P-025

細粒土砂を含む土石流の相変化が流動・堆積に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科　○麻野佑介・中谷加奈・小杉賢一朗
広島大学大学院総合科学研究所　長谷川祐治
立命館大学理工学部　里深好文

1. はじめに

土石流中に細粒土砂が含まれると、細粒土砂の一部が液相に取り込まれ、固相ではなく液相のように挙動することで土石流の土砂輸送能力を高める場合があることが知られている [1)]。日本の土石流を対象とした検討では、高橋の平衡土砂濃度式 [2)] が広く適用されるが、細粒土砂が多く含まれる土石流では、細粒土砂の一部が液相に取り込まれるため、平衡土砂濃度が通常用いられる液相密度 1.0 g/cm³で算出した計算値よりも大きくなることも示されている [3)]。しかし、細粒土砂の一部が液相に取り込まれた際の液相密度を定量的に推定する手法の検討は限られている。本研究では細粒土砂と粗粒土砂の 2 種類の粒径が異なる土砂で構成される土石流平衡濃度を計測し、土砂の割合が土石流挙動にどのように影響するかを把握することを目的として水理実験を実施した。

2. 実験方法

本研究で用いた実験水路は、長さ 5m、幅 10cm、勾配 10° である。水路上流から細粒土砂（7 号砂、平均粒径 0.13mm）、粗粒土砂（2 号砂、平均粒径 2.81mm）から構成される土石流（流量・土砂量は既知）を 2 分間流下させ、超音波センサーを用い水路下端の堆砂勾配を測定した。土砂濃度を 0.17、0.23、0.33 の 3 種類とし、土砂や水の混合割合を変化させ表 1 の 19 ケース実施した。

3. 結果と考察

高橋の平衡土砂濃度式と式(1)を用い、C_f"の値を変え両式の液相密度 ρ が一致するまで繰り返し計算を行い、液相密度 ρ が一致したときのC_f"を細粒土砂(液相)の濃度とした。

$$\rho = \frac{(1 - C_t)\,\rho_w + C_f'' \cdot \sigma}{(1 - C_t) + C_f''} \quad \cdots (1)$$

ρ: 液相密度　ρ_w: 水の密度　σ: 土砂の密度

以降、C_d: 粗粒土砂の濃度, C_f: 細粒土砂の濃度とし、液相化の影響を考慮してC_f': 細粒土砂(固相)の濃度, C_f'': 細粒土砂(液相の濃度), $C_d + C_f$: 供給土砂濃度, $C_d + C_f'$: 固相の土砂濃度とする。

細粒土砂と粗粒土砂の混合割合が 1:1 のケースの各成分の流量の比較を図 1 に、割合の比較を図 2 に、同様に 1：2 のケースの比較を図 3、4 に示す。

表 1　実験ケース

ケース番号	水(cm³/s)	2号砂(cm³/s)	7号砂(cm³/s)	土砂濃度
①	1500	370	370	0.33
②	1500	150	150	0.17
③	1500	300	150	0.23
④	1000	0	300	0.23
⑤	1000	330	165	0.33
⑥	1000	250	250	0.33
⑦	1000	200	100	0.23
⑧	1000	150	150	0.23
⑨	1000	140	70	0.17
⑩	1000	100	100	0.17
⑪	1000	120	90	0.17
⑫	600	200	100	0.33
⑬	600	150	150	0.33
⑭	600	90	90	0.23
⑮	600	60	60	0.17
⑯	600	0	300	0.33
⑰	600	80	40	0.17
⑱	600	110	70	0.23
⑲	600	70	50	0.17

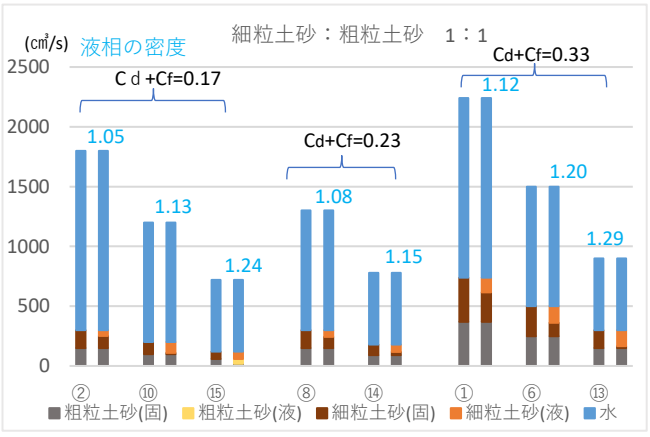

図 1　流量比較（ 細粒土砂：粗粒土砂＝1：1）

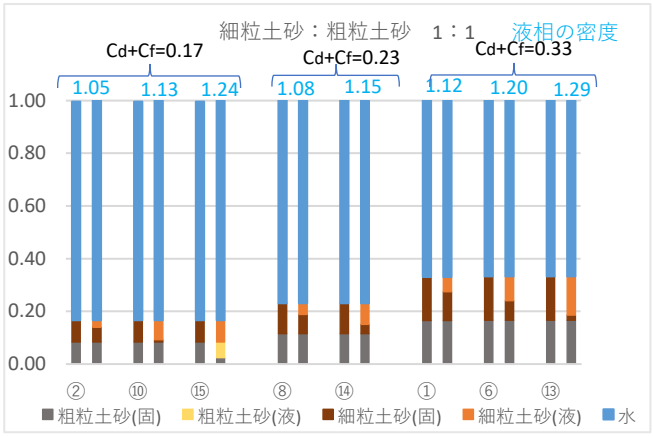

図２　割合比較（ 細粒土砂：粗粒土砂＝1：1）

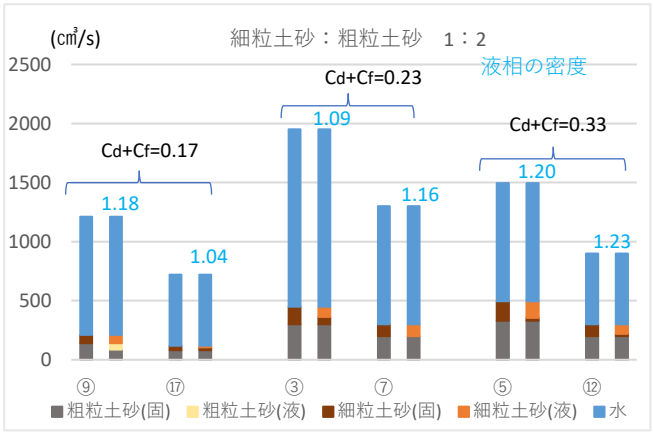

図３　流量比較（ 細粒土砂：粗粒土砂＝1：2）

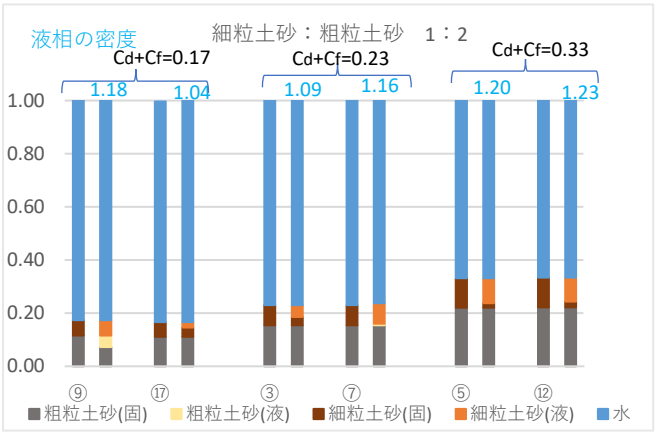

図４　割合比較（ 細粒土砂：粗粒土砂＝1：2）

図 1、2 から、混合割合が 1：1 のケースでは、土砂量が少ないほど細粒土砂が液相化する割合が多くなっている。同様の傾向は、ケース⑨と⑰を比較した場合を除き、図 3、4 の細粒土砂：粗粒土砂が 1：2 のケースでも見られた。これより、細粒土砂が液相化する割合は土砂の絶対量と対応する可能性がある。また、ケース⑮のような細粒土砂だけではなく粗粒土砂の一部も液相化していると推定されるケースも複数見られた。

土砂が液相化した割合$C_f"/(C_d+C_f)$と以下の式(2)から得られる無次元掃流力τ_*の関係を図 5 に示す。

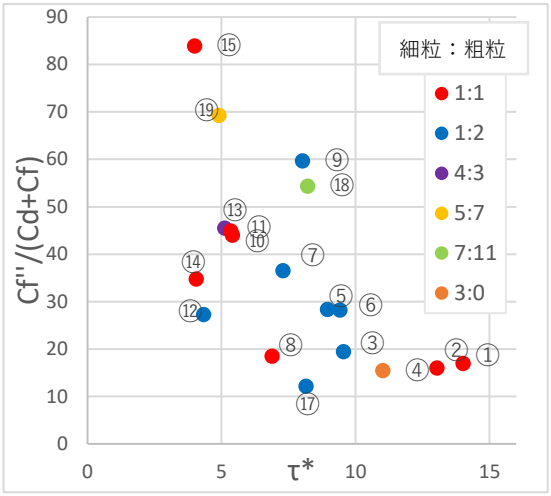

図５　$C_f"/(C_d+C_f)$と無次元掃流力τ_*の関係

$$\tau_* = \frac{\rho_w h \sin\theta}{(\sigma-\rho_w)d} \quad \cdots (2)$$

τ_*: 無次元掃流力　ρ_w: 水の密度(g/cm^3)
σ: 砂礫の密度(g/cm^3)　d: 土砂の粒径(cm)
h: 水深(cm)　θ: 河床勾配(°)

無次元掃流力τ_*の値が大きいほど、土粒子が下流に向かって流れやすい状態となることを示す。図 5 から、τ_*が大きいほど、土砂が液相化した割合が小さく、既往研究[4]とは逆の結果を示している。

本実験においては細粒土砂だけでなく、一部の細粒土砂にも液相化が見られ、液相密度は土砂の濃度ではなく土砂の絶対量と対応が見られた。また、無次元掃流力τ_*が大きいほど液相化する割合は小さく、既往研究とは逆の結果を示した部分もあった。本実験は主に、混合割合が 1：1 と 1：2 の限られたケースにおける結果であるため、今後の課題は、混合割合などを変えた条件で引き続き検証を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16312 の助成を受けたものです。また、本研究は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの実験施設を利用しました。

参考文献

1)江頭進治・佐藤隆宏・千代啓三：砂粒子を高濃度に含む流れに及ぼす粒子径の影響、京大防災研年報、第 37 号 B-2、359-369、1994
2)高橋保：土石流の機構と対策、近未来社、57-58、2004
3)長谷川祐治・杉浦信男・岡本敦・内田太郎・林真一郎・丹羽諭・鈴木拓郎：細粒土砂が土石流の平衡濃度に及ぼす影響に関する実験、砂防学会研究発表会概要集、B、118-119、2013
4)中谷加奈・古谷智彦・長谷川祐治・小杉賢一朗・里深好文：細粒土砂の液相化が土石流挙動に及ぼす影響とその要因に関する検討、砂防学会誌、Vol.70、No.6、2018