

傾斜水路上に生成される転波列周期の流下過程変化に関する 実験的検討

名城大学 正会員 新井宗之
名城大学 学生会員 野川貴史

1. はじめに

近年の集中豪雨による土石流災害で短時間に複数回の土石流流下のあることが報告されている。間欠的な土石流流下については中国雲南省などの粘性土石流と呼ばれる土石流が多数の土石流サージ流下で知られているが、近年ヨーロッパアルプスでも間欠的な土石流流下が観測、報告されている。このような間欠的なサージ流の流下は流れの不安定性による転波列の一種であると考えられる¹⁾。転波列に関する研究はすでに多くの研究があるが、自然河道での転波列に関する研究は非常に少なくほとんどなされていないと言える。本研究では、傾斜水路に生成される転波列の流下過程において、どのような特性変化を生じるのか実験的に明らかにすることを目的とし、長さ 56m の直線水路を用いた実験で、転波列サージ周期の流下特性変化について検討した。

2. 実験方法・実験条件

実験水路は図-1に示すように、長さ 56m、幅 10cm、深さ 15cm の透明硬質アクリル製の直線水路である。水路底部も硬質アクリル製の滑面で、水路勾配は $\theta=2.5^\circ$ である。転波列サージの先端部を含む流下特性変化を明らかにするため、循環式的水路ではなく上流端からの給水方式によって流下実験を行った。給水方法は上流端に容量 500ℓ(0.5m³) の水槽を設置し、約 120 秒間給水して実験を行った。流下量は約 156ℓ で、流下流量は $Q = 1301\text{cm}^3/\text{s}$ である。水路下流端での平均水深は $h_0=1.04\text{cm}$ であり、平均流速は $v=125\text{cm/s}$ である。給水開始から水路下流端までの流下時間は約 45sec であり、給水量の時間は流下時間の 2 倍程度である。上流端水槽は密閉式で定圧を保つようにしてあり一定の給水流量として水路に供給することができる。サージの流下過程を調べるために、水路側面からの動画撮影記録により水面変動を測定した。測定位置は上流端から下流へ $x=16.0, 18.0, 20.0, 22.0, 24.0, 26.0, 28.0, 30.0, 32.0, 34.0, 38.0, 42.0, 46.0, 50.0, 54.0, 56.0\text{m}$ の 16 点で測定した。図中に No.1~16 の下方矢印で示している。撮影画像は 120fps で画像間の時間間隔は $\delta t = 1/120\text{sec}$ である。ただし、下流端の No.16 は $\delta t = 1/300\text{sec}$ の時間間隔の画像記録である。画像の解像度は垂直方向で $\delta y = 0.05\text{mm}$ 程度である。水深変動のための画像解析は Mathematica を利用した独自の解析プログラムを開発し解析に供した。

Keyword: 土砂流サージ, 転波列, 実験, 周期, 流下過程
〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口 1-501 Tel: 052-838-2364

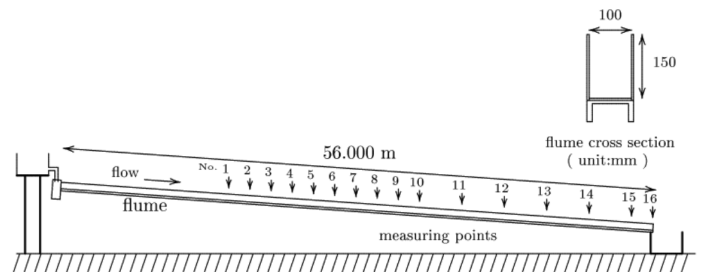


図-1 実験水路概念図

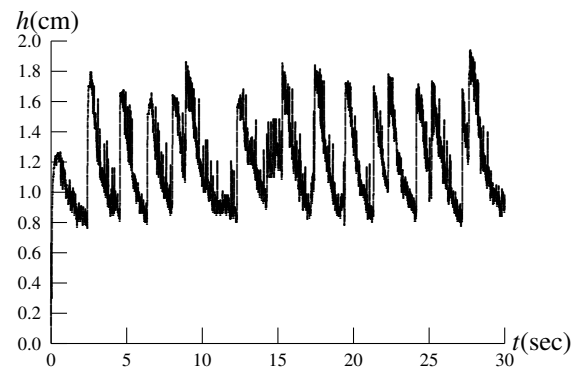


図-2 実験結果例 (No.15)

3. 実験結果および考察

水面変動の実験結果の一例を図-2に示す。これは測定点 No.15 で下流端から 2m 上流の位置の結果である。流下先端から約 30sec 間の水深変動を示している。転波列に特有な水面形の特異性を有する顕著な水面変動を示している。比較的周期的な変動を示しているが複雑な変動も有している。水面変動の細かな変化は画像解析時での誤差に起因するものも含まれている。ここではサージの流下過程における周期の変化を検討するためにフーリエ解析を用いた。

長さ n のデータ u_r のフーリエ解析 v_s は、 s を波数とする

$$v_s = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{r=1}^n u_r e^{2\pi i(r-1)(s-1)/n} \quad (1)$$

で定義される。

図-3 は水路上流端から $x=18, 24, 34, 46, 54\text{m}$ の位置でのフーリエ解析結果である。解析に供した時間は、サージ先端部通過 2 秒後より 100 秒間である。図の横軸は波数 s を示し、縦軸は式 (1) の v_s を示す。図-3 (a) は測定点 No.2 の水路上流端から $x=18\text{m}$ の位置での水面変動の解析結果である。この結果では v_s の値は小さく特に大きなピークが存在しないため、水面変動が小さく、変動の波数も広い範囲に

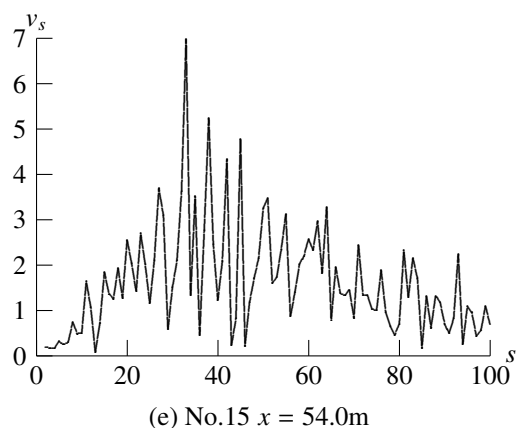
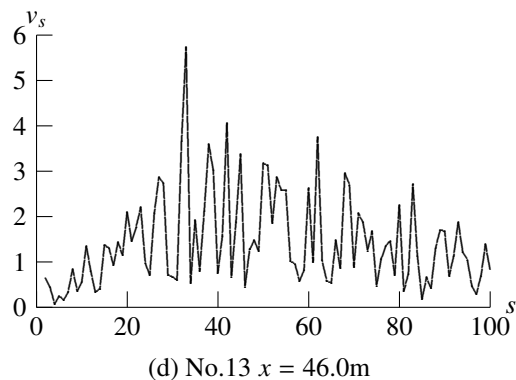
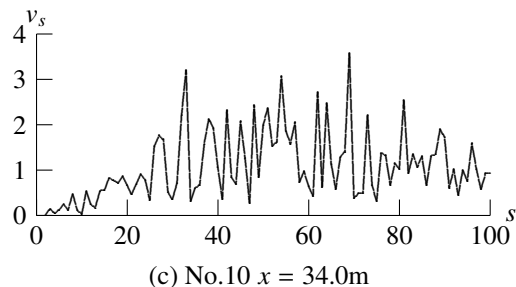
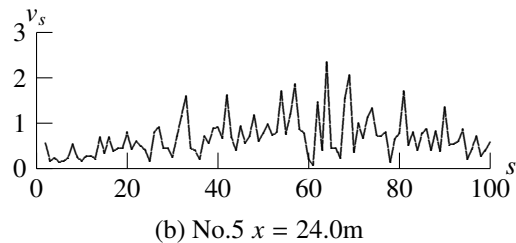
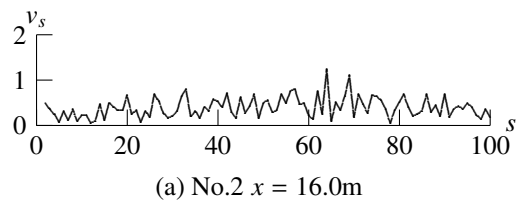


図-3 波数解析結果

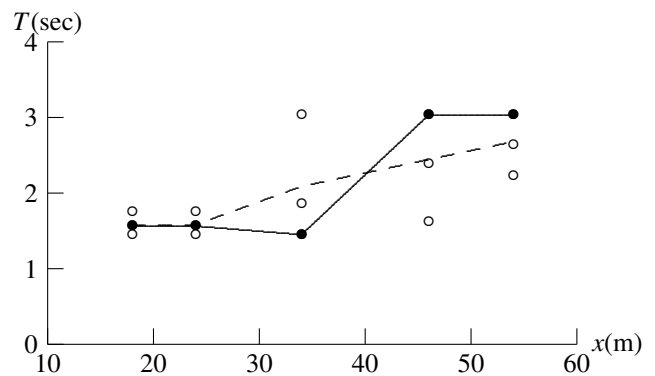


図-4 サージ周期の流下過程変化

あることを示している．図-3 (b) は測定点 No.5 の水路上流端から $x=24\text{m}$ の位置での水面変動の解析結果である．波数が $s = 60 \sim 70$ で v_s に少し大きな値が表れている．図-3 (c) の $x=34\text{m}$ の位置で波数 $s=70$ 、30 くらいで大きな値が表れるようになっている．図-3 (d), (e) の $x=46, 52\text{m}$ では波数 $s=30$ 程度のところで大きな値となっていることを示し、卓越した波数が表れてきていることを示している．

図-4 はサージの流下過程におけるサージ周期 (sec) 変化を示している．横軸に水路上流端からの距離 $x(\text{m})$ 、縦軸に周期 $T(\text{sec})$ を示している．図中の ● はフーリエ解析値 v_s の最大値における波数 s による周期 $T(\text{sec})$ を示し、○ は v_s の 2 番目、3 番目の v_s による周期 T を示している．実線は ● を直線で結んだもので、破線はフーリエ解析値 v_s 上位 3 つの v_s による周期 T の加重平均値である．この結果によると水路上流端から 30m くらいまでは種々の波数の微小水面変動を生じているが、30m を過ぎ 40m 程度になると急速に特定の波数、周期のサージに発展することを示している．しかし、卓越した一つの周期に発達するというよりも、卓越した周期はあるもののいくつかの波数を有する波形となっていることを示している．

4. まとめ

転波列性サージの先端部から約 100 秒のサージ周期の流下過程変化について実験的に検討した．この結果、サージ周期はいろいろな波数の水面変動成分が流下過程の中で急速に特定な周期に発達することを示した．今後、広範囲の流量条件や個体粒子を含有する場合の特性について明らかにしていきたい．

謝辞：この研究の遂行にあたり京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの施設を利用させていただいた．ここに記して関係各位に謝意を表します．

参考文献：1) M.Arai, J.Huebl, R.Kaitna : Occurrence conditions of roll waves for three grain-fluid models and comparison with results from experiments and field observation, Geophysical Journal International, Oxford University Press (The Royal Astronomical Society), Vol.195 (3), pp.1464-1480, (2013-10)