

水制の水理機能に関する実験

徳島大学工学部 岡部 健士

1. まえがき

水制には多種多様な形式があるが、本文では、護岸工の一部として施工されることが多い越流型不透過連続水制をとりあげ、その流速低減機能の評価法を検討するために行った基礎的水理実験の結果について報告する。

越流型連続水制の流速低減効果に対しては、不等流計算法を拡張した解析法がすでに提案されている。^{(1),(2)} ただし、その基礎式は微分形式のエネルギー保存式であって、不連続性の著しい水制周辺の流れに適合するか否かは疑問である。さらに、従来の解析では、水制域と主流域間の水交換あるいは両領域の接合面における内部摩擦力の効果などがほとんど考慮されていない。このように基礎式の単純化を行った理由は、解析解を導きたいことにあると推察されるが、このために評価法の実用性や信頼性がかなり低下したように思われる。そこで本研究では、水制一本一本につき、その抵抗の機構を運動量保存則に基づいて表示する方法を検討した。

2. 実験概要

実験水路は、幅 $B = 0.6\text{ m}$ 、長さ $L = 14.5\text{ m}$ 、路床勾配 $i = 1/800$ の長方形断面水路である。この水路の中間部（上流端から $6\text{ m} \sim 10.8\text{ m}$ ）を水制区間とし、片側のみの側壁沿いに図-1に示すような連続水制模型を設置した。水制の単体は $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ の正方形断面、長さ $l = 10\text{ cm}$ の角材で、側壁に対して直角に、等間隔で配列した。間隔 s は、 30 cm (CASE 1) と 20 cm (CASE 2) の2種に変化させた。通水流量は CASE 1, 2 ともに 10.0 l/s とし、水路下流端では自由落下流出させる条件下の流れにおいて、

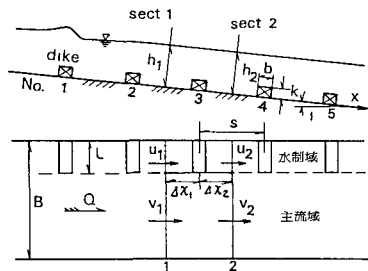


図-1 水制を設置した河道の模式図

i) 水面形状、ii) 横断面内の流速分布、iii) 図-2の検査面上の流向 θ と流速 V 、iv) 水制の形状抗力などを実測した。

3. 流れの運動量保存式

図-1の水制の1本に着目し、その上、下流側 $\Delta x_1, \Delta x_2$ の位置に検査断面 sect.1 および sect.2 をおく。横断方向には、全水制の先端を結ぶ鉛直面で流れを2分し、水制のある部分を水制域、残りを主流域と定義し、両域の断面平均流速をそれぞれ u および v で表わす。ただし、水深 h は横断方向に変化しないものとする。

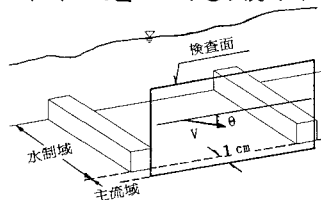


図-2 参考図

さて、sect.1, 2 で切り取られる水制域と主流域を control volume として流れの運動量収支を表示すると、以下のようなものである。すなわち、sect.1, 2 における物理量を添字 1, 2 で区別することにして、

[水制域]

$$0 = \frac{(\beta_1 u_1^2 h_1 - \beta_2 u_2^2 h_2)}{M_{cd}} + \frac{\frac{1}{2} g (h_1^2 - h_2^2)}{P_d} + \frac{g i (\Delta x_1 h_1 + \Delta x_2 h_2 - kb)}{G_d} + \frac{\frac{\tau_i}{f} \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \frac{s}{l}}{S_{id}} - \frac{V_e (u_1 h_1 - u_2 h_2)}{M_{ed}} - \frac{\frac{1}{2} C_D k_e U_D^2}{F_d} - \frac{\frac{\tau_{wm} A_d}{f(B-l)}}{S_{wd}} \quad \dots (1)$$

[主流域]

$$0 = \frac{(v_1^2 h_1 - v_2^2 h_2)}{M_{cm}} + \frac{\frac{1}{2} g (h_1^2 - h_2^2)}{P_m} + \frac{g i (\Delta x_1 h_1 + \Delta x_2 h_2)}{G_m} - \frac{\frac{\tau_i}{f} \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \frac{s}{B-l}}{S_{im}} - \frac{V_e (v_1 h_1 - v_2 h_2)}{M_{em}} - \frac{\frac{\tau_{wm} A_m}{f(B-l)}}{S_{wm}} \quad \dots (2)$$

ここに、 M , P , G , S_i , M_e , F , S_w はそれぞれ運動量輸送量の差、圧力、重力、水制域と主流域の interface における内部摩擦力、二領域間の運動量交換、形状抗力、壁面摩擦力の寄与分を表わし、添字 d , m は水制域か主流域かの区別のために付したものである。また、各寄与分の表現式において、 g : 重力加速度、 τ_i : interface における平均内部摩擦応力、 V_e : 運動量交換の代表流速、 C_D , k_e , U_D : それぞれ形状抗力の係数、有効高さ、代表流速、

τ_w , A : それぞれ平均壁面摩擦応力, その作用面積 (添字 d, m の意味は上述のとおり), ρ : 水の密度である。
 なお, 運動量の補正係数 β と k_e は水割の wake の縦断形状に支配されるものとすれば, 図-3 を参考にして,

$$\bar{x} \leq \alpha k; \quad \beta = A / \{A - k\sqrt{1 - \bar{x}/(\alpha k)}\} \cdots (3a), \quad \bar{x} > \alpha k; \quad \beta = 1 \cdots (3b) \quad X = (d/k)y^2$$

$$S \leq \alpha k; \quad k_e = k\{1 - \sqrt{1 - S/(\alpha k)}\} \cdots (4a), \quad S > \alpha k; \quad k_e = k \cdots (4b)$$

のように定式化される³⁾。ここに, α : wake の長さ和水割高 k との比である。

4. 実験資料に基づく基礎式の検討

(1), (2) 式に実用性を持たせるには, S_i , M_e , F , S_w の表示をより具体化する

必要がある。また, 両式の簡略化を図ることも有意義である。以下においては, 図-3 wake のモデルとその遮蔽効果

(1) 項別比較: 図-4 は, CASE 2 について (1) 式の各項の比較を行ったものである。作図に当たり, S_w は Manning 式を用いて推算した。 M_e は, 図-2 の検査面で計測した流向, 流速資料より近似的に推算した。 M_e , P , G , F_d は直接計測あるいは u, v , ρ の計測値より定義に従って算出した。最後に, 以上の諸量を (1) 式に代入し, その残差を S_i の値とした。さて, 水割区間上下流部では M_e , S_i , F_d , M_e などが主要項であるが, 中間部平衡領域では G , S_i , F_d が重要である。そして結局, (1) 式をさらに簡略化することは少し無理のように思われる。

(2) F_d について: これに関しては C_D と U_0 の取り扱い方が問題となる。その目安を得るために, U_0 の定義の仕方を変えて C_D を逆算した結果を図-5 に示す。 U_0 として水割直上の断面平均流速を用いると, CASE 1 の C_D は場所的变化が小さく, 値も従来より角柱に対して求められているものに近い。一方, CASE 2 では, 水割区間上流部で C_D が系統的变化を示す。 C_D と U_0 の問題を解決するには, さらに多くの実測資料を集積する必要がある。

(3) V_e について: V_e を, その定義式に従って逆算した結果とこれに近似値となることが予想された種々の流速とを対比してみると図-6 のようである。ここに, $V_D = (u_1 + u_2) \frac{h_1 + h_2}{2} / \{(h_1 + h_2)/2 - k\}$, $V_H = (V_1 + V_2)/2$, $V_{DH} = (U_1 + U_2 + V_1 + V_2)/4$ であり, u_1 と u_2 はそれぞれ, sect. 1, 2 と interface の交線上 2cm と 4cm の点における局所流速の平均値である。 V_e の値の一部に不合理なものがあるが, V_{DH} がおおむね V_e に一致するようである。

(4) f_L について: 自由乱流や 2 層密度流の理論に習って⁴⁾, f_L を (5) 式のように表わしてみた。

$$f_L = \rho f_d \left\{ \frac{V_1 + V_2}{2} - \frac{U_1 + U_2}{2} \right\}^2 \cdots (5)$$

ここに, f_d は摩擦損失係数であって, これを実験資料から逆算した結果を図-7 に示す。描点のバラツキがかなり著しく, また, CASE 1 では系統的变化する傾向もあるが, 平均的には $f_L \approx 0.04$ 程度となっている。

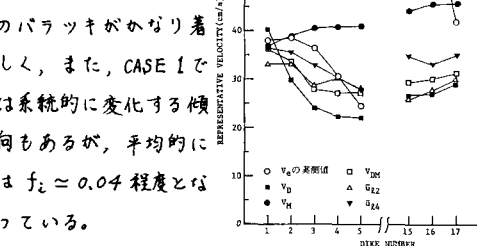


図-6 V_e の表示法に関する検討図

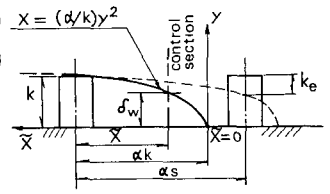


図-3 wake のモデルとその遮蔽効果

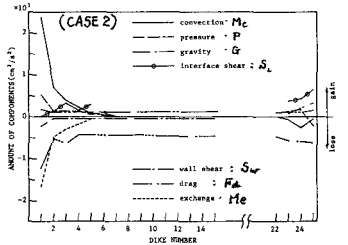


図-4 (1) 式の項別比較の例

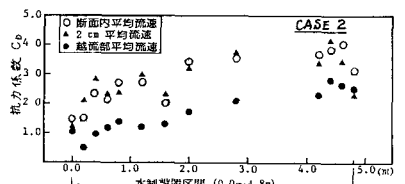
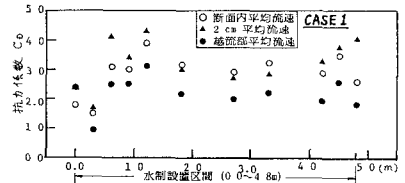


図-5 C_D の逆算結果

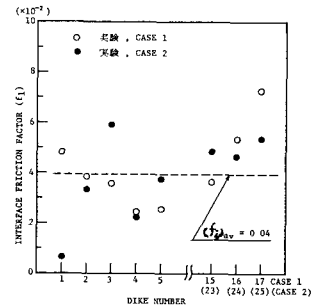


図-7 f_L の逆算結果

<参考文献>

- 1) 秋草ほか: 水割に関する研究, 土研報告, 1960.
- 2) 岸: 水理学演習, (II), 学敵社, 1968.
- 3) 阿部: 水割と設置した河道の不等流計算について, 第40回年講, II-153, 1985.
- 4) Schlichting: Boundary Layer Theory, 6th Ed., Chp. XXIV, 1968.