

礫と POM 板との接触時間を用いた粒度分布の推定について

日本大学生産工学部土木工学科 ○小田 晃・落合 実・遠藤茂勝
日本大学大学院生産工学研究科 平野雄也・渡邊真矩

1.はじめに

河床砂礫の粒度分布を間接的に知る方法として、著者らは砂礫と弾性体との衝突時に発生する弾性波(接触時間)を用いた推定法を検討している¹⁾。現在までに、この方法により接触時間と粒径の関係、ならびに礫を集団で落下させた時の礫の個数の評価などを実施してきた。その結果、単独の石球などの流下実験から接触時間による粒径推定が可能であることが示された。また、複数の礫の流下実験から、流下礫の個数評価も、弾性体の材質を金属板から硬質プラスチック板(POM板)に変えるなどの工夫により精度の向上が示された²⁾。そこで、次の段階として実際の現場での使用を踏まえ、粒径と形状が広範囲に及ぶ自然礫をPOM板に衝突させ、本手法で推定された粒度分布とふるい分け試験による粒度分布との比較を行ったので報告する。

2.実験概要

礫は直径 10cm の塩ビ管を長さ方向に半分に切断して作製した U 字型の斜路を流下させた。礫の流下距離は 20cm、斜路角度は 30 度である。斜路下流端には加速度計(TEAC 社製 ACCELEROMETER 611)を取り付けた POM 板(長さ 300mm×幅 100mm×厚さ 25mm)を厚さ 2.0cm のフェルト製の防振材に万力で圧着して図 1 に示すように鉛直に設置した。弾性波はサンプリング時間 2.5μs(400kHz)として加速度計で計測した。その際、すべての礫を流下させると流下継続時間がデータロガーの計測時間よりも長くなるため、全体を約 8 等分して流下させた。使用した礫の粒度分布図を図 2 に示す。平均粒径は $d_m=23.6\text{mm}$ であり、流下させた礫の合計の質量は 4.56kg、礫の合計個数は計測の結果 2,314 個であった。また、これらの礫の最大径から上位 10 個の諸元一覧を表 1 に示す。なお、表中の形状係数(S.F.)は次式で表される³⁾。

$$S.F. = \frac{c}{\sqrt{ab}} \tag{1}$$

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⁾。

3.流下させた礫の実験結果

各礫の弾性波から得られた接触時間 T_c を用いて粒径 d を計算する実験式を次に表す。これらの式はガラス球と自然の礫 50 個から得られた実験式(mm-μs 単位)である²⁾。

$$T_c = 4.0936 d^{1.2994} \tag{一周期} \tag{2}$$

$$T_c = 2.2005 d^{1.3135} \tag{半周期} \tag{3}$$

図 3 に式(2)、(3)を用いて得られた粒径を基にした粒度分布図を示す。ここでは実験式で得られた粒径を直径とした球として礫の重量を計算している。比重は 2.65 とした。従って、礫の形状については考慮していない。この結果、ふ

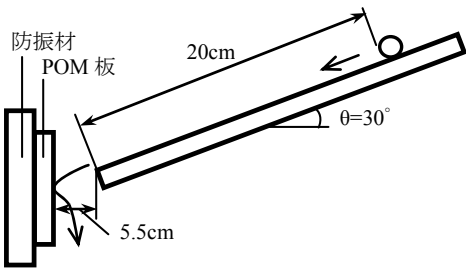


図 1 実験装置略図

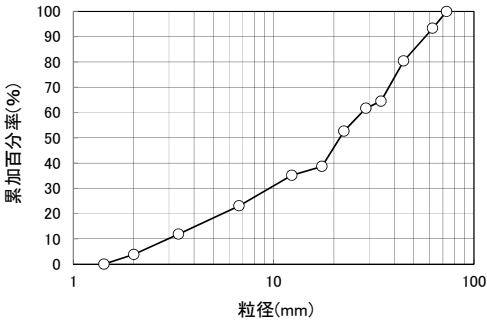


図 2 礫の粒度分布図

表 3 礫の諸元

長軸: a(mm)	中軸: b(mm)	短軸: c(mm)	S.F.
97.7	72.6	46.5	0.552
59.3	49.6	26.5	0.489
66.1	46.1	23.5	0.426
55.6	37.5	23.3	0.510
48.7	38.6	21.5	0.496
37.8	29.5	17	0.509
31.9	28.5	21.4	0.710
31.2	24.6	19.9	0.718
24.8	16.5	15.5	0.766
26.6	16.8	12.8	0.606

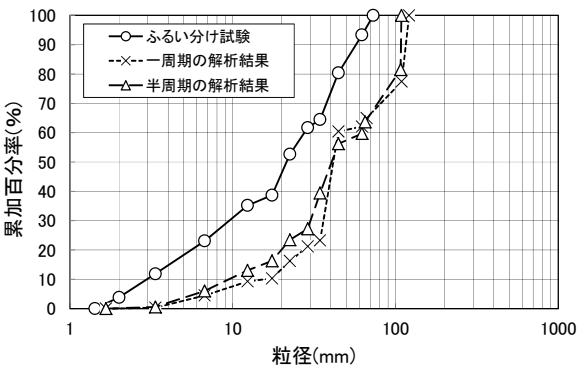


図 3 接触時間による推定粒度分布図

るい分け試験の結果とは全体的に大きく差が生じている。平均粒径で比較すると、接触時間を一周期とした結果は $d_m=65.0\text{mm}$ ，半周期とした結果は $d_m=60.2\text{mm}$ であり，ふるい分け試験での $d_m=29.9\text{mm}$ より 2.0～2.3 倍大きくなった。この原因として礫の形状を考慮していないことが考えられる。

4. 礫の形状を考慮した粒度分布の推定

前節の結果を踏まえ，式(1)で表される形状係数 S.F.を考慮した粒度分布の推定を実施した。図 4 に，表 3 で示される礫径の計測値である長軸，中軸，短軸と，半周期の接触時間による式(3)から求めた礫径の関係を示す。この図から式(3)で求めた値は長軸との相関が良いことが示された。そこで，式(3)からの礫径を長軸 a とし，礫の体積を計算する。表 3 で示した礫の各軸の値から，相関の良い長軸と中軸の関係を図 5 と式(4)に示す。

$$b = 0.749 a \quad (4)$$

礫の形状は形状係数で表される長円形状と仮定する。また，今回使用した礫の形状係数を表 3 で示した形状係数の平均値 0.578 とする。式(1)，(4)から形状係数 0.578 の長円形状の体積は次式で求められる。

$$V = 0.0624 \pi \cdot a^3 \quad (5)$$

ここで，ふるい分け試験でふるいを通過する礫は，ふるい目の面に対して礫の長軸が直角になるように通過するとし，ふるいの対角線方向と中軸方向が一致すると仮定する(図 6)。この場合，ふるいの一辺の長さ(礫径: d)は近似的に $d = b/\sqrt{2}$ と表される。接触時間から得られた長軸: a の値を用いて，式(4)，式(5)とふるいを通過する礫の仮定を用いて粒度分布図を作成した(図 7)。その結果，形状を考慮した場合，平均粒径は $d_m=32.0\text{mm}$ となり，ふるい分け試験による平均粒径の $d_m=29.9\text{mm}$ に近づいた。対象とした礫の最大径から上位 10 個の形状を考慮したことで，接触時間から推定される粒度分布はふるい分け試験の結果に近づくことが示された。

5. おわりに

今回実施した方法での粒度分布は，ふるい分け試験の結果と比較して全体的にやや大きめの結果が得られた。特に，10mm 前後の粒径において差が大きい。この原因のひとつとして，10mm 前後の礫

の形状が礫の最大径から上位 10 個の形状とは異なっていることが考えられる。今後は粒径推定精度の向上と，流水中でも同様の方法が適用できるかについての検討を行う予定である。最後に，本研究は文部科学省科学研究費補助金、挑戦的萌芽研究(研究代表者小田晃、No.21656123)の助成を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

1)小田晃，落合実，遠藤茂勝，平野雄也，渡邊真矩：弾性波を用いた河床材料の粒度分布推定法に関する実験的研究，平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集,pp.34-35, 2010. 2)小田晃，落合実，遠藤茂勝，平野雄也，渡邊真矩：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，第 55 巻，2011 年 2 月 3)河村三郎著:土砂水理学 I [POD 版]，森北出版，p.4, 2005.

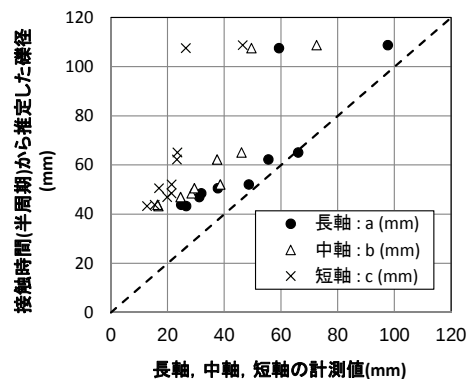


図 4 礫径の比較

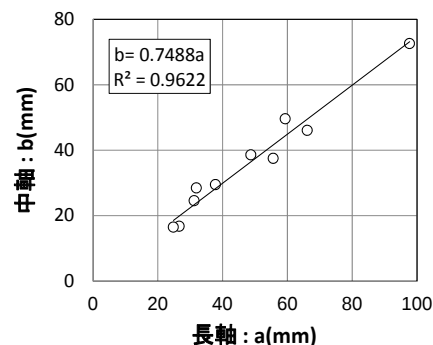


図 5 使用した礫の長軸と中軸の関係

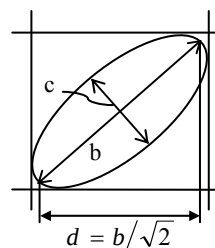


図 6 ふるいを通過する礫の状況

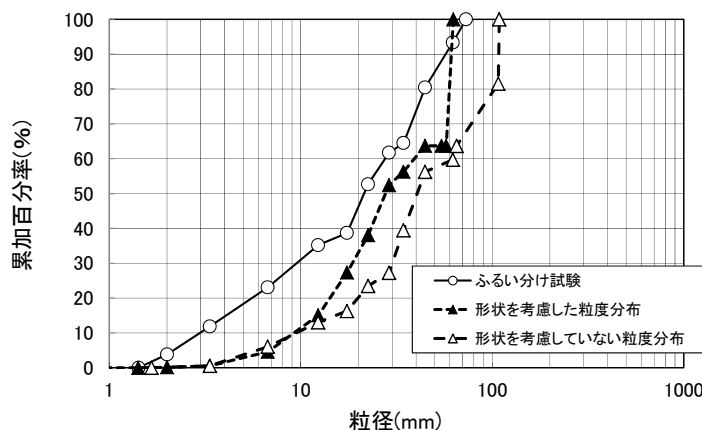


図 7 粒度分布の比較図