

粘性土石流の転波列に関する実験的研究

名城大学大学院 学生員 ○劉 雪蘭

名城大学理工学部 正会員 新井宗之

1. はじめに 中国でよく発生する粘性土石流と呼ばれる土石流の流動について多くのことが調べられているが、まだ不明な点が多い¹⁾。現地観測によって、この土石流の特徴が幾つかある。一つは土石流発生流域の降雨により、粘土など微細粒子の成分が20%、固体粒子濃度が70%もある流れで河床勾配3~5°の河道を数kmも流下する。また、先端速度も17m/sにも達することもある。もう一つの特徴は、土石流サージが間欠的に流下することで、一つのイベントにおいて、100波にもおよび、始まりから終結まで十数時間にもわたることも珍しくないことである。本研究では、粘性土石流のそのような間欠的な流動について、粘土、砂、砂礫、水の流れを実験水路に流下させ、流れの不安定性について検討した。

2. 実験概要と結果 実験水路は長さ8m、幅は10cmで両側壁透明アクリル製、水路勾配17°で、水路床はペンキ仕上の滑面である。図-1のような粒度分布をもつ土砂混合物を水路上流端の給水槽より水路へ供給し流下させた。水路下流端で流速および水深を測定し、水路内を流下するサージの波速、波長は水路正面より測定した。写真-1は総容量 $28.5 \times 10^3 \text{ cm}^3$ 、容積濃度52%の流体を給水槽から供給し、流下する様子を示している。流下中にいくつかの転波列が発生していることが認められる。図-2はサージ先端位置を示している。図は横軸に時間、縦軸に水路上流端からの距離を示していて、最初のサージ先端部が上流から約500cmの位置に到達したときからの水路上のサージ先端部の位置を示している。プロットの線の傾きが、転波列の速度を表していて、その値を凡例に示している。図-3、4はそれぞれ水路下流端での水深と流速の時間変化を示した例である。これから分かるように、周期的に水深、流速が変動し、流れの不安定性により転波列が発生していることが示されている。また、最初の1サージを除いた、平均波速は約159cm/s

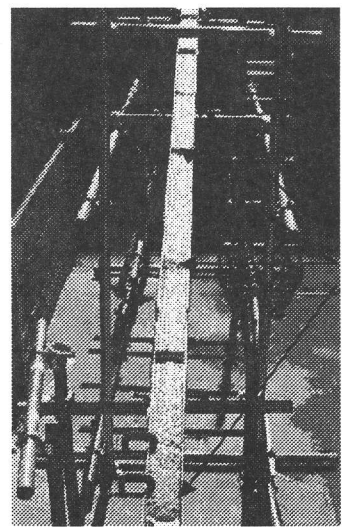


写真-1 間欠的に流下する様子

であるが、平均流速は約96cm/sであり、転波列の波速は流速よりかなり大きな値であることがわかる。また、B型粘度計を使って、採泥したサンプルの粘性係数 μ を測定した結果、 $\mu = 3500 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ であり、清水の約 10^3 倍程度である。また、ここに示している流れで、レイノルズ数は約1000である。

3. 考察 図-2に示しているように、サージは流下途中で発生するものが多くあることがわかる。これは、流入直後の流速分布型と、4~5m下流での流速分布型に変化が生じ、転波列が生じたものと考えられる。すなわち、流入直後では、線型的な流速分布をしているものの、流下とともにより一様な流速分布型に変化することにより、運動量補正係数の減少をもたらし、不安定な状態になったものと考えられる。

また、流下方向を x 軸とする1次元で横流入がない場合の不定流の不安定性の条件から、波速 c の移動座標

系での無次元波速は $c' = \left\{ \beta - 1 + \sqrt{\beta(\beta - 1) + (1/Fr^2)} \right\}^{\frac{1}{3}} K'^{\frac{1}{3}}$ であることが導かれている²⁾。ここで、フルード数は

$Fr = U / \sqrt{gR \cos \theta}$ で、 β は運動量補正係数であり、流積、速度分布に関係しているパラメーターである。また、

$K' = \frac{1}{Fr^2} \left\{ \frac{\beta - \sqrt{\beta(\beta - 1) + (1/Fr^2)}}{\beta - (1 - Fr^2)} \right\}^2 \times \left\{ 1 - \frac{\beta - \sqrt{\beta(\beta - 1) + (1/Fr^2)}}{\beta - (1 - Fr^2)} \right\}$ は無次元進行流量である。図5、6はこの無

次元波速および最大水深・平均水深比とフルード数との関係を示している。粘性土石流の流れでの実験値は

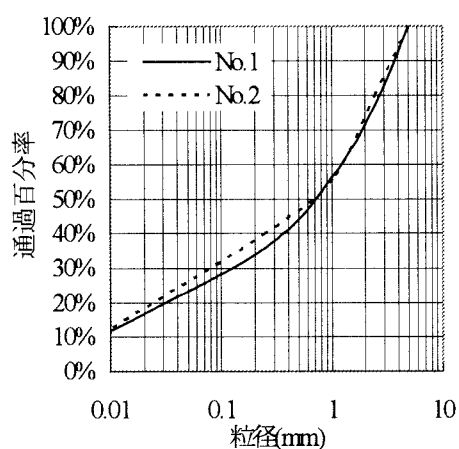


図-1 粒度分布

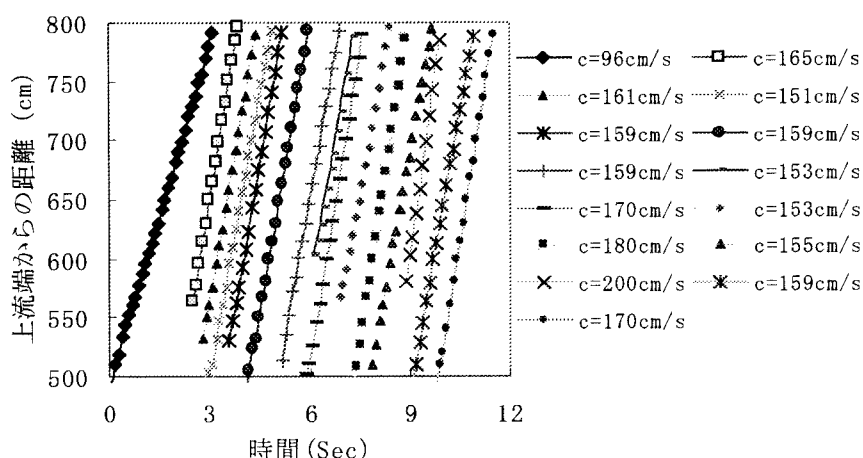


図-2 サージ先端位置と流下過程

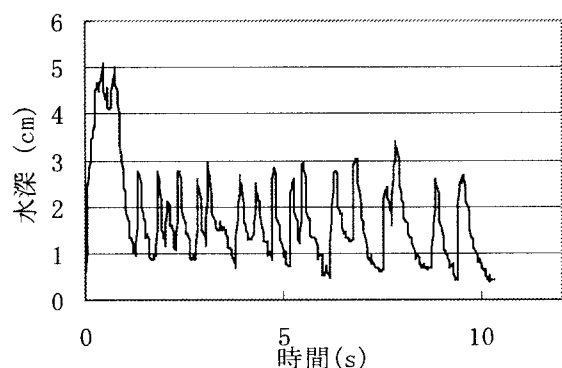


図-3 水深変化

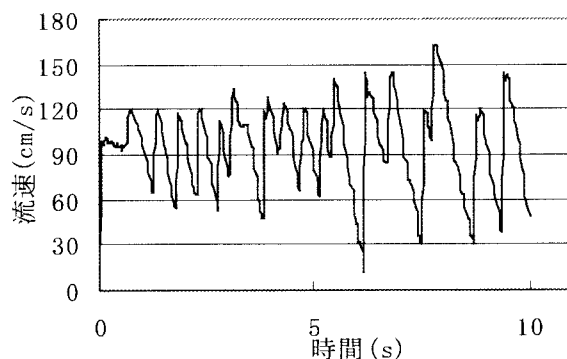


図-4 流速変化

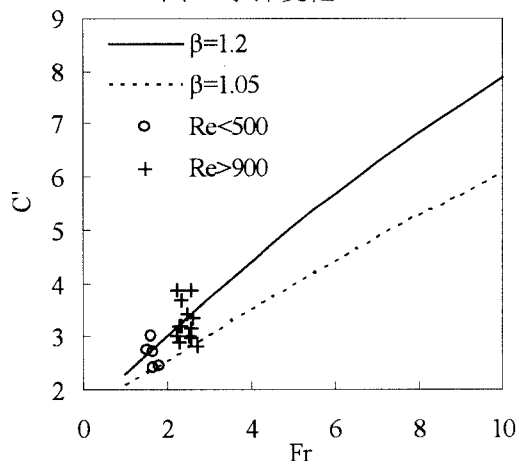


図-5 無次元流速 C' と Fr との関係

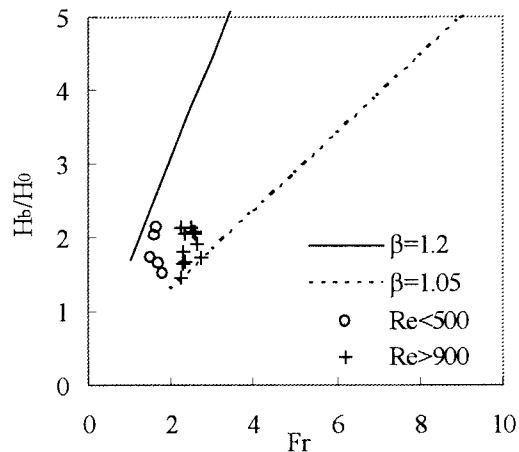


図-6 最大波高・平均水深比と Fr との関係

運動量補正係数 β が 1.05 から 1.2 間にあることがわかる。これはまた、粘性土石流のような固体粒子を高濃度を含む流れにおいても波の特性を持っていることを示している。しかし、清水の場合は理論と実験結果が非常によく一致することが明らかにされているが²⁾、粘性土石流の場合必ずしも良く一致しているとは言えない。

4. おわりに 粘性土石流のような固体粒子を高濃度を含む高粘性の流れにおいても、間欠的に転波列が発生することを実験的に明らかにした。その転波列発生が水路流下途中である場合、流速分布型の変化によるものであると考えられることを示した。また、発生した転波列の特性は清水と異なる点があり、その理由については今後の課題である。

参考文献: 1) 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, pp.617-621, 2000. 2) 岩垣雄一・岩佐義朗: 転波列の水理学的特性について——薄層流に関する研究(第 7 報)——, 土木学会誌 40-1(昭和 30-1), pp.5-12.