

高粘性流体の転波列の特性に関する実験的研究

名城大学大学院 学生会員 ○田原伸彦
名城大学理工学部 正会員 新井宗之

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しばしば観測されている。このタイプの土石流の流動機構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。本研究はこのような粘性土石流の流動機構を明らかにすることを目的として、単純な高粘性の流れについて、その流れの不安定性による転波列の発生流れについて検討したものである。

2. 実験概要

実験水路は図 1 に示すように水路長 6.70m、幅 10.0cm、深さ 15.0cm、循環式で両側壁透明アクリル製、水路勾配 0° ~17° の可動式で、水路床はペンキ塗布仕上げの滑面である。実験に用いた流体は、高分子増粘剤（東亜合成製、T40）を水で希釈したもので、通常の水の約 30 倍(33mPa・s)の粘性があり密度は $\rho_f=1.21\text{g/cm}^3$ である。流速分布測定は図 2 に示すように、アルミ製のスリットを水路にとりつけ照明を水路上部から照らす。流体には光を反射しやすいトレーサーを混入しておき水路横方向から高速 CCD カメラを用いて 2000frame/sec で撮影、記録し、トレーサーの挙動を解析することにより行った。

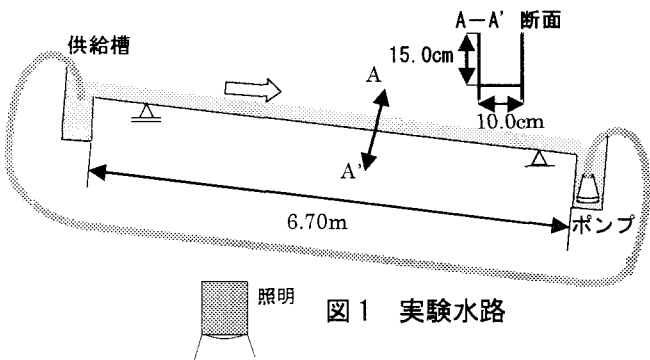


図 1 実験水路

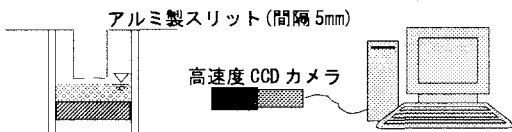


図 2 流速分布測定

3. 実験結果及び考察

流れの不安定性、転波列の発生については石原・岩垣・岩佐¹⁾の優れた研究があり、転波列の発生特性について広く用いられている。石原らの支配方程式は、Dressler²⁾の理論を基にしているが、層流の場合次式のように表している。

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

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

ここに、 u ; 断面平均流速、 h ; 水深、 θ ; 水路勾配、 g ; 重力加速度、 ν ; 水の動粘性係数

式(1)の左辺第 2 項の $6/5$ 、第 4 項の $-1/5$ は断面平均流速 u で表す場合の運動量補正係数に基づく係数である。上式を波速 c による移動座標系にし、 $u(x,t)=U(x-ct)=U(\zeta)$ 、 $h(x,t)=H(x-ct)=H(\zeta)$

として式(2)の連続方程式から次式を導いている。

$$(c-U)H = K = \text{constant} \dots(3)$$

これは進行流量と呼ばれ、移動座標系における x 軸方向の任意点の流量が一定であることに意味している。

また、石原らは衝撃条件を用いて不連続周期解を導き、 $\lim_{dH/d\zeta} \geq 0$ の条件で発生する転波列の特性を明らかに

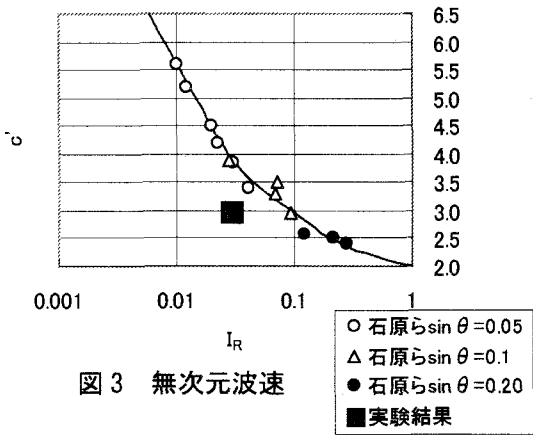


図 3 無次元波速

にしている。ここに波速について示せば次のようになる。

$$c' = \left\{ \left(\frac{1}{5} \right) + \sqrt{\left(\frac{6}{25} \right) + 3I_K} \right\}^{\frac{1}{3}} K'^{-\frac{1}{3}} \dots (4)$$

ここに、 $c' = \left(\frac{1}{gq_0} \cos \theta \right)^{\frac{1}{3}} c$; 無次元波速

$K' = \left(g \cos \theta \cdot \frac{1}{c^3} \right) k$; 無次元進行流量

$$I_R = \frac{1}{\tan \theta \cdot R_{e0}}, \quad R_{e0} = \frac{U_0 H_0}{\nu} \dots (5)$$

H_0, U_0 ; 支配断面における水深, 流速

前節で行った比較的高粘性の流体もこのような関係であるのか式(5)との関係を示すと、図3のようである。実線が理論式を示し、○△●が石原らの実験結果であり、■がここでの実験結果である。実験結果が少ないが、理論値より少し小さな値の傾向になっている。この原因を検討するために転波列の流動についてもう少し調べることにする。図4は水路上流から $x=4.2m$ の位置で $\theta=8.91^\circ$, 時間断面平均流速 $u=36.7cm/s, Fr=1.28$ の流れで、時間変化に対する水深変動を表している。平均の波速は $c=94.6cm/s$ で、典型的な転波列を生じている流れである。図中の $t=1.75, 1.85, 2.16, 2.24sec$ での流速分布型を図5にそれぞれ a~d に対応して示している。図中の (a)は波の頂部での流速分布で、(d)は谷部での流速分布である。いずれもほぼ放物型をしており層流の流れであることがわかる。図6は $t=1.1 \sim 2.7sec$ における水深変化とそれに対する断面平均流速及び進行流量 K を示したものである。この結果によると断面平均流速は、波の頂部で速く、谷部で遅い流速となっている。石原らの理論によれば、頂部で遅く、谷部で速くなることが示されているが、その逆の傾向を示している。また図中には、進行流量 K も示しているが、波の頂部と谷部の間で大きく変動しており、 $K=constant$ という仮定が成り立たないような傾向を示していることが明らかになった。

4. おわりに

以上、水の数十倍の粘性を有する転波列の特性について検討した。従来の転波列の理論の進行流量が一定という仮定が成り立たないことが実験的に明らかになった。これがこの粘性流体特有なものであるかどうか今後検討を進めたい。

参考文献

- 1) 石原藤次郎, 岩垣雄一, 岩佐義明 ; 急斜面の層流における転波列の理論, 土木論文集第19号, p.46-57, 昭29.4
- 2) R.K.Dressler: Mathematical solution of the problem of roll waves in inclined open channel, Communication on Pure and Applied Mathematics, vol. II, No.2/3, 1949.

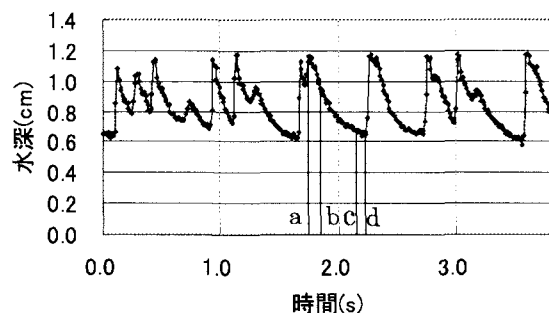


図4 時間変化に対する水深変化

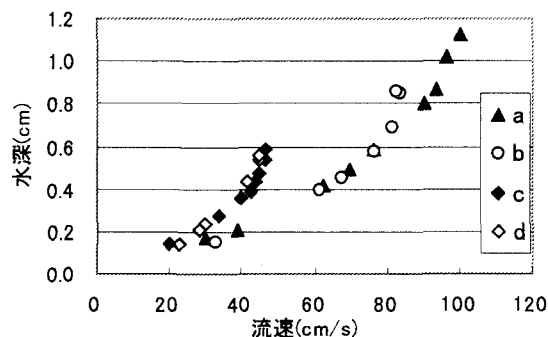


図5 流速分布

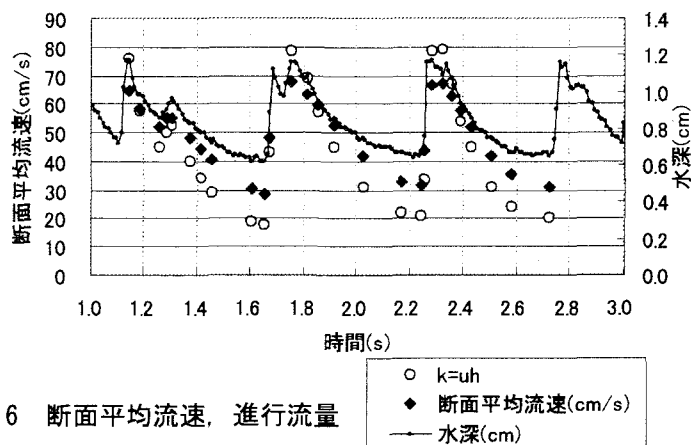


図6 断面平均流速, 進行流量