

京都大学 工学部 正員 中川 博次
 京都大学 工学部 正員 鈴木 幸一
 大林組 福本 勝司

1. ま え が き 河川流の減速を目的とした水制は単独ではなく一群によってよりよい効果を与えることができる。ある間隔で連続的に設置された越流型水制群は模倣粗度として流れに抵抗すると考えられる。¹⁾水路全幅に設けられた模倣粗度に関しては、粗度の大きさに比して水深が大きい場合流速分布が対数分布則に従っており、抵抗は相当粗度 k_s の部面として多くの研究がなされてきた。しかし、水深に比して粗度 α が大きい場合、流速分布が変化し河床面の取り方が問題となり、流速の対数分布を前提としている相当粗度という概念で抵抗を表わすことの物理的意味がいまいちとなることが指摘されてきた。実際の水制は水深に比して水制高が大きく、このような場合相当粗度という概念で抵抗を表わすことは適当ではなく、また二次模倣粗度のように水路全幅の粗度を变化させる α と異なって水路の一部の粗度を变化させるため、粗度要素 α ばかりは水制先端付近での混合効果が加わる α で従来の模倣粗度に関する研究の諸結果をそのまま水制に適用することはできない。本報告では、越流型水制が河川で用いられている諸条件の範囲を対象として、水制の抵抗の大きさを抵抗係数 f の評価として実験的に求め、それによる流速低減効果について考察した。

2. 水制域の抵抗係数 f

流れがいくつかの水制を通過して、水制域から主流域への流れがなくなったいわゆる一様流領域での水制域の平均流速を U_m とし、摩擦流速を u_* とすると、 $U_m/u_* = \sqrt{2/f}$ であり、 U_m を支配する要素としては、流体の性質に関する流体密度 ρ 、粘性係数 μ 、水制の幾何要素の $l/B=m$ (l :水制長、 B :川幅)、設置間隔 s 、高さ h_d 、水制の流水方向の傾角、流体の運動に関して水深 h 、エネルギー勾配 i 、重力加速度 g などが考えられる。エネルギー勾配 i のかわりに、 $u_* = \sqrt{g h i}$ および ρ 、 h_d を用いた次元解析を行ない若干の变形を加えると、

$$\frac{U_m}{u_*} = \sqrt{\frac{2}{f}} = F\left(\frac{u_*^2}{g h_d}, \frac{h}{h_d}, \frac{s}{h_d}, \frac{u_* h_d}{\nu}, \frac{l}{h_d}, m\right) \quad (1)$$

と表わされる。ここで、 $u_* h_d / \nu$ は一般に本実験のようにある程度以上大きく Re と影響がないと見なせるし、 l/h_d の効果は l が極端に大きい場合 ($l \ll s$) は s/h_d の効果に含まれる。 s/h_d は抵抗係数に与える水制下流側の渦のスケールと水制の位置と α の関係によってエネルギー損失効果が異なることを意味し、 h/h_d ($\approx h_0/h_d$)、 $u_*^2/g h_d$ ($\approx U_m^2/g h_d$) は移動床河床における河床波の抵抗係数に影響を与える要素として認められているが、水制群が河床表にアナログされる面も多い α で河床波の α と同じ意味をもつ α と考える。 (1) 式の関係は実験的に検討するより示法がない。

$f \sim m$ 図1にみられるように、本実験の場合 $m=0.2$ 前後で f が最大となっており、 $m>0.2$ でやや減少しているが、このことは m が小さい方がよく、橋の排架式 $(h_d/l)^{0.22} m > 2.5$ の範囲で m は小さくすべしである²⁾ということの妥当性を裏付けている。

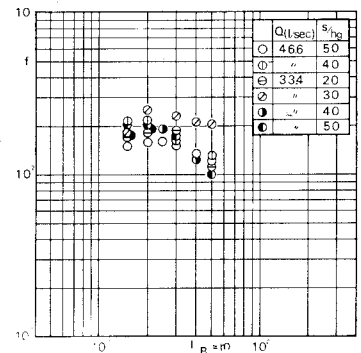


図1 m の抵抗係数 f への効果

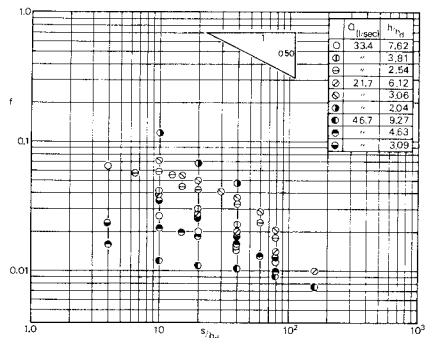


図2 無効設置間隔 s/h_d と抵抗係数 f との関係

$f \sim S/h_d$ 図2にみられるように、 $S/h_d \approx 10 \sim 60$ では、 $f \sim (S/h_d)^{0.5}$ の関係が認められる。 S/h_d は溝型粗度に属し、 S/h_d が小さくなるに従って減少しており、 $S/h_d \approx 10$ で f が最大となるところは従来の浅水模粗度の研究で得られた結果と一致している。

$f \sim h/h_d$ 図3にみられるように、 $h/h_d < 10$ の場合 f は h/h_d に強く影響される。この関係は $f \sim (h/h_d)^{-0.77}$ の関係が認められる。粗度要素に比して水深が大きい場合は当然ながら抵抗は小さいことを示しているが、流速が大きい場合は -0.77 乗から若干ゆるやかに下がっている。

$f \sim U_{mo}/\sqrt{gh_d}$ 図4は f と $U_{mo}/\sqrt{gh_d}$ との関係を示したものであるが、実験範囲で全領域に対して、 $f \sim (U_{mo}/\sqrt{gh_d})^{-1.47}$ の関係が認められる。以上の実験結果を総合すると、

$$f = K (S/h_d)^{-0.5} (h/h_d)^{-0.77} (U_{mo}/\sqrt{gh_d})^{-1.47} \quad (2)$$

として、抵抗係数 f が実験的に与えられる。ここで、 K は実験定数で 0.3 から 0.6 程度の値となり、(2)式の適用範囲は $10 < S/h_d < 60$ 、 $2.5 < h/h_d < 10$ 、 $m (=l/B) < 0.2$ である。

3. 水利域での流速低減効果

図5に示すように水利域の諸量にはサフィックス 2 を主流域のものには1をつけ、水利がない場合のものには0をつける。平均量には m をつける。同様領域に対しては、

$$h_1 = h_2 = h_0 = f_0 \frac{U_{mo}^2}{2gh_0} \quad \text{および} \quad h_1 \neq h_2 = h \quad \text{であることと}$$

考慮すると、 $U_{m1} = U_{m2} \sqrt{f_2/f_1}$ が得られ、連続式 $U_{m1} h_1 (1-m) + U_{m2} h_2 m = U_{m0} h_0$ を用いると、

$$\frac{U_{m2}}{U_{m0}} = \left[\frac{1}{\frac{f_2}{f_0} \sqrt{\frac{f_2}{f_1}} (1-m) + m} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

となり、水利によって最終的に水利がない場合と比して流速がどれくらい減少するが求められることになる。(3)式において $f_1 \neq f_0$ とし、 f_2 は(2)式によって計算される。図2は $m = 0.2$ 、 $h_0 = 7.62 \text{ cm}$ 、 $U_{m0} = 44.3 \text{ cm/s}$ で $h/h_d = 2.54$ 、 3.81 、 7.62 の場合の U_{m1}/U_{m0} と S/h_d との関係を実験的に求めたものであり、曲線は(3)式である。(3)式の定数 K は 0.5 として用いる。この例では、 $h/h_d = 2.54$ 、 3.81 のときはほぼ実験値と(3)式の値は一致している。 $h/h_d = 7.62$ の場合は(2)式で求めらる f_2 が減少に評価されておらず、 $K = 0.6$ とすると修正されることを示すと、実験的に求めた定数 K の範囲が 0.3 ~ 0.6 の値であり、このうち減少率に与える影響が問題であるが、(2)式で求めた f を用いた(3)式はほぼ現象を説明していると考えられる。

4. おとがき 本報告では特に実際の水利を想定して水利域の抵抗係数を実験によって決定したので提案した抵抗係数の適用範囲はごく限られたものである。水利の主目的の一つである流速低減効果について求めた抵抗係数を用いて現象をよく説明することになったが、実際の水利の設計においては最終的な流速低減率と同様、遷移領域の流水の特性も考える必要がある。

<参考文献> 1) 池田 訓、菊田 敏、土屋 三郎：水利に関する研究、土研報告 1959

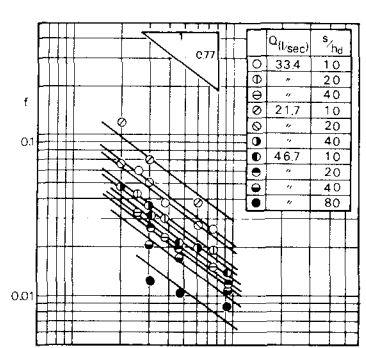


図3 無次元水深 h/h_d と抵抗係数 f の関係

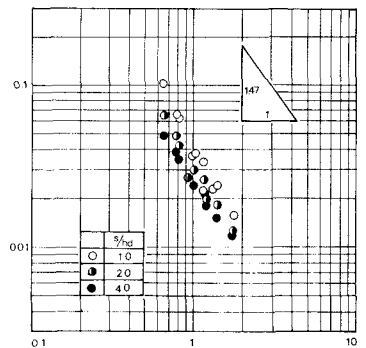


図4 $U_{mo}/\sqrt{gh_d}$ と抵抗係数 f の関係

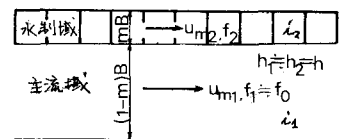


図5 記号図

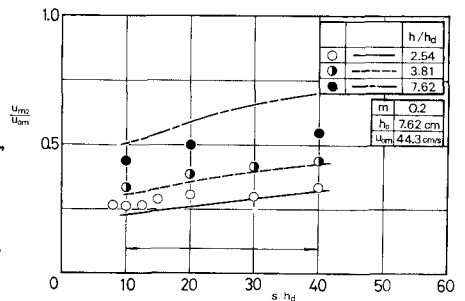


図6 流速低減率への S/h_d 、 h/h_d の効果