

河床上の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
徳島大学大学院 学生員 ○佐藤 昭二

1. まえがき 混合砂礫床の流砂現象はかなり明らかにされてきているが、山地河川のように粒径範囲がきわめて広い場合については今後さらに検討を重ねるべき点が多い。この種の河床では一般に砂礫移動が選択的に生じるのでその粒径別移動限界を的確に評価することがまず重要である。しかし、実験によれば既存の移動限界式は平均粒径より大きい成分（本文ではこれを粗大礫と呼ぶ）に対して過大な限界掃流力を与える¹⁾²⁾ ようであって理論の再検討が望まれている。

さて、河床砂礫の挙動を考察する際には、その基礎として砂礫に作用する流体力の特性を十分把握しておく必要がある。しかし、粗大礫の形状や存在条件（とくに露出状態）と流体力との関係や流体力の変動特性に関する知見は少数かつ断片的なものに止まっている³⁾⁴⁾。そこで筆者らは、河床上に露出した粗大礫のモデルとして、新たに長さが直径に等しい円柱体を採用し、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。

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のガラス球と直径9mmの丸鋼棒を敷きつめて粗度付けを行った。そして、水路下流端から2m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、4.5cm四方の大きさの凹みを設け、この上に直径Dが38mm、32mmおよび26mmで長さがそれぞれの径に等しい円柱を図-1に示すように、中心軸が水路中心線に直交するように種々の露出高さ He で吊り下げて作用する流体力の抗力、揚力成分を実測した。このとき、流れが凹みの中に潜り込むのを防ぐために、ビニールの薄膜を取り付けた銅板で円柱体の周囲を囲った（図-1参照）。

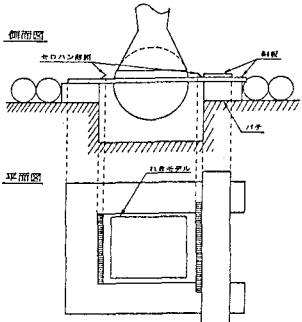


図-1 河床モデル

実験した流れ（等流）の条件は表-1に示すとおりであり、各Run-No.ごとに露出高さは5～10種に変化させた。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点より 2mm下方におくときに、相当砂粒粗度 ks が6.5mmになることが明らかにされた。

表-1 実験条件

RUN No.	粒径 (mm)	流量 (l/s)	水深 (cm)	u (cm/s)	Re ($\times 10^{-5}$)	u^* (cm/s)
1-1	38	5.70	4.73	33.3	3.06	3.31
1-2	38	3.72	3.21	29.0	3.45	2.89
2-1	32	5.45	4.01	34.0	4.04	3.22
2-2	32	3.07	2.82	27.2	3.23	2.72
3-1	26	5.55	4.08	34.0	4.04	3.24
3-2	26	3.33	2.91	28.7	3.41	2.76

流体力の計測には、市販の3成分荷重計（定格10kg）を利用することにした。ただし、流体力は荷重計の定格に比べて非常に小さな値なので、それをかなり増幅して荷重計に印加する必要が生じた。このため、図-2に示すような力の増幅装置を作成して用いた。

3. 実験結果ならびに考察

3-1抗力と揚力の時間平均値： 図-3、図-4にはそれぞれ実験で得られた抗力と揚力の時間平均値と露出度（ He/D 、 He :露出高さ、 D :直径）の関係を示した。図によると抗力は露出度が約0.5 になるまでは比較的ゆるやかに増加し、それ以上は増加の割合が大きくなる傾向がみられる。逆に、揚力は露出度が0.5まではほとんど0とみ

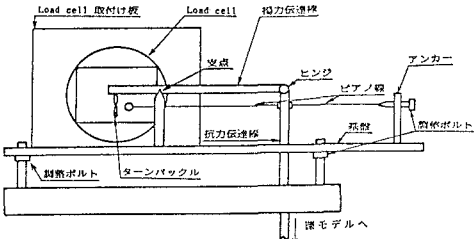


図-2 流体力の増幅測定装置

なせ、それ以上は若干減少する傾向がみられる。特にRun1-1(粒径38mm)の負の値が大きくなっているが、この原因としては礫の露出高さが増加するにしたがって水面変形が著しく増大し、礫の上面に斜め下向きのせん断力が作用するためと考えられる。また、これらの図より、揚力の値は抗力の値に比べて少なくとも1オーダーは小さいので、実用上は無視してもよいと思われる。

3-2抗力係数： 抗力係数 C_d は次式によって定義される。すなわち、

$$C_d = 2F_D / \rho A_D U^2 \quad (1)$$

である。ここで、 ρ :流体の密度、 F_D :抗力、 A_D :流れ方向の投影面積、 U :代表流速である。図-5.a,b に(1)式より求めた C_d と露出度の関係を示した。なお、代表流速として図-5.aは断面内平均流速を、図-5.bは礫中心における流速を対数分布則より求めて用いた。平均流速を用いた方が若干小さい値になるが、大きな違いはみられない。両者とも露出度が0.5までは比較的ゆるやかに増加する傾向がみられ、それ以上は1.0程度となっている。これは、ほぼ同じRe数の一様流中の円柱の抗力係数の値1.2より若干小さい。

3-3変動係数： 図-6に抗力の変動係数と露出度の関係を示した。図によると、露出度が0.7までは、その増加とともにゆるやかに減少し、それ以上ではほぼ一定値0.1をとっている。

3-4確率密度関数： 図-7は抗力の確率密度関数の一例を示したもので、図中の曲線は比較対比のための正規分布曲線である。図によると、中央値が平均値より左に寄っているが、あらい近似として、正規分布と考えても差し支えない。なお、中央値が平均値より左に寄るとい傾向は、この図に限らず全体的な傾向としてみられた。

4. あとがき 以上、河床砂礫に作用する流体力の直接測定を行い実験結果について考察した。その結果、抗力係数、変動特性および確率密度関数等について新たな知見を得ることができた。今後は更に資料の信頼性を高め、粗大礫の移動限界問題を考察する時の基礎としたい。

《参考文献》 1)土木研究所：混合粒径砂の流送実験資料集，土木研究所資料，第1390号，1978 2)岡部，佐藤：

アーマリ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，1987 3)辻本ら：床面に沿って転動する粒子の運動と流体力について，第23回水講演文集，1979 4)吉川ら：粗度近傍の流れと流体力に関する実験的研究，第31回水講演文集，1987

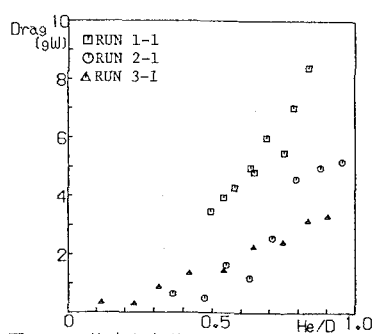


図-3 抗力と無次元露出度との関係

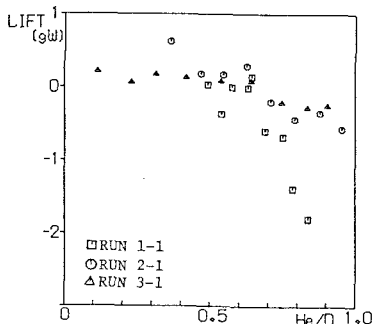


図-4 揚力と無次元露出度との関係

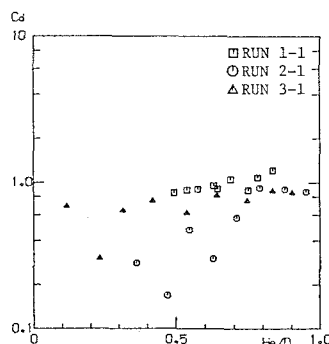


図-5.a 抗力係数と無次元露出度との関係

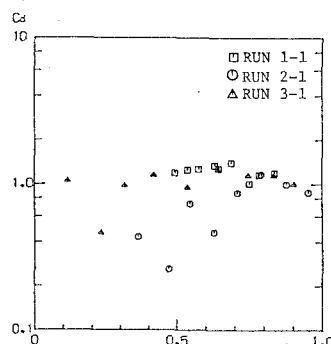


図-5.b 抗力係数と無次元露出度との関係

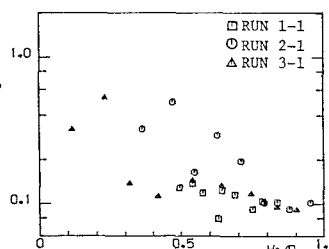


図-6 抗力の変動係数と無次元露出度との関係

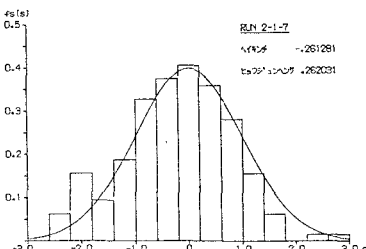


図-7 抗力についての確率密度関数