

京大 防災研究所 正 芦田和男
舞鶴工業高等専門学校 正 田中祐一郎
京大 大学院 学 木村昌弘

1. はしがき：本研究は移動床実験により形成された砂連を固定したものと、トタン板による一次元的な砂連模型（波高2.8 cm、波長90 cm $d_{50}=0.9$ mmの砂を付着）を用い、その上の流速分布の特長等に関して若干の実験的考察を行ない、その結果をもとにしたモデルによる抵抗算定式を導き、その適用性について若干の検討を行なったものである。

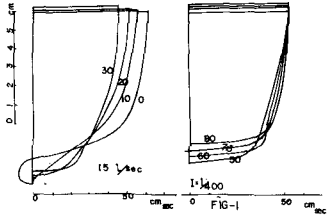


図-1 流速分布図

2. 砂連上の流速分布：図-1は砂連の一波長間における流速分布の縦断的变化を示した一例である。測定番号に図-4に示すものに対応する。クレストで生じた剥離域の影響による流速分布の歪が徐々に回復して矢張り様子を見ることができる。図-2は河床面上2 mmの高さの流速を *reattachment point* を基準とした河床高との関連で示したもので、 $U \propto Z$ なる関係が認められる。これは Raudkivi が用いた $\tau \propto Z$ (τ : 底面剪断力) の仮定の妥当性を示している。図-3は各点での流速分布を半対数紙上に点描したもので、図に見られるように折曲点が存在する。断面5 (クレストから5 cm下流で剥離域のほぼ末端) における流速分布は2つの領域A (上部) とB (下部) とに分けられるが、断面10~60にかけては河床面近くから新たな領域Cが発生する。断面50より下流では領域Aは消滅し、断面80に至り領域BとCは統合され、平滑面上の流速分布のパターンとなる。領域A, B, Cはそれぞれ、剥離の影響の及ばない領域、剥離による渦の拡散域および *reattachment point* から下流で壁面の存在により新たに境界層の発達する領域を示しているものと思われる。図-4は各領域の境界線(折曲点)を示したもので、Allen が砂連の前面で生じる流れの実験から得た拡散角度とほぼ一致している。また Raudkivi も砂連上の流れと段落ち部の流れの実験の対比より両者の類似性を指摘しており、剥離域の形成とそれによる渦の拡散等この近傍の流れは共に *half-jet* として同様のものと考えよう。

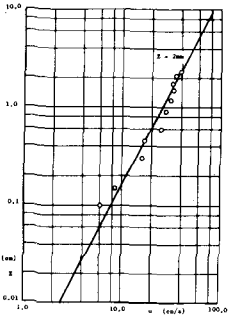


図-2 河床近傍流速図

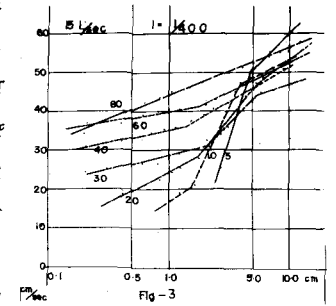


図-3 対数分布図

3. 抵抗係数の算定法：抵抗係数の算定は相当粗度 k_s で取り扱う方法と形状抵抗と摩擦

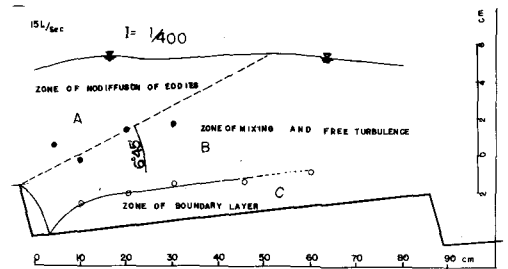
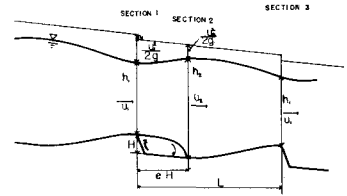


図-4 領域区分図 (記号説明図)

摩擦抵抗の二つに分離する方法とがある。以下、後者の方法によって若干の検討を行なう。

(A) 形状抵抗 前述のように砂漣の上の流れは段落ち流れと考えてよいので、段落ち流れでの損失水頭を求める方法を用いる。図-5のように記号をとり、1~2断面間での運動量およびエネルギーの保存を考えると、



$$W(h_1 + H)^2 + 2PB_1 U_1^2 h_1 = W h_2^2 + 2PB_2 U_2^2 h_2 \quad (1)$$

$$h_e = (H + h_1 + \alpha_1 U_1^2 / 2g) - (h_2 + \alpha_2 U_2^2 / 2g) \quad (2)$$

連続式は $h_1 U_1 = h_2 U_2 = h_m U_m = Q$ (3)

$$h_m = (h_1 + h_2) / 2, \quad h_1 / h_m = \eta, \quad H / h_m = K \quad (4)$$

とあき、(3)(4)式を(1)式に代入すると次のようになる。

$$2(2+K)\eta^3 + (K^2 - 4K - 12)\eta^2 + 2[4 - K^2 + F_m^2(\beta_1 + \beta_2)]\eta - 4\beta_1 F_m^2 = 0 \quad (5)$$

$$= \therefore \left. \begin{aligned} a &= \frac{K^2 - 4K - 12}{2(2+K)}, \quad b = \frac{4 - K^2 + F_m^2(\beta_1 + \beta_2)}{2+K}, \quad c = -\frac{2\beta_1 F_m^2}{2+K} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$p = \frac{a^2}{3} - b, \quad q = \frac{a^3}{27} - \frac{ab}{3} + c$$

とあくと、(5)式の根として η は次のように求まる。

図-5. 記号説明図

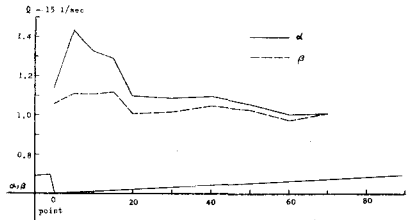


図-6. α, β の場所的变化

$$\eta_1 = -\frac{a}{3} + \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \frac{\varphi}{3}, \quad \eta_2 = -\frac{a}{3} + \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left(\frac{\varphi}{3} + \frac{2\pi}{3} \right), \quad \eta_3 = -\frac{a}{3} + \sqrt{\frac{p}{3}} \cos \left(\frac{\varphi}{3} + \frac{4\pi}{3} \right) \quad (7)$$

$$= \therefore \cos \varphi = \frac{1}{2} \eta / \sqrt{\frac{p}{3}} \quad (8)$$

(3)(4)式を(2)式に代入すると次式を得る。

$$h_e = \frac{U_m^2}{2g} \left\{ \frac{2}{F_m^2} (K - 2 + 2\eta) + \frac{\alpha_1}{\eta^2} - \frac{\alpha_2}{(2-\eta)^2} \right\} = \frac{U_m^2}{2g} \zeta(F_m, K) \quad (9)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ はそれぞれ1, 2断面におけるエネルギーおよび運動量補正係数であり、実測による縦断変化を図-6に示す。この結果 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.1, \beta_1 = \beta_2 = 1.05$ を以下に使う。

(b) 摩擦抵抗 図-2によると ε_0 は Z に比例する。 L が Z は ε 方向に直線的に増加することになるが、これは模型として三角形状を用いたことによる。図-4によれば河床面の境界層厚はreattachment pointから急激に増加し、やがて一定となるようで、この付近ではほぼ対数則が成立つ。そこで摩擦抵抗としては平滑河床の対数則を用いることにすると、

$$\psi = U_m / U_* = 6.0 + 5.75 \log hm / d_m \quad (10)$$

剥離域の長さ l_p を $l_p = \varepsilon \cdot H$ (11)

とすると、 $h_s = i + (L - l_p) = \frac{L - \varepsilon H}{g h_m} \left(\frac{U_m^2}{6.0 + 5.75 \log hm / d_m} \right)^2$ (12)

となる、 $i_e = (h_e + h_f) / L$ (13)

そこで $U_m / U_* = \psi$ とすると $i_e = (U_m^2 / g h) \cdot (1 / \psi^2)$ (14)

だから $1 / \psi_e^2 = 1 / \psi_i^2 + 1 / \psi_f^2$ (15)

となる。ここに $1 / \psi_e^2 = (5/2) (h_m / L)$ (16)

$$1 / \psi_f^2 = (1 - \varepsilon H / L) / (6.0 + 5.75 \log hm / d_m)^2 \quad (17)$$

図-7は(15)式による計算値と実測値を比較したものである。図-7 ψ の計算と実測の比較はお砂漣の形成機構と形状特性(K の予知)については別途に研究する必要がある。

