

2.3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究 (2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：石井靖雄、杉本宏之

【要旨】

地すべり土塊が流動化した場合、被害が通常よりも広範囲に及ぶことが予想されるため、行政の関心も高まっている。そこで、雪崩・地すべり研究センターとの共同プロジェクトとして、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測に関する研究を平成 23 年度から 5 カ年計画で開始した。平成 25 年度は、火山灰被覆丘陵において地震を誘因として発生する崩壊性地すべりの発生危険度の評価方法、崩壊性地すべりの恐れのある斜面の抽出方法について検討を行った。

キーワード：流動化地すべり、地震、テフラ、樹脂固定標本

1. はじめに

地すべり土塊が流動化した場合、被害が通常よりも広範囲に及ぶことが予想されるため、行政の関心も高まっている。しかしながら、その要因や発生機構に未だ不明な点が多いため、現行の土砂災害防止法でも区域指定に関して流動化した地すべりは考慮されていない。

そこで、雪崩・地すべり研究センターとの共同プロジェクトとして、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測に関する研究を平成 23 年度から 5 カ年計画で開始した。本研究の達成目標は、①流動化する地すべりの発生要因の解明、②流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測手法の提案である。本研究では、まず過去に発生した地すべり事例から、流動化した地すべりの事例を誘因（融雪、豪雨、地震）ごとに抽出する。抽出された事例について、発生箇所の地形・地質の特徴から地すべり土塊の流動化の要因を明らかにする。さらに、地すべりの発生機構を分析することで、流動化する地すべりの発生箇所および地すべり土塊の到達範囲の予測手法を開発する。

初年度となる平成 23 年度は、2011 年東北地方・太平洋沖地震によって発生した葉ノ木平地区等の崩壊性地すべりを対象として、発生要因について調査を行った。その結果、葉ノ木平地区と同様のタイプの崩壊性地すべりの発生箇所を予測するためには、遷急線の位置、火山灰に厚く覆われた斜面（流れ盤構造）、軟弱な粘土層、硬軟の土質境界という要素が重要であることが明らかになった。また、これらの成果に基づき危険箇所の一次抽出手法を提案した¹⁾。平成 24 年度は、1978 年伊豆大島近海

地震で発生した崩壊性地すべりを対象として、発生要因について調査を行った。その結果、遷急線の位置、火山灰に厚く覆われた斜面（流れ盤構造）、軟弱な粘土層、硬軟の土質境界という葉ノ木平地区と同様の要素が重要であることが明らかになった。

平成 25 年度は、白河丘陵以外の箇所についても現地調査にて発生実態の把握を行い、発生箇所における地形・地質の特徴について類型化を行い、発生危険度を評価する詳細な調査方法について検討を行った。また、平成 24 年度までに得られた調査結果と合わせて、崩壊性地すべりの恐れのある斜面の抽出方法について検討を行った。

2. 研究目的

本研究の目的は、大規模な土砂災害の被害軽減と警戒及び避難体制の拡充を図るために、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測方法を提案することである。

3. 白河丘陵における崩壊性地すべりの特徴

平成 24 年度までの調査で明らかになった崩壊性地すべりの特徴の概要は次の通りである。平成 23 年東北地方太平洋沖地震によって、白河丘陵で発生した 6 箇所の崩壊性地すべりの発生位置と微地形分類との関係を調査した結果¹⁾では、多くの崩壊性地すべりが頂部斜面、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面にかける斜面で発生していた。崩壊性地すべりは、風化テフラ層の弱層をすべり面として、テフラに厚く覆われた一定規模の広がりを持つ上部谷壁斜面で発生していた。また、すべり面となった軟弱

な風化テフラ層の直上に硬いテフラ層が存在したことによって、地震の応力が強く作用した可能性が指摘される。

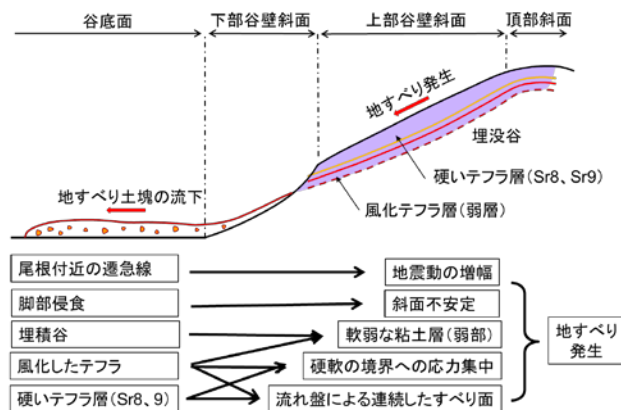


図1 白河丘陵で発生した崩壊性地すべりの発生要因

4. 調査方法

平成25年度は、過去に崩壊性地すべりの発生が指摘されている1978年の伊豆大島近海地震²⁾、1984年の長野県西部地震^{3,4)}について、代表的な崩壊性地すべりについて現地調査を行い、発生箇所の地形・地質的特徴を整理し、類型化を行った。その結果から発生要因を分析し、発生危険度を評価する方法について検討を行った。また、そのための調査手法について検討を行い、現地調査によって適用性を確認した。

また、平成24年度までに得られた調査結果と合わせて、崩壊性地すべり恐れのある斜面の抽出方法について検討を行った。

5. 発生危険度の評価方法の検討

5.1 1978年伊豆大島近海地震による斜面変動調査(見高入谷地区大池西B)

崩壊性地すべりの発生箇所は、火山噴出物や泥流で形成された緩斜面(上部谷壁斜面)である。すべり面は崩壊地内における地質観察から、スコリア混じり褐色火山灰土層と判断された。この層の山中式土壌硬度計による指標硬度は18~20mm程度と、葉ノ木平地区等と同じく20mm以下であった。側方崖では、テフラが斜面に沿って連続的に堆積し、流れ盤の状態になっている様子が観察された。すべり面の直上のスコリア混じり砂質火山灰層の指標硬度は30mm以上であり、すべり面は硬軟のコントラストが大きい層準となっていた。



写真1 側方崖(大池西B)

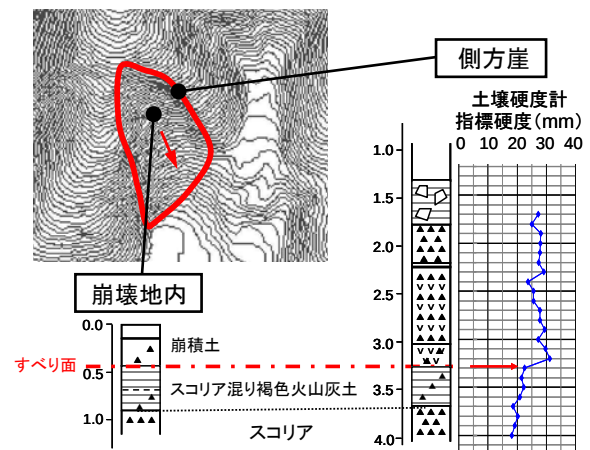


図2 横断方向の模式柱状図(大池西B)

5.2 1984年長野県西部地震による斜面変動調査(御岳高原D地区)

崩壊性地すべりの発生箇所は、火山噴出物で形成された緩斜面(上部谷壁斜面)で、崩壊地内の地質観察から御岳第1軽石層(On-Pm1)の下面付近がすべり面であった。被災直後の調査報告⁴⁾でも、御岳第1軽石層をすべり面とする層すべりと報告されており、調査結果と整合する。また、崩積土は元の地山における堆積構造をとどめた状態で移動したと報告されており、テフラが斜面に沿って連続的に堆積し、流れ盤の状態になっていたと考えられる。

2.3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究

表1 崩壊性地すべり発生に関わる地形・地質的特徴の比較

	2011年 東北地方太平洋沖地震	1984年 長野県西部地震	1978年 伊豆大島近海地震
地域名	福島県白河市周辺	長野県王滝村 御岳高原地区	静岡県河津町 見高入谷地区
震度	震度6強(白河)	推定震度6(王滝村)	推定震度5~6
発生規模	面積	10 ³ ~10 ⁴ m ²	10 ³ ~10 ⁴ m ²
	深さ	約5~10m	約10m
緩斜面	○	○	○
テフラ・火山灰土が厚く堆積	○	○	○
弱層(すべり面)の有無	○	○	○
弱層(地層)の連続性	○	○	○
流れ盤構造	○	○	○
硬軟コントラスト	○	×	○



写真2 崩壊地内 (D地区)

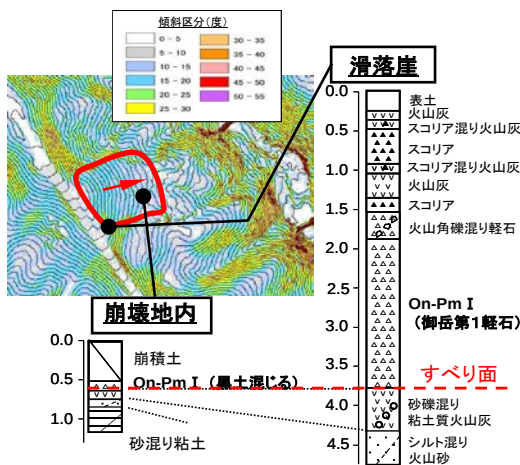


図3 横断方向の模式柱状図 (D地区)

5.3 発生危険度を評価するための要素の検討

現地調査結果から、崩壊性地すべりの発生箇所における地形・地質的特徴について比較を行った(表1)。これらは発生地域が異なるものの、発生規模、すべり面深度は類似しており、テフラ・火山灰土が厚く堆積している緩斜面にて発生している。また、弱層がすべり面となり、弱層を含む地層が連続して流れ盤であるという地質的特徴が共通していた。硬軟コントラストについては御岳高原地区では認められなかった。これらのことから、火山灰被覆丘陵における地震による崩壊性地すべりの発生には、弱層の存在、弱層の連続性、流れ盤構造が、深くかわっているものと考えられる。そこで、崩壊性地すべりの発生危険度を評価する方法について、弱層の存在、弱層の連続性、流れ盤構造の3つを評価要素として検討することとした。

6. 発生危険度を評価するための詳細調査の手法

6.1 調査手法の検討

発生危険度の評価においては、弱層の評価は地盤の強度プロファイルによる地層の硬軟判定、連続性および流れ盤の評価は各地区の地層を対比して弱層を含む地層の連続性および勾配を確かめる必要がある。地震による崩壊性地すべりの発生の恐れのある箇所は、変状等は発生しておらず、地山状態も不明な自然斜面であり、そのような条件下で調査を行い、発生危険度を評価しなければならない。そこで、地盤の強度プロファイルを得る方法として「簡易貫入試験」、地層の対比を行う方法として「ハンドオーガー」の適用性を検討することとした。この方法を選択した理由は、鉛直方向に調査でき、対象とする斜面を移動するのに機動性が良く、ボーリング調査に比べ調査費用を抑えられることである。これにより、「強度プロファイル+地層断面」が得られ、発生危険度の評価について検討することができると考えられる。

6.2 適用性の検討

簡易貫入試験は鉛直方向にコーンを動的に貫入させて地山の硬軟を判定する試験で、図4のように簡易貫入試験値と土壤硬度計の指標硬度の相関性は比較的良好ことから、弱層を判定する方法として適していると考えられる。また、弱層と判定する基準値は、これまでのすべり面の調査結果から、土壤硬度計の指標硬度で20mm以下(図5)で、バラツキも考慮して約9割の貫入試験値の範囲となる5回/10cm以下が目安となると考えられる。また、ハンドオーガーは人力でサンプラーを回転させて採取するため、地山が乱れ、地質の判定が困難のイメージがあるが、採取深度を測定しながらサンプリングを行えば、写真3のように4cm程度の薄層も確認することができ、調査位置ごとの地層を対比することが可能である。

2.3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究



写真3 ハンドオーガーのサンプリング例

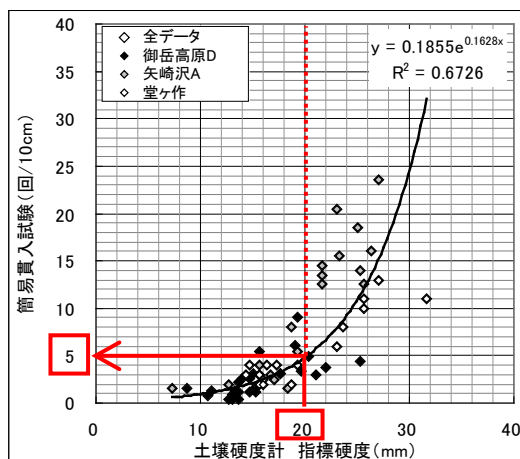


図4 土壌硬度計の指標硬度と簡易貫入試験値

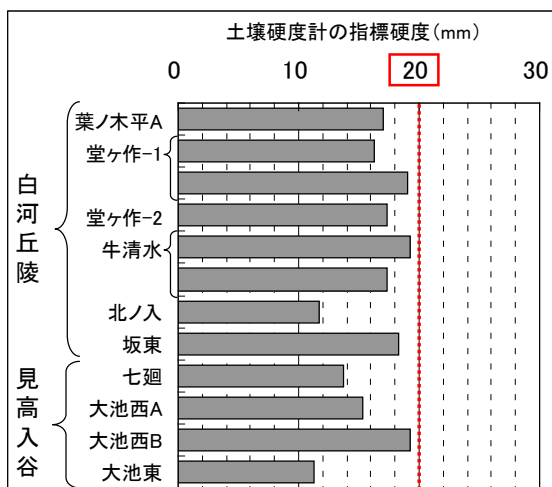


図5 すべり面の土壌硬度計の指標硬度

図6は、2地点でハンドオーガーと簡易貫入試験を行った地層断面図である。Sr-9からSr-10にかけての地層構成から地層の連続性を確認し、地層断面から流れ盤であることが判明した。また、弱層は簡易貫入試験から判定し、表2のように発生危険度の評価を行った。表2から、Sr-9とSr-10の間にある火山灰土は弱層で、連続性があり、流れ盤構造を有することが判明した。Sr-10の直下にある火山灰土については、地層断面から流れ盤の可能性もあるが、確認できていないため、判定不能とした。以上のように、弱層が連続性をもって流れ盤となっていることから、発生危険度の高い斜面と評価した。

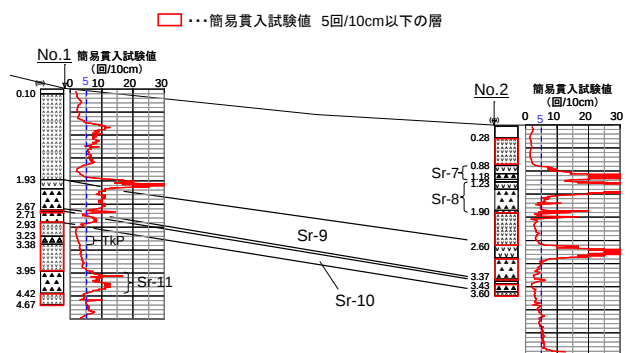


図6 地層断面図

表2 発生危険度評価

地層名	弱層の存在 ^{※1} Nd _{ave} 値(回/10cm) ^{※2}		弱層の連続性	流れ盤構造	発生危険度の評価
	No.1	No.2			
火山灰土	-	2.1	×	不明	判定不能
Sr-7 (火山灰・スコリア)	-	27.7	×	不明	判定不能
火山灰土	-	14.1	×	不明	判定不能
Sr-8 (火山灰・スコリア)	-	62.1	×	不明	判定不能
火山灰土	-	4.1	×	不明	判定不能
Sr-9 (火山灰)	19.5	27.0	○	○	危険度:低い
Sr-9 (スコリア)	10.0	4.9	○	○	危険度:低い
火山灰土	4.0	3.6	○	○	危険度:高い
Sr-10 (スコリア)	7.4	2.5	○	○	危険度:低い
火山灰土	2.4	2.9	○	不明	判定不能 (流れ盤であれば、危険度:高い)
TkP (軽石)	2.7	未確認	不明	不明	判定不能
火山灰土	3.8	未確認	不明	不明	判定不能
Sr-11 (スコリア)	9.7	未確認	不明	不明	判定不能
火山灰土	5.4	未確認	不明	不明	判定不能

※1 弱層の判定は暫定案として、簡易貫入試験値 5(回/10cm)以下

※2 Nd_{ave}値:簡易貫入試験値の平均値(回/10cm以下)

7. 崩壊性地すべり恐れのある斜面の抽出方法

崩壊性地すべり恐れのある斜面の抽出方法としては、図7のような調査の流れが考えられる。調査の効率性を

考慮すると、1) 予備調査、2) 広域調査、3) 詳細調査、4) 崩壊性地すべりによる災害の恐れのある斜面の抽出の4段階に分けて行うことが望ましいと考えられる。

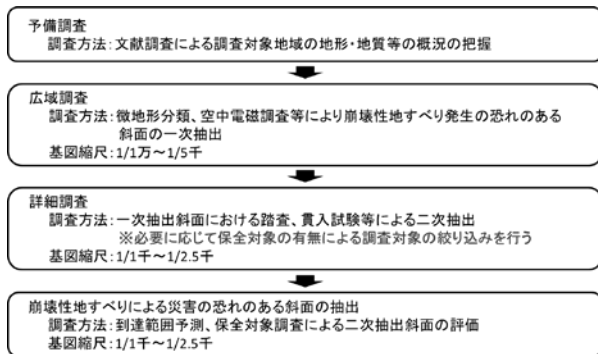


図7 抽出の手順と概要

1) 予備調査

予備調査は、調査対象地域における地形、地質等の概況を把握することを目的として、主として文献調査によって行う。予備調査では、調査対象地域周辺における地形及び地質に関する基礎的情報を既往の文献等によって把握しておくことが重要である。

2) 広域調査

広域調査は、脚部が下部谷壁斜面⁵⁾に切られる一定規模以上の頂部斜面⁵⁾と上部谷壁斜面⁵⁾のうち、テフラや火山灰土に厚く覆われた斜面を崩壊性地すべりの発生の恐れのある斜面として一次抽出する。

広域調査においては、(1) 頂部斜面と上部谷壁斜面が広い、(2) 脚部が下部谷壁斜面に切られる、(3) テフラや火山灰土が厚い、という3項目に着目して抽出を行う。

(1)、(2)については、レーザープロファイラー (LP) による詳細な地形データ (1～2m メッシュ) を元にして地形分類図を作成し、(1)、(2)に該当する斜面を抽出する。

(3)については、火山灰層が厚い箇所を面的に抽出する方法として、空中電磁調査の活用が考えられる⁶⁾。その場合は、現地踏査やボーリング調査等によって、テフラや火山灰土の層厚を計測するためのパラメータ設定を行うことと、計測精度を確認することが重要である。

3) 詳細調査

詳細調査は、広域調査によって抽出された斜面を対象として、すべり面となりうる弱層の有無等を踏査・サウンディング等の現地調査によって確認し、崩壊性地すべりの発生の恐れのある斜面の二次抽出を行う。詳細調査においては、以下の項目について現地調査を行う。

2.3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究

- (1) 広域調査による地形分類調査結果の確認
- (2) 広域調査によるテフラや火山灰土層の調査結果の確認
- (3) すべり面となりうる弱層の有無及び連続性
- (4) 弱層に強い応力を作用させる可能性のある硬軟層の境界の有無及び連続性

(1)については、現地踏査によって、「頂部斜面と上部谷壁斜面が広い」、「脚部が下部谷壁斜面に切られている」という条件を確認する。

(2)、(3)については、対象斜面における簡易貫入試験およびハンドオーガーによって、斜面表層地質の調査を行い、火山灰層の厚さ、弱層の有無及び連続性、硬軟層の境界の有無及び連続性を確認する

4) 崩壊性地すべりによる災害の恐れのある斜面の抽出

詳細調査によって抽出された斜面を対象として、崩壊性地すべりが発生した場合の到達範囲の予測を行い、保全対象への影響を考慮し、崩壊性地すべりによる災害の恐れのある斜面の抽出を行う。なお、具体的な到達範囲塞手法については、次年度以降に検討する予定である。

8. まとめ

平成25年度は、白河丘陵以外の箇所についても現地調査にて発生実態の把握を行い、白河丘陵とそれ以外との発生箇所およびすべり面の特徴について比較、類型化を行った。類型化された発生箇所およびすべり面の特徴から、発生危険度を評価する方法と評価するための調査方法について検討を行い、その調査方法の適用性および発生危険度評価について検討を行った。以下に結果をまとめる。

- (1) 火山灰被覆丘陵 (見高入谷地区、御岳高原地区) の調査結果から、白河丘陵で発生した崩壊性地すべりと共通した地質的特徴があり、すべり面となりうる弱層が連続性をもって流れ盤である。火山灰被覆丘陵において、この地質的特徴を有しているかどうかを調査することで、地震による崩壊性地すべりの発生危険度を評価することができると考えられる。
- (2) 発生危険度を評価するための詳細調査の手法としては、比較的簡便な簡易貫入試験とハンドオーガーが有効であると考えられる。
- (3) 崩壊性地すべり恐れのある斜面の抽出方法としては、調査の効率性を考慮し、1) 予備調査、2) 広域調査、3) 詳細調査、4) 崩壊性地すべりによる災害の恐れのある斜面の抽出の4段階に分けて行うことが考えられる。

6. 今後の課題

今後も引き続き、地震・融雪・豪雨により流動化する地すべりの機構解明を進め、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測手法について検討し、流動化地すべりによる被害の軽減策につなげていく計画である。

参考文献

- 1) 杉本宏之、宇都忠和、本間宏樹、武士俊也（2012）東北地方太平洋沖地震により白河丘陵で発生した地すべりの発生斜面の地形・地質的特徴、土木技術資料、Vol.54、No.10、pp.18-22.
- 2) M. CHIGIRA (1982) Dry debris flow of pyroclastic fall deposits triggered by the 1978 Izu-Oshima-Kinkai

2.3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究

- earthquake the collapsing landslide at Nanamawari, Mitaka-Iriya. Natural disaster science 4(2), 1-32, 1982
- 3) 田中耕平、国土防災科学技術センター(1985)昭和59年(1984年)長野県西部地質調査報告書、pp67-69
 - 4) 植原ら(1985)昭和59年(1984年)長野県西部地震調査報告書、pp67-69
 - 5) 田村俊和(1987)湿潤温帯丘陵地の地形と土壌、ペドロジスト、Vol.31、No.2、pp.135~146.
 - 6) 大平知秀、手代木裕司、相馬邦彦、杉本宏之、中野英樹、樽角晃、武士俊也、千田敬二、河戸克志、馬場敬之(2013)葉ノ木平地区周辺の斜面構造について-地すべり性崩壊発生危険と評価の試み、平成25年度砂防学会研究発表会概要集、pp.10-11.

Research on prediction of occurrence sites and runout ranges of landslides with high mobility

Budgeted : Grants for operating expenses General
account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group (landslide)

Author : ISHII Yasuo
SUGIMOTO Hiroyuki

Abstract : Because of impacts of landslides with high mobility threaten to reach further than generally expected, the government's concerns for risks of such landslides has grown. Through the concern, 5-years collaborative research with the Snow Avalanche and Landslide Research Center started in 2011. In the last year (FY2013), we conducted study about control factors of occurrence sites of earthquake-induced landslides. We also examined an evaluation method of possibility of the outbreak of the landslide based on clarified a geologic and geomorphic characteristic.

Key words : landslide with high mobility, control factor, occurrence mechanism