

火山性堆積物地帯の泥流における構成材料の沈殿条件の解析

○九州大学農学部（現 株式会社エイト日本技術開発） 川原健士朗
九州大学大学院農学研究院 水野秀明, 久保田哲也

1. はじめに

近年, 日本では, 豪雨・地震等が多くの土砂災害を引き起こしている。過去10年間を見ると, 年平均1046件（国土交通省, 2015）の土砂災害が発生した。このような土砂災害はがけ崩れ・土石流・地すべりといった土砂移動現象によって引き起こされる。その中でも特に土石流は広範囲に土砂・流木・水を氾濫させるため, 甚大な被害をもたらす。そのため, 土石流による土砂災害を防止・軽減するためには, 土石流が流れ下る土地の区域と, 人間が活動する土地の区域を重ねないようにすることが重要である。そのためには, 土石流の流れ下る土地の範囲を精度よく予測する事が必要不可欠である。

一般的に, 土石流の流れは二次元浅水方程式に基づいて予測される。二次元浅水方程式は流れ全体の連続式と土砂の連続式, 運動量保存則からなる連立偏微分方程式である。この連立偏微分方程式の各項の中でも, 特に河床位の時間変化を表す侵食堆積速度に関する数理モデルは, 流れに含まれる水と土砂の質量の増減を計算する項であり, 河床勾配や土砂容積濃度の変化に大きく影響するため, 予測の精度を左右する。そのため, 土石流の流れ方に応じて, 侵食堆積速度に関する数理モデルを適切に設定しなければならない。

平成22年7月に鹿児島県南大隅町船石川, 平成27年6月に鹿児島県垂水市深港川, 平成28年4月に熊本県南阿蘇村山王谷川で発生した土石流は, その流下痕跡や動画を見ると, 粒径の大きな石礫だけでなく, 非常に細かい土砂を含んでいたようである。このような土石流の流れ方に関する既往研究を見ると, 図-1のように, Coussot(1992)は土砂のうち細粒成分の占める割合と土砂容積濃度の2つの指標を用いて, 崩壊・地すべり, 石礫型土石流, 泥流型土石流（一層流）, 土砂流・掃流砂（二層流）の条件を概念的に示した。例えば, 沈殿限界曲線と分断限界曲線

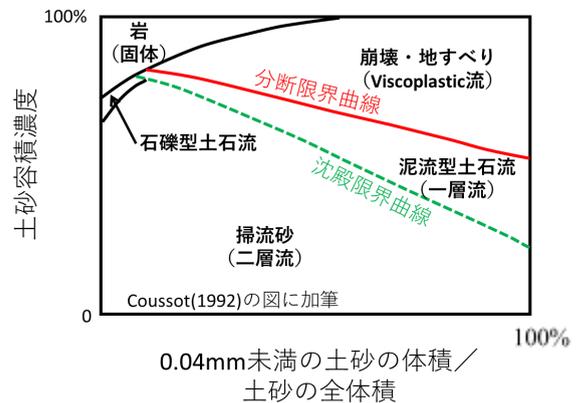


図-1 土砂と水の混合物の流れの特徴（概念図）線に囲まれた泥流型土石流（一層流）を対象とする場合には, 土砂が沈殿しないため, 侵食堆積速度を0とすれば, 予測の精度が向上すると考えられる。しかしながら, これまで日本では泥流型土石流の沈殿限界曲線や分断限界曲線を明らかにした事例はほとんどない。

そこで, 本研究では, 熊本県と鹿児島県の3事例に着目して, 沈殿限界曲線と分断限界曲線を明らかにすることを目的とする。なお, 本研究では泥流型土石流を泥流と呼ぶことにする。

2. 実験概要

2.1 対象と手順

本研究では, 鹿児島県南大隅町船石川流域, 鹿児島県垂水市深港川流域, 熊本県南阿蘇村山王谷川流域の3流域を対象として, 現地で土砂を採取した。その土砂を乾燥機で24時間乾燥させ, 篩を用いて粘土・シルト成分（0.075mm以下）を抽出し, 細粒成分として用いた。採取した土砂に砂成分がほとんど含まれていなかったことから, 代わりに真砂土を篩にかけて, 0.075mmから2mmの粒径の砂を抽出し, 粗粒成分として用いた。

実験に際しては, 後述する図2, 3, 4に示すプロットの条件になるよう細粒成分, 粗粒成分, 水を混合し, 一分間かき混ぜたのち一分間放置し, 状況をカメラで撮影するとともに観察した。

所定の体積の水を入れたメスシリンダーを計量台の上に置き, 任意の量の土砂をメスシリンダーに投入して, 増加した水の体積と重さを計測した。その際, 土砂の空隙が水で飽和するように, ゆっくりとかき混ぜた。その数値から簡易的に土砂の密度を推定したところ, 山王谷川で採取した土砂は $2,320 \text{ kg/m}^3$, 深港川で採取した土砂は $2,220 \text{ kg/m}^3$, 船石川で採取した土砂は $1,990 \text{ kg/m}^3$, 真砂土は $2,530 \text{ kg/m}^3$ であった。この密度の値より, 細粒成分, 粗粒成分の体積を計算した。

2.2 結果

図2, 3, 4は実験結果を示したものである。それぞれの図のプロットの位置は実験条件を意味し、●は沈殿が見られた実験ケース、△は沈殿が見られず、また、分断も見られなかった実験ケース、□は分断が見られた実験ケースを意味する。なお、それぞれの状況を判断した事例を写真1に示す。山王谷川と船石川の場合では、土砂容積濃度が概ね0.4以上になると、沈殿が生じなくなった。深港川の場合では、他の2つよりも低く、土砂容積濃度が概ね0.3以上となると、沈殿が見られなくなった。

4. 考察

図-2, 3, 4において、プロットの形状を目安に沈殿限界曲線と分断限界曲線を描いた。ここでいう沈殿限界曲線とは沈殿が生じた実験ケースと沈殿が生じなかった実験ケースを分離する曲線のことである。また、分断限界曲線とは分断沈殿が生じなかった実験ケースと分断が生じた実験ケースを分離する曲線のことである。沈殿限界曲線と分断限界曲線ともに、シルト・粘土成分の割合が高くなるにつれて、両限界曲線が下がってきた。沈殿限界曲線は深港川、船石川、山王谷川の順で高くなった一方で、分断限界曲線は3つの事例で大きな差を示さなかった。沈殿限界曲線に差が見られたのは主に降伏応力に違いがあったと推察され、今後降伏応力による影響を明らかにしていく必要があると考えている。

5. おわりに

本研究は沈殿限界曲線と分断限界曲線を実験的に明らかにした。その結果、沈殿限界曲線は深港川、船石川、山王谷川の順で高くなった。さらに、分断限界曲線は差が見られなかった。この研究は土石流の予測精度の向上に役立つものだと信じる。

写真-1 実験結果の事例

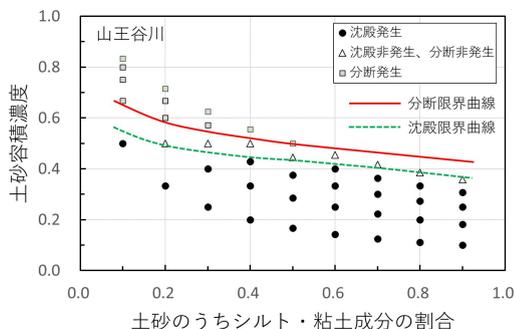


図-2 実験結果 (山王谷川)

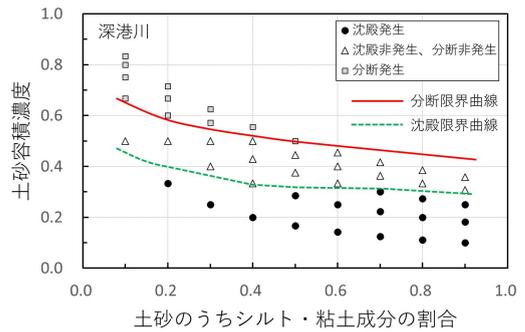


図-3 実験結果 (深港川)

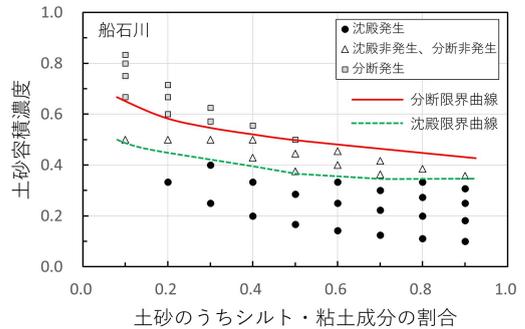


図-4 実験結果 (船石川)

引用文献

国土交通省

(2015):<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28dosha/H28dosyasaigai.pdf>

Coussot, P., 1992. Rheology of Debris Flows—Study of Concentrated Dispersions and Suspensions. Ph.D. Thesis INPG, Grenoble, France. (in French)