

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

| | | | | | | |
|---------------|---------------------|--|-------------------|----------|------|--|
| ①研究代表者 | 氏名 (ふりがな) | | 所属 | | 役職 | |
| | 丸谷 知己 (まるたに ともみ) | | 北海道大学大学院農学研究 院 | | 特任教授 | |
| ②研究 テーマ | 名称 | 火山地域における樹木を伴う山腹崩壊の発生と流動 | | | | |
| | 政策 領域 | [分野] 砂防技術分野 | | 融合 技術 | | |
| | | [公募課題] | | | | |
| ③研究経費 (単位:万円) | 平成26年度 | 平成27年度 | 平成28年度 | 総 合 計 | | |
| | 1,554 | 1,575 | 1,459 | 4,588 | | |
| ※端数切り捨て。 | | | | | | |
| ④研究者氏名 | | | | | | |
| 氏 名 | | 所属・役職 (※平成28年3月31日現在) | | | | |
| 小山内信智 | | 北海道大学大学院特任教授 (平成27, 28年度) | | | | |
| 笠井美青 | | 北海道大学大学院准教授 | | | | |
| 桂真也 | | 北海道大学大学院助教 (平成27, 28年度) | | | | |
| 林真一郎 | | 北海道大学大学特任助教 (平成28年度) | | | | |
| 井良沢道也 | | 岩手大学教授 | | | | |
| 平松晋也 | | 信州大学教授 | | | | |
| 福山泰治郎 | | 信州大学助教 | | | | |
| 山田孝 | | 三重大学教授 | | | | |
| 清水収 | | 宮崎大学教授 | | | | |
| 南哲行 | | 北海道大学大学院農学研究特任教授 (当時) (平成27年度) | | | | |
| 野呂智之 | | 北海道大学大学院農学研究特任准教授 (当時) (平成27, 28年度) | | | | |

⑤研究の目的・目標

火山地域における土砂災害対策は、これまで融雪泥流や噴火後の二次泥流などを対象に実施されてきており（十勝岳，有珠山，三宅島，雲仙など），最近では噴火時の緊急減災対策も予め火山ごとに策定されつつある。

しかし近年の災害事例からは新たな課題も見出すことができる。阿蘇外輪山（平成24年）では、脆弱な山腹斜面と短時間降雨が組み合わさった場合の土砂移動プロセス（崩壊，流下，氾濫）の解明等について，また伊豆大島（平成25年）では，明瞭な沢地形を呈していない未固結な火山噴出物からなる山腹斜面における土砂移動プロセスの解明が必要であること指摘されるなど，火山地域で発生する表層崩壊を起因とした土砂災害への対応が求められている

また，仙北市（平成24年）や伊豆大島では，斜面の立木が流木化し土砂と一体的に流下したことにより人家等に甚大な被害を生じさせた。斜面に存在する植生は雨滴侵食や表層土の安定に関して一定の効果があることから，特に樹木に覆われたいわゆる「緑の斜面」は災害を軽減させると一般的に思われているが，今回の事例では流木化することにより逆に被害を拡大させた可能性が指摘されている。

本研究においては，上記の課題を解決するために今後必要と想定される行政施策（基本指針，調査マニュアル等）の立案に資する知見を示すことを目的とする。具体的には，阿蘇外輪山や伊豆大島のような火山地帯における土砂移動プロセスの解明と対策に関する知見，および，土砂と一体化して流下する流木の挙動についての解明と対策に関する知見を示すこととする。

阿蘇外輪山や伊豆大島をはじめ同様な火山地帯における過去の表層崩壊事例を収集整理し，災害発生降雨，地形，地質の特性を分析するとともに表層崩壊発生の時期，規模，機構を解明する。得られた結果を元に同様な危険性を有する地域の分布状況をまとめ，最終的な成果として表層崩壊の多発が予想される未開析な火山山腹斜面を抽出するための知見を提示する。

仙北市や伊豆大島をはじめ立木が流動化した過去の災害事例を収集整理し，流木の有無による被害の特徴，規模等の分析を行い，土砂と一体化して流下する流木の挙動を解明するとともに，流木と一体化した土石流の氾濫区域の実態を明らかにする。最終的な成果として斜面崩壊により立木が流木化して流下する場合を想定した土砂災害対策施設の計画・設計を検討するための知見を提示するとともに，流木と一体化した土石流を対象とした土砂災害防止法の基礎調査に関する考え方（危害のおそれのある土地，著しい危害のおそれのある土地の設定等）を提示する。

⑥研究成果

1. 火山森林地域における表層崩壊同時多発危険箇所の抽出マニュアル作成に向けた検討

(1) 熊本県阿蘇カルデラ壁を対象に、異なる誘因（平成28年熊本地震：H28地震、平成24年7月九州北部豪雨：H24豪雨及びH28地震後の降雨：H28豪雨）で発生した崩壊を比較し、誘因の違いによる崩壊発生場の特徴を検討した。崩壊個数密度を比較すると、いずれの誘因においても火砕流堆積物が最も高かった。これは、火砕流堆積物は安山岩溶岩と比較すると形成年代が新しく脆弱であり、また崖錐堆積物やその他と比較すると平均勾配が大きく急峻であるためと考えられる。火山噴出物の分布域を対象に崩壊個数密度を求めたところ、H24豪雨では降雨が集まりやすい凹部、H28地震では地震動の影響を受けやすい不安定な凸部で崩壊が多く発生したことが分かった。H28降雨では凹部だけでなく凸部でも崩壊が多く発生しており、これはH28地震に伴う地盤の緩みの影響と考えられる。大規模地震が地盤の緩みを引き起こすことで、それまでは降雨に崩壊危険度の低かった箇所でも地震後には降雨によって崩壊が発生する危険性があることが示された。

(2) 同じく阿蘇カルデラ壁を対象に、土層構造や土の透水性等を調べて崩壊の発生要因を検討した。阿蘇カルデラ壁の崩壊は0次谷や浅い凹型斜面などで発生しており、このような凹地形には基盤風化物ではなく周りから移動してきた崖錐堆積物が蓄積していた。このような凹地形が持つ崩壊材料の蓄積と集水性の高さが崩壊発生にかかわる立地的な要因であったと考えられる。また、崖錐堆積物とその下位の基盤材料との間には土壌硬度と透水性に大きな違いがあり（崖錐堆積物の方が硬度・透水性共に高い）、この土の性質の違いが崩壊発生メカニズムに深く関係したと考えられる。

(3) 熊本県阿蘇中央火口丘では平成24年7月九州北部豪雨の際に厚い降下火山灰層で崩壊が発生したが、この中央火口丘群の表層崩壊発生現場3ヶ所（全て草地斜面）において火山灰層の土層構造と透水性を調べて崩壊発生メカニズムを検討した。滑落崖の土層断面の表面を削り、また底部を掘削して、崩壊深の上位と下位にある土層それぞれから不攪乱試料を採取し、同時に土壌硬度を計測した。土層構造については色の違いと手触りによる粒径の違いに基づいて土層を区分し、深さ方向の土層変化として把握した。不攪乱試料は持ち帰って実験室での透水試験に用いた。3ヶ所の崩壊地は同じ土層構造を有し、上位が暗灰色ないし暗褐色の火山灰層（黒色系の層）、下位が黄褐色の火山灰層からなる（図1）。いずれの崩壊地でも黒色系の層と黄褐色層との境界付近にすべり面が形成され、上位の黒色系の層が崩れていた。黄褐色層の透水係数は黒色系の層よりも1~2オーダー小さかった（図1）。従って黄褐色層は難透水層として作用し、豪雨の最中に黒色系の層と黄褐色層との境界付近で間隙水圧が上昇し、そこでせん断破壊が起こって上位の黒色系の層がすべり落ちたと考えられる。また、土壌硬度は、調査地点2ヶ所では黄褐色層の値が黒色系の層より大きく（図1）、土の強度の面からも黄褐色層は黒色系の層よりも崩壊し難かったと考えられるが、他の1ヶ所においては黄褐色層の方が小さかった。このことは、すべり面の決定においては土壌硬度の違いよりも透水性の違いの方が支配的な要因であったことを示唆している。

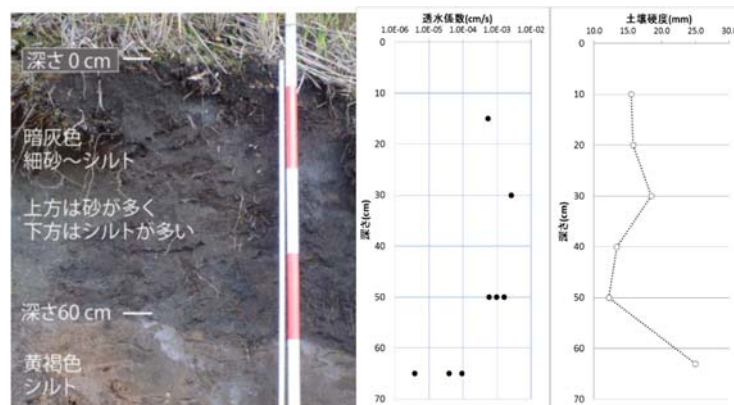


図1. 熊本県阿蘇中央火口丘の崩壊滑落崖の土層断面と透水係数及び土壌硬度

⑥研究成果（つづき）

なお、黒色系の層は層準、色、粒径の特徴から、阿蘇火山の最新の噴火期であるN1期（過去1,000年間）に堆積した火山灰であると判断された。一方、黄褐色層はN4期（約3,000年前）か、もしくはそれ以前のテフラと考えられた。今回調査した平成24年（2012年）の崩壊と同様に、1990年と2001年のイベントでも厚い火山灰が堆積した斜面で同様の崩壊形態が確認されている。すなわち、同様のイベントが約10年おきに3回繰り返され、非常に再現性の高い事象であることが分かる。それに加えて、火山灰の降下堆積によって形成された土層構造はこの地域一帯に広く共通していることから、今後も同様の崩壊形態が火山灰が厚く堆積する斜面において繰り返されることが強く示唆される。

(4) 2015年9月台風18号に伴う大雨で大規模な斜面崩壊が発生した栃木県日光市白石川地区を対象に斜面微地形、土質などの調査を行い、崩壊の発生要因を考察した。調査対象流域は標高400～500 mの小起伏山地で、地質はチャート・粘板岩（中生代の付加体堆積物）であり、比較的緩傾斜な山麓部では関東ロームが地表を覆っている。簡易貫入試験じゃ、基盤が露出している崩壊頭部崖上1ヶ所、崩壊地内部1ヶ所、崩壊地左岸外縁部2ヶ所（樹木で覆われている）の計4地点で行った。崩壊頭部崖上では140 cm深で、崩壊地内部では180 cm深で N_{10} 値が急変し50を超えた。崩壊頭部崖上については黒ボク層下限のローム層との境界がこの深度に当たる（この層に散在する礫に当たった可能性が考えられる）。崩壊地内部ではこの深度で基盤層に達したと考えられる。崩壊地左岸外縁部の2ヶ所では N_{10} 値が10以下の層が300 cmを超えた。流域斜面には300 cm以上の表土層があることが確認された。

○透水性試験：崩壊地内の5地点で不攪乱試料を採取し、実験室にて透水性試験を実施した。ローム土の透水係数の値は崩壊地頭部と崩壊地右岸斜面で1桁の違いがあり（それぞれ 3×10^{-2} , 4×10^{-3} ）、鹿沼軽石土の値も崩壊地頭部と崩壊地左岸斜面で1桁の違いがあった（それぞれ 1×10^{-1} , 6×10^{-2} ）。崩壊地斜面の透水性の低い土層は崩壊地頭部の土層より古い年代に堆積したもので、風化による粘土化が進み透水性が低くなったと考えられる。頭部より下流部側の斜面において低い透水性は下流部側での地下水位上昇をもたらしたと考えられる。

○粒度試験：透水性試験と同じ5地点で採取した試料の粒度を計測したところ、崩壊地頭部の土層は粒径の幅が広く、崩壊地右岸斜面に比べてより粗粒である。このことは透水性試験の結果と調和的である。

(5) 2013年8月9日の豪雨により発生した秋田県仙北市供養佛地区の斜面崩壊と平成27年9月に発生した関東・東北豪雨による日光市白石川地区の斜面崩壊の発生場について、災害発生前の地形データを用いて傾斜角度・平面曲率・TWI・接峰面高度による推定侵食量の4つの地形量指標により崩壊発生場の地形的特徴を検討し、火山噴出物被覆斜面における未開析な斜面の抽出方法を検討した。また比較のため、平成25年8月9日の豪雨により発生した岩手県雫石町雫石川流域の斜面崩壊における傾斜角度・平面曲率・TWIの分析を行った。結果は以下の通りである。

○4つの地形量指標の中では、接峰面高度による推定侵食量（図2）が最もよく崩壊地斜面の地形的特徴を表しており、供養佛地区ではTWIによっても崩壊地と非崩壊地で違った傾向が得られた。

○供養佛地区では、接峰面高度による推定侵食量により未開析な斜面を抽出できる可能性を示した。

○白石川地区では、TWIと推定侵食量について供養佛地区ほど明瞭な傾向はみられなかったが、崩壊前地形の航空レーザ測量データが得られる写真測量によるDEMを用いたことが原因である可能性がある。

○雫石川流域の表層崩壊を対象とした分析では、他地区とは対照的にTWIに有意な傾向がみられず、傾斜角度と平面曲率が表層崩壊に関連していることを示した。これは、斜面中の土層構造に起因する透水性のコントラストによりすべりが生じた供養佛地区や白石川地区の崩壊との発生機構の違いを表しているものと思われる。

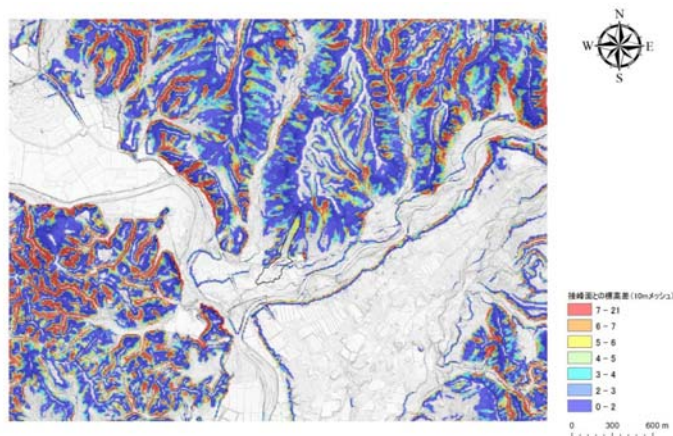


図2. 供養佛地区周辺斜面の推定侵食量の分布図

⑥研究成果（つづき）

(6) 2013年10月の伊豆大島での豪雨に伴う表層崩壊と土石流に関し、崩壊地源頭部周辺の地形形状、崩壊地周辺に自生する照葉樹林の卓越した水平根のネットワークによる緊縛力、崩壊規模の関係を明らかにするとともに、樹種の相異が崩壊規模に及ぼす影響を定量化した。調査対象地の大金沢は流域面積が1.7 km²の河川であり、崩壊が発生した上流部は勾配が35°以上の急峻な地形を呈している。崩壊地源頭部周辺の土層は島の中央部に位置する三原山の火山噴火によって堆積した火山灰である黒色のテフラと、火山灰が風食され再堆積したレスの互層構造となっている。崩壊地源頭部周辺での透水性をはじめとする土壌の物性値には各層で大きな差異が認められた。崩壊のすべり面は70 cm深度のテフラとレスの境界であり、すべり面の下位層であるレスの透水係数 (1.6×10^{-4} cm/sec) は、上位層であるテフラの100分の1程度と著しく低く、すべり面は透水性の不連続面となっている。崩壊地周辺の優占樹種はハチジョウイヌツゲとヒサカキであり、部分的にヤブニッケイが点在している。本研究では、この3樹種を対象に根系分布調査(図3)及と根系の引き抜き試験を実施した。根系分布調査の結果、鉛直根の最大伸長深は53cmでありすべり面(70cm)よりも浅く、崩壊発生時には鉛直根による崩壊抑制効果は発揮されなかったものと推察される。土層断面に出現した根系に対して引き抜き試験を行い、引き抜き抵抗力P(kN)と根系断面直径D(mm)との関係を見たところ、引き抜き抵抗力は根系断面直径を説明変数としてべき乗近似可能となることが分かった。

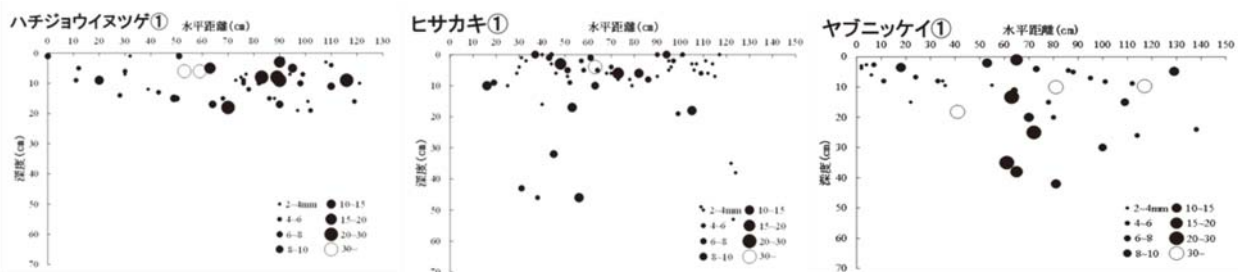


図3. 根系の分布状況

また、崩壊前後のDEM データを用いてモデル斜面を作成し、断面二次元飽和-不飽和流解析と斜面安定解析(従来モデル)を実施したところ崩壊規模の再現までには至らなかったため、樹木の水平根の緊縛力の影響を加味した【拡大崩壊モデル】で崩壊規模の再現したところ、実際の崩壊形態に近い結果を得られた。以上の結果、拡大崩壊範囲には樹木根系の存在だけではなく樹種の相違が多大な影響を及ぼすという興味深い事実が確認された。さらに、明瞭な谷地形を呈する大宮沢での拡大崩壊モデルによる解析結果より、拡大崩壊範囲は尾根部にまでは及ばないという結果が得られた。

(7) 2011年9月の豪雨により表層崩壊が多発した和歌山県那智川流域(流域面積24.8 km²)を対象に、発生しうる最大崩壊面積を推定し、大規模な土石流災害が起こりうる溪流の抽出を試みた。那智川流域は上流域が花崗斑岩、下流域が堆積岩からなる。斜面の危険度評価へ向けて、地質境界からの水平距離・流路からの水平距離・勾配・曲率・斜面方位を崩壊因子として選択し、DEMを用いてGIS上で算出した。崩壊箇所は地形図とオルソ写真から抽出した。Weight of Evidence法より崩壊因子各値と崩壊地の位置との関係を求めた後、崩壊危険度をvery high、high、medium、low、very lowの5段階で評価し、landslide susceptibility map (LSM)として図示した。5段階評価の結果については、ROC曲線を作成して求めたAUC値が高い値を示し、推定精度は高いことが検証された。崩壊の面積と斜面に接する溪流の浸食力との関係をunit stream power (USP)の概念を使って評価した。流路沿いの斜面を対象に、崩壊危険度がvery highおよびhighと評価された箇所についてUSPと崩壊面積の関係を調べたところ、USPが大きいほど崩壊の面積が大きくなった。USP-崩壊面積の関係から導かれる発生土砂量の推定値は2011年の災害に関しては災害時の実測値よりも大きくなった。2011年の災害時には花崗斑岩の風化があまり進んでいなかったことで大面積の崩壊が発生しなかったことも考えられる。なお、今回の解析は、表層崩壊が土石流を引き起こす場合にのみ適応される。裸地面積の大きい流域では、崩壊面積が小さくても河床に多くの不安定土砂が堆積して土石流量が多くなることがあるためである。そのような流域に対しては裸地の表面浸食の影響を考慮して斜面からの生産土砂量の推測を行った上で、流域からの発生土砂量の推定をすることが望ましい。

⑥研究成果（つづき）

3. 火山森林地域における流木対策高度化に向けた検討

(1) 2013年8月9日の秋田・岩手県豪雨により立木を伴った土石流災害が発生した秋田県仙北市供養佛地区（犠牲者6名）を対象として、土砂流木長、崩壊斜面における流木の形態、家屋に衝突した流木の形態の分類などを行い、特徴をまとめた。流木（全部で600本）の長さは2～12 mがやや多く、最も多かったのは38本ある12mであった。これは昭和30年代に活発に造林が行われたことが一因として考えられる。流木の家屋への衝突形態を調べたところ、大径流木による破壊力が強い衝突タイプである流木並列衝突タイプと、家屋一階部壁面突き抜けタイプが全体の85%を占めていることがわかった。土石流によって発生した流木量は、1279 m³～2558 m³と試算された。過去の災害の発生量と比べ、流域面積が小さいわりに発生流木量が大幅に大きい。土石流災害の被災範囲や危険区域の推定に当たっては、崩壊土砂量の推定に加えて、流木量の推定調査を実施することの重要性を指摘したい。

(2) 流木の衝撃力を推定へ向けて、フルスケールの木製耐力壁への原木丸太衝撃実験（自由落下試験）を実施して、木製耐力壁の破壊形態と破壊限界を調べ、原木丸太が木製耐力壁に衝突した際の無次元衝撃力算定式を提案した。実験結果とその考察は以下のとおりである。

○木製耐力壁は、原木丸太の衝突荷重に応じて、たわみ→亀裂→曲げ破壊→貫入といった破壊形態を呈する。その破壊限界自由落下高は10cmと15cmの間である。

○原木丸太が木製耐力壁に衝突した時の衝撃荷重は最大で約14kNとなり、動的载荷の約5.7倍である。

○木製耐力壁の破壊形態を考慮した無次元衝撃力算定式を提案した（図4）。この式を用いて、2014年8月に広島県広島市で発生した土石流を事例に流木の衝撃力を試算した結果、約19～31kNとなった。ただし、貫通領域では、実際の衝撃力の値はより小さいと考えられる。

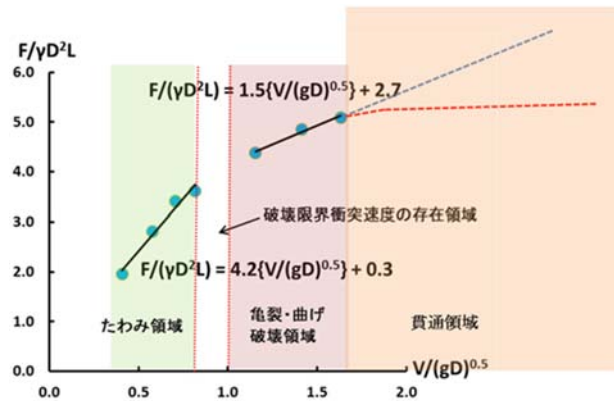


図4. 原木丸太が木製耐力壁に衝突した際の無次元衝撃力算定式

(3) 平成24年7月九州北部豪雨の際に阿蘇カルデラ壁で発生した5ヶ所の山腹崩壊を対象に、土砂と流木の氾濫実態を明らかにした。流木の長さ分布は、長い流木の多かった調査地と短い流木の多かった調査地があり、調査地によって異なっていた。氾濫域を斜面側から上方・中間・下方に分けた場合の区間ごとの本数密度は、上方に多く下方に少ない傾向が認められた。区間ごとの流木の長さ分布は、いずれの調査地でも長い流木は上方および中間区間に多く、下方区間には長い流木が少なかった。また、移動している流木が家屋に衝突し、その際の衝撃力によって家屋が損壊する危険度を評価では、長さ16m以上の流木は単木での衝突によっても木造の壁を損壊させるおそれがあることから、長さ16 m以上の流木の到達本数率によって危険区域内における相対的な危険度を表わした。長さ16 m以上の流木は調査地1, 2, 3, 5でそれぞれ16本, 15本, 21本, 12本であったが、これらが遷緩点から下方へ向かうに従って徐々に堆積していき、到達本数率が低下していった。流木による危険度の区分にあたって、長さ16m以上の流木のうち、50%以上が到達する範囲を危険度ランク3、それ以降で10%以上が到達する範囲を危険度ランク2、それ以降の範囲を危険度ランク1と提案する（図5）。

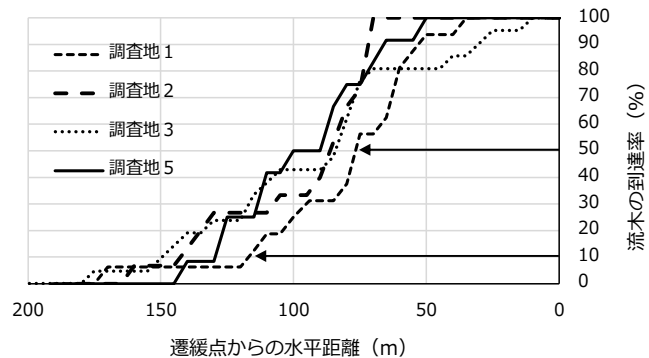


図5. 長さ 16 m 以上の流木の到達本数率

⑦研究成果の発表状況

※引き続き、研究成果については査読付き論文への投稿を行う予定である。

●査読付き論文 1編（うちSCI論文1編）

Shimizu, O., Ono, M (2016): Relationship of tephra stratigraphy and hydraulic conductivity with slide depth in rainfall-induced shallow landslides in Aso Volcano, Japan, Landslides, 13, p.577-582

●学会発表 27編（砂防学会研究発表会26編，日本地すべり学会研究発表会1編）

影山大輔、野呂智之、南哲行（2015）：伊豆大島における危険区域の拡大とその要因解析，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B444-445

吉留慧、山田孝、笠井美青、野呂智之（2015）：土石流によって流出した大径木の木造家屋への衝突，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B404-405

佐藤翔汰、井良沢道也、林一成（2015）：2013年8月9日秋田・岩手豪雨災害で発生した土砂産及び流出の特徴，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B254-255

佐藤空・平松晋也・福山泰治郎（2015）：伊豆大島大金沢で発生した崩壊地周辺での土層構造と地下水深の形成過程，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B104-105

児玉龍朋・清水収（2015）：阿蘇カルデラ壁において平成24年7月九州北部豪雨で発生した崩壊地のLPデータを用いた微地形解析，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B334-335

小野雅俊・清水収（2015）：平成24年7月九州北部豪雨で発生した阿蘇山草地斜面の崩壊における火山灰層の土層構造，透水性，崩壊深さの関係，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，p. B330-331

野坂隆幸・丸谷知己・笠井美青・桂真也・小山内信智・野呂智之・山田孝（2016）：流木群の衝撃力と流体力が土石流の最大衝突荷重に与える影響，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B278-B279

山本紘也・齋藤はるか・笠井美青・桂真也・野呂智之・丸谷知己（2016）：地形解析に基づく阿蘇山カルデラ壁の表層崩壊危険箇所の抽出，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B276-B277

佐藤翔汰・中村傑・坂田貴範・井良沢道也・林一成（2016）：2013年8月9日秋田・岩手豪雨災害で発生した土砂生産および流木の流出の特徴，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B284-285

林一成・井良沢道也・佐藤翔汰（2016）：DEMを用いた遷急線の自動抽出の試み，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B286-287

藤井直也・平松晋也・福山泰治郎（2016）：土層構造の変化が豪雨時の地下水帯形成過程に及ぼす影響 -火山地域を例として-，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B102-103

佐藤空・平松晋也・福山泰治郎（2016）：火山地域での土層構造の特徴が豪雨時における斜面内での雨水の浸透・流下過程に及ぼす影響，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，p. B288-289

佐藤空・平松晋也（2016）：伊豆大島大金沢で発生した表層崩壊の発生位置と発生時刻に関する一考察，第55回日本地すべり学会研究発表会講演集，P-2

児玉龍朋・清水収（2016）：阿蘇カルデラ壁で発生した山腹崩壊に伴う土砂と流木の到達範囲，平成28年度砂防学会研究発表会，p. B248-249

内田康太・山田孝・丸谷知己・笠井美青・野呂智之・野坂隆幸・紀太一也（2016）：大径流木が木造耐力壁に衝突する時の衝撃力 -大径流木の運搬形態モデルとフルスケールでの基礎実験-，p. B290-291

桂真也・齋藤はるか・梅谷涼太・笠井美青・丸谷知己（2017）：平成24年7月九州北部豪雨による阿蘇山カルデラ壁の崩壊発生場の特性解析，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 354-355

齋藤はるか・桂真也・梅谷涼太・笠井美青・丸谷知己（2017）：阿蘇カルデラ壁における平成28年熊本地震およびその前後の降雨による崩壊発生場の比較，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 404-405

笠井美青・柳井一希（2017）：和歌山県那智川流域における斜面崩壊面積と土石流規模の推定，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 356-357

野坂隆幸・丸谷知己・笠井美青・阿部孝章（2017）：扇状地模型を用いた流木混じり土石流の衝突荷重測定実験，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 500-501

井良沢道也・坂田貴範・中村傑（2017）：秋田駒ヶ岳周辺の火山地域における樹木を含む土砂災害の減災にむけての検討，平成29年度砂防学会研究発表会，p. 360-361

王凱・中村傑・坂田貴範・井良沢道也（2017）：火山地域における樹木を含む土砂災害の減災にむけての検討～水温特性、土質試験および地形解析による検討～，平成29年度砂防学会研究発表会，p. 582-583

林一成・井良沢道也（2017）：火山地域における未解析斜面抽出のため地形解析，平成29年度砂防学会研究発表会，p. 414-415

齋藤悠樹・平松晋也（2017）：火山地域での崩壊規模に及ぼす地形形状と樹木根系の影響，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 366-367

平松晋也・福山泰治郎・桑澤昭雄・齋藤悠樹（2017）：火山地域で発生する崩壊のタイミングとその規模に及ぼす樹木の影響，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 358-359

桑澤昭雄・平松晋也・福山泰治郎：樹木根系の存在が火山地域で発生する表層崩壊の規模に及ぼす影響（2017），平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 364-365

西山良樹・山田孝・内田康太・紀太一也（2017）：土石流が運搬する大径流木が木製耐力壁に衝突するときの衝撃力，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p. 770-771

清水収・児玉龍朋（2017）：阿蘇カルデラ壁で発生した山腹崩壊に伴う土砂と流木の到達範囲とそれに基づく危険区域設定の提案，p. 362-363

⑧研究成果の社会への情報発信

研究成果を行政関係者・研究者・建設技術者等に幅広く発信するため，平成29年度砂防学会研究発表会（奈良市，平成29年5月24日～26日，学会参加者：約1,000人）において，口頭発表特別セッション「火山地域における樹木を伴う山腹崩壊の発生と流動」を設け，5件の口頭発表を行い，研究成果を発表した（セッション参加者：約100名）。また，特別セッションの時間枠内において発表できなかった研究成果については一般口頭発表・ポスター発表合わせて7件の発表を行った。

⑨表彰、受領歴

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

崩壊発生場、崩壊に起因した土石流の危険渓流抽出方法については、主に水文地形学的なパラメーターを処理することで間便に行うことができるようになったが、今後は抽出精度の向上や各種パラメーターの物理的な根拠の説明などが必要となる。また、地形開析が未発達な火山地域では、樹木根系の緊縛力： $\Sigma \angle C$ と明瞭な谷地形形状が崩壊形状や規模の決定要因になる事実を明らかにし、樹木根系の効果が評価可能となる『拡大崩壊予測モデル』を作成し、良好な再現結果が得られたが、今後は、樹木根系や地形変化の影響を平面的に評価可能となる準3次元モデルの構築へと研究を展開していく必要がある。航空レーザ測量を用いた立木調査法により、より高精度で簡単に大規模崩壊に起因する土石流の推定流木量の試算を行うことができることが明らかにされたが、今後とも、本手法の適用事例を増やし、有効性を確認することが必要である。長大斜面における崩壊の危険区域設定の基準点とすべき遷緩点（線）については、阿蘇では遷緩点を境にした傾斜の違いが明瞭であり遷緩点の判別は容易であったが、火山地域によっては保全対象（家屋分布域）の上方において傾斜の変化が連続的で、遷緩点を見出しにくいこともあるため、土砂移動現象そのものを土石流として扱うなどの検討も必要となる。また、長大斜面内の凹型斜面上部や0次谷上部からの、崩壊を発端とした土砂移動現象は、土砂の到達距離が長く、崩壊と土石流の中間的な現象と考えられるため、現行の制度（例えば、土砂法における扱いなど）が対応できていなかった。この土砂移動現象を、新しいカテゴリーとして取り扱いを新たに考えるか、または崩壊あるいは土石流のカテゴリーの中で何らかの工夫をして扱うか、検討する必要がある。さらに、木造家屋への流木衝撃力については、耐力壁が流木によって変形、一部破損する場合の無次元衝撃力を算定する手法は提案できたが、耐力壁が完全に貫通される場合の衝撃力の算定手法は、実験や数値解析の方法も含めて今後の課題である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

本研究によって、①表層崩壊同時多発危険箇所抽出に有効な手法と指標、②ハード対策のためのマニュアルめ指針等作成のための技術的根拠となる知見、③流木と一体化した土石流警戒区域等の設定方法についての知見を得ることができた。これらの知見は、現行の砂防行政で用いられている斜面崩壊危険箇所の抽出精度向上や流木対策促進のための発生流木量の算出、流木の衝突を考慮した土砂災害危険区域の設定などに大いに役立つものである。

①については、勾配や曲率、TWIといった指標を用いた地形解析によって、表層崩壊同時多発危険箇所を抽出することができる。また、緩勾配で単発の比較的大規模な崩壊については、接峰面と崩壊前地形との標高差による推定侵食量を指標とした地形解析によって、危険箇所を抽出することができる。また、表層崩壊拡大危険斜面については、樹木の根系(水平根)の緊縛力・破断の過程を考慮して浸透流解析と斜面安定解析を行うことで抽出できる(ただし、緊縛力の強い樹種では、根系が破断せず、斜面崩壊を抑制する可能性があることに考慮する必要がある)。さらに、表層崩壊同時多発危険箇所については、集水地形と崖錐堆積物の存在に着目し、透水係数や土壌硬度の違いを明らかにすることにより、抽出することができる。

②については、砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)に反映できるものである。流木量の測定手法として、現行の現地での流木サンプリング調査の代わりに、航空レーザ測量データのDSMとDTMの差分の空間と樹木の堆積の関係を利用することが可能である(ただし、この方法が適用できるのは、針葉樹の一斉林などの均質な森林区域であり、広葉樹林などの樹木の分布や生育状況が均一でない森林区域においては適用困難である)。また、現行の溪流沿いの現地調査に加えて、樹木の根系の緊縛力・破断の過程を考慮した二次元の浸透流解析・斜面安定解析を実施することによって、斜面からの生産流木量の推定を行うことができる。

③については、家屋の耐力と流木の衝突・貫通の力を比較する手法、土砂・流木の到達実績からの範囲の設定手法をもちいることにより、土石流のレッドゾーン、イエローゾーンで流木の衝突・貫通による家屋被害が生じる範囲を設定することができ、より詳細な危険区域の設定に役立つ。また、崩壊土砂の流動化・流木の到達範囲を考慮したイエローゾーンとして、長大斜面下端の遷移点からの水平距離が斜面上で崩壊が予測される高さの3倍以内として延長することができる。土石流のレッドゾーンを設定するために必要となる土砂量の算定手法として、樹木の根系の緊縛力・破断の過程を考慮した二次元浸透流解析・斜面安定解析により、移動可能土砂量の精度向上を図ることができる。