

接触時間を用いた掃流砂の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
横浜市 野澤一海 (株) 道路建設コンサルタント 赤堀成巳

1. はじめに

砂礫の粒度分布を間接的に推定する方法として、著者らは砂礫と弾性体との衝突時に発生する弾性波から得られる接触時間(礫が衝突した時の弾性波の第一波の半周期)を用いた推定法を検討している¹⁾。現在まで、この方法に砂礫の形状を考慮することで、推定された粒度分布がふるい分け試験の結果と概ね一致することが示された²⁾。形状考慮の方法、解析の自動化などの課題は残るものの、気中での砂礫の粒度分布推定法としてはほぼ最終段階であると考えられる。そこで、次の段階として、先に述べた気中での砂礫の粒度分布推定法を用いて実際に流れている砂礫の粒度分布の推定を試みた。現在、間接的に流砂量の粒度分布を推定する方法としては、ハイドロフォンにより採取された音圧データを用いた研究がある³⁾。しかしながら、粒度分布推定の可能性は示唆されてはいるものの検討課題が山積している。本研究では、砂礫と硬質プラスチック板(以下 POM 板)との衝突時の接触時間を利用し、水路実験を実施して掃流砂の粒度分布の推定を試みた。

2. 実験概要

実験には幅 30cm、水路勾配 1/30 の矩形断面水路を使用した。この水路内に、POM 板(長さ 100mm×幅 150mm×厚さ 25mm)に砂礫を確実に衝突させるための収縮部を設置した。収縮部上流端の幅は 18cm、下流端の幅は 6cm、収縮部の長さは 110cm である。収縮部下流端から POM 板までの高さは 5.5cm とした。POM 板は水路底面に平行に設置した。POM 板の裏側には弾性波を計測するための防水型加速度計(TEAC 社製 ACCELEROMETER 611W)を取り付け、ゴム製の防振材を POM 板の裏側に万力で圧着させ水路に固定した(写真 1, 図 1 参照)。弾性波はサンプリング時間 2.5 μ s(400kHz)で計測した。使用した礫のふるい分け試験による粒度分布図を図 2 に示す。平均粒径は $d_m=27.6$ mm であり、砂礫の合計個数は 100 個とした。流量は実験砂が確実に移動するように予備実験から 2,800cm³/s とした。

3. 流水中の礫(個別)と接触時間の関係

個別の砂礫の接触時間と粒径の関係を用いて集団で流下する砂礫の粒度分布を推定する。そのため、100 個の粒径を流下させる流下実験に先立ち、その実験と同一条件(流量 2,800cm³/s など)で個別に砂礫(28.1~58.0mm)、ガラス球(7.0~24.3mm)、石球(10.0~50.0mm))を流し、接触時間と粒径の関係を求めた。

この結果、個別の砂礫の接触時間 T_c と粒径 d の関係は図 3 で示され、関係式として式(1)を得た。ここで、既往の研究より気中実験での T_c と d の関係は式(2)で表わされている²⁾。係数と指数の違いについては水中と気中の条件の違いの他に POM 板の寸法が異なる(気中実験では長さ 300mm×幅 100mm×厚さ 25mm)点などが考えられる。

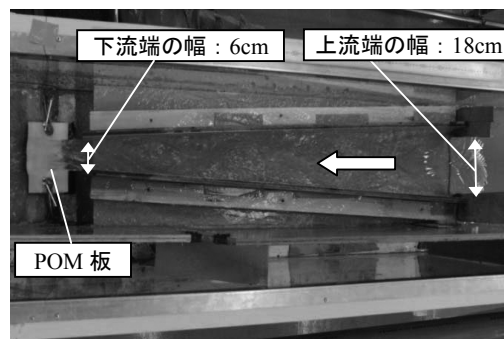


写真 1 水路収縮部

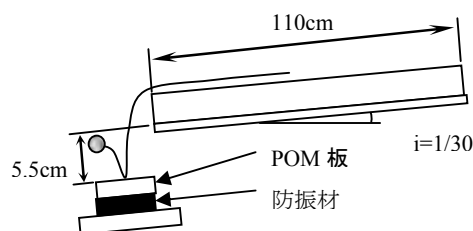


図 1 水路収縮部略図

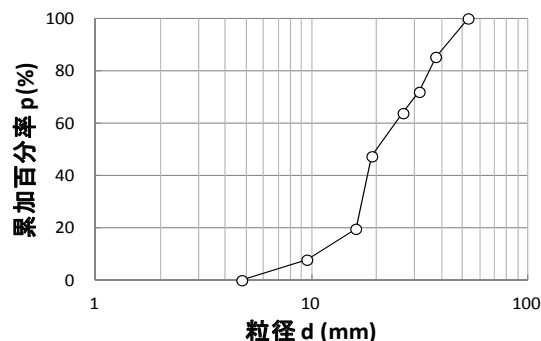


図 2 実験に使用した礫の粒度分布図

$$T_c = 6.44d^{1.03} \quad (\text{mm-}\mu\text{s 単位}) \quad (1)$$

$$T_c = 2.20d^{1.31} \quad (\text{mm-}\mu\text{s 単位}) \quad (2)$$

ただし、式(1)の適用範囲は 7.0～58.0mm である。なお、今回の実験では流量は 1 種類である。実際の河川に適用するためにはハイドログラフを考慮した T_c と d の関係式を求めておくことが必要であると考えられる。

4. 掃流砂礫を用いた粒度分布の推定

4.1 掃流砂礫の個数の比較

流量 $2,800\text{cm}^3/\text{s}$ の流れ中に図 2 の粒度分布の砂礫 100 個を流下させた。ただし、今回はサンプリング時間($2.5\mu\text{s}$)とデータロガーのサンプリング数(500,000 個)の制約から、1.25 秒以内にすべて流れきる砂礫量として 10 個ずつ 10 回に分けて実験を行った。実験は繰り返し 5 回実施した。粒径は、採取した弾性波の各ピーク時の接触時間を式(1)に代入して求めた値を粒径とした。

接触時間からの粒径推定結果を基にカウントした個数とふるい分け試験時の実測値との比較を図 4 に示す。粒径推定結果を基にした砂礫の合計個数の平均は 156 個であり、実際に用いた個数(100 個)より 56 個多い。この傾向は、以前実施した気中実験²⁾の結果と同じである。砂礫の POM 板への衝突状況を観察すると、気中実験の場合と同様に、流下した砂礫が複数回 POM 板に衝突している様子が観察された。そのため実際に流した砂礫数よりも多い砂礫数となってしまったと考えられる。また、実際には流していない粒径範囲 4.75～9.49mm において、接触時間からの粒径推定法では平均で 6.5 個の砂礫がカウントされた。今後は、小粒径(9.49mm 以下)の範囲における接触時間と粒径の関係を検討して式(1)を修正する必要がある。

4.2 掃流砂礫の粒度分布の比較

先に求めた各砂礫の粒径を直径とし、球と仮定して重量を計算した。比重は 2.65 とした。この結果、ふるい分け試験の結果とほぼ一致した(図 5)。平均粒径も、接触時間から推定した結果は $d_m=28.8\text{mm}$ でありふるい分け試験の $d_m=27.6\text{mm}$ とほぼ一致した。

5. おわりに

今回実施した方法で推定した粒度分布はふるい分け試験の結果とほぼ一致した。今後は、正確な砂礫個数の推定を実現させる。また、多くの砂礫が流下した場合の粒径推定を行い流水中における粒度分布と流砂量の同時計測を試みる予定である。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)小田晃ら：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，第 55 巻，2011 年 2 月. 3)神野ら：ハイドロフォンによる粒径別流砂量算出法に関する一考察，平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集,pp.242-243, 2010.

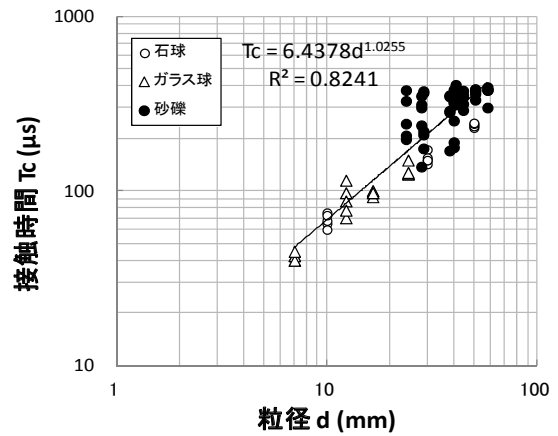


図 3 粒径と接触時間の関係

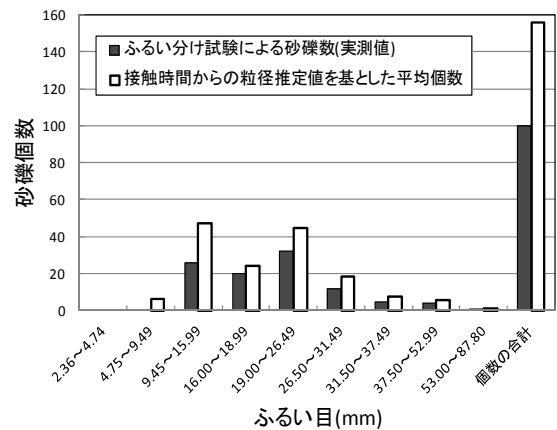


図 4 砂礫数の比較

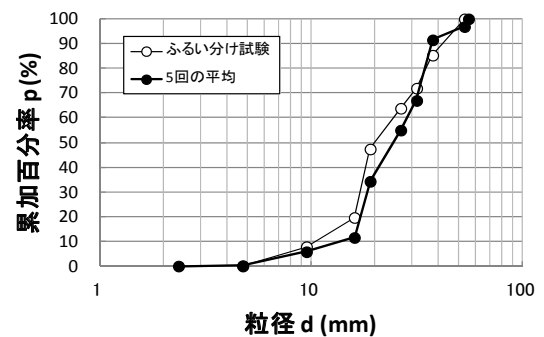


図 5 粒度分布の比較