

II-56 摩擦のある底面上の物体の流体力について

八戸高専 正 員 ○田中 博通
八戸高専 正 員 金子 伸一郎
八戸高専 正 員 藤原 広和

1. はじめに

水工学における流体力の研究は移動床流れや土石流で見られる砂礫の流動機構を解明する上から重要である。従来、河床の抵抗のモデルとして、水路床に球及び半球を粗度として敷き詰め、その抵抗特性を求めたものがあり多くの知見を得ている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾洪水時や土石流の砂礫のように底面上をより大きな砂礫が流動する場合を考えるならば、粗面上に置かれた物体の抵抗則を求めることが有益である。そこで、より大きな砂礫の運動に関する基礎的な研究として、今回摩擦のある底面上の流体力を実験的に求めたので報告する。

2. 実験方法

実験水路は長さ8m、幅39.4cmの可変勾配水路であり、その水路床に研磨ベルトを接着し底面粗度とした。用いた研磨ベルトは JIS#24、#46、#100の3種類である。 JISR 6001の研磨材の粗度表より求めた50%粒径は#24で685 μ m、#46で307 μ m、#100で117 μ m となった。Fig.1は物体の重さ(W)とそれぞれの研磨ベルトの静止摩擦係数(f)との関係であり、それらの実験式は次式のように1次式でよく近似できる。

$$f = 0.00057W + 0.4467 \quad (\#24)$$

$$f = 0.00019W + 0.5824 \quad (\#46)$$

$$f = 0.00033W + 0.7253 \quad (\#100)$$

実験に用いたモデルは8種類であり、いずれも外枠は木製である。モデルの仕様をTable1に示す。

次に抗力を求める方法について述べると、モデル中央から上流に釣糸($\phi=0.123$ mm)を平行に張り、滑車を通して荷重変換器(± 500 grfFS)に接続し、歪測定器からの出力をデータレコーダに入力し、そのデータをAD変換($\Delta T=0.05$ sec)して1024個の平均値を測定力とした。この手法で得た抗力は、物体前後の運動量差から得た抗力とほぼ同じになることが確認されている。⁵⁾Table2に実験ケース及び条件を示す。

3. 結果及び考察

(1)物体が動き始める水理条件

Fig.2は底面粗度#24における物体が動き始める時の相対水深(h/d)とReynolds数(Red)との関係である。h/dを1.4から2.0まで変えたが、同じモデルにおいてほぼ同じRed数で動き始めることがわかる。また、h/dが大きくなるにつれRed数もほぼ一定となった。動き始めるRed数はモデルの形状の相異よりも水中重量に大きく関係し、似通った水中重量のモデルはほぼ同じRed数で動き始めることがわかる。底面粗度#100の場合もほぼ同じ傾向があり、底面摩擦が#24の場合より大きいだけ多少Red数

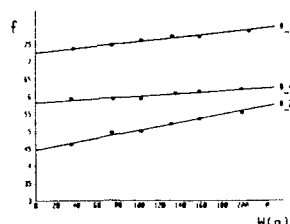


Fig.1 静止摩擦係数 (f)

Table 1 実験モデルの仕様

実験モデル	寸法(mm)	質量(gr)	体積(cc)	比重	水中重量(gr)
立方体(軽)	5×5×5	156.0	125.0	1.25	31.0
立方体(重)	5×5×5	202.6	125.0	1.62	77.6
立方体(大)	5×10×5	342.6	250.0	1.37	92.6
立方体(重)	5×10×5	413.9	250.0	1.66	163.9
三角柱・大(軽)	5×10×5	157.9	121.0	1.30	36.9
三角柱・大(重)	5×10×5	192.6	121.0	1.59	71.6
三角柱・小(軽)	5×5×5	75.8	54.1	1.40	21.7
三角柱・小(重)	5×5×5	87.5	54.1	1.61	33.4

Table 2 実験条件

CASE	Q (cm/s)	U (cm/s)	Body
1	19614	55.3	RL, CH, CL, TLH, TLL, TSH, TSL
2	17730	50.0	RL, CH, CL, TLH, TLL, TSH, TSL
3	15957	45.0	CH, CL, TLL, TSH, TSL
4	14184	40.0	CL, TLL, TSH, TSL
5	12417	35.0	CL, TLL, TSH, TSL

RL: 立方体(軽) RH: 立方体(重) CL: 立方体(軽) CH: 立方体(重)
TLL: 三角柱(大)(軽) TLH: 三角柱(大)(重) TSL: 三角柱(小)(軽) TSH: 三角柱(小)(重)

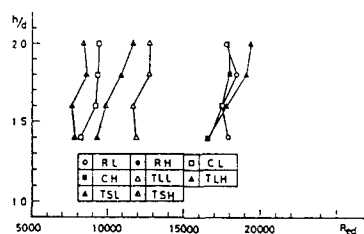


Fig.2 h/dとRedの関係 (#100)

が大きくなった。

(2) 抗力係数(C_D)と揚力係数(C_L)

抗力(D)と揚力(L)は次式で定義される。

$$D = C_D \frac{\rho}{2} U^2 A \quad L = C_L \frac{\rho}{2} U^2 A'$$

ここで、Fig.3に示した記号を用いて C_D と C_L を求めると次式となる。⁵⁾

$$C_D = \frac{3}{4} F / \frac{\rho}{2} U^2 A \quad C_L = \frac{1}{f} \left\{ -\frac{F}{A} + f \cdot (W - B) \right\} / \frac{\rho}{2} U^2 A'$$

上式は抗力(D)が物体底面から $3d$ の所に働いているとして求めたものであるが、底面に設置した球と半球においてDが $0.5d \sim 0.7d$ の所に作用しているという結果が報告されている。⁴⁾ Fig.4,5は測定力(F)とFig.1の静止摩擦係数(f)を用いて上式から求めた C_D とRed数及び C_L とRed数の関係である。一般に $Red > 10^4$ の場合、一様流中の立方体の C_D は $1.10^{(6)}$ とされているが、今回のように底面粗度上に置かれた物体の C_D, C_L はRed数に対して一定とならず、Red数が増加するにつれ緩やかに減少し、しかも軽いモデル程 C_D, C_L の値が小さくなった。 C_L の値は特にこの傾向がある。これは、Red数が大きくなると物体が上下、左右に揺れ物体下部に流れが生じ上下の圧力差が減少し、従って揚力が減少することによるものと考えられる。Fig.6は L/D とRed数との関係であり、これからRed数が増加すると剥離による物体前後の圧力差が増大し、従って L/D が減少することがわかる。

(3) 測定力(F)のスペクトル

Fig.7,8はそれぞれ粗度#100における立方体(重)と立方体(軽)の測定力(F)のスペクトルである。立方体(軽)は低周波数側でエネルギー増加がみられ、しかもRed数が大きくなるにつれ若干エネルギーレベルが大きくなる。両者とも高周波数側では同じ傾向となり、従って動き易さは低周波数側のエネルギーに関係があるといえる。すべての実験において、約5Hz付近にピークが存在し、これからStrouhal数(St)を求めると $St=0.45 \sim 0.73$ となった。

4. おわりに

粗度上の物体の流体力を直接測定によりもめたが、今後圧力分布から抗力、揚力の作用点を求め、より精度を高めていきたい。

<参考文献>

- 1) 神田, 土井; 第25回水講
- 2) 大同, 松井; 第25回水講
- 3) 神田, 鈴木; 土木論文集, 1985
- 4) 吉川, 他; 土木論文集, 1988
- 5) 田中, 金子, 藤原; 八戸高専紀要, 1988

6) Gerhart, Gross; Fundamentals of Fluid Mechanics

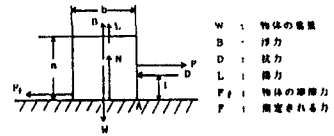


Fig.3 記号の説明

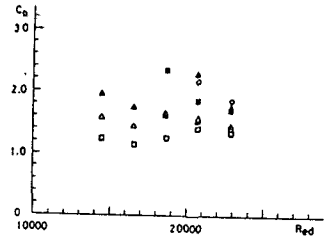


Fig.4 C_D と R_{ed} の関係 (#100)

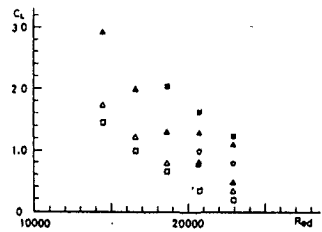


Fig.5 C_L と R_{ed} の関係 (#100)

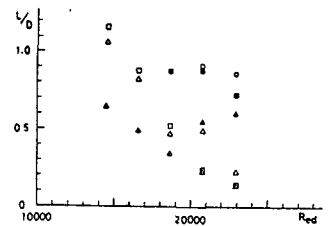


Fig.6 L/D と R_{ed} の関係 (#100)

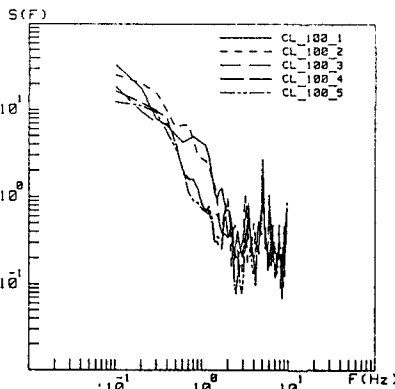


Fig.7 パワースペクトル (#100)

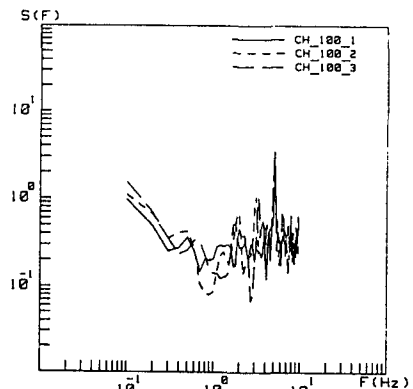


Fig.8 パワースペクトル (#100)