

II-231

斜交座標系を用いた開水路流れの水深積分モデルと河岸侵食現象への適用

中部電力株式会社 正会員 木村 敏章
京都大学工学研究科 正会員 細田 尚

1. はじめに 本研究では、任意断面の開水路流れの壁面せん断応力分布を、簡単かつ精度よく再現するために、斜交座標系を用いた水深積分モデルを示した。さらに、台形断面と円形断面を用いた従来の実験結果と計算結果を比較することによりモデルを検証した。次に、モデルを用いて計算した壁面せん断応力を用いて、河岸侵食現象を予測する方法を示すとともに、実験結果と比較・検討した。

2. 斜交座標系での水深積分モデルの基礎式 図-1 に用いた斜交座標系を示す。本研究では流れ方向に変化のない状態を考えているため、流れ方向の運動方程式のみを用いる。

$$\frac{\partial}{\partial t} U \int_{\xi_b}^{\xi_s} B_1 d\xi = g \sin \Phi \int_{\xi_b}^{\xi_s} B_1 d\xi + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[D \left\{ 1 + \eta^2 \left(\frac{dB_1}{dz} \right)^2 \right\} \frac{\partial U}{\partial \eta} \int_{\xi_b}^{\xi_s} \frac{1}{B_1} d\xi \right] - B_{1b} \sqrt{\left(\frac{1}{B_{1b}} \frac{\partial \xi_b}{\partial \eta} \right)^2 + \left(1 + \frac{\eta}{B_{1b}} \frac{dB_1}{dz} \frac{\partial \xi_b}{\partial \eta} \right)^2} U_*^2 \quad (1)$$

ここに、 Φ ：水路床勾配、 U_* ：局所的摩擦速度。

摩擦速度は対数則を用いて評価した。D は渦動粘性係数であり、次式で評価した。

$$D = \alpha l U_* \cdot f \left(\frac{l}{l_c} \right), \quad l: \text{路床から水面までの長さ} \quad (2)$$

ここに、 α ：定数、 $f \left(\frac{l}{l_c} \right)$ ：水深が斜面上方に向かって 0 になることによる乱れの減衰効果を考慮するための関数で、斜面上で $f = l/l_c$ 、底面上で $f = 1$ とした。 l_c はコーナーでの l の値。

3. 従来の実験結果との比較 富永(1987)が行った、台形断面開水路流の実験条件に合わせて数値解析を行い、計算結果と実験結果を比較・検討した。TS01 (斜面傾斜角 44°) の実験条件に合わせた計算結果を図-2 に示す。斜交座標角は 40° として、渦動粘性係数の係数 α を 0.1, 0.2, 0.3 と変化させた結果を図-2 (a) に示す。また、 $\alpha = 0.1$ として斜交座標角を $20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ と変化させた結果を図-2 (b) に示す。この図をみると、計算結果は実験結果にほぼ適合している。

4. 数値解析モデルの応用 本研究のモデルを用いて、非粘性性流路の河岸侵食現象の再現を試みた。

(1) 側岸侵食の基礎式 図-3 を参照して、流路横断面の路床・側壁を構成する境界線に沿う曲線座標を p 軸(座標を曲線の長さとする)、 p 軸に局所的に直交する直線を ζ 軸とする。

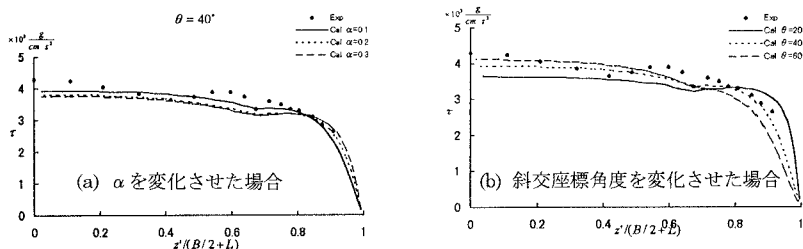


図-2 台形断面水路の壁面せん断応力の計算結果

キーワード：河岸侵食，開水路流れ，斜交座標系，水深積分モデル

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 (Tel.075-753-5075, Fax.075-761-0646)

このとき、 dt 時間で生じる p 軸の ζ 方向の移動距離は次式で表される。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{(1-n_e)} \frac{\partial q_p}{\partial p} \quad (3)$$

ここに、 q_p ：単位幅当りの流砂量ベクトルの p 軸方向成分、 n_e ：砂礫の空隙率。

q_p は流れ方向の流砂量 q_x を用いて、長谷川の式で評価する。

$$q_p = \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu \mu_s \tau_*}} \tan \phi \cdot q_x \quad (4)$$

ここに、 τ_* ：無次元掃流力、 τ_{*c} ：限界掃流力、 $\tan \phi$ ：路床の横断勾配、 μ_s ：静摩擦係数、 μ ：動摩擦係数。

q_x は Meyer-Peter-Muller の公式を用いる。

$$\frac{q_x}{\sqrt{s g d^3}} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{1.5}, \quad s \equiv \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \quad (5)$$

ここに、 ρ_s ：砂粒の密度、 ρ ：流体の密度。

斜面上の限界掃流力は Lane(1955)の式を用いて評価する。

$$\frac{\tau_{*c}}{\tau_{*c_0}} = \cos \phi \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \phi_0}} \quad (6)$$

ここに、 τ_{*c_0} ： $\phi=0$ のときの限界掃流力、 ϕ ：静止摩擦角。

また、長谷川が用いた崩落砂の堆積形状の仮定を緩用した方法で、水際の移動を取り扱う。(図-4) (2)従来の実験との比較 池田の実験条件(Run17)に合せて計算を行った。侵食の初期段階では図-5のような形状となる。また、図-6、図-7に $\alpha=0.1$ 、 $\theta=20^\circ, 40^\circ$ として計算した侵食過程と最終形状を示す。前に示したように、側壁のせん断応力は斜交座標角が大きくなるに連れて小さく計算されるため、角度が大きい方が侵食量が小さくなっている。

5.おわりに 斜交座標系を用いた水深積分モデルを用いた任意断面開水路の壁面せん断応力の予測法と河岸侵食への応用をしめた。今後、実河川の条件などいろいろな条件での解析を行ってきたい。

[参考文献]

Ikeda, S.: J. Hydraulics Div., ASCE, Vol.107, No.4, pp.389-406, 1989.

富永晃宏：京都大学学位論文，1987。

長谷川和義：北海道大学学位論文，1983。

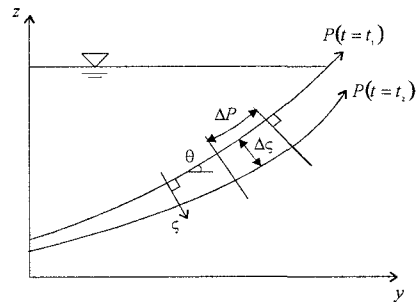


図-3 河岸侵食計算に用いた座標系

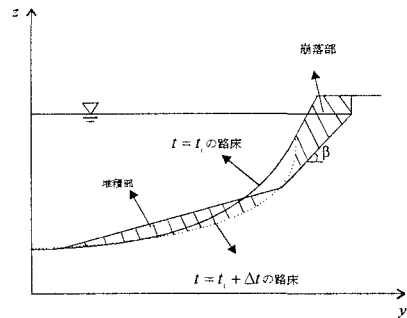


図-4 河岸崩落のモデル化

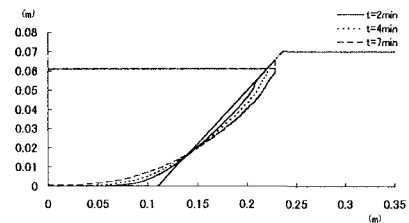


図-5 初期の河岸形状

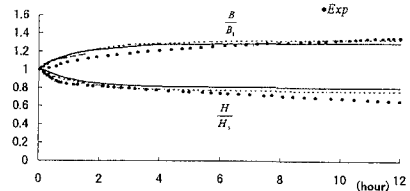


図-6 侵食の特性量の時間変化

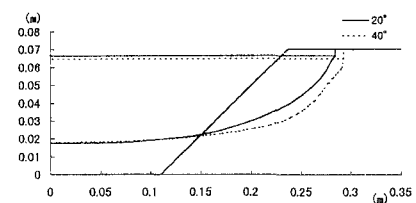


図-7 最終形状