

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660120

研究課題名(和文) 水土分離による土砂・土塊移動の制御

研究課題名(英文) Debris flow mitigation with water absorption

研究代表者

丸谷 知己 (MARUTANI, Tomomi)

北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：40112320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、土砂災害軽減のために、土石流から水成分を減らして粘性を高め、停止距離や衝撃力を減少させる方法を開発することである。水土分離の方法を開発し、粘性の変化に伴う土石流速度、氾濫面積、衝撃力の変化を実験水路で計測し、その効果を明らかにする。また、現地調査も併せて行い、実施タイミングやメンテナンスについても提案する。成果として、通常の土石流から2.3倍給水すれば、流速は1/2、衝撃力は1/8になることを明らかにした。これにより、現地では土石流の到達距離を短くし、衝撃力を減じるには、スクリーンダムを用いることが有効であるが、土石流堆積後の除石などメンテナンスには問題が残ることを示した。

研究成果の概要(英文)：Aiming to debris flow mitigation, we examined water absorption form debris flow and decrease in velocity and impact force using flume experiments. The experimental flume was made by 5m long horizontal acrylic panels and debris pool at the top of the flume. As results of experiments with water absorbent, approximately 2.3 times decreasing in water content of debris flow reduce the velocity to one-half and the impact force to one-eighths. The experiments with the screen dam model has successfully shown the same results. The field survey for finding the issues of countermeasure was conducted at the screen dam site of Nojiri-river, Sakurajima. There are still issue removing the debris accumulation on the dam site.

研究分野：砂防

キーワード：土石流災害 水土分離 流速 衝撃力 実験水路 スクリーンダム

1. 研究開始当初の背景

土砂災害の防止軽減には、移動体において水と土砂の物理的な分離によって、移動体自身の粘性（内部摩擦角）を高めることが、ひとつの重要な鍵となっている。そのために、力学的方法に加えて化学反応を利用した移動体の変質も視野に入れる。解決すべき課題は、力学的方法と化学的方法の組み合わせ方、現実の河川渓流での準備・設置方法、それぞれの方法の適用タイミング、化学反応後のゲル物質等の除去・撤収方法、平常時における維持・メンテナンス方法がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、土砂災害とくに土石流災害の防止軽減のために、移動流体の水と土砂を分離し、その粘性を高めることにより、停止距離や堆積範囲と衝撃力を減少させることである。具体的には、力学的及び化学的方法により水土分離を起こすこと、そのために仕組みを実際の河川渓流に設置する方法を検討すること、また水土分離の実施タイミングと水土分離施設の維持・メンテナンスを考察することである。本研究では、我々自身で設計し、模型業者が作成した長さ 8m、幅及び深さ 0.2m の勾配可変型直線実験水路および既存の衝撃力測定システム（ロードセル）を用いて、実験を行った。実験の内容は、水土分離の方法開発、水土分離による粘性の変化と速度の変化、水土分離による土砂氾濫面積の変化、水土分離による衝撃力の変化についてであり、それぞれの実験について下記の成果を得た。また、実地渓流での水土分離工法の代表であるスクリーングダム（桜島野尻川）を調査し、その実態と分離のタイミング、メンテナンスの問題点を明らかにした。これの結果を、総合的に考察し、水土分離による土砂・土塊移動の制御について、今後可能な戦略を提案した。

3. 研究の方法

実験水路は、Figure 1. に示すように、長さ 5m、幅 20 cm、深さ 18 cm のアクリル製で、土砂との接触面は、摩擦防止のためガラス張り二重構造とした。水路上端には、ゲート付き土石流生成プールをつけ、この中で土砂と水を攪拌して濃度の異なる土石流を生成した。生成した土石流は、ゲート操作により一気に段波を形成して流せるようにした。実験水路には、流下過程で土石流の水分を吸収するために、9 個の給水プール（Absorbent）を設置し、ここに給水材を 1 ~ 9 個設置し、吸水量（土砂濃度）を変化させるようにした。水路上端から 4m20cm の位置に衝撃力測定用のロードセルを設置し、衝撃力を計測した。また、土石流の流速は、水路途中と水路出口の 2ヶ所に高速度カメラを同期させて設置し、土石流を撮影し、両地点での土石流通過時間の差分から、流速を求めた。実験は、スクリーングダムを入れずに、吸水の

み実施したケースと、スクリーングダムも入れたケースとを行った。吸水は、全部で 9 個の吸水プールのうち、3 個設置、5 個設置、7 個設置、全 9 個設置と吸水なし（コントロール）の 5 種類を行った。吸水プールには、高分子吸水材を充填しており、吸水プールが多いほど多量の水成分が、土石流から除去され、より高濃度（高い粘性）を示すようになる。すなわち、異なる 5 種類の土砂濃度とスクリーングダム有り、無しの組み合わせで、10 種類の実験を行ったことになる。これら 10 種類の実験について、土石流の速度と衝撃力とを計測した。

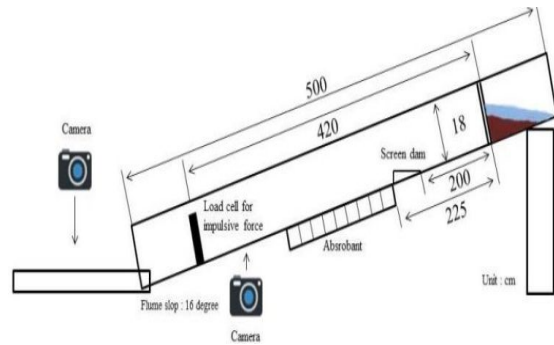


Figure 1. Sketch of experimental flume

4. 研究成果

最初の実験は、吸水プールに高分子吸収剤（absorbent）を充填し、そのプールの数を 0 個、3 個、5 個、7 個、9 個と変えることにより、上流から流下してきた段波状の土石流体から水分を除去した。さらに、上流側にスクリーングダムの模型を設置し、この場合も同様に absorbent の数を 0 から 9 個まで変えて、スクリーングダム併用時の土石流の動態を計測した。計測項目は、衝撃力（impulsive force）および流速（velocity）と給水量（weight of absorbent）である。

Figure 2. にその結果を示した。左側には、吸水プールのみを設置し、その数の変化に伴う衝撃力、流速、給水量の変化をプロットした。右側には、吸水プールとスクリーングダム模型を設置し、その数の変化に伴う衝撃力、流速、給水量の変化をプロットした。左側の図に見られるように、吸水プールの増加に伴い、当然吸水量は増加するが、土石流の流速はほとんど変化なく（少し減少傾向）、一方衝撃力は急速に減少するのが分かった。また、右側の図に見られるように、スクリーングダムを併用した場合にも同様に変化が見られた。

すなわち、スクリーングダムなしの場合は、0.7 - 1.6kg まで 2.3 倍の吸水により、流速は 0.9m/s - 0.4m/s まで 1/2.2 に、衝撃力は 4.1N - 0.5N まで 1/8.2 に落ちた。また、スクリーングダム有りの場合は、0.6 kg ~ 1.6 kg まで 2.7 倍の吸水により、流速は 0.9m/s - 0.5m/s まで 1/1.8 に、衝撃力は 3.4N(ニュートン) - 0.6N まで 1/5.7 に落ちた。これら

このことから、水土分離は、確実に土石流の流速を落とし、すなわち到達距離を縮め、衝撃力においても数倍の差を生じ、建物など構造物への衝撃緩和の効果が極めて大きいことを示した。

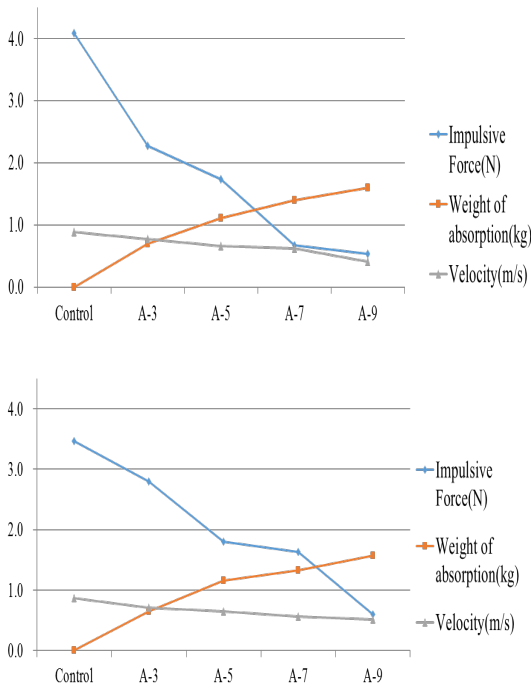


Figure 2. Relationship of impulsive force, weight of absorption and velocity of absorbent and screen dam

次に、水路出口の平坦面（実現象では扇状地の想定）での土石流流出土砂の広がり方を調べた。これは、衝撃力や流速が家屋等の被災程度の差を示すのに対して、被災範囲の差を示すために行った。最初の実験と同様に、吸水プールを0個、3個、5個、7個、9個のケースについて、土石流先端部が水路下端に達した時間(0sec)から、経過時間(elapsed time) 0.125sec、0.250sec、0.375sec、0.500sec、0.625sec 後での広がり範囲(area of progress)を計測した。

結果を Figure 3. に示した。図の左側には、吸水プールのみを設置し、その数の違いごとに計測した経過時間と広がり面積の関係をプロットした。図の右側には、吸水プールとスクリーンダム模型を設置し、その数の違いごとに計測した経過時間と広がり面積の関係をプロットした。左側の図では、全く吸水しない土石流と吸水プール3個で水分を抜いた土石流とでは、経過時間に伴い広い範囲(1.1~1.2m²)に堆積範囲が広がっており、吸水プール5個、7個では堆積範囲は0.3m²程度になり、吸水プール9個ではかなりの水分が除去されたためにほとんど広がらずに堆積した。また、右側の図では、スクリーンダムも併用したが、その結果はあまりかわらなかった。

このことから、吸水(強制的な排水)に伴い土石流は流速と衝撃力とを減じ、とくに衝撃力は数倍110倍近く減少することが分かった。また、平坦面に流出した土石流は、吸水の程度が大きいほど広がる範囲も狭く、これは被害範囲が減少することをモデル的に示している。しかし、スクリーンダムによる吸水および土石流停止効果は大きくなく、吸水プール0個、3個で、スクリーンダムなしの堆積範囲1.1~1.2m²に対して、スクリーンダム有りの場合では0.8~1.0m²と80%程度の効果が見られた。

これは、いったん水土分離された土砂と水が、スクリーンダム下流側で再び混合することにより、元の流れに近い状態が見れるためと考えられる。以上より、当面はスクリーンダムの効果に期待するとしても、将来的にはいったん水土分離した水成分と土砂成分とを混合させないようにしなければ、本当の水土分離効果は得られないことが分かった。

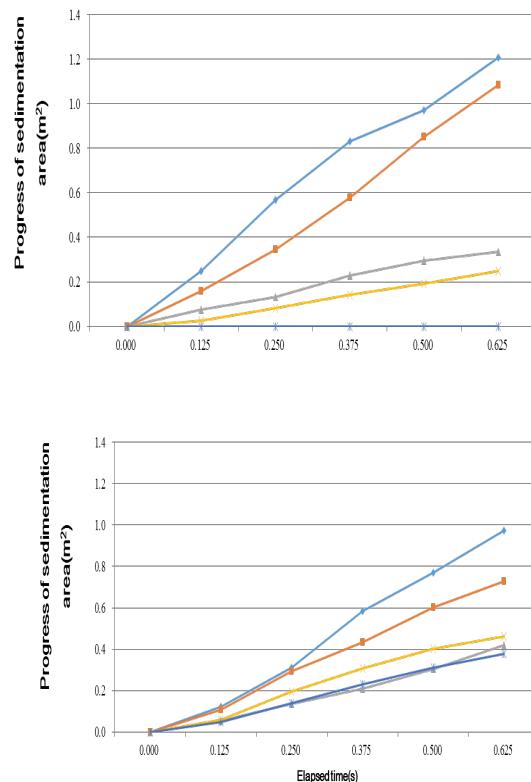


Figure 3. Changes area of progress in sediment with the flow of time

実験によって得られた結果より、水土分離には、いったん土石流から吸収した水成分は、土砂成分と混合させないような仕組みが必要ことが分かった。スクリーンダムは、水土分離は行うが、その後スクリーンダム下流側で再びこれらが混合するために、その効果は小さいことがわかった。しかし、現在、水土分離に最も有効とされることから、現場での検証を行った。

桜島で得たスクリーンダムでのモニタリング映像（動画のため本報告には不掲載）より水土分離のタイミングは、土石流のフロント通過時が最適であることがわかった。しかし、いくつかの問題点も見出された。土石流は先端部に巨礫を集中させるインバースグレディング（逆級化）現象を起こすために、先頭部の巨礫集団がスクリーン上に停止し積載されると、細粒土砂成分を含んだ後続流がこの巨礫堆積を避けて側方へ進路を変更する現象が観察された。これは、周囲に被災対象がなければよいが、極めて危険な現象で、ときには二次的に侵食して土石流を再発生させることもありうる。また、堆積後のメンテナンス（土砂の除去など）には、手間がかかり経済的には検討すべきことが明らかになった（Figure 4）。土石流の先頭部は、スクリーンダムの上流側から巨礫を停止堆積させ、後続流は迂回するため、これらの巨礫は残存し続ける。一度堆積した土石流堆積物を、次の土石流に備えて撤去するには、この巨礫を除石する必要があるが、重機を使用してもそれが位置的に極めて困難であることが分かる。このことから、スクリーンダム単独での水土分離よりも、別の吸水施設を設置して、これらを併用することがより望ましいことがわかった。



Figure 4. Screen dam located in Nojiri-River, Sakurajima

（引用文献）

T. Takahashi, Annual DPRI, No.20B-2, DPRI Kyoto Univ. Japan, 405-435,1977
M. Arai, T. Takahashi, C. Kato, 土木学会年次学術講演会高概要集,第 2 部、52 巻、466-467,1997
J.Kurihara, T.Mizuyama, H.Suzuki, 第 38 回砂防学会研究発表会が概要集、161-164, 1989

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

なし

〔学会発表〕(計 1 件)

Kim Yong Rae, Tomomi Marutani, Mio Kasai, Shinya Katsura, Flume experiment of debris flow mitigation applying water absorbent and screen dam model, 平成 28 年度砂防学会研究発表会、2016 年 5 月 18 日～19 日、富山県民会館（富山県・富山市）

〔その他〕

ホームページ等

未掲載

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸谷 知己 (MARUTANI Tomomi)
北海道大学・大学院農学研究院・特任教授
研究者番号：4 0 1 1 2 3 2 0

(2)研究分担者

笠井 美青 (KASAI Mio)
北海道大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：8 0 2 9 4 9 6 6