

粘性土石流の間欠性に関する実験的な研究

名城大学大学院 ○劉 雪蘭

名城大学理工学部 新井宗之

1. まえかけ

中国西南部山地で、粘性土石流はしばしば発生している。その体積濃度 70%以上、数十、または 100 波程度以上間欠とし、緩勾配で流下している。その中に粘土など微細砂の含有率は 20-30%である。その間欠流動機構について、高橋ら¹⁾はニュートン流体か上流における天然ダム崩壊モデルを間欠流下特性が説明している。また、ほかには傾斜水路に流下した流れで重力項の影響を受けて、転波列発生しているという不安定性の議論は幾つがある^{2), 3), 4)}。著者ら⁵⁾は前の研究によって、粘性土石流の流動機構は複雑であることを明らかにするとともにビンカム流体の特徴である“栓流”が存在していないことが明らかにした。本研究ではニュートン流体か勾配ある水路に流下する不安定性について実験的に検討する。さらに、土砂混合物の粒度分布を変更させて、微細粘土成分の効果について考察する。

2. 実験方法および結果

実験水路は両側壁透明アクリル製、幅 10cm、全長 8m であり、勾配 17°と設置している。水路床はペンキ仕上げの滑面である。実験方法は水路全体で土砂を約 1.5cm の堆積厚に敷き土砂を湿潤状態にしたあと、容積濃度約 1.87g/cm³の土砂混合物（粘土、4号砂、長径約 5cm の砂礫と水）を上流端のタンクの中に入れて、流下させる。流下する様子は 3 台フレーム速度 1/30 s の CCD カメラを使って記録する。1 台目は下流端約 6.5m のところで、水路の側面で設置し、流下する水深変化を記録する。2 台目はまた側面で、水路下流側 5～7m の 2m の広い範囲内に、流下する波速度と波長を記録する。3 台目は水路正面の上方から、流れの表面流速分布と粒子の流速変化を記録する。

実験は 5 回を行った。一回目は予備実験で、約 20kg（粘土：4号砂：砂礫＝0.2:0.3:0.5）の土砂混合物を上流供給し、流下させた。この堆積層上に、上流で 10kg の土砂混合物を四回ずつ供給し、流下させた。それぞれの粘土、4号砂、砂礫と水の重量割合は表一に示している。

そして、三台のカメラに記録したものより、解析を行った。図一は代表的な表面流速分布の一例を示している。後続部で速度分布は二次放物線とよく一致していることは分かった。また、流れのオイラー的な流速変化、波の速度、波長、波高ともに解析した。実験結果はそれぞれ図-2,3,4,5 に示している。また、図-6 には波速度と波高によって計算されたフルード数を示している。波の先端部ですべてのフルード数は 1 より大きいであることを示した。流れの流速変化から、転波列は 4 回の実験ですべて発生したことが分かった。それによって、粘土含有率高いほど、流速は遅い程も示した。

3. 考察

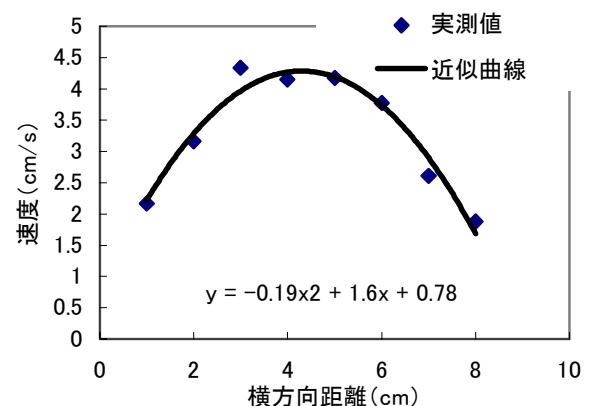
以上の解析の結果から、石原らのモデルを用いて、層流状態の水流の運動量方程式および連続方程式はそれぞれ式(1)と(2)によって表される。

キーワード：粘性土石流、間欠性、転波列、実験

連絡先：〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 TEL：052-832-1151 FAX：052-832-1178

表一 土砂混合物成分

NO.	粘 土 (kg)	4 号砂 (kg)	砂 礫 (kg)	水 (kg)
1	2.24	2.24	2.98	2.53
2	2.24	2.24	2.98	2.53
3	2.98	2.98	1.49	2.53
4	1.49	3.74	2.24	2.53



図一 横方向表面流速分布

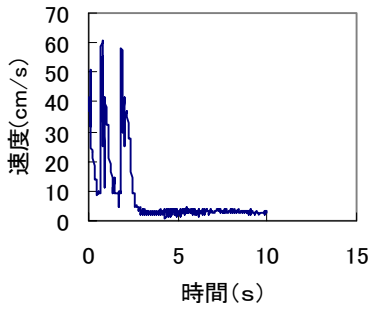


図-2 No1. オイラー的な流速変化

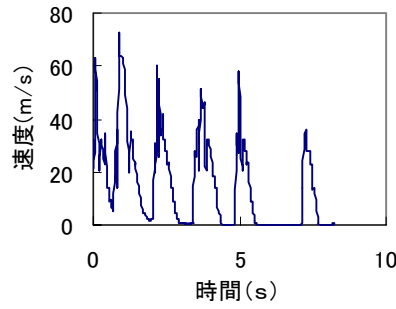


図-3 No2.オイラー的な流速変化

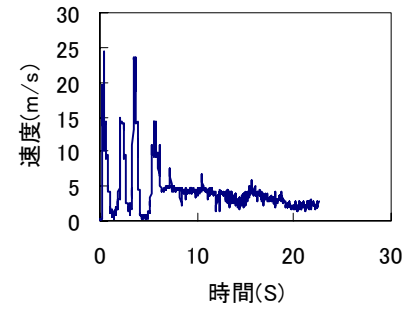


図-4 No3.オイラー的な流速変化

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{6}{5}u \frac{\partial u}{\partial x} + g \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{1}{5} \frac{u}{h} \frac{\partial h}{\partial t} = g \sin \theta - \frac{3\nu u}{h^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) = 0 \quad (2)$$

ここで、 u を断面の平均流速、 h を水深、 θ を河床勾配、 g を重力加速度、 ν を流体の動粘性係数である。そして、波速度 c を一定と仮定し、移動座標を $\xi = x - ct$ と設定し、衝撃条件を用いて不連続解を求めると流速と水深はそれぞれ

$$U_0 = \frac{(6/5) - \sqrt{(6/25) + 3I_R}}{(6/5) - 3I_R} c \quad (3) \quad H_0 = \frac{3I_R}{g \cos \theta} U_0^2 \quad (4)$$

によって表される。ここに $I_R = 1/(\tan \theta \cdot R_{e0})$, $R_{e0} = U_0 H_0 / \nu$ である。それによって、 I_R は大きいほど、 U_0 と H_0 は小さくなる傾向が示した。すなわち、土砂混合物の物理材料と関連している動粘性係数の大きい流れで、ここは粘土含有率高いものとして、その速度と水深がより小さいであることは今度の実験結果と一致している。

4. 結語

本研究では粘性土石流で高速間欠性流下の特徴が実験的に検討した。さらに、土砂混合物の微細砂成分の含有率を変化させ、流れの転波列としての特性速度と水深の変化もモデルと実験結果を比較した。粘土含有率高い流れでは流下速度がより遅い共に水深がより小さいであることを検証した。

参考文献：

- 1) 高橋 保・中川 一・里深好文・緒方正隆：粘性土石流の流動機構に関する研究(3)——土石流サージの形成と伝播——、京都大学防災研究所年報 第 41 号 B-2 、pp265-275、1998
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・岩佐義朗：急斜面上の層流における転波列の理論——薄層流に関する研究（第 5 報）——土木学会論文集第 19 号(昭和 29.4) pp46-57
- 3) D.J. Needham and J.H. Merkin, "On roll waves down an open inclined channel", Proc. R.Soc.Lond. A 394, pp 259-278, 1984
- 4) Ko-fei Liu, and Chiang C. Mei, "Roll waves on a layer of a muddy fluid flowing down a gentle slope---A Bingham model", Phys. Fluids 6(8), pp2577-2590, 1994
- 5) 新井宗之・劉 雪蘭・高橋保：粘性土石流の表面流速解析による流動機構の考察、水工学論文集、第 44 巻、pp617-621, 2000

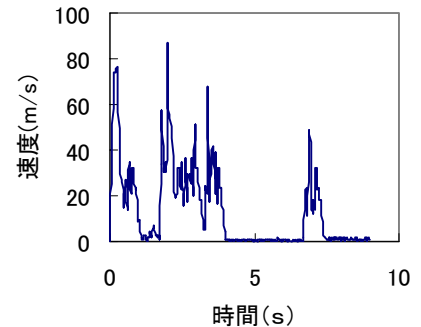


図-5 No4.オイラー的な流速変化

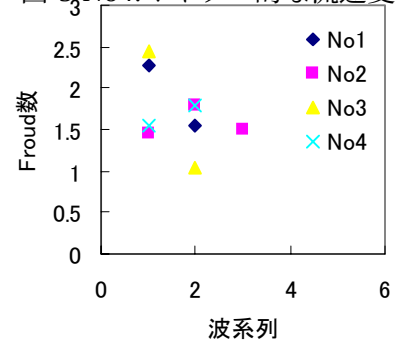


図-6 波のフルード数