡易揚水試験結果から、当層中には多くの地下水が存在し、すべり面を境界に被圧した状態にあることが確認されている。

地すべり発生前の被災ブロック上半部では、平滑かつ 30° 程度に傾斜した砂岩層の上部を移動層 a が覆った状態にあったことが予想される(図 3-3)。

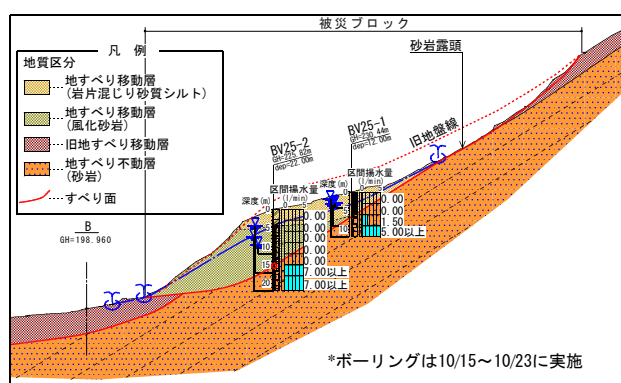


図 3-3.地質断面図

3-3. 気象

湯の沢地すべり地に近接する軽井沢における観測では、2013 年 7 月 29 日 7 時より降り続いた雨は 7 月 30 日 4 時には累計 297mm に達した。災害発見は午前 3 時 30 分であり、ほぼ同時刻に地すべりが発生したと考えられる(図 3-4)。

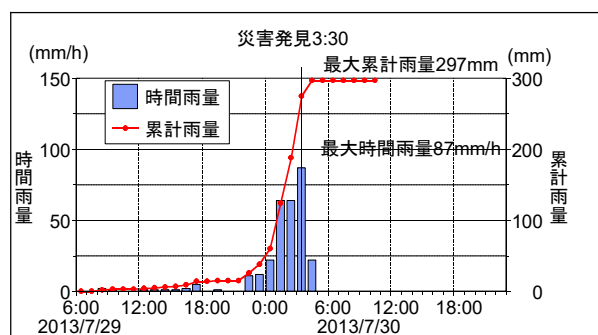


図 3-4.地すべり発生時の降雨状況

3-4. 推定される発生機構

地すべり発生機構は下記の様に推定される。

風化岩からなる移動層 b は、岩片を混入する土砂である移動層 a に比べ固結しており、透水性が低いことが考えられる。また、不動層の砂岩は亀

裂や層理面に沿って地下水が豊富に存在し、降雨時には移動層 a 内に地下水が滞留しやすい状態にあると考えられる(図 3-5)。

このため豪雨による地表からの水の浸透に加え、不動層から地下水が供給され、表層を覆う移動層 a が高含水化すると共に強度低下していたと考えられる。さらに、すべり面に被圧水が水圧となって作用し、すべり面のせん断抵抗が減少したことで被災ブロック全体が再活動したと考えられる(図 3-6)。

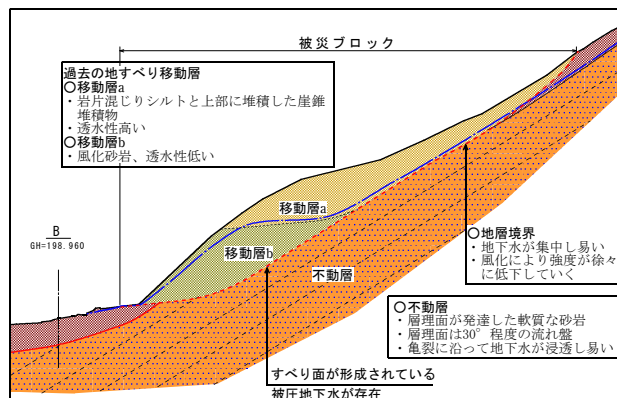


図 3-5.地すべり発生前の状況

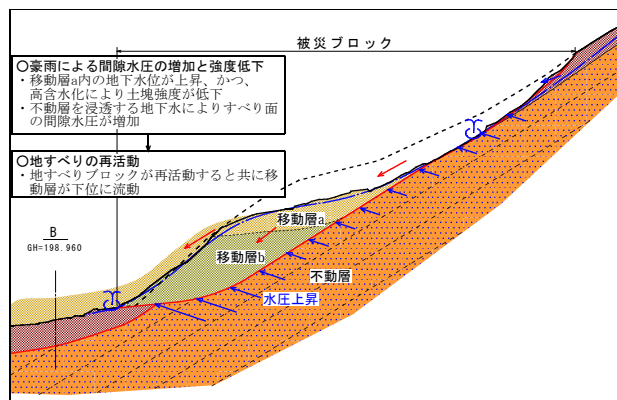


図 3-6.地すべり発生直後

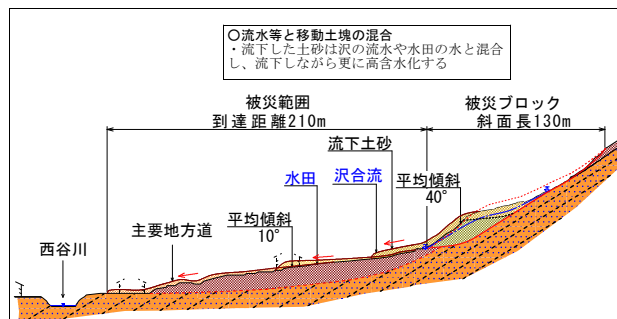


図 3-7.移動土塊(移動層 a)流動時

これによって高含水化していた移動層 a が流動を開始し、下位に流れ下ったものと考えられる。流下した土砂は、被災ブロック下半斜面が 40° 程度の急斜面であることから、当斜面を流れ下る

ことで速度を上げ、増水した沢の水や水田の水と混合しながら棚田上を流動していったと考えられる。さらに、土砂は極めて高含水化することで泥流状となり、地表との摩擦抵抗が減少したことで遠方まで到達したものと考えられる(図 3-7)。

4. 地すべり対策

4-1. 応急対策

被災ブロック上部には岩片混じりシルト(移動層 a)が高含水化したまま残存した状態にあり、降雨により再び流下する懸念があった。このため、大型土嚢による仮設防護工が設置されると共に、住民への警報を発するため、ワイヤーセンサーを用いた監視システムを設置した(図 4-1)。当地すべりでは、対象家屋内で警報を発すると同時に、Eメールで関係者に異常を知らせるシステムを採用した。

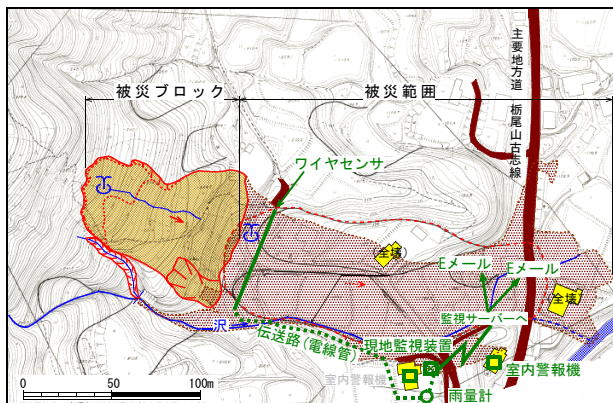


図 4-1. 監視装置配置図

4-2. 恒久対策

地すべり対策工は、

- ・移動層 a の流動化による下流部の被害防止
 - ・被災ブロックの安定化
 - ・被災ブロック背後斜面の土砂崩落防止
- を目的とし、次の工法を選定した。

・排土工

移動層 a の軟質部除去と被災ブロックの滑動力を低減するため、 $V=5,400\text{m}^3$ を計画。

・横ボーリング工

すべり面背後の被圧水を排除し、すべり面に作用する水圧を低減するため、 $L=35\text{m} \times 5(4)\text{本} \times 4\text{群}$ を計画。

・水路工

横ボーリング工の排水処理と表流水の移動土塊への浸透防止のため $L=238\text{m}$ を計画。

・吹付法砕工および植生基材吹付工

斜面の風化侵食防止と側方崖の安定のため、 $200 \times 200 \times 1500 \times 1500$ タイプを採用し $A=1,400\text{m}^2$

を計画。枠内は地下水の滲出を妨げない様に植生基材吹付工を採用。

地すべり対策工は、災害発生の翌 2014 年度より開始され、同年度内に完成している。

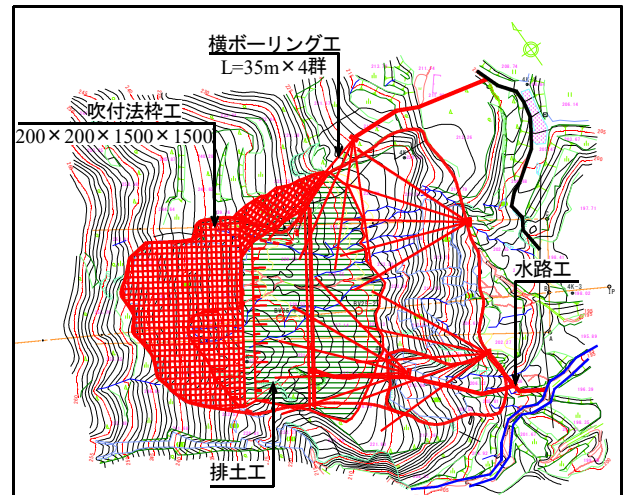


図 4-2. 対策工平面図

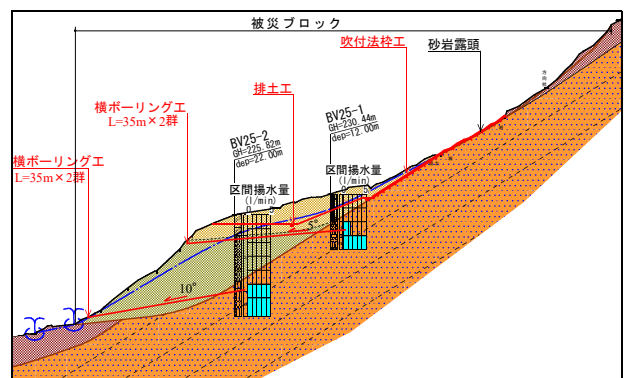


図 4-3. 対策工横断面図

5. おわりに

湯の沢地すべりでは、高含水化しやすい地質条件、移動土塊を加速させる様な急斜面の存在、土塊をより高含水化させる沢や水を湛えた棚田等の存在といった特殊な条件が重なり、広範囲に被害が及んだと考えられる。

このため、地すべりによる被害を防止するためには、このような特殊な条件が確認される場合、従来の検討法に加え、土塊が流動化する場合についても検討する必要があると考えられる。

今後、このような地すべりに対しては、必要に応じて土石流の解析方法を加える等、精度を高めるための予測方法についても取り組んでいく所存である。

日本海東縁における新第三系海成層の地すべりの素因

西山成哲（JAEA（前京都大学大学院理学研究科）*，千木良雅弘（京都大学防災研究所）

鈴木浩一（電力中央研究所），渡部直喜（新潟大学災害・復興科学研究所）

キーワード：新第三系，化石海水，日本海東縁地域，地すべり

1. はじめに

地すべりの素因には，地質・地質構造をはじめ，その斜面の構成する岩盤に由来すると考えられている．岩質の点においては，その岩盤の風化の受けやすさ，軟らかさから新第三系以降の堆積岩地域で地すべりが発生しやすくなることが知られている．中でも日本海側の新第三紀層分布地域は，地すべり多発地帯として有名である．最近では，防災科学技術研究所による地すべり地形分布図により，その分布が明らかとなってきた．その分布からも新潟の丘陵地における地すべりは，他の新第三系地域と比較しても異常に多数の地すべりが分布することが読み取れる．この地すべり地形分布の偏りの原因は，明らかとなっていない．

近年では，岩石中の間隙水の塩濃度の低下に伴い，岩石の強度が低下することを示す研究例がある（Di Maio and Scaringi, 2016 ; Tiwari and Ajmera, 2015）．これは，地下水の水質分布が地すべりの素因と成り得る可能性を示すものである．

日本海側の新第三系地域には，化石海水由来の温泉があることが知られている．また新潟の丘陵地では，地すべり地内において塩水が分布することが報告されており，これらがどのように広域的に分布するかを把握することは重要である．本発表では，我々が1山稜で実施した調査の結果を踏まえながら，さらに広域的にどのような塩水の分布特性を持つのかを検討する．

2. 手法

対象地域の詳細な地形的特徴を把握するため，空中写真および LiDAR データによる 2 m サイズ

の DEM による地形判読により，地すべり地形の滑落崖および移動体，線状凹地や小崖を抽出した．現地調査では，縮尺 25,000 分の 1 地形図および 2 m DEM から作成した地形図を使用し，道路沿いおよび主要な沢沿いに岩相のマッピングおよび地層の姿勢の計測を行った．

地下水の水質・同位体特性を把握するために，地すべり対策用に造られた集水井，水抜き横孔，および長倉山背斜から流下する主要な溪流の沢水を採水し，EC, pH, イオンクロマトグラフ分析，および酸素・水素安定同位体分析を行った．さらに，広域かつ深部までの塩水の分布を明らかにするため，CSAMT 法による比抵抗探査を実施した．また，岩盤中の塩分濃度の推定のため，室内において岩石の比抵抗測定実験を行った．

調査地域のある東頸城丘陵地域は，様々な目的で実施された比抵抗探査および大深度井が数多く存在する．これらから比抵抗に関するデータを参照し，塩水の分布を推定した．

3. 結果

調査地域の長倉山背斜の地質は，新第三系の泥岩と凝灰岩で構成され，断層を伴う複雑な複背斜構造を形成することが明らかとなった．斜面には多数の地すべり地形が存在する．尾根沿いには比較的傾斜の緩い（20° 以下）部分があり，凝灰岩分布域には線状凹地が多数存在し，その一部は枯れることのない池となっている．

採取した水の EC は，地表水が 3.8～15.9 mS/m，地下水（水抜き横孔および集水井）が 19.3～505 mS/m の幅を持っており，水質はバリエーション

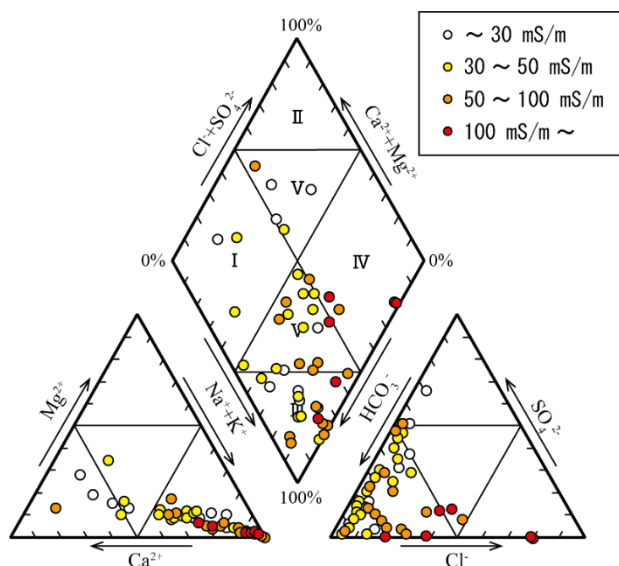


図 1 地下水の水質 (トリリニアダイアグラム)

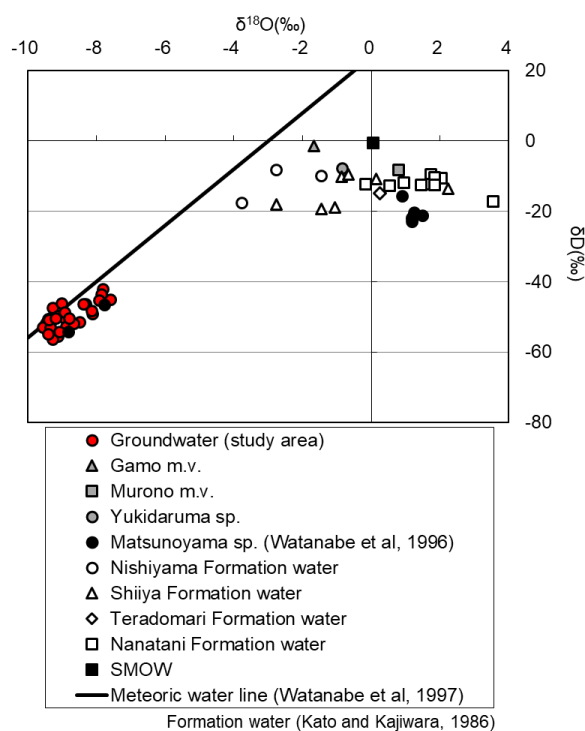


図 2 地下水の酸素・水素同位体比

に富む。主要溶存イオン分析の結果、EC 値が増加するにつれて、陽イオンは Na^+ イオンが増加し、陰イオンは 100 mS/m まで HCO_3^- が、100 mS/m 以上になると Cl^- イオンが増加する傾向が認められた (図-1)。線状凹地内の池の水の EC は、3.8mS/m と極めて小さく、溶存イオン量が少ない。調査地域で採取した地下水は、天水線 (渡部ほか, 1997) 近傍にプロットされる。また、採取した地下水に

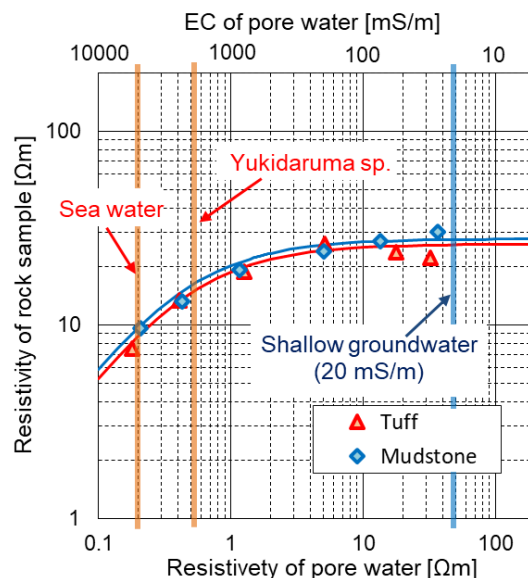


図 3 間隙水比抵抗と岩石試料比抵抗の関係

は Cl^- イオンを含むものもあり、 Cl^- イオンは岩石中にほとんど含まれていないため、地下水の流動過程において Cl^- を獲得するとは考えにくく、異なる起源の水が混入することにより Cl^- を獲得したと考えられる。調査地域で得られた地下水は、高 Cl^- 濃度ほど $\delta^{18}\text{O}$ が大きくなる傾向が認められた。これは調査地域周辺に認められる異常高圧を伴う高塩濃度地下水 (松之山温泉) や油・ガス田に見られる地層水 (加藤・梶原, 1986) の $\text{Cl}^-/\delta^{18}\text{O}$ に近づく傾向としてみられ、本調査地域の地下水は、このような高塩濃度の深部地下水が天水起源の水にわずかに混入したものであると考えられる (図-2)。

比抵抗の室内実験の結果を図-3 に示す。両岩石の比抵抗は、30 Ωm ~ 数 Ωm まで変化し、間隙水が低比抵抗であるほど、岩石試料の比抵抗は低比抵抗となる。しかし、間隙水の EC が 100 mS/m を下回ると、岩石試料の比抵抗は変化しなくなる特徴が得られた。これは粒子表面に働く表面伝導現象により、比抵抗がある値から上昇しなくなったためと考えられる (Katsube and Hume, 1983)。間隙水の EC が約 6,000 mS/m と海水程度である場合の岩石試料の比抵抗は、7~10 Ωm の値となる。

図-4 に、CSAMT 法による電磁探査で得られた

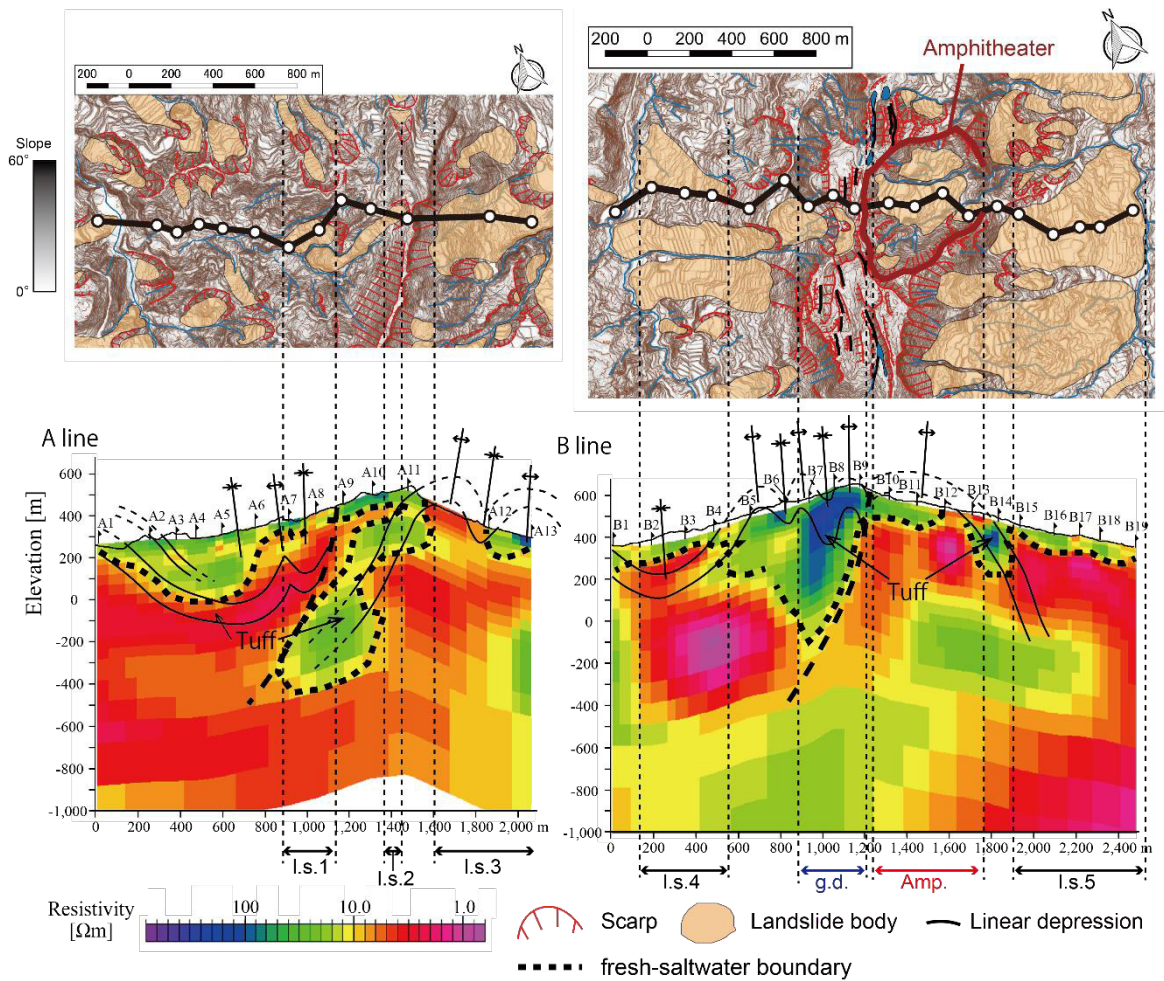


図 4 CSAMT 法により得られた比抵抗分布および地すべり地形分布との位置関係

比抵抗断面図, 地質断面図, および測線上の地形判読図を示す. 両断面ともに, 地表から約 100 m までの浅部は, 大局的には深部に比べて高比抵抗となっているが, 一部で高比抵抗領域は地質構造に対応して深部に突き出している. それらは, 地表に露出する凝灰岩層の深部延長であり, A line の F1 断層東側の凝灰岩沿い (A7~A11 の区間, 20-30 Ω m), A line 西部の凝灰岩およびその上の泥岩 (A1-A6), B line の F1 断層西側の複背斜深部 (B7~B9 の区間, 100-300 Ω m), および F1 断層東側の凝灰岩沿い (B13~B14 の区間, 20-100 Ω m) である. B line の尾根部の複褶曲部分では, 約 300 Ω m の高比抵抗領域が深度約 700 m まで分布し, これは凝灰岩の下に泥岩にまで及んでいると推定される. A line の A7~A11, A12~A13 までの区間, および B line の B1~B4, B9~B12, B15

~B19 の区間において, 浅部の高比抵抗領域が, 地表面から深度 50~100 m の領域に地形面に沿って分布する特徴が認められ, そのすぐ下に 10 Ω m 以下の低比抵抗領域が分布し, 両者のコントラストが明瞭である.

4. 考察

地下水面よりも下にある岩盤中の間隙は水で飽和しており, 比抵抗の測定実験の条件とほぼ同じ状態とみなすことができる. 図-3 で示す室内実験の結果から, 泥岩と凝灰岩の比抵抗には相違がないため, 調査地での比抵抗は岩種ではなく, 地下水比抵抗 (地下水 EC) に強く依存することが分かる. よって, 電磁探査により得られた比抵抗の高低は, 地下水の EC に対応するものと考えられる.

想定される地下水の塩淡水境界を図-4 の比抵抗断面図上に示す。地すべり移動体の認められる場所では、塩淡水境界が地形面と平行に深度 50~100m に形成されていることが全体的な傾向として認められ、すべり面より下側に塩水の分布する場所が多く地域に存在することが明らかとなった。これは、塩淡水境界がすべり面形成のための岩盤の強度のコントラストを形成した要因である可能性が高いと考えられる。一方で、重力変形地形の地下では、凝灰岩層の下位の泥岩まで淡水で満たされていると考えられ、岩盤の強度弱化が著しいため、重力変形したものと考えられる。

調査地域を含む東頸城丘陵では、本研究と同様に電磁探査が実施された例がある(図-5)。鈴木ほか(2009)は、本研究と同様に現地に分布する岩石試料による比抵抗の測定実験を実施しており、その比抵抗分布から地下水の EC を推定することが可能である。海水相当の EC が地下水として賦存する場合の比抵抗値は約 $3 \Omega m$ と推定され、その比抵抗分布は、地下 100 m 以深に広く分布する様子が認められる。佐藤ほか(2017)は、比抵抗の測定実験はされていないが、一部本調査地域に分布する岩相が分布する領域が含まれており、その領域に限って本研究の比抵抗測定実験の結果を用いることが可能である。その結果、地表付近まで海水相当の塩水が賦存すると考えられる。

調査地域の付近には、地下 3,000 m まで掘削された大深度井において比抵抗検層が実施されており、地下 30m 以深から海水相当の塩濃度の塩水が地下深部まで分布することを示した。また、基礎試錐「富倉」においても比抵抗検層がされており、地表付近の寺泊層相当層の比抵抗値は $10 \Omega m$ を下回っており、同様に海水と同程度の塩濃度の塩水が地表付近に分布することを示している。

山本ほか(2004)は、新潟平野部を中心に、SP 検層による地下水の塩濃度の推定結果を示している。この結果から、地下 1,000 m 以深において海水相当の塩濃度となるが、それまでの深度では、深度を増すにしたがって塩濃度が増加する特徴

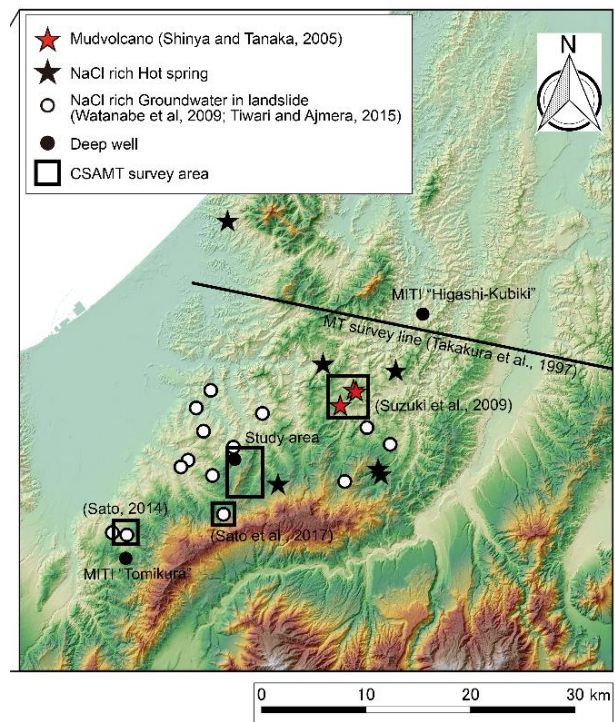


図 5 東頸城丘陵における地下水の塩濃度に関する情報を有するデータの分布

を示しており、丘陵地域と異なり、比較的塩濃度の低い地下水が賦存する領域が深部まで分布するものと考えられる。また、丘陵地域の塩濃度の鉛直分布は、平野部と比較して上方にシフトするような分布を取っており、海水相当の塩水への到達深度は、平野部よりも浅いことが分かっている。

高倉ほか(1997)は、東頸城丘陵から魚沼丘陵にかけて MT 法探査を実施しており、深さ 15 km までの比抵抗分布を得ている。解像度は粗いが、丘陵に当たる領域では、平野部と比較して地表付近まで低比抵抗が分布している様子がうかがえる。

Takano (2002)は、東頸城丘陵およびその周辺地域の変遷について、堆積相および底生有孔虫による年代の分析から、それぞれの詳細なエリアごとにおける隆起過程を分析しており、特に長倉尾根周辺の隆起が、新潟平野に近い丘陵北東部のエリアと比較して顕著であることが分かっている。また、西山層相当層の地層は、丘陵部では、向斜軸部に規制されて分布することがほとんどである

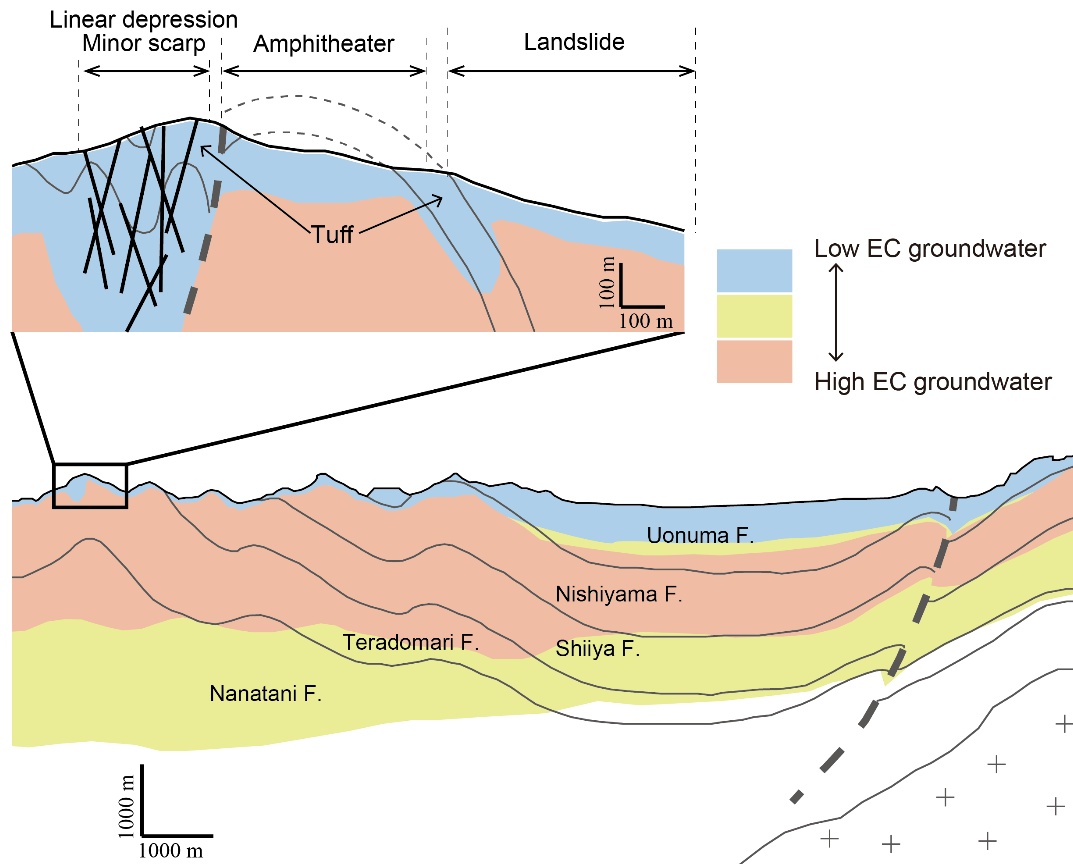


図 6 地すべり地帯を含む化石塩水の広域分布と地すべりとの位置関係

のに対し、平野部では、地表から西山層基底まで 3000～4000m となる場合も多く(天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992), 西山層堆積時以降の隆起過程が丘陵部と平野部で大きく異なる。このことから、丘陵部の地表は、隆起侵食を繰り返すことで、地表に露出する地層がより下位の者へと更新されるのに対し、平野部の地表では、現在までより安定的に地層が存在したと考えられる。その結果、平野部の浅部の地下水は、堆積時は海水であったとしても、それが淡水に入れ替わるのに十分な時間が与えられたと考えられ、化石海水は 2,000～3,000 m 程度の深さに残存しているにとどまっている。それに対して丘陵部では、化石海水が淡水に十分に入れ替わることなく、斜面表層部付近まで塩水が分布する結果となっており、それが日本海東縁地域の地すべりの広域的背景になっていると考えられる(図-6)。

5. 結論

日本海東縁地域の東頸城丘陵で、地質踏査、CSAMT 法探査、および地下水の水質分析を行い、数多く分布する新第三系地すべりの素因について検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- CSAMT 法探査と詳細調査を行った東頸城丘陵の長倉山とその周辺では、深部に 10 Ω m 以下の低比抵抗領域が広く存在し、これは塩水の領域であると推定される。そして、地表から 100m 程度の深さまで、20 Ω m 以上の高比抵抗領域が分布し、この領域は塩水が淡水に置き換わっていることが示唆される。
- 長倉山複背斜軸部の山頂小起伏面に露出する凝灰岩層には、重力斜面変形による線状凹地が発達し、その直下の泥岩は深さ約 600m まで、岩石の間隙が淡水で満たされた場合よ

りも 1 オーダー高い比抵抗を示した。このことは、複褶曲部に発達する割れ目沿いに淡水が深くまで侵入し、もとの塩水を置き換えていることを示唆する。浅部の地下水の酸素と水素の同位体組成は天水線上にプロットされ、その淡水が地表からもたらされた天水であることが示唆される。

- 塩水が淡水に置き換わることにより岩石が劣化することから、それが上記の多数の地すべりや重力斜面変形の素因となっていると推定される。
- 東頸城丘陵には、高塩濃度の温泉や泥火山が多く分布し、それらの分布と電磁探査の結果は、東頸城丘陵の新第三系分布地地下深部には、長倉山背斜と同様に高塩濃度地下水が広域に分布することを示している。
- この塩水は、化石海水起源の地層水と想定され、日本海東縁地域のテクトニクスの反転に伴って、鮮新世以降に地層とともに隆起して地表付近にもたらされたと推定される。そのため、東頸城丘陵と同様の上記の状況は日本海東縁地域の丘陵地に広く存在し、地すべりの素因となっている可能性が高い。

6. 引用文献

- Di Maio, C., Scaringi, G., 2016: Shear displacements induced by decrease in pore solution concentration on a pre-existing slip surface. *Engineering Geology*, Vol. 200, pp. 1-9.
- 加藤 進・梶原義照, 1986: 新潟地域油・ガス田付随水の水素および酸素の同位体組成. 石油技術協会誌, Vol. 51, No. 2, pp. 1-10.
- Katsube, T., Hume, J. P., 1983: Electrical resistivities of rocks from Chalk River. *Proceeding of Workshop of Geophysical Geoscience Research at Chalk River*, pp. 105-114.
- Takano, O., 2002: Tectonostratigraphy and changes in depositional architecture through rifting and basin inversion in the Neogene Niigata-Shin'etsu basin, Northern Fossa Magna, central Japan: implications for tectonic history of the Japan Sea marginal regions. *Niigata University*, pp. 157-181.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992: 改訂版 日本の石油・天然ガス資源, 520p.
- Tiwari, B., Ajmera, B., 2015: Reduction in fully softened shear strength of natural clays with NaCl leaching and its effect on slope stability. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 141, No. 1, 04014086.
- 渡部直喜・白石秀一・佐藤壽則・佐藤 修・大木靖衛・日下部実, 1997: 第三紀層地すべり地の深層地下水, 土と基礎(事例報告), Vol.45, No.6, pp.32-34.
- 山本修一・大久保秀一・桑原 徹・正本美佳・高橋利宏, 2004: ナチュラル・アナログとしての化石塩水に関する情報整備, 土木学会第 59 回年次学術講演会.

堆積軟岩地域で発生したトップリング型地すべり

—新潟県長岡市「2009年新山地すべり」の例—

The movement of the toppling type landslide at distributed area of the sedimentary soft rock

—An example of “the Arayama landslide in 2009”, Nagaoka city, Niigata Prefecture—

佐藤 寿則*・古谷 尊彦（株式会社日さく）

Hisanori SATO*・Takahiko FURUYA（Nissaku Co.,Ltd.）

キーワード：トップリング, 2004 年新潟県中越地震, 節理面, 向斜軸, 堆積軟岩

Keywords : topple, The Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004, joint wall, axis of syncline, sedimentary soft rock

1. はじめに

新潟県には新生代新第三紀～第四紀に堆積した泥質な地層が広く分布している。これらの地層を成す岩石は続成作用に乏しく、岩石強度の低い「軟岩」を主としている。

一般に軟岩は風化し易く、容易に細粒化・軟弱化し、含水すると分解が進み粘土化しやすい性質を有している。このような堆積軟岩が広く分布する地質的条件を背景に、新潟県域には多くの地すべり地が分布している。そのため新潟県の地すべり地の岩層の多くは、風化岩や多量の地下水を含んだ粘性土が移動物質となっていて、Varnes(1978)の地すべり現象の分類に従えば、earth slump または earth flow に属する運動形態のことが多い(表.1)。

今回報告する 2009 年に新山地区で発生した地すべりは、このような堆積軟岩地域にあって、earth slump または earth flow のタイプでない、rock topple に属する地すべりと考えられた。ここでは、そのトップリング型地すべりの発生機構について考察するとともに、施工された対策工の概要を述べる。

表.1 地すべり現象の分類

(支配的な) 運動形式 TYPE OF MOVEMENT		(運動前の) 物質のタイプ TYPE OF MATERIAL (before movement)		
		岩 BEDROCK	工学的な土 ENGINEERING SOILS	
崩落 FALLS		Rock fall	～主として粗粒なもの Predominantly coarse	主として細粒なもの Predominantly fine
転倒 TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
滑動 SLIDES	円弧 ROTATIONAL	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	直線 TRANSLATIONAL	少単元 FEW UNITS	Rock block slide	Debris block slide
		多単元 MANY UNITS	Rock slide	Debris slide
	伸張 LATERAL SPREADS	Rock spread	Debris spread	Earth spread
流動 FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow
複合 COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

[D.J.Varnes, 1978: Slope Movement Types and Processes, Landslides: Analysis and Control (Claxton, M., ed.), TRB Special Report, 176, 11-33.] を要訳。

2. 新山地すべりの概要

新山地区は新潟県長岡市中心部から東南東へ約 12km 離れた東山丘陵に位置する(図.1)。1760 年には大規模な地すべりが発生し、一部の人家が隣の集落へ移転した記録が残るなど、古くから地すべりと向かい合ってきた地区である。新山

地区の集落は尾根状の緩斜面に立地しており、所々で水田も分布している。

2009 年 3 月 25 日、幅約 80m・長さ約 50m・高さ約 50m の規模で地すべりが発生し(A ブロック)、滑落崖

直近の人家に対して避難勧告が発令され、末端を流れる大倉川が閉塞した(写真.1)。また、冠頭部には概ね南北方向の直線的に連続した高さ 5



図.1 位置図



写真.1 2009年新山地すべりの全景



写真.2 ほぼ鉛直な新鮮岩の崖



写真.3 滑落崖と倒れかかった地壘状岩塊



写真.5 滑落崖後方の岩盤に見られる節理面の開口



写真.4 シルト岩・砂岩細互層の様子



写真.6 滑落崖後方の緩斜面(人家脇)の浅井戸

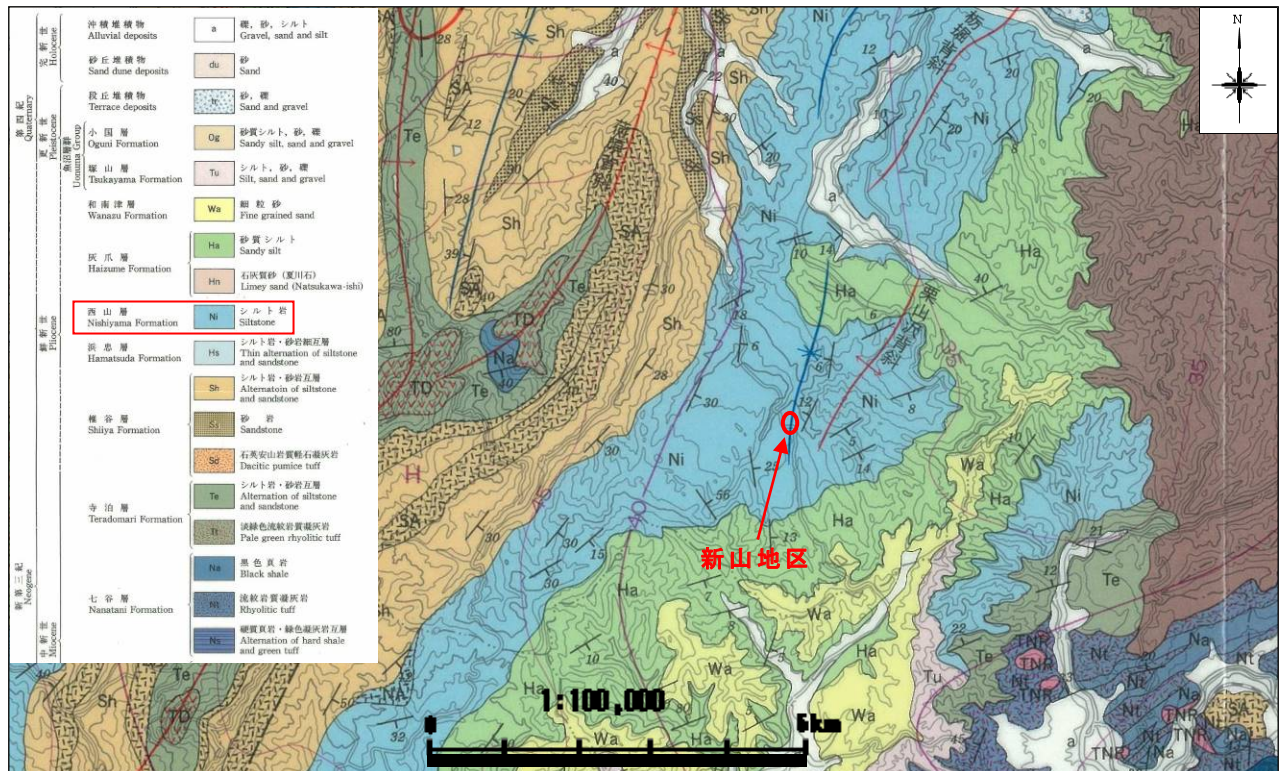


図.2 新山地区周辺の地質図(日本油田・ガス田図 13「新潟県中部地域」:1992 より引用・加筆)

mもの新鮮岩の鉛直な崖が出現し(写真.2)、中腹には高さ 5m の地塁状岩塊が川側へ倒れかかったようになった(写真.3)。

本地区には、新潟油田地域標準層序の西山層に相当する、節理が発達した固結度の弱いシルト岩・砂岩およびそれらの細互層が分布している。とくに砂岩は、含水すると短時間で強度を失い、水とともに流出しやすい特徴を持つ(写真.4)。また本地区は、荷傾背斜と栗山沢背斜の中間の北北東-南南西方向に延びる緩やかな向斜構造の軸部に位置している(図.2)ため、地層の傾斜は 10° 以下でほぼ水平となっている。

地すべり発生直後の滑落崖周辺における新鮮な堆積軟岩の節理系をシュミットネットに示した(図.3)。前述した高さ 5m 以上にも及ぶ鉛直崖を形成するような節理の構造は N13W81E を最大とし、側方崖の北側は N19E80E、南側は N50W80E が最大であった。いずれも傾斜角 80° 以上の高角で、地層の堆積構造に対しほぼ垂直であった。

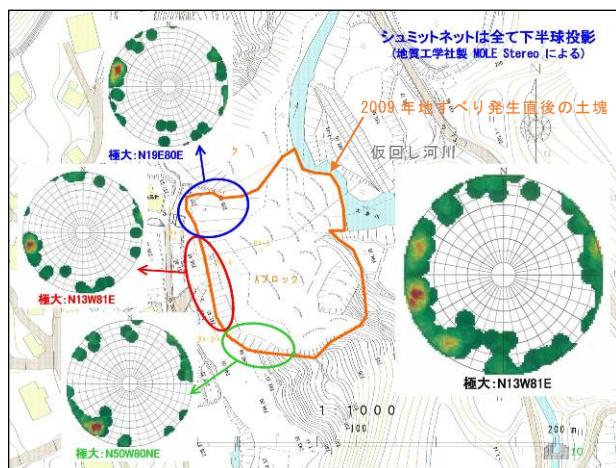


図.3 滑落崖周辺における堆積軟岩の節理系

3. 新潟県中越地震の発生

2004年10月23日、本地区の南南西約 15km 離れた位置を震央とする「新潟県中越地震」が発生した。震央に近い旧川口町では、東西方向の加速度が卓越した震動を観測した。本地区では、本震時に震度 6 強の揺れがあったものとみられる(図.4)。その際、今回の地すべりに隣接する複数の斜面(Bブロック等)では、崖崩れ(Varnes の分類の rock fall)が発生した。

また、応急対策(後述)で滑落崖より後方の新鮮岩を掘削した際、滑落崖とほぼ平行で南北方向に延伸する、幅 10cm 程度の開口亀裂が複数認められた(写真.5)。このことから、新潟県中越地震の東西方向の加速度が卓越した地震動により、南北方向に発達したほぼ鉛直な節理面が開口し、

新鮮な堆積軟岩に緩みが生じたものとみられる。

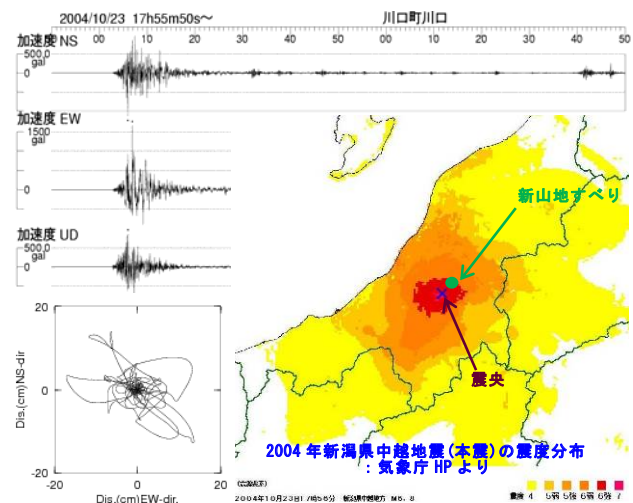


図.4 2004 年新潟県中越地震の震動の状況

4. 地すべり発生機構

2009年3月に発生した新山地区 A ブロックの地すべり機構は、状況証拠から次のように考えられる。

- ① トップリングの発生した斜面は蛇行する大倉川の攻撃斜面に当たり、斜面の基底部では侵食の激しい部分を構成していた(写真.1・2)。
- ② 新山地区は北北東-南南西方向に延びる向斜構造の軸部に位置しており、軸面とほぼ平行な節理面が発達している。また、基岩となるシルト岩・砂岩細互層は層理面で強度差が発生しやすく、しかもそれは低角度である(図.5a)。さらに、新山集落は古期地すべりの末端部にあたり、崩積土層下部を流動する地下水が集まりやすい状況下にあった(写真.6)。
- ③ 2004 年新潟県中越地震の地震動は東西方向の加速度が卓越したため、とくに南北方向に発達した節理面が分離面となり、倒立振子運動のような現象が起こった。結果として、節理面に沿って開口・緩みが生じるとともに、一部の層理面に沿っても剥離等の強度低下が生じた(図.5b)。
- ④ これらの弱面に沿って地下深部まで地下水が供給され、層理面の強度低下が促進された(とくに半固結状態の砂岩層)。また、水圧が川側へ作用するとともに、強度低下した層理面には揚圧力も作用するようになった(図.5c)。
- ⑤ 強度低下がある限界を超えると同時に、多量の融雪水の地下浸透に伴って地下水が供給されたことにより揚圧力が増大した。その結果、弱面が階段状につながり、将棋倒しのように地

すべりが発生した(図.5d)。

ボーリング調査の結果、地表の変状に比べて深部の乱れは少なく、鏡肌のような明瞭なすべり面は認められなかった。また、亀裂が少ない領域(不動層)の出現深度は15~20mであった。

5. 地すべり対策工

(1) 応急対策

2009年3月の地すべり発生直後、喫緊の問題は、滑落崖の後方拡大に伴う集落の保全と、末端の河道閉塞の解消であった。後者については、末端より20m程度離れた位置に仮回し河川を掘削し、出水期前に通水した。一方前者に対しては、滑落崖が10m程度後方へ拡大しても地質調査作業等の安全が確保されるよう、滑落崖後方を排土し、8月上旬に掘削を完了した(結果的に避難勧告対象人家は移転)。

(2) 恒久対策

a) 2009年の当初計画

滑落崖後方の応急掘削後、地質調査・対策工検討を実施した。トップリング型地すべりに対する解析手法が確立されていないため、国土交通省の基準書に基づく通常的手法に準じて安定解析を行った。ボーリングコアから、亀裂が多い領域と少ない領域を区分し、その境界を安定解析上のすべり面とした。応急掘削後の地形(図.7の橙色破線)で初期安全率を0.98(降雨とともに断続的に運動)とし、土塊の最大層厚から粘着力を推定し、内部摩擦角を逆算にて求め、その角度が地質断面図におけるすべり面角度とほぼ同等であることで妥当と判断した。

安定解析を行い、滑落崖後方および地すべり頭部を排土し、末端部に押え盛土工を施工することで目標安全率($F_{sp}=1.15$)を満足する計画とした。その際、押え盛土による跳ね上げすべりに対しても安全となるよう留意し、中越地震で崩壊したBブロックも同時に安全となるような計画とした(図.7の桃色点線)。

b) 2010年の計画再検討と一部施工

翌2010年の融雪後、滑落崖が後方へ拡大し、末端が前進するなど、前述の工事が計画通りに施工できないことが確認された(写真.7・8)。そのため、2010年の融雪後の地形(図.7の黒色実線)を踏まえて計画を見直した。内容は、滑落崖後方をさらに追い込んで掘削するもので、Bブロックの掘削土量を減らすことで全体の土量収支を調整した。

河川部の床固工・護岸工の施工が5月に開始

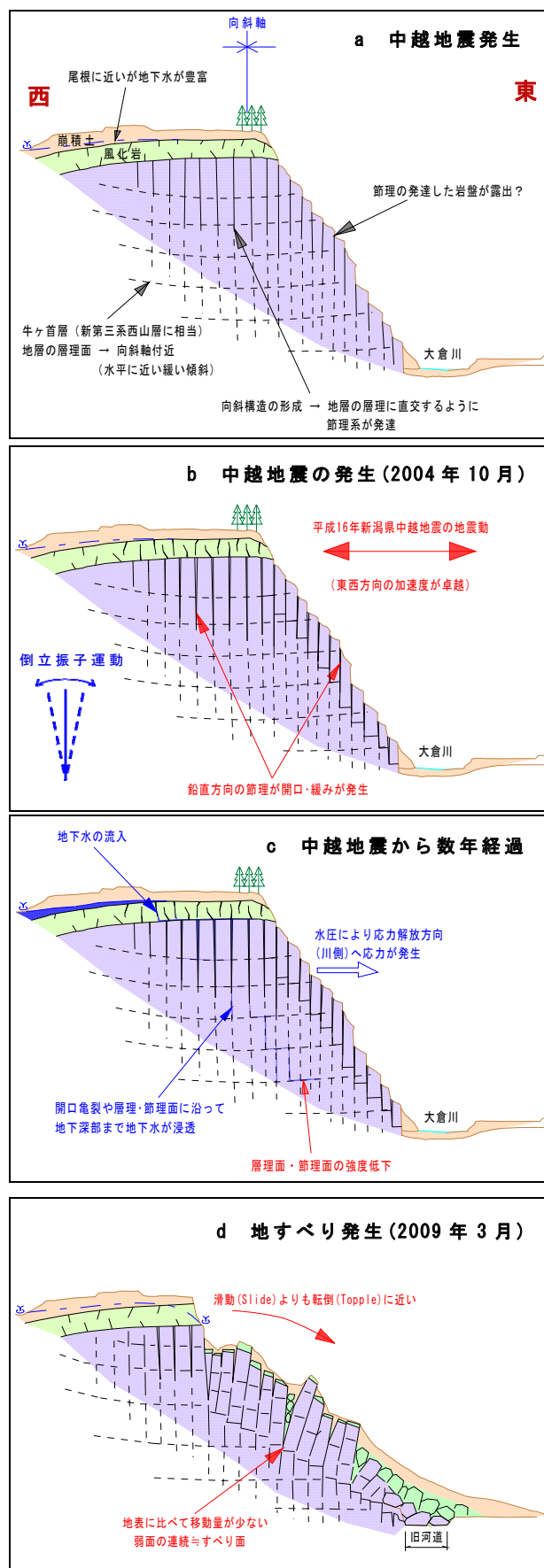


図.5 新山地区におけるトップリング型地すべりの発生機構(模式図)

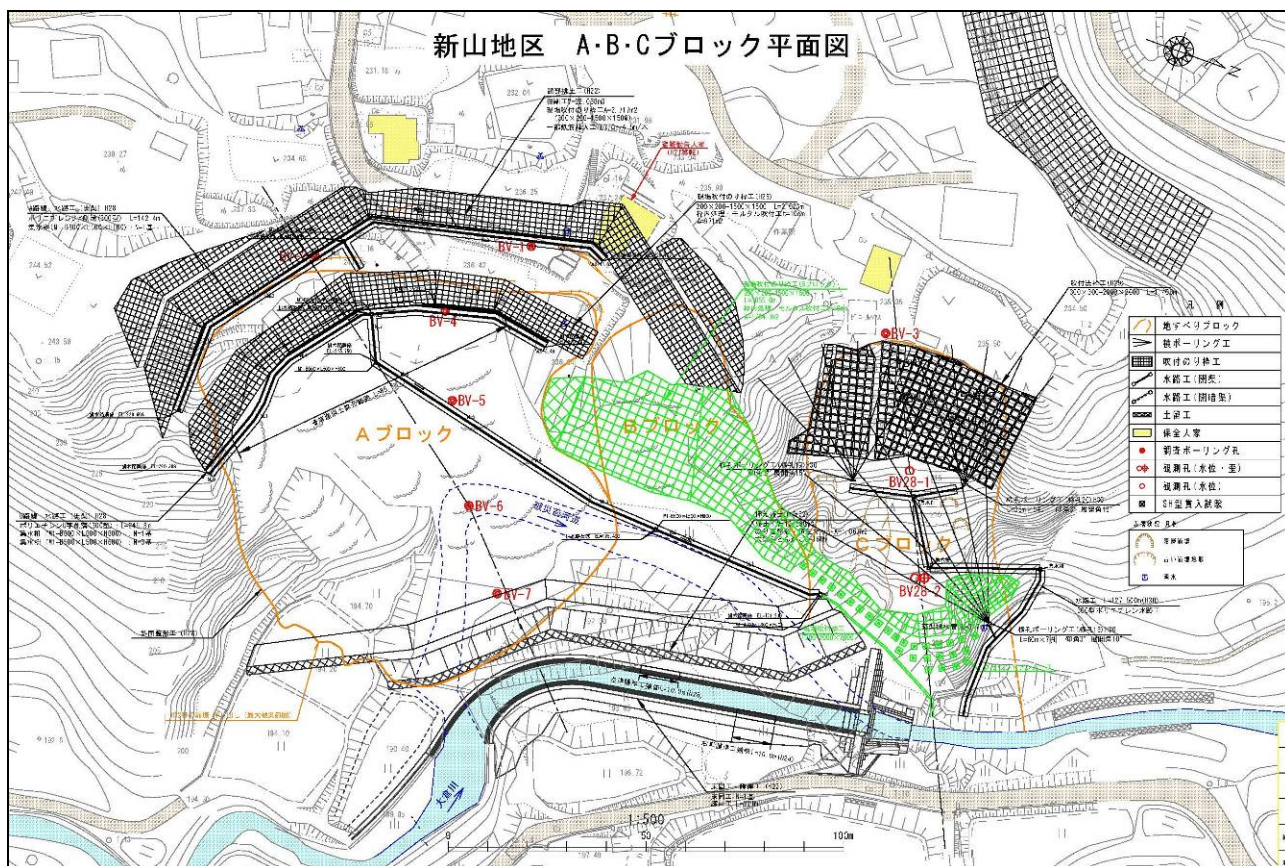


図.6 2009年新山地すべり（Aブロック）の対策工平面図（2019年3月現在）



写真.7 滑落崖付近の状況（2009年11月撮影）



写真.8 滑落崖付近の状況（2010年5月撮影）

され、滑落崖後方の排土工も8月に開始された。土工が適さない秋霖期が迫ったため、排土工は堆積軟岩を出現させた標高230mで一旦中断と

し、再開まで融雪期を跨ぐことから表流水が開口した節理に浸透しないよう、セメントを配合した改良土で表層50cm程度を被覆した。積雪前の12月上旬には法枠工も完成した。

c) 2015年の計画再検討と残工事施工・概成

2011年以降、新山集落内の他のブロックで地すべりが発生したため、Aブロックにおける対策工事の施工が中断したままとなった。2015年に工事を再開するに際し、2010年の計画通りで施工して良いか、斜面の安定度の検討も含めて工事計画をさらに見直した。

地表踏査の結果、最近発生した亀裂等の兆候は認められなかったため、地すべりの運動や滑落崖の後方拡大の可能性はないと判断した。これに伴い、滑落崖後方の堆積軟岩の更なる掘削と、押え盛土工の更なる施工は不要と判断した。一方、滑落崖では堆積軟岩のくさび状崩落や剥離が認められ、滑落崖下方では所々でガリー侵食が発達していた。このため、滑落崖にモルタル吹付法枠工を、法枠工直下および斜面を縦断するように水路工を計画し、2015～2016年に施工された。施工後も新たな変状は認められず、地すべりは安定に向かっていると判断し、Aブロックは概成とした(写真.9・10)。

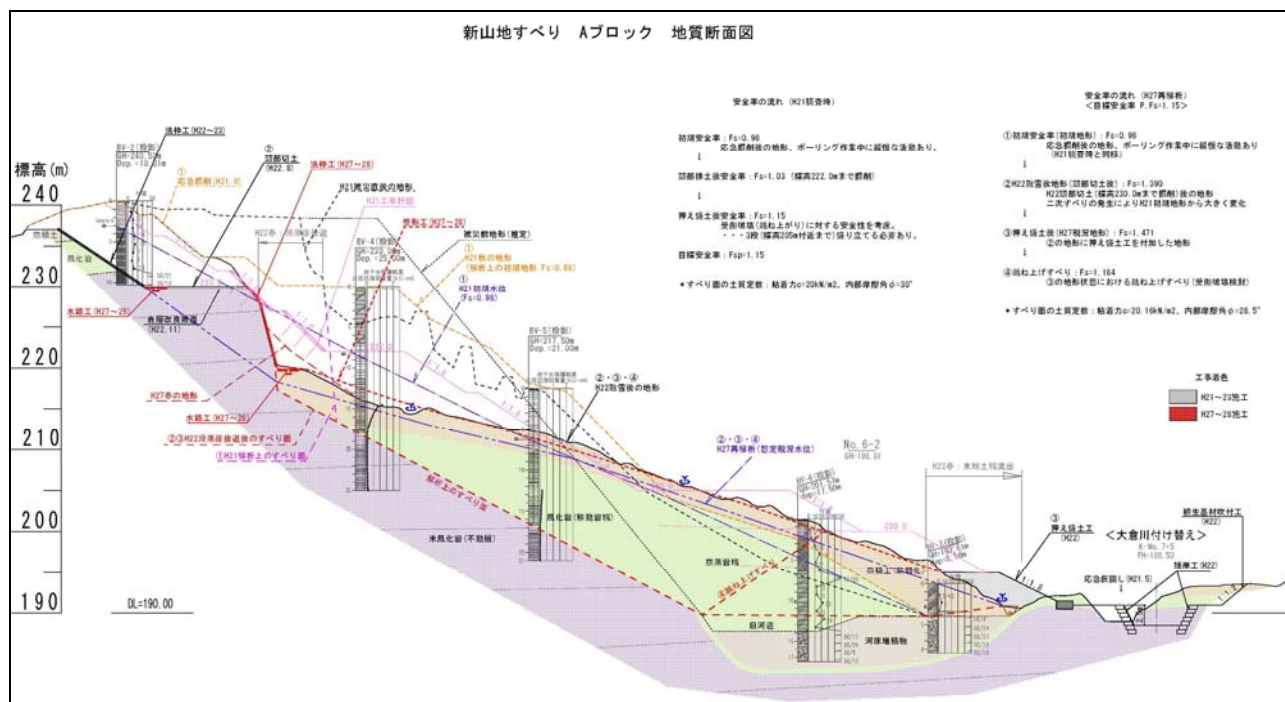


図.7 2009年新山地すべり（Aブロック）の地質・対策工断面図（2017年3月現在）



写真.9 滑落崖後方の近況（2018年5月撮影）



写真.10 末端上流付近の近況（2018年5月撮影）

6. おわりに

Varnes の分類の rock topple に属するような地すべり現象は、火山岩や中・古生層等の比較的に硬い岩石が分布する地域に発生する事例が知られている。しかし、条件が揃えば堆積軟岩地域でも発生する場合があります、とくに新山地区の事例は、地震動の影響が大きく関与しているものとみられる。

新潟県中越地震時に地すべり発生に至らなかった斜面でも、年月を経てから活動する場合があります、今後はこのような事例にも着目する必要がある。

とくに、水平に近い岩層構造と河川の側方侵食による切り立った斜面は要注意箇所である。

なお、本報告をまとめるにあたり、新潟県土木部砂防課ならびに新潟県長岡地域振興局地域整備部からは、業務報告書の内容の公開について承諾を頂いた。関係者にはお礼を申し上げる。

引用文献

- 地質調査所(1992): 日本油田・ガス田図 13「新潟県中部地域」.
- 気象庁(2004): 2004 年新潟県中越地震(本震)の震度分布図. 気象庁ホームページ
- 新潟県長岡地域振興局(2015): 平成 27 年度新山地区防災・安全(地すべり対策)修正設計業務委託報告書.
- 新潟県長岡地域振興局(2019): 平成 29 年度新山地区防・安(地すべり対策)ゼロ交水位観測業務委託報告書.
- 佐藤壽則・古谷尊彦(2010): 堆積軟岩地域で発生したトップリング型地すべり. 第 49 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.9-10.

膨張性地山に起因する諸現象について

On various phenomena caused by the swelling ground

伊藤克己* (株式会社キタック), 山岸由佳 (株式会社キタック),
遠藤雄治 (株式会社キタック), 徳橋良幸 (羽越河川国道事務所)

Katsumi ITO (KITAC Co., Ltd), Yuka YAMAGISHI (KITAC Co., Ltd),

Yuji ENDO (KITAC Co., Ltd), Yoshiyuki TOKUHASHI (Uetsu Office of River National Highway)

キーワード: 泥岩, 吸水膨張応力, 切土のり面, グラウンドアンカー

Keywords: mudstone, axial swelling stress, cutting slope, ground anchor,

1. はじめに

地盤の膨張性が関与した地盤の被害については様々な形態が知られている (小西他, 2010)。

筆者らは, 泥岩からなる, 直高約 60m の長大のり面 (図-1) において, 地盤の著しい変形現象を確認した。

切土の初期段階 (平成 20 年) においては, のり面の各所で小規模な崩壊が発生したほか, 最大深度 21m において 4 日間で 961μ 歪の変動が観測された。このため, 当該のり面に対して排土工, 横ボーリング工, グラウンドアンカー工等の対策工が実施された。

しかし対策後も構造物に開口亀裂が形成され

るなど, グラウンドアンカーを設置したのり面も含めて変形現象がその後も継続していることが確認された。このため, 当該のり面に対して下記の動態観測を行っており, 必要に応じて追加対策を実施している。

- 1) トータルステーション (TS) による地表面変位
- 2) 孔内傾斜計・縦型伸縮計による地中変位
- 3) 孔内水位
- 4) グラウンドアンカー荷重計

動態観測, および泥岩の室内試験の結果等から, これらの変形の主な原因は, 当該のり面を構成する泥岩の膨潤性にあると考えている。

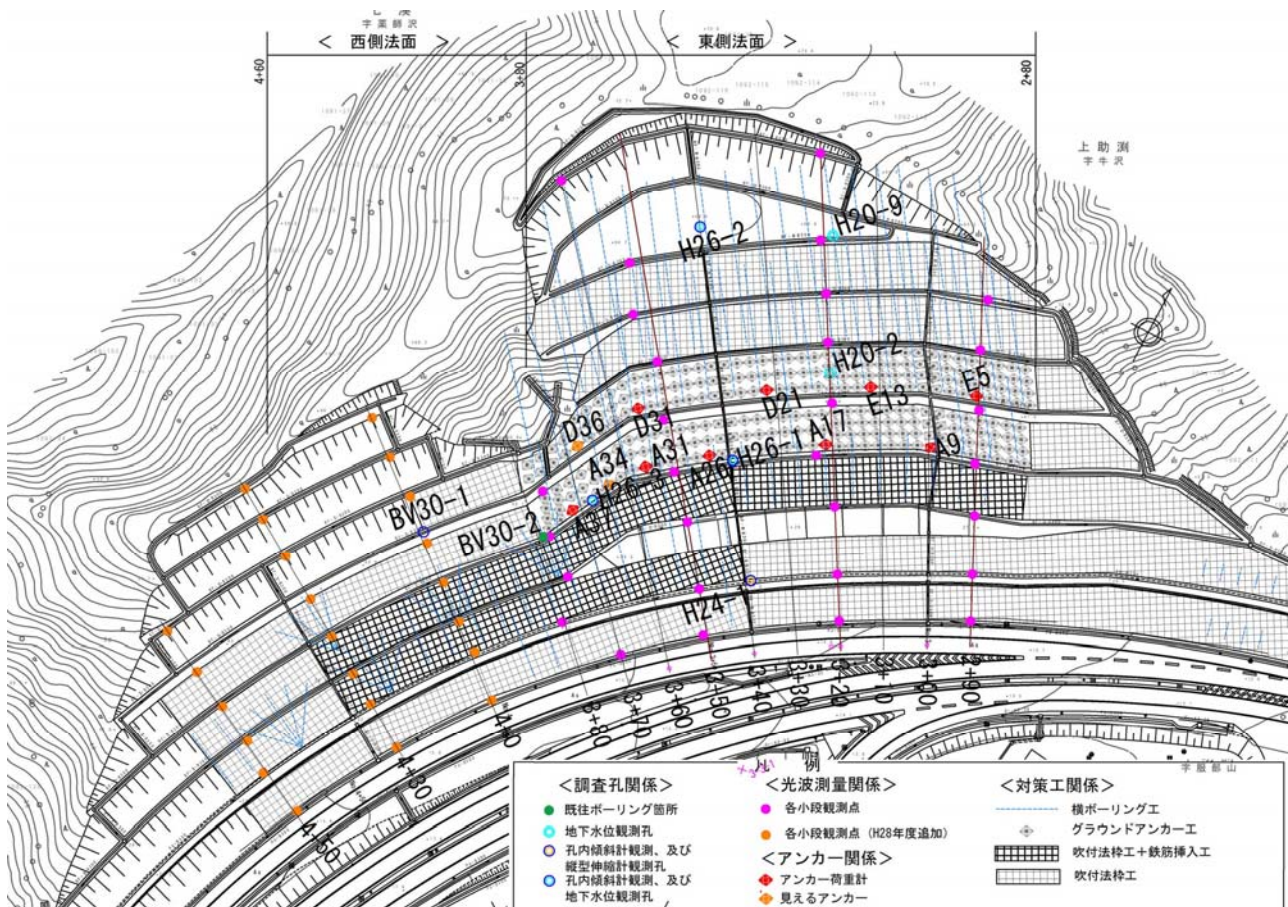


図 - 1 動態観測位置図

2.1. 地表面変位計測および孔内傾斜計

孔内傾斜計の、のり面横断方向(X方向)の累積変動図をボーリング柱状図の脇に表示した。H26-1、H26-2、H26-3 孔は、2014 年の観測開始から現在までの累積量を、また、H24-1 孔は 2013 年の観測開始から、測定器の深部への挿入が不能となった 2016 年 2 月までのデータを表示した。

2.2. 縦型伸縮計

2.3. 孔内水位變動

5 孔の孔内水位変動状況を図-3 に示す。いずれの施設も全孔ストレーナで、自記記録装置により 1 回/時の計測を行った。

東側のり面の4・5段目に設置されているアンカーの荷重変化を監視するため、10基の荷重計が設置されている。このうち、自記記録装置により1回/時の計測を行っている8基の観測結果を図-3に示す。同図には、アンカーE4の頭部保護工内に設置した温度センサーの計測データを併記した。

なお、当該アンカーの初期緊張力は約 320kN としている（設計荷重の約 80%）。

ボーリングコアを用いた泥岩の室内試験結果を表-1に示す.

泥岩の吸水膨張特性を確認するため、岩石の吸水膨張試験 (JGS-2121-2009)、および岩石のスレーキング試験 (JGS-2124-2009)、土の陽イオン交換容量 (CEC) の試験 (JGS-0261-2009)、X 線回折による鉱物の同定を試験項目に含めた。

なお、吸水膨張試験は、新鮮なコアの他、デシケータ内で 1 週間乾燥させたコアの 2 種類の試料調整法により実施した。

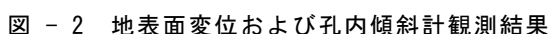


表 - 1 ボーリングコアを用いた室内試験結果

試料番号		ベネ	H26-1-P1	H26-1-P2	H26-1-P3	H26-1-P4	H26-2-P1	H26-2-P2	H26-2-P3	H26-3-P1	H26-3-P2	H26-3-P3	-	平均値
		コア			H26-1-C1	H26-1-C2		H26-2-C1	H26-2-C2	H26-3-C1	H26-3-C2	H26-3-C3	H26-3-C3	
土 質 ・ 岩 質			風化泥岩	風化泥岩	風化泥岩	泥岩	風化泥岩	風化泥岩	泥岩	風化泥岩	風化泥岩	泥岩	泥岩	
深度 m			2.00～3.00	9.00～10.00	12.00～13.00	18.00～19.00	6.00～7.00	23.00～24.00	32.00～33.00	1.00～2.00	8.00～9.00	17.00～18.00	13.30～14.00	
一般	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	-	-	1.817	1.836	-	1.864	1.821	1.892	1.901	1.864	-	1.856
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	-	-	1.397	1.360	-	1.392	1.360	1.437	1.438	1.395	-	1.397
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.672	2.718	2.652	2.635	2.623	2.632	2.629	2.649	2.652	2.669	-	2.653
	自然含水比	%	32.6	28.0	30.0	34.8	38.5	35.5	24.1	32.2	33.9	32.5	-	32.2
粒度特性	礫分 2～75mm	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	-	2.1
	砂分 75 μm～2mm	%	2.1	3.1	2.3	3.6	1.1	1.4	1.0	5.2	1.8	2.6	-	2.4
	シルト分 5～75 μm	%	53.0	42.4	37.4	55.8	53.4	54.0	50.6	36.7	49.1	54.1	-	48.7
	粘土分 75 μm以下	%	44.9	54.5	60.3	40.6	45.5	44.6	48.4	56.0	49.1	43.3	-	48.7
	最大粒径	mm	0.425	0.425	0.850	0.425	0.250	0.250	0.250	4.750	0.425	0.250	-	0.830
コンシステンシー	液性限界	%	82.6	81.0	83.9	86.6	80.0	81.4	94.1	79.7	83.5	86.0	-	83.9
	塑性限界	%	28.1	25.6	25.1	29.6	33.2	29.1	32.7	25.2	29.6	28.0	-	28.6
	塑性指数		54.5	55.4	58.8	57.0	46.8	52.3	61.4	54.5	53.9	58.0	-	55.3
分類	分類名		粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	砂混り粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)	-	-
	分類記号		(CH)	(CH)	(CH)	(CH)	(CH)	(CH)	(CH)	(CH-S)	(CH)	(CH)	-	-
一軸圧縮	一軸圧縮強さ	MN/m ²	-	-	0.0828	0.0927	-	1.02	1.62	0.835	1.25	2.39	-	-
	変形係数 Es, 50	MN/m ²	-	-	4.40	4.59	-	39.2	176	105	143	279	-	-
三軸圧縮 (CU)	全応力	c kN/m ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1018.1	-
		φ °	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.0	-
	有効応力	c' kN/m ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	946.3	-
		φ' °	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.9	-
スレーキング指数			-	-	4	4	-	3	3	3	3	2	-	-
吸水膨張	最大吸水膨張率 ()内は7日乾燥後	LS %	-	-	1.59	1.75	-	0.07	0.44	0.06 (0.69)	0.12 (1.47)	0.21 (1.13)	-	-
	吸水膨張応力 ()内は7日乾燥後	δs kN/m ²	-	-	37.60	13.27	-	14.75	85.10	14.74 (67.75)	9.17 (110.50)	6.00 (94.81)	-	-
陽イオン交換容量(CEC)			cmol/kg	12.9	11.6	12.4	11.2	11.0	11.0	12.7	13.5	13.2	-	12.1

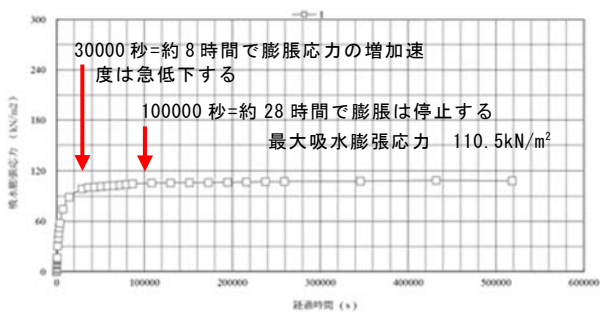


図 - 4 吸水膨張応力試験結果 (H26-3-C2)

吸水膨張 (応力) 試験結果の一例を図-4 に示す。

4. 考察

4.1. グラウンドアンカーの荷重増加

No. 3+50～3+80 付近のグラウンドアンカーでは荷重が増加する傾向が認められたため、平成 27 年にアンカー本体の更新が行われた。更新したアンカーの荷重は、その後も増加傾向が認められたため、除荷困難な D31 他 2 本を除いて、平成 30 年度に除荷が実施された。

これらのアンカーの荷重の増加特性として、常時は緩やかに増加するほか、地下水位の上昇を伴う降雨後に一時的に急増するという傾向がある。

平成 29 年 7 月下旬の豪雨の際には D31 で約 50kN(10kN/m²) の荷重の急増が発生した。増加の経過時間は約 35 時間であり(図-2 参照)、その増加曲線は吸水膨張試験結果(図-5)と類似する。

4.2. 地盤変動

孔内傾斜計 24-1 では、深度 8m 付近に年間 1cm 程度の変形が発生し 2016 年 3 月には計測不能となった。縦型伸縮計の計測結果(図-2)によると、変位はその後も継続している。

変形形態から、末端の部分的なすべり破壊が始まっており、上方に波及しようとしているものと推察される。

その他の孔内傾斜計にはせん断的な破壊の兆候は確認されない。

H26-3 孔では、浅部ほど大きな変形が発生し、深度 0.5m では 54 ヶ月で約 59mm 変位が発生した。また、H26-2 孔では、深部ほど大きな変位が発生しており、0.5m では 55 ヶ月で約 25mm の変位が発生した。

H26-3 孔では浅部ほど、また H26-2 孔では深部ほど、吸水による膨張が進行しやすい環境にある可能性がある。

H26-1 孔は深度 9-13m にかけては深部ほど大きな変位が発生し、浅部では変位が逆向きとなっている。その機構については解釈できていない。

参考文献

小西純一・鈴木素之・三須尊洋・甲斐康広・藤井公博：不攪乱粘土資料の一次元膨張圧特性とその異方性，土木学会論文集 C，第 66 巻，第 2 号，pp. 264～279，2010。

第47回地すべりシンポジウム
新潟の地すべりに見られる特異な現象

2019. 5

編集・発行 公益社団法人日本地すべり学会新潟支部
印 刷 株式会社 文 久 堂

(公社) 日本地すべり学会新潟支部のホームページ
<http://www.landslide-niigata.org>

