

固体粒子を含有した転波列の発生・発達過程に関する実験的検討

名城大学理工学部

正会員

新井宗之

名城大学研究生

学生会員

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。写真-1は中国雲南省東山市蒋家溝で観測された粘性土石流の一例である。この土石流のタイプの特徴は、容積濃度が約70%もあるのにもかかわらず、 $3\sim5^\circ$ という緩勾配の河道を約10m/sという速い流速で流下するというとともに、このような土石流サージがほぼ一定の周期で多数流下することである。写真の蒋家溝の土石流の場合、約3分程度の周期で、100波以上の土石流サージが流下することも珍しくない。このタイプの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、周期的に流下するこの土石流サージの波長、周期などの特性については必ずしも十分明らかでない。



写真-1 蒋家溝での粘性土石流の流下状況

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、清水中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

実験水路は、長さ17.5m、幅10cm、高さ15cmで両側面透明アクリルで、水路床はスチール製でペンキ塗布した滑面状である。実験条件は、表-1に示すように、清水の場合と固体粒子を含有した場合の条件で行った。固体粒子は密度が 1.1g/cm^3 で、直径2mm長さ3mmの円柱状の透明ポリプロピレンである。密度が清水に近いことで浮遊しやすい状態で流下するようにしている。実験方法は、水路上流端に300ℓの容器に水と固体粒子を入れ、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。

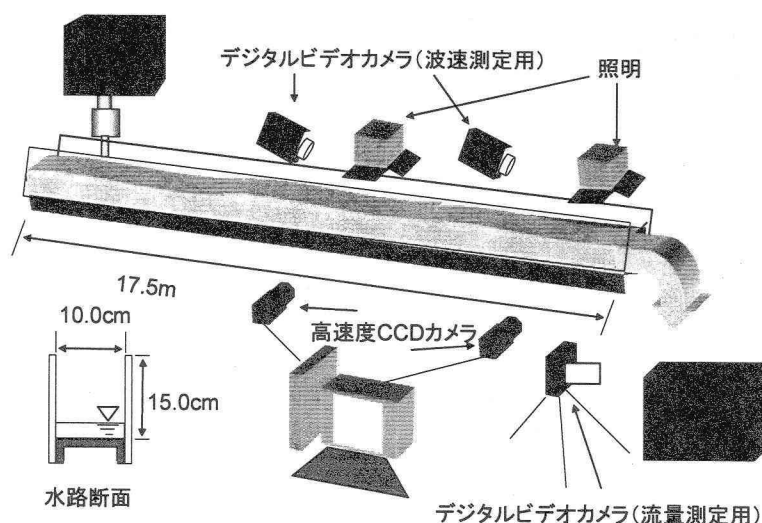


図-1 実験水路概念図

表-1 実験条件

No.	水路勾配 (DEG)	平均水深 (cm)	平均流速 (cm/s)	固体粒子		備考
				濃度(%)	密度(g/cm^3)	
1	3.0	0.72	184.3	0	-	
2	3.4	1.30	171.7	2.49	1.1	ポリプロピレン
3	3.4	1.45	188.0	0.89	1.1	ポリプロピレン
4	7.1	1.03	143.5	0	-	
5	7.1	0.97	141.6	0	-	
6	7.1	0.49	105.3	0	-	
7	7.1	0.87	145.6	4.80	1.1	ポリプロピレン
8	7.1	0.42	108.0	7.20	1.1	ポリプロピレン

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・岩垣・岩佐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ような場合には、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が、

ここで行った実験による無次元波長 λ' と無次元最大水深 H_b' との関係それぞれ図-2、図-3に示す。無次元波長 λ' 、無次元最大水深 H_b' および図中のレイノルズ数の逆数を表す I_R はそれぞれ次のように表されている。

$$\lambda' = (g \cos \theta / c^2) \lambda \tan \theta \cdots (1)$$

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

$$I_R = \frac{1}{\tan \theta \cdot R_{e0}} \cdots (3)$$

ここに、 $R_{e0} = \frac{U_0 H_0}{\nu}$ 、 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。

これらの関係によると、無次元最大水深 H_b' は石原らの理論の延長線上にある傾向を示しているが、無次元波長 λ' は必ずしも理論と一致するような傾向を示しているとは言えない。しかし、これらの実験が、制約された実験装置による影響とも考えられる。五十嵐・泉・細田³⁾は、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、五十嵐らは波長に次式のような摂動を導入している。

$$\lambda = \lambda_0 + \varepsilon e^{\Omega t} \cdots (4)$$

ここに、 λ_0 : 基本波長、 ε : 振幅を表す微小パラメータ、 Ω : 擾乱の成長率、 t : 時間。

Ω がプラスの場合には波長 λ は成長し、マイナスの場合には λ_0 に漸近し安定することを示している。五十嵐らの解析結果によると Ω はプラスとなり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。この結果によれば、波長 λ は流下とともに成長し、図-3の無次元波長は理論値に合うような傾向を示し、実験水路の影響のようにも考えられる。しかし、図-4に流下過程の波長 λ を示しているが、流下距離約 5~10m の区間において増加する傾向もあるものの、平均的な波長等はある値に漸近する傾向を示している。また、波長が無限大で安定することは石原らの理論が成り立たないことも意味するが、ここに示していない多くの薄層流の実験結果は石原らの理論によく対応することが明らかとなっている。したがって、図-3の実験結果と理論との差異は必ずしも水路長の影響ではないと思われる。

4. まとめ

固体粒子を含有した転波列の特性で最大水深は従来の薄層流の理論の傾向を示すが、波長については必ずしもよく一致するとは言えない。これは水路長の影響によるものとは考えが難い。今後、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：急斜面上の層流における転波列の理論，土木学会論文集，vol.48, pp.493-498, 2004.2.
- 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.

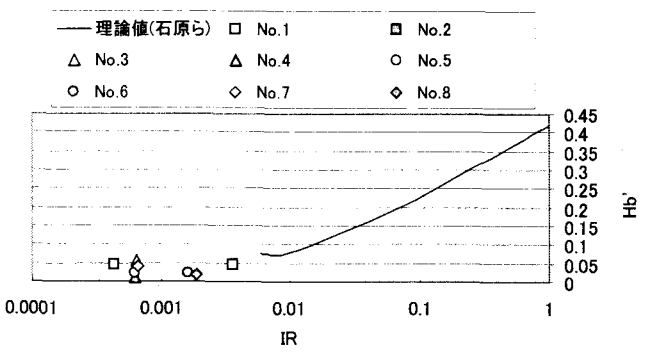


図-2 無次元最大水深 H_b' と I_R

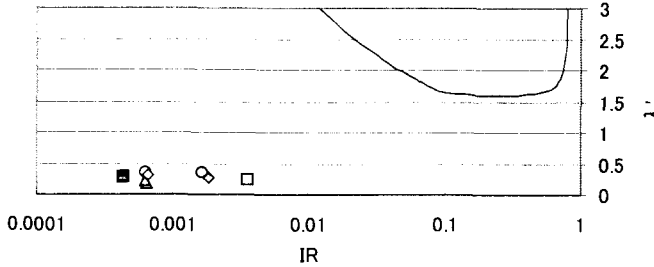


図-3 無次元波長 λ' と I_R

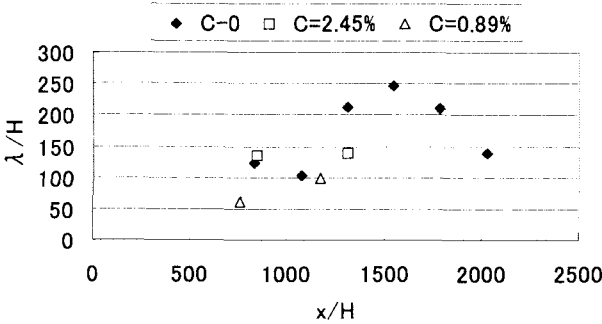


図-4 流下過程に伴う波長 λ の変化