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:武士俊也、杉本宏之

【要旨】

地すべり土塊が流動化した場合、被害が通常想定されているもの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 24 年度は、 過去の地震によって発生した流動性の高い地すべり・崩壊と平成 23 年東北地方・太平洋沖地震によって発生した 葉ノ木平地区地すべりとの発生要因について比較調査を行った。また、長距離を流動した平成 23 年の山形県池 ノ台地区地すべり移動機構について、樹脂固定標本による流動土塊底面の堆積構造調査を実施した。

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、被害が通常想定され ているもの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、発生箇所の地質・地形的特徴から 地すべり土塊の流動の要因を明らかにする。さらに、こ れらの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、平成23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、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。平成24 年度は、この結果の他地域への適用可能性を調査するため、過去の地震によって発生した流動性の高い地すべり・崩壊の発生要因について調査を行った。また、長距離を流動した土塊の移動機構を解明するため、平成23 年に発生した山形県池ノ台地区の崩壊性地すべりを対象 として、流動土塊のすべり面構造の調査を実施した。

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. 地震によって発生した流動化する地すべりの要因

3. 1 調査概要

初年度となる平成23年度は、平成23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、主要な要因を明らかにすることができた。平 成24年度は、この結果の他地域への適用可能性を調査 するため、過去の地震によって発生した流動性の高い地 すべり・崩壊の発生要因について調査を行った。対象と したのは、昭和43年十勝沖地震によって青森県八戸市周 辺で発生した崩壊、昭和53年伊豆大島近海地震によって 静岡県河津町で発生した地すべり性崩壊である。

3. 2 調査方法

調査対象の崩壊性地すべりの概要を表1に示す。これ らを対象として、地すべり発生斜面の地形的特徴を把握 するために微地形分類図を作成した。丘陵地の微地形分 類手法⁸を基に地震発生前後の空中写真の実体視判読、 レーザープロファイラー(LP)のDEMから作成した地形 図、傾斜分布図の判読によって微地形分類図を作成した。

地すべり発生斜面の地質については、現地調査によっ て、地すべり地の滑落崖・側方崖等でのすべり面付近の 地質を中心に観察した。また、観察断面において山中式 土壌硬度計による硬度(支持強度)の測定を行った。

表1 調査対象とした崩壊性地すべりの概要

		1988年十歲沖难震	1978年伊亚大島 近海地震	2011年東北地方 太平洋外地震		
地震	柴生年月日	1968年5月16日	1978年1月14日	2011年3月11日		
	是大賞室	(職)第5	#18.0	民止7		
崩壊性地すべい	免生地域	青銅県 ハ戸市・五戸町周辺	雙國緊河岸政 見高入待地区	福島県 白河市周辺		
	発生激減の 震変	観察5 (八戸)	医皮育~6 (伊里永知伊田廷平和王王) ⁴)	震振感激 (白河)		
	秘密教育	大山観眉物『	火山親房智々	火山朝鮮物 P		
	最大移動振発	最大300m ¹⁾	100-300m ^a	最大280m 7		
	その後	各量 の 未行降雨 ¹⁾				

3.3 調査結果

3. 3. 1 1968 年十勝沖地震

堀田ら¹によれば、①谷頭凹地を発生域とする崩壊性 地すべりに近いタイプ(丸のみ状崩壊)、②上部谷壁斜面 が下端の遷急線付近から崩壊する表層崩壊に近いタイプ (板状崩壊)の2タイプに分類されている。本調査では、

崩壊性地すべりに近い丸のみ状崩壊を対象とした。

地形分類図と崩壊発生箇所を比較すると、丸のみ状崩 壊の発生域となっている谷頭凹地は、小規模かつ深い形 状の凹地形であり、地下水が集まりやすい地形である。

側方崖で表層地質が観察できた彦三郎地区(丸のみ状 崩壊)では、すべり面と考えられる砂質火山灰・軽石混 じり火山灰³は比較的強度が弱い層となっている。その 直下のシルト質火山灰層から上位は褐色風化しており、 シルト質火山灰層が不透水層となっていることが考えら れる。十勝沖地震では先行降雨が多く、丸のみ状崩壊が 発生した谷頭凹地は横断形、縦断形ともに凹型で水が集 まりやすい形状であることから、シルト質火山灰層より 上位の地下水位が高い状態であった可能性が高い。崩壊 発生直後の調査では、軽石層が液化して崩壊が生じた可 能性が指摘されている²。地下水を多量に含んだ状態で 地震動を受けたことで、流動性が高く長距離移動したと 考えられる。



図1 地形分類図と崩壊発生箇所



図2 すべり面付近の地質柱状図(彦三郎地区)

3. 3. 2 1978年伊豆大島近海地震

地形分類図と崩壊発生箇所を比較すると、上部谷壁斜 面と下部谷壁斜面の境の遷急線付近から上部谷壁斜面が 崩壊するタイプが多い。地震発生以前からの下部谷壁斜 面の拡大によって脚部が侵食されて不安定化した上部谷 壁斜面上が崩壊したと考えられる。また、張り出した尾 根の先端に崩壊が多いことから、凸型の斜面で地震動が 増幅されたことが影響していると考えられる。



図3 地形分類図と崩壊発生箇所



図4 すべり面付近の地質柱状図

調査対象地すべりが発生した上部谷壁斜面には火山灰 層が厚く堆積しており、すべり面は褐色ローム(スコリ ア混じり褐色ローム)の層準であった。褐色ローム上部 は軟弱な粘土であり、特に七廻では古土壌⁵⁰であった。 すべり面となった部分の強度が低かったことに加えて、 地震によって上位の火山灰層との硬軟境界部に強い応力 が作用したことが、すべり面での破壊を生じた要因と考 えられる。

大池西地区においては、側方崖においてすべり面となった褐色ロームとその上位の火山灰層が斜面に沿って流れ盤状態で堆積している様子が確認された。すべり面となったテフラ起源の弱層が面的に広がり、その上位の火山灰層も板状に広がっていたことで、板状の一連の斜面 堆積物が地すべりを起こしたと考えられる。

3. 4 2011 年東北地方太平洋沖地震との比較

各事例の地形・地質的特徴を表2に整理した。2011年 東北地方太平洋沖地震の白河の事例と1978年伊豆大島 近海地震の見高入谷の事例は、崩壊発生の地形環境が上 部谷壁斜面であること等の共通点が多くあり、類似事例

(上部谷壁斜面タイプ)ということが出来る。一方で、 1968 年十勝沖地震は谷頭凹地で発生していることをは じめとして発生機構が異なり、異なるタイプ(谷頭凹地 タイプ)の現象といえる。

危険箇所の抽出につながる地形・地質的特徴について 引き続き類型化を行うとともに、効率的に調査可能な手 法についても検討していく必要がある。

表2 地形·地質的特徵

		1 999年十唐沖 油震 (八戸:丸のみ状炭薬)	1978年伊豆大島 近海地震(見高入谷)	2011年東北地方 太平輝沖油雲(白河)		
龙影	先生斜面	谷頭凹地	上部眷壁斜面	項部斜面 上部各壁斜面		
	地震跑动增幅	-	隠根の末端斜面	尾根付近の運急機		
	剑阔不安定	-	政部侵良 (下部符登祭面)	原都侯虎 (下部苻壁斜面)		
* X	地下水形成	多量の先行降限、 希疑凹地(毒水地影)、 火山肥厚(不遊水原)	-	-		
地震-土衡	執憲局の存在	-	興化テ フラ、 古土壌(風化テフラ起 源)	風化テフラ		
	激状化(強度低下)	砂賞火山阪・磐石道じ 以火山灰	?	?		
	征敵爆界への 強い応力の作用	_	確いテフラ県と直下 の装装な風化テフラ 局	使いアフラ原と直下 の状態な良化アフラ 原		

4. 流動土塊のすべり面構造

4. 1 調査概要

平成23年5月22日に最上川水系立谷沢川左支流濁沢 川流域内の池ノ台地区において大規模崩壊が発生し、崩 壊土砂が濁沢川本川河道を約1.5km流下した。長距離流 動した崩壊土砂の移動形態を解明するため、崩壊土砂を 切る工事法面等に露出した崩壊土砂底面において試料を 採取し、大型樹脂固定標本を作成して堆積構造の分析を 行った。

4. 2 調査方法

図5に示すとおり工事法面の3箇所で標本作製のため の試料採取を行った。A及びC地点ではブロックサンプ リングを行い、B地点ではシンウォールサンプリングを 行った。各地点の地質断面図を図6に示す。

採取範囲は崩壊土砂と河床砂礫の境界を含む範囲(高 さ20~30cm)とした。ブロック試料は砂礫や礫混じり粘 土からなり、そのままでは脆く観察に適さない。そのた め、乾燥させた後に透明樹脂で固定し、切断及び研磨し て観察面とした。試料のサイズは大きいが、基本的には ボーリングコアで作製する樹脂固定すべり面標本⁹と同 じものである。分析にあたっては、標本観察面の堆積構 造等を観察し、その結果を樹脂固定標本観察柱状図¹⁰と して整理した(試料Aのみ示し、BとCは写真のみ示す)。 観察項目は礫の特徴、礫配列等、破砕・変形構造等であ る。観察結果に基づき、土塊の移動形態について考察を 行った。



図5 調査位置図



図6 各地点の地質断面

4.3 大型樹脂固定標本の観察結果

A地点) 濁沢第7砂防堰堤下流トレンチ試料(試料A)

観察断面の底部に近い位置から採取したブロック試料 (観察面 25cm×15cm)である。樹脂固定標本観察柱状図 を図7に示す。標本の底部は河床砂礫層であり、その上 位は礫混じり茶褐色粘土層で、漸移区間を経て淡緑灰色 変質凝灰角礫岩層となる。河床砂礫層は多様な礫種の亜 角〜亜円礫で構成される。

河床砂礫層と上位の礫混じり茶褐色粘土層の境界はシ ャープである。礫混じり茶褐色粘土層はマトリクスの比 率が高く、礫が均等に散らばって含まれている。明瞭な 変形構造や配列構造は認められない。含まれる礫は多種 の亜円~亜角礫であり、河床砂礫層の礫と類似する。礫 混じり茶褐色粘土層と淡緑灰色変質凝灰角礫岩層の漸移 区間では、淡緑灰色変質凝灰角礫岩層起源の粘土・礫が 引き延ばされて、礫混じり茶褐色粘土層に溶け込んでい くような構造が認められる。淡緑灰色変質凝灰角礫岩層 においては、礫の破砕、粘土の引き延ばし等による明瞭 な縞状構造が認められる。この縞状構造は、地すべりの すべり面付近で観察されるような明瞭なものである。

B地点) 濁沢第4砂防堰堤上流法面試料(試料B)

法面で確認された河床礫と崩壊土砂の境界でシンウォ ールサンプリングした試料(観察面 30cm×7cm)である。 樹脂固定標本の写真と地質区分を図 8(左)に示す。標 本の底部は腐植層が載った河床砂礫層であり、その上位 は礫混じり茶褐色粘土層、赤紫色変質凝灰角礫岩層(上 部は礫が混じる)となる。腐植層は一部がめくれ上がり、

ミ 鼎	樹脂固定標本	地質名		地質記載	細胞率	離離	馦円 慶度	禄記列・ 続状構造	色調	破砕·変 形構造
88		-	波穆灰色 変質凝灰 角聯岩	御の破砕、粘土の引き伸ばし等に よる明瞭な綿状構造が認められ る。	60	やや粗粒	0.5	礎が配列 し、 続伏 構造 <u>を呈</u> する	波録 灰	藤の確 砕、粘土 の引き伸 ばし。
610		単数 生砂 (土砂 都)	満録 変質凝灰 角間岩と 茶樽色粘 土間混在	茶褐色粘土層と波縁灰色変質凝 灰岩との海移区間。 淡緑灰色変質 凝灰角酸岩起源の粘土・酸が引き 伸ばされて、茶褐色粘土層に沸け 込む。	70		0.7	実線灰色 凝灰岩起 源の粘土 が続伏機 道を呈す	縁 淡灰茶	
0.20			茶褐色粘 土勝	マトリックスの比率が高く、能が均等に 設らばる。明確な変歩構造や記列等 は思められない、得は更円へ更免瞭 で、河床砂酸と麺似する。下位の河床 砂穂との境界はシャープである。	80	や 糟	0.8	離は均等 に散らば る。	孋	破砕変形 構造は不 明瞭
0 <u>25</u>		,闻)	床砂糠	線径が販mm~量cm大の多様な線 種の亜角から亜円線の河床砂礫 からなる。	50	粗粒	0.8			

図7 資料Aの樹脂固定標本の観察柱状図

上位の茶褐色粘土が入り込んでいる。礫がマトリクス中 に均等に散らばって含まれており、明瞭な変形構造や配 列構造は認められない。赤紫色変質凝灰角礫岩層の上部 には、茶褐色粘土層と同様に、多様な礫種の亜角~亜円 礫が混じり込んでいる。

C地点) 濁沢第8砂防堰堤付近トレンチ試料(試料C)

トレンチの観察断面の底部に近い位置から採取したブ ロック試料(観察面 20cm×15cm)である。樹脂固定標本 の写真と地質区分を図 8(右)に示す。標本の底部は河 床砂礫層であり、その上位は礫混じり茶褐色粘土層、強 変質凝灰角礫岩層、再び礫混じり茶褐色粘土層となる。 礫混じり茶褐色粘土層はマトリクスの比率が高く、礫が 均等に散らばって含まれている。また、強変質凝灰角礫 岩起源の粘土が引き延ばされつつ、溶け込んでいく様子 が観察される。礫混じり茶褐色粘土層に挟まれた強変質 凝灰角礫岩層は小片状の塊として礫混じり茶褐色粘土層 中に取り込まれたものとみられる。



図8 試料B、Cの樹脂固定標本

4. 4考察

4. 4. 1崩壊土砂底面の構造

A~C地点の全ての試料において、崩壊土砂の底部は礫 混じり茶褐色粘土層であった。礫混じり茶褐色粘土層は、 ①上位層の粘土が引き延ばされつつ溶け込んでいる、② マトリクスの比率が高く、その中に河床砂礫起源の礫が 均等に散らばって含まれているという特徴を有すること から、崩壊土砂の移動時にはスラリー状(流体状)であ ったと推定される。また、礫が沈降した様子が認められ ないことから、ある程度の濃度と粘性を有していたと考 えられる。

4. 4. 2 崩壊土砂の移動形態

崩壊土砂底面と河床砂礫との境界部分はスラリー状に なっており、A 地点よりも下流側のB 地点及びC 地点で は土塊底面のスラリー状の領域が、厚くなっていたこと が法面で観察されている。最下流のC 地点では崩壊土砂 の全面がスラリー化し、より攪乱された状態になってい た。大規模崩壊が発生した5月は融雪出水の時期であり、 濁沢川本川の流量は多かったと推定される。大規模崩壊 発生後、崩壊土砂が濁沢川本川に流入し、当初は地すべ り的な移動形態であったが、移動とともに崩壊土砂と水 の混合(スラリー化)が底面から生じ、下流に行くほど スラリー化が全体に進行して流体的な移動形態に移行し たと推定される。

5. まとめ

平成24 年度は、平成23 年度に調査した葉ノ木平地区 等の崩壊性地すべりと過去の地震によって発生した流動 性の高い地すべり・崩壊の発生要因について比較を行っ た。また、流動土塊が長距離移動する要因を解明するた め、平成23 年に発生した山形県池ノ台地区の崩壊性地 すべりを対象として、流動土塊のすべり面構造の調査を 実施した。以下に結果をまとめる。

- (1)1968年十勝沖地震では先行降雨が多く、丸のみ状崩 壊が発生した谷頭凹地は水が集まりやすい形状であ り、すべり面より上位の地下水位が高い状態であっ た可能性が高い。地下水を多量に含んだ状態で地震 動を受けたことで、流動性が高く長距離移動したと 考えられる。
- (2)1978年伊豆大島近海地震では、脚部侵食により不安 定化した上部谷壁斜面上が崩壊したと考えられる。 すべり面となったテフラ(古土壌)の弱層が面的に 広がり、その上位の火山灰層も板状に広がっていた ことで、板状の斜面堆積物が地すべりを起こしたと 考えられる。
- (3)2011年東北地方太平洋沖地震と1978年伊豆大島近海 地震の事例は、崩壊発生の地形環境が上部谷壁斜面 であること等の共通点が多くあり、類似事例(上部 谷壁斜面タイプ)ということが出来る。一方で、1968 年十勝沖地震は谷頭凹地で発生していることをはじ めとして発生機構が異なり、異なるタイプ(谷頭凹 地タイプ)の現象といえる。
- (4) 池ノ台地区の大規模崩壊においては、崩壊土砂の底 部は移動時にはスラリー状(流体状)であったと推 定される。

(5) 大規模崩壊が発生した5月は融雪出水の時期であり、 濁沢川本川の流量は多かったと推定される。大規模 崩壊発生後、崩壊土砂が濁沢川本川に流入し、当初 は地すべり的な移動形態であったが、移動とともに 崩壊土砂と水の混合(スラリー化)が底面から生じ、 下流に行くほどスラリー化が全体に進行して流体的 な移動形態に移行したと推定される。

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繋げていく計画である。

参考文献

- 1) 堀田報誠、三浦修、田村俊和(1968) 十勝沖地震による青森
 県南東部の斜面崩壊、東北地理、Vol. 20、No. 4、pp. 195-201.
- 2)東北大学理学部地質学古生物学教室災害調査グループ (1969)地震に伴う自然現象と災害青森県東北部における 1968年十勝沖地震の実例について、東北大地質古生物研邦 報、No. 67、pp. 1-98.
- 吉田昌弘、千木良雅弘 (2012) 1968 年十勝沖地震によって 降下火砕物層に発生した崩壊と風化の関連について、応用 地質、Vol. 52、No. 6、pp. 213-221.
- 村井勇、角田信子、辻村芳子(1978)1978年伊豆大島近海 地震の被害・震度と地震断層、地震研彙報、Vol.53、 pp. 1025-1068.

- 5) M. CHIGIRA (1982) Dry debris flow of pyroclastic fall deposits triggered by the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake the collapsing landslide at Nanamawari, Mitaka-Iriya. Natural disaster science 4(2), 1-32, 1982
- 6) 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.
- 7) H. SUGIMOTO, T. UTO, H. HONMA and T. TAKESHI (2012) Geomorphologic and Geologic Features of Landslides Induced by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, in Shirakawa Hills, Fukushima Prefecture, international Symposium on Earthquake-induced Landslides.
- 8) 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.
- 9) 武士ほか:樹脂固定法によるすべり面標本作製マニュアル (案)、土木研究所資料4227 号、2012.
- 10) 土木研究所ほか: すべり層のサンプリングと認定方法に関す る研究 共同研究報告書 449 号、2012.

RESEARCH ON PREDICTION OF OCCURRENCE SITES AND RUNOUT RANGES OF LANDSLIDES WITH HIGH MOBILITY

Budged : Grants for operating expenses General account
 Research Period : FY2011-2015
 Research Team : Erosion and Sediment Control Research Group (landslide)
 Author : TAKESHI Toshiya SUGIMOTO Hiroyuki

Abstract : Because 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 (FY2012), we conducted study about control factors of occurrence sites of earthquake-induced landslides. We also conducted a study on the sliding surface structure of the landslide mass.

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