

## 微細土砂が混合粒径土石流の応力構造に及ぼす影響について

東京大学大学院農学生命科学研究科 ○酒井 佑一 筑波大学生命環境科学研究科 堀田 紀文  
 京都大学防災研究所 長谷川 祐治 京都大学大学院農学研究科 中谷 加奈  
 (一財)砂防・地すべり技術センター 嶋 大尚 黒田 章雄  
 森林総合研究所 鈴木 拓郎 国土技術政策総合研究所 内田 太郎

### 1. はじめに

土石流の流動の諸性質は、土砂粒子を均一粒径としてモデル化し導出された構成則を用いて記述されている。一方、実際に発生している土石流は混合粒径の土砂からなるが、微細土砂を含む混合粒径土石流に対しては、微細土砂が液相化するとし、間隙流体密度や代表粒径の変化を考慮することで、均一粒径に対する構成則を用いて表現できると考えられる<sup>1)</sup>。このような見地から著者らは、平衡濃度と抵抗係数を用いて微細土砂の液相化の評価を行った<sup>2)</sup>。本研究では、追加の実験によって得られたデータも含めて、江頭らの構成則<sup>3)</sup>から導出した平衡濃度と抵抗係数を用いて微細土砂の液相化を評価し、2つの方法による結果を比較することで土石流中の微細土砂の挙動に関して検討した。また、固相と液相の境界となる粒径についても検討を行った。

### 2. 方法

水路実験を行い、解析を行った。実験水路は3種類用い、長さはそれぞれ10 m、6 m、4.5 mで、幅はすべて10 cmである。用いた実験砂はa~gの7種類で、それぞれの粒度分布を図-1に示す。実験では、水路上流部から、ポンプにより水を、ホッパーにより土砂をそれぞれ定常的に供給し、下流端に仕切り板を設置して土砂を堆砂させた。下流に取り付けた3つの超音波センサーの値によって河床位の変化をみることで平衡状態を判別し、平衡状態に達した際の堆砂勾配 $\theta$ を測定した。つまり、全土砂輸送濃度を実験条件とし、それに対する平衡勾配を測定した。また、高速ビデオカメラによって水路側面から土石流の流動を撮影し、平衡状態における流動深 $h$ と流速分布を測定した。

土石流中の土砂は、ある粒径 $d_c$ を境界としてその値より小さい粒径の土砂はすべて液相化すると仮定し、土砂を固相として振る舞うものと液相として振る舞うものに二分した。また、水と液相化した微細土砂を合わせて間隙流体とし、間隙流体密度 $\rho$ を設定した。このとき、間隙流体中での微細土砂の運動学的理解は十分に進んでいないが、本実験の条件下では液相化する微細土砂の濃度は小さく、鉛直方向に一様分布していると仮定する。液相化した微細土砂の割合は $C_f/C$  (全土砂濃度中の液相化した土砂濃度)で表され、代表粒径 $d$ には固相の土砂の50%粒径を用いた。平衡濃度と抵抗係数の理論値は、江頭らの土石流の構成則を適用することで理論的な流速分布と濃度分布を求めて算出した。間隙流体密度と代表粒径を変化させることで、平衡濃度と抵抗係数のそれぞれの実験値と理論値が一

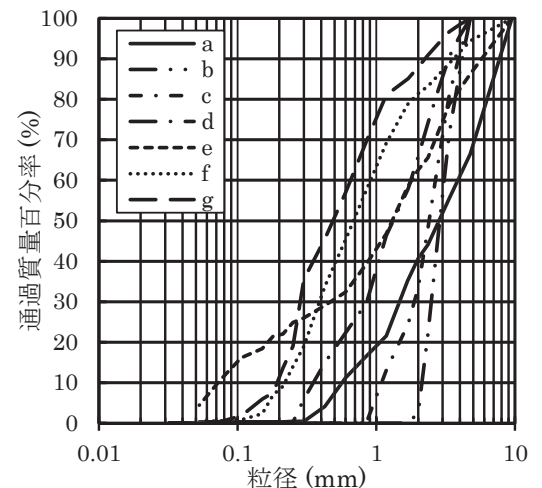


図-1 実験砂の粒度分布

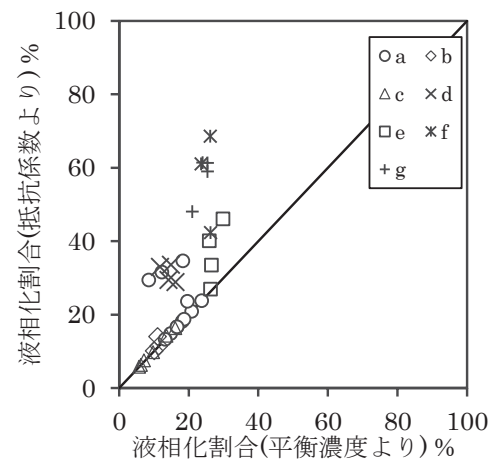


図-2 液相化割合の比較

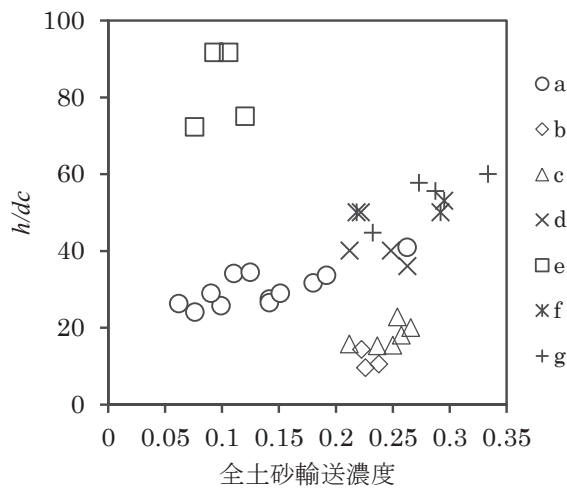


図-3 平衡濃度により求めた  $h/dc$

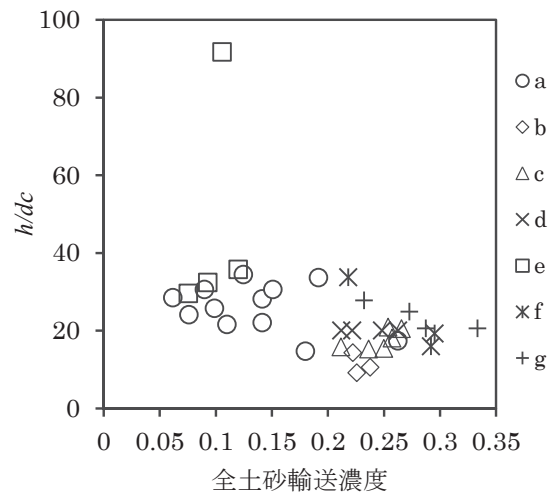


図-4 抵抗係数により求めた  $h/dc$

致するような液相化割合を求めた。

### 3. 結果

実験のうち、河床波が発生せず、安定した平衡勾配を形成した 36 ケースを解析の対象とした。各ケースの液相化割合を平衡濃度と抵抗係数を用いて求めた液相化割合を図-2に示す。微細土砂を多く含む種類の実験砂では、平衡濃度による評価より抵抗係数による評価の方が、微細土砂の液相化の割合を大きく評価しており、平衡濃度と抵抗係数による解析の結果に系統的な差が生じていることが分かる。一方、粒度幅が狭い実験砂 b,c の結果では、平衡濃度と抵抗係数による評価に差はほとんどなく、液相化割合も 10%以下とほとんど液相化が生じていないことが分かる。また、それぞれのケースにおける液相化割合と粒度分布から求めた限界粒径  $dc$  を用いて、流動深に対する比  $h/dc$  を図-3に示す。これより、平衡濃度では全土砂輸送濃度の変化に対して  $h/dc$  がばらつく傾向にあるが、抵抗係数では全土砂輸送濃度の変化に対して 20 から 30 程度の一定の幅に収まっている。

### 4. 考察

まず、図-2において平衡濃度と抵抗係数による液相化割合の評価に差異が生じた要因について考察する。平衡濃度は構成則における固体摩擦応力の項を、抵抗係数では構成則における流動応力の項を評価していることになる。つまり、土石流の構成則における固体摩擦応力の項と流動応力の項のそれぞれに対する微細土砂の液相化の影響を分けて検討していることになる。平衡濃度では、固体摩擦に寄与しない土砂が液相化したとみなされ、抵抗係数では粒子間の非弾性衝突に寄与しない土砂が液相化したとみなされる。図-2の結果より、平衡濃度と抵抗係数による評価の差にあたる領域の土砂は、平衡濃度では固相、抵抗係数では液相と評価されている。つまり、平衡濃度と抵抗係数による液相化割合の評価の差にあたる領域の土砂は、固体摩擦に寄与するが、粒子間非弾性衝突に寄与していないと考えられる。

また、限界粒径の検討から、流動応力に寄与する土砂においては、 $h/dc$  が 20 から 30 程度の一定の幅で表される限界粒径の値で、固相から液相への相変化が生じていることが分かる。

最後に、本研究は平成 27 年度砂防学会若手研究助成を受けて実施しました。また、昨年度の実験では国立研究開発法人土木研究所の水路を使用させていただきました。ここに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 西口ら (2011) , 砂防学会誌, Vol.64, No.3, pp.11-20
- 2) 酒井ら (2015) , 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp.84-85
- 3) Egashira et al. (1997) , Proc. of 1<sup>st</sup> International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation, pp.340-349