

深層崩壊に起因する土石流計算における細粒土砂の設定

(株) 建設技術研究所 ○西口幸希
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 内田太郎
 立命館大学都市システム工学科 里深好文
 京都大学大学院農学研究科 中谷加奈
 京都大学大学院農学研究科 水山高久

1. はじめに

深層崩壊に起因する土石流は、2003年の熊本県水俣市の土石流のように、大規模な土石流となって下流の人命・家屋に甚大な被害を招くおそれがあることから、深層崩壊に起因する土石流の氾濫範囲をシミュレーション等により事前に想定することは重要である。既往研究より、大規模な土石流中の細粒土砂は、間隙流体に取り込まれて移動すると考えられており¹⁾³⁾、西口ら²⁾はこの考え方を取り入れた数値シミュレーション手法の開発を行った。その上で、深層崩壊に起因して発生した近年の5事例の土石流に適用した結果、間隙流体に取り込まれる細粒土砂の最大粒径を適当な値に設定することで、土石流の侵食・堆積傾向が精度良く再現できることを示した²⁾。

しかし、計算の入力条件である、細粒土砂の粒径または割合について、江頭ら¹⁾は細粒土砂濃度を30%とし、江頭・伊藤³⁾は流体密度を 1.33 g/m^3 として大規模な土石流の再現計算を実施し、到達範囲や堆積深において再現性が得られているものの、これらの設定根拠は明確には示されていない。また、Hotta et al.⁴⁾は、石礫型土石流の理論に基づく抵抗係数と実験値による土石流の抵抗係数を比較し、同じ粒径の微細土砂でも流れの状態に応じて、間隙流体に取り込まれる場合やそうでない場合があることを示し、長谷川ら⁵⁾は、細粒土砂を含む土石流の平衡濃度の実験値および理論値の比較より、間隙流体に取り込まれる細粒土砂の割合は、摩擦速度／沈降速度とに相関がみられることを示した。

本研究では、深層崩壊に起因する土石流計算に用いる、「細粒土砂の最大粒径・割合」の主な支配要因が何か、また、どのような値を取り得るのか、を検討したうえで、予測計算において設定する際の留意点を考察した。

2. 対象とした土石流の細粒土砂の最大粒径

本章で対象とした深層崩壊に起因する土石流は、表-1に示す5事例である。これらについて、西口ら²⁾の計算手法に従い、細粒土砂の最大粒径を変化させて、試行錯誤により実際の到達距離が最も良く一致する粒径を探索した。その結果、集川、大用知、片井野川、七瀬谷、船石川において細粒土砂の最大粒径が各々15 mm、10 mm、50 mm、8 mm、200 mmのときに計算の到達距離が実績と概ね一致した。

表-1 対象とした土石流

溪流名	発生年月	崩壊地からの 流出土砂量	流下距離	平均粒径
熊本県集川	2003/7	31,000 m ³	1.6 km	251 mm
徳島県大用知	2004/8	622,000 m ³	1.0 km	333 mm
宮崎県片井野川	2005/9	272,000 m ³	2.3 km	735 mm
宮崎県七瀬谷	2005/9	183,000 m ³	0.9 km	82 mm
鹿児島県船石川	2009/7	19,000 m ³	0.6 km	600 mm

3. 手法

3. 1 細粒土砂の浮遊条件の確認

本計算では、土石流中の細粒土砂は、間隙流体の乱れの影響を受け、間隙流体中に浮遊すると仮定していることから、間隙流体中の乱れ速度は、細粒土砂の沈降速度よりも大きいことが想定される。そこで、対象事例の計算結果において、実績を良好に再現できた細粒土砂の沈降速度と、各土石流中の間隙流体の乱れ速度との比較を行い、力学的な浮遊条件を満たしているかを確認した。沈降速度はRubeyの式、乱れ速度は掘田ら⁶⁾の算定式を用いた。

3. 2 細粒土砂と土石流特性との相関検討

実績を良好に再現できた細粒土砂の粒径および間隙流体中の細粒土砂の容積濃度（以降、細粒土砂濃度という）と、土石流の特性との関係を検討するため、「細粒土砂の最大粒径」と、「①崩壊地からの流出土砂量」の関係、「②土石流の平均粒径」の関係、および「間隙流体中の細粒土砂濃度」と「③細粒土砂の最大粒径」の関係、「④土石流の平均粒径」の関係、「⑤崩壊地からの流出土砂量」の関係を検討した。なお、細粒土砂濃度は、土石流の到達範囲内で、集川は175m間隔、大用知は228m間隔、片井野川は438m間隔、七瀬谷は150m間隔、船石川は80m間隔の各地点において、土砂移動が概ね終了したと考えられる時間（1990s）での計算結

果の細粒土砂濃度の平均値を求めた。ただし、流量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合は、算定対象外とした。

3. 3 土石流中の微細土砂に関する既往データの収集

既往研究より、微細土砂を用いた土石流の水路実験結果および粘性土石流・火山泥流の現地観測・現地調査結果による、微細土砂の土砂濃度に関するデータを収集した。

4. 結果

4. 1 細粒土砂の浮遊条件の確認

5事例ともに、間隙流体の乱れ速度は、細粒土砂の沈降速度に比べて十分大きく、力学的に浮遊し得る粒径であることを確認した。

4. 2 細粒土砂と土石流特性との相関検討

細粒土砂の最大粒径は $8\sim 200 \text{ mm}$ 、土石流の平均粒径は $82\sim 600 \text{ mm}$ 、流出土砂量は $19,000\sim 622,000 \text{ m}^3$ と各事例で広く分布するが(表-1)、細粒土砂の最大粒径と、崩壊地からの流出土砂量との相関性や土石流の平均粒径との相関性は低かった(図-1①、②)。一方、流体として扱う間隙流体中の細粒土砂濃度は、5事例とも概ね $0.4\sim 0.5$ の範囲にあり、その差は小さい。従って、図-1③～⑤に示すように、細粒土砂濃度は、細粒土砂の粒径や土石流の平均粒径、崩壊地からの流出土量の影響をあまり受けないと考えられた。

4. 3 土石流中の微細土砂に関する既往データの収集

微細土砂を含む土石流の土砂濃度について、既往の実験事例より11事例、現地の調査事例より3事例のデータを収集した。実験での微細土砂の土砂濃度の上限は、 $0.23\sim 0.54$ の範囲に収まっており、その多くは $0.4\sim 0.45$ であった。また、現地の調査事例の各箇所の上限值は $0.3\sim 0.51$ で、実験とほぼ同じ範囲であった。

5. 考察

4. 1～4. 3より、流体中に浮遊し得る細粒土砂が十分に存在している場合、細粒土砂は流体(乱流)として振る舞うことが可能であるが、細粒土砂濃度が非常に高濃度になると、乱流状態で移動できなくなると考えられる、すなわち、細粒土砂濃度の上限値のようなものが存在し、その上限値は概ね $0.4\sim 0.5$ 程度である可能性が示された。また、この場合、地形や粒度分布、崩壊地からの流出土砂量等の土石流特性の影響は、あまり受けないと考えられた。さらに、本研究で対象とした5事例は、いずれも細粒土砂濃度が上限値近くに達していたと推定される。

6. まとめ

本研究より、深層崩壊に起因する土石流の流下・過程を推定するための予測計算では、間隙流体中に浮遊しうる細粒土砂が十分存在する場合、細粒土砂濃度を上限の $0.4\sim 0.5$ 程度に設定すれば、乱れが十分大きく、氾濫範囲が広がる実務上ある程度安全側を見たケースを推定することが可能であると考えられる。

【参考文献】1) 江頭ら, 水工学論文集, Vol. 42, pp. 919-924, 1998 2) 西口ら, 第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 167-172, 2012 3) 江頭・伊藤, 流体力学部門web会誌, 第12巻第2号, pp. 33-43, 2004 4) Hotta et al., Journal of Mountain Science, 10(2), pp. 233-238, 2013 5) 長谷川ら, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, B-118, 2013 6) 堀田ら, 砂防学会誌, Vol. 50, No. 6, pp. 11-16, 1998

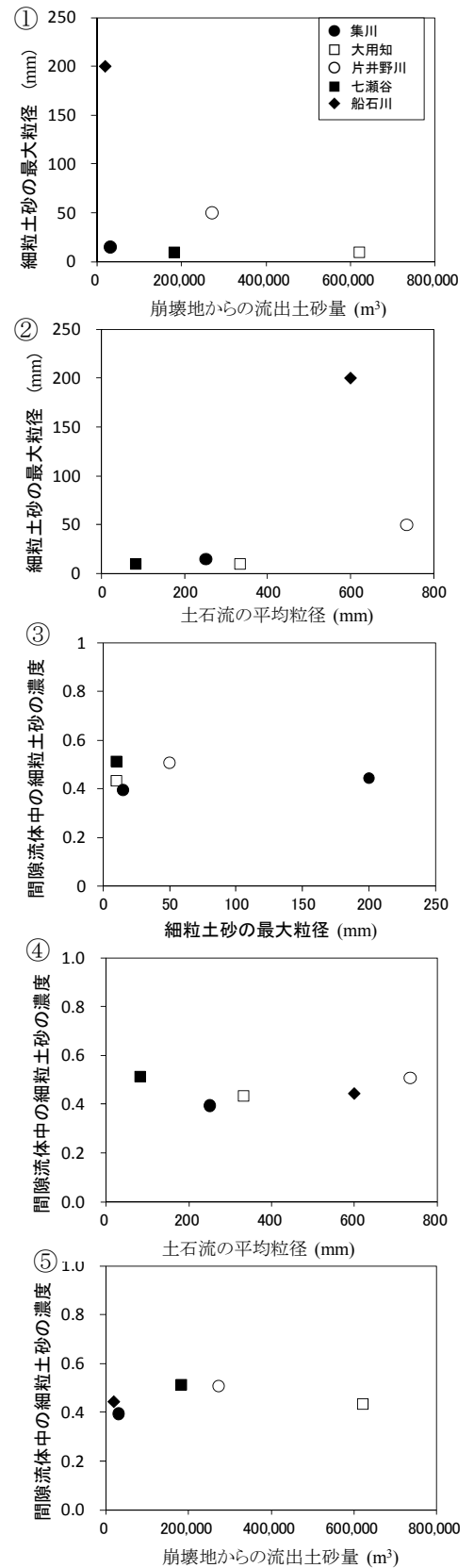


図-1 細粒土砂の最大粒径と①崩壊地からの流出土砂量、②平均粒径との関係、細粒土砂濃度と③細粒土砂の最大粒径、④土石流の平均粒径、⑤崩壊地からの流出土砂量との関係