



## 2014年支笏湖周辺の斜面崩壊に関する地盤工学的検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2017-03-23 キーワード (Ja): キーワード (En): Slope failure, Field survey, Physical testing of soil, Coefficient of permeability 作成者: 木幡, 行宏 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009174">http://hdl.handle.net/10258/00009174</a>

## 2014 年支笏湖周辺の斜面崩壊に関する地盤工学的検討

木幡 行宏\*<sup>1</sup>Geotechnical Consideration on Slope Failure in the area of the  
Lake Shikotsu in 2014

Yukihiro KOHATA

(原稿受付日 平成 29 年 1 月 10 日 論文受理日 平成 29 年 2 月 10 日)

## Abstract

Natural disasters caused by concentrated heavy rains and typhoons have occurred in various places, and has made a great impact on social activities and people's lives in recent years in Japan. Then the effect on transportation caused by disaster on slope failure is very high. The objective of this study is to investigate factors except for soil rainwater index to be caused slope failure. In this study, geomorphic and geological investigation for factor of slope failure occurred in the area of Lake Shikotsu in 2014 is discussed. The three locations, of which two locations sited on Route 453 and one location sited on Goryo Line of prefectural road, slope failure discussing in this study caused by heavy rain in September 2014 were surveyed. And a series of physical testing of soils were performed on various soil samples retrieved at each locations of slope failure. Based on the survey and test results, these slope failure locations are classified by geomorphic and geological pattern, and the factor caused to slope failure was discussed in terms of geotechnical engineering.

Keywords : Slope failure, Field survey, Physical testing of soil, Coefficient of permeability

## 1 はじめに

日本では大型台風や集中豪雨による自然災害が過去多く発生してきており、人々の暮らしや社会活動に大きな影響を及ぼしている。特に道路交通網において、日本は海岸段丘や山岳部のように急峻な地形からなる地域が多いことにより、土砂災害による通行車両への影響は極めて大きい。このため、降雨による土砂災害へのソフト的対策は重要かつ高精度なものである必要がある。一般に斜面崩壊とは集中豪雨などによって斜面が不安定になり、斜面表層の土砂や岩石が滑り落ちる現象のことで、斜面崩壊の発生は降雨と密接に関係していることから、短期指標とされる時間雨量と長期指標とされる連続雨量を用

\*1 室蘭工業大学 暮らし環境系領域

いて、斜面崩壊発生の時系的データから交通規制が行われている。近年、気象庁では長期指標を連続雨量から土壌雨量指数に変更して、各自治体から発令される土砂災害警戒情報に利用されている。このような背景から、北海道の斜面崩壊に対する防災にも土壌雨量指数の適用が試みられ、土壌雨量指数が 100 を超えると斜面災害が発生するケースが多いことが分ってきた<sup>(1)</sup>。しかし、土壌雨量指数を算出するために用いられる土質パラメータはまさ土に対するものであり、土質性状が異なる箇所でも一律に適用されていることから、より詳細に崩壊要因を検討するためには、個々の崩壊箇所の土質特性を把握することが重要である。

そこで、本研究では、2014 年 9 月 11 日の豪雨により、一般国道 453 号線および道道 341 号御料線で発生した 3 箇所の斜面崩壊現場において、現地調査による崩壊斜面の地形・地質状況と崩壊斜面の関連性について検討するとともに、土壌雨量指数以外の崩壊要因を検討するため、斜面崩壊箇所から採取した土試料に対して種々の物理試験及び独自の透水試験を行い、地盤工学的な観点から斜面崩壊の要因を比較・検討した。

## 2 斜面崩壊箇所における被災状況

本研究で対象とした斜面崩壊箇所の崩壊箇所を図 1<sup>(2)</sup>、図 2<sup>(3)</sup>に示す。図 1 における地点 1 及び地点 2 は、それぞれ、一般国道 453 号線の Kilo Post(KP) 24 km 付近(以下、地点 1)、及び KP33.06 km 付近(以下、地点 2)であり、図 2 に示す地点 3 は道道 341 号御料線の札幌市清田区有明付近(以下、地点 3)である。なお、本研究では、現地調査及び過去の調査報告 4),5)に基づいて検討を行った。

### 2.1 地点 1 の被災状況

KP23.88 km の斜面において、豪雨により表層部が流出する斜面崩壊が発生した。斜面崩壊の範囲は、幅 18m×高さ 20m 程度で、道路に土砂が堆積した状況であった(図 3)。なお、当該区間には、落石防護柵が設置されていたが、流出土砂により倒壊し、流出土砂は対向車線の歩道下法面にまで達した。また、この流出土砂により、斜面法尻(落石防護柵と同列)に設置されていた電柱(光ケーブル、高圧線が架空)も倒壊した(図 4)。

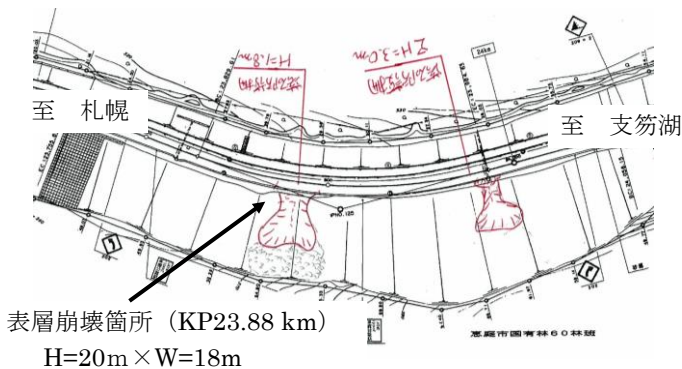


図 3 地点 1 の斜面崩壊箇所



図 1 斜面崩壊箇所：地点 1 (一般国道 453 号 KP24 km 付近) 及び地点 2 (KP33.06 km 付近) <sup>(2)</sup>



図 2 斜面崩壊箇所：地点 3 (道道 341 号御料線 札幌市清田区有明付近) <sup>(3)</sup>



図 4 地点 1 の斜面崩壊時の状況



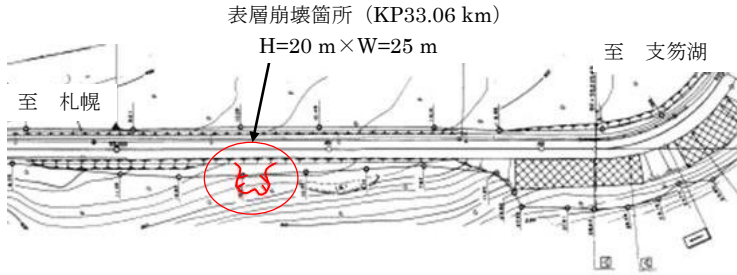


図5 地点2の斜面崩壊箇所



図6(a) 地点2の崩壊箇所全景

## 2.2 地点2の被災状況

KP33.06 km 付近で、幅 25m×高さ 20m程度の範囲で表層崩壊が発生した(図5)。斜面崩壊による土砂は、国道453号の道路上まで流出し、土砂の一部が道路上に堆積した。斜面崩壊の形態は表層崩壊であり、崩壊箇所の斜面は、比高約20m程度で、樹木などを巻き込んだ状態で斜面崩壊が発生したと考えられる。なお、崩壊した斜面と道路までのクリアランスは20m程度であった(図6(a), (b))。

## 2.3 地点3の被災状況

道道御料線札幌市清田区有明付近で、幅30m×高さ20m程度の範囲で表層崩壊が発生した。斜面崩壊時に樹木などを巻き込んだ状態でその一部が道路脇まで達したが、崩壊した斜面と道路までのクリアランスが30m程度あったため、道路に直接の被害は生じなかった。



図6(b) 地点2の道路流出土砂の状況

## 3 斜面崩壊箇所における地形・地質の検討

### 3.1 地点1の地形・地質

崩壊した斜面の裾部には、路面から2~3m程度は褐色の旧河床堆積物(砂礫)がほぼ水平に分布し、その上部に灰色の支笏火砕流堆積物が堆積していた(図8)。斜面全体はほぼ塊状になっているが、苔が生えた上半部は比較的溶結しており、溶結凝灰岩からなると考えられる(図9)。この岩はハンマーによる軽打で割れる程度の硬さで、この岩盤が露出する最上部斜面は60~70°程度の急立した斜面である。部分的に低角度の亀裂が発生し



図7 地点3の崩壊箇所全景



図8 地点1崩壊箇所の正面全景



図9 上部に分布する支笏火砕流堆積物





図 10 上部の段丘堆積物（褐色層）及び礫



図 11 地点 2 崩壊箇所の正面全景



図 12 地点 3 崩壊箇所の正面全景



図 13 崩壊箇所上部の溶結凝灰岩

ており、30 cm 程度の岩片として落下していた。また、中下部は非溶結の火砕流堆積物で、半固結の状態であり、亀裂は入っておらず、ハンマーの打撃で先端が刺さる程度の硬さであった。斜面は、30～40° 程度の緩斜面で、火砕流堆積物の上を覆うように崖錐堆積物が堆積していた。最下部の旧河床堆積物は、支笏火砕流が発生する前に堆積していた砂礫と考えられ、比較的固結度が高いと考えられる。崩壊地正面全景は、斜面裾の褐色層は 50° 程度の急傾斜に立って残っており、今回は崩壊していない。また、崩壊地に落ち残りは少なく、新しい崩壊や抜け落ち跡は認められない。さらに、崩積土はほとんどが砂～小礫サイズであり、大きな転石は確認されなかった。

### 3.2 地点 2 の地形・地質

崩壊斜面より上部の背面は段丘面のためほぼ平坦になっており、崩壊面上部には、厚さ 5 m 程度の褐色の段丘堆積物があり、3～30 cm 程度の礫が介在していた（図 10）。これは、支笏火砕流が堆積した後、その上に堆積したものと考えられ、現河川に沿った形状で現河川よりも幅広く分布していると推定される。中～下部には火砕流堆積物（火山灰）が、約 15 m 堆積しており、斜面下端部まで見られた（図 11）。この火山灰は半固結状態であり、浸食された土砂が斜面上に薄く堆積し、若干ガリー浸食の跡が見られるものの、流出しにくい状態であった。

### 3.3 地点 3 の地形・地質

表層崩壊が発生した斜面は、平均 40° 程度、比高約 40 m 程度で、斜面裾から道路までは 30 m 程度の平坦地（クリアランス）があった。崩壊斜面全体には支笏火砕流堆積物（火山灰）が起源と考えられる崖錐堆積物が分布し、裾部には崖錐堆積物が覆っていた（図 12）。今回崩壊した斜面のさらに上部には、溶結凝灰岩の路岩もあることから、溶結凝灰岩の岩片が上部から供給され、火山灰と混じった崖錐堆積物が斜面中部～裾部に堆積していた状況と推定される（図 13）。

表1 北海道内における斜面崩壊箇所の地形地質タイプ<sup>(1)</sup>

タイプ	地形地質タイプA	地形地質タイプB	地形地質タイプC	地形地質タイプD
場所	地点2			地点1、地点3
地形地質的特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>急峻な岩盤斜面の上部に段丘堆積物が分布</li> <li>集水地形</li> <li>上部の段丘堆積物が崩壊</li> <li>崩壊規模は大きくないが、高い位置から崩土が滑落(滑走)するため、土砂が車道まで達する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>厚い土砂(段丘堆積物)の切土斜面</li> <li>集水地形</li> <li>比較的深い深度から崩壊し規模は大きく崩土が車道まで達する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>急峻な火山性の岩盤斜面に表土(崖錐堆積物)が分布</li> <li>集水地形</li> <li>表土のみが薄く崩壊</li> <li>比較的崩壊深度は浅く規模は小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>急峻な堆積性の岩盤斜面に表土(崖錐堆積物)が分布</li> <li>集水地形および非集水地形</li> <li>表土のみが薄く崩壊</li> <li>比較的崩壊深度は浅く規模は小さい</li> </ul>
パターン模式図				

### 3.4 地形・地質タイプによる斜面崩壊箇所の分類

表1は、北海道内で過去に発生した自然斜面崩壊現場の土試料を収集し、土壌雨量指数以外の崩壊要因を検討するため、崩壊箇所を地形、地質で分類したものである<sup>(1)</sup>。すなわち、おもに海成段丘の切土のり面や自然斜面で、斜面上部の段丘堆積物が表層崩壊し、流走したもの(タイプA)、同じく段丘崖で厚い段丘堆積物がやや深い崩壊を起こしたもの(タイプB)、山腹斜面や段丘崖の崖錐堆積物や表土が表層崩壊したもの(タイプCおよびD)である。タイプCとDは基盤岩によって区別したもので前者が火山性の、後者が堆積性の岩盤からなる。本研究による検討から、地点1及び地点3はタイプD、地点2はタイプAに分類されることが分かった。

## 4 斜面崩壊要因の検討

地点1については、崩壊地に落ち残りは少なく、新しく崩壊や抜け落ち跡は認められず、また、崩積土のほとんどが砂～小礫サイズであり、大きな転石は認められなかった。このことから、今回の豪雨での斜面崩壊は、斜面上部の溶結凝灰岩露岩部の不安定化ではなく、非溶結部分が予め削剥されて斜面に堆積していた崖錐堆積物が崩壊した表層崩壊と考えられる。なお、今回の斜面崩壊前から堆積していた表層の崖錐性堆積物の多くは今回の土砂崩壊で流出したものと考えられるが、斜面中腹や端部には今回の斜面崩壊による崩積土が堆積していると考えられる。地点1における斜面崩壊は、豪雨時に発生していることから雨水浸透が直接的原因であることは明らかであり、崩壊機構として、1) 地表水により斜面表層の土質が浸潤し、土塊重量が増加したこと(作用せん断力の増大)、2) 地下浸透水により斜面内土質の間隙水圧が増加(有効応力が低下)し、土塊のせん断強度が低下こと、3) これら2つの作用により、斜面表層の土質が崩壊したと考えられる。

地点2については、崩積土のほとんどが褐色の円礫混じりの土砂であることから、段丘堆積物が崩壊したものと考えられる。一方、灰色を呈す火砕流堆積物(火山灰)の崩土は認められていない。このことから、今回の豪雨での斜面崩壊は、斜面上部に分布する透水性の高い段丘堆積物に豪雨による水が浸透し、その一部が不安定化して発生した表層崩壊と考えられる。また、今回の崩壊自体は小規模であるが、もともと崩壊を繰り返して崩積土がたまっていたところに今回の崩壊が重なり、崩積土が崖錐斜面を走ったために道路まで到達したものと推定される。

地点3については、崩積土が火山灰と溶結凝灰岩礫が混じり合った土砂となっていることから、崖錐堆積物が崩壊したものと推察される。地点2の崖錐堆積物は、地山を構成する支笏火砕流堆積物を起源として、厚さ1m程度で斜面表層に堆積していたが、今回の豪雨により表層崩壊が発生したと考えられ、



崩壊機構は地点 1 と同様であると考えられる。また、崩壊土砂は裾部に流出したが、斜面裾から道路までは、約 30 m のクリアランスがあったことから、土砂が直接道路に及ぶことはなかったが、立木を巻き込んで崩壊したため倒木が発生し道道際まで達したと推察される。

## 5 斜面崩壊土の物理試験および透水試験による検討

### 5.1 物理試験による検討

3 箇所での斜面崩壊箇所において、図 14 に示すように、崩壊土をスコップにて採取した。採取した試料は、ビニール袋に入れ、実験室に運んだ後、それぞれの試料に対して粒度試験を行った。得られた粒度加積曲線を図 15～17 に示す。なお、図中には、土粒子の密度試験、液性限界・塑性限界試験から得られた種々の土質パラメータを併せて示した。斜面崩壊箇所の試料は、地盤材料の工学的分類法の大分類では、全て砂質土となるが、小分類では、地点 1 (KP23.88 km) 試料は細粒分質礫質砂に、地点 2 (KP33.06 km) 試料及び地点 3 (道道 341 号御料線の札幌市清田区有明付近) 試料は、ともに細粒分混じり礫質砂、それぞれ分類される。均等係数  $U_c$  は、地点 2 試料で 47.37 と最も大きく、地点 1、地点 3 試料の順で小さくなっている。また、細粒分含有率  $F_c$  は地点 1 試料で 19.41 % と最も大きい。一方、土粒子の密度  $\rho_s$  は、地点 26 試料が  $2.98 \text{ g/cm}^3$  と最も大きく、他の試料は  $2.5 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$  程度であった。なお、塑性指数  $I_p$  は、全ての試料で、一般的な土に比べて、比較的小さい値であり、特に、地点 3 試料では非塑性であった。

以上より、本研究で対象とした斜面崩壊箇所の土質は、均等係数が比較的小さくかつ細粒分が少なく、また、 $I_p$  が比較的小さいことから、塑性状態を保てる含水比の幅が小さいために、比較的小さい降雨量で崩れやすい土質であることが推察される。

### 5.2 透水試験による検討

本研究では、それぞれの土試料の透水性を検討するために、それぞれの土試料に対して、JIS 規格とは異なる方法で定水位透水試験を行った。この定水位透水試験方法は、透水試験装置の上部モールドに礫層を密になるように入れ、下部モールドに試料土層を入れ、締め固めて作製し、脱気水を透水試験装置の下端から流入し供試体に通水させ、上端から排水する方法である。その際、動水勾配は、現場で想定される値の  $i=0.1 \sim 1.0$  に基づき  $i=1.0$  に設定し、試験後にそれぞれ所定の経過時間ごとに排水量を計測した。試料別に試験装置の土層全体の透水係数と平均粒径  $D_{50}$  の関係を図 18 に、



図 14 斜面崩壊土の採取状況

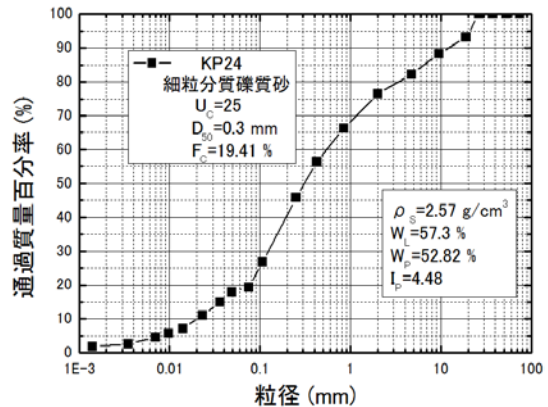


図 15 地点 1 試料の粒度加積曲線

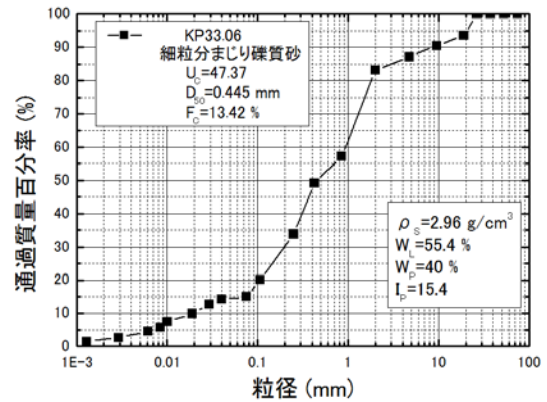


図 16 地点 2 試料の粒度加積曲線

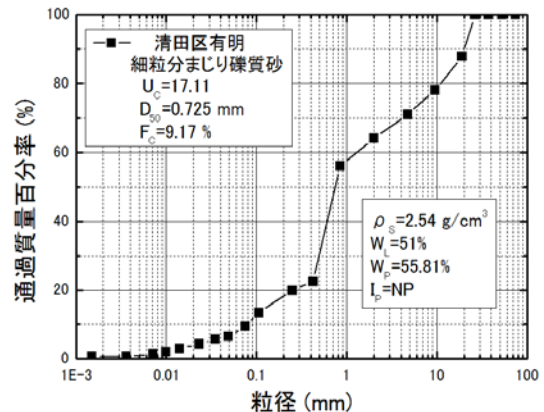
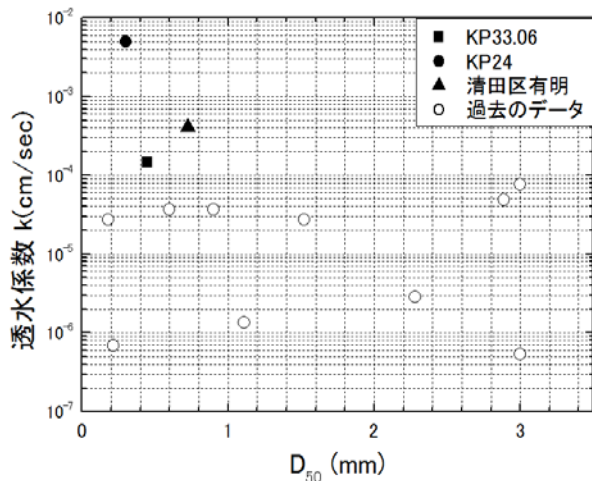
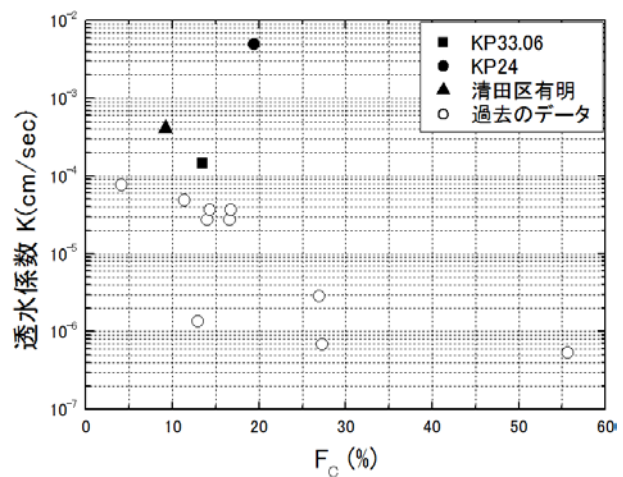
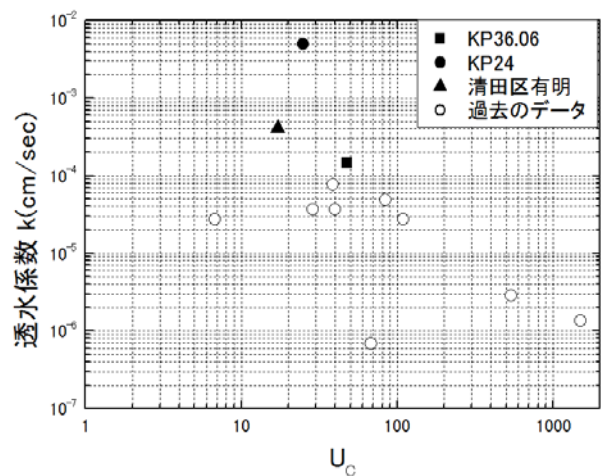


図 17 地点 3 試料の粒度加積曲線

図18 透水係数と  $D_{50}$  の関係図19 透水係数と  $F_c$  の関係

透水係数と細粒含有率  $F_c$  の関係を図19に、透水係数と均等係数  $U_c$  の関係を図20に、それぞれ過去のデータ<sup>6)</sup>とともに示す。本研究で対象とした斜面崩壊箇所から採取した試料の透水係数は、過去のデータと比べると、すべての試料で大きい値を示している。ただし、地点1試料の透水係数は最も大きいですが、図18に示す  $D_{50}$  が小さく、図19に示す  $F_c$  が大きいことから、試験中の供試体に水みちが形成された影響で透水係数の値が大きくなった可能性がある。地点2および地点3試料の  $D_{50}$ 、 $F_c$  および  $U_c$  は、過去の崩壊箇所の土質に比べると、全体的に小さな値を示している。

以上より、本研究で対象とした斜面崩壊箇所の土質は、水を通しやすい土質であることが分かる。したがって、 $D_{50}$  および  $U_c$  が小さく、かつ、ある程度の細粒分を含む砂質土については、比較的少ない降雨量で斜面崩壊が生じる可能性があると思われる。

図20 透水係数と  $U_c$  の関係

## 6 まとめ

2014年9月11日の豪雨により、一般国道453号線および道道341号御料線の支笏湖周辺地域で発生した3箇所の斜面崩壊現場において、現地調査による崩壊斜面の地形・地質状況と崩壊斜面の関連性について検討するとともに、土壌雨量指数以外の自然斜面崩壊要因を検討するため、斜面崩壊箇所から土試料を採取し、種々の土質物理試験及び独自の透水試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 本研究で対象とした斜面崩壊は、すべて表層崩壊であることが分かった。また、地形・地質学的検討から、崩壊要因として、地点1は、素因として非溶結部分からなる崖錐堆積物、誘因として表面水の斜面表層への浸潤と地下浸透水による斜面内土中の間隙水圧の上昇が考えられること、地点2は、表因として円礫混じりの透水性の高い段丘堆積物起源とする崖錐堆積物、誘因として斜面表層への表面水の浸透が考えられること、地点3は、素因として支笏火砕流堆積物を起源とする崖錐堆積物、誘因として斜面表面への表面水の浸透が考えられることが明らかになった。
- 2) 過去の研究で提案された斜面崩壊箇所の地形・地質タイプで分類すると、地点1及び地点3はタイプD、地点2はタイプAに分類されることが分かった。



- 3) 本研究で対象とした斜面崩壊箇所土質は、過去の斜面崩壊箇所試料に比べて、大きな透水係数であり、また、均等係数が比較的小さくかつ細粒分が少なく、 $I_p$ が比較的小さい土質であった。
- 4)  $D_{50}$ および  $U_c$  が小さく、かつ、ある程度の細粒分を含む砂質土で、透水係数が大きい場合には、比較的少ない降雨量で斜面崩壊が生じる可能性があると考えられる。
- 5) 自然斜面崩壊の要因は、誘因として降雨量は最も重要であるが、素因として、斜面を構成する土の物理特性を把握することは重要であることが明らかにされた。

### 謝辞

本研究において、斜面崩壊箇所の現地試料採取、実験及びデータ整理に関して、平成 26 年度室蘭工業大学 4 年菅野僚二君及び山田恭平君の協力を得た。また、斜面崩壊箇所における現地調査及びの地形・地質の検討に関して、(株)ドーコン、金秀俊氏から貴重な助言を頂いた。末筆ながら、ここに深甚なる感謝の意を表します。

### 文献

- (1) 小林修司, 金秀俊, 木幡行宏, 田近淳, 田中洋行, 三木田正則, 渡島・日高・留萌地域の土砂災害箇所における降雨パターンと地形・土質特性, 地盤工学会北海道支部技術報告集, no. 54, 2014, p. 143-148.
- (2) Google map : <https://www.google.co.jp/maps/@42.7901149,141.2965951,12.25z>
- (3) Google map : <https://www.google.co.jp/maps/@42.9280689,141.3995161,15z>
- (4) 北海道開発局監修, 漁川ダム工事記録, 北海道開発協会, 1984.
- (5) 日本地質学会, 日本地方地質誌 1, 北海道地方, 朝倉書店, 2010, p. 470-471.
- (6) 石岡佑介, 北海道内で過去に発生した自然斜面崩壊箇所の土質工学的検討, 室蘭工業大学, 平成 25 年度卒業論文.