

II-383

球状粗度に作用する流体力特性に関する実験的研究

早稲田大学 大学院 学生員 岩下 友也

早稲田大学 理工学部 正 員 吉川 秀夫

1. はじめに

河川の護岸及び河床砂礫に働く流体力の特性を把握することは防災上極めて重要である。しかし、それらが境界層内、特に粗面近傍にあるために、不明な点が多い。本研究は、護岸や河床砂礫のモデルとして球状粗度を敷き詰めた粗面を考え、球状粗度要素の形、大きさ及び配置間隔を変化させ、粗度要素に作用する流体力についての検討を行うものである。

2. 実験概要

実験は風洞と開水路を用い、壁の1面に球あるいは半球型粗度を千鳥格子状に配置した。ただし、Run H-4は、風洞壁に半球を1個のみ設置した。粗度要素型及び配置間隔は表1に示すとおりである。ここに、表1のdは球状粗度要素の径を、W, lはそれぞれ粗度要素の横断方向間隔及び流下方向間隔を示す。粗度要素に作用する流体力は、要素表面の圧力分布を微差圧計を用いて測定することにより求め、その流下方向成分を抗力、壁面に垂直な方向成分を揚力として算出した。

3. 実験結果及び考察

壁面に設置した球状粗度要素に作用する流体力の測定値より、抗力係数 C_D と揚力係数 C_L を算出した。

$$C_D = 2 \text{ Drag} / \rho a_x u_{\max}^2$$

$$C_L = 2 \text{ Lift} / \rho a_z u_{\max}^2$$

ここに、Drag, Liftはそれぞれ粗度要素1個に作用する抗力及び揚力を示し、 a_x , a_z は要素の流下方向及び壁に垂直方向の投影面積を示す。この C_D 及び C_L とReynolds数($u_{\max} d / 2\nu$)との関係をそれぞれ図1, 図2に示す。粗度要素の粗度効果を表すパラメータとして $\lambda (= A/a_x$ ここに、Aは粗度要素1個の受け持ち壁面積)を考えると、図1において C_D は λ が同じであればこの実験範囲内では一定値をとり、その値は λ が大きくなるほど大きくなる。図2において C_L はReynolds数が増加するにつれて直線的に増加し、その増加率は λ が大きいほど大きい。図3に揚力と抗力の比(Lift/Drag)とReynolds数の関係を示す。Lift/Dragは λ に関係なく、Reynolds数の増加とともにほぼ直線的に増加していることがわかる。ここで、図1, 2に見られた、Reynolds数による C_D, C_L の挙動の違いを見るために粗度要素に作用する抗力と揚力の分布を2次元表示させたものを図4, 5に示す。図4の抗力分布は、かなりよい相似形を示しているのに対し、図5の揚力分布はReynolds数の増加とともに球状粗度要素頂上付近での揚力が大きくなっている。このことは、図7, 8の抗力及び揚力の作

表1. 実験条件

Run	粗度型	d cm	W cm	l cm	λ
S-1	球	3.8	3.8	3.29	2.5
S-2	球	5.0	5.0	4.33	2.2
H-1	半球	3.8	3.8	3.29	2.5
H-2	半球	3.8	19.0	4.75	17.7
H-3	半球	6.0	30.0	7.50	15.9
H-4	半球	6.0	—	—	∞

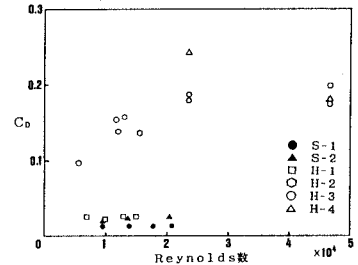


図1. 抗力係数とReynolds数の関係図

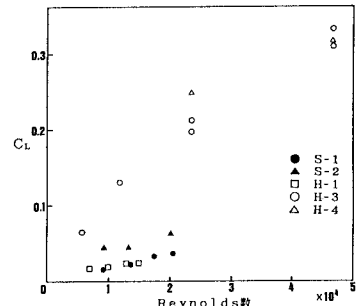


図2. 揚力係数とReynolds数の関係図

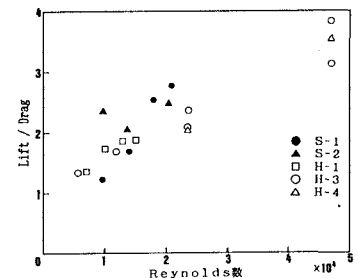


図3. Lift/DragとReynolds数の関係図

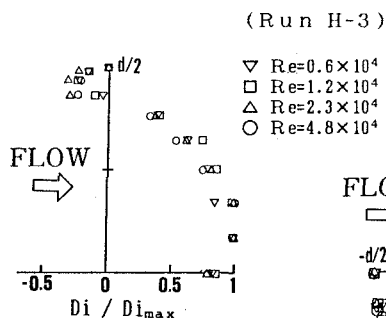


図4. 抗力係数分布図

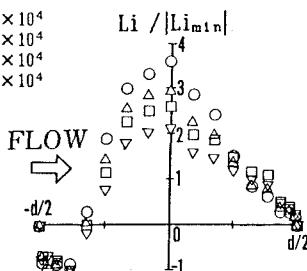


図5. 揚力係数分布図

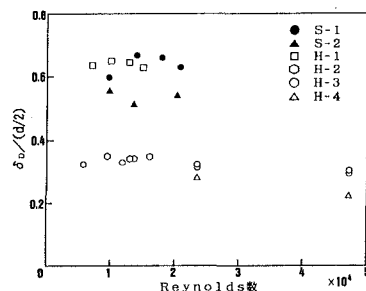


図7. 抗力の作用点とReynolds数の関係図

用点位置 (δ_D, δ_L (図6)) にも表れている。すなわち、図7の抗力の作用点位置は λ が同じならば一定値をとるのに対し、図8においてはReynolds数の増加とともに粗度要素頂上付近での揚力が增大するため、 δ_L は減少、つまり揚力の作用点位置は粗度要素の中心に近くなる。

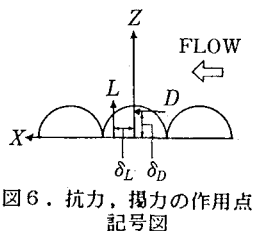


図6. 抗力、揚力の作用点記号図

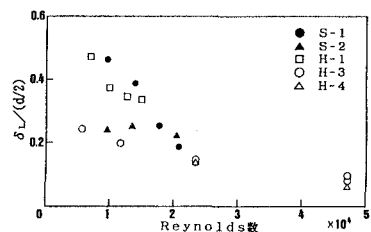


図8. 揚力の作用点とReynolds数の関係図

粗度を付けた壁面においては、粗度要素による圧力抵抗が、壁面に作用する摩擦抵抗を無視できるくらいに大きいとみなせるので、粗度壁面に作用する壁面せん断応力 τ は、次式のように表せる。

$$\tau = \text{Drag} / A$$

この τ を断面最大流速 $u_{\max}$ で無次元化したものを抵抗係数 (C_f) とする。

$$C_f = 2 \tau / \rho u_{\max}^2$$

図9に C_f とReynolds数の関係を示す。また図9にはSchlichtingの行った $d = 0.8[\text{cm}]$ の半球を用いた実験結果³⁾ を付記した。この図より、 λ が同じならばReynolds数に関係なく C_f は一定値をとる。しかし、Reynolds数が 1×10^4 以下では実験例が少ないが、 C_f は減少しているようである。図10に C_f と λ の関係を示す。ここで、図10には筆者らの実験の他に、Schlichtingの球、半球、Cone型粗度による実験³⁾、及び藤田・寛の球型粗度による実験結果⁴⁾ も載せた。3者の実験結果は、ほぼ同一曲線上にのり、 C_f の最大値にはばらつきがあるが、 λ が3~10の範囲で C_f が最大値をとることがわかる。

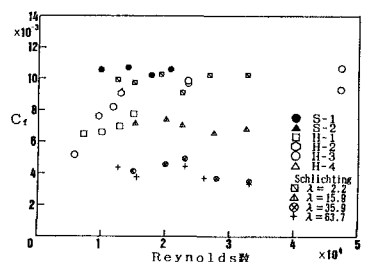


図9. 抵抗係数とReynolds数の関係図

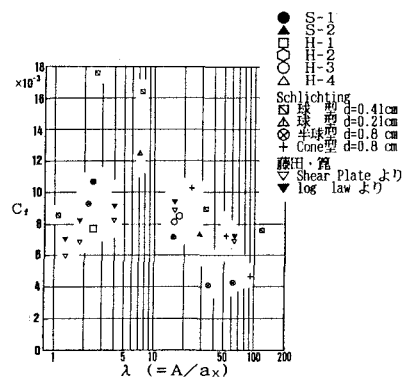


図10. 抵抗係数と λ の関係図

【参考文献】

- 1) 岡本・岩下・渡戸・吉川：球状粗度に働く流体力の特性，水工学論文集 第34巻，1990。
- 2) H.Schlichting: Boundary-layer Theory, McGraw-Hill
- 3) H.W.Coleman・B.K.Hodge・R.P.Taylor: A Re-Evaluation of Schlichting's Surface Roughness Experiment, Journal of Fluids Engineering, vol.106, March 1984.
- 4) 藤田・寛：粗面上底面せん断力の直接測定について，第36回年次学術講演会講演概要集，1981。