

平成28年8月北海道豪雨による斜面災害調査報告

Disaster Survey Report of Slope Failures in Hokkaido, Japan Induced by 2016 August Typhoons

石川 達也¹・川端 伸一郎²・木幡 行宏³・川村 志麻³

1. 北海道大学大学院公共政策学連携研究部

2. 北海道科学大学工学部

3. 室蘭工業大学大学院工学研究科

Tatsuya Ishikawa¹ · Shinichiro Kawabata² · Yukihiko Kohata³ · Shima Kawamura³

1. Faculty of Public Policy, Hokkaido University

2. Faculty of Engineering, Hokkaido University of Science

3. Faculty of Engineering, Muroran Institute of Technology

Abstract

Four typhoons landed continuously in the Japanese archipelago during the period from mid to late August, 2016 and brought enormous damage to a wide area of Hokkaido prefecture. In consideration of the social importance of this heavy rainfall-induced geotechnical disasters, the Japanese Geotechnical Society (JGS) organizes “Survey Team for Geotechnical Disasters in Hokkaido, Japan Induced by Heavy Rainfall on August, 2016”, which mainly consists of experts from industry and academia belonging to the Hokkaido branch of JGS, to investigate the phenomena and factors that contribute to the disaster prevention measures from the viewpoints of both a short-term and a mid-to long-term perspectives, and to provide academic advice etc. to concerned organizations. This paper reports a summary of the field investigation for a disaster-stricken area, and the endogenous and exogenous factors for slope failures induced by heavy rainfall.

Key Words: Heavy rainfall, Geotechnical disaster, Climate change

キーワード：集中豪雨，地盤災害，気候変動

1. 豪雨災害の概要

平成28年8月17日から8月23日の1週間に7号、11号、9号の3個の台風が続々と北海道に上陸し、北海道東部を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また、8月29日からの前線と台風10号の接近による大雨で十勝川水系や石狩川水系・空知川上流で堤防の決壊や河川の氾濫、日高山脈東側での道路や橋梁の流失などが相次ぎ、甚大な災害をもたらした。

この一連の大手で発生した被害は、平成28年10月11日現在で、人的被害が死者4名および行方不明者2名ほか、住家被害が全壊29棟、床上浸水273件および床下浸水989件ほかと

なっており（表1¹⁾），住民避難については最大 687 個所の避難所が開設され，最大 11,176 名の避難者があった。インフラへの物的被害としては，電気や水道等のライフライン，道路・鉄道などの交通・物流へのほか，農林水産業や観光業等にも甚大な被害が生じ，住民生活や地域経済・産業活動にも大きな支障となった。道路関連では，道央と道東を結ぶ幹線の国道 38 号および 274 号線など主に十勝地方に通じる各国道を中心に，河川の氾濫に伴う橋梁流失や路盤流出により通行止めが相次ぎ，一時は十勝地方が孤立状態となった。特に，国道 274 号線は土石流や斜面崩壊に伴い被災当時復旧の見通しが立たないほど大きく損傷し，平成 29 年 7 月 26 日現在も 1 路線 1 区間（国道 274 号 沙流郡日高町千栄～上川郡清水町清水）が通行止めとなつておらず，並行する道東自動車道の占冠 IC から十勝清水 IC 間を国道の代替路（無料）とする措置が実施されている²⁾。その他，道道なども 100 箇所以上の区間が通行止めとなるなど甚大な被害が及んだ。一方，北海道旅客鉄道株式会社（JR 北海道）の各線では，路盤流出，橋梁流失，土砂流入，盛土崩壊などが多数発生し，長期間の運休を余儀なくされた路線もあり，道東を中心とした路線網が寸断された。JR 北海道の試算では，これらの路線網の復旧費用に石北本線だけで 2～3 億円程かかり，総額では数十億円規模に膨らむ可能性があるとの見通しを示している。さらに，産業被害については，基幹産業の農業に 40,258ha にわたる被害が出ているほか，水産業，林業，商業および工業にも被害が及んだ。

表 1 平成 28 年 8 月北海道豪雨による被害状況¹⁾

○ 人的被害

（平成28年10月11日現在）

	死者	行方不明者	重傷者	軽傷者
人 数	4 〔北見市 大樹町 新得町 羅臼町〕	2 〔清水町〕	2 〔上川町 羅臼町〕	13 〔江別市 鉄路市 白糠町 日高町 上川町 北見市 帯広市 せたな町〕

○ 住家等被害

（平成28年10月11日現在）

被害棟数	住 家					非住家	
	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	全壊	半壊
空知管内	-	-	4	13	120	-	-
胆振管内	8	5	209	1	12	4	11
日高管内	2	2	7	64	259	11	3
渡島管内	0	3	569	0	3	27	26
上川管内	5	38	0	46	225	-	-
宗谷管内	0	0	2	12	41	-	-
オホーツク管内	0	0	0	3	94	-	-
十勝管内	14	45	21	128	169	32	11
釧路管内	0	0	29	2	38	-	-
その他	0	4	122	4	28	6	120

このような人的・物的に甚大な被害発生を受け，政府は，台風第 7 号，台風第 11 号，台風第 9 号および台風第 10 号による全国各地の被害を「激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律」に基づき，復旧事業の国の補助率をかさ上げして被災自治体の財政支援を後押しする「激甚災害」として指定し，併せて当該災害に適用すべき措置を指定する政令を，平成 28 年 9 月 16 日の閣議において決定した。激甚災害として，道内では，空知郡南富良野町が指

定された。なお、昨年の豪雨災害を昭和 56 年以降の主な豪雨災害と比較してみると（表 2¹⁾），今時災害の被害額は、総額で 2803 億円に及び、被害の大きかった道央圏を襲った 2 度の大雪とそれに伴う河川の氾濫による昭和 56 年の水害（総被害額：2705 億円），いわゆる「56 水害」を上回る北海道で過去最大規模の被害であったことがわかる。

表 2 昭和 56 年以降の主な豪雨災害の被害¹⁾

災害名	昭和56年 8/3~6	昭和56年 8/21~23	平成4年 8/8~10	平成15年 8/9~10	平成28年 8/16~9/11
原因	前線・台風	前線・台風	台風から変わった 低気圧	前線・台風	台風・低気圧
被災地域	全道	全道	道南・道東	日高・十勝等	全道
被災市町村数	185市町村	198市町村	58市町村	61市町村	集計中
死者	8名	2名	0名	10名 (行方不明1名)	4名 (行方不明2名)
床上浸水	6,115棟	2,850棟	108棟	129棟	273棟
床下浸水	20,948棟	13,479棟	357棟	438棟	989棟
農作物被害(田)	41,060ha	14,206ha	2,889ha	1,383ha	40,258ha
農作物被害(畠)	134,920ha	75,186ha	3,314ha	8,431ha	
土木被害	4,777ヶ所	1,604ヶ所	1,063ヶ所	1,139ヶ所	2,269ヶ所
総被害額	2,705億円	904億円	509億円	1,100億円	道・市町村分1,979億円(10/25現在) 国交省公表分824億円(9/14現在)

※ 圏みは表中で最も被害の大きいことを示す。
いずれの災害も激甚災害（本激）の指定を受けている。

このような状況を踏まえ、（公社）地盤工学会 災害連絡会議では、本災害の社会的重要性に鑑み、地盤工学会 北海道支部を中心とした産・学の地盤工学の専門家からなる「平成 28 年 8 月北海道豪雨による地盤災害調査団」（団長： 石川達也 北海道大学）を編成し、この歴史的な豪雨災害について短期的・中長期的視野をもって全道各地の被災地域の現地調査・資料収集と復旧状況に関する調査を行ってきた。本稿は、当該調査団の災害調査報告書を斜面災害に焦点をあて再構成したものである。本稿では、特に台風 10 号により甚大な被害が発生した国道 274 号日勝峠と国道 38 号狩勝峠の斜面災害について、一連の台風に伴う豪雨による斜面災害の発生要因と発生機構の学術的究明と、それを踏まえた今後の復旧対策や防災・減災対策の研究課題について報告する。

2. 気象概要^{3)~7)}

平成 28 年 8 月に発生した台風第 7 号、第 11 号、第 9 号は、17 日～23 日の一週間のうちに相次いで北海道に上陸した。さらに、その一週間後、台風第 10 号が強い勢力を保ったまま太平洋側から岩手県に上陸し、その影響で 29 日から 31 日にかけて北海道に記録的大雨をもたらした。北海道に 3 つの台風が上陸したこと、また、東北地方太平洋側に台風が上陸したことは、昭和 26 年の統計開始以来で初めてのことであった。特に大きな被害をもたらした台風第 10 号は、北海道に上陸はしなかったものの、長時間にわたって暖かく湿った空気を大量に流入させ、日高山脈の東側で「地形性降雨」を発生させた。これにより、3 日間の積算雨量で、ぬかびら

温泉郷（上士幌町）332mm、上札内 278mm、新得 234mm を観測し、十勝川水系で河川の氾濫や土砂災害を引き起こした。さらに、土石流の発生や盛土の大規模崩壊で甚大な被害が生じた国道 274 号の日勝峠付近では 488mm を観測したほか、国道 38 号の狩勝峠付近で 364mm、国道 236 号の野塚峠付近で 713mm など、各地で観測記録を更新する豪雨となった。

2-1 台風第 7 号^{3), 4)}

図 1 は、8 月 17 日から 30 日までに上陸または接近した台風の進路である。台風第 7 号は 8 月 16 日に暴風域を伴って東北地方太平洋側の海上を温帯低気圧の性質を帯びながら北上し、17 日 17 時頃に襟裳岬付近に上陸して、17 日 21 時には温帯低気圧に変わった。16 日夜から 17 日にかけて、北海道の広い範囲で大雨となった。16 日から 17 日までの総雨量は胆振地方の白老町森野で 234mm、日高地方の浦河町中杵臼で 208mm となり、上川地方の白金、網走地方の留辺蘂、網走地方の置戸、十勝地方の三股で日降水量を更新した。

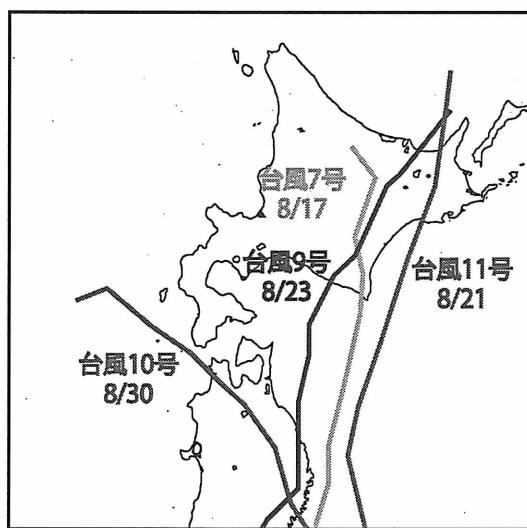


図 1 平成 28 年 8 月北海道豪雨をもたらした 4 つの台風の進路

2-2 台風第 11 号と第 9 号^{3), 5)}

台風第 11 号は、21 日朝に東北地方の太平洋沿岸部に接近し、その後進路を北に変え 21 日 23 時過ぎに釧路市付近に上陸した。台風第 11 号の北上に伴い、停滞していた前線が活発となり、上川地方や空知地方を中心に午前中から集中的に非常に激しい雨が降り、午後には東部に広がった。続けて発生した台風第 9 号は、22 日に千葉県館山市付近に上陸し、その後、速度を早めて北上を続け、23 日 6 時頃に新ひだか町付近に上陸した。台風第 9 号は中心の北西側に特に強い雨雲を伴っており、明け方から朝にかけて特に日高地方や大雪山系周辺で集中的な大雨となった。北海道は 20 日から 23 日にかけ、2 つの台風の接近・通過により、広い範囲で記録的大雨となった。20 日から 23 日までの総雨量は、根室地方の糸樽別で 296mm、羅臼や日高門別で 292mm を観測した。また、日降水量は上川地方を中心に 7 地点で記録を更新した。なお、この影響で、網走地方の常呂川と石狩地方の石狩川下流が氾濫した。

2-3 台風第 10 号^{3), 6)}

台風第 10 号は、30 日 12 時には風速 15 メートル以上の領域を広げて大型となり東北地方に

接近し、18時頃に岩手県大船渡市付近に上陸した。台風はその後も北北西に進み、21時には函館市南西の日本海に抜けて31日0時に温帯低気圧に変わった。北海道では暖かく湿った空気の流入により、29日から太平洋側東部を中心に雨が続き、31日までの総雨量は、特に日高山脈周辺で多く300ミリを超える大雨となった。この影響で、十勝川水系札内川が氾濫し、南富良野町では空知川の堤防が決壊した。日高山脈周辺で大雨となった原因について、松岡⁸⁾は日高山脈に東寄りの暖湿気が長時間吹き続け、発達した雨雲が山脈にぶつかり大雨を降らせる地形性降雨（図2）が卓越したと述べており、図3に示すように局所的に500mm以上の大暴雨となったことを示している。

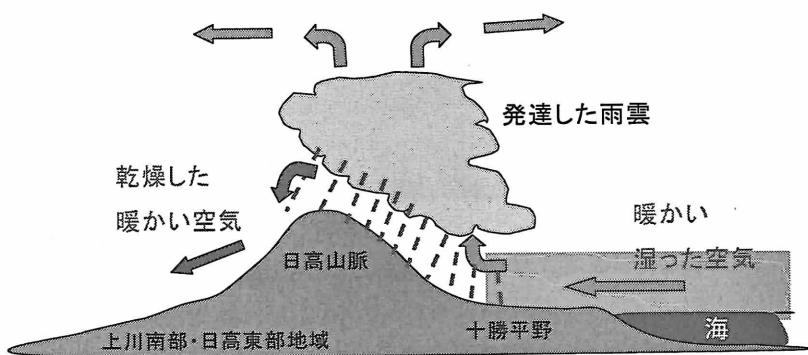


図2 地形性降雨の模式図⁸⁾

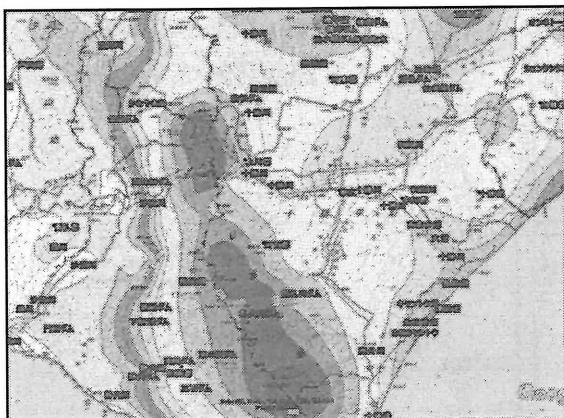


図3 降雨量分布【8月29日1時～31日24時】⁸⁾

図4は、土石流の発生や盛土斜面の大規模崩壊などで甚大な被害が生じた国道274号日勝峠TM（テレメータ）で観測された降水量である。台風第10号では、時間雨量で最大55mm、積算雨量で488mmを観測した。この積算雨量は、図5に示すように日勝峠TMでの観測開始以来最大で、2006年に観測された履歴2位との比較で2倍以上に相当している。なお、今回の4つ台風による総雨量は、8月16日～31日までの約2週間で929mmとなり、これは日勝峠TMの年間総雨量の平年値と比較すると73%に相当する。また、1月1日～8月31日までの総雨量は1,757mmで、8月31日の時点で過去15年間の年間総雨量を更新した。

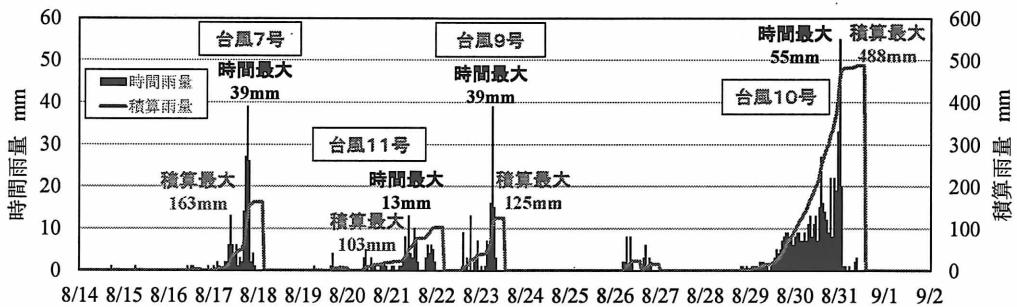


図4 国道274号（日勝峠TM）における降雨量の推移【8月16日～31日】

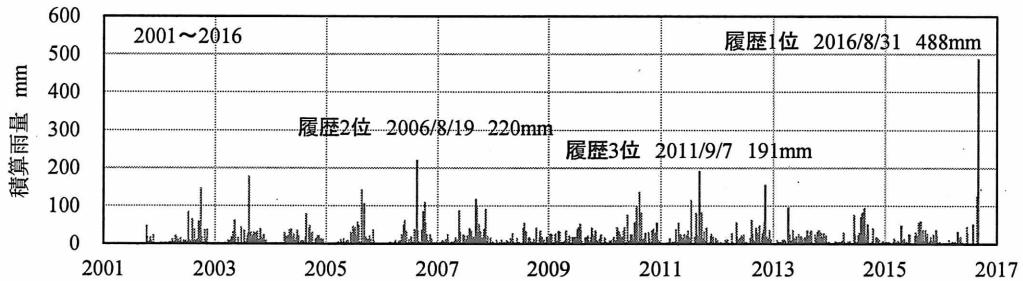


図5 国道274号（日勝峠TM）の降雨履歴【2001～2016】

図6は、同じく地形性降雨により大雨となった国道236号野塚峠TMの降水量である。野塚峠付近では、台風第10号によって日勝峠を超える積算雨量713mmが観測されている。しかし、この付近では大規模な被害は報告されていない。図7に示すように、野塚峠付近では履歴2位との比較から過去に同規模の雨量を受けた経験があり、日勝峠よりも雨に対する耐性が高かつたことが理由として考えられる。

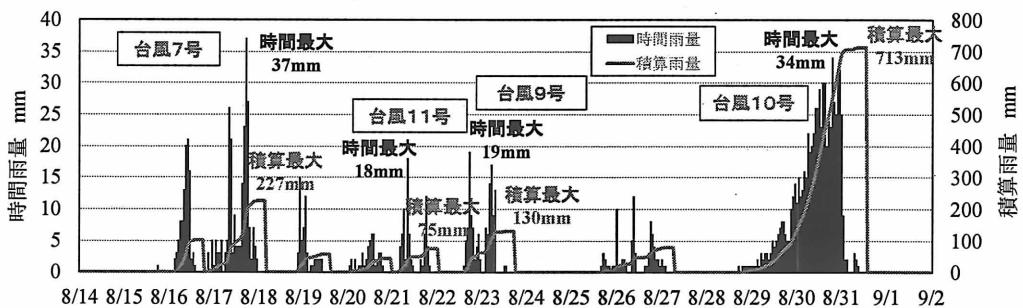


図6 国道236号（野塚峠TM）における降雨量の推移【8月16日～31日】

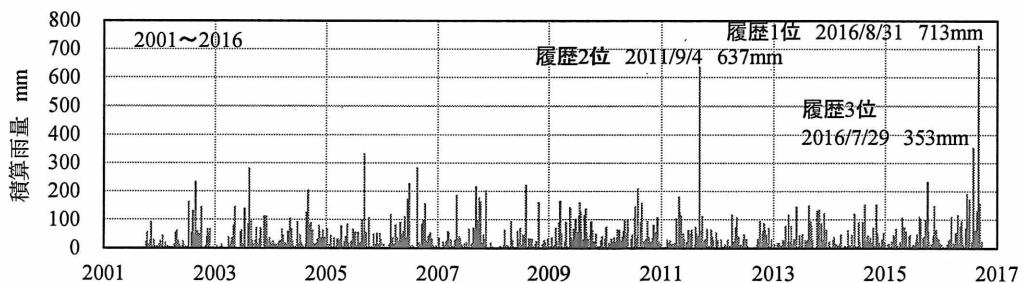


図7 国道236号（野塚峠TM）の降雨履歴【2001～2016】

3. 国道の被害

3-1 国道 274 号、国道 38 号の被害概要

平成 28 年 8 月 17 日～23 日の 1 週間に 3 個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や地盤災害が発生した。また、8 月 29 日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第 10 号が北海道に接近し、日勝峠周辺では、8 月 30 日 23:00～0:00 には、時間雨量 55 mm 記録する猛烈な雨となり、降り始めからの積算降水量は観測史上 1 位となる 488 mm を記録し、8 月 29 日 1 時～31 日 24 時には狩勝峠周辺で 512 mm となる局的に非常に激しい豪雨となつた。**図 8** は、30 日 10:00, 14:00, 31 日 0:00 のレーダー降水分布図である⁹⁾。日高山脈の東側から大雪山系の南側にかけて、特に、日勝峠周辺で、時間雨量 50 mm を超える豪雨が長時間にわたり発生していることが分かる。これは、**図 9** に示すように、台風第 10 号によってもたらされた東寄りの暖かい気流が日高山脈にぶつかり、地形性降雨が卓越したために生じたと考えられる¹⁰⁾。また、7 合目（標高 755m）以上の標高で豪雨となったのに対して、山麓部ではほとんど降雨がなかったことが特徴的である。すなわち、この特徴的な地形性降雨によって、標高が高いところでは至る所で斜面崩壊をもたらし、標高が低いところでは河川増水に起因する地盤の侵食や洗掘が生じることになったと考えられる。

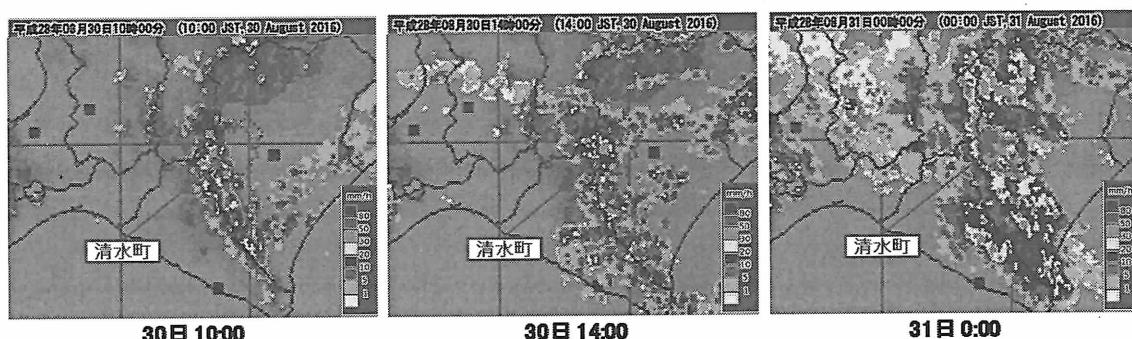


図 8 8 月 30 日～31 日のレーダー降水分布⁹⁾

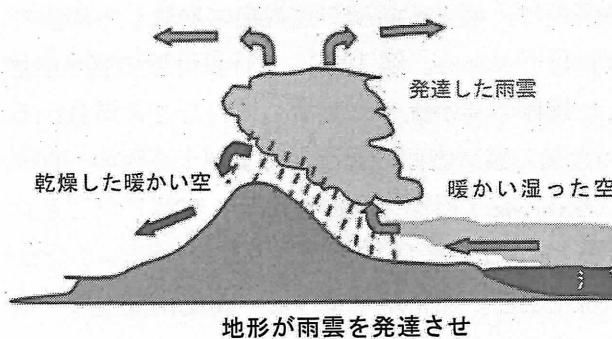


図 9 地形性降雨の発生メカニズム¹⁰⁾

図 10 に、国道 274 号日高町千栄～清水町清水間（42.9 km）の被災箇所を示す⁹⁾。当該区間ににおける被災は、落橋などの橋梁損傷箇所が 10 ヶ所、覆道損壊箇所が 3 カ所、道路本体が大き

く欠損した箇所が 6ヶ所、切土・盛土崩壊箇所が 47か所であり、合計 66ヶ所が被災した。当該区間の地形・地質の特徴は、北海道の背骨にあたる日高山脈を横断している地形であること、日高町側には日高変成帯に属する変成岩・深成岩と日高帯および空知・エゾ帯に属する非変成の砂岩・泥岩が分布していること、日高山脈の山頂付近から清水側が日高帯の堆積岩類を貫く花崗岩類からなっており、浅部は風化によりまさ化が進行していること、また、風化花崗岩類の上位には、凍結破碎、凍結融解、ソリフラクションにより形成された周氷河斜面堆積物が覆つておる、角礫混じり土砂が分布していることなどである。一方、国道 38号の主な被害は、狩勝峠（8/30 通行止め区間=19.3 km）の盛土崩壊、南富良野町市街地～落合（8/30 通行止め区間=12 km）における太平橋の橋台背面侵食・洗掘・流失、小林橋・清見橋（8/30 通行止め区間=5.1 km）の橋脚基礎、橋台背面洗掘、流失および落橋、芽室橋・元村橋（8/30 通行止め区間=5.1 km）の橋台背面洗掘、流失などであった。国道 38号狩勝峠の地質は、日勝峠と同様、日高帯の堆積岩類を貫く花崗岩類からなっており、浅部は風化によりまさ化が進行している。

次節では、国道 274号日勝峠に至る十勝側と日高側、および国道 38号狩勝峠の地盤災害とその要因について地盤工学的な側面から検討する。



図 10 国道 274 号日勝峠（日高町千栄～清水町清水間（42.9 km））の被災箇所⁹⁾

3-2 国道 274 号日勝峠に至る十勝側の地盤災害

調査は、平成 28 年 9 月 23 日に実施した。図 11 に、国道 274 号日勝峠（十勝側）の調査箇所位置図を示す。調査箇所は、盛土や斜面が大規模に崩壊した箇所であり、7 合目付近および日勝トンネル十勝側坑口付近である。図 12 に、7 合目付近の盛土崩壊状況を示す。本箇所は道路曲線が大きく崩壊し、道路本体が大きく欠損していることが分かる。本箇所は、より標高が高い 8 合目方向からの大量の舗装表面の表流水および土石流の一部が流下して、道路線形が直線から曲線に変化する地点の盛土斜面の肩部を侵食・洗掘したことにより、大規模な崩壊が発生したと考えられる。図 13 には、図 12 の標高より高い位置の 7 合目付近（石山トンネル付近）で発生した土石流の状況である。図に示すように、路面には土砂・石・樹木が堆積しており、土石流を構成する土は、風化花崗岩が細粒化したまさ土である。

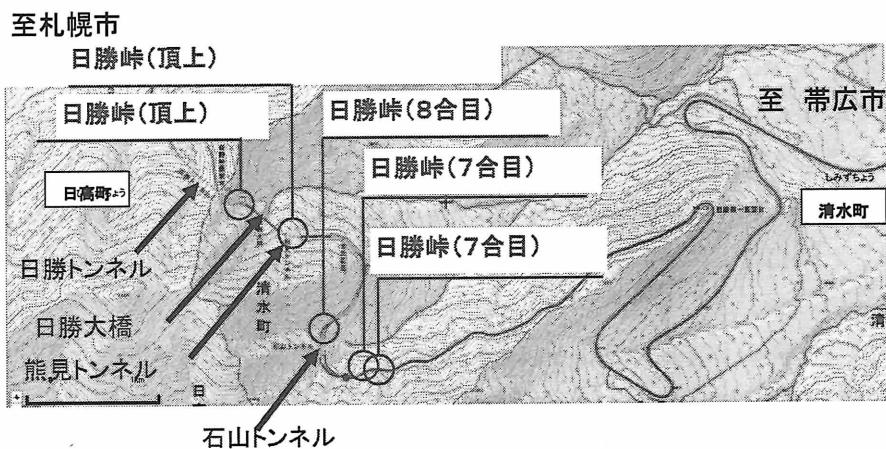
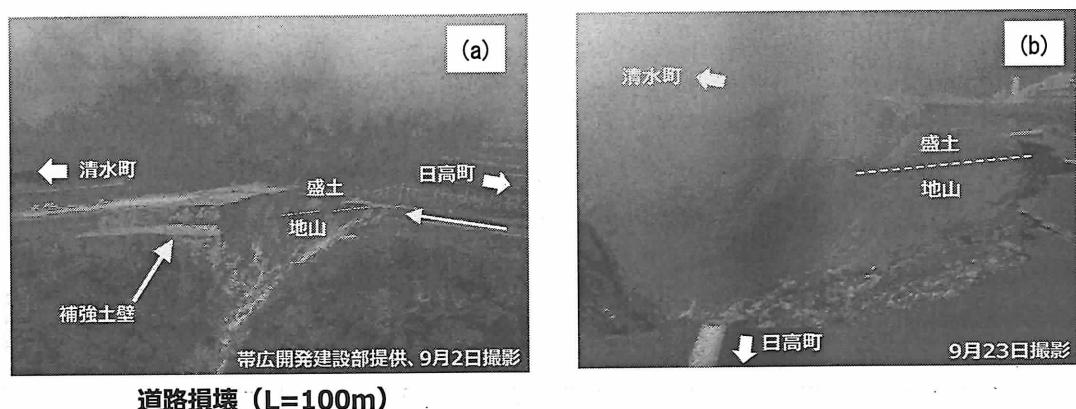


図 11 国道 274 号日勝峠（十勝側）の調査箇所位置図



道路損壊 ($L=100m$)

図 12 十勝側 7 合目付近の盛土崩壊 : (a) 崩壊状況全景 (b) 崩壊状況

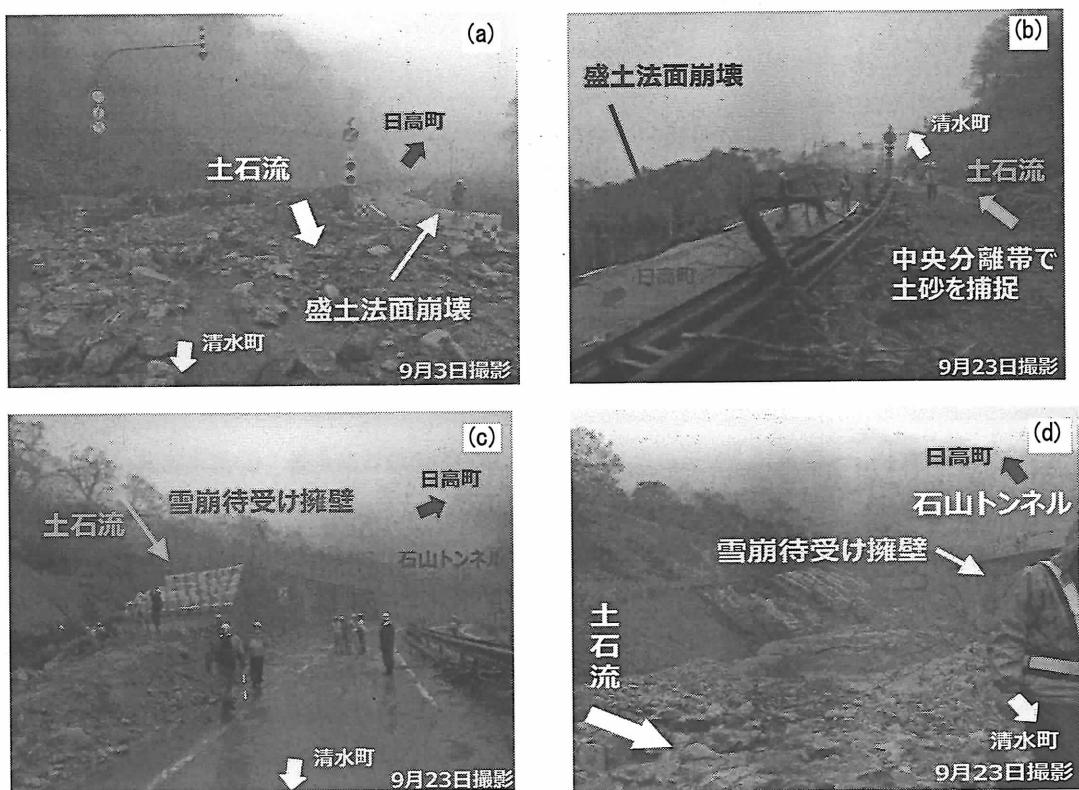


図 13 十勝側 7 合目付近の土石流発生状況

図 14, 図 15 は、それぞれ十勝側 8 合目付近および頂上付近の土石流発生状況およびそれに伴う盛土崩壊の状況を示している。両箇所においても、7 合目付近の土石流と同様に、構成土質は風化花崗岩が細粒化したまさ土であった。また、路面には土砂・石・樹木が堆積していたことから、多量の水を含む土石流が流下して、盛土肩部を侵食・洗掘したことにより盛土崩壊が発生したと考えられる。国道 274 号日勝峠に至る十勝側の地盤災害の特徴は、7 合目以上で豪雨が発生し、風化花崗岩が細粒化したまさ土で構成される地盤に大量の雨水が浸入し脆弱になり、沢部で土石流が発生するとともに、舗装表流水と一体化して道路表面を流下、道路線形が変化する地点に集中して集まることにより、盛土の路肩部を侵食・洗掘したこと、また、道路下の横断管や縦断管に多量の土砂や流木が侵入し、閉塞することにより排水機能が低下して管周辺がさらに侵食し、盛土崩壊に到ったと考えられる。



図 14 十勝側 8 合目付近の土石流発生状況：(a)崩壊状況全景 (b)崩壊状況

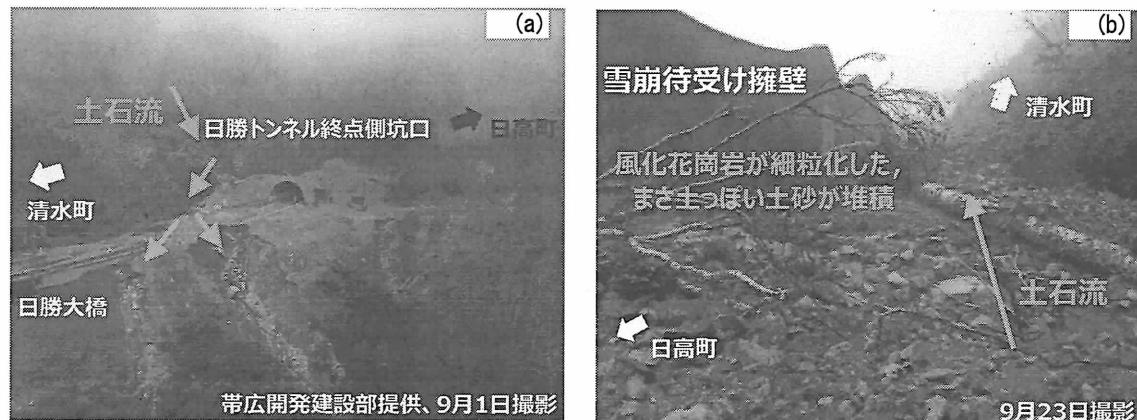


図 15 十勝側頂上付近の土石流発生状況：(a)崩壊状況全景 (b)崩壊状況

3-3 国道 274 号日勝峠に至る日高側の地盤災害

国道 274 号日勝峠日高側の地盤灾害は、山麓部では河川増水による橋梁基礎の洗掘や道路本体の欠損、切土や盛土の崩壊などが特徴的である。図 16 に、国道 274 号日勝峠（日高側）の調査箇所を示す。大規模被災箇所として、三国の沢シェルター（図 10 中の No.29, 以下同様）、7~9 合目（No.16~28）、清瀬覆道（No.10）および千呂露橋（No.1）などが挙げられる。

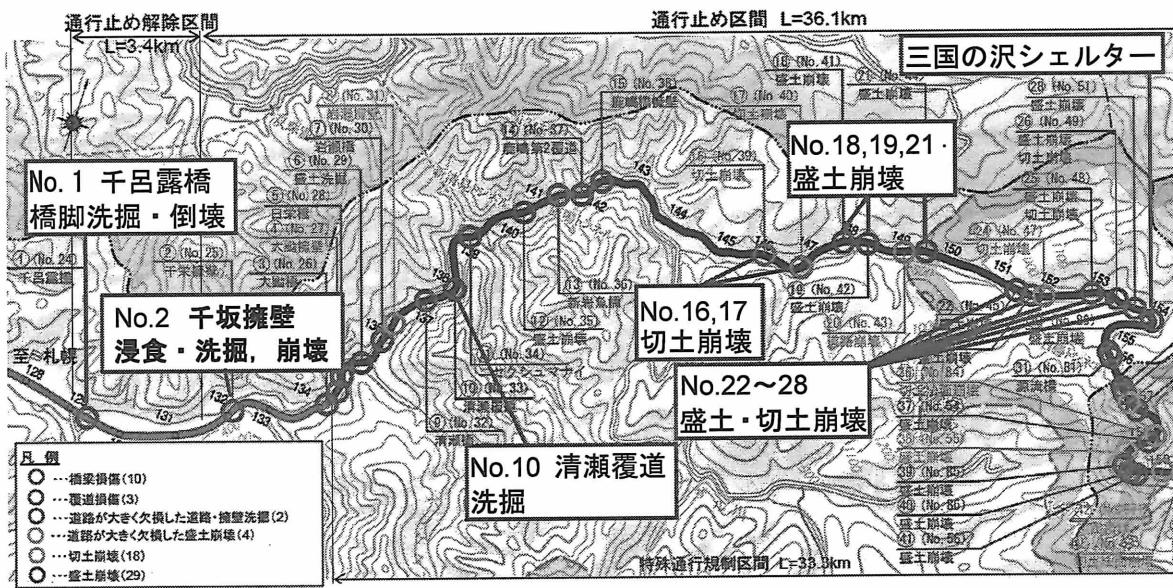


図 16 国道 274 号日勝峠（日高側）の調査箇所位置図

図 17 は、三国の沢シェルターの盛土崩壊状況である。本箇所は、沢埋め盛土に設置されたシェルターであり、盛土内部に横断管が埋設されていた。豪雨により河川が急激に増水したことにより、多量の土砂や流木が流下して横断管を閉塞し、行き場を失った流水により管周辺部が侵食・洗掘され、路体が崩壊したと考えられる。図 18 は、三国の沢シェルターの盛土崩壊箇所の帶広側の地層状況である。表土の下部に、樽前 d 降下火碎堆積物 (Ta-d) が堆積し、その下部には周氷河性斜面堆積物が堆積している箇所や花崗岩の岩盤上に花崗岩が風化してまさ化した地層などが確認された。図 19 は、No.27 の盛土崩壊状況を示す。図 20 に示すように、盛土箇所は傾斜地盤上に構築されており、道路表面に発生した大量の表流水により路肩部が侵食・洗掘されるとともに、地山と盛土の境界部を水みちとして盛土内に地下水が浸透することで間隙水圧が上昇し、せん断強度が低下して崩壊に至ったと考えられる。一方、図 21 に示す No.25 の切土崩壊箇所は、斜面上の地盤が不均質な土質で水みちができやすい条件であったこと、斜面背後地は小規模で浅い集水地形となっており表流水が集中し易い箇所であったこと、また、小段排水や法頭の排水に多量の水が流入したことで越流し法面を侵食・洗掘したことなどが要因となって崩壊に到ったと考えられる。

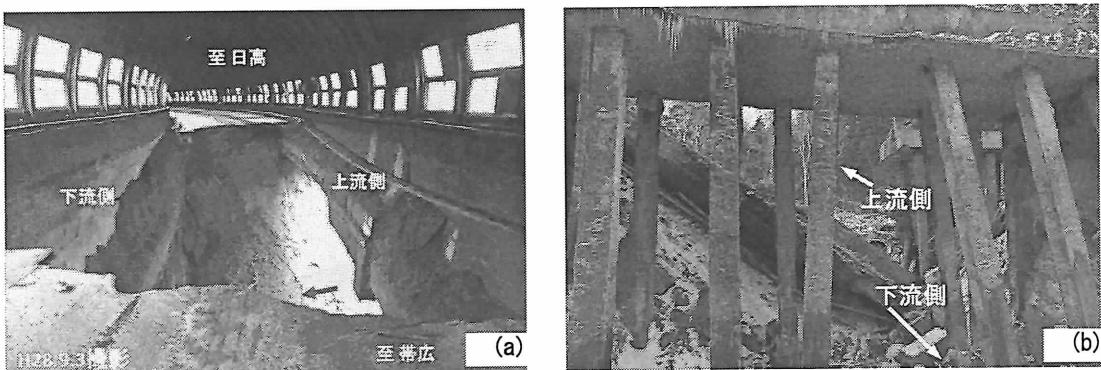


図 17 国道 274 号三国の沢シェルター崩壊状況⁹⁾: (a)崩壊状況 (b)下流側からの崩壊状況

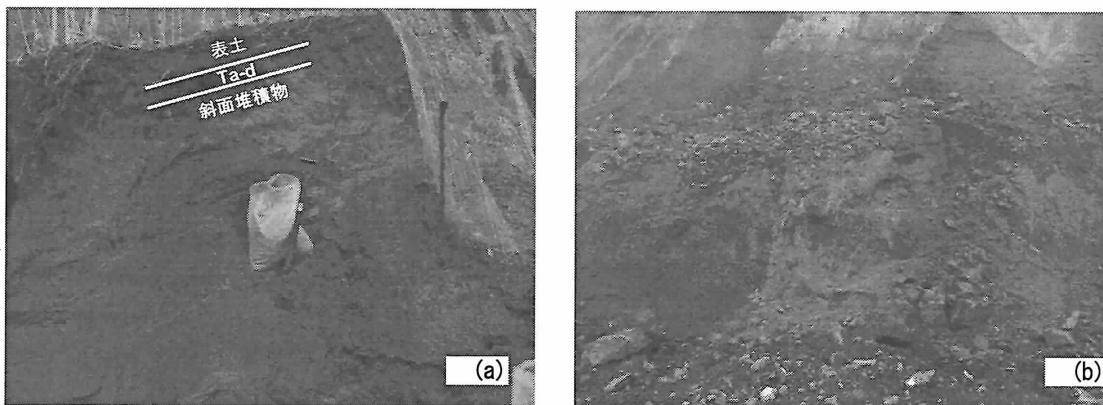


図 18 国道 274 号三国の沢シェルター付近 : (a)地層状況 (b)岩盤直上のまさかした土



図 19 No.27 付近の盛土崩壊状況 : (a)山側沢部の状況 (b)盛土崩壊状況 (c)崩壊断面 (d)盛土崩壊状況

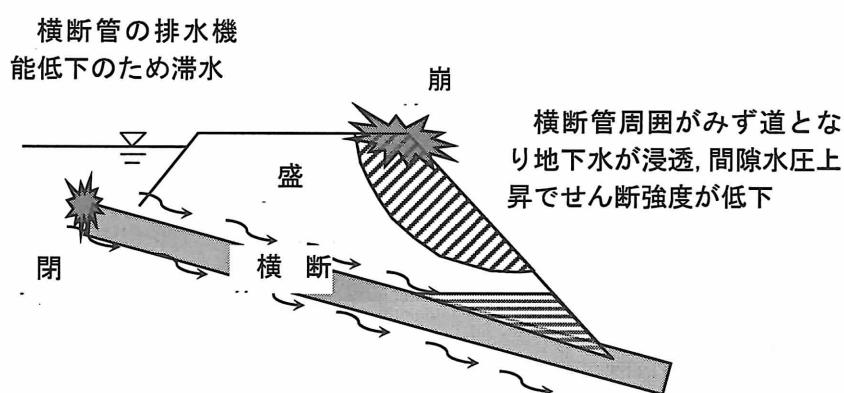


図 20 盛土の崩壊要因

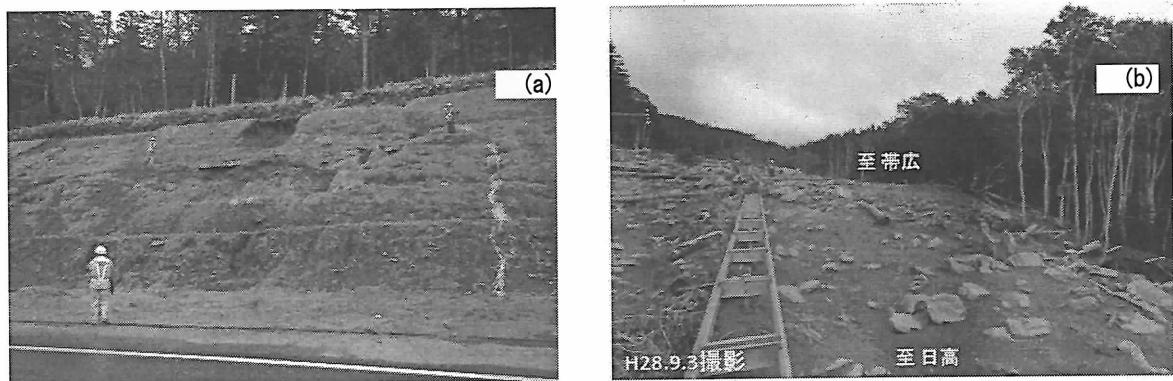


図 21 (a)No.25 付近の切土崩壊状況 (b)No.22 付近の盛土崩壊状況

日高側 7 合目付近より標高が低い箇所では、河川の増水により、河川近接部の道路盛土が侵食・洗掘され崩壊に到るケースや橋梁の橋脚基礎あるいは橋台背面が侵食・洗掘され崩壊に到るケースが多く見られた。図 22 は、No.20 の盛土崩壊状況である。図(b)に示すように、河川増水により盛土下部が侵食・洗掘され、道路本体が大きく欠損しているのが分かる。図 23 は清瀬覆道 (No.10) の基礎洗掘状況、図 24 は千坂擁壁 (No.2) の洗掘による崩壊状況、図 25 は千呂露橋 (No.1) の落橋状況を、それぞれ示す。これらの箇所では、河川の急激な増水により、水衝部が擁壁や橋台の背面盛土を侵食あるいは橋脚基礎部分を洗掘し、崩壊に到ったと考えられる状況が示されている。

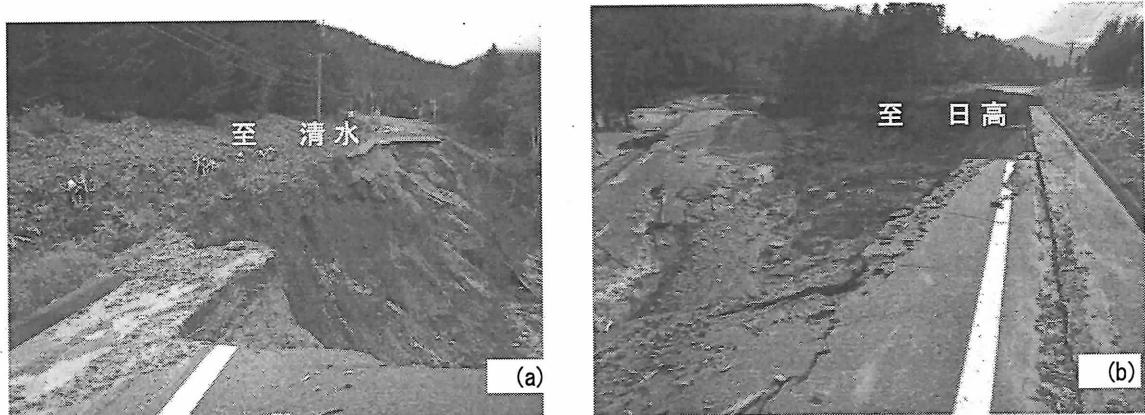


図 22 No.20 の盛土崩壊状況^⑨: (a)盛土崩壊状況近景 (b)盛土崩壊状況遠景

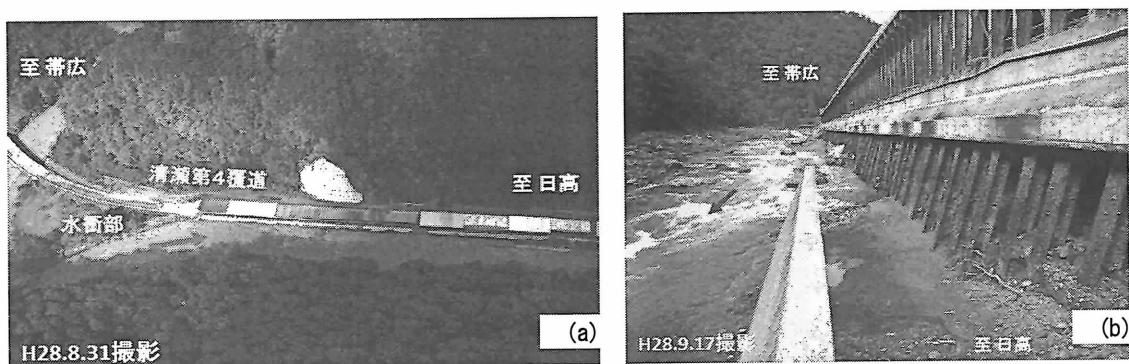


図 23 No.10 清瀬覆道の基礎洗掘状況^⑨: (a)全景 (b)基礎洗掘状況

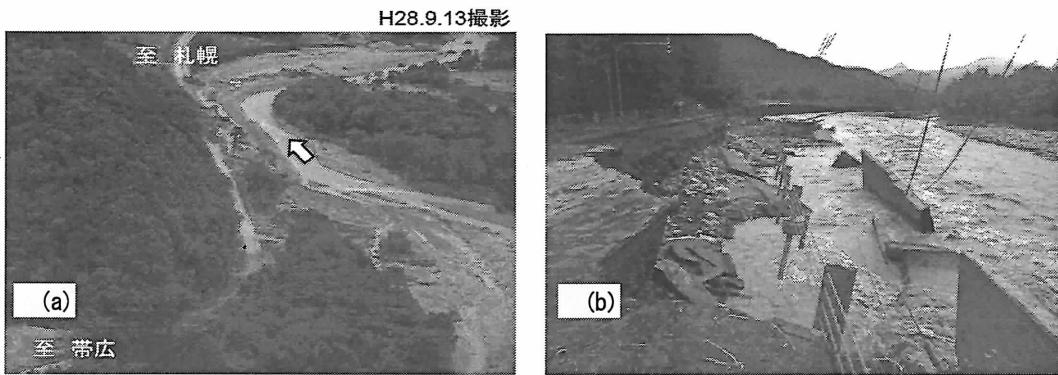


図 24 No.2 千坂擁壁の洗掘による崩壊状況⁹⁾：(a)崩壊状況全景 (b)崩壊状況

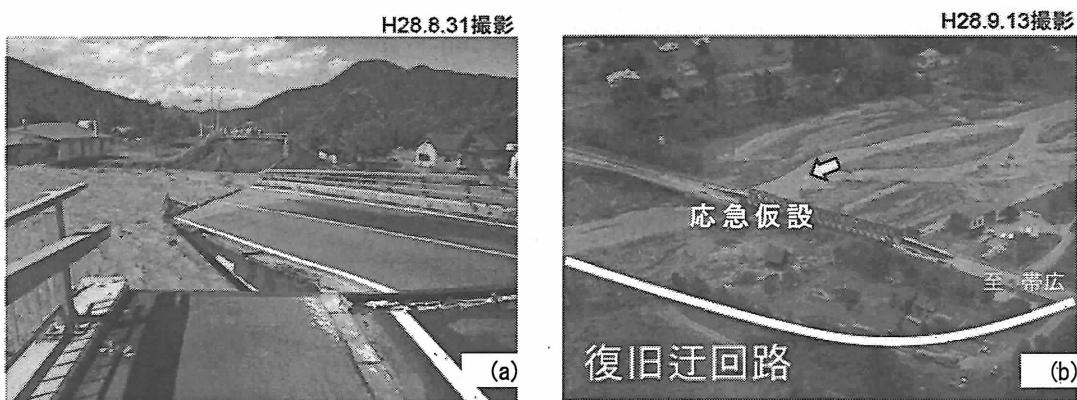


図 25 No.1 千呂露橋の落橋状況⁹⁾：(a)落橋状況 (b)応急仮設橋設置状況

3-4 国道 38 号狩勝峠の地盤災害

調査は、平成 28 年 9 月 24 日に実施した。図 26 に国道 38 号狩勝峠の調査箇所を示す。図 27～図 29 に調査箇所の盛土崩壊状況を示す。これらの状況から判断して、本箇所では風化花崗岩が細粒化したまさ土で構成される地盤に豪雨による大量の雨水が浸入して地盤が脆弱になり、地下水の流量が急激に増加、道路下の横断管や縦断管に多量の土砂や流木が侵入し閉塞することにより排水機能が低下して管周辺の地盤が侵食され、また、崩壊斜面がまさ土であるためガリ侵食なども発生し、大規模な盛土崩壊に到ったと考えられる。図 29(b)は応急復旧状況を示しているが、現地でのヒアリングによれば、当時、通行規制が行われている状況下で、入手できる応急資材としては路盤材に用いられる粒度調整碎石のみであったため、取り急ぎ、仮設の押え盛土として利用したことであった。



図 26 国道 38 号狩勝峠 調査箇所

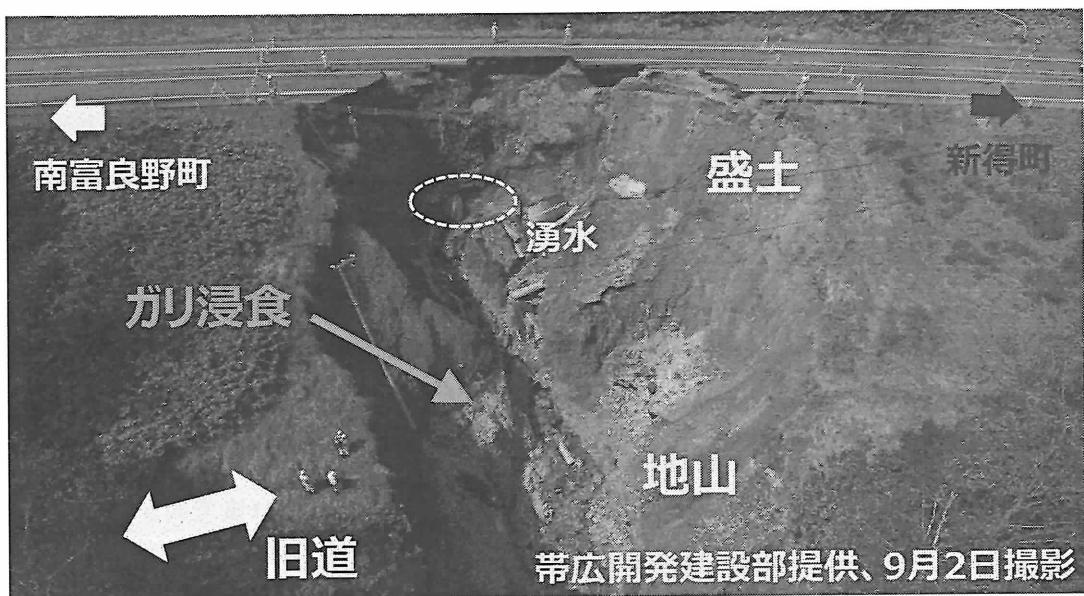


図 27 国道 38 号狩勝峠 盛土崩壊状況



図 28 国道 38 号狩勝峠 盛土崩壊状況の近影

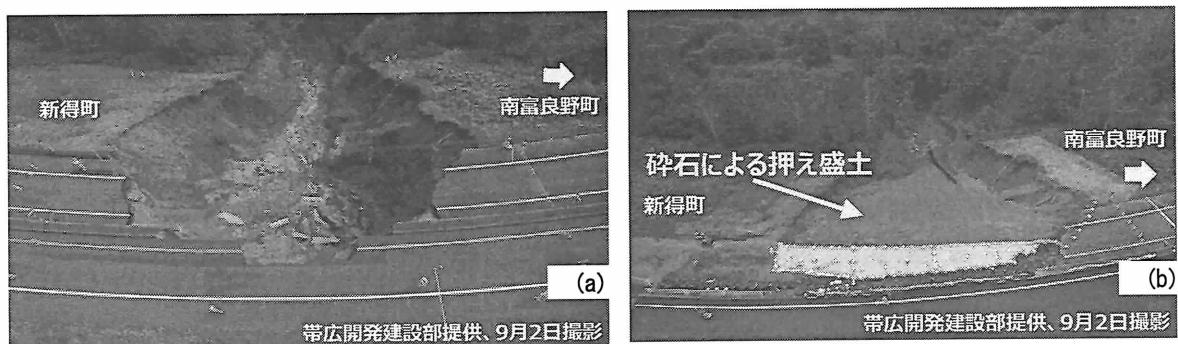


図 29 盛土崩壊状況：(a)山側から俯瞰 (b)応急復旧状況

3-5 国道 274 号日勝峠、国道 38 号狩勝峠の地盤災害要因と今後の課題

国道 274 号において、日勝峠を含む日高町千栄～清水町清水間（42.9km）で発生した地盤災害の特徴は、7 合目以上の高地で豪雨が発生し、風化花崗岩が細粒化したまさ土で構成される地盤に大量の雨水が浸入し脆弱になり、沢部で土石流が発生するとともに、舗装表流水と一体化して道路表面を流下、道路線形が変化する地点に集中して集まることにより、盛土の路肩部を侵食・洗掘したこと、また、道路下の横断管や縦断管に多量の土砂や流木が侵入し、閉塞することにより排水機能が低下して管周辺がさらに侵食し、盛土崩壊に到ったと考えられる。この崩壊メカニズムは、国道 38 号狩勝峠の大規模な盛土崩壊でも同様であったと考えられる。一方、国道 274 号や国道 38 号の標高が低い地域では、河川の増水により、河川近接部の道路や橋梁の橋脚基礎あるいは橋台背面が侵食・洗掘され、崩壊に到ったと考えられる。

今回の災害は、過去 20 年間で観測史上最大の降雨に起因していることは明らかである。したがって、該当区間では、降雨量が比較的少なかったこともあり、これまで大きな災害に見舞われることもなかったと考えられる。また、横断管や縦断管などの排水工の設計条件は、過去の降雨量をベースにすることが基本であるので、自ずと対応可能な排水能力が限定される。今後の課題として、最近の気候変動に起因していると考えられる、これまで経験したことのないような降雨が発生した場合でも対応可能なように降雨量に対する設計条件を引き上げる必要性があることを示唆しているのではないだろうか。すなわち、気候変動に伴う潜在的な地盤災害リスクに対して、土構造物の設計施工・維持管理方法の改定等を視野に入れて種々の検討を行う時期にきていると思われる。

3-6 国道 274 号日勝峠と国道 38 号狩勝峠周辺の地盤工学的特徴

この周辺では、例えば平成 11 年 6 月、平成 26 年 8 月の広島豪雨¹¹⁾や平成 29 年 7 月に発生した九州北部豪雨の朝倉地区の土砂災害¹²⁾と同様、花崗岩およびその風化花崗岩が分布する地域に被害が発生した。**図 30** は、全国に分布する花崗岩と風化花崗岩（まさ土）の分布域¹³⁾を示したものである。北海道では、中央部に位置する日高山脈や道北地方、道南地方の一部に花崗岩と風化花崗岩（まさ土）が分布していることがわかる。北海道では、このような花崗岩が分布する地域における大規模な土砂災害は報告されていない。そのため、今回のような記録的な豪雨が発生すると、同じ基盤を持つ他地域においても同様の土砂災害が発生する可能性があると言える。このエリアの岩体は日勝峠岩体と呼ばれ、狩勝峠付近から日勝峠を経て日高山脈から東に派生する剣山まで東西約 5km、南北約 35km にわたって細長く分布するとされており、主に黒雲母を含む中粒・塊状の花崗岩からなると言われている¹⁴⁾。また、この周辺では周氷河地形の麓層面¹⁵⁾も確認されており、周氷河性斜面堆積物および風化花崗岩（まさ土）が地質学的な特徴として挙げられる。以下では、この日勝峠、狩勝峠が上記の岩体から構成されていることから、日勝峠における現地調査ならびにその周辺で採取した試料について室内試験結果を行ったのでそれを報告する。**図 31** に現地調査地点を示す。

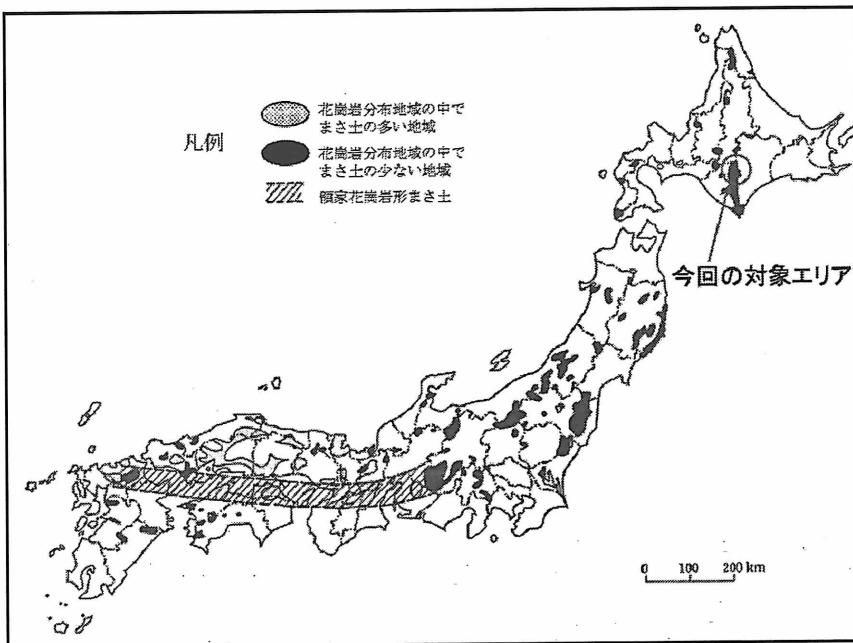


図 30 風化残積土の分布（花崗岩とまさ土）¹³⁾に加筆



図 31 国道 274 号日勝峠における主な調査地点 (Google Map に加筆)

以下では、日勝峠（清水町側）の 7 合目、8 合目と頂上付近の土石流氾濫域から採取した土試料と日高町側 9 合目と 6~7 合目付近で採取した風化花崗岩と風化片麻岩の試料の物理・力学特性についてはじめに報告^{16)~18)}する。図 32 は清水町側の 7 合目、8 合目、頂上付近の土石流氾濫域から採取した各試料の粒径加積曲線を比較して示したものである。図より、8 合目付近の土試料以外は、平成 26 年 8 月と平成 11 年 6 月の広島豪雨で流出したまさ土と比べ、粒径が大きく、粗粒分が多いことが明らかである。また、同試料の土粒子密度 ($\rho_s=2.65\sim2.67\text{g/cm}^3$) および採取時の含水比 (5.7~6.3%) は通常の砂のそれに近いことも確認¹⁶⁾されている。一方、佐藤ら¹⁹⁾は崩壊のあった盛土周辺の土質材料の物理・力学特性を調査し、その特徴を明らかにしている。なお、土石流に伴って他の斜面堆積物等を巻き込みながら流下した可能性もある¹⁸⁾ことから、崩壊素因の評価については詳細な検討が必要である。

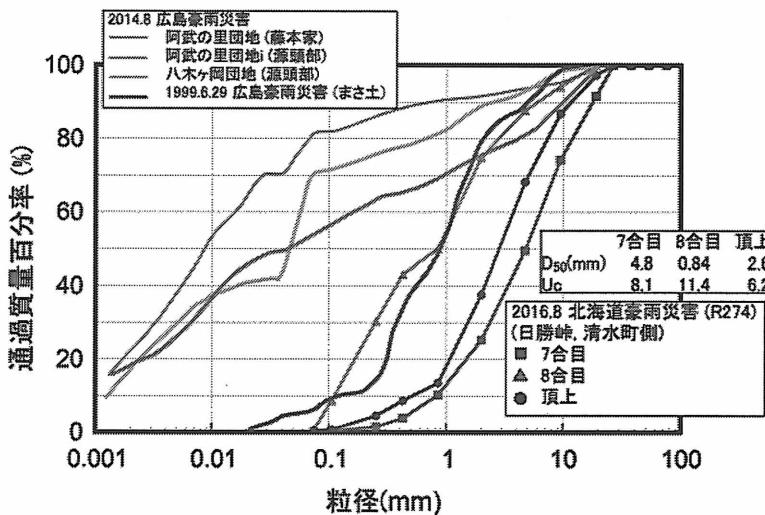


図 32 清水町側 7 合目, 8 合目, 頂上付近から採取した各試料の粒径加積曲線

次に、日勝岬（日高町側）の 9 合目から採取した花崗岩の風化の程度を把握するために、ロックハンマーで採取した岩塊、土塊から肉眼的観察による評価とそれらの土質材料の基本的な物性評価を行った。また、9 合目周辺では周氷河性斜面堆積物と風化花崗岩（まさ土）が露頭部で確認できたことから、それらの力学特性と併せて報告する。図 33 は日勝岬（日高側）9 合目付近の露頭部の硬さを、山中式硬度計を用いて調べたものである。図より、調査箇所（3 箇所 No.1～No.3）によって、原位置の硬度に差が現れていることが明らかである。なお、得られた結果は岩体表面の値である。深度方向に対して風化の程度を評価することはできないが、このように同一箇所で風化度に違いがあることは興味深い。

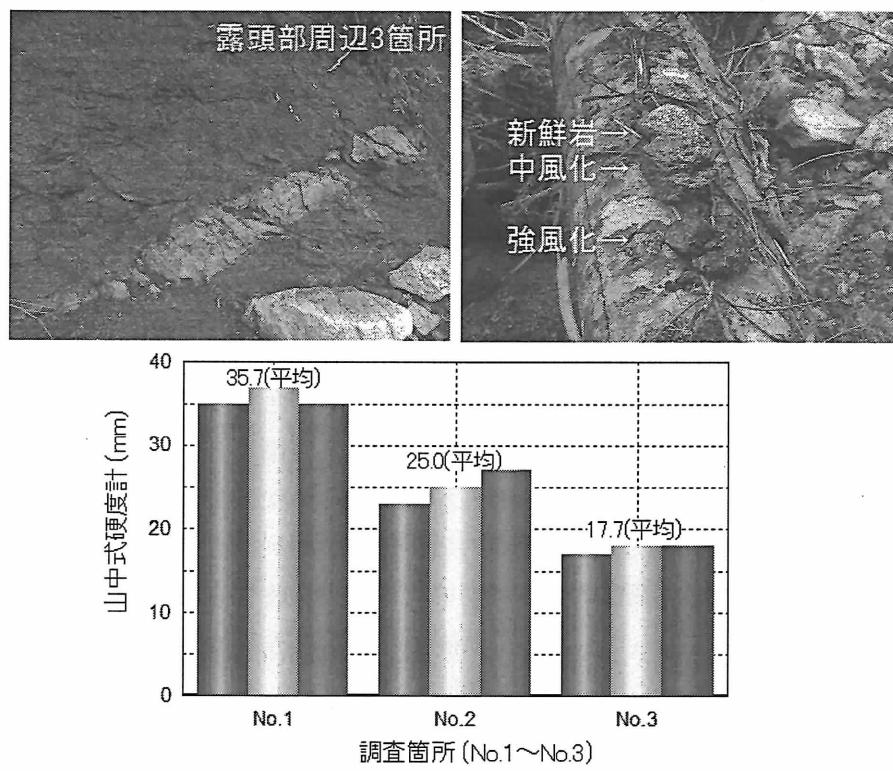
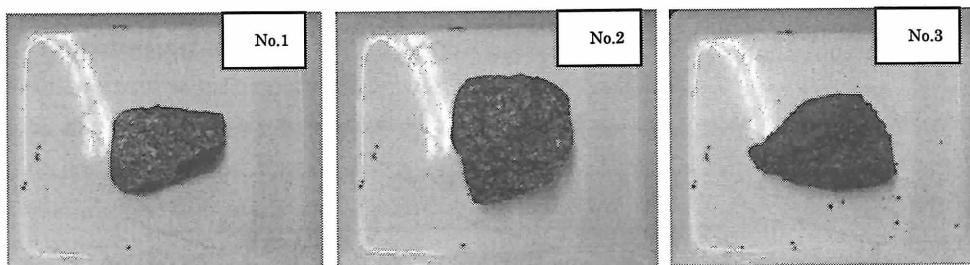


図 33 日高町側 9 合目付近の露頭部（3 箇所）の硬度

表 3 肉眼観察による風化度の評価



岩石	No.1(花崗岩)	No.2(花崗岩)	No.3(花崗岩、まさ土化)
風化度	1	2	5
色調	白灰色	白灰色	淡赤褐色
表面の状態	非常に滑らか	滑らか	非常に粗い
打診	割れにくい	割れにくい	容易に崩れる
塊の形状	塊状	塊状	整形可能(かなり粒状)

表 3 は、図 33 に対応した風化花崗岩 (No. 1 ~ No.3) の肉眼的観察による風化度 (1~6 段階評価) を示したものである。なお、この数字が大きくなれば風化度が高いことを示している。表に示す色調や打診の評価からわかるように、風化が進むにつれて、色調は白灰色から赤褐色に変化し、また、試料は塊状であるものの、指で容易にくずれるものが存在することが明らかにされた。なお、8 合目、6~7 合目から採取した試料¹⁶⁾についても同様のことが確認されている。この周辺 (9 合目付近) の堆積している周氷河性斜面堆積物とその下部に存在する風化花崗岩 (まさ土) の露頭部の状況 (図 34) および粒径加積曲線を図 35 に示す。図より、風化花崗岩 (まさ土) よりも周氷河性斜面堆積物の粒径が小さい (細かい) ことが確認される。これは凍結融解履歴や堆積過程などの周氷河作用の有無によって相違が現れたものと考えられる。



図 34 周氷河性斜面堆積物と風化花崗岩 (まさ土) の露頭部の状況 (9 合目)

次に、このような土質工学的特徴の違いが力学挙動にどの程度の影響を及ぼしているかを調べてみた。図 36 は、周氷河性斜面堆積物と風化残積土の圧密排水 (CD) 試験結果から整理したモールの応力円を示したものである。CD 試験における有効拘束圧は $\sigma'_c=49\text{kPa}$, 98kPa , 196kPa であり、せん断速度は $0.25\%/\text{min}$ である。各供試体は多重ふるい落下法 (MSP 法) により作製されており、圧密後の相対密度 D_{rc} はそれぞれ $78\% \sim 82\%$, $91 \sim 103\%$ であった。両

図より、風化残積土（まさ土） c_a と ϕ_a は6kPaと38.0(deg.)、周氷河性堆積物のそれは9kPaと37.5(deg.)となった。このことから、相対密度に相違はあるものの、せん断強度定数に顕著な変化はないことが明らかにされた。一方、乱さない状態では、セメントーションの影響によって、せん断強度に相違が現れている可能性がある。今後の調査は必要であると考える。

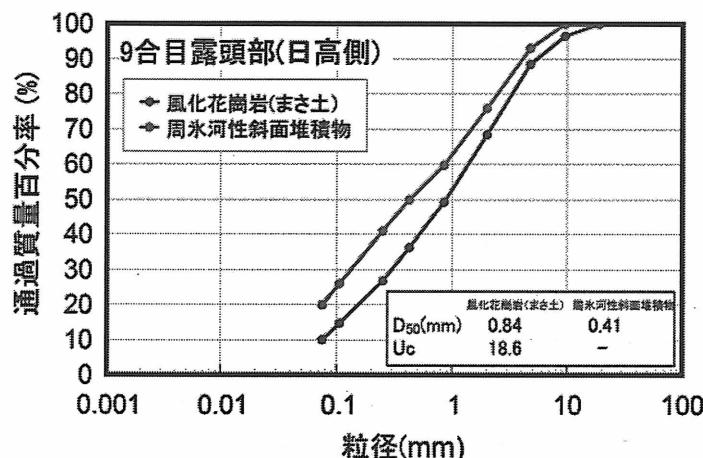


図 35 周氷河性斜面堆積物と風化花崗岩（まさ土）の粒径加積曲線

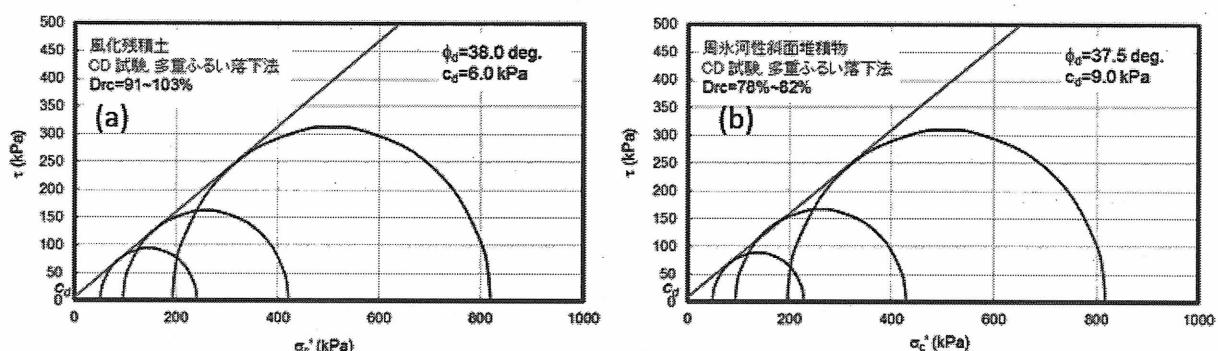


図 36 周氷河性斜面堆積物と風化残積土の圧密排水（CD）試験結果

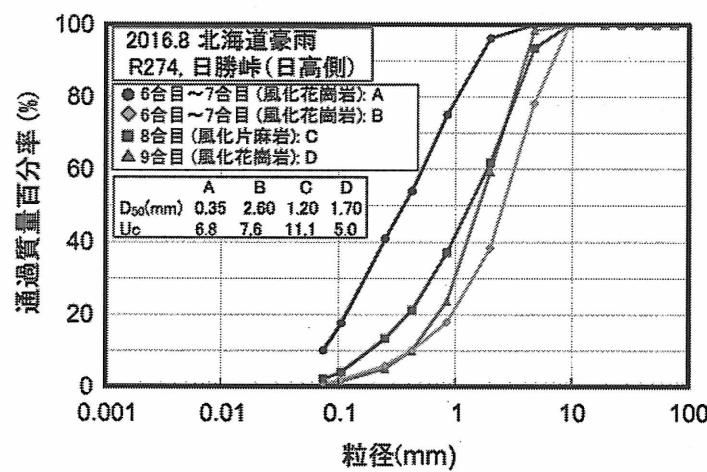


図 37 日高町側 6 合目～9 合目から採取した試料（A～D）の粒径加積曲線

図 37 は、風化が進行した日高町側 6 合目～9 合目までの採取した試料（A～D）の粒径加積曲線を示したものである。清水町側の土石流氾濫域のものと同様、試料はかなり粗粒分を含む

ものの、若干細粒化が進行していることがわかる。特に、6~7合目付近の試料Aは細粒分を約10%含んでいた。強熱減量試験と土粒子の密度試験の結果を表4に示す。AとBおよびDの比較では、風化度の違いによって強熱減量の値にも差が現れている。前述と同様、特にAの試料はかなり風化が進行していると言える。

表4 日高町側 6合目~9合目から採取した試料(A~D)の示標特性

	A	B	C	D
採取時の含水比(%)	15.97	6.81	5.83	4.93
土粒子の密度(g/cm ³)	2.75	2.64	2.61	2.66
強熱減量(%)	3.06	3.08	2.13	2.67

以上のことから、調査の範囲では、同一箇所においても風化の程度に違いがあることが確認された。また、この周辺の風化花崗岩(まさ土)は、広島豪雨で被災した土試料より粗粒で粘着性が低い土試料であると推測できる。前述のように、凍結・融解履歴等の気象条件などの地域性が影響していることから、乱さない試料に対する詳細な地盤工学的な検討が必要になると考える。特に、強度や透水性は斜面・地盤の安定性を議論する上で重要な情報になることから、今後の解明が急務であると言える。

3-7 その他の国道の被害(国道236号野塚峠)

一般国道236号野塚峠では、広尾町上トヨイ基線から浦河町上杵臼(KP84.3km~KP112.1km)までの27.8km区間の4箇所で盛土のり面崩壊、表層崩壊、橋台盛土の河川侵食の災害が発生した(図38)。国道は8月31日から9月2日まで通行止めとなつた。8月28日~31日にかけての連続雨量は野塚峠テレメータで713mm、時間最大雨量は34mm/hであった。



図38 国道236号野塚峠の災害位置図(国土地理院地理院地図に災害位置を追記して掲載)

(1) KP93.5km の盛土のり面の崩壊

沢出口にある盛土のり面が延長約 28m、高さ約 3m にわたり崩壊した（図 39）。路面に延長 28m、幅約 10m、平均厚さ 1.0m にわたり約 280 m^3 の土砂が堆積した。また、道路から沢上流 約 50m の治山堰堤は満砂状態であった。道路から上流 50m にある治山堰堤の直下に土石流堆積物が認められた（図 40）。また、倒木や樹幹の上流側に衝突痕が認められ、土石流が直進したと考えられる。延長約 50m、幅 5m、深さ 1m にわたり林道が洗掘されていたほか、ボックスカルバート ($1.5 \times 1.5\text{m}$) の呑口を埋積していた。故に、上流の沢で土石流が発生し、国道から 50m 上流の治山ダムの直下に堆積し、沢の流路を変え、河床を洗掘し、土砂を流出させ、ボックスカルバートを埋積し、路面に土砂が流出し谷埋め盛土を越流し、盛土のり面を崩壊させたと考えられる（図 39、図 41）。応急対策として崩壊した盛土箇所に大型土のうが設置された。今後、恒久対策として盛土が施工されるほか、上流沢に治山ダム等の対策が検討されている。

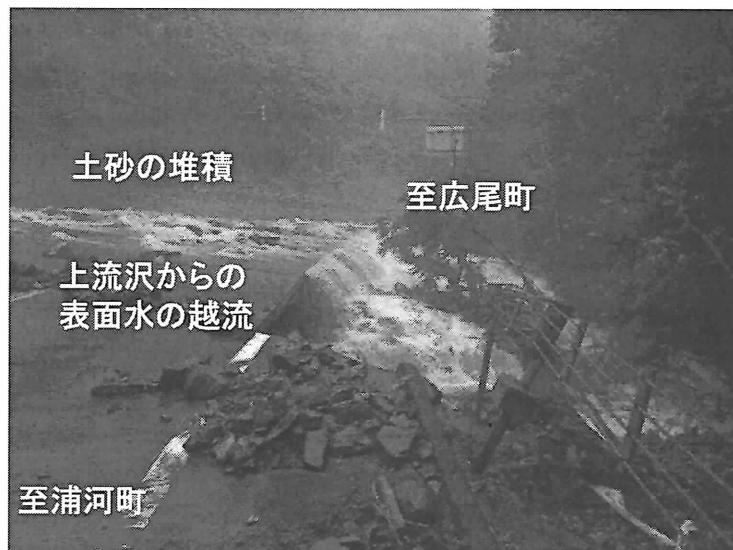


図 39 KP93.5km の盛土のり面崩壊（北海道開発局帯広開発建設部提供）



図 40 KP93.5km の土石流（9月1日撮影）

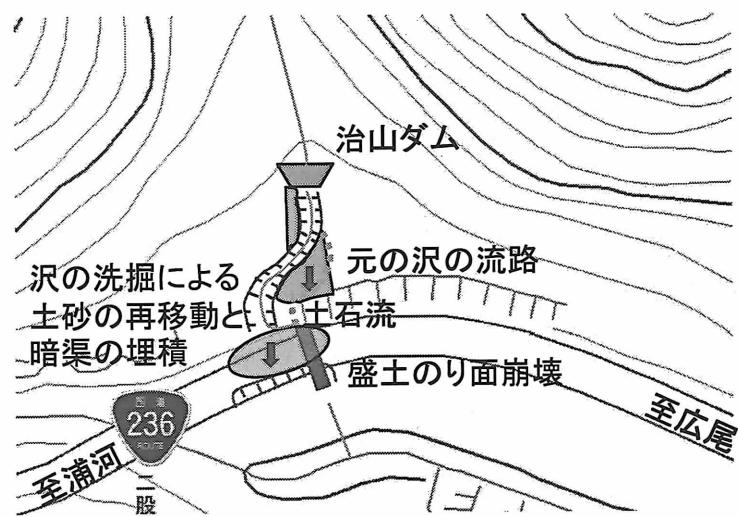


図 41 KP93.5km の災害見取り図（国土地理院地理院地図に災害位置を追記して掲載）

(2) KP93.5km の盛土のり面の崩壊

切土斜面上部の比高 50m の自然斜面が斜面長 30m, 平均幅 20m, 厚さ 1m にわたり崩壊した。崩壊規模は 600m³ である。崩壊した土砂は道路上に堆積し、ガードケーブルを延長 45m にわたり損傷させた（図 42）。崩壊した自然斜面には岩盤が認められた。その周囲に崖錐堆積物や風化層が露岩し流れ込んだ跡や流水が認められた（図 43）。ゆえに、表面水が斜面背後から流れ込み、自然斜面表層の崖錐堆積物や風化層を浅い深度で崩壊させたと考えられる。崩壊箇所の浮き石による落石が懸念されたため、応急対策として道路際に大型土のうが設置された。今後、恒久対策として、のり面背後の自然斜面にのり枠工が施工される予定である。



図 42 KP92.9km 付近の表層崩壊（北海道開発局帯広開発建設部提供）



図 43 KP92.9km 付近の表層崩壊（破線による囲みは自然斜面の崩壊範囲を示す）

4. 今後に向けた検討課題

平成 28 年 8 月北海道豪雨による地盤災害調査団では、被害総額が道内の災害で過去最大規模となったまさに歴史的な豪雨災害について、これまで全道各地の被害状況と復旧状況に関する調査を行い、一連の台風に伴う豪雨による地盤災害の現象・事象の原因の学術的究明と、災害の早期復旧並びに防災・減災技術の向上について検討してきた。本章では、今回の調査を通じて明らかになったことを踏まえて、今後の道路・鉄道・河川堤防管理や防災・減災対策とこれに関連する研究や行政に対する提言を整理する。

平成 28 年 8 月北海道豪雨災害の被害の特徴を通して見えてきた、今後の北海道の地域性を考慮した地盤工学研究や地盤防災行政を考える上で重要な技術的検討項目として、①雨慣れ・気象慣れしていない地盤の扱い、②従来の想定を超える豪雨対策の検討、③従来と異なる問題土・崩壊形態の顕在化の可能性、④豪雨時に地盤内に浸透しない表面流の扱い、の 4 点が挙げられる。まず各項目について以下で詳細検討する。

(1) 雨慣れ・気象慣れしていない地盤の危険度評価方法の検討

第 3 章で報告したように、台風 10 号の接近に伴う豪雨では、日勝峠と野塚峠の双方で斜面崩壊が発生した。この際、日勝峠で連続雨量 488mm、最大時間雨量 55mm を、野塚峠で連続雨量 713mm、最大時間雨量 34mm をそれぞれ観測している。対象地域の地形・地質などが異なるため一概に両者の地盤災害を比較することはできないものの、日勝峠に比べ野塚峠の被害程度が軽微のように見える。この一因と考えられるのは、地盤の雨慣れ・気象慣れが及ぼす災害への影響である。過去 15 年間の年間総雨量を日勝峠と野塚峠で比較すると、野塚峠の年間総雨量は日勝峠の倍となっており、既に危険斜面は崩壊して復旧・補強されているあるいは安定性が増している（雨慣れしている）可能性が高い。その結果が、今回のような被害程度の差になった可能性もある。また、地盤が雨慣れ・気象慣れしていない場合、降水に伴う浸透流や地表流により地盤内に新たな水道が形成され、地盤の排水機能・能力が変化し、地盤の耐災害性が

変質することにより、新たな災害を誘発する可能性もある。北海道は、これまで台風や集中豪雨などの影響が少なく降雨による土砂災害が国内の温暖地域（多雨地域）と比較して少なかつたことから、雨慣れ（降雨に対する斜面崩壊の慣れ）していない地盤が多い。このため、本州の多雨地域と比較して北海道では、斜面崩壊の限界雨量が小さく、また同程度の豪雨が発生した場合には斜面崩壊が生じ易く、地盤災害規模の拡大・深刻化が懸念される。これらは、今後「地盤の雨慣れ・気象慣れが災害発生に及ぼす影響をどのように評価すべきか？」あるいは「変質する地盤災害の素因・誘因をどのように考慮すべきか？」について、多雨地域との比較検討などを通して、気候変動を想定した対応策を検討することの重要性を示唆している。

(2) 従来の想定を超える豪雨に対する防災・減災対策の検討

今回の豪雨災害では、沢埋め部など従来要対策箇所と認識されていた箇所で、土構造物の排水能力を上回るような想定外の降水量とそれに伴う多量の地下水・表流水により排水溝や函渠の閉塞あるいは流量超過が生じ、被災に至ったと疑われる事例が散見された。このような箇所では、豪雨に伴う地盤内に浸透できない表流水の存在とその経路が地盤災害を誘発したと考えられる。したがって、前述のように、適切な材料選択や締固めなどにより地盤材料としての強度増加策を検討するだけでなく、適切な排水処理による侵食・浸潤防止対策と合わせた総合的な盛土構造物の設計施工・維持管理を模索する必要がある。この際、まずは、現行の排水設備の排水能力の検証と今後の豪雨の可能性を想定してその妥当性の確認を行い、将来的な設計降水量や排水設備の設置基準の見直しの必要性について検討するとともに、「設計降水量では対応できない確率降雨（例えば、400年に1回の降雨など）をどう対処すべきか？」についての議論を開始することが望ましい。特に、後者については、近年の異常気象や気候変動を想定した場合、避難勧告や通行規制などのソフト的な対策と合わせて、構造物の耐震設計における2段階設計法のように降水量とその発生頻度に応じて設計条件を段階的に見直し、盛土・切土等の土構造物の要求性能を変化させる適応策の検討も重要なと考えられる。

(3) 従来と異なる問題土・崩壊形態の顕在化の可能性

今回の豪雨では、これまで大規模な土砂災害は報告されていない風化花崗岩（まさ土）・周氷河性堆積物など従来と異なる問題土の顕在化の可能性が指摘されている。一方、従来、北海道で問題土と考えられてきた、火山灰質土、泥炭、蛇紋岩の3つの特殊土については、台風10号の接近に伴う豪雨で被害の大きかった日勝峠など日高・十勝地方の災害においてその関与はほとんど報告されていない。このように、これまで道内で地盤工学的な注目度が比較的低かつた地盤・土質が災害の発生要因として急浮上した理由は、過去20年間で観測史上1位となる豪雨に起因していることは疑う余地はないであろう。そのため、今回のような記録的な豪雨が発生すると、同じような地形・地質構成を持つ他地域においても同様の土砂災害が発生する可能性があると言える。したがって、今後、予測される気候変動に伴って発生する可能性のある北海道特有の新しい地盤災害形態の体系化や、被災履歴の少ない潜在的な地盤災害の危険性の評価が、近い将来の地盤災害の防災・減災対策に重要な意味をもつことになる。より適切な気候変動への適応策の構築には、「外力が過去の履歴を超えて増大した結果、どのような問題が顕在化するか？」について、災害発生率と地形・地質情報、土質特性、降雨履歴との関係性の整理を通して学術的な観点から新しい問題土・崩壊形態の顕在化の可能性を加味しながら考察を深めるとともに、その結果を社会基盤施設の設計施工や維持管理に反映する行政的な仕組みの構

築が必要である。

(4) 豪雨時に地盤内に浸透しない表流水が地盤災害に及ぼす影響の検討

台風 10 号の接近に伴う豪雨では、直前の 3 つの台風により高い含水状態であった地盤に浸透できなかった大量の表流水が斜面崩壊などの地盤災害を誘発した可能性が指摘されている。一般に表面流出は降雨強度が地盤の浸透能を上回る際に発生するが、発生した地表流の沢部など集水地形への集中が、地表流量を増加させ表面侵食や流路の拡大をもたらし、その結果として土石流や表面侵食型の盛土法面崩壊を引き起こしたと考えられる。したがって、地盤の浸透能以上の降雨強度が想定される場合には、「降雨時の浸透流に加え地表流をどのように考慮して地盤・土構造物の広域リスク評価を行うか?」について検討する必要がある。具体的には、地理・地形（斜面傾斜角を含む）、地質・地盤（地盤の初期含水状態を含む）、道路や鉄道の付帯構造物などの各種情報を分析して、地表流の流路ネットワークを推定し豪雨時の土砂災害危険箇所を抽出するとともに、設計降水量では対応できない確率降雨に対する表流水誘導経路（e.g. 地表流の流出経路を考慮した中央分離帯の配置、トンネルや擁壁など構造物の切れ目や変化点の扱い）などを考慮して、地表流の流出経路となりうる道路や鉄道など線状構造物の設計方法や維持管理方法を再構築していくことが望ましい。加えて、上記(2), (3) 項とも関係するが、地表流が斜面の不安定化に及ぼす影響などを考慮した災害発生評価指標（積算雨量、土壤雨量指数、実効雨量など）についても検討する必要がある。一般に、土砂災害の発生を予見するために、積算雨量・土壤雨量指数等のマクロ指標が広域災害リスクを簡易に判定する拠り所として現在広く用いられているが、異常気象や気候変動により豪雨などの外力が過去の観測範囲を超えて増大する場合、従来の経験的なリスク評価手法では十分対応できないことがある。特に、既往の雨量指標は、降雨量を基にした指標であるため、例えば流域外からの地表流による表面侵食型斜面崩壊や時間遅れを伴う斜面災害のリスク評価には注意を要する。したがって、北海道の広域土砂災害リスク評価は、今後の気候変動を見据え、このような新しい形態の地盤災害にも適用可能な土砂災害発生危険度評価手法の構築と土砂災害発生危険度基準線（CL: Critical Line）の設定を検討する時期にきていると考えられる。

以上のような今回の豪雨災害の教訓を踏まえ、今次災害の災害検証とともに気候変動とその適応策について考慮する防災・減災対策の実現に向けて、今後検討すべき課題は以下のようなものであろう。

- (a) 気候変動予測を土構造物の設計施工・維持管理にどのように利用するのか?
 - 気候変動を考慮すべきかどうか?
 - 気象情報の何をどう利用するのか?
- (b) 気候変動に伴う潜在的な地盤災害リスクにどのように対応するのか?
 - 構造物の設計施工・維持管理方法等を改定する必要があるのか?
 - 予防保全あるいは事後対応するのか?
 - ハード対策だけあるいはソフト対策と合わせて対処するのか?
- (c) 現時点で未解明あるいは未確認の要因についてどのように対処するのか?
 - 不確実性をどのように評価するのか?
 - 国内他地域の被災事例等の情報は参考にならないか?
- (d) 関連研究分野（学協会）との連携をどのように考えるのか?

- 流域で考える場合、水文工学・河川工学系との議論が不可欠ではないか？
 - 地すべり、農業土木、地質等の関連学協会との連携は必要ないか？
- (e) 広域の災害発生予測・危険度評価法をどのように構築するのか？
- セクターを超えた土砂災害履歴情報の共有・集積・管理ができるいか？
 - 被災メカニズムの予測・解明に向けたモニタリング手段の強化、強化復旧対策の効果検証のフォローアップをできるいか？

今回の大規模災害を踏まえて新たなステージに踏み入れた感のある、北海道の地盤災害の防災・減災対策の推進に際しては、土木構造物の場合、供用期間が長期に亘ることを考慮して、社会全体で危機感を共有しながら早期に取り組む必要がある。とりわけ本章で提起された地盤防災に関する技術的・社会的な課題については、産官学が連携して取り組む体制の構築が不可欠である。今後、本章の提言も取り入れながら具体的な施策が立案、実施されることが期待される。

謝辞:平成 28 年 8 月北海道豪雨による地盤災害調査団の調査活動および報告書作成にあたりましては、調査団員の方々をはじめ、産官学の多くの方々・機関より御助力を賜りました。中でも、被災したインフラの管理者である国土交通省北海道開発局・北海道・東日本高速道路株式会社・北海道旅客鉄道株式会社には、災害発生直後より被災サイトへの立入許可や資料共有など、特に重要な御協力を賜りました。ここに記し深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道総務部危機対策課 (2017), 「平成 28 年 8 月から 9 月にかけての大雪等災害について」, 『第 1 回災害検証委員会 資料 2』.
- 2) NEXCO 東日本 (2016), 『道東自動車道（占冠 IC～芽室 IC 間、約 64km）の通行の再開及び国道 38 号・国道 274 号災害通行止めに伴う道東自動車道（占冠 ⇄ 音更帶広間）の無料措置について』.
- 3) 気象庁 (2017), 『災害時気象報告 平成 28 年台風第 7 号・第 9 号・第 10 号・第 11 号及び前線による 8 月 16 日から 8 月 31 日にかけての大雪及び暴風等』.
- 4) 札幌管区気象台 (2016), 『平成 28 年台風第 7 号に関する気象速報（平成 28 年 8 月 25 日発表）』.
- 5) 札幌管区気象台 (2016), 『平成 28 年台風第 11 号及び第 9 号に関する気象速報（平成 28 年 8 月 30 日発表）』.
- 6) 札幌管区気象台 (2016), 『平成 28 年台風第 10 号に関する気象速報（平成 28 年 9 月 5 日発表）』.
- 7) 平成 28 年 8 月北海道大雪激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会 (2017), 『委員会報告 平成 28 年 8 月大雪激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方』.
- 8) 松岡直基 (2017), 「土砂災害の誘因となる北海道の気象」, 『気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集委員会報告』 pp.1-2.
- 9) 北海道開発局 (2017), 『平成 28 年夏の大雪による被災状況等について』 北海道開発局 HP (http://www.hkd.mlit.go.jp/ky/saigai/ud49g70000007big-att/170510-3_all.pdf) .

- 10) 松岡直基, 小山内信智, 林真一郎, 小倉勉, 斎藤正美, 中林 宏典 (2017), 「2016年8月北海道に広域災害を引き起こした連続豪雨の概要」, 『平成29年度砂防学会研究発表会概要集』 pp.18-19.
- 11) 土木学会水工学委員会 (2015), 『平成26年8月広島豪雨災害調査報告書』 p.71.
- 12) 地盤工学会 (2017), 「平成29年7月九州北部豪雨緊急災害報告会」, 『第52回地盤工学研究発表会』 (https://www.jiban.or.jp/?page_id=4827) .
- 13) 地盤工学会 (2009), 『地盤材料試験の方法と解説, 特殊土の試験』 p.948.
- 14) 日本地質学会編集 (2014), 『日本地方地質誌 北海道地方』 p.146.
- 15) 国土地理院 (2017), 『周氷河地形の麓層面』 国土地理院 HP (http://www.gsi.go.jp/kikaku/tenkei_hyoga.html) .
- 16) 川村志麻, 佐々木雄大 (2016), 「平成28年8月北海道豪雨によって発生した日高地方の斜面崩壊の特徴と土質特性」, 『第57回地盤工学会北海道支部年次技術報告集』 pp.149-156.
- 17) 川村志麻 (2017), 「豪雨災害」, 『気候変動に伴う積雪寒冷地の地盤災害に関するシンポジウム発表論文集委員会報告』 pp.26-27.
- 18) 川村志麻 (2017), 「一般国道274号日勝峠の被害と土質特性について」, 『寒地土木研究所月報8月号』 pp.48-53.
- 19) 佐藤厚子, 林憲裕, 林宏親, 山木正彦 (2017), 「北海道まさ土の地盤工学的性質について」, 『第57回地盤工学会北海道支部 年次技術報告集』 pp.145-148.