

接触時間を用いた流砂の粒径推定に関する実験的研究

日大生産工(院) ○松代 大輝 日大生産工 小田 晃

1. はじめに

砂礫の粒径の主な計測方法はふるい分け試験であるが、現場からの資料運搬や砂礫を乾燥させる等の作業を必要とするため時間と費用がかかる。そのため、現場においてより簡易的・経済的に粒径を推定する方法が望まれている。そこで、河川・砂防分野において流砂の粒径を計測するためハイドロフォンなどを利用した間接的な推定法に関する研究が行われている¹⁾。これらの間接的計測方法は効率的・経済的に砂礫の粒径を計測でき今後さらなる利用が考えられる。本研究は、砂礫と弾性体との衝突時に発生する弾性波から接触時間(礫が衝突した時の弾性波の第一波の半周期)を計測し、それを基に粒径を間接的に推定する手法を検討するものである。

ここでは、小田ら²⁾による研究成果から気中での粒径の間接的推定方法を流砂に適用した基礎実験を行ったので報告する。

2. 実験概要

実験には矩形断面直線水路(幅30cm、長さ13m、高さ40cm、水路勾配1/30)を使用した。この水路下流端に図-1に示すようにアクリル角材(500mm×30mm×30mm)を設置した。アクリル角材底面に弾性波を計測するための防水型加速度計を取り付けた。弾性波はサンプリング時間2.0μs(500kHz)として加速度計で計測した。粒径推定の第一段階として砂礫を単独で流した。今回の実験では流量 $Q=5122\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $9950\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $20040\text{cm}^3/\text{s}$ の3パターンで行った。使用した砂礫8個は全て自然の礫であり、その諸元一覧を表-1に示す。なお、流量 $5122\text{cm}^3/\text{s}$ のみ⑧の礫が下流に設置している実験装置まで流れなかったため計測を中止した。また、表中の形状係数(S.F.)は次式で表される。

$$\text{S.F.} = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (1)$$

ここに、a、b、cは互いに直交する三軸の長軸、中軸、短軸であり、自然摩耗を受けた礫のS.F.は約0.7とされている。

3. 実験結果

各礫の接触時間 T_c (μs) と粒径 d (mm) の関

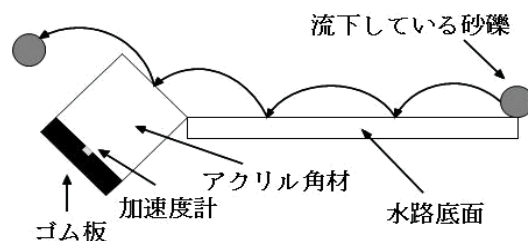


図-1 実験装置略図

表-1 礫の諸元

番号	長軸 (mm)	中軸 (mm)	短軸 (mm)	S.F.
①	12.6	11.0	9.5	0.81
②	20.0	15.8	15.4	0.87
③	26.2	22.3	19.6	0.81
④	29.7	26.4	21.4	0.76
⑤	29.3	28.3	23.3	0.81
⑥	32.7	31.6	27.2	0.85
⑦	47.1	36.8	31.9	0.77
⑧	56.8	54.3	44.3	0.80

係を図-2～4に、実験式を式(2)～(4)に示す。なお接触時間は弾性波の第1波の半周期と定義した。実験は各礫につき10回ずつ行った。直径 d は各礫の中軸の値を用いた。

$$T_c = 19010d^{-0.691} \quad (2)$$

$$T_c = 18504d^{-0.835} \quad (3)$$

$$T_c = 27849d^{-0.673} \quad (4)$$

図-2～4に示されるように、同じ大きさの礫でも接触時間 T_c の数値に差がみられる。この原因は、礫の流下速度の違いによるものと思われる。同じ礫でも形状によって流下する際の経路が不規則に変化して流下速度に差が生じ、アクリル角材衝突時の速度が異なるためである。Carinoら³⁾による弾性体の衝突理論から導かれた鋼球の半径(r)とコンクリート板との接触時間(T_c)の関係を式(5)に示す。

$$T_c = 0.00858 \frac{r}{h^{0.1}} \quad (5)$$

Estimation of Grain Diameter of Bed Load Using Contact Time

Hiroki MATSUSHIRO and Akira ODA

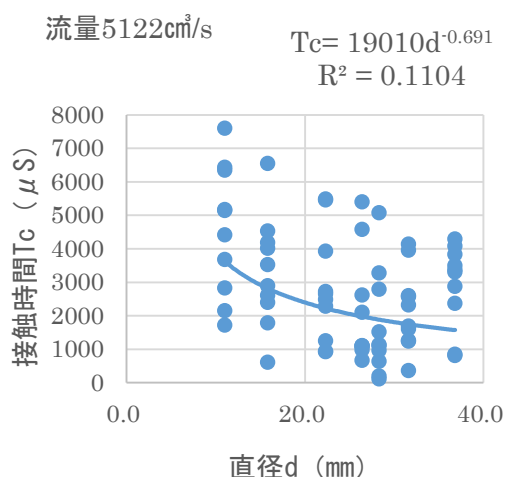


図-2 接触時間 T_c と直径 d の関係①

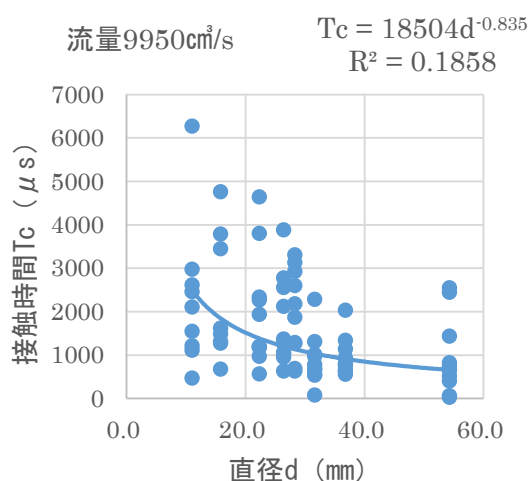


図-3 接触時間 T_c と直径 d の関係②

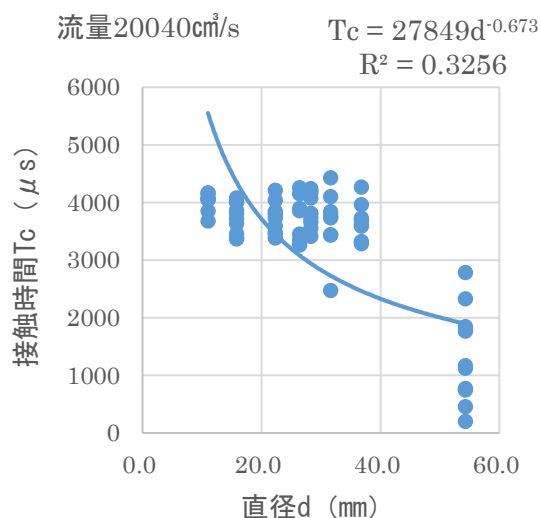


図-4 接触時間 T_c と直径 d の関係③

ここに、 h は鋼球の落下高さである。今回の実験で式(5)の落下高さ h に該当する要素は礫の流下速度である。礫がアクリル角材に衝突する際の速度が接触時間 T_c と直径 d に関係しており、今回の実験結果のばらつきの原因の一つが礫の衝突速度であると考えられる。

4. 考察

実験結果をみると接触時間の数値に大きくばらつきが見られる。既往の気中実験による小田ら⁴⁾の実験データと比較してみて、このばらつきは礫の衝突速度によるものだけではないと考えられる。この原因を探るために、流水のみを流した状態で接触時間 T_c を測定したところ、接触時間 T_c の数値が計測されている場合があった。実験ビデオを観察して原因を模索した結果、水深が低い場合アクリル板に流水が衝突し、気泡が生じて破裂する際の衝撃を計測してしまったためではないかと考えられる。

5. おわりに

今回行った方法では気泡が生じて破裂する際の衝撃を測定してしまうと考えられるため実験条件を改善する必要がある。水深を上げることでアクリル角材周辺には気泡が生じなくなる。そこで今後は水深を上げて実験ができる実験水路を改造し、接触時間の数値のばらつきの原因が、気泡が破裂した衝撃によるものなのかどうか検討する。そして最終的には流水中の T_c と d の関係を求めていきたい。

6. 参考文献

- 1) 鈴木拓郎ら：流砂観測データベースシステムの構築とハイドロフォンの観測事例について、平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.336-337, 2011.
- 2) 小田晃ら：礫の接触時間を用いた粒径推定に関する実験的研究, 水工学論文集, Vol, 55, (2011) pp.1165-1170
- 3) N.J.Carino et al., A Point Source-Point Receive, Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete, ACI Journal/March-April 1986, (1986) p.199-208.
- 4) 小田晃ら：接触時間を利用した流砂の粒径推定に関する実験的研究, 砂防学会研究発表会概要集 B, (2013) pp.52-53