

立命館大学大学院 学生員○田中耕司

立命館大学理工学部 正 員 大同淳之

1.はじめに 岩・玉石および礫で構成されている河床の抵抗は、不規則に突出している岩や玉石によって支配されていると考えられる。このような河床上の抵抗則は、若干研究されてきているが必ずしも十分ではない。そこで、著者は水路床上に単一で存在する粗度背後に生じる剥離領域の平均的な水理量との変化に着目し¹⁾、抗力係数を実験的に定める。さらに、規則性正しく配列する粗度背後の剥離領域の変化と抗力係数について実験的に検討した。

2.実験概要 実験に用いた水路は幅30cm長さ13mの可変式循環長方形断面水路である。単一粗度の抗力係数の測定には、粗度に伝達棒を取り付けバネの伸びで算定した。そして、抗力係数を次式で求めた。

$$F=1/2\rho\alpha^2u_m^2C_Dk \quad (1)$$

ただし、 α は、粗度頂部の流速と平均流速の比で次式で表される²⁾。

$$\alpha = \frac{(1-1/2\xi)/E}{(\ln\xi - \xi^{-1} + 1)/\xi + (2/3\xi^{-2} - \xi^{-1} + 1)/E}, \quad \xi = h/k \quad (2)$$

ここに、式中の E は底面層内で一定化する渦動粘性係数を $\varepsilon = u_* k E k$ と表したときの定数であり、実験的に0.18を与えた。 h は水深、 k は粗度の高さである。また、粗度背後の剥離領域の規模はインクによる局所的な可視化によって求め、さらに、その定義は、流速0の点としている。次に、用いた粗度の形状は、半径2cmの半球である。さらに粗度の配列は、 $\lambda/k=3\sim 20$ の9種類で、格子状に配列させた。

3.単一粗度の抗力係数 先に、著者は粗度背後に生じる剥離領域の規模および抗力係数の変化をフルード数に着目し考察した。それは、Wave Drag といわれる抗力係数が増加する現象におけるフルード数の変化と剥離領域のフルード数による変化の傾向がほぼ同じであるということを指摘した。図1は、既報のことを踏まえ抗力係数を剥離領域の規模で整理したものである。しかしながら、剥離領域と抗力係数に関する理論的な検討は非常に難しく、ここでは相対水深ごとに実験式で与えることにする。図2は、それぞれの傾きを一定として考えて相対水深と C_D 軸の切片(B)との関係を示したものである。図1および図2より抗力係数を剥離領域の規模と相対水深で実験的に表した結果、次式のようにになった。

$$C_D = 0.003 \left(\frac{h}{k} \right)^{-1.29} e^{1.87A}, \quad A = A_s/A_r \quad (1.7 \leq h/k \leq 4.0) \quad (3)$$

ここに、 A_s は、剥離領域の面積と水路床で切られる粗度の面積 $\frac{A_s}{A_r}$ の和、 A_r は流れに対して垂直な面で切られる粗度の面積(水衝面積)である。

4.粗度の相互干渉に関する実験的な考察

4-1剥離領域の規模 着目している粗度が、他の粗度によって剥離領域のみならず粗度背後の流れに影響がでることは従来から指摘されている。そこで、粗度間での相互干渉が生じている場合の抗力係数は、剥離領域の変化の傾向が単一粗度と同様であれば同

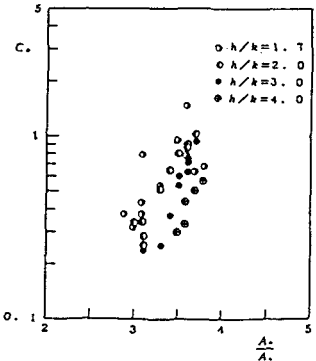


図1 剥離領域の規模と抗力係数

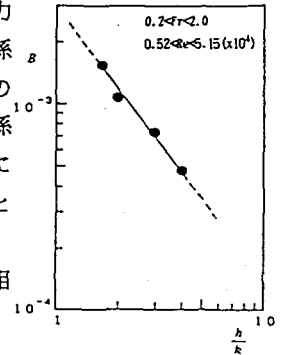


図2 切片Bと相対水深の関係

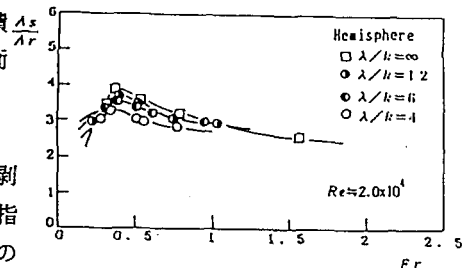


図3 剥離領域の規模とフルード数

一水深の下で剥離領域が短くなる分、減少することが式(3)より考えられる。図3は、剥離領域の規模とフルード数の関係を、図4は、それとレイノルズ数の関係を示したものである。それぞれの図中には、単一粗度のデータも参考のため示している。これらの図より相対粗度間隔が減少すれば剥離領域の規模も減少することがわかる。そして、図3よりフルード数に対する剥離領域の挙動は、単一粗度のそれと類似した傾向を示しており、フルード数が0.3~0.4位で剥離領域の規模が最大になることが示されている。

図4よりレイノルズ数に対する挙動もレイノルズ数の増大に伴って単一粗度と同様に剥離領域が減少する傾向が明かになった。これは、上流側の粗度による流れの影響と下流側の粗度による剥離領域の抑制が流れの中に生じるためと考えられる。さらに、図5は粗度間隔の違いによる剥離領域の規模の変化を示したものである。この図から粗度間隔が減少してくると剥離領域は減少してくることが分かる。そして、 $h/k=4$ で $\lambda/k=3$ のとき剥離領域は下流側の粗度にぶつかり、完全に遮蔽された流れとなり、剥離領域の規模が増加してることがわかる。

4-2 抗力係数 前述の単一粗度の抗力係数の実験式から粗度配列の違いによる抗力係数の変化を考察する。図6は相対水深を一定にしたときのフルード数による変化を示したものである。この図より、単一粗度の抗力係数の挙動は、Flammerの指摘しているようなWave Dragという現象が指摘されているが、粗度の干渉が存在する流れにも同様なことが認められる。しかしながら、 $h/k=4$ の流れはその傾向が顕著ではない。このようなWave Dragは、相対水深が小さいとき粗度背後で大きな波が生じ、この波

による影響が抗力係数を大きくしており、水面の局所的な堰上げに起因しているものと考えられる。

5. 全抵抗に占める形状抵抗の割合 一般に抵抗は線形性を仮定した上で次式で表される。

$$\tau = \tau' + \tau'' = \tau_0 \beta + \tau_s (1 - \beta) \quad (4)$$

ここに、 τ は全抵抗で $\rho g h l e$ で求めた。 τ' および τ_0 は形状抵抗、 τ'' および τ_s は摩擦抵抗を表している。

図7は相対粗度間隔による全抵抗に対する形状抵抗の分担率を示したものである。図より、相対粗度間隔が大きくなるとその割合は減少し、そして、相対粗度間隔が8~10位で形状抵抗が全抵抗に占める割合が50%位になる。このことは、高橋の実験結果とも一致している。さらに、相対水深が小さいとその割合は増加する。これはいわゆる Wave Dragの影響である。

このことは、高橋の実験結果とも一致している。さらに、相対水深が小さいとその割合は増加する。これはいわゆる Wave Dragの影響である。

6. おわりに 本報では、単一粗度背後に生じる剥離領域の規模と相対水深の関係から抗力係数を求める実験式を提案した。そして、粗度を規則正しく配列させ、相互干渉が生じている場合でも単一粗度における剥離領域の挙動および抗力係数を系統的に検討した。その結果、粗度の配列によって変化する抗力係数の算定は、提案された実験式で十分可能であることがわかった。

参考文献 1) 田中ら 年講 1993 2) 田中ら 年講 1992 3) 高橋 水理講演会 1993 4) Flammerら J.H.D 1970

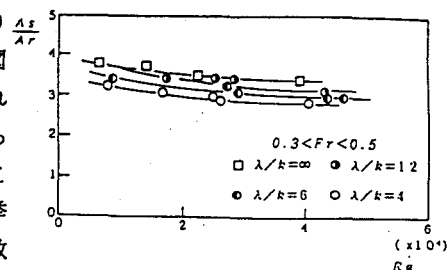


図4 剥離領域の規模とレイノルズ数

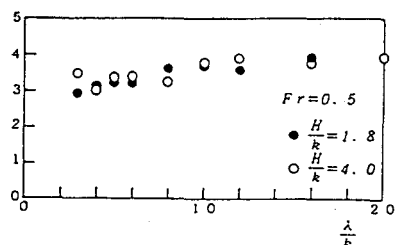


図5 粗度間隔による剥離領域の変化

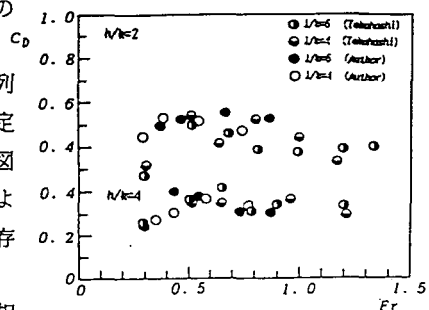


図6 フルード数による抗力係数の変化

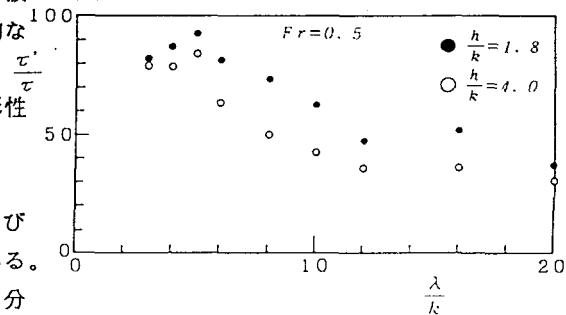


図7 形状抵抗の寄与率