

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：32665

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656123

研究課題名（和文）接触時間を利用した礫の粒径推定に関する研究

研究課題名（英文）STUDY ON EVALUATION OF GRAVEL DIAMETER USING CONTACT TIME WHEN GRAVEL COLLIDES WITH ELASTIC PLATE

研究代表者

小田 晃 (ODA AKIRA)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：70270519

研究成果の概要（和文）：本研究は砂礫と弾性体が衝突する時の接触時間を利用する方法を用いた間接的粒度分布推定手法を提案した。礫と弾性体（硬質プラスチック板）との衝突時に発生する弾性波計測結果から得られる接触時間と粒径との良い相関が示された。さらに礫が集団で衝突する場合の礫の個数計数も良好な結果となった。個々の礫の接触時間から得られた粒度分布とふるい分け試験の結果はほぼ一致し、本方法の現地での適用が可能であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We examined the relationship the contact time and gravel diameters by using an impact experiment between natural gravel, and a hard plastic board. The experimental results showed that the gravel diameter was relative to the contact time. In addition, the count of the number of pieces of gravel was accurate. We estimated the gravel size distribution of natural gavel by the contact time was measured and converted to the gravel diameter. The resulting gravel size distribution of the gravel showed in the experiments matched the sieve test. Application of this method in the field is possible.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	0	800,000
2010年度	300,000	0	300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	300,000	2,400,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：接触時間・粒径・弾性波・粒度分布・衝突実験・衝突理論

1. 研究開始当初の背景

(1)河川・砂防の分野では、流砂の粒径を間接的に推定する研究が行われ始めている。例えば、流砂量計測方法の一つであるハイドロフォン(砂礫が金属管に衝突するときの回数から流砂量を推定する方法)¹⁾を利用して、センサーの感度変化から粒径を推定する試みが本研究の代表者である小田らにより行われている。その結果、間接的な方法による流砂

の粒径推定の可能性は示唆されたが適用範囲が狭過ぎる等の課題がある。本研究は、この砂礫と金属管との衝突にヒントを得て間接的粒径推定方法として砂礫の接触時間を利用する方法を提案した。

(2)粒子の粒径の計測方法は粉体工学の分野において研究されてきた。現在、レーザー回折・散乱法、遠心沈降法等が開発され、専用

の計測機器も実用化されている。しかし、これらの計測方法は対象とする粒子が μm 単位以下の非常に細かい粒子を対象としたものである。一方、河川・砂防の分野で対象とする砂礫は、 mm 単位以上の粒子がほとんどである。これらを対象とした粒径の計測方法は、金網で作られた「ふるい」による「ふるい分け試験」が主である。しかし、この方法では、粒径を得るために時間と費用がかかる。そのため、より簡易的に粒径を推定する方法が模索されている。

2. 研究の目的

本研究は、砂礫が金属板に落下した時の、礫と金属板の接触時間(二つの物体が接触してから離れるまでの時間)を計測して砂礫の粒径を間接的に推定するものである。

3. 研究の方法

(1) 単独砂礫の落下実験

砂礫は鋼球とは密度と形状が異なる。そこで、弾性体の衝突理論から導かれた鋼球の半径(r)と弾性体との間の接触時間(T_c)の関係式である $T_c \propto r$ をもとに誘導される $T_c \propto m^{1/3}$ の関係が砂礫に対しても成立するかを確認する。実験は単独砂礫の落下実験を実施する。

① 実験方法

実験方法は、単独の礫をゴムシートの上に水平に設置した金属板に自然落下させる(図1)。その時の振動(弾性波)を、弾性体に設置した加速度計で測定する。

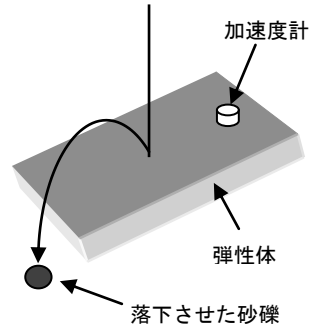


図1 砂礫の落下実験の概念図

金属板として硬質プラスチック板(長さ 300mm × 幅 100mm × 厚さ 25mm)を使用し、これに加速度計を取り付ける。

(2) 砂礫数の推定実験

砂礫を複数個落下させ、衝突時の弾性波の波形から砂礫数の推定を行う。砂礫群をほぼ同時に金属板に落下させる。

砂礫数のカウントは弾性波の波形によるゼロクロス法である。推定された砂礫数と、粒径をもとに計算される単独の砂礫重量を乗じることで、落下させた混合砂礫群の総重量と実測値を比較する。

(3) 粒度分布の推定実験

礫の接触時間と礫の揭示用を考慮した係数(形状係数)を用いて落下礫の個数と粒径

を推定する。その結果から仮想のふるい目を想定し、それらのふるい目に留まる粒径範囲の礫の重量を、揭示用係数を考慮して計算する。その結果から得られる粒度分布とふるい分け試験から得られた粒度分布を比較し、本手法の妥当性を検討する。

4. 研究成果

河床における様々な種類の球形に近い礫に対して接触時間を用いた粒径推定法が有効であることが示唆された。以下に主な結果をまとめる。

(1) 礫などの直径 d と接触時間 T_c の関係

図2に礫などの直径 d と接触時間 T_c の関係を示す。単独のガラス球と礫の直径 d と接触時間 T_c の実験式($\text{mm}-\mu\text{s}$ 単位)を式に表す。

$$T_c = 2.2005d^{1.3135} = 5.4692r^{1.3135} \quad (1)$$

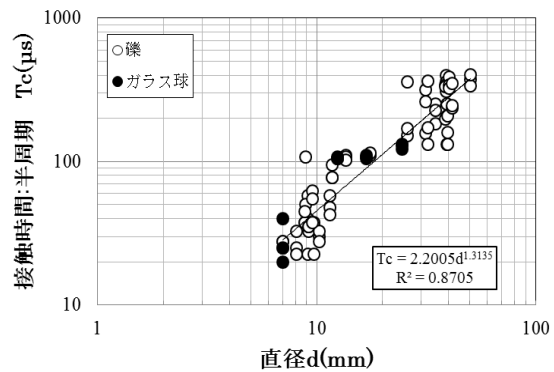


図1 粒径 d と接触時間 T_c の関係

(2) 落下礫の数の比較

図2に各推定粒径範囲における実験結果からの粒子数の平均と実際に流下させた数を比較した結果を示す。推定粒径は実験結果の各波形の接触時間から式(1)を用いて粒径 d を求めた。図には接触時間を一周期とした場合の結果も示す。この結果から、推定粒径範囲が $15\sim 20\text{mm}$ と 25mm 以上で粒子数は実際に流下させた粒子数とほぼ同じ結果が得られた。

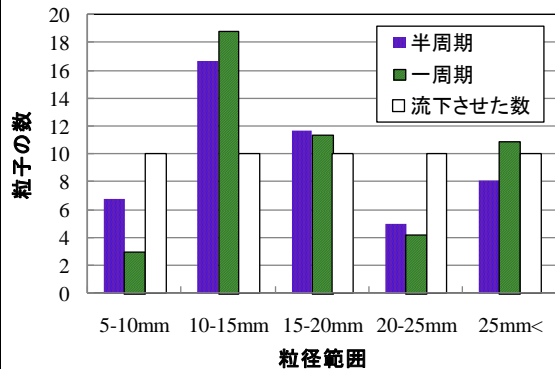


図2 推定粒径範囲と平均粒子数の関係

しかし、それ以外の粒径範囲では粒子数が一致していない。この原因として、礫の形状が考慮されていない点が考えられる。各粒径範囲の礫の形状係数(S.F.)について着目すると、20～25mmの粒径範囲の礫の形状係数(S.F.)が0.58であるのに対し、他の粒径範囲の礫は0.66～0.71であり、大きく異なることが分かった。

$$S.F. = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (2)$$

ここに、 a, b, c は互いに直交する三軸の長軸、中軸、短軸である。

(3) 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、対象とした礫の最大径から上位10個の形状を考慮した粒度分布の推定を実施した。それらの形状係数の平均値は0.578であった。礫の形状は形状係数で表される長円形状と仮定する。形状係数0.578の長円形状の体積と、接触時間から得られた粒径の値を用いて、粒度分布図を作成した(図3)。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 $d_m=29.9\text{mm}$ とほぼ一致した。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。

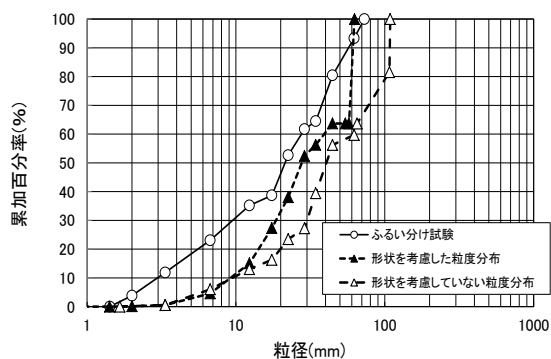


図3 粒度分布の比較図

(4) 得られた成果の位置づけとインパクト

河川における土砂移動の予測・解明は河川計画・管理を行う上で重要であり、適切な河川計画・管理は、現在わが国で頻発している河川災害の軽減に役立つ。土砂移動現象の予測・解明には河床材料の推定が必須であり、そのためには河床材料調査が欠かせない。

本研究による方法の確立により、従来の「ふるい分け試験」から飛躍的に作業の効率化が図れる。具体的には、現地で採取した砂礫の移動作業、砂礫の乾燥作業とふるい分け

作業が不要となる。特に、山間部における採取土砂の運搬は重労働であり、場所によっては危険を伴う。このような作業から解放される利点は計り知れない。

(5) 今後の展望

本研究課題の今後の推進方策は、気中で得られた砂礫と弾性体の接触時間を利用した粒径推定法の研究成果を流水中で転動する砂礫と弾性体との衝突に適用することである。流水中での間接的な粒径推定が可能となれば、現在まで河川・砂防分野でなし得なかった流砂量と粒径の同時計測法が確立される。今まで直接的な計測法でしか得られなかった、流砂量と粒径の同時計測が可能となり、土砂移動現象の予測・解明が飛躍的に向上することが予想される。

また、流水中の砂礫の粒径を時系列的に推定することができれば、それらのデータをもとに、河床変動計算などの数値計算に使用する係数の同定が可能となる。将来的に、出水時の河川における正確な土砂移動予測ができ、例えば、より正確なハザードマップの作成に役立てることが考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① 小田晃、平野雄也、渡邊真矩、落合実、遠藤茂勝、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、査読有、第55巻、2011、S1165～S1170

[学会発表] (計4件)

① 小田晃、平野雄也、渡邊真矩、落合実、遠藤茂勝、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、社団法人砂防学会 平成23年度砂防学会研究発表会、2011. 5.19、神奈川県民ホール(神奈川)。

② 平野雄也、渡邊真矩、落合実、小田晃、遠藤茂勝、落下礫の接触時間を用いた粒径推定に関する実験的研究、社団法人土木学会 平成22年度土木学会全国大会、2011. 9.7、北海道大学札幌キャンパス(北海道)

③ 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、社団法人砂防学会 平成22年度砂防学会研究発表会、2010. 5.26、長野市若里市民文化ホール(長野)

④ 平野雄也、落合実、小田晃、遠藤茂勝、礫の接触時間を用いた粒径推定に関する一実験、社団法人土木学会 関東支部 第37回技術研究発表会、2010. 3.13、日本大学理工学部(東京)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 晃 (ODA AKIRA)

日本大学・生産工学部土木工学科・教授

研究者番号：70270519

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし