

衝突音を利用した礫河川の掃流砂観測手法の開発

広島大学大学院工学研究科

広島大学大学院工学研究科

広島大学大学院工学研究科

学生会員

正会員

フェロー会員

○坪下健太郎

椿 涼太

河原能久

1. 背景と目的

河床変動を予測する上で、掃流砂量や粒径分布は重要な情報である。これまで様々な流砂観測機器が提案されていて、その一例として当時の建設省土木研究所河川研究室により開発された土研式掃流土砂採取器や、建設省北陸技術事務所サンプラー等による直接採取による方法などがある。しかし掃流砂を直接採取して流砂量や粒径分布を測ることは、流水の圧力や河床の形状の影響を大きく受けるため困難である。したがって、土砂移動観測手法として音響法(ハイドロフォン)は 桑村¹⁾らによって、超音波を用いた手法は横山²⁾らによって間接的な観測法が有効であることが指摘されている。本研究では通過する土砂が河床に設置した金属殻に当たった時に生じる衝突音を IC レコーダーで記録し、その記録音进行分析することで、粒径を推定し、そこから流砂量を求める掃流砂観測手法の開発を試みた。

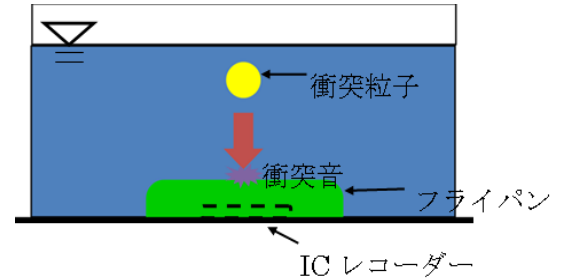


図 1 基礎実験図

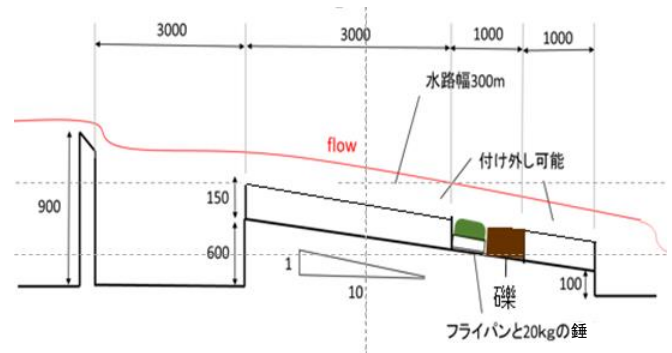


図 2 水路の側面図

2. 実験方法

本研究では、基礎実験として物体が衝突する際に発生する音圧や物体の衝突速度、粒径など様々な関係を調べるために行う静水中での自由落下による衝突実験（図 1）と実際の河川に近づけて行う流水を伴う開水路を用いた掃流礫の衝突実験の二つを行った。基礎実験における衝突速度は水槽の側面からカメラ（Casio 製 EX-ZR200）により 240FPS で録画し、粒子の衝突速度を算出した。IC レコーダーは防水ではないためジップロックへ入れた。また固定し、流失しないように鉛のケースに組み込んだ。記録される波形の振幅は音圧(Pa)に比例したものであるが Pa 値への変換は行っておらず、本論文では音圧を最大±1 のレンジを持つ次元なしの数字で表示する。

流水を伴う実験では 20kg の鉄製のオモリに防水化した IC レコーダーを設置し、装置一式を水路に設置した(図 2 に水路の側面図を、図 3 に計測装置の構成を示す)。

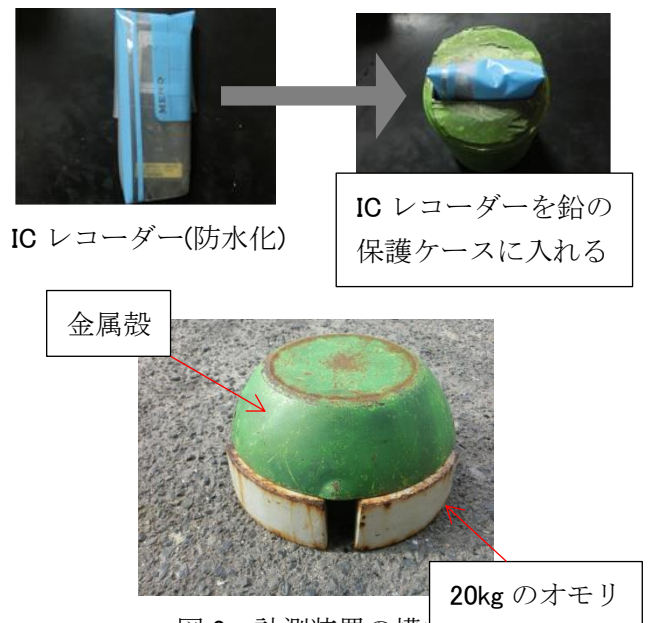


図 3 計測装置の構成

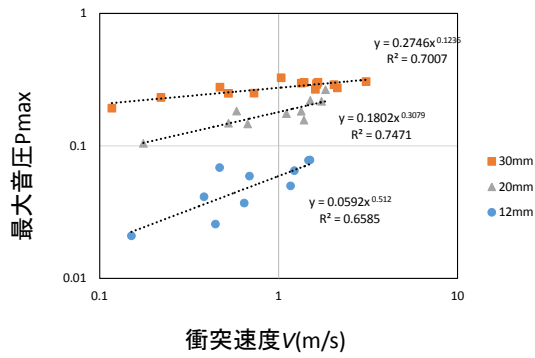
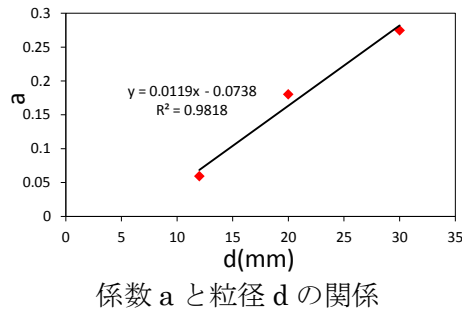
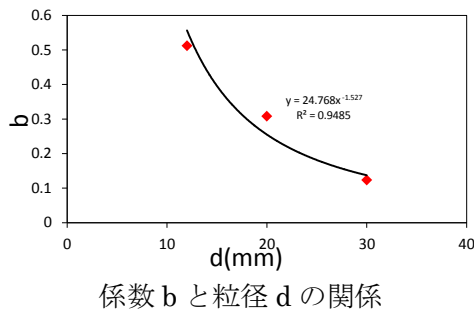


図 4 最大音圧 Pmax と衝突速度 V の関係



係数 a と粒径 d の関係



係数 b と粒径 d の関係

図 5 a, b, d の関係

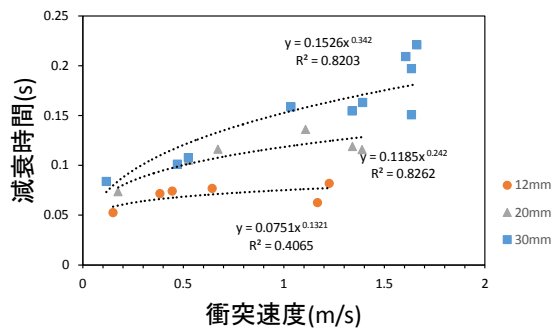
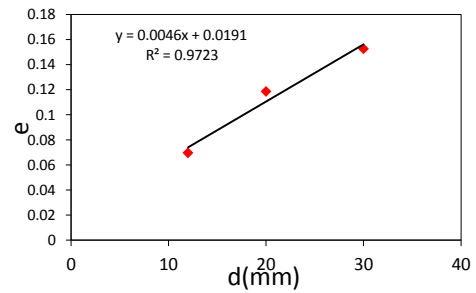
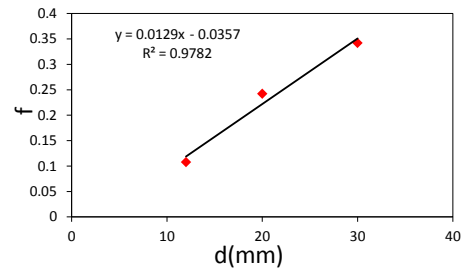


図 6 減衰時間 T と衝突速度 V の関係



係数 e と粒径 d の関係



係数 f と粒径 d の関係

図 7 e, f, d の関係

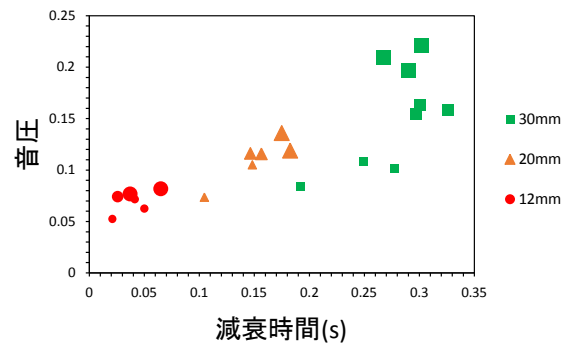


図 8 最大音圧 Pmax と減衰時間 T の関係

表 1 混合粒径結果

流砂量(cm ³)	推定値(cm ³)
100.4	92.77
200.2	196.79
401.4	383.32

3. 結果と考察

自由落下による衝突速度 v と、最大音圧の平均で定義された音圧 P_{max} の計測結果を図 4 に示す。最大音圧とはステレオで記録された右と左の波形の音圧最大値の平均のことである。どの粒径においても音圧は衝突速度に比例して増加することが分かる。

また、粒径ごとに、衝突速度と音圧の関係の近似式を算出し、

$$P_{max} = aV^b \quad (1)$$

とした(P_{max} は最大音圧, V は衝突速度)。粒径 d と近似式の係数 a , b の関係を求めた結果を図 5 に示す。横軸は粒径 d (mm), 縦軸は a あるいは b とす

る。

また衝突速度と減衰時間と粒径の関係を図 6 に示す。減衰時間は最大音圧から 1/10 の大きさになった地点までの時間とする。粒径ごとに、衝突速度と音圧の関係の近似式を算出し、

$$T=eV^f \quad (2)$$

とした(T は減衰時間、 V は衝突速度)。粒径 d と近似式の係数 e 、 f の関係を求めた結果を図 7 に示す。横軸は粒径 $d(\text{mm})$ 、縦軸は e あるいは f とする。図 5, 図 7 から a, b, e, f は粒径に一定の関係が見られる。よって、求めた関係と(1),(2)を組み合わせれば、衝突した物体の粒径が推定でき、そこから土砂量が推定できる。組合わせたものが式(3)となる。

$$P_{\max} = (0.0119d - 0.0738) \left(\frac{T}{0.005x + 0.02} \right)^{\left(\frac{24.768d^{-1.527}}{0.013x - 0.036} \right)} \quad (3)$$

式(3)は最大音圧 P 、粒径 d 、減衰時間 T の関係式となっている。実際に最大音圧 P と減衰時間 T の関係を粒系別にプロットしたものを図 8 に示す。プロットしたマーカーの大きさは衝突速度を示している。図 8 から粒径が増加すれば音圧も減衰時間も増加している傾向があり、(3)より粒径推定を行うことが可能であると考えた。

また礫床実験で 12 mm, 20 mm, 30 mm の粒径のガラスビーズを混合したもの 100 cm³, 200 cm³, 400 cm³ を流量 20 l/s の水理条件で流した。ガラスビーズの投入量と推定量を比較し、この計測方法の有効性があるかどうかを検証した。実験結果を表 1 に示す。実験結果から、推定した流砂量は投入したガラスビーズ量にかなり近い値を示していることが分かる。実験で求めた推定値が実際に流したガラスビーズ量よりも全て小さい値となっているのは、フライパンの横をすり抜けて、平面に当たらなかったことが考えられる。ただ、あらかじめ測った供給ガラスビーズ量に近い値が出たことを考えれば、本手法は有効であると考えられる。

4. おわりに

今回の掃流砂観測技術の開発により、水の流れでなく、土砂移動に関連したフラッシュ放流の効果を具体的に検証出来るようになった。しかし音波の伝播経路を考慮した金属殻の位置の検討や防水のために用いたジップロックの影響の検証が必要である。ま

た本研究で用いた IC レコーダーより高分解能な録音機器を使用することが望ましい。また実河川での計測のデータ分析を進め、放流や出水に伴う河川環境システムの変化分析を進める予定である。

参考文献

- 1) 桑村貴志, 宮藤秀之, 山崎久勝: 音圧を利用した掃流砂観測手法の開発, 水工学論文集, 第 46 巻, 2002 年 2 月
- 2) 横山勝英, 和田昌行, 藤塚慎太郎, 末次忠司, 川口広司: 超音波による河床波・転動粒子の追跡と掃流砂量の推定方法, 水工学論文集, 第 50 巻, 2006 年 2 月
- 3) 五十嵐照男, 後藤誠, 川崎哲: 衝突音に関する研究, 日本機械学会論文集 C, Vol.50, No.453, pp.840.