

II-118 安定流路幅、安定水深に及ぼす交互砂州の影響

建設技研 正会員 佐藤 寛

埼玉大学 正会員 池田駿介

埼玉大学 正会員 山坂昌成

三井不動産建設 島袋庄治

1. 研究目的 河床形状の変動を予想することは、河道計画及び河川構造物の保守管理にとって、重要な課題の一つであり、従来から数多くの研究が積み重ねられてきた。池田ら¹⁾は、Parker²⁾の中央部の平坦床、cosine型に近似した側岸形状及び河床せん断力分布をもとに、直線流路における安定流路幅および中央水深を予想する式を導いているが、この研究は河床に砂州が形成されない領域で行われており、河床に河州が形成された場合に砂州が水の流れ、さらには安定流路幅に及ぼす影響については十分に解明されていない。本研究では砂州が形成されない条件における従来の理論を基礎として、河床に砂州が形成される領域で実験を行い、最大流路幅、平均流路幅、平均水深の値を従来の理論と比較検討し、動的安定形状に及ぼす砂州形成の影響を明らかにする。

2. 従来の理論とその検討 河床の横断形状として Fig. 1に示されているようなM点を境界点とする平坦な流路中央部と、これに滑らかに接合する側岸部を考える。このとき、流路が動的に安定であるためには、流路中央部では流下方向に流砂が存在し、側岸部（M点より右側）では砂粒子の移動がない静的平衡状態を保つ必要がある。Parker²⁾は乱れによる横断方向の運動量輸送を考慮し、図中に破線で示すようなせん断力分布を用いて動的平衡河川の横断面形状を説明している。このとき、M点で限界掃流力となるような状態で動的平衡状態が実現し、側岸部形状は静的安定条件から cosine 形状として求められる。流路中央での掃流力を90%粒径で無次元化した無次元掃流力 τ^*_{c0} は次のように表せる。

$$\tau^*_{c0} = \tau_c / \{(\rho_s - \rho)gd_s\} = \rho D_c S / \{(\rho_s - \rho)d_s\} \quad \dots\dots (1)$$

ここに ρ_s ：砂の密度、 ρ ：水の密度、 S ：水面勾配である。Egiazaroff の表示法を用いると混合粒径の無次元限界掃流力 τ^*_{thr} は次のようになる。

$$\tau^*_{thr} = 0.05 / \{\log_{10}(19d_i/d_{50})\}^2 \quad \dots\dots (2)$$

また、 τ^*_{c0} と τ^*_{thr} の関係はM点で限界掃流力となる条件から $\tau^*_{c0} \cong 1.23 \tau^*_{thr}$ と与えられるので、式(1)、(2)より、中央水深を求める式は次のようになる。

$$D_c = 0.0615 \{\log_{10}(19\sigma)\}^{-2} R_s \sigma d_{50} / S \quad \dots\dots (3)$$

ここに $\sigma = d_{90}/d_{50}$ 、 $R_s = (\rho_s - \rho)/\rho$ である。

cosine型に近似した横断面形状から計算される潤辺長 P 、流積 A 、径深 R は D_c/B_c の2次以上のオーダーを無視すると以下のようになる。

$$P = (1 + 5.048 \frac{D_c}{B_c}) B_c, \quad A = (1 + 2.982 \frac{D_c}{B_c}) D_c B_c, \quad R = \frac{A}{P} \cong (1 - 2.066 \frac{D_c}{B_c}) D_c \quad \dots\dots (4)$$

流路幅を求めるには、流路全体としての力の釣り合い式を用いねばならない。Keuleganの抵抗式は次のように表される。

$$U/U_* = 2.5 \ln(11R/k) \quad \dots\dots (5)$$

式(4)、(5)及び $U=Q/A$ より、 $(D_c/B_c)^2$ 以上のオーダーの微小項を無視し、 $k=1.5d_{50}$ とすれば、水路幅 B を与える式として次式を得る。式中の D_c は式(3)より与えられる。

$$B = \frac{Q}{D_c \sqrt{g D_c S} 2.5 \ln \{7.333 D_c / (\sigma d_{50})\}} + \{2.571 + \frac{2.066}{\ln \{7.333 D_c / (\sigma d_{50})\}}\} D_c \quad \dots\dots (6)$$

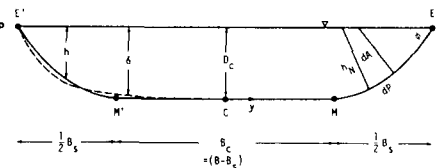


Fig. 1 流路の横断面形状

これらの河床形状を決定する一次量は Q 、 S 、 d_{50} 、 σ の4つであることが知られる。上述の砂州を考慮しない従来の理論と砂州が形成されない場合の実験結果¹⁾との対応をFig. 2 に示す。中央水深、流路幅ともに実測値と理論値が一致しており、式(3)、式(6)の有用性がわかる。

3. 砂州形成実験 本実験では水路幅が50cmと狭かったために、通常の片側半断面で実験を行い、単列の交互砂州を形成することを目的とした。したがって、全断面では複列の砂州が形成されるものを対象とした。実験に用いた砂は $d_{50}=1.14\text{mm}$ 、 $\sigma=1.30$ のほぼ一様な砂であり、この砂に対して前述の理論による安定流路半幅、安定水深が池田³⁾による領域区分図の単列砂州形成領域に入るよう流量、勾配を決定した。これにより、通水初期には幅-水深比が大きいため交互砂州が形成されないが、拡幅が進行するに従って、幅-水深比が大きくなり砂州が形成されると考えた。

Fig. 3 は砂州が発達した状態で水路にパンチ屑を流し、その真上からシャッタースピードを調整して写真撮影して得られた表面流速ベクトルであるが、この図を見ると流速ベクトルの向きが流下方向に平行ではなく、上流側では拡幅が進んだ側岸部方向に、下流側では中央ガラス壁方向に向いていることがわかる。本研究ではFig. 3 の砂州一波長の流路幅の平均を平均流路幅、最も拡幅が進んだ部分を最大流路幅と定義する。最大流路幅の時間的変化をFig. 4 に示す。この図より、流路の拡幅は通水初期においては変化が緩やかであるが、

その後
砂州形
成に伴
う急激

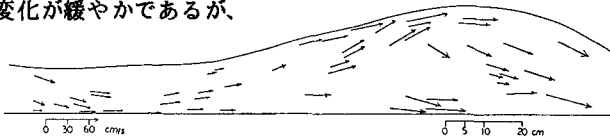


Fig. 3 表面流速ベクトル図

な拡幅が起こり、最終的に拡幅が停止し、平衡に達することがわかる。実測された最終最大流路幅、最終平均流路幅と、前述の砂州を考慮しない理論式との対応をFig. 5 に示す。実験値と砂州を考慮しない理論値とは一致せず、砂州形成に伴って流路幅の拡幅が進行することがわかる。これをFig. 3 より考察すると、砂州が形成された場合、横断方向の運動量輸送が大きくなり、側岸部でのせん断応力が増加

するためであると考えられる。流路幅について、砂州形成の影響を定量化するために、砂州を考慮しない場合の理論値との比をとると最大流路幅は約1.9倍、平均流路幅は約1.3倍であった。平均水深については、Fig. 6 に示すように実測値と砂州を考慮しない理論値とはほぼ一致する。

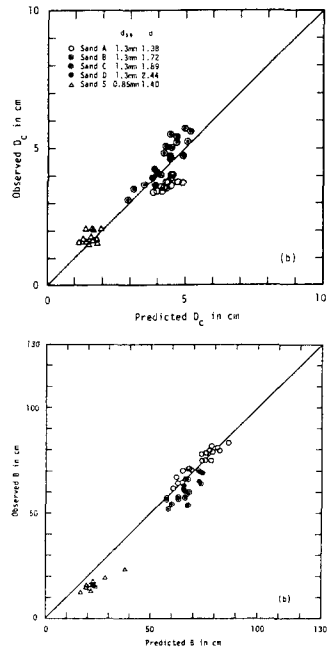


Fig. 2 砂州が形成されない場合の実験値と理論値との比較

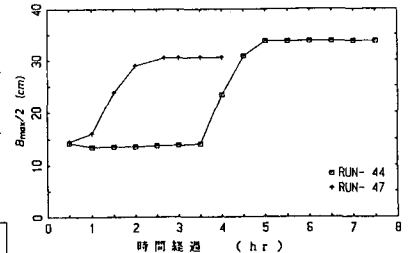


Fig. 4 最大流路幅の時間的変化

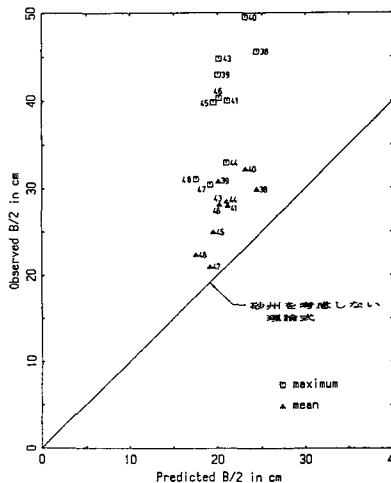


Fig. 5 流路幅の理論値と実験値との比較

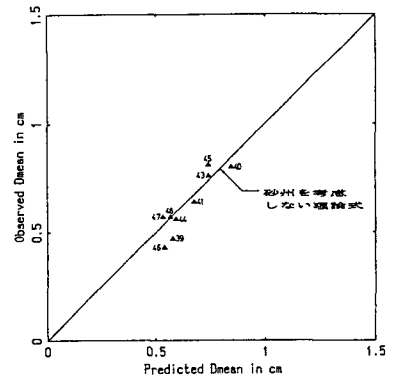


Fig. 6 平均水深の理論値と実験値との比較

1) 池田ら、論文集No. II-6, 1986. 2) Parkar, G., JFM, Vol. 89, 1978. 3) 池田宏、地理評, Vol. 46, No. 7, 1973.