開水路湾曲部における透過型水制の流れ構造と河床変動に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院　学生会員　○松本 大三　日本建設コンサルタント㈱　青木健太郎
名古屋工業大学大学院　学生会員　中村 尚子　名古屋工業大学　正 会 員　冨永　晃宏

１．はじめに　湾曲部に樹木群（円柱粗度群）が存在する場合の河床変動および流れの制御については，これまでの研究で明らかになっている．本研究では帯状樹木群と同様の効果が期待される透過型水制を湾曲部に配置した場合の河床変動と流れ構造を実験により調べた．また２次元の数値計算を行い，実験データと比較することにより数値計算法の妥当性についても検討した．

表－１　実験条件

ケース名	河床状態	円柱高さ (cm)	水深h (cm)
Ds-10	固定床	7.5	14.6
D-10		18	15.7
Ss-10	移動床	7.5	14.9
S-10		18	15.0

２．実験装置および条件　実験水路は水路幅 B=90cm，深さ 30cm，全長 17.2m の長方形断面水路で，60°の単一湾曲部を設置したものである．湾曲部の中心曲率半径は r=270cm，r/b=3.0 である．透過型水制は，直径 5mm の木材の棒を流下方向，横断方向に 2.5cm 間隔で 10×22.5cm の大きさで配置した円柱群模型を用い，θ=0，15，30，45，60°の 5 ヶ所に設置した．流量は 40ℓ/s に設定し，湾曲入り口より 90cm 上流において水深 h=15cm となるように調節した．実験条件は**表－１**に示す．

３．２次元数値計算基礎式　透過型水制の高さの違いが河床変動に及ぼす効果を数値シミュレーションにより検討した．基礎式として直交曲線座標系における水深平均平面流方程式を用いる [1)].

$$\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{R}{R+y}\frac{\partial UU}{\partial x}+\frac{\partial UV}{\partial y}+\frac{2UV}{R+y}=-g\frac{R}{R+y}\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_{bx}}{\rho h}+\frac{1}{\rho}\frac{R}{R+y}\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}-F_x-\frac{R}{R+y}\frac{\partial \overline{U'U'}}{\partial x}-\frac{\partial \overline{U'V'}}{\partial y}-\frac{2\overline{U'V'}}{R+y} \qquad (1)$$

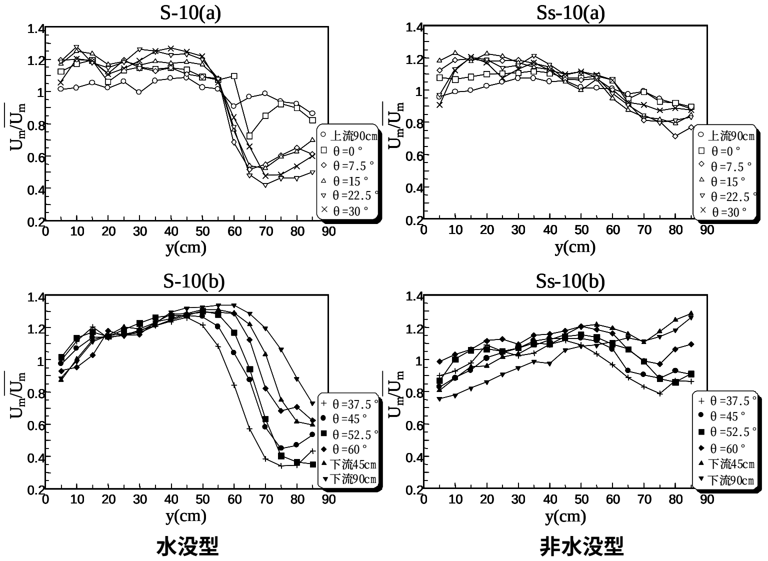
$$\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{R}{R+y}\frac{\partial UV}{\partial x}+\frac{\partial VV}{\partial y}+\frac{(U^2-V^2)}{R+y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_{by}}{\rho h}+\frac{1}{\rho}\frac{R}{R+y}\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}-F_y-\frac{R}{R+y}\frac{\partial \overline{U'V'}}{\partial x}-\frac{\partial \overline{V'V'}}{\partial y}-\frac{\overline{U'^2}-\overline{V'^2}}{R+y} \qquad (2)$$

$$\frac{R}{R+y}\frac{\partial hU}{\partial x}+\frac{\partial hV}{\partial y}+\frac{hV}{R+y}=0 \qquad (3)$$

$$F_x=\frac{1}{2}C_D\lambda\phi_3\frac{h_R}{h}U\sqrt{U^2+V^2}\quad ,\quad F_y=\frac{1}{2}C_D\lambda\frac{h_R}{h}V\sqrt{U^2+V^2}\quad ,\quad \phi_3=\frac{1}{h_R}\int_0^{h_R}\left(\frac{u}{U}\right)^2 dz \qquad (4)$$

ここに，R は水路内岸の曲率半径であり，U,V はそれぞれ流下方向 x 及び横断方向 y の水深平均流速，$\tau_{xx},\tau_{xy},\tau_{yy}$ は水深平均レイノルズ応力でありゼロ方程式モデルで与えた．U',V' は流速鉛直分布における水深平均流速からのずれを表し，(1)，(2)式の右辺，最後の３項は水深平均に伴う分散項を示している．分散項については各実験ケースにおいて各横断面の $\overline{U'V'}$ および $\overline{V'V'}$ を実験値から計算した．これらは円柱群の帯状配置をした実験結果からモデル化して与える [2),3)]．透過型水制群においても帯状配置と同様の２次流が形成されていることから，本研究ではパラメータのみ変化させ，同様のモデル式を用いて計算し，２次元数値計算の普遍性について検討した．円柱群の形状抵抗は(4)式で与える．ここに h_R は円柱高さである．水没型円柱群の形状抵抗値については２次元計算で得られる結果が水深平均値であるため，円柱群内の流速 u と平均流速 U の比を考慮に入れ，形状抵抗に運動量補正パラメータ ϕ_3 を加えた．

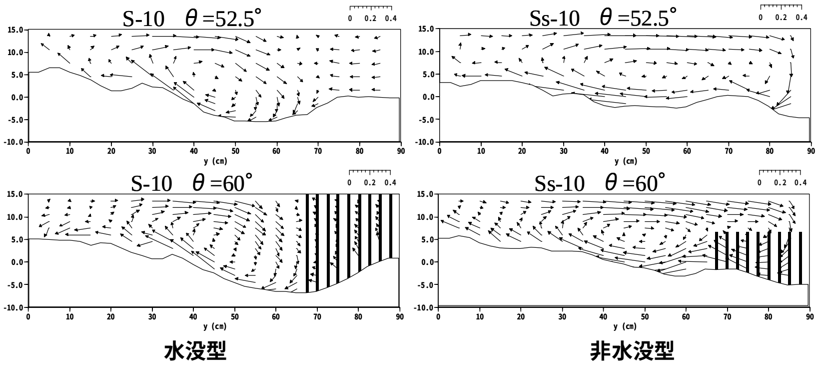
４．実験結果の流れ構造の考察　**図－１**は主流速の水深平均値を示したものであり最上流計測断面における U_m の平均 $\overline{U_m}$ で無次元化している．水制が設置してある湾曲部では水



図－１　水深平均流速

キーワード　開水路湾曲部，　水制，　河床変動
連絡先　〒466-8555　名古屋市昭和区御器所町　名古屋工業大学工学部社会開発工学科　TEL 052-735-5490

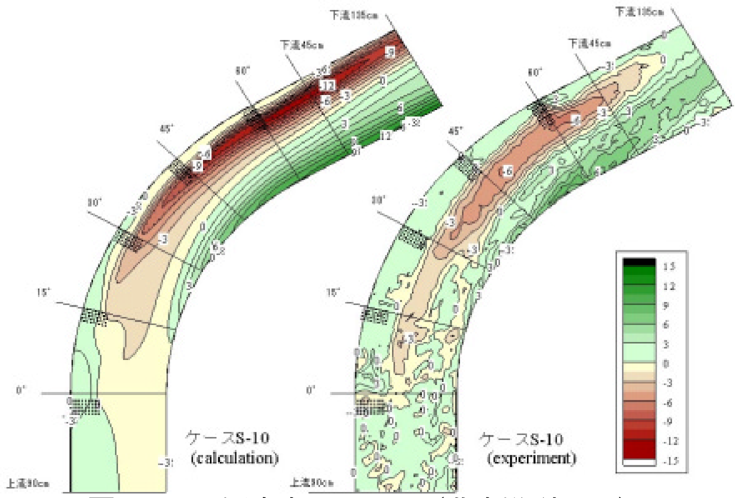
没型，非水没型ともに外岸部の y=65～85cm が減速しており，非水没型では減速が大きく湾曲角θ=37.5°まで減速が進み，それより下流で主流域側から加速が進行する. 非水没型では湾曲入り口直後で減速が止まりその後ゆっくりと加速されている. 水制間断面においても外岸部の減速は維持されていることがわかる. **図－２**は移動床ケースの２次流ベクトルを示している．S-10 では湾曲渦は内岸側の y=0～65cm の範囲で発生しており水制内に進入していないが，Ss-10 では断面全体にわたっている．S-10 の水制間断面をみると水制設置断面と同じく湾曲渦は水制内に進入しておらず２次流構造においても水制の影響が水制後方に及んでいることが分かる. Ss-10 では湾曲角θ=60°の外岸側に２次渦が発生しており, 外岸側壁近傍の洗掘を進めている.



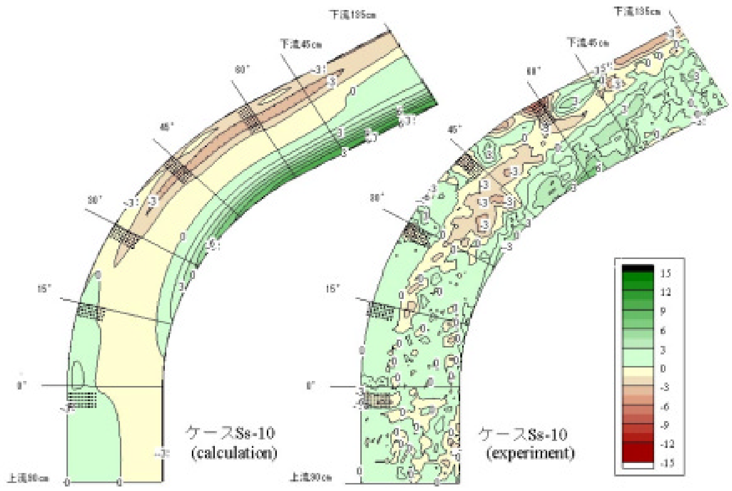
図－２　２次流ベクトル

５．河床変動の実験値と計算値の比較

河床変動計算においては流砂量式として Meyer-Peter-Muller の式および長谷川の式を用い，流砂連続式を解いた[3]. **図－３**(a)(b)は通水５時間後の河床高コンターの計算値と実験値の比較を示している. 実験値では洗掘は水制に沿うように発達していて，非水没型のケース S-10 は湾曲部の前半から洗掘が始まり，θ=60°で最大となり水制内に進入がみられる．水没型のケース Ss-10 では湾曲部後半から下流直線部にかけての外岸側壁近傍で洗掘がみられ, 計算値でも再現されている. 水没型水制を設置した場合非水没型水制に比べて，洗掘が約３分の１程度，堆積は約３分の２程度に抑えられており実験, 計算ともに同様な傾向がみられる. 計算値では洗掘位置が外岸後方に寄って現れる傾向がある．また計算で洗掘・堆積が下流直線部後方に及んでいるのは，計算では下流直線部を 4.2m としているのに対し，実験では 1.8m 後方で河床を固定している違いによると考えられる.



図－３(a)　河床高コンター（非水没型 S-10）



図－３(b)　河床高コンター（水没型 Ss-10）

５．おわりに　実験では湾曲外岸部に透過型水制を設置した場合の水制間の流れ構造は水制の影響が維持されることが確認できた. 水没型のケースでは湾曲部後半から下流直線部にかけて２次渦が発生しており，外岸側壁近傍で洗掘を引き起こすことが考えられる. 以上から帯状配置の円柱群が存在する場合の分散項のモデル化を用いた２次元数値解析が, 透過型水制を有する湾曲部流れにも適応可能と考えられた．その適応性について実験結果との比較により検討した結果，河床変動は，洗掘・堆積が過大評価されたものの，水制の高さ変化による影響を再現することができた.

＜参考文献＞1)Shimizu, Y., Yamaguchi, H. and Itakura, T.:Three-Dimensional Computation of Flow and Bed Deformation,. J. Hydraulic Engineering , vol.116, No.9, pp.1090-1108, 1989.　2)冨永，青木，木村:水工学論文集　vol.45,pp.769-774,2001　3)冨永，青木:応用力学論文集　vol.4, pp.557-564,2001.