揺動する水草の抵抗特性に関する実験的研究

大阪大学工学部　正　員　　室田　明
大阪大学工学部　正　員　○福原　輝幸
大阪大学大学院　学生員　　村越　一也

1. 研究の動機：最近の乱流の研究により，burstingが乱れの発生に大きな役割を果たすことが知られるようになった。従って，今後工学的にはburstingの制御，すなわち壁面乱流の制御といった問題が重要になると思われる。しかしながらこれに関連する研究はそれほど数多くはなく，例えばHanrattyら[1]，Oldakerら[2]のポリマー溶液中のburstingの時空間構造に関する研究がまずあげられる。一方，Schbauerら[3]，Klebanoffら[4]の振動リボンを用いた境界層遷移の研究も乱れの安定，不安定を論じており，一種の乱流制御に関連した研究と言える。特に，後者はリボンの振動に起因する非線形干渉の制御（助長抑制）に成功し，理論の発展に大きな寄与を果たした。そこで本研究は，乱流制御の試みとして，この振動リボンを用いた研究に注目するとともに，実河川との対応に鑑みて柔軟な（揺動する）粗度を有する開水路流れを扱う。

2. 研究目的：最近しばしば話題になる河川の環境問題に関連し，水草の諸機能を把握することは必須ではあるが，ここではまず，揺動する粗度が流れの抵抗にいかなる形で関与するかを明らかにし，実河川の疎通能に及ぼす水生植物の影響を調べることにする。

3. 粗度要素および実験装置：実験に際して，粗度要素は流れを強制的に変化させることの少ない柔軟性に富んだものにしなければならない。そのため今回は絹糸が使用され，水路上流端の下流4 mの地点から9 mの区間にわたり設置された。その様子を模式的に示したのが図－1である。なお，水路は長さ20m，幅50m，高さ32cmのアクリル樹脂製可変勾配水路である。

4. 抵抗則：水草のある流れ場の抵抗係数fは一般に次のパラメータにより規定される。

$$f = F(Re, k/h, C, \phi, \ell, E, S) \qquad (1)$$

$$f = 8(u_*/u_m)^2 \qquad (u_* = \sqrt{gRS_e}\text{；摩擦速度}) \qquad (2)$$

ここに，Re：レイノルズ数$(=Ru_m/\nu$，R；径深，u_m；断面平均流速），k/h；相対粗度，ϕ：粗度径，ℓ；粗度長，S；路床勾配，S_e；エネルギー勾配，E；剛度

密生度：$C = nA_r/B\cdot L \qquad (A_r = \pi\phi\ell,\ \phi \fallingdotseq 0.2mm,\ \ell = 5cm) \qquad (3)$

なお，本実験では，$C = 1.44,\ 0.72,\ 0.36,\ 0.18$の4種類とする。

fに影響を及ぼすパラメータは多種多様なため，本実験では粗度要素の素材および幾何学的規模を一定（ϕ, ℓ, E＝一定）とする。また，粗度要素の剛性が乏しいために，水流中では，粗度は図－2に示すように揺動し，Reが変化してもkはほぼ一定とみなせる。さらに，h, Sのオーダーはそれぞれ$O(h) = 2\sim4cm$，$O(S) = 10^{-3}$に統一しているために，k/h，Sの影響も無視でき，結局(1)式は次のように簡略化される。

Akira MUROTA, Teruyuki FUKUHARA, Kazuya MURAKOSI

$$f = F(R_e, C) \quad (4)$$

なお，Cは$l\phi$=一定より，粗度の横断(z)方向間隔dにより規定されることになる。特に，Cの大きな（C=1.44, 0.72）のケースでは，burstingの空間スケール以下（$d^+ \equiv du_*/\nu \leqq 100$）となるようにdは選択されており，C=1.44はd=2.5mm，C=0.72はd=5.0mmにそれぞれ対応する。

図-3は(4)式に従って，fとReおよびCの間の関係を示したものであり，次式が成立する。

層流域：$f = a/R_e$　$R_e \leqq 800 \sim 1000$　(5)，乱流域：$f = b/R_e^{1/4}$　$R_e \geqq 2000$　(6)

次に(5),(6)式中の定数a,bと密生度Cとの関係は図-4,図-5に示すごとく次式に従う。

$$a = 24 + 56C \quad (7), \quad b = 0.221 + 0.265\,C^{0.7} \quad (8)$$

以上，本実験に関する抵抗則は(7)式,(8)式をそれぞれ(5)式,(6)式に代入することで，層流域・乱流域で(9)式,(10)式なる抵抗則が導かれる。

$$\text{層流域}: f = \frac{24 + 56C}{R_e} \quad (9), \qquad \text{乱流域}: f = \frac{0.221 + 0.265\,C^{0.7}}{R_e^{1/4}} \quad (10)$$

5. 結論

(1) 柔軟な（揺動する）粗度はfの増大に寄与する。(2) fは密生度に比例して増大し，層流域では(9)式が，乱流域では(10)式がそれぞれ成立する。以上，わずかな密生度であってもfは滑面で(Blasius)の値より増大しており，実河川の疎通能に及ぼす水生植物の影響は大きいものと考えられる。

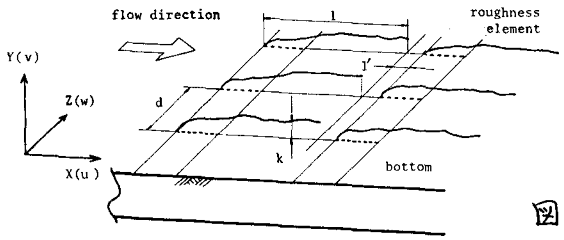

図-1 粗度設置概要図

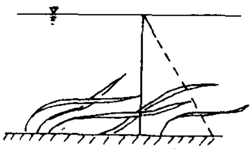

図-2 揺動の状態(日野[5])

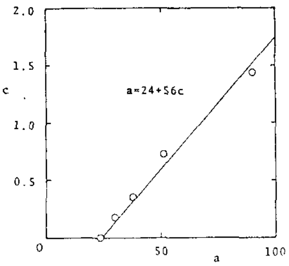

図-4 aとCの関係(層流域)

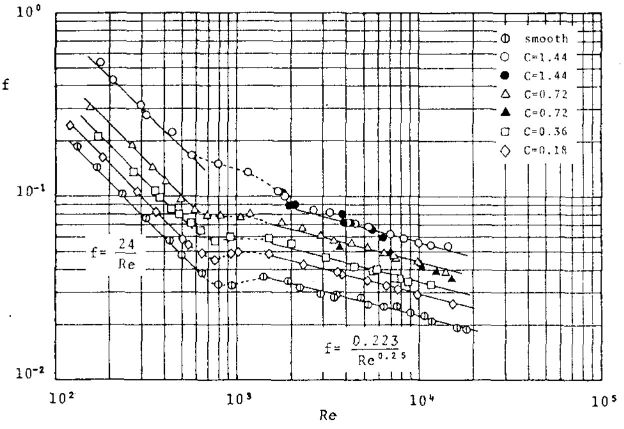

図-3 抵抗則

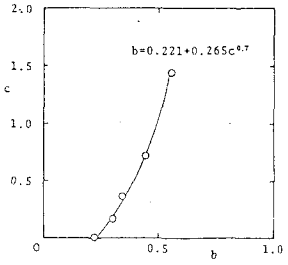

図-5 aとCの関係(乱流域)

参考文献

1) Hanrattyら: The physics of Fluid (1977)
2) Oldakerら; The physics of Fluid (1977)
3) Schbauerら: NACA T.R. 909 (1948)
4) Klebanoffら: J. Fluid Mech. (1962)
5) Hino, M.: Echohydrodynamics Ad. Hydrosci. (1981)