

## 加速度センサによる集合流動の振動計測と流れの特性評価に関する研究

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○塩谷 晴  
群馬工業高等専門学校 正会員 永野 博之

### 1. はじめに

集中豪雨の増加に伴いソフト対策の重要性が増している。土石流災害においては、振動センサを用いた土石流検知システムの開発・研究が進められており(例えば<sup>1)</sup>、土石流の流下に伴う振動波形の特性と土石流の流動状況との関係性を把握することは重要である。永野ら<sup>2,3)</sup>は室内実験を通じて土石流流下時の振動波形を計測し、土砂水理学的観点から、土石流の特性を表す無次元パラメータ<sup>4)</sup>を導入して、振動波形と土石流の流動規模との関係について検討を行ってきた。しかしながら、多様な土砂流動状況を捉えたデータの蓄積には至っておらず、いまだ不明な点が多く残されている。

本研究は、永野<sup>2,3)</sup>らの研究に、流路条件を変化させた実験を追加し、計測される振動波形の解析を通じて、土石流の振動特性に関する知見の充実化を図るものである。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置の概要

実験水路の模式図を図-1に示す。水路は幅40cm、側壁高40cm、水路長4mの長方形断面水路である。側壁および底面素材はアクリルであり、木製フレームで構成されている。既往研究<sup>3)</sup>と同じく、地下ピット中の水中ポンプを通じてくみ上げられた水が、塩化ビニルパイプを経由し、上流端に設置された2つの吐水口から供給される。本実験では、パイプに設置したバルブを調整し、全ての実験ケースで一定の流量となるようにした。

#### 2.2 実験条件

本研究では、平均粒径10mmの川砂利、2mmの川砂を河床材料とした。実験ケースを表-1に示す。本実験では、水路勾配を15°、10°、6°に設定した。CASE1からCASE10までは厚さ50mmで土砂を敷き詰め、CASE11とCASE12では厚さ30mmで土砂を敷き詰めた。土砂は下流端から3.0mの位置まで敷き詰め、下

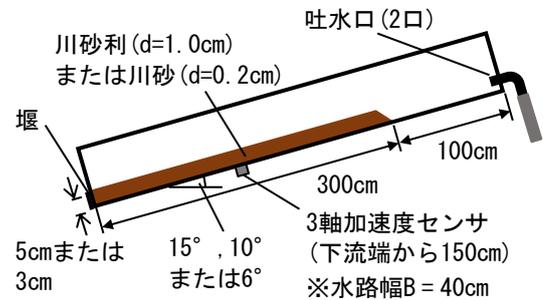


図-1 実験水路の模式図

表-1 実験ケース

実験ケース	河床材料の平均粒径	水路勾配	粗度係数
CASE1_1	10mm	15°	0.003
CASE1_2	10mm	15°	0.003
CASE2	0.2mm	15°	0.003
CASE3	10mm	6°	0.003
CASE4_1	0.2mm	6°	0.003
CASE4_2	0.2mm	6°	0.003
CASE5	10mm	10°	0.003
CASE6	0.2mm	10°	0.003
CASE7	10mm	10°	0.007
CASE8	0.2mm	10°	0.007
CASE9_1	10mm	15°	0.007
CASE9_2	10mm	15°	0.007
CASE10	0.2mm	15°	0.007
CASE11	10mm	15°	0.007
CASE12	10mm	15°	0.007

流端には敷厚と同じ高さの板を設置した。また、底面粗度による振動波形への影響を把握するため、CASE6以降の実験では、平均粒径10mmの川砂利を全面に貼付けた板をアクリル底面上に設置し、その上に土砂を敷き詰めた(以下、粗度有りと呼ぶ)。下流端から1.5m地点の水路底面に設置した圧電型3軸型加速度センサ(TEAC製7.0ZT)により振動を計測し、アナログビジュアルレコーダ(TEAC製VR-24)でデータを記録した。水路側方からデジタルカメラ1台とデジタルビデオカメラ2台を用いて、下流端から

0~1m, 1m~2m, 2~3m の区間の流下状況を撮影した。全てのケースにおいて、撮影動画から流下時の水深を水路側面のテープ尺より判読するとともに、平均流速を算出した。また、下流端で採取した水と土砂の体積から、平均土砂濃度を算出した。

### 3. 実験結果および考察

計測データに FFT を適用したスペクトル解析結果の例を図-2 に示す。CASE1\_1 では 44.824[Hz], 28.183[Hz], CASE3 では 0.029[Hz], CASE5 では 100[Hz]付近で卓越性が見られた。土砂濃度は、CASE1\_1 で  $C=0.33$ , CASE3 で  $C=0.03$ , CASE5 で  $C=0.12$  であり、勾配 15°を下回ると、一般的な土石流の土砂濃度  $C=0.3$  程度を大きく下回った。

既往研究<sup>2),3)</sup>では、橋本<sup>4)</sup>の提案する高速・高濃度の固液混相流を規定する無次元パラメータ  $N_h$  を用いて、計測振動の卓越周波数との関係が調べられている。本研究のデータを同様に整理した結果を図-3 に示す。図-3 より、無次元パラメータ  $N_h$  の値が同程度であっても、データのバラつきが大きいことがわかる。各ケースの卓越周波数を、河床材料を敷設せずに清水のみが流下する場合の卓越周波数と比較すると、一致するものが多かった。このため、図-3 の結果には、土砂濃度が小さい後続流の影響が含まれると考え、高濃度の流れの特徴を抽出するために、各ケースのランニングスペクトルを調べ、撮影した流れの状況と比較した。流れが加速度センサ位置を通過する前後の 1 秒間の振動データに基づく卓越周波数と粗度との関係を図-4 に示す。粗度有りでは Manning の粗度係数  $n = 0.003$  であり、粗度無しでは  $n = 0.007$  である。図-4 中の土石流と泥流は、 $N_h$  の値より区分した。その結果、土石流・泥流の卓越周波数帯は清水より小さい値となる傾向を得た。また、粗度有りの条件において土石流では 20[Hz]付近、泥流では 25[Hz]付近で卓越性が見られた。粗度無しの条件において、土石流では 20~50[Hz]付近、泥流では 45[Hz]付近で卓越性が見られた。

### 4. おわりに

複数の集合流動の水路振動特性について検討を行った。その結果、土砂混入状態と清水とでは、卓越周波数帯が異なることがわかった。また、卓越周波数帯は粗度の影響を受け、粗度が大きいと土石流と泥流の卓越周波数は近い値となることがわかった。

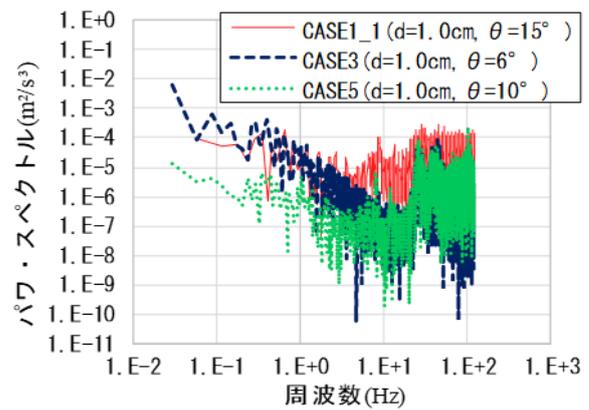


図-2 スペクトル解析結果の例

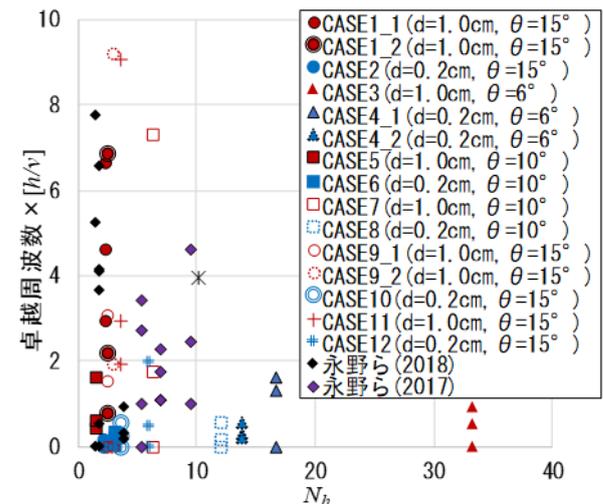


図-3 無次元パラメータと無次元化した卓越周波との関係

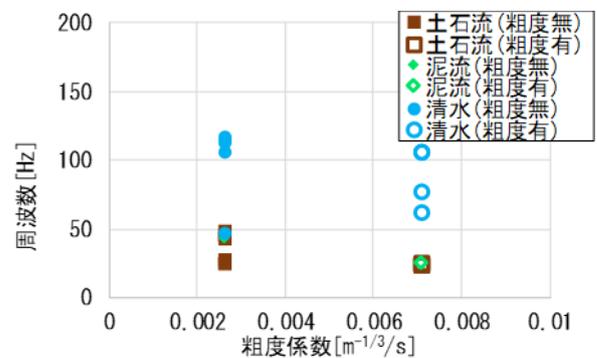


図-4 粗度係数と卓越周波数との関係

**謝辞**：本研究は、科学研究費(課題番号 16K18160, 代表：永野博之)のもとに実施した。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 山田ら, 砂防学会誌, Vol.50, No.5, pp.60-64, 1998.
- 2) 永野・須藤：平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.496-497, 2017.
- 3) 永野・高田：平成 30 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.409-410, 2018.
- 4) 橋本晴行：ながれ, 第 29 巻, No.3, pp.193-202, 2010.