土木学会第48回年次学術講演会（平成５年９月）

II－205　支川を有する河道の安定縦断形状について

北海道大学工学部　正員　黒木　幹男
北海道開発局　正員　岡部　和憲
北海道大学工学部　正員　板倉　忠興

１．はじめに

著者ら[1)]は先に大きな支川を持たない単一の河道の場合について、安定河道の河床高、水深、川幅、および河床材料の平均粒径の縦断分布を求める方法を提案した。本報告では、この理論をもとに途中で大きな支川が合流する場合を対象に、安定な河道縦断形状を求める枠組みの検討を行った。

２．基礎方程式と安定縦断形状

安定縦断形状を求めるための基礎式としては、ひとまず流砂に対して動的平衡状態における流砂連続式、流砂量式、流れに対して不等流の式と抵抗式がそれぞれ必要である。しかし、これら４つの式だけでは未知量の数３つ過剰であるから、３つの制約条件が必要になる。これまでの安定縦断形状に関する理論ではこの制約条件の間の整合性に難点があり、広い適応性を得るまでには至らなかった。

著者らは上の４式の他に、池田らが示した「平衡断面では無次元河床専断力τ_*が縦断方向に変化しない」という条件を導入し、さらにエネルギー勾配I_eと河床勾配I_bがほぼ等しいと仮定する事で、流量Ｑのみを制約条件として、河床高ｚ、水深ｈ、川幅Ｂ、河床材料の平均粒径ｄの縦断分布を求める方法を提案した。紙数の関係で結果のみを記すと次式の通りである。

$$I_b \sim I_e = C_3 Q^{-6/7} \qquad (1)$$

$$\frac{dh}{dx} - \frac{\frac{4}{7Q}\frac{dQ}{dx}}{1+C_4 Q^{4/7}} h \fallingdotseq 0 \qquad (2)$$

$$d = C_2 h I_e \qquad (3)$$

$$B = C_1 d^{-3/2} \qquad (4)$$

３．支川合流のある場合への拡張

支川合流前後の流量Ｑの縦断変化を次式のように与える。

$$Q = Q_1 \exp(q_1 x) \quad ; 0 < x < L_c \qquad (5) \qquad\qquad Q = Q_2 \exp(q_2 x) \quad ; L_c < x < L \qquad (6)$$

ここに、Ｌ：対象とする河道区間の長さ、L_c：河道上流端から合流点までの距離、ｘ：流下方向に取った距離、Q_1：河道上流端の流量、Q_2：合流直後の流量。

式（１）を積分すれば河床高の縦断変化は次式のように表せる。

$$\frac{z}{z_*} = \frac{\exp(-a_1\xi) - \exp(-a_1\xi_c) + C[1 - \exp\{-a_2(1-\xi_c)\}]}{1 - \exp(-a_1\xi_c) + C[1 - \exp\{-a_2(1-\xi_c)\}]} \quad ; 0 < \xi < \xi_c$$

$$\frac{z}{z_*} = \frac{C[\exp\{-a_2(\xi-\xi_c)\} - \exp\{-a_2(1-\xi_c)\}]}{1 - \exp(-a_1\xi_c) + C[1 - \exp\{-a_2(1-\xi_c)\}]} \quad ; \xi_c < \xi < 1 \qquad (7)$$

ただし、$\xi = \dfrac{x}{L}$、$\xi_c = \dfrac{L_c}{L}$、$a_1 = \dfrac{6}{7} q_1 L$、$a_2 = \dfrac{6}{7} q_2 L$、$C = \dfrac{C_{32}}{C_{31}} \dfrac{a_1}{a_2}$、$C_{31}$、$C_{32}$はそれぞれ合流点上流河道、下流河道における（３）式の比例定数。

また、水深、川幅、河床材料の平均粒径の縦断変化は（２～４）式よりそれぞれ次式のように与えられる。

$$\frac{h}{h_o}=\frac{(1+b_1)\exp\left(\frac{2}{3}a_1\xi\right)}{1+b_1\exp\left(\frac{2}{3}a_1\xi\right)}\quad ;0<\xi<\xi_c$$

$$\frac{h}{h_c}=\frac{(1+b_2)\exp\left\{\frac{2}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}{1+b_2\exp\left\{\frac{2}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}\quad ;\xi_c<\xi<1 \tag{8}$$

$$\frac{d}{d_o}=\frac{(1+b_1)\exp\left(-\frac{1}{3}a_1\xi\right)}{1+b_1\exp\left(\frac{2}{3}a_1\xi\right)}\quad ;0<\xi<\xi_c$$

$$\frac{d}{d_c}=\frac{(1+b_2)\exp\left\{-\frac{1}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}{1+b_2\exp\left\{\frac{2}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}\quad ;\xi_c<\xi<1 \tag{9}$$

$$\frac{B}{B_o}=\left[\frac{(1+b_1)\exp\left(-\frac{1}{3}a_1\xi\right)}{1+b_1\exp\left(\frac{2}{3}a_1\xi\right)}\right]^{-3/2}\quad ;0<\xi<\xi_c$$

$$\frac{B}{B_c}=\left[\frac{(1+b_2)\exp\left\{-\frac{1}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}{1+b_2\exp\left\{\frac{2}{3}a_2(\xi-\xi_c)\right\}}\right]^{-3/2}\quad ;\xi_c<\xi<1 \tag{10}$$

ただし、$b_1=C_{41}Q_1^{4/7}$、$b_2=C_{42}Q_2^{4/7}$、C_{41}、C_{42}はそれぞれ上流河道、下流河道における（２）式の比例定数、添字 0は最上流端、添字 cは合流点での値をそれぞれ表す。

ところで、合流点でも水深は連続するから h_cは容易に決定できるが、B_cおよびd_cは次式で示される全流砂量の連続式および粒度の連続式を考慮して決定する必要がある。

$$Q_{B1}+Q_{B3}=Q_{B2}\ \ (11)、\ Q_{B1}d_1+Q_{B3}d_3=Q_{B2}d_2\ \ (12)$$

ただし、添字１は本川上流河道、２は本川下流河道、３は支川のそれぞれ合流点における値を表す。

いま対象河道区間の中央ξ=0.5で同規模の河道が合流する場合を例に、$a_1=a_2$とすると流量の変化は図－１の右上がりの不連続線で与えられる。対応する河床高の縦断変化は図－１の右下がりの連続線のようになる。また、水深、川幅および平均粒径の縦断変化は図－２のようになる。

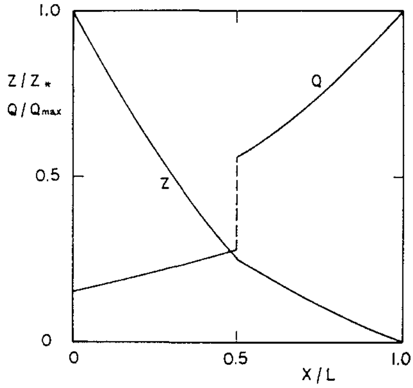

図-1　Q、zの縦断変化の計算例
(a_1=1, a_2=1, Qr=1, ξ_c=0.5)

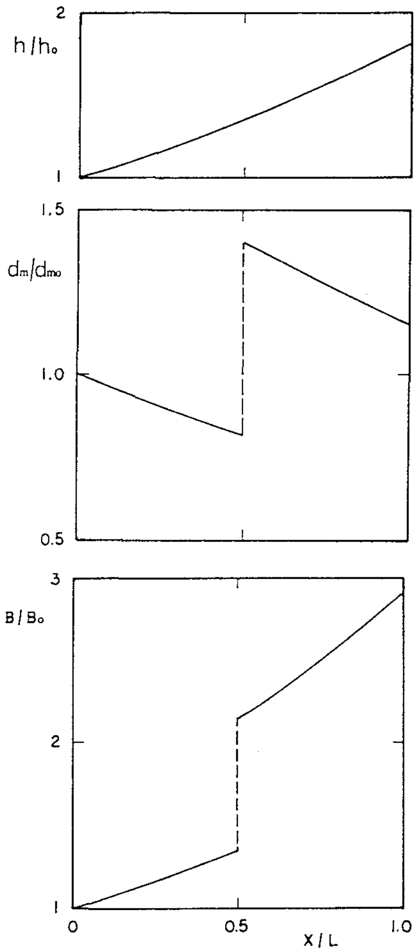

図-2　h、B、dの縦断変化の計算例
(dr=2.0, b1=b2=0.1)

参考文献　黒木、岡部、板倉：河道の安定縦断形状について、土木学会第47回年講、II-22、1992.9