

固体粒子を含有した高粘性流体の転波列の特性に関する実験的検討

名城大学理工学部 正会員 新井宗之
田原伸彦
名城大学大学院 学生会員 ○堀江 渉

1. はじめに

中国では粘性土石流と呼ばれるタイプの土石流が発生し、観測されている。このタイプの土石流の流動特性については必ずしも十分明らかにされておらず、とりわけこの流れの間欠性については不明な点が多い。これまでに土石流の発生は流れの不安定性によるものであることを著者らはほぼ明らかにしているが¹⁾、周期的に流下するこの土石流サージの波速、波長、周期などの特性については十分明らかでない。

本研究ではこれらのサージの特性を明らかにすることを目的として、高粘性流体に固体粒子を含有する転波列（サージ）について検討した。

2. 実験の概要

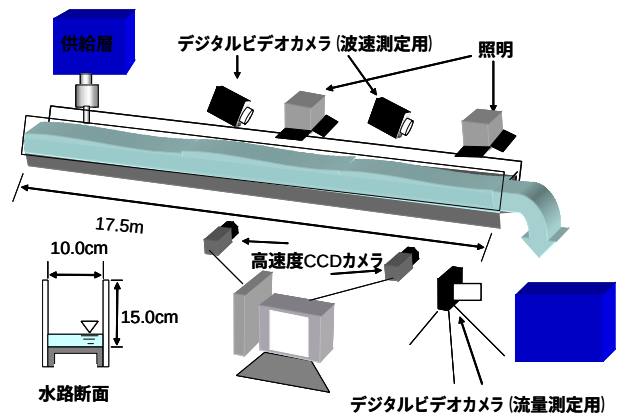
表－1 実験条件

No.	粘性係数 (mPa/s)	平均水深 (cm)	断面平均流速 (cm/s)	固体粒子		備考
				濃度(%)	密度(g/cm ³)	
1～6	1.2	0.7～1.3	60.2～102.6	0	—	
7～12	1.1	0.8～1.2	78.4～110.5	7.4～10.2	1.1	ポリスチレン
13～24	48～54	1.5～2.0	46.7～59.8	0	—	
25～38	40～51	2.0～2.8	77.6～110.1	0.3～1.0	1.3	硬質塩化ビニール

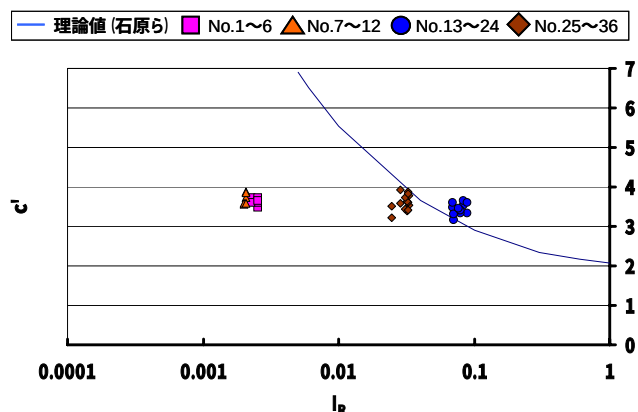
実験水路は、長さ 17.5m、幅 10cm、高さ 15cm で両側面透明塩化ビニール、水路床はスチール製でペンキ塗布した滑面状であり、水路勾配は 3.4° である。実験条件は、表－1 に示すように、清水と高粘性流体の場合とそれぞれに固体粒子を含有した場合で行った。固体粒子は透明ポリスチレン（密度 1.1g/cm³、直径 2mm、長さ 3mm、円柱状）と硬質塩化ビニール（密度 1.3g/cm³、直径 5mm、厚さ 3mm、円盤型）である。粒子は中立浮遊子状の状態で流下するように流体の密度によって使い分けた。実験方法は、水路上流端に 300ℓ の容器に流体を入れ、固体粒子が一様になるよう攪拌し、容器下部より水路へ供給するものである。また、供給用容器は内部圧力を一定にするようにして、流出量を一定にするようにしている。

3. 考察

転波列についてはすでに多くの研究がある。薄層流の研究では Dressler の研究を基に、石原らの優れた研究がある²⁾。砂粒子を含有するような、非粘着性粒子を含有する場合には、石原らの結果に比較的良好に対応すると言う報告もある。しかし高粘性流体に固体粒子を含有する流れについてはほとんど研究が無い。ここでは、実験結果による無次元波速 c' 、無次元波長 λ' 、無次元最大水深 H_b' とレイノルズ数の逆数 I_R との関係をそれぞれ図－2、3、4 に示している。 c' 、 λ' 、 H_b' および I_R は次のようである。



図－1 実験水路概念図



図－2 無次元波速 c' と I_R

キーワード: 粘性土石流, 間欠性, 実験的研究, 転波列, 固体粒子

連絡先: 〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜一丁目 501 番地 名城大学 Tel052-832-1151 FAX052-832-1178

$$c' = \left\{ \left(\frac{1}{5} \right) + \sqrt{\left(\frac{6}{25} \right) + 3I_K} \right\}^{\frac{1}{3}} K'^{\frac{1}{3}} \cdots (1)$$

$$\lambda' = (g \cos \theta / c^2) \lambda \tan \theta \cdots (2)$$

$$H_b' = (g \cos \theta / c^2) H_b \cdots (3)$$

$$I_R = \frac{1}{\tan \theta \cdot R_{e0}} \cdots (4)$$

$$\text{ここに, } c' = \left(\frac{1}{gq_0} \cos \theta \right)^{\frac{1}{3}} c, \quad K' = \left(g \cos \theta \cdot \frac{1}{c^3} \right) k$$

$R_{e0} = \frac{U_0 H_0}{\nu}$, c : 波速, λ : 波長, H_b : 平均水深, θ : 水路勾配, g : 重力加速度, U_0 : 断面平均流速, H_0 : 平均水深, ν : 水の動粘性係数.

これらの結果によると、無次元波速 c' は高粘性流体の場合、固体粒子を含有している場合でも石原らの清水の理論と一致していると言える。この実験での清水ではレイノルズ数が大きい影響のため層流の理論値とは違った結果となっている。無次元波長 λ' と無次元最大水深 H_b' は、無次元波速 c' の場合とは異なり、レイノルズ数の小さな高粘性の場合でも、石原の理論と異なった結果となっている。五十嵐らは、石原らの用いた Dressler の理論に線形安定解析を導入して転波列の発達過程を検討している³⁾。五十嵐らの解析結果によると波長が無限大あるいは無限小で安定となることを Brock の実験結果の対応とともに示している。その結果によれば波長 λ は流下とともに成長することになる。このため、波長 λ と流下位置 x を水深で除した関係の全ての結果を示している。この結果によると x/H が線形に増加するようにもみえる。しかし、清水、高粘性流体及びそれぞれに固体粒子を含有した場合の、下流側 4m 区間の平均波長を λ_0 として、 λ/λ_0 と x/H の関係を図-6 に示す。この結果をみると、比較的短い距離で、安定した波長 λ に発達することが示されている。したがって、無次元波長 λ' の理論との違いは、波長の発達過程による原因としては考え難い。

4. まとめ

固体粒子を含有した高粘性流体の転波列の特性で波速は従来の薄層流の理論の傾向を示すが、波長や最大水深については必ずしもよく一致するとは言えない。今後、粘度、固体粒子の含有による差異を流動機構の面からも検討を行いたい。

参考文献

- 1) 新井宗之・劉雪蘭・田原伸彦：粘性土石流の発生機構に関する検討，土木学会，応用力学論文集 vol.7, pp.813-820, 2004.8.
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・岩佐義朗：急斜面上的層流における転波列の理論，土木学会論文集，No.19, pp.46-57, 1954.4.
- 3) 五十嵐章・泉典洋・和田尚：転波列の発達過程，土木学会，水工学論文集，vol.48, pp.463-498, 2004.2.

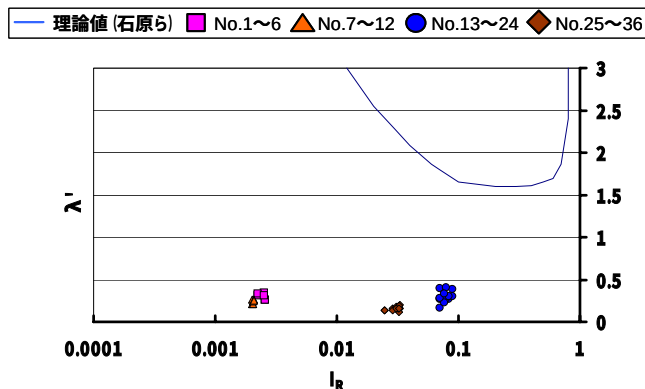


図-3 無次元波長 λ' と I_R

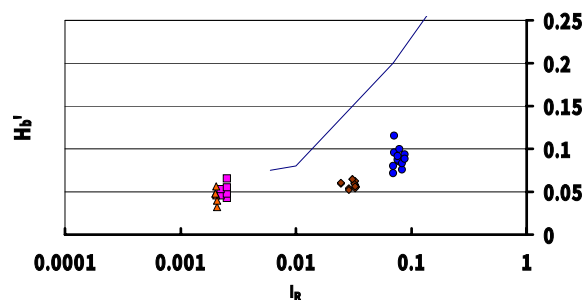


図-4 無次元最大水深 H_b' と I_R

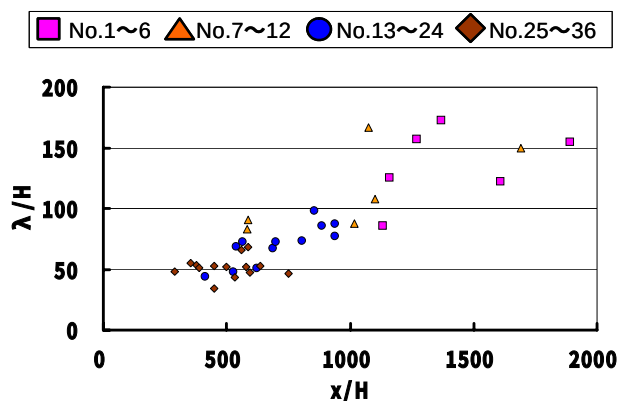


図-5 流下過程に伴う波長 λ の変化

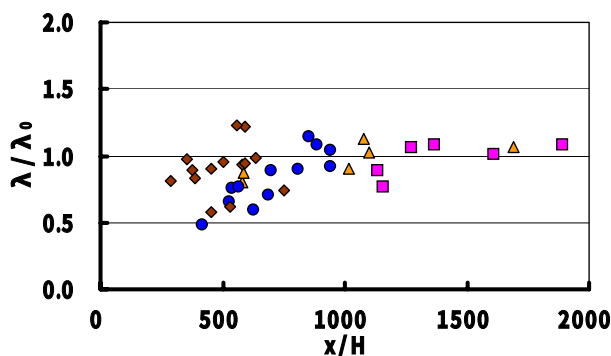


図-6 λ/λ_0 と x/H との関係