

粗大礫に作用する流体力に関する基礎的実験

徳島大学工学部 正員 岡部 健士

徳島大学工学部 正員 中野 晋

パシフィックコンサルタンツ(株) 正員 ○佐藤 昭二

1. まえがき 広い粒度分布幅を有する山地溪床の掃流砂特性については、従来の理論式は平均粒径よりも大きな砂礫(本文ではこれを粗大礫と呼ぶ)の移動限界掃流力を過大評価することが指摘されている⁽¹⁾⁽²⁾。この問題を解決するための第1歩として、著者らは河床上に露出した粗大礫を長さが直径に等しい円柱体でモデル化し、これに作用する流体力の特性を詳細に調べる実験を行った³⁾。しかし、前報では礫モデルに作用する流体力の大きさに比べ、測定する荷重計の定格が大きすぎたため(定格±5kg)、得られた結果の信頼性は必ずしも満足できるものではなかった。そこで、本報では荷重計の定格が1オーダー小さいもの(定格±0.5kg)を用いて計測を行うことで、得られるデータの信頼性を高めるとともに、抗力・揚力の変動の時間変化特性も詳細に調べることができたので、その結果を報告する。なお、礫モデルとして今回は球を採用した。

2. 実験概要 実験に使用した水路は、長さ7m、幅0.4m、深さ0.3m、勾配 1/400の矩形断面水路である。まず、実験水路に直径12mmのガラス球を六角形配置で密に敷き詰め粗度付けを行った。そして、水路下流端より2.5mの場所に粗大礫モデルを沈み込ませることができるように、直径が5cmの円形の凹みを設けた。そして、この上に直径 d が30mm、40mm、50mmの球を図-1に示すように露出度($=H_0/d$ 、 H_0 :露出高さ)を0.5~1.0まで0.1刻みで変化させて吊り下げ、作用する抗力・揚力の同時計測実験を行った。このとき、流れが砂礫モデル下方に流れ込むのを防ぐために、設定すべき露出高さよりも1mm弱程度礫モデルを下げて設置し、その下方に石膏を理論河床の高さまで流し込み固め、石膏が固まった後、設定すべき位置に設置した(図-1参照)。

実験は各粒径ごとに相対水深(水深と粒径の比)を1.0、1.5、2.0と3種類に変化させ、合計9種類について、それぞれ露出度を上述のように変化させて行った。なお、本実験に先立ち、水路床の粗度特性を調べた結果、理論河床をガラス球の頂面より2mm下方におくときに、相当砂粒粗度 k_s が7mmになることが明らかにされた。

3. 流体力の諸特性に関する考察

ここでは、粒径が40mmのものについてのみ得られた結果を報告する。他の粒径のものについては発表会で述べる。

3.1 抗力係数と揚力係数 図-2、図-3にそれぞれ次式で定義される抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L を示す。

$$C_D = 2D / \rho A_D U^2 \quad \cdots (1) \quad C_L = 2L / \rho A_L U^2 \quad \cdots (2)$$

ここに、 D :抗力、 L :揚力、 A_D 、 A_L :それぞれ抗力・揚力の働く代表面積、 U :代表流速である。なお、代表流速としては、礫中心における流速を対数分布則より求めて用いた。図によると、 C_D は露出度の増加とともに単調減少する傾向が認められる。 C_L についても同様の傾向が認められる。また、完全露出で相対水深が1.0の場合(RUN 2-1)は大きな負の値となっているが、これは他の粒径についてもまったく同様な結果が得られている。

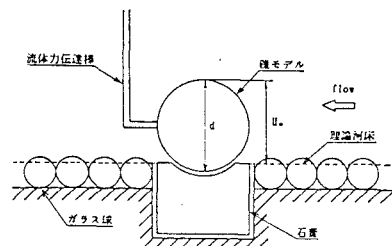


図-1 河床の模式図

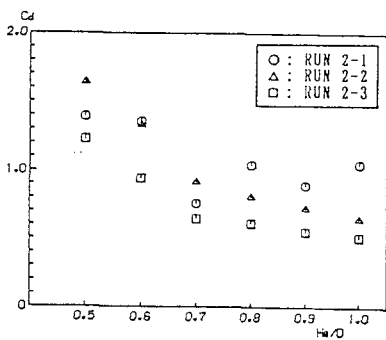


図-2 抗力係数と露出度の関係図

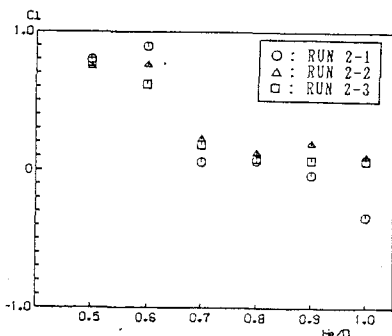


図-3 揚力係数と露出度の関係図

3.2 確率密度関数 図-4、

図-5はそれぞれ抗力・揚力の頻度分布の1例を示したものであり、図中の実線は比較対比するための正規分布曲線である。図によると、いずれの場合も平均値付近の両者のずれが若干大きい

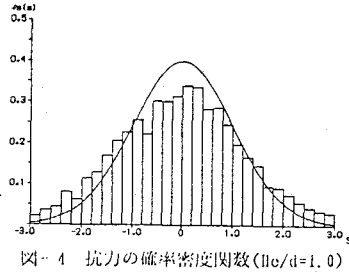


図-4 抗力の確率密度関数 ($H_c/d=1.0$)

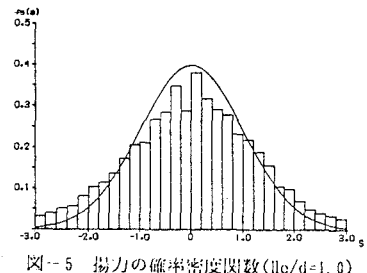


図-5 揚力の確率密度関数 ($H_c/d=1.0$)

3.3 変動係数 図-6、図-7

にそれぞれ抗力・揚力の変動係数と露出度の関係を示す。まず、抗力の変動係数は露出度の増加にともなって減少する傾向が認められるが、露出度の変化には鈍感なようである。逆に、揚力のそれは露出度の増加にともなって、増加する傾向が認められる。

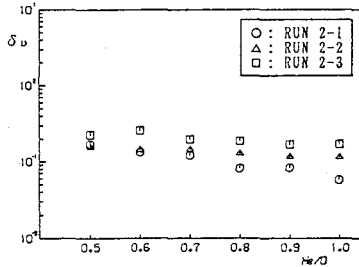


図-6 抗力の変動係数と露出度の関係図

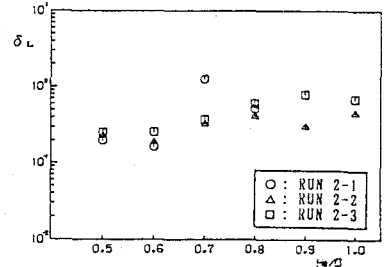


図-7 揚力の変動係数と露出度の関係図

3.4 自己相関係数 図-8、

図-9にそれぞれ抗力・揚力の自己相関係数と遅れ時間 τ との関係の1例を示す。抗力の自己相関係数は遅れ時間の増加とともに、粒径、露出度によって関係なく正負の値を繰り返しながら0に漸近する傾向が認められた。揚力のそれについては図のように遅れ時間が0を越えるとすぐ0となり、以後正負の値を繰り返す傾向が粒径、露出度に関係なくみられた。

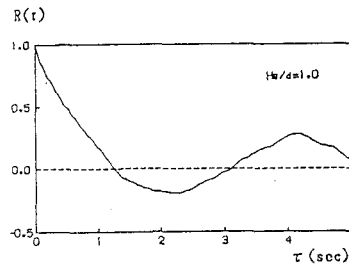


図-8 抗力の自己相関係数

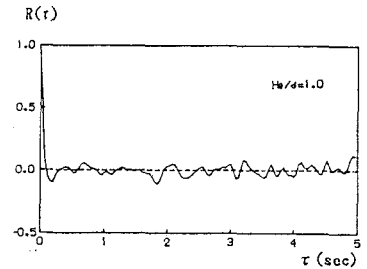


図-9 揚力の自己相関係数

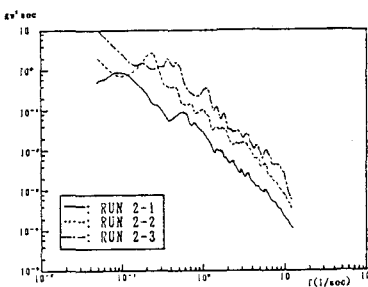


図-10 抗力の周波数スペクトル

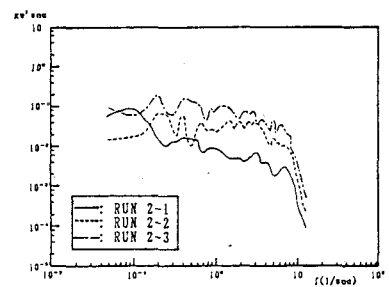


図-11 揚力の周波数スペクトル

3.5 周波数スペクトル 図

-10、図-11に抗力・揚力の周波数スペクトルの1例を示す。両図とも完全露出の場合である。図によると、抗力の場合はどのスペクトルもほぼ相似で、周波数の $-5/3 \sim -2$ 乗に比例している。また、揚力の場合は有帯域ホワイトノイズの性質を示している。なお、スペクトル計算はFFTによった(データ数2048個)。

《参考文献》1) 土木研究所:混合粒径砂の流送実験資料集、土研資料、第1390号、1978 2) 岡部・佐藤:アーミングを伴う河床低下過程の掃流砂量、中四支部第39回年講 3) 岡部・佐藤:河床の粗大礫に作用する流体力に関する基礎的実験、中四支部第40回年講、1988