

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
 (株)佐藤工業 正員 〇白坂紀彦
 (株)間 組 正員 辻井 修

1.はじめに 土石流中に微細な粒子を高濃度を含むような場合、間隙流体が清水であるときと異なった流動特性を示す。本研究では、間隙流体に粘着性微細粒子を高濃度を含む土石流を対象とし開水路実験を行い流れの性質について調べた。

2.水路実験 実験は以下の2つを行った。

1) 間隙流体(スラリー)の実験 実験に使用した水路は長さ4.0m、幅9.0cmの長方形断面水路で勾配は10度であり、底面は滑面である。材料として、比重2.65の粘土(カオリナイト、粒径0.002mm)および非粘着性微細粒子(粒径0.080mm)を使用した。方法は、タンク内で水とそれぞれの材料を所定の濃度になるように混合させ、上流端よりポンプで水路に供給し、流動深と流量を測定した。それによりそれぞれの流体の示す流動特性を調べた。

2) 土石流の実験 実験1で用いたスラリーによって土石流を発生させ実験を行った。水路は長さ10m、幅9.0cm、勾配10度である。河床に粗粒子(粒径3.25mm)を敷き詰めスラリーで飽和させ、上流よりスラリーを供給し、それによって河床を侵食させる形で土石流を発生させ、その流動深、流量、粗粒子濃度、及び側壁からの高速度ビデオ撮影によって流速、濃度分布を測定した。

3. 間隙流体(スラリー)の特性

粘土(カオリナイト)のレオロジー特性はP.Coussot¹⁾によって詳細に調べられており、回転粘度計による実験の近似式を以下のように示している。

$$\tau_c = \exp(23c) \quad (c < 0.14) \quad (1)$$

$$T = 1 + 7.6\Gamma^{0.24} \quad (\Gamma < 0.3) \quad (2-1)$$

$$T = 1.5\Gamma \quad (\Gamma > 100) \quad (2-2)$$

$$T = \tau/\tau_c, \quad \Gamma = \mu_p \frac{du}{dz} / \tau_c, \quad \mu_p = \mu_0 \{1 + 0.75 / (\frac{C_\infty}{C} - 1)\}^2 \quad (\tau_c: \text{降伏応力})$$

なお、降伏応力について実験値との比較を図1に示す。また、非粘着性微細粒子に関しては新井・高橋²⁾の泥流に関する研究によると以下のように表される。

$$\tau = \rho_m l^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 + a_i \sin \alpha \sigma (\lambda d)^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad (3)$$

以上の式(1)および式(3)をそれぞれ解くことによってスラリーの抵抗則が求められる。実験値との比較を図2に示す。粘土スラリーの場合、濃度が0.13付近を境に理論曲線が示すように実験結果からも、乱れの卓越する領域と粘性の卓越する領域とに分けられることが

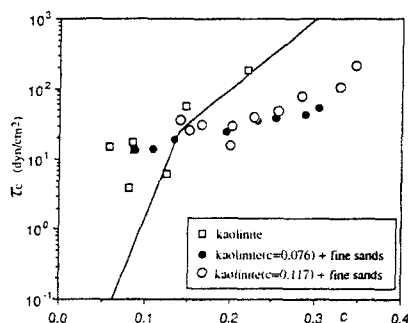


図1 スラリーの降伏応力

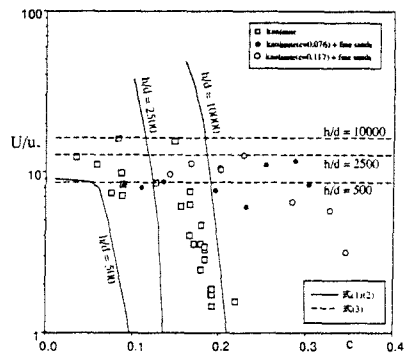


図2 スラリーの抵抗則

読みとれる。また粘土と非粘着性粒子を混合させたケースでは、もとの初期の粘土濃度が乱流領域であったためかなり高濃度まで乱れが卓越していることが読みとれる。

4. 土石流流動特性 土石流の実験において下流端でサンプリングした粗粒子の輸送濃度を図3に示す。実験は移動床で行ったので測定された輸送濃度はその実験条件下での平衡濃度を示している。粘土スラリーが間隙流体の場合、粘土濃度が0.13あたりの時に平衡濃度がピークを持つような結果が現れている。これは先に述べたスラリーの流動の乱流領域、層流領域の境とほぼ一致していることから、流れの機構が変化することによって平衡濃度に変化が現れていると考えられる。高橋³⁾による石れき型土石流の構成式を以下に示す。

$$a_i \sin \alpha \sigma (\lambda_L d)^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 = \int_z^h \rho_m \left\{ \left(\frac{\sigma}{\rho_m} - 1 \right) C_L + 1 \right\} g \sin \theta dz \quad (4)$$

$$a_i \cos \alpha \sigma (\lambda_L d)^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 = \int_z^h \rho_m \left(\frac{\sigma}{\rho_m} - 1 \right) C_L g \cos \theta dz \quad (5)$$

間隙流体の受け持つ粘性によるせん断応力は

$$\tau_f = (1 - C_L) \left\{ \tau_c + (1 + \lambda_L) \mu_f \frac{du}{dz} \right\} \quad (6)$$

と表されるので、式(4)の左辺に式(6)を加えたものとの比較を行う。平衡濃度は実験値との比較からわかるように石れき型土石流の式で求められる以上の濃度が測定されている。しかしながら平衡濃度のピークを示すような特性は表現できていない。さらに土石流の流速分布、濃度分布の比較を図4に示す。これから粘土濃度が大きくなるに従い間隙流体の粘性を考慮したケースの方がかなり内部でのエネルギー散逸を大きく見積もりすぎているようである。このような間隙流体の粘性が大きいような流れにおいては、その粘性による粒子流体間の相互作用による潤滑による応力など別の機構を考える必要があるのではないだろうか。

5. おわりに 間隙流体中に微細な粒子が混入していることの効果を、その間隙流体の特性値としての粘性に注目し評価を試みた。実験では粘土濃度の変化に伴って粗粒子濃度に特徴的なピークが測定されたが、今回はその機構の解明までは至らなかった。土石流中の間隙流体の挙動と、それにとりまなう粒子流体間の相互作用が重要になると考えられ、今後の研究課題である。

参考文献 1) P. Coussot : Physical Review Letters, Vol74 No20, 1995

2) 新井宗之・高橋保 : 泥流型土石流の流動機構, 土木学会論文集, 第375号II-6

3) 高橋保 : 土石流の発生と流動に関する研究, 京大防災研究所年報, 第20号B-2

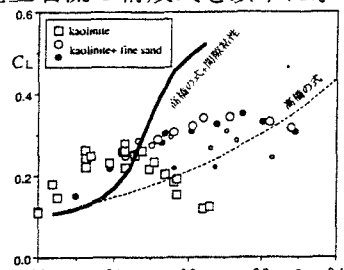


図3 土石流の平衡濃度

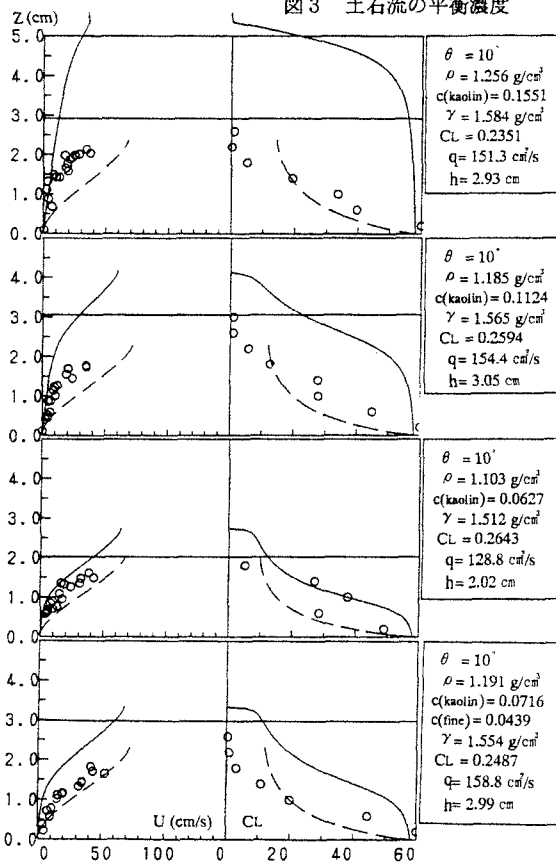


図4 土石流の流速、濃度分布