

1. まえがき

水制は古来より盛んに行われている工法であるが、その機能を評価する水理学的手法の進歩はかたより遅れているようであって、最も基本的な問題の1つである不等流計算も満足にはなし得ない現状である。これに関しては、秋草¹⁾および岸²⁾らの先駆的研究があるものの、後述のように基礎式が簡略すぎるとか、水深の計算法が得られていないなど、今後に残された課題も多い。本報告では、不透過・越流型水制をとりあげ、各水制が流れに及ぼす作用を運動量保存則に基づいて評価してゆく形式の新たな不等流計算モデルを検討する。

2. 流れの表示式

図-1に示すような一定幅 B 、勾配 i の長方形断面河道があり、その片側側岸に沿って直角水制群を設置した場合について考える。各水制の断面は高さ k 、幅 b の長方形、長さは l であり、一定の間隔 s で合計 N 本あるものとする。このような河道について計算を求められる水理量は多様であるが、本文では、水制域と主流域の水深 h_d と h_m ならびに両領域の断面平均流速 u と v に着目する。ところで、以上のような問題の解析にあたり従来用いられた基礎式は下記の(1)~(4)式の様である。^{1), 2)}

$$-i + \frac{\partial h_d}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{2g} \right) + f_d \cdot \frac{U^2}{2g h_d} = 0 \quad (1)$$

$$-i + \frac{\partial h_m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V^2}{2g} \right) + f_m \cdot \frac{V^2}{2g h_m} = 0 \quad (2)$$

$$Q = u \cdot l \cdot h_d + v \cdot (B - l) h_m \quad (3)$$

$$h_d = h_m \quad (4)$$

ここに、 f_d, f_m : 水制域、主流域の抵抗係数、 Q : 全幅流量、 g : 重力の加速度、 x : 河床に沿う流れ方向の座標。なお、(4)式は実験による観測結果に基づいて与えられた。しかしながら、(1), (2)式では2つの領域の Energy 交換が考慮されていない。また、水制域における抵抗の表示が形状抵抗と摩擦抵抗をひとまとめにした大雑把なものである。さらに、水制のスケールの大きさを考えれば、流下に伴う Energy 損失過程を連続的に取扱うことは多少無理ではないかと思われる。以上のような問題点を回避するには、水制一本一本に関する運動量保存則を基礎式とするのが得策であろう。

さて、ある1本の水制の上、下流側 $\Delta x_1, \Delta x_2$ に位置する横断面および水制域と主流域の境界面を検査面として、両領域の運動量収支を記述するとつぎのようになる。すなわち、検査面1, 2 (図-1参照)の水理量を添字1, 2で区別するとともに、(4)式を採用して $h_d = h_m = h$ (5) のようにまとめると、

$$(\beta_1 u_1^2 h_1 - \beta_2 u_2^2 h_2) - V_e (u_1 h_1 - u_2 h_2) + \frac{1}{2} g (h_1^2 - h_2^2) - \frac{\tau_d A_d}{\rho l} + g i (\Delta x_1 h_1 + \Delta x_2 h_2 - k b) - \frac{1}{2} C_D k e U_D^2 = 0 \quad (6)$$

$$(u_1^2 h_1 - u_2^2 h_2) - V_e (u_1 h_1 - u_2 h_2) + \frac{1}{2} g (h_1^2 - h_2^2) - \frac{\tau_m A_m}{\rho (B - l)} + g i (\Delta x_1 h_1 + \Delta x_2 h_2) = 0 \quad (7)$$

ここに、 β : 水制から発生する wake による流積の減少を補正する係数、 V_e : 運動量交換の代表流速、 τ_d, τ_m : 水制域、主流域の壁面平均剪断応力、 A_d, A_m : τ_d, τ_m の作用面積、 C_D : 水制の形状抗力係数、 k_e : 形状抗力の有効高さ、 U_D : 形状抗力の代表流速、 ρ : 水の密度である。なお、 Δx_1 と Δx_2 は任意でよいが、水制が最上流あるいは最下流のものでない場合には、 $\Delta x_1 = \Delta x_2 = s/2$ とするのがよからう。つぎに、(6), (7)式の中の定量化表示が不十分な諸量について考える。まず、 β は、流れを横断する検査面の位置における wake の厚さを δ_w とすれば、近似的に

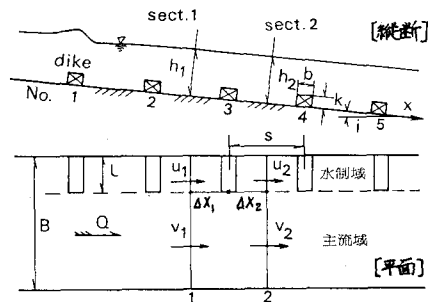


図-1 水制設置河道の模式図

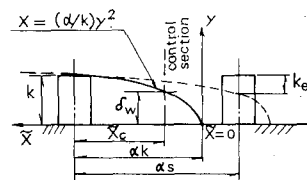


図-2 wake の縦断形状

次式のように表される。 $\beta = \beta / (\beta - \delta_w)$ (8)

そして、 δ_w は、wakeの外縁の形状を図-2のように2次曲線と仮定すれば、(9)または(10)式のように書ける。

$$\tilde{x}_c \leq \alpha k \text{ の場合； } \delta_w = k\sqrt{1 - \tilde{x}_c/\alpha k} \quad (9), \quad \tilde{x}_c > \alpha k \text{ の場合； } \delta_w = 0 \quad (10)$$

ここに、 $\tilde{x}_c$ ：検査面とその直上流の水制の中心との距離、 α ：wakの長さ和水制高さの比で、5~8程度と考えられる。また、図-2に併記しているように、ある水制が直上流の水制のwakeの中にはいれれば遮蔽効果を受けるが、その高さ(遮蔽高)も δ_w によって決まると考えると、 k_e の表示はつぎようになる。

$$s \leq \alpha k \text{ の場合； } k_e = k(1 - \sqrt{1 - s/\alpha k}) \quad (11), \quad s > \alpha k \text{ の場合； } k_e = k \quad (12)$$

このほか、摩擦抵抗の項に含まれる τ_d 、 τ_m は従来より種々提案されている抵抗則を利用して、また、 A_d 、 A_m も河道と水制群の幾何的諸元が与えられれば容易に定式化できるが、本文では省略する。残った V_e と U_0 の取扱いは(6)、(7)式の有用性を大きく左右する重要な問題であるが、とくにこれらについては現象そのものに関する知見が十分ではない。そこで、両者に関する考察・検討の参考資料を得るために、図-1におけるのと同様な条件で水理実験を行った³⁾。以下においては、実験の詳細は省き、 V_e と U_0 に関する検討結果だけを記述する。

図-3は、 $b = k = 2.0\text{cm}$ 、 $l = 10\text{cm}$ の水制模型を $s = 20\text{cm}$ および 30cm で設置した実験で得られた水制域と主流域の境界面内の流速ベクトル分布図である。2領域間の水交換は水制の近傍で卓越して起っていることがわかる。また、交換される流体塊の流速は、おおむね水制直上の流れの平均流速に匹敵することが認められた。以上のことより、 V_e の近似的な表示式として次式が考えられる。

$$V_e = \frac{(u_1 \bar{u}_1 + u_2 \bar{u}_2)/2}{(\bar{u}_1 + \bar{u}_2)/2 - k} \quad (13)$$

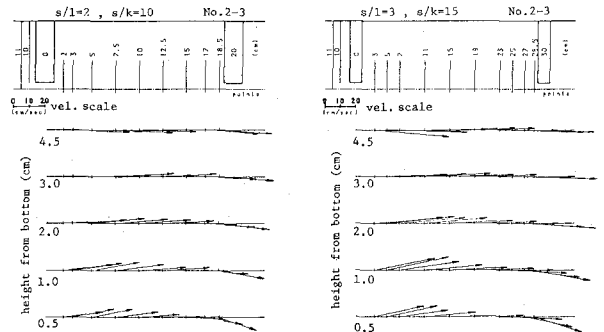


図-3 主流域と水制域の水交換状況

一方、 U_0 の表示に関しては、実測値に基づき、(6)式より逆算される C_D の性質に着目して検討を進めた。なお、(6)式の摩擦項の評価にはManning式を用いた。ここにおいて、水理条件や水制の幾何条件によらず C_D の逆算値が一定値とみなせるような U_0 の表示が見出せば申し分なかったが、これは果せなかった。ただし、 U_0 を

$$U_0 = u_1 \bar{u}_1 / \{ \bar{u}_1 - (k - k_e) \} \quad (14)$$

のように表示する場合、 C_D は設置間隔 s の影響を受けなくなり、図-4のようにかなりまとまった傾向を示す。

最後に、今後の研究の参考にするために、(6)式の成分別オーダー比較を行ったものの一例を図-5に示しておく。本図を見る限り、(6)式を取扱いが容易になるよう簡略化することはかなり困難なように思われる。

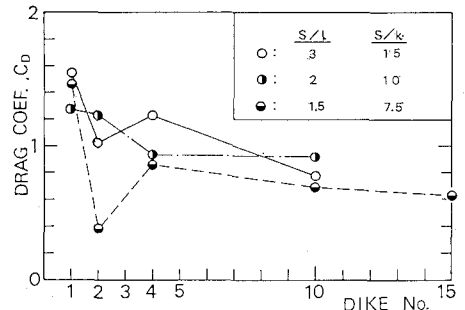


図-4 (14)式を用いた C_D の逆算値

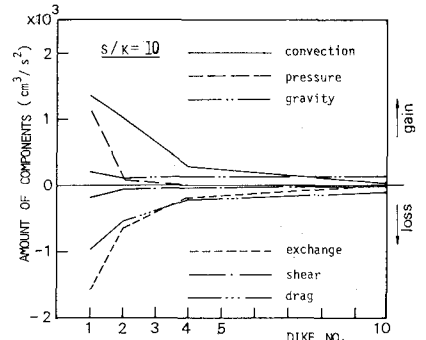


図-5 (6)式の成分別オーダー比較

[参考文献]

- 1) 秋葉・吉川ほか：水制に関する研究，土木研究所報告，1960。
- 2) 岸：水理学演習(2)，学献社，1970。
- 3) 岡部：不透過越流水制周辺の流れの特性，中四支部研究発表会，1985。