

日本大学工学部 正 員 ○高 橋 迪 夫
日本大学工学部 正 員 木 村 喜代治

1. ま え が き

礫床河川の流れにおける抵抗, エネルギー損失, さらに砂礫の流送過程を検討していく上で, 河床面から突出して点在する粗礫が流れに及ぼす影響を明らかにしておくことは重要なことと考えられる。

離散的な粗度を有する開水路流れにおける抵抗特性については, これが水工学上, 最も基本的かつ重要な問題の一つであるため, 従来より多くの研究^{1)・2)} が遂行されてきた。その結果, 粗度の配列, 密度の相違によって, 抵抗, 等の水理特性量に変化することが指摘されている。しかしながら, この特性の変化を粗度近傍の流れの構造あるいは乱流特性の面から言及した報告はそれほど多くは見受けられず, 粗礫が流れに及ぼす影響を明らかにしていく上で, 粗礫近傍の流れの特性を, これらの面から検討しておくことは必要であろう。一方, 一様流中に置かれた物体に作用する流体力については既に多くの成果³⁾ が得られているが, 相対水深が小さく, 流速分布を有する開水路中に存在する半球粗度に作用する抗力に関しては, Flammer⁴⁾, 松井・大同⁵⁾, らによって検討がなされているが, それほど多くの研究は見受けられない。

本報は, 開水路中に点在する粗礫が, その配列, 密度の相違によって流れの抵抗特性にどのような影響を及ぼすかを明らかにする1ステップとして, 半球粗度の種々の間隔に対してせん断力計によって求められた抗力の変化を, 粗度近傍の流れの構造, および剥離域における渦の生成・離脱の周期特性等の乱流特性量の面から検討しようとしたものである。

2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は, 幅 $b = 22.9\text{cm}$, 高さ 20cm , 長さ 4m のアクリライト製循環式開水路であり, 粗度要素は, 半径 $k = 1.89\text{cm}$ のプラスチック製半球である。抗力の計測には, 直径 4cm の円形シアータブルと平行バネ構造を有するせん断力計が用いられた。渦の離脱周期の計測と流れの構造の可視化は, アルミ粉末およびフルオロセインナトリウムを用いたトレーサー法によって行った。

3. 実験結果および考察

(1) 流 況 : Photo. 1 は, 可視化による流況観察の一例である。単一要素 (a) においては, 粗度要素背後の剥離域とその外側の後流混合域との境界では, 要素頂面近傍で生成された渦が次々に発達しながら路床面方向に流下し, また, それらの渦が合体して剥離域全体が不明瞭な一つの渦領域となる流れが周期的に繰り返えされている。とくに, 剥離域がこの不明瞭な渦領域になる状態において, 後流混合域との混合が活発に行われ, 剥離域から後流混合域への渦の離脱が認められる。離脱が終了すると剥離域が一度掃引されて, その領域が不明瞭になる。さらにこれと前後して, 後流混合域が路床面に到達する再付着域からは3次元的なかなり明瞭な渦が水面方向に上昇していくのが認められる。一方, 粗度間隔が $\lambda/k = 4$ (λ ; 粗度中心間隔)

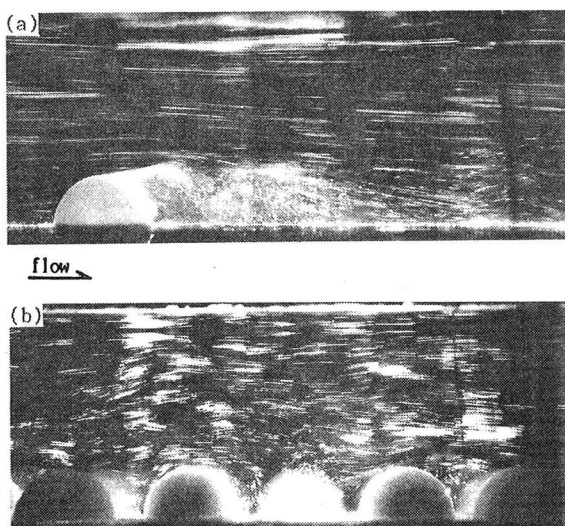


Photo. 1 流 況 例

程度 (b) になると、渦の生成、合体、および離脱の機構は単一要素の場合とほぼ同様であるが、離脱方向はより上方に向い、その周期もかなり短くなってくることが観察される。なお、この時の剝離域の長さ ℓ は、最長部でほぼ $\ell/k=2.7$ である。しかしながら、これらの流況は、2次元粗度の流れ⁶⁾に比べるとそれほど明瞭には観察されず、半球粗度を越えた流れの後流域への流れ込みによって、より3次元性の強い流れの構造が形成されているものと推測される。

(2) 抗力係数 : 抗力係数は、

$$C_D = F_D / \frac{1}{2} \rho U^2 A$$

により求められる。ここに、 F_D ; 抗力、 ρ ; 水の密度、 U ; 流れの代表流速、 A ; 粗度投影面積、Fig. 1, 2 は、代表流速として接近流の軸上平均流速 U_H を用いた単一粗度要素に対する C_D の値である。ただし、 $Re_H = 2 U_H k / \nu$, $Fr_H = U_H / \sqrt{gH}$, H ; 水深である。本報のように、相対水深が小さく、流速分布を有する開水路流れにおいては、抗力係数は、レイノルズ数のみならず、相対水深およびフルード数によっても変化することがわかる。

Fig. 3 は、種々の λ/k に対する C_D の変化を示したものである。ただし、代表流速としては粗度の頂面流速 u_T が用いられている。 C_D は、 $\lambda/k > 6$ ではほぼ一定値をとり、 $\lambda/k = 4 \sim 4.5$ 程度でピークを示し、それ以下では粗度の遮蔽の影響によって小さくなることが見られる。この特性の変化を検討するために、剝離域からの渦の離脱周期と λ/k との関係を示したのが Fig. 4 である。ただし、 S はストローハル数であり、 $S = 2 f k / u_T$, f ; 剝離域から離脱する渦の周波数である。一様流中の円柱に対する結果⁷⁾、あるいは玉井、ら⁸⁾の報告に比べると、量的には、今後さらに十分な検討を要するが、定性的には、剝離域からの渦の離脱周波数のピークが抗力係数のピークにほぼ対応していることがうかがえる。

本報は、卒業研究生の大村朋広、菊池 寛、酒井健一の各君の尽力によるところが大であった。ここに記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) Morris, Trans. ASCE, Vol. 120, 1955.
- 2) 足立, 土木学会論文報告集, 1964.
- 3) Schlichting : Boundary-Layer Theory.
- 4) Flammer, 他, Proc. ASCE, Vol. 96, HY7, 1970.
- 5) 松井・大同, 第36回年講, 1981.
- 6) 高橋・木村, 他, 第38回年講, 1983.
- 7) 小林, 水工シリーズ, 1979.
- 8) 玉井・浅枝・田中, 水理講演会論文集, 1987.

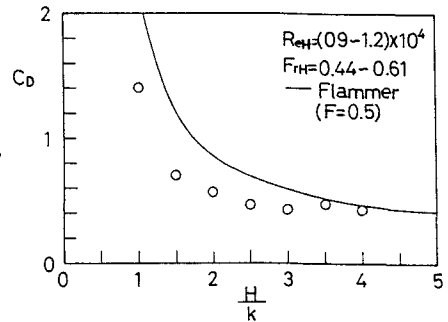


Fig. 1 抗力係数と相対水深との関係

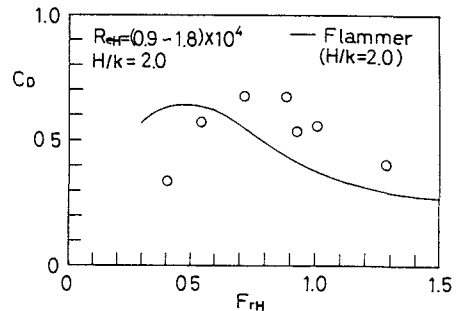


Fig. 2 抗力係数とフルード数との関係

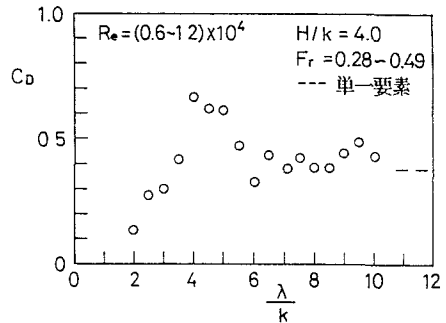


Fig. 3 粗度間隔による抗力係数の変化

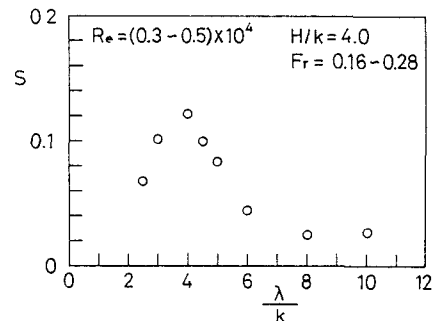


Fig. 4 粗度間隔によるストローハル数の変化