

## 傾斜水路における転波列性サージ波動特性実験に関する検討

名城大学大学院 学生会員 ○石川 雄規  
 名城大学 正会員 新井 宗之  
 名城大学 学生会員 浅田 浩行  
 名城大学 学生会員 仙波 学

1. はじめに：間欠的に多数のサージ状の土石流流下現象として中国の粘性土石流と呼ばれる土石流がよく知られている。日本では鹿児島県桜島の野尻川等での泥流状の土石流が多数のサージ状の流れとして観測されている。また、オーストリア西部の山間部や、イタリア北部の山間部でも多数の間欠的なサージ状の土石流が観測されている。近年の集中豪雨による災害においても複数の段波状の土砂流が流下し被害を増大させていることが報告されている。しかし、このような山地河道における間欠的で多数のサージ状の流れについてはまだほとんど明らかにされていない。本研究では傾斜水路における転波列性サージの波動特性を明らかにするための実験方法について検討する。

2. 実験方法：傾斜水路において固体粒子を含有する間欠的なサージ状の流れは、流れの不安定性による転波列として生成することが可能である。実験に供した水路は写真-1 に示す長さ 56m、幅 10cm、高さ 15cm の透明硬質アクリル製で、2m の長さの水路 28 本を接続した直線水路である。転波列の波動発達過程を検討するために、水路長 56m の水路を用いている。給水系は、水路下端の水槽の中に設置したボルトテックス型のポンプで固体粒子と水を水路上流端の制水槽に流送して給水する循環式である。流量の制御は給水ポンプをインバータ制御して行っている。流量の計測は水路下端での計量柵により計測している。水深変動の計測は後述するように水路側面より動画を撮影し、それを解析に供している。実験条件は表-1 に示す。水路勾配は  $\theta = 3.0\text{deg}$ 、流量は  $Q=1284\sim 1618\text{cm}^3/\text{s}$ 、水深は  $h=1.11\sim 1.33\text{cm}$  である。水深は水路下流端から 3.0m 上流の約 120 秒間の変動水深の単純平均である。平均流速  $v$  は流量と平均水深  $h$  および幅  $B=10\text{cm}$  の矩形断面から求めた断面平均流速である。流水中の固体粒子はポリプロピレン粒子で、長径 2.97mm、短径 2.14mm、長さ 2.97mm の円柱状の形状で名目直径  $d_{50}=2.9\text{mm}$ 、粒子密度  $\sigma$



写真-1 実験水路

表-1 実験条件

No.	$\theta(\text{deg})$	$Q(\text{cm}^3/\text{s})$	$h(\text{cm})$	$v(\text{cm}/\text{s})$	C	Rem
EXP-1	3.0	1618	1.11	145	0	清水
EXP-2	3.0	1475	1.13	130	0	清水
EXP-3	3.0	1284	1.33	96	0.205	ポリプロピレン

$= 1.06\text{g}/\text{cm}^3$  である。また、体積濃度は  $C=0.205$  である。水深変動を検討するための動画撮影は 300frames/sec で、約 120 秒間録画し、解析した。撮影位置は、水路上流端より 9.0m, 13.0m, 17.0m, 22.7m, 33.0m, 43.1m, 53.0m の位置である。ただし、波速を計測するために、それぞれの位置で 0.80m 上流側にもう一つの撮影カメラを設置して同時に記録し、波速の解析に供している。

3. 水面変動解析：流下現象の記録画像は毎秒 300 フレーム(300frames/sec)で約 120 秒間である。実験条件から分かるように、断面平均流速は約 1m/s 程度であるから 56m の水路を流下するのに約 1 分程度要する。ここでは、その約 2 倍の 120 秒程度解析に供している。ここでは、粒子画像流速測定法 PIV(Particle Image Velocimetry)と同じ原理の 2 画像間を式(1)の相互相関関数  $r$  を用い、1 画像から 2 画像の対応領域を

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \dots (1)$$

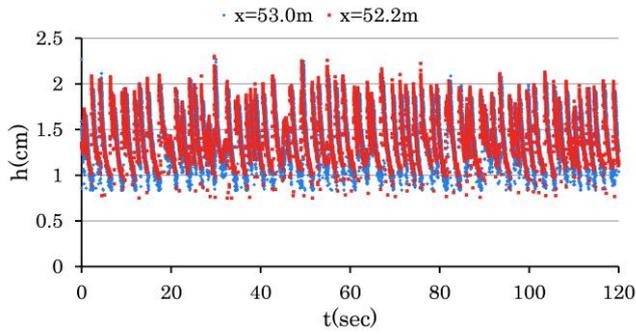
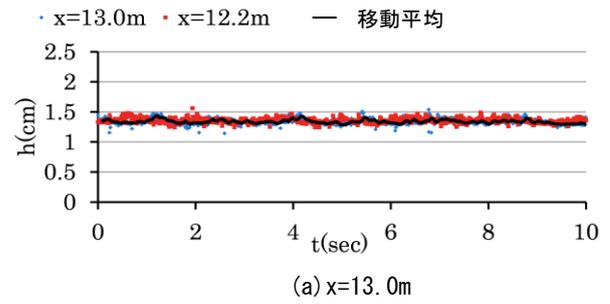


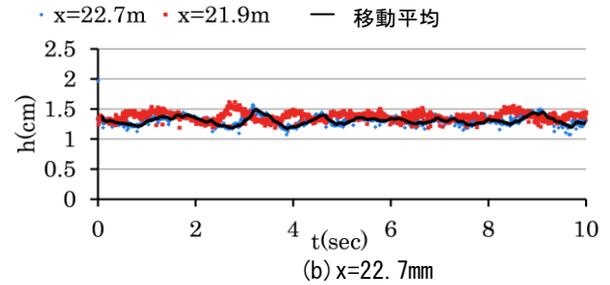
図-1 EXP-3 の時系列水面変動測定結果

決める手法を用いて水面変動の解析を行っている。式(1)の  $x_i$ 、 $y_i$  は第 1 画像、第 2 画像それぞれの相関領域の RGB の平均値である。相関係数  $r$  の最大値の領域を第 1 画像の相関領域に対応する第 2 画像の領域としている。これは独自にプログラムを開発して解析に供している。過誤と思われる部分については、目視による補正を行っている。

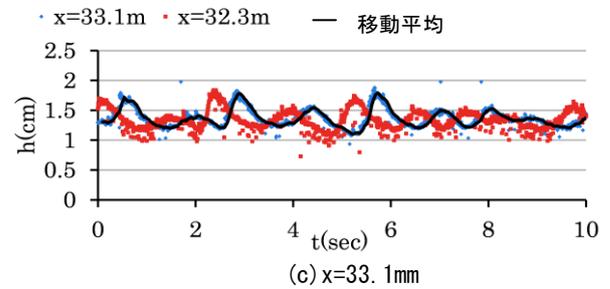
4. 実験・解析結果および考察: 図-1 は、ポリプロピレン粒子を含有した流れの水路上流端から  $x=53.0\text{m}$ 、水路下流端から  $3.0\text{m}$  の位置及びそれより  $0.80\text{m}$  上流における 120 秒間の計測、解析結果である。横軸に時間  $t(\text{sec})$ 、縦軸に水深  $h(\text{cm})$  を示している。プロットされた点は計測された時間からの経過時間と水面の位置を示している。間欠的な大きな水深変動のあることがわかる。図-2 は、水路上流端から、(a) $x=13.0\text{m}$ 、(b) $x=22.7\text{m}$ 、(c) $x=33.1\text{m}$ 、(d) $x=43.1\text{m}$ 、(e) $x=53.0\text{m}$  の位置での計測開始から 10 秒間の水面変動の時系列変化を示した図である。図中の「◆」、 「■」は時系列の水面の位置、実線は  $n=30$  の移動平均を示しており、微小な水面変動を平滑化した水面変動を示している。また、 $n=30$  は、 $\Delta t=0.1$  秒を意味している。上流部では水面変動の振幅が小さいが、 $x=33.1\text{m}$  付近から大きくなり、 $x=43.3\text{m}$ 、 $53.0\text{m}$  と振幅が大きくなるとともに谷部から頂部への波形が急峻化し、波形が大きく変化することがわかる。図-3 は水面変動の 1 周期における振幅の大きさ、つまり波高の流下過程における変化を示している。水路上流端から  $20\text{m}$  程度までは水面変動が  $0.2\sim 0.4\text{cm}$  であるが、それより下流では波高が流下とともに増大していることがわかる。この実験条件では  $56\text{m}$  の水路下流端で定常状態であるとは必ずしも言えないようである。



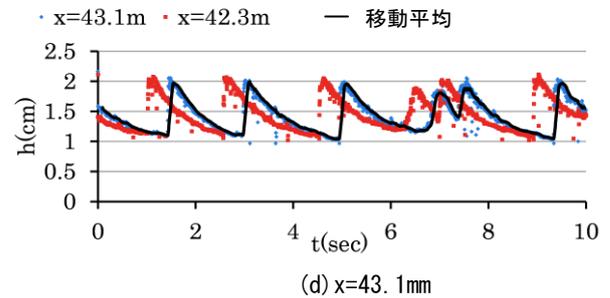
(a)  $x=13.0\text{m}$



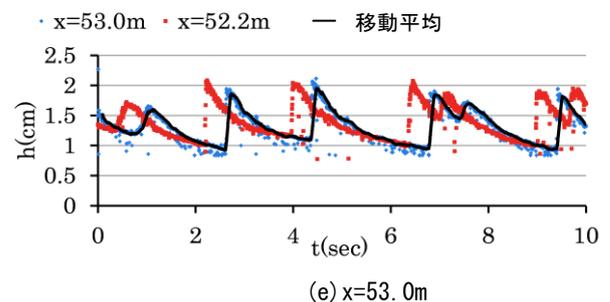
(b)  $x=22.7\text{m}$



(c)  $x=33.1\text{m}$



(d)  $x=43.1\text{m}$



(e)  $x=53.0\text{m}$

図-2 EXP-3 水面変動

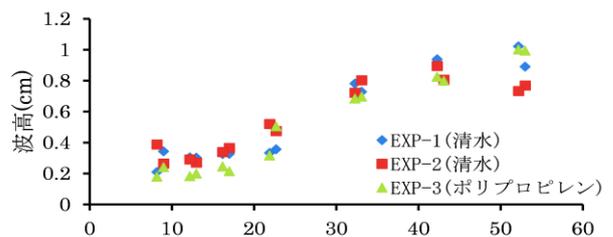


図-3 波高の流下過程変化