

岐阜大学工学部 正会員

河村 三郎

岐阜大学大学院 学生会員

○久富 正

1. 概要: 傾斜地流路工の流れはほとんどの場合射流になり, 流路の法線形状が急変する場所では流水と流砂の形態は非常に複雑になる。そこで実験モデルの一つとして, T字型の急勾配水路を考え, 合流部の水路床変動について実験的, 理論的に考察を行っている。

2. 理論的考察 (A)合流部の平衡水深: 図-1のように, 合流部上下流の水路床が流量 Q_1, Q_2 に関して動的平衡状態にあると考えると, 流砂の連続式, 流水の連続式, 流砂量式(Kalinske-Brown型)はそれぞれ次のようになる。

$$q_{s1} B_1 + q_{s2} B_2 = q_{s3} B_3 \quad \dots (1) \quad Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad \dots (2)$$

$$q_s / U_* D = \alpha_s \{ U_* / (v_p) - 1 \} g D^3 \quad \dots (3a) \quad \text{あるいは} \quad q_s = \beta_s D^{(1-P)} U_*^{(2PH)} \quad \dots (3b)$$

ここに B =水路幅, q_s =単位幅単位時間当りの流砂量, U_* =摩擦速度で, $U_* = \sqrt{g R I} = Q n g^4 / B y R^6 \quad \dots (4)$, I =水面勾配, R =径深, ρ, ρ_s =それぞれ土砂と水の密度, P, α_s =定数, $\beta_s = \alpha_s / \{ (v_p) - 1 \}^P$, 添字 1, 2, 3 はそれぞれの水路の 1, 2, 3 を示す。式(1), 式(2), 式(3b), 式(4)より,

$$\left(\frac{B_1}{B_3} \right)^{2P} \left(\frac{D_1}{D_3} \right)^{(1-P)} \left(\frac{n_1}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot (1 - \frac{Q_2}{Q_3}) \cdot \gamma_{13} \left(\frac{y_1}{y_3} \right)^{\frac{7(2PH)}{6}} + \left(\frac{B_2}{B_3} \right)^{2P} \left(\frac{D_2}{D_3} \right)^{(1-P)} \left(\frac{n_2}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot \frac{Q_2}{Q_3} \cdot \gamma_{23} \left(\frac{y_2}{y_3} \right)^{\frac{7(2PH)}{6}} = 1 \quad \dots (5)$$

となる。但し $\beta_{s1} = \beta_{s2} = \beta_{s3}$ であり, $\gamma_{i3} (i=1, 2)$ は径深と水深の比で $\gamma_{i3} = (R_i/R_3) / (y_i/y_3)^{\frac{6}{(2PH)}}$ とする。式(5)を y_1 について解くと, 合流部における平衡水深の基礎方程式が得られる。(但し, $D_1 = D_2 = D_3$, $B_1 = B_2 = B_3$ とする)

$$(y_3/y_1) = \left\{ \left[1 - \left(\frac{n_2}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot \frac{Q_2}{Q_3} \cdot \gamma_{23} \cdot \left(\frac{y_2}{y_3} \right)^{\frac{7(2PH)}{6}} \right] / \left[\left(\frac{n_1}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot (1 - \frac{Q_2}{Q_3}) \cdot \gamma_{13} \right] \right\}^{\frac{6}{7(2PH)}} \quad \dots (6)$$

(B)平衡水深の発生領域: 式(5)を $\frac{Q_2}{Q_3}$ で微分し, $\frac{Q_2}{Q_3}$ を消去すると平衡水深の発生領域の方程式が得られる。

$$\left(\frac{n_1}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot \gamma_{13}^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{y_1}{y_3} \right)^{\frac{7(2PH)}{6}} + \left(\frac{n_2}{n_3} \right)^{(2PH)} \cdot \gamma_{23}^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{y_2}{y_3} \right)^{\frac{7(2PH)}{6}} = 1 \quad \dots (7)$$

(C)合流点における洗掘水深: 図-1より $\frac{y_s}{y_u} = \frac{y_d}{y_u} - 1 \quad \dots (8)$ であり, 連続式より, $\frac{dQ}{dx} = q_x \quad \dots (9)$, あるいは $Q = Q_1 + q_x x \quad \dots (9')$ (ここに $q_x = Q_2/L$)。一方, 運動量方程式は,

$$\frac{\rho V}{g} \frac{dV}{dx} + \frac{\rho V q_x}{g A} - \frac{q_x}{g A} V_2 \cos \theta = S_0 - S_f - \frac{dS}{dx} \quad \dots (10)$$

ここに β =運動量補正係数, S_0 =水路床勾配, S_f =摩擦勾配, A =流積。式(10)の第一項を近似的に $\frac{\rho V}{g} \frac{dV}{dx} \approx \frac{\rho Q q_x}{g A^2}$ とし, $S_0 - \frac{dS}{dx} = S_w$ とし, 式(9)を式(10)に代入すると,

$$\frac{2\beta q_x}{g A^2} (Q_1 + q_x x) - \frac{q_x Q_2}{g A^2} \cos \theta = S_w - S_f \quad \dots (11) \quad \text{水路を長方形断面と考え, } y_1 = y_2 = y \text{ とおくと,}$$

$$y^2 = \frac{2\beta Q_2}{g B^3 (S_w - S_f)} \left[\frac{2\beta (Q_1 + q_x x)}{Q_3} - \left(\frac{B_2}{B_3} \right) \left(\frac{Q_2}{Q_3} \right) \cos \theta \right] \quad \dots (12)$$

となる。 $x=L$ で $y=y_u$, $x=0$ で $y=y_d$ とし, さらに $B_2=B_3$, $\theta=\frac{\pi}{2}$ とし, $Q_1=Q_3-Q_2$ を代入して整理すると,

$$(y_d/y_u) = S_K \cdot [1 / (1 - \frac{Q_2}{Q_3})]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (13)$$

ここに $S_K = [S_w - S_f] u / (S_w - S_f) u$ 。式(8)を式(13)の右辺に代入すると, 合流点の洗掘水深の式が得られる。

$$(y_s/y_u) = S_K \cdot [1 / (1 - \frac{Q_2}{Q_3})]^{\frac{1}{2}} - 1 \quad \dots (14)$$

3. 実験: 実験装置の概要は, 図-2に示すアクリル樹脂製水路で, 水路幅は15cmである。本川水路勾配は $1/500$, 支川水路勾配は $1/10$ と $1/5$ の二種類とし, 合流角度は 90° に固定した。使用した砂は $D_{50} = 0.9 \text{ mm}$,

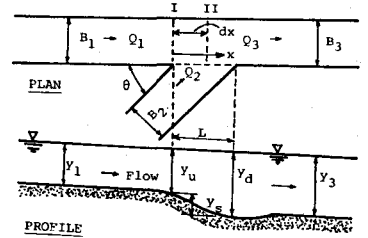
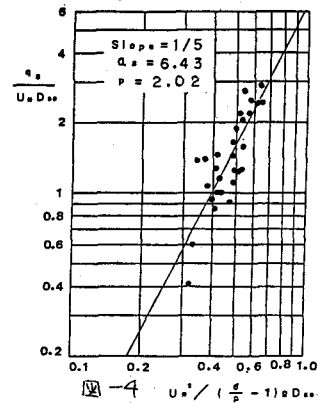
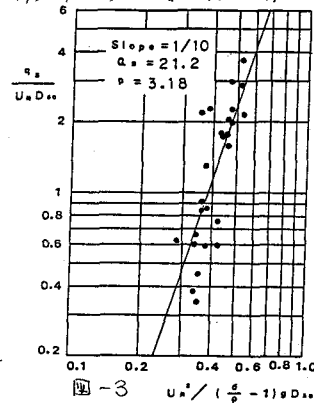
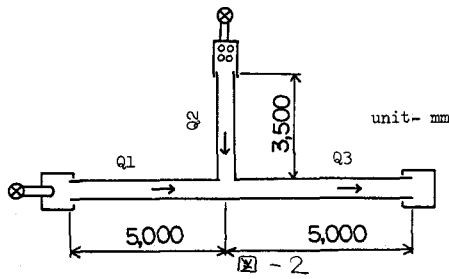


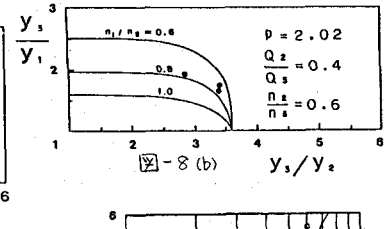
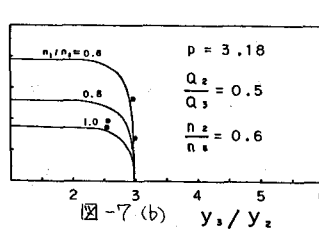
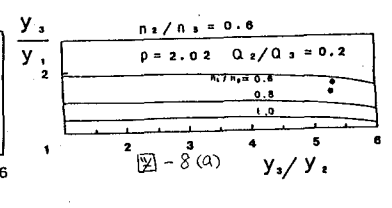
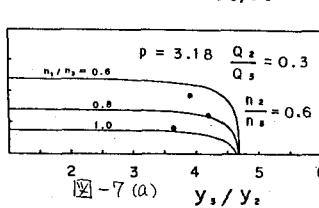
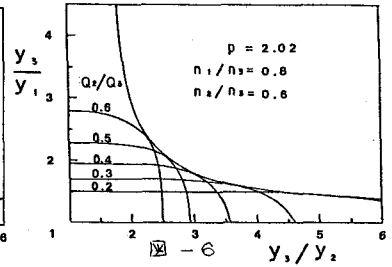
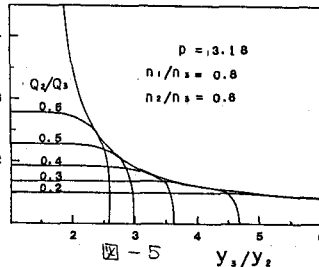
図-1

$Q_p = 2.08$ である。給砂は、本川だけと、本川、支川から同時に行う場合の2通りである。

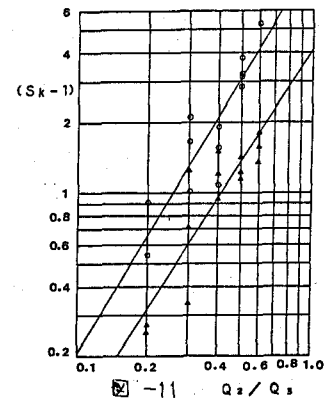
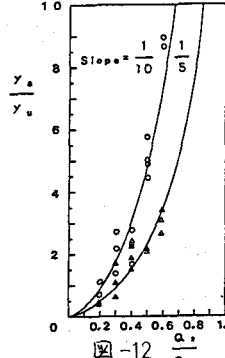
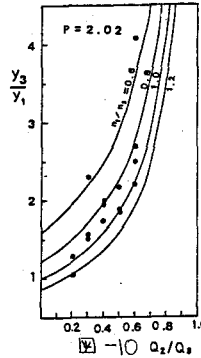
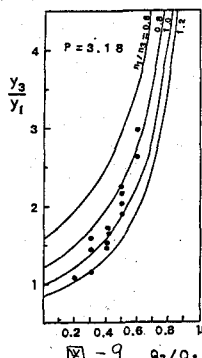


4. 考察： 流砂量式(3.0)の P, Q_s を求めたのが図-3, 図-4で、支川勾配が $1/10, 1/5$ ぞれ $(P, Q_s) = (2.02, 6.43), (3.18, 21.2)$ となった。

式(5)中の η_{13} (但し $i=1, 2$) は $\eta_{13} = a_i (\frac{y_3}{y_i})^{b_i}$ とし、さらに $a_1 = a_2 = a, b_1 = b_2 = b$ とし最小自乗法により $P = 3.18, 2.02$ の時それぞれ $(a, b) = (0.932, -0.367), (0.963, -0.254)$ となった。これらの値を式(6)に代入して平衡水深を求めたのが図-5, 6で、流量比 Q_2/Q_1 をパラメーターとし、各図中の包絡線は式(11)の平衡水深の発生領域を示す。また図-7(a), (b), 図-8(a), (b) は η_{13} をパラメーターとして平衡水深を表わしたもので $\eta_{13}/\eta_{12} = 0.6$ とすると、実験値はほぼ $\eta_{13} = 0.6 \sim 1.0$ の間にある。次に本川水路のみ給砂する場合、式(6)の分子第2項が0となり、平衡水深は η_{13} をパラメーター



にとると、図-9, 図-10のようになり、実験値は $\eta_{13}/\eta_{12} = 0.6 \sim 1.2$ の範囲となる。



最後に、図-11は S_k と流量比の関係を表わし、図中の $\circ$ 印、 $\triangle$ 印はそれぞれ支川勾配 $1/10$ で支川、本川両方から給砂、 $1/5$ で本川のみ給砂の場合である。図-12は洗掘水深と流量比の関係である。