

接触時間を利用した流砂の粒度分布計測法の開発

日本大学生産工学部土木工学科 ○小田 晃・松代大樹

1. はじめに

現地での流砂計測を効率よく経済的に実施するため流砂量や流砂の粒度分布を間接的に計測する方法が検討されている¹⁾。著者らは間接的な流砂計測法として、流砂と弾性体との衝突時に発生する弾性波から計測される接触時間を用いた方法を検討しており、実験から流砂の粒径と接触時間の相関が示されている²⁾。しかし、礫が弾性体に衝突する時の状態の違いが粒径推定の正確さに大きく影響することも指摘している³⁾。この原因として、水深(h)と粒径(d)の比(h/d)が 1.0 より小さい範囲であることによる礫の移動経路の変化が考えられた。本報告では、通常の河川で見られる水深粒径比が 1.0 より大きい範囲の流砂を主に対象とした実験から、接触時間を利用した粒度分布の間接的な計測結果について報告する。

2. 実験条件

実験は幅 20cm、水路勾配 1/30 の矩形断面水路を使用した。この水路下流端に、防水型加速度計を取り付けたアクリル角柱(500mm×30mm×30mm)を設置した。実験は単独礫と集団の礫を対象とした 2 種類を実施した。両実験とも使用した砂礫は自然の礫(比重 2.65)である。単独礫の実験は表 1 に示す 9 個の礫を使用した。集団礫の実験はふるい分けで使用したふるい目に従って粒径範囲の礫を 10 個ずつ、合計 50 個の自然礫で構成された平均粒径 $d_m=16.4\text{mm}$ の混合砂礫を使用した(表 2)。なお、礫の長軸長、中軸長、短軸長を a , b , c として形状係数 $S.F.$ は式(1)により計算した。

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

両方の実験とも流量は 10L/s であり、実測した平均水深は 35.1mm である。砂礫はアクリル角柱設置断面から 3.6m 上流より投入した。弾性波はサンプリング時間 2.0 μs (500kHz)で計測した。

3. 単独礫の流下実験結果

単独で流下させた砂礫の接触時間 T_c と中軸長 d の関係を図 1 に、実験式を式(2)に示す。また、この実験では流砂の形状が球である場合を想定して直径 12.4mm, 16.6mm, 24.6mm の 3 種類のガラス球(比重 2.50)も使用した。

$$T_c = 5.32d^{1.14} \quad (2)$$

図 1 で示されるように同じ礫であっても接触時間に幅があり、ややばらついている。特に、No.9 の礫の接触時間は約 2 倍の差が生じている。No.9 の礫では粒径水深比が 1.0 よりも大きい範囲であり、接触時間の差は既往の報告における礫の移動経路の変化によるものと考えられる。なお、No.1 の礫は完全に水没した状態であり、礫は弾性体にほぼ直角に衝突しているものの、衝突時の振幅が流水のみで発生する振動による波形の振幅以下であったため接触時間を計測することができなかった。ガラス球の直径と接触時間の関係は礫とほぼ同様の傾向となった。

4. 集団の礫の流下実験結果

集団の礫の実験は表 2 の粒径範囲の礫をそれぞれ 50 個流した場合(均一粒径実験)と、それぞれの粒径範囲の礫を 10 個ずつ、合計 50 個の礫を流した場合(混合粒径実験)の 2 種類を実施し

表 1 単独礫の実験に使用した礫

No.	中軸長 (mm)	形状係数 S.F.
1	11.0	0.81
2	15.8	0.87
3	19.8	0.93
4	22.3	0.81
5	26.4	0.76
6	28.3	0.81
7	31.6	0.85
8	32.4	0.79
9	36.8	0.77

表 2 集団礫の実験に使用した礫

No.	粒径範囲(mm)
1	～4.75
2	4.75～9.5
3	9.5～16.0
4	16.0～19.0
5	19.0～26.5

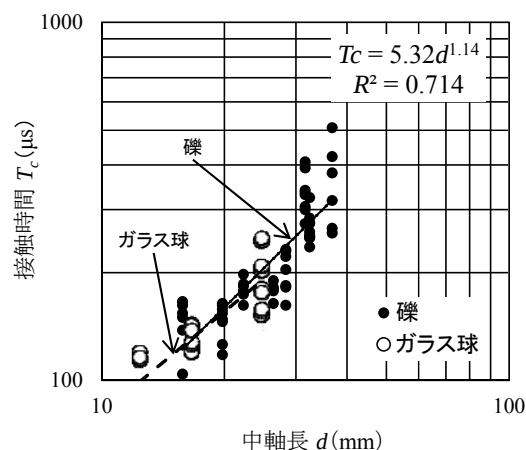


図 1 礫の中軸長、ガラス球の直径と接触時間の関係

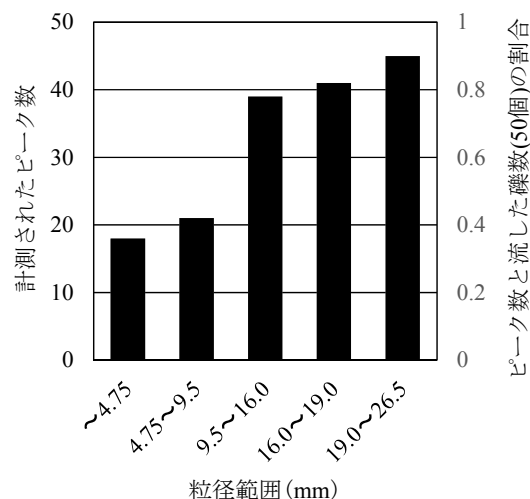


図 2 均一粒径実験で計測されたピーク数

た。なお、両実験は同一条件で3回実施した。

4.1 均一粒径実験

波形をもとに礫衝突時と考えられるピークを数えた結果を図2に示す。粒径が大きくなるほど流した礫数(50個)にピーク数が近づいている。9.5mm以上の礫では流した礫の約80%以上が衝突時のピークとして確認できた。しかし、9.5mm未満ではその割合が約20%以下と極端に減少する。50個の礫がアクリル角柱に衝突している時間(衝突継続時間)を計測すると、9.5mm以上の礫では1.16~1.20secであるのに対し、9.5mm未満では0.67~0.86secと短くなっていた。このことから今回の条件下では礫径が9.5mm未満の礫の集団は9.5mm以上の礫の集団よりも散らばらずに塊で流下する傾向にある。ピーク数が流した礫数よりも少なくなる原因として、礫の集団が塊でアクリル角柱に衝突するため、アクリル角柱に衝突した塊の先頭付近の礫が後続の礫のアクリル角柱への衝突を妨げているのではないかと考えられる。

4.2 混合粒径実験

混合粒径実験で得られた波形データの一例を図3に示す。この例では、礫が弾性体に衝突したと考えられる回数は6回と判別できる。これらの衝突時のピーク波形から接触時間を計測し、その値を式(2)に代入して礫径を計算した。図4は計算結果の礫径を粒径範囲に分け、各々の粒径範囲における礫数を示したものである。各粒径範囲で10個ずつの礫を流している。粒径範囲が19.0~26.5mmの範囲では、3回の実験とも流下した礫数の10個とほぼ同じ数がカウントされている。

しかし、19.0mm以下の範囲では3回の実験とも礫数は10個以下となっている。3回の混合粒径実験における衝突継続時間を計測したところ0.99~1.15secであった。この結果は均一粒径実験における9.5mm未満の礫の場合よりも長く、9.5mm以上の礫の場合よりも短い。このことを踏まえると、均一粒径実験の場合と同様に礫の集団が塊でアクリル角柱に衝突する状況が発生しており、そのため計測した礫数が流下させた礫数よりも少なくなっているものと考えられる。

4.2 礫の粒度分布

計測された礫の接触時間から計算した礫径をもとに、礫の形状を球と仮定して重量を計算した。なお、礫の単位体積重量は 2.65g/cm^3 である。使用した礫のふるい分け試験結果との比較を図5に示す。第1回から第3回の実験による平均粒径は、21.0mm, 18.9mm, 19.2mmであり、使用した礫の平均粒径16.4mmより大きい結果となった。19mmを境としてそれ以上の大きさ礫数が実際に流した数より多く、それよりも小さい礫数が少なく計測されたことが原因と考えられる。

5. おわりに

今回の実験の結果得られた粒度分布はふるい分け試験の結果よりも大きめの粒度分布となった。原因としては、計測結果の礫数のうち19mm未満の礫数が流下させた礫数よりも少ないことにある。礫が塊で流下するため礫同士が衝突し、個々の礫がアクリル角柱に衝突していないためであると考えられる。特に、今回の条件下では19mm以下の礫において、そのような状況が顕著に表れた。礫数の計測は粒度分布計測の正確さに関係する。多数の礫が塊で流下したときの礫数の正確な計測の向上を図ることが今後の課題である。

参考文献

- 1)後藤ら：一様砂を用いた音響法による流砂の粒径推定のための水路実験，平成24年度砂防学会研究発表会概要集,p5866-587, 2012
- 2)小田晃ら：接触時間を用いた掃流砂の粒度分布の推定について，平成24年度砂防学会研究発表会概要集,pp.520-521, 2012
- 3)小田晃ら：流砂の接触時間を用いた粒径推定に関する実験的研究，砂防学会誌，Vol.67, No.5, p.44-48, 2015

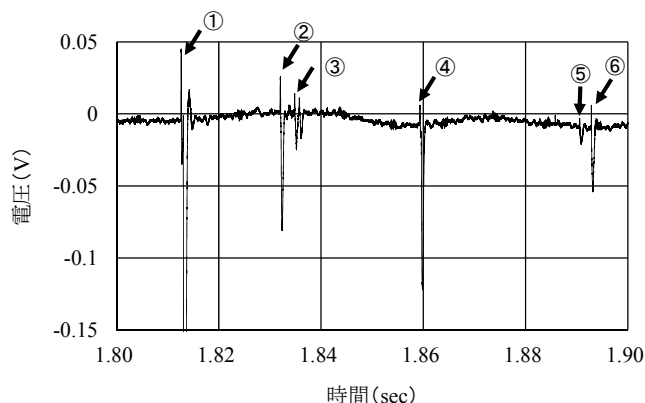


図3 衝突時の波形データ抜粋(第1回目・集団礫の実験)

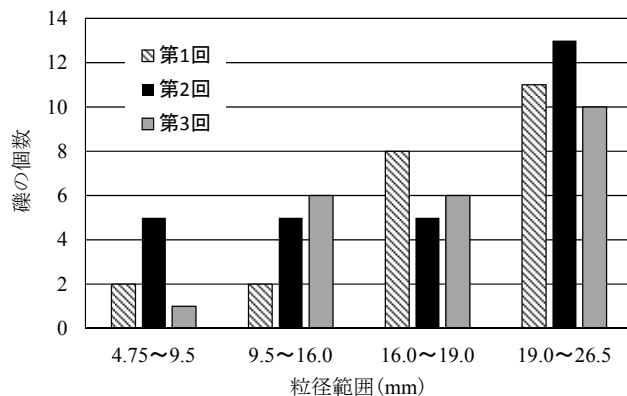


図4 波形データから得られた礫の個数

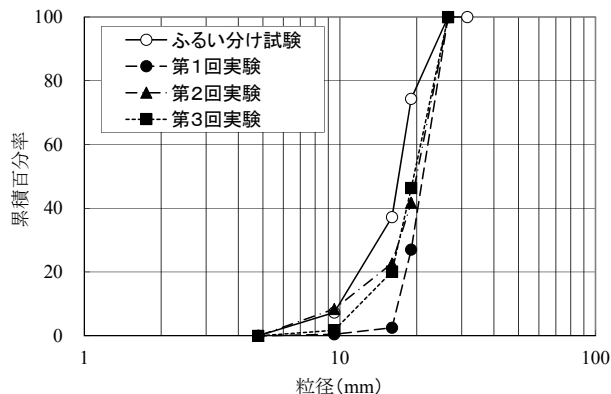


図5 使用した礫と計測結果の粒度分布の比較