

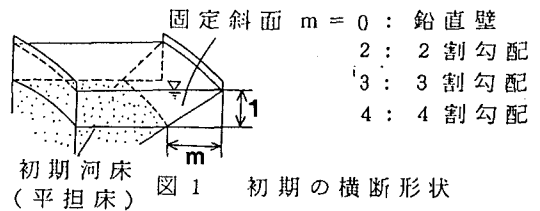
II-77

緩勾配河岸を有する湾曲流れの壁面に作用する剪断力

建設省下水道部	正員	三宮 武
東京工業大学工学部	正員	福岡 捷二
(株)建設技術研究所	正員	西村 達也
水資源開発公団	正員	曾田 英揮

本研究の目的：堤防の表法勾配は一般に2割程度で設計されている。湾曲部においてこの勾配をさらに緩くしても、河道内の水位は認め得るほど変化せず、流れ、及び河床形状が改善されることが明らかになった¹⁾。本研究では、湾曲流路の河岸、及び河床面に作用する剪断力を算定することを目的としている。河岸の剪断力の算定法を確立できれば河岸侵食の少ない安定な河道断面を決めることが可能になる。従って、剪断力の評価は特に重要である。

実験：一様湾曲水路（長さ24m、幅1m）の外岸側に図1のようにm割勾配（m=0、2、3、4）の斜面を張り出す。この斜面は、河床と同じ砂（ $d_m = 0.8\text{mm}$ ）を用いて、所定の勾配に整形し、これを接着



剤で固定して洗掘されないように作られている。この河岸の状態が上流から下流まで連続的に連なっている。初期の平坦河床から通水を開始し、河床形状が平衡状態に達したところで通水を終了した。水位、河床形状を測定後、河床部分も接着剤で固定し、主流、二次流分布を測定した。

河岸、及び河床の剪断力の実験値：測定した主流、二次流分布を用いて①式の断面分割面積法により、壁面に作用する剪断力の流下方向成分 τ_{bs} を求める。図2に断面分割面積法の説明図を示す。

$$\tau_{bs} = \{ \rho g I d A - d \int \rho u_s u_{nz} d l \} / d L \text{ ----- ①}$$

右辺第2項は直截線を横切る二次流による運動量輸送量であり、 u_s 、 u_{nz} はそれぞれ流下方向、及び分割面に垂直方向の流速成分である。ここで、 L ：壁面に沿う距離、 I ：分割面に沿う距離、 A ：分割面積、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 I ：縦断勾配である。一例として河岸

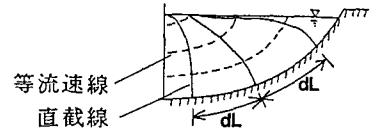


図2 断面分割面積法の説明図

勾配4割の等流速線

と直截線を図3に示す。

剪断力の解析：文献1)に示した方法で流れと河床変動の計

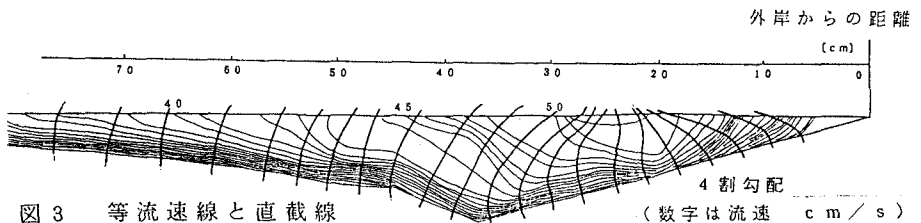


図3 等流速線と直截線

算を行い、これより河岸、河床での主流速 u_b と二次流速 v_b を求め、⑤式より剪断力 τ_{bs} を算定する。

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial n} \left\{ r (v_\theta + v') \right\} = 0 \text{ ----- ② (連続式)}$$

$$v' \frac{\partial u_\theta}{\partial n} + \frac{u_\theta v'}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial u'}{\partial z} \right) \text{ ----- ③ (s方向の流れの方程式)}$$

$$-\frac{u_\theta^2}{r} - \frac{2 u_\theta u'}{r} - \frac{u'^2}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial n} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial v'}{\partial z} \right) \text{ ----- ④ (n方向の流れの方程式)}$$

$$\tau_{bs} = \rho C_B (u_b^2 + v_b^2) \text{ ----- ⑤}$$

ここで、 C_B ：摩擦係数。

実験と解析の τ_{bs} の比較

図4は、鉛直壁、2割、3割、4割勾配のそれぞれの τ_{bs} の実験値と解析値の比較を示す。ここで $\tau = \tau / (s g d_m)$ と定義され、 d_m は河床材料の平均粒径である。解析値は実験値を斜面上も河床上もよく説明している。

図5は、本解析によって求めた壁面剪断力としばしば近似的な値として用いられる $\rho g h_v I$ の比を示している。ここで h_v は壁面から垂直に出発して水面までの距離をとっている。河床部分では平均的には、この近似（⑥式）では説明できるが、斜面部分はこの近似が過大な値を与えることを示している。斜面、河床上の剪断力分布は理論的に精度よく求めることができることが明らかとなった次に、このような剪断力分布の近似式を求める。斜面部分の剪断力は最大水深をとる位置と水際との間ではほぼ直線分布を取り、 $n = n_{max}$ で $h = h_{max}$ とすると、⑦、⑧式で近似することができる。

$$\tau = \rho g h_v I \text{ ----- ⑥ (河床面)}$$

$$\tau = \alpha \{ (n + B/2) / (n_{max} + B/2) \} s g d \text{ ----- ⑦ (河岸)}$$

$$n_{max} + B/2 = h_{max} / \tan \theta \text{ ----- ⑧}$$

ここで、 n ：図6に示した n 座標、 n_{max} ：最大水深をとる位置、 h_{max} ：最大水深、 B ：水路幅、 θ ：河岸傾斜角。ここで用いた河岸の粗度条件では $\alpha = 0.11$ をとる。河岸構成材料の粗さが異なる場合は⑦式の比例定数 α は粗さの指標 d と連動して変わる可能性があり、いろいろな粗度について検討する必要がある。また、鉛直壁の場合は河岸の剪断力分布はほぼ一様分布となり、⑦式は当てはまらない。

参考文献 1)福岡、三宮、西村「湾曲部外岸のり面の緩勾配化による流況改善」水工学論文集第36巻、1992

τ ：理論解析から求めた剪断力
 $\rho g h_v I$ ：慣用的に用いられている剪断力

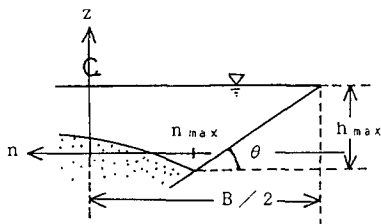


図6 計算の座標系

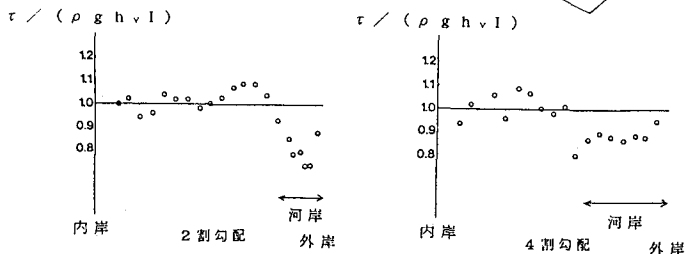


図5 理論解析より求めた壁面剪断力と壁面に垂直に測った水深 h_v を用いた剪断力の比

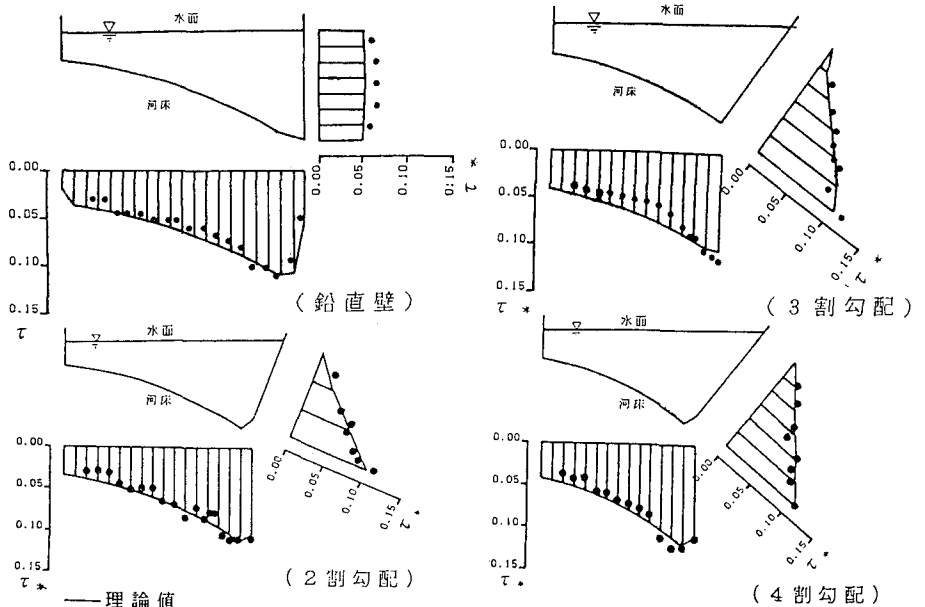


図4 壁面剪断力の実験値と解析値の比較