

粗大礫に作用する流体力

徳島大学工学部 岡部 健士

1. まえがき： 混合砂礫床の河床構成材料中の平均粒径より大きい粒子（本文では、このような粒子を粗大礫と呼ぶ）の粒径別移動限界条件は、河床の変動履歴とともにその露出状態が変化するのに伴ってかなり大きく変化することが知られている。しかしながら、粗大礫の露出状態と粒径別移動限界の関係は未だ解明されておらず、移動床の流砂現象に関わる今後の課題の一つとなっている。筆者は、この問題へのアプローチの一環として、粗大礫を球および短い楕円柱にモデル化し、露出度を変化させながら、それらに作用する流体力を計測する実験を実施し、二、三の興味深い成果を得たのでここに報告する。

2. 実験概要： 実験には、長さ7.0m、幅40cm、勾配 1/508 の長方形断面水路を用いた。まず、水路床上に直径12mmのビー玉を一層だけ最密に敷き詰め、粗面河床のモデルとし、この中央部において、図-1に示す要領で粗大礫モデルを支持し、定格最大荷重500grfの3成分荷重計を用いて流体力の抗力ならびに揚力成分を同時に連続計測した。粗大礫のモデルとして用いた球の直径は3cm、短楕円柱の長径、短径および軸長は、それぞれ4cm、3cmおよび2cmであり、後者は、軸が流れに直交し、長径が

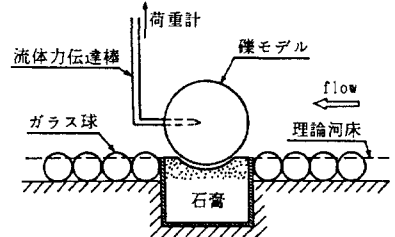


図-1 試験体の支持要領

モデル河床面に平行になるように設置した。両者の露出状態は、対数型流速分布則に基づいて決定されたビー玉粗面の理論河床面（ビー玉頂点より 2mm 下方）からの露出高さ H_e を、それぞれ直径および短径（いずれも d で表示する）の 0.5~1.0 倍の間で、ともに 0.1 倍のステップで 6 種に変化させた。流れの水深 h は、各露出高さごとに d の 1.0, 1.25, 1.5 および 2.0 倍の 4 種に変化させた。

3. 抗力係数と揚力係数： 時間平均の抗力 $\bar{D}$ と揚力 $\bar{L}$ は、一般に次式のように表示される。

$$\bar{D} = 1/2 \cdot \rho C_D A_D U_R^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{L} = 1/2 \cdot \rho C_L A_L U_R^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 C_D 、 C_L ：抗力、揚力の係数、
 A_D 、 A_L ：抗力、揚力に有効な面積、 U_R ：代表流速、 ρ ：流体の密度、である。
 C_D と C_L の特性は U_R の取り方によってかなり変化するが、本文では、物体の頂点の高さの接近流速を用いる場合の結果を紹介する。図-2および図-3に、それぞれ C_D および C_L と露出度 H_e/d の関係を、相対水深 h/d をパラメータにして点描している。なお、 A_D は理論河床より上に出てくる物体部分の流れ方向投影面積とした。
 C_D は、球、楕円柱とも、 H_e/d の増加につれて h/d によって決まる値に漸近する。全体的な傾向から推察して、 C_D に及ぼす h/d の影響は $h/d \leq 2 \sim 3$ において重要となる。一方、 C_L は、 H_e/d が小さい場合はほぼ一定の値を取るが、それが1に近づくにつれてほぼ直線的に減少する。
 C_L に対する h/d の影響は、 C_D の場合に比してかなり小さい。また、 $h/d = 1$

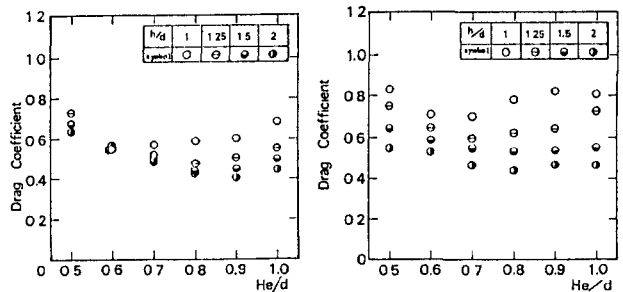


図-2 球(左図)と楕円柱(右図)の抗力係数

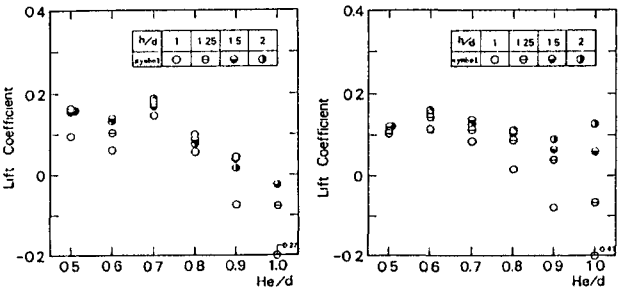


図-3 球(左図)と楕円柱(右図)の揚力係数

で $H_e \approx 1$ の場合に揚力が負になっている。

つぎに、揚力・抗力比 L/D の特性を図-4に示す。球、楕円柱における傾向はよく似ているが、後者では h/d による変化が顕著である。

4. 変動係数と確率密度：

抗力、揚力の変動係数(変動値の標準偏差/時間平均値) η_D , η_L の計測結果を図-5および図-6に示している。計測値に少しバラツキがあるが、 η_D , η_L ともに h/d の影響をほとんど受けない。また、両者と H_e/d の関係については、 η_L が、 H_e/d が1に近い領域を除き、ほぼ普遍的な値(≈ 0.4)になっているのに対し、 η_D は、 H_e/d の増加とともに、0.35~0.1の範囲で直線的に減少する結果となっている点が興味深い。つぎに、流体力の変動値の確率密度の代表例として、球について、 $h/d = 1.5$, $H_e/d = 0.8$ の条件で得られた結果を図-7に示す。図中の曲線は正規分布曲線で、計測値はこれによく一致する。ただし、 H_e/d が小さくなると、メディアンが若干負の側に寄る。

5. 自己相関と相互相関：

抗力と揚力の変動値の自己相関係数とブラス時間の関係の代表例として、球について、 $h/d = 1.5$, $H_e/d = 0.8$ の条件で得られた結果を図-8に示す。本図では揚力の寿命時間が抗力のそれに比して非常に小さいが、両者の差は H_e/d が0.5に近づくとき急速に少なくなる。

最後に球の抗力と揚力の相互相関係数の計測結果を図-9に示す。 H_e/d が0.5の付近では、かなり高い相関が認められるが、それが1に近づくとき、ほとんど無相関か、負の相関の状態になっている。

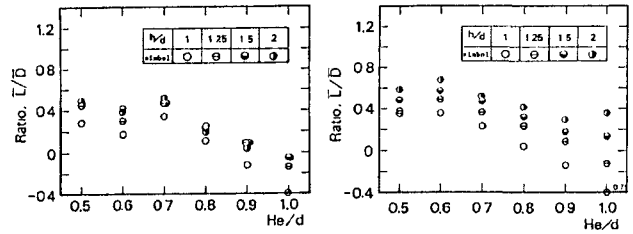


図-4 球(左図)と楕円柱(右図)の抗力/揚力比

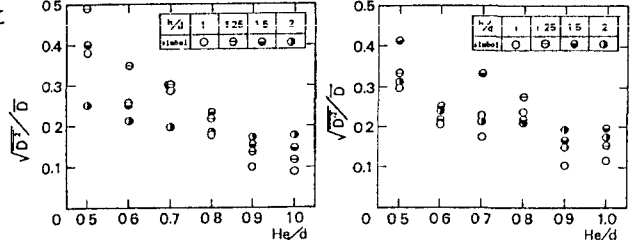


図-5 球(左図)と楕円柱(右図)の抗力の変動係数

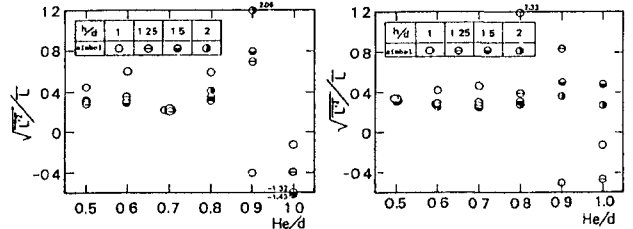


図-6 球(左図)と楕円柱(右図)の揚力の変動係数

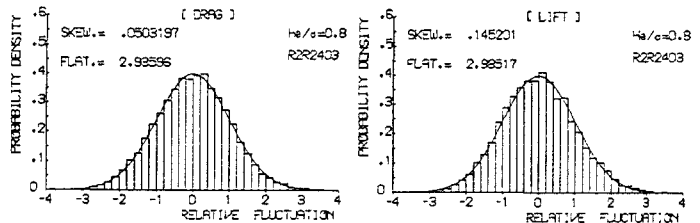


図-7 球の抗力(左図)と揚力(右図)の確率密度

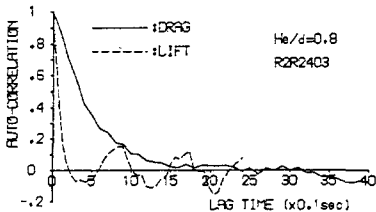


図-8 球の抗力と揚力の自己相関

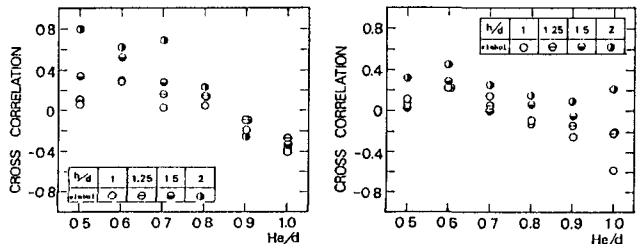


図-9 球(左図)と楕円柱(右図)の抗力と揚力の相互相関