

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
	水野秀明(みずのひであき)		国立研究開発法人土木研究所		上席研究員
②研究 テーマ	名称	同時多発的土石流発生メカニズムとリスク評価手法の検討			
	政策 領域	[分野] 地域課題分野 (砂防)	融合 技術	(リモートセンシング、非破壊検査、認知行動学 等)	
		[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	
※端数切り捨て。	176	163	151	491	
④研究者氏名					
氏 名		所 属 ・ 役 職 (※平成29年3月31日現在)			
山田孝		三重大学大学院生物資源学研究科・教授			
木下篤彦		国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム・主任研究員			
高原晃宙		国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム・研究員			
⑤研究の目的・目標					
<p>平成23年9月の台風12号では那智川流域の各支川では同時多発的に表層崩壊・土石流が発生し、下流域では氾濫被害が発生した。このような災害による被害を軽減するには、表層崩壊のメカニズムを明らかにすること、表層崩壊発生危険箇所を抽出すること、氾濫被害のメカニズムを解明することが重要である。具体的な目標は下記の通りである。</p> <p>①大規模な表層崩壊の機構を明らかにするため、研究期間中に設置したテンシオメータや土壌水分計による面的水文観測やボーリング孔を用いた地下水位観測を実施し、斜面での豪雨時の水文挙動を明らかにする。</p> <p>②H-SLIDER法、C-SLIDER法等の斜面崩壊危険度評価により、台風12号時の雨量から当時の安全率の再現計算を行い、流域の崩壊面積率により同時多発的な表層崩壊・土石流が発生する際の条件について明らかにする。</p> <p>③那智川流域での台風12号時の本川と支川の合流点での土砂や水の挙動を氾濫調査資料や写真、災害直後に計測したLPから明らかにする。また、これらの成果から同時多発的に土石流が発生した場合の氾濫被害シミュレーション手法を構築する。</p> <p>④那智川の本川、支川の水路模型を作成し、様々な条件下(土砂量・流量)での本川合流点における土砂の挙動を明らかにする。</p>					

⑥研究成果

これまでの研究では、那智川流域において以下の検討を行った。

- ①雨の降り方と崩壊発生箇所の関係
- ②タンクモデルを用いた水文過程と崩壊発生箇所の関係
- ③地形開析に着目した表層崩壊発生箇所の特性について
- ④空中電磁探査を用いた表層崩壊発生危険箇所の特性について
- ⑤井関地区の氾濫に関する水路模型実験
- ⑥那智川流域の氾濫シミュレーション

①について、2014年の広島災害、2011年の那智川災害、2009年の防府災害、1999年の広島災害を例に挙げ災害時の降雨分布や崩壊状況を調査し、比較検討した。災害発生箇所の地質はいずれも花崗岩もしくは花崗斑岩主体の箇所であり崩壊深が数m程度の崩壊が広い範囲で発生しそれらが土石流となって下流域に被害を及ぼしている。降雨規模について、最大時間雨量・総雨量は那智川災害が他に比べて大きくなっていった。一方、雨量の時間変化についてはそれぞれ特徴が異なっている。2014年の広島災害について、降雨は無降雨時間を除いて9時間であったが約80mmの雨が2時間降っている以外は時間雨量20mm程度の降雨であった。2011年の那智川災害について、降雨は無降雨時間を除いて50時間以上と他の災害に比べて長い。またピーク時には時間雨量130mmを超える雨が降っている。2009年の防府災害について、降雨は無降雨時間を除いて13時間であったが、最大時間雨量は約60mmと他の災害に比べて小さい。1999年の広島災害については、降雨は無降雨時間を除いて21時間であった。また1時間だけ80mmを超える降雨となっているがそれ以外は時間雨量30mm以下であった。4災害について表層崩壊が発生した斜面の調査を行った。崩壊密度は2009年の防府災害が、崩壊面積率は2014年の広島災害が最も大きくなっている。例えば、2014年広島災害と2011年の那智川災害を比較すると、崩壊面積率は2014年の広島災害が、崩壊深は2011年の那智川災害の方が大きくなっている。また、2014年の広島災害と1999年の広島災害を比較すると総雨量は同じにもかかわらず崩壊密度や崩壊面積は2014年の方が大きくなっている。このことから、降雨が長時間及ぶ場合は崩壊深が大きくなること、短時間で大きな降雨だった場合は崩壊面積が大きくなる可能性があることが示唆される。降雨分布と崩壊分布の関係について2014年の広島災害と2011年の那智川災害を事例として調査した。広島災害は約31km²の範囲で、那智川災害については那智川流域を含む約320km²の範囲で航空写真やLPを基に崩壊箇所の判読を行った。雨量については、広島災害はCバンドのデータを基にし、那智川災害については実測雨量から等雨量線図を作成した。崩壊密度は広島災害については1km²ごとに、那智川災害については等雨量のエリアごとに算出した。広島災害については、1時間雨量と密度が調和的であるのに対し24時間雨量は210mmを超えると密度はほぼ一定であった。那智川災害については、1時間雨量と密度が調和的であるのに対し、24時間雨量は750mmを超えると密度は低下している。2014年の広島災害と2011年の那智川災害については、ともに短時間の急激な雨量の増加が要因になったと考えられる。

②について、まず、2014年の広島災害、2011年の那智川災害、2009年の防府災害、1999年の広島災害を例に挙げ、災害時の降雨分布や崩壊状況を調査し、比較検討を行った。次に、それぞれの災害についてタンクモデルによって災害時の水文過程の再現を行った。これらの結果と崩壊規模を比較することにより、水文過程が崩壊規模に及ぼす影響について検討した。2014年の広島災害は、花崗岩・泥岩で平均崩壊面積・崩壊密度に大きな差があるのが特徴である。また、他地域の災害と比較して、崩壊面積率が大きいのが特徴である。2011年那智川災害は、総雨量・継続時間・最大1時間雨量・先行雨量とも他の災害より大きかったが、崩壊密度・崩壊面積率は最小であった。その一方で、平均崩壊深は最大であり、平均崩壊面積も大きい。2009年防府災害については、平均崩壊面積は小さいものの、崩壊密度・崩壊面積率が大きくなっている。1999年の広島災害については、いずれの指標についても中間的な値となっている。次に、タンクモデルを用いた水文過程の再現計算

⑥研究成果（つづき）

を行った。2014年広島災害について降雨強度の急激な上昇により1段目タンクの貯留高が急激に上昇している。2011年那智川災害について、3段目タンクの貯留高が災害発生前から高く、降雨によってさらに高くなっていることが分かった。2009年防府災害について、降雨強度の上昇に伴い1段目タンクとともに2段目タンクの貯留高の上昇が見られる。1999年広島災害について、3段目タンクの貯留高が災害発生前から高く、降雨によってさらに高くなっていることが分かる。これらの結果を崩壊規模の結果と合わせて考察すると、2014年広島災害、2009年防府災害の特徴としては、崩壊密度・崩壊面積率が高いことが挙げられる。1・2段目タンクは、表面流に寄与すると考えられることから、崩壊密度・崩壊面積率が高くなったと考えられる。2011年の那智川災害は、崩壊密度・崩壊面積率は小さかったものの、平均崩壊深・平均崩壊面積が大きかったことが挙げられる。3段目タンクは地下浸透に寄与すると考えられることから、地下水位の上昇が崩壊深や崩壊面積の大きな崩壊につながったと考えられる。1999年広島災害は、平均崩壊面積が大きいものの崩壊密度・崩壊面積率が低いことが挙げられる。降雨前から3段目タンクの貯留高すなわち地下水位が高かったことが考えられ、全体の崩壊個数や崩壊面積率は小さかったものの、1個の崩壊の大きさは大きかったと考えられる。以上から、1・2段目タンクの貯留高が大きいと表面流により崩壊密度や崩壊面積率が大きくなること、3段目タンクの貯留高が大きいと地下水位の上昇により崩壊深や崩壊面積が大きくなると考えられる。

③について、現地踏査により、那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生実態およびその形態を調査した。その結果那智川流域の花崗斑岩分布域における表層崩壊の発生形態を下記のa～cに分類した。

a. 風化残積土の崩壊

主に山頂緩斜面で見受けられる崩壊のタイプである。崩壊面には締まりが良好な粘土質マサが分布する。崩壊土砂にはコアストーンや岩屑を含むが、その含有率は低い。ただし、検証事例が少ないため、ほかの事例を確認する必要がある。

b. 風化残積土および崩積土の崩壊

主に開析斜面上部において見受けられる。崩壊土層は崩積土および岩屑、コアストーンを含んだマサから成り、崩壊面においてもコアストーンおよび節理が発達した強～弱風化岩露頭が確認できる場合がある。

c. 落石を伴う崩積土の崩壊

主に開析斜面下部において見受けられる。崩壊土砂は崩積土を主とするが、花崗斑岩から落石状の崩壊を伴うことがある。落石は、花崗斑岩中に発達した節理がくさび状に開口したものと考えられ、崩壊面には割れ目が開口した様子が見受けられる。

本研究では現地調査やレーザプロファイラを用いた調査から、地形区分ごとの崩壊面積率、崩壊地密度を算出した。その結果、崩壊地密度は開析斜面上部と開析斜面下部が同頻度で高い値を示している。また崩壊面積率は、開析斜面上部が最も高い比率を示している。これより、那智川流域の花崗斑岩分布域では、開析斜面上部・下部で多くの表層崩壊が発生しており、その中でも特に開析斜面上部は崩壊が発生しやすい斜面であるといえる。

④について、平成24年に紀伊山地砂防事務所が実施した那智川流域の空中電磁探査の結果を活用して比抵抗値を基にした表層崩壊危険箇所の抽出手法について検討した。検討の中では、比抵抗値と地質との関係、比抵抗値と地下水位との関係を整理した。また、平成23年台風12号時の崩壊箇所と非崩壊箇所の比抵抗コンターの特徴の違いについて整理した。熊野層群は粘土分が多いため比抵抗値が小さく、熊野酸性岩（花崗斑岩）は粘土分が少ないため比抵抗値が大きい。地質の境界が空中電磁探査で簡単に引けることが分かった。また崩壊の多くはこれらの地質の境界箇所が発生していたことが分かった。崩壊箇所の特徴としては、比抵抗コンターが鉛直構造であること、比抵抗変化率の大きい領域が途中で途絶えることが分かった。一方、非崩壊箇所の特徴としては、比抵抗

⑥研究成果（つづき）

コンターが斜面に平行であること、斜面の上方から下方に連続して比抵抗変化率の大きい領域が連続することが分かった。これらは地下水の排水性に起因すると考えられ、崩壊が発生した斜面は地下水の排水能力が低いと考えられる。表層崩壊危険箇所での空中電磁探査の計測事例は少ない。今後は行政機関と協力して表層崩壊危険箇所での比抵抗値を計測するとともに表層崩壊発生箇所の特徴を捉え表層崩壊危険箇所抽出技術につなげていきたい。

⑤について、井関地区の氾濫のメカニズムの解明のため、災害前後の地形図の比較、航空写真の判読及び水理模型実験を行った。災害前後の地形図の比較から、源道橋で河床への土砂堆積や流木により河道の閉塞が発生していること、金山谷から流出した巨礫が那智川本川に堆積していたことが分かった。水理模型実験では、那智川本川の模型を作成した。模型では、井関地区の直上流で河道が28度右に曲がることや源道橋なども作成した。実験条件について、流量はおよその災害時の流量を基に決定した。また、実験では様々な条件で給砂や流木を供給した。これらの結果から、井関地区の氾濫には、源道橋付近での河床上昇、及び流木による閉塞、金山谷から土石流により流出した巨礫の那智川本川への堆積などが複合的に影響したことが分かった。

⑥について、井関地区の被災経過について数値シミュレーション(河床変動計算)による再現計算を実施し、井関地区の氾濫メカニズムの検証を行った。計算はSERMOWモデル(kinematic wave法による分布型斜面流出解析と河道部分を対象とした1次元河床変動計算を結合させたモデル)を利用して支溪の降雨流出解析と土石流流下区間の計算を実施し、その結果をインプットとして二次元河床変動計算モデルにより那智川本川沿いの土石流氾濫、洪水氾濫の領域を計算した。抵抗則・浸食堆積速度は高橋モデルを用いた。通常の計算ケースでは、被災箇所における急激な洪水流の増加の原因と想定される那智川本川の河床上昇が再現されなかったため、流木による源道橋の閉塞を想定するとともに、閉塞箇所を砂防堰堤に見立て、里深・水山の堆積速度式を用いて計算を行ったところ、本川の河床上昇・被災地点における水位上昇が再現された。しかし、計算による水位上昇は緩やかであり、急激な水位上昇の再現には至っていない。このことから、源道橋付近以外にも流木による河道の閉塞等といった特殊な現象が生じていた可能性も考えられる。

⑦研究成果の発表状況

◎平成27年度

○論文

・木下篤彦・野池耕平・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・西岡恒志・桜井亘・伊藤健・村田雄一・荒木義則・島田徹：過去の表層崩壊の崩壊特性と降雨分布との比較，平成27年度砂防学会研究発表集会概要集，2015

○学会発表

・木下篤彦・野池耕平・高原晃宙・清水孝一・石塚忠範・西岡恒志・桜井亘・伊藤健・村田雄一・荒木義則・島田徹：過去の表層崩壊の崩壊特性と降雨分布との比較，平成27年度砂防学会研究発表集会概要集，2015

他，8件

◎平成28年度

○論文

・木下篤彦・野池耕平・西岡恒志・筒井和男・福田和寿・村田雄一・今森直紀・荒木義則：近年発生した表層崩壊の発生規模と降雨・地質特性との関係に関する研究，河川技術論文集，2016

・木下篤彦・野池耕平・西岡恒志・筒井和男・福田和寿・村田雄一・今森直紀・荒木義則・倉本和正・島田徹：雨の降り方の違いが斜面の水文過程と表層崩壊規模に及ぼす影響，第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集，2016

・野池耕平・木下篤彦・水野秀明・今森直紀・西岡恒志・島田徹：球状風化を呈した地質帯における表層崩壊発生場の特性と土層厚推定手法の検討，第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集，2016

○学会発表

・木下篤彦・野池耕平・水野秀明・西岡恒志・筒井和男・福田和寿・村田雄一・今森直紀・荒木義則・秦雅之・島田徹：過去の表層崩壊発生時の降雨特性と崩壊深・崩壊規模との関係について，平成28年度砂防学会研究発表集会概要集，2016

他，8件

◎平成29年度

○論文

・木下篤彦・野池耕平・篠原仙充・荒木義則・杉原成満：タンクモデルにより求まるタンクからの流出量が流域からの表層崩壊・土石流に伴う土砂移動量に及ぼす影響，河川技術論文集，2017

○学会発表

・木下篤彦・野池耕平・篠原仙充・荒木義則・杉原成満：タンクからの流出量が浸透過程及び土砂移動量に及ぼす影響，平成29年度砂防学会研究発表集会概要集，2017

他，4件

今後，水工学論文集，INTERPRAEVENT2018に論文投稿予定。また，地すべり学会，砂防学会などに継続して発表予定。

⑧研究成果の社会への情報発信

- ・平成26年5月13日(火) 国土交通大学校・大規模土砂災害緊急調査(前期・初動期)
「大規模土砂移動検知センサーについて」
国土交通省職員約30名参加
- ・平成26年6月9日(月)・16日(月) 筑波大学・環境防災計画論
学生10名参加
- ・平成27年1月23日(金) 平成26年度和歌山県建設技術協会技術講習会での講演。
和歌山県内の土木関係の行政担当者が約100名参加。
- ・平成27年5月13日(水) 平成27年度 専門課程 土砂災害防止対策〔警戒避難等〕研修
「大規模崩壊検知技術について」
国土交通省職員約30名参加
- ・平成27年11月12日(木) 2015日台砂防共同研究会シンポジウム
日本と台湾の合同研究課題～深層崩壊・天然ダム・大規模土砂移動～
日本と台湾の砂防技術者約50名参加
- ・平成28年5月10日(火) 平成28年度 専門課程 大規模土砂災害緊急調査(前期：初動期)研修
「大規模土砂移動検知センサーについて」
国土交通省職員約30名参加
- ・平成28年6月7日(月)・13日(月) 筑波大学・環境防災計画論
学生10名参加
- ・平成29年1月12日(木) 平成28年度防災対応力研修(宮城県)
宮城県内の土木関係の行政担当者が約150名参加。
- ・今後も各種講演会等での成果の発表予定。
- ・平成28年度以降は和歌山県土砂災害啓発センターにて成果を一般の方々に説明する。

⑨表彰、受領歴

無し。

⑩研究の今後の課題・展望等

3年間にわたり現地にて調査・観測を行ったが、これらについては今後も継続して実施していく予定である。このため、今後は下記の点での成果が期待される。

- ・表層崩壊が発生するタイミングでの水文データの取得。
 - ・流量観測の継続的な実施によるタンクモデルのパラメータの精度向上。
- その他、水理模型実験、氾濫シミュレーションについても引き続き実施していく予定である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

得られた成果については随時国土交通本省・近畿地方整備局・紀伊山系砂防事務所・和歌山県庁・那智勝浦町などと共有している。これにより、研究成果が実務に反映できるようにサポートしている。

国土交通本省・近畿地方整備局・紀伊山系砂防事務所については、那智川流域での砂防事業に関わっており、表層崩壊の危険箇所の情報および評価手法を提供することにより効率よく事業を実施することの一助となる可能性がある。

和歌山県については、表層崩壊の危険箇所の評価手法を用いて那智川流域を含む花崗岩系のエリアで危険箇所を抽出することが可能となる。これによって効率よく事業を実施することが可能となる。また警戒避難などのソフト対策の検討に当たっても研究成果を活用して最適な土地利用や豪雨時の避難の一助となる可能性がある。

那智勝浦町については、ハザードマップや豪雨時の住民避難などで本研究成果を活用することができる。

なお、平成28年4月に那智勝浦町に「和歌山県土砂災害啓発センター」が設置されており、今後とも研究成果を行政のみならず一般の方にも広くアピールする予定である。