

II-127 植生を有する河川の安定横断河床形状

埼玉大学工学部 学生員 泉 典洋
 埼玉大学工学部 正 員 池田駿介

1. はじめに 河道は通常、動的平衡状態にあり流砂が存在している中央部と、静的平衡状態にあり河床材料が静止している側岸部とに分けられる。中央部では流砂が存在しているため、勾配が存在すると横断方向の流砂量が存在し河床は安定となり得ない。従って平坦となっている。一方、側岸部の形状は静的平衡の条件から斜面上の砂粒子に働く力の釣合のみによって決定される。そして中央部と側岸部の接続点 (Junction point) で限界掃流力状態が実現している。Parker (1978) は、この様な形状の河道における底面剪断力分布を、Lundgren & Jonsson の方程式を用い、乱流拡散による横断方向の運動量輸送を考慮することによって求め、安定横断河床形状とその維持機構を明らかにした。また、池田 (1986) は河床材料の混合粒径の効果を取入れて安定水深及び安定川幅を求め、実験結果及び観測結果との良好な一致をみている。本研究はそれらの考え方を基礎とし、植生を有する河川の安定横断河床形状を求めることを目的としている。尚、ここで対象としているのは直線礫床河川であり、浮遊砂は考慮していない。また、植生とは樹木群のことである。

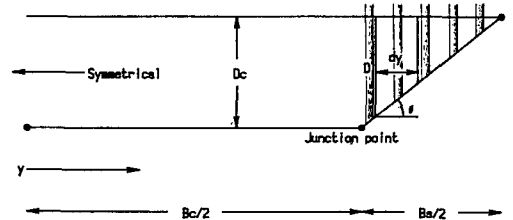


Fig.1 Definition diagram of a river with bank vegetation

2. 植生を有する河道の流速分布 河道中央部では掃流砂が存在しているため、植生は存在し得ない。従って河道内における植生は中央部には存在しておらず、側岸部にのみ存在していると考えて差し支えない。その場合、植生の存在する河道内の運動方程式は次のように表すことができる。

$$(中央部) \rho g D_c S + \rho \epsilon_y D_c \frac{d^2 \bar{u}}{dy^2} - \rho C_f \bar{u}^2 = 0 \quad (1)$$

$$(側岸部) \rho g D S + \rho d \left(\epsilon_y D_c \frac{d \bar{u}}{dy} \right) / dy - \rho \left(C_f / \cos \theta + C_D a D / 2 \right) \bar{u}^2 = 0 \quad (2)$$

ここで ρ は水の密度、 g は重力加速度、 D は水深、 S は河床勾配、 ϵ_y は横断方向の運動量拡散係数、 \bar{u} は鉛直方向に平均した流下方向流速、 C_f は抵抗係数、 C_D は植生の抗力係数、 a は単位河床面積当りの樹木の幅、 θ は横断方向の河床の傾斜角、suffix c は河道中央での値を表す。無次元化によって次のようになる。

$$(中央部) 1 + \nu \frac{d^2 \phi}{d \eta^2} - \phi^2 = 0 \quad (3)$$

$$(側岸部) s + \nu \frac{d \left(s \frac{d \phi}{d \eta} \right)}{d \eta} - \left(\frac{1}{\cos \theta} + \chi s \right) \phi^2 = 0 \quad (4)$$

ここで $\phi = \bar{u} / \bar{u}_c$ 、 $\eta = (2y - B_c) / B_s$ 、 $s = D / D_c$ 、 $\nu = \alpha / \sqrt{C_f} (2D_c / B_s)^2$ 、 $\chi = C_D a D_c / 2 C_f$ 、 B_c は中央部の幅、 B_s は側岸部の幅、 $\alpha = \epsilon_y / u_* D_c$ 、 u_* は摩擦速度である。式 (3)、(4) を ν を微小パラメータとして接合漸近展開法を用いて解くと横断方向流速分布 ϕ が求められる。

3. 植生を有する側岸部の形状 流速の分布を完全に知るためには側岸部の形状を知る必要がある。側岸部の砂粒子に働く力の釣合は Lane (1952) に倣って次のように表せる。

$$\sigma^2 + \left(\frac{1 + \mu \beta}{\mu} \right)^2 \lambda \left(\frac{d s}{d \eta} \right)^2 = \mu^2 \left(\frac{1 + \mu \beta}{\mu} - \beta \sigma \right)^2 \quad (5)$$

ここで μ はクーロン静止摩擦係数、 β は揚力係数、 $\lambda = (2D_c / B_s)^2$ である。底面剪断力は抗力の分だけ減

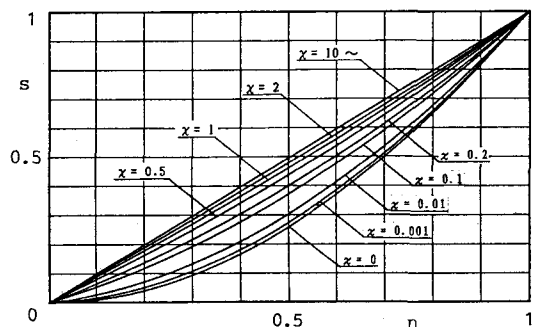


Fig.2 Vegetated bank profiles

少するから次のように表すことができる。

$$\sigma = \tau / \rho g D_c S = s / (1 + \chi s) + M_T \quad (6)$$

ここで M_T は乱流拡散による運動量輸送を表しており ν の一次のオーダーである。ここでは ν の0次までの剪断力 $\sigma = s / (1 + \chi s)$ を用いる。すると式(5)の解は解析的に求められ、 s と $\lambda^{1/2}$ の値はFig. 2, 3 のようになる。この結果を式(4)に用いると、式(3), (4)は完全に解けて流速分布が求められる。

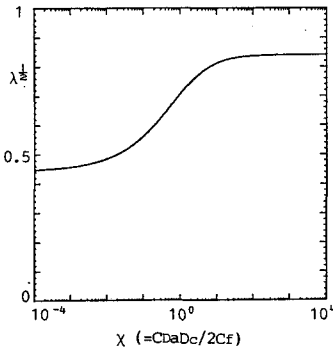


Fig. 3 $\lambda^{1/2} (=2D_c/B_s)$ versus χ

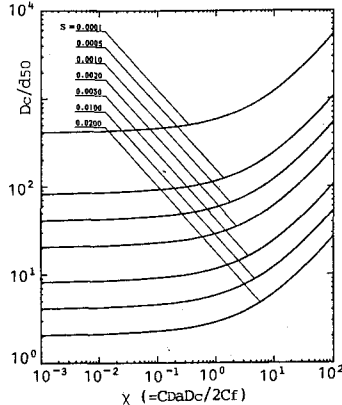


Fig. 4 D_c/d_{50} versus χ and S , $d_{90}/d_{50}=2$

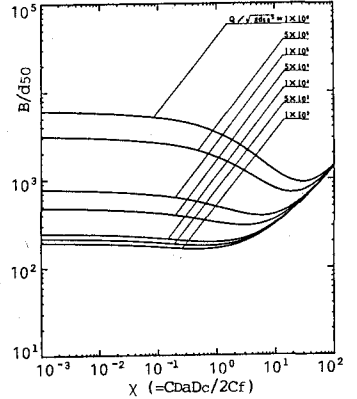


Fig. 5 B/d_{50} versus χ and Q , $S=0.002$, $d_{90}/d_{50}=2$

4. 植生を有する河川の安定水深と安定川幅 接続点での無次元流速を ϕ_j とすれば無次元底面剪断力 σ_j は $\sigma_j = \phi_j^2$ と表せる。junction pointで限界掃流力状態が実現している条件から安定水深を求めると Fig. 4 のようになる。さらに、河道全体の力の釣合から求めた、代表的な勾配と流量における安定川幅は Fig. 5 のようになる。

5. 理論値と実測値との比較 Andrews(1984)³⁾が行った植生を有する河川の水深及び川幅についての野外観測結果と理論値を比較したのがFig. 6, 7である。(a)は池田の理論によるもので植生の効果を考慮しない場合である。植生の密度が濃い場合、実測値は理論値よりも水深は深く川幅は狭くなり、従来の理論では説明できないことが判る。(b)は本理論によって植生の効果を考慮した場合である。ここで理論値は、植生の密度が薄い場合 $\chi=0$ 、植生の密度が濃い場合 $\chi=2$ として求めた。植生の効果を取り入れることの必要性が伺われる。

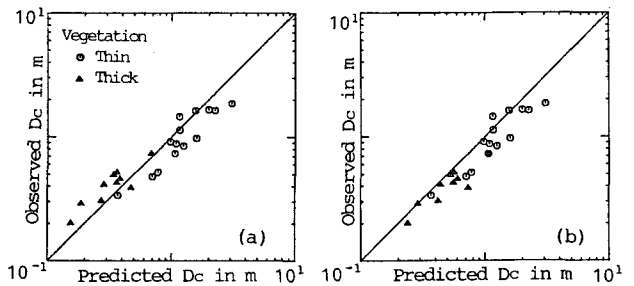


Fig. 6 Test of D_c by field data

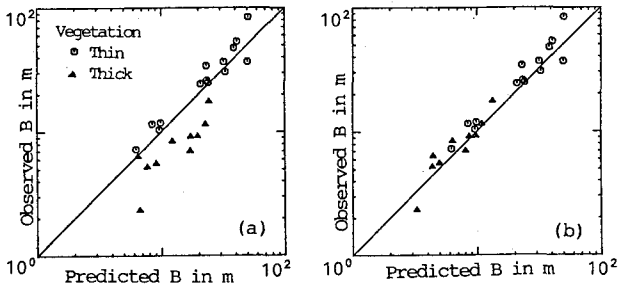


Fig. 7 Test of B by field data

参考文献

1) Parker, J. Fluid Mech., 89(1), 127-146, 1978.
 2) 池田他, 土木学会論文集, 第375号/II-6, 117-126, 1986.
 3) Andrews, Geol. Soc. America Bull., v. 95, 371-378, 1984.